

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Технологија прераде пластичних маса

Број индекса: 322/2012

Александар В. Марковић

Симулација процеса бризгања пластичних маса

-мастер рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада кандидат треба да

се упозна са карактеристикама најчешће коришћених пластичних маса и поступком екструзионог бризгања. Потребно је прикупити и систематизовати податке о технолошким параметрима бризгања и карактеристикама елемената алата за бризгање. У посебном делу рада потребно је да кандидат изврши пројектовања једног дела, алата за његову израду и изврши анализу процеса бризгања применом симулације користећи неки од савремених софтвера. Применом савременог сифтвера за симулацију истражити најповољнији облик и место уливања.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања.
2. Карактеристике најчешће коришћених пластичних маса.
3. Прерада пластичних маса бризгањем.
4. Карактеристике алата за бризгање пластичних маса
5. Симулација екструзионог бризгања пластичних маса.
6. Анализа резултата симулације
7. Закључци.
8. Литература.

Препоручена литература:

1. Б. Недић, Технологије прераде пластичних маса, скрипра, Машински факултет, Крагујевац, 2008.
2. Б. Недић, В. Ђукић, Пластичне масе, скрипта, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
3. J. Shoemaker, MoldflowDesign Guide, Moldflow Corporation, Framingham, USA, 2006.

Крагујевац, Јун 2014.

ментор:

др Богдан Недић, ред. проф.

Симулација процеса бризгања пластичних маса

Марковић Александар

Резиме: Мастер рад је заснован на пројектовању алата и симулацији процеса бризгања пластичних маса. Најпре је дата систематизација најчешће коришћених пластичних маса, као и параметара процеса екструзионог бризгања. Приказан је пројектовани алат за бризгање пластичних маса и описане су његове основне карактеристике. Сагледане су могуће варијанте конструктивних решења места уливања и врсте уливака и њихов утицај на појаву деформација готовог производа. На основу резултата добијених симулације, који су приказани у табелама, изведени су одговарајући закључци, којима се предлаже усвајање тачкастог уливака који се поставља на средину калупне шупљине.

Кључне речи: пластичне масе, екструзионо бризгање, конструкција алата, симулација

Abstract: The master thesis is based on the design tools and simulation of plastic injection molding process. It was presented the systematization of the most commonly used plastic materials and injection molding process parameters. Shown is a design tool for injection molding plastic materials and describes the main characteristics of tool. Analyzed the possible variants of constructive solutions of place inflowing and types of gate and their common impact on the occurrence of deformation on the finished product. Based on the results obtained by simulations, which are shown in the tables, appropriate conclusions were made which propose the adoption of place inflow in the middle of the mold cavity with pin gate.

Key words: plastic materials, injection molding, design tool, simulation

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ И ПРИМЕНА ПЛАСТИЧНИХ МАСА	1
1.2. ПРОИЗВОДЊА И ПОТРОШЊА ПЛАСТИКЕ У СВЕТУ	2
2. ПЛАСТИЧНЕ МАСЕ – ПОЛИМЕРИ	6
2.1. ПАСТИЧНЕ МАСЕ	6
2.2 ПОЛИМЕРИ	7
2.2.1. ВРСТЕ ПОЛИМЕРА	8
2.2.2. ПОЛИЕТИЛЕН (ПЕ)	11
2.2.3. ПОЛИПРОПИЛЕН (ПП)	13
2.2.4. ПОЛИСТИРЕН (ПС)	14
2.2.5. ПОЛИВИНИЛ – ХЛОРИД (ПВЦ)	15
2.2.6. ПОЛИАМИД (ПА)	16
3. ПРЕРАДА ПЛАСТИЧНИХ МАСА БРИЗГАЊЕМ	19
3.1. ПОСТУПАК ЕКСТРУЗИОНОГ БРИЗГАЊА	21
3.2. ТЕМПЕРАТУРНИ УСЛОВИ У ПРОЦЕСУ БРИЗГАЊА	26
4. АЛАТ ЗА БРИЗГАЊЕ ПЛАСТИКЕ	29
4.1. НЕПОКРЕТНА СТРАНА АЛАТА (CAVITY)	32
4.1.1. УЛИВНИ СИСТЕМИ	35
4.1.2. ВРСТЕ УЛИВАКА	36
4.1.3. ЛОКАЦИЈА УЛИВКА	40
4.2. ПОКРЕТНА СТРАНА АЛАТА (CORE)	43
4.3. ИЗБАЦИВАЧКИ СИСТЕМ	48
4.4. ПРИМЕР ПРОЈЕКТОВАНОГ АЛАТА ЗА БРИЗГАЊЕ ПЛАСТИКЕ	49
5. ПРОЦЕС СИМУЛИРАЊА ЕКСТРУЗИОНОГ БРИЗГАЊА ПЛАСТИЧНИХ МАСА	51
5.1. ЦАЕ СИСТЕМИ	51
5.2. ОСНОВИ СИМУЛАЦИЈЕ	52

5.3. СИМУЛАЦИЈА ЕКСТРУЗИОНОГ БРИЗГАЊА	53
5.4 ЛОКАЦИЈЕ МЕСТА УЛИВАЊА	59
6. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА СИМУЛАЦИЈЕ	62
6.1. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈА ЕКСТРУЗИОНОГ БРИЗГАЊА	62
6.2. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА	71
7. ЗАКЉУЧАК	77
8. ЛИТЕРАТУРА	

Предговор

Током израде мастер рада везаног за индустрију решавани су практични проблеми и као резултат изведен је реалан предлог. Велика мотивација је дошла и од тога, што сам претходне године боравио на пракси у фирми SCGM д.о.о.

Писање овог мастер рада је трајало неколико месеци, док је сакупљање информација и знања потребних за његово комплетирање трајало много дуже. Постоји много људи којима дугујем захвалност на подршци, сарадњи и пруженим информацијама. Захваљујем се пре свега свом ментору, проф. др Богдану Недићу, на неизмерној помоћи и сугестијама, на томе што и када је било изузетно напорно и тешко није дозволио да посустанем и изгубим вољу. Веома сам захвалан Анђелки Станковић и Марији Јеремић, на подршци и техничкој помоћи.

Желим да се захвалим и господину Горану Матовићу, техничком директору фирме SCGM д.о.о., на пруженој могућности да свој мастер рад радим у поменутој фирми. Велику захвалност дугујем и свом ментору Марку Таковцу на свим пруженим информацијама током целог боравка у фирми, на изузетном разумевању, подршци и сарадњи.

Не могу да не поменем најбитније особе у читавој причи, моје родитеље и брата, који су били уз мене сваког трена протеклих година, и помогли ми својом подршком да успешно стигнем до краја студија.

1. УВОД

Материје које имају аморфну или кристалну макромолекуларну структуру чине велику групу конструкционих материјала који се једном речју називају пластичне масе. Пластичне масе се дефинишу као природни или синтетички модификовани полимерни материјали који имају својство обликовања разним поступцима прераде у форму готовог производа или полуфабриката широке примене.

1.1. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ И ПРИМЕНА ПЛАСТИЧНИХ МАСА

Пластичне масе се дефинишу као природни или синтетички модификовани полимерни материјали који имају својство обликовања разним поступцима у форму готовог производа или полуфабриката широке примене. Њихова примена је првенствено произашла из потребе замене скувих материјала. Међутим, употреба пластичних маса је у великој мери настала је услед потребе за добрим електричним изолаторима. До тада употребљавани природни материјали (дрво, каучук, азбест, мермер, итд.) нису могли да одговоре у потпуности сложеним захтевима конструкције и примене. Године 1847. шведски научник Џонс Јакоб Берзелиус (*енг. Jöns Jacob Berzelius*) направио је прву претечу полимера, полиестер, који је добијен од пропантриола и винске киселине. Берзелиус је први 1833. године употребио термин „полимер“, који је описивао органска једињења која су делила идентичне емпиријске формуле, али која су се разликовала у укупној молекуларној маси. Првим творцем широко примењиване пластичне масе сматра се Александер Паркерс (*енг. Alexander Parkes*). До проналаска је дошао 1861. године, а већ наредне године 1862. он је своје откриће представио у Лондону називајући свој материјал „Паркерсине“. Овај материјал је произведен из целулозе, имао је могућност загревања, обликовања и након хлађења је задржавао жељени облик. Међутим велика мана му је била то што је био јако скуп за производњу, склон пуцању и веома запаљив. Амерички проналазач Џон Весли Хајат (*енг. John Wesley Hyatt*) 1868. године развио је пластични материјал под називом „Целулоид“, који је био знатно бољих особина од „Паркенсине“. Целулоиди су настали једињењем нитроцелулозе и камфора, при чему су додавани боја и други агенси. Проналазач Хајат је са својим братом Исаијаном (*енг. Isaiah*) патентирао прву машину за бризгање пластике 1872. године. Ова машина је била релативно једноставне конструкције у поређењу са машинама које се користе данас. Машина је радила на сличном принципу као данашње машине за ињекционо бризгање.

Прво откриће на пољу синтетичких смола датира из 1872. године када је познати немачки хемичар Адолф фон Бауер (*енг. Adolf von Bauer*) открио да се из фенола и алдехида, уз додатак малих количина киселина, добијају смоласта једињења. Ове претече синтетичких пластичних смола су имале неповољна својства да се при загревању не топе нити растварају, а биле су крте и порозне па самим тим непогодне за

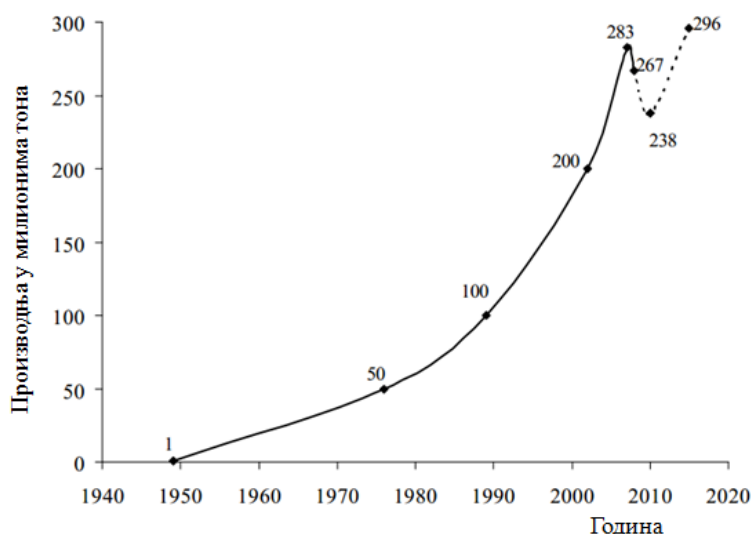
обраду. Ипак интересовање које је побуђено открићем довело је до истраживања које је већ почетком 20. века резултирало покретањем значајне индустрије чврстих синтетичких смола. Почетак индустријске експлоатације везује се за успехе хемичара Леа Бакеланд (*енг. Leo Baekland*) по коме су производи и добили назив Бакелит. Бакелит је претеча синтетички добијене пластичне масе, и представља прву синтетичку термореактивну пластичну масу.

Како се индустрија брзо ширила и развијала, са почетком Другог светског рата створила се потражња за јефтиним производима који би се производили масовно. Амерички проналазач Џејмс Ватсон (*енг. James Watson*) 1946. године направио прву машину за бризгање пластике чији се концепт засновао на коришћењу „пужа“, чиме се постигла знатно прецизнија контрола брзине бризгања и квалитета дела. Уз то, применом оваквог концепта омогућило се мешање материјала, па се додавањем различитих боја и примеса добијају различите карактеристике готових делова. Данас машине које раде на принципу „пужа“ (екструдери) су најчешће коришћене машине.

Бризгање пластике у индустрији је еволуирало током последњих двадесет година, производњом широког асортимана производа, укључујући ауто и авио индустрију, медицину, потрошачке производе, играчке, грађевинарство, итд.

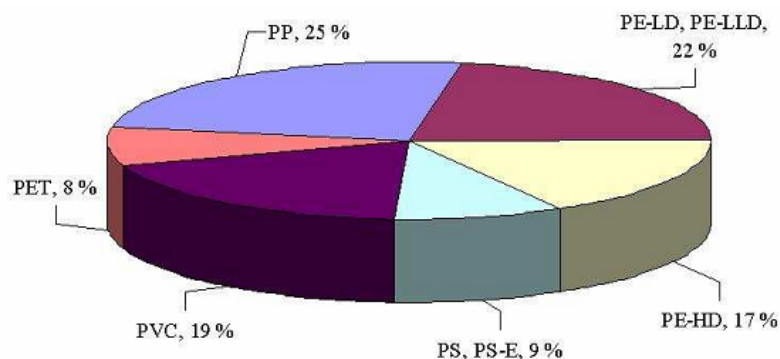
1.2. ПРОИЗВОДЊА И ПОТРОШЊА ПЛАСТИКЕ У СВЕТУ

Производња пластичних маса у свету је у константном расту задњих 60-ак година. Уколико се као полазна година узме 1949., када је произведено око милион тона пластичне масе, добија се константна стопа раста од око 9% (*слика 1.1*). У свету се прогнозира да ће у 2014. години производња пластичних маса бити око 280 милиона тона полимерних делова и материјала, од тога 260 милиона тона пластике и 20 милиона тона природног и синтетичког каучука.



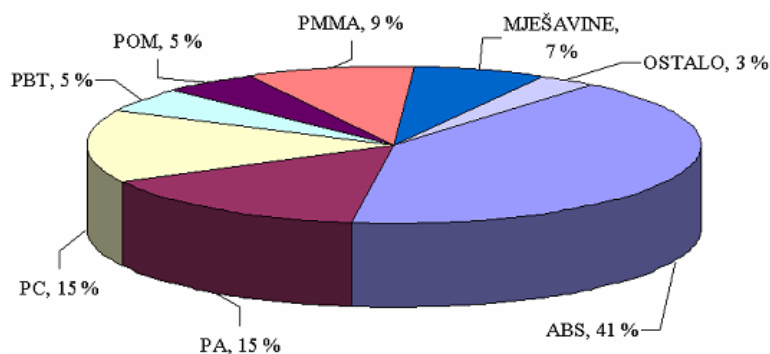
Слика 1.1. Преглед производње пластике у свету ^[1]

На слици слици 1.1 приказано је смањење количине произведене пластичне масе услед тренутне економске кризе у свету, тако да је у свету 2008. године произведено 30 милиона тона полимерних делова и материјала мање него што се то прогнозира за 2014. годину. Прогнозира се да ће бити произведено око 190 милиона тона широкопримјенивих пластичних маса [полиетилен ниске густине (ПЕ-ЛД), линеарни полиетилен ниске густине (ПЕ-ЛЛД), полиетилен високе густине (ПЕ-ХД), полипропилен (ПП), поливинил хлорид (ПВЦ), полистирен (ПС) и пенасти полистирен (ПС-Е)] од чега је највише различитих типова полиетилена (39 %), полипропилена (25 %) и поливинил хлорида (19 %) (слика 1.2).



Слика 1.2. Удео појединих широкоприменивих пластомера у светској производњи ^[1]

Конструкцијских пластомера је произведено нешто мање од 20 милиона тона, од чега је највише акрилонитрил-бутadiен-стирена (АБС-а) око 41%, полиамида (ПА) и поликарбоната (ПЦ) сваки са уделом од 15%, што је приказано сликом 1.3.



Слика 1.3. Удео појединих конструкцијских широкопримјенивих пластомера у светској производњи ^[1]

Тако велике количине употребљене пластичне масе стварају и велике количине пластичног отпада, па се пластични материјали, иако незамењиви у савременом друштву, сматрају једним од великих еколошких проблема данашњице.

Мастер рад је проистекао на основу знања стеченог током студија и искуства током обављања праксе у фирми SCGM д.о.о. која се бави прерадом пластичних маса као и израдом алата за њихову прераду. Рад обухвата поступак моделирања алата са различитим решењима постављања канала за уливање. Након тога је вршена симулације бризгања где је уочено како усвојено решење моделирања алата утиче на

степен деформације дела који се бризга. Стална тежња бољој организацији производње као и добијању делова што тачнијих димензија и квалитета површине, подстицај је за развој нових идеја и њихову реализацију. Захваљујући примени CAD/CAM/CAE система повећава се могућност оптимизације производње, проналажење бољих решења у самом процесу производње дела и све то уз помоћ рачунара.

Задатак овог рада представља проналажење најоптималнијих решења моделирања алата за бризгање пластике како би се смањило време бризгања, а уз то постигао бољи квалитет дела, као и његова димензиона тачност, односно деформације свеле на минимум. Идеја за овај рад развила се током бројних консултација са запосленима у фирми SCGM д.о.о. Након вишемесечне праксе у фирми SCGM д.о.о. стечена знања и искуства била су веома корисна, и било је пожељно то знање преточити у решење конкретног проблема.

У раду су садржане следеће целине:

- Прво поглавље представља уводно разматрање као и кратак преглед коришћења и употребе пластичних маса у свету;
- У другом поглављу су у сажетом садржају приказане најчешће коришћене пластичне масе, као и њихове основне карактеристике (посебна пажња је обрађена на Полиамид (ПА 6/6), из разлога што је то материјал који је коришћен при изради дела који се бризга);
- У трећем поглављу су побројане технологија прераде пластичних маса, са посебним освртом на технологију екструзионог бризгања;
- Четврто поглавље представља детаљан приказ једног алата за екструзионо бризгање пластичних маса, где су побројана све компоненте које један алат треба да садржи;
- У петом поглављу је приказано како се у једном од програмских пакета који служи за вршење симулације врше подешавања параметара пре пре пуштање исте, такође су приказана места и начини уливања која су узета у разматрање и између који је вршено испитивање;
- Шесто поглавље даје преглед добијених резултата након завршетка симулација као и њихову анализу.

У свету, пластичне масе све више проналазе своју примену, почев од амбалаже, играчака за децу, па све до њихове примене у електротехници, ауто и авио индустрији, грађевинарству, итд. Готово не постоји индустрија у којој се бар неке компоненте израђују од пластике. Са сталним развојем науке и технике, развијају се и пластичне масе а самим тим и њихова примена је све већа. Како се непрестано повећава потражња за пластичним масама са намером да се повећа квалитет производа, посматрано у ширем смислу, и смањи његова цена све више се води рачуна о оптимизацији и управљању процесима. Допринос може бити у виду више мањих промена као што су увођење економичнијих уређаја, алата, или пак побољшање саме технологије производње. Мотивација за писање овог рада била је унапређење процеса производње у

фабрици *СЦГМ д.о.о.* у техничком и економском смислу. Искуства и знања стечена током праксе у фирми *СЦГМ д.о.о.* аутору овог рада била су изазов да се упусти у решавање једног комплексног проблема.

2. ПЛАСТИЧНЕ МАСЕ – ПОЛИМЕРИ

2.1. ПАСТИЧНЕ МАСЕ

Пластичне масе су материјали који као основу садрже неки природни или синтетички полимер велике молекулске масе.

У пракси се врло ретко користе "чисти" полимери, с обзиром на високу цену полимера. Модификовањем својстава полимера добија се врло широк спектар материјала који носе општи назив пластичне масе.

У састав пластичних маса улазе:

- везива (неки од полимера);
- пуниоци (инертни материјали);
- адитиви.

Код највећег броја пластичних маса највећи део отпада на пуниоце (80-90%), док полимери учествују са свега 10 до 20%. Тиме се знатно смањује цена производње пластичних маса.

Пуниоци могу бити:

- прашкасти (дрвено и кварцно брашно, креда, талк, чађи сл.);
- влакнасти (стаклена и органска вуна, азбест и др.);
- листасти (хартија, тканине, дрвени фурнири и др.).

Пуниоци утичу и на техничка својства пластичних маса: смањују скупљање и деформабилност, повећавају отпорност на повишеним температурама, смањују горивост и др. Пуниоци који имају функцију армирања у материјалу (влакнасти и листасти) значајно повећавају затезну и савојну чврстоћу, отпорност на атмосферске утицаје итд.

Најчешће коришћени адитиви који се додају пластичним масама су: *пластификатори, стабилизатори, катализатори, боје, супстанце за формирање порозне структуре и др.*

- Пластификатори су супстанце које се додају са циљем повећања пластичности масе на нормалним температурама. Они олакшавају прераду пластичних маса, снижавајући температуру преласка полимера у високопластично стање. Садржај пластификатора у пластичним масама може да износи и до 50% у односу на масу полимера.
- Стабилизатори су супстанце које се додају пластичним масама у циљу спречавања њиховог старења.
- Катализатори су супстанце чијим се коришћењем смањује време очвршћавања пластичне масе. За бојење пластичних маса употребљавају се разни пигменти или органске боје. Садржај ових додатака обично износи 3–5% у односу на масу

полимера. Порозна структура пластичних маса постиже се довођењем полимера у пенасто стање или увођењем у полимер супстанци које развијају гасове услед којих долази до експанзије масе.

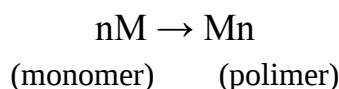
Основна својства пластичних маса

Специфичне масе пластичних маса крећу се од 0,5 до 2 g/m³, док запреминска маса зависи од остварене порозности и креће се у врло широким границама. Пластичне масе одликују се ниском топлотном проводљивошћу и високом вредношћу коефицијента линеарног ширења (5–10 пута већи него код других конструкционих материјала).

Чврстоћа пластичних маса може бити врло велика, нарочито у случајевима када је материјал армиран влакнима или листовима. Тада затезна чврстоћа може износити 200-300 МПа (нпр. пластичне масе армиране стакленом тканином). Чврстоће при затезању и савијању су врло блиске. Модул еластичности пластичних маса је знатно нижи него код других материјала. Највећи број пластичних маса је отпоран према деловању воде и водених раствора киселина, база и соли. Међутим, многе пластичне масе се лако растварају или бубре у органским растварачима. Старење представља врло озбиљан недостатак многих пластичних маса. До старења пластичне масе долази током времена услед загревања, деловања светлости, кисеоника и других фактора. Пластичне масе нису постојане на повишеним температурама. Највише њих подноси температуру 100-200°C, док пластичне масе на бази силикона постојане су и на температурама 300-500°C. При вишим температурама долази до топљења и сагоревања пластичних маса, што представља један од њихових великих недостатака.

2.2 ПОЛИМЕРИ

Пластичне масе, полимери су сложене органске супстанце које се добијају хемијском синтезом једноставних једињења – мономера. Ова врста хемијске синтезе назива се полимеризација. Полимеризација је један од поступака добијања полимера и представља реакцију добијања полимера из одговарајућих мономера, тако да у општем случају важи релација:



Величина "n" назива се степен полимеризације.

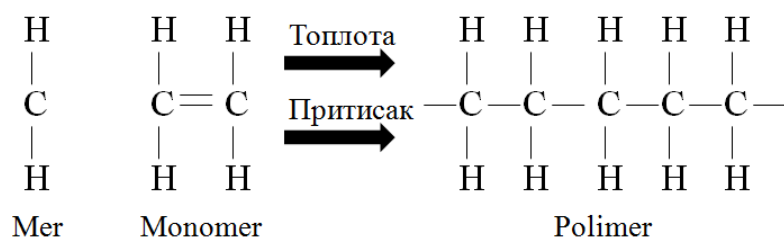
Основни поступци добијања полимера су:

1. *Полиадиција* – реакција раздруживања разноврсних молекула и спајање атома у полимере без излучивања нуспродуката (термопласти – ПУР; дуроласти – ЕП);
2. *Поликондензација* – реакција згушћивања и спајања разноврсних молекула уз излучивање нуспродуката, нпр: вода. Представници ове групе су претежно дуроласти МФ; ПФ; СИ; УФ; УП; термопласти ПА, ПЦ;

3. Полимеризација – реакција спајања истих или сличних молекула без нуспродуката, као што су термопласти ПЕ; ПП; ПС; ПВЦ.

Полимери (слика 2.1) припадају категорији високомолекуларних једињења, чији се молекули састоје од неколико стотина или неколико хиљада атома међусобно спојених валентним везама. Овако велики молекули називају се макромолекулима. Макромолекули се састоје у највећем броју случајева од великог броја структурних јединица које се вишеструко понављају.

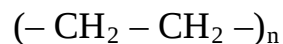
Као што из назива произилази, ове материје се састоје из више *мера*, који представљају основну јединицу једног молекула-мономера (од грчке речи *моно* = један и *meros* = део). Повезивањем великог броја мономера у дугачак ланчани молекул добија се полимер (од грчке речи *полис* = много, *мерос* = део) како је приказано на слици. Кад се каже да су молекули "полимеризовани" то значи да су међусобно повезани у веће агрегате, тј. макромолекуле или велике молекуле.



Слика 2.1. Формирање полимера ^[3]

У процесу синтезе полимера, због сразмерно великог степена полимеризације "n", практично је немогуће добити све потпуно једнаке макромолекуле. Полимери се деле на природне и вештачке. Одликују се мањом или већом тврдоћом, способношћу омекшавања на повишеним температурама, одређеним степеном порозности. Веома много подсећају на природне материјале за које се користи општи назив "смоле" (восак, ћилибар, битумен, природни каучук и др.).

Скроб, целулоза, свила, протеини су природни полимери. Синтетски полимери добијају се хемијским процесима у одговарајућим постројењима. Типичан синтетски полимер је полиетилен који се добија синтезом етилена $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$. Знак „=" означава да су групе CH_2 повезане двоструком везом. Формула полиетилена може се писати у облику:



2.2.1. ВРСТЕ ПОЛИМЕРА

Полимери се могу разврстати у више различитих група у зависности од физичких својстава, начина прераде, структуре, итд.

I – Према физичким својствима полимери се деле на: *еластомере, влакна и пластичне масе*. [14]

Еластомери – Међу макромолекулама владају мале интермолекуларне привлачне силе. Ради тога имају мали модул еластичности и то 1 - 10 МПа. На собној температури могу се еластично истегнути најмање до двоструке почетне дужине.

Влакна – Међу молекулама владају јаке интермолекуларне привлачне силе, јер постоји високи степен усмерене просторне оријентације молекула и висок интензитет кристаличне структуре. Модул еластичности влакана износи 10^3 - 10^4 МПа. Већина механичких својстава не зависи до температуре, унутар интервала од -50°C до 150°C .

Пластичне масе – Пластичне масе имају делимично кристаличну структуру, а интермолекуларне силе су средње величине. По својствима заузимају место између влакана и еластомера.

Уопштено, пластичне масе су материјали који се претежно састоје из органске макромолекуларне супстанце, са мало или без додатака. Својства им у великој мери зависе од температуре. Та својства су изражена и у процесу прераде која се врши на одређеној температури и притиску. Ако би се прерада вршила на другачијој температури и својства пластичне масе би, по правилу, била другачија.

II – Према начину прераде, полимери се деле на *термопластичне* и *термостабилне*.

Термопластични полимери – При загревању омекшају, тако да се могу прерађивати и обликовати, а након хлађења поново очврсну. Поступак загревања и хлађења може се поновити више пута. Међутим, уколико се прекорачи одређена температура, долази до непожељних хемијских реакција, а тиме и знатне промене својстава полимера. Термопластични полимери имају малу топлотну постојаност и малу тврдоћу, а неки од њих релативно малу отпорност на деловање хемикалија, посебно киселина. Најпознатији полимери ове врсте су: *полиетилен*, *поливинилхлорид*, *полистирен*, *полипропилен*.

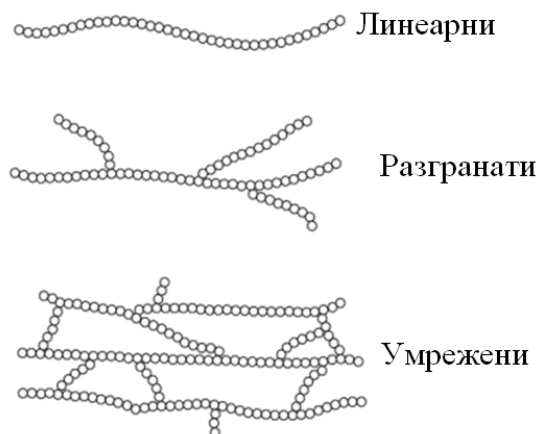
Термостабилни полимери – Након загревања и хлађења неповратно очврсну у нетопљиви полимер. Ова својства настају као последица хемијских реакција умрежавања које настаје код загревања. Имају већу чврстоћу, тврдоћу и бољу топлотну постојаност него термопластични полимери, а отпорни су према хемикалијама. Најпознатији термостабилни полимери су: *епоксиди*, *фенолформалдехиди*, *полиестери*.

III – С обзиром на структуру полимери могу бити линеарни, разгранати и умрежени слика 2.2.

Линеарни полимери настају повезивањем мономера у један константан низ или ланац, тако да је сваки *мер* повезан само са два суседна *мера*.

Разгранати полимери имају на неке од мера у главном ланцу везане краће бочне везе.

Умрежени полимери имају тродимензионалну просторну структуру. Састоје се од дугачких ланаца који су међусобно повезани краћим попречним везама.



Слика 2.2. Структура полимера ^[3]

Један макромолекул може бити изграђен од једног или више врста мономера. Дакле, полимери се могу поделити на две основне групе:

- хомополимери који су изграђени само од једне врсте мономера. Типичан представник ове групе је полиетилен (слика 2.3.);
- кополимери који су изграђени од две или више врста мономера. Типичан представник ове групе је поливинилхлорид.

Данас се користи веома велики број полимерних материјала (преко 10 000 комерцијалних), са масеним уделом од 80%, доминира група с четири "масовна" пластомера: ПЕ, ПП, ПС и ПВЦ. У табели су обухваћени најчешће коришћени пластомери (табела 1). Наведене ознаке пластомера изведене су из њихових назива на енглеском језику и међународно су прихваћене.

IV – У зависности од оријентисаности влакана (макромолекула)

Једна од најважнијих подела пластичних маса је у зависности од оријентисаности влакана, јер сама оријентисаност истих утиче на особине пластичне масе. Пластичне масе могу имати *аморфну* или *кристализациону* структуру.

У случају аморфне структуре (слика 2.3), макромолекули су међусобно хаотично распоређени, односно нема никакве геометријске правилности у њиховом простирању.

За разлику од аморфне структуре, материјали који имају кристализациону структуру имају делимично уређене макромолекуле, односно простирање влакана има геометријску правилност што је приказано сликом 2.4. [10]



Слика 2.3. Приказ аморфне структуре



Слика 2.4. Делимично кристална структура

У табели 1 су дати прикази најчешће коришћених полимера са њиховим ознакама:

Табела 1. Ознаке најчешће коришћених полимера и њихови ^[3]

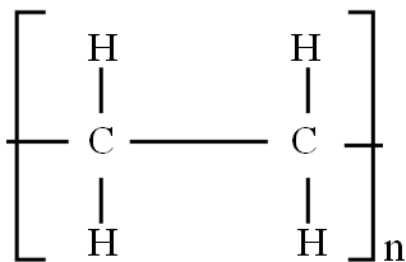
ОЗНАКА	НАЗИВ	ОЗНАКА	НАЗИВ
АБС	акрилнитрил-бутадиен-стирен	ПИБ	полиизобутен
ПММА	полиметил – метакрилат	ЦА	целулозни ацетат
ПОМ	полиоксиметилен	ЦН	целулозни нитрат (целулоид)
ПП	полопропилен	ППО	Полифенилен – оксид)
ПА	полиамид (најлон)	ППС	полифенилен – сулфид
ПБТ	полибутилен – терефталат	ПС	полистирен (полистирол)
ПЦ	поликарбонат	ПСУ	полисулфон
ПЕ	полиетилен	ПТФЕ	политетрафлуор – етилен (тефлон)
ПЕЕК	полиетаретар – кетон	ПВЦ	поливинил – хлорид
ПЕТ	полиетилен – терефталат	ПВДФ	поливинилиден – флуорид
ПИ	полиамид	САН	Полистирен (акрилонитрил)

2.2.2. ПОЛИЕТИЛЕН (ПЕ)

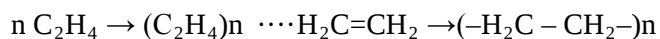
Полиетилен (ПЕ) најједноставнији је полиугљоводоник, а уједно и један од најпознатијих и најважнијих материјала данашњице. Индустрijски се производи полимеризацијом етилена, а лабораторијски се може добити и од диазометана.

Полиетилен се састоји од мноштва јединица $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ (слика 2.5), које међусобним повезивањем стварају ланчане макромолекуле великих молекулних маса опште формуле $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)-_n$. Једноставна структура макромолекула у издуженим планарним конформацијама омогућава њихову лагану кристализацију. Полиетилен се кристалише у транс-конформацији и под уобичајеним условима из растопа ствара

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



Хомополимер етилена седобија полимеризацијом мономера етана („етилена”):



Слика 2.5. Грађа полиетилена

Својства политилена 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 кристализационе 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 напрслина 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 напрслина 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.

На темељу разлика густине, односно просечне молекуларне масе, полиетилен се као технички материјал сврстава у неколико типова:

1. Полиетилен ниске густине (*eng.* low density polyethylene, LDPE)
2. Линеарни полиетилен ниске густине (*eng.* linear low density polyethylene, LLDPE)
3. Полиетилен високе густине (*eng.* high density polyethylene, HDPE)
4. Полетилен ултра високе молекулске масе (*eng.* ultra high molecular weight polyethylene, UHMWPE)

Табела 2. Примена полиетилена

ВРСТА	ПРИМЕНА
LDPE	- филмови за ламинацију папира, алуминијума и текстила; - кутије и посуде за паковање индустријских производа; - израда пластеника; - у електротехници за изолацију каблова;
LLDPE	- постепено замењује LDPE;
HDPE	- индустријске и кућне посуде већих димензија; - посуде и боце за амбалажирање прехранбених, фармацеутских и хемијских производа; - ојачан стакленим влакнима служи за израду чамаца и спортских бродова;
UHMWPE	- највише се користи за израду предмета од којих се захтева већа хемијска постојаност, постојаност према абразији и замору материјала; - велике транспортне посуде за угљ, руде, жито и друге пољупривредне производе;

2.2.3. ПОЛИПРОПИЛЕН (ПП)

Полипропилен (ПП) је пластомер линеарних макромолекула опште формуле $[-CH(CH_3)-CH_2-]$. Распоред метилних група 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 dobrим 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 пропилен 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 електрични

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.

Табела 3. Основна физичка и механичка својства полипропилена (ПП)

Особине Полипропилена (ПП)		
Густина	g/cm ³	0,90 – 0,91
Затезна чврстоћа	N/mm ²	31 – 41
Издужење при затезању	%	100 – 600
Модул еластичности	N/mm ²	1100 – 1500
Модул смицања	N/mm ²	800
Тврдоћа (Роквелл)		Р 800 – 100
Специфични топлотни	JK ⁻¹ g ⁻¹	2
Индекс лома		1,49
Топлотна проводност	WK ⁻¹ cm ⁻¹	12·10 ⁴

2.2.4. ПОЛИСТИРЕН (ПС)

Полистирен (ПС) је пластомер линеарних макромолекула опште формуле $[-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-\text{CH}_2-]$. 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 антистатици, 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 прерадљивост.

Хомополимерни полистирен је пластомерни материјал врло добрих механичких, топлотних и изолацијских својстава (табела 4). 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 електрични 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

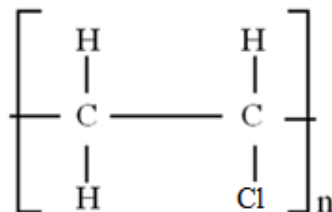
материјалу полистирен даје умерену крутост и добра прерађивачка својства, а еластомер му повећава еластичност и ударну жилавост.

Табела 4. Основна физичка и механичка својства полистирена (ПС)

Особине Полистирена (ПС)		
Густина	g/cm ³	1,05 – 1,06
Затезна чврстоћа	N/mm ²	35 – 55
Издужење при затезању	%	1 – 2
Модул еластичности	N/mm ²	2400 – 3300
Ударна жилавост	J/m	13 – 20
Тврдоћа (Роцквелл)		М 65 – 80
Специфични топлотни	JK ⁻¹ g ⁻¹	1,3
Индекс лома		1,59
Топлотна проводност	WK ⁻¹ cm ⁻¹	(10 – 14) · 10 ⁴

2.2.5. ПОЛИВИНИЛ – ХЛОРИД (ПВЦ)

Поливинил – хлорид (ПВЦ) је назив за групу пластомера који садрже макромолекуле са познавајућим јединицама $-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$, (слика 2.6). 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.



Слика 2.6 Грађа поливинил – хлорида

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 и
- 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.

Табела 5. Основна физичка и механичка својства поливинил – хлорида

Особине Поли (вилип – хлорида) (ПВЦ)			
		ТВРДИ ПВЦ	МЕКИ ПВЦ
Густипа	g/cm ³	1,38 – 1,55	1,16 – 1,35
Затезна чврстоћа	N/mm ²	40 – 60	10 – 25
Издужење при затезању	%	30 – 70	250 – 450
Модул еластичности	N/mm ²	20 – 1000	/
Ударна жилавост	J/m	/	25 – 1000
Тврдоћа (Схоре)		D 65 – 85	A 40 – 100
Специфични топлотни	JK ⁻¹ g ⁻¹	0,8 – 1,1	1,3 – 2
Индекс лома		1,52 – 1,55	/
Топлотна проводност	WK ⁻¹ cm ⁻¹	(15 – 20) · 10 ⁻⁴	(13 – 17) · 10 ⁻⁴

2.2.6. ПОЛИАМИД (ПА)

Полиамид (ПА) је пластомер линеарних макромолекула опште формуле $\dots\text{--NC}(\text{CH}_2)_5\text{CO--NC}(\text{CH}_2)_5\text{CO--NC}(\text{CH}_2)_5\text{CO--}$. Комерцијална употреба полиамида је почела 1940. године када се на тржишту појавио полиамид фирме Ду понте (енг. Ду Понт), који је носио ознаку “Нулон 66”. Полиамид је хомополимер који се користи у широком спектру технологија прераде екструдирања и бризгања пластике. У зависности од произвођача полиамид се на тржишту може наћи под различитим називима, па тако имамо: *Ultramid* – BASF (Немачка); *Durethan* – Bayer (Немачка); *Akulon* – Azko (Холандија); *Zytel* – Du Pont (Швајцарска). Главни атрибути због којих је употреба полиамида широка су изузетне механичке особине, чврстоћа (добра ударна жилавост), одлична хемијска и отпорност на абразију, мали коефицијент трења; отпорност на хабање. Утицај модификација полиамида као резултат даје низ полимера који садрже различите нивое појачане чврстоће (ударне жилавости) и флексибилности у комбинацији са одличном хемијском и термичком отпорношћу. На основу наведеног полиамид је подељен у више група, од којих свака садржи велики број типова полиамида, па тако имамо *Полиамид 6*, *Полиамид 66*, *Полиамид 610* и *612*, *Полиамид 11* и *12*. Стаклом (стакленим влакнима) ојачан полиамид даје веома велику жилавост, велику постојаност облика, изврсну постојаност на повишеним температурама (до 150 °C).

Полиамид 6/6 својствен по томе што се одликује врло високом течљивошћу (225 – 265 °C), већом тврдоћом, добром отпорношћу на хабање и лакоћом обликовања. Полиамид 6 (*Ultramid B*) је најекономичнији, лако се прерађује, тачка топљења му је 220 °C, поседује изврсна својства жилавости. Такође се одликује тиме што има високу отпорност на ударце, има добра пригушујућа својста и једноставан је за обраду. Полиамид 6 и полиамид 6/6 се користи код производа од који се тражи велика тврдоћа, крутост и велика отпорност на хабање. Па се од ових материјала најчешће израђују зупчаници, лежишта, клизни елементи, такође се користи у радио и телефонској индустрији, делови за ауто индустрију, рачунаре.

Полиамид 11 и 12 је карактеристичан по томе што има мали степен упијања влаге, па одатле има добру постојаност облика, температура течења му је око 185 °C. Полиамид 12 је сличан претходном, стим што му је температура течења око 175 °C. Примена ових полимера је за израду нарочито оптерећене делове високих захтева, за израду лежаче, озубљених летви, ременица, вођица, клизача.

Полиамид 610 (Ultramid S – BASF) и полиамид 612 се карактерише по високој температури течења (210 °C), посебно су отпорни на хемијска једињења и познати по малој абсорпцији влаге. Ови полиамиди се користе у електротехници и за израду делова од којих се тражи велика крутост.

Може се закључити да су најзначајније карактеристике полиамида следеће:

- висока чврстоћа и крутост;
- добре еластичне особине;
- изванредан отпорност на хемикалије;
- димензиона стабилност;
- изузетни клизна својства, мало трење;
- једноставна обрада.

Једна од негативних особина полиамида је та што је материјал изузетно хигроскопан. Као што је већ напоменуто полиамид 11 и 12 имају најмањи степен упијања влаге. Међутим код појединих типова полиамида, као што су полиамид 6 и полиами 6/6 својство упијања влаге не смањује се ни у случају да су 30% ојачани стакленим влакнима.

Табела 6. Техничке карактеристике полиамид

ВРСТА ПОЛИАМИДА (ПА)		ПА6	ПА66	ПА11	ПА12	ПА610	ПА612
Својста							
ФИЗИЧКА	Јединице						
Густина	g/m ³	1,12–1,14	1,13–1,15	1,03–1,05	1,01–1,02	1,07–1,09	1,06–1,08
Упијање влаге	%	1,3–1,9	1–1,5	0,2–0,3	0,15–0,25	0,3–0,45	0,3–0,4
ТОПЛОТНА							
Тачка топљења	°C	218–221	255–266	185–188	175–178	212–216	208–212
Линеарни коефицијент термичког ширења	m/m°C	7–9·10 ⁻⁵	6–9·10 ⁻⁵	9–12·10 ⁻⁵	9–12·10 ⁻⁵	8–10·10 ⁻⁵	9–11·10 ⁻⁵
Топлотна проводљивост	W/m°C	0,2–0,25	0,2–0,25	0,2–0,25	0,2–0,25	0,2–0,25	0,2–0,25
МЕХАНИЧКА							
Тврдоћа (HRC)	скала	R100–120	R112–121	R105–108	R103–108	R105–118	R102–118
Модул еластичности при растезању	N/mm ²	980–2940	1370–3140	980–1470	980–1570	1180–2550	1800–2550
Модул еластичности при савијању	N/mm ²	44–118	64–127	44–74	44–74	59–88	59–88
Затезна чврстоћа	N/mm ²	49–93	54–103	31–54	39–54	44–80	42–78

Као полазна сировина за израду дела који се израђује брызгањем узет је полиамид 6/6 (Ultramid A3K – BASF). Ова врста полиамида није ојачана стакленим влакнима, па је из тог разлога део који се брызга овим материјалом подложен каснијим деформацијама. Посебна пажња, као што је већ наглашено, треба да се обрати у случају да материјал садржи одређену количину влаге. У том случају полиамид је неопходно најпре осушити, па затим користити. Ова врста полиамида се одликује лакоћом теченја про брызгању. Претежно се користи у условима високо оптерећених техничких делова, као што су лежишта и зупчаници. У приказаној табели су дате техничке карактеристике за полиамид 6/6 (Ultramid A3K)

Табела 7. Карактеристике Полиамида 6/6 (Ultramid A3K –BASF) ^[8]

Полиамид 66 (Ultramid A3K)		
КАРАКТЕРИСТИКЕ		
	Јединице	Вредност
Основна својства на собној температури (23 °C)		
Густина	g/cm ³	1,13
Проценат упијања воде	%	8 – 9
Калупно скупљање	%	0,85
Проценат упијања влаге	%	2,5 – 3,1
Топлотне		
Температура топљења	°C	260
Температура растопа при брызгању	°C	280 – 300
Температура калупа	°C	40 – 80
Механичке		
Модул еластичности при истезању	МПа	3000
Издузење при затезању (при брзини V= 50 mm/min)	%	5
Затезна чврстоћа	МПа	85
Ударна живавост (Шарпијево клатно)	kJ/m ²	5,5
Модул савијања	МПа	2900
Тврдоћа (утискивањем куглице)	МПа	160
Термичке		
Коефицијент термичког ширења	10 ⁻⁴ /K	0,7 – 1
Температура при којој долази до деформације при деловању оптерећења мањег од 1,8 МПа	°C	75
Топлотна проводљивост	W(m · K)	0,33
Специфични топлотни капацитет	J(kg · K)	1700

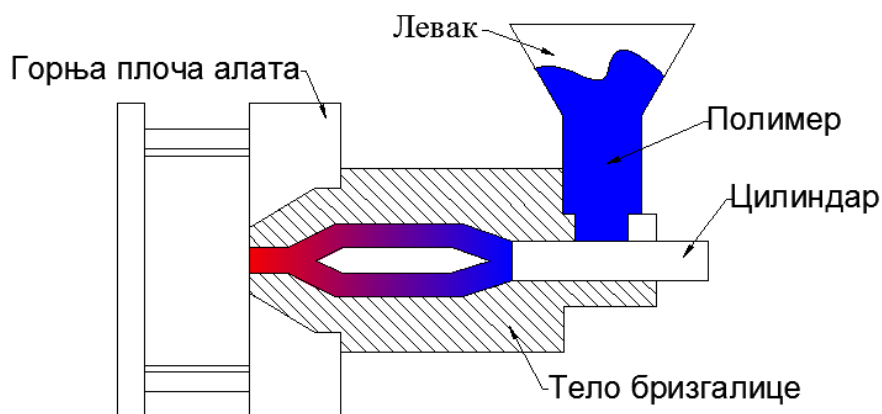
3. ПРЕРАДА ПЛАСТИЧНИХ МАСА БРИЗГАЊЕМ

Са обзиром на својства пластичне масе, величину серије као и облик готовог производа развијени су различити поступци прераде пластичних маса и одговарајући алати за обликовање производа. Полимери се израђују у облику праха, љуспица, гранула, зрнаца или смоле, а њихова прерада у готове производе изводи се процесима обраде као што су: пресовање, истискивање (екструзија), убризгивање, натапање, каландровање, ваљање и бројне методе резања и спајања.

Метода пресовања – Израда делова од пластичних маса пресовањем врши се у алатима (калупима) за пресовање, који имају једно или неколико профилисаних удубљења ("гнезда") са контуром која одговара облику дела. Удубљења алата се испуњавају пластичном масом (у чврстом или растопљеном стању) и под дејством топлоте и притиска изводи се обликовање дела. Основни поступци израде делова од пластичних маса у алатима за пресовање су:

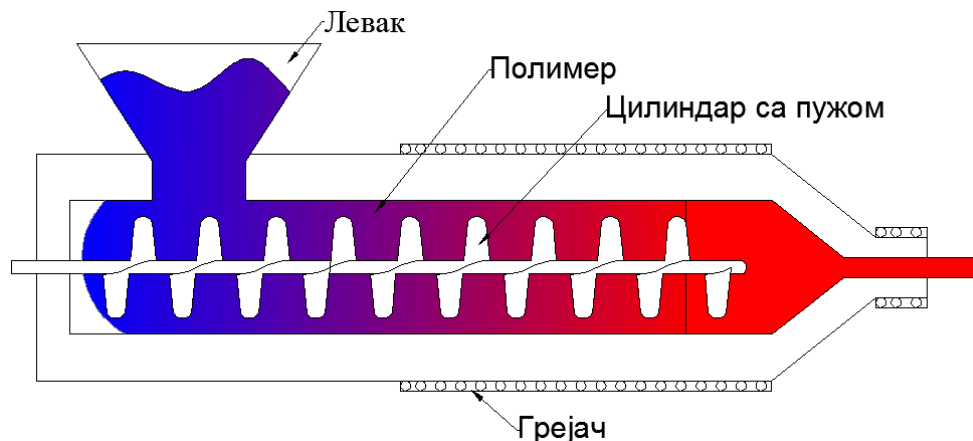
- обично пресовање;
- посредно пресовање;
- ињекционо пресовање.

Ливење под притиском – Ливење под притиском (слика 3.1) је са економског аспекта најзначајнији поступак прераде термопласта. Изводи се у одговарајућим алатима на специјалним машинама за ињекционо пресовање. И поред великих трошкова набавке опреме (машина и алата) овај поступак даје велике предности код серија од само неколико хиљада комада.



Слика 3.1. Ливење под притиском^[4]

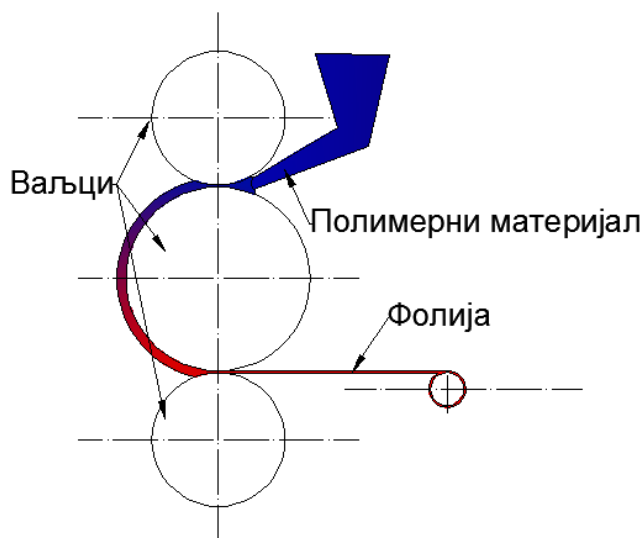
Процес континуалног бризгања – Екструдирање или истискивање (слика 3.2), примењује се за прераду пластичних маса на посебним машинама, екструдерима. Маса за прераду се сипа кроз левак у цилиндар, захвата пужем и услед топлоте се стапа, односно она се гура према глави која у себи садржи сита кроз која се истискује пластична маса. На овај начин израђују се цеви, траке, профили.



Слика 3.2. Процес екструзионог бризгања^[4]

Каландровање – Каландровање (слика 3.3) је слично ваљању метала. Примењује се за добијање танких фолија. Суштина поступка је у вишеструком пропуштању фабриката кроз загрејане ваљке, тако да се дебљина стално смањује. Каландровањем се добија фолија дебљине од 0,04 до 3 mm. Овај поступак се изводи помоћу машине која се назива каландер. Производња на каландеру је континуална и користи се у масовној производњи, када је потребно производити велике количине. Три основне врсте каландера су:

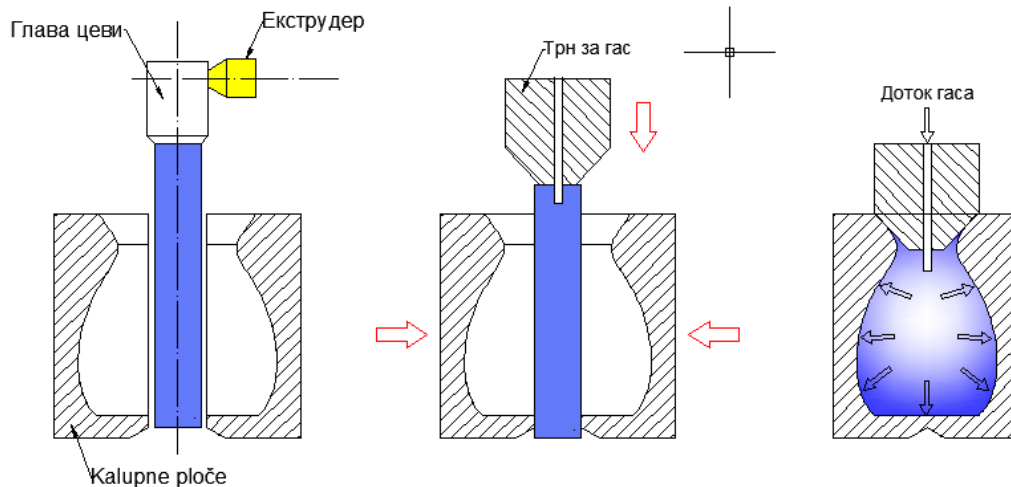
1. каландери за извлачење фолија,
2. каландери за пеглање,
3. каландери за утискивање дезена



Слика 3.3.. Шема каландровања^[4]

Дување – Дување је поступак обликовања шупљих производа претежно од термопласта. Овим поступком обраде се обично израђују боце. Претходно обликована маса у облику црева, још у топлем стању, доводи се унутар отвореног алата (слика 3.4). Алат се затвара, а затим долази до пуштања гаса (најчешће ваздуха) у црево и шири га

према облику калупа у којем се све то одвија, тако да у зависности од облика калупа зависи и облик готовог дела. Након хлађења алат се отвара и вади се производ.



Слика 3.4. Процес обраде дувањем^[5]

3.1. ПОСТУПАК ЕКСТРУЗИОНОГ БРИЗГАЊА

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.

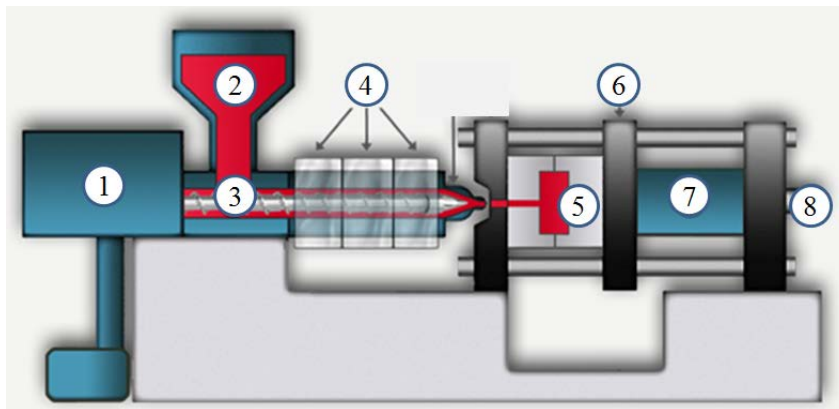
Екструзионо бризгање се дефинише као процес трансформисања истискивањем растопљеног полимера у алатну шупљину. Истиснути полимер очвршћује у готов производ, полимеризацијом и/или умрежавањем. Екструзионим бризгањем се израђују производи или полупроизводи. То су производи за потребе ауто и авио индустрије,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

У задјних 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 3.5. су:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Електромотор; | 5. Алат; |
| 2. Левак са полимером; | 6. Доња потисна плоча; |
| 3. Цилиндар са пужем; | 7. Покретна старана алата; |
| 4. Грејач; | 8. Прикључак за покретну страну машине. |



Слика 3.5. 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 3.1:

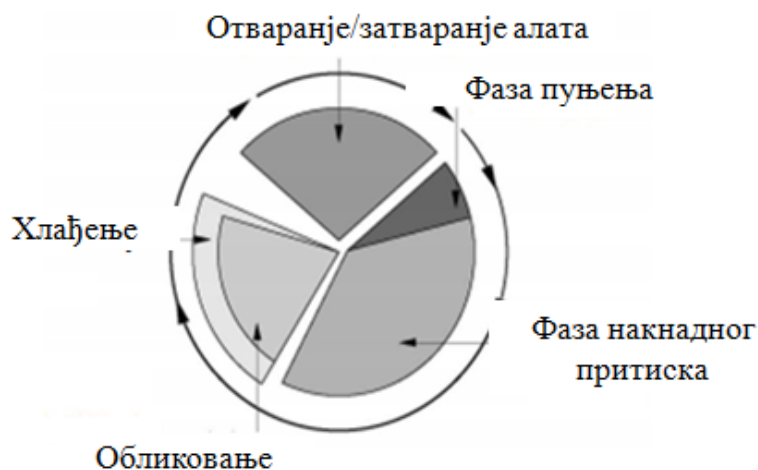
1. Зона увлачења;
2. Зона притискивања – компресије;
3. Зона истискивања.

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 двојако, 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.

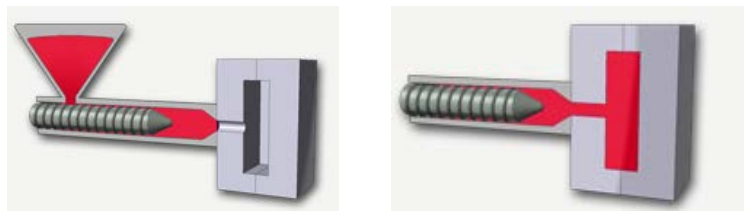
Циклус прераде пластичне масе (слика 3.6.) састоји се из више фаза:

- затварање алата;
- бризгање растопљене масе у шупљину алата;
- фазе накнадног притиска да компензује сакупљање;
- фаза хлађења;
- фаза отварања алата;
- избацивање дела.



Слика 3.6. Основни циклуси процеса бризгања^[2]

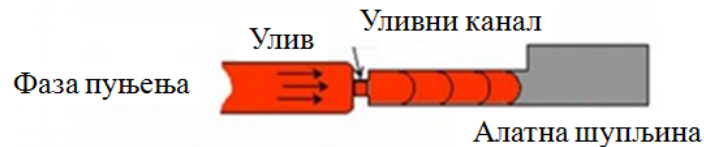
Као што је приказано на слици 3.6, прва фаза циклуса је затварање калупа (алата), а остварује се јединицом за затварање. За ту операцију потребно је одређено време затварања калупа. Након тога следи приближавање млазнице уливку калупа, након чега следи операција убризгавање растопа у калупну шупљину, као што је приказано на слици 3.7.



Слика 3.7. Поступак попуњавања калупне шупљине^[2]

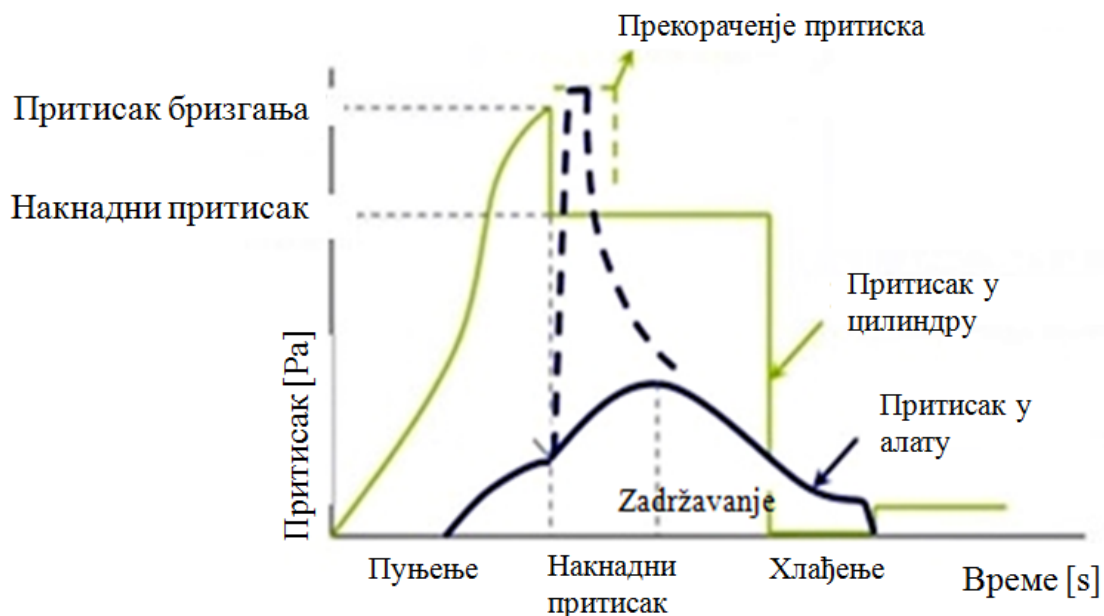
Попуњавање калупне шупљине следи након затварања алата и представља једну од најважнијих фаза производног циклуса. Фаза пуњења (слика 3.8) почиње од тренутка попуњавања калупне шупљине до тренутка дејства додатног притиска (услед процеса скупљања услед хлађења). Обично овај временски период зависи од величине

дела који се бризга и капацитета постројења за бризгање. Процес бризгања престаје када је калупна шупљина испуњена на неких 95 %.



Слика 3.8. Процес попуњавања калупне шупљине^[2]

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 3.10. Након фазе попуњавања калупне шупљине следи фаза додатног притиска, која служи да компензује сакупљање, које настаје у процесу очвршћавања, што је приказано пВТ дијаграмом на слици 3.9.



Слика 3.9. Приказ pVT дијаграма у циклусу бризгања^[2]

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 притиска почне пребрзо, радни комад неће правилно и потпуно попити калупну шупљину. Као последица тога може доћи до изливања растопљене пластичне масе или до лома алата.



Слика 3.10. Фаза накнадног притиска^[2]

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 непомичног 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 теченја 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.

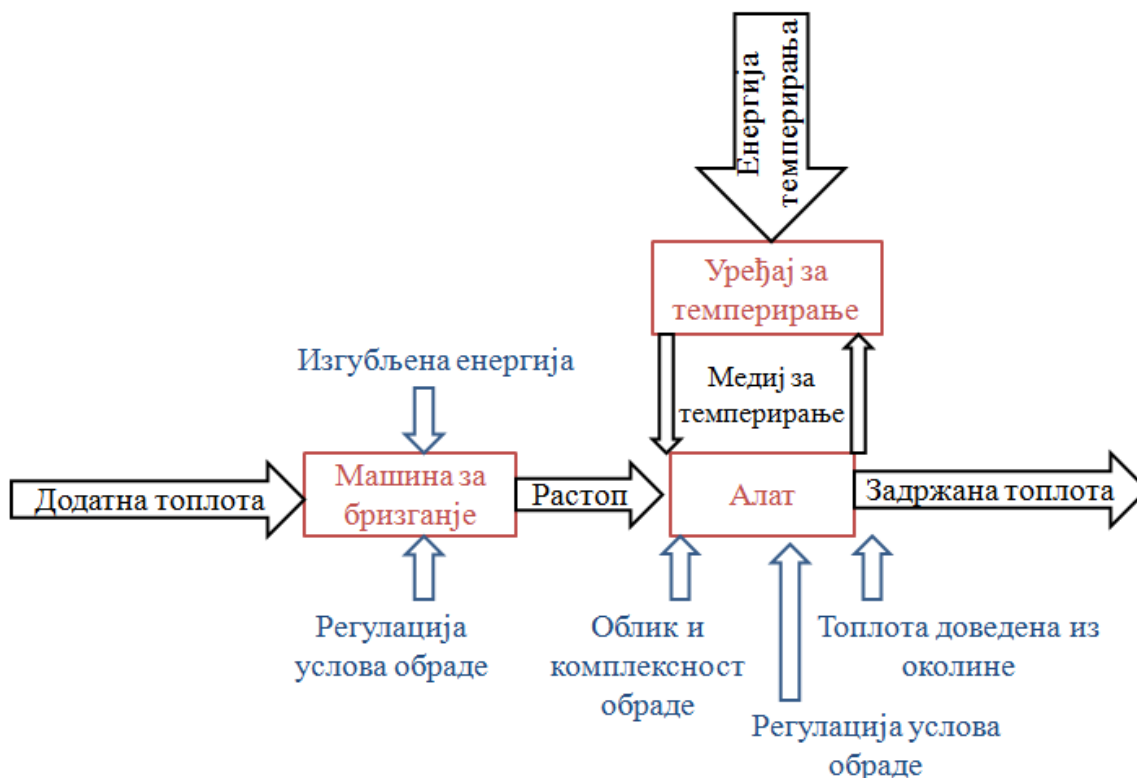
На основу претходног израза може се закључити да температура алата има велику важност, и велику утицај на време хлађења.

3.2. ТЕМПЕРАТУРНИ УСЛОВИ У ПРОЦЕСУ БРИЗГАЊА

Термодинамички процеси у алату за бризгање пластике су данас добро описани у савременим софтверским пакетима, чији се рад заснива на математичким прорачунима, односно помоћу методи коначних елемената. Пре тога се конструкција алата заснивала помоћу номограма (скупа графичких криви), дијаграми са информацијама о расподели и других термичких карактеристика у зависности од карактеристика пластичне масе. Тренутно се при већини конструкција алата за бризгање употребљава анализа и оптимизација термодинамичких својстава алата са применом модерних МКЕ (метода коначних елемената) пакета због технолошке и економске оптимизације производа. Уз помоћ претходно наведене анализе, контрола система температуре повезана је и зависи од карактеристика пластичне масе као и од саме конструкције система за хлађење. Термодинамички процес бризгања пластике је приказан блок шемом на слици 3.11.

Контрола температуре у току процеса бризгања пластичне масе директно утиче на:

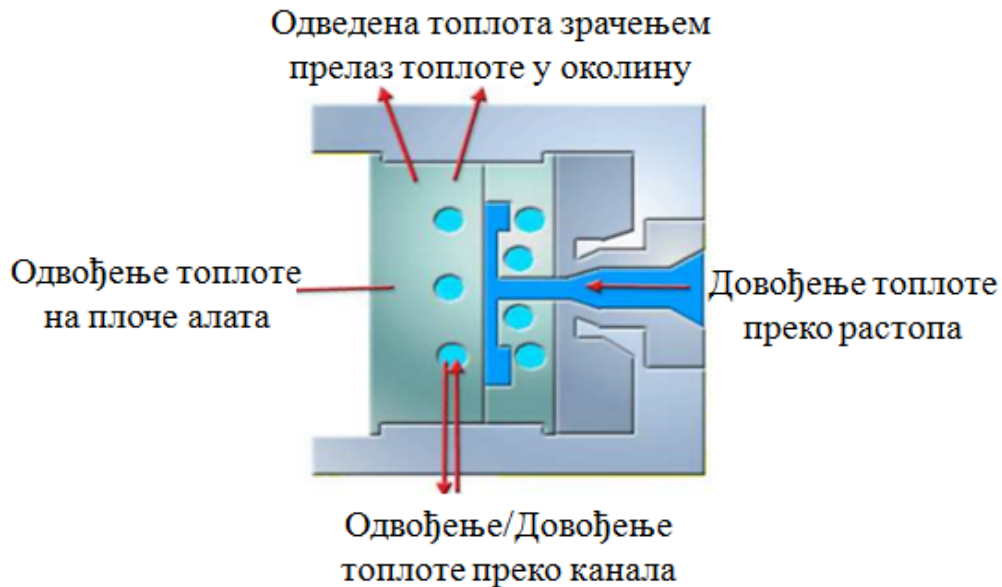
- изглед површине и њен квалитет;
- заостали напони;
- кристализација;
- димензијска тачност;
- структура материјала и оријентација влакана.



Слика 3.11. Приказ термодинамичког склопа и веза између њих

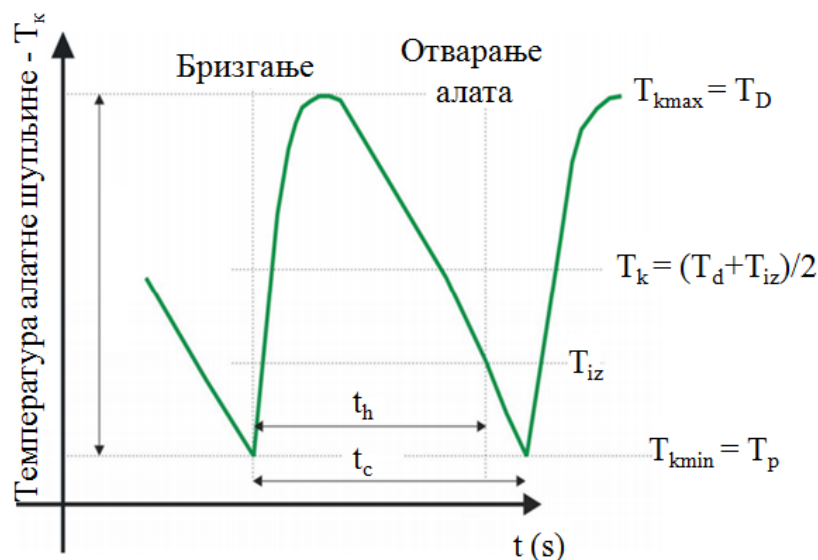
Ефикасност система за хлађење темељи се на:

- пренос топлоте између растопа и површине алата;
- пренос топлоте преко алата;
- прелаз топлоте између система за хлађење и медијума.



Слика 3.12. Приказ расипања топлоте током процеса бризгања пластике[2]¹

Процес бризгања пластике као што је већ речено представља цикличан процес обраде, такав где температура алатне (калупне) шупљине варира око неке средње вредности, што је приказано дијаграмом на слици 3.13.



Слика 3.13. Дијаграм варирања температуре алатне шупљине у процесу бризгања[2]²

Максимална температура алатне (калупне) шупљине је дефинисана изразом (3):

$$T_{KMAX} = T_D = \frac{T_b b_k + T_T b_p}{b_k + b_p} \quad (3)$$

где је:

- $T_p = T_{\text{KMIN}}$ – почетна температура алатне (калупне) шупљине;
- T_{KMAX} – максимална достигнута температура у алатној (калупној) шупљини;
- b_k – топлотна проводност алатних улаза;
- b_p – топлотна проводност полимера;
- T_p – почетна температура алата;
- T_T – температура растопљене пластичне масе.

Једначина (4) представља времена хлађења пластичног дела и гласи:

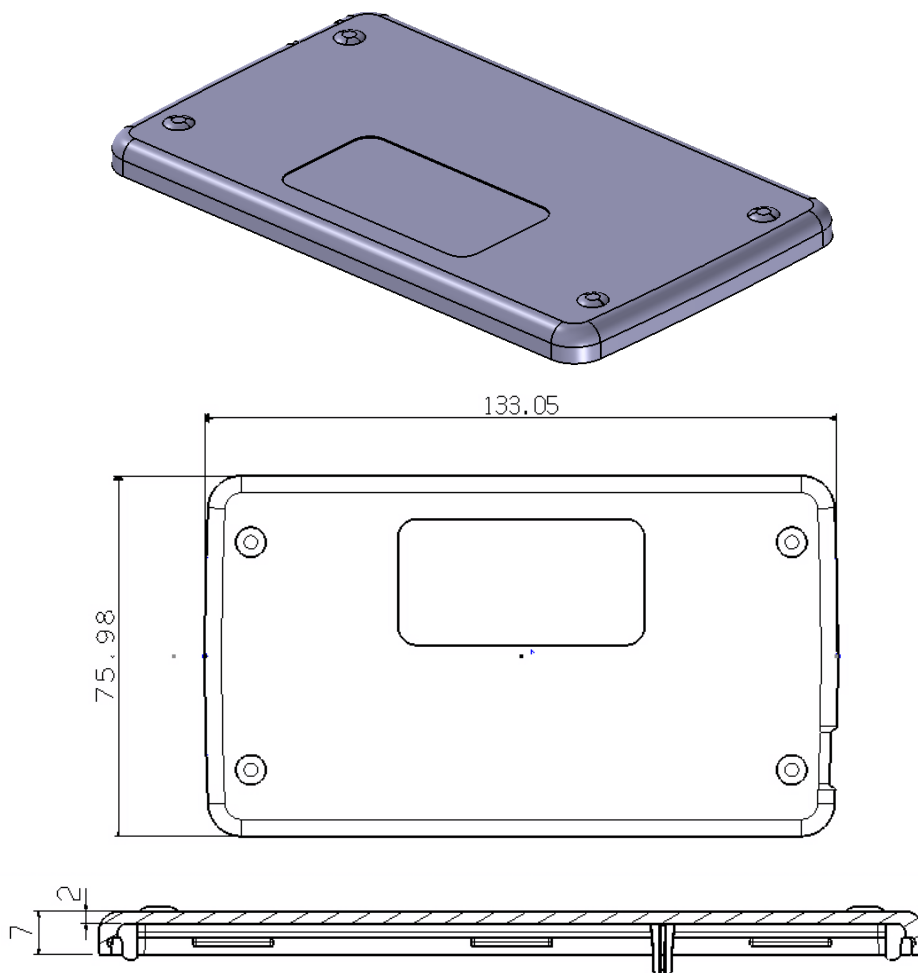
$$t_h = \frac{b_0^2}{K_0 \pi^2 a_{ef}} \ln \left[K_U \frac{T_T - T_K}{T_U - T_K} \right] \quad (4)$$

где је:

- b_0 – карактеристична димензија производа,
- a_{ef} – коефицијент топлотне проводност материјала,
- K_U – фактор облика дела,
- T_T – температура растопља,
- T_K – температура алата
- T_U – температура избацивања.

4. АЛАТ ЗА БРИЗГАЊЕ ПЛАСТИКЕ

За израду делова од пластичних маса поред машине (екструдера) основни део је и алат који има задатак да формира жељени облик. Може се закључити да алати за бризгање пластике представљају један сложен склоп који се састоји од мноштва елемената. На примеру приказаног дела, поклопац кућишта (слика 4.1), који се израђује процесом екструзионог бризгања биће приказан одговарајући алат, помоћу којег се добија предмет са слике 4.1, као и основни елементи алата.



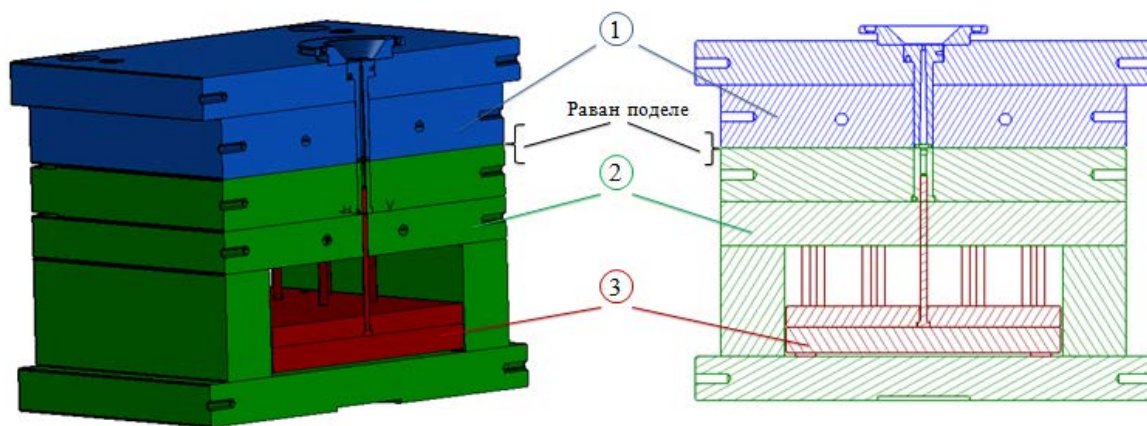
Слика 4.1. Предмет обраде, поклопац кућишта

Основна улога алата за бризгање пластике је да у току једног циклуса бризгања обликује један или више производа, односно да преузме из екструдера растопљену пластичну масу, спроведе је одговарајућим уливним каналима до калупне шупљине, правилно испуни калупну шупљину, охлади растопљену пластичну масу, преведе је у чврсто стање и на крају избаци готов производ. Конструкцијски захтеви алата се огледају у томе што се од алата захтева да преузме све силе током бризгања без појаве деформација, осигура тачно вођење и кретање алата током његовог отварања и затварања. Алат се може поделити у зависности од више критеријума:

1. Према броју гнезда на: алате ја једним и више гнезда;
2. Према броју разделних плоча: са две разделне, са три разделне плоче;
3. Према начину вађења производа: са избацивачима, клизачима, вијком.

Основно стандардно кућиште се састоји од великог броја плоча (потисних, калупних, избацивачких, разделних, међуплоча), одговарајућих завртњева које служе да повежу споменуте плоче, вођица и центрирајућих чаура које обезбеђују тачно и прецизно вођење алата. Поред наведених, ту је и велики број помоћних и додатних елемената (елемената за регулацију температуре, уливака, центрирајућег прстена). Све ови наведени елементи се могу поделити у три велике целине које су приказане сликом 4.2, а то су:

1. Непокретна страна алата (Cavity);
2. Покретна страна алата (Core);
3. Избацивачки систем.

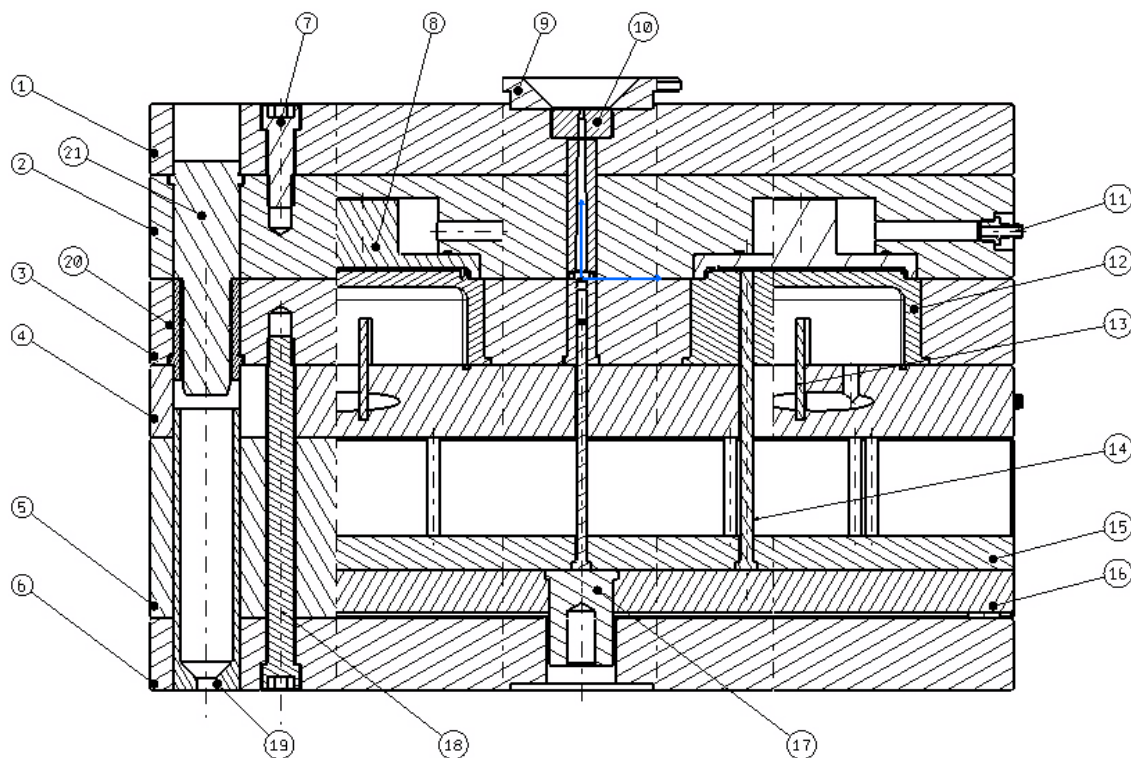


Слика 4.2. Алат за бризгање пластике

Задатак конструктора је да пре свега одабере број језгара, односно колико ће се предмета обраде у једном циклусу у алату бризгати, затим на основу димензија дела који се добија бризгањем, његовог положаја током процеса бризгања усваја се стандардна димензија кућишта алата за бризгање које могу бити малих димензија типа 96x96 mm, преко кућишта димензија 296x446, 496x796 mm, кућишта изузетно великих димензија типа 996x1096 mm, као и пратећих помоћних елемената који су такође стандардизовани. За део приказан сликом 4.1 усвојено је стандардно кућиште из мојзбургеровог каталога димензија 396x546 mm. Стандардне димензије кућишта као и елемената узимају се из каталога произвођача као што су *Meusburger*, *Hasco*, *Thermoplay*, *Synventive*. Након одабира броја језгара, њихов положај у алату зависи од начина и врсте уливања. Сама конструкција алата зависи од великог броја фактора као што су пре свега карактеристике дела који се бризга (димензије, облик, дебљина зида), врста пластичне масе од које се део израђује а заједно са тиме и систем за регулацију температуре, начин избацивања готовог производа, канала за уливање као и начина и места уливања пластичне масе.

На основу одабране пластичне масе и њених карактеристике, поглавље 2.2.6 од које се добија предмет обраде, начина регулације температуре, поглавље 3.2, као и од

врсте уливног система и места уливања, поглавље 4.1.1 за део приказан сликом 4.1 пројектован је алат помоћу којег се процесом екструзионог бризгања добија готов део. Алат, као и његове основне компоненте приказане су сликом 4.3, док су табелом 4.1 дати називи елемената.



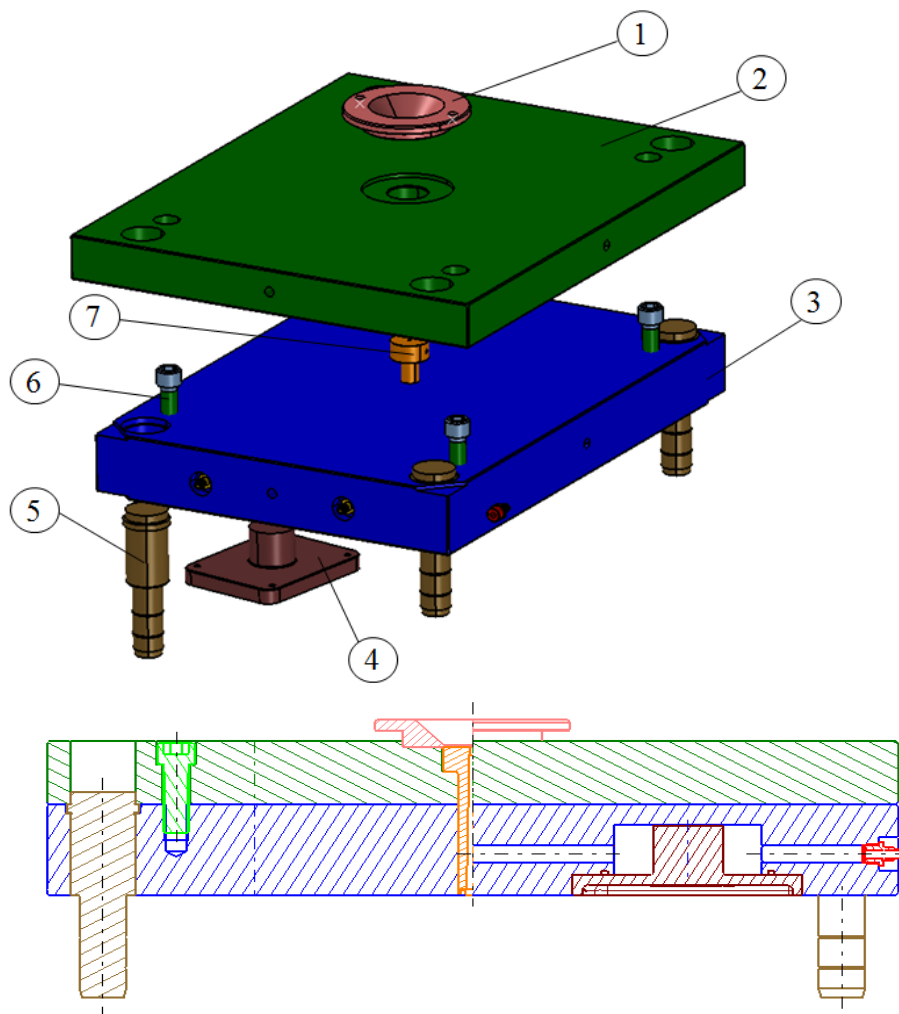
Табела 4.3. Алат за бризгање

Табела 4.1. Називи елемената

РЕДНИ БРОЈ	НАЗИВ ЕЛЕМЕНТА	РЕДНИ БРОЈ	НАЗИВ ЕЛЕМЕНТА
1.	НЕПОМИЧНА ПОТИСНА ПЛОЧА	12.	КАЛУП У ПОКРЕТНОЈ СТРАНИ АЛАТА
2.	НЕПОМИЧНА КАЛУПНА ПЛОЧА	13.	ПРЕГРАДНИ ЗИД
3.	ПОМИЧНА КАЛУПНА ПЛОЧА	14.	ИЗБАЦИВАЧ
4.	МЕЋУПЛОЧА	15.	ГОРЊА ИЗБАЦИВАЧКА ПЛОЧА
5.	ОДСТОЈНИЦИ (МЕЋУПЛОЧА)	16.	ДОЊА ИЗБАЦИВАЧКА ПЛОЧА
6.	ПОМИЧНА ПОТИСНА ПЛОЧА	17.	ЕЛЕМЕНТ ЗА ВЕЗИВАЊЕ НА ПОКРЕТНУ СТРАНУ МАШИНИ
7.	ЗАВРТАЊ	18.	ЗАВРТАЊ
8.	КАЛУП У НЕПОКРЕТНОЈ СТРАНИ АЛАТА	19.	ЦЕНТРИРАЈУЋА ЧАУРА
9.	ЛОЦИРАЈУЋИ ПРСТЕН	20.	ЦЕНТРИРАЈУЋА ЧАУРА
10.	ДИЗНА	21.	ВОЂИЦА
11.	ПРИКЉУЧАК ЗА РЕГУЛАЦИЈУ ТЕМПЕРАТУРЕ		

4.1. НЕПОКРЕТНА СТРАНА АЛАТА (CAVITY)

Као што је напоменуто, једна од три веће целине алата за бризгање пластике је непокретна (Cavity) страна алата. Овај део алата се поставља на непокретну страну машине за бризгање пластике (екструдер) и не врши никакво кретање током процеса бризгања, већ се кроз овај део алата убризгава растопљена пластична маса из екструдера у калупње шупљине. Ова део алата се састоји од великог боја елемената (слика 4.4), чије су функције и намене различите.



Слика 4.4. Непокретна (Цавиту) страна алата за бризгање пластике

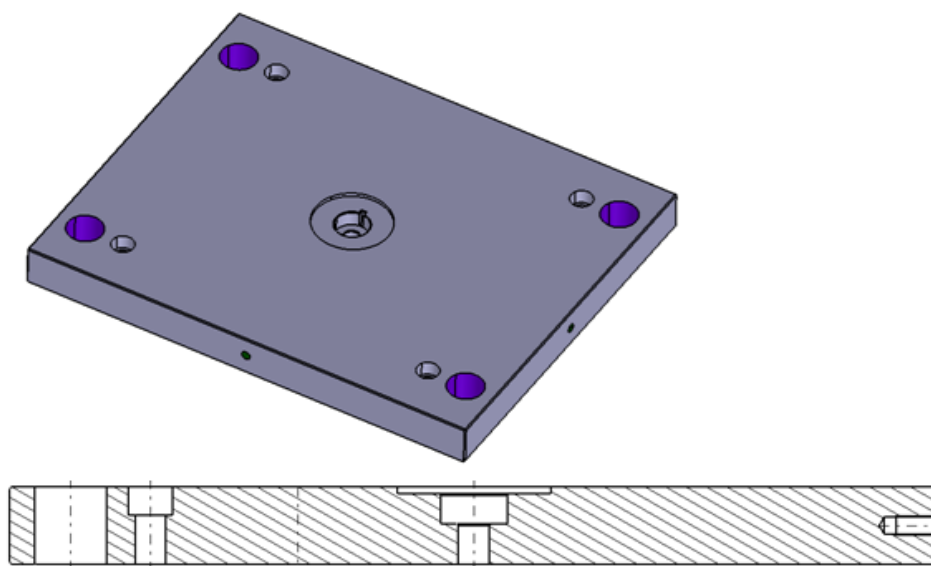
Са слике 4.4 се може видети да се неки од главних компоненти непокретне стране алата:

1. Центрирајући прстен – омогућава правилно постављање и центрирање алата у односу на осу млазнице;
2. Непомична потисна плоча – служи за стезање алата на непомичну страну машине, обично је већа ради лакшег стезања;
3. Непомична калупна плоча – у њој се налазе гнезда или упресовани уметци (калупи), уливни канали, разводни канали и канали за хлађење;
4. Калуп (матрица) – обликује радни комад, чврсто је спојен стезном плочом;
5. Вођица – служи за тачно и прецизно вођење алата.

6. Завртањ – служи да чврсто споји стезну и плочу са матричним уметком;
7. Уливни канал (Дизна) – спроводи растопљену пластичну масу у разводне канале и калупне шупљине.

Непомична потисна плоча

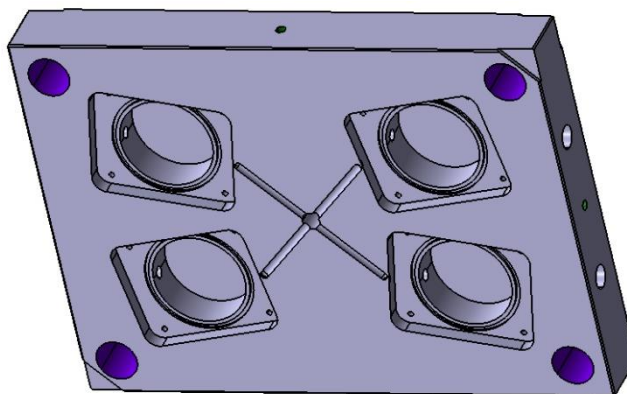
Непомична потисна плоча има функцију да све компоненте које се налазе на непокретној страни алата “стегне”, односно осигура њихов положај како не би дошло до њиховог померања услед дејства сила и притисака које су саставни део једног циклуса бризгања. Још једна од улога потисне плоче, која је приказана сликом 4.5, је и та да се уз помоћ ње алат поставља (везује) на непокретну страну машине (бризгалице). Потисна плоча се за непомичну калупну плочу везује завртњевима. Такође је битно нагласити, као што је на слици 4.3 приказано, у стезну плочу се поставља диза као и лоцирајући прстен.



Слика 4.5. Непомична потисна плоча

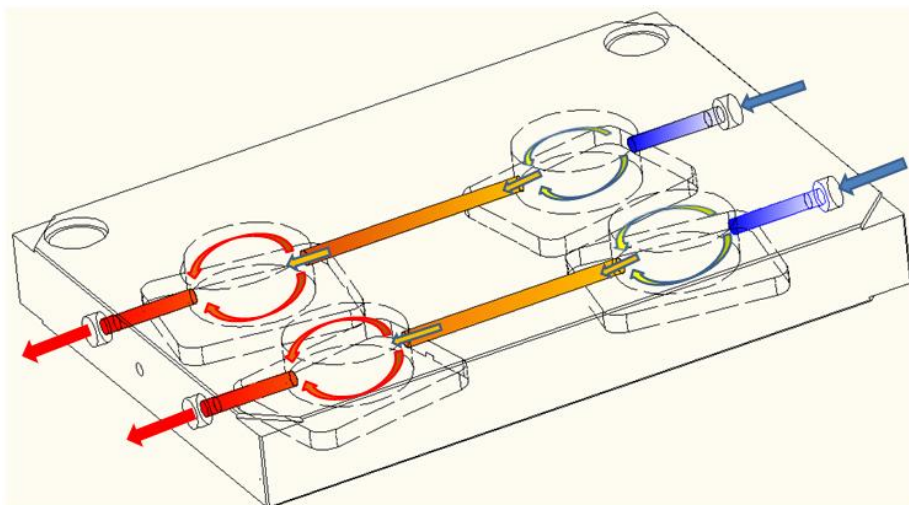
Непомична калупна плоча

Непомична калупна плоча плоча која се везује на непомичну потисну плочу, по димензијама је најчешће мања од ње. У калупној плочи (слика 4.6) се израђују калупи (матрице) или се у њу уграђују, у случају да је из техничко – технолошких разлога потребно да матрица буде од другог материјала. При конструкцији алата за бризгање пластике за приказани радни предмет усвојено је да алат има четири језгра, што значи да у једном циклусу бризгања добије четири радна комада. У плочи се у том случају израђују одговарајући отвори у које се усађују већ израђене матрице, што код алата за приказани део није случај. Због немогућности да се уметак упресује у плочу због својих габаритних димензија, он се са доње стране плоче за њу везује завртњевима. Поред отвора за матрице у плочи се још израђују и канали за уливање пластике. У зависности од начина постављања канала за уливања, његовог облика и величина зависи квалитет готовог производа, због тога је неопходно прорачунати могуће дефекте и одабрати најоптималније решење.



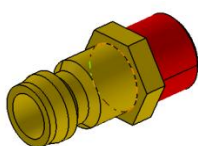
Слика 4.6. Непомична калупна плоча са приказаним отворима за постављање калупа

Као једно од идејних решења усвојено је да уливни канал буде у облику филма, слика 4.14. Поред уливних канала велику улогу на квалитет готовог дела имају и канали за регулацију температуре (слика 4.7). У трећем поглављима је споменуто да време хлађења као и сам начин хлађења престављају један од битнијих параметара у самом процесу бризгања, па је из тог разлога веома битно правилно поставити канале за хлађење. Како не би дошло до цурења течности која се користи за регулацију температуре, у непомиочној калупној плочи се израђују канали и у њих постављају одговарајуће заптивне гумице. На слици 4.7 је приказано решење постављања и израде канала за регулацију температуре.



Слика 4.7. Систем за регулацију температуре

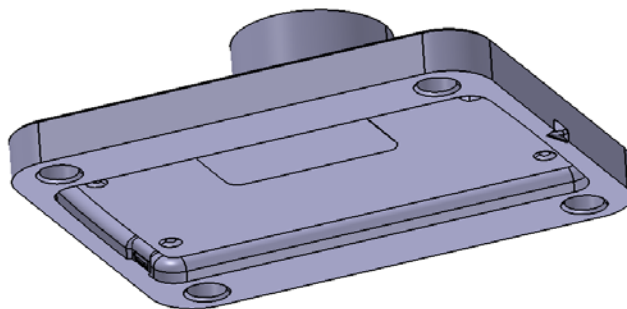
Како би се цео систем прикључио на уређај којим се врши регулација температуре, у непомичну плочу са уметком, односно у канале за регулацију температуре постављају се посебни прикључци (слика 4.8) да би се цео систем лакше повезао.



Слика 4.8. Прикључак

Калуп (матрица)

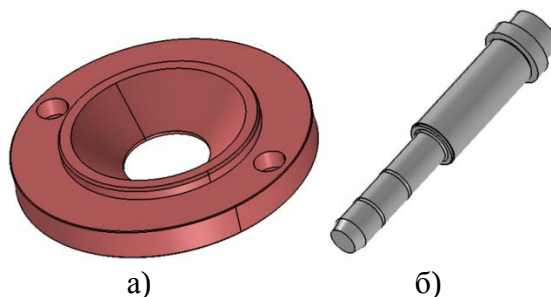
Калуп представља још један од важних елемената алата за бризгање пластике. Он може бити израђен у непомирној калупној плочи, али се чешће израђује посебно па се у плочу уграђује. Основна функција уметка је да формира облик који се бризга. Односно калуп (слика 4.9) у непокретној страни алата има форму спољашњег облика готовог дела. Како је већ напоменуто, из конструкционих разлога, није било могуће калуп упресовати у калупну плочу, већ је то изведено тако што се за плочу везује завртњевима. Битно је нагласити да је неопходно регулисати и температуру калупа, као и калупне плоче. Стога канали за регулацију температуре који се израђују у калупној плочи захватају и калуп (матрицу).



Слика 4.9. Калуп који се поставља у непомирну страну алата

Лоцирајући прстен и вођице

Поред наведених елемената који се налазе у непокретној страни алата, ту су још и лоцирајући прстен (слика 4.10.а)) чија је основна улога да омогући правилно центрирање алата на машину за бризгање пластике, док вођице (слика 4.10.б)) које се налазе у непокретној страни алата имају задатак да обезбеде тачно и прецизно вођење (кретање) алата.



Слика 4.10. Лоцирајући прстен и вођица

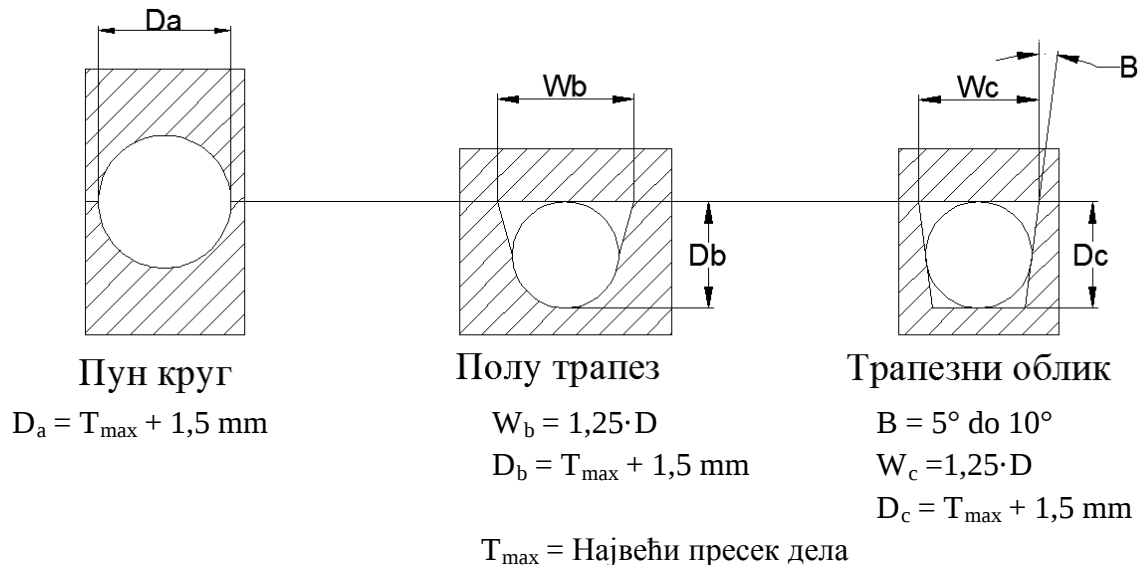
4.1.1. УЛИВНИ СИСТЕМИ

Уливни систем је један од значајнијих система у алату за бризгање пластике. Од самог типа и конструкције уливног система зависи у великој мери и квалитет готовог дела који се бризга. На основу тога веома је битно правилно пројектовати уливне канале. Неки од основних правила за правилно пројектовање уливних канала су:

1. Дизајн који омогућава лако избацивање дела;

2. Укупна дужина уливног система треба да буде што је могуће краћа како би се избегао пад притиска при бризгању и избегао губитак температуре;
3. Пројектовати такав уливни систем, са довољно великим пресеком да како би се омогућило лакше течење растопи;
4. Систем уливних канала не би требао да буде ограничавајући фактор при корекцији времена циклуса бризгања.

На слици 4.11 су приказани правилни облици уливних канала, са својим основним димензијама.



Слика 4.11. Облици уливних канала са датим димензијама ^[10]

Предности коришћења облика пуног круга:

1. Најмања површина попречног пресека у плочи алата;
2. Најспорији процес хлађења;
3. Мање температуре и губици услед трења;

Недостатак је тај што је неопходно канал изградити у покретној и непокретној страни алата.

Предности коришћења полутрапезног облика:

1. Лакше за израду, обично се израђује у једној страни алата;
2. Карактеристике су сличне облику пуног круга.

Недостаци овог облика су ти што долази до знатно већег губитка топлоте у односу на случај када се користи облик пуног круга.

Облик пуног трапеза се огледа тиме што је знатно лакше израђује од претходна два облика, недостаци су му ти што је губитак температуре знатно већи.

4.1.2. ВРСТЕ УЛИВАКА

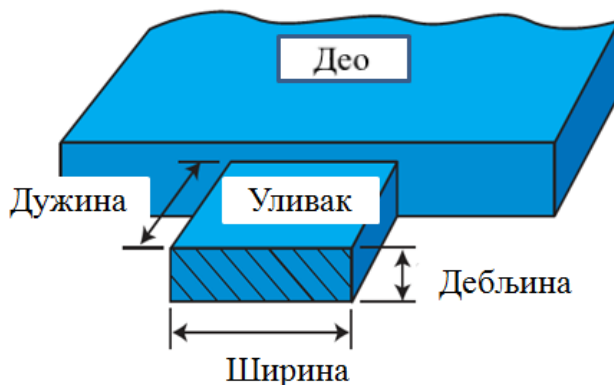
Уливак је мали отвор кроз који растопљени полимер улази у калупну шупљину. Дизајн улива за одређени алат обухвата избор типа улива, димензије и локације.

Врста уливка у великој мери зависи од дизајна калупа, спецификације дела (изгледа, толеранција, квалитета површина), врсте материјала, расподела плоча, економских фактора (трошкови израде, време циклуса). Лоше пројектован уливак може да смањи перформансе дела и створи деформације. Неуспех да се идентификује лоше пројектовани уливци могу да доведу до веома скупих застоја у производњи. Поред тога сам дизајн дела који се бризга често диктира или ограничава избор типа уливка, величину и локацију. Како би се избегли сви наведени проблеми, биће приказани правилани поступци одабира димензија уливка, као и нека од решења њиховог позиционирања у алату.

Један од првих проблема који се појављује је колико је потребно уливака поставити при бризгању. Обично је један уливак најбољи, међутим уколико је неопходно да се смањи притисак пуњења калупне шупљине или постићи жељени образац пуњења могу се користити и два уливка, али тада треба имати на уму да ће бити видљива линија спајања, па се овака конструкција препоручује код делова од којих се не захтева естетски дизајн.

Неке од основних димензија уливка су приказани на слици 4.2:

- Растојање од дела (дужина);
- Дебљина;
- Ширина.

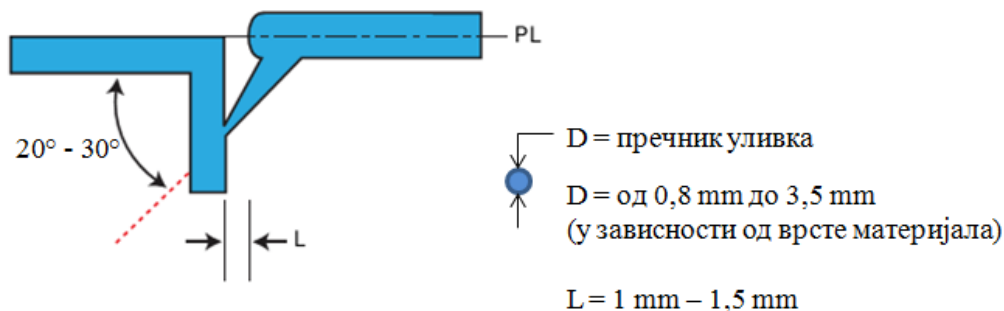


Слика 4.12. Основне димензије уливка^[10]

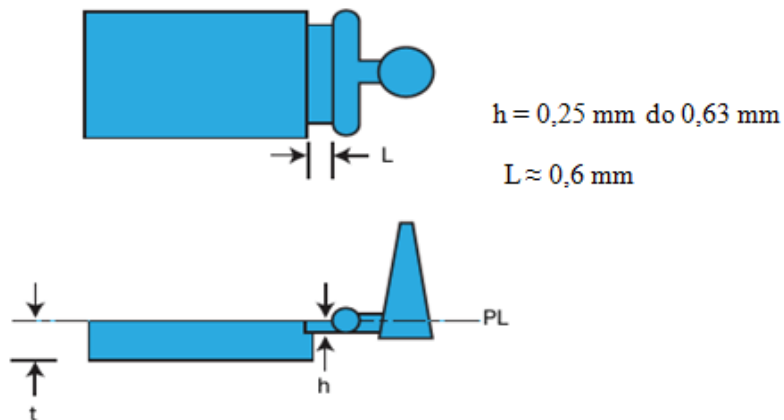
На основу претходно наведеног развијено је више типова уливака, чије ће основне димензије и облици бити приказани у даљем тексту.

Тунел уливак

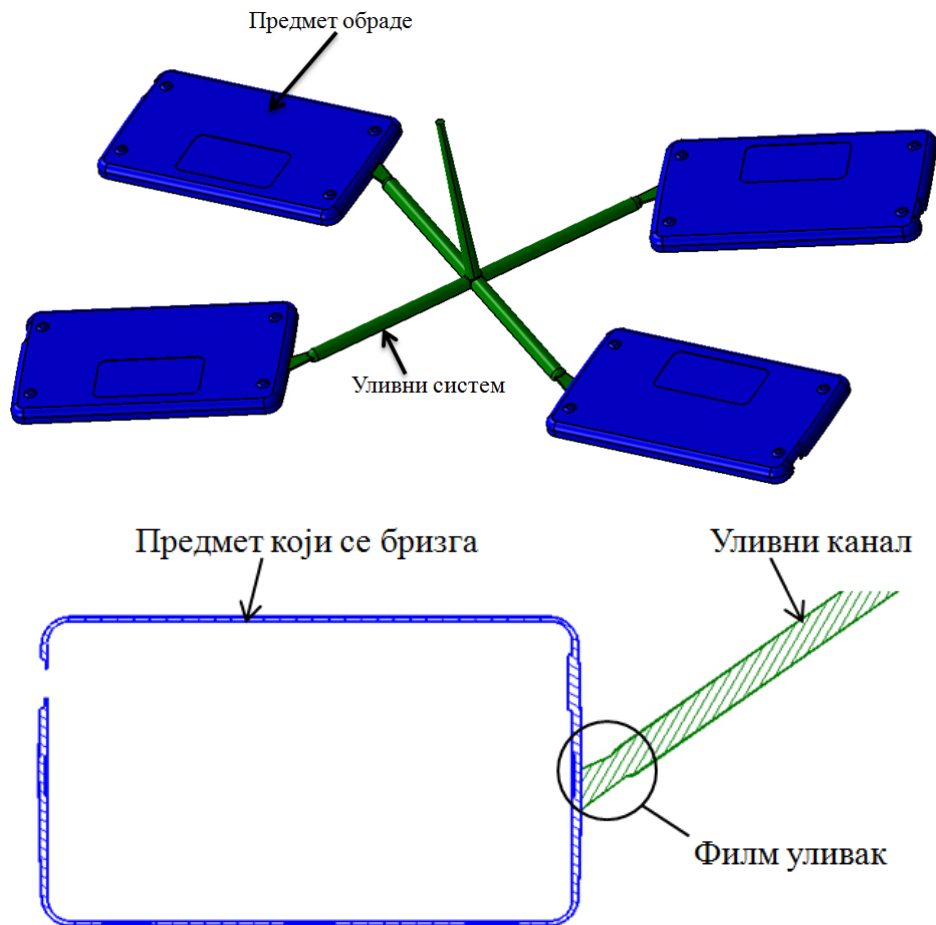
Тунел уливак је један о типова уливка (слика 4.13), који се одликује могућношћу аутоматског одвајања предмета обраде и вишка материјала, чиме се избегава секундарно одвајање одсецањем. Овакав тип уливка може бити постављен на бок зида. Угао нагиба конуса мора бити довољно велики како би се избегао претерано велики притисак пуњења.

Слика 4.3. Тунел уливак^[10]**Филм уливак**

Ова врста уливака је слична прстенастом уливку, али се користи код делова који имају праве ивице. Филмски уливак (слика 4.14) се користи за израду делова великих површина, како би се избегло, односно смањило њихово деформисање. Димензије ових уливака су следеће:

Слика 4.14. Филм уливак^[10]

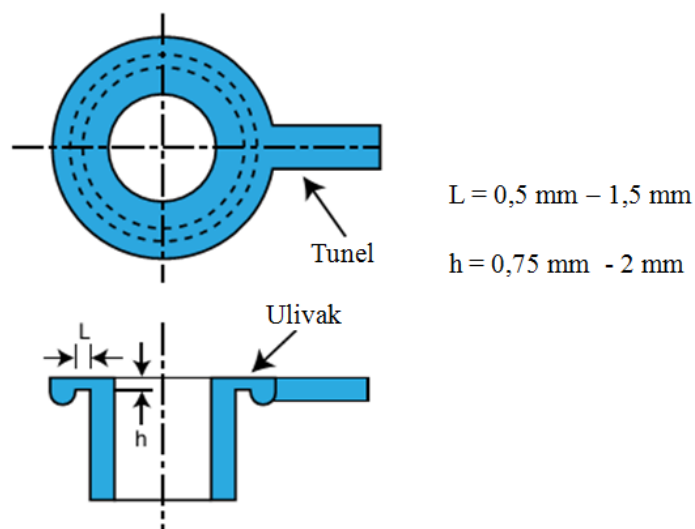
При конструкцији алата који је приказан сликом 4.3 усвојен је филм уливак. Разлог због којег је усвојена ова врста уливака је та што је део који се брызга, као што се са слике 4.1 може видети, габаритних димензија, танкозидни и склон је деформацијама. Како би се избегли наведени проблеми а из разлога економичности и технологичности, као уливак је усвојен *филм уливак* због својих позитивних особина. Слика 4.15 је приказан уливни систем и уливак за алат приказан сликом 4.3.



Слика 4.15. Уливни систем

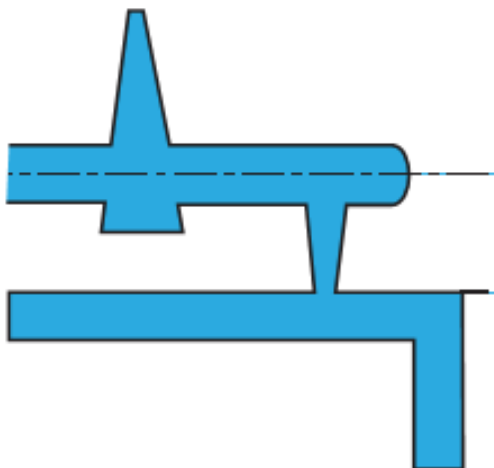
Прстен уливак

Прстен уливак се користи код делова који су цилиндричног облика, као и за делове облика цеви, али се не препоручује увек. Код оваквог типа улива материјал слободно тече око језгра пре него што се помера на доле.

Слика 4.16. Прстен уливак ^[10]

Тачкасти уливак

Тачкасти уливак се користи када је потребно више уливака на једном делу како би се осигурала симетричност пуњења или у случајевима када се бризгају производи великих димензија па је неопходно више уливака како би се обезбедило попуњавање свих области. Димензије уливака (пречник) се крећу у границама од 0,25 mm до 1,6 mm.



Слика 4.17. Тачкасти уливак ^[10]

4.1.3. ЛОКАЦИЈА УЛИВКА

Положај или локација уливака је уско везана са бројем уливака, технологичности дела, конструкцијим алата, обликом и формо дела. При одабиру постављања места уливака треба узети у обзир следеће:

- Поставити уливак да се постигне уравнотежено попуњавање калупне шупљине;
- Поставити уливак у областима где су масивнији зидови;
- Поставите уливак далеко од танких зидова;
- У случају постављања већег броја уливака, поставите уливке тако да се спречи формирање линије спајања на местима који су од функционалне важности или на местима где ће линија спајања бити видљива.

Како је већ напоменуто само место уливања, односно постављања уливака у великој мери може утицати на квалитет готовог дела, односно на његове излазне карактеристике. У следећим примерима ће бити извршена анализа утицаја места уливања на утицати на попуњавања калупне шупљине, а самим тим и на излазне карактеристике дела који се бризга.

Уливак постављен на крају дела

Уливак постављен на крају дела (слика 4.18) се сматра избалансираним, односно представља један од бољих решења, јер је проток једносмеран, односно материјал тече од почетка до краја дела. Постављање уливака на крај дела има за последицу оријентацију влакана која се поклапа са осом дела. Овакво лоцирање уливака у великој

мери смањује деформацију дела, нарочито код аморфних материјала и материјала који садрже влакна.

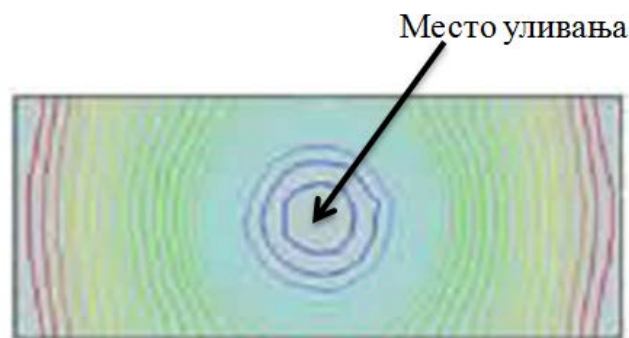
Недостатак ове локације постављања уливака је тај што је дужина тога растопа прилично дугачка, што проузрокује повећање притиска бризгања.



Слика 4.18. Попуњавање калупне шупљине за случај када је уливак на крају дела ^[10]

Уливак постављен у центру дела

Уливак постављен у центру дела (слика 4.19) је још један од прихватљивих решења, али не толико колико претходно представљено решење. Проблем код овог начина уливања је тај што су влакна у зону уливања оријентисана радијално, а како материјал тече ка крајевима калупне шупљине влакна се оријентишу у правцу осе дела и постају линеарна. Предност овог места уливања је та што је дужина тока растопа знатно краћа од дужине тока у случају када је уливак постављен на крају дела. Оваквим решењем се аутоматски смањује притисак бризгања, што је једна од позитивних особина овог места бризгања. Овакав поступак уливања се користи код делова цилиндричног облика.

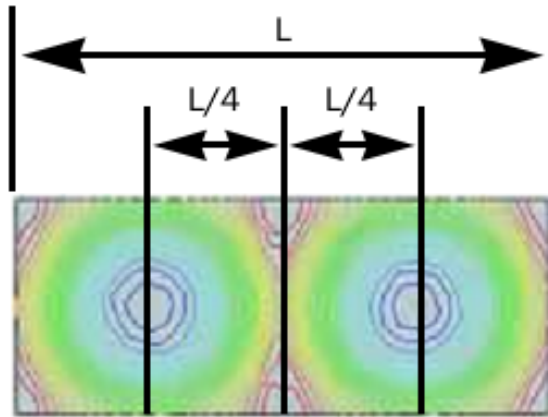


Слика 4.19. Попуњавање калупне шупљине за случај када је уливак у средини дела ^[10]

Два уливака, подједнако растојање уливака

Уколико је потребно поставити два уливака, такво позиционирање може бити проблематично. Једно од решења је да се уливци поставе тако да дужина тока између уливака и краја дела буде јднака дужини тока између уливака и линије спајања растопљене пластичне масе. Размак се израчунава тако да је дужина L дупло већа од броја уливака, као што је приказано сликом 4.20 у случају када има два уливака. Овакво постављање даје најбољу могућу равнотежу унутар дела који се бризга са више уливака. У овом случају за разлику од претходног, оријентација влакана је цилиндрична дуж целог дела. Овиме се смањује степен деформације дела, али се

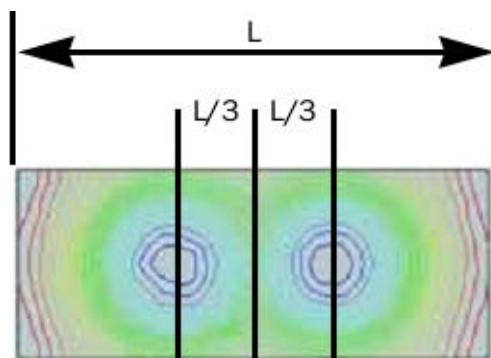
појављује линија спајања. Оваква изведба постављања позиција улива је тешка, по некада немогућа, код несиметричних делова. Међутим у случају да је неопходно брызгати са два места уливања, ово треба да буде почетни циљ. Један од потенцијалних проблема је тај, као што је већ напоменуто, што се на делу види линија спајања, што може битно утицати на изглед и квалитет дела.



Слика 4.20. Попуњавање калупне шупљине у случају када се користе два улива^[10]

Два улива, постављене ближе центру дела

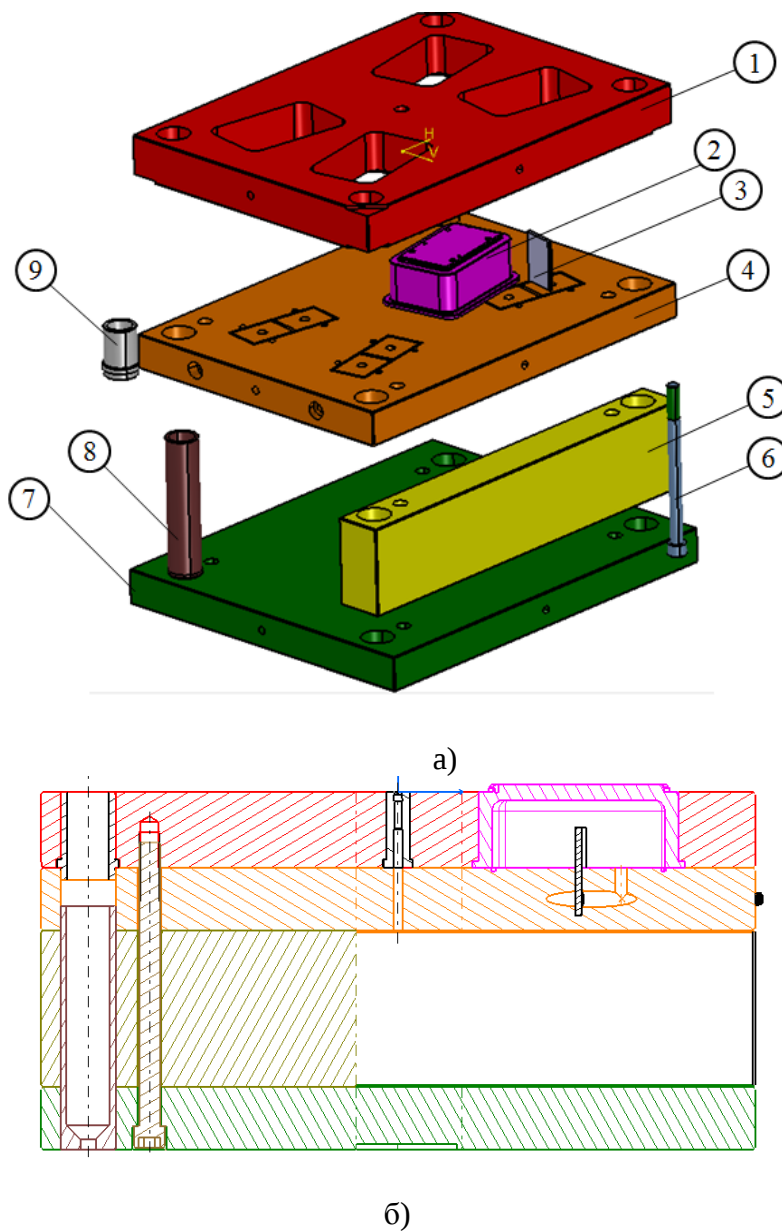
Ова конфигурација (слика 4.21) је слична претходној. Растојање на којем се постављају уливи се добија тако што се укупна дужина подели са бројем уливака па се на то дода плус један. Овако се добија да су уливи ближе једни другом, али је ток растопа до краја калупне шупљине нешто дужи. Због тога, за разлику од претходног концепта, оваква конфигурација уливака има већу могућност појаве деформације. Међутим линија спајања има знатно боље карактеристике од линије спајање у претходном концепту решења. Код овако постављених уливака, линија спајања се формира ближе уливцима па је и самим тим температура растопа виша. То омогућава да део у тој зони поднесе веће притиске. У случају да су особине линије спајања примарне, овакав концепт локације уливака представља боље решење од претходно приказаног концепта.



Слика 4.21. Попуњавање калупне шупљине у случају када се користе два улива^[10]

4.2. ПОКРЕТНА СТРАНА АЛАТА (CORE)

За разлику од непокретне стране алата, овај део алата има могућност аксијалног померања. Покретна страна алата (слика 4.22) се поставља на покретни део екструдера. По завршетку једног циклуса бризгања долази до померања покретне стране алата, алат се отвара и тада је могуће извршити избацивање готовог дела из алатне шупљине. Покретна страна алата се састоји (најчешће) од знатно већег броја елемената, из разлога што је та страна алата изложена великим притисцима и силама током процеса бризгања. Због тога је потребан знатно већи број елемената како би се постигла што је могуће већа крутост и тачност система. Функције и значај појединих елемената су детаљније објашњене у наведеном тексту.



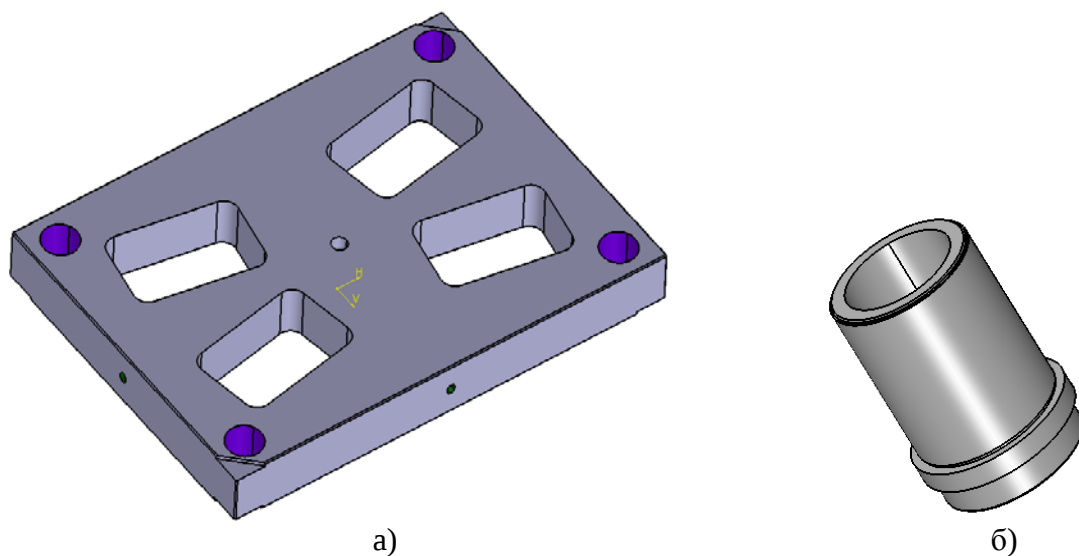
Слика 4.22. Покретна страна алата

На слици 4.22 су приказани следећи елементи:

1. Помична калупна плоча – у њој се постављају калупи, кроз њу пролазе избацивачи, потисни систем...;
2. Калуп (језгро) – служи за формирање унутрашњег облика готовог дела;
3. Граничник – поставља се у систему за хлађење;
4. Међуплоча – служи да све елементе који се налазе између ње и калупне помичне плоче, “притисне”, односно осигура њихов пложај, такође се у овој плочи израђују канали за регулацију температуре;
5. Одстојници (међуплоча) – служи да развоји међу плочу и стезну плочу, односно њихова висина одређује дужину хода избацивачког система;
6. Завртањ;
7. Помична стезна плоча – има функцију да обезбеди тачно позиционирање свих осталих елемената у покретној (Core) страни алата и она се везује на помичну страну машине;
8. и 9. Чауре – служе за центрирање претходно наведених плоча.

Помична калупна плоча

При конструкцији алата за бризгање предмета обраде приказаног сликом 4.2, у покретној (Core) страни алата за разлику од непокретне, калупи су у помичној калупној плочи (слика 4.23.а)) усађени. Из тог разлога се у плочи израђују отвори на веома фину толеранцију како би се остварио фини клизни спој. У помичну калупну плочу се постављају одговарајуће чауре (слика 4.23.б)), које поред основне функције, имају и улогу центрирајућих чаура између помичне калупне плоче и међу плоче.

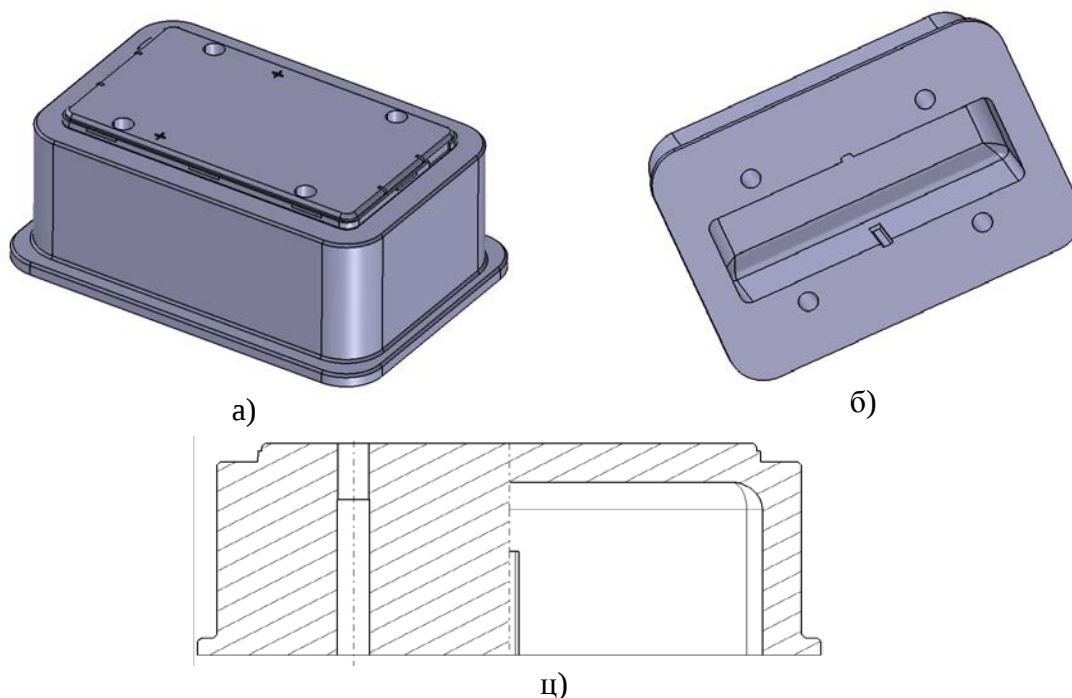


Слика 4.23 Помична калупна плоча и чаура за центрирање

Калуп (језгро)

Као што се у непокретну матичну плочу поставља калуп (слика 4.9), који има функцију да формира спољашњи облик дела који се бризга, тако се и у покретној страни алата, односно у помичној калупној плочи поставља калуп, који је приказан сликом 4.24. Задатак калупа у покретној страни је да формира унутрашњи облик радног

комада. Калуп се у приказаном алату (слика 4.24) поставља у помичну калупну плочу и притиска помоћном плочом. Како не би дошло до померања калупа, на њему се израђују граничници који онемогућавају било какво померање калупа.

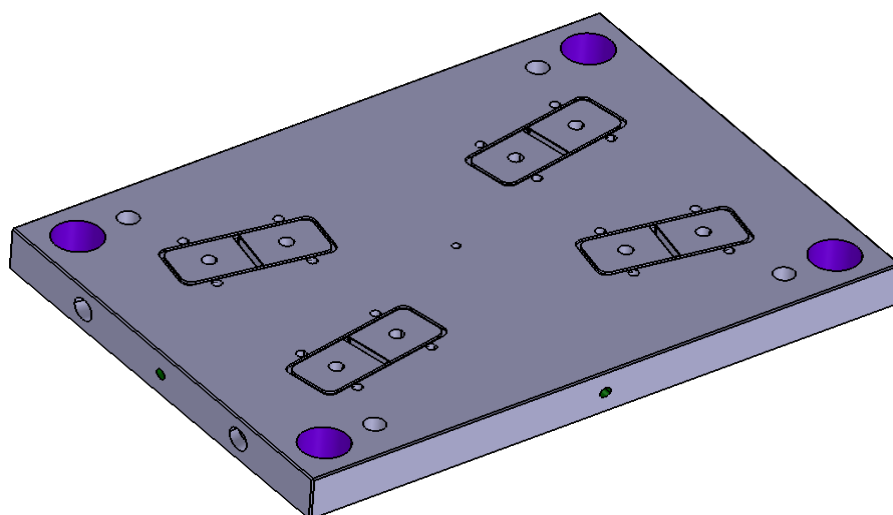


Слика 4.24. Калуп који се поставља у помичну калупну плочу

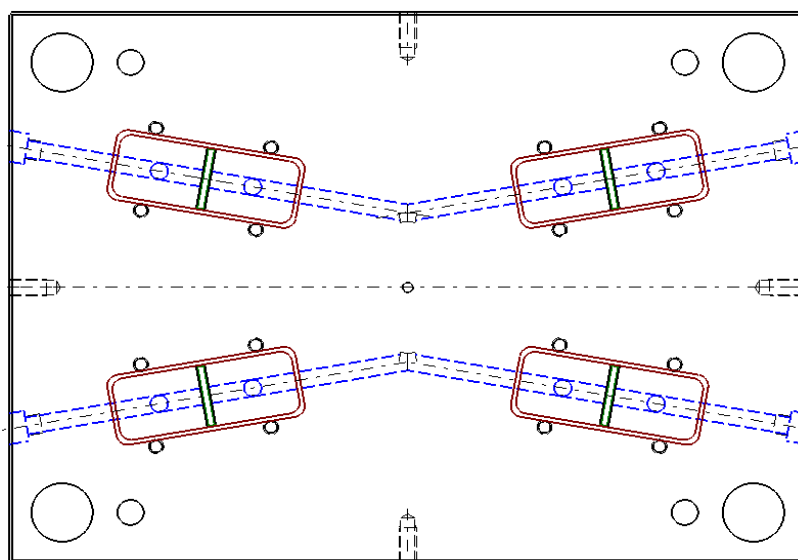
Како је неопходно регулисати температуру калупа, у њему се из тих разлога израђује отвор. Међутим, како је неопходно да средство за регулацију температуре непрестано циркулише, у отвору се поставља одговарајући граничник (слика 4.22 позиција 3), који отвор дели на две коморе. Битно је нагласити да због специфичности дела који се брызга, отвори кроз које пролазе избацивачи се израђују такође у телу калупа.

Међуплоча

Међуплоча (потисна плоча) је приказана на слици 4.25 је знатно сложенија од осталих наведених плоча. Улога ове плоче је разноврсна, пре свега ова плоча обезбеђује да се сви елементи који се налазе између помичне калупне плоче (слика 4.22 позиција 1) и међуплоче (слика 4.22 позиција 4) сигурно позиционирају, затим још једна функција ове плоче је да се у њој израђују канали преко којих се врши регулација температуре. Потисна плоча се преко специјалних завртњева (слика 4.22 позиција 6) заједно са плочама приказаним на слици 4.22 (позиције 1, 4, 5, 7) повезује у једну нераздвојиву целину. При томе потисна плоча осигурава положај калупа, граничника и чаура за вођење (слика 4.22 позиција 8 и 9).



a)

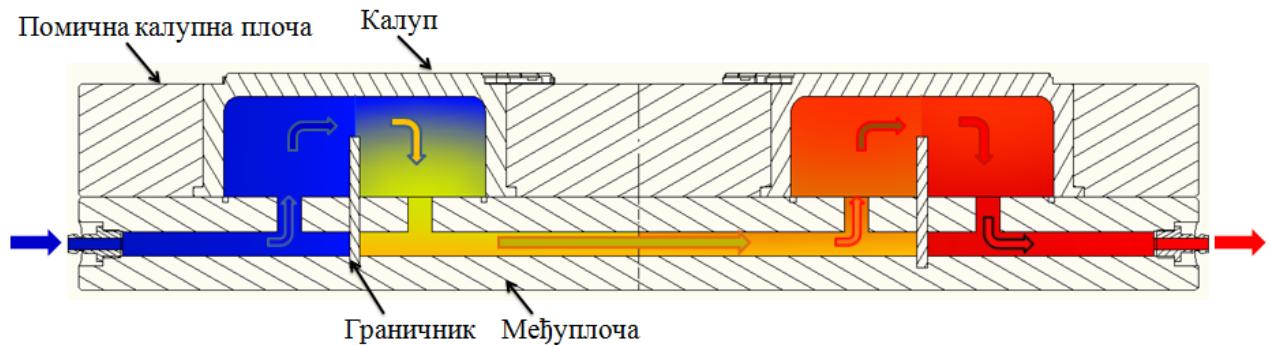


b)

Слика 4.25. Међу плоча и пресек на коме су приказани канали за регулацију температуре

Пошто се и у овој страни алата регулисе температура, потребно је да се у плочи израде канали за регулацију температуре. Обзиром на сложеност алата и самог калупа, даље представљени концепт (слика 4.25.б)) је једно од оптималних решења регулације температуре. Како међуплоча належе на тело језгра искористила се могућност да се регулисање температуре калупа врши преко канала који су израђени у међуплочи, којима се уједно врши и регулисање температуре исте. Да би се спречило цурење средства којим се врши регулација температуре, на међуплочи су израђени канали, који су приказани тамно црвеном бојом на слици 4.25, у које се постављају заптивне гуме које се налазе између плоче и калупа. Пошто је потребно, као што је већ неведено, регулисати и температуру калупа, средство за регулисање температуре у том случају мора циркулисати и кроз међуплочу и кроз калуп, што је приказано шемом на слици 4.26. У плочи у канале за регулацију температуре се, као и у непомићној калупној

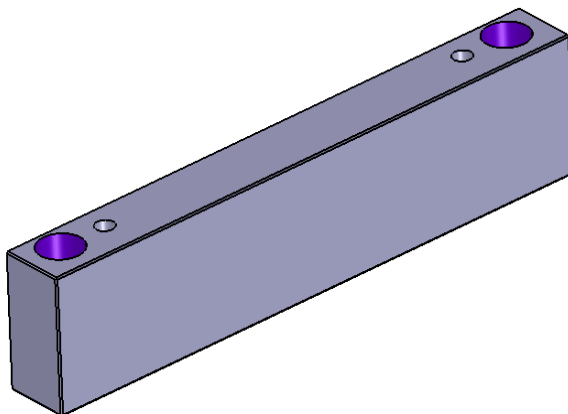
плочи, постављају прикључци (слика 4.8) ради лакшег повезивања алата на систем за регулацију температуре.



Слика 4.26 Идејно решење канала за регулацију температуре

Одстојници (међуплоче)

Улога одстојника (слика 4.27.а)) је да се обезбеди довољан размак између помичне потисне плоче и међуплоче како би се у том међупростору поставио избацивачки систем. Величина, односно висина ових плоча зависи од величине хода избацивачког система. Тачан положај ове међуплоче са осталим плочама (међуплоче и помичне потисне плоче) се обезбеђује коришћењем центрирајућих чаура, које су приказане сликом 4.27.б).



а)

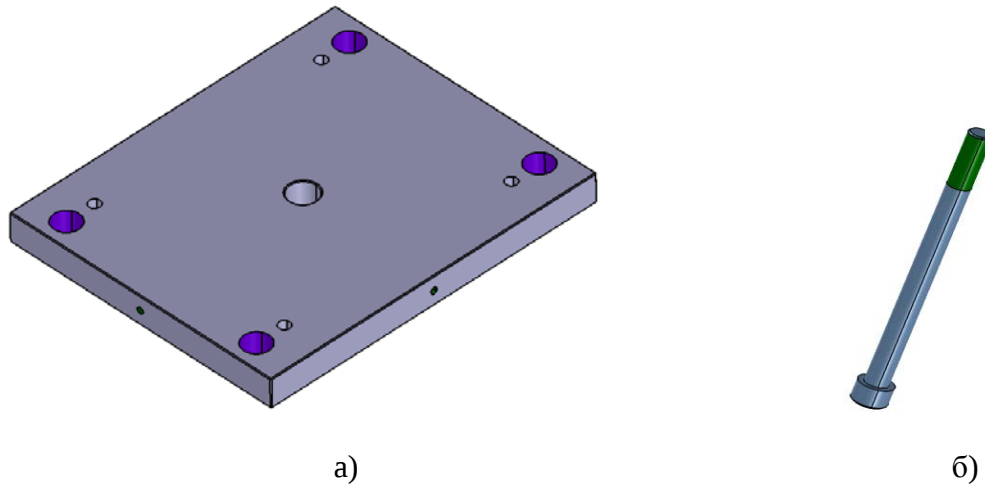


б)

Слика 4.27. Одстојници (међуплоче) и центрирајућа чаура

Помична потисна плоча

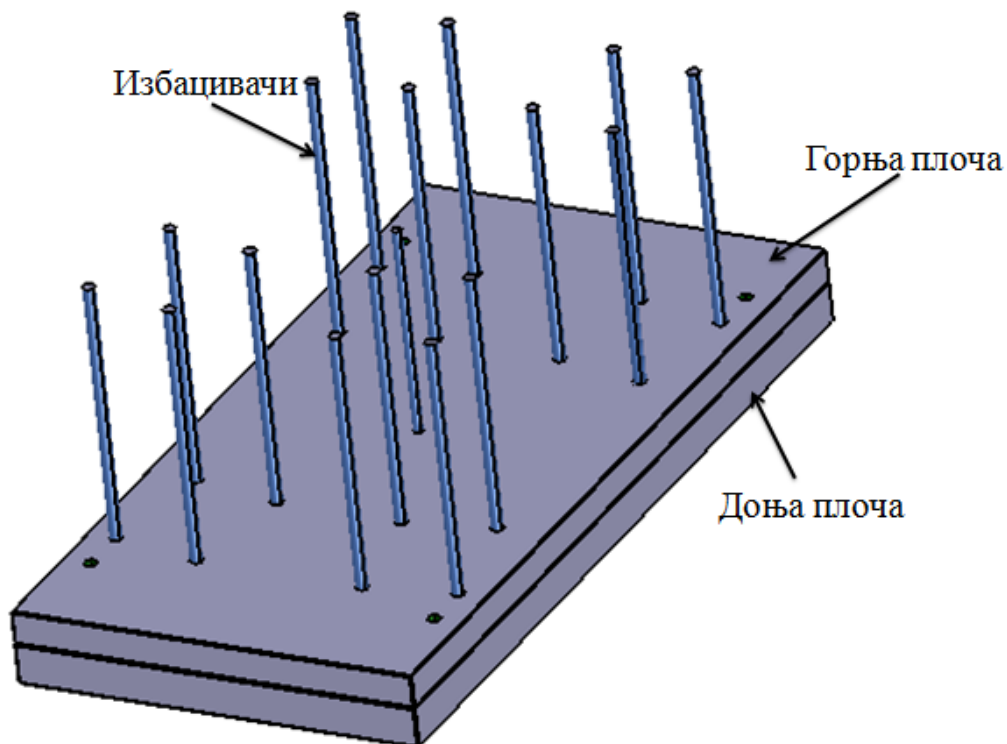
Помична потисна плоча (слика 4.28.а)) је последња у низу плоча које се налазе у покретној страни алата. Њена улога је да све претходно побројане плоче веже у једну целину уз помоћ одговарајућих завртњева (слика 4.28.б)). Такође се уз помоћ покретне потисне плоче цео алат везује на покретну страну машине, преко одговарајућег прикључка који се поставља у избацивачки систем. Везивањем на покретну страну екструдера, алат има могућност аксијалног померања, односно могућност отварања по завршетку једног циклуса бризгања.



Слика 4.28. Помична потисна плоча и завртањ

4.3. ИЗБАЦИВАЧКИ СИСТЕМ

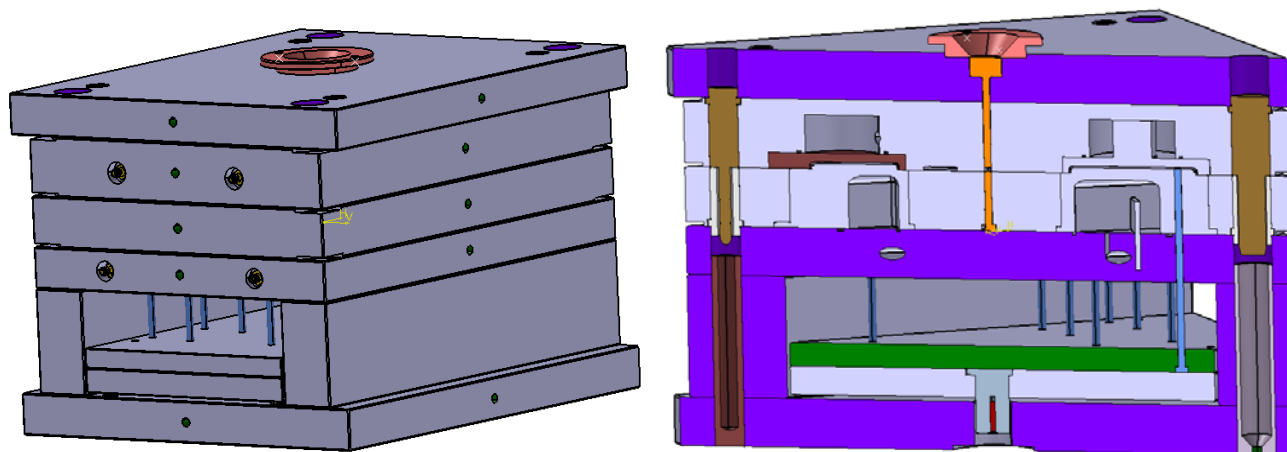
Избацивачки систем је трећа и последња целина једног алата за бризгање. Избацивачки систем (слика 4.29) је обично знатно једноставније конструкције од остале две целине. Најчешће се састоји од две плоче и избацивача који су постављени између плоча, како би се осигурао њихов положај. Како је већ напоменуто, у избацивачки систем се поставља посебан прикључак преко којег се цео систем везује на покретни део екструдера, чиме се омогућава кретање алата.



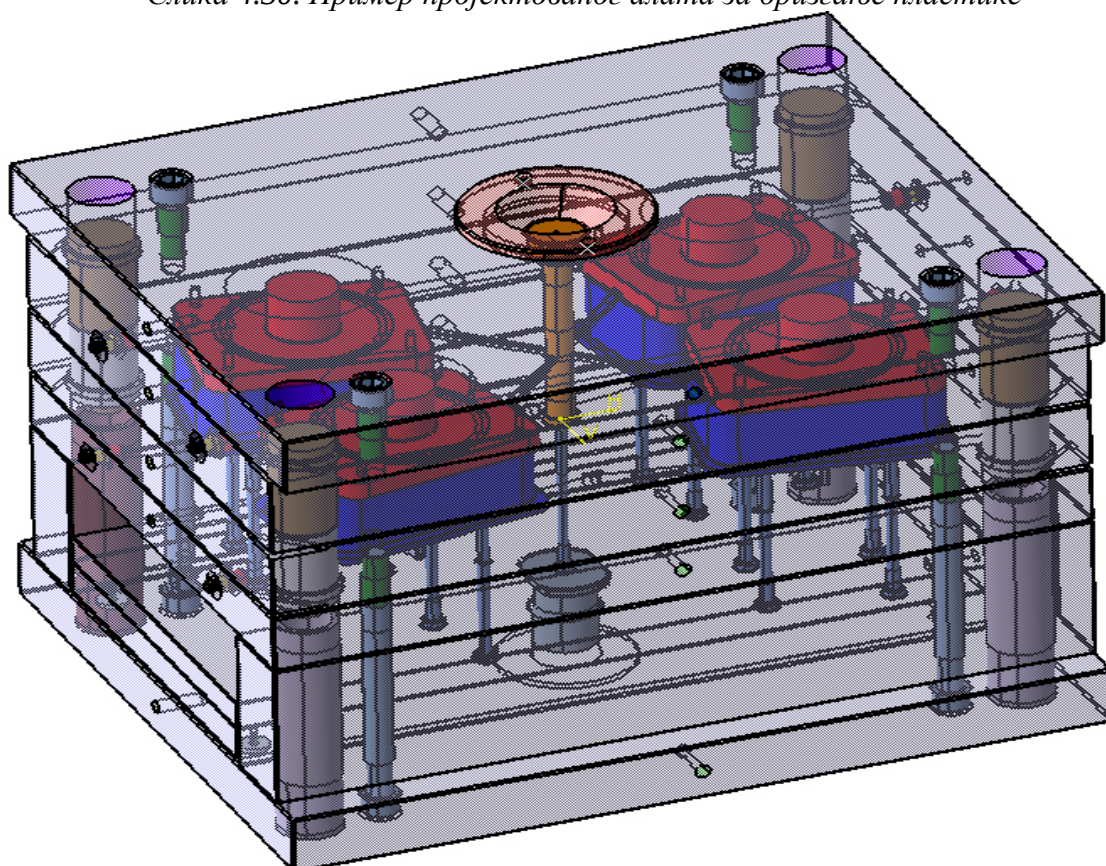
Слика 4.29. Избацивачки систем

4.4. ПРИМЕР ПРОЈЕКТОВАНОГ АЛАТА ЗА БРИЗГАЊЕ ПЛАСТИКЕ

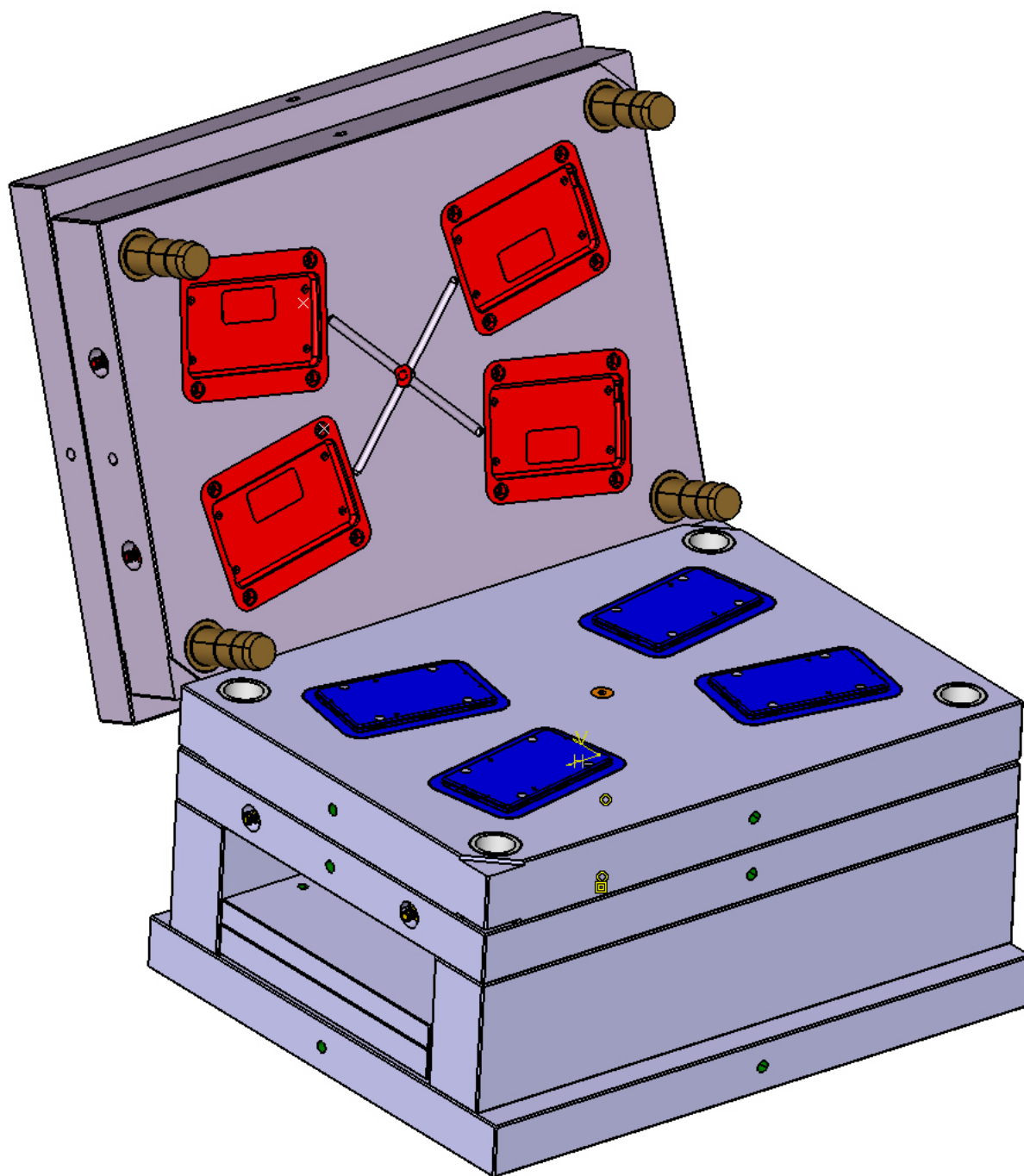
За дати предмет (слика 4.1) пројектован је алат за бризгање пластике, који је приказан сликама 4.30 и 4.31.



Слика 4.30. Пример пројектованог алата за бризгање пластике



Слика 4.31. Приказ алата за бризгање пластике са приказаним елементима и њиховим позицијама у алат



4.32. Порјектовани алата за бризгање плстике, покретна и непокретна страна алата

5. ПРОЦЕС СИМУЛИРАЊА ЕКСТРУЗИОНОГ БРИЗГАЊА ПЛАСТИЦНИХ МАСА

5.1. САЕ СИСТЕМИ

Први кораци у С технологији су учињени увођењем CAD-а (*енг.* Computer Aided Design) система, након тога и САМ-а (*енг.* Computer Aided Manufacturing) система. Систем који је недостајао измедју ова два приступа, који би био један од кључних фактора појефтињења производње као и подизања квалитета производа је САЕ (*енг.* Computer Aided Engineering) систем.

У идеалном случају САЕ (компјутерски подржано инжењерство) анализа даје увид који је користан за пројектовање делова, калупа као и у самим процесима прераде пластичних маса. Без овог система у процесу пројектовања дела, ослања се само на претходна искуства, интуицију, израду прототипова, или разна испитавања, која иначе могу бити веома дуга и скупа, да би се добиле информације као што су ток попуњавање калупне шупљине, односно локација линије спајања, грешке настале услед заробљеног ваздуха у току процес попуњаваја, оријентације влакана, време циклуса, деформација, и слично. Без САЕ анализе, други подједнако важни подаци као што су притисак током процеса бризгања, накнадни притисак, температуре, брзине смицања, напон смицања као и брзине, су информације које се знатно теже добијају.

САЕ технологија помаже у уштеди времена, новаца и сировине, поред тога побољшава квалитет производа. Све ово помаже да нов производ што пре изађе на тржиште, погову у данашње време када је конкуренција на тржишту веома велика. Као и многи други компјутерски алате, корисност САЕ технологије зависи од самог знања корисника. Већ поменуте користи од примене ових система неће бити реализоване осим ако се систем некористи правилно, односно тачност анализе САЕ система у великој мери зависи од улазних параметара које корисник задаје. Поред тога, резултати генерисани од стране САЕ анализа треба да буду правилно и тачно анализирани. У супротном, корисници ће једноставно бити преплављена огромном количином података, без добијања било какве корисне информације.

САЕ системи подржавају широк спектар инжењерских дисциплина или појава, укључујући:

- Напон и динамичке анализе на компонентама и склоповима применом анализе коначних елемената (*енг.* finite element analysis – ФЕМ);
- Топлотна и анализа течења помоћу рачунарске динамике флуида (*енг.* computational fluid dynamics – CFD);
- Кинематика и динамичка анализа механизма;
- Симулација механичких догађаја (*енг.* Mechanical event simulation – MES);
- Анализа управљачких система;
- Симулација производних процеса;
- Оптимизација производа или процеса.

5.2. ОСНОВИ СИМУЛАЦИЈЕ

Информационе технологије су у толикој мери измениле наше животе да је данас готово немогуће замислити било коју активност која у некој мери не зависи од рачунара. Још од настанка првих рачунарских система, људи су покушавали да искористе моћ рачунара за решавање сложених проблема у разним областима. На тај начин су скупи експерименти, тестови носивости и креш тестови, замењени знатно јефтинијим и моћнијим компјутерским методама, које не захтевају уништење конструкције да би се одредила њена носивост. компјутерски програми омогућавају да се овакви проблеми реше тако што би се прво направила симулација понашања реалног система, а тек онда његова реализација у пракси.

У данашње време се компјутерске симулације користе за решавање проблема у свим сферама живота. Метеоролошке прогнозе, прорачун падавина, течење воде у рекама, понашање појединих система у електротехници, ток пластичне масе при различитим врстама обраде исте, понашање лимова при обради пресовањем, ваљањем, различите врсте симулација које се користе у грађевинарству, бродоградњи, струјање подземних вода и експлоатација нафте, и слично.

Да би модел био користан, од суштинске је важности то да се за дати ограничени скуп његових описних променљивих, његово понашање може одредити на практичан начин: аналитички, нумерички или путем експеримента, где се за извесне, углавном случајне улазе, посматрају одговарајући излази. Овај последњи процес назива се симулација.

Велике могућности модерних рачунара, снижење трошкова по операцији, напредак у методологији симулације и њено профилисање као засебне научне дисциплине, затим савремени, уско специјализовани симулациони језици, значајно су проширили подручје примене симулације. Па стога симулације можемо применити у следећим ситуацијама:

- Симулација омогућава проучавање и експериментисање које узима у обзир све укупне интеракције сложеног система или подсистема унутар сложеног система;
- Информационе и организационе промене или промене у окружењу могу се симулирати, а уједно се могу посматрати ефекти тих промена на понашање модела;
- Знање стечено у процесу изградње модела и симулације може бити од великог значаја код побољшања система који се испитује;
- Мењањем симулационих улаза и посматрањем резултујућих излаза, долази се до важног сазнања о томе које су променљиве система најважније и како променљиве утичу једна на другу;
- Симулација се може користити за експериментисање са новим концепцијама пре него што се изврши њихова имплементација.

Бављење симулационим методама и техникама захтева, између осталог, и познавање њених предности и недостатака. Као основне предности коришћења симулације наводе се следеће:

- Једном изграђени модел може се вишеструко користити за анализу предложених планова;
- Симулационе методе могу се користити као помоћ код анализе, чак иако су улазни подаци на неки начин непотпуни;
- Чест је случај да се симулациони подаци могу много јефтиније добити од сличних података из реалног система;
- Симулационе методе лакше је применити него аналитичке методе. Стога је круг потенцијалних корисника симулационих метода знатно шири;
- Аналитички модели углавном захтевају више поједностављујућих претпоставки које их чине математички прилагодљивим. Симулациони модели таква ограничења немају. Са аналитичким моделима, најчешће се може израчунати једино ограничени број мерљивих карактеристика система, док код симулационих модела генерисани подаци могу да се користе за процену било које схватљиве мерљиве карактеристике;
- У неким случајевима, симулација је једино средство за решавање одговарајућег проблема.

У основне недостатке коришћења симулација убрајају се следећи:

- Симулациони модели за дигиталне рачунаре могу бити скупи и могу захтевати значајно време за изградњу и валидацију;
- Због статистичког карактера симулације потребно је извођење већег броја симулационих експеримената како би се добио одговарајући узорак резултата симулације, а већ и појединачно извођење експеримента може захтевати доста времена и меморије рачунара;
- Не добијају се зависности излазних променљивих од улазних променљивих модела нити оптимална решења;
- За исправно коришћење симулационог моделирања потребно је познавање различитих метода и алата.

У зависности од области примене симулација, развијен је велики број различитих компјутерских програма помоћу који се симулације врше. На основу тога у машинству се користе разни програмски пакети као што су: САЛОМЕ, РангеСофтваре, ОпенФОАМ, МолдФлов, СимулационМецханицал, Симуфакт форминг, и други.

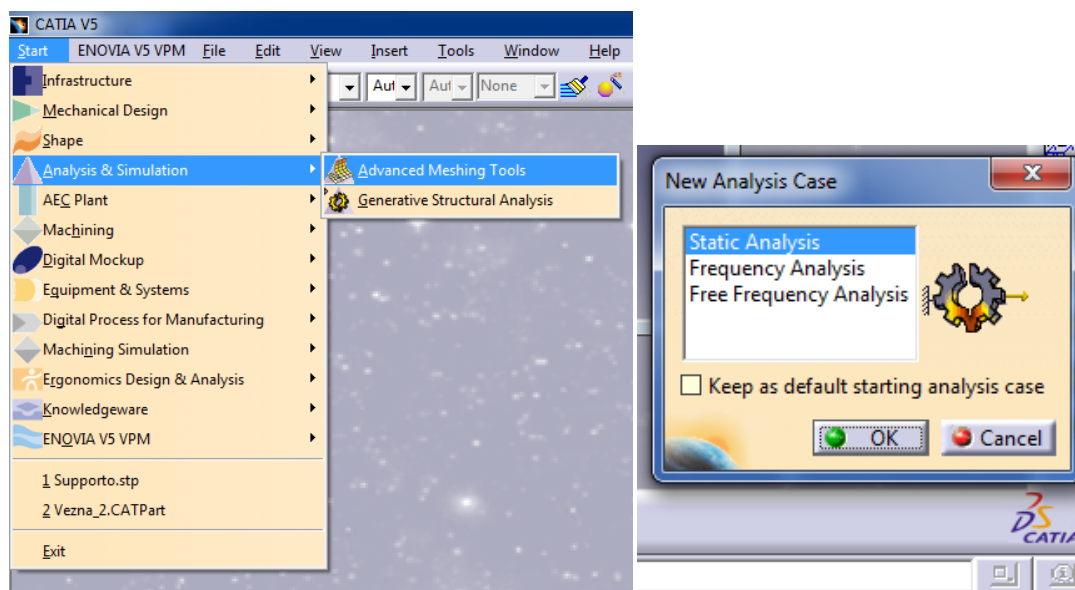
5.3. СИМУЛАЦИЈА ЕКСТРУЗИОНОГ БРИЗГАЊА

Како је у претходним поглављима напоменуто, развојем науке и технологије, развијали су се програмски пакети који се постепено замењивали скупа истраживања која су се базирала на разним креш тестовима, израдама прототипова, физичким тестовима који су подразумевали разна испитивања на затезање, ударну жилавост, коефицијент ширења, скупљања, и слично. Данас се уместо тога користе разноразни програми који омогућавају добијање истих резултата без претходне потребе за израдом прототипова.

Како би се за део који је приказан на слици 4.1 проверило да ли долази до појаве деформације дела током поцеса екструзионог бризгања, и колики је тај ниво деформација, неопходно је пре његове производње извршити симулацију. У даљем тексту ће бити приказан поступак вршења симулације за приказани део. Циљеви ових симулација су да прикажу колики ће бити нивои деформација у зависности од тога које место уливања се изабере, како и од тога колико уливака за бризгање је потребно усвојити.

Пре самог почетка симулирања потребно је одабрати одговарајући програмски пакет, који има могућност приказивања потребних резултата. Поред тога неопходно је упознати се са основама програмског пакета, односно какве резултате програм показује, у каквом облику их приказује, које су основне функције програмског пакета, како би нам приказани резултати били што јаснији, и како би сама симулација била тачнија. Пре самог почетка симулирања, неопходно је најпре за дати део направити мрежу коначних елемената. Разлог тога је што се изабрани програмски пакет, као и већина њих базира на прорачуну методе коначних елемената, из тог разлога је неопходно најпре направити мрежу коначних елемената. За прављење мреже коначних елемената користи се програм Catia (*eng.* Catia V5R20). У даљем тексту ће у кратким цртама бити приказан поступак формирања мреже коначних елемената.

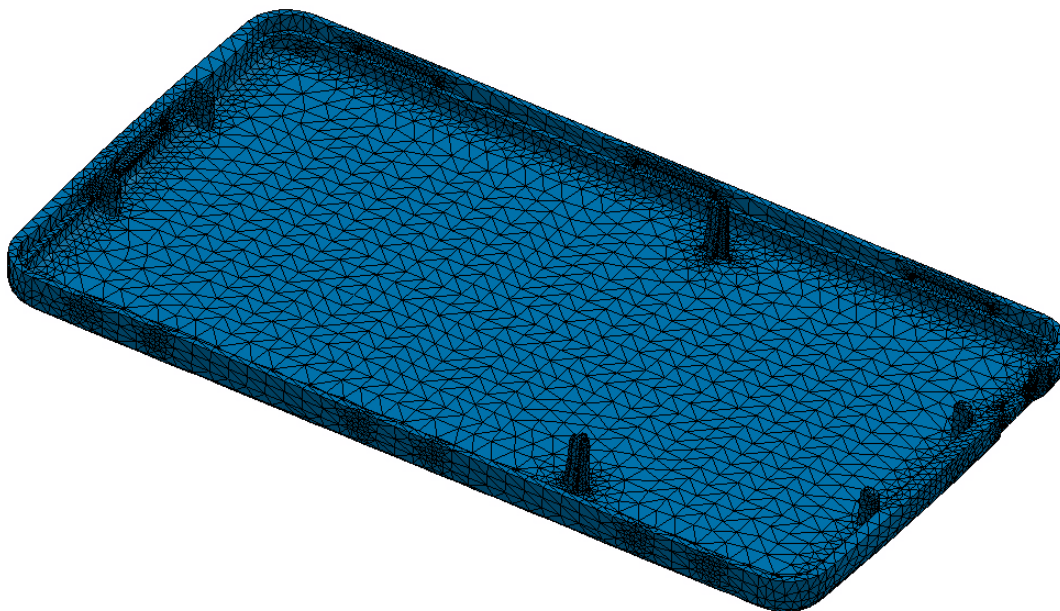
При стартовању Catia-је бира се модул *Analizis & Simulation* па *Advanced Meshing Tools* (слика 5.1), а затим се бира опција *Static Analysis*.



Слика 5.1. Модул за формирање мреже коначних елемената

При покретању жељене анализе отвара нам се нови прозор у којем увозимо део који је приказан на слици 4.1. За приказани део у палети алата *Meshing Methods* позивамо опцију *Octree Triangle Mesher* помоћу које се прави мрежа коначних елемената, са напоменом да се овом опцијом добија површинска мрежа коначних елемената. При прављењу мреже неопходно је посебно обратити пажњу на величину коначног елемената како би симулација као и њени резултати били валидни. За приказани део величина коначног елемената износи 3 mm са одступањем од 0,2 mm,

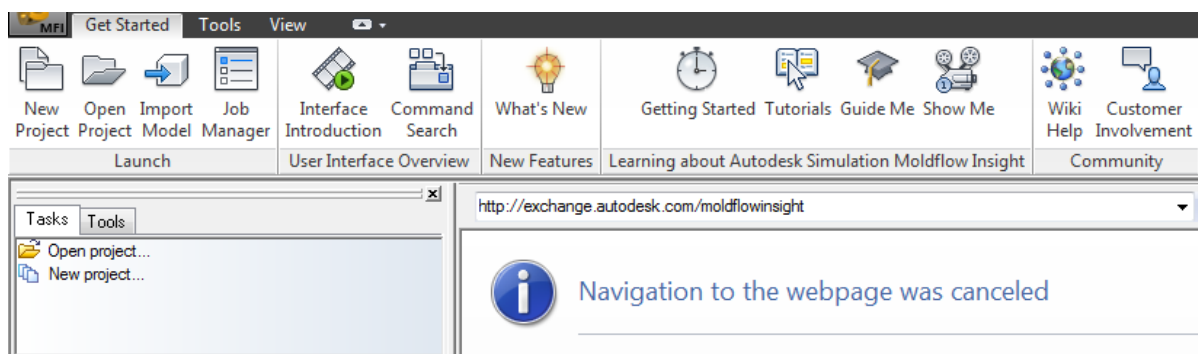
тип елемента је линеарни. Битно је нагласити да уколико се на делу налазе неке зоне чије су димензије мање од одабране величине коначног елемента неопходно је локално, на тим местима умањити величину коначног елемента. На основу усвојене величине као и типа коначног елемената формирана је мрежа коначних елемената, што је приказано сликом 5.2.



Слика 5.2. Мрежа коначних елемената

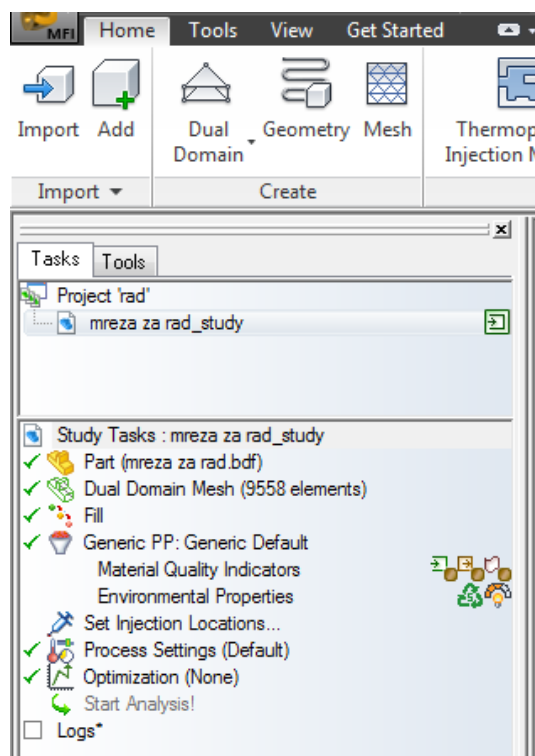
По завршетку формирања мреже коначних елемената, исту је неопходно извести позивањем опције *Export Mesh*. Извезена мрежа се сачува под екстензијом *.dat* формата, који је пре увожења у програмски пакет помоћу којег се врши симулација промењен у *.bdf* формат. Разлог тога је што програмски пакет у коме се врши симулација не препознаје *.dat* формат. Овиме је завршена припрема дела и може се приступити покретању програма помоћу којег се врши симулација процеса екструзионог бризгања делова од пластичних маса.

Након формирања мреже коначних елемената може се приступити покретању програма у којем се врши симулација процеса бризгања. Симулација се врши у програму *MoldFlow 2013*. При покретању програмски пакет за *MoldFlow* отвара се прозор који садржи стандардне палете алата као и већина програма (слика 5.3). На самом почетку кориснику је понуђено да бира да ли ће да направи нови пројекат или ће да увезе већ постојећи.

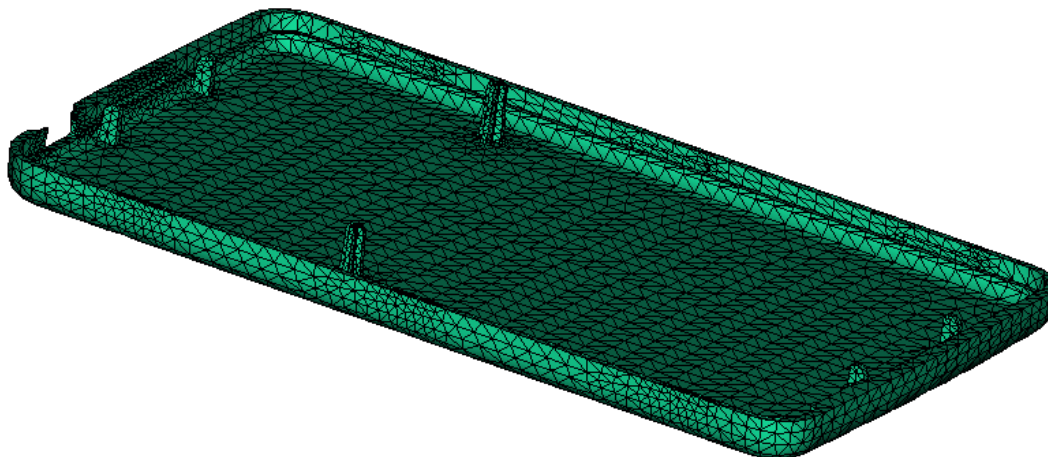


Слика 5.3. Приказане палете алата

При одабиру новог пројекта отвара се прозор у коме се дефинише име тог пројекта, као и локација на којој ће пројекат бити сачуван. Након тога позива се опција *Import* уз помоћ које увозимо мрежу који смо сачували под *.bdf* екстензијом. Након тога бира се јединица, усвајају се милиметри, и бира се тип мреже. У овом случају обзиром да је претходно изабрана површинска мрежа копачних елемената, усваја се тип мреже *Dual Domain*. Након тога отвара се нови прозор у којем је приказана увежена мрежа копачних елемената (слика 5.4 б)) и отворене су нове палета алата у којима се врше подешавање параметара процеса симулације (слика 5.4. а)).



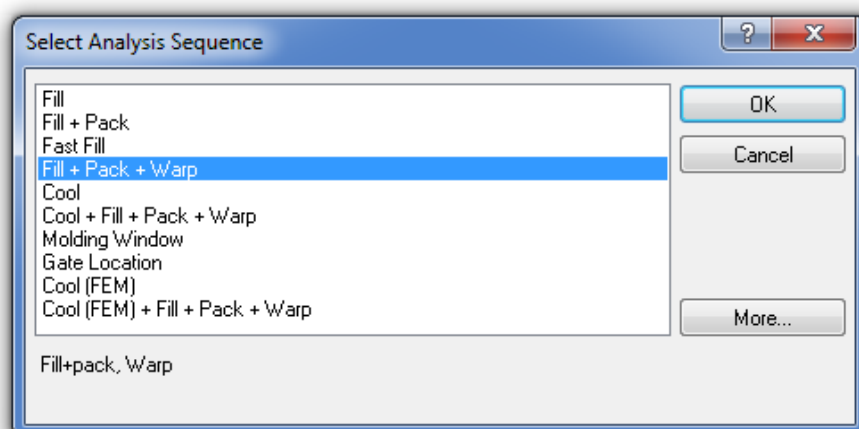
а)



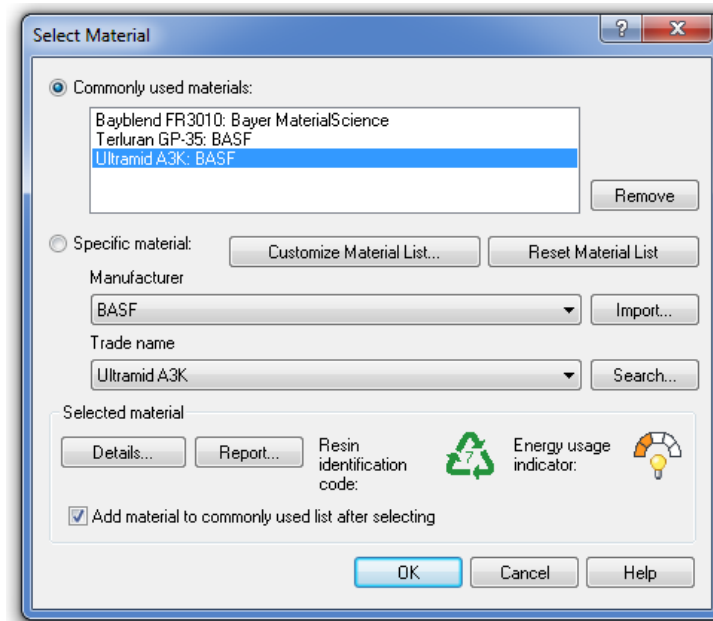
б)

Слика 5.4. Палета алата и увежбена мрежа коначних елемената

На слици 5.4 а) су приказане опције помоћу којих се врши подешавање параметара процеса бризгања. Као што се са слике 5.4. а) може видети у приказаном прозору се поред опција за подешавање основних параметара симулације налазе и неке основне информације, као што је тип датотеке која је увежена, тип и број коначних елемената од којих је увежени предмет сачињен. Опција *Analisis Requence* служи за одабир типа симулације, па стога симулација може да се врши само за процес течења пластичне масе односно попуњавања калупње шупљине, може се вршити анализа за расподелу температуре и притисака, може се вршити анализа деформација дела, слика 5.5 а). Тип симулације који је у овом случају усвојен је *Fell+Pack+Warp*, односно анализа која обухвата све параметер процеса бризгања. Након тога се врши одабир материјала дела који се бризга позивањем опције *Select Material*, слика 5.5 б). Као материјал радног комада узет је *Ultramid A3K* фирме *BASF* чије су карактеристике дате у поглављу 2.2.6.



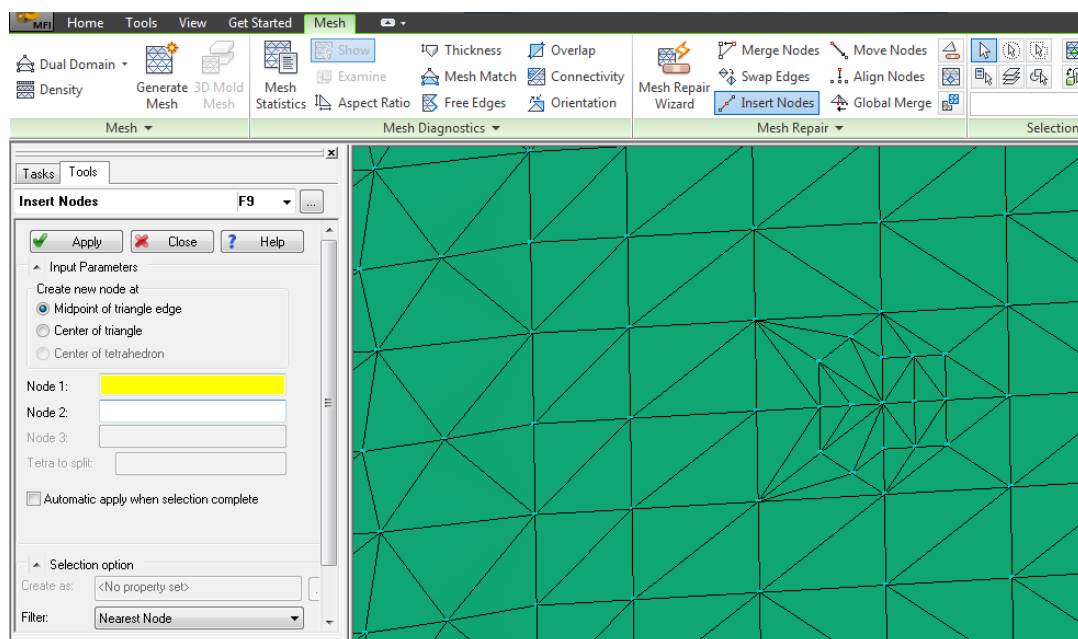
а)



b)

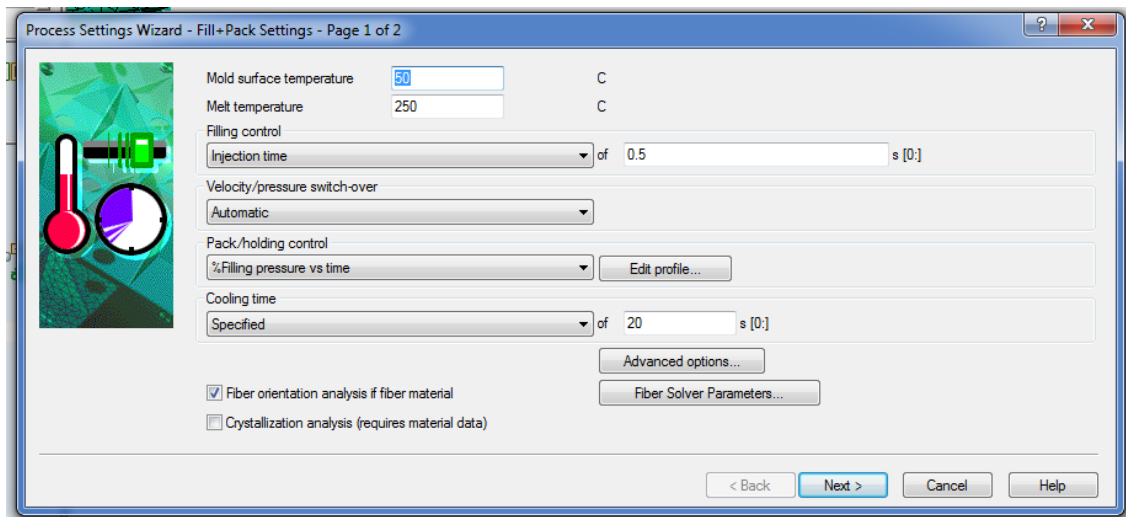
Слика 5.5. Опције подешавања параметара процеса

Опцијом *Set Injection Locations* бира се место постављања уливка, односно бира се место уливања, као и број уливака. Битно је нагласити да у случају ако је величина коначног елемента веча од величине уливка, неопходно је на том месту мрежу коначних елемената уситнити. Позивањем опције *Mesh* из палете алата, отвара се један нови сет опција које се тичу било каквих модификација мреже. Један од начина уситњавање мреже је и додавање чворова између коначних елемената. То се постиже позивањем команде *Insert Nodes*. На слици 5.5 је приказана уситњена мрежа на месту где ће бити постављан уливни систем.



Слика 5.6 Локално уситњена мрежа коначних елемената

Након одабира места уливака, позивањем опције *Proces settings* (слика 5.7) отвара се прозор у којем вршимо подешавања температуре алата, температуре растопљене пластичне масе, време хлађења, температуре хлађења, времена бризгања. При вршењу симулације задржани су сви параметри које је предложио сам програм, с тим што је подешено да време бризгања дела буде у период од једне секунде. Након свих подешених параметара може се покренути симулација процеса бризгања пластичне масе.

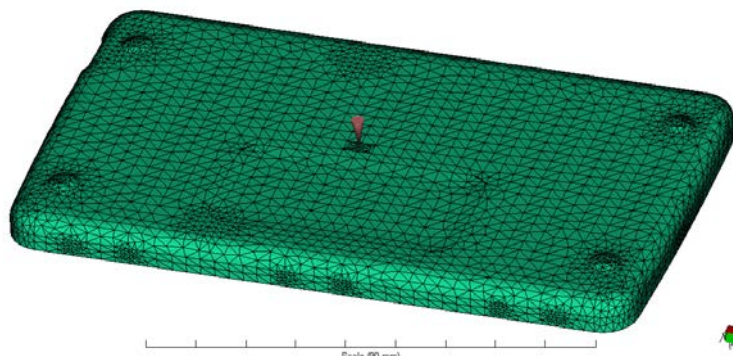


Слика 5.7. Мени за подешавање процеса бризгања

5.4 ЛОКАЦИЈЕ МЕСТА УЛИВАЊА

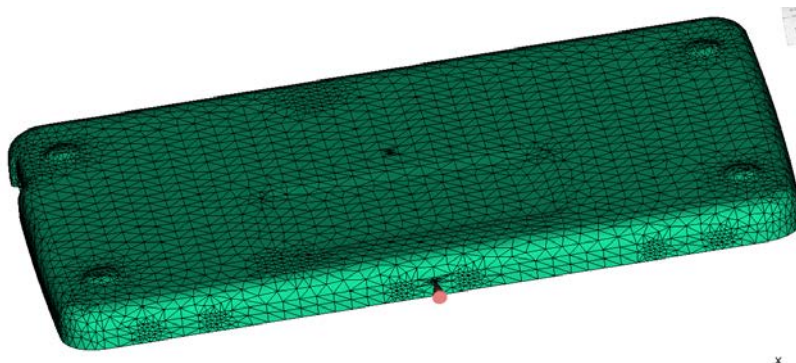
Пошто се испитује које је место уливања, тип уливака као и број уливака најповољнији, симулацијама ће се испитати како и у којој мери тип, број и локација места уливања утичу на ниво деформације дела након завршетка процеса бризгања, односно симулацијом ће се добити резултати који ће показати које је то место уливања и који тип уливака најпољнији а који најнеповољнији. У обзир ће се узети два типа уливака: тачкаси уливак, за који ће се симулирати и екструзионо бризгање са више уливака и филм уливак. На следећим сликама ће бити приказана места уливања за која су вршена испитивања.

Пример а) → Место уливака постављено на средини



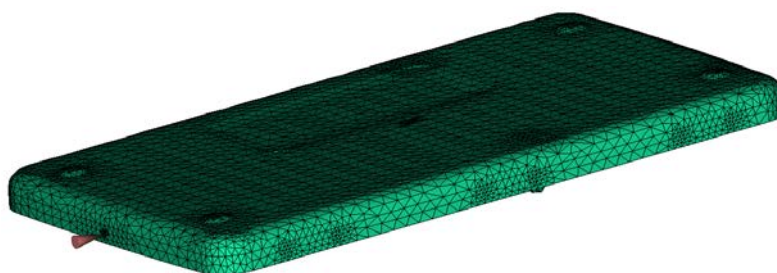
Слика 5.8. Уливак постављен на средини дела

Пример б) → Уливак постављен на дужој бочној



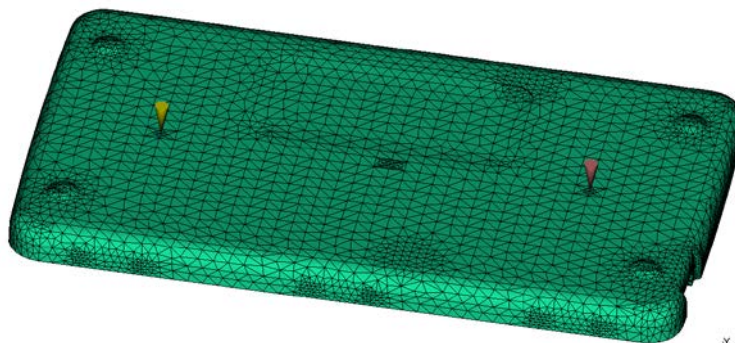
Слика 5.9. Уливак постављен на бочној страници (дужој)

Пример ц) → Упостављен на краћу бочну страницу



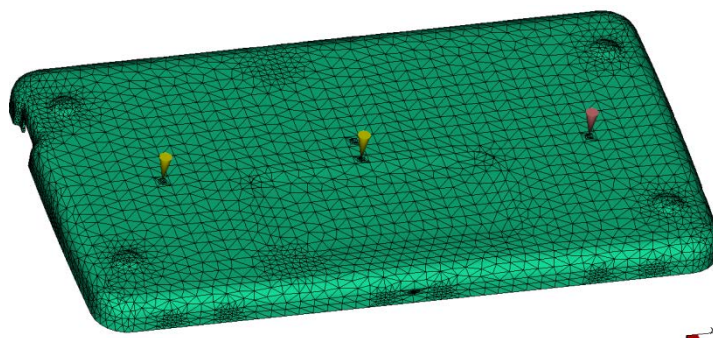
Слика 5.10. Уливак постављен бочној страници (краћој)

Пример д) → Бризгање се врши помоћу два уливка



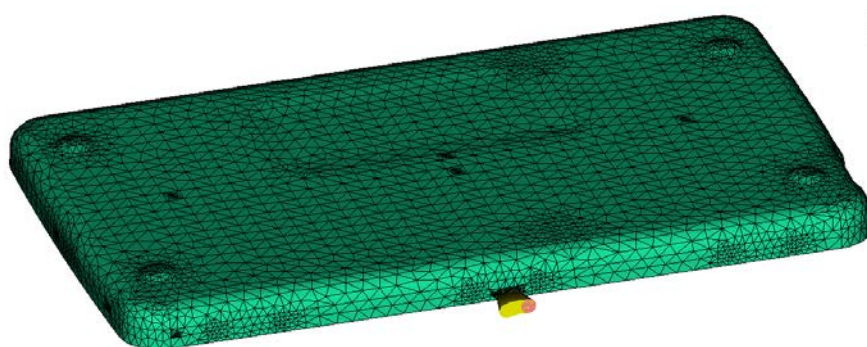
Слика 5.11. Уливање са два уливка

Пример е) → Бризгање врши помоћу три уливка



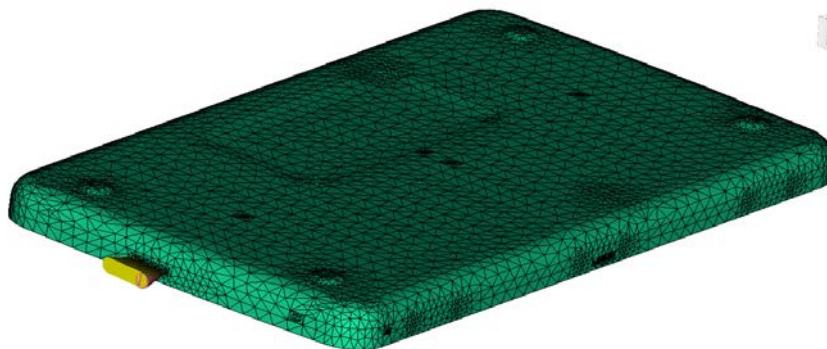
Слика 5.12. Уливање са три уливка

Пример ф) → Симулација бризгање се врши помоћу филм уливка са бочне (дуже) стране



Слика 5.13. Уливање филм уливком на бочној страници (дужој)

Пример г) → Бризгање се врши помоћу филм уливка са краће бочне стране

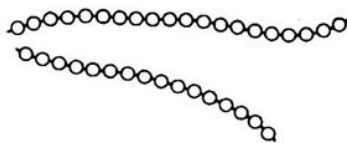


Слика 5.14. Уливање филм уливком на бочној страници (краћој)

6. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА СИМУЛАЦИЈЕ

На основу података који су изнети у претходном поглављу, а који се тичу параметара екструзионог бризгања, величине и типа коначног елемента за део приказан сликом 4.1, места, броја и начина уливања, извршиће се анализа резултата добијених симулацијама.

Пре саме анализе резултата треба имати у виду да је Полиамид 6/6, материјал који је коришћен, веома склон појави деформације током процеса екструзионог бризгања. Чист полиамид (Полиамид 6/6) се веома, као што је већ наведено, лако деформише и све то из разлога његове микроструктуре. Полиамид припада групи термопластичних материјала који имају кристалну (геометријски уређену) структуру, односно његови молекули су линеарни и формирају дугачке ланце (слика 6.1). Ови дуги ланци су веома пластични и међусобно су повезани секундарним –Ван дер Валсовим (*eng.* Van der Walson) везама.



Слика 6.1. Микроструктура полиамида

Поред материјала на тачност добијених резултата велики утицај има и правилно формирана мрежа коначних елемената. За случај да су коначни елементи великих димензија (преко 4,5 мм), или одабран тип мреже коначних елемената не одговара жељеној анализи, могу се добити резултати који нису валидни. Из тог разлога је битно да сви параметри пре путања симулације буду правилно изабрани.

6.1. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈА ЕКСТРУЗИОНОГ БРИЗГАЊА

По завршетку анализе програмски пакет који је коришћен за вршење симулација даје могућност приказивања великог броја резултата, као што су:

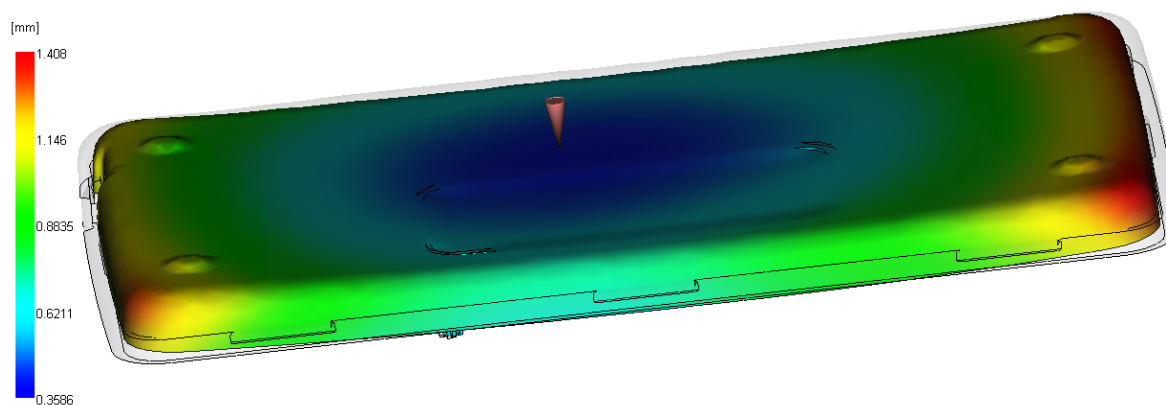
- Поступак попуњавања калупне шупљине;
- Ток притиска током процеса бризгања;
- Графички приказ промене притиска током процеса бризгања;
- Приказ „заробљеног“ ваздуха у калупној шупљини;
- Оријентацију (ток течења) влакана током процеса бризгања;
- Линију спајања у случају да се екструзионо бризгање врши са више уливака;
- Деформацију укупну и правцу све три осе (x, y, z).

Како се анализа вршила само за деформацију дела који се добија процесом екструзионог бризгања, у даљем тексту ће бити приказане слике добијених резултата и извршиће се њихова анализа.

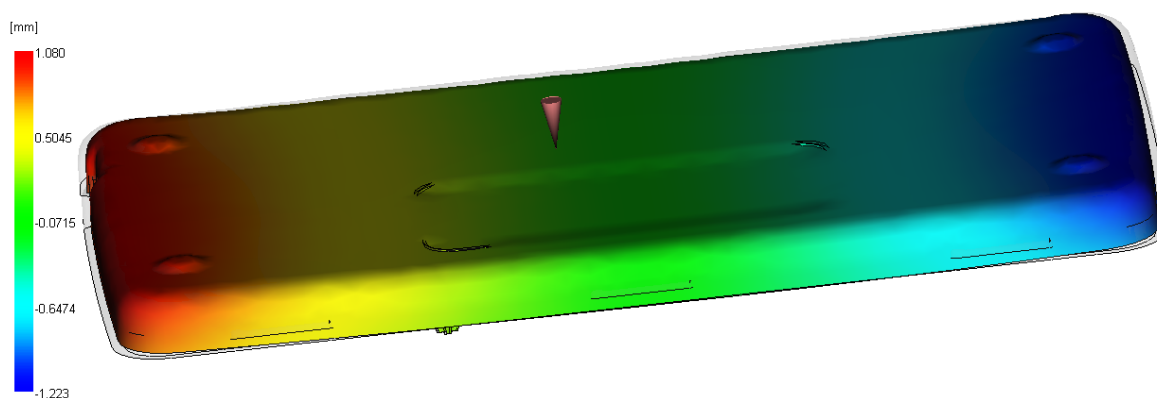
I – случај када је коришћен тачкасти уливак

За случајеве када је коришћен тачкасти уливак који је постављен на више различитих места која су приказана сликама 5.8, 5.9, и 5.10 добијени су следећи резултати.

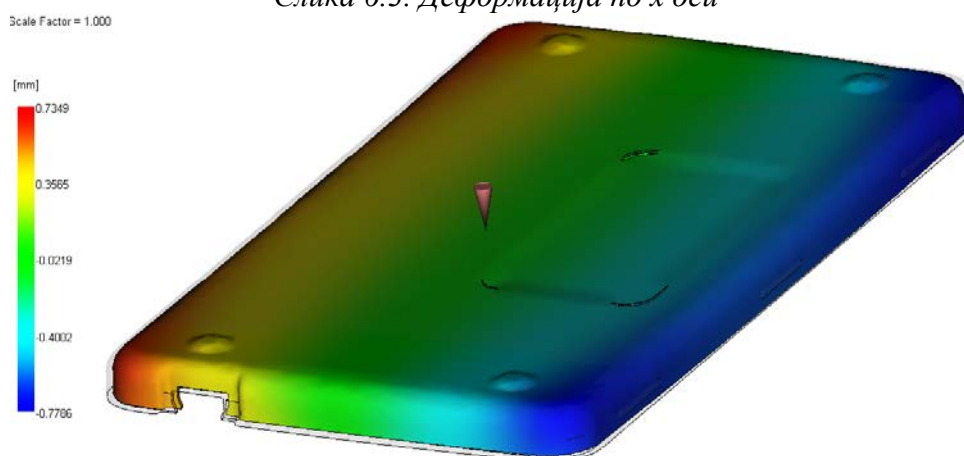
Пример а) → Тачкасти уливак постављен по средини



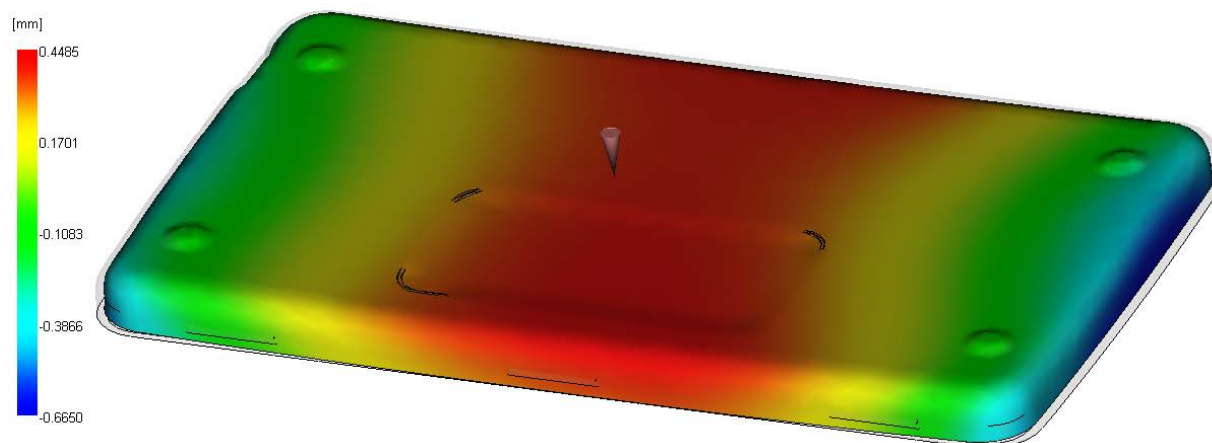
Слика 6.2. Укупна деформација



Слика 6.3. Деформација по x оси

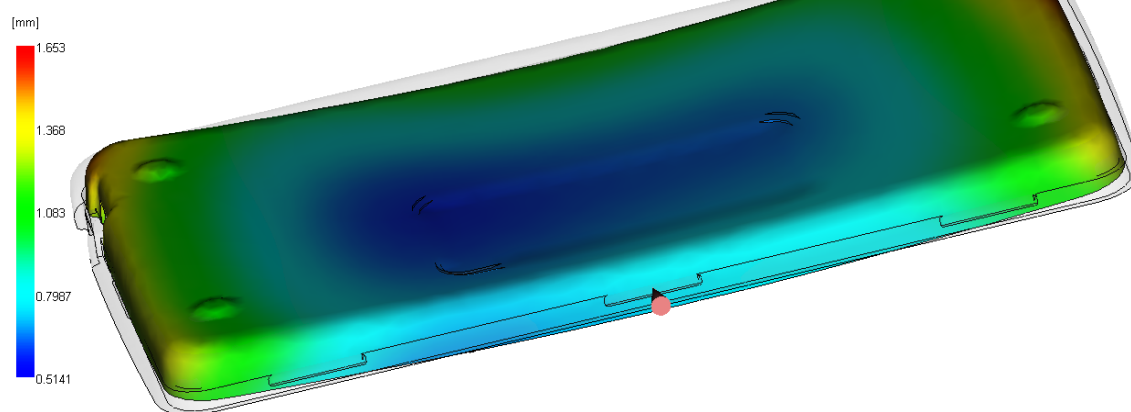


Слика 6.4. Деформација по y оси

Слика 6.5. Деформација по z оси

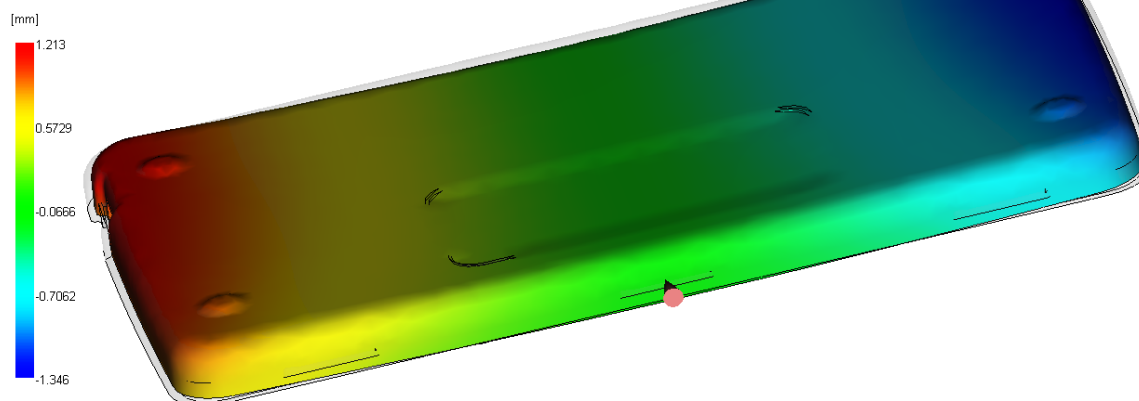
Пример б) → Тачкасти уливак постављен на бочној страници (дужој)

Deflection, all effects: Deflection
Scale Factor = 2.000

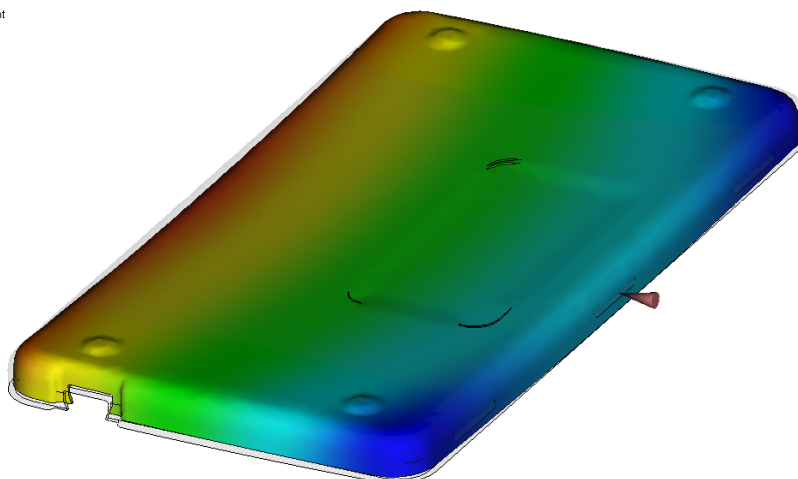


Слика 6.6. Укупна деформација

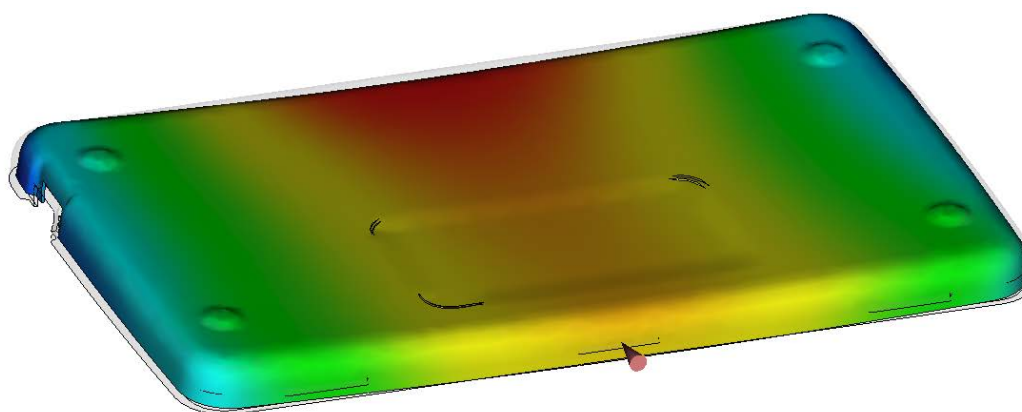
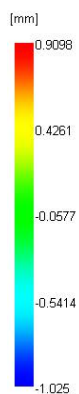
Deflection, all effects: X Component
Scale Factor = 1.000

Слика 6.7. Деформација по x оси

Deflection, all effects: Y Component
Scale Factor = 1.000

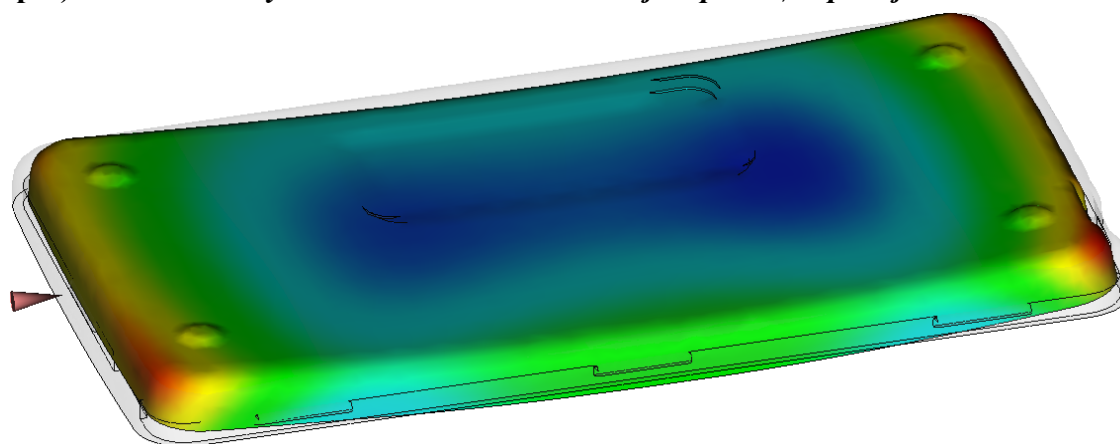
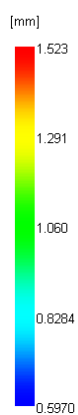


Слика 6.8. Деформација по у оси

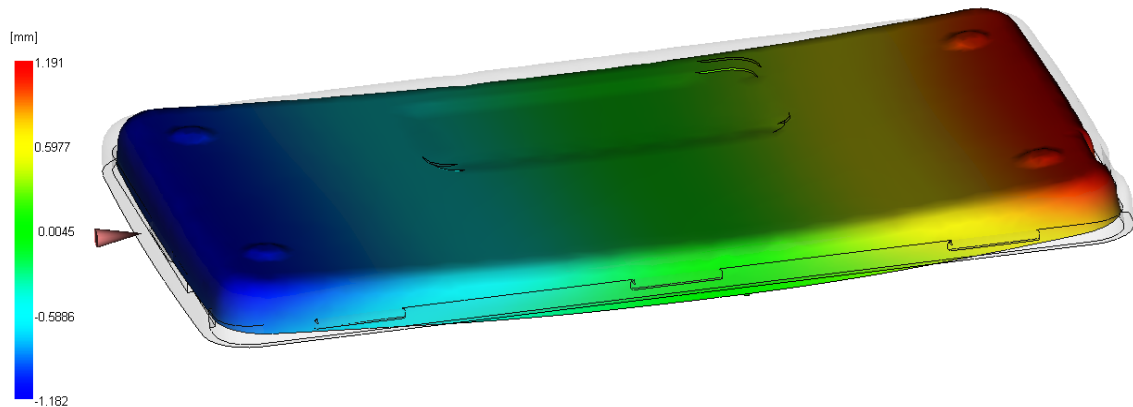
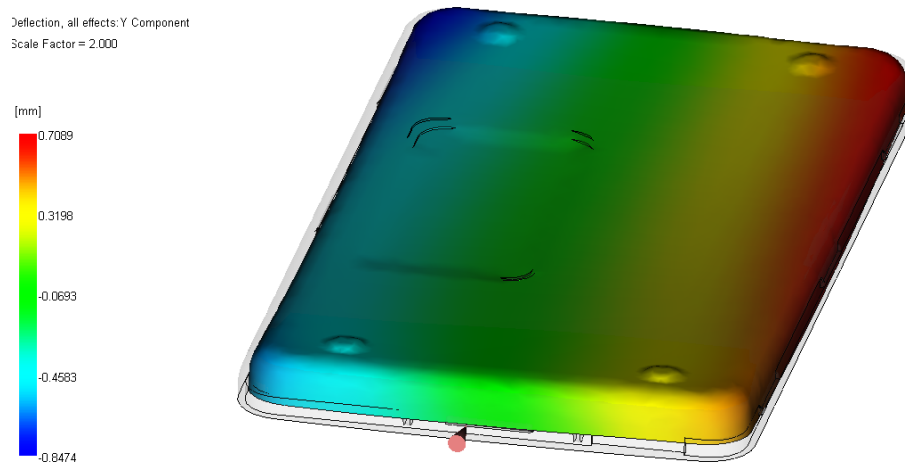
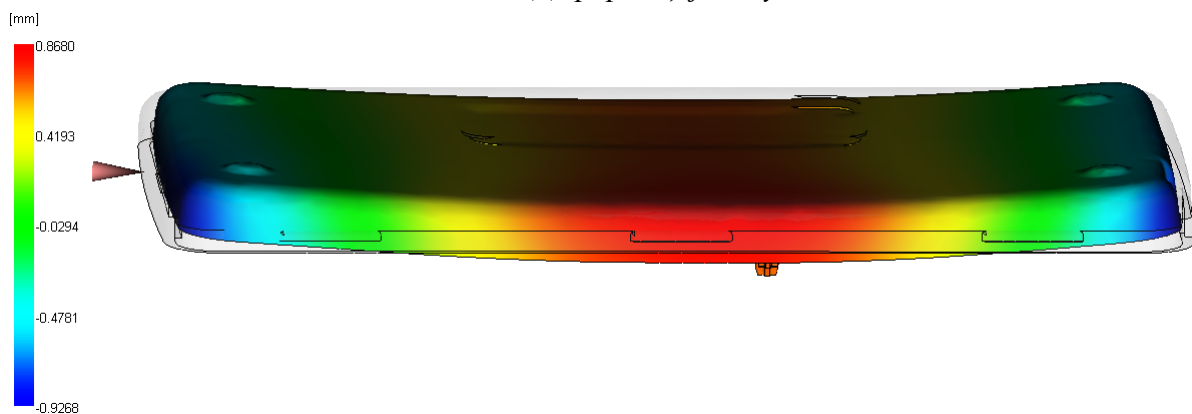


Слика 6.9. Деформација по z оси

Пример ц) → Тачкасти уливак постављен на бочној страници краћој



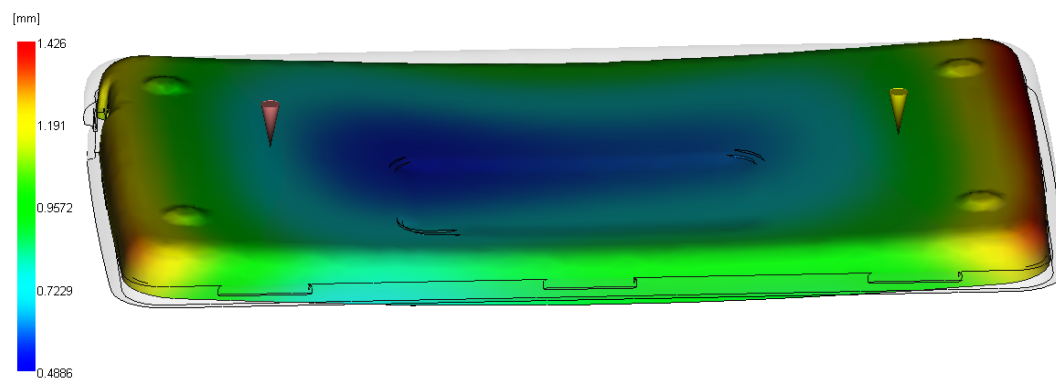
Слика 6.10. Укупна деформација

Слика 6.11 Деформација по x осиСлика 6.12. Деформација по y осиСлика 6.13. Деформација по z оси

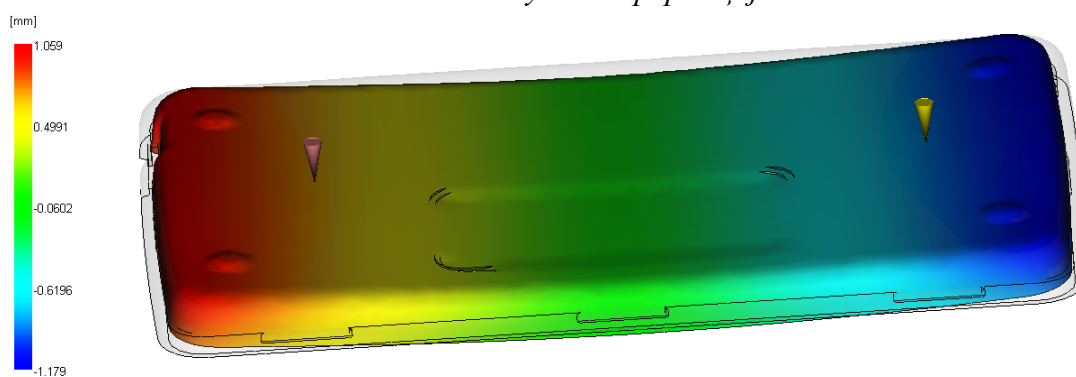
II – Резултати симулације за случајеви када је екструзионо бризгање вршено на више уливних места

За случајеве када је коришћено више тачкастих (више од једног места уливања) уливака која су приказана сликама 5.11, 5.12 добијени су следећи резултати>

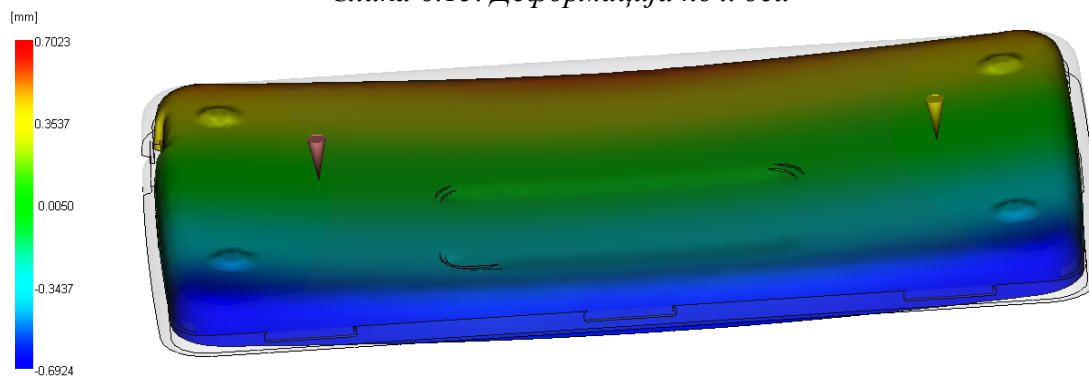
Пример д) → Уливање по средини са два уливка



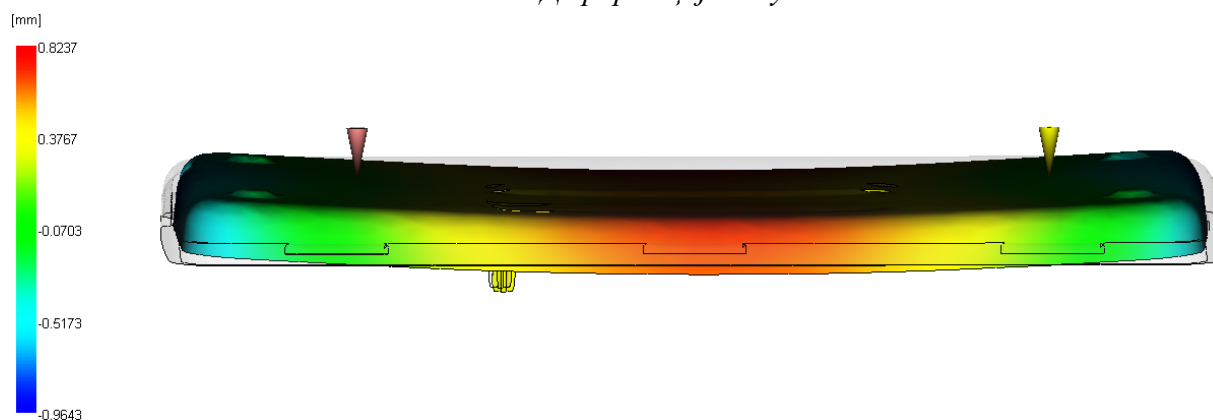
Слика 6.14. Укупна деформација



Слика 6.15. Деформација по x оси

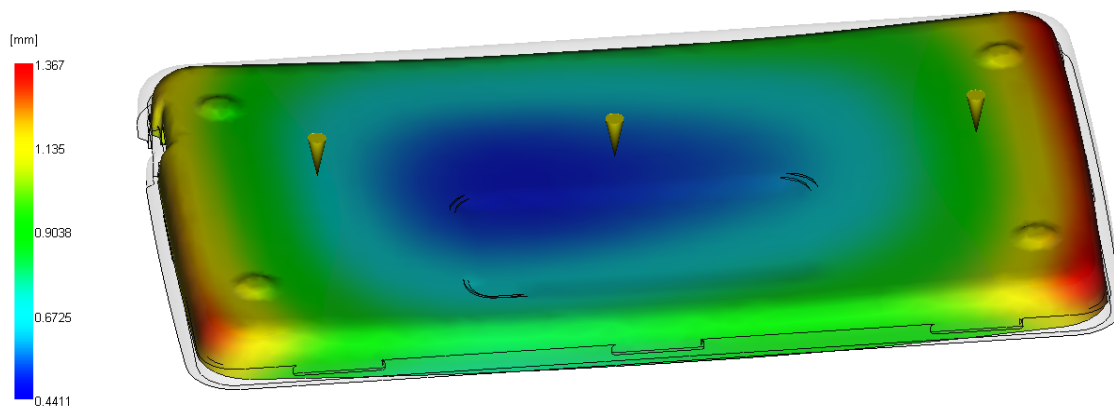


Слика 6.16. Деформација по y оси

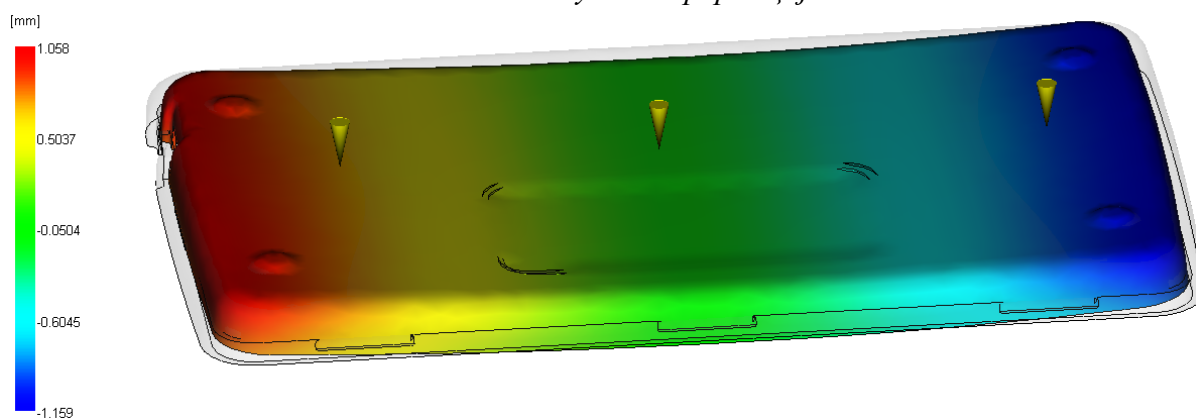


Слика 6.17. Деформација по z оси

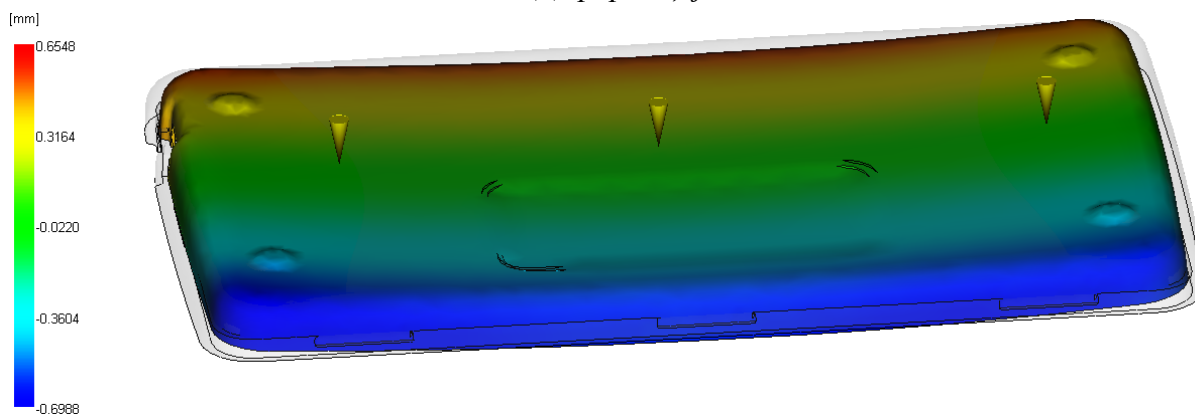
Пример е) → Уливање по средини са три уливка



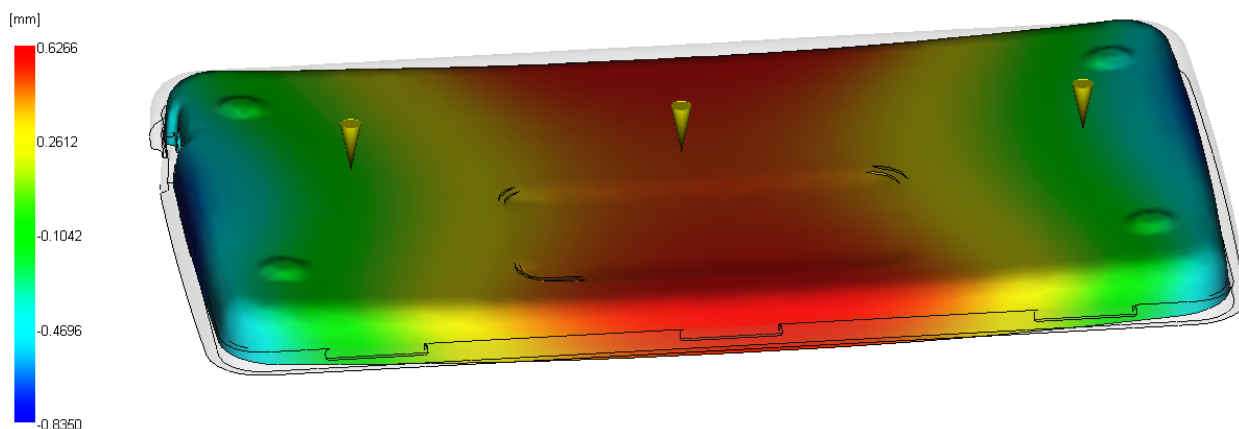
Слика 6.18. Укупна деформација



Слика 6.19. Деформација по x оси



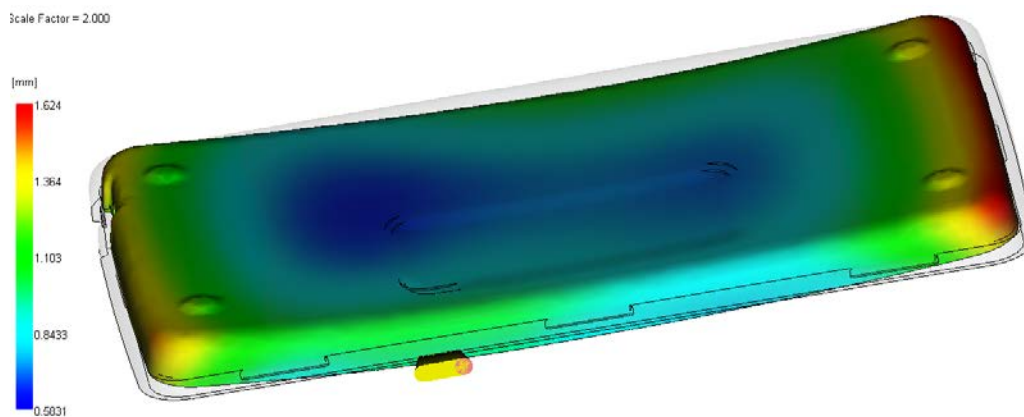
Слика 6.20. Деформација по y оси

Слика 6.21. Деформација по z оси

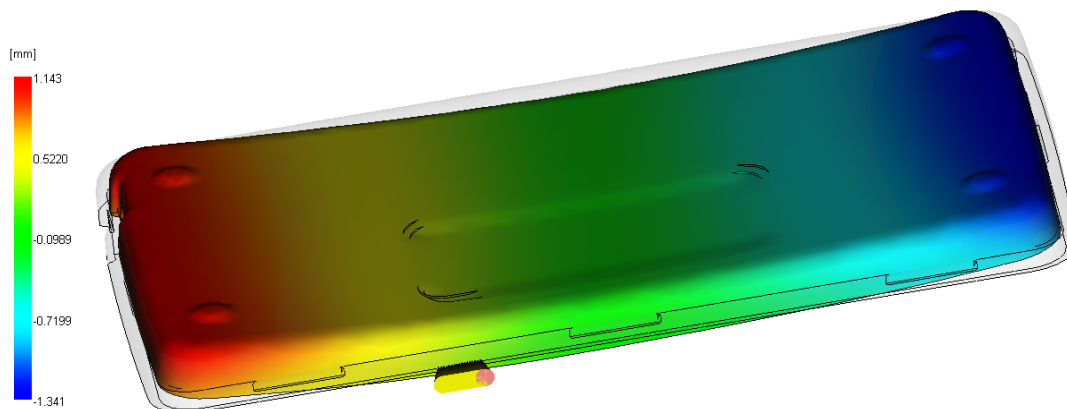
III – Резултати симулација када је као уливак коришћен филм уливак

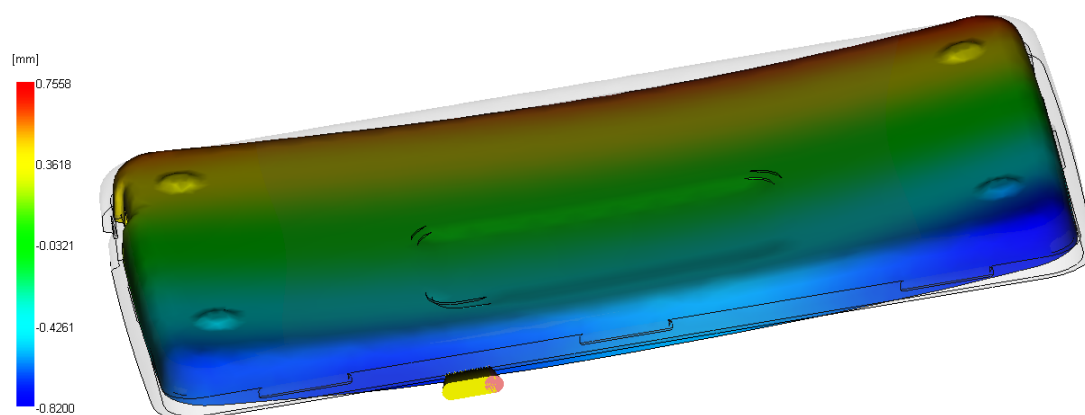
За случајеве када је коришћен филм уливак који је постављан на више различитих места, као што је приказано сликама 5.13, 5.14 добијени су следећи резултати:

Пример ф) → За случај када је уливање вршено на дужој бочној страници

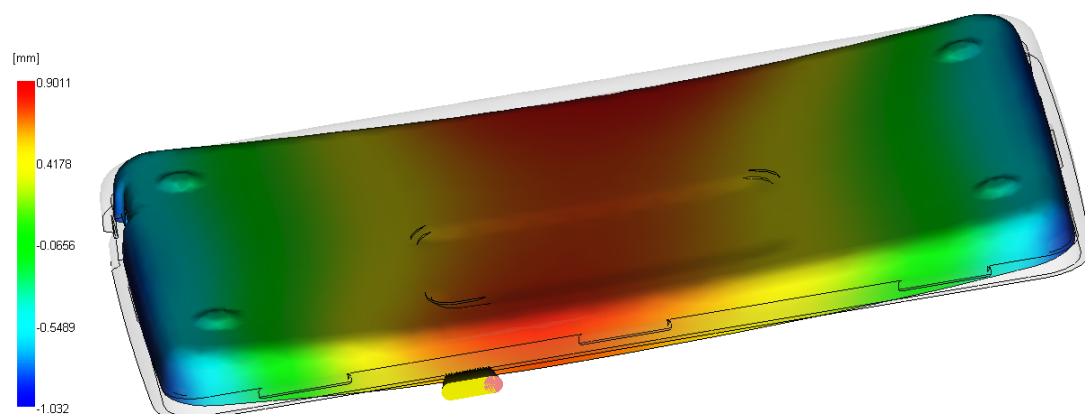


Слика 6.22. Укупна деформација

Слика 6.23. Деформација по x оси

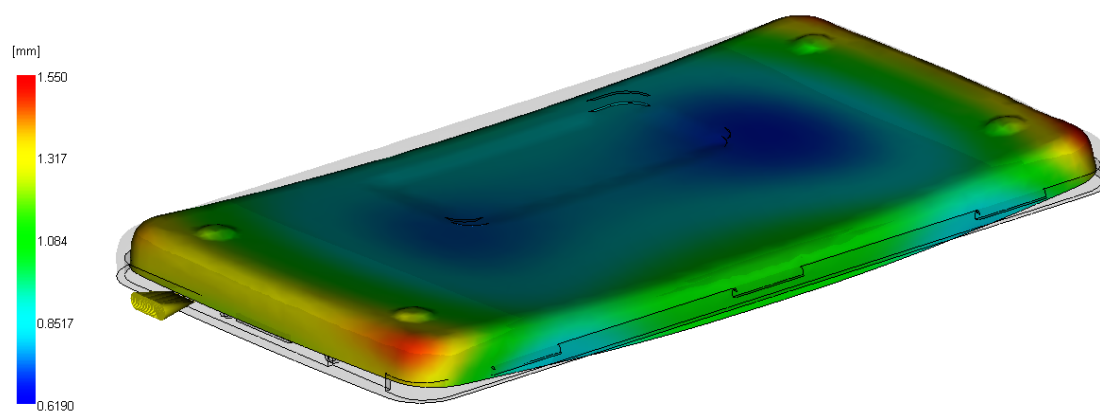


Слика 6.24. Деформација по у оси

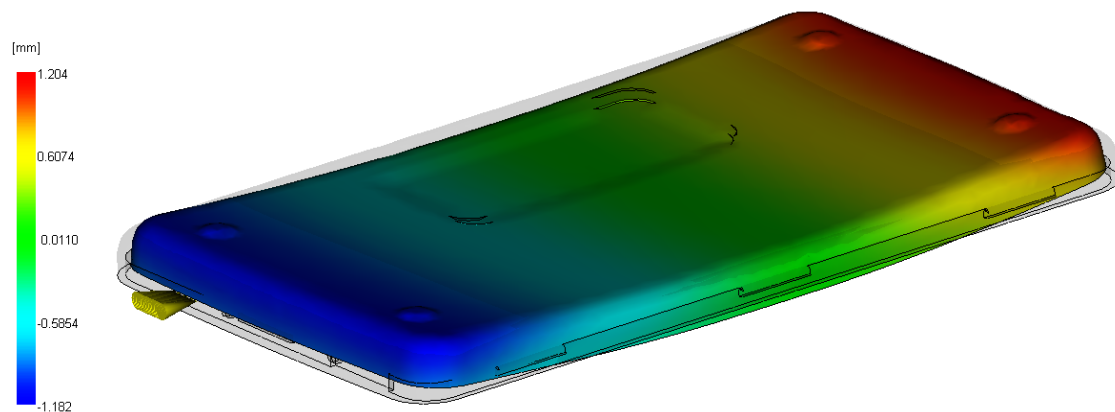
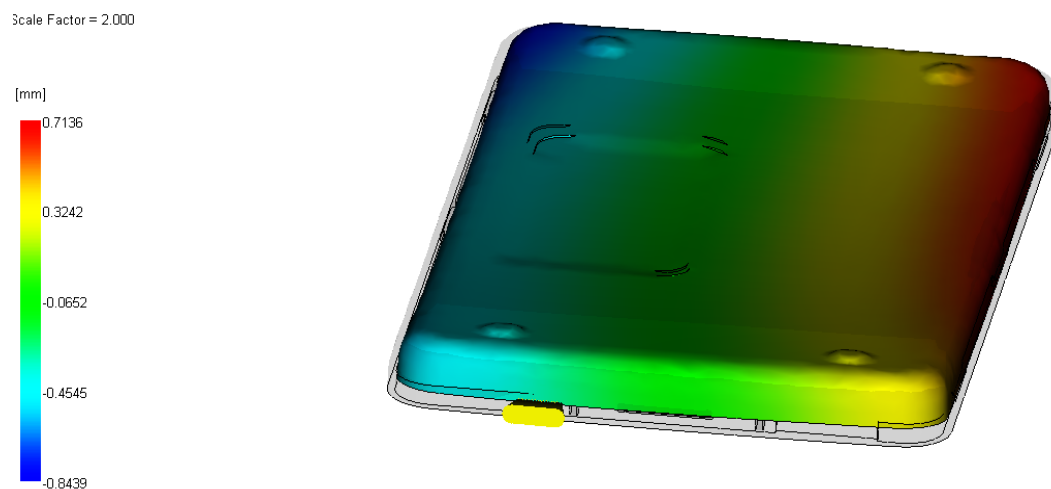


Слика 6.25. Деформација по z оси

Пример г) → За случај када је уливање вршено на краћој бочној страници



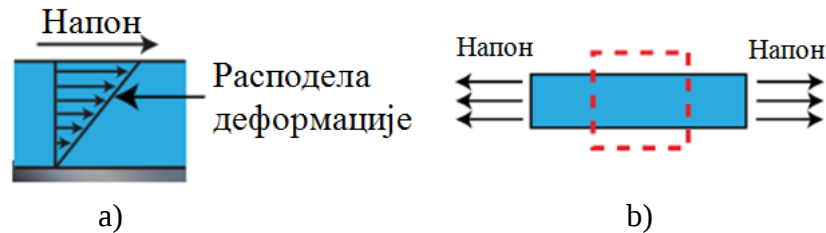
Slika 6.26. Ukupna deformacija

Слика 6.27. Деформација по x осиСлика 6.28. Деформација по y осиСлика 6.29. Деформација по z оси

6.2. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

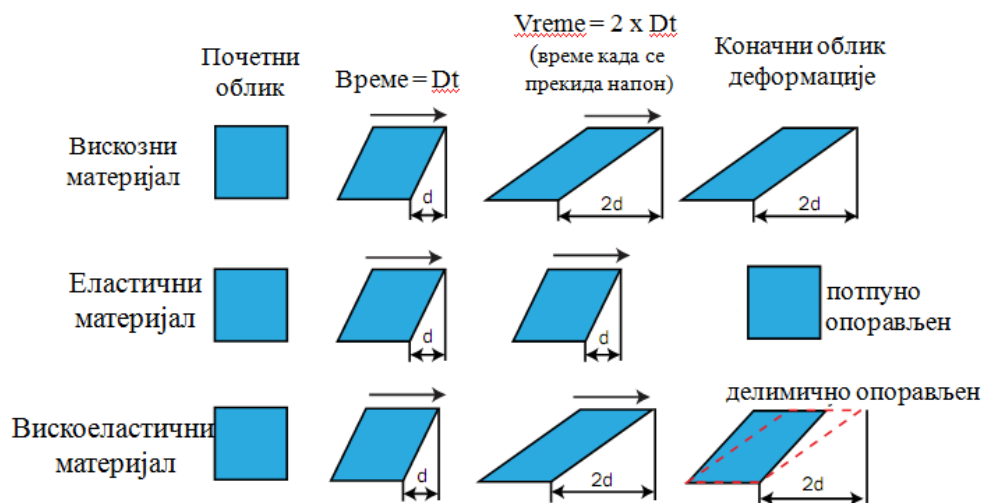
Добијени резултати, као што је и очекивано, показују да су деформације дела веома велике. Без обзира које место уливања или који тип уливка је изабран деформација дела је вића од 1 mm, што је у области прераде и израде делова од пластичних маса веома велика деформација. Током процеса бризгања постоје два типа деформација:

1. Деформација на смицање, слика 6.30 а);
2. Деформација на истезање, слика 6.30 б).



Слика 6.30. Деформације које се јављају током бризгања ^[10]

Деформација на смицање се јавља у свим областима током процеса екструзионог бризгања, док се деформација молекула материјала на истезање јавља у областима где се врши уливање. На величину деформације такође утиче и степен вискоеластичности материјала. Ова карактеристика материјала представља комбинацију карактеристика идеално искозног и идеално еластичног материјала. Током процеса екструзионог бризгања под дејством притиска долази до деформисања растопљене пластичне масе, односно долази до деформисања његових молекула, па са овакво стање материјала може сматрати као вискозно. Након престанка дејства притиска, за време хлађења, материјал почиње да се понаша еластично и његови деформисани молекули се делимично враћају у првобитно стање. На слици 6.31 су приказане карактеристике вискозних, еластичних и вискоеластичних материјала.



Слика 6.31. Карактеристике материјала ^[10]

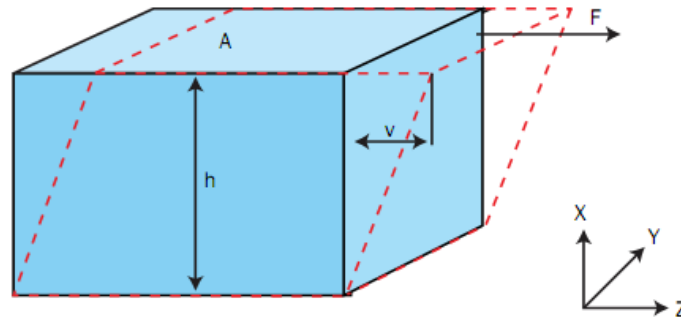
Вискозитет се може дефинисати на следећи начин:

$$\text{VISKOZITET} = \frac{\text{Напон смицања}}{\text{Степен смицања}}$$

Одакле је:

$$\text{Напон смицања} = \frac{\text{Сила (F)}}{\text{Површина (A)}}$$

$$\text{Степен смицања} = \frac{\text{Врзина (v)}}{\text{висина (h)}}$$

Слика 6.32. Вискозитет ^[10]

Материјал радног комада (Полиамид 6/6) је материјал изражених вискоеластичних карактеристика. Са обзиром да материјал има кристалну структуру, односно да су његови молекули облика дугачких ланаца, у растопљеном стању ти ланци се веома лако деформишу и истежу, а по престанку дејства притиска, за време хлађења ти ланци се делимично враћају у првобитни облик. Како су ти ланци линеарног облика највише скупљање долази у правцу њихове дужине што је главни узрок појаве деформација.

Такође је битно нагласити да на ниво деформације има утицај и димензија комада који се бризга. На основу димензија које су приказане на слици 4.1 (димензије радног комада), може се закључити да су ширина, а поготово дужина, драстично веће димензије од димензија као што су његова висина и дебљина његових зидова. Из тих разлога је и очекивано да се део лако деформише.

У случају II када је као уливак коришћен тачкасти уливак постављен на различита места (слике 5.8, 5.9, 5.10) добијене вредности деформација су приказане у табели 6.1.

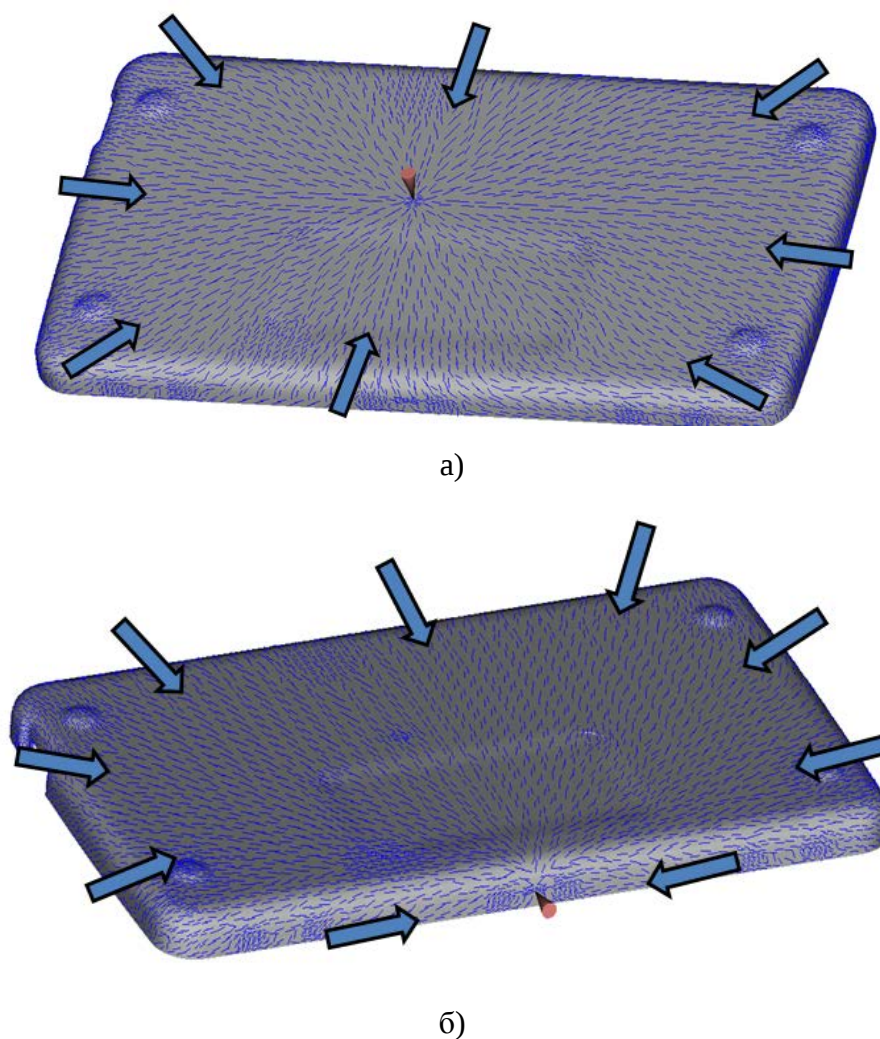
Табела 6.1. Вредности добијених деформација

Тачкасто уливање			
Деф.	пример а)	пример б)	пример ц)
Укупна	1.408	1.653	1.523
x	1.223	1.346	1.191
y	0.7786	0.8302	0.8474
z	0.665	1.025	0.9368

У табели су црвеном бојом приказане максималне, а плавом минималне вредности добијених деформација. На основу приложене табеле се види да у случају када се бризгање вршило за место уливање на дужој бочној страници добијале су се максималне вредности деформација. У случају када је бризгање вршено за место уливање по средини дела добиле су се минималне вредности деформација. Разлике између добијених резултата никако нису занемариве јер у случају укупне деформације разлика између места уливања пример а) и пример б) износи више 0,2 mm. Велика разлика је у случају када се деформација мери у правцу z осе, и та разлика износи више од 0,4 mm. Величина деформација за случај када се бризгање вршило на бочној

страници крађој (пример ц) је између вредности деформација за места уливања приказано примерима а) и ц).

До појаве оволиких разлика у деформацијама велики утицај има место уливања. У зависности од места уливања зависиће и оријентација влакана самог материјала, у овом случају Полиамида 6/6. Како је већ наведено, са обзиром да је структура полиамида у облику дугачких ланаца, деформације тих ланаца изазване њиховим сакупљањем, изазивају и деформацију целог радног комада. Како је за случај места бризгања пример а) оријентација влакана (слика 6.32.а)) у свим правцима, то ће при хлађењу деформација бити „равномерна“ у свим правцима, што за последицу има мању деформацију. У случају за пример б) оријентација влакана (слика 6.32.б) није равномерно расподељена па долази до појаве великих деформација што је приказано у табели 6.1.



Слика 6.33. Правци скупљања влакана

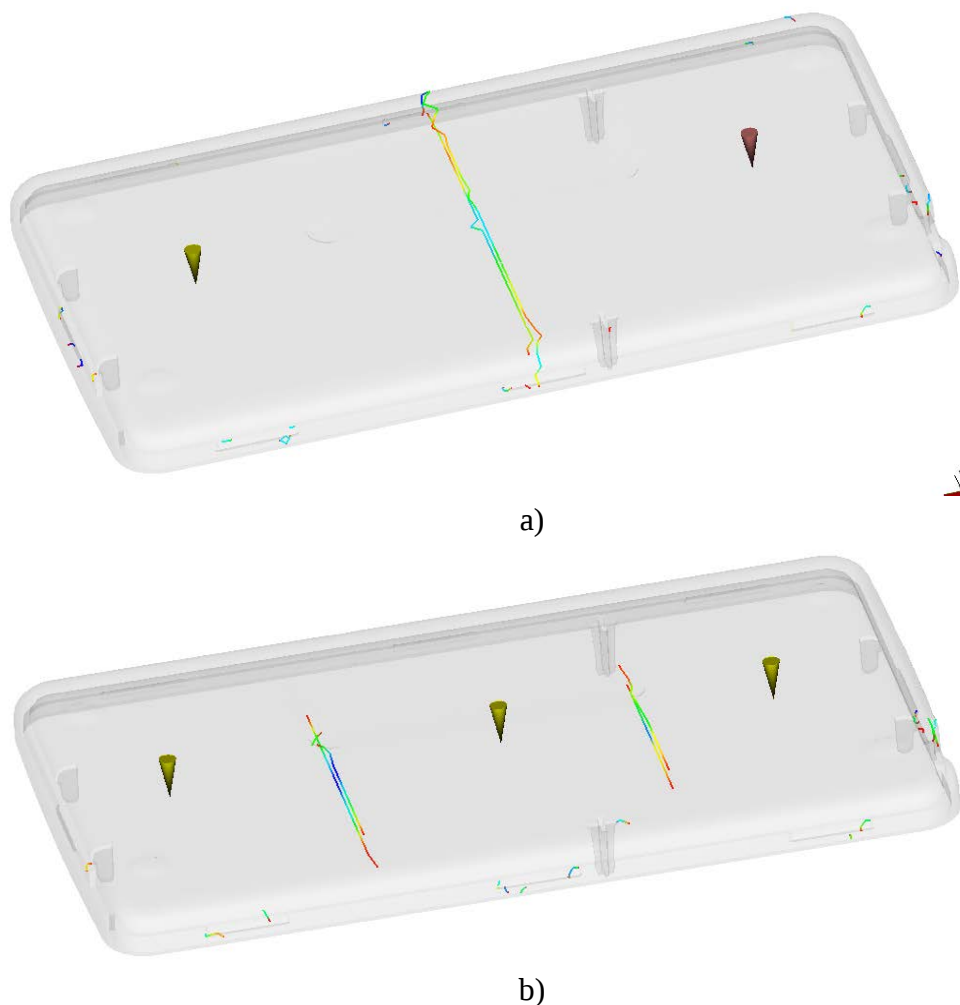
У случају II када је као коришћено више уливака, што је приказано сликама 5.11 и 5.12, добијени су резултати који су приказани у табели 6.2.

Табела 6.2. Вредности добијених резултата

Тачкасто уливање са више уливака		
Деф.	пример д)	пример е)
Укупна	1.426	1.367
x	1.179	1.159
y	0.7023	0.6988
z	0.9643	0.835

У табели 6.2 су црвеном бојом приказане максималне вредности, а плавом минималне. На основу резултата се види да су деформације за случај места бризгања дато примером е) незнатно мање него за случај бризгања дат примером д). Међутим како се при конструкцији алата узима у обзир и цена алата, из тог разлога би се пре изабрао алат са два места бризгања него са три, јер израда алата са три места бризгања је знатно скупља за израду, а разлика у деформацији је као што је наведено занемарива.

Поред тога посебна се пажња мора обратити и на линије спајања. Код бризгања са више места уливања долази до спајања материјала, који након хлађења формира видљиву линију која може имати знатно лошије техничке карактеристике. На слици 6.33 су приказане линије спајања материјала за бризгање са два уливака и са три уливака.



Слика 6.34. Линије спајања материјала

У случају III када се као уливак усвојен филм уливак, за позиције бризгања приказане на сликама 5.13 и 5.14, добијени резултати деформација су дати табелом 6.3.

Табела 6.3. Вредности добијених резултата

Филм уливак		
Деф.	пример ф)	пример г)
Укупна	1.624	1.55
x	1.341	1.204
y	0.82	0.8439
z	1.032	1.022

На основу приказаних резултата може се закључити да је ниво деформације за место бризгања дато примером ф) и г) разликује за од 0,1 до 0,2 mm, што представља значајну разлику. Гледано из угла технологичности алата за приказани део, лакше је у алату поставити да се место бризгања врши са краће бочне стране него са дуге. У датој табели 6.4 сумирани су сви резултати нивоа деформација.

Табела 6.4. Резултати деформације

Тачкасто уливање				Тачкасто са више уливака		Филм уливак	
Деф.	пример а)	пример б)	пример ц)	пример д)	пример е)	пример ф)	пример г)
Укупна	1.408	1.653	1.523	1.523	1.523	1.523	1.523
x	1.223	1.346	1.191	1.191	1.191	1.191	1.191
y	0.7786	0.8302	0.8474	0.8474	0.8474	0.8474	0.8474
z	0.665	1.025	0.9368	0.9368	0.9368	0.9368	0.9368

И ако се из табеле може уочити да је најмањи степен деформације постигнут за тачкасто бризгање са три места уливања, као најповољније и најекономичније место и тип уливања је тачкасти уливак постављен на средину дела. Разлика у деформацији између ова два положаја уливања је занемараива и износи од 0,01 mm до 0,02 mm. У случају да је изабрано да се део бризга са три уливака, такав концепт би доста повисио цену алата, као и закомпликовао његову израду. Поред тога у том случају би се на делу појавиле линије спајања материјала, које могу утицати на ергономију радног комада. У неким случајевима линије спајања могу имати знатно лошије техничке карактеристике од очекиваних карактеристика самог материјала. Ово је још један од разлога због чега је изабрано да се уливање врши преко једног места уливања.

7. ЗАКЉУЧАК

Развојем науке и технологије, развијали су се и рачунари и рачунарски програми. Неки од тих програма су и програми помоћу којих се врше симулације, које у индустријском свету имају важну улогу. Развојем оваквих програма олакшало се и знатно побољшало пројектовање готових делова, алатака, разних конструкција. У данашње доба када је из дана у дан производња све обимнија и када се од произвођача траже специфичне карактеристике готових делова, готово је не замисливо да се прорачуни понашања неких процеса врше ручно. Захваљујући рачунарским симулацијама постигла се знатна уштеда времена на разне прорачуне, уштеда новца јер више није неопходно радни комад физички направити да би се испитало његово понашање. Поред тога резултатима који се добијају након завршетка симулација добијају се информације, за које је некада било потреба знатно време како би се до њих стигло разним прорачунима.

У овом раду је приказан један од програма који се користи у индустрији прераде пластичних маса, помоћу којег се испитује понашање неког материјала, понашање процеса обраде, и који као резултат даје информације које су пројектантима веома значајне. Радом је приказан начин и поступак коришћења једног од програма помоћу којег се врши симулирање процеса прераде пластичних маса процесом екструзионог бризгања. На основу испитивања у различитим условима процеса екструзионог бризгања, добили су се резултати који су од великог значаја. На основу добијених резултата, може се закључити да су места уливања дата примером а) и е) најпогоднија јер се за њих добијају мање деформација у односу на остала места уливања. Разлике у величини деформације за поједина места уливања износе и до 0,4 mm. На основу резултата приказаних у табели 6.4 може се закључити да је најповољније место уливања по средини са три улива (пример е). Пошто је конструкција, као и сама израда алата са четири гнезда при чему се и сваком израђују три уливна канала изузетно сложена, технолошки захтевна и скупа, за део приказан сликом 4.1 препоручује се да се усвоји један уливак постављен на средини (пример а). На основу добијених резултата се види да је разлика у деформацији између начина уливања приказаног примером а) и е) између 0,01 mm и 0,03 mm, што је занемариво.

Током писања рада и испитивања, тј. вршења симулација, аутор овог рада је стекао додатна знања и искуства која му у даљим запослењима могу бити од велике користи. Током писања овог рада аутор се упознао са неким од основних и често примењиваних материјала од којих се израђују делови од пластичних маса. Упознао се са технологијом прераде пластичних маса екструзионог бризгања и њеним основним параметрима. За дати радни комад испројектовао је алат, и извршио испитивања која су показала који је уливак најповољнији за тај радни комад као и које је место уливања најпогодније.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lana Minić, *Utjecaj ekstrudiranja na toplinske karakteristike polietilena visoke gustoće*, Diplomski rad, Kemijsko – tehnološki fakultet, Split, 2010.
- [2] Boštjan Žagor, *Razvoj tehnologije temperiranja s termoelektričnim moduli in uporaba v predelavi polimerni materialov*, Doktorska disertacija, Fakultet za elektrotehniko, Ljubljana, 2008.
- [3] Aleksandar Jović, *Mehaničke osobine termoplastičnih masa*, Seminarski rad, Mašinski fakultet, Zenica, 2008.
- [4] Kovač Nezir, *Određivanje zateznih svojstava plastičnih masa prema standardu JUS G.S2.612*, Seminarski rad, MAŠINSKI FAKULTET, Zenica, 2010.
- [5] Интернет страница: <http://www.slideshare.net/laza88/alati-za-preradu-plasticnih-masa>, приступљено Март 2014.
- [6] Александар Марковић, *Бризгање пластике*, Семинарски рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.
- [7] Интернет страница: www.orpal.si/storitve/tehnologija-brizganj, приступљено Фебруар 2014.
- [8] Ultramid® (PA), Product Brochure, BASF – The chemical company.
- [9] Product Information BASF Ultramid® A3K (PA66).
- [10] Jay Shoemaker, *Moldflow Design Guide*, Knjiga, Minhen, 2006.
- [11] Antoine Rios, Bruce Davis and Paul Gramann, *Computer Aided Engineering in Compression Molding*, Izveštaj, Madison – USA.
- [12] E. Alfredo Campo, *The Complete Part Design Handbook for injection molding of thermoplastic*, Knjiga, Minhen, 2006.
- [13] Б. Недић, *Технологије прераде пластичних маса, скрипра*, Машински факултет, Крагујевац, 2008.
- [14] Б. Недић, В. Ђукић, *Пластичне масе, скрипта*, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [15] Интернет страница: <http://www.scribd.com/search-documents?query=Plasticne+mase> приступљено Фебруар 2014.