

Hendrik Toropov

**3D-
PRINTIMISTEHNOLOOGIA
RAKENDAMINE
VARUOSADE TOOTMISEKS**

Lõputöö

Tehnikainstituut

Õpperühm: AT 82

Juhendaja: Raiko Annask

Tallinn 2021

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, **Hendrik Toropov**

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teoste le on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuiskuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja **Raiko Annask**

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Hendrik Toropov

sünnikuupäev: 11.02.1995

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

3D- printimistehnoloogia rakendamine varuosade tootmiseks

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. 3D PRINTIMINE	6
1.1. 3d printimistehnoloogia tutvustus	6
1.2. Enimlevinud printimistehnoloogiad	6
1.2.1. FDM	6
1.2.2. SLA	8
1.2.3. SLS	9
1.3. Enimlevinud materjalid FDM printeritele.	12
1.3.1. PLA	12
1.3.2. ABS	13
1.3.3. PETG	14
1.4. 3D-printimise roll uutes tootmismudelites	16
1.4.1. Tootmise osutamine teenusena – <i>Manufacturing as a Service</i>	16
1.4.2. Massiline kohendamine – <i>Mass customisation</i>	16
1.4.3. Vajaduspõhine toomine – <i>On-demand Manufacturing</i>	17
2. ÄRIPLAAN	19
2.1. Ettevõtte rajamine ja tegevuskava	19
2.1.1. Tooted ja teenused	20
2.1.2. Toote hinna määramine	21
2.1.3. Omahinna arvutus	22
2.1.4. Konkurents ja nende iseloomustus	25
3. SÕIDUAUTO VARUOSA TOOTMINE JA RAKENDUSKÕLBULIKKUSE KATSETAMINE	32
3.1. Projekti kirjeldus	32
3.1.1. Varuosa päring	33
3.1.2. Ukselingi hinnavõrdlus	34
3.1.3. CAD-projekteerimine	35
3.1.4. Tootmiseks kasutatav seade ning materjal.	36
3.1.5. Printimise seadistus	37
3.2. Katsed detailiga	38
KOKKUVÕTE	42

SUMMARY	43
4. KASUTATUD MATERJAL	44
LISAD	48

SISSEJUHATUS

Lõputöö teema valiti, kuna autor näeb probleemi klassikaliste sõidukite turul varuosade kättesaadavusega ning soovib leida lahendust kasutades uut tootmismeetodit.

Autori arvates on klassikaliste autode üks põhilistest huvitekitajatest sõidukite eksklusiivsus, mis tekib tänu sõidukite vähenemisele aja kulgedes. Mida vähemaks jääb sõiduki konkreetset mudelit, seda eksklusiivsemaks mudel muutub. Seda väiksem on tõenäosus, et varuosatootjad hoiavad antud mudeli jaoks tootmistööriistade sisseseadistust aktiivselt töös, kuna mudeli varuosade huvi ei ole piisavalt suur, et tootmine oleks kasumlik. Selle tulemusel väheneb eksklusiivsete autode varuosade saadavus turul selle tasemeni, kus varuosa pole enam saadaval.

Kui varuosade tootja peaks kaalutlema soetada vähempopulaarse auto kindla varuosa tootmistööriistad, peab tootja võtma arvesse tootmistööriistade hankeks ning tootmiseks ja toodate ladustamiseks eraldatud ruumi ja energia jaoks vajaliku ressursikulu, mis tuleb toote müügiga tasa teenida. See tekitab taaskorda vajaduse toota ning ka müüa seda kindalt varuosa vähemalt sellises ning koguses, et kulud oleks tasa teenitud. Selline lahendus sobib seetõttu ainult autodele, mille populaarsus on piisav, et müüa seda kindlat varuosa ettenähtud arv,

Sellest probleemist lähtuvalt on olemas koht klassikaliste autode varuosade turul vajaduspõhisele tootmise mudelile. Et oleks kasumlik või majanduslikult mõistlik toota varuosi väikesetes või üksikutes kogustes on vaja kohandada selleks tootmisprotseduur, mille individuaalse sisseseade oma hind oleks soodne, mis võimaldaks toote pakkujal teenida kasumit esimesest tootest alates. Samuti, et ettevõtte oleks üksiktoodete müümises jätkusuutlik, on vaja laia kliendibaasi. Üksiktoodete lai kliendibaas eeldab ka ettevõtjalt laias valikus erinevate kliendipõhiste toodete aegsat tootmisvõimekust.

- Lõputöö eesmärgiks on selgitada välja:
- Varuosade tootmise võimalikkus kasutades 3D-printimistehnoloogiat
- 3D-printimistehnoloogial baseeruva detaili sobilikkus klassikaliste sõidukite funktsionaalsete detailide asendustootena.
- Koostada 3D- printimistehnoloogiat rakendava tootmisettevõtte äriplaani. Äriplaani eesmärgiks on selgitada välja konkurentsi tase riigisiselt, selgitada välja ettevõtte stardikapital ning analüüsida toodetud detaili omahinnast lähtuvalt alustava ettevõtte konkureerimisvõimekust 3D-printimistehnoloogial baseerual tootmisturul.

1. 3D PRINTIMINE

1.1. 3d printimistehnoloogia tutvustus

3D-printimine ehk kihtlisandustehnoloogia kujutab endast kolmemõõtmelise objekti tootmist kasutades lähteandmena CAD programmis projekteeritud mudelit. Selle mudeli põhjal ehitatakse füüsiline objekt valmis järk-järgult kihtide kaupa.

3D-printimine võimaldab tooteid valmistada vajaduspõhiselt ja lähedal toote sihtkohale. Toode transporti vajadus kaotatakse ära paigutades tootmishooned tarbijatele lähemale. See võimaldab vähendada ladude arvu ning lihtsustab logistilist poolt oluliselt. Füüsiliste toodete pikamaatransport asendub toote digitaalkuju edastamisega tootmisprinterisse interneti vahendusel. Ettevõtte toodete portfoolio üle viimine digitaalseks inventariks 3d mudelite kujul pilveteenust või muud kasutades võib välja süüa keerukate toodete füüsilise inventari hoidmise vajaduse, mis vähendab laoseisu, see omakorda laohoonete vajadust. 3d printimise laiahaardeline levik mitme tegevusala vahel võib püsivalt vähendada füüsiliste toodete tarnimise vajadust. 3d printimispõhise tootmiseks vajalik toormaterjal on kas pulbri, vaigu või poolidesse keeratud filamendi kujul. Võrreldes seda traditsiooniliselt toodetud detaili

Sellist tüüpi tootmine erineb selgelt klassikalistest toomisviisidest, milles toormaterjali töötlemine toimub toorikult üleliigse materjali eemaldamisega erinevates etappides kuni lõpp-produktini. [1]

1.2. Enimlevinud printimistehnoloogiad

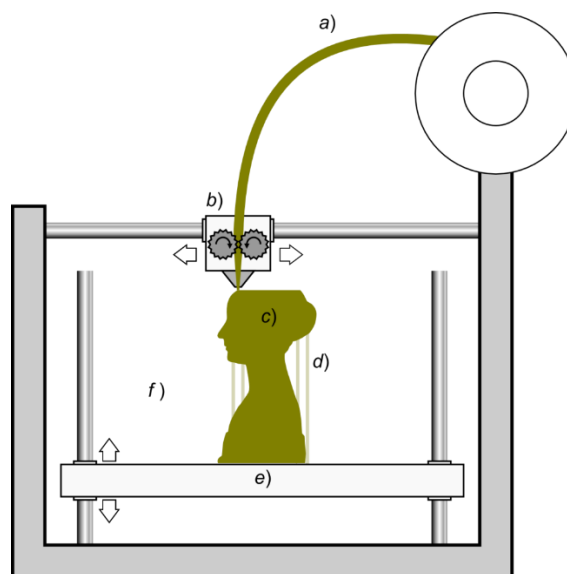
Et leida sobiv 3D-printer alustavale ettevõttele, tuli autoril esmalt tutvuda erinevate printimistehnoloogiatega.

1.2.1. FDM

FDM ehk sulatatud ladestamisega kujundamine (*fused deposition modeling*) on 3D-printimismeetod, mis kasutab toormaterjalina termoplastilisi materjale. Toormaterjali söödetakse pooli pealt kuumutavasse toitepeasse, mis vastavalt soovitud detaili kujule liigub

aluspinna peal ringi nii pikkusesse, laiusesse kui ka kõrgusesse. Tööprotsess kirjeldab endas kindlaks määratud paksusega kihtide kahemõõtmelist printimist üksteise peale kihtide kaupa, kasvatades sellest soovitud detaili kuju järk-järgult.

FDM on harrastajate seas populaarseim 3d printimismeetoditest. Selle kõrval on SLA ehk stereolitograafia (*stereolithography*) ja SLS ehk valikuline laserpaagutamine (*selective laser sintering*), mis annavad parema lõpptulemuse võrreldes, kuid on tootmisprotsessina kallimad kui FDM.



Sele 1. FDM printimisprotsess [2]

Eelised

- Võrdluses oletvatest meetoditest soodsaim
- Harrastajate seas enimlevinud meetod, mille tõttu on sellist tüüpi tooteid turul suur valik ning on soodsalt kättesaadavad.

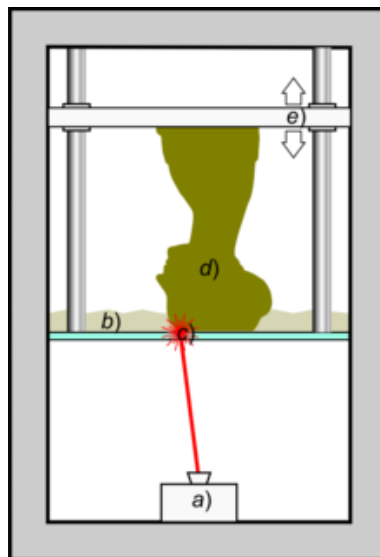
Puudused

- Kihtide järk-järgulise sulatamise ja jahutamise protsessi tõttu on valmistootel kihte näha ning seetõttu vajab printitud toode alati pinnatöötlust
- Kihtidele mõjuvad pikisuunalised jõud võivad detaili purustada kergemalt, kui risti suunas jõud, mistõttu on oluline, mis asetusega detail printeris valmistatakse. [3]

Sobiv printer on saadaval ka Eestis, hinnaks on 269 €, prinditava toote maksimaalsed mõõtmed - 220 x 220 x 250 mm [4]

1.2.2. SLA

SLA ehk stereolitograafia on üks vanimatest 3d printimismeetoditest ning seetõttu ka üks siiani laialdasemalt kasutust leidvaid meetodeid. Tööprotsess kirjeldab endas fotokeemilist protsessi, kus ultraviolet- või nähtav valgus suunatakse vedelale fototundlikule polümeerkihile, seda valguse mõjul tahkeks muutes. Soovitud detaili kuju saavutatakse tahkeks muudetud kihtide järk-järgulises välja tõmbamises, ühendades kihid protsessi käigus omavahel kokku. [5]



Sele 2. SLA printimisprotsess [6]

Sellise protsessi kasutuselevõtmine võimaldas tootjatel valmistada prototüüpe märgatavalt kiiremini, kui seda oldi varem suudetud. Tänu oma edukusele tutvustas SLA kui selline 3d printimistehnoloogiat tootmissektorile kui tugevat konkureerijat klassikaliste tootmisprotseduuride kõrval. [7]

Eelised

- Protsess on täielikult automaatne

- Kõrge täpsusaste, +- 0,1mm täpsusega
- Kõrge pinnakvaliteet
- Võimalik luua keerukaid detaile

Puudused

- Füüsikalised ja keemilised muutused tootmisprotsessi käigus
- Tootmisel tuleb detaili rippuvaid sektiioone toetada
- Vaigu mehaanilised omadused ei ole nii head kui plastikutel
- Seadme opereerimine ja hooldamine on kulukas
- Toormaterjal on kallis
- Materjalide valik on väike
- Vaik on toksiline ja eritab ebameeldivat lõhna, printimisel tuleb varjata valguse eest. [8]

Odavaim printer maksab 164 €, mis on sobiv kuid antud printeri miinuseks on väike printimisala, milleks on XYZ-telgedel vastavalt 129x80x150mm. [9]

1.2.3. SLS

SLS ehk valikuline laserpaagutamine (*selective laser sintering*) on 3d printimismeetod, milles kasutatakse suure võimsusega (kuni 5kW) laserit. Tööprotsess kirjeldab endas laseri kolmemõõtmelist juhtimist toormaterjali pulbervanni sees, sulatades pulbrit kihiti, seda niimoodi kokku sidudes, saavutades lõpptulemusena soovitud detaili. Erinevalt FDM-ist ja SLA-st ei vaja SLS protseduur eraldi toomaterjali toitepead juhul kui soovitud detaili loomisprotseduuri ajal peaks tekkima üle ääre ulatuvaid sektiioone, kuna detaili loomine käib vannis kus loodavat detaili ümbritseb selle detaili toormaterjal. [10]

Eelised

- Head, isotroopilised mehaanilised omadused, sobilikud lõpptoote valmistamiseks.
- Toestruktuuri ei ole tootmisel vaja, mis võimaldab keerukaid detaile lihtsamini teha
- Piisavalt kiire tootmisprotsess, et olla sobilik madala- ja keskmise partiikoguse tootmiseks.

Puudused

- Ainult tööstusliku tasemega SLS-printerid on laialdaselt levinud
- Prinditud toote pind on kare ning struktuur on poorne
- Suured tasased pinnad ja väiksed avad tulevad ebatäpsed. [11]

Odavaim printer on 4 900 €, maksimaalsed toote mõõdud on 100x100x100 mm. [12]

Et võrrelda eelnevaid 3D-printimistehnoloogiaid omavahel, on järgnevat välja toodud võrdlustabel

Tabel 1. 3D-printimistehnoloogiate võrdlustabel. [13]

	Fused Deposition Modeling (FDM)	Stereolithography (SLA)	Selective Laser Sintering (SLS)
Resolutsioon	■ ■ □ □ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ □
Täpsus	■ ■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Pinnatöötamise täpsus	■ ■ □ □ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ □
Läbilaskevõime	■ ■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■ ■
Keerukad kujundid	■ ■ ■ □ □	■ ■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■ ■
	Fused Deposition Modeling (FDM)	Stereolithography (SLA)	Selective Laser Sintering (SLS)
Kasutushõlpsus	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ □
Plussid	Kiirus, madal sisseostu hind seadmele ja materjalile	Hea väärtus, kõrge täpsus, kõrge pinnatöötamise täpsus	Lõpptoode on tugev, keerukate kujundite võimekus, ei vaja toestruktuuri loomist

Miinused	Ebatäpne, väikese eraldusvõimega, piiratud keerukusega kujundid	Tundlik pikaajalisele UV valguse säritusele	Kare pind prinditud detailil, piiratud materjali valik
Rakendatavus	Madala kuluga kiirprototüüpimine	Funktsionaalsed prototüübid	
Toote maksimaalne suurus	300x300x600 mm	300x335x200 mm	165x165x300 mm
Materjali valik	Standardsed termoplastid, näiteks ABS, PLA, PETG	Fotopolümeervaigud. Standard, insenertehnilised termoplastide vaigud	Insenertehnilised termoplastid. Nailon 11, Nailon 12 ja nende komposiidid
Koolitamise vajadus	Vähene koolitus ülesseadistuseks, opereerimiseks ja pinnatöötamiseks, mõõdukas koolitus seadme hoolduseks	Vähese koolitamise vajadus	Mõõduka koolitamise vajadus
Tootmisruumi nõuded	Ventilatsiooni vajadus	Sobilik kontori keskkonda	Saadaval vaid töökoja tingimustesse
Lisaseadistus	Tugede eemaldamiseks vaja tööriistasid või lahustavat ainet	Seade järeltöötamiseks	Seade detaili järeltöötlemiseks ja materjai taaskasutuseks

Järeldus

Kuna SLS tehnoloogial baseeruvad printerid on oma printimismõõtmetelt väikesed ja samas hinnaklass ületab lubatud taset, ei ole eelistatud autori poolt alustataval ettevõttel selle tehnoloogia kasuks otsustada. SLA printimine annab lõpptootele parema pinnatöötluse, kuid piiratud materjalide valik piirab ka detailide rakendatavust ja see omakorda piirab potentsiaalsete klientide teket. Samuti on SLA printerite hinnad kõrged ning kasutatava vaigu tokislus tekitab vajaduse ventileerimise järgi.

Autor otsustas FDM printimistehnoloogia rakendamise kasuks, kuna seadme sisseostu hind on sobiv, materjalide valik on lai mis omakorda laiendab potentsiaalset kliendibaasi

1.3. Enimlevinud materjalid FDM printeritele.

Et toota rakendusvaldkonda sobilik detail, oli vajalik autoril tutvuda turul pakutavate materjalidega ja nende mehaaniliste omadustega, Võrdluses on kolm enimlevinud materjali tüüpi – PLA, ABS ja PETG.

1.3.1. PLA

PLA – Biolagunev polümeer. Põhiomadusteks on tõmbetugevus (3120 Mpa) ja hea kasutajasõbralikkus, kuid madal maksimaalne töötemperatuur (50°C) ja haprus. [14]

Eelised

- Madalam printimistemperatuur
- Kasutajasõbralik
- Rohke värvide ja segude valik – lihtsasti pigmenditav, võimalik segada puidu, süsiniku ja isegi metalliga
- Lihtne järeltöödelda – kuna PLA on võrdlemisi pehme materjal, on lihvides või poleerides võimalik saavutada hea pinnatöötlus kerge vaevaga
- Biolagunev

Puudused

- Madal temperatuuritaluvus
- Võrdlemisi halvad mehaanilised omadused

- Kuumutades võib materjali nõrguda printeri otsiku küljest detailile
- Kallim kui teised võrdluses – 1kg Gembird 1,75mm läbimõõduga filamendi hind Eestis 21€ [15].

PLA rakendusvaldkond on funktsionaalsuse asemel eelistatult kosmeetilise või dekoratiivse eesmärgiga, samuti visuaalse prototüübi tootmiseks kuna sellega on lihtsam valmistada erinevaid tooteid ning kuna see ei oma nii häid mehaanilisi omadusi kui teised võrdluses. [16]

1.3.2. ABS

ABS – koostiseks on akrüülnitriil, butadieen ja stüreen. On üks enimkasutatavaid termoplaste tehnikavaldkonnas, kuna omab häid mehaanilisi ja termilisi omadusi. Materjalil on hea tõmbetugevus (2300 Mpa), löögitugevus (22kJ/m²) ja kõvadus (97 Mpa) ning kasutustemperatuur kuni 85°C. 3D-printimisel eritab toksilist gaasi, mistõttu on ventilatsioonisüsteem tööruumis vajalik. [17]

Eelised

- Head mehaanilised omadused
- Vastupidavus UV valguses, hapetes, õlides, niiskuses, majapidamiskemikaalides
- Termiline stabiilsus – Kuna ABS-i prinditakse kõrge temperatuuriga, siis on ABS-ist tehtud detailil kõrge temperatuuritaluvus
- Pinnatöötamise võimalus atsetooniga – ABS lahustub atsetooniga kokku puutudes, kuna atsetoon aurustub toatemperatuuril on võimalik saada atsetooni aurudega hea pinnatöötlus
- Odav – 1kg Gembird 1,75mm läbimõõduga musta värvi filamendi hind Eestis 16,70€ [18] .

Puudused

- Printimisel suur muljumise ja mõranemise oht – kui ABS-i prinditakse vabas õhus, on suur tõenäosus, et toode jahtub ebaühtlaselt, mistõttu toimub materjali kire ja ebaühtlane kokkutõmbumine kohtades, mille tõttu detail moondub või mõraneb.
- Toksiline – ABS eritab kuumutamisel stüreeni, mis on tuntud kartsinogeen, mistõttu on printimise ajal ventileerimine vajalik. [19]

1.3.3. PETG

PETG (Polüetüleentereftalaat-glükool) on kopolümeer. Glükool selles parandab tavalise PET-ga võrreldes kuumakindlust. PETG Põhiomadusteks on kõvadus, keemiline taluvus, suur löögitugevus, läbipaistvus ja sitkus. Selle kasutustemperatuuri vahemik on -40 kuni +65 °C. PETG kasutamist tasub eelistada siis kui on vaja toota ilmastikukindlat funktsionaalset detaili, kuna materjal on võrdlemisi sitke, tugev, suure kasutustemperatuuri vahemikuga ning suure löögitugevusega. [20]

Eelised

- Keemiline vastupidavus
- Head mehaanilised omadused
- Hea läbipaistvus
- PETG ei ole toksiline ega erita lõhna 3D-printimise käigus, mistõttu sobib see kodu või kontori tingimustesse.

Puudused

- Pinnatöötlemise keerukus – kuna materjal on sitke ja kemikaalidele vastupidav, on seetõttu ka pinna töötlemine selle võrra raskendatud. On võimalik kuumtöödelda sulamistemperatuuri piiril kuid see nõuab täpset temperatuuri kontrollimist, et detail sulama ei hakkaks.
- Kallis – 1kg Gembird 1,75mm läbimõõduga filamendi hind Eestis 20,7€ [21]. [22]

PETG printimist raskendab selle soodumus nõrgumisele ning seda rohkem kui PLA või ABS. Selle leevendamiseks tuleb katsetada sildamise ja tagasitõmbamise seadistustega 3D-printimistarkvaras. [23]

Eelnevate materjalide omavaheliseks võrdluseks on allpool toodud tabel (Tabel 2)

Tabel 2. Enimlevinud filamentide võrdlustabel. [24] [25] [26]

	PETG	PLA	ABS
Tugevus	Kõrge	Kõrge	Kõrge
Painduvus	Keskmine	Madal	Keskmine
Vastupidavus	Kõrge	Keskmine	Kõrge
Kasutajasõbralikkus	Hea	Hea	Keskmine
Printimise temperatuur	220...250°C	180...230°C	210...250°C
Printimislaua temperatuur	50...75°C	20...60°C	80...110°C
Kahanemine/moondumine	Madal	Madal	Keskmine
Lahustuvus	Ei	Ei	Esterites, ketoonides ja atsetoonis
Minim. kihi kõrgus, mm	-	0,05	0,1
Printimiskiirus	40...60mm/s	10...70 mm/s	20...60 mm/s
Maksimaalne kasutustemperatuur	65°C	50°C	85°C
Hind – 1kg Gembird 1,75mm must filament	20,70€	21€	16,7€

1.4. 3D-printimise roll uutes tootmismudelites

Üks osa, mis mängis rolli 3D-printimistehnoloogiasse investeerimise otsustamisel oli autori soov tutvuda maailma tööstuse suunaga. Selgus, et eksisteerivad uut tüüpi tootmismudelid, mis leiavad reaalselt rakendust üle maailma ja seda tänu infotehnoloogia kiirele arengule. Tootmismudelid on osa 4. tööstuslikust revolutsioonist ning oma roll on seal ka 3D-printimistehnoloogial. Täpsemalt väljendub autori jaoks ka isiklikult rakendatav roll 3D-printimisel järgnevatel tootmismudelitel.

1.4.1. Tootmise osutamine teenusena – *Manufacturing as a Service*

Tänu tehnoloogilisele arengule mis on võimaldanud suure andmeedastuskiirusega internetiühenduse, on üleminek teenusena tootmise osutamisele saanud võimalikuks.

Kui ettevõtte omab tootmise jaoks kindlat seadistust, on peaaegu paratamatu, et üks hetk kui tootmine peatatakse ei leia seadistus parasjagu kasutust. Kui tootmine seiasb tähendab see ettevõtte jaoks potentsiaalse kasumi kaotust samal ajal makstes seadistuse eest, mida nad parasjagu ei kasuta. Ostes tootmist sisse teenusena maksab ettevõtte tootmiseseadistuse kasutuse eest vajaduspõhiselt. Kui eelnimetatud ettevõtte parasjagu tootmisteenust ei vaja, saab tootmisteenuse osutaja pakkuda mõnele teisele ettevõttele tootmise võimalust. [27]

Tänu tootmise osutamisele teenusena on toodet pakkuvatel ettevõtetel võimalik siseneda turule lihtsamalt ja väiksema algkapitaliga, kuna tootmist sisse ostes ei pea alustav ettevõtte eraldama raha tootmistööriistade ostuks ning ka nende ülesseadistuseks. Niimoodi kujuneb ka mudel, kus toodet tellitakse vaid siis kui seda vaja on. See vähendab toodete ladustamise vajadust, mis võib ettevõttel aidata kulusid vähendada. [28]

1.4.2. Massiline kohendamine – *Mass customisation*

Digitaalse maailma tõus on avanud klientide ja teenuse osutajate vahel enneolematu ja vahetu võimaluse luua kommunikatsioon osapoolte vahel kiirelt. See on võimaldanud näha valgust massilise kohendamise ärimudelil. Massiline kohendamine üldiselt kirjeldab tootmisprotsessi mis võimaldab kliendil tellida ja tootjal valmistada individuaalselt kohendatud toodet. Kliendi jaoks tähendab see unikaalsete toodete ja isikustatud teenuste saamise võimalust, tootjale lisab see tooteväärtust ja võimalust püstitada kliendiga lähedasem ärisuhe.

Traditsionaalseid tootmismeetodeid piirab tootmise ümberseadistamise keerukus kui tahetakse toota kohendatud või lihtsalt erinevaid versioone ühest tootest. Näitena, et muuta toote disaini kasutades survevalu tootmist on vajalik tootjal luua vastav valuvorm iga kohendatud detaili jaoks. Selle tõttu kasvavad tootmistööriistade seadistusega seotud üleminekukulud nii rahalises kui ka ajalises mõttes. Et teha edukas üleminek masstootmisest massilise kohendamise mudelile on vajalik tootjal investeerida õigetes tootmisseadmetesse.

Lahendus võib olla rakendades digitaalset tootmisprotseduuri nagu näiteks 3d printimine. 3d printimine võimaldab toota kohendatud detaile kuna tootmisprotseduur ei vaja tootmistööriistade ümberseadistust iga kohandatava detaili jaoks. 3d printimise puhul detaili kohendus kantakse sisse digitaalselt arvutipõhisesse mudeli projektsiooni ning ainuke tööriist mida tootja kasutab on printer ise. See omakorda tähendab, et toote kohendamisest tingitud keerukus ei too endaga kaasa olulisi lisakulusid.

3d printimisel on keeruka ja lihtsa detaili tootmiseks vajaliku aja, energia ja materjali kulu erinevus väga väike ning toote ümberkujundamine ei too endaga tootmistööriistade ümberseadistust, kuna töötööriistad ei ole vaja. [29]

1.4.3. Vajaduspõhine tootmine – *On-demand Manufacturing*

Siiamaani on olnud kasutusel kindel tootmismudel, kus kindlate spetsifikatsioonide järgi toodetakse suurtes kogustes tooteid valmis, mis seejärel ladustatakse transpordiks ootele pannes. Kuna massiline tootmine ja ladustamine on kallid, on olnud suurtel firmadel tootmise poole peal alati eelis.

Vajaduspõhine tootmine võimaldab sellisele mudelile pakkuda konkurentsi. Tänu arenevatele tehnoloogilistele lahendustele nagu näiteks 3d printimine on võimalik toota aina väiksemaid koguseid soodsamalt kui kunagi varem. Tänu tehnoloogia arengule on võimalik kaotada ära minimaalsed vajalikud kogused, et tootmine ületaks kasumlikkuse lävendit. Samuti võimaldab sellist tüüpi tehnoloogia rakendamine lühendada oluliselt väljatöötusaega.

On vajalik mõista, et masstootmine on loodust hävitav tegevus. Seda seetõttu, et masstootmiseks on vaja massiliselt toormaterjali töödelda ning tervet inventari mis valmis

toodetakse ei pruugita saada müüdud ning lõpuks see hävitatakse või toodetakse ümber. Vajaduspõhine tootmine võimaldab selle koha peal loodust säästa kuna toode valmistatakse füüsilisele kujule alles siis, kui klient seda soovib.

Vajaduspõhisel tootmisel on masstootmisega võrreldes majanduslik eelis. Nimelt massiline tootmine tekitab olukorra, kus toote müüki peab survestama enne kui toode kaotab oma aktuaalsuse. See tekitab olukorra kus aina rohkem inventari müüakse arvetepõhiselt käibevara ning arvete kasvamisega tekib suurem oht ebatõenäoliselt laekuvate võlgade tekkeks. [30]

2. ÄRIPLAAN

2.1. Ettevõtte rajamine ja tegevuskava

Ettevõtte loomise põhjuseks on soov pakkuda klassikaliste autode huvilistele professionaalset ja kiiret varuosade valmistamisteenust.

Tegevusala:

- Plastikute vajaduspõhine tootmise osutamine teenusena 3D-printimistehnoloogiat rakendades era- kui ja äriklientidele.
- Detailide arvutipõhine projekteerimine.
- Tegevusalapõhine konsulteerimine ning lahenduste välja pakkumine.

Visioon:

- Pakkuda klientidele võimalust väikese ooteajaga saada soovitava detaili projektsioon, selle olemasolul hinnapakumine ning soovitud detaili tootmine.

Missioon:

- Ettevõtte pakub 3D-printimisteenust, detailide projekteerimisteenust ning konsultatsiooni kliendile.

Eesmärgid:

Lühieesmärgid (kuni 1 aasta):

- Pakkuda era- ja äriklientidele arvutipõhist projekteerimisteenust, vajaduspõhist plastikmaterjalide 3d printimisteenust ning tegevusalapõhist nõustamist.
- Luua koostöö ettevõtetega, kes tegelevad metallide 3d printimisega, eesmärgiga pakkuda kliendile metalli 3d printimisteenust, olles vahendaja kliendi nõudmisele ja teenuse osutajale.

Keskmise pikkusega (1-5 aastat)

- Soetada suuremõõtmeliste toodete jaoks mõeldud 3d printer eesmärgiga laiendada ettevõtte võimekust pakkuda suuremõõtmeliste toodete valmistamist 3d printimise meetodil.

- Laiendada ettevõtte teenust partnerettevõtetele pilvepõhise inventari virtuaallao ja tootmist pakkuvaks.
- Täiendada ettevõtte inventari erinevate valmistamismeetoditega ning erinevas hinnaklassis 3d printerite näol, eesmärgiga pakkuda mitmekülgselt 3d printerite rentimisteenust.

2.1.1. Tooted ja teenused

Toote loomise aluseks eeldatakse, et tootel ei eksiteeri arvutipõhist mudelit, mistõttu tuleb see luua. Sellest sammust alustades väljendub täielikult ka toote enda tootmisprotsess kontseptsioonist kuni toote füüsilise objekti valmimiseni. Toote valmistamisetapid koos teenuse osutamisega kasvavas järjekorras koos vajamineva tehnilise seadistusega on järgnev.

Toote arvutipõhise mudeli väljatöötamine. Kui kliendil puudub toote füüsiline või graafiline kujutis, on vajalik koostöös kliendiga selgitada välja loodava toote mõõtmed, võttes arvesse vastavalt toote iseloomule selle rakenduse eesmärk, piirmõõtmed, kinnituskohad. Mõõtmete selgitamiseks võib olla vajalik minna asendusdetaili rakendamise sihtkohta(nt kui tegemist on statsionaarse objektiga, mille külge detaili soovitakse), et võtta loodavat detaili ümbritsevate detailide mõõdud, eesmärgiga selgitada välja asendusdetaili piirmõõtmed ning liikuva detaili puhul dünaamikast tulenevad disaini kohendused, et detail saaks liikuda vabalt terve liikumismaa ulatuses. Kui kliendil on olemas mittekomplektne või moondunud detail millele on vaja toota asendus, tuleb rakendada samamoodi eelmainitud printsiipe mõõtmete leidmiseks. Kui kliendil on olemas komplektne detail, on võimalik sellelt võtta mõõtmed ning kanda sisse arvutipõhisesse modelleerimistarkvarasse.

Teenuse osutamiseks ja tootmisprotsessiks vajalik tehnoloogiline sisseseade

Tarkvara

- Windows 10 64-bit
- Ultimaker Cura 4.9.0
- Chitubox V1.8.1
- CATIA V5R21

Riistvara

- Sülearvuti Acer Aspire V7 Nitro 791g, Intel Core i7-4710HQ @ 2,50GHz, 8 GB RAM, 500 GB SSD

- 3d printer Creality Ender 3 V2
- Apple Iphone 6, 64GB, 1GB RAM, Kaamera 8 Mpix

Finantseerimine

Tabel 3. Ettevõtte finantseerimine

Toode	Nimetus	Kogus	Hind, €
Sülearvuti	Acer Aspire V7 Nitro 791g	1 tk	400
3D-printer	Creality Ender 3 V2	1 tk	269
Mobiiltelefon	Apple Iphone 6	1 tk	150
Filament	Gembird PETG black, 1kg	1 tk	20,7
Filament	Gembird PLA black, 1kg	1 tk	21
Filament	Gembird ABS black, 1kg	1 tk	16,7
Tarkvara	CATIA V5R21	kuutasu	34
Veebileht	Wixter	1tk	824,5
Riigilõiv	OÜ asutamine		190
Omakapital		2500-877	1622
Kokku vajaminev stardikapital			3 547

Finantseerimiseks on vaja 3 547 eurot. Finantseerimise tüübiks on täielik omafinantseerimine, lisalaenukohustusi ei ole vaja.

2.1.2. Toote hinna määramine

Toote hinna määravad tootmise sisseseadistuseks kuluvad püsikulud ja toote enda peale kulunud jooksevkulud. Püsikulud kirjeldavad kuluartikleid mille määr ei sõltu toote valmistamise protseduurist. Püsikuludesse võib arvestada järgnevaid:

- Tootmise üldine sisseseade
- Äripinna rentimine - Ettevõttel ei ole plaan soetada või rentida äripinda esimese tegevusaasta sees. Äripinna vajadus ja sealt tulenevad kulud kantakse sisse nõudluse tekkel.

Jooksevkulud kirjeldavad kuluartikleid mis sõltuvad otseselt toote iseloomust tulenevatest kuludest. Jooksvatesse kuludesse võib arvestada järgnevaid:

- Materjali valik ning kuluv hulk
- Tootmisel kasutatavad seadmed
- Kasutatava tarkvara litsentsikulu
- Tootmisel kasutatud seadmete remondifond
- Tootmiseks kulunud aeg sh. elektrienergia ja võrguteenus
- Toote transpordieelne pakendamine

2.1.3. Omahinna arvutus

Kuna ettevõtte tegeleb erinevate toodete pakkumisega, on ka toodetel erinevad füüsilised omadused, mis kujundavad lõpphinda. Et ettevõtte saaks pakkuda võimalikult kiiret teenust, on kasulik koostada kuluartiklitele ühikulised arvutusvalemid, mida saaks rakendada igale tellimusele, et selgitada toote omahind.

Elektrienergia tarbimise kulu – Eesti Energia AS poolt saadetud elektriteenuse arve kohaselt sisalduvad elektri hinnas järgnevad:

Tabel 4. Elektrienergia tarbimine

Teenus	Hind, €/kWh
Elektrienergia	0,0628
Elektri edastamine	0,0512
Taastuvenergia tasu	0,0113
Elektriaktsiis	0,001

Elektriteenuse ühe tunni hind leitakse kui liita kõik kokku, ehk $0,0628 + 0,0512 + 0,0113 + 0,001 = 0,1263 \text{ € kWh}$

Materjali hind – Baasühikuks võeti 1000g kuna filamente müüakse selles koguses. Vaigu tüüpi printeritel võib võtta baasühikuks 1L. Hinna saamiseks tuleb arvesse võtta materjali baasühiku hinda ja toote jaoks kulunud kogust mida tuleb kasutada valemis järgnevalt:

$$(k \div b) \times h$$

kus k - kulunud materjali kogus ühe eksemplari kohta

b - materjali kogus pooli peal

h - pooli hind

Tootmisel kasutatavate seadmete hind – Arvestada tuleb seadmete ostuhinda ning nende poolt tarvitavat energia kogust. Seadme ostuhind tuleb ära jagada sobiva ajaperioodi vahel, et hoida toote hinda madalal, mis on alustaval ettevõttel kriitiline kuna annab olulise konkurentsi pakkuva väärtus. Et valemit lihtsalt rakendada on mõistlik seadme ostu hind jagada kuude vahel ära ning valemisse sisestada ühe kuu maksumus. Kuna energia kulu arvestatakse kW/h on valemi jaoks on vaja seetõttu keskmise kuu pikkus tundidesse arvutada. Keskmine kuu on 30 päeva, päevas on 24 tundi, järelikult ühes kuus on $30 \times 24 = 720$ tundi

$$\left(s \div \frac{t}{720}\right) + (e \times h)$$

kus s - Seadme ostuhind

t - Seadme maksete periood kuudes

e - Seadme poolt kasutatav energiakulu hind ühes tunnis €/kWh

h - Toote valmistamiseks kulunud aeg tundides

Arvutuslikud järeldused

Materjali hinna arvutamiseks valiti musta värvi Gembird PETG filament läbimõõduga 1,75mm, kogus 1kg, hind on 20,7 €. [31]

Materjali kulu ühe ukselingi kohta on 31 grammi. Järelikult ukselingi materjali hind on $(31/1000) \times 20,7 = 0,6417$, ümardades 0,64 €.

Sobivaks printeriks valitud Creality Ender 3 V2 hind on Eesti turul 269€ [32]. Nominaalvõimsus on printeril 120 W, ehk nii palju tarbib antud seade tunni aja jooksul energiat. See on võrdväärne 120W/h, mis teeb 0,12 kW/h. Järelikult printeri ühe töötunni hind on $0,1263 \times 0,12 = 0,015156$, ümardades 0,015€

Oletame, et printeri maksumuse jaotame ära 3 kuu peale, see tähendab, et printer peab tegema kokku 3 kuud tööd, et ostu hind oleks tagasi teenitud. Ukselingi printimiseks kulunud aeg tundides on 4,3h. Järelikult ukselingi tootmisel kasutatava seadme tagasimakse tunnihind on $((269 / 3) / 720) + (0,015 \times 4,3) = 0,189€$

Arvutustest lähtuvalt saadi ukselingi omahinnaks 0,829€

- Toote hinnale võib lisanduda transpordi jaoks vajalikud kulud. Transporditeenusena kasutatakse pakiautomaate, nende maksimaalsete mõõtmete ületamisel vastavaid transpordiettevõtteid.

Teenuste hinnakiri kirjeldab tunnipõhist määratud hinda, mille kujundab välja teenuse tüüp ning sealt tulenev vajadus sisseseadele ja töötasu. Ettevõtte poolt pakutavad teenused on:

- Konsulteerimine – Ettevõtte tegevusvaldkonnaga seonduv nõu andmine ja lahenduste välja pakkumine. Tunnipõhine konsultatsiooni hind 20€
- CAD-projekteerimine – Füüsilise objekti või toote idee arvutipõhise 3D-mudeli loomine kasutades spetsiifilist tarkvara. Tunnipõhine projekteerimise hind 20€

Sihtgrupid

Ettevõtte sihtgruppideks on :

- autohuvilised, kes soovivad asendada defektset plastikdetaili mille kättesaadavust varuosa turul ei ole ning kes soovivad algse detaili kohendatud versiooni.
- kliendid kes soovivad oma toote prototüüpi võrdlemisi lühikese ajaga füüsilisel kujul valmis teha ning

- kliendid, kelle tegevusalaks on seadmete remont, mille komponentideks on funktsionaalsed plastikdetailid, mis seadme töötamise kulgedes on kulunud või purunenud kasutuskõlbmatuse hetkeni ning mis vajavad taastootmist.
- kliendid, kes soovivad valmistada tootmistööriistu ja -rakiseid toote valmistamise eesmärgil.
- kliendid, kes soovivad projekteerida ja valmistada detaili turul saadaolevate toormaterjalide ulatuses ettevõtte poolt pakutavat printimistehnoloogiat kasutades, olenemata detaili rakendusvaldkonnast.

2.1.4. Konkurents ja nende iseloomustus

Google otsingumootorit kasutades selgub, et 3D-printimist turundab oma kodulehel Eestis 7 ettevõtet. Konkurentide iseloomustuseks tõi autor välja infoforegister.ee põhjal ettevõtte vanuse, viimase info töötajate arvu ning 2021 aasta I kvartali käibe kohta. Iseloomustuseks tõi autor välja ka konkurentide poolt osutatavad teenused seoses 3D-printimisega. Autor võrdles kodulehekülgede kasutajasõbralikkust ning hinnapäringuks vajalikku protsessi iga ettevõtte kohta.

3Dkoda OÜ – Asutamise aasta 2017, töötajate arv: 2, maksustatav käive: 87 235€. [33]
Tegevusvaldkondadeks on FDM/SLA/SLS 3D-printimine, 3D-modelleerimine. Kodulehel on võimalik laadida üles veebipõhisesse hinnakalkulaatorisse soovitud detaili 3D mudel. Hinnakalkulaator võimaldab valida printeri tüübi, soovitud materjali ning materjalile saadaoleva värvivaliku seast sobiva kombinatsiooni, mille järel annab hinnakalkulaator detaili ligikaudse hinna, kuid on ära märgitud, et täpse hinna samiseks tuleb ettevõttega ühendust võtta. [34]

3D-maailm (AS Infotark) – Asutamise aasta 1996, Töötajate arv 118, 2021 I kvartali käive – 4 988 510€ [35]

3D-maailm on AS Infotark osa, mis asutati aastal 2012. Tegevusaladeks on personaalsete ja professionaalsete 3D printerite müük ja SLA ja FDM meetodil 3D-printimisteenuse pakkumine. Ettevõtte võimaldab koha peal tutvuda saadaval olevate printeritega. Kodulehel on võimalik tutvuda tehtud tööde portfoolioga. Hinnapakumise saamiseks tuleb edastada 3D mudeli fail koos soovi kirjeldusega meilitsi. Projekteerimist antud ettevõtte ei paku. [36]

3D Print Stuudio – Ettevõtet ei ole inforegistris. Tegevusaladeks on detailide modelleerimine, detailide skaneerimine, 3D-printimine, prinditud detailide füüsiline ja keemiline järeltöötlus. Materjalideks on erineva värvivalikuga ABS ja PLA plastikud. Kodulehel on hinnapäringu ankeet, kuhu saab sisestada oma kontaktinfo, lisainfo, 3D mudeli, soovitud kvaliteedi ja materjali. [37]

Odav Print OÜ – Asutamise aasta 2011, töötajate arv 2, 2021a I kvartali käive – 120 216€ [38]
Tegevusaladeks on FDM ja SLA meetodil 3D-printimine, vajadusel aitavad CAD faili loomise ning korrigeerimisega. Materjalide valik FDM printimise puhul on PLA, ABS, PCABS, Nailon, Z-ASA, TPU, HIPS. Materjalid SLA puhul on *standard*, *castable* ja *durable* vaigud. Maksimaalne detaili mõõt 300x300x300mm. Hinnapakkumise saamiseks tuleb edastada 3D-mudel .stl faili formaadis koos päringuga meilitsi. [39]

3D Quality OÜ – Asutamise aasta 2008, edasine info inforegistris puudub. Ettevõtte on inforegistris kustutatud. [40]
Tegevusaladeks on 3D-modelleerimine, 3D-skaneerimine, FDM ja SLA meetodil 3D-printimine. Materjalideks on ABS, CPE, CPE+, PC, PLA, TPU, Tough PLA. Kodulehel on veebipõhine hinnakalkulaator, kuhu laadides üles 3D-mudeli on võimalik valida soovitud materjali ja värvi, printeri margi ja mudeli, täiteastme ja järeltöötamise soovi(+ 10€ olenemata detailist). Kodulehel on välja toodud tehtud tööde portfoolio. [41]

Oomipood (Dormikor OÜ) – Asutamise aasta 1997, töötajate arv 40, 2021a I kvartali käive 1 407 848€ [42]
3D-printimisega seonduvateks tegevusaladeks on FDM meetodil 3D-printimine. Materjalide valikus on PLA, ABS, FLEXIBLE. Printeri maksimaalsed mõõtmed on 230x225x205mm. Projekteerimise teenust ettevõtte ei paku. Kodulehel on veebipõhine hinnapäringu vorm kuhu saab sisestada enda kontaktinfo, 3D-mudeli ning seonduva lisainfo. [43]

Jarrz OÜ – Asutamise aasta 2014, töötajate arv 0, 2021a I kvartali käive 900€ [44]
Tegevusaladeks on 3D-modelleerimine, 3D-skaneerimine, FDM ja SLA meetodil 3D-printimine. Partnerettevõtete kaudu pakub ettevõtte ka metalli 3D-printimise teenust. Kodulehel on hinnapakkumise saamiseks veebipõhine ankeet, kuhu saab sisestada enda kontaktinfo, ning soovitud töö kirjelduse. 3D-mudel tuleb eraldi saata ettevõtte e-mailile. [45]

Shaperize OÜ – Asutamise aasta 2015, töötajate arv 0, 2017 aasta IV kvartali käive 1912€. Ettevõtte on inforegistris kustutatud. [46]

Tegevusaladeks on 3D-maailma (AS Infotark) ja 3Dkoda OÜ vahendusel 3D modelleerimine ja printimine, 3D-printerite rentimine, remont ja hooldus. Kodulehel viitav veebipõhise päringu lehte ei eksisteeri, kõik päringud palutakse edastada 3Dkoda OÜ e-mailile. [47]

,

Konkurentsi analüüs:

3D-printimisteenuse osutamisel piirdub FDM tehnoloogiaga üks ettevõte, ülejäänud pakuvad lisaks ka SLA ning ainsana SLS tehnoloogiat pakub 3Dkoda. 3D-modelleerimist pakub 4 ettevõtet, 3D-skaneerimist pakub 2 ettevõtet. Materjalidest pakuvad kõik ettevõtted vähemalt PLA-d ja ABS-i kuid PETG-d ei paku ükski. Hinnavõrdluse eesmärgil kõikidele saadetud hinnapäringule vastas kaks ettevõtet – OÜ Odav Print ja 3D-maailm.

Kahe ettevõtte kodulehel oli välja toodud projekteerimise tunnihind, milleks oli 3D-koda OÜ puhul 30€ + km ja 3D Print Stuudio OÜ puhul 25€

SWOT analüüs:

SWOT on analüüsi mudel, mille kaudu kaardistatakse ettevõtte tugevused, nõrkused, võimalused ja ohud. SWOT analüüsi nimi tuleb inglisekeelsete sõnade esitähedest: S - *strenghts* (tugevused); W - *weaknesses* (nõrkused); O- *opportunities* (võimalused); T - *threats* (ohud) [48]

Tabel 5. SWOT – analüüs

Sisemised tugevused täna: • Viimane tehnoloogia • Personaalsus • Mobiilsus • Professionaalsus	Sisemised nõrkused täna: • Puuduvad püsikliendid • Usalduse puudumine • Reklaami puudus • Printeri tootmiskiirus madal
Ärikeskkonna soodsad arengud ehk võimalused tulevikus: • E-kaubanduse vahendusel tehtavate ostude kasv (tõusis 2020. aastal 50%) • Koostöövõimalused • Uued trendid	Ärikeskkonna ebasoodsad arengud ehk ohud tulevikus: • Tehnoloogia muutused • Klientide huvipuudulikkus • Majanduslanguse süvenemine • Toote pikajaline kvaliteedipuudus

Riskianalüüs

Peamine risk on püsiklientide mitte tekkimine. Finantsprobleemid võivad tuua probleeme ettevõtte töös ning mõjutavad otseselt igapäevast tegevust. Oluline on riskide madalal hoidmiseks hoida kulud optimaalsed.

Peamine võimalus riskide vähendamiseks on saavutada esimese kuuga potentsiaalsed kliendid, kellega on võimalus teha koostööd ka tulevikus.

Risk vara hävimiseks või kahjustada saamiseks on olemas. Peamine võimalus neid riske hajutada on heaperemehelik käitumine ja vara kindlustamine.

Turundustegevus:

Turundamisel tuleb arvestada, et nõudlus ei ületaks tootmismahtu ajaliselt, kuna üheks pakutava teenuse võtmeelemendiks on kiire toote valmistamine.

Autor, olles hobikorras tegelenud kasutatud autovaruosade müügiga erinevates riigisisestes müügiportalides on jõudnud järelduseni, et suurimat müügitootlikkust pakub sotsiaalmeedia keskkond Facebook, täpsemalt Facebook Marketplace. Selles keskkonnas saab reklaamida oma teenust või toodet teatud piirides tasuta ning autor näeb, et ettevõtlusesse sisenemise rahalise barjääri madalal hoidmise eesmärgil tuleks oma teenuse ja toodete reklaamimist alustada sealt.

.

Personal ja juhtimine:

Ettevõttes töötab asutaja üksikisikuliselt kuni väljendub püsiva nõudluse kasv tasemeni, kus lisatööjõu rakendamine oleks jätkusuutlik tegevus. Tootlikkuse peamiseks piirajaks on projekterimisoskusest tulenev kiirus ning printimisseadmete iseloomust ja kogusest tulenev tootmiskiirus. Juhul kui peaks tekkima vajadustootlikkust suurendada projekteerimismahu suurendamiseks, tekib töökoht potentsiaalsele töötajale kelle põhiomaduseks on arvutipõhine projekteerimisoskus.

Taustandmed töötajate kohta:

1 töötaja, kõrgharidus autotehnika valdkonnas omandamisel, omandatud kutsekeskharidus autotehnika valdkonnas.

Müügiprognoos ja tegevuskava

Müügiprognoosi koostamisel eeldatakse, et ühe printimisseadme tõttu ei ole võimalik printimisteenust osutada suures mahus. Põhi sissetulek tuleb pakutavast arvutipõhisest projekteerimisteenusest.

Tabel 6. Müügiprognoos

	I kv	II kv	III kv	IV kv	Aasta kokku
Teenus 1: Toote valmistamine					
1. Müügi kogus	45	55	70	90	
1. Hind	20	20	20	22	
1. Müügitulu	900	1100	1400	1980	5 380
Teenus 2: 3D-projekteerimine					
2. Müügi kogus, h	336	336	336	336	1344
2. Hind	20	20	20	20	
2. Müügitulu	6720	6720	6720	6720	26 880
Litsensikulud	102	102	102	102	408
Seadme kulud	1 600	0	200	0	1 800
Koduleht	1124	300	300	300	2 024
KULUD KOKKU:	2 826	402	602	402	4 232
KASUM/KAHJUM:	4 794	7 418	7 518	8 298	28 028

Tegevuskava eesmärk on lühiajaliselt tähtaegadega määratleda ettevõtte edendamise protsessi kulgemine, siinkohal tehakse seda 4 kuu ulatuses.

Tabel 8. Tegevuskava

Tegevus	Eesmärk	Oodatav tulemus	Tulemuse saavutamise aeg
Tehnilised vahendid	Soetada kaamera, arvuti, ftöötlusprogrammid,	Kõikide töövahendite olemasolu	Mai 2021
Sotsiaalmeedia kontod	Luua pilkupüüdvad sotsiaalmeediakontod	Ettevõtte imago peegeldavad sotsiaalmeediakontod	Mai 2021
Kodulehekülg	Teha kodulehekülg, kus on kogu info ettevõtte kohta	Esinduslik ja kõrgetasemeline kodulehekülg, mis kõnetab iga vaatajat	Juuli 2021
Turundusplaan	Koostada hea turundusplaan	Jõuda võimalikult paljude potentsiaalsete klientideni	Juuni 2021
Portfoolio täiendamine	Piisav hulk pilte ja videosid	Portfoolio, mis peegeldab ettevõtte olemust	September 2021

3. SÕIDUAUTO VARUOSA TOOTMINE JA RAKENDUSKÕLBULIKKUSE KATSETAMINE

3.1. Projekti kirjeldus

Projekti eesmärgiks on valmistada funktsionaalne asendusdetail kasutades alustava ettevõtte jaoks taskukohast seadistust.

Et selgitada välja 3d-prinditud detailide kasutamiskõlbulikkust funktsionaalse auto varuosatootena võeti eesmärgiks luua sõiduauto juhiukse lingist 3D-prinditud ligilähedane koopia, eesmärgiga asendada 3d-prinditud toode originaaliga ning testida detaili kasutuskõlbulikkust. Sõiduautoks Honda Prelude BA2, väljalaskeaasta 1983

Ukselingi kui katsetatava detaili valimiseks oli ka praktiline põhjus – ukselingi kinnituskõrvad murdusid lingi enda küljest, mistõttu muutus link kasutamatuks ning seetõttu tekkis vajadus asenduse järgi.



Sele 3. Honda Prelude defektne ukselink

3.1.1. Varuosa päring

Enne kui autor otsustas toota 3D-prinditud asendustoote, Tutvus autor varuosa kättesaadavust nii kasutatud varuosade edasimüüjatelt kui ka veebipõhistest müügikeskkondadest.. Kasutatud varuosade edasimüüjate kaudu soovitud ukse lingi leidmiseks kasutas autor kahte populaarset kasutatud varuosade otsimiseks loodud veebilehte. Nende veebiaadress ja lühikirjeldus on järgnev

- VOK.EE – Varuosakeskus - Portaali, kuhu on koondatud sõidukite varuosadega ja lisaseadmete müügiga tegelevad ettevõtted. Lisaks ka sõidukite remondi, hoolduse ja teiste töödega tegelevad ettevõtted. Varuosakeskuses saab teostada nii online päringut kui ka mitmetahulist otsingut, et leida vajaminevaid varuosi.

Varuosade müüjad: Tegu on Eestis varuosadega tegelevate firmade andmebaasiga. Koondatud on nii uute kui kasutatud varuosade müüjad, autoesindused ja remonditöökojad. [49]

- ELV.EE – Autolammutuste Liit ühendab üle 40 autolammutust üle Eesti. Veebilehel olev varuosa päringumootor laseb sisestada sõiduki andmed, vajaminevad varuosad, päringu esitaja kontaktinfo. Päringu esitamisel saadetakse see enam kui 40-le liikmesettevõttele, kes saavad teha päringu esitajale omapoolse pakkumise. [50]

Laiast koostööpartnerite baasist hoolimata ei laekunud kummagi poolt ühtegi varuosapakkumist.

Viimase otsinguviisina kasutas autor Google otsingumootorit, et selgitada kas soovitud ukse link on saadaval mujal maailmas. Selle tulemusena leidis autor veebilehelt Ebay.com kaks pakkumist. Must ukse link hinnaga \$25 (20,72€) ning punane ukse link hinnaga \$29 (24,4€) [51] [52]. Mõlemad on koos ukse lingi korpusega ning kõrvalistuja poolsed, kuid kuna ukse link ise on sümmeetriline, on võimalik linki kasutada ka juhupooleksena. Mõlema asukoht oli Ameerika Ühendriikides Kalifornia osariigis ning sellega kaasnev transpordi kulu oli veebilehel ära toodud, milleks on mõlema puhul \$210,30 (174,31€)

3.1.2. Ukselingi hinnavõrdlus

3D-printimisteenust osutavate ettevõtete poolt pakutavate hindade saamiseks saatis autor konkureerivatele ettevõtetele hinnapäringu koos ukselingi 3D-mudeliga. Soovitud materjal oli PETG, selle puudumisel ABS, kuna omad sarnaseid mehaanilisi omadusi PETG-ga. Hinnapäringus mainiti ka, et eelistatakse FDM printeri poolt valmistatavat toodet ning et pinnatöötlust mitte sisse arvestada.

Hinnapäringule vastas 2 ettevõtet – OÜ Odav Print ja 3D-maailm (AS Infotark). Kuna ettevõtetel 3Dkoda OÜ ja 3D Quality OÜ kodulehtedel oli veebipõhine hinnakalkulaator, oli võimalik autoril ka nendest tulenevalt hinnapakumine saada.

Tabel 10. Pakutava detaili hinnavõrdlus

Ettevõte	Materjal(id)	Printeri tüüp	Hind,
3Dkoda OÜ	PETG	FDM	29,14€
	ABS		27,06€
3D Quality OÜ	ABS	FDM	19,40€
3D-maailm (AS Infotark)	ABS	SLA	60€
	Nailon	FDM	30€
OÜ Odav Print	ABS	FDM	36€
Autori ettevõte	PETG	FDM	0,829 €

Järeldus

PETG pakkujaid turul on vähe, kuigi leiti, et tänu oma mehaanilistele omadustele on materjal funktsionaalseks tooteks sobivam, kui teised.

Kuna toote oma hind tuleb liiga madal, et pakkuda tõsiseltvõetavat konkurentsi, on võimalik investeerida ettevõttesse rohkemate printimisseadmete näol, millega hinda ja kvaliteeti üles viia kartmata, et oma hind liiga kõrgele tõuseb. Hinnavõrdluses selgus, et omahind on niivõrd väike, et konkureerimise eesmärgil tuleks hinda tõsta, kuid on võimalik pakkuda konkurentidest märgatavalt soodsamat hinda.

3.1.3. CAD-projekteerimine

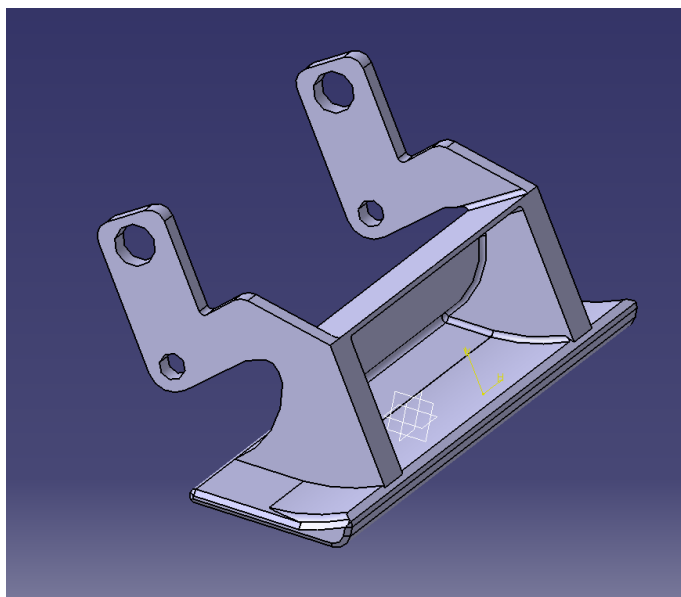
3D-printimise jaoks on vaja printeriga ühendatud tarkvarasse sisestada arvutipõhine 3D-mudel. Valitud printimisseadme puhul oli sobiv .stl faili formaat. Selle formaadi loomiseks on vaja kasutada CAD mudeli loomisprogrammi, mis võimaldaks mudelit salvestada antud formaati.

Modellerimise programmiks kasutati CATIA V5R21

Mudeli loomiseks oli vaja esmalt võtta lähtedetaililt mõõtmed. Mõõtmiseks kasutati nihikut, malli ja joonlauda

Mõõtmete võtmiseks ja mõõtmete õigsuse järelkontrolliks kulus antud detaili jaoks kokku 40 minutit. Mõõtmete võtmise aega ei tohi kiirustada ning mõõtmete korrektsuses tuleb veenduda, kuna ainuüksi ühe vale põhimõõdu puhul tuleb arvestada lisa aja- ning ressursikuluga, et toote mõõtmed parandada ja uuesti valmistada.

Ukselingi 3D-mudeli loomisel võttis autor eesmärgiks mudel võimalikult väikese ajakuluga valmis saada, et vähendada detaili oma hinda, seetõttu puuduvad projekteeritud mudelilt mõned disaini elemendid, mis algsel detailil on. Autor ei näinud vajalikuks neid elemente juurde kaasata, kuna need ei oma detaili funktsioneerimisel tähtsust. Kokku kulus mudeli arvutipõhiseks loomiseks 3 tundi, kuid kuna autor ei oma pikka kogemust 3D.projekteerimises usub ta, et seda aega on võimalik vähendada kogemuse kasvades märgatavalt. Et olla projekteerimise teenusega turul konkurentsivõimeline, siis juhul kui ukselingi puhul oleks tegemist oleks kliendipoolse tellimusega, tundub autori jaoks õiglane küsida tasu poole võrra vähemate tundide eest kui oli tegelik projekteerimise ajakulu.



Sele 4. Ukselingi arvutipõhine projektsioon.

3.1.4. Tootmiseks kasutatav seade ning materjal.

Detaili valmistamiseks kasutati 3D-printerit Creality Ender 3 V2. Printer on FDM tehnoloogial baseeruv ning ette nähtud plastikfilamentidega printimiseks.

Detaili tootmise materjaliks valis autor PETG, kuna on mehaanilistelt omadustelt parem kui PLA ning erinevalt ABS-ist on tootmisprotsess lihtsam ning selle käigus ei eraldu ebameeldivat lõhna. Ühtlasi ei teki ka vajadust tööruumi aktiivselt ventileerida. PETG mehaaniliste omaduste välja toomiseks on allolev tabel (Tabel 9)

Tabel 9. PETG mehaanilised omadused [53]

Omadus	Väärtus	Ühik
Tihedus	1,26e3...1,28e3	Kg/m ³
Voolavuspiir	4,79e7...5,29e7	Pa
Tõmbetugevus	6e7...6,6e7	Pa
Pikenemine	1,02...1,18	Koormus%

Omadus	Väärtus	Ühik
Kõvadus (Vickers)	1,41e8...1,56e8	Pa
Löögitugevus	1,9e5...2e5	J/m ²
Sitkus	2,11e6...2,54e6	Pa/m ^{0,5}
Elastusmoodul	2,01e9...2,11e9	Pa

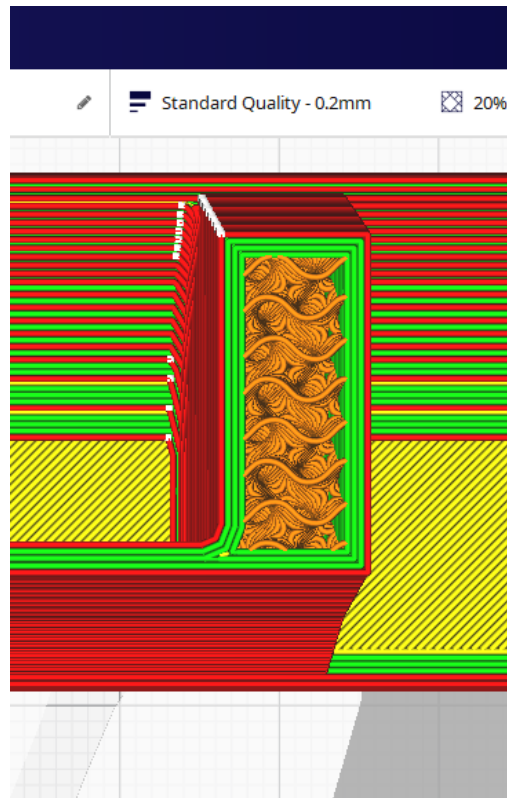
3.1.5. Printimise seadistus

Kihi paksus 0.2mm, Printimise temperatuur 240°C, Alusplaadi temperatuur esimeste kihtide kinnitumise tagamiseks 70°C, Printimiskiirus 50 mm/s – Hea kompromiss kiiruse ja kvaliteedi vahel, Seinade paksus 1,6 mm, seinakihtide arv 4.

Täitestruktuuri kasutamine

Kuna 3D-printimine toimub kihiti detaili ülesehitamisega, on võimalik luua detaili sisse täitestruktuuri võrestik, mis klassikalist tootmismeetodit rakendades ei oleks võimalik. Täitestruktuuri võrestikku rakendades on võimalik langetada detaili massi samal ajal optimeerides detaili mehaanilisi omadusi. Võrestikku ennast ei pea 3D-mudeli loomisel käsitsi sisse projekteerima, kuna printimise ettevalmistuseks loodud tarkvarad, nagu näiteks autori poolt kasutatud Ultimaker Cura 4.9.0 võimaldab valida nii täitestruktuuri võrestiku tüübi kui ka täiteaste. Täiteastet tähistatakse protsentides kus 100% tähistab materjali täielikku täidetust. Mida suurem on täiteaste protsent, seda tihedam on täitestruktuuri võrestik.

Autor valis täitestruktuuriks güroidvõrestiku (*gyroid infill*) kuna seda tüüpi võrestik võimaldab detaili kaalu langetada kuid samal ajal langetades mehaanilisi omadusi vähem, kui ükski teine täitestruktuur seda samal tasemel võimaldaks. 100%-selt täidetud ukselingi mass on programmi poolt kuvatuna 43 grammi, kus aga 20% täiteastmega langeb mass 31 grammile. Katse eesmärgil valis autor täiteastmeks 20%. Illusreerimiseks on välja toodud mudeli läbilõige, kus on oranziga värvituna näha güroidvõrestiku projektsiooni.(Sele 5)



Sele 5. Güroidvõrestiku projektsioon ukselingi kinnituskõrva sees

3.2. Katsed detailiga

Detail prinditi välja asendis, kus auto külge monteerituna paistma jääv lingi osa oli vastu printimisplaati. Sellises asendis printimine tagab paistma jääva osa lameduse ja ühtse struktuuri. Ülerippuvate osade jaoks projekteeris programm Ultimaker Cura toestruktuurid ise, mis tootmise järgselt noaga eemaldati. Kohtades kus toestruktuurid paiknesid on näha ka eemaldamise järgselt pinnakaredust.



Sele 6. Toodetud ukselink

Detailil on läbivalt ja selgelt näha kihtide jooni, mis on omane antud printimistehnoloogiale kasutades 0,02 mm printimistäpsust. Alusplaadiga kontaktis olnud käepideme välimisel küljel on näha vertikaalsuhtes olevate seinte kihte ning diagonaalselt üle ulatuvaid jooni. Selle parandamiseks on võimalik programmis eraldi seadistada aluskihi paksust.

Printimise täpsuse kontrolliks mõõdeti üle prinditud detaili mõõtmed ning võrreldi neid CAD-programmi sisestatutega. Salvestatud .stl faili madala resolutsiooni sätete tõttu kahanes ka prinditud detaili resolutsioon, mis väljendus kõige enam avade ja lingi tagakülje raadiuse kandilisuses. Seetõttu on ka nendes kohtades suurim mõõtude erinevus, kus suurimal aval on projekteeritud 7,9 mm asemel 7,6 mm, tehes erinevuseks 0,3 mm, ehk $100\% - (100 / 7,9 \times 7,6) = 3,8\%$ erinevus. Teiste mõõtmete erinevus on projekteerituga võrreldes maksimaalselt 0,1 mm ning kinnituskõrvade kraadid olid prinditud detailil täpselt vastavuses projekteeritule.

Detaili sobitamiseks originaal ukselingi korpuse külge oli vajalik puurida madalast mudeli resolutsioonist tulenevad alamõõdus avad suuremaks, et lukustustihvtid ja ukse lukuhuob paigaldada. Rohkem kohendusi prinditud detail ei vajanud. Lingimehanismi vedrude paigaldusjärgselt paindusid kinnituskõrvad üksteise suhtes 1,5 mm lahku vedrude poolt osutatava pinge tõttu. Edasist lahkujooksmist jäid korpuse kinnituskõrvad piirama. Sellest hoolimata täitis detail oma funktsiooni ilma lisakohendusi vajamata. (Sele 7)



Sele 7. Kinnituskõrva lingi tagaküljel

Funktsionaalsuse katsetuseks viidi läbi ukse avamise protseduur 3000 korda. Võttes võrdluse eesmärgil ukse avamise päevaseks nominaalarvuks 10, võrdub katse $3000 / 10 = 300$ päeva ukse avamisega. Katse järgselt mõõdeti kinnituskõrvade nurka, kuhu lingimehanismi vedrud osutavad kõige suuremat jõudu, et selgitada võimalik deformatsioon. Katse järgselt mõõdetud nurk oli sama katse eelse nurgaga.



Sele 8. Asendusdetail korpuse küljes

Järeldus

Toodetud detail on projekteeritud mõõtmetega vähemalt 96,2% vastavuses. Detail sobitus korpusesse vähesel määral tehtud järeltöötluse järgselt. Detail läbis funktsionaalsuse katsetuse ilma kriitilisi deformatsioone saamata. Detail on sobilik asendustootena vähemalt 300 päeva ulatuses.

KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus selgitati välja autovaruosade tootmiseks sobiv 3D-printimistehnoloogia, mida kasutada alustavas tootmisettevõttes. Selle tegemiseks võrreldi enimlevinud printimistehnoloogiaid ja nende hinnataset oma vahel. Sobiva materjali leidmiseks valiti eelistatud 3D-printer ning võrreldi sellele saadaolevaid enimlevinud toormaterjale. Tehtud järelduste põhjal valiti tehnoloogia ning materjal vastavad, et toota sõiduauto ukse link kasutades 3D-printimist, eesmärgiga viia läbi katsetused, et kontrollida 3D-prinditud toote kvaliteeti ja materjali vastupidavust, mille käigus selgitada välja toote sobilikkus funktsionaalse asendusdetailina. Samuti selgitati välja toote oma hind et viia läbi hinnavõrdlus konkurentidega. Katsete tulemusena jõuti järeldusele, et toodetud detaili mõõtmed vastavad projekteeritule, pinnatöötlus vastab ootustele ning toode sobib projekteeritud rakendusse vähemalt 300 päeva ulatuses.

Äriplaani eesmärgiks oli selgitada välja konkurentsi tase riigisisesele, selgitada välja ettevõtte stardikapital ning analüüsida toodetud detaili omahinnast lähtuvalt alustava ettevõtte konkureerimisvõimekust 3D-printimistehnoloogial baseerual tootmisturul. Hinnavõrdluses selgus, et omahind on niivõrd väike, et konkureerimise eesmärgil tuleks hinda tõsta, kuid on võimalik pakkuda konkurentidest märgatavalt soodsamat hinda.

SUMMARY

In the course of the thesis, a suitable 3D printing technology for the production of car spare parts was identified, which can be used in a start-up production company. To do this, the most common printing technologies and their price levels were compared. To find a suitable material, the preferred 3D printer was selected and the most common raw materials available for it were compared. Based on the findings, the technology and material were selected to produce a car door handle using 3D printing, with the aim of conducting tests to verify the quality and durability of the 3D printed product to determine its suitability as a functional replacement. The price of the product was also determined in order to carry out a price comparison with competitors. As a result of the tests, it was concluded that the dimensions of the manufactured part correspond to the design, the surface treatment meets the expectations and the product is suitable for the designed application for at least 300 days.

The purpose of the business plan was to find out the level of competition in the country, to find out the company's start-up capital and to analyze the competitiveness of the start-up company in the production market based on 3D printing technology based on the cost of the produced part. The price comparison showed that the cost price was so low that the price would have to be increased in order to compete, but that it was possible to offer a significantly lower price than competitors.

4. KASUTATUD MATERJAL

- [1 [Võrgumaterjal]. Available:
] <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tktk/detail.action?docID=6144664..>
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cambridge.org/core/journals/robotica/article/reprap-the-replicating-rapid-prototyper/5979FD7B0C066CBCE43EEAD869E871AA>.
- [3 [Võrgumaterjal]. Available: <http://3dprintgeeks.xyz/fused-deposition-modeling-fdm-all-about-the-fdm-process/>.
- [4 [Võrgumaterjal]. Available: <https://mts.ee/et/toode/3d-printer-creality-ender-3-v2-komplekt-164018859>.
- [5 [Võrgumaterjal]. Available: <https://patents.google.com/patent/US4575330A/en>.
]
- [6 [Võrgumaterjal]. Available:
] [https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography#:~:text=Stereolithography%20\(SLA%20or%20SL%3B%20also,processes%20by%20which%20light%20causes](https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography#:~:text=Stereolithography%20(SLA%20or%20SL%3B%20also,processes%20by%20which%20light%20causes).
- [7 [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452759.2012.723409>.
- [8 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nextproto.com/advantages-and-disadvantages-sla-technology-a-174.html>.
- [9 [Võrgumaterjal]. Available: https://www.amazon.com/ELEGOO-Photocuring-Printer-Off-line-Printing/dp/B07K2ZHMRP/ref=sr_1_3?dchild=1&keywords=Elegoo+Mars&qid=1620561858&sr=8-3.
- [1 [Võrgumaterjal]. Available:
0] https://cdn2.hubspot.net/hubfs/340051/Design_Guides/Xometry_DesignGuide_SLS.pdf.
- [1 [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-1\] printing/](https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-1] printing/).
- [1 [Võrgumaterjal]. Available: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/> .
2]
- [1 [Võrgumaterjal]. Available: <https://formlabs.com/eu/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology>.
3]

- [1 [Võrgumaterjal]. Available: https://www.bcn3d.com/wp-content/uploads/2019/09/BCN3D_FILAMENTS_TechnicalDataSheet_PLA_EN.pdf.
4]
- [1 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.01.ee/est/product/1208828>.
5]
- [1 [Võrgumaterjal]. Available: <https://amfg.ai/2018/07/02/pla-3d-printing-all-you-need-to-know/>.
6]
- [1 [Võrgumaterjal]. Available: https://3dprint.pe/wp-content/uploads/2018/09/TDS_BCN3D_Filaments_ABS.pdf.
7]
- [1 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.01.ee/est/product/1214305>.
8]
- [1 [Võrgumaterjal]. Available: <https://3dinsider.com/pros-and-cons-3d-printing-filaments/>.
9]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.merrem.ee/ee/pet-g-pol%C3%BCet%C3%BCleentereftalaat-gl%C3%BCkool/>.
0]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.01.ee/est/product/1335715>.
1]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: <https://3dinsider.com/pros-and-cons-3d-printing-filaments/>.
2]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-petg#Properties>.
3]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>.
4]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: https://www.bcn3d.com/wp-content/uploads/2019/09/BCN3D_FILAMENTS_TechnicalDataSheet_PLA_EN.pdf.
5]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: https://3dprint.pe/wp-content/uploads/2018/09/TDS_BCN3D_Filaments_ABS.pdf.
6]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: <https://thebossmagazine.com/manufacturing-as-a-service/>.
7]
- [2 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dcvelocity.com/articles/48233-the-rise-of-manufacturing-as-a-service>.
8]

[2 [Võrgumaterjal]. Available: [https://amfg.ai/2020/06/01/3d-printing-and-mass-customisation-9\] where-are-we-today/](https://amfg.ai/2020/06/01/3d-printing-and-mass-customisation-9] where-are-we-today/).

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.managementstudyguide.com/on-demand-0\] manufacturing.htm](https://www.managementstudyguide.com/on-demand-0] manufacturing.htm).

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.01.ee/est/product/1335715.1\]](https://www.01.ee/est/product/1335715.1])

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.byroomaailm.ee/3d-printer-creality-ender-3-2\] v2?sku=K0080616](https://www.byroomaailm.ee/3d-printer-creality-ender-3-2] v2?sku=K0080616).

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://inforegister.ee/14201096-3DKODA-OU.3\]](https://inforegister.ee/14201096-3DKODA-OU.3])

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://3dkoda.com/.4\]](https://3dkoda.com/.4])

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://inforegister.ee/10047988-INFOTARK-AS.5\]](https://inforegister.ee/10047988-INFOTARK-AS.5])

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [http://3dmaailm.ee/.6\]](http://3dmaailm.ee/.6])

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://3dp.ee/.7\]](https://3dp.ee/.7])

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://inforegister.ee/12134651-ODAV-PRINT-OU.8\]](https://inforegister.ee/12134651-ODAV-PRINT-OU.8])

[3 [Võrgumaterjal]. Available: [https://odavprint.ee/en/teenused/3d-printimine/.9\]](https://odavprint.ee/en/teenused/3d-printimine/.9])

[4 [Võrgumaterjal]. Available: [https://inforegister.ee/en/11472989-3DQUALITY-OU.0\]](https://inforegister.ee/en/11472989-3DQUALITY-OU.0])

[4 [Võrgumaterjal]. Available: [https://3dquality.ee/.1\]](https://3dquality.ee/.1])

[4 [Võrgumaterjal]. Available: [https://inforegister.ee/10284814-DORMIKOR-OU.2\]](https://inforegister.ee/10284814-DORMIKOR-OU.2])

[4 [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.oomipood.ee/en/3d_printimine_oomipoes.3\]](https://www.oomipood.ee/en/3d_printimine_oomipoes.3])

[4 [Võrgumaterjal]. Available: <https://inforegister.ee/12710445-JARRZ-OU>.

4]

[4 [Võrgumaterjal]. Available: <http://jarrz.com/>.

5]

[4 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.inforegister.ee/12819142-SHAPERIZE-OU>.

6]

[4 [Võrgumaterjal]. Available: <https://shaperize.com/teenused/>.

7]

[4 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tallinn.ee/est/ettevotjale/Ariplaani-koostamise-juhend>.

8]

[4 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.varuosakeskus.ee/?mis=about>.

9]

[5 [Võrgumaterjal]. Available: <https://elv.ee/>.

0]

[5 [Võrgumaterjal]. Available:

1] <https://www.ebay.com/i/164042793776?var=0&mkevt=1&mkcid=1&mkrid=711-53200-19255-0&campid=5337866144&toolid=10050&customid=capi>.

[5 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ebay.com/p/564811950>.

2]

[5 [Võrgumaterjal]. Available: <https://dielectricmfg.com/knowledge-base/petg/>.

3]

[5 [Võrgumaterjal]. Available: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/> .

4]

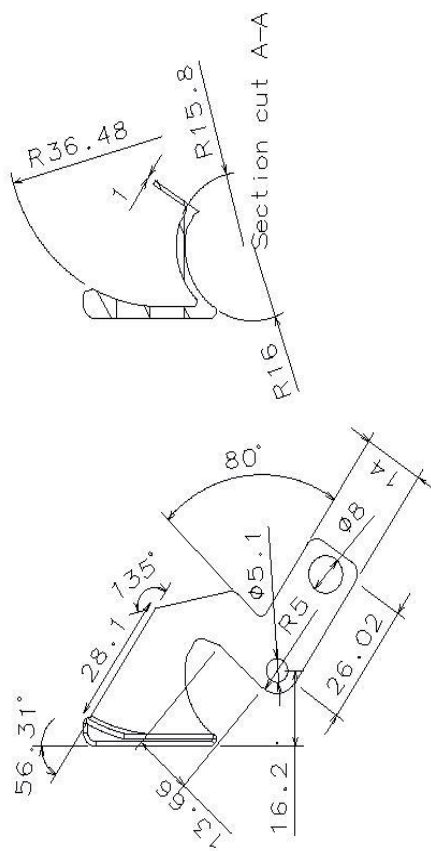
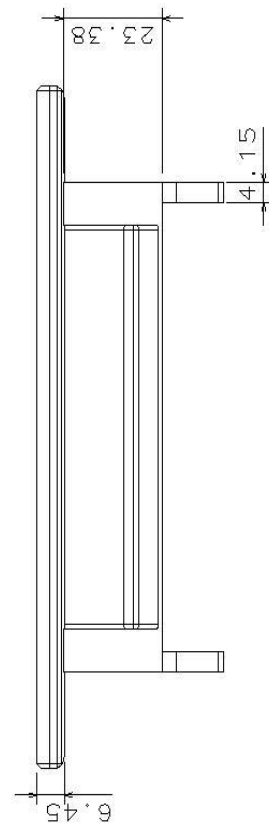
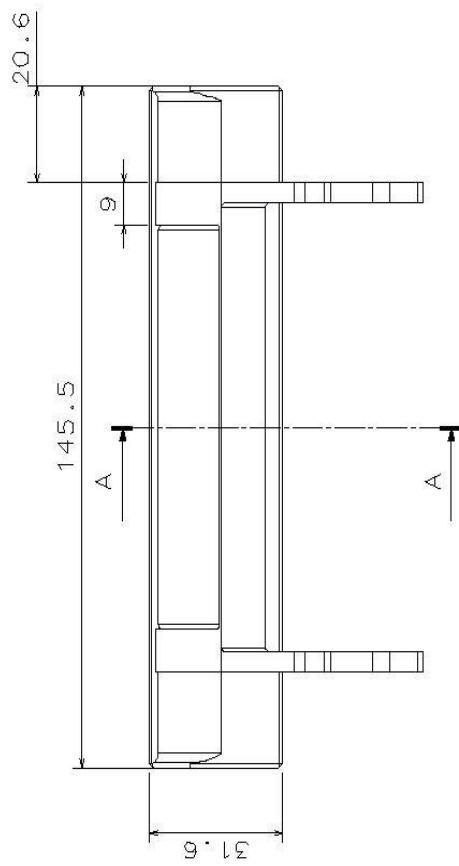
[5 [Võrgumaterjal]. Available: Kuidas koostada äriplaani? > Ettevõtjale > Tallinn.

5]

LISAD

Lisa 1. Ukselingi joonis

Lisa 1. Ukselingi joonis

 $\sqrt{Ra_{6,3}}$

Märkimata raadused R3

[illegible]