

## 3D DRUKAS IETEKMES PĒTĪJUMI TEKSTILDRĀNĀS

### *The Effect of 3D Printing on a Textile Fabric*

**Silvija Mežinska**

Rezekne Academy of Technologies, Latvia

**Ilmārs Kangro**

Rezekne Academy of Technologies, Latvia

**Edgars Zaicevs**

Rezekne Academy of Technologies, Latvia

**Gunta Salmane**

Rezekne Academy of Technologies, Latvia

**Abstract.** *3D printing capabilities are also used in the fashion and textile industries. 3D printed textiles are a new opportunity to create an individual design. Traditional textile structures can be interpreted using 3D printing technologies and materials. One of the most important factors associated with the use of 3D printing technology is to reduce the impact of processing on the physical properties of textile fabrics. Availability of 3D printers at Rezekne Academy of Technologies (RTA) provides experimental work with fabrics of different thickness and fibres as well as different filaments. This study is based on the analysis of synthetic fibre cloth processing and the effect of 3D printing parameters on textile materials. By applying successive layers of materials, the interaction between 3D printing and textiles is studied. In terms of adhesion and stability, the best adhesion parameters for a particular type of fabric are determined by analysing the type of the fabric. The variance analysis method is used to process the research results.*

**Keywords:** *3D printing technology, experiments, textile fabric, the variance analysis method.*

### **Ievads**

#### ***Introduction***

Stratēģiskie ES un Latvijas plānošanas dokumenti: Eiropas Augstākās izglītības sistēmu modernizācijas programma, Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģija „Latvija 2030”, paredz veicamas noteiktas aktivitātes un lielākus ieguldījumus jaunās tehnoloģijās, inovācijās; uzlabojumus izglītības sistēmā un zinātnes atbalstu. Minētie dokumenti, kā prioritāti, iekļauj pētījumu attīstību un praktisku pielietojumu. Dizaina nozares attīstībai aktuāla starpdisciplināra pētniecības stratēģija, kas sekmē arī inovatīvu, ilgtspējīgu dizaina izglītību.

Starpdisciplināra, starpnozaru pieeja (*Interdisciplinary, inter-sectoral approach*) – lai nodrošinātu saskari ar pēc iespējas dažādām darbības jomām un nozarēm, paver jaunas izglītības un novatorisma iespējas un ļauj reaģēt uz pašreizējām sociālekonomiskajām un kultūras tendencēm un prasībām (Brown & Martin, 2015; Kolko, 2015).

S. Burke un R. Sinklaira (Burke & Sinclair, 2015) atzīst tehnoloģiju lielo ietekmi uz modi un tekstilrūpniecību, procesu integrāciju un globalizāciju, ilgtspēju, digitālās tekstildrukas attīstību, kā pamatu jauniem materiāliem un procesiem. 3D drukāšana ir samērā jauna ražošanas tehnoloģija, kas saistīta ar ilgtspēju (Gebler et al., 2014), jo tā samazina atkritumu daudzumu. 3D printēšanas iespējas ir dabai draudzīgāka ražošana, tāpēc šīs jomas apgūšana ir aktuāla. Iesaistīšanās pētnieciskos projektos, sekmē zinātniski pētniecisko darbību Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijā (RTA). Metālapstrādes un mehatronikas pētnieciskā centra laboratorijās pieejami 3D printeri. Inženieriem sadarbībā ar dizaina programmu studentiem, docētājiem un uzņēmējiem, pieejama materiālu 3D drukas iespēju izpēte, nodrošinot starpnozaru pētījumus.

Raksta mērķis: pamatojoties uz pētījumu par 3D printēšanas tehnoloģijas iespējām funkcionālai izmantošanai tekstilizstrādājumu dizainā, analizēt drukas parametru ietekmi, novērtējot adhēzijas īpašības atšķirīgām tekstildrānām.

Pētījuma metodes: teorētiskās – literatūras, avotu un statistikas datu analīze, empīriskās – eksperiments un datu apstrāde ar dispersijas analīzes metodi.

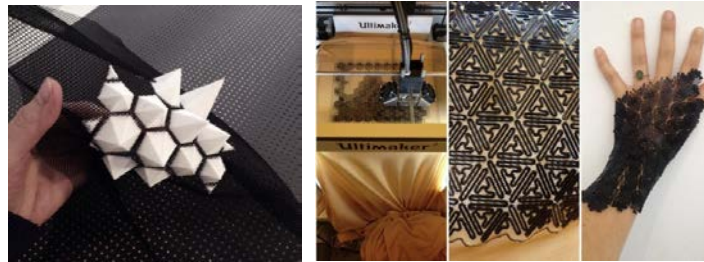
### **3D drukas aktualitātes pasaules modes dizainā** *3D printing highlights in world fashion design*

Lai gan 3D druka patentēta jau 1986.gadā, savu attīstību un strauju progresu modes dizainā tā uzsākusi pēdējā desmitgadē. Sākotnēji 3D druka tika izmantota prototipiem, taču šobrīd tā arvien vairāk tiek pielāgota dažādu masveida produktu ražošanai, pielietota daudzās nozarēs (Shahrubudin et al., 2019). 3D druka rada iespēju uzlabot produktu dizainu, piedāvājot klientiem personalizētus un unikālus produktus (Vanderploeg et al., 2017), samazinot ražošanas laiku (Attaran, 2017). Akcentējot mūsdienu vides problēmas un meklējot risinājumus arī modes dizainā, tiek atzīts, ka 3D druka dod iespēju veidot unikālus, ilgtspējīgus, bezatkritumu (*zero waste*) modes dizaina risinājumus (Pasricha & Greeninger, 2018). Tiek samazināts enerģijas un citu resursu patēriņš, un ar to saistītā CO<sub>2</sub> emisija visā produkta aprites ciklā (Gebler et al., 2014). 3D druka nodrošina ātrumu un efektivitāti, kas nepieciešama, lai gūtu panākumus mainīgajā modes nozarē, turklāt 3D tehnoloģija ir progresīva un attīstības iespējas ir ļoti plašas.

Ar vienādu nozīmi literatūras avotos tiek lietoti termini 3D druka un 3D printēšana (*3D printing*), papildinātā ražošana (*additive manufacturing*). 3D druka (*three-dimensional printing*) ir process, kurā no digitālā faila tiek izgatavoti

reāli trīsdimensionālu objekti (What is 3D..., 2019). 3D drukā tiek izmantota slāņu klāšanas metode, kurā drukājama objekts tiek izveidots, klājot vairākus divdimensionālus slāņus, kuri ir šī printējamā objekta horizontāli šķērsriezumi, izmantojot objekta datorizēto projektēšanu CAD (*Computer-aided design*) (Shahrubudin et al., 2019).

Dizaineri piedāvā risinājumus, 3D druku savienojot ar audumu, drukāšana notiek uz auduma un piešķir ornamentālu, dekoratīvu funkciju (skat.1. att.).



1.attēls. *Druka uz tekstila*

Figure 1 *Printing on fabric*

(Richa, 2018; 3D print on fabric, fab lab barcelona, fabtextiles, 2015)

Pasaulē notiek aktīvs pētnieku, dizaineru un inženieru darbs pie tekstilprinteru izstrādes, lai drukātu pašu tekstilu. 3D drukāta apģērba pielāgošana lietošanai, lai patērētājs varētu iegādāties digitālo failu un mājas apstākļos izdrukāt vēlamo izstrādājumu ir izaicinājums. Izraēlas dizainere D. Pelega (D. Peleg) 2018. gadā *Forbes* veidotajā sarakstā tika atzīta par vienu no Eiropas izcilākajām sievietēm, jo 2017. gada vasarā savā interneta vietnē <https://danitpeleg.com> uzsāka pielāgošanas un personalizācijas platformu, ļaujot klientiem personalizēt un pasūtīt pasaulē pirmo 3D drukāto apģērbu (skat. 2.att.), kas pieejams pirkšanai tiešsaistē.



2.attēls. *Danit Peleg kolekcija*

Figure 2 *Collection of Danit Peleg* (Peleg, 2018)

A. Perija (Perry, 2018) veikusi pētījumu par patērētāju 3D drukātu modes izstrādājumu izvēles kritērijiem, noskaidrojot, ka respondenti labprātāk izvēlas 3D drukātus aksesuārus, nevis apģērbus, minot, ka tas nav ērts un ar to nav viegli

pārvietoties. Pagaidām 3D iespiedmateriālu neelastība, drukas laukietilpīgums kavē 3D drukātu apģērbu lietot ikdienā (Richardot, 2018). J. Flints akcentē, ka tehnoloģijas ir uzlabotas, un ir pieejams arī elastīgs drukas materiāls, kas ir pazīstams kā TPU 92A-1, un to var mazgāt un gludināt tieši tāpat kā parasto drānu. *Filaflex* ir vēl viens elastīgs materiāls, ko izmanto, lai izgatavotu 3D apdrukātu apģērbu. J. Flints atzīst, ka 3D drukātais apģērbs joprojām nav tik gluds un elastīgs kā kokvilna vai likra (Flynt, 2019).

3D drukas ieguvumi modes dizainā:

- iespēja uzlabot produktu dizainu, piedāvājot klientiem personalizētus un unikālus produktus (Vanderploeg et al., 2017). Var radīt apģērbu, kas atbilst individuālam ķermeņa izmēram un siluetai (Mageean, 2018);
- digitāli radīti materiāli piedāvā plašas iespējas attiecībā uz sarežģītu fizikālu īpašību iestrādāšanu īpaši noteiktās tekstilmateriālu zonās. Piemēram, var izveidot konkrētu tekstilmateriālu, kas ir ūdensizturīgs, necaurspīdīgs, elastīgs vai stingrs, un pēc tam kombinēt šos elementus kopā vienā apģērbā (Mageean, 2018);
- prototipa projektēšana ir viens no laukietilpīgākajiem dizaina procesiem, 3D tehnoloģijas būtiski paātrina šo procesu (Welson-Rossman, 2018). Arī ražošanas laiks būtiski samazinās (Attaran, 2017);
- izmantojot 3D drukāšanu, modes preces var izgatavot pēc pieprasījuma vai nelielos partiju apmēros. Dizaineru apģērbs var kļūt vieglāk pieejams (Flynt, 2019);
- 3D drukāšanā tiek izmantots tikai nepieciešamais materiāls, tas nerada nekādus atkritumus (Richardot, 2018);
- tiek samazināts enerģijas un citu resursu patēriņš, un ar to saistītā CO<sub>2</sub> emisija visā produkta aprites ciklā (Gebler et al., 2014);
- tiek veicināta pāreja uz vairāk digitālām un lokalizētām piegādes ķēdēm (Gebler et al., 2014). Samazinās piegādes ķēdes izmaksas (Shahrubudin et al., 2019).

J. Flints (Flynt, 2019) akcentē 3D drukas iespējamus trūkumus – nesakārtotas autortiesības var novest pie dizaina failu pirātisma, autentiskuma noteikšanas grūtības, kvalitātes kontroles trūkums, kā arī iespējama darba vietu zaudēšana – cilvēka darbs tiek aizstāts ar iekārtām.

### **3D drukas tehnoloģijas attīstība tekstilizstrādājumu dizainā** *Development of 3D printing technologies in textile design*

3D printēšana ir strauji attīstījusies. 3D skeneri ļauj precīzi izveidot jaunu objektu. Tiek izstrādātas lietojumprogrammas, kas ļauj skenēt vienumu ar

viedtālruni un izdrukāt kopiju (Brooks, 2016). Drukšanas tehnoloģija ir pielāgota dažādiem materiāliem un izejvielām – metālam, polimēriem, keramikai, kompozītmateriāliem, viedajiem materiāliem, pārtikai, lunārajiem putekļiem, tekstilam. M. Brūks par visiespaidīgāko materiālu atzīst cilvēka šūnas: jo ir iespējams izdrukāt asinsvadus, ādas un sirds audus, un tiek veikti pirmie klīniskie pētījumi ar 3D drukātiem orgāniem (Brooks, 2016). 3D drukšanas tehnoloģija vairs neaprobežojas tikai ar prototipu izgatavošanu, bet arvien vairāk tiek pielāgota dažādu masveida produktu ražošanai, un tiek pielietota daudzās nozarēs, t.sk. tekstila un modes dizainā (Shahrubudin et al., 2019).

Pastāv dažādas 3D modeļu iegūšanas tehnoloģijas, kā SLS (materiāls ir pūdera veidā, kurš ar lāzera palīdzību tiek kausēts un iegūts objekts), FDM (pielieto vairumražošanā, šī sistēma nodrošina perfektu objektu izgatavošanu) vai CAD sistēmā (Minjoo & Sungmin, 2019).

ASTM (*American Society for Testing and Materials*) Standarts 3D drukāšanas tehnoloģijas iedala:

- iespējas drukāt dažādus materiālus (*binding jetting*), tostarp metālus, smiltis, polimērus un keramiku;
- virzītas enerģijas nogulsnešana (*directed energy deposition*), piemēram, LENS (*laser engineered net shaping*), pielieto instrumentu, transporta, kosmosa, naftas un gāzes nozarē;
- materiālu ekstrūzija (*material extrusion*). FDM (*fused deposition modelling*) tiek plaši izmantota, drukājot plastmasu, arī daudzkrāsu, pārtiku un pat dzīvas šūnas;
- izmanto plašu materiālu klāstu (*material jetting*), piemēram, polimērus, keramiku, kompozītmateriālus, bioloģiskos materiālus;
- pulverveida tehnoloģijas (*powder bed fusion*), iekļaujot EBM (*electron beam melting*), SHS (*selective heat sintering*) un SLS (*selective laser sintering*) drukšanas tehnikas. SLS drukšanas tehnoloģiju raksturo darbības ātrums, augsta precizitāte un dažādu virsmu apdares iespējas, to var izmantot metāla, plastmasas un keramikas priekšmetu izgatavošanai;
- lokšņu laminēšana (*sheet lamination*), piemēram, LOM (*laminated object manufacturing*) and UAM (*ultrasound additive manufacturing*) tehnoloģijas. LOM tehnoloģijā var radīt salīdzinoši lētas pilnkrāsu izdrukas un ražot sarežģītas ģeometriskas detaļas ar zemākām ražošanas izmaksām. UAM ir inovatīva procesa tehnoloģija, kas izmanto skaņu, lai apvienotu metāla slāņus;
- tehnoloģijas ir SLA (*stereolithography*) and DLP (*digital light processing*), kas piemērotas augstas kvalitātes izstrādājumu ar augstas virsmas kvalitāti izgatavošanai (*vat photopolymerization*) (Shahrubudin et al., 2019).

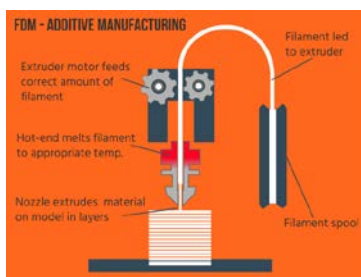
Pārsvārā ražotāji izmanto kādu no 3D printēšanas tehnoloģijām, lai izgatavotu produktu detaļas, kuras ir grūti izgatavojamas ar tradicionālajām metodēm (Roach et al., 2019). Katrai drukas tehnoloģijai ir attiecīgs 3D printeris, lielākā daļa 3D apģērbu tiek drukāti, izmantojot SLS - selektīvā lāzera kausēšanas- tehnoloģisko procesu. Šī 3D drukas metode piedāvā iespēju veidot sarežģītu dizainu un sasniegt augstu detalizētības līmeni, kas ir nepieciešams modē un apģērbam (Flynt, 2019).

Ekstrūzijas druka (*extrusion printing, freeform fabrication*) FDM (skat. 3., 4., 5. att.) pašlaik ir visizplatītākais un atpazīstamākais 3D drukas process.



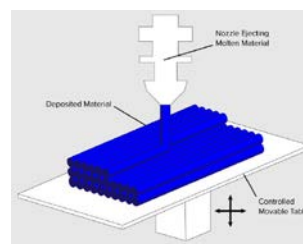
3.attēls. FDM printeris  
Figure 3 FDM printer

(FDM printer, n.d.)



4.attēls. FDM printera darbības princips  
Figure 4 FDM Printer Operation Principle

(Grieser, 2019)



5.attēls. FDM 3D drukas process  
Figure 5 FDM 3D printing process

(Report on 3D-printing, 2016)

Filamentu, kas uztīts uz spoles, laiž cauri un silda ekstrūderī, temperatūra ir atkarīga no filamenta veida. Pēc tam izkausētais materiāls tiek klāts uz platformas - slānis pēc slāņa, kas pēc izspiešanas savienojas ar iepriekšējo slāni un sacietē (Pasricha & Greeninger, 2018). Pieejami dažādu krāsu un veidu filamentu – ABS, PLA, PET, PVA, HIPS, TPE, smilšakmens, metāla, koka, neilona, kaņepju, filamentu ar atstarojošu un luminiscējošu efektu, kompostējami un biodegradējami filamentu u.c.

3D printējumi ir aktuāli visā pasaulē. Modes dizaineri *threeASFOUR* un *Travis Fitch* kopā ar *Stratasys* Ņujorkā parāda jaunu realitāti modes dizaina jomā. Divas 3D printētas kleitas - “*Pangolin*” un “*Harmonograph*” ir daļa no *ThreeASFOUR* izveidotās „*Biomimicry*” kolekcijas. Tās izgatavotas ar unikālu daudzfunkcionālu, daudzkrāsaino *Connex3* 3D printa tehnoloģiju. Nano uzlabotais elastomēra 3D printēšanas materiāls, dod kleitām izturību un elastību (Swack, 2016) (skat. 6.att.). 3D druka ļauj izveidot jaunu tekstilmateriālu, kas nepastāv. “*Pangolin*” 3D printētā kleitā, ar ķēdes tipa savienojumu, katra vienība darbojas pati par sevi un rada četru dimensiju stiepšanās virzienus: augšup un lejup; pa kreisi un pa labi; uz priekšu un atpakaļ.



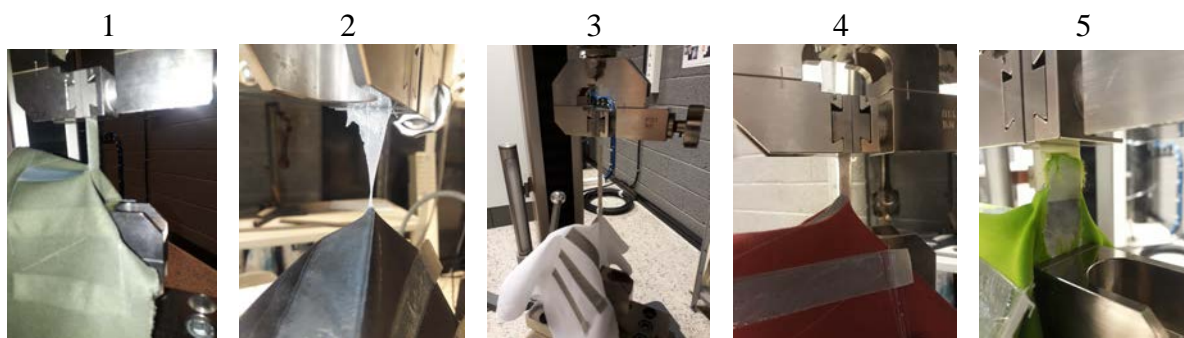
6.attēls. “Pangolin” un “Harmonograph” 3D printētās kleitas  
 Figure 6 Pangolin and Harmonograph 3D printed dresses (Carasella, 2016)

3D printēšanas tehnoloģiju pielieto tekstila struktūras izveidei vai savienošanai ar drānu. Tomēr tekstilrūpniecībā šī tehnoloģija vēl tiek maz izmantota, jo printēšanai tiek izmantota plastmasa, kas saskarē ar ķermeni var būt nepatīkama. Ražošanā 3D printēšanas tehnoloģiju izmanto apavu zoļu izgatavošanā (Chatterjee & Ghosh, 2019). Holandes modes dizainere Irisa van Herpena (*Iris van Herpen*), pielieto dažādus materiālus: zīdu, organzu, ādu un 3D silikona struktūras. Aksesuāri un rotas ir 3D printēti, līdz ar to ikviens aksesuārs ir unikāls. Dizainere ir ar vēlmi pārkāpt robežu starp mākslu, zinātniskiem eksperimentiem un apģērbu (Teuku, 2014).

### **Ekspērimētālais pētījums un rezultāti** *Experimental research and results*

RTA zinātniskā Granta projekts, 3D printēšanas tehnoloģiju izmantošana tekstilizstrādājumu dizainā, 2018./2019. studiju gadā, paredzēja veikt eksperimentālu darbību ar mērķi 3D drukas tehnoloģiju integrēšanai tekstildrānās un 3D drukas detaļu funkcionālai izmantošanai tekstilizstrādājumu dizainā, galvenokārt novērtējot saķeres kvalitāti atšķirīgām tekstildrānām.

3D printēšanai tiek izmantoti Ender-3 3D printeri ar FDM printēšanas tehnoloģiju, kausējot termoplastikāta auklu. Printeri raksturojošie parametri ir: printēšanas platformas izmērs – 220\*220\*250 mm; iespējamie printējamie materiāli – PLA, TPU, ABS, TPE, PETG; maksimālais ātrums 180 mm/s; slāņa biezums – 0.1-0.4 mm; precizitāte  $\pm 0.1$ mm; sprauslas diametrs 0.4 mm; maksimālā sprauslas temperatūra 255° C; platformas temperatūra 110° C. Šajā pētījumā tika izmantoti piecu dažādu trikotāžas jauktšķiedru tekstildrānu paraugi, lai veiktu 3D drukas slāņa uzklāšanu. Izmantoti kombinētā (1, 2) un vienpusējā (3, 4) pinuma paraugi un 3 slāņu kompozītmateriāls (5). Drukai tiek izmantots TPU (*Thermoplastic polyurethane*) “SAIN SMART” ražojuma filaments.



7.attēls. Eksperimentāla darbība laboratorijā. Printējuma adhēzijas tests  
 Figure 7 Experimental process in laboratory. Print adhesion test

Drānas paraugiem tiek pētīta to adhēzija ar 3D printētu TPU materiālu. 1. tabulā doti eksperimenta rezultāti. Kā redzams tabulā, katram drānas paraugam tiek veikti četri printētā materiāla atraušanas mēģinājumi, ar nolūku izslēgt gadījuma kļūdu un iegūt vidējo atraušanas spēku  $\bar{X}$ . Šim nolūkam uz katra parauga tiek printētas joslas ar izmēru: 20\*100mm. Adhēzijas tests tiek veikts izmantojot “Zwick Roell Z150” iekārtu, kas paredzēta materiālu stiepes/ spiedes īpašību noteikšanai.

1.tabula Tekstildrānas dažādu paraugu atraušanas spēks (adhēzija)  
 Table 1 Tensile strength of different textile fabric samples (adhesion)

Materiāls Nr.pk.	Maksimālais piemērotais spēks, kg				Vidējais atraušanas spēks, kg
	1.paraugs	2.paraugs	3.paraugs	4.paraugs	$\bar{X}$
<b>1</b>	4,4	3,6	4,2	3,8	<b>4,0</b>
<b>2</b>	9	10	9,5	8,5	<b>9,3</b>
<b>3</b>	8	7,8	6,3	6	<b>7,0</b>
<b>4</b>	7,5	8,2	6,8	6,4	<b>7,2</b>
<b>5</b>	7,5	5,8	7	6,5	<b>6,7</b>

Lai noskaidrotu, vai pētāmo paraugu stiprība atšķiras statistiski nozīmīgi (būtiski), nosakot piecu dažādu paraugu stiprību četros mērījumos, tika veikts vienfaktora dispersiju analīzes (*Anova: Single Factor*) tests (Moore, 2004) ar *MS Excel*. Apkopojot eksperimenta datus ( $F = 25,6078 > F_{crit} = 3,0556$ ,  $F$  - ANOVA testa eksperimentālā vērtība,  $F_{crit}$  - kritiskā vērtība), 3., 4. un 5. parauga izturība būtiski neatšķiras. Turpretī visos pārējos gadījumos apskatāmie paraugi izturības ziņā atšķiras statistiski nozīmīgi (nozīmības līmenis  $\alpha = 0,05$ ) – 1. un 2. paraugs, 1. un 3. paraugs, 1. un 4. paraugs, 1. un 5. paraugs, 2. un 3. paraugs, 2. un 4. paraugs, 2. un 5. paraugs.



## Secinājumi Conclusions

- 3D drukāšanai šobrīd ir vairākas tehnoloģijas, kas tiek pielietotas ļoti plaši, risinot atšķirīgu nozaru izaicinājumus un problēmsituācijas;
- 3D druka ir ilgtspējīga un vidi saudzējoša tehnoloģija, jo sekmē resursu ekonomiju;
- Pasaules modes dizainā pastāv daudzveidīga, radoša iespēja projektēt un ražot apģērbus un aksesuārus, kā arī drukāt rotājumus tradicionālajiem tekstilizstrādājumiem, paredzot sarežģīta dizaina (ģeometrija, struktūra) izveides iespējas;
- 3D printeru izmantošana un to tehnoloģiskajās iespējas rūpnieciskās ražošanas jomās nodrošina eksperimentālu darbību un rezultātus jauniem uzlabotiem produktiem, funkcionālām detaļām, furnitūrai, apvienojot apģērbu dizainu ar 3D tehnoloģiju iespējām;
- Pētnieciskie rezultāti un eksperimentālais materiāls pamato piemērotākās drukas temperatūras izvēli, printētā objekta pēcapstrādes paņēmienus. Rezultātā tiek iegūts, ka labākās adhēzijas īpašības ar 3D printētu TPU materiālu piemīt 2. paraugam, kas sasniedz atraušanas spēku 9.3 kg. Zemākās adhēzijas īpašības uzrāda 1. paraugs, kā atraušana nepieciešams 4 kg spēks. Paraugi Nr. 3, 4, 5 uzrāda līdzīgu rezultātu, printētā materiālā atraušana nepieciešams ~7 kg spēks.
- Starpdisciplināra sadarbība sniedz dalībniekiem plašākas tehnoloģiskās iespējas, pētījumu rezultātu pārnesi praksē.

## Summary

S. Burke and R. Sinclair (Burke & Sinclair, 2015) recognize the great influence of technology on fashion and the textile industry, process integration and globalization, sustainability, the development of digital textile printing as the basis for new materials and processes. 3D printing is a relatively new manufacturing technology related to sustainability (Gebler et al., 2014) because it reduces waste. 3D printing production is more environmentally friendly, so mastering this area is topical. Involvement in research projects, facilitates scientific research in Rezekne Academy of Technologies (RTA). 3D printers are available in the laboratories of the Metalworking and Mechatronics Research Centre. Engineers, in collaboration with design students, docents, and entrepreneurs, have access to 3D printing material possibilities research, providing cross-disciplinary research.

Aim of the paper: to analyse the influence of printing parameters by assessing the adhesion properties of different textile fabrics based on the study of 3D printing technology opportunities for functional use in textile design. Research methods: theoretical - literary, source and statistical data analysis, empirical - experiment and data processing with dispersion analysis method.

A. Perry (Perry, 2018) conducted a study on consumer choice criteria for 3D printed fashion products, finding that respondents prefer 3D printed accessories rather than clothing, stating that it is not comfortable and easy to navigate in. For the time being, the rigidity of 3D printing materials and the time consuming printing hinder the use of 3D printed clothing in everyday life (Richardot, 2018). J. Flint emphasizes that technology is advanced, and there is also a flexible print material known as the TPU 92A-1 that can be washed and ironed just like a regular fabric. Filaflex is another flexible material used to make 3D printed clothing. Flint admits that 3D printed clothing is still not as smooth and elastic as cotton or lycra (Flynt, 2019).

Each printing technology has an appropriate 3D printer. Extrusion printing (*extrusion printing, freeform fabrication*) FDM is currently the most common and recognizable 3D printing process. Filament turned on a coil is passed through and heated in the extruder, the temperature depends on the filament type. The molten material is then deposited on a platform, layer by layer, which, upon extrusion, joins with the previous layer and hardens (Pasricha & Greeninger, 2018).

RTA Scientific Grant Project, 3D printing technology usage in textile design, in the academic year 2018/2019, intended to carry out an experiment aimed at integrating 3D printing technologies in textile fabrics and the functional use of 3D printed details in textile design, mainly by evaluating the adhesion quality of different textile fabrics. RTA for 3D printing uses Ender-3 3D printers with FDM printing technology, fusing thermoplastic cord.

Fabric samples are studied for their adhesion to 3D printed TPU material. Table 1 gives the results of the experiment. The adhesion test is performed using a Zwick Roell Z150 machine used for determining tensile / compressive properties of materials.

A single factor analysis of variance (Anova: Single Factor) test (Moore, 2004) with MS Excel was performed to determine whether the strength of the test samples differed statistically significantly by determining the strength of five different samples in four measurements.

### Literatūra References

- 3D print on fabric, fab lab barcelona, fabtextiles (2015). Retrieved from <http://fabtextiles.org/tag/3d-print-on-fabric/>
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business horizons*, 1, 1-12.
- Brooks, M. (2016). The day the world became 3D. *New Scientist*, 232(3096), 40–41.
- Brown, T., & Martin, R. (2015). Design for action. *Harvard Business Review*, 93(9), 58–64. Retrieved from <https://hbr.org/2015/09/design-for-action>
- Burke, S., & Sinclair, R. (2015). Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM) of Apparel and other Textile Products. Materials, Design and Technology. *Textiles and Fashion. Materials, Design and Technology*. Woodhead Publishing Series in Textiles, eBook. Skatīts 15.12.2019. Database: ScienceDirect
- Carasella, M. (2016). *Harmonograph dress and pangolin dress*. Retrieved from <https://3dprintedart.stratasys.com/threeasfourharmonographandpangolin/>
- Chatterjee, K., & Ghosh, T.K. (2019). *3D Printing of Textiles: Potential Roadmap to Printing with Fibers*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Article Number: 1902086. Database: Web of Science
- Flynt, J. (2019). *3D Printing Fashion: Advantages, Disadvantages, and Future*. Retrieved from <https://3dinsider.com/3d-printing-fashion/>

- FDM printer. (n.d.) Retrieved from <https://www.geekbuying.com/item/SUNKIN-D220-Cloud-based-DIY-FDM-3D-Printer-Black-398723.html>
- Gebler, M., Schoot Uiterkamp, A.J.M., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158–167.
- Grieser, F. (2019). *FDM printera darbības princips*. Retrieved from <http://apm-designs.com/fdm-vs-sla-3d-printer-tech-comparison/>
- Kolko, J. (2015). Design thinking comes of age. *Harvard Business Review*, 93(9), 66–71. Retrieved from <https://hbr.org/2015/09/design-thinking-comes-of-age>
- Mageean, L. (2018). *The Rise of 3D Printing in Fashion*. Retrieved from <https://www.whichplm.com/rise-3d-printing-fashion/>
- Minjoo, K., & Sungmin, K. (2019). Fabrication of 3D printed garments using flat patterns and motifs. *International journal of clothing science and technology*, 31(5), 653-662.
- Moore, D.S. (2004). *The basic practice of statistics* / David S. Moore. 3d ed. New York: W.H.Freeman and Company.
- Pasricha, A., & Greeninger, R. (2018). *Exploration of 3D printing to create zero-waste sustainable fashion notions and jewelry*.
- Peleg, D. (2018). *Liberty leading the people*. Retrieved from <https://danitpeleg.com/liberty-leading-the-people-2/>
- Perry, A. (2018). 3D-printed apparel and 3D-printer: exploring advantages, concerns, and purchases. *International Journal of Fashion Design, Technology & Education*, 11(1), 95-103.
- Report on 3D-printing: Current and future application areas, existing industrial value chains and missing competences in the EU* (2016). Retrieved from [https://ec.europa.eu/growth/content/report-3d-printing-current-and-future-application-areas-existing-industrial-value-chains-0\\_en](https://ec.europa.eu/growth/content/report-3d-printing-current-and-future-application-areas-existing-industrial-value-chains-0_en)
- Richa. (2018). *3D Printing on fabric*. Retrieved from <http://www.geeetech.com/blog/2018/02/3d-printing-on-fabric-is-easier-than-you-think/>
- Richardot, A. (2018). *3D printed fashion: Why is additive manufacturing interesting for fashion?* Retrieved from <https://www.sculpteo.com/blog/2018/01/24/3d-printed-fashion-why-is-additive-manufacturing-interesting-for-fashion/>
- Roach, J.D., Hamel, M.C., Dunn, K.C., Johnson, V.M., Kuang, X., & Jerry, X. (2019). The m4 3D printer: A multi-material multi-method additive manufacturing platform for future 3D printed structures. *Additive Manufacturing*, 29(100819).
- Shahrubudin, N., Lee, T.C., & Ramlan, R. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296.
- Swack, M. (2016). *New York Fashion Week: New Movement in 3D Printed Fashion By ThreeASFOUR, Travis Fitch and Stratasys*. Retrieved from <http://blog.stratasys.com/2016/02/16/3d-printed-dresses-new-york-fashion-week/>
- Teuku, A. (2014). *Iris van Herpen Spring 2015 RTW*. Retrieved from <https://www.dewmagazine.com/iris-van-herpen-spring-2015-rtw/>
- Vanderploeg, A., Lee, S-E., & Mamp, M. (2017). The application of 3D printing technology in the fashion industry. *International Journal of Fashion Design, Technology & Education*, 10(2), 170–179.
- What is 3 D printing*. (2019). Retrieved from <https://3dprinting.com/what-is-3dprinting/>
- Welson-Rossman, T. (2018). *3-D Printing Poised To Revolutionize The Fashion Industry*. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/traceywelsonrossman/2018/02/07/3-d-printing-poised-to-revolutionize-the-fashion-industry/#61678534170f>