

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерски менаџмент

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Инжењерски менаџмент

Предмет: Менаџмент комуникацијама

Број индекса: 323/2019

Немања З. Пајић

Визуелна комуникација применом 3Д штампе

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Фатима Живић, дипл. маш. инж.

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

Анализира могућности примене 3Д штампе за промотивну комуникацију у производњи накита.

Препоручена литература:

1. Ben Redwood; Filemon Schoffer; Brian Garret (2017). 3D Printing Handbook – Technologies, design, applications, 3D Hubs B.V. Amsterdam, The Netherlands
2. John Jordan (2018), 3D Printing, The MIT Press Essential Knowledge Series, The Massachusetts Institute of Technology, USA
3. Formlabs (2017), The Ultimate Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing, Fromlabs, Somerville Massachusetts, USA

Крагујевац, 2020.

Ментор:
Др Фатима Живић, дипл. маш. инж.

Садржај

Резиме	4
Увод.....	5
1 Опис основних принципа различитих метода 3Д штампе са освртом на актуелне материјале и њихову примену	6
1.1 Екструзија материјала	8
1.2 Полимеризација у кади (VAT polymerization)	11
1.3 Спајање слојева прашкастог материјала (Powder bed fusion).....	15
1.4 Спајање слојева везивним средствима (Binder Jetting)	19
1.5 Material Jetting.....	21
1.6 Остале методе 3Д штампе	25
1.7 Поређење различитих метода 3Д штампе и правила за дизајнирање	28
2 Различита ограничења и примене 3Д штампе	31
2.1 Тренутна ограничења 3Д штампе	31
2.2 Различите примене 3Д штампе	37
3 Примена 3Д штампе у маркетингу и промоцији за развој нових производа.....	44
4 Опис експеримента моделирања, 3Д штампе, израде калупа, изливања метала и финалне обраде накита	54
Закључак.....	72
Литература	73
Биографија аутора	75

Резиме

3Д штампа је релативно нов производни процес који отвара широк спектар нових могућности. Постоји више различитих метода 3Д штампе које су засноване на разним принципима и користе различите материјале и принципе спајања материјала. Свака од ових метода 3Д штампе има своје мане и предности и пружа различите могућности и ограничења. Да би се 3Д штампом успешно произвео одређени модел потребно је познавати и поштовати правила за дизајн модела као и ограничења различитих метода 3Д штампе. Популарне области за примену 3Д штампе су индустријска окружења, образовне установе, маркетиншке области, архитектура, уметност, научно истраживачки центри и још много њих. Последњих година 3Д штампа налази своје место у изради производа за промотивну комуникацију у више различитих области. Развојем нових технологија и материјала могуће је употребом ливачких резина израдити језгра а затим и калупе за изливање металног накита уз помоћ 3Д штампе. Експеримент описан у овом раду приказује процес моделирања, 3Д штампе, израде калупа, изливања метала и финалне обраде накита.

Кључне речи: *3Д штампа, адитивна производња, промотивни производи, ливачки резин, производња накита.*

Abstract

3D printing is relatively speaking a new method of production and it opens a wide range of new possibilities. There are several different methods of 3D printing and all of them are based on different principles and use different materials and binding methods. Each of these methods has its own advantages and disadvantages and also has its own limitations and potentials. To achieve a successful 3D printing process, it is necessary to be aware and to respect rules of design for 3D printing and also limitations of equipment. Popular fields of application of 3D printing are based but not limited to: industrial environment, educational facilities, advertising and marketing, architecture, art, research and development... In a last few years 3D printing has found its way to promotional products industry in various fields. Following development of new 3D printing technologies and materials it has become possible to involve additive manufacturing in jewelry production processes. 3D printing can be used to produce cores for molds for investment casting process. Experiment described in this paper is shows process of 3D modeling/designing jewelry, 3D printing, investment casting, and final processing of metal by sanding and polishing final pieces.

Keywords: *3D printing, additive manufacturing, promotional products, cast resin, jewelry manufacturing, investment casting.*

Увод

Израда компликованих делова или комплексних склопова мимо серијске производње је до појаве 3Д штампе и више-осних CNC машина био јако захтеван посао. Доста тога се радило ручно и прецизност је захтевала јако пуно времена и зависила је од вештине човека. Применом CNC машина неке облике није могуће израдити због неприступачности глодала појединим сегментима обрадака а и није могуће израдити шупаљ комад или делимично попуњен. 3Д штампа је релативно спор процес израде који све више налази своје место у разним индустријама. Изузетна прецизност израде штампаних делова, могућност израде компликованих облика са строгим димензионим толеранцијама, широк спектар материјала за 3Д штампу и израда више комада на основу једног 3Д модела су само неке од особина које су 3Д штампу учиниле јако популарном технологијом са широким спектаром примене.

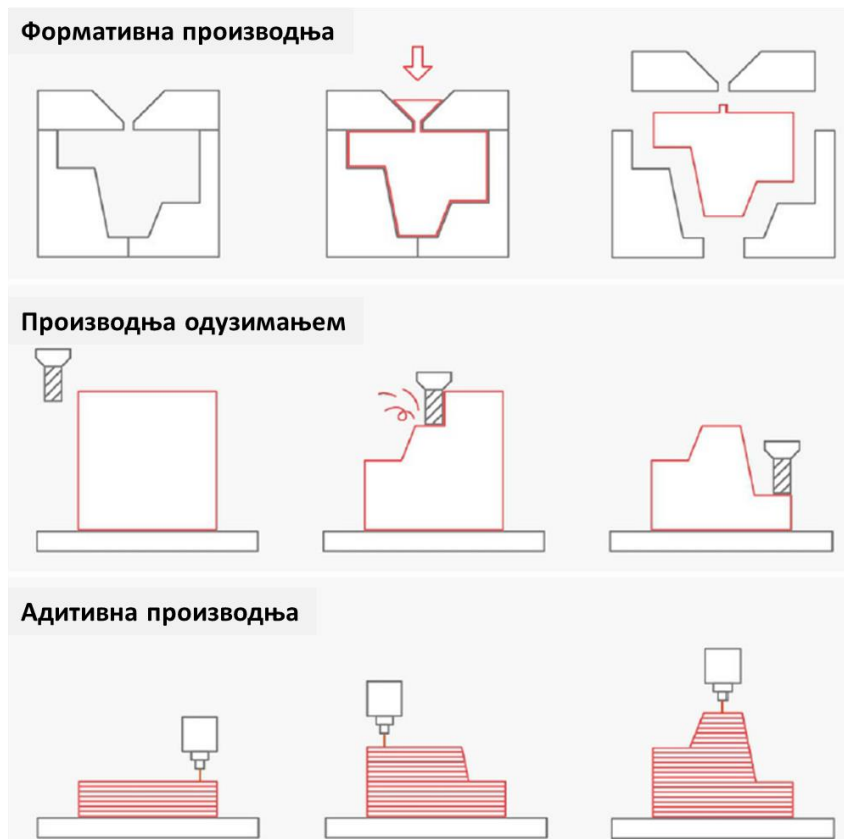
У овом раду, поред осталог, ће бити обрађена тема примене 3Д штампе у изради калупа за ливење топљених метала кроз експеримент. Рад је састављен прегледом литературе која се бави: израдом прототипова, применом 3Д штампе, израдом калупа за ливење, применом 3Д штампе у промотивне сврхе, процесом топљења и изливања метала, применом воскова за израду калупа итд... Такође је за израду рада коришћен садржај са веб страница великих произвођача 3Д штампача и репроматеријала као и портала који се баве актуелним дешавањима у свету 3Д штампе. Као структурални елемент овог рада биће представљен експеримент израде накита од идеје до коначне реализације. У експерименту ће бити описани кораци израде 3Д модела, процес штампе, сазревање штампаних делова и израда калупа, сазревање калупа, топљење и изливање метала, екстракција одливка из калупа и финална обрада комада.

Обзиром на чињеницу да је 3Д штампа процес настао пре око 40 година а популаризацију доживео тек пре нешто више од 20 година разумљиво је да је ово релативно млада технологија. Интензиван развој и распрострањивање ове технологије је узело маха пре око 15 година, те се стога тек очекују значајнија открића и унапређења у овој области. Доста нада се полаже у 3Д штампу функционалних органа, али се ради и на интензивном развоју великих 3Д штампача који могу штампати мањи брод у једном пролазу. Пре неколико година се појавила опрема за 3Д штампу грађевинских објеката разним методама. Ово може бити једна од јако интересантних области за развој адитивне производње. Разумно је очекивати развој опреме за 3Д штампу као и материјал који би се користили за адитивну производњу. Развој би требало базирати на унапређеној функционалности, ефикасности и ефективности опреме; унапређењу карактеристика материјала као и појефтињењу њиховог производног процеса; и коначно потребно је развијати биоразградиве материјале зарад очувања животне средине.

Примена 3Д штампе у комуникацији данас пружа широк спектар могућности и може се применити у разним областима. Популарне области за примену 3Д штампе су индустријска окружења, образовне установе, маркетиншке области, архитектура, уметност, научно истраживачки центри и још много њих. 3Д штампа може донети доста бенефита организацији која на адекватан начин разуме и примени ову технологију. Адитивна производња вероватно јако дуго неће моћи да парира ценом формативној серијској производњи, можда и никада неће моћи, али то и није циљ 3Д штампе. 3Д штампа је производни процес намењен малим серијама јако персонализованих односно јединствених производа за које нема основа улагати у алате за серијску производњу.

1 Опис основних принципа различитих метода 3Д штампе са освртом на актуелне материјале и њихову примену

Технологије производње се углавном могу сврстати у три категорије: формирањем, одузимањем и додавањем (слика 1.). [1]



Слика 1. Приказ различитих категорија производње делова [1]

Формативна производња захтева јединствене калупе за сваки производ који се жели произвести, који могу бити за једнократну или виšekратну употребу. Калупи за виšekратну употребу су најчешће израђени од метала и обезбеђују брзу и ефикасну производњу више комада, али захтевају значајна улагања на почетку производње. Материјал се најчешће излива, бризга, ваља или пресује у калуп из којег се касније вади производ и уступа место наредном производу. Калупи за једнократну употребу се могу израдити од разних материјала као што су: песак, гипс, скроб итд...Производња функционише тако што се мастер модел користи за израду једнократног калупа (најчешће се мастер модел користи више пута), затим се у калуп излива или убризгава материјал који се када постане чврст преноси у следећу производну фазу а калуп се или одстрањује или рециклира у нови калуп. Овде постоји паралела са употребом 3Д штампе јер се мастер модел може израдити на 3Д штампачу и користити за израду калупа за изливање, на пример метала, како ће бити приказано у опису експеримента. Формативна производња је погодна за израду серије производа да би се оправдала иницијална улагања, али не толико исплатива за појединачну производњу, као на пример прототипова. [1]

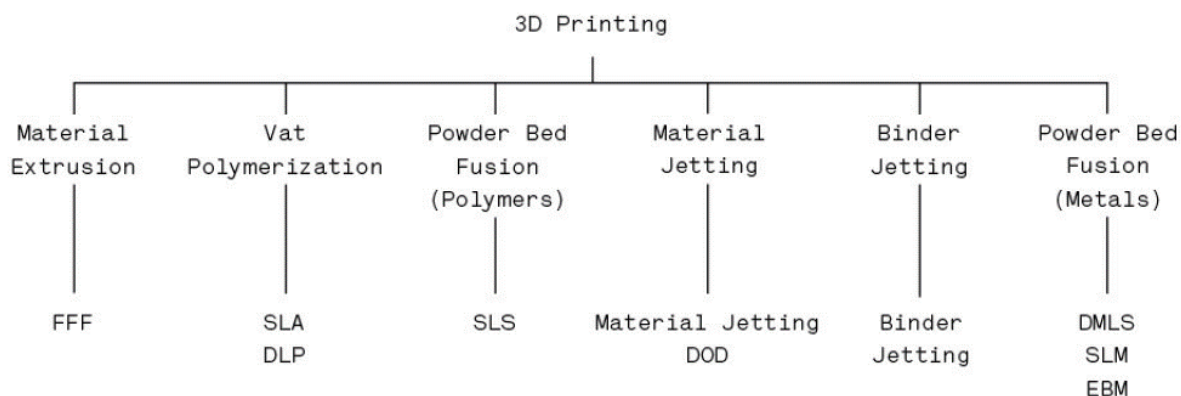
Производња одузимањем се, како само име каже, спроводи отклањањем односно одузимањем делова материјала од већег комада материјала. Ова метода је са развојем CNC технологије нашла изузетно широк спектар примене у разним индустријама и најчешће се користи за производњу од метала, пластике или дрвета. Релативно брзо и прилично прецизно овом методом могу се произвести комади који често не захтевају никакву даљу

обраду. Технологија је тренутно широко доступна и њоме се могу произвести релативно једноставни геометријски облици. Иако постоје више-осни обрадни центри, на њима се често не могу произвести одређени комплексни облици јер обрадна глава и глодало не могу прићи одређеним сегментима обратка. Код 5-осних CNC машина је неопходно окретати обрадак у току производње што се сматра активношћу која не додаје вредност. За овај тип производње је потребна примена Computer Aided Manufacturing (CAM) да би се одредиле најбоље руте глодала и најефикаснији рад машине. Алати се хабају и захтевају замену или периодично оштрење, те су све то фактори који поскупљују овај процес производње. [1]

Аддитивна производња се спроводи додавањем материјала, најчешће слој по слој, у циљу добијања коначног производа. 3Д штампа је један од видова аддитивне производње јер се штампа изводи додавањем слојева материјала један на други. То се ради различитим методама спајања материјала, које користе различите материјале за разне намене и сврхе. Како би преглед разних технологија био јаснији, оне ће бити подељене у неколико категорија и описане понаособ (слика 2.). Тренутно актуелне методе 3Д штампе су [1]:

- FDM
- SLA
- MSLA
- DLP
- SLS
- DMLS
- SLM
- EBM
- Binder Jetting
- Material Jetting
- DOD

Тешко је сортирати методе 3Д штампе од најбоље до најгоре ван одређеног контекста и захтева производње и самог производа. Свака метода носи своје предности и мане у зависности од цене опреме, цене репроматеријала, брзине и квалитета штампе, врсте материјала које одређени тип штампе подржава и још много тога... Све поменуте методе ће бити укратко описане са наглашеним карактеристикама а у опису експеримента у даљем тексту ће бити образложен одабир методе за израду накита.



Слика 2. Шематски приказ различитих метода 3Д штампе [1]

Груба подела 3Д штампе према врсти материјал може бити на полимере и метале. Полимери се могу поделити по форми материјала на филаменте, резине и прахове а према врсти материјала на термо пластике и термо сетове. Термо пластике се формирају

загревањем односно топљењем и могу се претапати након формирања или лемити, то су најчешће материјали у форми филамента или праха (слика 3.). Термо сетови су најчешће течни (у форми резина) и очвршћавају услед дејства температуре, светлости или катализатора. Термо сетови се најчешће након формирања не могу претапати или лемити без нарушавања основних својстава материјала. Метали углавном по правилу долазе у праху и спајају се услед дејства температуре или додавањем адхезивних супстанци. Неке методе 3Д штампе користе и керамике или композите за повишену отпорност на температуру, хабање и слично и могу доћи у разним формама.[1]



Слика 3. Филамент, прах и резин за 3Д штампу [1]

1.1 Екструзија материјала

(FFF) Fused Filament Fabrication (Generic) или **(FDM) Fused Deposition Modeling**, је процес адитивне производње засноване на екструзији. Ова метода је развијена крајем 80-их година прошлог века а 1992. године је доспела на тржиште. Просто речено, филамент или струна сачињена од полимера се механички уводи у главу са млазницом и грејним елементом, где долази до топљења и истискивања односно бризгања материјала на радну плочу или грејану плочу (слика 4.). Материјал се бризга у слојевима најчешће на загрејану плочу где се загрејани слој материјала спаја са претходним слојем, те тако чине једну целину, отуда и потиче назив „производња спајањем филамента“. [1]

Табела 1. Преглед главних карактеристика FDM штампе [3]

Метод спајања:	Термичко
Материјал:	Термо пластика - Филамент
Дебљина слоја:	0.127–0.5mm
Неопходност потпоре:	Да
Највећи произвођачи:	MakerBot, Stratasys
Предности:	Ниска цена, доступност материјала и опреме
Ограничења:	Величина коморе за штампу, ниска резолуција

Ово методом се могу произвести делови који имају и до 85% чврстине делова бризганих у калуп. У зависности од материјала и поставке штампача може доћи до скупљања материјала и упредања односно кривљења модела. Прецизност и резолуција штампе је условљена самом дебелином филамента и мора се узети у обзир да су на споју слојева видљиве бразде (слика 5.). Не сме се изоставити напомена анизотропије, те је за чврстину самог производа изузетно битна оријентација модела у току штампе. Чврстина штампаног производа најчешће није условљена чврстином материјала, већ адхезивним силама које владају између слојева. [1][3]

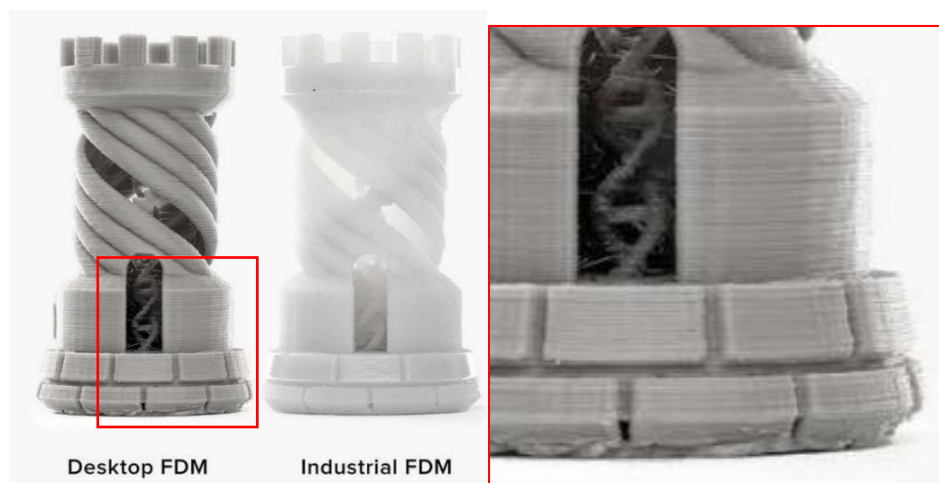


Слика 4. FFF модел штампача у раду [4]

Тренутно на тржишту постоји доста различитих материјала са различитим својствима који се могу користити у различите намене. Најчешће коришћени материјали за FDM штампу су [2] :

- PLA (Polylactic acid)
 - Релативно лако се штампа
 - Температуре штампе су на доњем делу спектра у поређењу са осталим материјалима
 - Одликују га чврстина и биоразградивост
 - Користи се за штампу основних модела
- PA (polymeric amide)
 - Изузетно јак и постојан материјал
 - Отпоран на ударце, пуцање и гребање
 - Изузетна хемијска и UV отпорност
 - Димензионо стабилан
 - Користи се најчешће за штампу индустријских модела који треба да имају дужи век трајања

- PVA (Polyvinyl acetate)
 - Одлично пријања на материјала на бази стирена
 - Раствара се у млакој води
 - Погодан за штампу потпорних елемената на штампачима са две главе јер га је касније лако одстранити без оштећења штампаног модела
 - Растворен у води материјал је биоразградив
 - Користи се најчешће за штампу потпорних елемената
- TPU (Thermoplastic Polyurethane)
 - Одликује га изузетна флексибилност, истезање и до 450% пре пуцања
 - Омекшавање материјала на високим температурама (преко 130°C)
 - Отпоран на уља, масти и микроорганизме
 - Користи се за штампу основних модела, калупа и флексибилних спојева.
- PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)
 - Један од чвршћих материјала међу филаментима
 - Релативно еластичан и са минималним увијањем током штампе
 - Не упија воду
 - Нема непријатних мириса у току штампе
 - Знатна оптичка јасноћа након штампе
 - Користи се за штампу основних модела
- ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)
 - Материјал који одликује чврстина
 - Лако приањање за подлогу
 - Низак степен увртања материјала током штампе и јаке везе између слојева
 - Користи се за штампу основних модела
- PP (Polypropylene)
 - Изузетна хемијска отпорност и динамичка издржљивост
 - Истежање и до 600% пре пуцања
 - Знатна оптичка јасноћа и чврстина
 - Погодно за производе који долазе у контакт са храном
 - Безбедан за употребу у микроталасној пећници и машини за прање судова



Слика 5. Пример штампе FFF методом на индустријском и стоном штампачу, са увеличањем сегмента на коме се виде слојеви штампе [5]

Основне карактеристике датих материјала су описане кроз анализу листи техничких спецификација материјала који су доступни на домаћем тржишту. Већина ових материјала долази у разним бојама а неки и са рецимо флуоресцентним или фосфоресцентним ефектом итд... Неки филаменти се израђују тако да након штампе имају текстуру дрвета, камена, метала и сл... [2]

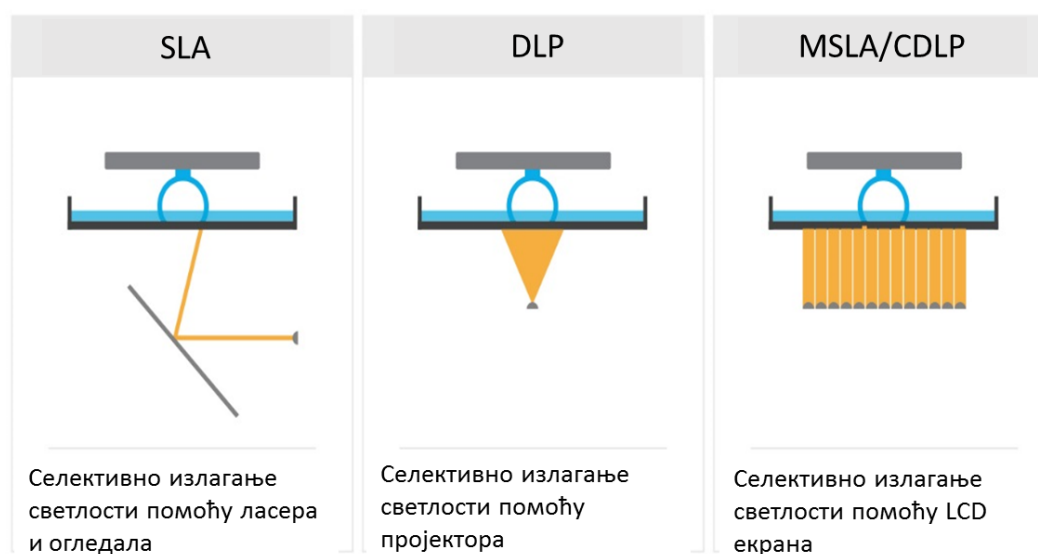
Због изузетно брзог развика разних материјала за производњу филамената, није разумно улазити у даље поделе и описивање различитих материјала. Битно је напоменути да се на горе побројане материјале надовезују разни композитни материјали где се у основу материјала додају рецимо разне керамике или угљеничка влакна зарад постизања жељених карактеристика материјала. [2]

1.2 Полимеризација у кади (VAT polymerization)

3Д штампа заснована на полимеризацији у кади је вероватно други најраспрострањенији метод штампе, нарочито у стоној варијанти 3Д штампача (слика 8.). У зависности од метода пројекције UV светла на полимер разликујемо неколико типова штампе полимеризацијом у кади: SLA, DLP, MSLA (слика 6.). [3]

(SLA) Stereolithography Apparatus, стерео литографија је метод штампе где се фото осетљиви резин излива у каду испод које се налази извор светлости одређене таласне дужине (UV) која активира резин и изазва његово очвршћавање. Светлост се усмерава на сегменте који требају очврснути тачку по тачку. Модел се најчешће штампа наопачке и извлачи слој по слој очврснутог резина из каде. Технологија је патентирана 1986. године од стране Чарлса Хала а доспела је на тржиште 1988. године од стране његове фирме 3D Systems, која је и дан данас лидер на тржишту. [3][5]

DLP (Direct Light Processing) је метода која је заснована на истим принципима као и SLA, те ће у овом сегменту бити обједињене и заједно описане. Основна разлика између ова два типа штампе је у пројекцији светлости. Наиме SLA штампач поседује ласер који помоћу огледала за усмеравање снопа светлости осветљава тачку по тачку сваког слоја штампаног модела а DLP штампач поседује пројектор који одједном пројектује светлост у облику читавог слоја који се штампа. Из овога се да закључити да је за време DLP штампе небитна површина штампаног слоја, већ само висина штампаног модела односно број штампаних слојева, док код SLA штампе на време штампе утиче целокупна запремина модела. [3]



Слика 6. Шематски приказ разлика у начину пројекције светлости код различитих типова штампе применом полимеризације у кади [6]

(MSLA) Masked Stereolithography Apparatus или **CDLP (Continuous Direct Light Processing)** је технологија сродна претходним двома, али уместо ласера или пројектора користи маскирани LCD. Технологија је релативно нова и заснована на истим принципима као и претходне две, те се неће описивати у детаље. [3]

Технологија полимеризације у кади се одликује изузетном прецизношћу и високом резолуцијом штампе пре свега. Попут штампе екструзијом и ова метода подржава широк спектар различитих материјала за штампу, али се мора напоменути да је у датом тренутку цена резина знатно виша него цена филамента за исту запремину штампаног модела. Дебљина слоја може бити веома мала тако да се често ова метода штампе користи и у стоматологији за израду протетичких елемената због високог квалитета штампе и финоће штампане површине (слика 7.). Неки од недостатака, поред цене резина, јесу и чињенице да неки материјали захтевају додатно сазревање материјала након штампе и јако је тешко прилагодити штампу за употребу више материјала одједном. Недостацима се такође могу сматрати крхкост одређених модела штампаних овом методом и њихова неотпорност на УВ светлост односно њихово пропадање ако су изложени сунчевој светлости. Модели се могу третирали слојем прајмера који би их штитио од UV зрачења, али то додатно поскупљује процес и одузима време. Цео процес штампе захтева употребу рукавица, наочара и средстава за испирање материјала, те је нешто компликованији од претходног.[1][3][5]

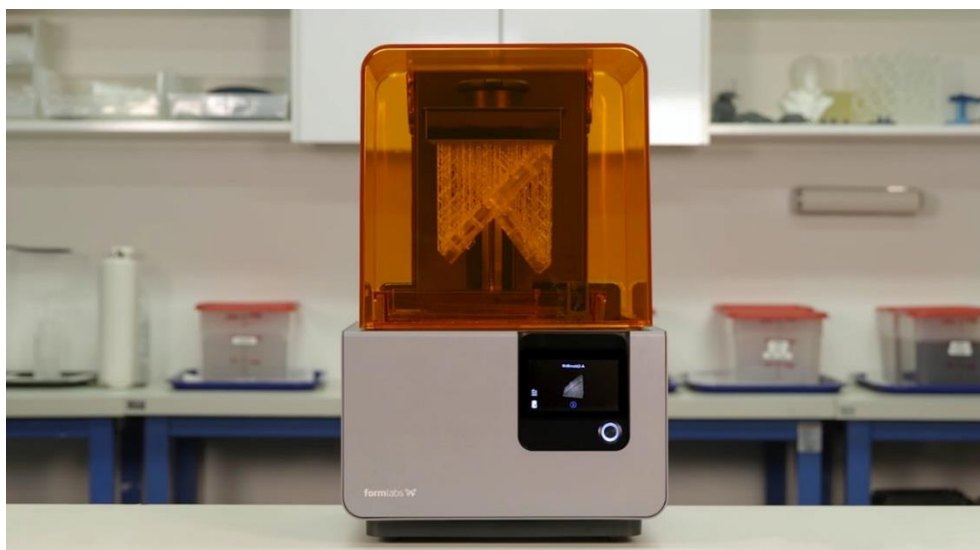


Слика 7. Приказ квалитета штампе различитим методама полимеризације у кади [7]

Ако се осврнемо на материјале које ова метода подржава наићи ћемо на нешто мањи спектар него код процеса екструзије, али и даље релативно задовољавајући. Због метода активације резина није доступан велики број различитих боја, али је доступан широк спектар материјала за различите намене. Увидом у материјале доступне на домаћем тржишту састављен је кратак преглед понуде Formlabs материјала, као једног од водећих произвођача, а и из разлога што је за експеримент коришћен штампач и материјал њихове производње. Од Formlabs резина који су тренутно комерцијално доступни, могу се издвојити [8]:

- Бистри резин
 - Глача се скоро до оптичке транспарентности
 - Идеалан за рад са светлом и приказивање унутрашњих карактеристика
- Бели, црни, сиви резин и колор комплети резина
 - Користе се за штампу основних модела

- Колор комплекти долазе са додатком боја попут сета за штампаче
- Драфт резин
 - Штамп се у дебљим слојевима, око 300 микрона (остали 100, 50 и 25)
 - Штамп се 3-4 пута брже од осталих резина
 - Користи се за брзу израду прототипова
- Еластични резин
 - Одликује се растегљивошћу, савитљивошћу и отпорношћу на сабијање, без кидања
 - Користи се за израду прототипова који се иначе израђују од силикона
 - Један од најмекших резина са тврдоћом од 50 Shore
- Високо температурни резин
 - Отпоран на температуре и преко 280°C
 - Захтева УВ сазревање
- Ригидни резин
 - Ојачан стаклом и отпоран на ударце и топлоту
 - Изузетно отпоран на деформације током времена
- Чврсти резин
 - Еквивалент ABS-у, изузетно чврст материјал
 - Мање крт од осталих резина, те је идеалан за грубе и чврсте прототипове
- Издржљиви резин
 - Еквивалент полипропилену, изузетно издржљив материјал
 - Погодан за објекте који захтевају савитљиву и еластичну пластику
- Резин за калупе
 - Одликује га одлично сагоревање без остатка и пепела
 - Погодан за штампу високе резолуције за процесе микроливења
 - Захтева УВ сазревање
- Воштани резин за калупе
 - Садржи 20% воска и сагорева без остатка и пепела
 - Погодан за штампу високе резолуције за процесе микроливења
 - Не захтева УВ сазревање



Слика 8. Приказ SLA штампача Formlabs Form 2 [5]

Од свих поменутих резина, најзначајнији за тему овог рада је ливачки резин који је и коришћен у експерименту који ће бити опширније описан у даљем тексту. Применом овог резина се могу израдити калупи који спајају формативну и адитивну производњу у један симбиотски процес где се користи прецизност и једноставност израде модела 3Д штампом и исплативост процеса формативне производње. Опис материјала је састављен анализом листи техничких спецификација различитих материјала тренутно доступних на нашем тржишту. [8]

Процес 3Д штампе је још увек релативно спор, те ја за израду пар прстенова високе резолуције на SLA штампачу било потребно више од 8 часова у току експеримента. Стога је логичан закључак да је најисплативије да се на штампачу израде модели од којих ће се израђивати калупи, о овој теми више у наредном поглављу.

Табела 2. Преглед главних карактеристика полимеризације у кади [1][3][5]

Метод спајања:	Светлом
Материјал:	Фото полимер резин, керамике
Дебљина слоја:	0.025 – 0.1mm
Неопходност потпоре:	Да
Највећи произвођачи:	3D Systems, Carbon, Formlabs, EnvisionTEC
Предности:	Глатке површине, висока резолуција, велика прецизност и поузданост машина
Ограничења:	Недостаје им чврстина делова брызганих у калупе, непостојани су на сунцу, цена резина и опреме, поједини материјали захтевају UV сазревање након штампе, резин има ограничен рок трајања (око 12 месеци)

Овај метод 3Д штампе је тренутно изузетно приступачан свим корисницима иако захтева мало више искуства и предзнања него претходно поменута метода заснована на екструзији. Мора се напоменути да су испарења резина углавном токсична за удисање, да није безбедан контакт резина са кожом или очима као и слузокожом. За испирање делова и елемената штампача користи се изопропил алкохол чија испарења могу изазвати главобољу и тровање уколико дође до удисања. Цео процес је доста „лепљив“ и постоји могућност да се упропасте елементи ентеријера у просторији у којој се ради са овим штампачима. За разлику од FDM штампе, изузетно је пожељно имати простор намењен за 3Д штампу употребом резина и каде за полимеризацију који има адекватну вентилацију и наведене услове за безбедан и несметан рад. [1]

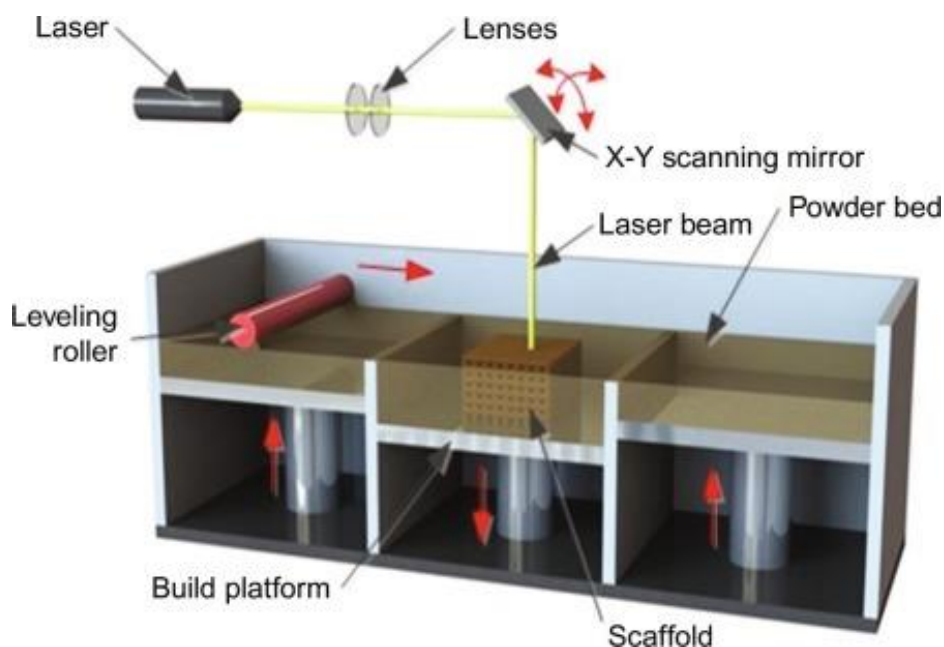


Слика 9. Приказ транспарентног резина у различитим фазама пост процесирања. Са лева на десно: отклањање потпорних материјала, мокро шмирглање, наношење UV резистентног акрилног лака и полирање.[1]

Чак и поред високе резолуције штампе, производи у зависности од захтева морају бити накнадно процесирани као што је приказано на 9. слици ради постизања жељених карактеристика материјала.

1.3 Спајање слојева прашкастог материјала (Powder bed fusion)

Selective Laser Sintering (SLS), Direct Metal Laser Sintering (DMLS), Selective Laser Melting (SLM), Electron Beam Melting (EBM) су најпопуларније методе 3Д штампе засноване на технологији спајања прашкастог материјала и разликују се по материјалима које могу штампати односно извору и типу енергије коришћене за спајање честица. SLS технологија селективног синтеровања ласером се развила крајем 1980-их година а на комерцијално тржиште је доспела 1992. године. Ова технологија се касније развијала у преосталим правцима. На почетку је технологија коришћена са прашкастим пластикама да би се касније развила и прилагодила и за рад са прашкастим металима. Заједнички део за све четири поменуте методе је принцип додавања материјала. Наиме, на радну плочу се наноси прах у танким слојевима (дебљина у зависности од захтева производа), те се тај слој третира ласером или снопом електрона да би се материјал довео тик испод тачке топљења и тиме изазвао спајање материјала (слика 10.). Након спајања једног слоја, наноси се следећи слој праха који се најчешће пар пута равна/глача такозваним стругачем и процес спајања се понавља све до последњег слоја. Овим начином рада, модел је све време уроњен у околни несинтеровани прах, те модел не захтева потпорну конструкцију при штампи, али је потребна већа иницијална количина/запремина материјала од запремине модела. Најчешће несинтеровани прах може бити до 50% рециклиран. Ова карактеристика је изузетно погодна, са напоменом да се овом технологијом може постићи висока резолуција штампе, за штампу целих склопова са покретним елементима од једном, без потребе за каснијим склапањем или дорађивањем модела. [1][3][9]

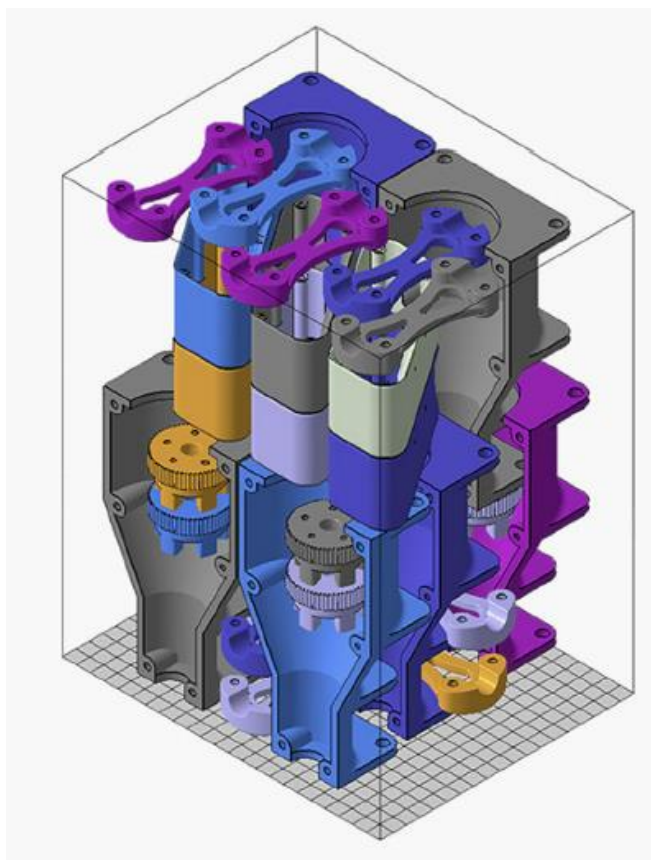


Слика 10. Графички приказ 3Д штампе синтеровањем прашкастог материјала[9]

Штампане моделе одликује изузетна чврстина, не захтевају процес сазревања, доступан је широк спектар материјала и не захтева потпорне конструкције. У мане се могу сврстати висока цена опреме и материјала, мада цена опреме се креће већ пар година са тенденцијом опадања. Ако посматрамо цене металних прахова, неки челични прахови могу

достигнути цену и од 450 америчких долара по килограму, што је у Америци 5-10 пута више него цена истог челика у комаду. Прах је токсичан за удисање, те се морају поштовати мере опреза у току рада, опрема захтева наменски простор што због габарита што због безбедности и здравља при раду. Неке технологије захтевају вакуум у комори за штампу као што је случај штампе применом снопа електрона док рецимо синтеровање ласером често захтева присуство инертног гаса да би се спречиле потенцијалне експлозије у току рада. [1][3][9]

Selective Laser Sintering (SLS), метод 3Д штампе који се односи на пластике, стакла или керамике и користи топлоту ласера за спајање честица материјала. Прах се наноси у слојевима и спаја загревањем употребом CO₂ ласера. Прах окружује цео модел у сваком тренутку и пружа му потпору, након штампе се компримованим ваздухом и четкама одстрањује несинтеровани прах који се може рециклирати до 50%. Модел се након чишћења може даље третирати зарад побољшања естетике. Обзиром на то да се комора мора испунити прахом, најисплативије је да се комора попуни деловима за штампу. Постоје софтвери који могу у року од пар секунди прорачунати најбољу могућу конфигурацију делова у комори, али и техничар штампе то може урадити по жељи. Предност ове методе штампе је да делови не морају бити везани за радну подлогу, већ се могу поставити било где у простору коморе и околни прах ће им пружити довољну потпору (слика 11.). Ако се модели добро распореде у комори за штампање приликом софтверске припреме штампе могу се постићи велике уштеде материјала. Комора свакако мора бити цела испуњена прахом, те што је већи удео праха искоришћен за израду модела то је мањи губитак материјала. Разлог зашто се углавном може рециклирати само до 50% материјала је најчешће промена величине честица услед изложености високим температурама. [1][3][9]



Слика 11. Графички приказ ефикасно сложених делова за 3Д штампу методом синтеровања прашкастог материјала [1]

Попут 3Д штампе методом екструзије и ова метода је подложна упредању и дисторзији модела приликом штампе. Сваки слој се загрева до тачке синтеровања која је тик испод тачке топљења, али је довољна да се честице праха повежу на молекуларном нивоу. Након тога се слој постепено хлади а приликом хлађења долази до скупљања поменутог слоја. Површински слој се скупља више него онај испод њега јер је претходни слој имао више времена да се охлади, те може доћи до дисторзије материјала. Проблем може настати ако се површински слој толико искриви да блокира нож стругача који наноси, односно равна, прах, те се због тога препоручује да се велике површине не штампају са хоризонталном оријентацијом, већ под одређеним углом у односу на радну плочу односно смер кретања стругача. Неки штампачи загревају комору за штампу приближно температури синтеровања да би се изједначиле температуре у слојевима и спречило упредање, али прах делује као изолатор нижих слојева, те и поред тога може доћи до нежељених дисторзија материјала. Хлађење модела је битан корак и може трајати и до 50% времена утрошеног на штампу а модели се најчешће хлада у самом штампачу. [1][3][9]

Direct Metal Laser Sintering (DMLS) и **Selective Laser Melting (SLM)** су технологије које раде по сличним принципима као и претходна, али се користе за штампу метала. Разлика између DMLS и SLM методе ипак постоји. SLM методом се метални прах загрева до тачке топљења и тиме доводи до спајања честица праха док DMLS методом се прах загрева до температуре синтеровања (испод тачке топљења) где се честице повезују на молекуларном нивоу. Ово је основна разлика између ове две методе што даље доводи до закључка да се SLM методом могу штампати материјали који имају једну заједничку тачку топљења, у смислу елементарних једињења (попут титанијума) док се DMLS методом могу синтеровати материјали са више различитих тачака топљења, што ће рећи легуре. За разлику од SLS методе, ове две методе захтевају потпорне конструкције при штампању, што због масе материјала што због знатно више температуре на којој се топе односно синтерују. Улога потпорних конструкција је поред одржавања димензионе стабилности и помоћ при одавању, односно одвођењу, топлоте са штампаног модела. Најчешће се делови штампани на овај начин морају третирали у пећима након штампе да би се смањио стрес материјала и изједначила температура у слојевима. [1]

Табела 3. Преглед главних карактеристика DMLS и SLM методе [1][3][9]

Метод спајања:	Топлота ласера
Материјал:	Челици, инконели, кобалт, неке легуре алуминијума
Дебљина слоја:	0.02 – 0.08mm
Неопходност потпоре:	Да (термичке и потпорне)
Највећи произвођачи:	EOS, Concept Laser (GE), 3D Systems, Renishaw
Предности:	Висока резолуција, велика прецизност и чврстина модела
Ограничења:	Спора штампа, значајна потрошња енергије, висока цена материјала и опреме, токсичност праха

Electron Beam Melting (EBM) је процес врло сличан DMLS и SLM методи, али се уместо ласера за топљење користи сноп електрона. Ова врста штампе се сматра бржом од преостале 3 што због већег интензитета и густине енергије коју користи за спајање материјала, што због већих честица и дебљих слојева материјала. Ограничење ове технологије је то да може радити само са електро-кондуктивним материјалима. [1]

Табела 4. Преглед главних карактеристика ЕВМ методе [1][3][9]

Метод спајања:	Топлота снопа електрона
Материјал:	Челици, бакар, титанијум, никл
Дебљина слоја:	0.05 – 0.2mm
Неопходност потпоре:	Да
Највећи произвођачи:	Arcam (GE)
Предности:	Висока резолуција, велика прецизност и чврстина модела, већа брзина штампе од DMLS и SLM метода
Ограничења:	Значајна потрошња енергије, висока цена материјала и опреме, токсичност праха, потреба за вакум комором

3Д штампа метала се најчешће примењује у аутомобилској индустрији, ваздухопловству и медицини односно стоматологији. Примењује се за делове који се традиционалним методама производње не могу произвести. Изузетна предност 3Д штампе у односу на традиционалне методе производње у аутомобилској или авио индустрији лежи у смањеној густини а такође и тежини делова што смањује потрошњу горива или оптерећење одређених делова или спојева. Овом методом није пожељно производити делове који се лако могу произвести традиционалним методама јер је технологија ограничена високом ценом производње и релативно малом запремином коморе за штампу. Када је реч о 3Д штампани метала, економичнија метода је Binder Jetting која ће бити описана у даљем тексту. [1]



Слика 12. Пример стоне верзије SLS 3Д штампача (лево) и покретног модела штампаног у једном пролазу без накнадног склапања на приказаном штампачу (десно) [10]

Једна од битних предности ове врсте 3Д штампе јесте могућност штампања комплетних склопова са покретним елементима у једном пролазу, без потребе за накнадним склапањем елемената у један склоп. Ово заиста доприноси убрзању процеса израде прототипова и даје потпуно нове могућности за израду делова процесом адитивне производње. Могуће је

рецимо изградити у једном пролазу комплетан склоп аутомобилског вешања са све функционалним амортизером као што је приказано на 12. слици. Ово отвара нове могућности за израду прототипова који имају покретне елементе са високом прецизношћу израде у знатно краћој јединици времена што омогућава већи број итерација дизајна знатно брже и ефикасније. На тржишту је доступан велики број штампача како индустријских, тако и стоних верзија. Цене јесу више у односу на претходна два типа штампача, али такође пружају и већи спектар могућности. [1][3]

1.4 Спајање слојева везивним средствима (Binder Jetting)

Технологија спајања слојева прашкастог материјала употребом везивних средстава је настала 90-их година прошлог века и управо она је дала назив „3Д штампа“ адитивној производњи, јер је заснована на принципима 2Д штампача који су у то време већ били веома распрострањени. Штампа функционише са благим разликама у зависности од произвођача опреме, те се даљи опис треба узети са резервом обзиром на ту чињеницу. На радну плочу штампача се у танком слоју наноси прах, најчешће у дебљини једнакој два зрна песка, а након тога глава штампача наноси (најчешће распршује) везивно средство на сегменте слоја који ће чинити попречни пресек штампаног модела (слика 15.). У зависности од модела штампача, везивног средства, односно материјала од кога се штампа модел следећи корак може бити брзи прелаз инкадесцентне лампе изнад целог слоја ради сушења везивног средства. Ови кораци се понављају све до последњег слоја штампаног модела, те се модел оставља у праху да се осуши односно сазри. Након тога се модел узима и чисти од преосталог праха (слика 14.). За разлику од штампе која спаја прашкасте материјале загревањем, овде се сав преостали прах може рециклирати јер не долази до промене величине честица тј. стварања „громулица“ јер нема дејства повишене температуре. Одсуство високе температуре такође има за резултат знатно мању дисторзију и кривљење модела у току штампе. У поређењу са методама спајања прашкастог материјала ласером или снопом електрона овај начин 3Д штампе је знатно бржи и економичнији, а такође пружа могућност за штампу знатно већих модела. [1][3]



Слика 13. Модел штампан употребом више различитих боја са покретним елементима Binder Jetting методом[11]

Овај метод штампе најчешће користи песак и метал као материјал штампе иако подржава широк спектар материјала. Популарна примена ове методе је и за штампу калупа од песка или гипса који се користе за изливање топљених метала са доста комплексних детаља. Најчешће штампани калупи од песка не захтевају никакав третман пре изливања метала, већ су одмах спремни за употребу. Када говоримо о овом сегменту штампе, израда калупа за изливање метала, материјали од којих се припрема прах за штампу су најчешће камен пешчар и гипс, иако се вештачки (силицијумски) песак може користити за посебне намене. Такође је популарна метода примене и израда језгара за калупе. У поређењу са традиционалним методама израде калупа или језгара, овај начин се сматра бржим и ефикаснијим. Још један значајан бенефит Binder Jetting методе је могућност да се приликом прскања слоја везивним агенсом слој може напрскати и бојом по принципу 2Д штампе на папиру. Ово за резултат даје коначан модел у пуној боји (разнобојан) што елиминише потребу за додатим фарбањем или улепшавањем модела (слика 13.). Најчешће се у боји производе модели на бази гипса или песка. [1][3]

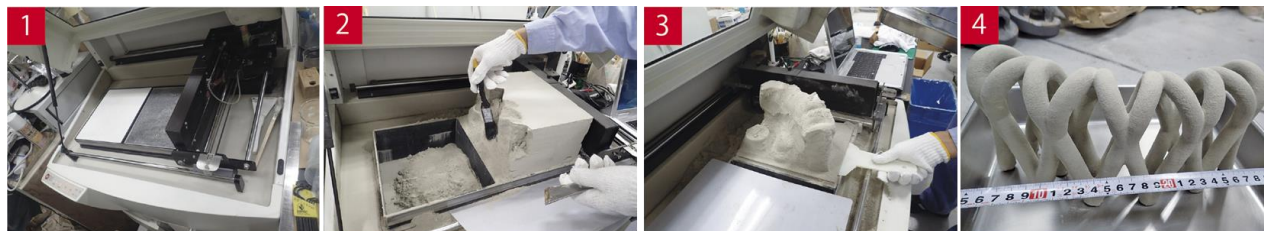
Табела 5. Преглед главних карактеристика Binder Jetting методе [1][3]

Метод спајања:	Везивни агенс (лепак)
Материјал:	Бронза, песак, гипс, нерђајући челик...
Дебљина слоја:	0.09mm
Неопходност потпоре:	Не
Највећи произвођачи:	ExOne, Voxeljet, 3D Systems
Предности:	Широк спектар доступних материјала, могућност штампе у боји, нижа цена (и до 10 пута) и релативно већа брзина штампе од DMLS, SLM и EBM метода, могућност штампе димензија и преко 1,5м
Ограничења:	Опрема релативно великих димензија, порозност модела, мања чврстина модела од DMLS, SLM и EBM штампе, захтева додатни третман металних делова

Модел штампан од метала применом ове методе настаје тако што се преко праха наноси везивни агенс у виду полимера, на крају штампе модел се налази у зеленој фази. Након те фазе, модел се ставља у пећ где везивно средство сагорева и оставља шупљине у моделу. Густина модела је у том тренутку око 60%. Иако метода подржава широк спектар материјала за штампу од креде до метала, модели у поређењу са SLS, DMLS и SLM методом немају једнаку чврстину након штампе (штампану и у металу). Зато постоје разне технике које у пост процесирању могу унапредити карактеристике модела. Модел се након штампе може ојачати у процесу синтеровања отпорнијег материјала на модел где се густина модела повећава на преко 97% или инфилтрацијом нпр. бронзе у шупљине штампаног дела где се густина модела повећава на преко 90%. На овај начин се постиже већа механичка отпорност и шири спектар потенцијалне примене дела. Ови процеси захтевају додатну опрему, попут пећи, додатно време, материјал и ресурсе што се мора урачунати у цену и трајање производње делова овом методом. [1][3]

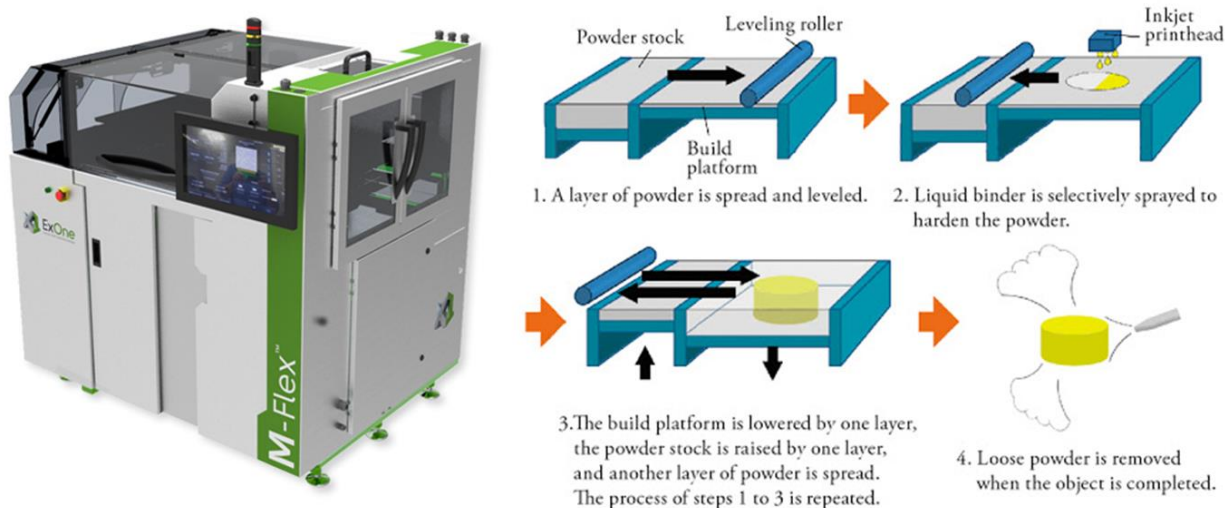
Попут методе Powder Bed Fusion и овом методом се могу штампати покретни склопови у једном пролазу без потребе за склапањем. Ово даје још једну предност овој методи штампе јер у зависности од захтева модела, може скратити процес производње прототипа. Везивна средства која се користе при штампи Binder Jetting методом су прилично јефтина и доступна, силицијумски песак је такође јефтин и доступан материјал. И за примену ове методе метални прашови су знатно скупљи од сировог материјала. Ако поредимо Powder Bed Fusion и Binder Jetting, друга метода штампе је неколико пута

економичнија од претходне и знатно бржа, али су штампани модели знатно лошијих механичких својстава. Као што је раније наведено, механичка својства се могу побољшати. Овај метод штампе дозвољава штампу великих формата, и преко 1,5м, што чини ову методу погодном за израду великих делова (сегменти унутрашње архитектуре) или калупа за изливање метала. [1][3]



Слика 14. Приказ неколико главних корака при штампи *Binder Jetting* методом [12]

Због својих габарита, цене и неопходне опреме за пост процесирање ови штампачи нису првенствено намењени кућној употреби. Иако постоје мање/стоне верзије ове технологије њихова исплативост се најлакше постиже у индустријском окружењу. [3]



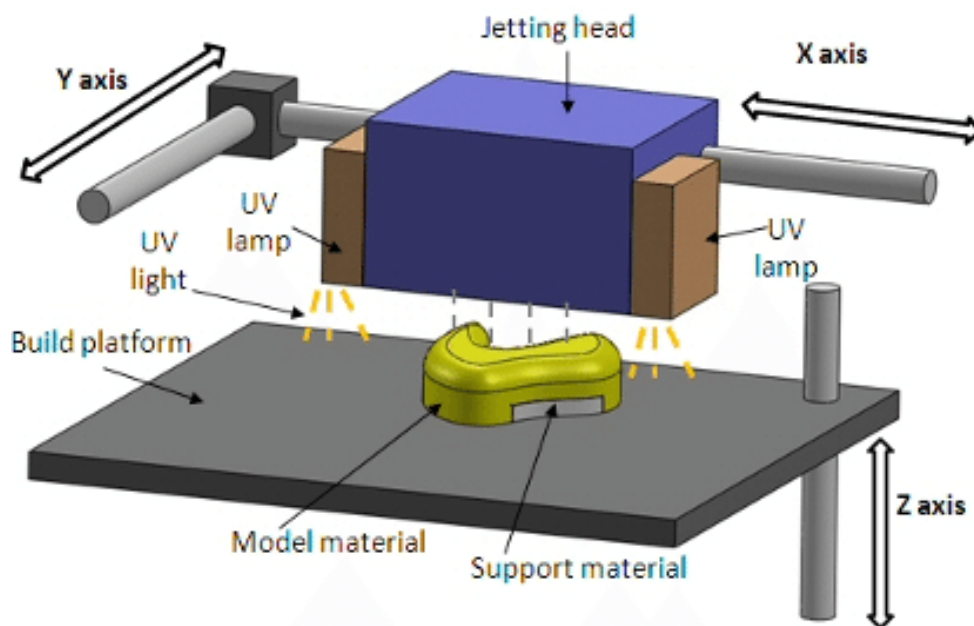
Слика 15. Пример штампача који ради на *Binder Jetting* принципу (лево) и шематски приказ основних принципа 3Д штампе *Binder Jetting* методом [12][13]

1.5 Material Jetting

Material Jetting или „штампање материјала“ је једна од новијих метода 3Д штампе и комбинује принципе FFF, SLA и 2Д штампе, између осталог. Заснива се на бризгању стотина или хиљада капљица фото осетљивих полимера на радну плочу односно претходни слој штампе и касније прелази УВ лампом изнад њих, те изазива њихово очвршћавање. Модел се гради слој по слој, али постоји неколико метода депоновања материјала приликом штампе (слика 16.). У овом раду ће бити описане две најраспрострањеније методе: *Material Jetting* и *Drop On Demand (DOD)*. [1][3][14]

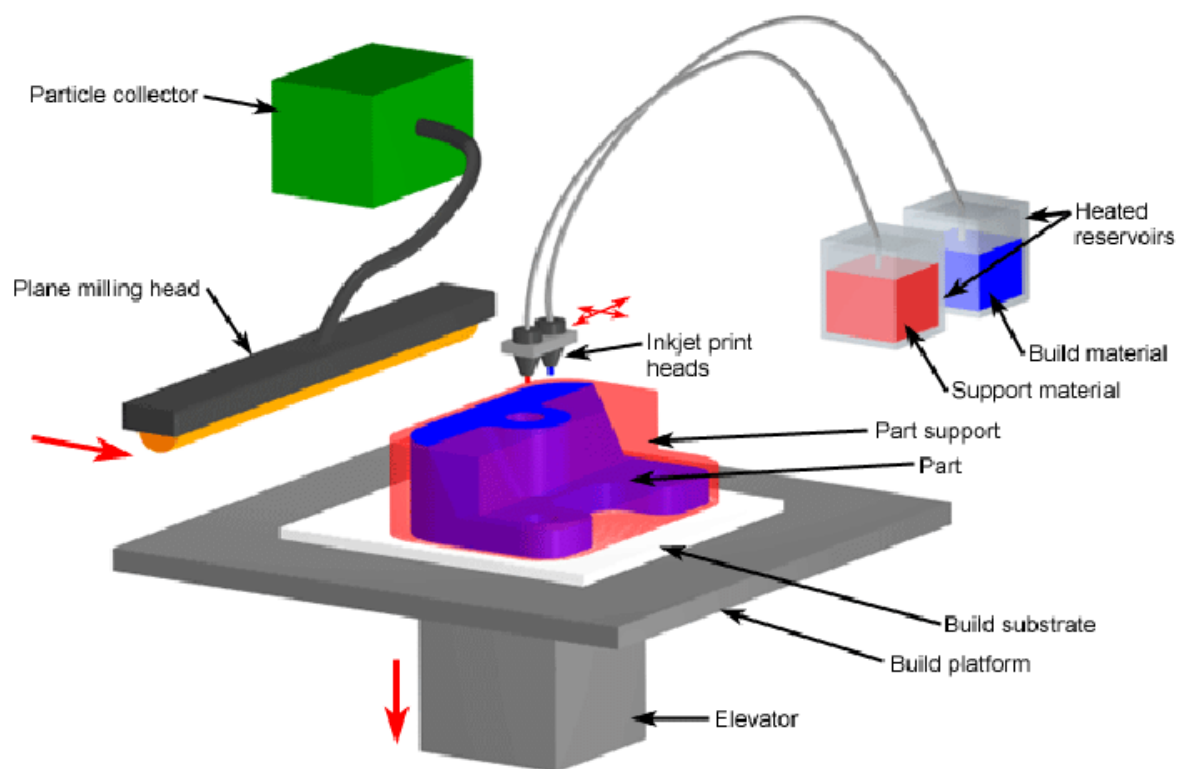
Material Jetting се у својој изворној форми заснива на штампању модела по принципу 2Д штампе. Глава са бризгалкама се креће праволинијски штампајући линију по линију модела, те се радна плоча спушта за дебљину једног слоја и процес се понавља као да се штампа на више папира. Разлика је у томе што се не наноси боја на папир, већ материјал на радну плочу, који се полимеризује UV светлом. Ако се модели правилно поставе на радну површину запремина модела не мора утицати на трајање штампе јер се глава увек креће праволинијски и могу се постићи веће брзине штампе у поређењу са другим методама.

Модернији штампачи, Pollyjet, могу штампати више материјала и у више различитих боја одједном. Потребно је при припреми 3Д модела за штампу поделити модел у сегменте а касније у софтверу који дефинише параметре штампе сваком сегменту доделити жељени материјал и/или боју (слика 18.). Ово је изузетно погодно јер се овом методом могу штампати и покретни склопови у једном пролазу, где се наизменично наноси потпорни материјал и основни материјал. Потпорни материјал се лако „круни“ и спира са основног модела, те се постиже штампа квалитетне резолуције. Додатна предност је то што се могу одједном штампати модели од резина који имају својства пластике и нпр. гуме у разним бојама па се штампањем једног модела може направити опипљив приказ новог дизајна нпр. кућишта батеријске шрафилице, патика или слично. Још једна од могућности примене ове методе штампе је израда 3Д штампаних електронских плоча наизменичном штампом електро кондуктивних и некондуктивних материјала што отвара изузетно широк спектар могућности.[1][3][14]



Слика 16. Шематски приказ Material Jetting методе штампе (горе) [14] и пример Material Jetting штампача са штампаним моделима (доле) [15]

Drop On Demand (DOD) је метод штампе сличан претходном, али са одређеним разликама. За разлику од претходног метода штампе материјал се не наноси у линијским покретима, већ пратећи контуре попречног пресека модела. Ови штампачи најчешће поседују две главе од којих једна брызга основни а друга потпорни материјал (слика 17.). Материјал који се користи за штампу је сличан воску и модели штампани овом методом се најчешће користе за израду калупа. Након штампе сваког слоја преко његове површине прелази стругач који обезбеђује униформну дебљину сваког слоја целом његовом површином. Имајући у виду да се овај метод штампе користи најчешће за израду језгара калупа и да користи сличне материјале који ће бити описани у делу о експерименту, неће бити детаљније описан у овом поглављу. [1][3][14]



Copyright © 2008 CustomPartNet

Слика 17. Шематски приказ штампача заснованог на Drop On Demand (DOD) принципу [16]

Material Jetting се сматра једном од најпрецизнијих метода 3Д штампе са прецизношћу и до 16 микрона. Опрема се мора правилно и редовно одржавати да би се задржале високе перформансе. Јако је битно да се млазнице не запуше јер су изузетно малих дијаметара па је њихово чишћење једна од најбитнијих ставки при одржавању опреме. Велики број штампача има системе који сами обављају чишћење млазница или упозоравају оператера да је потребно чишћење. Фото полимер који се користи за штампу је у течном стању и штампачи најчешће имају регулаторе температуре да би током штампе густина и вискозност материјала била конзистентна. Температуре резина које погодују прецизној штампи варирају у распону од 30-60°C а попут SLA штампача параметри штампе се аутоматски дефинишу при избору односно дефинисању материјала. [1][3][14]

Табела 6. Преглед главних карактеристика Material Jetting методе [1][3]

Метод спајања:	Топлота, Везивни агенс (лепак), Светлост
Материјал:	Фото полимери
Дебљина слоја:	0.08mm
Неопходност потпоре:	Да
Највећи произвођачи:	Solidscape, Stratysys, 3D Systems
Предности:	Широк спектар доступних материјала, могућност штампе у више боја и материјала, већа брзина у односу на претходне методе
Ограничења:	Крхкост штампаних модела, непостојаност модела на топлоти и на сунцу, цена материјала, цена опреме, захтевније одржавање опреме

Штампање овом методом се може сматрати једном најскупљих метода штампе. Један део високе цене је везан за високе цене материјала који се користе за штампу а други део је везан за начин штампе потпорног материјала. Потпорни материјал се код осталих метода штампа у гранатим формама док се код ове методе потпорни материјал штампа као комплетна попуна. Цена материјала у комбинацији са комплетном попуном знатно подижу цену штампе. [1][3][14]



Слика 18. Пример штампе више различитих материјала у више различитих боја одједном, применом Material Jetting методе [17]

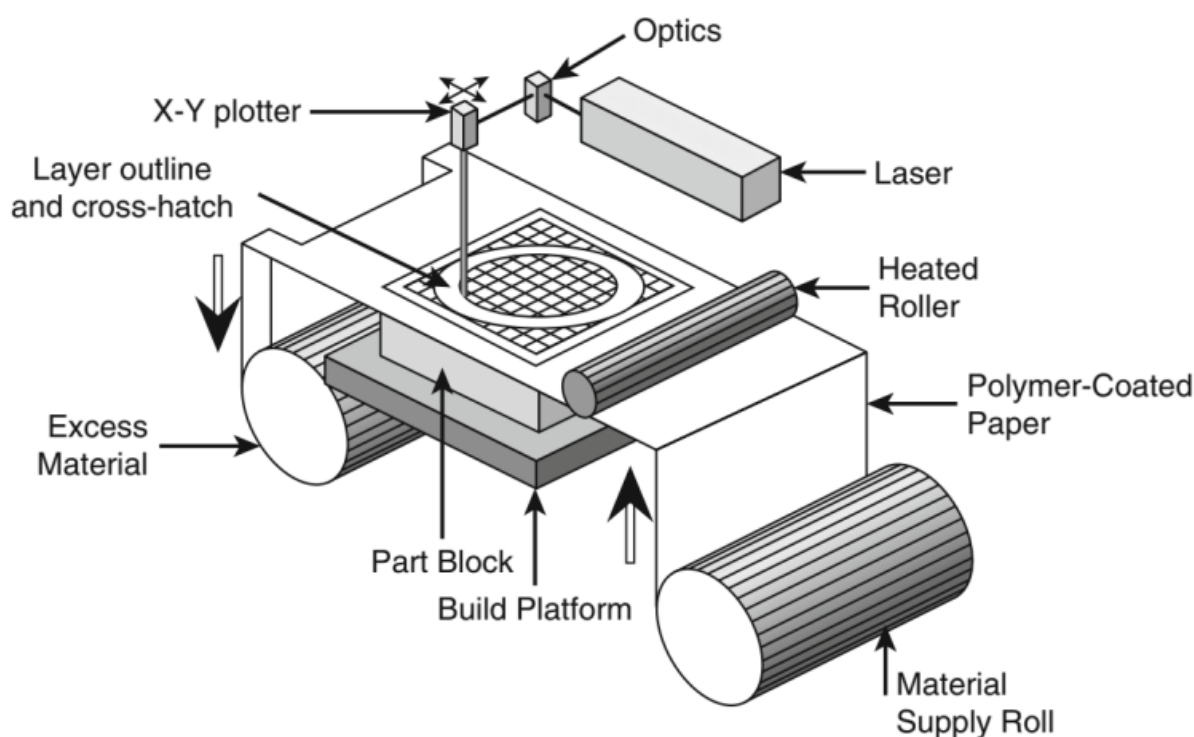
Material Jetting метода штампе даје скоро хомогене производе штампе, изузетну финоћу површина изузетне димензионе прецизности. Упркос свим поменутиим квалитетима постоје и недостаци ове методе. Недостацима се сматрају крхкост штампаних модела, непостојаност на топлоти и на сунцу, те се најчешће ови модели користе као нефункционални прикази. Материјали који су доступни су у великој мери слични резинима

који се користе код SLA штампе са прилагођеном вискозношћу материјала јер је резине потребно избацити кроз млазнице изузетно малих пречника. [1][3][14]

1.6 Остале методе 3Д штампе

У овом сегменту рада ће бити пар речи о технологијама које су мање заступљене, још увек у развоју или мање битне за тему овог рада. Биће описане у циљу стварања шире слике о 3Д штампи, али са мање детаља него претходне технологије.

Sheet lamination је метод 3Д штампе који се заснива на спајању слојева материјала у виду листова а потом одстрањивања вишка материјала. Материјал се најчешће налази на ролнама и како се исече жељени облик, ролна се одмотава и над радном плочом се налази нови сегмент неискоришћеног материјала (слика 19.). Од свих метода адитивне производње, Sheet lamination метода пружа најнижу резолуцију штампе, али такође и најнижу цену опреме и материјала као и изузетну брзину израде у поређењу са осталим методама. [3][16][18]



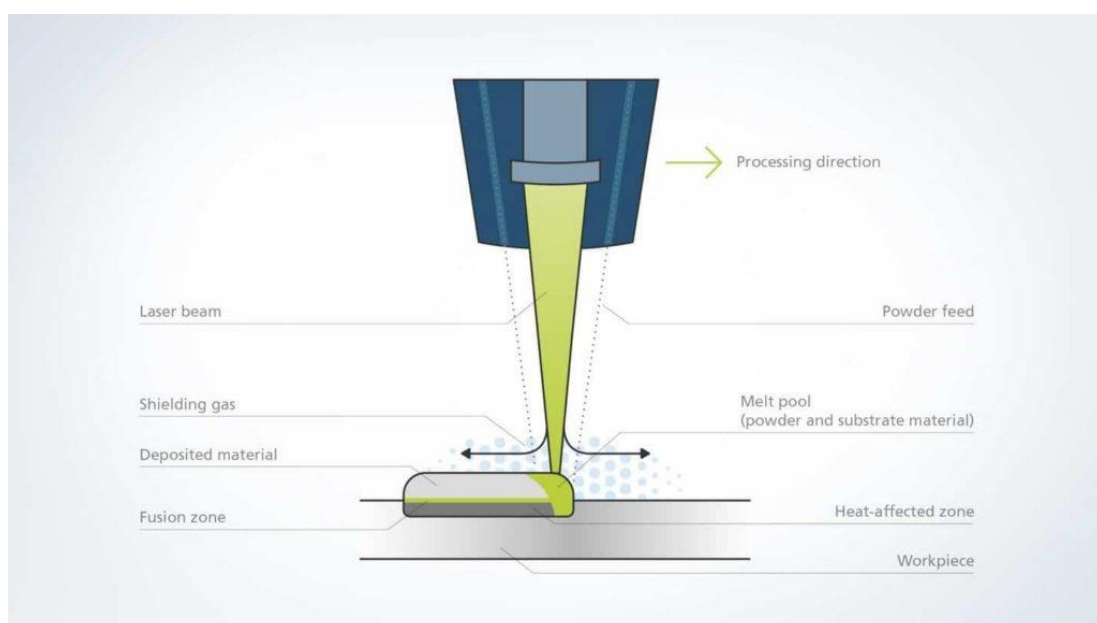
Слика 19. Шематски приказ штампача заснованог на Sheet lamination технологији[18]

Варијације ове методе штампе се могу поделити по више основа, али за сврху овог рада поделићемо их по материјалима израде, методама спајања и методама одстрањивања вишка материјала. Материјали од којих се могу штампати модели овом методом су између осталих: папир, пластика, фолије, метални и керамички и влакнасти композити. Листови материјала се могу спајати, између осталог, помоћу: лепљења, лемљења или ултра звучног заваривања. Вишак материјала се може отклањати, између осталог, помоћу: сечења, CNC глодала, ласера или водених млазова. Могућа су унапређења својстава модела након штампе у пост процесирању, али и поред тога модели се ретко користе као функционални. Због доступности опреме за штампу великих формата, и преко 1.5м, популарна примена модела штампаних овом технологијом је за елементе унутрашње архитектуре. Иако су доступни разни материјали за штампу, најчешће се штампа од папира који се може штампати и у пуној боји (слика 20.). [3][16][18]



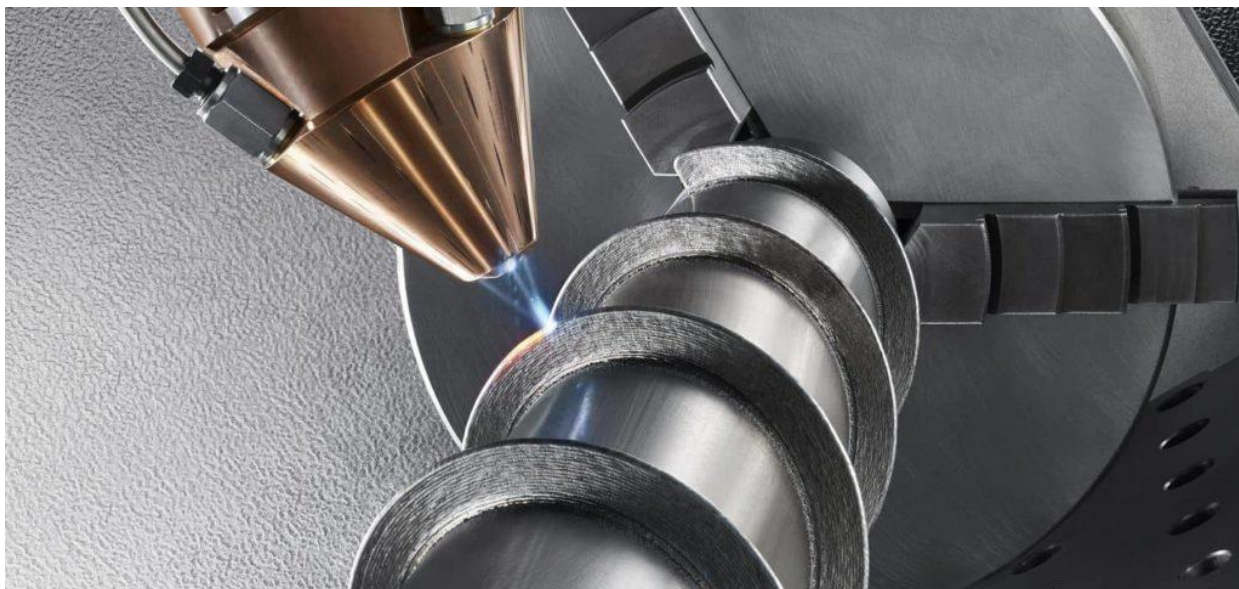
Слика 20. Пример штампе од папира у више различитих боја применом Sheet lamination методе [18]

Directed Energy Deposition је један од најстаријих процеса адитивне производње који је међу последњима компјутеризован. Реч је о облагању металом, процесу који је компјутеризован средином деведесетих година. Метода се заснива на штампи метала ван коморе са прахом тако што се метални прах или жица депонују на место спајања и ту топе помоћу ласера, плазме или снопа електрона (слика 21.). Метод је погодан за дораду постојећих модела или за израду неправилних облика, као што су разна радна кола или елисе турбина. У зависности од материјала који се штампа, односно медијума којим се материјал топи, процес се мора одвијати у адекватном окружењу. Може бити потребно да комора буде херметички затворена при топљењу материјала, испуњена инертним гасом при употреби ласера или плазме, или пак вакумирана за употребу снопа електрона да би се спречила оксидација метала. [3][19]



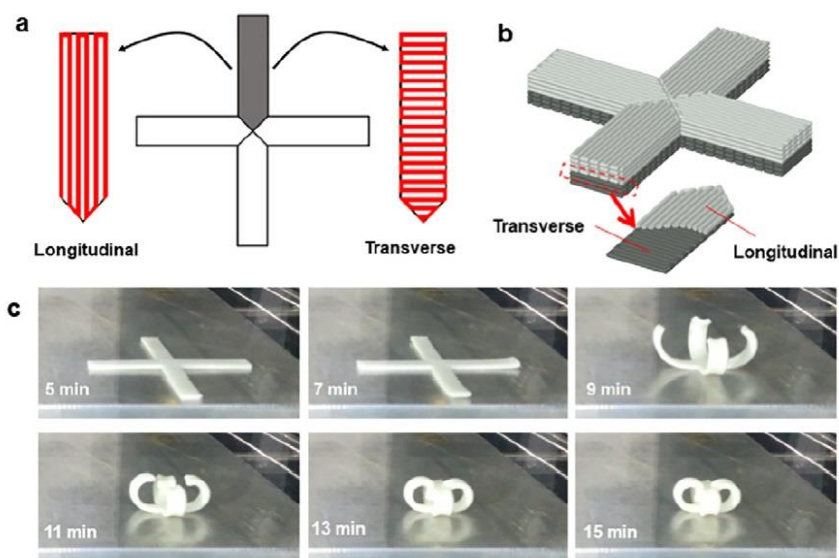
Слика 21. Шематски приказ штампача заснованог на Directed Energy Deposition технологији [19]

Недостацима ове методе се сматрају релативно спора штампа, релативно мали радни ход штампача, висока цена опреме као и материјала и грубе површине након штампе. Квалитет површине се може побољшати брушењем и полирањем. Такође је један од недостатака фиксна дебелина зида условљена дијаметром „млазнице“, те ако је њен дијаметар 1мм јако је тешко постићи дебелину зида од 1.5мм. Глава је најчешће фиксирана на роботску руку а неретко је и радни сто покретан, те се може маневрисати и са 5 оса. Овом методом се могу штампати комади од почетка до краја, од метала, керамике и композита, али се најчешће ова метода користи за дораду компликованих облика (слика 22.). [3][19]



Слика 22. Пример 3Д штампе метала применом Directed Energy Deposition методе [19]

4Д није нова технологија 3Д штампе, већ нови концепт који уводи нову димензију, димензију времена. Ради се о развоју нових материјала и оријентације односно путање штампе која ће се инкорпорирати у неку од постојећих технологија. Модели штампани са овом идејом ће након штампе мењати свој облик услед промене температуре, светлосног зрачења, влажности и слично, у току одређеног временског интервала. Модели штампани у 4Д технологији ће на неки начин бити материјали програмирани да заузму одређени облик услед одређених промена окружења, реверзибилно или иреверзибилно (слика 23.). [20] [21]



Слика 23. Пример 4Д штампе постигнут услед правилне путање штампе (а и б), модел који мења облик услед дејства термалне анизотропије у одређеном времену [20]

Оријентација, односно путања штампе утиче на лонгитудиналну односно трансверзалну флексибилност модела. Пример из природе је рецимо дрво, те ако од једне исте даске одсечемо комад са чела и комад у правцу пружања година њихово савијање услед промене влажности дрвета ће бити потпуно другачије. Применом 4Д штампе се могу израдити модели који се сами од себе регенеришу односно поправљају, модели који се сами уграђују односно закључавају, модели који се сами пакују односно формирају одређени склоп услед дејства одговарајућег стимуланса. Ово је још увек релативно млад концепт који може значајно допринети разним гранама индустрије, медицине, биоинжењеринга итд... [20][21]

1.7 Поређење различитих метода 3Д штампе и правила за дизајнирање

Са разумевањем горепоменутих метода 3Д штампе ствара се шира слика и бољи увид у предности и мане различитих технологија. Узевши у обзир дате информације, лакше је одлучити се за правилну технологију штампе ако су захтеви модела познати. Свака од претходно описаних метода штампе има своју примену и сегмент индустрије у који се најбоље уклапа. Да би се те разлике још више истакле кључни параметри штампе и законитости за дизајнирање ће бити детаљније описани. [1][22]

Битно је знати минималну дебљину зида који имају ослонац у једној или више равни. У зависности од типа штампе ако је зид исувише танак може доћи до разних нежељених ефеката. Најчешће су то урушавања зидова или пак кривљење и упредање зидова у току и након штампе а може доћи и до одвајања зида од основе. Приликом дизајнирања модела треба имати у виду и метод штампе којим ће се модел произвести, те у складу са технологијом дефинисати дебљину зидова. [1][22]

Потпорне конструкције су изузетно битна ставка при планирању успешне штампе модела. Као што је било речи у претходним целинама, неке технологије уопште не захтевају потпорне конструкције док су код других оне неопходне за успешну производњу модела. Штампа екструзијом материјала дозвољава штампање модела и под углом од 45° у односу на радну плочу без захтева за потпорним конструкцијама док је код осталих метода (које захтевају потпорне конструкције) она неопходна и на мањим угловима. На тржишту постоји више различитих софтвера који аутоматски прорачунавају најбољу оријентацију модела за штампу и сами конструишу најбољу могућу потпорну конструкцију. [1][22]

Још један битан фактор јесте дизајн избочина и удубљења на моделу. Морају се познавати могућности штампача пре почетка дизајна модела за 3Д штампу. Сваки вид штампе има своја ограничења у погледу дубине/висине избочине/удубљења као и њихове ширине. Уколико се дизајном предвиде мање димензије удубљења односно избочина него што то штампач може израдити може доћи до тога да се на коначном производу на пример канали виде само као црте а избочине као наборан материјал. Модели у софтверу за дизајн модела могу изгледати идеално, али након штампе неке карактеристике модела могу деловати „замрљано“, те се ограничења опреме морају познавати и поштовати. „Сваки облик се може моделовати, али се не може сваки и штампати.“ [1][22]

Хоризонтални мостови или висећи елементи могу представљати потешкоће при штампању модела, поготово FDM и DMLS технологијама. Проблеми настају јер мост (или висећи елемент) почиње од једног танког слоја загрејаног материјала где гравитација чини своје. Мост од једног слоја је мек и слаб јер је загрејан, те га гравитација вуче на доле и од праве линије ствара лук на који се надовезују сви остали слојеви. Ово се може предупредити правилном оријентацијом модела или додавањем потпорних конструкција или пак дизајнирањем модела где димензије висећих елемената не превазилазе ограничења опреме односно материјала. [1][22]

	Supported Walls	Unsupported Walls	Support & Overhangs	Embossed & Engraved Details	Horizontal Bridges	Holes	Connecting /Moving Parts	Escape Holes	Minimum Features	Pin Diameter
	Walls that are connected to the rest of the print on at least two sides.	Unsupported walls are connected to the rest of the print on less than two sides.	The maximum angle a wall can be printed at without requiring support.	Features on the model that are raised or recessed below the model surface.	The span a technology can print without the need for support.	The minimum diameter a technology can successfully print a hole.	The recommended clearance between two moving or connecting parts.	The minimum diameter of escape holes to allow for the removal of build material.	The recommended minimum size of a feature to ensure it will not fail to print.	The minimum diameter a pin can be printed at.
Fused Deposition Modeling	 0.8mm	 0.8mm	 45°	 0.6mm wide & 2mm high	 10mm	 Ø2mm	 0.5mm	 2mm	 2mm	 3mm
Stereo-lithography	 0.5mm	 1mm	 support always required	 0.4mm wide & high	 0.4mm wide & high	 Ø0.5mm	 0.5mm	 4mm	 0.2mm	 0.5mm
Selective Laser Sintering	 0.7mm	 1mm	 support always required	 1mm wide & high	 0.3mm for moving parts & 0.1mm for connections	 Ø1.5mm	 0.3mm for moving parts & 0.1mm for connections	 5mm	 0.8mm	 0.8mm
Material Jetting	 1mm	 1mm	 support always required	 0.5mm wide & high	 0.2mm	 Ø0.5mm	 0.2mm	 0.5mm	 0.5mm	 0.5mm
Binder Jetting	 2mm	 3mm	 support always required	 0.5mm wide & high	 5mm	 Ø1.5mm	 5mm	 5mm	 2mm	 2mm
Direct Metal Laser Sintering	 0.4mm	 0.5mm	 support always required	 0.1mm wide & high	 2mm	 Ø1.5mm	 5mm	 5mm	 0.6mm	 1mm

Слика 24. Табеларни приказ разних ограничења различитих технологија 3Д штампе са граничним вредностима [22]

Рупе на моделима се такође морају дизајнирати у складу са ограничењима опреме односно материјала. Уколико се дизајном предвиде рупе мање од оних које штампач може израдити модел може имати само другачији рељеф на том сегменту без техничке рупе, те губи своју функционалност. У зависности од методе којом се модел штампа, минимални пречник рупе се креће од 0,5мм – 2мм. [1][22]

Као што је било речи у претходним целинама, неке технологије подржавају штампу склопова у једном пролазу. Да би склопови имали жељену покретљивост морају се испоштовати минималне дистанце између засебних елемената склопа. Уколико дистанце буду мање од ограничења опреме односно материјала, штампач ће испоштовати задату путању, али ће материјали бити слепљени а склоп постати нефункционалан. [1][22]

Код метода штампе које се заснивају на полимеризацији у кади или спајању материјала у комори са прахом морају се предвидети технички отвори за одстрањивање неспојеног материјала. Када је цео модел урођен у околни материјал логично је да ће он завршити и на местима где је то непожељно. Да би се резин правилно цедио из модела у току штампе, или прах одстранио из модела након штампе, потребно је у дизајн модела уврстити и техничке отворе који ће то омогућити. Позиција отвора треба бити у складу са оријентацијом модела у току штампе, односно углом под којим гравитација делује на модел. Дијаметар отвора треба бити у складу са могућностима опреме, односно својствима материјала од којих се модел израђује. Уколико се овај корак изостави може доћи до нежељених последица. Ако замислимо штампу шупље коцке без техничких отвора, у комори са прахом, можемо закључити да ће на крају штампе коцка бити испуњена несинтерованим прахом. То је губљење материјала и повећање тежине модела без позитивних ефеката на коначни производ. [1][22]

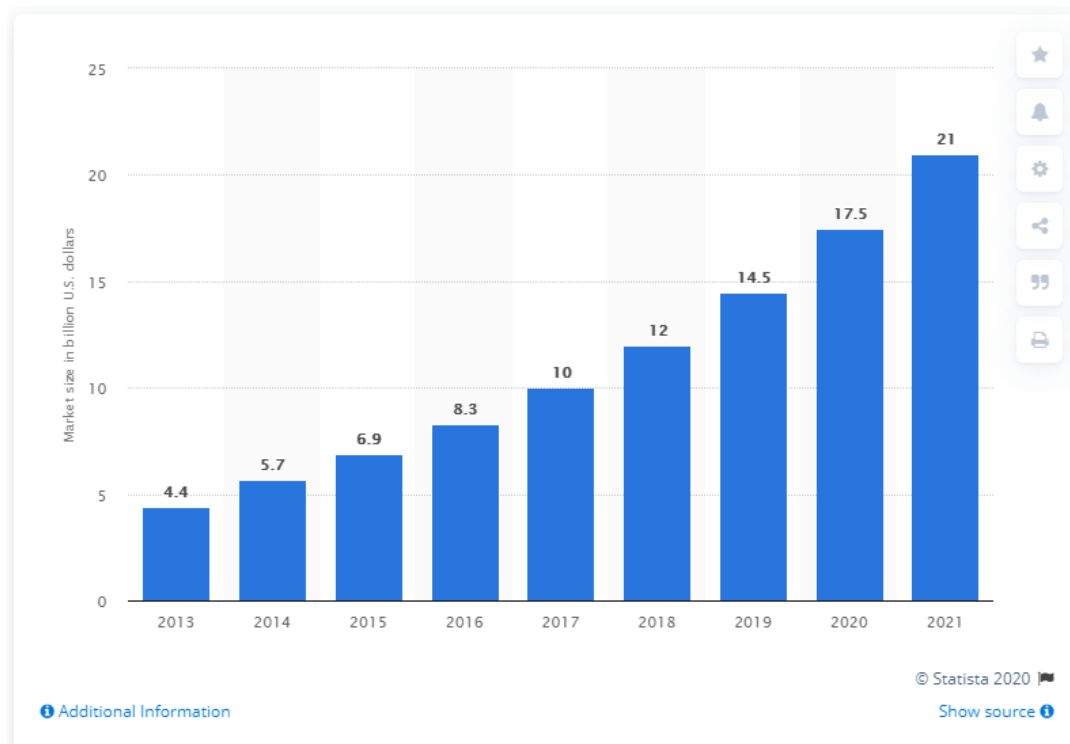
Као и за остале карактеристике и за минималне димензије модела постоје одређена ограничења. Уколико је неки елемент исувише мали, а нарочито клинови, штампач неће моћи да га правилно произведе. Што због слабе везе са остатком модела, што због подложности елемента кривљењу услед дејства температуре (у зависности од методе спајања материјала). Ако је елемент малог пречника, загрејани материјал нема механичку подршку околног материјала нити могућност трансфера топлоте на остале елементе. Танак материјал се без подршке скупља, те долази до кривљења елемента. Такође је битан и однос димензија хоризонталних и вертикалних елемената. Ако замислимо штампу брода са високим јарболом FDM методом, у реалној оријентацији, када млазница буде стигла до последње четвртине јарбола он ће почети да се њише јер је то велика полуга на слабу везу јарбола са палубом. Овај конкретан проблем се може решити додавањем потпорног материјала или променом оријентације модела при штампи, полагањем брода на бок. [1][22]

Свака од поменутих метода штампе поседује одређену прецизност и самим тим може произвести модел у одређеним толеранцијама. Приликом производње прототипова који ће се користити за пробу димензионих уклапања у одређеном склопу, јако је битно познавати толеранције опреме на којој се модел производи. У аутомобилској индустрији се често захтева прототип неког дела, рецимо пластичног црева, да би се оно уградило на мастер модел аутомобила и проверила интерференца са осталим деловима. Често је простор у који се прототип уграђује скучен, те свака девијација модела може дати лажну информацију и навести на инвестицију у неадекватне алате за серијску производњу. Корисно је знати и да рецимо штампачи FDM типа (постоје и изузеци) углавном штампају благу елипсу уместо круга. Ово је занемарљиво својство ових штампача у већини случајева, али када би се на једном штампачу произвео цилиндар а на другом клип одговарајућих димензија, те девијације би биле јако уочљиве и проблематичне јер би постојао зазор између елемената који би требало да постоји приближна заптивеност. [1][22]

Узевши у обзир све ове напомене и ограничења различитих технологија и материјала лакше је успешно произвести модел 3Д штампом који ће испуњавати жељене захтеве. Лако је увидети да је често успешност штампе одређена још у фази дизајнирања модела (слика 24.).

2 Различита ограничења и примене 3Д штампе

Иако је 3Д штампа релативно лако изводљив процес он није без ограничења и одређених захтева. Такође, да би 3Д штампа постала равноправан производни процес са формативном и производњом одузимањем и постала интегрисани део индустрије њени одређени сегменти се морају даље развијати. Морају се зарад успеха развијати и побољшавати како машине односно опрема, тако и материјали, методе и процедуре, а нарочито људи у смислу развоја стручног кадра.



Слика 25. Глобални раст тржишта 3Д штампача изражен у милијардама USD [23]

2.1 Тренутна ограничења 3Д штампе

Стручни кадар се мора стварати и неговати да би 3Д штампа оформила јак корен у индустрији. Иако живимо у времену рачунара, 3Д штампа захтева информатичка знања и вештине, знања из области металургије и термодинамике као и из осталих области машинства и електротехнике. Потребно је познавати различите методе 3Д штампе и области машинства да би се модел успешно дизајнирао, припремо за штампу, произвео и пост процесирао на успешан и исплатив начин. Да би се неко успешно бавио 3Д штампом потребно је да поседује сет вештина који је тренутно у дефициту на тржишту рада. Поред свог предзнања из претходно поменутих области потребно је и искуство у раду са самом опремом и материјалима. Као што је објашњено у претходним целинама постоји доста различитих технологија 3Д штампе, са доста различитих материјала. Чак и кад би се штампао један исти модел на различитим типовима штампача од различитих материјала било би потребно одређено време да се руковалац опремом ухода и успешно спроведе штампу од почетка до краја. У свету се развијају центри који школују и развијају кадар који ће бити неопходан за даљи развој 3Д штампе. Лидери у области развоја кадра за 3Д штампу су развојно истраживачки центри које су развили: HP у Барселони, GE у Охају, Пенсилванији, Алабами као и у Индији, 3D HUB у Холандији и Carbon у Северној Каролини. Као позитиван импулс целом развојном процесу ће помоћи и растући број

ентузијаста 3Д штампе (што се може видети по броју продатих штампача током година слика 25.). Са повећаним бројем хобиста развијали су се и интернет сајтови на којима се бесплатно или за релативно малу суму новца може преузети 3Д модел практично спреман за 3Д штампу. Ово доприноси повећању броја „техничара 3Д штампе“ који не морају познавати рад у софтверима за 3Д моделовање. [3][23]

Материјали се морају развијати у смислу самих карактеристика материјала као и ефикасне производње материјала која треба снизити цену и учинити их приступачнијим. Са развојем 3Д штампе пре око 40 година и са њеном популаризацијом пре око 20 година појављивале су се и компаније које су се базирале на производњу сировине за материјале или готових материјала за 3Д штампу. Како тржиште расте тако расту и улагања у развој материјала. Пратећи развој материјала последњих пар година увиђамо позитивну тенденцију у повећању броја нових или побољшаних материјала за 3Д штампу. Тржиште је релативно младо, а тек последњих петнаестак година се убрзано развија. Ако узмемо пример металних прахова за 3Д штампу, прах који се користи Powder bed технологију не мора нужно бити погодан употребу Directed Energy Deposition методом. Потребно је развијати скоро исте материјале на више различитих начина не би ли они били прилагођени разним типовима штампе. Поред унапређења материјала потребно је константно побољшавати и начине производње истих како би производни процес постајао се ефикаснији и ефективнији. Такође би се производња материјала за 3Д штампу требала развијати у правцу еколошке одрживости нагињући ка рециклажи материјала и биоразградивим материјалима. Тренутно на тржишту постоји неколико решења чак и за кућну рециклажу материјала поготово за прераду у форму филамента. На пример, техничко решење под називом Proto Cyclor је комбинована машина која се са стоји из дробилице која за циљ има уситњавање материјала и сегмента за екструзију који млевени материјал топи и екструдуге у филамент (слика 26.). Може се користити и за рециклажу отпада од штампе (потпорне конструкције и неуспешно штампани модели) као и разних пластика које су широко доступне а немају везе са 3Д штампом. [3][24][25]



Слика 26. Графички приказ опреме за рециклажу/производњу материјала за 3Д штампу у кућним условима путем млевења и претапања коришћеног материјала [25]

Запремина простора за штампу је једно од главних ограничења адитивне производње. Штампа у кућној варијанти се базира на малим моделима мада често је потребно жељени модел „скалирати“ или штампати из више делова. Када говоримо о индустријским деловима такве „пречице“ често нису могуће, те се јављају захтеви за све већим и већим 3Д штампачима. Значајни кораци на овом пољу се предузимају и појављују се штампачи све већих капацитета. У Амстердаму се на 3Д штампачу производи пешачки мост, у Синсинатију се произвођач великих машина за 3Д штампу удружио са аутомобилском компанијом, те су за потребе сајма произвели комплетан ауто на 3Д штампачу. Тренутно највећи модел произведен 3Д штампом је чамац који су произвели на Универзитету у Мејну, те је и званични власник рекорда у Гинисовој књизи (слика 27.). Чамац је штампан из једног дела, термо-пластичним композитима на бази угљеничких влакана. Штампа је трајала око 70 часова, а сам чамац тежи око 2.5 тоне и дуг је око 8м и сматра се функционалним моделом (тестиран у базену инжењерско океанске лабораторије у Мејну). Да се развој наставља показује чињеница да овај универзитет опремио штампачем који је произвео Ingersoll Machine Tools чији су капацитети знатно већи. Наиме, овај штампач поседује радни ход од 33*7*3м што је у поређењу са капацитетима сличних штампача импозантно. Интересантна је и чињеница да доста ради и на развоју 3Д штампаних зграда. Неке зграде се штампају бризгањем материјала сличном малтеру на бази цемента док се друге могу штампати прецизним слагањем блокова помоћу роботске руке. 3Д штампа зграда се још увек заснива само на изради зидова јер се подови, плафони, армирање као и сви послови око инсталација морају обављати ручно. Ова грана 3Д штампе је релативно млада и тек се очекују нова и побољшана техничка решења. Штампачи релативно великих капацитета су почели да се појављују последњих година и сматра се да ће то ограничење адитивне методе производње бити убрзо превазиђено. [3][26][27]



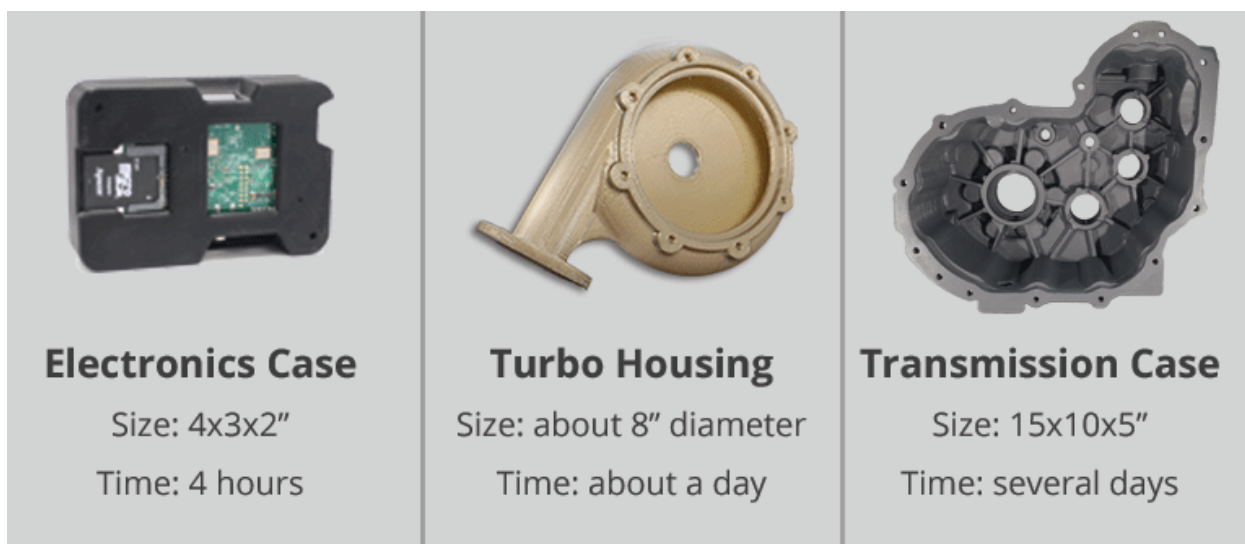
Слика 27. Графички приказ највећег модела произведеног 3Д штампом, чамац 3Дирого произведен на Универзитету у Мејну [26]

Време штампе је такође битан фактор при одабиру начина производње жељеног модела. 3Д штампа је релативно спор процес производње, те је и за штампу предмета величине рецимо рукометне лопте потребно више часова рада самог штампача (слика 28.). Компликовано је упоредити брзину производње адитивном методом са брзинама производње формативном или методом одузимањем. Разлог томе је што се време утрошено

на све припремне радње за нпр. формативни тип производње деле на сваку јединицу производа, а најчешће се ради о серијским производњама док се адитивном производњом израђује један или неколико производа истог облика. Да би се рецимо произвео прототип неког модела помоћу 3Д штампе потребно је:

- У одређеном софтверу моделовати жељени 3Д облик,
- Прилагодити модел за штампу,
- Конструисати потпорне конструкције,
- Подсетити параметре штампе,
- Калибрисати штампач,
- Очистити радне површине штампача и нпр. млазнице,
- Поставити одговарајући материјал на штампач,
- Сачекати да штампач постигне жељену температуру (у зависности од типа штампе)
- **Спровести штампу,**
- Одстранити моделе из штампача,
- Очистити моделе од вишка материјала,
- Одстранити потпорне конструкције,
- По потреби брусити и полирати,
- Сачекати да се модели охладе (у зависности од типа штампе)
- Третирати моделе на различите начине ради постизања бољих својстава
- По потреби лакирати или заштитити прајмером

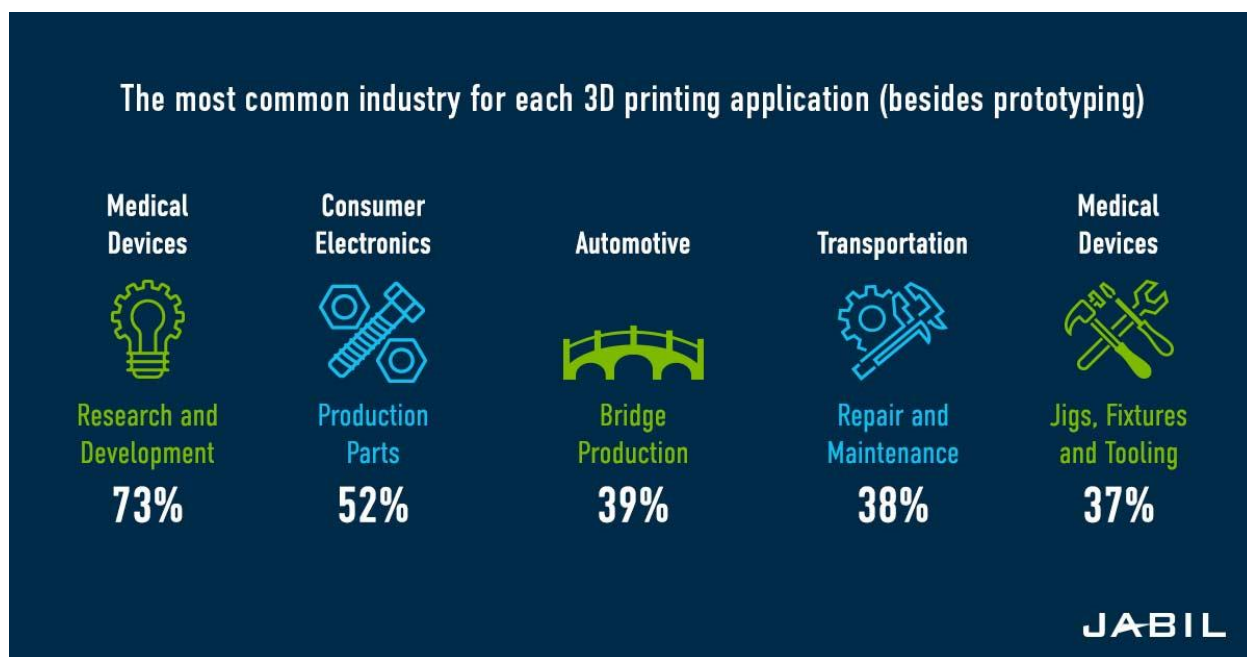
Могућ је још читав низ корака у зависности од модела, материјала и типа штампе и сви кораци морају бити урачунати у време потребно за производњу. Још једна битна ставка је да је за израду прототипа помоћу 3Д штампе врло често потребно бар два покушаја док се сви параметри не усагласе. [1][3][28]



Слика 28. Графички приказ различитих модела са назначеним димензијама и оквирним временом потребним за њихову израду применом 3Д штампе [28]

Ако би смо занемарили све остале радње и претпоставили да ће модел бити успешно произведен у првом покушају онда би смо могли анализирати сам процес 3Д штампе и шта све утиче на његово трајање. Један од основних фактора од којих зависи време штампе јесте сама величина модела што је и логично. Што је већи модел, штампа ће дуже трајати. Следећи фактор је свакако запремина модела јер што је већи проценат испуне при штампи модела то је више времена потребно (код неких метода штампе ово правило не мора важити). Попречни пресек модела односно сама геометрија модела имају значајан утицај

на време штампе јер што је геометрија комплекснија, односно захтевнији облик на попречном пресеку, то ће више времена бити потребно за израду. Ово рецимо није случај код штампача који користе фото полимер и UV пројектор јер за њих је само битан број слојева. Значајан утицај на време штампе има дебљина слоја. Углавном, што је дебљина слоја мања то је резолуција односно квалитет штампе бољи и више времена је потребно за штампу. Надовезујући се на претходну констатацију да се закључити да је висина модела фактор који има знатно већи утицај на трајање штампе него дужина и ширина модела. Висина модела у заједно са дебљином слоја одређује број слојева који су неопходни за израду комплетног модела. Разлог зашто је висина модела битнија од дужине и ширине се крије у чињеници да су при штампи сваког слоја дужина и ширина слоја условљени само запремином радног простора штампача и представљају варијабилни део једначине док је дебљина слоја константна и фиксна за штампу одређеног модела. Као што је било речи у претходним целинама време штампе је такође условљено типом штампача односно методом штампе, али и квалитетом саме опреме. Утицај на време има и врста материјал која се користи јер је одређене материјале могуће штампати брже односно спорије. Теоретски би се могло говорити о томе да брзина хода главе штампача условљава време штампе, али се главе штампача могу кретати знатно брже него што то основни принципи тренутне технологије 3Д штампе могу дозволити. Повећањем брзине хода главе односно радне плоче штампача могу настати разни дефекти, од деформисања модела до стварања нити између „торњева“ модела итд... О факторима који утичу на време комплетног процеса производње применом 3Д штампе би се могло писати много опширније, те су овде описани само фактори који утичу на сам процес штампе, о осталим процесима биће више информација у опису експеримента. [1][3][28]



Слика 29. Процентуално повећање примене 3Д штампе за различите намене у односу на претходну годину, испитано преко 300 професионалаца задужених за 3Д штампу унутар производних компанија у току 2019. [29]

Цена производње помоћу 3Д штампе је један од најважнијих фактора при одабиру начина производње у индустријском окружењу. Како је раније објашњено, адитивна производња често не може ценом парирати формативном начину јер се са сваком произведеним комадом висина иницијалног улагања по јединици производа смањује. Формативним начином производње се за кратко време може произвести велики број истих производа по релативно ниским ценама. Насупрот томе, адитивном производњом се може

произвести велики број јединствених производа за кратко време по релативно приступачним ценама (слика 29.). Да се закључити да је 3Д штампа исплатив начин производње, али само у одређеној примени. Тешко је да ће адитивна производња икада моћи да парира ценом серијској производњи формативног типа. Разлог за то лежи у времену потребном за израду, цени материјала, цени образованог кадра, механичким карактеристикама производа итд... Производња модела величине паклице цигарета се бризгањем пластике у калуп мери у секундама док би 3Д штампом то трајало сатима (условно речено). За бризгање пластике у калуп се користи гранулат који је сировина од ког се израђује нпр. филамент или прах за 3Д штампу, те ће цена материјала вероватно још неко време бити нижа за потребе формативне производње. Ако би смо разматрали употребу праха који се користи за електростатичко наношење и праха за 3Д штампу, овај други би морао да испуни много више захтева да би био употребљив. Ако би смо разматрали ситуацију где желимо изградити нови производ који још увек није прошао кроз све итерације до коначног дизајна било би неисплативо изградити калупе односно алате за производњу и након увиђања недостатака и унапређења дизајна те алате одбацити. Ако би смо разматрали да нам је потребно 10-ак контролника или „гејцева“ за уградњу који су компликовани за израду на CNC машинама поново не би било исплативо израђивати калупе или алате за њихову производњу. Уколико се жели доказ одређеног концепта, адитивна производња може бити одговарајући избор. Приликом уговарања послова односно нуђења услуга производње или продаје техничких решења где купац жели видети производ/решење, али је још увек рано улагати у алате, 3Д штампа је знатно исплативије решење од формативне производње. Ако за задатак имамо израду јединственог прстена од рецимо злата, са комплексном геометријом, обрадом на CNC стругу се може изгубити доста материјала док је за формативну производњу потребан калуп, ту долазимо до симбиозе адитивне и формативне производње и теме експеримента као саставног дела овог рада. Најисплативије је произвести модел помоћу 3Д штампе који ће бити употребљен за израду калупа од јефтиних материјала, те се у њега улили метал и произвести коначан производ. 3Д штампа често није јефтин процес, али је за одређене намене често најисплативије решење у складу са тренутним стањем технологије и привреде. [1][3][29]

Инспекција односно контрола квалитета делова произведених адитивним начином производње је доста захтевнија од оне која се бави производима произведеним на традиционални начин. Приликом контроле металних делова произведених на стругу често је довољно проверити само спољне димензије и статистичком контролом проверити нпр. жилавост и тврдоћу материјала да би се стекло поверење у квалитет целе серије производа. Контрола производа проведених 3Д штампом се ретко може ослонити на статистичку контролу било које карактеристике и често се дефекти могу крити унутар модела, те ће сваки појединачни производ истог модела бити на неки начин јединствен. Забележен је и случај где је спојница хидрауличног црева произведена 3Д штампом контаминирала цео хидраулични систем нечистоћама које су резултат пост процесирања металне компоненте. Због недостатка поузданости у структуру материјала унутар модела често је потребно урадити компјутерску топографију производа да би производ без сумњи прошао контролу квалитета. Све ово компликује процес контроле делова, поскупљује контролу квалитета и ствара одређени ниво одбојности према адитивном начину производње, поготову у ауто и авио индустрији. [1][3]

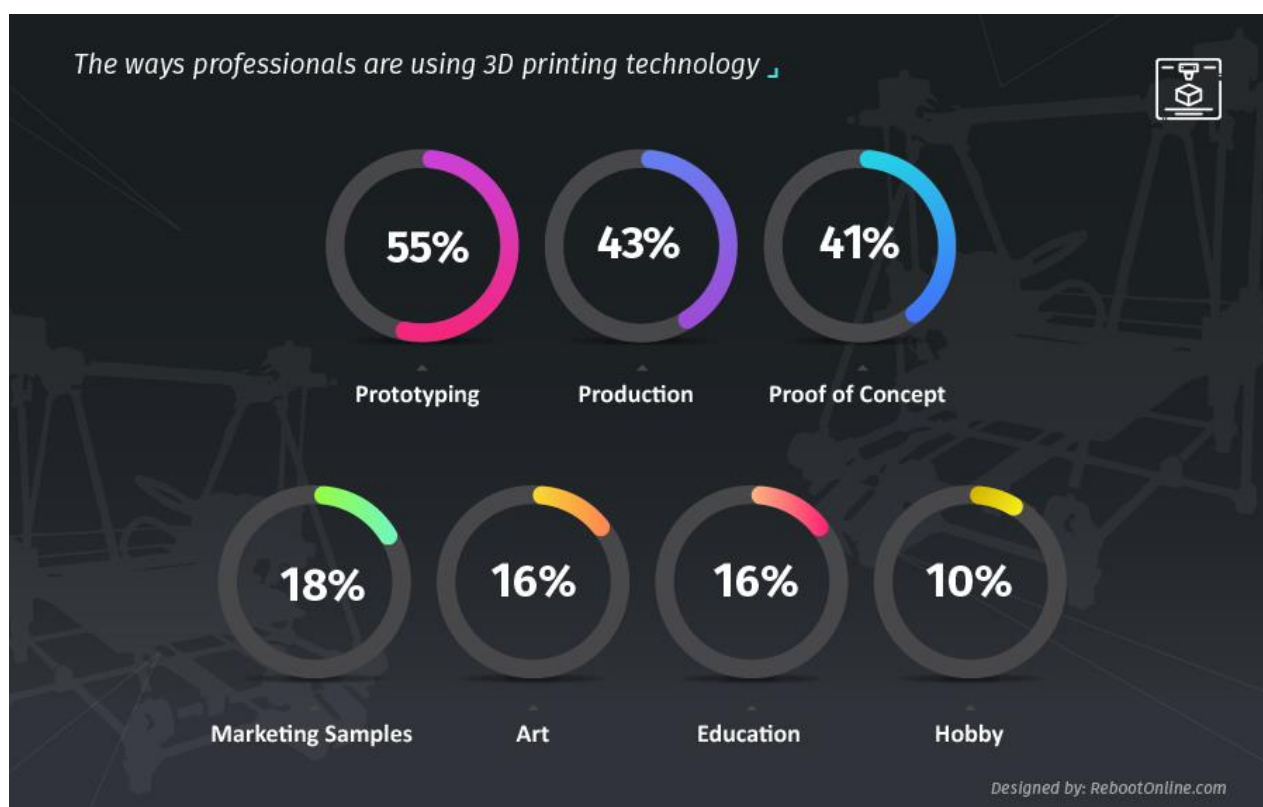
Сертификати који су неопходни да би се део могао пласирати као компонента у нпр. ауто или авио индустрији су додатна компликација и баријера при увођењу 3Д штампе у индустријско окружење. Сертификати се добијају као резултат позитивног тестирања производа и производног процеса, а како је објашњено у претходном пасусу контрола квалитета производа 3Д штампе је знатно скупља и комплекснија. Ако узмемо у обзир да је један обичан вијак произведен традиционалним начином производње за широку примену и неколико пута јефтинији од идентичног вијка произведеног за рецимо авио индустрију

јасно је да су то све трошкови прикупљања и обезбеђења података о квалитету производа и поузданости производног процеса. 3Д штампа је јако интересантан метод производње за авио индустрију јер може произвести делове који су знатно лакши од оних произведених традиционалним методама, а обезбеђују исту чврстину и флексибилност. Како се у ауто и авио индустрији постављају захтеви произвођача коначних производа да се обезбеде подаци и докази о управљању квалитетом производа и процеса за добављаче, под-добављаче и под-под-добављаче може се разумети да то утиче и на цену материјала и репроматеријала који се користи за 3Д штампу. [1][3]

Интеграција 3Д штампе у производни процес је јединствена тема сваке компаније и зависи од производње којом се она бави и начином на који је 3Д штампа присутна у производњи. Неке компаније купују 3Д штампане компоненте, те их уграђују у своје производе док друге у свом производном процесу користе 3Д штампаче. Због своје комплексности 3Д штампа је најчешће изоловани процес, а не део линијске производње. Компоненте се производе на 3Д штампачима, пост процесирају уколико је то потребно, пролазе контролу квалитета и као такве доводе се до процеса склапања са осталим компонентама. Када се говори о интеграцији 3Д штампе у производни процес мисли се на производне процесе у којима 3Д штампа није основни производни процес, већ само један сегмент производње. [1][3]

2.2 Различите примене 3Д штампе

Како се и могло закључити, најзаступљенија примена 3Д штампе је у изради прототипова јер ту највише долазе до изражаја позитивне карактеристике овог типа производње (слика 30.). Применом 3Д штампе у изради прототипова се добија на брзини израде свих верзија кроз различите итерације тражења најбољег дизајна односно решења. Такође се применом 3Д штампе штеди на изради калупа за бризгање материјала. [1][30]



Слика 30. Процентуални приказ примене 3Д штампе за различите намене унутар производних компанија у току 2019. [30]

3Д штампа се може користити и у производњи различитих делова. Најчешће се делови производе адитивним начином производње јер је дати део немогуће произвести другим методама. Делови попут шарки за авионска врата се могу израдити применом 3Д штампе тако да испуњавају све техничке захтеве док им је маса знатно смањена. Одређеним методама адитивне производње се могу штампати клупи од песка комплексних геометрија у које се директно може уливати топљени метал. Примена 3Д штампе у производном процесу може бити базирана на израду модела који ће послужити за израду калупа од гипса, песка, силикона итд... У калуп се касније може уливати жељени материјал што, већ спада у формативни начин производње. Могу се производити разни алати и „гејџеви“ као што је већ било речи. Када говоримо о примени 3Д штампе у производном процесу онда говоримо о економски исплативој производњи. Било је речи о производњи великог чамца применом 3Д штампе, али тај чамац није погодан за комерцијалну употребу, те не може ни ићи у комерцијалну продају. Овде се мисли на производњу која може постати саставни део нпр. ауто или авио индустрије и стварати делове за серијску производњу. [1][30]



Слика 31. Графички приказ идеје 3Д штампача који може штампати органе од мешавине ћелија и био материјала (лево) и стилске протезе недостајућег екстремитета (десно) [24]

Још једно о поља у којима 3Д штампа окупира стручњаке је медицина и биоинжењеринг. 3Д штампом се могу произвести разни елементи корисни у медицини. Ранијих година је било доста речи о 3Д штампаном „гипсу“ односно средству за имобилизацију екстремитета са фрактуром и фисуром. Могуће је произвести и разне елементе хируршке и дијагностичке опреме помоћу 3Д штампе. Једна од релативно познатих примена је израда вештачких зуба или протеза у области стоматологије са великим успехом и квалитетом израде. 3Д штампа је изузетно квалитетно решење за израду разних ортоза или протеза (слика 31.). Ортозе су помагала која коригују или побољшавају рад одређених делова тела док протезе мењају недостајуће делове тела. Забележено је више примера где су протезе за недостајуће екстремитете израђене традиционалним методама створиле потешкоће пацијентима јер им нису идеално одговарале. То је доводило до промена у држању тела или преоптерећености нпр. здраве ноге... Истраживања су показала да протезе израђене 3Д штампом које осликавају здрави екстремитет побољшавају ниво компатибилности пацијента и протезе, те смањују нежељене ефекте. Сличне резултате показују и истраживања која прате пацијенте који користе слушна помагала израђена помоћу 3Д штампе. Велике наде се полажу и у 3Д штампу тиква која се могу произвести и складиштити одређени временски период ex-situ. Ова ткива се могу користити за санацију или помоћ при зацељивању костију, хрскавица и коже. Убрзано се ради и на развоју 3Д

штампе органа уз помоћ 3Д мулти цет штампача који комбинују више различитих материјала одједном у комбинацији са разним технологијама узгоја ћелија. За сада је технологија 3Д штампе органа заглављена на проблемима у почетним фазама, али се очекује превазилажење препрека, истраживања су у току.[1][16][30]



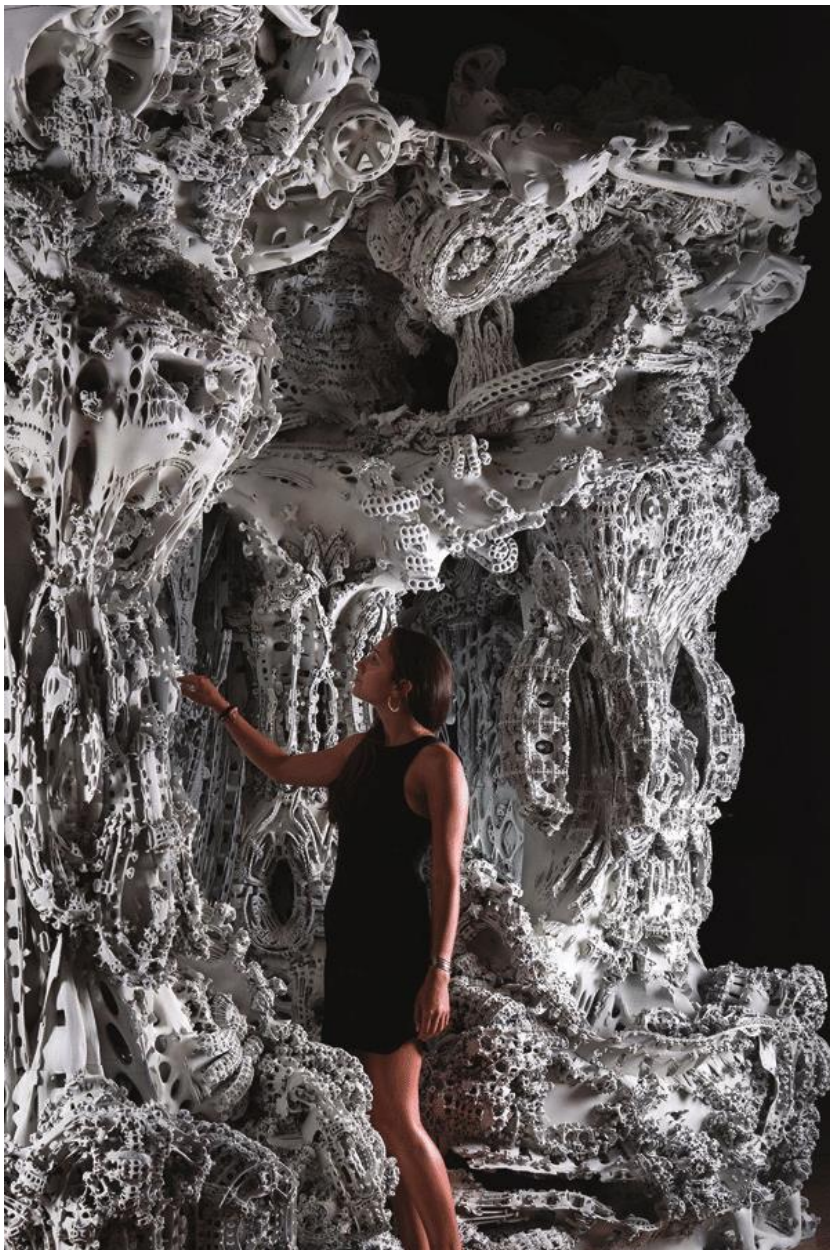
Слика 32. Графички приказ неповратног вентила у раду (са прозирном чеоном страницом) који је осмислио и патентирао Никола Тесла, израђен на 3Д штампачу (преузето са YouTube канала „Integza“) [31]

Доказивање концепта је постао стандардни захтев у пословном свету. Уколико се развије нови производ или услуга пре значајних улагања се тражи доказ концепта. То може бити за тестирање реакције тржишта где би се мала серија новог производа поделила групи бета тестера који би уједно уочавали недостатке и откривали нове намене производа. Овај процес може бити појефтињен израдом бета производа применом 3Д штампе без улагања у израду калупа. Са друге стране доказ концепта се може захтевати за потврду неке научне хипотезе о нпр. неким законитостима физике. На YouTube интернет платформи за дељење видео записа се може наћи велики број снимака који „поново доказују“ концепт разних патената. На једном YouTube каналу који се бави инжењерством и 3Д штампом (https://www.youtube.com/channel/UC2avWDLN1EI3r1RZ_dISxCw) се може видети велики број модела патената Николе Тесле израђених помоћу 3Д штампе. Постоје, условно речено, докази концепта пулног мотора, Теслиног неповратног вентила, Теслиног осцилирајућег генератора као и многих других функционалних модела израђених на 3Д штампачима који заиста доказују дате концепте (слика 32.). [1][30][31]

Израда промотивног материјала и материјала у маркетиншке сврхе се може вршити уз помоћ 3Д штампе. Једна од могућности, како је и описано, јесте тестирање тржишта производима израђеним помоћу 3Д штампе. Друга могућност јесте израда функционалних модела нпр. багера који могу стати на сто за потребе сајмова итд... О овој врсти примене ће бити више речи у наредном поглављу. [1][30]

Употреба 3Д штампе у виду уметничког стваралаштва је још увек млада, али перспективна област. Савремени уметници могу претворити своје креативне идеје у дигиталне 3Д моделе уз помоћ адекватних софтвера, а те моделе превести у физички свет помоћу 3Д штампе. Ово је време у ком уметник не мора имати мирну руку и таленат за

обраду неког материјала или пак вајање да би своју идеју реализовао на прецизан начин. Уметничко изражавање помоћу 3Д штампе може бити манифестовано у разним облицима почевши од стоних фигура до архитектонских елемената (слика 33.). [1][30][32]



Слика 33. Графички приказ примењене уметности створене помоћу 3Д штампе, 3Д штампана скулптура као део ентеријера [32]

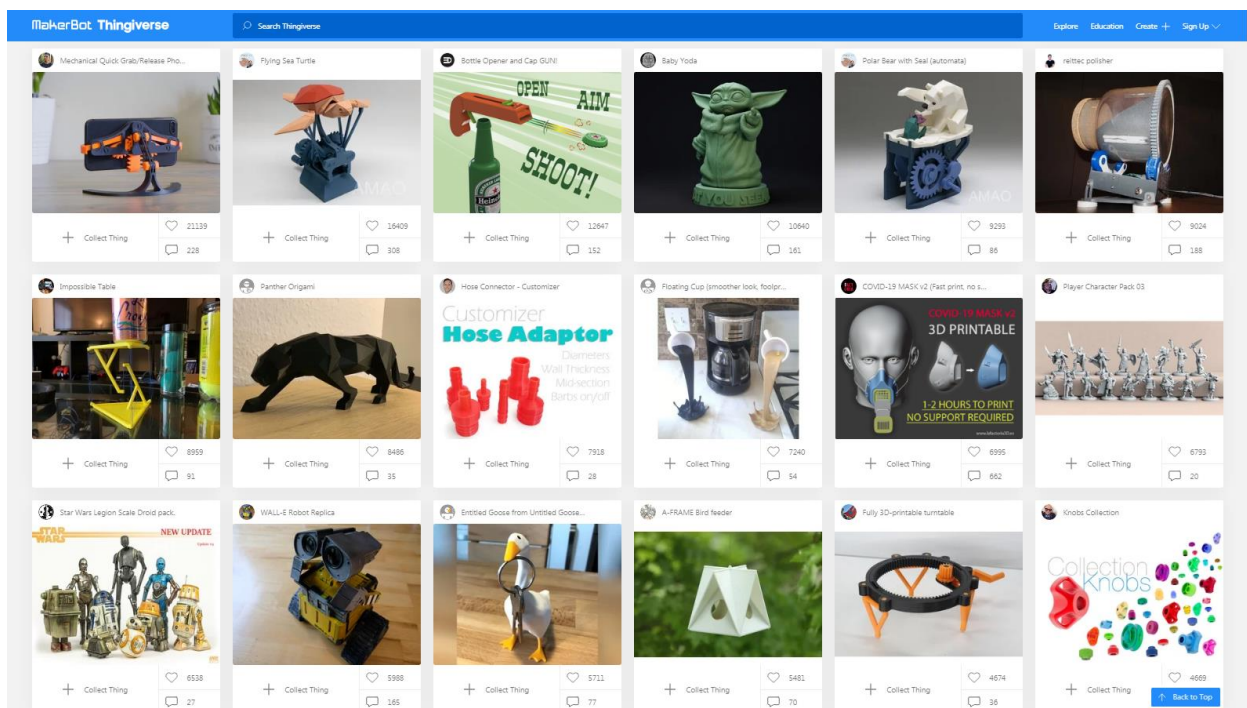
Примена 3Д штампе у едукацији је популарна и атрактивна тема. Почевши од основаца преко средњошколаца па до студената факултета 3Д штампа може помоћи ученицима да лакше савладају градиво, а и може их заинтересовати за тему 3Д штампе и створити код њих нове идеје. У Вирџинији, Сједињене Америчке Државе, је пре пар година оформљено пилот одељење ученика 4. и 5. разреда којима је кроз причу о дечаку из Африке који нема доступну електричну енергију представљен реалан проблем. Према тадашњим истраживањима око четвртина светске популације није имала доступну електричну енергију. Прича је ученике водила кроз авантуру дечака који је од старих делова трактора и металног отпада уз помоћ књиге о енергетици конструисао ветрогенератор и тиме себи обезбедио електрично осветљење. Пратећи авантуру дечака, ученици су на 3Д штампачу производили делове за ветрењачу и склопили неколико модела које би касније ставили

испред вентилатора, те произвођили електричну енергију која би напајала лед диоде или слично. Средњошколци могу користити 3Д штампаче за израду функционалних модела разних пумпи, генератора, вентила, механичких склопова и сличног да би боље разумели градиво (слика 34.). Знатно је лакше разумети рад диференцијала или нпр. мењача аутомобила када се ученицима представи функционалан модел, а још лакше када ученици сами учествују у њиховој конструкцији, изради и склапању. Студенти факултета могу користити 3Д штампу за производњу нових техничких решења, анализу комплексних склопова као и унапређење перформанси нпр. пумпи променом рецимо дизајна радних кола итд... 3Д штампа може знатно побољшати квалитет наставе уколико се правилно употреби и на адекватан начин представи ученицима и студентима. Да се не стекне утисак да се 3Д штампа може применити само у машинству и електротехници следи још примера. Час биологије или медицине се може обогатити реквизитима у облику 3Д штампаних органа, костију или пак читавих јединки. Предавања историје или уметности се могу обогатити репликама древних скулптура или модела античких зграда, као и приказом мачева и секира у стварној величини произведених помоћу 3Д штампе да би се стекао бољи утисак о прошлим временима. Предавања геологије се могу унапредити 3Д штампаним попречним пресеком планина или равница где се виде различити слојеве земљине коре. Часови географије би постали знатно занимљивији када би се произвео 3Д модел рељефа града и околине у којој се школа налази... Могућности су ограничене само људском маштом, чак се и у предшколске установе могу укључити 3Д оловке да би се деца од раног доба упознала са 3Д штампом.[1][3][24][30]



Слика 34. Графички музејских експоната машина из 19. века и њихових 3Д штампаних реплика које се могу преузети са интернет странице Универзитета Корнел [24]

Са све приступачнијим ценама релативно квалитетних 3Д штампача расте и број хобиста односно ентузијаста 3Д штампе. Средином 2020. године на тржишту у Србији се у ценовном рангу од 200-500€ могу набавити штампачи FDM и MSLA типа радне запремине 200*200*200мм сасвим пристојног квалитета штампе. Овакви штампачи могу релативно задовољити одређене потребе чак и напредних корисника иако је резолуција штампе знатно лошија него код скупљих модела. Хобисти користе 3Д штампаче за разне намене, али најчешће за кућне пројекте, експерименте, учење и разоноду. Као што је раније поменуто, постоји велики број интернет портала са којих се могу преузети готови модели, те ентузијастима 3Д штампе познавање софтвера за израду 3Д модела није нужно (слика 35.). Прегледом неколико портала са којих се могу преузети 3Д модели (моделе постављају ентузијаста и професионалци 3Д штампе) може се наслутити шта то хобисти најчешће штампају. Углавном се из хобија штампају фигуре из поп културе, разновразни „геџети“, такозвани „немогући облици“, разни елементи за кућне пројекте, модели за израду калупа и још много тога. Бенефит распрострањености хобиста 3Д штампе је сама популаризација адитивне производње, упознавање већег броја људи са новим технологијама као и формирање базе обученог кадра који ће допринети развоју технологије 3Д штампе. На интернет форумима и порталима постоји велика и активна заједница ентузијаста 3Д штампе која дељењем својих искустава, идеја и решења пружа огромну подршку новим члановима. Присуство великог броја видео записа на интернету који објашњавају како се успешно бавити 3Д штампом мотивишу нове ентузијасте 3Д штампе да истрају у свом хобију. 3Д штампачи више нису недоступни обичном становништву, цене 3Д штампача погодних за хобисте су скоро равне ценама телевизора у 2020. години и имају тенденцију пада још увек. Могло би се очекивати да 3Д штампа постане део разних производних процеса малих занатских радњи прерастањем хобиста у професионалце. Хобисти 3Д штампе често моделе које су израдили за штампу за потребе личних пројеката могу продати на неком од поменутих портала за преузимање 3Д модела. Нумизматичари из хобија могу израдити реплике ретких кованица, те исте излити од метала и зарадити нешто новца продајом реплика. Љубитељи уметности могу израђивати реплике познатих уметничких дела (минијатуре) које се такође могу продати као такве или се излити од метала. Љубитељи историје могу произвести реплике познатих историјских артефаката зарад њиховог изучавања или пак у смислу колекционарства. У комбинацији са 3Д скенерима који су постали такође релативно доступни могућности су скоро неограничене. Средином 2020. године цене 3Д скенера крећу и од 230€ за мање, до пар хиљада еура за веће скенере (најјефтинији скенер је за моделе 30-60cm са удаљености до 120cm), најјефтинија варијанта је употребљива опрема која свакако није професионалног типа. Замислите одлазак на путовање у неку страну државу где вам за око западне скулптура коју можете скенирати опремом која је величине нпр. стандардног ручног кухињског миксера и сачувати модел у електронском формату. По повратку можете на 3Д штампачу израдити реплику поменуте скулптуре и сачувати је као успомену на путовање (слика 36.). [1][3][24][30][33][34][35][36]



Слика 35. Снимак екрана интернет странице <https://www.thingiverse.com/> са које се може преузети велики број 3Д модела, бесплатно или уз одређену новчану надокнаду, постоји велики број сличних портала [33]

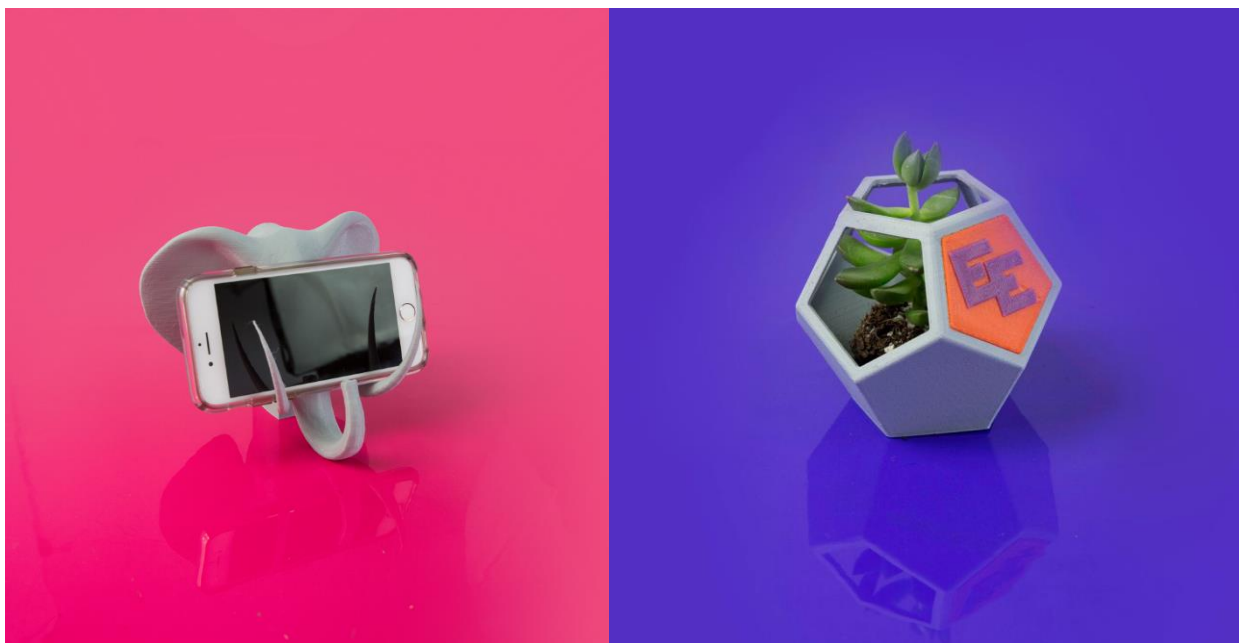
Хобисти користе 3Д штампу на разноразне креативне начине, а они који поседују знање и вештину за израду 3Д модела имају велику стваралачку слободу и релативно лак пут од идеје до реализације. Власници малих пословних подухвата могу свој хоби усмерити на израду производа који ће промовисати њихову фирму на јединствен и креативан начин.



Слика 36. Графички приказ модела за 3Д штампу припремљеног помоћу 3Д скенера и одговарајућег софтвера за обраду скенираног модела [36]

3 Примена 3Д штампе у маркетингу и промоцији за развој нових производа

Да би неки пословни подухват постао и опстао успешно на тржишту врло често је неопходно да се одређена средства уложе у промотивне односно маркетиншке сврхе. Ако говоримо о промотивним артиклима који су постали популаран начин промоције пословних подухвата, 3Д штампа носи одређени низ предности у односу на традиционалне методе производње. Ако узмемо за пример породичну фирму средње величине на територији Републике Србије која се жели на неки начин промовисати, можемо анализирати одређене законитости. Дељење оловака, привезака и упаљача је већ постао устаљен начин промовисања различитих организација. Фирма коју смо замислили жели да се издвоји од осталих и промовише себе на јединствен начин у свом окружењу. Претпоставимо да су дошли до идеје да желе поклонити својим будућим муштеријама и партнерима стони држач мобилног телефона и малу саксију са засађеном сочницом који осликавају њихов пословни подухват и промовишу њихову фирму на јединствен начин (слика 37.). На тржишту засигурно постоји велики број спремних решења, али ретко и решење које је заиста персонализовано и јединствено.



Слика 37. Графички приказ персонализованог промотивног материјала произведеног помоћу 3Д штампе, цена сталка за телефон је \$10-\$20 док је цена саксије \$5-\$10 [37]

Уколико се производи буду израђивали формативним начином производње неопходни су калупи који би коштали око 10.000 америчких долара по комаду. Производња ових артикала формативним начином би се исплатила након израде велике серије, али пошто говоримо о релативно малом породичном пословном подухвату претпоставимо да би њихова потражња била исувише мала да би се повратио новац уложен у калупе. Ту долазимо до 3Д штампе којом се без великих иницијалних улагања могу произвести релативно мале количине производа јединственог облика и карактеристика. Осврнимо се на пар интересантних чињеница у вези са промотивним материјалима насталих као резултат истраживања највећим делом PPAI (Интернационална асоцијација промотивних производа):

- Промотивни производи генеришу највећи одзив потрошача превазилазећи штампу, телевизију и интернет рекламирање

- 83% потрошача ће се сетити назива оглашивача који дели промотивне производе док само 7% потрошача се сети назива оглашивача са ТВ рекламе
- 58% потрошача чува промотивне производе 1-4 године
- Око 60% календара у домовима и 76% календара у пословним просторима су поклони компанија које желе да се промовишу
- 8 од 10 потрошача воле да добију промотивни поклон док 7 од 10 потрошача тврди да их нервирају интернет рекламе
- Преко 50% потрошача стиче позитиван утисак о оглашивачу након добијања промотивног производа
- 20% потрошача је спремно да понови куповину код оглашивача који им је дао промотивне производе

Значај промотивних производа зарад стварања боље слике о организацији у јавности и коначно увећања профита је очигледан. Производи који су јединствени, интересантни и на неки начин покретачи разговора морају имати још већи утицај на горе поменута очекивања. [1][3][24][37][38]



Слика 38. Графички приказ Пепсијеве лименке са 3Д штампаном маском која промовише Марвелов филм Црни Пантер [39][40]

Интересантан пример примене 3Д штампе у промотивне сврхе од стране великих корпорација јесте случај промоције Марвеловог филма „Црни Пантер“. Продукцијска кућа која стоји иза поменутог филма се удружила са компанијом Пепси где су пласирали ограничену серију лименки безалкохолног пића ове компаније осликане ликовима из поменутог филма. Узевши у обзир да је велики део костима који су коришћени у филму произведен помоћу 3Д штампе, менаџери кампање су дошли на идеју да уз лименке пића поклоне и маске које би се навлачиле преко лименки и употпуњавале визуелни приказ јунака филма (слика 38.). Маске су прво производили помоћу 3Д штампе засноване на екструзији, а касније се одлучили за серијску производњу мулти цет 3Д штампом као најадекватнијом методом за њихове потребе. Како су објаснили менаџери кампање, идеја је да лименка постане колекционарски примерак и маска треба да траје бар 10-20 година.

Произведено је свега 250 оваквих лименки са 3Д штампаном маском и биће продаване само у Њујорку као део ексклузива. Разматране су и PolyJet и SLA методе штампе, али нису могле гарантовати чврстину, и трајност дубоке црне боје која је била један од кључних захтева иако су ове методе пружале бољу резолуцију штампе. Са релативно малим улагањима менаџери кампање су створили колекционарски примерак помоћу 3Д штампе и промовисали су свој филм и пиће. [39][40]

Још један интересантан пример маркетиншке кампање где су велике корпорације оформиле савез и удруженим снагама искористиле најбоље од онога што 3Д штампа може понудити јесте удружење Warner Brothers и Gillette компанија са Ketchum тимом. Удружени у циљу да подсети гледаоце да чак и суперхероји из „Лиге Правде“ морају да се брију они су одлучили да награде 200 љубитеља ових филмских остварења. Наградили су их у виду додатака бријачима са мотивима шест суперхероја из поменутог серијала (слика 39.). Удружени у овој кампањи успели су да на један интересантан и атрактиван начин промовишу премијеру филма, производе за бријање и 3Д штампу. [41]



Слика 39. Графички приказ Gillette бријача са 3Д штампаним додатком са мотивима суперхероја из серијала филмова Лига правде компаније Warner Brothers [41]

Ако се удаљимо од ограничених серија производа које промовишу савезе великих корпорација можемо наћи разне производе које се производе помоћу 3Д штампе израђене баш по мери купца. 3Д штампа је процес који дозвољава овај ниво јединствености производа заснованих на сличној платформи по знатно нижим ценама него формативна производња. Тренутно стање привреде и економије је засновано највећим делом на производњи у великим серијама са пар типских модела производа. Ако би сте желели нешто што у већој мери одговара баш вашим потребама морали би сте да одете најчешће код неког занатлије који би саслушао ваше захтеве, узео меру и по томе израдио производ баш за вас. Ово је процес који одузима време и најчешће подиже цену производа. Компанија Wiivv је осмислила генијално решење којим би задовољила потребе за персонализованим сандалама. Одлучили су се да почну од Сан Дијега због сурф културе која се гаји у овом граду и великог броја корисника сандала. Њихов пословни модел је заснован на идеји да сваком свом купцу произведу сандалу са улошком који одговара анатомији баш њиховог стопала (слика 40.). Комбинујући мобилне апликације, интернет и 3Д штампу на тржиште су донели јединствено решење које омогућава да из тоpline сопственог дома поручите сандале које одговарају баш вама. Ова компанија је развила апликацију помоћу које фотографисте ваша стопала и мапирате њихову анатомију употребом прилагођеног

софтвера и вршите поруџбину жељених производа. Апликација такође дозвољава да одаберете комбинацију боја и један од предефинисаних модела сандала. Компанија након тога помоћу мулти џет 3Д штампача производи сандале или уложке које су баш по мери купца и доставља их на кућну адресу. [42]



Слика 40. Графички приказ персонализованих уложака и сандала компаније Wiivv произведених помоћу мулти џет 3Д штампе [42]

Још један интересантан пример примене 3Д штампе у промотивне сврхе је промоција игре War Dragons где су у компанији Pocket Gems одлучили да најлојалније играче ове игре награде нечим посебним. У зиму 2017. године они су одлучили да уместо награда у игри поклоне 3Д штампане моделе омиљеног змаја из игре (слика 41.). [43]



Слика 41. Графички приказ промотивне фигуре за популарну игру произведене помоћу 3Д штампе [43]

Интересантне могућности се отварају при изради калупа, модли и алата за израду колача и торти. На претходно поменутих интернет порталима који се баве дељењем и

продајом 3Д модела може се наћи велики број модела спремних за 3Д штампу ових помагала за посластичарске занате (бесплатно или за одређену новчану надокнаду). Ту се ствара могућност за зараду продајом нпр. 3Д модела модли, продајом готових 3Д штампаних модли и калупа као и производњом колача и торти помоћу 3Д штампаних алата. Применом 3Д штампаних модли произвођач колача може јако брзо и без великих трошкова одговорити на захтеве тржишта и актуелна дешавања у свом окружењу која може искористи за лакше промовисање и продају својих производа. Тако на пример производњом колача са мотивима тренутно актуелних цртаних филмова или мотивима из поп културе произвођач ствара додатну вредност за своје производе (слика 42.). Док је модле (калупе, алате итд..) које савршено одговарају произвођачевим потребама понекад тешко наћи, у данашње време их није тешко произвести. Захваљујући 3Д штампи довољна је само идеја, мало познавања 3Д моделовања и 3Д штампе, неки од јефтинијих 3Д штампача (тренутно су доступни 3Д штампачи и од 250е) и мало воље и времена. За дизајн 3Д модела модле није потребно много вештине и познавања софтвера. Мора се напоменути да је потребно водити рачуна о исправности хране које се производи помоћу 3Д штампаних алата јер се на њима могу задржавати бактерије, неки материјали нису безбедни за контакт са храном и због слојевите текстуре материјала није увек лако дезинфиковати модле и алате. Модле су релативно безбедне јер не остају у контакту са тестом дуже време и површине које су биле у контакту са модлом се излажу високим температурама при печењу што је један од доказаних метода дезинфекције. [44][45]



Слика 42. Графички приказ модли за колаче и колача са мотивима ликова из цртаног филма Том и Џери, произведених помоћу 3Д штампе [44]

Дотакнувши се теме хране и 3Д штампе не може се заобићи 3Д штампана храна. Зарад прегледности, теме 3Д штампане хране у ексклузивним ресторанима и 3Д штампане хране

за превазилажење реалних проблема ће бити раздвојене. Да би се ексклузивни ресторани промовисали и понудили својим муштеријама нешто несвакидашње могу у своју понуду уврстити и 3Д штампану храну. Распон понуде 3Д штампане хране се може кретати од молекуларне кухиње до уметничких дела штампаних од шећера и чоколаде (слика 43.). Да би се једно уметничко дело израдило од шећера и чоколаде потребно је израдити калупе или ангажовати уметника који ће уложити своје време, таленат и труд у тако нешто. Помоћу 3Д штампе се може произвести спектакуларна посластица која може бити центри део поставке послужења или ствар престижа на неком догађају. То је свакако нешто што одређени ресторан може издвојити од конкуренције и уз добар маркетинг привући нове муштерије. [45][46]



Слика 43. Графички приказ посластице произведене од шећера помоћу 3Д штампе [45]

3Д штампа хране је почела да се развија у НАСА постројењима да би се астронаутима пружио нешто атрактивнији оброк са мање муке око припреме. Ту је почео развој 3Д штампе хране зарад превазилажења разних реалних проблема и унапређење квалитета исхране где постоје одређена ограничења. Скоро свака храна од које се може израдити пире се може користити за 3Д штампу (са одређеним изузецима). Као што космонаути имају различита ограничења од доступних ресурса до непостојања гравитације постоје и друге групе којима 3Д штампана храна може помоћи. Пацијенти у болници који су ограничени на кашасту храну могу добити квалитетан 3Д штампани оброк који ће моћи да конзумирају уместо свакодневне једноличне каше. Постоје подручја која су сиромашна конвенционалном храном, али постоје биљке и инсекти који су богати хранљивим материјама где постоји одбојност код људи да конзумирају такву храну. Инсекти и биљке се могу помоћу 3Д штампе довести у прихватљив облик хране за човека односно превазићи психолошку баријеру. Пре одбацивања овакве идеје треба разумети да су производи попут виршли и паштета добијени на сличан начин од производа који нису могли наћи друг пут до потрошача у сегменту прехранбене индустрије. Исти принцип се може применити и на храну (воће и поврће) која је исправна за конзумацију, али није визуелно перфектна, те се због тога отежано продаје. Као једна од идеја за примену 3Д штампане хране у оквиру домаћинства је производња визуелно атрактивне хране за децу која одбијају да једу

броколи, зеље, спанаћ и слично. (слика 44.) Мора се напоменути да је 3Д штампа хране изузетно спор процес, да опрема захтева пажљиво одржавање и дезинфекцију, да производи који се термички обрађују често не задрже облик који је дефинисан 3Д штампом и да је често исплативије израдити калупе и пребећи формативној производњи хране које је преведена у форму пиреа. [45][46]



Слика 44. Графички приказ пиреа од спанаћа који је печен у облику диносауруса произведених помоћу 3Д штампе [45]

Интересантан концепт се развио упоредо са развојем 3Д скенера, те се појавила могућност 3Д скенирања модела и 3Д штампа истог. Са појавом ове могућности одређени број предузетника је дошао на идеју да производи минијатурне 3Д штампане моделе људи чије су контуре забележене помоћу 3Д скенера (слика 45.). На територији Републике Србије овакве услуге пружа компанија Voxellab која такође изнајмљује опрему за 3Д скенирање на терену, а потом помоћу 3Д штампе производи минијатуре и реплике скенираних модела. Постоји више компанија у свету које могу пружити овај тип услуге и процес је углавном врло сличан код свих:

- Заказивање термина за скенирање
- Долазак на адресу пословнице и сам процес скенирања, скенирање траје око 5 минута и потпуно је безбедно, попут фотографисања
- Одабир величине и типа модела (портрет, биста или фигурина)
- Одабир финиша
 - У пуној боји
 - Имитација метала (злато, сребро или бронза)
 - Високи сјај
- Одабир постоља и натписа на њему

- Одабир паковања односно куполе у којој ће се модел касније чувати
- Након одређеног времена преузимање или слање фигуре (код Voxellab-a након 7 дана)

Ово би био процес из перспективе муштерије, а из перспективе произвођача на овом списку недостаје пар корака. Након скенирања објекта или субјекта потребно је добијени модел ретуширати применом савремених софтвера који уз помоћ разних алгоритама одстрањују грешке и неправилности скенираног модела. Након коначне припреме модела врши се припрема за штампу и спровођење штампе. Када је модел произведен, у складу са захтевима корисника се подвргава разним техникама пост процесирања да би се добио жељени резултат. Ово је још једна могућност примене 3Д штампе у комерцијалне и промотивне сврхе са пласирањем новог и јединственог производа. [47]



Слика 45. Графички приказ модела (девојке) и фигуре произведене помоћу 3Д штампе и 3Д скенирања [48]

Интересантна ниша за примену 3Д штампе јесу производи који побољшавају или унапређују функције других производа/уређаја или људског тела. То су често производи који су везани за електронске уређаје попут носача спортских камера, специјално дизајнираних ђонова за атлете, додаци за разне алате и машине из разних индустрија, разни додаци за мобилне телефоне итд... Низ производа који се могу користити да би се неки други производ побољшао је јако дуг, те се неће детаљно набрајати. Јако су популарни производи који су везани за мобилне телефоне попут заштитних маски које имају расклапајући „ногар“ да би телефон могао самостално стајати усправљен, елементи који се додају на телефон или се телефон поставља у њих зарад повећања волумена звука. Постоји велики број 3Д модела у електронском облику који се могу преузети бесплатно или уз одређену новчану надокнаду и онда се штампати на кућном 3Д штампачу који заиста пружају приметно унапређење звука (слика 46.). Решења понекад имају вишеструку

функцију: унапређење звука, сталак где телефон може стајати усправно при нпр. гледању видео записа и уједно као декоративни елемент. [49][50][51]



Слика 46. Графички приказ сталка за телефон који побољшава звук који телефон репродукује формирањем резонаторске кутије и усмеравањем звука ка кориснику уређаја, произведен помоћу 3Д штампе [51]

Примена 3Д штампе у визуелној комуникацији пружа доста олакшања архитектама који желе да свој дизајн представе и у физичком облику потенцијалним инвеститорима. Иако данас постоје разноразни софтвери који могу створити компјутерску симулацију читавог града, а камоли 3Д приказ једне зграде. Ипак постоје неке вредности које још увек најбоље репрезентује физички модел, односно макета. Раније су архитекте проводиле дане и ноћи цртајући техничку документацију и израђујући нацрте разних архитектонских здања на папиру, онда су дошли CAD софтвери и посао се знатно олакшао и убрзао. Следећи корак је често био израда макете која би представила пројектовани објекат потенцијалним инвеститорима или надређенима који су одговорни за одобравање пројеката. Макете су се израђивале од разних материјала које је тим секао по мери, склапао лепком итд... Сада су се појавили 3Д штампачи који би могли знатно олакшати и убрзати посао пројектног тима где би било довољно да се нацрти преведу у облик модела погодан за 3Д штампу и након пар сати без много муке имати спремну макету пројектоване зграде са све рељефом и

минијатурним елементима (аутомобили на паркингу, намештај унутар просторија... слика 47.). Такође је интересантан приказ великих пословних комплекса помоћу макете зарад оријентације у оквиру комплекса уместо 2Д мапе, на којој могу бити обележене организационе целине и нпр. евакуационе стазе. [52]



Слика 47. Графички приказ макете модларне болнице произведене помоћу 3Д штампе [52]

Као последња наведена могућност, од безброј њих, јесте израда персонализованих и јединствених комада накита помоћу 3Д штампе (слика 48.). Најчешће се користе SLA 3Д штампачи за израду модела уз помоћ којих се касније израђује калуп у који се улива топљени метал. Ово пружа безброј могућности занатским радњама за израду накита, али више информација биће пружено у оквиру експеримента.



Слика 48. Графички приказ прстена произведеног помоћу 3Д штампе (лево) и прстена изливеног од метала у калуп који је израђен уз помоћ 3Д штампаног модела (десно) [53]

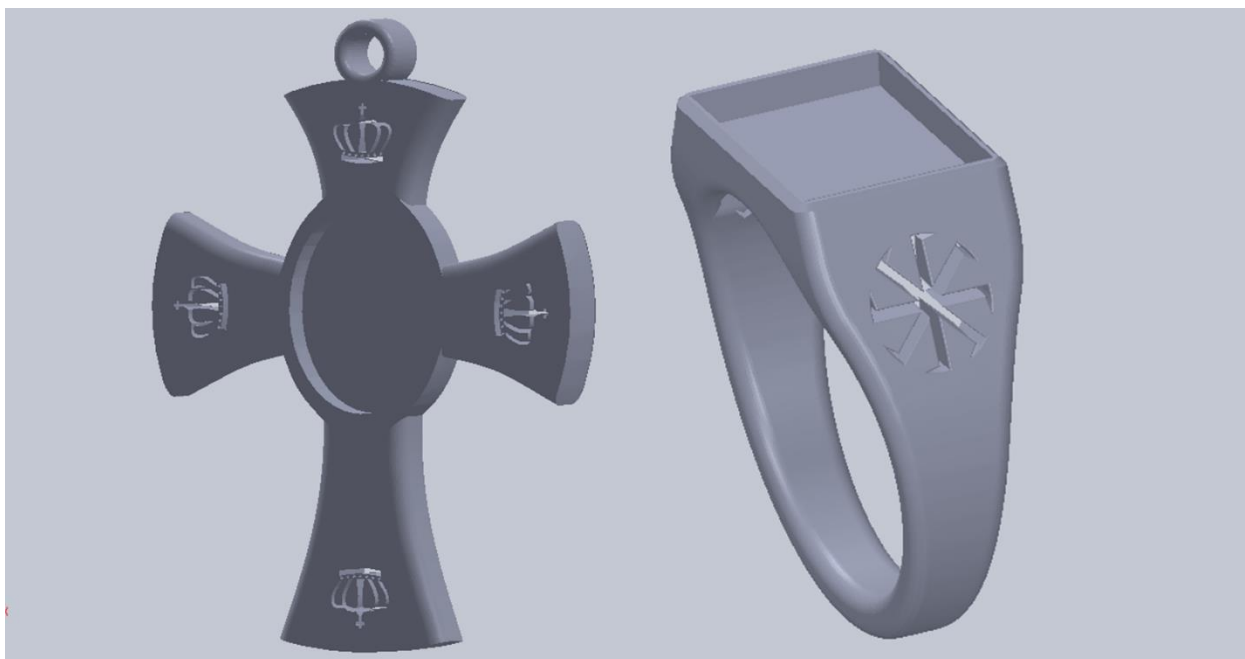
4 Опис експеримента моделирања, 3Д штампе, израде калупа, изливања метала и финалне обраде накита

У оквиру овог поглавља ће бити описан један комплетан циклус од идеје до реализације односно производње накита уз помоћ 3Д штампе. Као што је и било говора у претходним поглављима, 3Д штампа пружа највећу исплативост, између осталог, при изради језгара за калупе. Произвођач накита би требао да:

- Конципира идеју о накиту који жели произвести
- Дизајнира 3Д моделе накита уз помоћ одређених софтвера
- Произведе моделе дизајнираног накита на 3Д штампачу, од материјала који се касније може релативно лако и ефективно отклонити из калупа (у експерименту је коришћен ливачки резин)
- Направи калуп у који ће касније излити жељени материјал
- Подвргне калуп процесу сазревања или сушења у зависности од материјала калупа
- Одстрани модел из калупа:
 - Ако је калуп вишеделни расецањем/расклапањем калупа и уклањањем језгра
 - Ако је језгро од растворљивог материјала може се уклонити растварањем употребом адекватних хемикалија
 - Ако је језгро на бази воска загревањем калупа и истакањем истопљеног језгра
 - Ако је језгро на бази ливачких резина, загревањем калупа до температуре сагоревања језгра и претварања истог у гас (ово је случај код описаног експеримента)
- У припремљен калуп улије топљени метал
- Раствори калуп или механички одстрани одливак
- Одвоји одливке од стабла које је служило да спроведе метал до шупљине модела
- Бруси и полира одливке
- По жељи додатно третира одливке

Ови кораци су наведени као оквир који је најчешће скуп заједничких активности за разне варијације поступка, али може бити и изузетака.

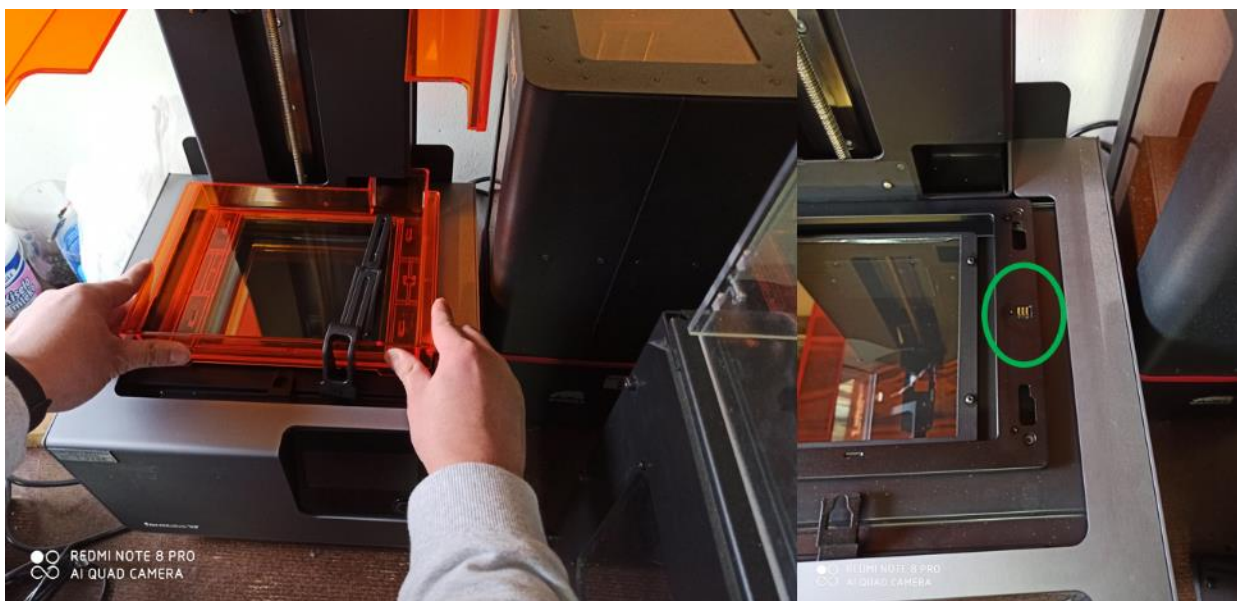
Као мотиви за дизајн накита за овај експеримент су послужили мотиви православног крста и симболи коловрат и свастика који потичу из старословенског веровања. Према веровању старих Словена коловрат је представљао бесконачни циклус рађања и смрти док је свастика представљала Сунце и благостање [54]. За симболе се верује да су знатно старији појављују се код многих вера и нација. У ближој историји су ови симболи изгубили своје првобитно значење. Због ограниченог времена, ресурса и искуства за овај експеримент одабрани су што једноставнији облици да би се шансе за успешно изливање повећале. За дизајн накита је послужио софтвер „Solidworks 2016“ и на сам дизајн накита је утрошено нешто више од 2 часа (искуснији дизајнери то могу урадити знатно брже). Прстен и крст су замишљени као основа за полудраги камен као централни елемент накита (слика 49.). Потребно је моделовати и штампати и централни стуб на који ће се модели накита залепити за потребе израде калупа.



Слика 49. Графички приказ прстена и крста дизајнираних за потребе овог експеримента од стране аутора

Наредни корак је припрема штампача и спровођење штампе. За потребе експеримента је коришћен Formlabs Form 2 SLA 3Д штампач који се сматра једним од најквалитетнијих штампача у својој класи. Пре почетка штампе је потребно обавити све припремне радње, оне ће бити сликовито приказане.

Потребно је за сваки засебан тип резина користити посебну каду која од овог произвођача долази уз резин (слика 50.). Када комуницира помоћу електронске конекције са штампачем. При овом кораку је јако битно изопропил алкохолом очистити екран испод ког се налази ласер да би он несметано и прецизно могао да обавља своју функцију при штампи.



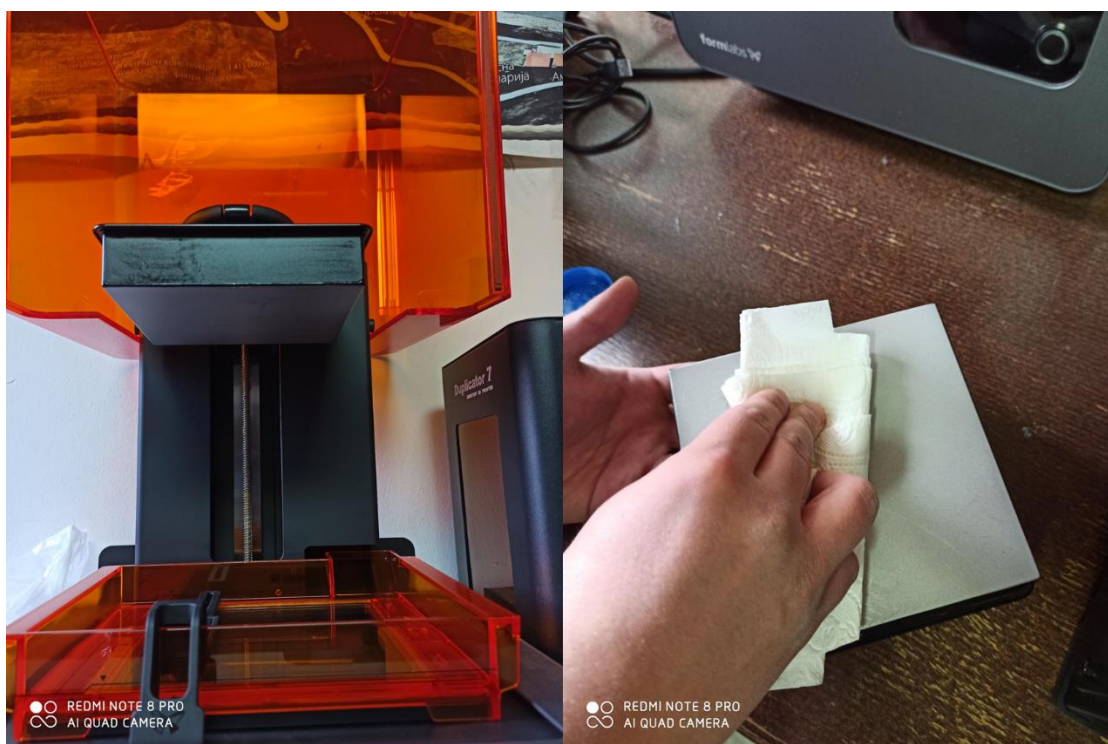
Слика 50. Постављање нове каде намењене ливачком резину која преко електронске конекције комуницира са штампачем

Након тога је потребно поставити контејнер адекватног резина у одговарајуће лежиште на самом штампачу како је прописано упутством овог модела штампача (слика 51.). Контејнер садржи заштитне капице на свим отворима тако да је смањена могућност контаминације самог резина.



Слика 51. Постављање контејнера са ливачким резином у одговарајуће лежиште штампача

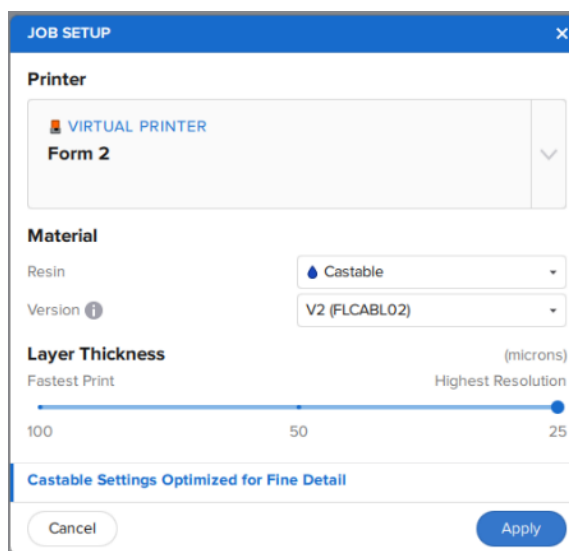
Следећи битан корак јесте чишћење радне плоче штампача изопропил алкохолом да би се осигурало боље пријањање материјала за подлогу, предупредила контаминација резина у кади честицама нечистоћа и избегли дефекти при штампи (слика 52.). Радна плоча се лако одваја од штампача и тиме се олакшава чишћење.



Слика 52. Чишћење радне плоче штампача изопропил алкохолом

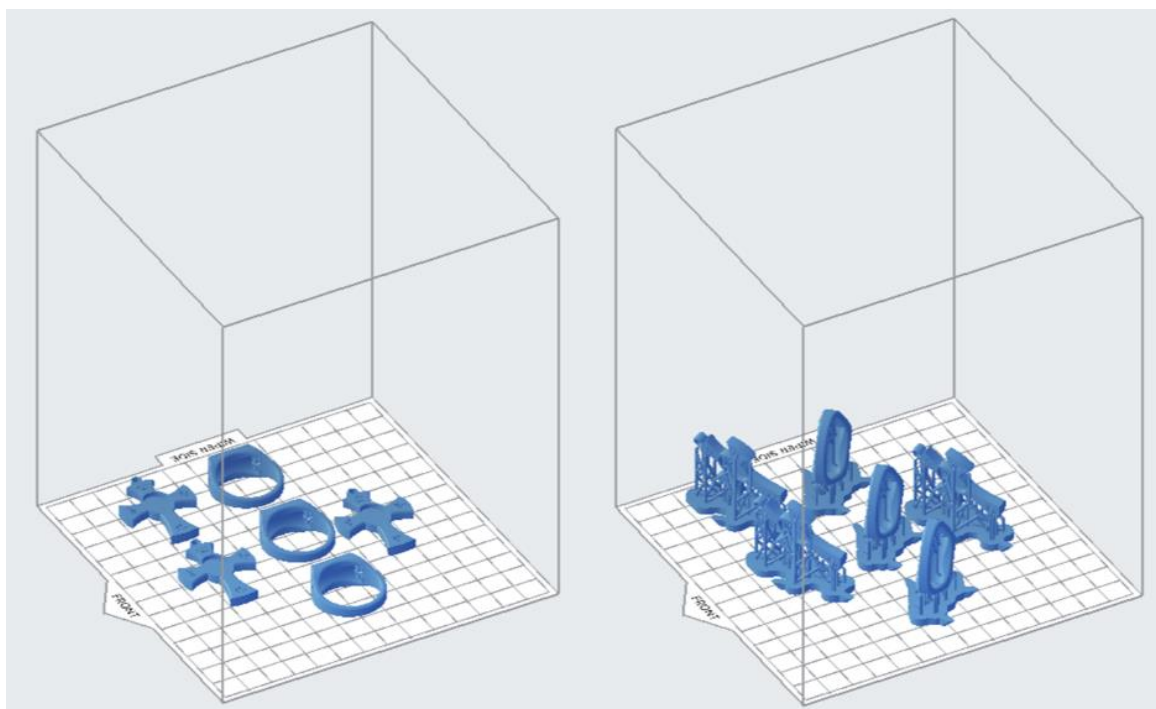
По потреби се штампач може калибрисати спуштањем плоче у најнижу тачку и проверавањем зазора листом одговарајуће дебљине. У оквиру експеримента тај корак није био неопходан, те није ни фото документован.

Потребно је у одговарајућем софтверу одабрати свој модел штампача, тип резина, дебљину слоја, а софтвер ће остале параметре сам прилагодити за најбоље резултате штампе (слика 53.). Софтвер је повезан на интернет и константно је ажуриран и користи најновије алгоритме које овај произвођач развија. Код јефтинијих штампача је многе параметре потрено подесити ручно.

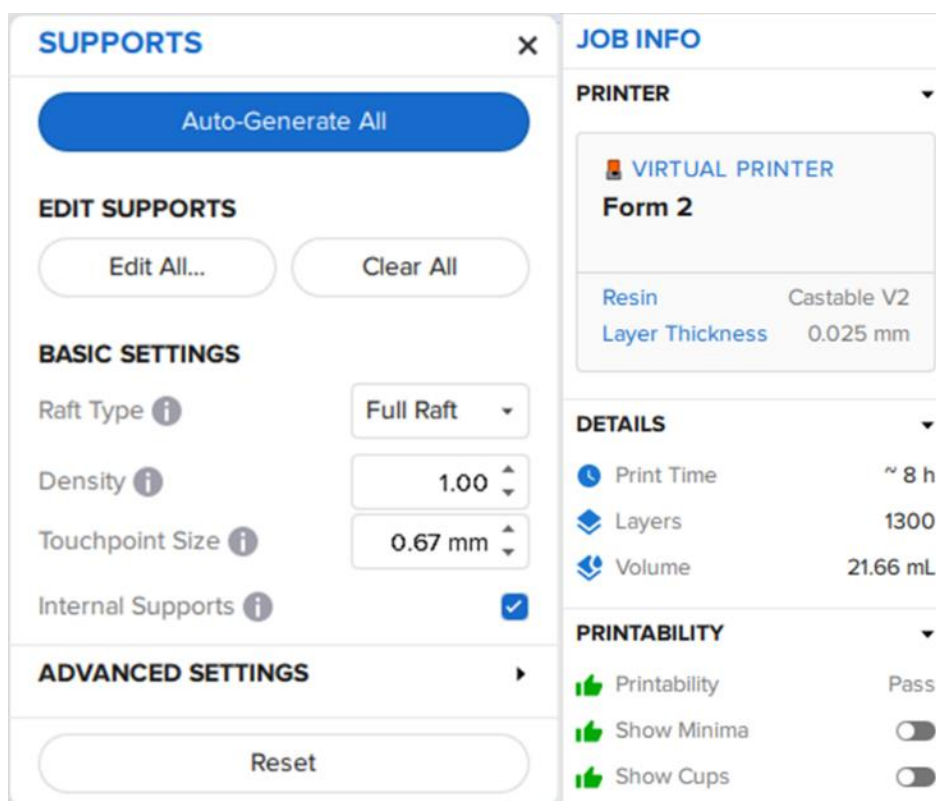


Слика 53. Одабир штампача, резина и дебљине слоја у Formlabs PreForm софтверу за припрему 3Д штампе

Следећи корак је припрема штампе у одговарајућем софтверу тј, распоред модела на радној површини штампача, њихова оријентација и дефинисање потпорне конструкције (слика 54.).



Слика 54. Аутоматско генерисање оптималне оријентације модела и потпорне конструкције у Formlabs PreForm софтверу

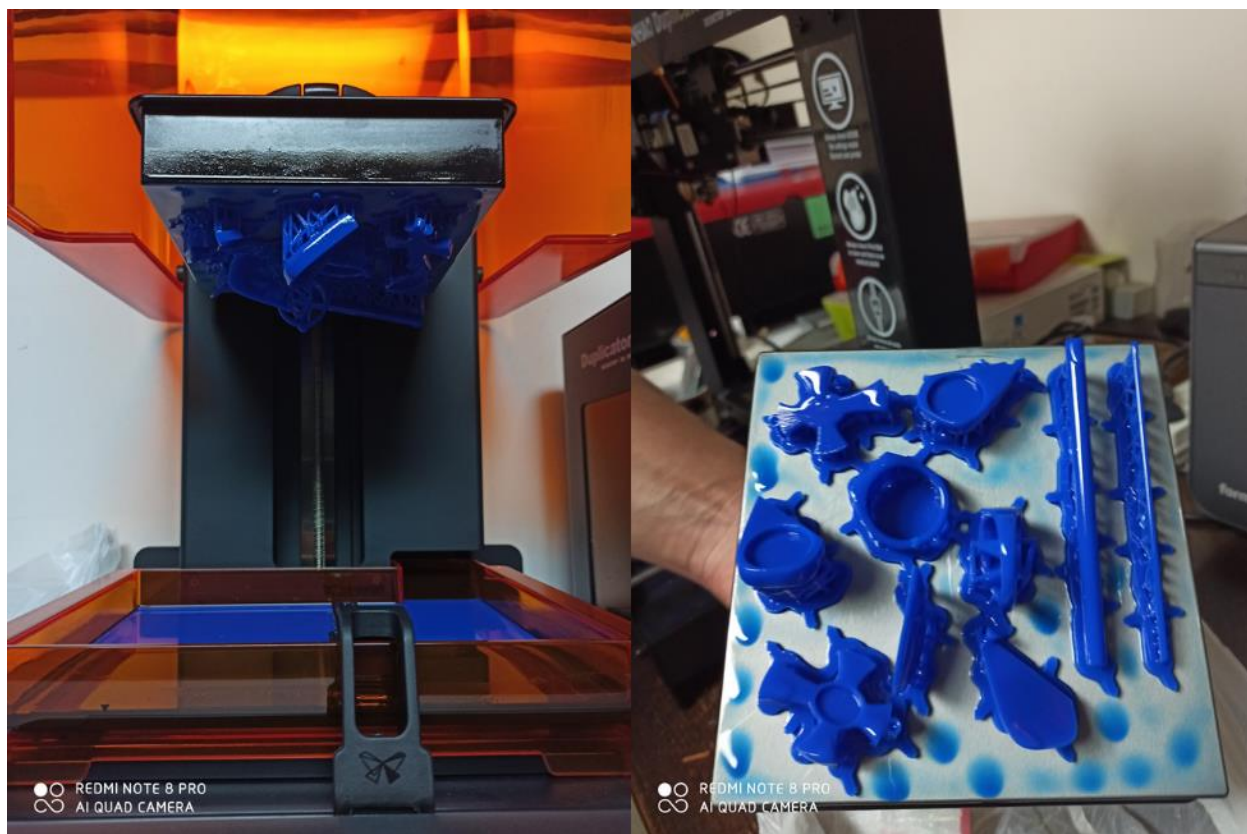


Слика 55. Приказ основних опција и параметара штампе

Могуће је ручно одредити оријентацију сваког појединачног елемента, али софтвер такође пружа опцију ауто генерисања позиција и оријентације свих елемената. Иако је могуће ручно дефинисати потпорне конструкције софтвер помоћу разних алгоритама аутоматски дефинише оптимални положај и геометрију потпорних конструкција. Софтвер нуди неколико предефинисаних опција везаних за штампу основе која чини везу између радне површине и штампаних модела: без основе, мини основа и пуна основа (слика 55.). Модели су за потребе експеримента штампани са пуном основом зарад повећане стабилности. Могуће је одабрати густину штампаних модела, величину скениране тачке као и још читав низ напредних опција. Софтвер пружа и дугме „магија једним кликом“ које омогућава аутоматско генерисање свих параметара који су поменути одједном. Штампац приказује предвиђено време штампе, број слојева и запремину укупне штампе. Запремина је користан податак и због одређивања количине потребног метала за изливање комада.

Након свих подешавања у софтверу за припрему штампе потребно је дефинисане параметре послати штампачу и покренути циклус штампе. Модели који су послати на штампу су релативно малих димензија, али је било потребе близу 9 часова да би се штампа спровела до краја од тренутка почетка штампе првог слоја. Софтвер је предвидео приближно 8 часова, али те процене су оријентационог типа. Након завршетка штампе је потребно сачекати одређено време да се модели оцеде и након тога се могу уклонити са радне плоче. Модели се уклањају са радне плоче помоћу шпакле и обавезна је употреба рукавица и заштитних наочара (слика 56.). Резин изложен природном светлу почиње да се стврдњава и може изазвати нежељена дејства уколико доспе у контакт са кожом, слузокожом или очима. Такође се саветује употреба и маски за дисање због испарења самог резина. При отклањању модела са радне плоче треба бити пажљив због очувања целовитости модела, превенције прскања резина по ентеријеру и како је већ објашњено ради избегавања контакта резина са људима у близини. Када се одстрани модели потребно је поклопити каду са резином и сам штампач који поседује поклопац са UV филтером. Увек се препоручује чишћење и поспремање штампача, његових делова и радних површина око штампача након штампе. На овај начин се следећој штампи приступа уредно и

организовано, а у неуредној средини може доћи до непримећених оштећења, дефекта и контаминација штампача и алата на истој раној површини.



Слика 56. Приказ модела на радној површини штампача на крају штампе непосредно пре њиховог одвајања помоћу шпакле

Модел се након скидања са радне површине штампача испирају у изопропил алкохолу ради уклањања вишка резина (слика 57.). При употреби изопропил алкохола се строго препоручује употреба заштитних наочара, рукавица и маске за дисање јер удисањем испарења може настати главобоља или у озбиљнијим случајевима тровање. Испирање се врши два пута са променом изопропила у трајању од по 5 минута +5 минута у чистој води.



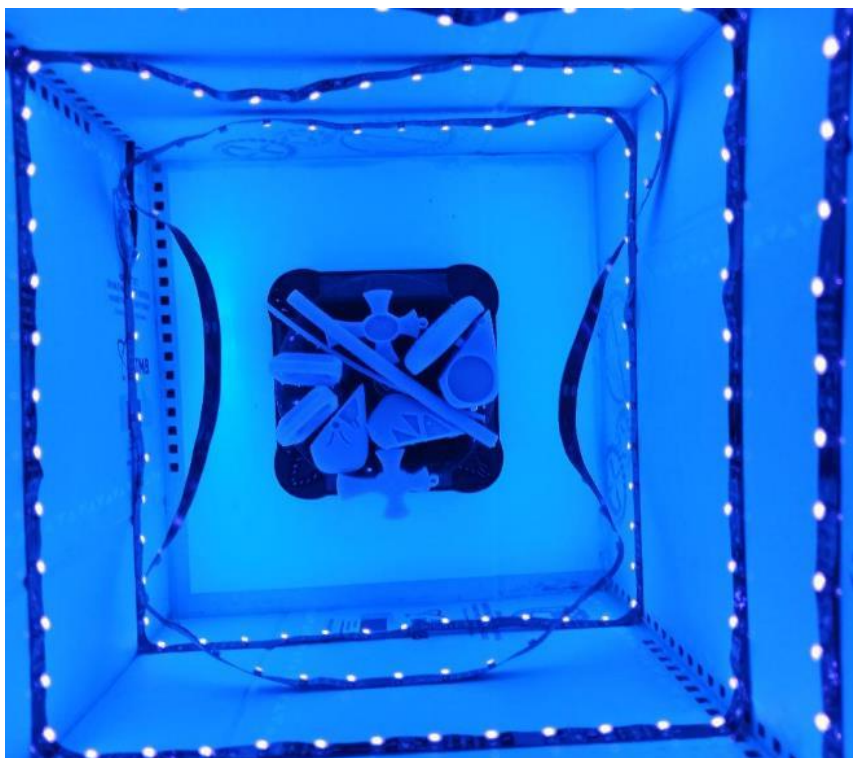
Слика 57. Испирање штампаних модела у изопропил алкохолу

Након испирања је потребно одстранити потпорне конструкције са модела и по потреби брусити и полирати моделе. Препоручљиво је користити адекватне алате за сечење да би се избегла потенцијална оштећења модела у току овог процеса (слика 58.).



Слика 58. Одстрањивање потпорне конструкције након испирања и делимично брушење

Када се одстране потпорне конструкције, делови се стављају у UV комору на сазревавање (слика 59.) у трајању од 8 часова, по препоруци произвођача. Пре сазревања су делови релативно меки и крхки.



Слика 59. UV комора за сазревавање делова са ротирајућим постољем

Након сазревања делова, потребно их залепити на јарбол који ће након сагоревања резина имати за циљ довођење топљеног метала до шупљине модела (слика 60.). У зависности од материјала који се користи могуће је грејним елементом истопити делове резина и тако их залепити, али то није дало резултате у току експеримента. Уместо лемљења коришћен је супер лепак за фиксацију елемената на јарбол. Због грешке у току припреми штампе није произведен левкасти део који би требао бити основа јарбол, а касније форма левка при уливању метала, он је формиран од пчелињег природног воска.



Слика 60. Постављање модела на јарбол

Следећи корак је израда калупа. При првом покушају је направљено неколико грешака. Занемаривши чињеницу да је коришћен обичан електричарски гипс уместо наменског праха за израду калупа који је погодан за сагоревање резина на високим температурама уочено је још пар пропуста. У првом покушају је смеша гипса направљена са густином која је на граници да престани бити течна. Ово је урађено да би се гипс лакше прилагодио контурама модела, иако је модел четкицама пре заливања премазан гипсом. Ово је довело до пузања калупа на ниским температура, и испод 300°C , због високе влажности гипса (слика 61.). Гипс је припремљен да буде течан, а модели премазани њиме да би се попуниле све шупљине модела и обезбедио пренос детаља са модела на калуп. Након тога је цилиндар калупа заливен гипсом и помоћу ексцентричне осовине постављене у акумулаторску бушилицу калуп вибриран да би се гипс слегао и попуни све шупљине. После вибрирања калуп је стављен на сушење у рерну стандардног електричног шпорета где су се након 4 сата појавили дефекти на калупу. Услед повишене температуре влага је испарилa из калупа и дошло је до повећања густине гипса и смањења његове запремине, те су се појавиле велике пукотине на калупу које су онемогућиле даљи рад. Узевши у обзир чињеницу да је највиша достигнута температура била испод 300°C а да резин почиње да сагорева тек на 730°C , одлучено је да се исти модели користе за израду новог калупа где је замењен само елемент од природног воска који се истопио на температури од приближно 70°C .



Слика 61. Постављање модела у цилиндар, заливање гипсом и приказ пукотина на калупу након процеса сушења у пећи

Са искуством првог покушаја и неуспеха при првој изради калупа анализирале су разне могућности алтернативног решења као и разлози неуспеха. Одлучено је да се покуша још једном са истим материјалима (исти гипс), али са другачијом техником наношења материјал на модел. Решење које је дало резултате је базирано на слојевитом наношењу гипса на модел. Модел је утапан у гипс, одлаган да се тај слој осуши и након тога је процес понављан све док се око модела није створио релативно дебео слој гипса (преко 1цм). Процес је поновљен 7-8 пута док се није постигла жељена дебљина гипса на моделу са паузама за сушење које су трајале по 3-5 минута (слика 62.). Када је око модела створен дебљи слој нестала је потреба да гипс буде течан, те је замешана мешавина била поприлично засићена гипсом који је додат у цилиндар преко модела (слика 63.). На дно цилиндра је постављен наменски гумени елемент облика сферног исечка са рупом у средини која је за циљ имала фиксирање јарбола док се гипс не стегне. Спој цилиндра и гуменог елемента је заптивен силиконским лепком да би се спречило евентуално цурење гипса и цилиндра. Због непредвиђених околности калуп је остављен да се природно суши у амбијенталним условима, али је то трајало око 60 дана пре фазе сагоревања резина.



Слика 62. Сукцесивно наношење слојева гипса на модел утапањем у припремљени смешу

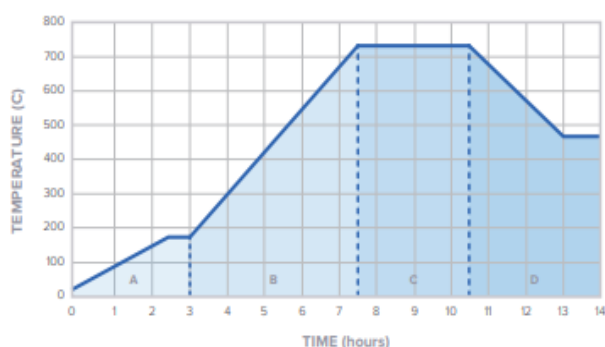
Како је већ постојао „калуп“ око модела гипс за испуну остатка простора у цилиндру је могао бити знатно гушћи, што би спречило пуцање калупа при испаравању воде из гипса.



Слика 63. Модел на гуменом постољу са рупом у центру и додатком воска који треба формирати левак (А), сушење више слојева гипса на моделу испод лампе (Б), дно наливеног калупа (В), горња страна калупа наливеног гипсом (Г)

Када су се створили услови у лабораторији факултета за спровођење процеса сагоревања резина приступљено је изради плана целог процеса.

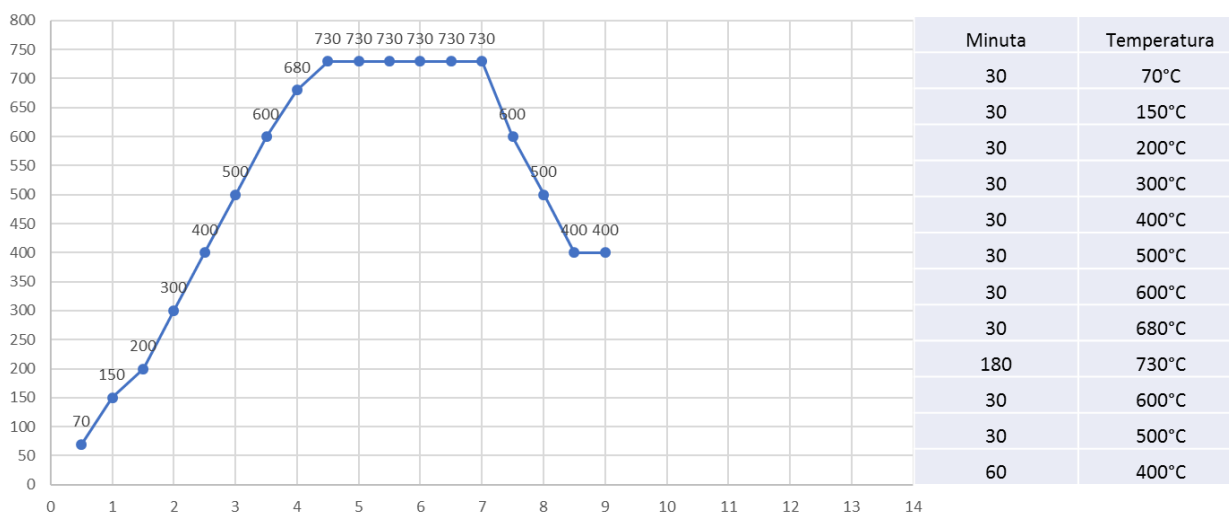
Castable Resin



	PHASE	TIME	SCHEDULE °C	SCHEDULE °F
A	Insert Flasks	0 min	Room temp	Room temp
	Ramp	150 min	1.0 °C / min	1.9 °F / min
	Hold	30 min	177 °C	350 °F
B	Ramp	270 min	2.1 °C / min	3.7 °F / min
C	Hold	180 min	732 °C	1350 °F
D	Ramp	150 min	-1.7 °C / min	-3.0 °F / min
	Hold (casting window)	Up to 2 hours	482 °C or desired casting temp	900 °F or desired casting temp

Слика 64. План сагоревања резина препоручен од стране произвођача [5]

План сагоревања резина препоручен од стране произвођача је предвиђао процес у трајању од 14 часова (слика 64.). У консултацији са ментором је циклус сагоревања скраћен, где је скраћено време за достизање максималне температуре, али се по препоруци произвођача интервал са максималном температуром од 730°C није мењао (180 минута). Са 14 препоручених сати је циклус скраћен на 9 сати (слика 65.). Уколико би се скратило и време грејања на 730°C могло би доћи до непотпуног сагоревања резина, те несавршених одливака. У току експеримента је дошло до проблема са контролером пећи у фази постизања максималне температуре. На температури од 350°C је дошло до одступања од плана где је температура од 550°C достигнута у року од 25 минута уместо задатих 60 минута. Уместо планираног повећања температуре од 3,33°C/мин дошло је до раста температуре од 8°C/мин.



Слика 65. План сагоревања резина примењен у току експеримента

Узевши у обзир неадекватну смешу коришћену за калуп, за 40% скраћено време за достизање максималне температуре уз горепоменуто одступање од плана могло се

очекивати пуцање калупа. Након сагоревања резина и хлађења пећи калуп је извађен са видним пукотинама, али је у одређеној мери задржао целовитост, те је одлучено да се настави са експериментом и да се дефекти одливака узроковани пукотинама коригују при брушењу самог одливка (слика 66.).



Слика 66. Вађење калупа из пећи (лево) и видне пукотине на калупу (десно)

Први план је био да се након сагоревања резина из калупа приступи топљењу месинга који би се улио у калуп. Пећ која је била доступна за обављање експеримента је имала препоруку произвођача да је небезбедно отворити је на температурама преко 400°C . Предвидевши ризик да ће се због спорог хлађења пећи месинг можда стврднути док температура пећи достигне безбедан ниво за отварање ипак је приступљено експерименту. Месинг који је коришћен је имао тачку топљења приближно 960°C , те је загрејан на 1000°C и та температура је задржана око 70 минута. Отпочевши процес спуштања температуре утврђено је да температура опада просечним темпом од $3,9^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ што је захтевало више од 2.5 сата за постизање температуре безбедне за отварање пећи. За то време се месинг стврдуо и направљен је компромис где је за изливање накита употребљен калај. [55]



Слика 67. Уситњавање материјала зарад униформнијег и бржег топљења

За потребе изливања накита од калаја набављена је жица калаја која се користи за лемљење електро спојева. Припремљено је 300г калај који је уситњен ради лакшег топљења целе количине калаја одједном (слика 67.). Узевши у обзир да је тачка топљења калаја 232°C , а да пропан бренери горе на температури приближној 2000°C , израђена приручна поставка за топљење калаја. Искоришћена је стара челична кутлача као посуда за топљење калаја, а мали ручни бренер похрањен пропан гасом је послужио као извор топлоте (слика 68.). Од челичног прстена и цилиндра је направљен сталак за целу поставку. [55][56]



Слика 68. Припремљен калуп за уливање метала, посуда са дршком са уситњеним калајем и пропански бренер за топљење калаја

За оквирно 2.5 минута је калај изложен пламену бренера постао потпуно течан односно истопљен (слика 69.). Обзиром на то да је посуда за топљење метала имала дршку лако је приступљено уливању метала у калуп без икаквих компликација и на прецизан начин. У раније припремљен калуп је изливен топљени метал који је према прорачунима запремине шупљине унутар калупа требао бити и више него довољан да израду датих модела. Метал је без икаквих проблема продreo у све шупљине калупа.



Слика 69. Кораци топљења калаја и уливања у калуп

Било је видљиво одмах након уливања калаја у калуп да је метал расут на шупљине које су узроковане пуцањем калупа у ранијој фази (слика 70.).



Слика 70. Калуп након уливања метала, метал није попунио све шупљине модела, већ је расут на пукотине унутар калупа, те нема преливања на врху

Након уливања калаја у калуп он је остављен да се охлади на амбијенталној температури. Након 20 минута хлађења је калуп растављен. Обзиром на то да је калуп већ био у фрагментима након сагоревања резина није било потребе за отапањем гипса што је стандардна процедура код овог поступка, већ су пажљиво одвојени одливци од калупа (слика 71.).



Слика 71. Одвајање одливака од калупа (лево) и метал који је исцурео из шупљине модела у пукотине калупа, око 30% укупне масе метала (десно)

Због пукотина калупа, око 30% укупне масе метала је завршило ван шупљина модела, те они нису потпуно изливени (слика 71.). На одливцима су се могли приметити остаци несагорелог резина као и фрагменти гипса. Након испирања гипса са одливака у топлој води уследило је механичко отклањање вишка материјала са одливака. Коришћена је чеона брусилница са изменљивим наставцима. У фази одвајања одливака од јарбола и одстрањивања већих комада вишка материјала коришћена је резна плоча (слика 72.).



Слика 72. Одвајање одливака од јарбола и одстрањивање вишка материјала помоћу чеоне брусилнице са резном плочом

У наредном кораку се приступило брушењу дефеката насталих приликом изливања и остатака материјала који нису могли бити отклоњени у претходном кораку. За ову

операцију су коришћена дијамантска глодала различитих облика и величина, сходно потреби (слика 73.).



Слика 73. Брушење дефеката насталих приликом изливања и остатака материјала који нису могли бити отклоњени у претходном кораку употребом дијамантских глодала

У следећем кораку коришћен је брусни папир разних гранулација (слика 74.).



Слика 74. Одливак брушен брусним папиром до гранулације Р600



Слика 75. Полирање пресованим памуком уз додатак пасте за полирање

Одливци су благо полирани коришћењем наставка од пресованог памука (слика 75.).



Слика 76. Делимично исполирани одливци

Одливци су делимично исполирани да би се колико је било могуће сачували детаљи на њима (слика 76.). Изливање није било потпуно успешно, али је експеримент допринео бољем разумевању одређених законитости и граничних вредности разних процеса. Детаљи на накиту који су били у границама толеранције нису одштампани како је било дизајнирано. Методи спајања штампаних модела са јарболом нису били могући како је описано у литератури. Делимично је успела израда калупа употребом електричног гипса. Циклус сагоревања резина је био релативно успешан и са скраћеним временом сагоревања за око 40%. Накит који је резултат овог експеримента није савршен, али он и не представља праву вредност и прави резултат. Права вредност и резултат су искуства и знања стечена током овог експеримента која пружају квалитетну основу за даљи рад и могућност примене истих у решавању реалних проблема.



Слика 77. Ручна израда модела прстена од јувелирског воска [57]

Употреба накита произведеног на овај начин налази примену у разним областима. Једна од најчешћих примена овог процеса у производњи накита је везана за комерцијалну израду накита. Раније се овај процес обављао тако што је јувелир из већег блока јувелирског воска ручно обликовао модел, нпр. прстена (слика 77.). Ово је захтевало доста знања, алата и вештине. Када би јувелир од посебног воска израдио модел прстена даљи процес би био прилично сличан оном описаном у експерименту, наравно уз употребу софистицираније опреме. 3Д штампа је тај корак израде модела знатно упростила и елиминисала потребу за талентом и вештином ручног рада, и наметнула потребу познавања рада у софтверима за 3Д моделовање.

Поред процеса изливања накита, могућа је употреба 3Д штампаног накита у смислу комуникације са купцем. Уколико муштерија није сигурна какав нпр. прстен жели, а жели да буде по њеном дизајну, могуће је израдити 3Д штампани модел у виду прототипа да би муштерија стекла утисак како би њихова креација изгледала у физичком свету.

Израда реплика је јако интересантно поље где се овакав накит може користити као реплика накита познатих дизајнера, реплика историјски познатих комада накита или пак реплика познатог накита из поп културе (накит из филмова, књига и сл.). Једино ограничење је људска воља и људска машта.

Закључак

Визуелна комуникација има читав низ предности у односу на вербалну, а комуникација физичким моделом тешко да ће икада бити надмашена 2Д приказима. 3Д штампа пружа јединствене могућности у комуникацији, те је чак могуће забележити своју визију 3Д модела у електронском облику и без потешкоћа је делити са другима који је могу из електронског облика превести у физички употребом 3Д штампача. Цене 3Д штампача постају сасвим приступачне чак и у нашем региону, те се може очекивати све већи број корисника 3Д штампе, што професионалаца што хобиста. Комбинација софтвера за 3Д моделовање, 3Д скенера и 3Д штампача отвара до сада неслућене могућности у разним областима. Неопходно је развијати технологију, опрему, материјале и стручни кадар у области 3Д штампе зарад максималног искоришћења бенефита које овај концепт може пружити свету и човечанству.

3Д штампа има многе бенефите и често може бити најисплативији начин производње у зависности од захтева производа и обима производње. Адитивна производња још дуго, можда и никада, неће моћи да парира ценом серијској производњи формативног типа, али то и није њена првобитна намена. Адитивна производња остварује свој максимални потенцијал при производњи малог обима попут производње прототипова или резервних делова за опрему која је застарела (делови нису доступни на комерцијалном тржишту). Област производње где је 3Д штампа такође лидер јесте производња делова за нпр. ауто и авио индустрију који се не могу произвести другим методама производње. Производња прилично захтевних, јединствених и персонализованих производа попут зубних имплантата, разних ортоза и протеза или врхунске спортске опреме је са тренутним стањем привреде и технологије знатно исплативија помоћу 3Д штампе него традиционалним методама производње. Још једна област где је 3Д штампа адекватнији избор од других метода производње јесу постројења удаљена од копна или цивилизације. У оваква постројења можемо сврстати нафтне платформе, удаљене опсерваторије, свемирске станице итд... Као и сваки алат који ствара корист и додатну вредност ако се користи у адекватне сврхе и у наменском окружењу тако и 3Д штампа најбоље резултате даје у горепоменутом областима као и многим другим.

Примена ливачког резина у изради накита није брз и увек прецизан поступак. Потребно је искуство, педантност у раду, адекватни материјали и квалитетна опрема да би се повећале шансе за успешну производњу у сваком покушају израде. Иако су у експерименту занемарене многе препоруке произвођача резина, уколико би се накит производио у комерцијалне сврхе строго се препоручује, на основу искуства из експеримента, поштовање свих препорука. Могуће је произвести накит и занемаривши одређене препоруке произвођача, али се на тај начин повећава ризик неуспешне производње па ће потенцијално бити потребно поновити циклус 3Д штампе и/или сагоревања резина који трају релативно дуго. Уколико се производња накита вршу у циљу стицања профита понављање корака је изузетно неисплативо узевши у обзир утрошак времена, материјала (који је релативно скуп), енергената итд... Уколико јувелир поседује квалитетну опрему и материјале и стекао је одређено искуство у 3Д моделовању и штампи, постаје знатно конкретнији на тржишту од јувелира који производе накит традиционалним методама и његов посао постаје знатно лакши.

Употреба 3Д штампе у промотивне сврхе може дати изузетне резултате ако се комбинује са квалитетним маркетингом и дозом креативности. Помоћу 3Д штампе је знатно лакше промовисати свој пословни подухват на прави начин.

Литература

1. Ben Redwood; Filemon Schoffer; Brian Garret (2017). *3D Printing Handbook – Technologies, design, applications*, 3D Hubs B.V. Amsterdam, The Netherlands
2. <https://www.3drepublika.com/kategorija/materijali-filamenti/> (20.04.2020)
3. John Jordan (2018), *3D Printing*, The MIT Press Essential Knowledge Series, The Massachusetts Institute of Technology, USA
4. <https://total3dprinting.org/wanhao-duplicator-i3-3d-printer/>
5. Formlabs (2017), *The Ultimate Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing*, Formlabs, Somerville Massachusetts, USA
6. <https://theorthocosmos.com/wp-content/uploads/2017/03/DigitalWorkflow.001.jpeg> (20.04.2020)
7. <https://theorthocosmos.com/wp-content/uploads/2017/03/SLAvsDLPsurfaceFinish.jpg> (20.04.2020)
8. <https://www.3drepublika.com/kategorija/materijali-filamenti/formlabs-materijali/> (20.04.2020)
9. C.Vyas, G.Poologasundarampillai, J.Hoyland, P.Bartolo (2017), *3D printing of biocomposites for osteochondral tissue engineering*, University of Manchester, Manchester, United Kingdom
10. https://www.antonmansson.com/sinterit-sls-samples/sls_3dprinttechdesign_suspension/ (23.04.2020)
11. <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/17075/HPs-Stephen-Nigro-Discusses-Siemens-Support-of-Full-Color-3D-Printing.aspx> (23.04.2020)
12. <http://cement3d.com/tcast/en/index.html> (23.04.2020)
13. <https://www.3dnatives.com/en/3D-compare/imprimante/exone-m-flex> (23.04.2020)
14. Razvan Udriou, Ion Cristian Braga (2017), *Polyjet technology applications for rapid tooling*, Transilvania University of Brasov, Department of Manufacturing Engineering, Mihai Viteazu No.5, Brasov, Romania
15. <https://www.cadvision.fr/imprimante-3d/stratasys-j850> (27.04.2020)
16. Arianna Ferrari, Leonhard Hennen, António Brandão Moniz, Helge Torgersen (2018), *Additive bio-manufacturing: 3D printing for medical recovery and human enhancement*, STOA, European Parliament, EU
17. <https://blog.grabcad.com/blog/2017/12/04/evolution-material-jetting-3d-printing/polyjet-2/> (27.04.2020)
18. <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/sheet-lamination/> (27.04.2020)
19. <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/direct-energy-deposition/> (27.04.2020)
20. Bona Goo, Chae-Hui Hong, Keun Park (2019), *4D printing using anisotropic thermal deformation of 3D-printed thermoplastic parts*, Elsevier Ltd. Амстердам, Холандија
21. Ma Quanjina, M. R. M. Rejaba, M. S. Idrisa, Nallapaneni Manoj Kumarc, M. H. Abdullaha, Guduru Ramakrishna Reddyd (2020), *Recent 3D and 4D intelligent printing technologies: A comparative review and future perspective*, Elsevier Ltd. Амстердам, Холандија
22. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/key-design-considerations-3d-printing/> (11.04.2020)
23. <https://www.statista.com/statistics/796237/worldwide-forecast-growth-3d-printing-market/> (05.05.2020)

24. Hod Lipson, Melba Kurman (2013), *Fabricated: The New World of 3D Printing*, John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana, United States of America
25. <https://www.popsci.com/feed-your-3-d-printer-recycled-plastic/> (05.05.2020)
26. <https://maineboats.com/print/issue-162/university-maine-3dirigo> (05.05.2020)
27. <https://www.techradar.com/news/this-is-the-worlds-largest-3d-printed-house> (05.05.2020)
28. <https://3space.com/wp-content/uploads/2018/09/how-long-3d-printing-takes> (10.05.2020)
29. <https://www.jabil.com/blog/3d-printing-applications.html> (10.05.2020)
30. <https://www.wnie.online/professionals-reveal-how-they-are-benefiting-from-3d-printing-technology/> (10.05.2020)
31. https://www.youtube.com/channel/UC2avWDLN1EI3r1RZ_dISxCw (10.05.2020)
32. Ingrid Paoletti, Lorenzo Ceccon (2018), *The Evolution of 3D Printing in AEC: From Experimental to Consolidated Techniques*, IntechOpen Limited, London, United Kingdom
33. <https://www.thingiverse.com/> (15.05.2020)
34. <https://all3dp.com/1/free-stl-files-3d-printer-models-3d-print-files-stl-download/> (15.05.2020)
35. <https://3dmarket.rs/3D/3d-stampaci/> (15.05.2020)
36. <https://3dmarket.rs/3D/3d-skeneri/> (15.05.2020)
37. <https://blog.voodooomfg.com/2018/04/17/13-ways-to-drive-engagement-with-hyper-custom-promotional-products/> (22.05.2020)
38. <https://industrytoday.com/the-impact-of-promotional-merchandise/> (22.05.2020)
39. <https://3dprint.com/228984/black-panther-and-3d-printing/> (22.05.2020)
40. <https://www.plasticstoday.com/packaging/npe2018-coolest-thing-we-saw-on-day-2/201181931458729> (22.05.2020)
41. <https://voodooomfg.com/examples/gillette-ketchum> (22.05.2020)
42. <https://wiivv.com/> (22.05.2020)
43. <https://www.etsy.com/il-en/listing/631011491/1-piece-of-tom-and-jerry-cookie> (22.05.2020)
44. <https://www.fargo3dprinting.com/custom-3d-printing-cookie-cutters-and-food-safety/> (22.05.2020)
45. <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-food-a-new-revolution-in-cooking/> (22.05.2020)
46. <https://all3dp.com/1/3d-printed-food-3d-printing-food/> (22.05.2020)
47. <https://voxellab.rs/mini-me/> (22.05.2020)
48. http://minime.rs/essential_grid/mini-me-marija-curcic/ (22.05.2020)
49. <https://www.ponoko.com/blog/ponoko/enhancing-3d-prints/> (22.05.2020)
50. <https://voodooomfg.com/examples/syfy> (22.05.2020)
51. <https://cults3d.com/en/3d-model/home/amplificateur-de-son> (22.05.2020)
52. <https://voodooomfg.com/examples/eir-healthcare> (22.05.2020)
53. <https://septillion.co.th/en/formlabs-sla-3d-printer-2/3d-printing-materials-for-jewelry/> (22.05.2020)
54. https://en.wikipedia.org/wiki/Swastika#Meaning_of_the_symbol (25.05.2020)
55. <https://www.steelforge.com/literature/metal-melting-ranges/> (25.05.2020)
56. https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_burner (25.05.2020)
57. <https://lucywalkerjewellery.com/wax-carving-1> (26.05.2020)

Биографија аутора

Аутор овог рада је Немања Пајић, рођен 20.12.1990 у Крагујевцу, а одрастао у Баточини. Завршио је средњу ветеринарску школу у Свилајнцу и запослио се одмах након тога. Стицајем околности, након пар година рада на разним пословима запошљава се у једној од водећих компанија из аутомобилске индустрије у региону у сектору инжењеринга квалитета и наставља да се бави сличним пословима наредних 7 година. Са визијом да ће целог свог живота остати „ученик“ почиње да се ангажује и усавршава у разним областима, формално и неформално. Стичући искуства и знања у разним областима код неколико водећих послодаваца (у својим областима) у Србији, и на студијама инжењерског менаџмента и индустријског инжењерства, његова интересовања се шире. Радећи у: производњи прехранбених производа (Минела д.о.о.), неколико фабрика из аутомобилске индустрије (Fiat Chrysler Automobiles, Hutchinson и ZF Group), у производњи намештаја и дрвно-прерађивачкој индустрији (GiR/ Ethnecraft), као преводилац и предавач енглеског језика (Bibo Global Oportunity), као повремени асистент проналазача решења из области алтернативне енергије (Alternative energy – проф. др. Владан Петровић) он прикупља и комбинује разна знања. Фокусира се, између осталог, на алтернативне изворе енергије, 3Д штампу и 3Д скенирање, минералологију, Lean Six Sigma методологију као и управљање квалитетом у аутомобилској индустрији. Водећи се идејом да знање које није употребљиво, или се не користи, врло брзо бледи, константно се бави истраживањем и практичним експериментима у сопственој режији. Све то је са циљем да се стечена знања употребе и створе додатну вредност и промовишу науку и експериментални рад у окружењу.