

УНИВЕРЗИТЕТ УМЕТНОСТИ У БЕОГРАДУ



ФАКУЛТЕТ ПРИМЕЊЕНИХ УМЕТНОСТИ

Докторске уметничке студије

Студијски програм: Примењене уметности и дизајн

Докторски уметнички рад

**Дизајн текстилних флексибилних материјала
применом адитивне производње**

Студент: мр Маја Милинић Богдановић 32/2014

Ментор: мр. Ивана Вељовић редовни професор Факултета примењених уметности у
Београду

Београд, 2018.

УНИВЕРЗИТЕТ УМЕТНОСТИ У БЕОГРАДУ

ФАКУЛТЕТ ПРИМЕЊЕНИХ УМЕТНОСТИ

Ментор и чланови комисије за оцену и одбрану докторског уметничког пројекта *Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње* студента Маје Милинић Богдановић, број индекса 32/2014

Чланови комисије:

1. **мр. Ивана Вељовић**, редовни професор Факултета примењених уметности у Београду
2. **др. Оливера Нинчић**, редовни професор Факултета примењених уметности у Београду
3. **мр. Јадранка Симоновић**, редовни професор Факултета примењених уметности у Београду
4. **мр. Гордана Комад Арсенијевић**, редовни професор Факултета примењених уметности у Београду
5. **др. Весна Кнежевић**, ванредни професор Факултета ликовних уметности у Београду

САДРЖАЈ

1. Увод.....	8
2. САВРЕМЕНА ДОСТИГНУЋА	10
3: АДИТИВНА ПРОИЗВОДЊА.....	20
3.1. ИСТОРИЈАТ АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ.....	22
3.2. ТЕХНОЛОГИЈЕ АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ.....	25
3.2.1. ИНКЕТ (INKJET).....	25
3.2.2. СТЕРЕОЛИТОГРАФИЈА (SLA).....	26
3.2.3. ПРОИЗВОДЊА ОБЈЕКТА ЛАМИНАЦИЈОМ (LOM).....	26
3.2.4. СЕЛЕКТИВНО ЛАСЕРСКО СИНТЕРОВАЊЕ (SLS).....	27
3.2.5. МОДЕЛОВАЊЕ ТОПЉЕНИМ ДЕПОЗИТОМ (FDM).....	29
4. АНАЛИТИЧКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЦЕЛИНА.....	32
4.1. ТЕХНОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МАТЕРИЈАЛА.....	36
4.1.1. ОСНОВНА СВОЈСТВА МАТЕРИЈАЛА.....	36
4.2. АНАЛИЗА РЕАЛИЗОВАНИХ УЗОРАКА У МАТЕРИЈАЛУ.....	39
5. ПРИМЕНА ИСТРАЖЕНИХ 3Д МОДЕЛА.....	49
5.1. РЕПЕТИЦИЈА.....	50
5.2. КОДИФИКАЦИЈА.....	54
5.3. ТЕСАЛАЦИЈА.....	58
6. ХАОС - ИЛИ МОЖДА НЕ.....	64
6.1. ФРАКТАЛИ - ИГРА ЗБРКЕ.....	69
6.2. ФРАКТАЛИ - САМОСЛИЧНОСТ.....	70
6.2.1. КАКО СУ ТО ВИДЕЛИ МАТЕМАТИЧАРИ.....	71
6.2.2. КОХОВА ПАХУЉА.....	71
6.2.3. ТРОУГАО СЕРПИНСКОГ.....	72
6.2.4. ПИТАГОРИНО СТАБЛО.....	72
6.2.5. ЈУЛИНИ СКУПОВИ.....	73
6.2.6. МАНДЕЛБРОТОВ СЕТ.....	73
6.3. ФРАКТАЛИ – ДЕО И ЦЕЛИНА.....	75
7. РЕАЛИЗАЦИЈА РАДА У МАТЕРИЈАЛУ.....	78
7.1. ИЗРАДА МОДЕЛА У ФДМ ТЕХНОЛОГИЈИ.....	79
7.2. ФОРМИРАЊЕ ТЕКСТИЛНЕ ПОВРШИНЕ.....	83
8. ВИЗУЕЛИЗАЦИЈА И ПОЕТИКА	88

8.1. ПРОВОКАЦИЈА.....	90
8.2. ИЗМЕШТАЊЕ.....	100
8.3. ФАНТАЗМА.....	111
9. ПЕРСПЕКТИВНА ЦЕЛИНА... ..	116
9.1. УМЕТНИЧКО - ИСТРАЖИВАЧКИ ДОПРИНОС.....	117
10. ЗАКЉУЧАК.....	118
11. БИБЛИОГРАФИЈА.....	126
12. ВЕБОГРАФИЈА.....	127



ФАКУЛТЕТ ПРИМЕЊЕНИХ УМЕТНОСТИ

Дизајн се развија не само у естетском смислу, већ се унапређују и софтверски програми у којима се пројектују производи индустријског дизајна, дизајна текстила. Савремене методе израде наговештавају да ће бити доступно свакоме да има дизајнерски производ по својој мери. Адитивна производња наставља да преузима све већи удео у свету дизајна и уметности. Како адитивна производња пружа пуну слободу креативности, готово је бескрајан низ пробабилности и сасвим је извесно да се технологија развија све више и више ће бити могуће. Технологије 3Д омогућавају убрзање процеса производње. Посебно ФДМ технологија (моделовање топљеним филаментима), доказана је као веома приступачна и ефикасна. Материјали који се користе су различити и могу бити биоразградиви или не, флексибилни или чврсти. Дигитална технологија је трансформисала традиционалне приступе у савременом дизајну и уметности и довела до потпуно нових облика. Биомимикрија, као пракса пројектовања заснованог на природи, је неисцрпни извор инспирације савременог дизајна који се примењује помоћу адитивне производње у свим гранама дизајна. Кроз бројне примере 3Д штампања, може се видети да дизајн инспирисан биомимикријом ствара јаче структуре, паметније технологије и креативну естетику. Флексибилност текстилних површина произведених адитивном производњом је остварива, а када се она достигне и адитивна производња ће узети све веће учешће у овој грани дизајна.

ABSTRACT

Design is developing not only in the aesthetic sense, but also software programs in which products of industrial design, textile design are designed. Modern manufacturing methods suggest that it will be available to anyone that has a design product for its custom. Additive manufacturing continues to take an increasing share in the world of design and art. As the additive manufacturing gives a lot of freedom in creativity there is an almost endless array of possibilities and as the technique is developing more and more will be possible. Technologies 3D enable the production process to accelerate. Especially FDM Technology (Fused Deposition Modeling) is proved to be very affordable and efficient. The materials used are different and can be biodegradable or not, flexible or solid. Digital technology has transformed traditional approaches in contemporary design and art and will bring it to completely new forms. Biomimicry, as the practice of designing based on the nature, is the inexhaustible inspiration source of contemporary design that applied using additive manufacturing in all branches of design. Through numerous examples of 3D printing, it can be seen that a design inspired by biomimicry creates stronger structures, smarter technology and creative aesthetics. The flexibility of textile surfaces produced by additive production is achievable, and when it reaches the additive production will take an increasing share in this field of design.

1. УВОД

Предмет докторског уметничког рада *Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње* је истраживање нове естетике флексибилних структура површина у оквиру дизајна текстила. Текстилне површине се изграђују применом адитивне производње која представља низ различитих производних процеса стварања објеката – производа уз коришћење машинског поступка. Основна идеја рада заснована је на истраживању поетике коју је вековима градила природа. Креативном употребом биоразградивих материјала адитивном производњом реализоване текстилне површине имају своју употребну вредност у одевном текстилу. Упоредним испитивањем текстуре, структуре и флексибилности истакнута је визуелно тактилна вредност површине, разрадом величина и густине линијатуре инспирисане биомимикријом остварена је компактност, истовремено и унутрашња динамика тканина.

Циљ рада је афирмација адитивне производње у области дизајна текстила креирањем носивих материјала произведених ФДМ¹ технологијом (FDM – engl. *Fused Deposition Modeling*) - технологија моделовања топљеним депозитима-филаментима који се наноси у слојевима стварајући тродимензионалне објекте.

Истраживањем, промишљањем о уметничким и естетским вредностима структура текстилних површина савременим техничко-технолошким поступцима, произведене су текстилне површине чије полазиште је избор аутентичних елемената које ствара природа, као вечна инспирација уметницима, у раду примењена у контексту савременог текстила. Текстил узима значајну улогу у напредовању и повезивању мултидисциплинарних области праћењем и применом нових технологија.

Превазилазећи ковенционални приступ традиционалног у примењеној уметности истраживањем аспеката актуелног уметничког стваралаштва савременог дизајна, а реализованим новим технологијама, истраживање је усмерено ка разради нових површинских интервенција и то сагледавањем великог потенцијала и могућности осмишљавања нових садржаја експерименталног карактера, који је окренут ка новом визуелном ефекту и употреби различитих комбинација материјала, који могу бити природног и вештачког порекла. Овим радовима се желе разоткрити све додирне тачке уметности и дизајна када посматрамо савремени текстил.

Креативном применом адитивне производње доприноси се напретку у разумевању нових технологија у области дизајна текстила који подстичу даља истраживања о новим могућим применама.

¹ Опширније у поглављу: Адитивна производња, 20.

Значајан допринос рада огледа се и у разумевању даљег развоја текстилне индустрије у којој појединац употребом савремених технологија брзо и ефикасно долази до дизајнерских решења.

Кључни део систематичног истраживања је да се утврди даљи развој нових креативних могућности тактилних доживљаја.

Биомимикрија свакако је већ увелико као полазиште упловила у поље дизајна, индустријског и савременог одевања, као и архитектуре. Савршенство које ствара природа веома често је покретачка снага дизајнера. У том савршенству налазе се тајне склада и хармоније, али и хаоса. Хаос доживљавамо као непријатан и непедвидив, међутим *Игра збрке*² или *Теорија хаоса*³ се може објаснити фракталима, реалним, корисним моделима за природне феномене, облике обала река, структуре биљака, крвотока, универзума... Достићи те границе је изазов у науци, али и у уметности. Како се то препознаје у дизајну нових текстилних површина је инспирација овог рада.

Концепт дела и савремени израз су кључни елементи са полазиштем које има за циљ уметничко промишљање у подржавању раздвојеног или обједињеног става између примењене уметности, дизајна и науке.

На тај начин могло би се приступити темељној критичкој анализи која се жели достићи и аналитички истражити и утврдити даљи ток за развој нових креативних могућности тактилних и доживљајних сензација.

Истраживањем нових аспеката актуелног уметничког стваралаштва савременог дизајна и савремених дела светских уметника у области текстила, а који су реализовани новим технологијама овим радом се желе дати одговори на та питања. Уз примену науке и нових научних достигнућа наставиће да се развија једно ново визуелно поље, али и да се науком достигну нова револуционарна решења у оквиру дизајна текстила, имајући у виду дигиталне медије, који представљају нову форму изражавања у савременој уметности 21. века уз коришћење 3Д технологија.

Текстил ће свакако учествовати у напредовању и повезивању мулти-дисциплинарних области праћењем нових технологија, и приближавањем онога што су уметници или дизајнери пројектовали за своје конзументе.

² Briggs, John, *Fractals: The Patterns of Chaos: Discovering a New Aesthetic of Art, Science, and Nature*, Tuchstone, New York, 1992, 55-58.

³ Smith, Leny, *Chaos: A Very short Introduction*, Oxford, New York, 2007, 12-16.

2. САВРЕМЕНА ДОСТИГНУЋА

Савремени дизајн се непрестано развија. Методе које дизајнери примењују данас су све иновативније. Наговештај је да ће адитивна производња постати примарни начин израде производа у будућности. Границе маштовитости приликом коришћења адитивне производње су у нама. Чиста магија се ствара када се гради овим технологијама. Јасно је да ће изненађујуће апликације наставити да се појављују годинама које долазе. Ово поље се мења веома брзо, јер не мењају се само технологије већ и софтвери који су нам неопходни у реализацији објекта-производа који се израђује адитивном производњом. Тако постављени оквири јасно дају представу о томе да је само људски ум и његов креативни процес граница.

Узрочно-последнична веза настанка нових метода израде дизајнерских производа, у оквирима историјског тренутка у којем се остварује, даје објашњења о томе шта је утицало на развој бржих производних процеса.

Успешно примењивање нових технологија се може видети у радовима дизајнера као што су Ирис ван Харпен⁴ (Iris van Harpen), Нерв Систем⁵ (Nervous System), Ноа Равив⁶ (Noa Raviv), Филип Бислеј⁷ (Philip Beesey) и други.

Рад Ирис ван Харпен је далеко изван уобичајеног и свакидашње-допадљивог. Подједнако у погледу метода рада с једне стране и неконвенционалних материјала и тканина са друге стране, Ирис ван Харпен холандска дизајнерка, је активно поништила границе савременог костима за последњих неколико година.

Студирала је модни дизајн на Арт Институту за уметност Арnhem и интернату Александара Меквина у Лондону. Од 2011. године члан је престижног париског Синдиката високе моде. У својим радовима покушава јасно да изрази да је мода уметнички израз, да показује и носи уметност, а не само функционалност и да није лишена садржаја. Одевање ствара узбудљив императив и облик самоизражавања. *Форма прати функцију* није слоган са којим се слаже ова дизајнерка. Напротив, сматра да облици допуњују и мењају тело и самим тим емоцију. Покрет, је тако од суштинског значаја за тело и веома битан у њеном раду. Сједињујући форму, структуру и материјале заједно на нов начин, покушава да искаже и оствари оптималну напетост и кретање.

Ирис Ван Харпен је једна од најинтересантнијих и изузетних уметница нашег века, а позната је по својим футуристичким, мистичним, фантазијом инспирисаним дизајном.

⁴ Clarke, Sarah E. Braddock, Jane Harris, *Digital Visions for Fashion and Textiles: Made in Code 1st Edition*, London, Thames&Hudson, 2012.198-203.

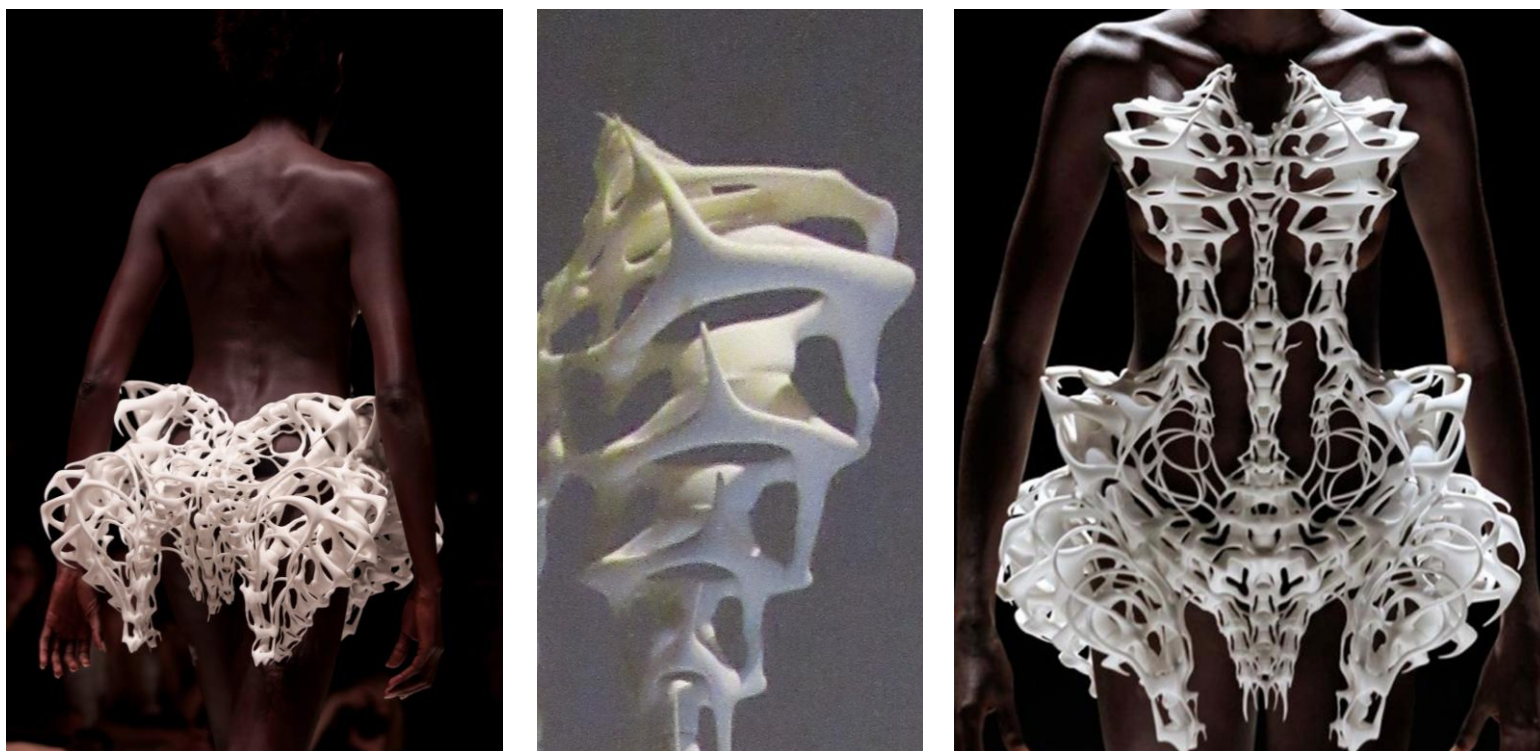
⁵ <http://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/kinematic-petals-dress/content/kinematic-petals-dress->

⁶ www.noaraviv.com/hard-copy-collection/.

⁷ Herpen, Van Iris, *A Magazine # 13*, Die Keure, Bruges, 2014.14-29.

Креативни процес дизајнерке је увек почет од скице, који затим резултира пажљивом обрадом на рачунару, развијен уз помоћ архитеката и графичких стручњака, а то захтева концентрацију и врло често веома дуг истраживачки ток. Ирис ван Харпен фасцинира својим креативним универзумом. Ерика Нгао (Erica Ngao), модна критичарка, изневши своје утиске након ревије под називом *Бежање* 2011. године сматра да ревија изражава јаке емоције и доводи до илузије да смо транспоновани у другу димензију и неки други свет. Приказ жене, дочаран радом ове уметнице, изгледао је као предиван инсект и као заводљива креатура пореклом са друге планете. *Њена одећа је чиста поезија*, изјавила је поменута модна критичарка.⁸

Хаљина *Скелетон* је израђена 2011. године као резултат сарадње Ирис са Исаие Блохом⁹ (Isaie Bloch), белгијским графичарем, уметником и архитектом. Утисак лакоће ранијих модела који је био присутан у радовима Ирис ван Харпен, са *Скелетон Хаљином* нестаје и на овом раду се препознаје органска творевина, којом дизајнерка жели да прикаже некадашњи изглед доњег рубља, где је чврстина форме била доминантна. Ако имамо у виду да је женским корсетима морала да се обезбеди савршеност форме женског тела, измештање скелета је имао за циљ приказ суровости



Сл. 1-3 *Скелетон хаљина*, Ирис ван Харпен у сарадњи са Исаие Блохом архитектом, СЈС технологија, десно: леђа хаљине, средина: детаљ, лево: предња страна хаљине, 2011.

⁸ <http://www.ellecanada.com/fashion/trends/article/iris-van-herpen-is-pushing-the-boundaries-of-fashion>.

⁹ Herpen, Van Iris, *A Magazine # 13*, Die Keure, Bruges, 2014.14-29.

којом се робовало лепоти. Хаљина је израђена СЛС технологијом – синтеровања полиамидног праха¹⁰.

Ова изузетна уметница се залаже за реципроцитет између израде и иновације у техници и материјалима. Она ствара савремени поглед на високу моду, где комбинује прецизне технике ручне израде са дигиталном технологијом. Снага њених модела је у екстремној супротности између лепоте и регенерације. На јединствен начин радом даје предлог да преиспитамо стварност и да јасно, директно и храбро изразимо индивидуалност коју у себи поседујемо. Суштину свог креативног израза Ирис ван Харпен изражава као карактер и емоције које прожимају мисао жене. Облик женског тела деформише кроз детаље. Комбинује традиционалне технике са иновативним и материјале инспирисане светом који долази.

Допринос Ирис Ван Харпен у раду је вреднован као имагинациона инспирација, у односу технологије у оквиру адитивне производње њене креације носе једну круту форму, која је више изложбеног карактера и ревијалног типа.

Примењујући најчешће СЛС технологију свој рад базира на крутим материјалима који немају флексибилност.



Сл. 4-5 Ледена хаљина ,Ирис ван Харпен у сарадњи са Николом Касом архитеком,СЛС технологија,
десно: хаљина, лево: детаљ, 2014.

¹⁰ Опширније у поглављу Адитивна произвања, 26.

Ледена хаљина припада колекцији *Магнетна кретања* (Magnetic Motion) израђена је у СЛС технологији и показатељ је сарадње Ирис ван Харпен са другим дизајнерима, уметницима и архитектама. У изради ове хаљине на пројекту је учествовао и архитекта Николо Кас (Niccolo Casas).

Емпиријском методом вредновани су сви квалитети рада дизајнерке, у смислу инспирације. Кроз конкретне примере употребе адитивне производње овим радом су као истраживачки процес дефинисани параметри који су важни за очекиване резултате истраживања овог докторског рада. То су пре свега структуре текстилних површина које су произведене адитивном производњом, али које би саме по себи морале имати потребну флексибилност да би, без употребе класично произведеног текстила, биле носиве и имале способност драпирања.

Дизајном је донекле могуће достићи одређене нивое флексибилности, међутим иако је модел *Метална хаљина* произведен као спој тананих делова зглобно везаних, он је произведен од материјала који, након синтеровања из праха, не поседује флексибилност, а до сада овом технологијом није могуће користити материјале који имају својство флексибилности. Такви материјали су и крти и ломљиви. СЛС технологија само дизајном модела може да има флексибилност, али у границама.



Сл. 6-7 *Метална хаљина* Ирис Ван Харпен, СЛС технологија, синтеровање металног праха, лево: хаљина, десно: детаљ, 2015.

Када размишља о носивим моделима, Ирис тада приступа симбиози класичних текстилних материјала са малим сегментима 3Д технологијом произведених делова. На тај начин решава флексибилност и употребну вредност својих модела. Танана и префињена примена оваквог приступа је кроз истраживање овог докторског уметничког рада испитана као могућност примене у сегменту рада на радовима пројектованим за изложбу под називом *Тесалација* о којој ће бити речи касније у овом раду.



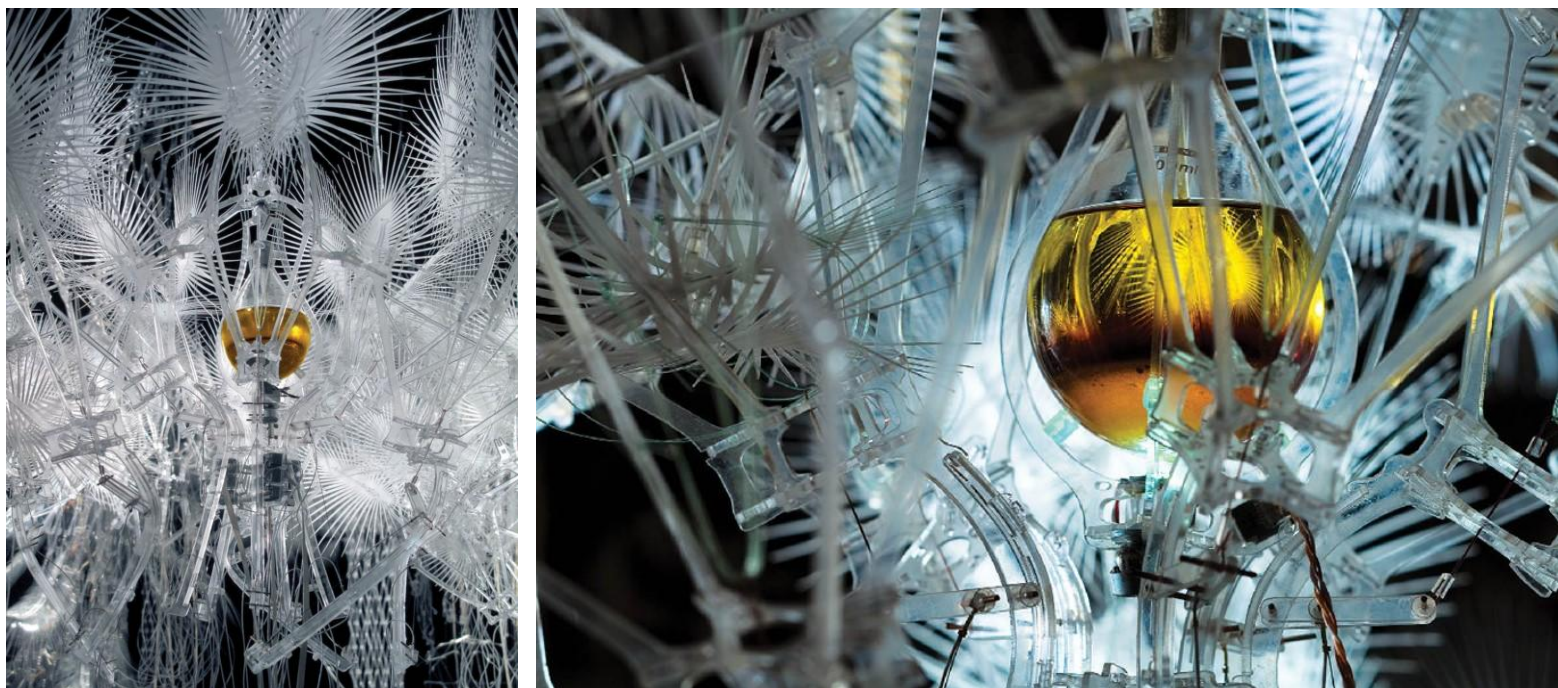
Сл. 8-9 Ирис ван Харпен, *Мазе* јакна, памук и 3Д штмпани украси, лево: детаљ, десно: јакна, 2015.

Приказаним приступом коришћења адитивне производње само у детаљима Ирис ван Харпен комерцијализује своје радове и чини их приступачнијим купцима. Префињена естетика¹¹ оваквог концепта је достижна само уз велико промишљање. Комбиновањем памука са 3Д произведеним елементима одржавање овакве јакне је сложено¹².

¹¹ Erihoff, Michael, Marshall, Tim, Design Dictionary, Perspectives of Design Terminology, Birkhäuser, Berlin, 2008, 16.

¹² <https://www.farfetch.com/nl/shopping/women/iris-van-herpen-maze-jacket-item-11437727.aspx>.

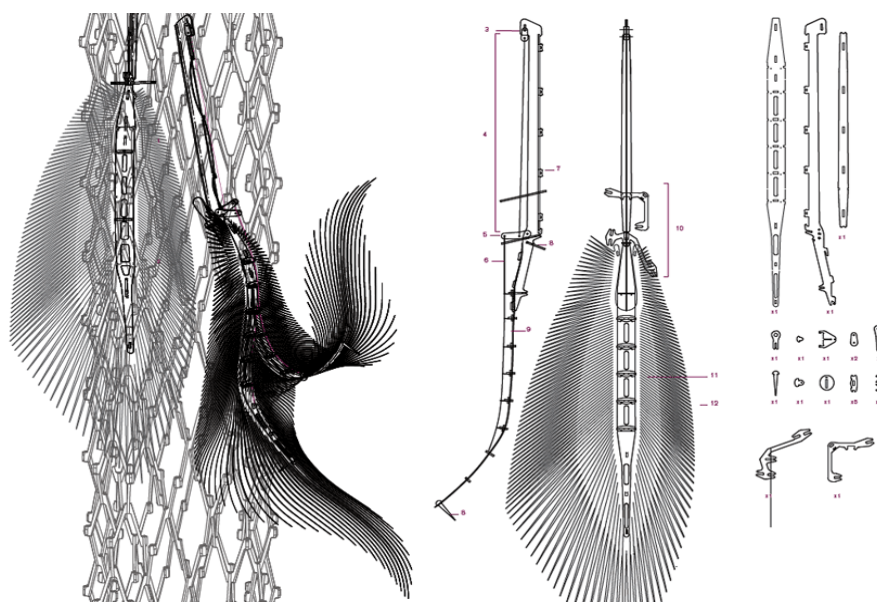
Велики домет у примени адитивне производње је рад представљен инсталације, архитектке Филипа Бислеја, који како је већ поменуто сарађује са дизајнерком Ирис ван Харпен, представио је Канаду на Биеналу у Венецији 2010. године. Овај уметнички пројекат је показатељ рада не највишем нивоу достигнућа у оквиру адитивне производње и носи назив *Хилозоик Граунд* (Hylozoic Ground). Десетине хиљада, тананих 3Д технологијом произведених компоненти су опремљене микропроцесорима и сензорима који реагују на људско присуство. Уметник је радом желео да прикаже на који начин природа функционише као и то да је природа интерактивна са нашим утицајем на њу. Низови сензора осетљивог на додир и активатори стварају таласе емпатичног покрета, привлачећи посетиоце у светлуцаве дубине митског пејзажа, у осетљиву и крхку шуму светлости. Сви елементи су произведени у СЛС технологији и својом прецизношћу израде показују могућности која су достижене само уз помоћ нових технологија.



Сл. 10-11 *Хилозоик Граунд*, Филип Бислеј детаљ, Павиљон Канаде у Венецији, Италија, 2010.

*Хилозоик Граунд*¹³ може се тумачити кроз широки спектар дисциплина и подручја која обухвата, укључујући одрживи дизајн, материјале, инжењерство заштите животне средине, роботiku, психологију и биотехнологију. Визионарска архитектура Филипа Бислеја утиче на посматрача на емоционалном и поетском нивоу, повезујући живу и неживу природу. Овај архитекта је само још један од доказа да су границе у нама, а не у технологији, јер је адитивна производња већ показала своју оправданост, те да је креативна мисао ограничена само нама самима.

¹³ http://www.philipbeesleyarchitect.com/sculptures/0929_Hylozoic_Ground_Venice/.



Сл. 12 *Хилозоик Граунд*, Филип Бислеј, идејне скице дигитално припремљене, 2010.

Поменуто дело Бислеја показује колико су разгранете могућности примене адитивних технологија, а да се сарадња овог архитекта са Ирис ван Харпен дубоко одразила и на естетике оба уметника може се уочити на упоредном приказу одевног модела модне дизајнерке који је израдила управо у кооперативном раду са поменутиим архитектом.



Сл. 13-14 Хаљина високе модем Ирис ван Харпен, СЛС технологија, 2012. десно: *Хилозоик Граунд*, Филип Бислеј, СЛС технологија, детаљ, 2010.

Најбољи пример примене СЛС технологије је хаљина коју је произвео Нерв Систем из Сомервила у САД-у. Овај модел је настао као производ истраживања у оквиру самог дизајна, стим што употребљени материјал нема својства флексибилности и није довољно флексибилан при свакодневној употреби. Уколико би се седело у оваквој хаљини не би се имао осећај да површина прати форму тела јер сам материјал који је употребљен је чврст и крут. За разлику од традиционалне тканине, ова текстилна површина није једнака у сваком свом сегменту, њени делићи су појединачно чврсти и само их зглобне везе повезују у флексибилну структуру, тако да она варира у крутости. Ово је један од најбољих примера СЛС технологије уколико вреднујемо употребну вредност, међутим комплетна флесибилоност је достижна само употребом и материјала који је флексибилан.



Сл. 15-16. *Кинетичка хаљина*, Нерв Систем, лево:3Д генерисани модел ; десно: детаљ, 2014.

Прикупљањем података да се проуче савремене тенденције у домену дизајна текстилних површина процењивани су само релевантни подаци. Приказани детаљ *Кинетичке хаљине* Нерв Система¹⁴ је дефинисан као елемент који се понавља и којим се дефинише текстилна површина, али и као елемент који не поседује својства флексибилног материјала.

¹⁴<http://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/kinematic-petals-dress/content/kinematic-petals-dress-15/>.

Израелска дизајнерка Ноа Равив, својом колекцијом *Хард Копи* (Hard Copy)¹⁵, приказала је приступ импликације елемената који су израђени 3Д технологијом на тканом текстилу. Облици и концепт одеће инспирисани су класичним и елегантним дизајном, који одише футуризмом. Разиграност форме постиже контрастима материјала, опозицијама између црне и беле боје и естетски даје почаст женској фигури¹⁶. Дизајнерка је инспирисана новим технологијама и креативност дотиже у току самог процеса рада мењајући припремљени концепт и интервенцију у 3Д технологији прилагођава конкретном одевном моделу¹⁷.



Сл. 17-18 Ноа Раив, Хаљина, текстил и 3Д штампани детаљи

¹⁵ <https://www.dezeen.com/2014/08/21/noa-raviv-hard-copy-fashion-collection-grid-patterns-3d-printing/>.

¹⁶ <https://www.dezeen.com/2014/08/21/noa-raviv-hard-copy-fashion-collection-grid-patterns-3d-printing/>.

Током рада у 3Д софтверском програму, остала сам фасцинирана мрежом која дефинише облик и којом црне линије које се понављају граде волуминозне објекте, изјавила је Равив за Интернет публикацију Дезен (Dezeen).

¹⁷ <https://www.vogue.com/fashion-shows/fall-2017-ready-to-wear/noa-raviv>.

Увек желим да се укључи нова технологија, чак и ако је то више илузија", објаснила је Ноа у свом студију. *На пример, тромпе л'оеил НЛО облик на црној памучној хаљини започет је као 3-Д форма, дигитално исписан директно на тканину; такође појавио се на кожној сукњи са прорезом кроз средину на њену.*

Дизајнерка која ствара 3Д технологијама и то у домену савременог одевања и која испитује различите материјале применљиве у адитивној производњи је Данит Пелег¹⁸ (Danit Peleg). У својим првим радовима Данит је користила Полилактид – ПЛА¹⁹ материјал који је биоразградивог порекла (скроб кукуруза). Примењује ФДМ технологију и у радионици са више 3Д штампача реализовала је своју прву колекцију креирану у 3Д технологијама, од пет модела. У свом раду је испитивала и могућност употребе других пластичних материјала који имају већу флексибилност. Такође је у поменутој колекцији израдила и један модел 3Д штампане обуће.



Сл. 19-21 Данит Пелег, лево: Хаљина, десно горе: Јакна, десно доле: јакна у изради, Адитивна производња.

Истраживањем постигнутих вредности текстилних површина ка којима су други дизајнери и уметници усмерили своја истраживања у оквиру употребе адитивне производње дефинисано је и полазиште за истраживање у оквиру овог докторског рада. Експликативни део истраживачког процеса је допринео пресеку теоријских сазнања и раније постигнутих резултата о постављеном проблему који се овом темом истражује. Пажња је фокусирана на актуелност обрађиване тематике те су за пример узети изабрани радови употребе 3Д технологија у домену дизајна текстила кроз параметар одевног.

¹⁸ https://www.designboom.com/technology/danit-peleg-3d-prints-fashion-collection07-27-2015/?utm_campaign=daily&utm_medium=e-mail&utm_source=subscribers.

¹⁹ Више у поднаслову овог рада Основна својства материјала, 27.

3. АДИТИВНА ПРОИЗВОДЊА

У нашем региону данас све чешће употребљавамо конструкцију речи преузету из енглеског језика, а то је 3Д штампа. Чак и ако је веома дискутабилно²⁰ да ли је ово исправан термин за нове технологије адитивне производње које су већ одавно патентиране, радује чињеница да се и код нас ствари покрећу и почиње да развија свест да треба ићи у корак са временом и светом око нас. За све постоји период адаптације тако да ћемо, вероватно, са временом усвојити и исправне термине у овој области.

Штампачи 3Д постоје већ око 30 година, али њихова висока цена је вероватно била један од узрочника који су утицали на споро прихватање ових технологија и њихову масовнију употребу. Данас су се развиле технологије које су доступне свима и чини се да не постоји оправданост за даљи успорени приступ адитивној производњи. Дакле, оно што је ново јесте доступност ценом повољних 3Д штампача (који се могу пронаћи за неколико стотина до неколико хиљада евра). Наравно, 3Д штампање заиста омогућава нове начине размишљања о стварању производа. У савременом дизајну све више се примењују дигиталне уметности којима уметници изражавају своје идеје.

Применом рачунарских програма, данас, идејна решења дизајнера и уметника се брже реализују. Још од 1970. године постојали су покушаји да се дефинише термин дигитална уметност као и термини *computer art* и *multimedia art*. Данас овај појам сврставамо у један шири појам који се на енглеском језику дефинише као *New media art*. Поред напретка који се догодио у начину изражавања савременог дизајна кроз дигитализацију идејних решења, примена адитивне производње је такође унапредила производне процесе израде готовог производа.

Адитивна производња је све доступнија посебно са развојем ФДМ технологије, моделовање топљеног депозита-филамента, као и штампача који су све приступачнији својим тржишним ценама и једноставном употребом. Када се у све то умеша и *паметан* дизајн, који своје упориште црпи у савршеној природи и њеним милијардама година испитиваним и усавршаваним решењима опстанка, долази се до сјајних решења која су последњих година освојила поље архитектуре, дизајн намештаја, модни дизајн, текстил.

²⁰ <https://www.fabbaloo.com/blog/2018/10/8/the-terminology-of-technology>.

3Д штампа (3ДП) појавио се као израз око 1993. године, када је компанија МИТ развила инкјет технологију. Термин је релативно брзо популаризован; јер је лако разумљив. 3Д штампање се односи на штампање ... у три димензије. Док су значајни развојни догађаји засновани на инкјет штампању, остале технологије нису биле засноване на таквом поступку. Посебно када су се могућности побољшале и индустрија расла, почело је да покреће све више индустријских доприноса, а производни фокус је порастао, појавио се још један израз, који указује на овај нови правац; а то је адитивна производња (АМ). Како су технологије наставиле да се развијају, АСТМ Интернешнал (ASTM International) је дефинисао седам јединствених категорија које се налазе под окриљем адитивне производње. У 2009. години формиран је АСТМ Ф42 документ (ASTM F42) о технологијама за производњу адитива, стварајући важан ауторитативни извор за стандарде. Рејчел Парк (Rachael Park) новинарка која покривала 3Д штампачки и адитивни производни сектор од 1996. године. Уредница је часописа 3Д принтинг индустрија изјавила је на дебати о терминологији нових технологија да: *3ДП термин насупрот АМ термин неће бити решен ускоро, и као и многи други овде, често их користим наизменично...*

Савремено пројектовање и развој производа се ослањају у највећој мери на компјутерске моделе објеката, јер омогућавају да се помоћу компјутера на брз и финансијски повољан начин пројектују и испитују нова решења. Две дигиталне технологије представљају мост између реалних објеката и компјутерских модела:

- тродимензионално скенирање (ЗДС), којим се аутоматски формирају компјутерски модели реалних објеката;
- адитивна производња (АМ), којом се аутоматски формирају дизајнирани објекти на основу дигитализованог модела.

Тродимензионално скенирање (ЗДС), којим се аутоматски формирају дигитализовани модели дизајнираних објеката :

Постоје различите технологије за тродимензионално скенирање. Основна подела је на контактне и бескотактне технологије. Код контактних технологија ЗД скенер додирује објекат током скенирања, па су ове технологије економски приступачније, али и спорије од бескотактних технологија, код којих ЗД скенер не додирује објекат током скенирања.

Бескотактне ЗДС технологије захтевају већа финансијска улагања, али омогућавају формирање прецизнијих модела.

Најчешће се користи ЗД скенер који примењује бескотактну активну методу са емитовањем структуриране светлости, чиме се постиже брзо и тачно формирање софтверским програмом генерисаних модела реализованих производа.

Адитивна производња (АМ), којом се аутоматски формирају дизајнирани објекти на основу дигитализованог модела:

Основна карактеристика адитивне производње је да се објекти формирају додавањем материјала, за разлику од традиционалних технологија код којих се објекти производе одузимањем материјала (стругање, глодање, сечење) или обликовањем материјала (пресовање, ливење, ковање).

Израда објеката адитивним технологијама, за разлику од традиционалних технологија, не захтева употребу алата. Услед тога, адитивним технологијама се најбрже могу произвести прототипови нових производа. Поред тога, одсуство алата у адитивним технологијама омогућава производњу објеката произвољног облика.

Слично ЗД скенирању, и за процес адитивне производње постоје многе технологије. Разлика се огледа у врсти материјала од којег се објекти израђују и методама спајања материјала, што утиче на квалитет и карактеристике израђеног објекта.

3. 1. ИСТОРИЈАТ АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ

Историјско-емпиријском методом и критичком анализом утврдила су се постигнућа на пољу адитивне производње. На тај начин се установила узрочно-последнична веза настанка ових метода у оквирима историјског тренутка у којем се остварује и тиме се раслојиле корелације које би дале објашњења о томе шта је утицало на развој бржих производних процеса.

Амерички проналазач Чак Хал (Chuck Hull) је 1986. одштампао први тродимензионални предмет. У питању је била пластична шоља направљена технологијом стереолитографије (STL Stereolithography -стврдњавање пластичне смоле под дејством светлости).

Хал је патентирао ову технологију и основао компанију 3Д Системс (3D Systems). Данас је она једна од водећих компанија на свету у пољу адитивне производње. Крајем осамдесетих година, двадесетог века, Скот Крамп је поставио основе за моделовање топљењем филамента-депозита, ФДМ (FDM, Fused Deposition Modeling). Крамп је патентирао ову технологију и основао компанију Стратајсис (Stratasys). ФДМ технологија је једна од најзаслужнијих технологија за експанзију 3Д штампе, односно адитивне производње.

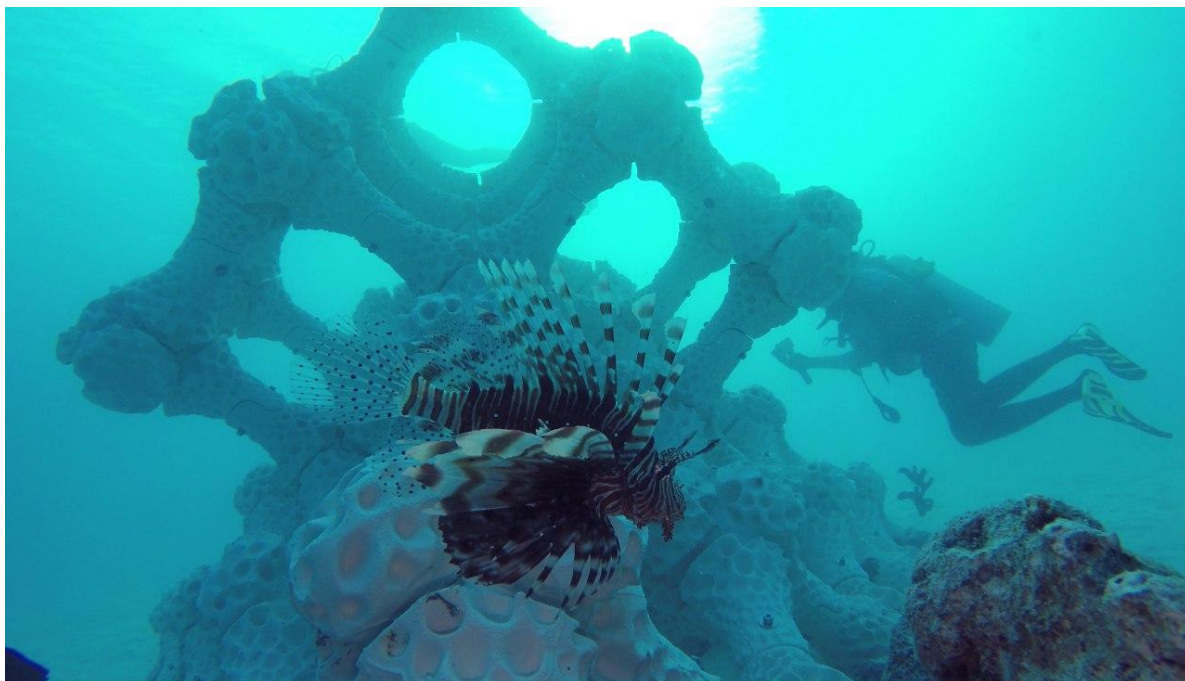
Средином осамдесетих година прошлог века на Унивезитету Коронел под покровитељством америчке агенције за истраживање напредних војних пројеката (DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency), настала је техника синтеровања (спајање праха у чврсте објекте). Код ове технике може да се користи широк спектар материјала у праху, од метала преко пластике и керамике.

Као резултати овог пројекта појавили су се планови за израду два различита модела. Исте године када је стартовао *Fab@Home*, започео је и пројекат *PenPan* са још амбициознијим циљем – да се направи 3Д штампач који је у стању да сам себи прави компоненте и резервне делове! Уређаји из оба пројекта користе технологију ФДМ при којој се термопластика, или неки други материјал, загрева кроз специјалну млазницу и наноси на подлогу, слој по слој, док се производ у целости не произведе.

Године 2009. основана је компанија Мејкербот (MakerBot), чији су штампачи намењени онима који код куће желе да се баве овом технологијом. Мејкерботови уређаји продају се као комплети које корисници сами склапају у готов штампач, самим тим су приступачнији ширем кругу људи и приступачнијих цена.

Тако је почео развој адитивне производње и у све већем је успону. Данас достигнућа савремених уметника и дизајнера се граниче само њиховом маштовитошћу.

Адитивном производњом, данас, се спасава корални гребен на Малдивима и то као део иницијативе за изградњу новог екосистема коралног гребена. Процес производње 3Д модела трајао је 24 сата, а настали производи изливени су у керамици, што пружа симбиозу са каменом кречњака.



Сл. 22 Корални гребен произведен 3Д технологијом

Аддитивна производња доприноси и на пољу удобности производа у домену обуће. Такав је пример балетских патика које у пределу врха имају 3Д израђени додаток који је много унапредио овај тип обуће за посебне намене, јер пружа већу заштиту стопала.



Сл. 23-24 Балетске патике са врхом произведеним адитивном производњом

Аддитивна производња се данас примењује у свим гранама науке, дизајна и уметности,. Адитивном производњом се у многоне може помоћи нашем човечанству за бољи живот. Пуно је примера у медицини који су показатељ колико велика корисност

нових технологија. Такав је и пример из 2014. године дизајнерке Дениз Карасанин (Deniz Karasahin)²¹ дизајниран да помогне при зарастању прелома костију и да убрзају тај процес. Овим технологијама се постижу чврсти модели који имају мању масу од гипсаних помагала који се још увек користе као помагала приликом прелома.



Сл. 25-27 Помагало у медицини, Дениз Карасанин, 2014. *Прототип ђона*, Адидас, 3Д куће, Холандија, Компанија Ван Вијен (Van Wijnen)

У оквиру дизајна спортске обуће Адидас је такође покренуо испитивања већих домета који се могу постићи у спорту израдом прототипа ђона²² који је произведен адитивном производњом.

Многи пројекти који имају концепт примене 3Д технологија у архитектури још су у изради као што је пример Компаније Ван Вијен (Van Wijnen)²³ који у сарадњи са Холандијом очекује реализацију комплетног насеља произведеног новим технологијама у 2019. години.

Сви примери упућују да ће будућност свих области живота бити помогнута новим технологијама. Колико далеко ће човечанство стићи то зависи само од креативности оних који користе нове технологије.

²⁰ <https://healthtechinsider.com/2014/07/08/3d-printed-cast-mends-broken-bones-faster/>.

²² <https://www.theverge.com/2017/4/7/15216724/adidas-3d-printed-sneaker-futurecraft>.

²¹ <https://www.engadget.com/2018/06/08/3d-printed-house-concrete-the-netherlands-van-wijnen/>.

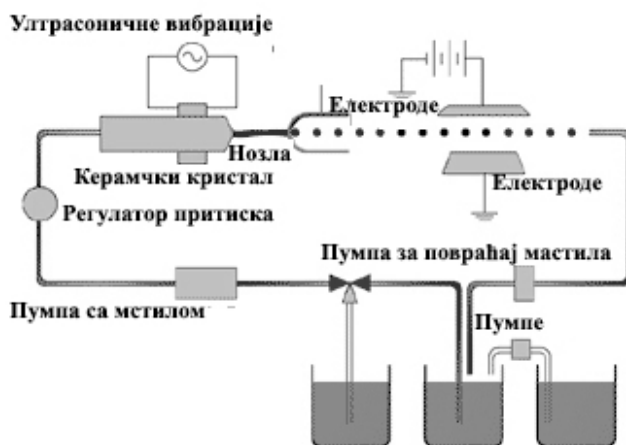
3.2. ТЕХНОЛОГИЈЕ АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ

Према технологијама у оквиру адитивне производње можемо разликовати пет основних:

- Инкџет (Inkjet)
- Стереолитографија-СЛА (SLA)
- Производња објеката ламинацијом-ЛОМ (LOM)
- Селективно ласерско синтеровање-СЛС (SLS)
- Моделовање топљеним депозитима-филаментима ФДМ (Fused (FDM))

3.2.1. Инкџет (Inkjet)

Један од основних начина адитивне производње је надоградња на класичан Инкџет штампач. Модел се производи слој по слој (од гипса или смоле), а инкџет распршује везивно средство у облику модела који се штампа. Ова технологија је једина са којом је могуће штампање прототипа у пуној боји.



Сл. 28-29 лево: Шематки приказ Инкџет технологије, десно: пример производа.

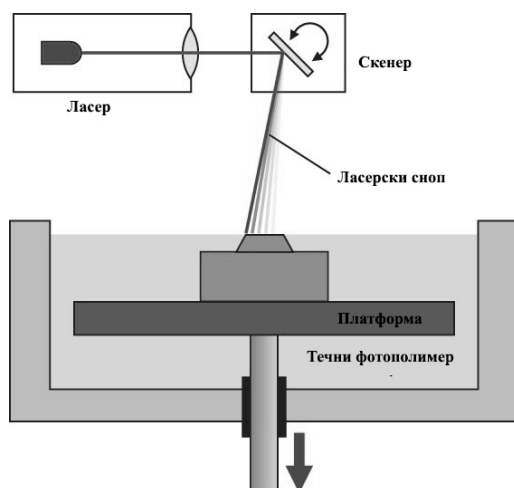
3.2.2. Стереолитографија (SLA)

У стереолитографији модели се производе тако што зрак UV (ултра љубичастог) светла прелази преко базена са фотоосетљивом течномшћу.

У току израде модел се спушта у кадицу слој по слој, док се не добије финални производ. Још једна предност ове врсте технологије 3Д штампе је висок ниво детаља и обраде завршне површине. Једна од главних предности ове методе штампања је њена брзина.

У овој технологији исти модели се производе и до 5 пута брже него у свим осталим техникама. У овој технологији је интересантно откривање завршног производа. Након што је штампање дела завршено производ се лагано уздиже из кадице са раствором фотополимера од кога је и направљен.

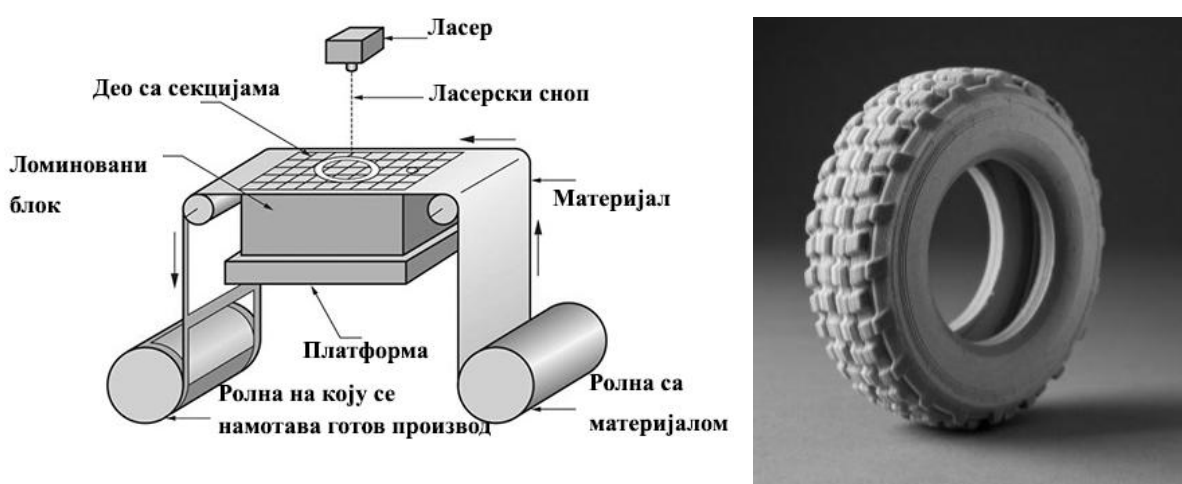
Ово је много једноставније од ломљена вишка конструктивних елемената, које је неизоставно код осталих видова штампе.



Сл. 30-31 лево: Шематски приказ СЛА Технологије, десно: пример производа

3.4.3. Производња модела ламинацијом (LOM)

Технологија производње модела ламинацијом у поступку подразумева да се користе слојеви материјала (обично папира или пластике) исечени ласером или сечивом, који се након тога спајају лепком. Једна од најновијих машина овог типа је *Mcor Matrix*, која користи обичан А4 папир и лепак на воденој бази. Овоме се постиже много мања цена израде модела, без штетних утицаја на животну средину.



Сл. 32-33 лево:Шематски приказ ЛОМ технологије, десно: пример производа

3.4.4.Селективно ласерско синтеровање (SLS)

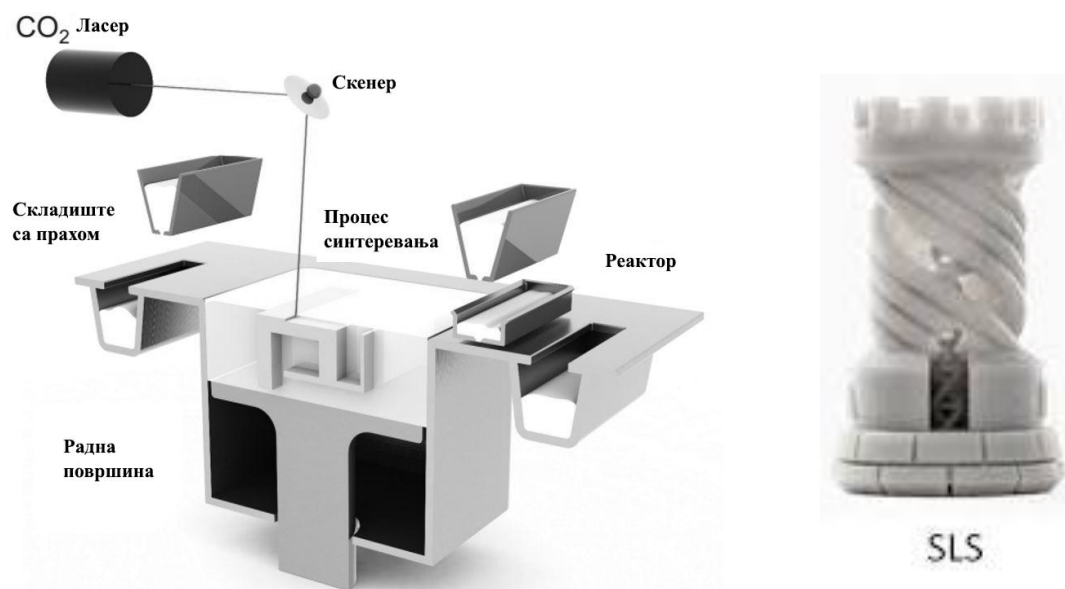
Приликом селективног ласерског синтеровања, објекат се производи sukcesивним додавањем танких хоризонталних слојева. Сваки од слојева се производи тако што се изнад дела објекта који је претходно изграђен нанесе танак слој праха који се ласерским снопом истопи у облику следећег слоја.

При хлађењу истопљеног дела праха он се повезује хоризонтално (формирајући нови слој) и вертикално (спајајући се са остатком дела). Облик сваког слоја одређује компјутер на основу компјутерског модела објекта, и на основу тако израчунатих попречних пресека управља процесом топљења праха.

Ова метода је спој 3Д штампе и ласера. Процес је сличан стереолитографији, са разликом што је UV светло замењено ласером, а базен са фотополимером са прашкастим материјалом. Главна предност СЛС технологије је могућност да се делови производе од широког спектра материјала: пластике, керамике и метала.

Описаним поступком се објекат формира без алата, па се истовремено једном машином може производити више објеката, различитих облика и димензија, тако што се њихови слојеви производе синхронно. Селективним ласерским синтеровањем се могу производити објекти од пластичних (на бази полиамида) и металних (на бази челика, алуминијума и титанијума) материјала. Да би се остварило топљење метала потребно развити много већу количину топлоте него за топљење пластике, приликом производње металних објеката је неопходно одводити топлоту, па се при производњи металних објеката користи метална платформа и ослонци за одвођење топлоте. Из тог разлога је након производње металних објеката селективним ласерским синтеровањем накнадном обрадом потребно одвојити објекте од платформе. Поред тога, накнадном

механичком (пескирање, полирање) и термичком (каљење) обрадом се може побољшавати површински квалитет објеката произведених селективним ласерским синтеровањем металног праха.



Сл. 34-35 Шематки приказ СЛС технологије

Приликом производње објеката од пластике нису потребни платформа и ослонци за одвођење топлоте, а самим тим могућа је и производња пластичних објеката једног изнад другог. Површински квалитет објеката произведених селективним ласерским синтеровањем пластичног праха се може побољшати механичком обрадом (пескирањем).

Примена селективног ласерског синтеревања се заснива на два кључним предностима:

- Производњи без претходне припреме, јер нема потребе за алатима које користе технологије обликовања;
- Могућности производње објеката сложених геометријских карактеристика, који се не могу произвести традиционалним производним технологијама.

Селективно ласерско синтеревање представља најкраћи пут од компјутерски генерисаног модела до реалног производа и зато оно представља решење за израду пробних узорака, индивидуализованих производа, алата за технологије обликовања, па чак и малих серија производа. Најважније примене селективног ласерског синтеревања су:

- Брза израда прототипова;
- Концепциони модели;
- Функционални прототипови;
- Израда алата сложених облика;
- Производња малих серија.

Могућност примене СЛС технологије директно утиче на промене у циклусу развоја новог производа, тако што омогућава уштеду у времену и трошковима.

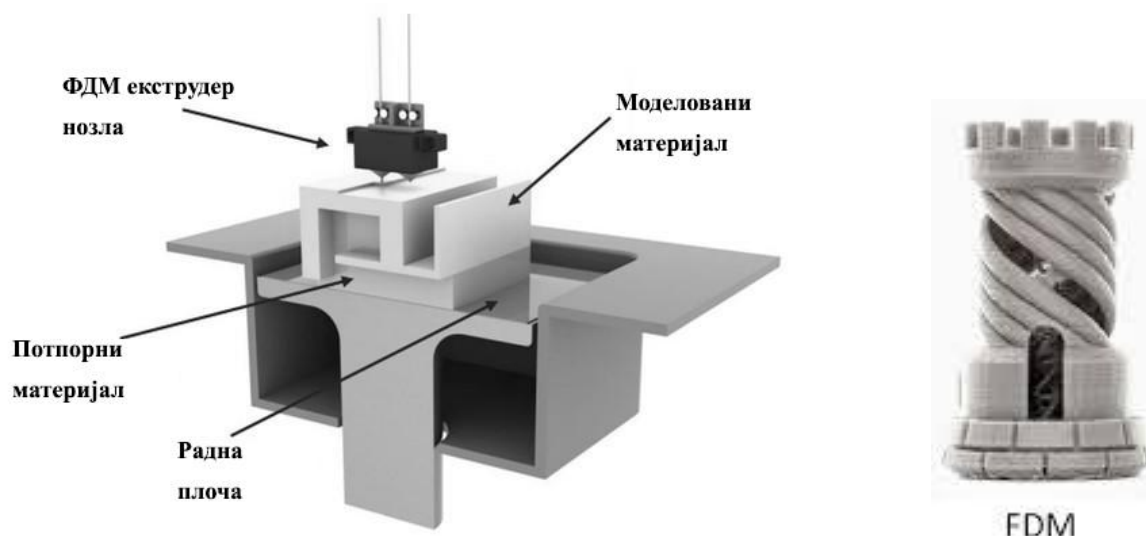
СЛС технологија се користи за директну израду сложених алата. Производња алата овом технологијом не уводи ограничења у геометрији произведених дизајнираних производа, тако да се на овај начин израђују и алати побољшаних перформанси, оптимизовани са аспекта њихове даље употребе. За производњу великих серија, било какво скраћење циклуса израде једног производа доноси значајне уштеде у времену и новцу за целу серију.

Многе студије и примери доказују користи од оптимизације хлађења. Теоријска и практична истраживања показују редукацију температуре алата и скраћење циклуса израде производа. Време циклуса израде дела скраћује се за око 30-60% коришћењем овако израђеног алата са оптималним хлађењем.

3.4.5 Моделовање топљеног депозита -ФДМ технологија

Овом методом, слојеви се добијају тако што млазница истискује танко влакно истопљене термопластике на радну плочу-платформу. Слојеви се изливају укрштено, сваки слој се истискује под углом од 90° у односу на претходни. Тиме се постиже чврстина завршног модела.

Ниво слоја који се производи може бити висине 0.3 mm. Кроз испитивања могућности израде овог рада дошло се до позитивних резултата дизајна и са мањом вредношћу за висину слоја и то од 0.2mm, што је изузетно деликатан дизајн.



Сл. 36-37 Шематки приказ радне плоче ФДМ технологије

Могуће је користити неколико различитих материјала за штампу, са различитим карактеристикама, у чврстини и температурним особинама. Данас постоје и материјали који су растворљиви у води. Они се могу користити приликом штампе као привремена подршка за одређене делове. Ово је тренутно најраспрострањенија 3Д технологија.

Прва комерцијална машина за производњу растопљеног материјала (ФДМ – енгл. FDM – engl. *Fused Deposition Modeling*) је патентирана 9. јуна 1992. у Америци (САД-е патент 5121329.) Подразумева поступак при коме је на колуту намотана нит од полимерног материјала и која пролази кроз млазницу за екструдирање. Млазница се загрева тако да у њој долази до топљења материјала. Цео процес наношења слојева се одвија у комори у којој се одржава температура тек нешто нижа од температуре топљења полимерног материјала.

Технологију ФДМ је пре више од 20 година је развио Скот Крамп (Scott Crump). ФДМ технологијом могу се употребити различити материјали за производњу 3Д делова. У неким примерима потребна је потпора која се такође штампа као привремена структура, која помаже у одржавању жељеног модела, те се након завршетка процеса уклања. Одмах након уклањања подршке модел је спреман за употребу. Употребом штампача који могу истовремено да користе два различита филамента могуће је произвести модел са потпором која се после штампе водом разграђује.

Предности ФДМ технологије су да је ФДМ поступак чист, једноставан и погодан је за рад у малом простору. Термопластични делови могу да издрже излагање топлоти, хемикалијама, влажним или сувим условима и механичким напорима.



Оригинално се ФДМ технологија користи за производњу производа који су малих димензија, прецизни и сложени. Иако ово остаје основна компетенција ФДМ технологије, већ се увелико ради на истраживању максималних димензија које се могу постићи овом технологијом., Континуирани тренд у 3Д штампарској индустрији је да се истражују могућности израде производа великих формата. Данас се види потреба за штампачима којим могу да се израде производе већих димензија.

Сл.38 Биг Реп (BigRep) ФДМ технологија, машина великог формата

Таква је и најновија машина позната као БигРеп²¹ (BigRep) која има могућност да се на њој произведе модел димензије 1005 mm x 1005 mm x 1005 mm. На тај начин се проширују могућности употребе ФДМ технологије и самим тим иста популаризује све више.

На нашем подручју истиче се неколико фирми које се на професионалан начин баве 3Д технологијама. То су 3Д Република, Вокселаб, Полихедрa. Развој адитивне производње ће се свакако наставити²². Допринос том развоју од стране дизајнера, који храбрије користе нове технологије, је све већи. Како се нове технологије све више и више развијају потреба за квалитетним дизајном ће бити такође све већа, што ће даље условити да ће се и улога дизајнера у светској индустрији повећати. Кроз 3Д технологије израда жељених модела је остварива и за дан, а која је некада трајала четири до шест недеља. Исто тако, фирме које се баве дизајном могу да користе 3Д технологије за брзо креирање прототипова, материјализовање узорака који се користе као маркетиншки предлог се данас употребом нових технологија много брже реализује. Тиме се остварује већа конкурентност на тржишту дизајна²³.

²¹ <https://bigrep.com/bigrep-one/>.

Модуларне *главе* за производњу отвореног формата, у комбинацији са великим флексибилним држачем калема, пружају идеалан 3Д штампач за израду великих објеката. Млазница од 1 mm, БигРеп машине, доноси најнапредније и најпрецизније моделе. БигРеп се успешно користи у аутомобилској и ваздухопловној индустрији, као и креативности које су могуће у дизајнерском раду или концептуалном моделовању. Омогућава производњу производа великих размера на приступачнијем нивоу у изради прототипа или пројектовања. Биг Реп је осмишљен као машина погодна за иноваторе.

²² <https://99designs.com/blog/design-other/5-ways-3d-printing-is-affecting-the-design-industry/>.

Према чланку објављеном у Дизајн Њуз-у (Design News), компанија Мејд ин Спејс (Made in Space), која сарађује са НАСОМ ради на штампаним материјалима који ће се користити у свемиру. Истраживачки рад на Универзитету у Северној Каролини САД-а развија течне металне структуре које остају течне али и стабилне... Правила се мењају о томе шта је могуће производити - отварајући више могућности за област дизајна.. Шта то значи за дизајнере? То ће представљати више могућности него икада за креативност и иновације у дизајну.

²³ <https://99designs.com/blog/design-other/5-ways-3d-printing-is-affecting-the-design-industry/>.

4. АНАЛИТИЧКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЦЕЛИНА

Кроз истраживање адитивне производње и свих њених технологија као најповољнији поступак за аналитичко експерименталну целину одабрана је ФДМ технологија. Аналитичком методом је дефинисана систематизација репрезентативних примера и естетско-стилске карактеристике структуралних форми текстилних површина.

Визија и идеја преточене у скице, на почетку стваралачког процеса, се разрађују у прерастају концепт дизајнерског пројекта. Брза израда пробног модела постиже се 3Д технологијама.

Предности које ФДМ технологија обезбеђује су:

- брзо генерисање слојева;
- накнадна обрада модела није потребна;
- релативно ниска инвестиција у уређај као и ниски трошкови одржавања;
- материјали нису токсични и могу бити биоразградиви.

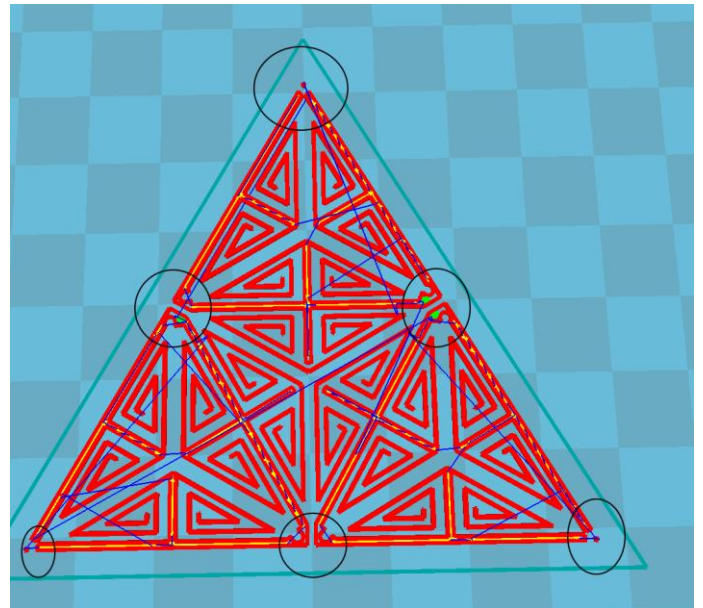
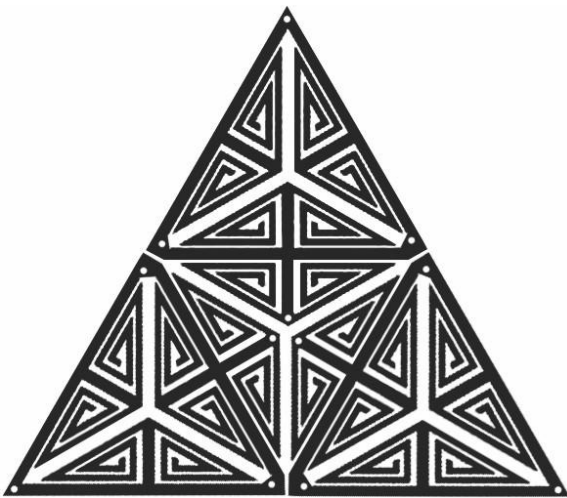
У овом сегменту рада, методологијом технолошког истраживања испитани су најбољи односи материјала који су пожељни за околину својом био-разградивошћу, истражене текстилне структуре доступне израдом у оквиру ових технологија.

Класификацијом експеримената у комбинацијама материјала утврђена су иновативна решења у креирању текстилних површина.

Такође и применом уметничко-стваралачке методе истражено је поље креативно стваралачко методом која је имала за циљ да јасно дефинише и прикаже визуелизацију коначног уметничко-дизајнерског рада проучавањем поетике решења која нам пружа природа.

Израдом прототипа и провером у реалним условима се проналазе недостаци и боља решења која се имплементирају у почетни 3Д модел и тако избегавају велики трошкови који би касније настали.

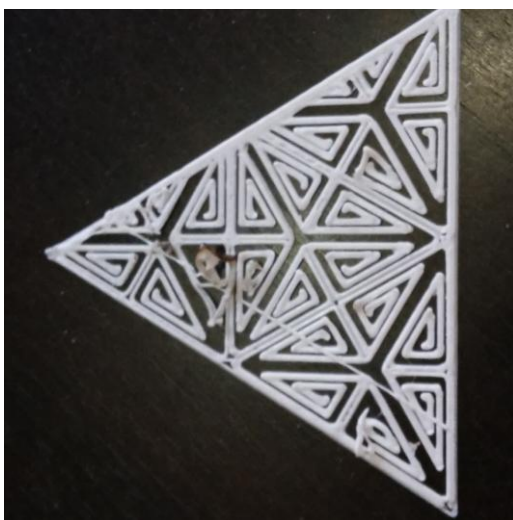
Селекцијом свега постигнутог компаративном методом дефинисан је практични део реализације рада у материјалу.



Сл. 39-40 лево: Цртеж модела припремљен за израду дигиталног документа; десно: дигитализовани модел са везним позицијама.

Као материјали за израду прототипова у овој фази рад су коришћени ПЛА (Полилактична киселина или полилактид) и ТПУ (Термопластичан полиуретан) филаменти. Модификацијом модела развија се квалитетна форма како би се обезбедила адитивна производња ФДМ технологијом. У овој фази се отклањају сви недостатци који би се евентуално јавили приликом израде прототипа. Утврђују се дебљине зида, висина модела, као и све везе на кључним тачкама.

Затим израдом прототипа отклањају се евентуалне грешке. Приликом употребе филаментног материјала који може бити различит, може доћи до неправилности у формирању производа.

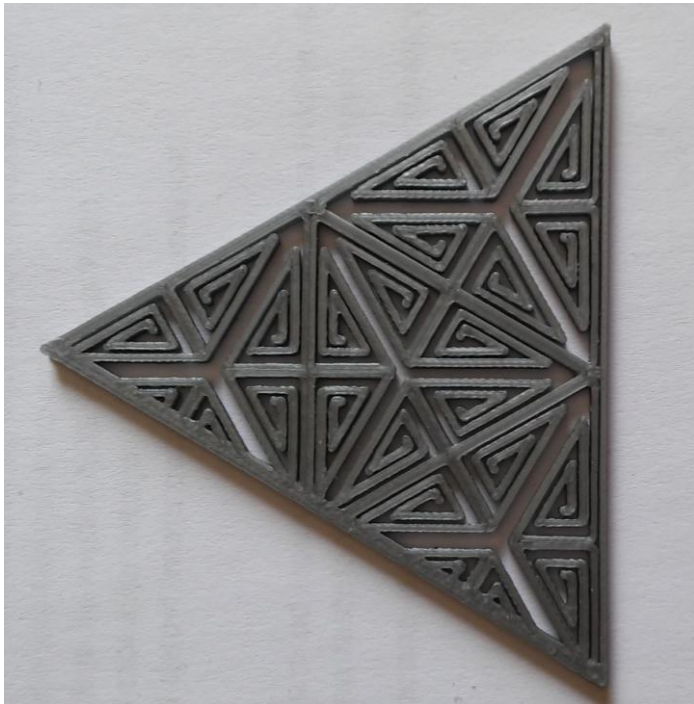


Сл. 41-42 лево: Произведен модел са грешком; десно: Производња модела на ФДМ машини

У овој фази неопходно је било утврдити минималну висину модела, ако његова флексибилност игра значајну улогу код самог производа.

Различите боје употребљеног филамента дају различите квалитете прототипова, те су пробом утврђени сви параметри самог процеса производње и извршене евентуалне исправке у 3Д програму који је коришћен за израду 3Д модела.

Када је прототип доведен до идентичног изгледа са дигитално пројектованим моделом, израда модела за масовну производњу је без ризика. За мале серије и персонализоване производе 3Д технологија може представљати боље и исплативије решење. Тада се почиње са процесом производње.



Сл. 43-44 лево: израђен прототип; десно: Израђен прототип

Даљи рад зависи од дизајнеровог концепта самог рада.

Трећа и веома важна ставка је заштита животне средине. Материјал код ФДМ –а може се рециклирати и поново користити за производњу нових делова. Следеће је да су делови направљени од Полуластик ецида (ПЛА), материјала направљеног на бази кукуруза који је биоразградив, па тако није штетан за животну средину. Такође су важна и својства овог материјала да има способност да приликом потапања у топлој бањи може да добије изузетну флексибилност, те да након тога може да промени своју форму у неку другу жељену и да након губитка воде и након хлађења враћа своју чврстину.

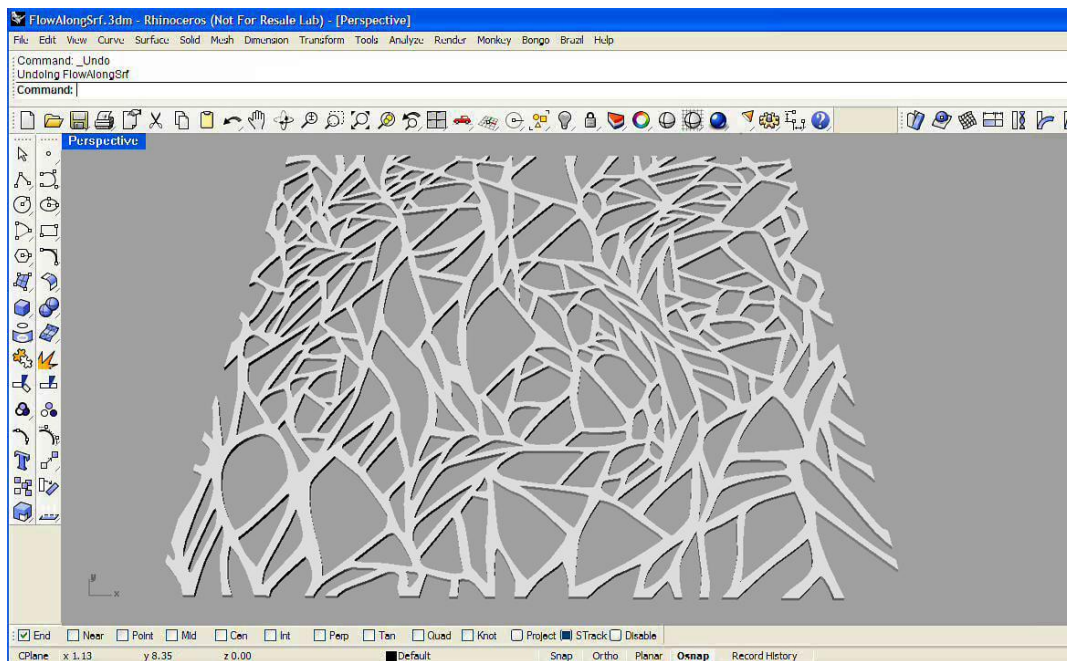
Овај материјал је могуће производити и као веома флексибилан јер. висина одабраног модела може да иде и до минималних 0.3mm . Промена дебљине и величине 3Д модела припремљеног у неком од 3Д програма је једноставна и брза.

Тиме се поспешује рад на пројекту који се реализује и смањују трошкови израде самог производа.

Недостаци ФДМ поступка:

- релативно мали број комерцијално расположивих материјала;
- нужна је примена потпорница за израду одређених модела;
- нешто лошија димензијска стабилност.

У зависности од примене техничких средстава, софтвера или хардвера, постоје и различите врсте дигиталних медија, која наставља да се развија са развојем рачунарске технологије. Склоп дигиталних технологија је трансформисао традиционалне приступе у савременом дизајну и уметности и довео до потпуно нових форми.



Сл. 45 Генерисање 3Д модела у Рајно софтверском програму

Применом софтверског програма Рајно (Rhino)²⁴ стварају се документи који се након завршеног процеса дизајнирања увозе у неки од програма за раслојавање модела (Репетијер (Repetier)²⁵ или Кјура (Cura)²⁶). Модел се даље учитава у документ који је спреман за производњу.

²⁴ <https://www.rhino3d.com/6/features>.

Рајно је софтвер који се користи за креирање, уређивање, анализирање, документовање, рендеровање, анимирање и пребацивање НУРБС (NURBS-Non-Uniform Rational B-Splines-математички приказ 3Д геометрије који може да представи било коју 3Д форму) криве, површине и чврсте материје и полигонске мреже. Не постоје границе сложености, степена или величине које овај програм не може да подржи. У овом програму се генеришу 3Д модели.

²⁵ <https://www.repetier.com/>.

Репетиер софтвер је веома једноставан и интуитиван за коришћење. Од 2011. године покренут 3Д програм за пројектовање и неколико софтверских решења за адитивну производњу.

²⁶ [https://en.wikipedia.org/wiki/Cura_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cura_(software)).

Кјура софтвер је програм којим се раслојавају корисничке датотеке модела у слојеве и ствара Г-код, специфичан за 3Д машине. Након завршетка, Г-код се може учитати у штампач за израду производа.

4.1. ТЕХНОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МАТЕРИЈАЛА

Истраживање структура и еластичности текстилних површина израђених адитивном производњом условљавају пре свега технолошке карактеристике материјала која се користе приликом примене одабране технологије за израду производа. С тога је веома важан сегмент аналитичко- експерименталне анализе веома значајан у току комплетног истраживачког рада, и у дизајнерским и уметничким радовима.

Темељним приступом сагледана су својства материјала као и прецизност производње софтвером генерисаног модела који су истражени као почетни у току овог докторског рада.

4.1.1.ОСНОВНА СВОЈСТВА МАТЕРИЈАЛА

У дизајнерском поступку рада веома важну улогу има одабир материјала-филамената за стварање прототипа или коначног производа. Сам поступак израде захтева велику прецизност припреме свих параметара који су важни као предуслов да финални дизајнерски рад буде жељеног изгледа. На то утиче одабир филамената и параметри који се морају прецизно дефинисати пре саме производње, као што су брзина производње и температура топљења. Филаменти који су испитани у овом сегменту рада имају својство термопластичности што им даје способност да постану мекани и флексибилни када се загревају. Поступком загревања сваки од испитиваних материјала на одређеној температури постиже оптималну кохезију²⁷ свог састава како би могао бити моделован према жељеној форми. Након хлађења, филаментима се враћа почетна чврстина која је такође различита за сваки материјал. Поступком хлађења дизајнирани производ задржава новонасталу форму. Овај процес се може понављати више пута што утиче на повољан еколошки аспект истражених материјала и лако се рециклирају након завршетка животног циклуса производа.. Филаменти који су истражени су: **АБС - Акрилонитрил бутадиен стирен, ПЛА - Полилактична киселина или полилактид, ТПУ - Термопластичан полиуретан.**

АБС - Акрилонитрил бутадиен стирен термопластични и аморфни полимер. Како је филамент термопластичан при загревању се топи, а оптимална температура за штампу је у распону од 210°C – 250°C .при којој се лако обликује. АБС има својство слабе флексибилности. Флексибилност АБС филамента утиче на одабир дизајна производа или прототипа. АБС се више примењује за израду затворених форми. У даљој изради лако се ручно и машински обрађује. Потапањем модела у раствор ацетона (propanone)²⁸ на материјалу се може створити високи сјај.

²⁷ <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kohezija>.

²⁸ <https://sr.wikipedia.org/wiki/Aceton>.

АБС оптерећен већим степеном влаге има тенденцију да ствара мехуриће током израде дизајнираног производа, смањујући притом визуелни квалитет, тачност штампе, губи чврстину и повећава могућност ризика у цепању као и зачепљењу нозле-млазнице. АБС се лако може суши коришћењем извора врућег ваздуха као што је прехранбени дехидратор. Током штампе са АБС-ом, често је присутан интензивни мирис вруће пластике. Осигуравањем одговарајуће вентилације у мањим просторијама и загревањем до одговарајуће температуре у екструдеру може се редуковати мирис. У већини случајева највећа препрека у постизању прецизних делова код АБС-а ће бити увијање површине пластике при додиру са подлогом за производњу. Додатно, смеша АБС-а и ацетона или фиксира у спреју примењена пре производње може решити ове недостатке. Вентилатор може да обезбеди малу количину хлађења око млазнице. Код таквог поступка постоји ризик увођења превише хлађења и смањење пријањања између делова што води до стварања пукотина на готовом производу. Приликом израде прототипа или дизајнерског производа АБС ослобађа штетне гасове, па је препоручљиво да се просторија у којој се ради често проветрава. Дугорочно складиштење захтева да се филамент изолује вакумирањем како би се спречило упијање влаге из ваздуха јер излагање влажној средини може имати последице на процес штампања и на квалитет готових производа.

ПЛА - Полилактична киселина или полилактид је биоразградив и биоактивни термопластични алифатски полиестер добијен из обновљивих извора, као што су кукурузни скроб у Сједињеним Државама и Канади или шећерне трске у Азији. Температура штампе је 180°C – 220°C. ПЛА²⁹ филамент има средњу флексибилност, што највише зависи од самог софтвером генерисаног модела. Са становишта дизајнерског рада прототип или производ од овог филамента може самим дизајном значајно да повећа или смањи своју флексибилност., уколико је дизајниран да нема велику висину модела, односно да остане у малом броју слојева. Материјал реагује на влагу, поред мехурића могу се видети и дисколорација и редукација својстава приликом производње неког објекта јер ПЛА може реаговати са водом на високој температури и подвргнути се деполимеризацији. Обзиром да се ПЛА може осушити коришћењем прехранбеног дехидратора, важно је напоменути да ово може изменити однос кристалности у ПЛА и може водити до промене температуре екструзије и осталим екструзионим карактеристикама. За многе 3Д машине, ово не би требало да представља велики проблем. Приликом израде прототипа или дизајнерског производа филамент обзиром да је биљног порекла одаје мирис сличан сунцокретовом уљу. ПЛА је у многеме побољшао дизајнерске производе управо због еколошког аспекта јер са становишта дизајнера рад са овим филаментом је једноставнији, прецизнији и не загађује животну средину. У поређењу са АБС-ом, ПЛА има значајно мање савијање делова. Из тог разлога је могућа успешнија производња без загрејане подлоге и често се користи *Плава* креп трака као подлога за радну плочу штампача.

²⁹ <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>.

Потпуно уклањање загрејане радне плоче може условити да се дизајнирани модел благо трансформише приликом штампе модела са већим површинама. Филамент пролази више фаза промене агрегатног стања јер из чврстог прелази у течно и након хлађења враћа се поново у чврсто стање. Као и код АБС филамента излагање влажној средини може имати последице на процес штампања и на квалитет готових производа.

ТПУ - Термопластичан полиуретан је најсавременије влакно за 3Д штампаче, Такође познат и као термопластични еластомер (ТПЕ) производи флексибилне наносе са еластичним својствима. Температура која је погодна за штампу овог филамента је 210°C – 230°C. Посебно су истражена својства и параметри ТПУ материјала на тржишту познатог под називом *Нинџа Флекс* (NinjaFlex)²⁸. Овај филамент има патентом заштићену формулу и јединствену флексибилност. Филамент се својим карактеристикама истиче за примену израде модела који захтевају високу флексибилност. Производе га различите фирме, а посебно су познати *Чита* (Cheetah) као и *Нинџа Флекс* (NinjaFlex) које производи *Нинџа Тек* фирма³⁰ (Ninja Tek). Препоручена температура за израду у екструдеру износи 210 - 225°C. *Нинџа Флекс* је погодан за штампаче са директним погоном, екструдерима помоћу подешавања. Иако сваки штампач може имати јединствене поставке, у већини штампача, загрејана радна плоча није потребна да би се успешно производило са *Нинџа Флексом*. Такође је могуће користити помоћни материјал са *Нинџа Флексом*, тако да се помоћни материјал може уклонити након завршеног штампања. *Чита* је такође флексибилан филамент има мању флексибилност од *Нинџа Флекса*, али једноставнији за производњу. Фокус у развоју овог материјала је био на оптимизацији корисничког искуства. Резултат је филамент који се може користити на свим 3Д штампачима, али на брзинама које су потребне за АБС и ПЛА филаменте. ТПУ има веома ниску површинску енергију, тако да се обично не везује добро са лепковима. Најбољи начин да се повежу делови је уз помоћ високе температуре. Овај материјал не садржи токсичне супстанце. ТПУ је углавном отпоран на воду, али при деловању воде у дужем временском периоду губи своја еластична својства. Боја овог материјала је веома отпорна на спољне утицаје. Материјал је и хемијски отпоран. Чишћење овог материјала се обично врши уз помоћ сапуничног раствора. Пожељно је коришћење у просторији са добром вентилацијом према препорученим радним условима. ТПУ производи су способни да отпуштају мале количине испарења на високим температурама. Ови гасови генерално сматрају подношљивим и мање јаким мирисом од мириса који се развија приликом топлења АБС филамента. Када се производња пребацује једног на други материјал, неопходно је очистити нозлу-млазницу пре даље употребе машине, такође све параметре припремљене у софтверском програму којим се врши раслојавање генерисаног 3Д модела је неопходно прилагодити новим параметрима материјала који се користи као следећи у производном процесу.³¹

³⁰ <https://ninjatek.com/>.

³¹ <https://i.materialise.com/blog/en/3d-printing-technologies-and-materials/>.

У ФДМ штампачу, дугачки пластични филамент пролази кроз нозлу - млазницу у којој се материјал топи у течно стање под дејством температуре предвиђене за топлење одабраног филамента...

4.2. АНАЛИЗА РЕАЛИЗОВАНИХ УЗОРАКА У МАТЕРИЈАЛУ

Израда узорка адитивном производњом у поступку аналитичко-експерименталне целине захтева велику прецизност припреме свих параметара који утичу на производњу прототипа или узорка. Прецизним дефинисањем припреме за израду генерисаног модела обезбеђује се квалитетан и успешан коначни производ. Како је објашњено, у ФДМ штампачу филамент пролази кроз нозлу-млазницу у којој се материјал топи. Температура топљења зависи од филамента који користимо, али и од самог модела који смо генерисали у неком од 3Д софтверских програма. Генерисање модела у 3Д објекте је у овом раду изведена у Рајно програму о коме је већ било речи у претходним поглављима. У припреми, поред наведеног, значајну улогу има и материјал од кога је направљена радна плоча и услов да ли је радна плоча снабдевена са грејачима или је без могућности грејања. Брзина израде модела такође веома утиче на изглед модела и условљена је филаментом који се користи, дизајном модела па у току израде једног модела на преласку са слоја на наредни слој модела брзина може аутоматизовано да се смањује или повећава. Исто се може јавити и код параметра брзине која се преласком са слоја на следећи слој може мењати. Додатно на саму успешност израде узорка, прототипова, производа утиче и висина слоја који се отискује на радну плочу-платформу. Квалитет израђеног узорка ће бити већи уколико се висина слоја смањи на вредност која је близу минимума, а који износи од 0.1 mm. Ова висина слоја се ретко користи јер директно утиче на време трајања израде, па смањењем висине повећава се време израде прототипа или производа. Оптимална висина слоја је 0.3 mm. Оријентација слоја-угао растера има улогу у коначном изгледу узорка, прототипа, производа. Оптимално позиционирање модела је уколико се припремљена датотека генерисаног модела постави под углом од 90°. Даље на коначни изглед узорка или производа утиче и оријентација модела и спада у важне факторе израде како се не би догодиле грешке у штампи. За овај параметар везан је и дизајн генерисаног модела. Оптимално решење је да модел траба да буде окренут на такав начин да има што мање слојева, односно да његова најдужа страница буде положена на X-Y равни, односно на платформи. Други услов овог параметра је усмереност детаља генерисаног модела оптимизује се уколико су детаљи подешени да буду окренути у смеру Y осе, односно да не буду окренути ка платформи. У раду код одређених модела може доћи до потребе стварања потпорних конструкција. То су обично модели који на себи имају делове који се издижу према Z осе. То такође утиче и на даљу обраду модела и на квалитет прототипа или производа. Наведене потпоре се дефинишу са аутоматском опцијом генерисања потпорних конструкција. Модели који морају имати подршку -потпоре захтевају даљу обраду: уклањање потпорних зидова и брушење како би површина на којој је интервенисано добила једнак изглед са деловима који нису брушени. Према објашњеним условима рада у анализи реализованих модела узорка у материјалу дате су вредности за испитиване моделе, где је циљ истраживања био да се испита како постићи одређене структуралне вредности текстилне површине. Стога сва

припрема мора бити стручно вођена што се може препознати као најважнији фактор који утиче на квалитет узорака, прототипова и производа.

Модел број 1 израђен је од ПЛА филамента,дебљине 1.75 mm. Израда 3Д модела припремљена је у Рајно програму. Дигитално су истражене везе које утичу на израду дизајна модела где је жеља била да се испита могућност визуелизације модела који имитира плетенину и да се дочара преплитање две нити. Циљ истраживања узорка је постизање тродимензионалности модела, а да се оствари флексибилност и да се дочаране нити у моделу не додирују, као и да се истраже квалитативне вредности површина, а да обезбеде услове одевних текстилних површина.

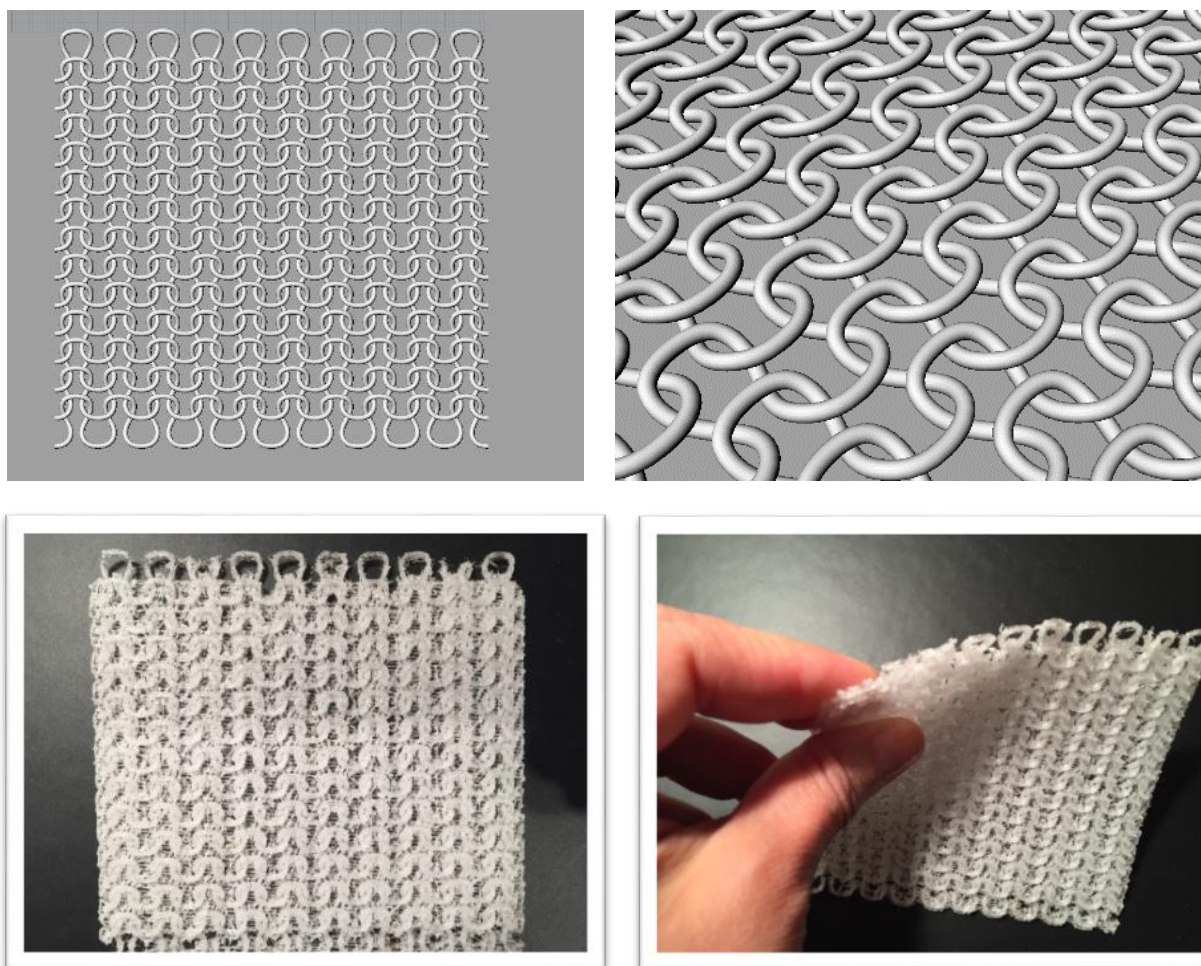
Ради горе наведеног истражени су сви параметри удобности материјала који је предвиђен за одевну текстилну површину. С'обзиром на веома комплексан дизајн, временска израда је релативно друго трајала (3 h) . Димензије модела су 100 x 100 mm. Брзина израде модела 100 mm/s. Брзина директно утиче на успешност израђеног модела и на то да ли се у нечему добијени узорак разликује од жељеног софтвером генерисаног модела. Температура при којој је филамент топљен у екструдеру је 200 °C што директно утиче на изглед израђеног узорка и уколико температура није прилагођена могу се јавити грешке на узорку. Брзина израде првог слоја је најчешће мања јер је важно да се модел веже за саму подлогу односно радну површину на којој се израђује. У тренутку када се први слој изради, радна плоча-платформа се помера за дебљину нанесеног слоја и мења се брзина израде, а може бити промењена и температура топљења филамента. У овом примеру да би се модел изградио биле су неопходне потпорнице³² или потпоре које се дешавају када се неке тачке на моделу не додирују и празан простор постоји између њих.

Да би се постигла жељена висина следеће тачке, а тачка се не надовезује се на претходну тај празан простор у генерисаном моделу неће моћи да остане празан и у узорку који се израђује неопходно је подесити опцију генерисања потпорница које се касније одстрањују са готовог узорка прецизним шмирглањем или брушењем .

³² <https://voxellab.rs/tehnologije-3d-stampe/>.

Модел израђени овом технологијом адитивне производње се могу користити као функционални прототипови, резервни делови или употребни производи. ССТ технологија хемијски растворљивог потпорног материјала омогућава израду било које геометрије без губитка прецизности и квалитета површина. Економична 3Д технологија израде због могућности контроле испуњености модела.. У оквиру ФДМ технологије разликују се ФДМ, ССТ технологија (FDM SST – Fused Deposition Modeling Soluble Support Technology) технологија патентирана од стране компаније Стретесис (Stratasys) која већ 30 година један од лидера на пољу професионалне опреме за адитивну производњи и дигиталну фабрикацију. Ова технологија 3Д штампе омогућава димензионалну прецизност и једнак квалитет површина по свим осама захваљујући ССТ технологији потпорног материјала који се уклања хемијским путем. Са обзиром на то да је имплементација ФДМ технологије од стране Стратејсис корпорације професионалног и индустријског карактера, уређаји гарантују одређен степен прецизности, квалитет површина израђених модела, као и поновљивост. Материјали који се користе су високог и сталног квалитета. Такође као ФДМ технологију препознајемо и ФФФ (FFF – Fused Filament Fabrication) која је технологија дигиталне фабрикације која је развијена од стране ентузијаста широм света на основу концепта ФДМ технологије адитивне производње. Ради се о хоби имплементацији ФДМ индустријске технологије 3Д штампе која је сви више популарна због јефтених уређаја и материјала.

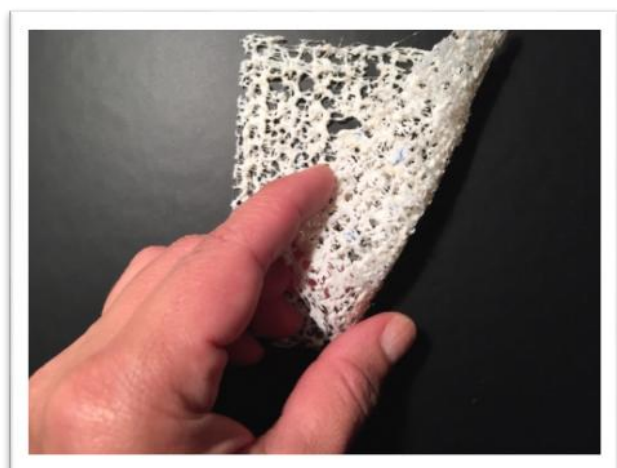
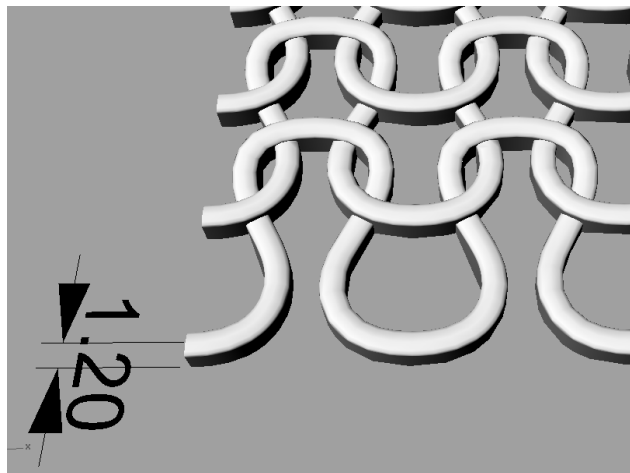
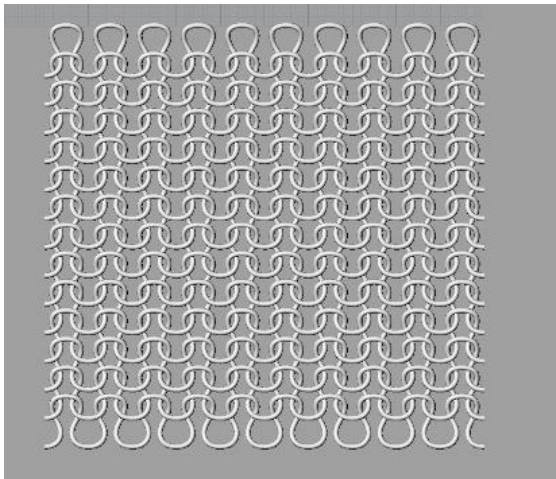
Са дизајнерског становишта важно је било утврдити да ли естетски потпорнице опстају у датом израђеном узорку јер их је у овом примеру било немогуће одстранити физички због мноштва тананих веза потпорница са моделом. Даљом разрадом размотрено је да се примењен модел може произвести на штампачу који подржава рад са два филамента тако да примарни буде ПЛА филамент или ТПУ филамент, док је неопходно да други калем користи ПВА филамент који се раствара у води. Платформа-радна плоча је без загревања. Овај параметар Платформа је пресвучена *Плавом* креп траком³³ и није грејана. Грејањем платформе је у неким примерима неопходно јер се на та начин први слој софтвером генерисаног модела привремено везује за подлогу и тиме обезбеђује даља израда слојева који се надовезују са сваки претходни. У случају када се платформа не греје неопходно је припремити је како би слој истопљеног филамента остао до краја израде прототипа или производа на жељеном месту на платформи. Та припрема је веома једноставна уколико се користи *Плава* креп трака којом се платформа пресвуче. Код стаклених варијанти платформе могуће је користити и фиксир спреј



Сл. 46-49 Генерисани модел у Рајно софтверском програму.; узорак, 100 x 100 mm, десно: детаљ, 2014.

³³ <https://steamporio.com/products/scotch-blue-crepe-masking-tape-for-3d-printer-heating-pcb-painter-coating-shielding-paper-tape-high-temperature>.

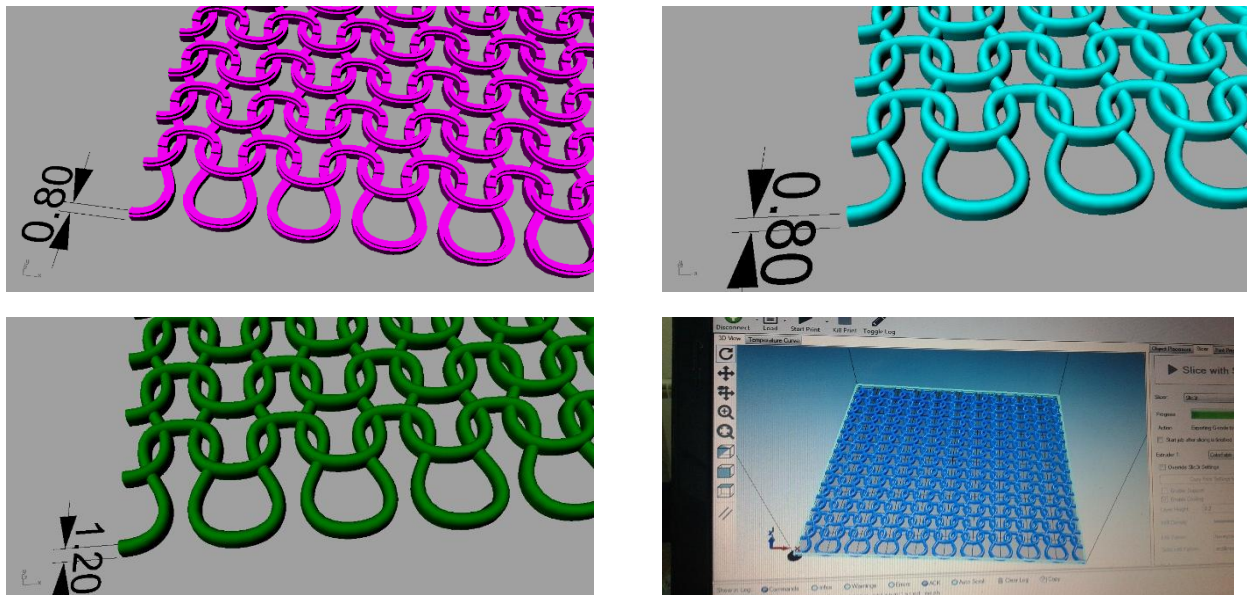
Модел бр. 2 Израђен је од ТПУ *Нинџа Флекс* филамента, у ФДМ технологији. Рајно софтверски програм је коришћен за генерисање модела. Брзина израде модела је 50 mm/s. (Препоручене брзине израде за доњи и горњи слој су 10-20 mm/ sec (600-1200 mm/ min) док су брзине препоручене за средње слојеве 15-35 mm/ sec (900-2100 mm/ min). Температура при којој се топи филамент у екструдеру је 210 °C за први слој и 205 °C за други и остале слојеве. У раду је овој фази веома је значајно испитати све могућности израде. Мењањем параметра овако деликатан дизајн захтева припрему која подразумева ручна подешавања температуре за топљење филамента у екструдеру и брзине израде. Платформа на којој је израђен узорак није грејана и пресвучена је *Плавом* крeп траком. Висина једног слоја подешена је на 0.3 mm. Време израде 3 h. Због своје тродимензионалне структуре захтева подршку неопходну да би се формирао у производњи. Собрим да је израда била на машини која подржава само један калем филамента и потпора је од *Нинџа Флекс материјала*. Флексибилност произведеног модела изузетна. Као основни проблем модела истражене су квалитативне вредности површина са квалитетима удобности материјала предвиђеног за одевни програм.



Сл. 50-53 лево горе: Генерисани модел 2 у Рајно програму, десно горе: детаљ, лево доле: ФДМ технологија, поступак производње, модел, 100 x 100 mm, десно доле: ФДМ технологија, поступак производње, 2014.

За израду модела, препоручује се код слојева од другог па навише, коришћење вентилатора за хлађење уколико је доступан. Филамент је потпуно флексибилан , 660% елонгација³⁴ омогућава поновљено кретање и утицај без хабања или пуцања, Полиуретанска композиција омогућава одличну редукују вибрација, Отпорност на абразију³⁵ је 20% боља од АБС-а и 68% боља од ПЛА, *Нинџа Флекс* хемијски отпоран на многе материјале, укључујући нафту. Могуће га је штампати на свим стандардним платформама.

Као неуспешан се показао овај модел који није прилагођен ТПУ филаменту. Превише грешака се појављује приликом производње. У домену структуралних истраживања, без обзира на становиште производње да је модел означен као грешка, са становишта текстилних истраживања структуралних вредности модел је позитивно оцењен. Овај сегмент истраживања је показао да је веома важно који модел ће бити штампан ТПУ филаментом јер је његова употреба изузетно деликатна због његове способности да поседује изузетно велику флексибилност. Као веома захтеван за производњу *Нинџа Флекс* се још увек мало користи у производњи. Потребна је вештина и увежбаност при употреби поменутог филамента. Даљом анализом генерисаног модела , утврђено је да је неопходно смањити брзину израде модела на 25 mm/s због сложености дизајна. Модел са својим грешкама донео је другачије структуралне вредности саме површине штампаног текстила које су у овом случају препознате као интересантно решење за даљу анализу. Приликом истраживања утврђене су одређене измене које би довеле до прецизне израде модела какав је у 3Д програму. Измене се односе на дебљину нити у распону од 0.8 mm до 1.2 mm која се штампом изграђује као и начин споја нити. Такође анализом су разрађене и геометрија саме нити разрадом висине нити, али и разрада области саме нити у оквиру комплетне 3Д текстилне површине.



Сл. 54-57 Генерисани модел бр 2 у Рајно софтверском програму, лево: модел, 100 x 100 mm, десно: детаљ, 2014.

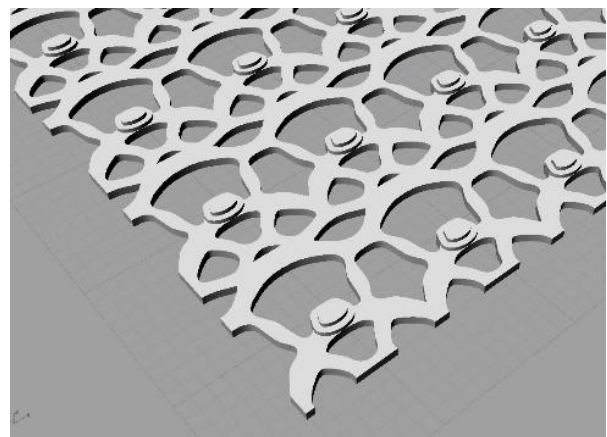
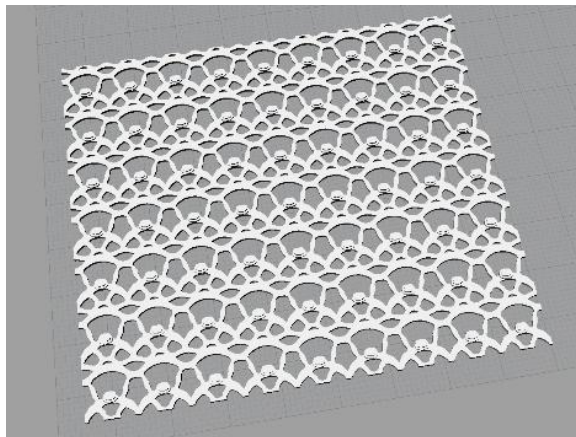
³⁴ [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elongacija_\(razdvojba\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elongacija_(razdvojba)).

³⁵ <https://sh.wikipedia.org/wiki/Abrazija>.

Модел бр. 3 Израђен је од ПЛА филамента. Припрема модела је реализована у *Raјно* програму. Модел има три слоја. Из овог модела могуће је било, због његове естетике, одвајати или прекидати производњу тако да се добију траке које имају саме за себе јединствену целину. Због финоће наноса танког слоја на нивоу првог слоја модел је пуне флексибилности. Веома нежног и деликатног изгледа, нежне и глатке структуре задовољио је параметре потребне да се изгради флексибилна површина.

Израда модела је примењена на ФДМ штампачу који може да подржи и већу радну површину од 100 x 100 mm колико износи сам учитан модел.

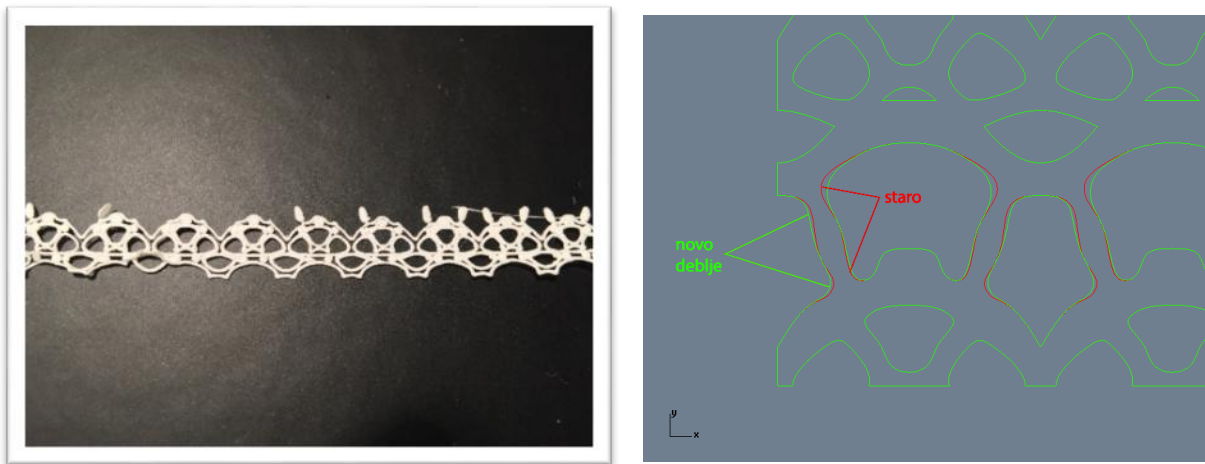
Брзина израде модела 50 mm/s, температура при којој се топи филамент у екструдеру 200 °C, Платформа је без загревања, Платформа је пресвучена *Плавом* креп траком. Време израде 27 min за модел димензија 100 x 100 mm. Дебљина наноса филамента је 0.2 mm., Даља разрада модела показала је да Модел због своје структуре не захтева подршку да би се формирао у производњи. Део модела, прекинут у изради након израде првог слоја у *Penетијер* (Repeticier) програму који се користи за унос 3Д израђеног цртежа у програм повезан са штампачем и тиме се обезбедило разлагање модела на слојеве и у коме се подешавају сви параметри производног процеса.



Сл. 58-61 горе лево: Генерисани модел бр 3 у Рајно софтверском програму, 100 x 100 mm, горе десно: детаљ, доле лево: ФДМ технологија, ПЛА филамент, 100 x 100 mm, доле десно: приказ флексибилности, 2014.

Као могући програм у овом смислу користи се често и *Кјура* (Cura)³⁶ софтверски програм. Са дизајнерског становишта модел се показао као веома успешан. Његова даља разрада се могла кретати у коришћењу ТПУ филамента. Предност овог решења је у његовој финој структури. Раздвајање на сегменте који визуелно чине тракасте материјале повећао је квалитет решења.

Модел је било неопходно модификовати у делу који се односио на ширину линија којим је дефинисан приликом генерисања у Рајно програму. Првобитна ширина није могла подржати израду и затварање међупростора тако да би модел на овим местима пуцао. Новом дебљом линојом моделу је уклоњен недостатак и изменом омогућена израда у ФДМ технологији. Својим дизајном подсећа на традиционалну чипку. Већ на нивоу израђеног првог слоја могуће је било прекидати штампу, али након скидања са платформе на неким местима су се цепали мали украси дефинисани на горњој линији траке. Кориговање овог недостатка је могуће не прекидањем израде након првог слоја, већ након другог, али у том случају модел губи на својој флексибилности која је била велика иако је коришћен ПЛА филамент. Израда модела је захтевала ручна подешавања у току самог поступка рада. Дизајнерска вештина и увежбаност су били предуслов за израду комплексности самог процеса штампе. Даљом анализом генерисаног модела могуће је адаптирати наведене недостатке да се израда прототипа, узорка или производа аутоматизује.



Сл. 62-63 Модел бр.3 лево: детаљ , идвојена трака, десно:генерисани модел у Рајно софтверском програму, 100 x 100 mm,горе десно: детаљ, приказ измене модела.

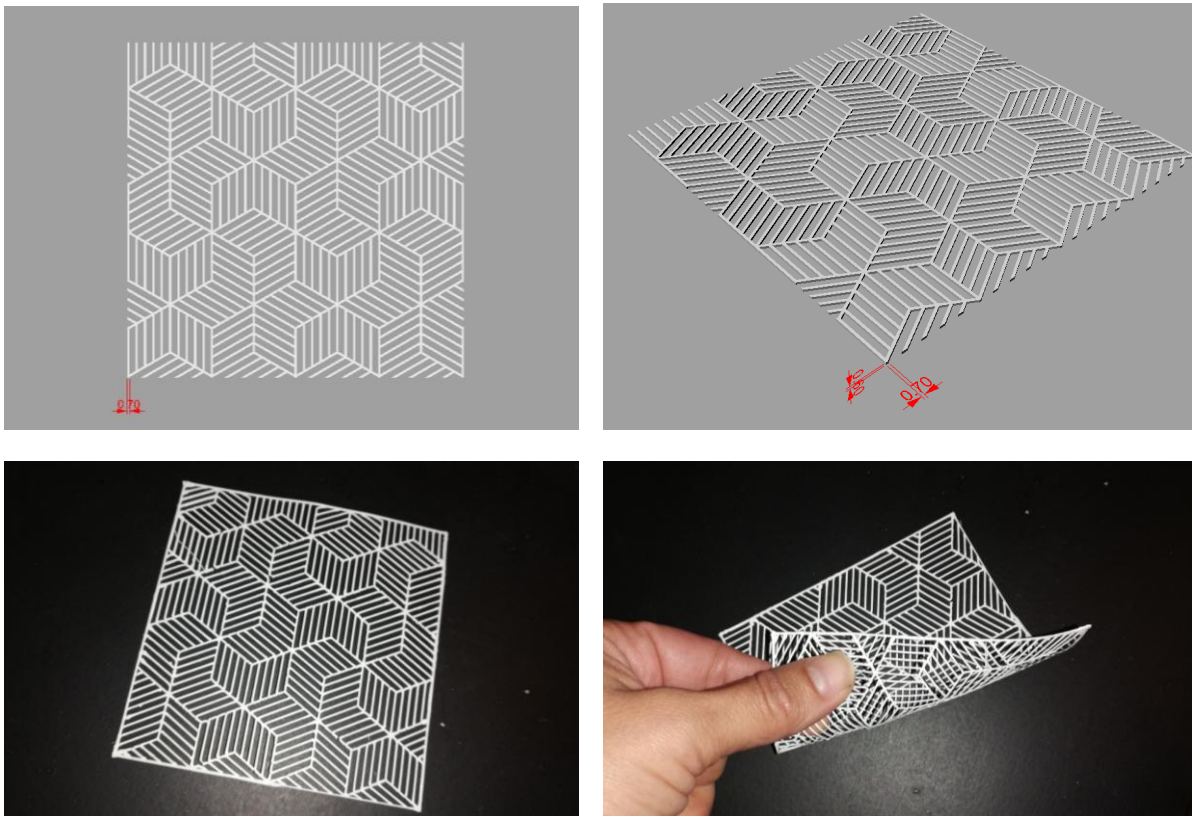
³⁶ <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>.

Ултимејкорова Кјура ствара беспрекорну интеграцију између свог 3Д штампача, софтвера и материјала како би се постигли изузетно прецизни модели сваки пут приликом израде производа.. Крос-платформни (Cross-platform), софтвер, доступан је без материјалних улагања. Могуће је коришћење софтвера на препоручен начин. Стручни конфигурациони и профилисани путеви чине хардверску конфигурацију једноставном и брзом и постижу поуздане, професионалне резултате. Подржава рад са форматима датотека STL, OBJ, Кс3Д и 3МФ(STL, OBJ, X3D, and 3MF file.)

Могуће је проширење основне функционалности софтвера помоћу додатака.

Модел бр.4 Израђен је од ПЛА филамента, ФДМ технологијом. Генерисање модела извршено је у Рајно софтверском програму. Репетијер програм је коришћен за раслојавање. Брзина израде модела је 100 mm/s. Температура при којој се топи филамент у екструдеру 200 °С. Платформа је без загревања и на платформи је пресвучена *Плава* крeп трака. Време израде 13 min. Што је веома задовољавајуће време израде. Висина једног слоја је 0.3 mm. Због своје благо закривљене структуре произведених слојева гради интересантну геометријску игру која се препознаје када се под различитим угловима преламања светлости посматра израђени узорак. У таквом случају визуелно се групишу површине са једнаком закривљеношћу горњих слојева. Ово са дизајнерског аспекта приказује додатни квалитет генерисаном моделу. Флексибилност произведеног модела велика иако је израђен од ПЛА филамента. Димензија модела је остала не промењена 100 x 100 mm. Модел се састоји од три слоја. Крајње тачке модела дефинисане су тако да се може вршити уклапање у рапортној основи.

Са становишта структуре истражене су квалитативне вредности површине у циљу постизања употребних вредности које би овакве текстилне површине биле употребљене у одевном текстилу. Разматрани су квалитети удобности материјала. Инспирисан пчелињим саћем модел је био интересантан за даљу разраду.

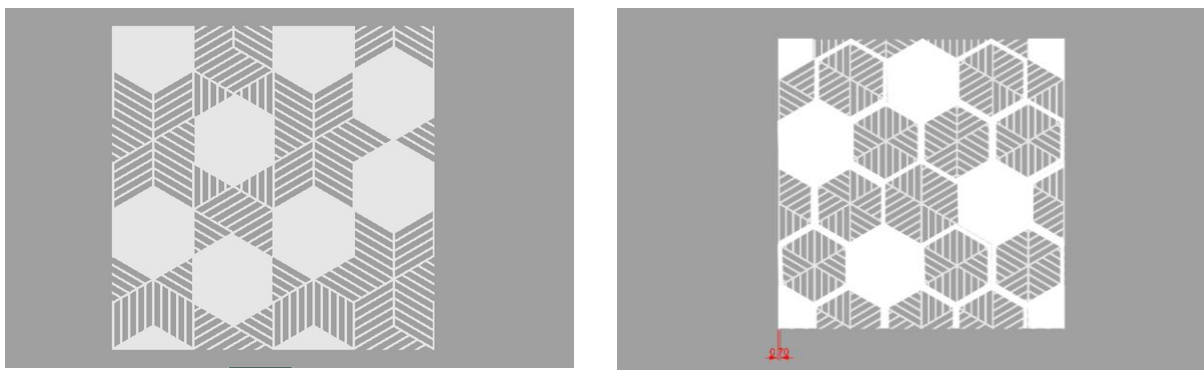


Сл. 64-67горе лево: Генерисани модел бр 4 у Рајно софтверском програму, горе десно: генерисани модел, приказ дебљине линије, доле лево: модел, 100 x 100 mm, ФДМ, ПЛА филамент, доле десно: приказ флексибилност, 2016.

Разрада модела инспирисаног пчелињим саћем се развила у два правца.

Прва разрада се односила само на попуњавање одређених делова мрежасте геометријске структуре да би се добио разуђен и асиметричан дизајн. Израда модела са промењеном структуром у варијацији 2 се повећала на 34 минута. Брзина израде модела је 100 mm/s. Температура при којој се топи филамент у екструдеру 200 °C . Модел је узрађен на платформи која се није загревала. Платформа је пресвучена *Плавом* креп траком. Висина слоја износи 0.3 mm.

Друга разрада истог модела је створила сасвим другачију структуру. Поред попуњавања шестоуглова према симетричној шеми појачане су и линије контура шестоуглова који нису дефинисани комплетном испуном. Овако је за разлику од претходне разраде којом се добила асиметрија у овом случају дефинисала симетричност и ред хармоничног дизајна. Брзина израде модела је 100 mm/s, Температура при којој се топи филамент у екструдеру 200 °C Платформа је без загревања, а на платформи пресвучена *Плава* креп трака. Дебљина наноса филамента је 0.3 mm. Време израде модела 43 минута 13 секунди.



Сл. 68-69 Лево : Генерисани модел бр 4 у првој разради у Рајно софтверском програму, 100 x 100 mm, десно горе: модел бр.4 у другој разради, 100 x 100 mm, 2016.

Иако се ПЛА филамент широко примењује и веома је популаран материјал у 3Д технологијама у овом сегменту устраживачког процеса утврђено је да је *Ница Флекс* филамент који једино може одржати потребну флексибилност и да је водећи са супериорним параметрима и дуговечношћу. Његова конзистенција у пречнику и овалитету (округлост) превазилази друге полиуретанске материјале. Направљена из специјално формулисаног термопластичног полиуретанског (ТПУ) материјала, ова патентирана технологија садржи текстуру која се лако прати и наноси. Резултат је јединствено флексибилан, снажан узорак или производ. Овај филамент је идеалан за екструдере са директним погоном. *Ница Флекс* филамент се може употребити на различитим машинама ФДМ технологије. Спецификациона табела даје резултате који се односе на дефинисани тестни стандард и детаље узорка. Различите конфигурације израде, као и различити услови тестирања, амбијентално окружење, могу довести до различитих резултата. Специфична тежина и тврдоћа су константе које су саме по себи карактеристике материјала. Апсорпција влаге, вредности повезане са тестовима чврстоће, запаљивости, тачкама таложења, топљења и стакленом транзицијом припремили су на Технолошком факултету у Београду.

ТЕХНОЛОШЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТПУ МАТЕРИЈА

Опште карактеристике	Метод тестирања	Имперал	Метрички
Специфична гравитација	ASTM D792	1.19 g/cc	1.19 g/cc
Апсорпција влаге - 24 сата	ASTM D570	0.22 %	0.22 %
Механичка својства			
Затезна чврстоћа	ASTM D638	580 psi	4 Мра
Затезна чврстоћа, Ултимате	ASTM D638	3,700 psi	26 Мра
Модул истегања	ASTM D638	1,800 psi	12 Мра
Издужење при производњи	ASTM D638	65%	65%
Издужење у паузи	ASTM D638	660%	660%
Жилавост (интегрисана кривуља напрезања и напрезања, израчунати напон к напон)	ASTM D638	12,000 in·lbF/in ³	82.7 m*N/m ³ x10 ⁶
Тврдоћа	ASTM D2240	85 Shore A	85 Shore A
Снага ударца (Izod, 23C)	ASTM D256	2.0 ft.lbf/in ²	4.2 kJ/m ²
Отпорност на абразију (губитак масе, 10.000 циклуса)	ASTM D4060	0.08 g	0.08 g
Термичка својства			
Тачка топљења (помоћу диференцијалног скенирања калориметара)	DSC	420° F	216° C
Стаклена транзиција (Tg)	DSC	-31° F	-35° C
Температура одбијања топлоте(HDT) @ 10.75psi/ 0.07 Мра	ASTM D648	140° F	60° C
Температура одбијања температуре(HDT) @ 66psi/ 0.45 Мра	ASTM D648	111° F	44° C

5. ПРИМЕНА ИСТРАЖЕНИХ МОДЕЛА

Истраживање у оквиру примене ФДМ технологије као резултат произашло је у три самосталне изложбе³⁷ које су имале за циљ да утврде обједињење истраживачког процеса са рашчлањеним испитивањем структура и флексибилности 3Д модула унапред задатих димензија и реализацију текстилних материјала биоразградивим филаментима - полуластик ецида (ПЛА), материјала који је направљен на бази житарица.

Потврда проученог сегмента истраживања се остварила и кроз више колективних изложби³⁸ на којима су били изложени и образложени радови произашли као промишљање примене узорака добијених кроз аналитичко-експерименталну целину. Структуралне и текстуалне вредности текстилних површина које се ослањају на естетику веза у одевном текстилу су биле основни квалитети који су истраживани у оквиру овог сегмента докторског рада.

Представљање у галеријском простору у виду концептуално осмишљених поставки утврдило је концепт истраживања и израду коначног докторског рада. На тај начин приступиљено је бољој критичкој анализи и систематичношћу је истражен и утврђен даљи развој нових креативних могућности тактилних и доживљајних сензација текстила новим технологијама. Кроз аналитичко-експериментални део истраживачког процеса испитане су могућности примене 3Д произведених елемената уједињених у форму са текстилом класичне израде, као и у комбинацији са кожом. Такође је истражена могућност израде спојених 3Д елемената без додатка текстила. У овој фази истраживања као материјал коришћен је само ПЛА филамент који има мању флексибилност, а која се постиже само дефинисањем деликатног и тананог дизајна.

³⁷ Самосталне изложбе у оквиру истраживачког процеса докторског рада.

Поетика традиционалног са ових простора преведена у савремени дизајн, пројектован у адитивним технологијама и сведена на геометрију која се препознаје у 3Д моделу троугла искоришћена је као инспирација за радове презентоване у оквиру изложбе под називом *Кодификација*, одржане у Малој галерији УЛУПУДС-а у априлу месецу 2015. године. На самосталној изложби *Репетиција* одржаној у галерији Културног центра Србије у Будимпешти, Мађарска у новембру месецу 2015. године представљени су радови који су настали такође у оквиру поменутог сегмента докторског истраживања, тако да је акценат стављен на понављању и концептуалној игри инсталација и одевних предмета који су израђени адитивном производњом. Изложбом под називом *Теслација* одржаној у Културном центру Београда у јануару месецу 2016. године акценат је стављен на употребну вредност произведених 3Д модела, тако да њихова употреба буде сведена на детаљ у комбинацији са класично произведеним текстилом, што је представљало сасвим нови изазов у току комплетног истраживања.

³⁸ Учешће на колективним изложбама у оквиру истраживачког процеса докторског рада и награде..

У оквиру 20. Међународне изложбе Савеза иноватора РС одржаној у Бања Луци, под називом *Иност младих 2018*, одржаној у Дому омладине Бања Лука, од 18. до 20. априла 2018. године, рад је добио *СРЕБРНУ МЕДАЉУ и ПЛАКЕТУ за иновацију*. На изложби XXXV Међународна изложба, Проналазаштво – Београд 2018, *Предузетништво данас за будућност* и IV „Куп нација младих иноватора – Београд 2018. под називом *Корак по корак до креативне иновације*, одржане у Галерији Дома Ваздухопловства и ПВО, у Београду од 7-11. маја 2018. године, део истраживања у оквиру ове теме је понео *ЗЛАТНУ МЕДАЉУ ЗА ИНОВАЦИЈУ* у домену дизајна као и *ДИПЛОМУ ЗА ИНОВАЦИЈУ*. Такође један сегмент овог докторског истраживања усмено је презентован на Технолошком универзитету у Грацу, Аустрија, у оквиру 10-ог Конгреса ЕРИЕМ/ESTIEM под називом *CREATING VALUE*, одржаног од 3-5 маја, 2018. године, рад је потврђен Сертификатом на поменутој конференцији.

5.1. РЕПЕТИЦИЈА

Примери у којима можемо уочити репетицију, односно понављање различитих геометријских тела веома су чести у природи, али и у дизајну. Различито понављање геометријских фигура, како у дизајну ентеријера тако и у архитектури, текстилу, графици помаже стварању нових целина, али и добијању осећаја хармоније. Код репетиције важни су симетрија и ритам понављања одређених фигура. Ритам репетиције може визуелно да нагласи геометријске фигуре и сам њихов изглед.

У овом делу истраживачког рада истраживана је граница између ликовне и примењене уметности где је њена основна инспирација једностранични троугао, који се налази у различитим елементима и непрестано се понавља. Назив изложбе је *Репетиција*.

Основном поставком композиције, репетицијом једног елемента, односно различитим понављањем геометријских фигура, ствара се хармонични ритам целине, која представља инсталацију у којој је доминантна репетиција усвојеног облика белог троугла. Његово понављање овде губи хармонично кретање и покреће се у свим могућим правцима на композицији на зиду.

Употреба рељефа овде појачава ритмичност, обогаћује визуелни доживљај и наглашава тродимензионалност целе групе која је сама по себи својом формом истакнута, али различитим дубинама градивног модула наглашава сложеност композиције која у самој идеји има велику улогу. Она описује истоветну свакодневицу са њеним проблемима који се увек чине огромним, несавладивим.

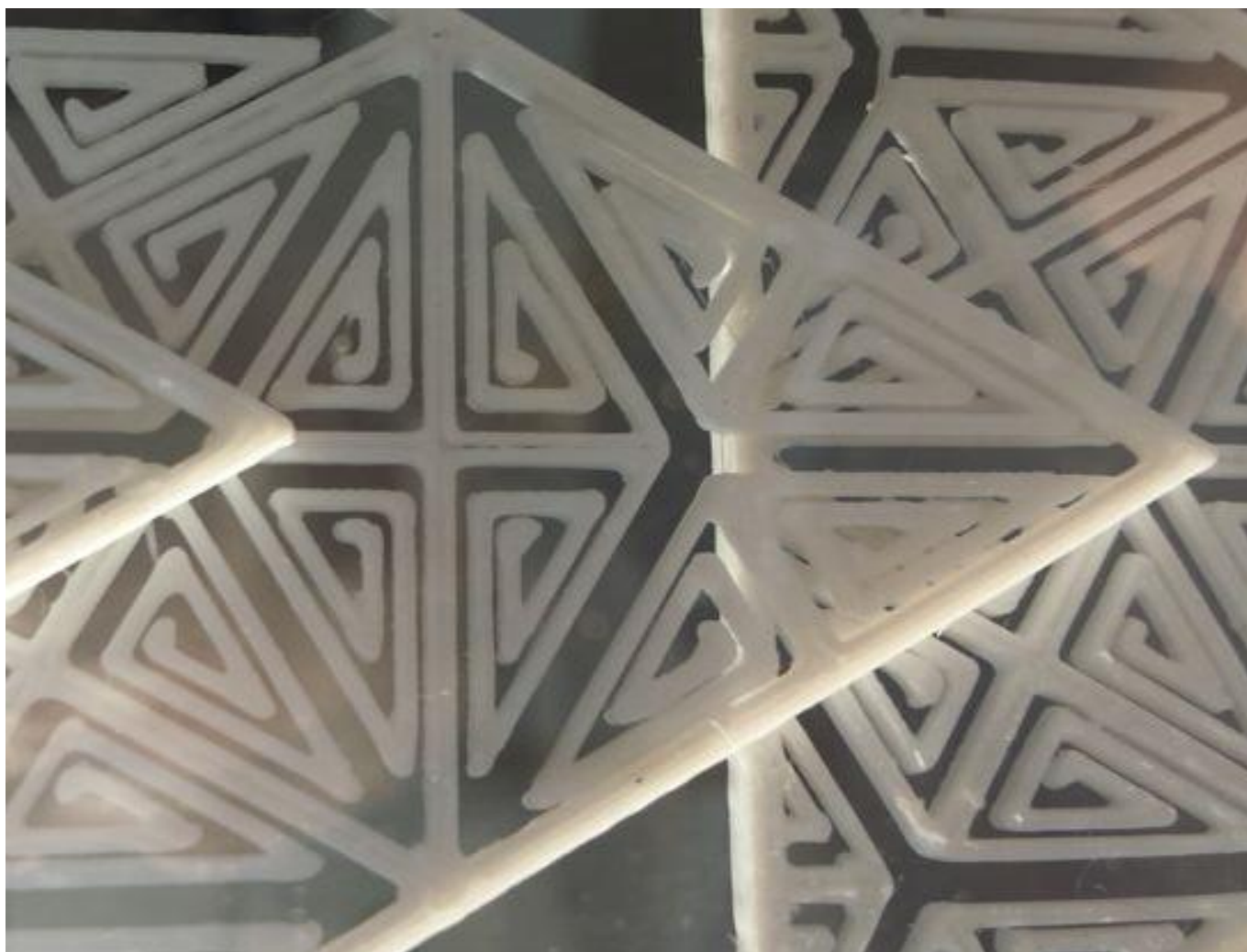
Постепеним кретањем троуглова из једне у другу пирамиду говоре о цикличном току који је свуда око нас, као и о могућности решења одређеног проблема са више различитих полазишта.



Сл.70 *Репетиција*, Културни центар Србије, Будимпешта, Мађарска, детаљ, ФДМ технологија, ПЛА филамент, 2015.

Репетиција примењена на моделу хаљине хармонична у ритму. Динамика рефлексије промене угла под којим светло делује на површину разиграва је, ..градећи складну целину. Светлосне разлике су у функцији динамичности и занимљивости композиције. Између њих се успоставља ритмичан распоред са различитим интервалима.

Поетика рада се развија као непрекидни ток, немирни дух, неуништива енергија која се претаче и мења, што и карактерише један уметнички сензибилитет који не мирује и у сталном је покрету. Облачење одеће ствара узбудљив императив и облик самоизражавања. Облике допуњују тело и стога и емоције. Креативна употреба биоразградивих материјала треба да постигне визуелизацију финалног уметничког и дизајнерског рада. Истовременим испитивањем текстуре, структуре и флексибилности, утисак, јасноћа и транспарентност повећаваће компактност, а истовремено и унутрашњу динамику тканине.



Сл.71 *Репетиција*, Културни центар Србије, Будимпешта, Мађарска, детаљ, 3Д штампа, 2015.





5.2. КОДИФИКАЦИЈА

Под називом *Кодификација* подразумева се став где се уз примену науке и нових научних достигнућа изградило једно ново визуелно поље, али и како се науком могу достићи нова револуционарна решења, а имајући у виду коришћење 3D моделовања. Представљен је у Малој галерији УЛУПУДС-а априла месеца 2015. год. Изложба представља почетну фазу истраживања у оквиру докторских студија на Факултету примењених уметности.

Проучавањем нових аспеката актуелног уметничког стваралаштва савременог дизајна и савремених дела светских уметника у области текстила, а који су реализовани новим технологијама, усмерених на разради нових површинских интервенција и сагледавањем великог потенцијала и могућности осмишљавања нових садржаја експерименталног карактера, усмереног на новом визуелном ефекту и употреби различитих комбинација материјала, који могу бити природног и вештачког порекла, овим радом се желе разоткрити све додирне тачке уметности и дизајна када посматрамо савремени текстил.

У времену у коме живимо све је постало *Код*, чак и ми сами постајемо кодом обележени. Пребирањем појединачних закона и њиховим сређивањем и уношењем у једно јединствено, систематско дело вршимо кодификацију, али у савременом друштву кодифицирање преузима нашу посебност и чини се да је све шематизовано и обележено.

Као *Код* одабран је геометријски облик једнакоугаоног троугла, јер поседује симетрију, којим се жели пронаћи граница између уметности и дизајна и показати посебност ове границе за сваког појединачног уметника.

Све композиције подразумевају тродимензионално простирање са жељом да се посматрачевој представи да могућност кретања, а суштинска одлика просторне целине свих композиција јесте континуитет. Ако се томе дода деловање светлости и сенке, њихов просторни однос још једном се потенцира и изнова намеће.

На основу тога жеља је да се прикаже да појединачне композиције својим положајем и применом учествују у приказивању целокупног простора а у зависности од начина примене оснажују подстицај за просторно схватање целине.

Са друге стране, оваквом применом они се сами по себи снажније изражавају као појединачни предмети, јер управо у оквиру целине имају одређену просторну функцију.

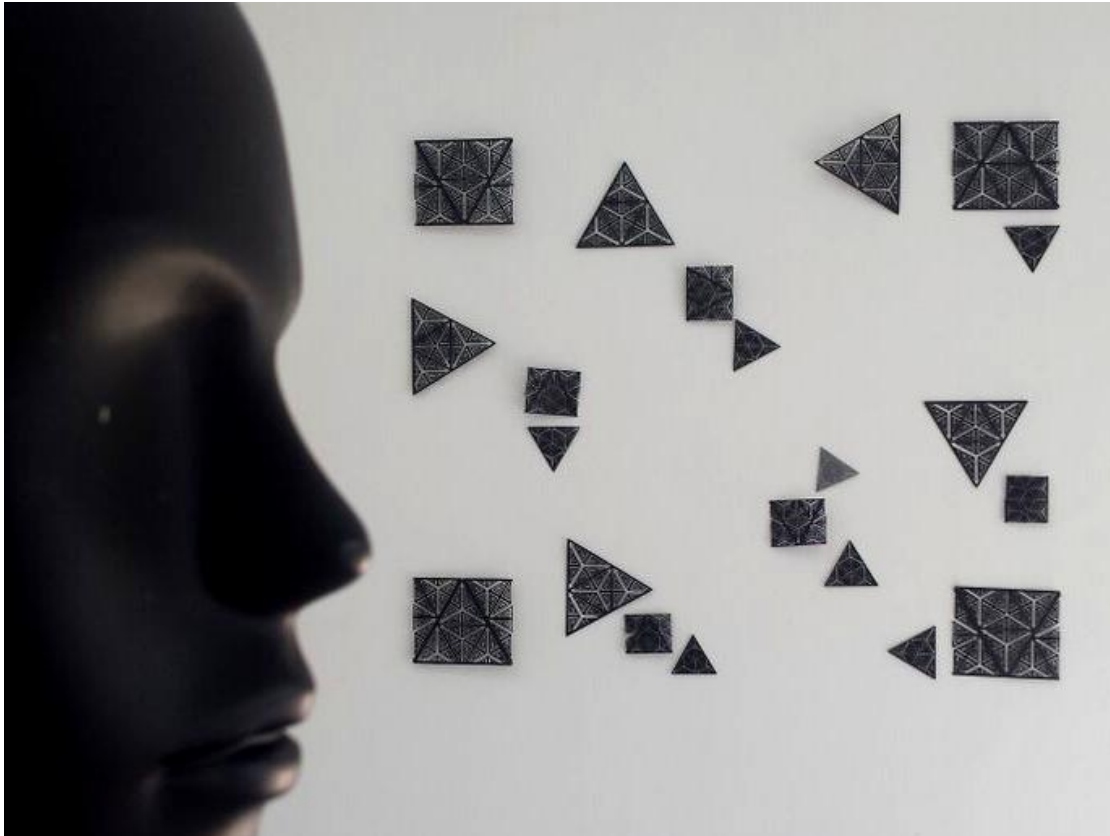
Идеја о борби за или против кодификације, која је представљена овим радом и уз помоћ које се развија филозофија размишљања, говори да живот у себи носи успоне и падове али даје и снагу за превазилажење препрека на које наилазимо.

Инсталација која представља монолитни блок који на експлицитни начин приказује КОД којим се учитава одређена интернет страница са информацијама и то преко било ког андроид апарата. Инсталација у себи носи поруку непрекидног кретања данашњег света, који се назауостављиво креће ка технолошком напретку. Истиче се једноставном квадратном формом.



Сл.74 *Кодификација*, Мала галерија УЛУПУДС-а, Београд, композиција *Код*, детаљ, ФДМ технологија, ПЛА филамент, 2015.

Са намером сведеног, монохроног колорита и благим рељефом, приказују јуче, данас и сутра у овом брзом времену у коме је свакодневица скоро иста. Да ли ће се све у будућности учитавати путем неког кода-шифре или се још мало можемо одупирати оваквом исходу?



Сл.75 *Кодификација*, Мала галерија УЛУПУДС-а, Београд, композиције *Код*, 1000 x 1000 mm, ФДМ технологија, ПЛА филламент, 2015.

Композиција у себи носи поруку непрекидног кретања данашњег света, који се назауостављиво корача ка технолошком напретку. Истиче се једноставном квадратном формом. Са намером сведеног, монохроног колорита и благим рељефом, приказују јуче, данас и сутра у овом брзом времену у коме је свакодневица скоро иста. Да ли ће се све у будућности учитавати путем неког кода-шифре или се још мало можемо одупирати оваквом исходу?

Композиција се надовезује на фигуру која симболизује отвореност ума за нове технологије, али истовремено носи бреме на леђима света којим постајемо свима доступни. 3Д штампани троуглови распоређени су дужином кичменог стуба и асоцирају на оптерећеност умрежавања.

У овом раду су коришћени 3Д штампани елементи у симбиози са кожом. Испитиване су могућности примене мањих сегмената адитивно произведених делова који се препознају као важан детаљ филозофског приступа дизајну.

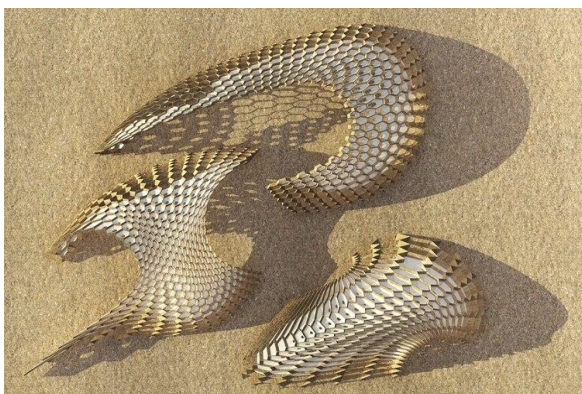
Ритам кроз вертикална и хоризонтална кретања троугла као фигуре којом се гради и фигура квадрата у мањим пољима као и целокупне композиције, граде динамику целине, а идејно приказују колико заиста имамо времена за комуникацију међу собом и да ли је она остварива данас.



5.3. ТЕСАЛАЦИЈА

Теселација равни представља моделовање равни облицима без преклапања и шупљина. *Хибридне Био структуре* које се могу посматрати у домену теселација у архитектури као полазиште инспиративно су утицале на овај сегмент истраживања. Такве структуре је дизајнирао Ријад Јоука (Riyad Jouka)³⁹ у Великој Британији. Својим пројекатом открио је још једну примену Воронои теселације које добијају особине *поља*, тако да у условима мембранске структуре са мноштвом герометрије за подршку. Простори различитих функција касније су генерисани изнутра, чиме се формира просторна координтна челична структура.

У овом сегменту рада разматране су правилне и неправилне теселације. Као правилне теселације коришћен је искључиво један облик, једнакостраничног троугла, док се за неправилне користио сегмент једнакостраничног троугла који је чинио једну трећину овог троугла и имао јединствен облик. Посматрајући теселирану раван као текстилну површину један елемент се понављао у одређеном обрасцу. Једно од математичких решења које је коришћено кроз теселацију је симетрија или основна симетрија, геометријска трансформација.



Сл.77-80 *Звездана шкољка* (Shell Star) Ријад Јоука, пројекат са применом Воронои теселације, 2014.

³⁹ https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/13/e3sconf_icemee2018_03015.pdf.

Воронои алгоритам одражава тежину максималне деформације у структури мембране. Воронои теселације су настале након постављања основе која је заснована на унутрашњој функцији, осветљењу околине, итд.

Упоредо са техничким делом истраживања у 3Д програмима и разради самог троугла кроз адитивну производњу, приступљено је осмишљавању идејног концепта овог рада кроз скице рађене руком и њихову разраду у дигиталном поступку.

Управо дигитална разрада скица је омогућила брзу промену у оквиру истраживања композиционих целина као и проналажење најбољих решења у оквиру њих. Промене, токова и кретања форме и њихово повезивање, размештање утиска текстуре, његово пласирање на жељена места предности су које се постижу оваквим приступом. Дигитални поступак рада одговарао је понављању једног истог мотива-фигуре троугла која носи идеју.

У припреми скица размишљање води ка разради структуралних вредности текстилних површина које су одабране за рад, а дефинисане у току рада на пробним узорцима. Са становиштем да је неопходно неговати лични рукопис у изражавању: цртеж и текстуралне вредности површине су израђене кроз скице руком цртане на папиру, затим скениране и употребљене у дигиталној разради.

Квалитети површина засићених искричавом линијом која описује фигуру или портрет супротстављају се прецизним и јасно дефинисаним линијама које описују геометријски облик троугла. Имајући у виду досадашње искуство у раду на узорцима креативно поигравање ефектима и симулације текстилних површина су биле достижне.

Изражајно средство које носи основу рада је линија са својим градацијским вредностима и квалитетима. Она је прецизна, контурна, континуирана када њом је описан облик. Испрекидана, искричава и експресивна и гради ритам у површинама. Цртеж представља основу пројекције целе композиције и сваког детаља појединачно.

Површине су рустичне или смирене, са или без линеарне игре у оквиру њих. Такође, прецизно су дефинисане у зависности да ли наглашавају облик или повезују композиционе делове у складну целину.

Површина вибрира у оку посматрача или га провоцира својом чистином одакле проговара својим различитим квалитетима. Текстура у оквиру површине изграђена је сударом линија различите градацијске вредности. Тако кретањем и различитим правцем линије изграђује се ритам целе композиције.

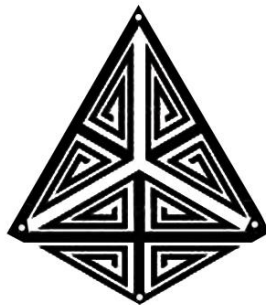
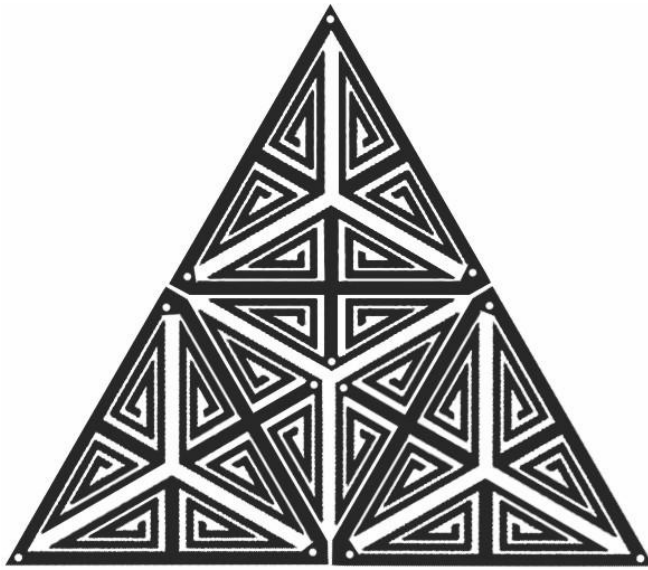
У малом формату испитати својства материјала који су у употреби у адитивној производњи данас су одговори на којима је стављен акценат у аналитичко-експерименталној фази рада.

Поетика идејних решења приказана је на радовима који представљају цртеж руком рађен који носи енергију ствараоца и дефинише профил лика који није упућен на сексуалну припадност већ може припадати сваком, а у себи носи геометрију одабраног модел троугла и његову разраду у 3Д форму. Односи портретаских профила који су у јединству или сукобу једни са другима прожимају форме великог троугла или композицијски понављани троуглови и њихови делови којима се изграђује вибрирајућа површина.

Реализовани су радови у две групе група црних радова и група белих радова представљеним на форматима 500 x 700 mm наизменично постављеним на левој и десној зиду изложбеног простора. Црни радови представљају цртеже где се прожимају фигурација и естетика троугла. Поетика радова упућује на жељу за решењем и када проблем постоји, предаја није оно чему тежимо.



Сл.81 *Тесалација*, Културни центар Београда, скице, комбинована техника, 2016.

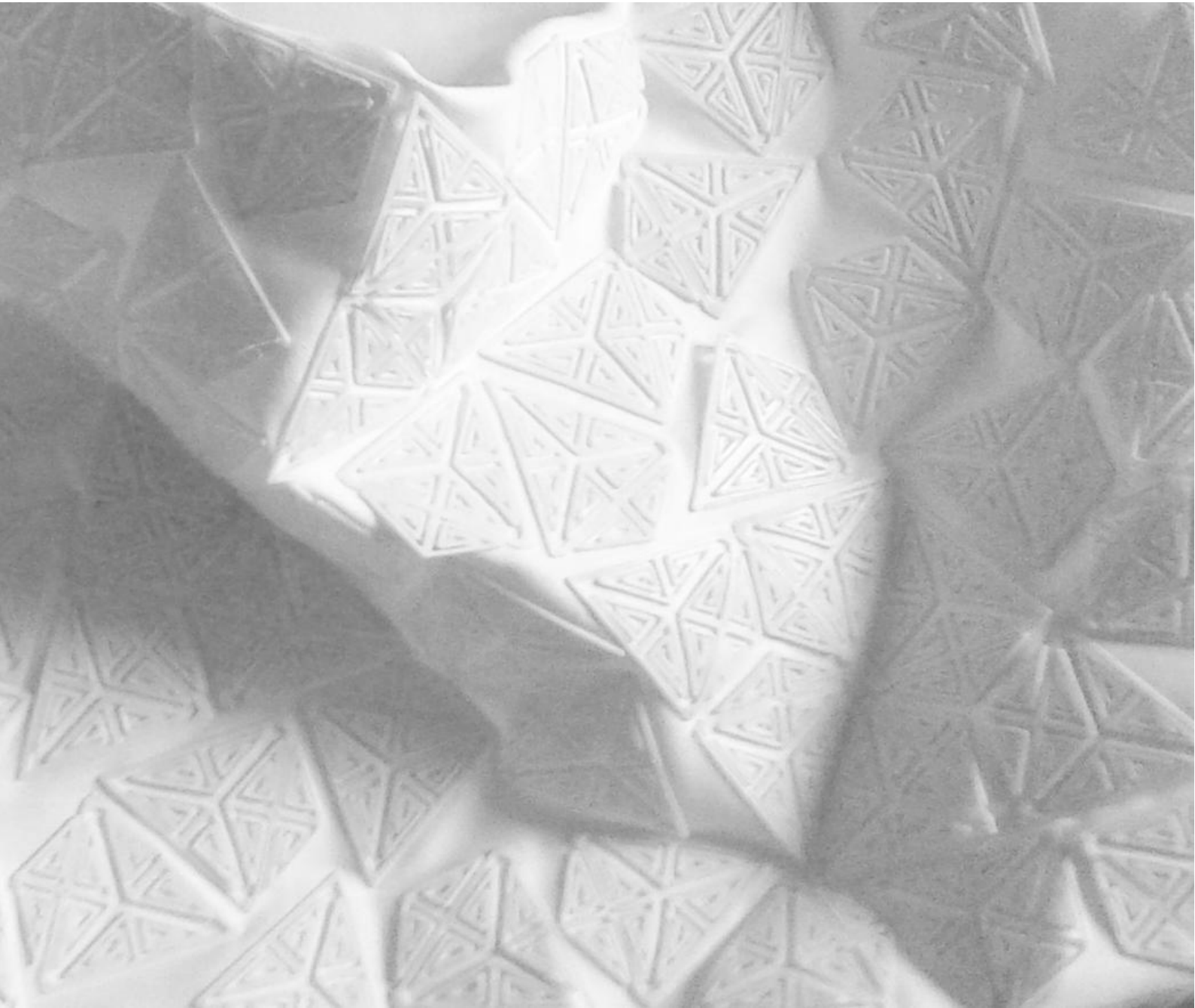


Сл.82-83 горе: Модел троугла; доле: Једна трећина троугла

Даљим промишљањем о тесалирању површине, разрада једнакостраничног троугла, је креирана тако да је троугао подељен на три једнака дела. Сваки од тих делова је морао бити једнак другом. Тиме је дефинисана новонастала фигура коришћена као елемент који је ротиран и којим је тесалирана површина тканине. Дизајнерско решење једнакостраничног троугла и новонастале фигуре да буде изграђен од линијатурне структуре имало је за циљ постизање што веће флексибилности ПЛА филамента који нема велика флексибилна својства. У овом примеру инспитавија је била природа иако на први поглед тако не изгледа, али уклапањем и тесалирањем једнакостраничног троугла достигнуте су форме пчелињег саћа што је била основна идеја. На самом моделу у угловима се налазе мали прорези у виду рупица који су предвиђени за ушивање 3Д модела произведених ФДМ технологијом на памучну тканину.



Сл.84 *Тесалација*, Културни центар Београда, детаљ, комбинована техника, 2016.



Сл.85 *Тесалација*, Културни центар Београда, детаљ, комбинована техника, 2016.

6. ХАОС – ИЛИ МОЖДА НЕ

Људски гениј може да створи разне изуме, долазећи, помоћу различитих инструмената, до једног те истог циља, али он неће никада моћи да надмаши природу по лепоти, економичности и непосредности, јер у њеном стварању ништа не недостаје нити ишта претиче.

Леонардо да Винчи

Природа је човеку извор инспирације и одувек је људској врсти служила као огледало, надахњујући префињена дела уметности.

Природа је нашла бројна решења за проблем с којима се ми још увек боримо. Савремени дизајнери уче од природе примењујући њене законитости у својим дизајнерским решењима.

Облици нису сфере, планине нису стошци, обале нису кругови, лавез није гладак, ни муња не путује равном линијом.

Беноа Манделброт

Када се учини да природа ствара маестрална дела без реда и смисла, без логике помислимо на хаос који доживљавамо као непријатан, непредвидив и застрашујући. Олујни ветрови, стрме и оштре стене, комплексност нерватуре листа папрати и други облици у природи наизглед као да су створени управо из хаоса, али да ли је баш тако.

У математици са појавом *Теорије хаоса*⁴⁰ описује се понашање одређених динамичних система, односно система којима њихово стање еволуира током времена, тако да они могу да испоље динамику веома осетљиву на почетне услове која је такође позната и као *Ефекат лептира*, који описује како мале варијације могу да утичу на огромне и комплексне системе као што је време. Као резултат овакве осетљивости понашање хаотичних система изгледа као случајност. Манделброт, математичар, је био један од првих корисника рачунарске графике за креирање и приказивање фракталне геометрије, што је довело до открића Манделбрововог сета 1979. године. Тиме је он успео да покаже како се визуелна комплексност може креирати из једноставних правила. Показао је да објекти који су се типично сматрали грубим, сложеним или хаотичним, попут облака или морских обала имају степен уређености. Његова истраживачка каријера обухвата доприносе пољима геологије, медицине, космологије, инжењерства и друштвених наука.

Креативно схватање визуелне форме је уско повезано са трагањем за могућношћу и смислом другачијег опажања и стваралаштва коришћењем савремених визуелних посредника коју можемо спознати и у рапсодији изумитељства природе око нас. Дизајнерски концепт рада не бави се само спољном формом прилагођеном функцији, него и новом логиком смисла те исте форме и њене функције кроз процес савременог обликовања.

⁴⁰ Smith, Leny, *Chaos: A Very short Introduction*, Oxford, New York, 2007.

У прошлости је Леонардо да Винчи, један од највећих научника, проналазача и уметника, инспирацију и идеје проналазио захваљујући проучавању природе. Поред Леонарда ту су и изумитељи и инжењери који у сарадњи с биолозима долазили до генијалних дизајнерских решења. Ренесансно буђење интереса за природу најочигледније је било управо код Леонарда који је био фасциниран природом, студиозно је проучавао и покушавао опонашати.

У част Да Винчију његовим је именом прозван индекс (Да Винчијев индекс) који дефинише активности и напредак у подручју биомимикрије, бележећи број патената, објављених научних чланака и осталих публикација из подручја биомимикрије, броја примене тих вредности у одређеном временском раздобљу.

Неупоредива је способност природе да усклади лепоту, економичност и функционалност, па није случајност да велики изуми током историје имају своје изворе у аналогним природним елементима. Концепт биомимикрије⁴¹, коме се широко приступа у савременој науци и уметности, састоји се од анализирања начела природних елемената и њихових преношења на поједина решења у подручју технологије и дизајна.

Биомимикрија, дизајнерска дисциплина која своју инспирацију и решења за одређене проблеме налази у моделима које ствара сама природа и које свакако не треба занемарити. Сама реч биомимикрија потиче из грчких корена речи *био*, што значи живот и *мимесис* што значи опонашање, те би се могла превести као опонашање природе. Иако је тек недавно попримио модеран назив, дизајн инспириран природом постоји већ вековима.

Назив биомимикрија појавио се 1982, а популаризован је 1997. издавањем књиге Биомимикрија: Иновација инспирирана природом ауторке Џенин Бењуз⁴² (Janine Benyus).

Џенин Бењуз сматра да поручује проналазача лежи у решавању проблема везаних за дизајн уколико се прво угледају на природу. Ту се проналазе инспиративна решења која ствари чине водоотпорним, аеродинамичним, која користе соларну енергију и друго.

*Ако бих могла да откријем било шта сакривено од нас, барем у модерним културама, било би то нешто што смо заборавили, нешто што смо знали јасно као што знамо сопствена имена. А то је да живимо у способном универзуму, да смо део изванредне планете. И да смо окружени генијалношћу.*⁴³

Џенин Бењуз

⁴¹ <https://www.ted.com/topics/biomimicry>.

⁴² https://www.ted.com/talks/janine_benyus_biomimicry_in_action.

⁴³ https://www.ted.com/talks/janine_benyus_biomimicry_in_action.

Основна идеја биомимикрије јесте да је, природа сама по себи сјајан инжењер чије технике би требало примењивати и копирати у решавању наших свакодневних изазова. Природа, домишљата по потреби већ је решила велики број проблема с којима се модерно друштво данас сусреће.

Након 3,8 милијарди година еволуције, природа је дошла до генијалних решења које проналазимо свуда око нас. Сви неуспеси природе су постали фосили, а оно што нас окружује, вероватно ће постати једна од смерница садашњег и будућег развоја света.

Решења која нуди природа могу допринети стваралачком процесу помоћу аналогije и уједно својим геометријско-математичким моделом. Могу се, на пример, уочити сталне математичке пропорције у телесној грађи људи и животиња, као и код биљних структура. Та геометрија у природи често је здружена с концептима естетике, склада и уравнотежености, сачињавајући истински аспект лепоте.

У подручјима као што су индустријски дизајн, архитектура и инжењерство може се у тражењу концептуалних и иновативних решења приметити стална употреба аналогija и непосредна примена природних принципа.

Биомимикрија је технолошки оријентисан приступ који се у решавању техничких проблема користи поукама из природе. Биомиметичко проучавање темељи се на решењима природног дизајна, одгонетањем његове геометрије и функционисања у потрази за бољим искоришћавањем и мањом потрошњом енергије.

Природа као мера значи примењивати еколошке стандарде за просуђивање примерености и оправданости иновација. Након милијарде година еволуције природа је научила шта је корисно, прикладно и трајно.

Природа као учитељица означава нови начин проматрања и вредновања природе. Не бити фокусиран на то шта све можемо извући из природе, већ шта од ње можемо научити.

Ојачавање темеља индустријске екологије корисно је за заштиту моћне идеје да природа служи као модел, уместо да је користимо као додатак, пуко реторички или као примедбу у литератури о управљању околином. Кључни разлог укупне неодрживости савремене цивилизације лежи у дуалистичком раздвајању природе и културе. У природи стоји да су сви људи и све врсте сједињени у јединствену животну заједницу. Међутим, култура се обично сматра нечим потпуно независним и одвојеним од природе. Без обзира на те преокренуте културне вредности, од почетка индустријске револуције, редукционистичка је наука човеку омогућила да осмисли низ моћних и манипулативних технологија које преображавају планету тако да је и уништавају.

Велике биомиметичке иновације човечанства упозоравају постављајући питање: Шта може биомимикријска револуција учинити различито од индустријске револуције? Да ли се може осигурати да гром из природе неће бити украден и употребљен у некој кампањи против живота? Можда оно што је заиста потребно није само технолошка промена, већ промена нашег ума која би побудила осетљивост човека на поуке природе.

Неки примери у дизајну, уметности, инжењерству и архитектури непосредна су примена решења утемељених на начелима природе. Та начела могу бити изражена математичким обрасцима, геометријским облицима или функционалним предлозима који су инспирисани природом.⁴⁴

Размотрени примери јасно показују постојање интелигенције у природи, одговорне за грађу сваког и најмањег њеног дела. Изгледа да у природи ништа није случајно и да све има своје место и облик подесан да што боље служи целини.



Сл. 86-89 горе лево 3Д произведена софа, Лилиан ван Дал (Lilian van Daal); доле лево, ЛСУ Архитектура у Чикагу (LSU ARCHITECTURE IN CHICAGO: Nature Boardwalk at the Lincoln Park Zoo, Линколнов ЗОО врт, трем; горе десно, Материалисиус, белгијски дизајнери, камп ; доле десно, Цесар Мадрегал, Алекс Дорн, Марко Капрани, Андреа Торено, Политехника у Торину

⁴⁴ <https://www.scientificamerican.com/article/fractals-chaos-video/>.

У мемоарима Манделброта, објављеним после његове смрти, овај научник је написао *Не осећам да сам измислио Манделбровов сет, као и све остало у математици, то је одувек било тамо, али посебна животна орбита учинила је праву особу на правом месту у право време да почне да истражује овај проблем, да почне да поставља многа питања о томе и да претпостави много одговора.*

Мудрост природе може још много тога да открије човеку, а то ће бити могуће, као што филозофска традиција каже, тек када се људи буду заиста осећали посвећенима својој околини и одговорнима за исправну примену наученог.

Инспирисана биомимикријом и *Теоријом хаоса*⁴⁵ као сегментом истраживања у оквиру сазнајног које нам пружа природа, реализација идејних решења је дефинисана кроз инспирацију нерватуре листа, датој у неограниченом броју могућности разраде дизајна и сегмента којим би се градила текстилна површина.

Истраживачким процесом у оквиру аналитичко-експерименталне целине истражене су форме оштрих ивица и троугла који дефинише својим понављањем форму шестоугла, савршеног облика за моделовање у домену архитектуре која се инспирисана пчелињим саћем развија као решење за чврсте и стабилне структуре.

Након овог истраживања правац естетског решења је такође усмерен на инспирацију из природе и даље се развија као блага крива линија, инспирисана фракталима и нерватуром листа. Благо умерено тежиште у оквиру стилизоване форме, које се препознаје по изражајнијој контурној линији која не прати доследно шему нерватуре листа има за циљ да дочара разгранату мрежу којом би се градио флексибилни дизајн. Тиме је поред поменутог постигнута и занимљивија игра са жељом да се изврши транспоновање као и да асоцијација не буде директна. Усвојени модел се својим параметрима показао као погодан за реализацију коначног рада. Испитивањем његове флексибилности која се постиже самом структуром испитане су и могућности употребе различитих материјала, филамената који су већ били истражени у аналитичко-експерименталној целини. За израду модела, у овој фази рада, коришћене су две врсте филамента. Параметри ПЛА филамента су показали да је модел који је штампан овим филаментом погодан за даљу разраду у оквиру индустријског дизајна, те да се његова већа флексибилност може постићи употребом ТПУ филамента који је један од најфлексибилнијих филамената који се користе у 3Д технологијама.



Сл.90 Манделбровове фотографије фрактала,
<https://www.scientificamerican.com/article/fractals-chaos-video/>

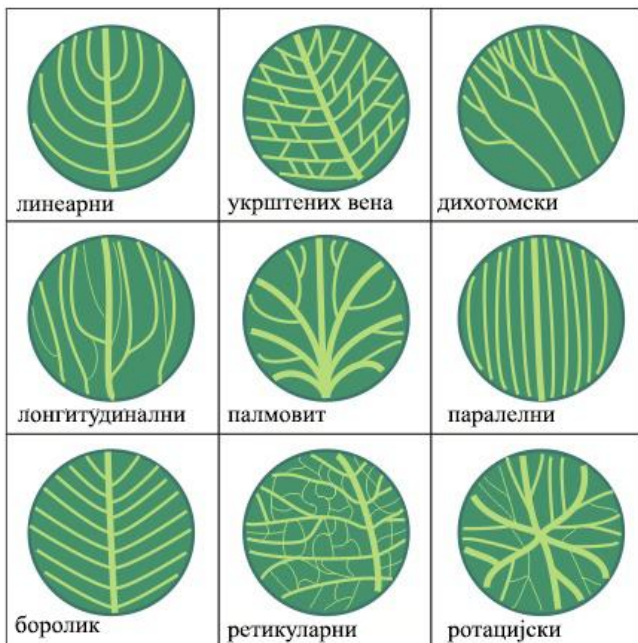
⁴⁵ Mandelbrot, Benoit, *The Fractalist; Memoir of Scientific Maverick*, Pantheon Books, New York, 2012.

6.1. ФРАКТАЛИ – ИГРА ЗБРКЕ

Разрада усвојеног модела који је након цртежа оловком на папиру дизајниран у 3Д софтверском програму Рајно инспирисана је везом између науке и уметности. Фрактали су симбол оваквог споја, симбол развоја природних наука, али и симбол два компламентарна начина спознаје природе- аналитичког и интуитивног.

Фрактали су реални, корисни модели за природне феномене и облике обала, крвних жила, нерватуре листа, галаксија...налазе се у самим темељима природе.

Термин *Игре збрке*, је математички термин и изворно се односи на метод стварања фрактала, користећи многоугао и иницијалну тачку изабрану насумце унутар њега. Беноа Манделброт је био водећи научник на пољу фракталне геометрије. Био је професор математике. Иако је измислио појам фрактал, многи делови из фракталне геометрије природе (*The Fractal Geometry of Nature*) већ су пре описани од стране других математичара. Свеједно све су те теорије биле сматране изолованима, и неприродним, са неинтуитивним особинама. Манделброт је успео да их уједини у једну јединствену теорију. Такође, он је инсистирао на употреби фрактала као реалних и корисних модела за многе природне феномене, укључујући облик обала и река, структуру биљака, крвних жила и плућа; јата галаксија, Брауново кретање, цене на берзи. Манделброт сматра како су фрактали, у много чему, интуитивнији и природнији, него објекти традиционалне еуклидијанске геометрије.



Сл.91-92 лево: Типови нерватуре листа, десно: Лист са својом нерватуром, детаљ.

Креативним приступом и детаљном анализом мрежаста или ретикуларна нерватура је усмерила даљу разраду цртежом дефинисаних површина. Размишљајући о текстилним површинама које морају да испуне утисак транспарентности, поставка фракталних понављања једног елемента се уклопила у идејни концепт рада.

6.2. ФРАКТАЛИ - САМОСЛИЧНОСТ

Разрада основног модела је инспирисана самосличношћу која је уочена код фрактала.

То су, заправо, објекти који, када се увеличају, сами себе садрже. Када погледамо један његов део, он изгледа слично или потпуно исто као почетни облик и такође је састављен од истих таквих облика све мањих и мањих до у бесконачност (или бар док природа не каже стоп дељењу, а за наше очи то је некада прилично бесконачно).

Наше тело је један велики фрактал у којем се огледа целина – Универзум. А наше мисли и осећаји су мањи делови тог истог фрактала у којима се такође огледа целина. Сав свет око нас и унутар нас је заправо састављен од неког вида фрактала. Могли бисмо рећи чак и да је методика нашег размишљања фрактална.

Још је антички астроном и математичар Аполоније увидео да унутар једне кружнице можемо уписати бесконачно много мањих кружница које се додирују и тиме увео фрактале у математику. Касније, фрактална структура помиње се у 17. веку у Лајбницовим радовима.

У 19. и почетком 20. века разни математичари се баве цртањем и проучавањем фракталних облика. Тада су настале Кохова пахуљица, троугао Серпинског и тепих Серпинског, Хилбертова крива. Тек развојем компјутера ова уметничка област математике могла је да дође до изражаја.

Стилизовани модел је мултиплициран и њиме су играђени метражни купони димензија 700 x 1400 mm.

Истраживањем, рефлектујући на уметничке и естетске вредности текстилних површинских структура савременим техничко-технолошким поступцима, добијени купони одишу савременим дизајном.

Ово се примењује на контекст савременог текстила користећи линију као цртачку форму којом формирана мрежа се развија у градацијским варијацијама. У овом сегменту рада истраживане су и квалитативне вредности површине, узимајући у обзир квалитет флексибилности савремених материјала и могућност ширења позитивних ставова на коришћење нових технологија у савременом текстилу.

6.2.1. Како су то видели математичари

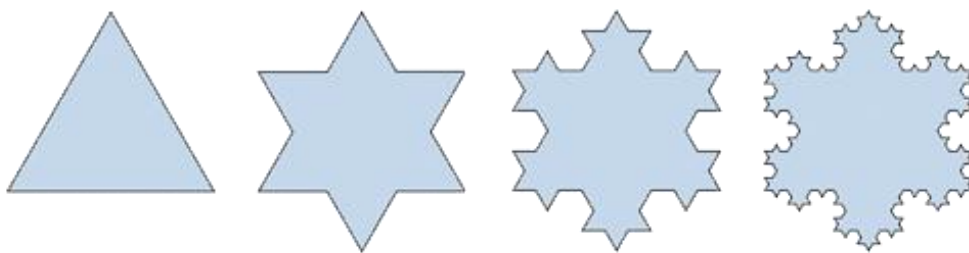
У математици истражују научници почев од поменутог Аполонија, тако и даље преко Коха, Серпинског, Босмана, Јулија и Манделброта⁴⁶, тако и у овом истраживачком раду се уочава могућност разраде кроз исти елемент који се градацијски умањује и сам себе понавља.

6.2.2. Кохова пахуља

Ниелс Фабиан Хелге вон Кох (1870. – 1924.) је био шведски математичар, а ову је криву описао 1904. године. Конструира се тако да се у првом кораку дужина подели на три једнака сегмента. На средњи сегмент додају се још две дужине једнаких дужина тако да заједно са средњим сегментом ставарају једнакостраничан троугао.

Након тога уклони се средњи сегмент и сада имамо четири дужине једнаких дубина. У другом кораку над сваком од ове четири дужине поновимо поступак из првог корака, након чега се цео поступак понавља. У случају кад поступак итерације уместо са дужином започиње са једнакостраничним троуглом, гради се Кохова пахуља.

Занимљиво да ова пахуља има коначну површину, а бесконачан опсег. Фрактална димензија Кохове криве износи приближно 1,2619.



Сл.93 Шема Кохове пахуље

⁴⁶ Mandelbrot, Benoit, *The Fractalist; Memoir of Scientific Maverick*, Pantheon Books, New York, 2012.

6.2.3. Троугао Серпинског

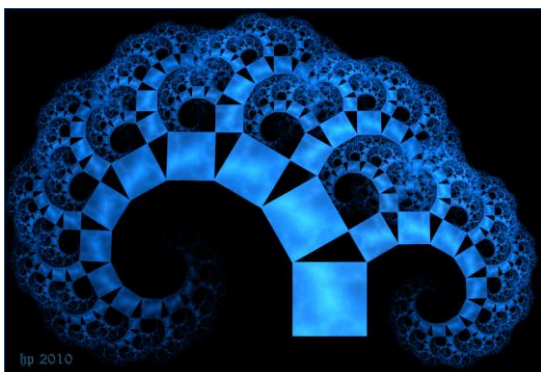


Сл.94 Шема Серпинсковог троугла

Пољски математичар Серпински (1882. – 1969.) представио је фрактал 1915. године, али је овај мотив био познат у уметности дуго низ векова. Од почетног једнакостраничног троугла одузме се троугао (такође једнакостраничан) који се добије спајањем половина страница почетног троугла. Преостала три једнакостранична троугла представљају полазиште за следећи корак. Исти такав поступак може се применити и на квадрат, тада говоримо о тепиху Серпинског⁴⁷.

6.2.4. Питагорино стабло

Овај фрактал је 1942. године описао Данац Алберт Босман (1891. – 1961.), а назван је по Питагори јер се његов почетни облик користи за геометријско предочавање Питагориног правила: површина квадрата над хипотенузом једнака је збиру површина квадрата над катетама. Дакле, започиње се с квадратом над чијом се једном страницом конструише једнакокраки правоугли троугао, при чему катете постају основа за два нова квадрата над којима се понавља цео поступак, а облик који сиз тога произилази је симетричан. Кад се над квадратом уместо једнакокраког конструише неки други правоугли троугао, добија се несиметрично Питагорино стабло.

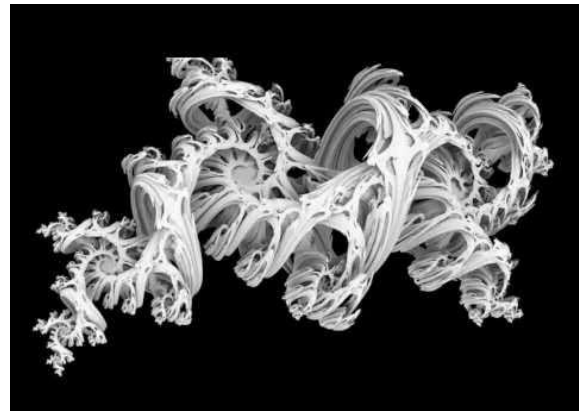
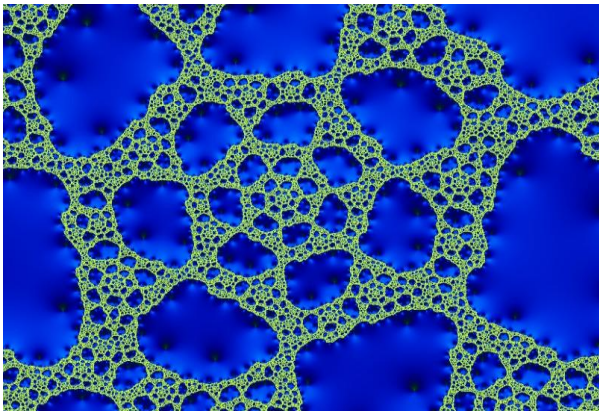


Сл.95-96 Шема Питагориног стабла

⁴⁷ <https://www.ted.com/topics/biomimicry>.

6.2.5. Јулијини скупови

Јулијини скупови спадају у алгебарске фрактале, а добили су име по раније споменутом француском математичару Гастону Јулији који их је описао почетком двадесетог века. Они су захтевнији за исцртавање јер је за сваку тачку равнине потребно проверити конвергентност једног низа комплексних бројева, што је немогуће обавити без рачунара. Зато је појава компјутера дала нови замањ фракталној геометрији.



Сл.97-98 Шема Јулијиних скупова

6.2.6. Манделбровов сет

Манделбровов сет је свакако најпознатији фрактални облик. Када су Манделброт и његови сарадници почели да истражују Јулијине скупове, дошли су до закључка да, Јулијин скуп може бити повезан или неповезан (тачке скупа су распршене попут прашине).

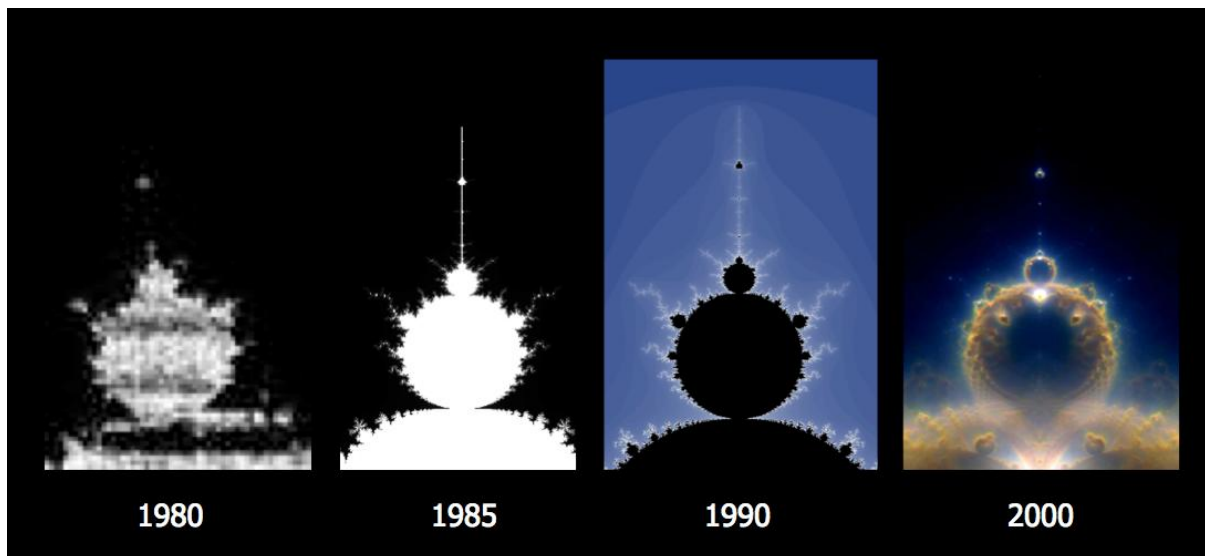
Манделброт је дошао на идеју да начини неку врсту карте тог понашања. За одабрану вредност константе c израчунао је да ли је Јулијин скуп повезан или не. Ако је за ту вредност Јулијин скуп повезан, онда је тачку која одговара том комплексном броју обојио у црно, а ако није, оставио би је белом. Слика коју је Манделброт добио на тај начин била је потпуно неочекивана. На граници скупа почео је да уочава облике који су изгледали као сићушне копије изворног скупа. Што је год дубље урањао у границу (*зумирао* слику), на њој је уочавао нове и нове облике који су били слични полазном, али сваки пут другачији – дубина до које се може урањати у Манделбровов скуп је бесконачна.

Године 1991. године Митсухиро Схисхикура је доказао да граница Манделбрововог скупа има фракталну димензију: *То је запањујуће јер димензија одговара површини, док граница нормалног лика, линија, има димензију*, Манделбровов скуп је најсложенији у математици, вечност није довољна да би се сагледао : изјава је Јамеса Глеицког у књизи *Хаос – рађање нове науке*.

Поменути Беноа Манделброт се сматра оцем фрактала. Он им је осим дефиниције 1975. године подарио и име – латински *фрацтус* значи разломљен, сломљен, поломљен. Колики је његов значај за еру у којој живимо говори чињеница да је Манделбровов скуп најпознатија слика произишла из математике нашег доба и може се апсолутно сматрати културном иконом овог времена. Манделброт је успео да математичку формулу претвори у визулни облик. Тако су настали фрактали.

Фрактал је геометријски облик који се може увећавати у недоглед, при чему се открива богатство његових невидљивих детаља. Уочава се да постоји истоветност између целине облика и његових мањих делова, па је тако фрактал заправо објекат који се састоји од умањених верзија самог себе.

Данас се развијају истраживања Манделбрововог сета тако што научници усавршеним софтверима развијају фракталне слике од 2Д димензионих, како је то запошео Манделброт, у 3Д димензију. Ово је потврда неисцрпног изворишта које нам пружају тајне природе.⁴⁸



Сл.99 Развој Манделбрововог сета од 1980 до 2000. године, <http://archive.bridgesmathart.org/2010/bridges2010-247.pdf>, 2010.

⁴⁸ <http://archive.bridgesmathart.org/2010/bridges2010-247.pdf>.

2007. године је започето даље истраживање Манделбрововог сета као би се фотографије које су представљале фрактале у 2Д димензији представиле 3Д димензијама. Ово је постигнуто новим алгоритмом који користи алгебру засновану на сферним координатама триплета $\{\rho, \phi, \theta\}$ (модул, дужина иширина). Иако, са строге математичке тачке гледишта, процес није тачан, запањујуће слике 3Д сета, поготово када је подигнут до виших полинома $z \rightarrow zn+c$ представљају фрактал који је назван Манделбулб (Mandelbulb). Могуће је и проширење Манделбрововог сета у 4Д димензију помоћу кватерниона. Најновији експерименти откривају да адекватне пројективне површине пружају бесконачну групу пројекција у 3Д димензији.

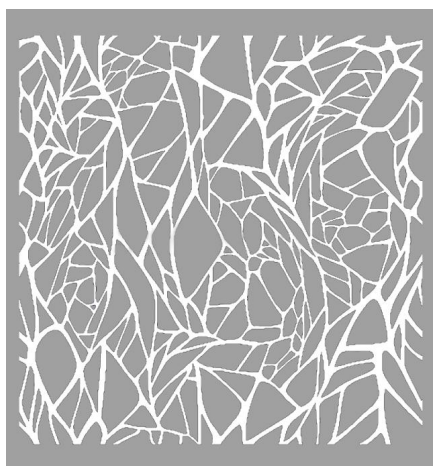
6.3. ФРАКТАЛИ – ДЕО И ЦЕЛИНА

Исражујући ове феномене природе за идејно решење коначног рада одабран је модел који је инспирисан нерватуром листа и кроз цртачку разраду преточен у 3Д модел који је након тога дизаниран у софтверском програму Рајно и даље се 3Д модел учитава у Репетијер програм или Кјуру или неки други програм који је веза између пројектованог 3Д модела и самог принтера. У овом случају коришћен је Репетијер програм као програм једноставан за коришћење

Претакање троуглова из једне у другу пирамиду говоре о цикличном току који је свуда око нас, као и о могућности решења одређеног проблема са више различитих полазишта. Објекти који када се увеличају сами себе садрже, то је истоветност између целине облика и његових мањих делова.

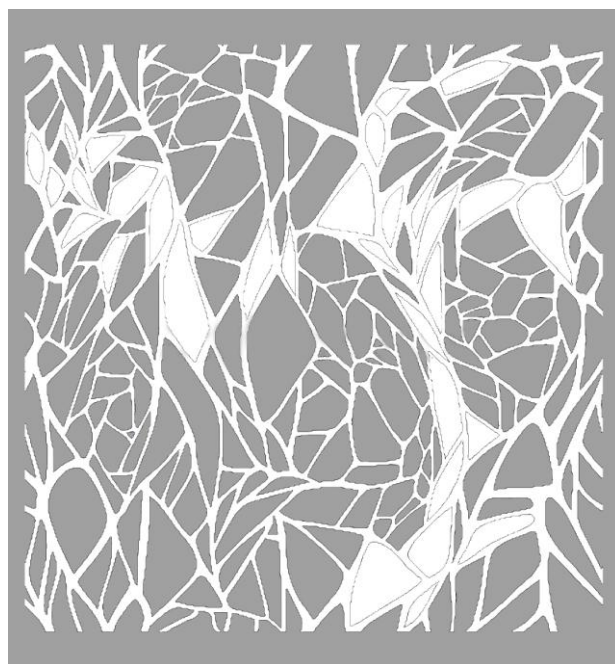
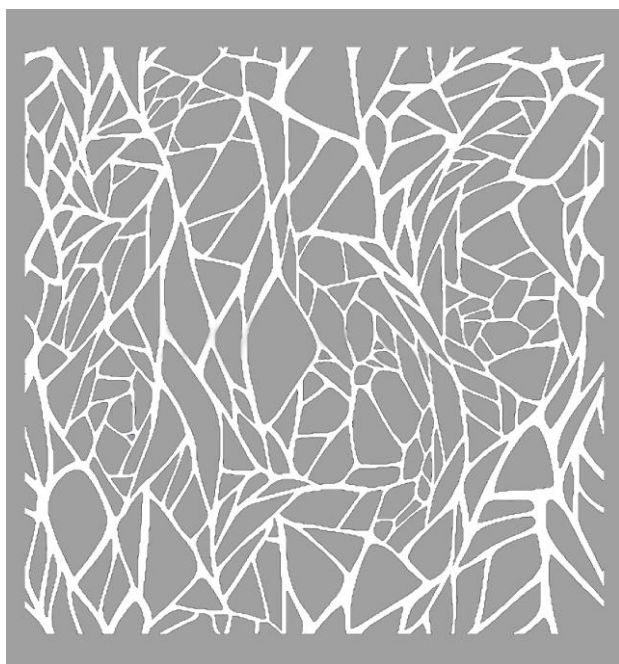
Фрактали представљају димензије од одређеног познатог коначног ка бесконачном. Кроз овај вид посматрања природе која ствара из хаоса можемо исцрпети наша полазишта да све има своју сврху, па и сам хаос, али и да је све могуће, те да продирањем у своје најтананије делове бића можемо пронаћи решења за склад и хармонију. Уметнички израз визуелних комплексности се може креирати из једноставних правила.

Уколико посматрамо део једног сегмента рада, уочава се да се његовим понављањем и рапортирањем ствара текстилна површина којом се даље гради визуелна форма. У овом сегменту рада фокус је стављен на рапорт и уклапање рапорта скице. Инспирисан фракталима нерватуре листа, дефинисан је модел који је усвојен као погодан за разраду.



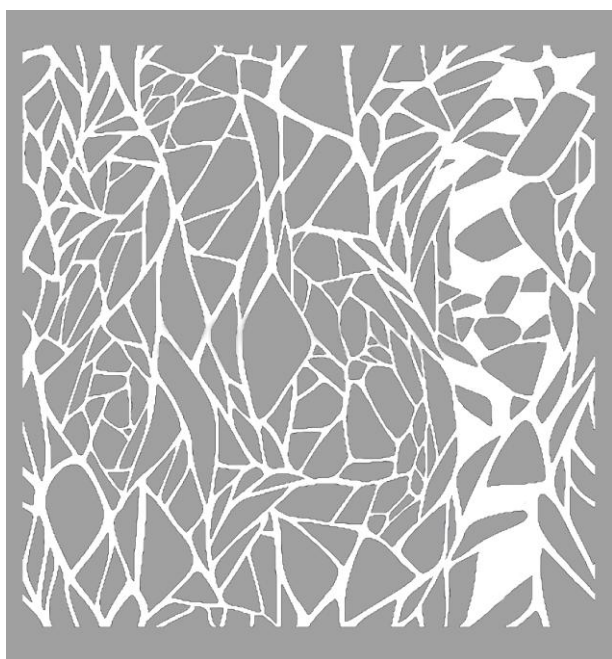
Сл.100-101 Модел у цртежу, Произведен модел ФДМ технологијом, 2017.

Као и код фрактала у раду постоји преиспитивање једног те истог елемента који се понавља. На слици је приказан основни елемент који има мрежасту структуру. Свака линија се рапортски логично наставља на супротној страни елемента.



Сл.102-103 лево: Модел бр. 1, десно: Модел бр.2. инспирисани нерватуром листа, идејно решење, 2017.

Елемент се развија тако да се попуњавањем одређених делова мреже добија потпуно нови утисак рапортског сегмента. Једноличност мрежасте структуре разбија се испунама које формирају нове елементе.



Сл.104-105, лево: Модел бр. 3, десно Модел бр. 4, инспирисани нерватуром листа, идејно решење, 2017.

Даље се елемент развија тако да у својој структури гради бордуру која се дефинише са десне стране елемента. Понављањем оваквог елемента уместо утиска једноличне мреже добија се пругасти дизајн, сведен на уску пуну линију и широку мрежасту линију.



Сл.106 Модел бр. 5 инспирисан нерватуром листа, идејно решење. 2017.

Разрадом у следећем елементу могу се ишчитати четири пруге, где се са лева на десно појављује половина мрежасте вертикале, затим цела пуна вертикала, шира мрежаста вертикала, следи пуна пруга и на десној страни елемента половина мрежасте вертикале.

У петом елементу у оквиру мрежесте структуре се попуњавањем одабраних међупоља гради се дизајн са утиском пруга, а дефинисан је на златном пресеку, док се у доњем делу елемента завршава кружним обликом кога формирају испуне међупростора дефинисане линијатуре.

Све елементе инспирисане фракталима носи иста основа. Као и код фрактала бесконачност је граница. Игра суптилне линијатуре и испуна којима се граде пуна поља развија нове креативне вредности које даље могу понављањем стварати сасвим различите композиције.

У даљем раду креативна игра ослонила се на основни елемент и само његовом ротацијом постигнута је разрада дизајна текстилне површине.

7. РЕАЛИЗАЦИЈА РАДА У МАТЕРИЈАЛУ

Селекцијом свега постигнутог, компаративном методом усмерен је практични део реализације рада у материјалу ФДМ технологијом уз примену ТПУ филамената. Дефинисани су параметри који обезбеђују флексибилност модела којим се даље гради текстилна површина. ТПУ филаменти који су коришћени су ознака 85 А и 95А што им обележава степен флексибилности.

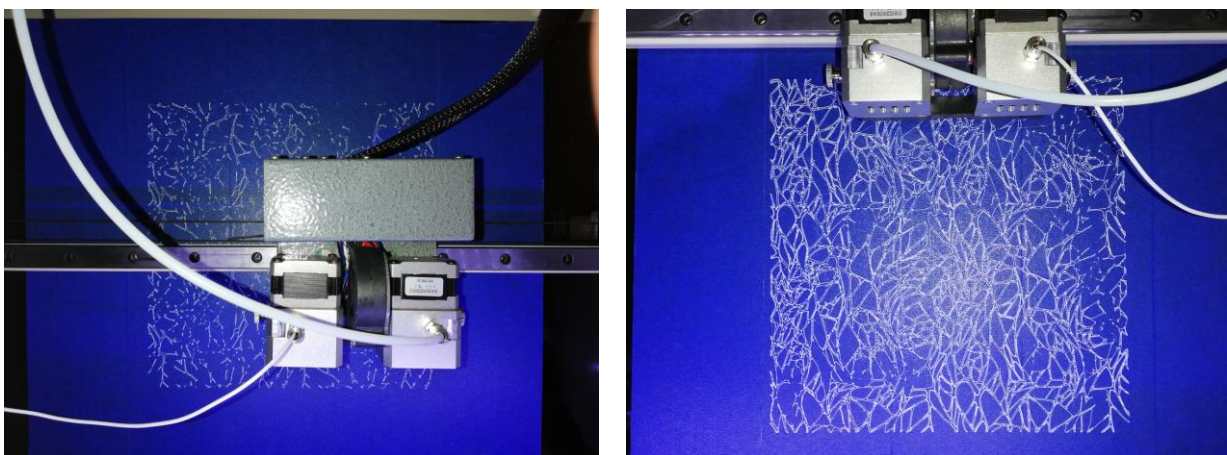
Нинџа Флекс филамент је посебна врста патентираног ТПУ филамента и има параметре флексибилности које не могу да достигну други материјали. Најсавременији је на светском тржишту и веома мали број дизајнера користи овај филамент због тежине рада.

О овоме је већ било речи у поглављу које се бави испитивањем материјала. Неопходно је поменути да сама деликатност тананог и транспарентног дизајнерског решења доприноси још комплекснијој производњи уколико се користи *Нинџа Флекс*.

За савладавање свих параметра комплексног дизајна као и параметара комплексне производње изискивали су додатна испитивања могућности наноса мањег броја слојева поменутог материјала, а да модел или произведени елемент буде одржив и да се гужвањем и пресавијањем, драпирањем не мења његов облик, те да се враћа у првобитну форму.

Наизглед не тако захтевна проблематика показала се као веома деликатна, али и савладива. Сами параметри производног процеса кад је производња усвојена кроз пробне узорке савладана, могли би лако бити промењени да би се добијао различит утисак једног те истог модела.

Развој материјала који се користе у адитивној производњи су кључни елемент за убрзање усвајања технологије у дизајну текстила. Сама производња зависи не само од квалитета филамента, већ и од штампача на коме се реализује производња.



Сл.107-108 Реализација производње ФДМ технологија, ТПУ филамент, димензије 180 x 180 mm, 2018.

7.1. ИЗРАДА МОДЕЛА У ФДМ ТЕХНОЛОГИЈИ

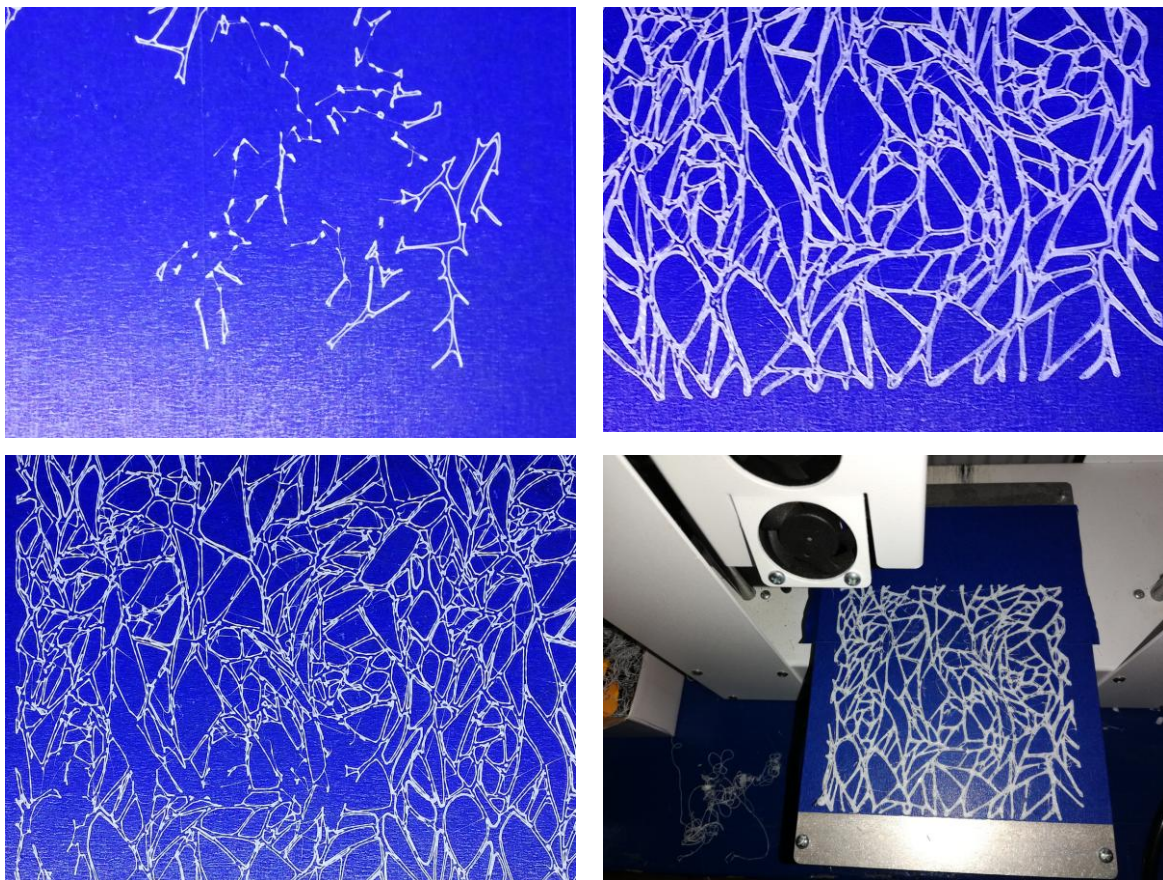
Производња модела је извршена на неколико ФДМ штампача. Робот Бот је један од њих и како је малих димензија, веома компактан био је погодан за реализацију модела. Не захтева велики радни простор и лако је преносив. На њему се могу штампати модели димензија 100 mm x 100 mm x 100 mm.

Одабрани елемент је димензија 100 mm x 100 mm x 2 mm, штампа захтева израду два слоја, за реализацију једног оваквог елемента потребно је 3764 mm филамента који је дебљине 1.75 mm, време израде је 16 минута и 58 секунди.

Штампач је подешен на штампу ТПУ филамента, у овом случају Нинџа флекс ТПУ 85 А, екструдер подешен на температуру од 235°C и након израде првог слоја температура опада на 230°C.

Упоредо са производњом димензије 100mm x 100mm x 2mm израда модела је постављена и на другом принтеру где је могућност производње 180mm x 180mm x 120 mm.

Тиме је разрада идејних решења која је инспирисана фракталима усмерена ка увеличању одабраног модела за 80 процената. Израда је за један елемент захтевала пет часова рада, те након подешавања параметара израде време израде је смањено на три сата рада.



Сл.109-112 Реализација производње ФДМ технологија, метална радна плоча пресвучена *Плавом* крп траком, ТПУ филамент, димензије 180 x 180 mm, 100x100 mm, 2018.

На приказаном примеру производни процес је припремљен са следећим параметрима :

- брзина производње је од 40 mm/s,
- маса модела је приближно 11 g.
- пречник отвора нозле је 0.6 mm.
- филамент који је употребљен ТПУ 95 А.
- температура екструдера: 245°C,
- температура платформе: собна температура до 40°C,
- платформа или радна плоча није загрејана, стаклена,
- нанесен је лак за косу на радну плочу.
- брзине инфилтрације: 60-80 mm/s (3600-4800 mm/min),
- приликом израде модела није коришћен вентилатор за хлађење.

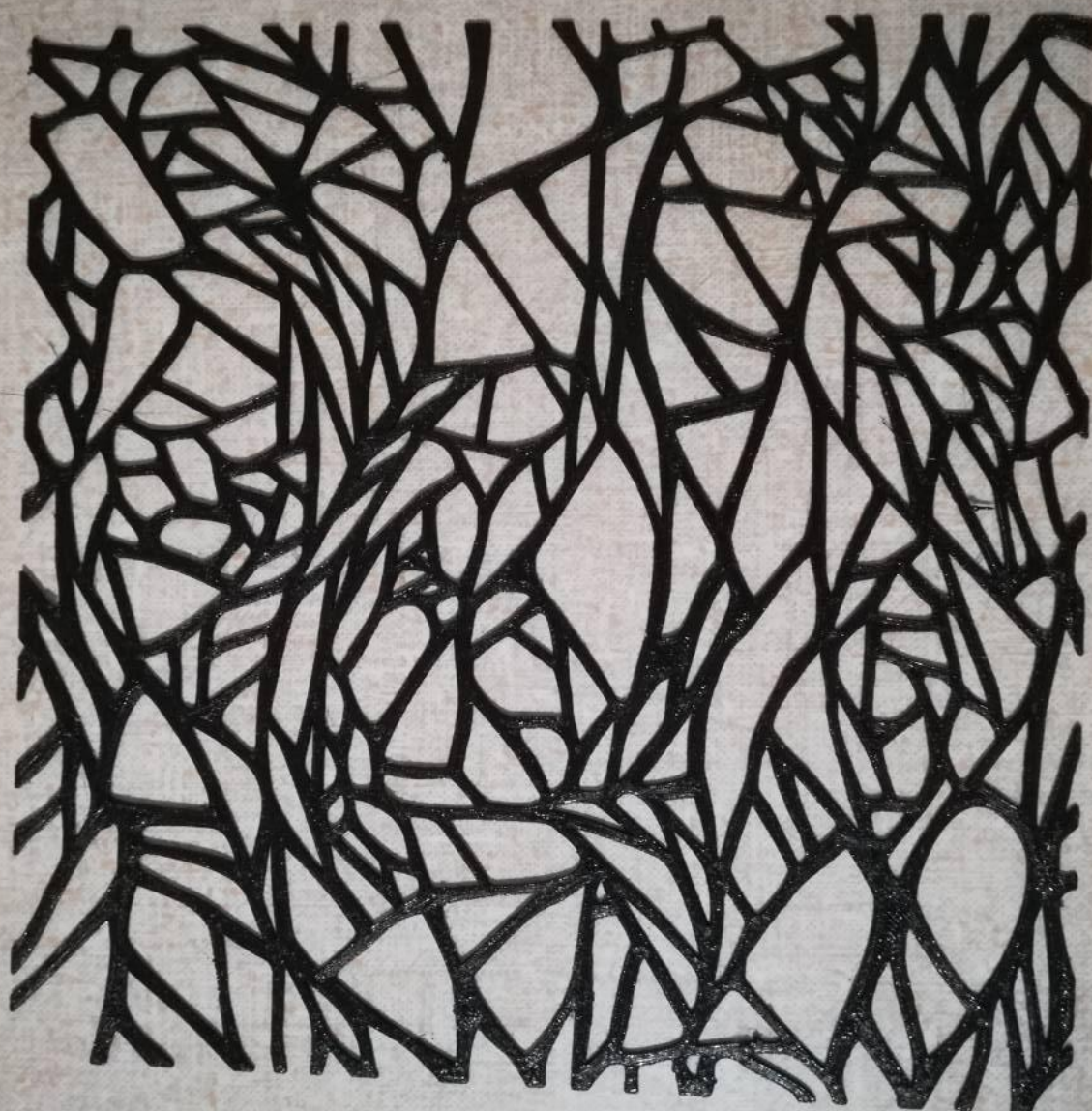
ТПУ филмент који поседује флексибилност изражену као вредност 95 А се на тржишту може пронаћи и под називом *Чита* (Cheeath). Овакав ТПУ филамент има смањену флексибилност у односу на *Нинџа Флекс* који има параметар 85А, али његова употреба је поједностављена у односу на *НинџаФлекс* и приближена производњи каква се остварује са употребом ПЛА филамента који је најкоришћенији филамент у свету дизајнера због лаке употребе и поједностављене производње.



Сл.113-114 Реализација производње ФДМ технологија, стаклена радна плоча на коју је нанесен слој фиксир спреја, ТПУ филамент, 2018.



Сл.115 Реализација производње ФДМ технологија, стаклена радна плоча, ТПУ филамент, димензије 180 x 180 mm, 2018.



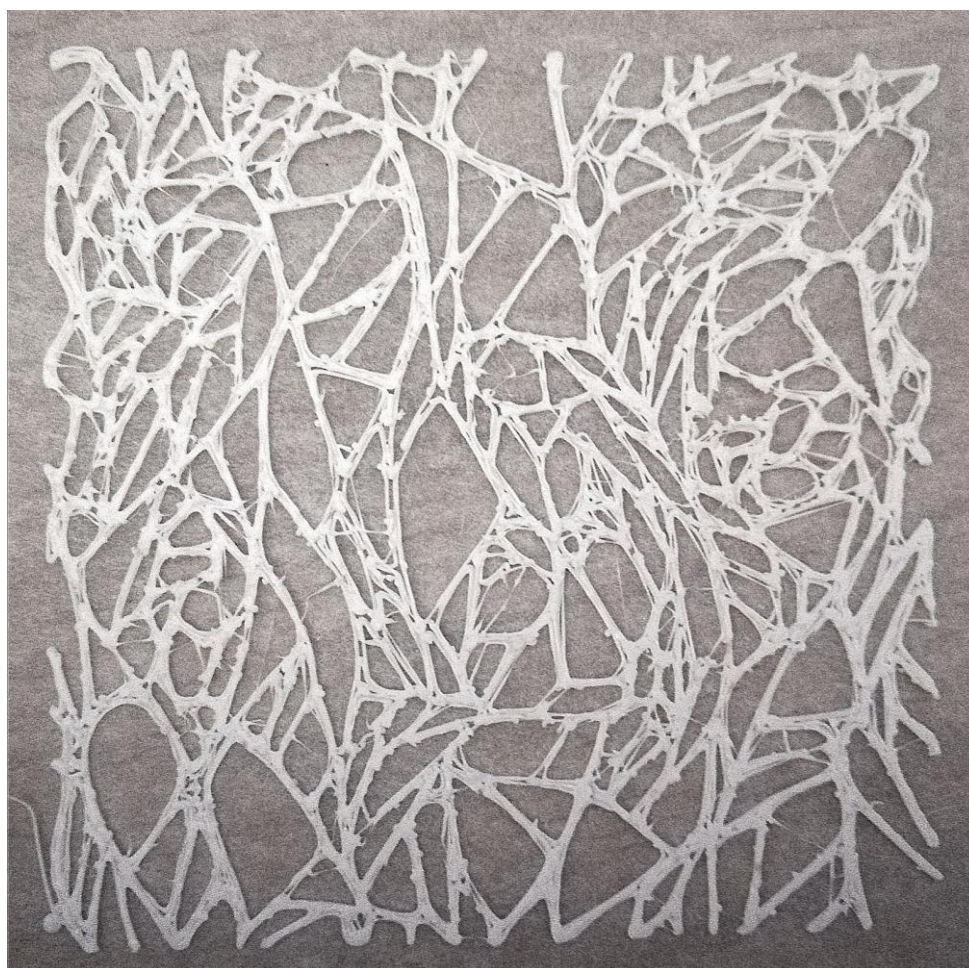
Сл.116 Произведен модел увеличан за 80 %, ФДМ технологија, ТПУ филамент, 2018.

Модел који је приказан је димензија 180 cm x 180 cm. Израда је изузетне прецизности. Материјал који је употребљен је ТПУ, Нинџа Флекс, дебљине 1.75 mm. Модел је увеличан 80 процената у односу на основни модел и тиме је развијена структура која оставља сасвим другачији утисак, а без промене дизајна модела. Елемент је произведен у белој и црној боји које својом симболиком носе светло и сенку. За израду оваквог елемента потребно је користити штампач који поседује већу радну површину минимум 200 x 200 mm.

7.2. ФОРМИРАЊЕ ТЕКСТИЛНЕ ПОВРШИНЕ

Изражајност елемента се у дизајну постиже понављањем или рапортирањем једног елемента којим се гради јединствена целина. У раду је елемент стваралачки распоређен тако да понављање елемента истиче утисак густине материје која зрачи савременим изразом, снаге и мистичности. Овде се кроз елемент инспирисан нерватуром листа жели задржати препознатљив рукопис.

Линијом се гради структура елемента, она је форма која својим простирањем и интезитетом ствара просторно обележје. Токови линијатуре се у понављању рапорта сусрећу чинећи компактну целину. Таласаста линијатура подстиче осећај континуитета, хармоније и праваца који сам себе непрестано понавља. На слици је приказан један елемент произведен белим ТПУ филаментом.



Сл. 117 Модел произведем ФДМ технологијом са смањеним бројем слојева и смањеном висином слоја на 0.2mm, бели *Нинџа Флекс* филамент, 100 x 100 mm, 2018.



Сл.118 Формирање текстилне површине, 2018.

Даљи поступак израде рада је грађење површина које се постиже повезивањем елемената, тако да се смислено не распознаје почетак и крај линијатуре. На тај начин се постиже утисак компактности. Веза између елемената се постиже ручним поступком у овом случају.

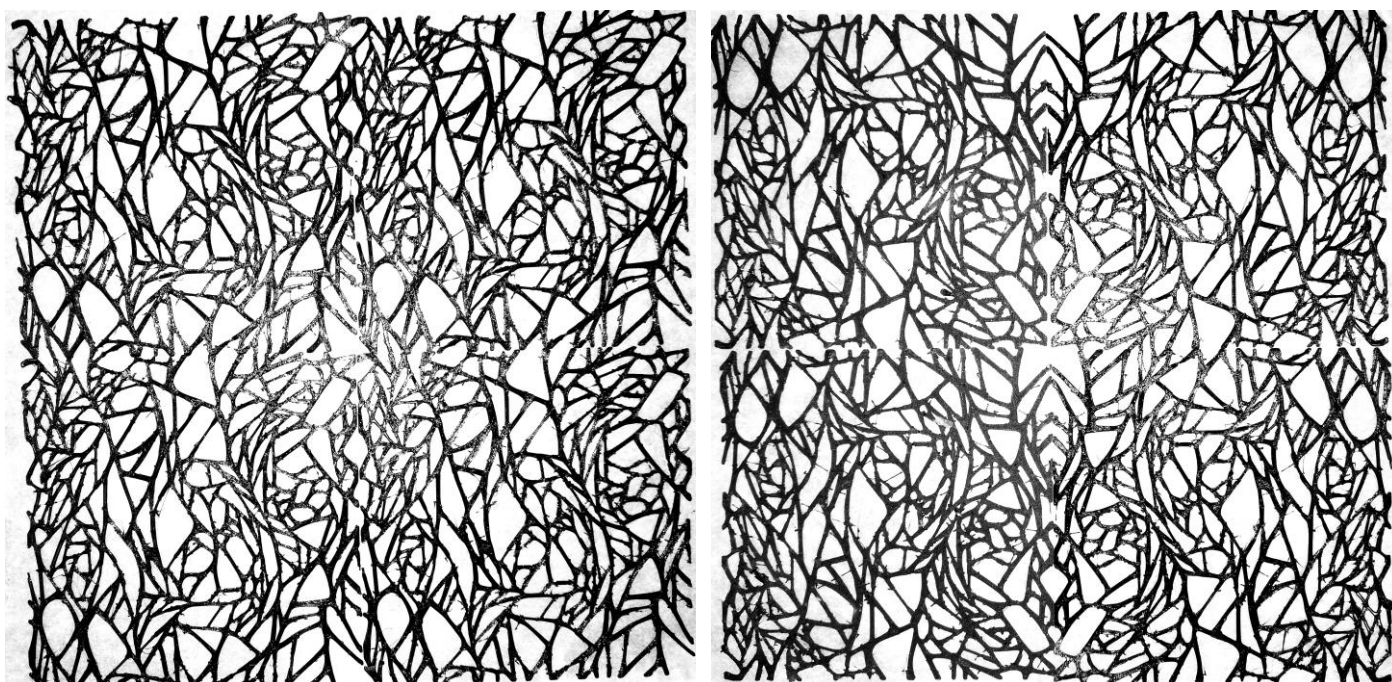
Приликом израде самог елемента водило се рачуна о многоструком уклапању, тако да се тачке везују једна на другу уколико елемент окрећемо на различите начине.

Приликом израде модела разматран је сложенији дизајн јер се тиме уштедело на изради више сличних модела, али и само промишљање изгледа једне рапортне целине доведено на вишу инстанцу.

Сама реализација формирања текстилних површина је захтевала велику прецизност због тананих форми дефинисаног дизајна, Спајање оваквог дизајна који је линеарни је спајање тачака додира јер је за разраду одабран основни елемент који у себи не садржи пуне површине. На тај начин размишљање је фокусирано у правцу динамике и уравнотежености композиција које су добијене транслацијом, инверзијом, рефлексацијом и ротацијом, као и комбинацијама ових начина понављања.

Понављање се у првом случају врши стварањем једноличног ритма, где се уколико је посматрано четити рапортна елемента његова форма на исти начин понавља. Ритмом се постиже основни вид динамике дизајнерске форме и сугерише кретање. Овим поигравањем се од истог елемента граде различити правци кретања у овом случају, за шта је било неопходно прецизно утврдити све тачке дизајнерског решења и могућа уклапања.

Први дизајн је пример дословног понављања или транслације. Симетрија⁴⁹ је основа дизајнираног решења. Понављањем без ротације елемента који је дефинисан као рапортна површина креирана је стабилна композицијска целина под називом *Нерватура*. У оку посматрача она је вибрентна и сагледава се као уравнотежен однос линијатуре, без фокусираног дела који се истиче. Свака тачка се уклапа на другу на супростој страни дефинисаног



Сл.119 -120 Формирање текстилне површине, 2018.

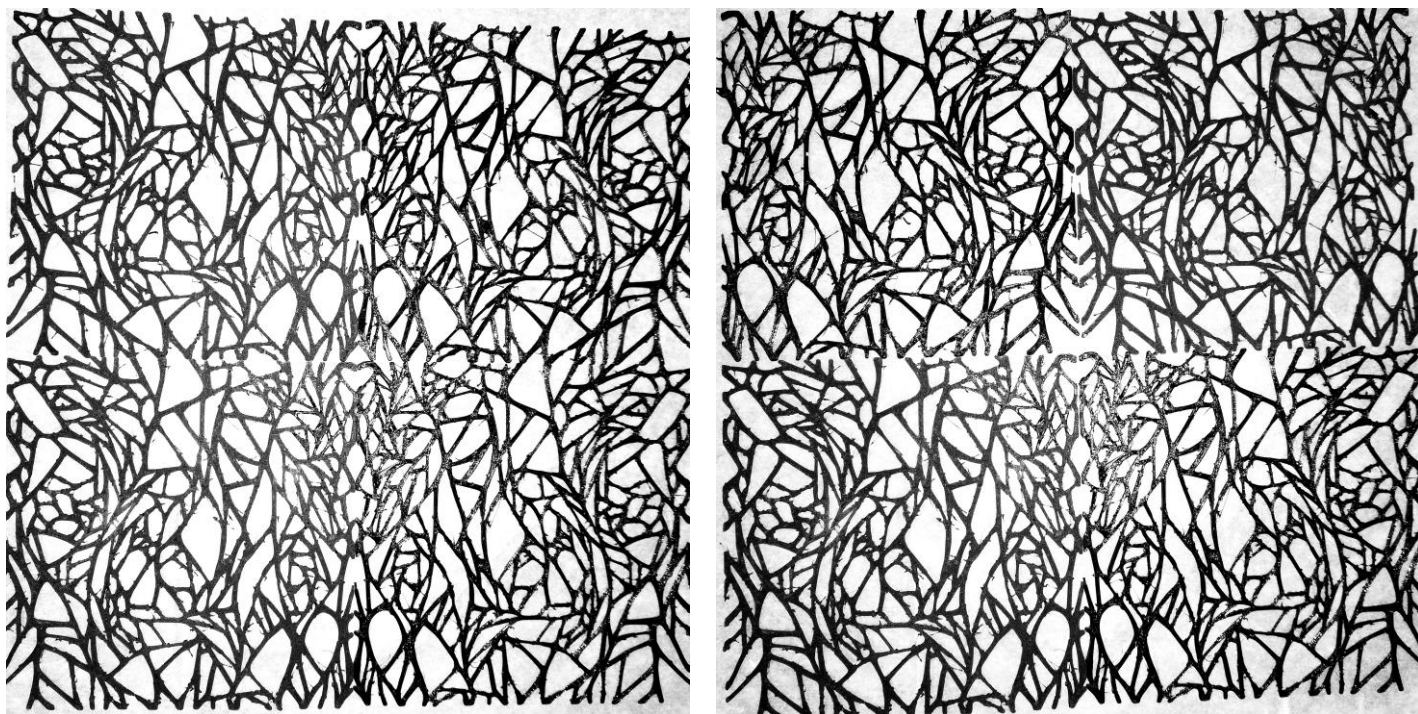
Други пример је инверзија⁵⁰ или рефлексија која се јавља као слика огледала, где се у другом реду нова два елемента понављају поново на исти начин. Тежиште композиционе целине, оваквим понављањем је дефинисано у централном делу четири рапорта. У том делу се формира фигурација која подсећа на флорални елемент. Простор око централног дела има уравнотежену линијатуру и на такав начин може да се препозна као позадина која окружује фигурацију. Композиција носи назив *Пупољак*.

⁴⁹ <https://sr.wikipedia.org/sr/Симетрија>.

Грчки филозоф и математичар Аристотел објашњавајући сферни облик небеским телима, он приписује ову формално дефинисану геометријску меру симетрије природном поретку и савршенству космоса.

⁵⁰ <https://aleksandramijic95.wordpress.com/2017/02/14/inverzija/>. Инверзија је појам у математици. Има широку примену у Еуклидовој геометрији. Инверзија је раванска трансформација која представља уопштење осне рефлексије. Уместо пресликавања тачака с једне стране праве на другу, инверзија пресликава тачке из унутрашњости кружнице у тачке изван ње, и обрнуто.

Трећи пример је извртута рефлексija са ротацијом у контра смеру. Рапортски елемент се окреће на наличје и понавља као у огледалу, а у доњем реду следи исти распоред. Композициона целина се препознаје као смена густе и широке вертикалне поделе која се формира линијатуром, али дефише празним пољима. Тако се у централном делу композиције може препознати аоцијативна фигурација фауне. Композиција носи назив *Птица Феникс*⁵¹, асоцирајући на моћ, снагу, енергију. Као целина естетски делује чврсто и компактно.



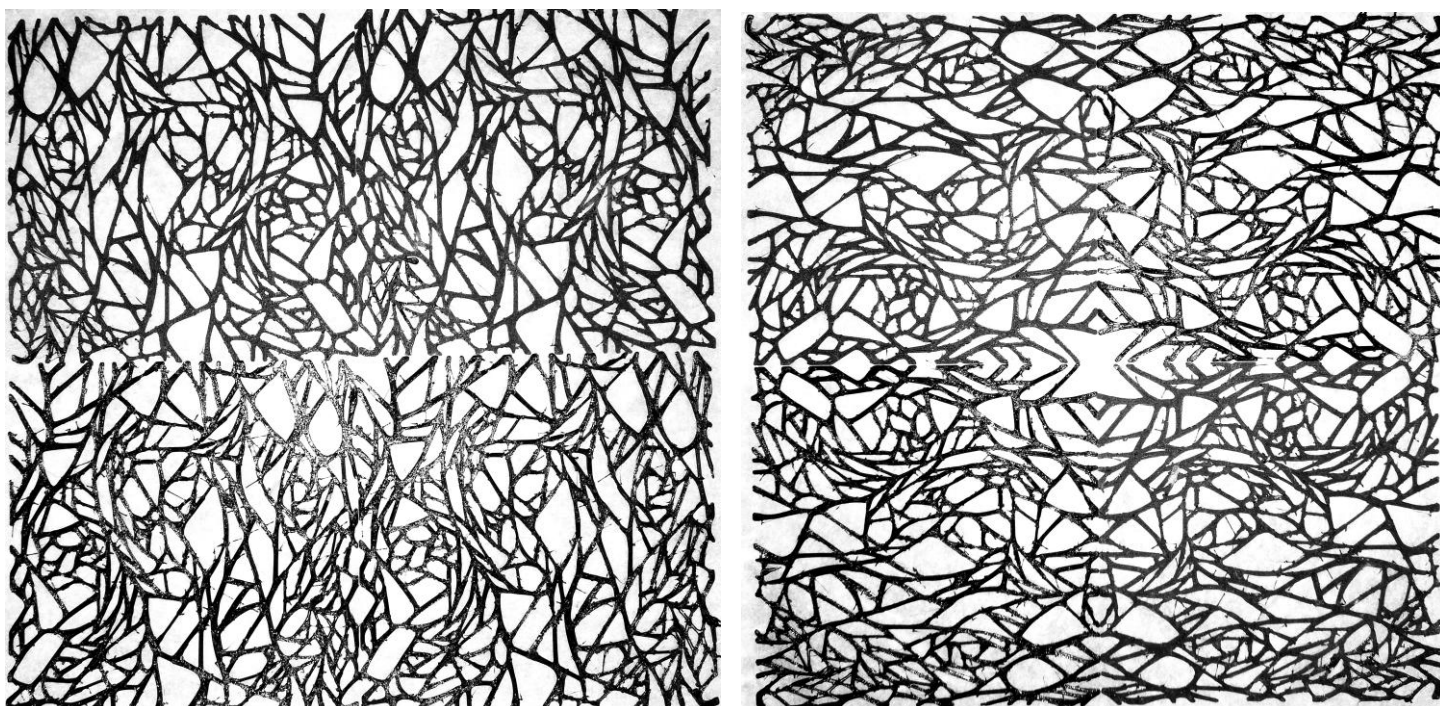
Сл.121-122 Рапортирање са четири рапорта

Четврти пример представља инверзију у горњем реду и извртута рефлексija у доњем реду. Тиме се дефинише хоризонтално подељена композициона целина. Тако формиране хоризонтале имају у себи претходно дефинисане фигурације и флоралну и фигурацију фауне, али у централном делу композиције јавља се нова фигура која асоцира на пчелу па ова комбинација инверзије и извртуте рефлексije носи назив *Матица*. Фокус посматрачевог ока се задржава на самом центру четири рапортна елемента јер се ту издваја највећа белина ограничена линијатуром. Уравнотеженост осталог дела композиције додатно појачава истакнутост центра.

⁵¹ <https://sr.wikipedia.org/sr/Феникс>.

Феникс (старогрчки *φοῖνιξ* [*phoînix*] — фоиникс, од староегипатског *бѐну* = „светлети“, латински *phoenix*) је по египатској митологији свето митолошко биће које има облик ватрене птице. Према легенди, живи 500, 1461 или 12594 година (зависно од извора). Феникс је птица црвено-златне боје. Након краја животног круга феникс изгори, а из пепела настане млади феникс. Млади феникс пепео претвори у јаје и шаље га у град Хелиополис (грчки „Град сунца“) у Египту. Феникс се сам лечи кад је повређен, а то доказује његову бесмртност – симбол ватре. Има моћ да помоћу суза може излечити било какву рану.

Пети пример је чиста рефлексивна⁵² која се јавља у горњем и доњем реду. Рапортни елемент је окренут на наличје али инверзијом тако да се сада горњи леви угао рапорта налази у доњем левом углу и истим редоследом понавља у елементу који у истом низу следи као други, док у доњем реду имамо инверзију горњег реда. Композиција *Мрежа* има уравнотежену распоређеност линијатурних елемената и празнина тако да се остварује компактност у којој можемо препознати хоризонталну поделу целине.



Сл. 123-124 Рапортирање са четири рапорта

Шести пример је ротација која се јавља у горњем реду, а као контра ротација присутна је у доњем реду. Ова композиција се дефинише као рефлексивна или ротациона симетрија присутна у фракталима. Има естетику централне композиције која је упечатљива и јасна. Асоцијативно се може препознати флорални елемент лептира па носи назив *Ноћни лептир*.

⁵² <https://sr.wikipedia.org/sr/Симетрија>.

Геометријски облик или објекат је симетричан ако се може поделити у два или више идентична дела који су уређени на организован начин. То значи да је објекат симетричан ако постоји трансформација која помера појединачне делове објекта, али не мења свеукупни облик. Тип симетрије се одређује по начину на који су делови организовани, или по типу трансформације: Објекат има рефлексивну симетрију (линијску или симетрију огледала) ако постоји линија која пролази кроз објекат која га дели у два дела који су слике у огледалу један другог. Објекат има ротациону симетрију ако се објекат може ротирати око фиксне тачке без промене свеукупног облика.⁷ Објекат има транслациону симетрију ако се може транслирати без промене његовог свеукупног облика. Објекат има хеликсну симетрију ако се може симултано транслирати и ротирати у тродимензионом простору дуж линије познате као оса вијка. Објекат има симетријускале ако се не мења његов облик кад се експандира или контрахује. Фрактали исто тако испољавају форму симетрије скале, при чему су мале порције фрактала сличног облика са великим порцијама. Друге симетрије обухватају трансфлекцијску симетрију и роторекфлекцијску симетрију.

8. ВИЗУЕЛИЗАЦИЈА И ПОЕТИКА

Поетика овог докторског рада, која је у својој основи носи фрактале као инспирацију, а даље се развија идеја да и хаос није хаос него се и у њему може исцитати ред и законитост, инспирише на даља истраживања. Цртачким приступом и самоизражавањем, ствара се атмосфера поверења, стрпљења и окренутости ка човековом унутрашњем бићу. Схватање опаженог фракталном филозофијом отвара се свет ка вишој свести и ослобађа креативна енергија. У том свету линијатуре добија се место у којем мисли нестају већ испред свега се појављује само дух спојен с вишим вибрацијама. Цртање фрактала доводи до урањања се у медитативно стање у којем постоје склад и равнотежа.

Линија као доживљај изажава у раду енергију, снагу издржљивост, постојање. Та енергија нас чини оним што јесмо, жива бића способна, да уколико спознамо сами себе, можемо да пронађемо спокој у тренуцима немира, опроштај у тренуцима љутње због повређености, храброст када страх крене да обузима, мудрост и кад непромишљеност наступи.

Цртежом се може достићи креативни потенцијал човека, а његови унутрашњи механизми саморегулације и исцељења се развијају и ствара се способност увида у различите могућности, као и средства за достизање циља и креативно решавање животних задатака. У психотерапији управо фрактали се користе као могућност спознаје, као средство невербалне комуникације. Колико смо као уметници и дизајнери свесни да утичемо на свет око себе, да формирамо туђе ставове, доживљаје и схватања? Уметност омогућава да видимо и да фокусирамо оно најбоље што смо као људска бића способни да направимо и осмислимо. Подсећа нас да имамо моћ да променимо свет. Уметност пружа наду и инспирише. У античкој Грчкој, реч уметност је подразумевала вештину. Данас под њом подразумевамо и моћ визије, креације, изума. Према Аристотелу уметничко стваралаштво производ је нагона за уобличавањем и из чежње за емоционалним изразом. По својој суштини, уметност је подражавање стварности; она пред природом држи огледало. Тежња уметности није подражавању спољних појава већ њиховог унутрашњег смисла, јер се у овоме, а не у спољним манирима или у детаљу, састоји њихова реалност. Уметност се не обраћа само на осећање већ дотиче наш интелект. Такво интелектуално уживање јесте највиши облик заноса до којег смо као људска бића способни да се уздигнемо. Отуда би уметничко дело требало да поставља као циљ облик и још више јединство. За дизајн је непоходно да се представља симбиозу уметности, функционалности, естетике. Креативном визуелизацијом имагинација даје свој допринос јасној слици концепта дела. Концентрацијом на идеју она добија енергију све док се не преточи у реалност, док се не достигне дело које је визуелизовано нашим креативним бићем. Визуелизација овог рада ослоњена је са ликовног становишта на линију као покретачки елемент.

Линија је носилац дизајна у овом докрорком раду , њеним понављањем гради се површина, волумен и форма. У раду цртежом су изражена осећања непрекидности, животне снаге са жељом да представе вечно сведочанство о времену у којем живимо.

Одабир боје за рад сведен је на црну и белу. Свака друга боја не би била боја коју је аутор рада умешао као свој доживљај. Тиме би се израз уметника изгубио у боји коју не доживљава као своју. Црна и бела су увек исте и њима се не одвлачи пажња са форме која је била важан елемент рада.

Пројекат је у својој поетици подељен на три целине, *Провокацију*, *Измештање* и *Фантазму*.

Кроз радове дефинисане као купони жеља је да се покрене имагинација других уметника и дизајнера на који начин би, креиране текстилне површине, могле да проговоре кроз њихова уметничка дела, радове индустријског дизајна или савременог костима. Радови су представљени под називом *Провокација*.

Као друга целина рада, која је дефинисана под називом *Измештање*, визуелизација проговара кроз текстилне површине примењене у решењима одевних предмета, где је акценат стављен на флексибилности и драпирању .

Кроз трећу целину визуелизације рада наметнуло се размишљање о даљој разради креираних текстилних површина тако да се надогради 2Д површина аплицирањем створених 3Д модела који представљају негатив усвојеног дизајна, приказано кроз узорке. Тај сегмент рада носи назив *Фантазма*.

8.1. ПРОВОКАЦИЈА

Овим сегментом рада је осмишљен концепт провокације дизајнера и уметника да сагледавањем добијених текстилних површина доживе инспиративну имагинацију којом би их реализоване текстилне површине испровоцирале да их примене у својим новим остварењима. На такав начин се пружа нови креативни ток добијеним текстилним површинама јер лични печат сваког дизајнера донео би продубљену или нову естетику креираним купонима. Стога ова целина носи назив *Провокација*.

Жељом да се изгради реципроцитет између израде и иновације у техници и материјала ставља се акценат на савремени поглед у дизајну. Комбиновањем прецизне технике роботизоване израде са дигиталном технологијом се развија снага дизајнерског решења текстилних површина.

Провокација у дизајну пружа могућност дизајнерима да наметну каприциозна решења или да остваре јединствени утисак који би следио полазиште дато предложеним купонима текстилних површина. Ово омогућава увођење произведених текстилних материјала у друге бласти дизајна приказујући их са другачијом просветљеношћу и дајући им нови *живот*.

Предлогом купона који су димензија 1200 x 600 mm концептом поставке реализовано их је седам. Представљени су у централном делу галеријског простора тако да у просторној поставци ове целине је могуће сагледати њихово драпирање.

Овим концептом смисао и акценат је стављен на могућности флексибилности произведених текстилних површина и њихове транспарентности.

Основу концепта чини замишљени правоугаоник димензија 2000 x 2500 mm, али који одаје утисак лакоће и прочишћености. Купони имају различите начине уклапања рапорта, али и разраду елемента кроз промену величине елемента који је произведен.



Сл.125 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.



Сл.126 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.



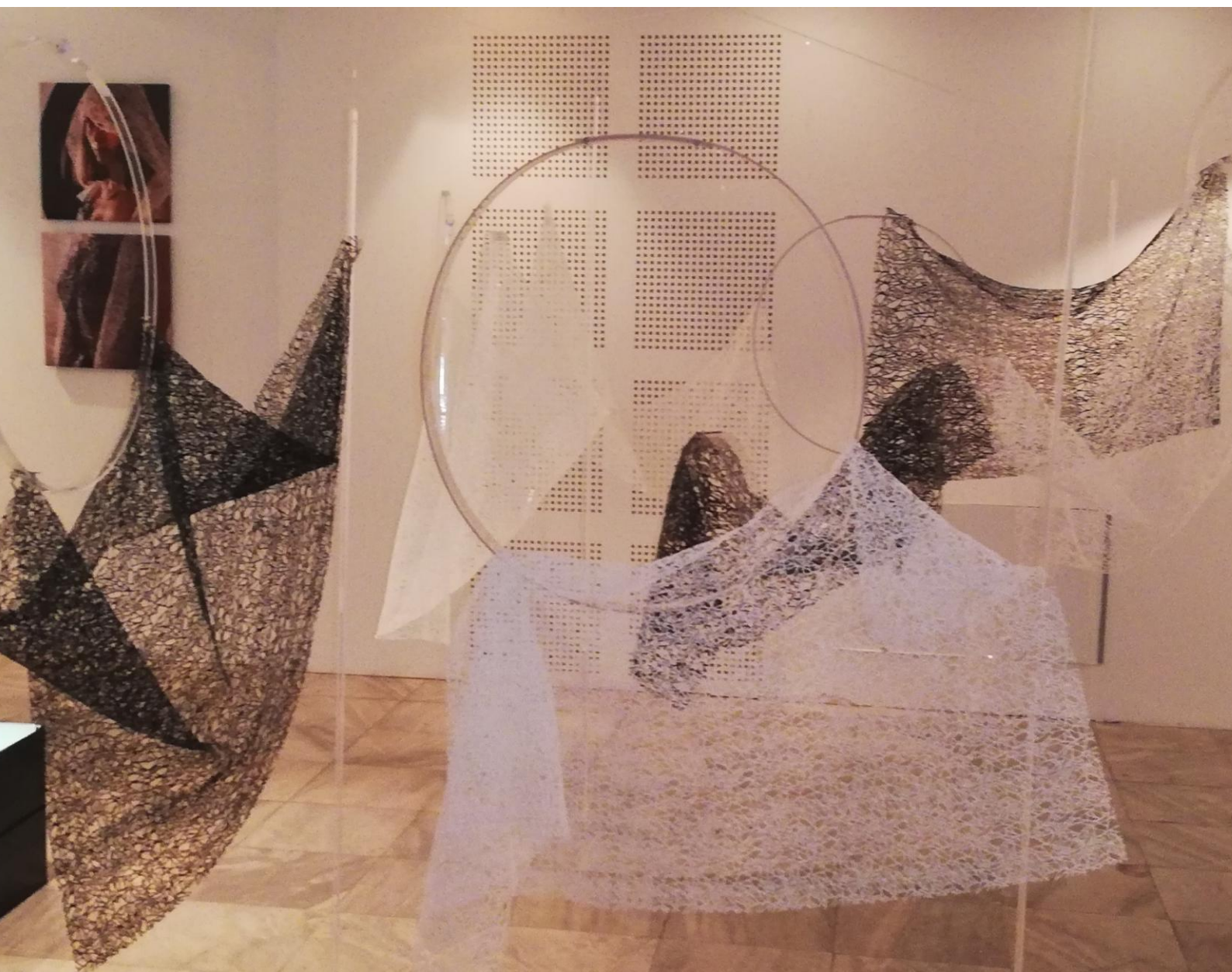
Сл.127 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.



Сл.128 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.



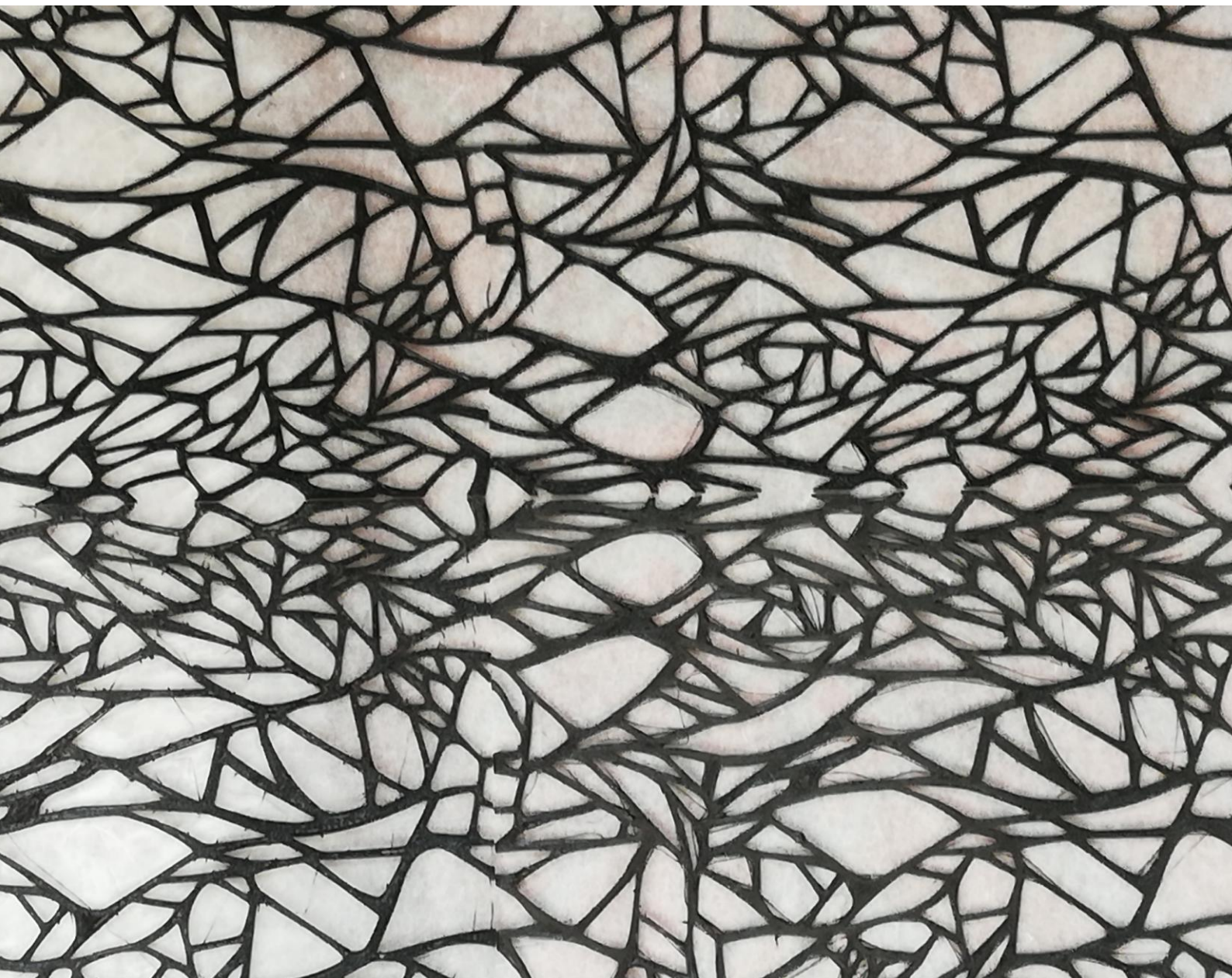
Сл.129 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, детаљ,
Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.



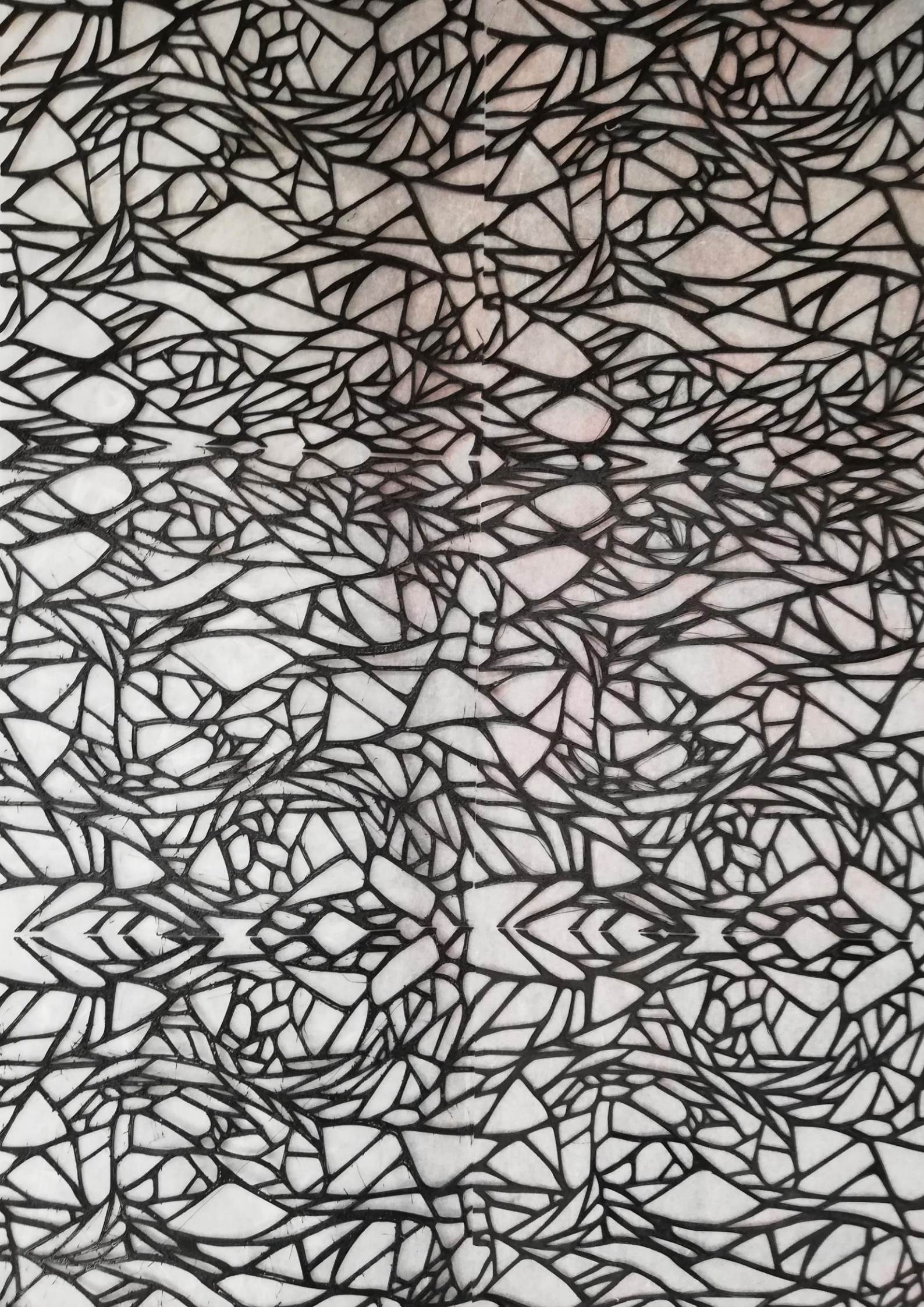
Сл.130 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.



Сл.131 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.



Сл.132 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018



8.2. ИЗМЕШТАЊЕ

Композицијском целином названом *Измештање* намера је да се прикажу способности материјала који се најбоље ишчитавају у конкретним одевним моделима који су урађени не ради њих самих већ да би се лакше и прецизније приказале могућности које пружају произведене текстилне површине.

Поставком је дефинисано да овај део рада садржи девет одевних предмета. Сваки од њих носи у себи разраду одређеног рапортног решења и представља приказ драпирања добијене текстилне површине у конкретном примеру.

Естетиком чипке која се постиже кроз израду рада адитивном производњом, са жељом да се сачува традиционални изглед старих текстилних техника користе се иновативне технологије и материјали инспирисани светом који долази.

Текстилне површине приказане кроз одевне предмете поред приказа своје употребне вредности могу бити посматране као уметнички израз. Оне нису лишене садржаја већ имају упечатљиву поруку. Намера је да се покаже да дизајн текстила, има додатну вредност у свету дизајна, и да та вредност може да буде безвремена.

Како су добијене текстилне површине мрежасте структуре, а тиме и транспарентне помоћу преклапања на реализованим одевним предметима остварена је игра којом се креира нова димензија цртежа посебно ако се преклапање врши са контрастним бојама.

Транспарентност и лиричност су одлике којима одише овај сегмент рада. Нежна поетика филигранског цртежа надовезана је на моделе који мекано падају уз форму фигуре. Са жељом да се на суптилан начин размишља о ергономском аспекту одевних предмета, акценат је стављен на флексибилности текстилних површина.

Светлом се гради нова димензија сваког модела. У концепцијском смислу то представљаја игру сенки. Висећи у простору и са јасно дефинисаним снопом светлости упереним у сваки рад појединачно добија се игра одевног модела и његовог *духа*, који га непрестано прати. Као ефекат филозофског полазишта да се од самог себе не може побећи, модели носе поруку да је пожељно ухватити се у коштац са самим собом и суочити се са свим својим предрасудама.

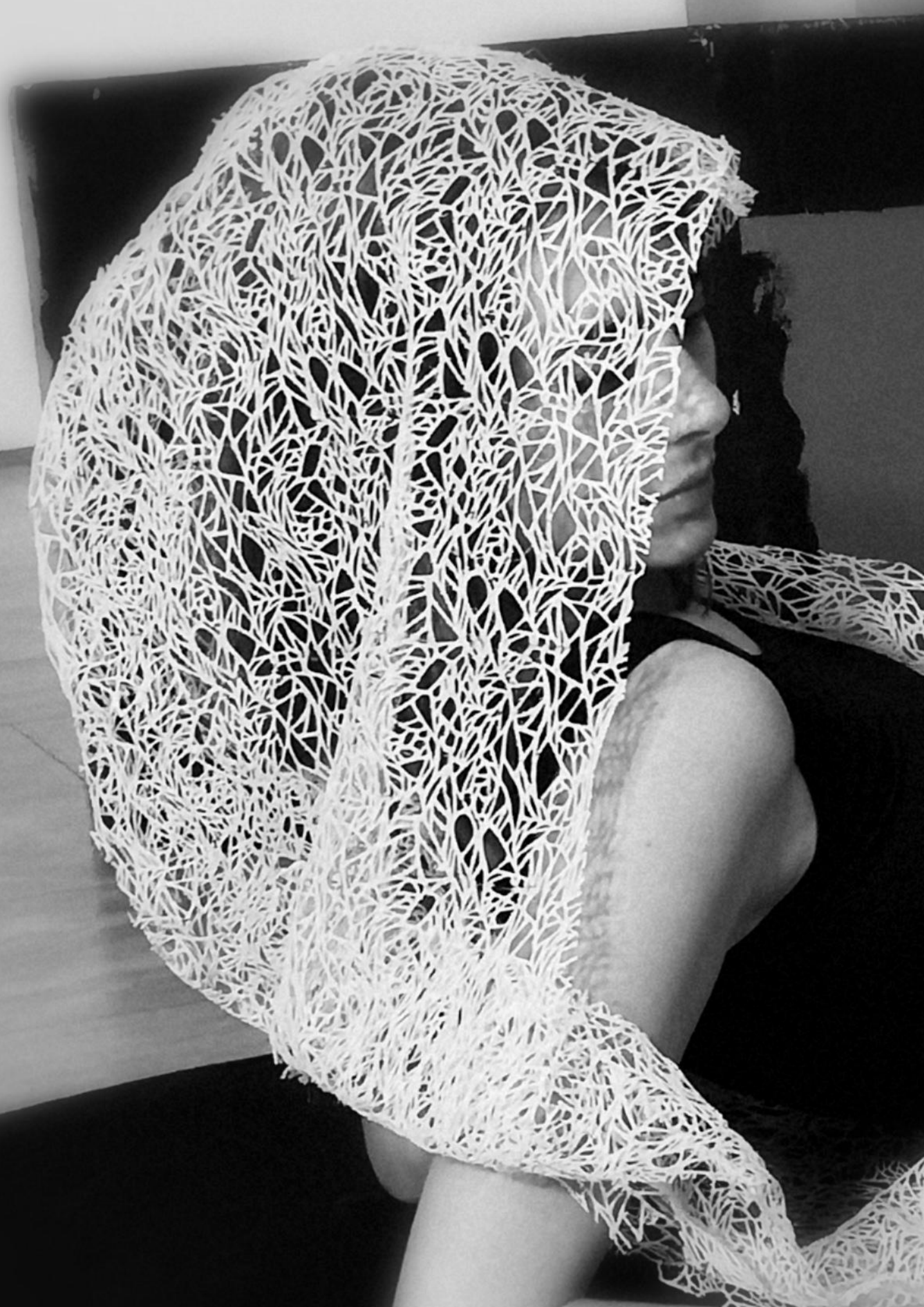
Изузетно важан сегмент рада је управо приказивање носивости ових радова и употребна вредност текстилних површина, али и доживљај који оставља када се надовеже на људско тело којим сваки рад добија димензију више.

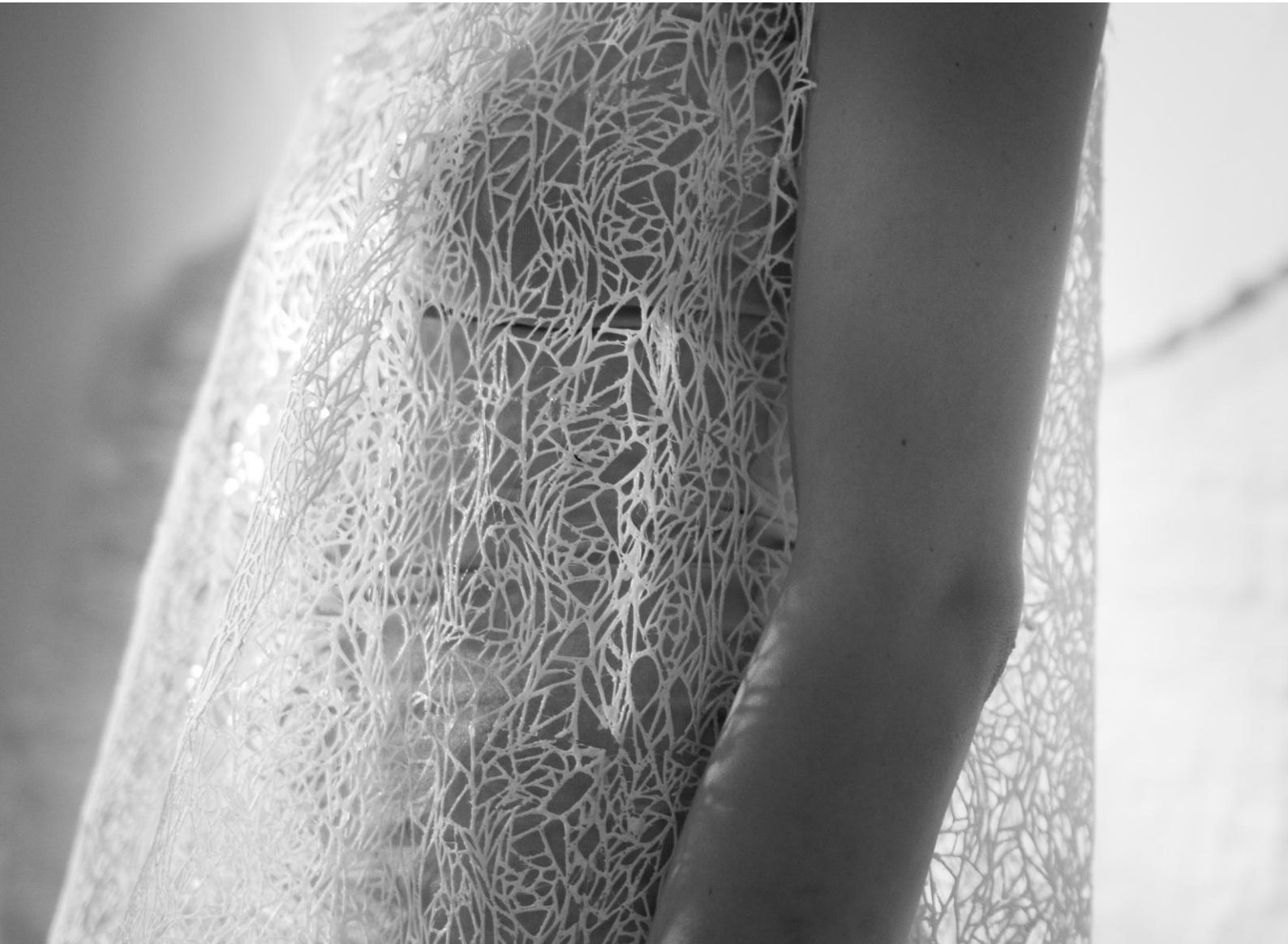


Сл.134 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, фотографија: Маја Милинић-Богдановић,2018.









Сл.138 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, фотографија: Софија Модошанов, 2018.



Сл.139 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, фотографија: Софија Модошанов, 2018.









8.3. ФАНТАЗМА

Као трећи сегмент визуелизације рада наметнуло се размишљање о употреби добијених текстилних површина у домену имагинације да импликацијом нових елемената креираних контрастним моделом од основног интервенишемо на површини. Ова целина носи назив *Фантазма*. Креиране текстилне површине су својим структурама допринеле фантазији која је преточена у наставак истраживања на пољу структуре површине.

Израстања малих, цртежом осмишљених, елемената који као да се уздижу из добијених текстилних структура помера границе достигнутог и најављује наставак истраживања.

У овом сегменту мали узорци материјала употребљени су за надоградњу површине тако да се њен волумен повећава те да синтезом позитива и негатива одабраног модела добијају нова решења текстилних површина.

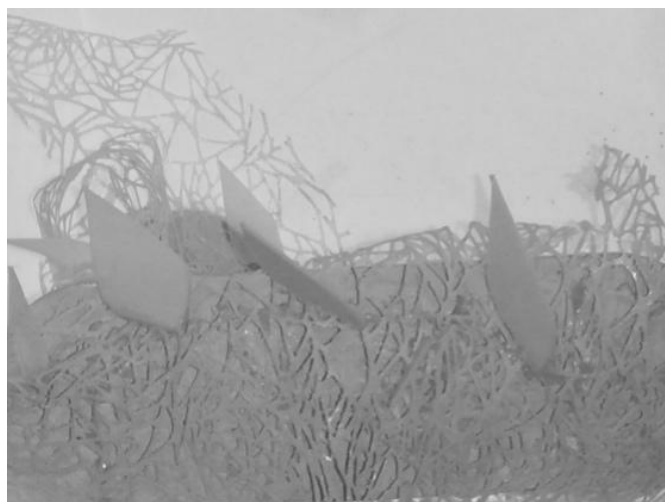
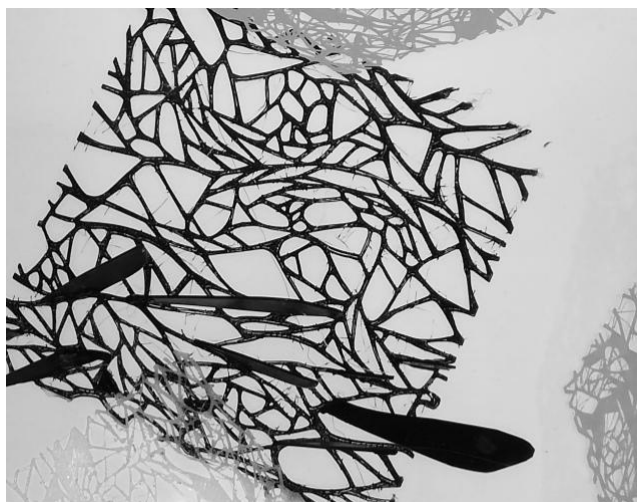
Произведене текстилне површине се надограђују елементима који су изведени 3Д оловком и имају лиричан карактер и танану структуру. Описују природу у стилизованој форми малих пупољака и као цртеж се надоветију на цртачку структуру основног модела.

Такође у овом сегменту рада од основног елемента мрежасте структуре изведен је његов негатив и уместо мреже произведене су испуне које дефинише управо ова мрежа модела. Тако су добијене форме које подсећају на листиће и произведене да ПЛА филаментом који има чврстину.

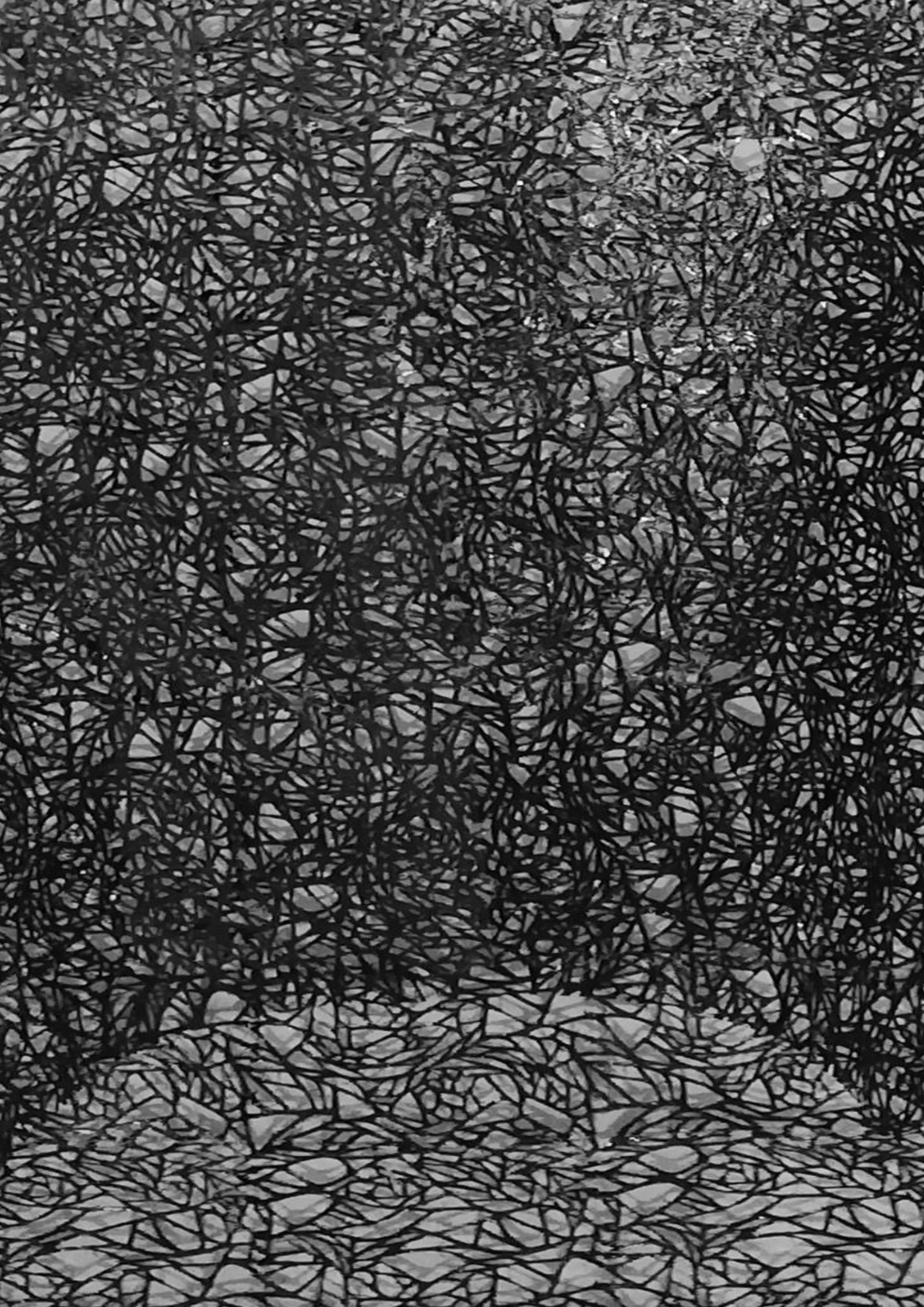
Даље су ове форме, мање или веће аплициране на основни елемент и дефинисане на малим узорцима или кроз веће површине.

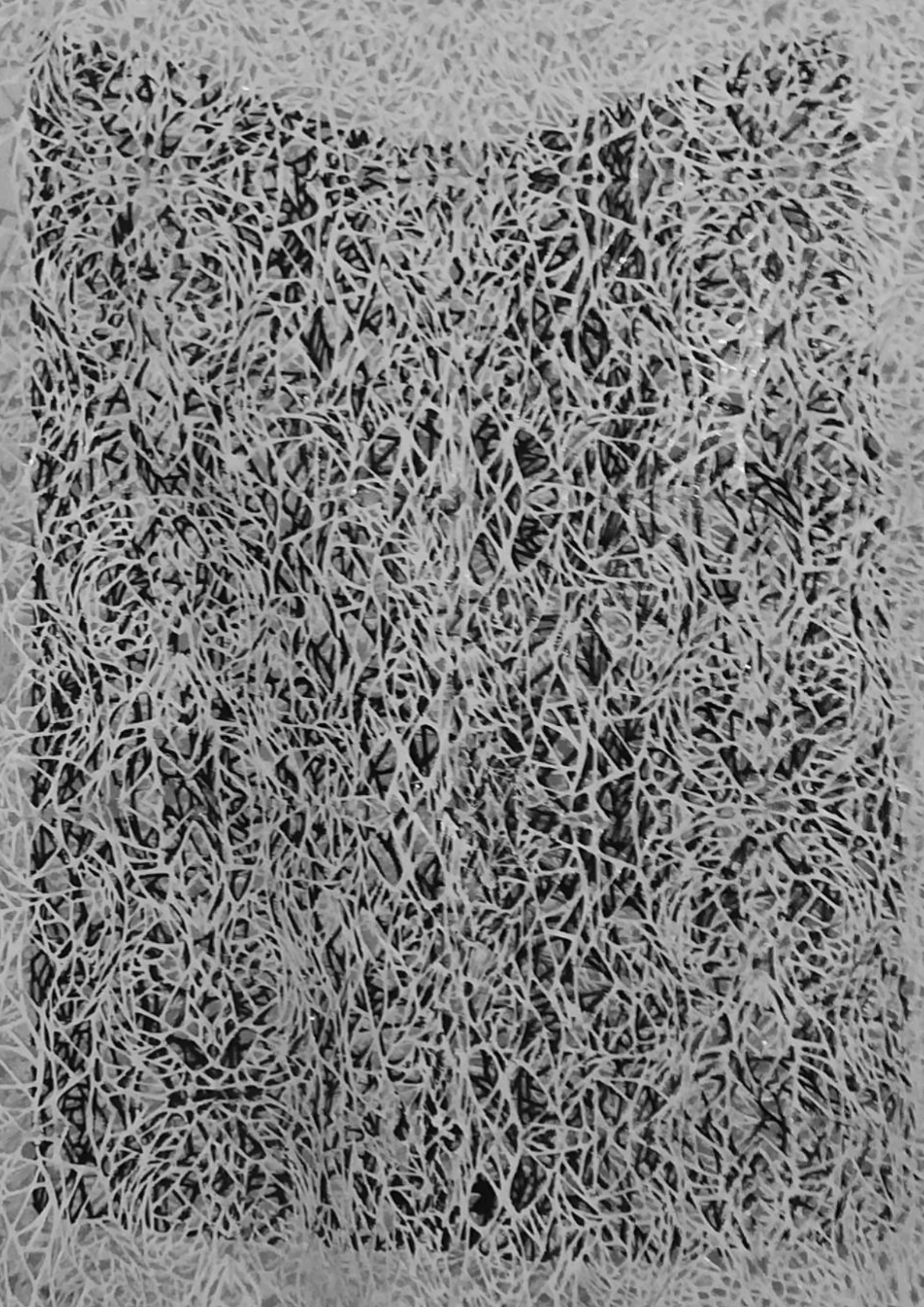
У концепцијском смислу узорци су изложени дифузном светлу које им наглашава целокупни утисак нових форми што се складно надовезује на нове технологије израде текстилних површина и издваја мале сегменте из целог концепта поставке тако да су они јасно сагледиви али и да као узорци могу бити сагледани у целокупној поставци изложбе.

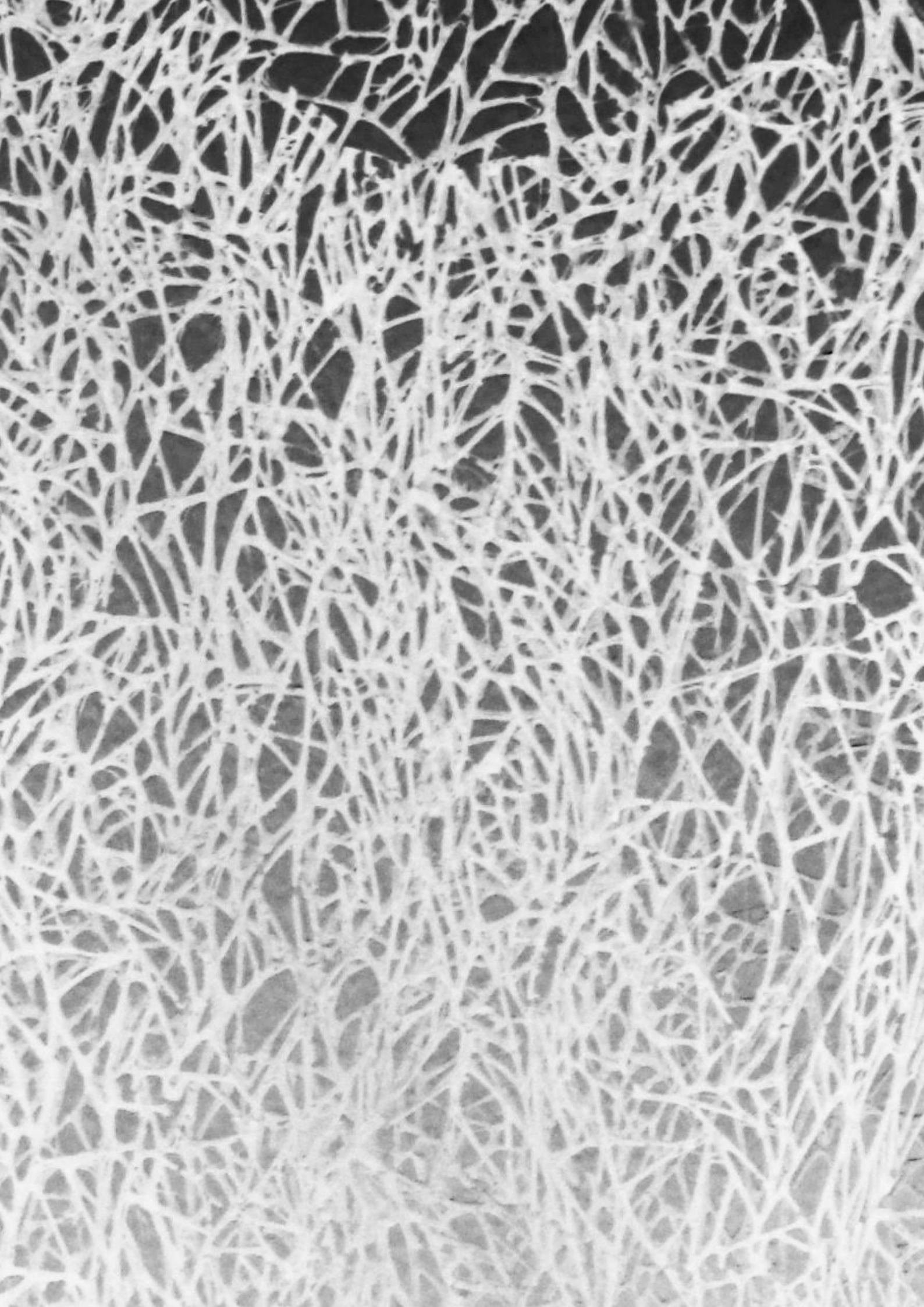
Ови елементи концепцијског излагања даље везују поставку са радовима из целине *Измештање*, а даље настављају у видео рад виђен очима аутора докторског рада и то приликом реализације производног процеса, затим са фотографског снимања модела на манекену и демонстрирања флексибилности и издржљивости ових текстилних површина уз помоћ гужвања након чега се материјал се враћа у своје првобитно стање без икаквих оштећења.



Сл.144-146 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, фотографије: Маја Милинић-Богдановић, 2018.







9. ПЕРСПЕКТИВНА ЦЕЛИНА

Уколико добро сагледамо данашњу текстилну индустрију, може се уочити да део проблема што веома лоше послује лежи у основи неефикасности јер је глобална текстилна индустрија је у основи заснована на технологијама и техникама 19. Века⁵³.

Аддитивна производња може да унапреди употребу отпада који увелико загађује нашу животну средину. Омогућава израду дизајнерских производа који су еколошки прихватљиви. За разлику од многих традиционалних поступака производње, који имају различита ограничења, аддитивном производњом омогућена је већа флексибилност произвођачима да оптимализују, брзо и ефикасно, дизајн за производњу. Отпад оваквом производњом се елиминише.

Аддитивном производњом постиже се могућност тополошке оптимизације дизајна, а тиме се повећава функционалност производа, што даље смањује количину утрошене енергије и осталих природних ресурса неопходних за функционисање неког производног процеса.

Улога 3Д штампе у текстилу се константно развија, са значајним порастом свести и интереса везаним за упознавање са новим технологијама од стране дизајнера. Раст знатижеље и радозналости долази из комплетног спектра дизајнерске струке.

Појам адитивне производње још увек није достигао масовно тржиште, међутим разматрају се импликације решења за такву производњу. Дизајн текстила у индустрији је неопходно да се врати на одржив модел производње, који подразумева више локализоване производње, омогућавајући малим дизајнерским и производним кућама да буду конкурентни на тржишту. Трансформација перцепције дизајна текстила и савременог одевања се наставља. Какве ће бити последице увођења адитивне производње у дизајн, дизајн текстила, савремени костим је питање које ће у будућности наћи своје одговоре.

⁵³ <http://qepriize.org/createthefuture/3d-printing-clothes-future/>

Говорећи у видео запису о најновијој технологији, др Гај Бингхам (Dr. Guy Bingham) професор на Универзитету у Великој Британији је објаснио да су мода и текстилна индустрија и даље веома укорењене у технологији 19. века. *Иако се побољшала у својој ефикасности и излазности, технологија производње текстила и даље оставља пуно отпада, док ми овде имамо прилику да радикално променимо начин производње текстила и одеће.* Процеси производње текстила тренутно производе око 1,8 тоне материјалног отпада сваке године... *Ново преузимање процеса производње значи да технологија не само да смањује отпад, трошкове рада и емисије угљен диоксида, већ може модернизовати производњу одеће подстичући локалну производњу.*

<https://pdfs.semanticscholar.org/4288/24185988df7e5f8239005d20eeedc8b5015c.pdf>.

3D Printing - The Future of Manufacturing (The Next Industrial Revolution) Dr.Ravi Shankar Kalva Professor, Department of Mechanical Engineering, Joginpally B.R.Engineering College, Yenkapally (V), Moinabad (M), RR District, TELANGANA, 500 075, INDIA

<https://pdfs.semanticscholar.org/4288/24185988df7e5f8239005d20eeedc8b5015c.pdf>.

Barnatt Christopher, *3D Printing: The Next Industrial Revolution*, ExplainingTheFuture.com 2013.

<http://qepriize.org/createthefuture/3d-printing-clothes-future/>

9.1. УМЕТНИЧКО – ИСТРАЖИВАЧКИ ДОПРИНОС

Адитивна производња се може посматрати као потпуно нова индустријска револуција. Уметничко-истраживачки допринос има потенцијал у смислу сагледавања иновативних образаца за развој дизајна текстила.

Технолошки развој одликује се низом нових технологија, фузијом науке, дизајна и уметности, спаја дигиталне и биолошке светове, а свакако ће имати утицај на индустрију текстила и позицију дизајнера у данашњем радном окружењу.

У свету константних технолошких достигнућа, текстил се такође може сматрати кључним средством за приказ великих могућности 3Д производње. У дизајну текстила се отвара нови начин повезивања са технологијама будућности и омогућава веће учешће и ове гране дизајна у њеном напретку.

Огромне могућности прилагодљивости адитивне производње су још једна важна предност за индустрију. Сада је доступно креирати машине тако да савршено буду прилагођене одређеној величини и ергономији сваког дела тела, омогућавајући стварну персонализацију.

Ергономија је важан део овог рада. Она подразумева науку која се бави дизајном производа тако да они најбоље буду прилагођени људском телу. Полазећи од става да је ергономија у суштини, али и садржајно мулти и интердисциплинарна наука која се бави системом човек-производ како би се дизајнерски производ прилагодио човековим био-психо-социјалним ограничењима и захтевима, те како би употреба тог дизајна била ефикаснија, безбеднија и поузданија и прилагођен људском телу и његовим ограничењима.

Данас се не може занемарити да човекова психичка и социјална ограничења, потребе, захтеви могу бити такође лимитирани у коришћењу неког производа и да и њих треба учитавати приликом пројектовања техничког средства или техничког система. Настанак ергономије се везује за брзи развој технике и техничких средстава која су била све савршенија и ефикаснија, али се онда јавио човек као онај који својим ограничењима постаје лимитирајући фактор његовог развоја. Технички узевши неко најсавршеније средство није *ергономско* ако га човек са својим био-психо-социјалним карактеристикама не може да ефикасно користи и то је данас лимитирајући фактор техничког и технолошког развоја.

Ергономијом се данас баве биолози, антрополози, психолози, социолози..., али сва знања која носи свака од набројаних и не набројаних струка не значи ништа ако се не интегришу у скуп јединствених и усклађених захтева који се морају поставити пред пројектанта или дизајнера техничког средства да би оно задовољило све потребе и захтеве човека. Покрет је тако од суштинског значаја за тело, па тим и изузетно важан у овом раду. Сједињујући форму, структуру и материјале заједно на нов начин, жеља је да се оствари оптимална комфорност и несметано кретање.

Текстилне површине израђене адитивном производњом могуће је применити у дизајну савременог одевања, али и дизајну ентеријера. Даљим развојем ових технологија достиже се нова слобода дизајна чиме ће се отворити нове границе или можда прецизније, границе ће бити срушене.

10. ЗАКЉУЧАК

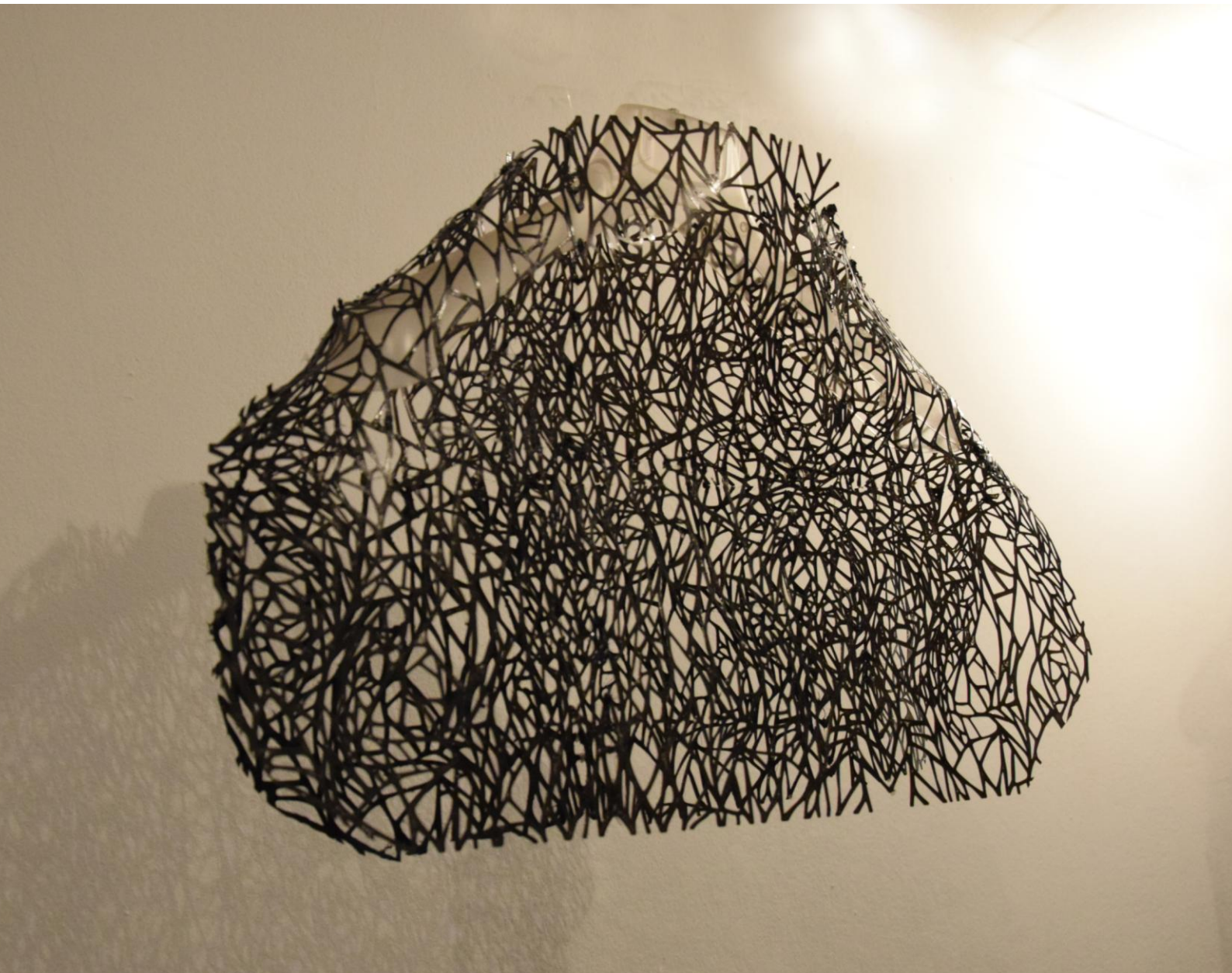
Велика панорама могућности је испред нас. Дизајн ће се у будућности свакако мењати, а са тим променама свакако ће се мењати и дизајн текстила. Освајањем једног новог света материјала и савременим начином размишљања, а тиме и новим концептима стваралаштва, достићи ће се нови квалитети текстилних површина који морају пратити и научна достигнућа.

Један од кључних фактора за напредовање у домену текстила је образовање. Може се препознати жеља за иновацијом и у оквиру образовног система јер све више академија, струковних школа, средњих школа интегришу адитивну производњу у оквиру својих студијских програма. То је свакако будућност нашег човечанства.

У оквиру дизајна текстил се и даље базира на традиционалној методологији. За добар напредак у области штампаног текстила, али и у другим сегментима текстила као што су ткање и таписерија потребно је сачувати традиционална знања, али при том и развијати нова знања и вештине употребе савремених средстава израде текстилних површина. Нове технологије омогућавају текстилним дизајнерима да прошире своја достигнућа изван традиционалних граница дизајна, а на тај начин да претворе неке од најизазовнијих концепата дизајна у стварност. Препознаје се еволуција преко традиционалних метода производње текстила према текстилу који је комплетно израстао из дигиталних технологија.

Идеја да текстилно образовање сада обухвата ове иновативне технологије представља охрабрујући корак напред. Образовање нове генерације дизајнера, као и увођење 3Д технологија и софтвера у дизајну текстила је природно постепено и трајан процес. Тиме се може објаснити зашто је промена у индустрији текстила на први поглед успореног карактера, међутим извесно је да ће се и на овом пољу дизајна ситуација у будућности променити.

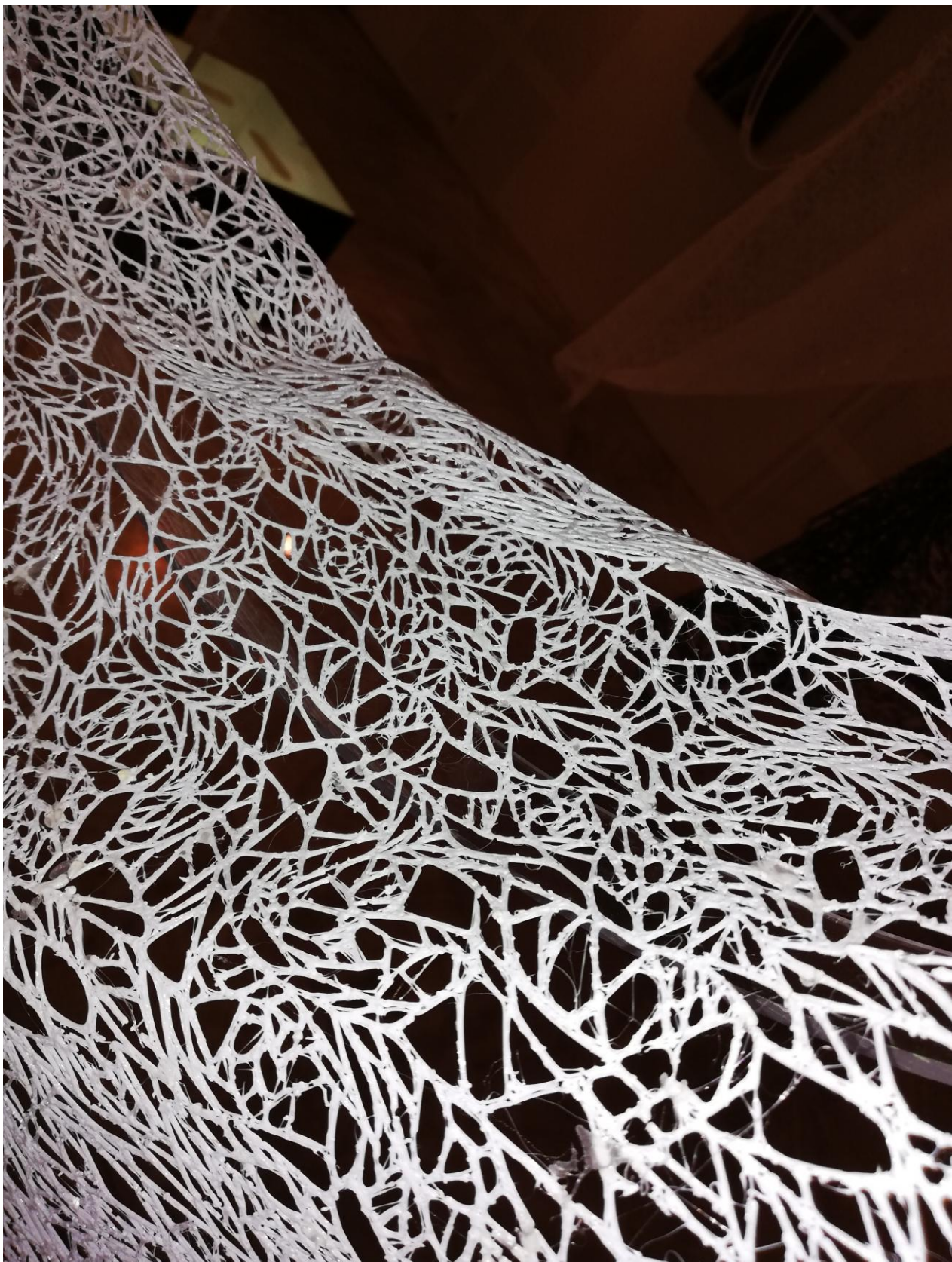
Склоп дигиталних технологија је трансформисао традиционалне приступе у савременом дизајну и уметности и довео до потпуно нових форми. Текстил ће у будућности, свакако, узети учешћа у напредовању и повезивању мултидисциплинарних области праћењем нових технологија кроз концепт дела и савремени израз који су кључни елементи са полазиштем које има за циљ уметничко промишљање у подржавању примењене уметности.



Сл. 150 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, фотографија Ана Марија Вартебедијан, 2018.



Сл. 151 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, фотографија: Ана Марија Вартебедијан, 2018.



Сл. 152 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, фотографија: Маја Милинић-Богдановић, 2018.



Сл. 153-155 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.

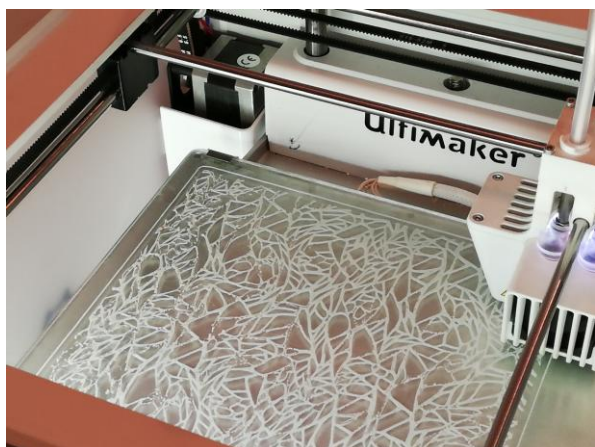


Сл. 156-157 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.



Сл. 158 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.

ДИЗАЈН ТЕКСТИЛНИХ ФЛЕКСИБИЛНИХ МАТЕРИЈАЛА ПРИМЕНОМ АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ



Сл. 159-161 Докторска изложба, Дизајн текстилних флексибилних материјала применом адитивне производње, Музеј примењене уметности, Галерија Жад, 2018.

11. БИБЛИОГРАФИЈА

1. Alksandrov, G.V. Bihovski, B.E. Mitin, M.B. Judin, P.F. prevod, Marković Miroslav, *Istorija filozofije*, Kultura, Beograd, 1948.
2. Barnatt, Christopher, *3D Printing-second edition*, Explaining TheFuture.com, 2014.
3. Barnatt, Christopher, *3D Printing: The next industrial revolution*, 2013.
4. Baudrillard, Jean, *La mode ou la feerie du code*, u: Traverses, no. 1984.
5. Bezius, Janine, *Biomimicry: Innovation Inspired By Nature*, Harper Collins Publishers, New York 2002.
6. Briggs, John, *Fractals: The Patterns of Chaos: Discovering a New Aesthetic of Art, Science, and Nature*, Tuchstone, New York, 1992.
7. Clarke, Sarah E. Braddock, Jane Harris, *Digital Visions for Fashion and Textiles: Made in Code 1st Edition*, Thames&Hudson, London, 2012.
8. Clarke, Sarah, Braddock, E. Marie O'Mahony, *Techno Textiles 2: Revolutionary Fabrics for Fashion and Design*, Thames&Hudson, London 2008.
9. Eco, Umberto, *Il Pensiero lombare, Sette anni di desiderio*, Fabbri-Bompiani, Milano 1983.
10. Erihoff, Michael, Marshall, Tim, *Design Dictionary, Perspectives of Design Terminology*, Birkhäuser, Berlin, 2008.
11. Farshid Moussavi, *The Function Of Form*, Harvard University Graduate School of Design, 2009.
12. Fletcher, Kate, *Sustainable Fashion and Textile*, Earthscan from Routledge, London and New York, 2014.
13. Franklyn, David, *7 Things You should know about*, Educause, London 2012.
14. Fogg, Marnie, *Why It Does Not Have To Fit: Modern Fashion Explained*, Prestel , Munich, London, New York 1, 2014.
15. Gleik, James, *Chaos: Making a new Science*, Open Road , Integrated Media, New York,
16. Harpen, Van Iris , *A Magazine # 13*, Die Keure, Bruges, Antwerp, Belgium, 2014.
17. Hall.Edit, *Inroducing the Ancient Greeks*, W.W.Norton&Company, New York, London.
18. Horvath, Joan, *Mastering 3D Printing*, Heinz Weinheimer, New York 2014.
19. Kostas Terzidis, *Algorithmic Architecture*, Architectural Press, 2006.
20. Лакатош, И. и Масгрејв, А. (ед), *Критика и раст сазнања*, Плато Београд, 2003.
21. Lipovetsky, Gilles, *L'empire de l'ephemere*, Edition Gallimard, Paris ,1987.
22. Lipson, Hod and Melba, Kurman, *Fabricated-The New World of 3D Printing*, , John Wiely and Sons, Indianapolis ,2013.
23. Lynn G, *Animate Form*, Princeton Architectural Press, 1999.
24. Mandelbrot, Benoit, *The Fractal geometry of Nature*, W.H.Freeman and Company, New York, 1977,1982,1983.

25. Mandelbrot, Benoit, *The Fractalist; Memoir of Scientific Maverick*, Pantheon Books, New York, 2012.
26. Mazrui, Ali, *The Robes of Rebellion: Sex, Dress and Politics in Africa*, Social Aspects of the Human Body, Penguin Books, 1978.
27. McQuaid, Matilda, *Extreme Textiles: Designing for High Performance*, Smithsonian, Cooper Hewitt, National Design Museum, New York, 2005.
28. Polhemus, Ted; Procter, Lynn, *Fashion and Anti-fashion, An Anthropology of Clothing and Adornment*, Thames&Hudson, London, 1978.
29. Quinn, Bradley, *Fashion Futures*, Marrel and Publishers Limited, London, 2012.
30. Quinn, Bradley, *Textile Futures*, Berg, New York 2010.
31. Paul Jackson, *Folding Techniques for Designers: From Sheet to Form*. Laurence King, 2011.
32. Rashid, Karim, *Digipop*, London, Taschen, 2004.
33. Ritland, Marcus, *3D Printing with Skech, Up*, Birmingham – Mumbai, Packed Publishing Open Source, 2014.
34. Seymour, Sabine, *Fashionable Techology-Intersection of design, fashion, science and technology*, Springer-Verlang, Wien, 2008.
35. Singh, Sandeep, *Beginning Google SketchUp for 3D Printing*, Apres, 2010.
36. Smith, Leny, *Chaos: A Very short Introduction*, Oxford, New York, 2007.

12. ВЕБОГРАФИЈА

<http://www.3ders.org/3d-printing-basics.html#what-can-3d-printer-make>, 16.03.2016, 17:00

<http://www.thingiverse.com/explore/collections/page:0> 16.03.2016, 17:45

<http://www.andreasbastian.com/blog/structured-matter/> 16.03.2016, 19:00

<http://www.core77.com/posts/39598/Design-Student-Builds-on-Thingiverse-Breakthroughs-for-3D-Printed-Clothing-Project>, 18.04.2016, 17:00

<https://n-e-r-v-o-u-s.com/cellCycle/>, 19.05.2016, 18:00

<http://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=5479>, 21.05.2016, 17:00

<http://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/kinematic-petals-dress/content/kinematic-petals-dress-15/>, 21.05.2017, 17:30:00

<http://www.dezeen.com/2014/12/09/moma-acquires-first-4d-printed-dress-nervous-system-kinematics/>, 02.07.2017, 12 :00

<https://edditiveblog.wordpress.com/tag/lattice/>, 05.07.2017, 16:00

<https://www.icat.vt.edu/project-areas/flexible-textile-structures>, 21.07.2017, 17:00

- <http://www.continuumfashion.com/D.php>, 21.07.2017, 18:00
- http://www.shapeways.com/n12_bikini, 21.07.2017, 19:00
- <http://constrvct.com/designs/new>, 21.07.2017, 20:00
- <http://www.continuumfashion.com/N12.php>-22.07.2017, 17:00
- <http://www.trendhunter.com/artdesign>, 21.08.2017, 17:00
- <http://www.isseymiyake.com/>, 21.07.2017, 17:55
- [http://www.designer-daily.com/10-ingenious-furniture-designs-made-with-3d-printing-33685?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed:+DailyDesignerNews+\(Daily+design+news\)](http://www.designer-daily.com/10-ingenious-furniture-designs-made-with-3d-printing-33685?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed:+DailyDesignerNews+(Daily+design+news)), 25.08.2017, 18:00
- http://3dprintingindustry.com/2015/09/02/sisma-shows-precious-metal-3d-printing-can-priceless/?utm_content=bufferdc563&utm_medium=social&utm_source=plus.google.com&utm_campaign=buffer, 25.08.2017, 18:00
- <http://futuristicnews.com/tag/new-material/>, 25.08.2017, 19:00
- <https://www.davidtrubridge.com/collection/lighting/>, 25.08.2017, 18:00
- <http://www.moaroom.com/moaroom-en.html>, 25.08.2017, 21:00
- <http://www.thefashionphotograph.com/photographer-conversations/2016/4/2/fashion-technology-and-the-endless-possibilities-of-3d-printing>, 25.09.2017, 22:00
- <http://www.itsnicethat.com/articles/iris-van-herpen-1>, 13.10.2017, 18:00
- <http://www.3ders.org/articles/20160502-iris-van-herpens-latest-dress-is-made-with-dragon-skin-and-3d-printing.html>, 13.10.2017, 18:00
- https://www.google.rs/search?hl=en&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1280&bih=645&q=iris+van+herpen&oq=Iris+van&gs_l=img.1.0.0110.2006.5710.0.8618.8.8.0.0.0.253.1165.0j7j1.8.0....0...1.1.64.img..0.8.1159.jyqoc7kR7jc#imgrc=qGIkkNon7AC71M:, 25.10.2017, 19 :00
- <https://fashionweek.nl/en/article/23jun16-iris-van-herpen-x-machina>, 12.02.2018, 18 :00
- https://www.google.rs/search?hl=en&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1280&bih=645&q=iris+van+herpen&oq=Iris+van&gs_l=img.1.0.0110.2006.5710.0.8618.8.8.0.0.0.253.1165.0j7j1.8.0....0...1.1.64.img..0.8.1159.jyqoc7kR7jc#imgrc=j648w59bpiiLHM: 12.02.2018, 18:00
- <http://www.suckerpunchdaily.com/tag/iris-van-herpen/>, 12.02.2018, 21:00
- <http://interlaced.co/lines-iris-van-herpen/>, 12.02.2018, 22:00
- <http://artnews.hu/2015/11/13/ismetles-maja-milinic-bogdanovic-kiallitasa/>, 12.04.2018, 18:00
- https://centar.hu/index.php/lang_sr/arhiva/clanci/709-maja-mili-bogdanovi-srpski-kulturni-centar-budimpe-ra-beogradska-politehnika, 12.04.2018, 21:00
- <https://itinerariesoftaste.sanpellegrino.com/taste-guides/contemporary-designers-and-3d> 25.08.2018, 12:15

<https://www.fabbaloo.com/blog/2014/2/27/bigreps-big-implications-for-industrial-3d-printing>, 25.08.2018, 14:45

<https://bigrep.com/3d-printers/>, 25.08.2018, 14:45

<https://www.whichplm.com/rise-3d-printing-fashion/25.08.2018> , 14:56

<https://www.dasfilament.de/filament-spulen/tpu-1-75-mm/25.08.2018>, 15:45

https://showstudio.com/contributor/isaie_bloch25.08.2018, 16:00

<https://www.ted.com/topics/biomimicry>29.08.2018, 14:45

https://www.designboom.com/technology/danit-peleg-3d-prints-fashion-collection07-27-2015/?utm_campaign=daily&utm_medium=e-mail&utm_source=subscribers 19.09.2018, 17:45

<http://www.suckerpunchdaily.com/2012/09/19/adaptive-respiration/>19.09.2018, 19:00

www.noaraviv.com/hard-copy-collection/21.09.2018, 19:00

<https://www.theinteriordesign.it/en/project/biomimicry-3d-printed-soft-seat/1092>, 21.09.2018, 19:15

<https://pdfs.semanticscholar.org/4288/24185988df7e5f8239005d20eedc8b5015c.pdf>,21.09.2018, 19:20

<http://www.irisvanherpen.com/news/the-high-museum-of-art-solo-exhibition>21.09.2018, 19:30

<https://www.vogue.com/article/iris-van-herpen-fall-2017-couture-behind-the-scenes-3-d-printing>, 21.09.2018, 22:00

<http://www.ellecanada.com/fashion/trends/article/iris-van-herpen-is-pushing-the-boundaries-of-fashion>, 21.09.2018, 22:10

https://www.ted.com/talks/janine_benyus_biomimicry_in_action, 22.09.2018, 19:00

<https://www.farfetch.com/nl/shopping/women/iris-van-herpen-maze-jacket-item-11437727.aspx>, 22.09.2018, 19:15

https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/13/e3sconf_icmee2018_03015.pdf, 22.09.2018, 19:45

<https://www.scientificamerican.com/article/fractals-chaos-video/>,22.09.2018, 21:00

<https://pdfs.semanticscholar.org/4288/24185988df7e5f8239005d20eedc8b5015c.pdf>., 23.09.2018., 13:00

