



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juha Rinta

MATERIAALIN VALINTATYÖKALU 3D SO- VELLUKSIIN

Tekniikka
2022

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juha Rinta
Opinnäytetyön nimi	Materiaalin valintatyökalu 3D applikaatioihin
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	63 + 1 liite
Ohjaaja	Osku Hirvonen

Tämän opinnäytetyön pohjana toimii Danfossin tarve tehostaa 3D-tulostuksissa käytettävien materiaalien valintaa henkilöille, joille 3D-tulostus on vierasta. Opinnäytetyössä kehitetään työkalu kyseiseen tarkoitukseen.

Opinnäytetyössä seurataan työkalun kehitystä ja teoriaa, johon työkalu pohjautuu. Ideointimenetelmänä käytettiin yksin toteutettavaa aivoriittä. Aineistona opinnäytetyössä käytettiin laajalti valmistajien ja jälleenmyyjien sivustoja, sekä ammatillisia artikkeleita.

Opinnäytetyön tekeminen oli erittäin opettavainen kokemus. Työkalun rakentaminen oli yksi opinnäytetyön helpoimmista osioista samalla, kun taas tarvittavien informaatioiden kerääminen oli hankalin osuus. Opinnäytetyöstä ilmenee, miten laaja-alainen 3D-tulostuksen materiaalitekniikka itsessään on.

Avainsanat Materiaalia lisäävä tulostus, tehokkuus, materiaalitekniikka

ABSTRACT

Author	Juha Rinta
Title	Tool for selecting material for 3D applications
Year	2022
Language	Finnish
Pages	63 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Osku Hirvonen

The need for this thesis came from Danfoss. They needed an efficient way for their employees, that are not familiar with 3D printing, to select material for their 3D printing applications. During this thesis we will develop a tool for this purpose.

This thesis introduces theoretical components needed for the development of the tool as well as the development of the tool. Solo brainstorming was used to generate ideas for the thesis. Manufacturers' and resellers' internet pages, as well as some professional articles, were used as references during the thesis.

The tool was finished and the outcome was a useful tool that can be used for the purpose it was designed for. If needed, the tool can be easily adjusted and further developed according to the needs of Danfoss

Keywords	Material additive manufacturing, materials technology, and efficiency
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	MATERIAALIT	10
2.1	ABS 10	
2.1.1	ABSi	11
2.1.2	PC/ABS.....	11
2.1.3	ASA	12
2.1.4	Hi Temp	12
2.1.5	CPE.....	12
2.2	PLA 12	
2.2.1	ProHT.....	13
2.3	Polyamidit	13
2.3.1	PA12	14
2.3.2	PA11	14
2.4	PETG	15
2.5	Flexible	15
2.6	PEI 16	
2.6.1	Ultem 9085.....	17
2.7	PC 17	
2.8	Hartsit.....	18
2.8.1	Työkalun eri hartsit	18
2.9	Metallit.....	20
2.9.1	Ruostumattomat teräkset.....	21
2.9.2	Titaani.....	22
2.9.3	Alumiini	22
2.9.4	Kupari	23

2.10	ONYX- ja Nylon komposiitit.....	23
2.10.1	Onyx	24
2.10.2	Nylon	24
3	TYÖKALU.....	26
3.1	Ohjelmistomahdollisuuksia työkalun pohjaksi	26
3.1.1	Microsoft Word.....	26
3.1.2	Excel	28
3.1.3	Excelin ja Wordin kombinaatio	29
3.2	Työkalun layout.....	29
3.2.1	Napit.....	29
3.2.2	Pudotusvalikko	30
3.3	Tietokanta	30
3.3.1	Vertailuasteikko	30
3.3.2	Vertailuasteikon suureet.....	31
4	VERTAILTAVAT OMINAISUUDET.....	33
4.1	Lujuus.....	33
4.2	Elastisuus.....	33
4.3	Venyvyys	34
4.4	Tiheys	34
4.5	Ekologisuus	34
4.6	Sähkönjohtavuus.....	35
4.6.1	ESD-suojaus.....	35
4.7	Lämmönjohtavuus	36
4.8	Väri 36	
4.9	Lämmönkesto	36
4.10	Kemiallinen kestävyys.....	37
4.11	UV-sietokyky	37
4.12	Jälkikäsittely	38
5	KÄYTÄNTÖ	40
5.1	Tietokanta	40

5.1.1	Murtolujuus.....	40
5.1.2	Elastisuus.....	41
5.1.3	Venyvyys.....	41
5.1.4	Tiheys	42
5.1.5	Maatuvuus	42
5.1.6	Kierrätettävyys	43
5.1.7	Sähkönjohtavuus.....	43
5.1.8	ESD-suojaus.....	44
5.1.9	Lämmönjohtavuus.....	45
5.1.10	Väri	45
5.1.11	Lämmönkesto.....	46
5.1.12	Kemiallinen kestävyys	47
5.1.13	UV-sietokyky	47
5.1.14	Kommentit	48
5.2	Käyttäjän valinta ehdot ja käyttöliittymä	48
5.2.1	Makrot.....	50
5.3	Työkalu toiminnassa	51
6	ITSEREFLEKTIO	54
6.1	Mitä opin.....	54
6.2	Onnistumiset ja epäonnistumiset.....	54
7	YHTEENVETO	56
	LÄHTEET	57

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Tietokanta	51
Kuva 2. Alkunäkymä.....	52
Kuva 3. Loppunäkymä.....	53
Taulukko 1. Sanaselitykset.....	8
Taulukko 2. Murtolujuus	40
Taulukko 3. Elastisuus.....	41
Taulukko 4. Venyvyys	42
Taulukko 5. Tiheys	42
Taulukko 6. Maatuvuus	43
Taulukko 7. Kierrätettävyys	43
Taulukko 8. Sähkönjohtavuus.....	44
Taulukko 9. ESD-suojaus.....	44
Taulukko 10. Lämmönjohto.....	45
Taulukko 11. Väri	45
Taulukko 12. Läpinäkyvyys	46
Taulukko 13. Lämmönkesto.....	46
Taulukko 14. Kemiallinen kestävyys	47
Taulukko 15. UV-sietokyky	48

LIITELUETTELO

LIITE 1. Opinnäytetyöpassi

Taulukko 1 Sanaselitykset

FDM	tulostusmenetelmä, jossa tulostusmateriaali sulatetaan ja pusketaan suuttimen läpi haluttuun muotoon kerros kerrallaan
thermoplastic	muovi, jotka sulavat kuumennettaessa ja jäähtyessään kovettuu uudelleen
SLA	kappale kovetetaan tulostimen alustaan käyttäen UV-valoa. Alusta nostetaan hiljalleen pois nestemäisestä hartsista samaan tahtiin, kun UV -valo kovettaa hartsia
MJ	tulostustapa, jossa materiaali suihkutetaan suuttimen läpi tarkoille paikoille kerroksittain
dekoratiivinen	koristeellinen
Amofodrinen	Kidemäinen materiaalin tila, jossa materiaali on usein kovaa ja haurasta.
LVI	Lämpö, vesi, ilma.
Rst	Ruostumaton teräs.
Brainstorming	Ideointi menetelmä.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on luoda helppokäyttöinen työkalu, jolla voidaan valikoida käyttäjän tarkoitukseen soveltuvat materiaalit 3D-applikaatioihin. Työn pääpainona toimivat materiaalien erilaiset ominaisuudet, käytössä olevien materiaalien arviointi ja asettaminen vertailuasteikkoon, sekä työkalun kehittäminen.

Työn kohteena on tutustua 3D-tulostettavien materiaalien ominaisuuksiin, sekä kehittää yksinkertainen, käyttäjäystävällinen ja nopeakäyttöinen materiaalivalintaa helpottava työkalu. Työkalun kohderyhmä ovat henkilöt, joille 3D-tulostus ja -materiaalit eivät ole tuttuja. Työkalun tulee auttaa käyttäjää suodattamaan omaan applikaatioon soveltuva materiaali ilman ylimääräistä taustatutkimusta materiaaleista ja ilman tietoa tarvittavista kriteerien numeraalisista suureista.

Työ tulee koostumaan kahdesta pääosuudesta. Teoriaosuudessa tutustutaan teoriaan, johon työkalu pohjautuu. Käytännön osuudessa kerron työkalun suunnittelusta, toteutuksesta sekä toiminnasta. Käytännön osuuden päätteeksi tulen myös reflektimaan opinnäytetyön kulkua.

Työn tilasi Danfoss ja työn toteutuksessa seurataan heidän tarpeitaan ja pyyntöjään työkalua koskien. Danfoss on tanskalainen elektroniikkayritys, joka valmistaa muun muassa teollisuusautomaatiikkaa ja taajuusmuuttajia. Danfossilla on erittäin kykeneväinen 3D-tulostusosasto, joka tuottaa joitakin erityisosa tuotannon tarpeisiin. Työ sai alkunsa tarpeesta tehostaa tuotannon henkilökunnan kykyä tilata tarvittavia 3D-tulostettavia osia.

2 MATERIAALIT

Tässä kappaleessa tutustutaan työkalussa käytettäviin materiaaleihin. Tutustumme materiaalien ominaisuuksiin, yleisiin käyttökohteisiin ja siihen, miten materiaalit supistetaan ryhmiin tai erotellaan ryhmistä. Huomattavaa on, että materiaaleja tullaan tarkastelemaan työkalun käyttäjän näkökulmasta. Tämä tarkoittaa, että materiaalien ominaisuuksiin ei tulla ottamaan huomioon ominaisuuksia, jotka tulee huomata kappaletta tulostaessa tai raakamateriaalin säilytyksessä. On myös huomattava, että tulosteiden tilaaminen on ilmaista Danfossin henkilökunnalle.

Materiaalit, jotka otetaan huomioon työkalussa ja tässä opinnäytetyössä, ovat Danfossin 3D-tulostetilauslomakkeen perusmateriaalit. Käyttäjän on myös mahdollista valita materiaali, joka ei ole listalla. Materiaaleja, jotka eivät ole listalla, ei oteta huomioon työkalussa. Jos käyttäjä osaisi valita itsenäisesti materiaalin, jota listassa ei ole, hän ei ole työkalun kohderyhmää.

2.1 ABS

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) -muoveja on erittäin suuri jakauma erilaisia ja tästä syystä tulen supistamaan todella suuren osan ABS-muoveista saman muoviryhmän alle. Tätä muoviryhmää kutsutaan työkalussa nimellä "ABS".

ABS:llä on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja hyvä lämmönsietokyky, mutta se on myös herkkä lämpövääntymiselle¹. ABS on myös uudelleen muokattava muovi ja myös yksi tulostetuimmista materiaaleista. Tämä johtuu sen edullisuudesta, hyvästä saatavuudesta ja FDM-tulostimien yleisyydestä. ABS-muovin haittoja ovat sen erittäin heikko maatuvuus ja UV-valon kesto.

¹ Redwood, B., Schöffner, F., Garret, B. 2018. The 3D Printing Handbook. 36. 3DHUBS.

Käyttötarkoituksiltaan ABS on todella monipuolinen. Se käy oikeastaan kaikkiin osiin, joilla on tarve kohtalaiselle kulutuksen- ja iskunkestolle. Yksi erittäin tunnettu ABS:n käyttökohde ovat Lego-palikat. ABS-muovia käytetään myös ensimmäisten toimivien prototyyppien valmistukseen.²

Tietokannassa kuitenkin on eriteltyjä ABS-vaihtoehtoja ja vaihtoehtoisia materiaaleja ABS-muoville:

2.1.1 ABSi

ABSi on jäykempi ja kestävämpi versio ABS- muovista. ABSi on myös läpikuultavaa, eli hieman läpinäkyvää.³

2.1.2 PC/ABS

PC/ABS (Polycarbonate/Acrylonitrile Butadiene Styrene) on PC- ja ABS-muovien sekoitus, joka omaa erittäin korkean lämmönkestävyyden sekä ABS-muoville ominaisen hyvän taivutuslujuuden. Sillä on myös hyvä iskunkestävyys. Kuten molemmat muovit, josta PC/ABS on tehty, se on myös uudelleen kierrätettävissä.

PC/ABS-muovia voidaan käyttää tilanteissa, joissa normaalin? ABS-muovin lämmönsietokyky ei riitä.⁴

² hubs.com. ABS ja PLA erot. Hubs.com -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.hubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference/#rules-of-thumb>

³ materialise.com. ABSi tiedot ja erot verrattuna ABS:ään. Materialise -3D tuotteiden valmistaja ja jälleenmyyjä. Viitattu 24.3.2022. <https://www.materialise.com/en/manufacturing/materials/absi>

⁴ stratasys.com. PC/ABS Tiedot. Stratasy 3D tulostus yritys. - Viitattu 24.3.2022. <https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/fdm-materials/pc-abs>

2.1.3 ASA

ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate) on ominaisuuksiltaan ABS:n kaltainen muovi, mutta soveltuu ulkokäyttöön paremmin UV-sietokykynsä takia.⁵

2.1.4 Hi Temp

Hi Temp on todella hyvin lämpöä kestävä materiaali, jonka muut ominaisuudet vastaavat ABS-muovia.⁶

2.1.5 CPE

CPE (Co-polyester) on ABS:n kaltainen muovi, jolla on PETG (Polyethelyne; jäljempänä) kaltainen kemiallinen kestävyys ja kovuus.⁷

2.2 PLA

PLA (Polylactic acid) -muovit ovat yleisin tulostettava muovilaatu. PLA-muoveja on myös erittäin iso kirjo ja tästä syystä myös PLA-muoveille tietokantaan tehdään ”PLA”.

PLA on yleisesti erittäin kovaa, mutta myös paljon hauraampaa, kuin ABS-muovit. ABS:ään verrattuna PLA:lla on heikompi iskun- ja lämmönsietokyky. PLA on heikosti uudelleen muokattavissa, mutta sen kierrätys on mahdollista erityistoimenpitein⁸. PLA on maatuva muovi, joten se ei rasita ympäristöä samalla tasolla kuin

⁵ simplify3d.com. ASA muovi informaatiota. Simplify3d -3D tulostusohjelmia valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/asa/>

⁶ bigrep.com. Hi Temp informaatiot. Bigrep -3D tulostus materiaalien valmistaja. Viitattu 24.3.2022. <https://bigrep.com/filaments/hi-temp/>

⁷ support.ultimaker.com. CPE informaatiot. Ultimaker -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011940320-Which-Ultimaker-material-should-I-use->

⁸ all3dp.com. PLA -muovin kierrätettävyys. All3dp.com -3D tulostuksesta informoiva sivusto. Viitattu 24.3.2022. <https://all3dp.com/2/is-pla-recyclable/>

ABS⁹. PLA-muovia käytettäessä tulostusjälki on mattaa ja myös parempaa kuin ABS-muovia käytettäessä.¹⁰

Samoin kuin ABS:llä, PLA:lla on todella laajat käyttökohteet. Esimerkiksi pienoismallit ja prototyypit ovat hyvä käyttökohde PLA:lle.

Samoin kuin ABS-muoveissa, PLA-muoveille on myös vaihtoehtoja, jotka tullaan sisällyttämään työkalun tietokantaan:

2.2.1 ProHT

ProHT on erittäin hyvä vaihtoehto perinteisille PLA- ja ABS- muoveille. ProHT kestää lämpöä paljon paremmin kuin PLA ja omaa ABS-tasoisesta lujuuden. Tulostusjälki on saman tasoista kuin PLA:lla. ProHT on maatuva muovi kuten PLA.¹¹

2.3 Polyamidit

Polyamideista suosituin tulostus materiaali on Nylon. Nylon on suosittu materiaali, koska sitä voidaan 3D-printata monella erilaisella menetelmällä. Nylonin puolesta puhuu myös sen hyvä uudelleenmuokattavuus eli kierrätettävyys, sekä sen hyvät ominaisuudet komposiiteissa. Nylon on myös erittäin taipuisaa menettämättä muotoaan ja sillä on hyvä kemiallisten aineiden sietokyky. Yleistä nylonia ja melkein samanlaisia versioita kutsutaan työkalussa nimellä ”Nylon”.

Nylonin käyttötarkoitukset ovat todella kattavia. Erittäin hyvien ominaisuuksiensa takia sitä voidaan käyttää todella hyvin lopullisissa teknisissä ratkaisuissa¹². Yksi

⁹ Redwood, B., Schöffler, F., Garret, B. 2018. The 3D Printing Handbook. 36. 3DHUBS.

¹⁰ hubs.com. ABS ja PLA erot. Hubs.com -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.hubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference/#rules-of-thumb>

¹¹ bigrep.com. ProHT valmistajan tiedot. Bigrep -3D tulostusmateriaaleja valmistava yritys.

Viitattu 24.3.2022. <https://prostech.vn/bigrep-pro-ht-an-alternative-material-for-abs/>

¹² Redwood, B., Schöffler, F., Garret, B. 2018. The 3D Printing Handbook. 36. 3DHUBS.

nylonin suurimmista ongelmista on kuitenkin sen ominaisuus imeä vettä, mistä syystä sitä ei voida yleisesti käyttää suurimmissa osissa kosteita ympäristöjä.¹³

Nylonilla on komposiittiominaisuuksien takia monia erilaisia yhdistelmiä, mutta työkalussa käytössä olevat yhdistelmät tulen luettelemaan myöhemmin komposiittien osiossa.

2.3.1 PA12

PA12 (Polyamide 12) on tunnettu erittäin tarkasta jäljestä. Muovi tunnetaan myös nimellä Nylon 12. Materiaalin pinnanlaatu on suoraan tulostettuna huokoinen, mutta sitä voidaan jälkikäsitellä todella hyvin ja näin pinnanlaatu saadaan erittäin hyväksi. PA12 omaa hyvän kemiallisen kestävyuden ja se kestää myös hyvin kulumista. PA12:ta puolesta puhuu myös se, että sitä voidaan tulostaa monella eri menetelmällä.¹⁴

2.3.2 PA11

PA11 ja PA12 välillä on muutama tärkeä eroavaisuus. PA11 eli Nylon 11 on suurimaksi osaksi uusiutuvista aineista valmistettu muovi, sekä on myös elastisempi, kuin Nylon 12. Nylon 12 kestää paremmin lämpöä sekä kovia lämpötilan pudotuksia ja pitää ominaisuutensa hyvin alle nollan celsiusasteen lämpötiloissa. Nylon 11 ja Nylon 12 erottuvat muista nylon-materiaaleista kyvyllään vastustaa vettä. Ne

¹³ simplify3d.com. Nylon informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/nylon/>

¹⁴ shapeways.com. PA 12 informaatiot. Shapeways -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.shapeways.com/blog/archives/41298-everything-you-need-to-know-about-nylon-12-material.html>

eivät ime paljoo vettä itseensä ja näin säilyttävät paremmin alkuperäisen kappaleen painon. Työkalusta löytyy myös paremmin tulta kestävä PA11-RF (Fire Retardant) versio.¹⁵

2.4 PETG

PETG (Polyethelyne) on kaikkien aiempien muovien tavoin ”thermoplastic”, mikä tarkoittaa sen sulamista muokattavaksi versioksi tarpeeksi kuumassa lämpötilassa- (LÄHDE). Sillä on hyvä kemikaaliensieto- ja iskunkestokyky. PETG on myös kohtalaisen taipuisaa menettämättä muotoaan ja se omaa hyvän lämmönsietokyvyn.

PETG:n läpinäkyvät versiot mahdollistavat sen käytön todella erilaisissa käyttökohteissa verrattuina aiemmin esiteltyihin materiaaleihin. Suosittuja käyttökohteita normaaleille PET-muoveille, joita osa PETG on, ovat esimerkiksi muovipullot.¹⁶

PETG-versioita on monta ja niistä tullaan käyttämään yleistetysti lyhennettä ”PETG”

2.5 Flexible

Flexible on yleisnimitys TPE (thermoplastic elastomers) -muoveille. Näiden muovien tunnetuin ja nimityksen Flexible antava ominaisuus on niiden kumimainen taipuisuus alkuperäistä muotoaan menettämättä. Niillä on myös todella hyvä iskunsietokyky ja ne kestävät yleisesti hyvin öljyä.

¹⁵ weerg.com. Nylon 11 ja Nylon 12 erot. Weerg -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.weerg.com/en/global/blog/what-are-the-differences-between-pa12-and-pa11>

¹⁶ oberk.com. PETG versioiden ominaisuuksia. Oberk -Pakkauksia valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.oberk.com/packaging-crash-course/differences-in-pet>

TPE-muoveja käytetään paljon esimerkiksi erilaisissa tärinänvaimentimissa ja pienoismalliajoneuvojen renkaissa. Myös tiivisteet ovat hyvä käyttötarkoitus TPE-muoveille.¹⁷

TPU on ainoa työkalusta löytyvä TPE-muovi ja se kestää yleisesti paremmin kulu-
tusta kuin muut TPE-muovit.¹⁸

TPU-muovin nimi tietokannassa on ”TPU”.

2.6 PEI

PEI (Polyetherimide), toiselta nimeltään on kevyt, mutta vahva materiaali. Sen ominaisuuksiin kuuluu varsin hyvä vahvuus ja kohtalainen alkuperäiseen muotoon vaikuttamaton taipuisuus. PEI:llä on myös hyvä kemiallinen kestävyys, sekä hyvä lämmönsietokyky. PEI on myös hieman läpinäkyvää, jonka huomaa tarkastellessa ohuita kerroksia PEI:tä.

Nämä ominaisuudet tekevät PEI:stä erittäin hyvän vaihtoehdon melkein mille tahansa tulosteelle. Jos tarkastellaan yleisesti miksi PEI ei ole yleisempää kuin esimerkiksi ABS tai PLA, niin vastaus löytyy PEI:n korkeasta hinnasta. Työkalun tietokannassa normaali PEI on Ultem 1010 materiaali ja löytyy kyseisellä nimellä työkalusta.¹⁹

¹⁷ finnprofiles.com. TPE muovit tiivisteinä. Finnprofiles -Tiivisteitä valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.finnprofiles.com/fi/tpe-tiivistemateriaalina/>

¹⁸all3dp.com. TPU ja TPE -muovien eroavaisuuksia. Viitattu 24.3.2022. <https://all3dp.com/2/tpe-vs-tpu-flexible-filament-the-differences/>

¹⁹ sabic.com. Ultem 1010 tiedot. Sabic -petrokemikaalien tuottaja. Viitattu 24.3.2022. <https://www.sabic.com/en/products/specialties/ultem-resins/ultem-resin>

2.6.1 Ultem 9085

Ultem 9085 on todella kestävä muovi, joka omaa erittäin hyvän lämmönsietokyvyn. Sillä on myös korkea murtolujuus ja se kestää hyvin iskuja. Ultem 9085 omaa myös hyvät ”FST”-ominaisuudet eli materiaali estää tulen etenemistä, ei tuota paljoa savua ja savu ei ole liian myrkyllistä.²⁰

2.7 PC

PC (Polycarbonate) on erittäin vahva ja korkean taipumislämpötilan omaava muovi. PC omaa myös korkean lasisiirtymälämpötilan. Lasisiirtymä- ja taipumislämpötila eroavat toisistaan siten, että taipumislämpötilassa materiaaliin kohdistetaan voimia, jotka pyrkivät muokkaamaan materiaalin muotoa, kun taas lasisiirtymälämpötila tarkoittaa lämpötilaa, jossa materiaali alkaa muuttumaan ”amoforisesta” tilasta enemmän kumimaiseen tilaan.

Hyviä puolia vahvuuden ja lämmönsiedon lisäksi PC:llä on sen varsin hyvä läpinäkyvyys. PC on myös hieman taipuisaa, mutta silti jäykempää kuin esimerkiksi TPU. PC:llä on huoneenlämpötilassa hyvä kemiallinen kestävyys ja se on uudelleen kierrätettävä muovi. PC:n heikkoihin puoliin kuitenkin kuuluu sen huono naarmutuksen kesto, vaikkakin se on varsin kovaa materiaalia. Tämä saattaa haitata applikaatioissa, joissa PC-muoviosalta vaaditaan läpinäkyvyyttä, mutta joissa se saattaa myös vastaanottaa paikoittaisia iskuja.²¹

²⁰ stratasys.com. Ultem 9085 informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/fdm-materials/ultem-9085>

²¹ simplify3d.com. PC informaatiot. 24.3.2022.

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/polycarbonate/>

PC:n käyttötarkoituksia voivat olla esimerkiksi prototyyppien ulkokuoret, joissa kuoren läpi täytyy nähdä. Myös erilaisia suojia esimerkiksi roiskeilta voidaan valmistaa PC-muovista.

2.8 Hartsit

Hartsi (Resin) on SLA- ja MJ -tulostustavoissa käytettävä nestemäinen materiaali, joka yleisesti kovetetaan UV valon avulla. Hartsien suurin puolestapuhuja on niiden erittäin tarkka tulostusjälki. Huonoja puolia hartsista löytyy myös. Yleisesti hartsit ovat myrkyllisiä ja niiden lujuus ja kulutuksenkesto ovat huonompia, kuin FDM-tulostemateriaaleilla²². Poikkeuksia sääntöön kuitenkin on ja erilaisia hartseja on todella monta ja ne omaavat hyvin erilaisia ominaisuuksia. Koska hartseja on niin montaa erilaista, tulee työkalun tietokannassakin niitä olemaan. Perushartsit ovat tietokannassa yleisesti nimellä ”Resin Common”. Näitä hartseja ovat: Rigid 10K, Rigid 4000, Grey Resin, Grey Pro Resin, Black Resin, White Resin, Nomos Next, UMA90, FPU50.

2.8.1 Työkalun eri hartsit

- Accura 25: Heikko, mutta venyvä ja jäykkä.²³
- Accura 60: Läpikuultavaa.²⁴
- Accura ClearVue: Läpinäkyvä ja kestää kosteutta.²⁵
- Tough 1500 Resin: Taipuisa, alhainen vetolujuus ja läpinäkyvä.²⁶

²² medlineplus.gov. Tietoa hartsien myrkyllisyydestä. Medlineplus -Terveystietopankki. Viitattu 24.3.2022. <https://medlineplus.gov/ency/article/002734.htm>

²³ 3dsystems.com. Informaatiota Accura 25 materiaalista. 3D systems -3D tulostustarvike yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dsystems.com/materials/accura-25-sla>

²⁴ 3dsystems.com. Accura 60 informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dsystems.com/materials/accura-60>

²⁵ 3dsystems.com. AccuraClear Informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dsystems.com/materials/accura-clearvue>

²⁶ 3dsystems.com. Tough 1500 informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3d-tulostus.fi/Formlabs-Tough-1500-resiini>

- Though 2000: Yhtä jäykkää, kuin ABS. Vaihtoehtona EPX82, jolla on parempi lämmönkesto.²⁷
- Accura xTreme: Jäykkä ja valittavissa on hieman väri vaihtoehtoja.²⁸
- RPU 130: Erittäin kestävä ja hyvä lämmönkesto.²⁹
- RPU 70: Kestää joissain määrin tulta ja todella hyvin lämpöä. Voidaan käyttää ihmisläheisissä applikaatioissa.³⁰
- RPU 60: Hyvä kulumisen kestävyys.³¹
- SIL30: Silikoonin tapainen venyvä ja hyvin ihmisläheisiin applikaatioihin soveltuva.³²
- Flexible A80 Resin: Taipuisaa, läpikuultavaa.³³
- CA211: Lujaa, vahvaa, läpikuultavaa ja kestävä lämpöä.³⁴
- Clear Resin: läpikuultavaa, käsiteltynä läpinäkyvää.³⁵
- Color Resin: Voidaan värjätä käytännössä mihin tahansa väriin.³⁶

²⁷ 3dsystems.com. though 2000 informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

https://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectID=34908747

²⁸ 3dsystems.com. Accura Xtreme informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.3dsystems.com/materials/accura-xtreme>

²⁹ carbon3d.com. RPU130 Informaatiot. Carbon3D -3D tulostusmateriaaleja valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.carbon3d.com/materials/rpu-130/>

³⁰ carbon3d.com. RPU 70 Informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.carbon3d.com/materials/rpu-70/>

³¹ 3dcompare.com. RPU 60 informaatiot. Viitattu 24.3.2022

<https://3dcompare.com/materials/product/rpu-60/>

³² resolutionmedical.com. RPU130 ja Sil30 Informaatiot. Resolutionmedical -lääketieteellisiä applikaatioita myyvä yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.resolutionmedical.com/additive>

³³ formlabs.com. Flexible A80 resin informaatiot. Formlabs -3D tulostustarvike valmistaja Viitattu 24.3.2022. <https://formlabs.com/store/flexible-80a-resin/>

³⁴ carbon3d.com CE221 informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.carbon3d.com/materials/ce-221/>

³⁵ formlabs.com. Clear resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://formlabs.com/blog/3d-printing-transparent-parts-techniques-for-finishing-clear-resin/>

³⁶ formlabs.com. Color resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://formlabs.com/blog/guide-color-3d-printers/>

- Durable Resin: Iskunkestävä, liukas ja läpikuultava. Vaihtoehtoinen on EPX 82, joka kestää paremmin lämpöä ja jolla on mattainen pinta.³⁷
- Elastic A50 Resin: Elastinen, hyvä murtolujuus, läpikuultavaa. Vaihtoehtona Elastic A80, joka on jäykempää, mutta murtuu helpommin.³⁸
- EPU40: Samantyylinen kuin A50, mutta mustaa. Vaihtoehtona EPU41, joka kestää kylmiä lämpötiloja paremmin, kuin EPU40.^{39 40}
- High Temp Resin: Kestää hyvin lämpöä.⁴¹
- Tango: Venyvää ja kumimaista. Heikompaa kuin TPU, mutta tarkempaa tulostaa.⁴²

2.9 Metallit

Metallien 3D-tulostaminen on laajentunut alana todella huomattavasti. Se mahdollistaa kompleksien funktionaalisten osien tulostamisen hyvällä tarkkuudella. Metallien tulostamisessa on kuitenkin huonojakinpuolia verrattuna muovien tulostamiseen. Metallit tarvitsevat usein paljon tukirakenteita, ne tukevat metallia tulostaessa ja helpottavat lämpöä pakenemaan tulosteesta. Metallit vaativat oikeastaan aina jälkikäsittelyn jossain muodossa. Tulosteen koko on myös usein rajoitettu, sillä Bower bed fusion –

³⁷ formlabs.com. Durable resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://formlabs.com/store/durable-resin/>

³⁸ support.formlabs.com. Elastic A50 ja A80 informaatiot. Viitattu 24.3.2022. https://support.formlabs.com/s/article/Using-Elastic-Resin?language=en_US

³⁹ carbon3d.com. Epu40 informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://www.carbon3d.com/materials/epu-40/>

⁴⁰ carbon3d.com. Epu41 informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://www.carbon3d.com/materials/epu-41/>

⁴¹ formlabs.com. Hi temp resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://formlabs.com/store/materials/high-temp-resin/>

⁴² javelin-tech.com. Tango informaatiot. Javelin-tech -3D tulostusohjelmia valmistava yritys Viitattu 24.3.2022. <https://www.javelin-tech.com/3d/stratasys-materials/>

tulostimet, joilla metalleja usein tulostetaan, ovat yleisesti varsin pieniä tulostus pinta-alaltaan.⁴³

Luultavasti tunnetuin esimerkki metallien 3D-tulostuksesta on lentoteollisuuden valmistetut osat. 3D-tulostetut metalliosat toimivat yleensä funktionaalisina prototyypeinä tai pienimuotoisessa sarjatuotannossa.

Danfossilla on tilattavissa monia erilaisia metallimateriaaleja, mutta näistä moni yhdistetään samaksi ”metal”-nimikkeeksi, tämä johtuu työkalun skaalasta. Työkalussa on erittäin rajallinen asteikko, mistä käyttäjä voi valita esimerkiksi materiaalin lujuuden. Tästä syystä suurin osa metalleista saa samat pisteet arviointi-asteikolla. Monien metallien, erityisesti eri terästen, ominaisuudet ovat lähellä toisiinsa, joten niiden erottelu ei ole tehokas tapa hallita tietokantaa. Kupari ja alumiini erotellaan kuitenkin niiden ominaisuuksien vuoksi.

”Metal”-nimike tulee sisältämään seuraavat materiaalit: H13 Tool steel, Maraging steel, 8620 Alloy Steel, A2 Tool Steel, D2 Tool Steel.

2.9.1 Ruostumattomat teräkset

Danfoss tarjoaa työkalun käyttäjälle kaksi rst vaihtoehtoa; 316L stainless steel ja 17-4PH. 17-4PH on todella yleinen rst ja sitä käytetään paljon esimerkiksi LVI -tuotteissa. 316L on myös hyvin yleinen rosteri ja sen käyttökohteena on esimerkiksi kemiallinen teollisuus johtuen sen hyvistä kemiallisista ominaisuuksista. Molemmat rosterit löytyvät työkalusta omilla nimillään.⁴⁴

⁴³ youtube.com. Video Metallin rajoitteista ja suunnittelusta. 20.9.2019. Hubs -sisällöntuottaja, aiheena digitaalinen valmistus. Viitattu 24.3.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=XsEPGVD1qdY>

⁴⁴ formlabs.com. Durable resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://formlabs.com/store/durable-resin/>

2.9.2 Titaani

Ti64-nimellä työkalusta löytyvä titaani on erittäin vahvaa ja kevyttä metallia. Se omaa hieman terästä paremman sähkönjohtavuuden. Sillä on myös rust:ta parempi kemikaalienvastustuskyky. Titaanin massa, vahvuus, sekä hinta tekevät siitä hyvän vaihtoehdon oikeastaan kaikille teräksestä valmistetuille applikaatioille.⁴⁵

2.9.3 Alumiini

AlSi10Mg Aluminium -nimellä työkalusta löytyvä alumiini on todella kevyt ja koh-
talaisen hyvin sähköä johtava metalli. Alumiinin massa on hieman titaania pie-
nempi ja sen sähkönjohtavuus on noin 37 % huonompi kuin kuparilla. Referenssiksi
esimerkiksi teräksen sähkönjohtavuus on noin 98 % huonompi kuin kuparilla.⁴⁶

Alumiini on 3D-tulostettavana materiaalina varsin vahvaa, mutta monet muut me-
tallit ovat sitä vahvempia. Alumiini omaa paremmat kemialliset ominaisuudet kuin
normaali teräs, mutta häviää kemikaalienvastuskyvyssä rosterille.⁴⁷

Lämmönjohtavuus on alumiinin yksi erotteleva tekijä. Alumiini johtaa lämpöä huo-
nommin kuin kupari, mutta moninkertaisesti verrattuna teräkseen ja titaaniin.
Tämä lämmönjohtavuus yhdistettynä sen vahvuuteen tekee alumiinista erittäin

⁴⁵ delva.fi. Ti64 informaatiot. Delva -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://delva.fi/en/titanium/>

⁴⁶ tibtech.com. Metallien sähkönjohtavuudet. Tibtech -Innovaatio yritys. Viitattu 24.3.2022.

https://www.tibtech.com/conductivite.php?lang=en_US

⁴⁷ metalswarehouse.co. Alumiinin ja ruostumattoman teräksen kemiallisen kestävyden erot. Metalswarehouse -Metalleihin erikoistunut raakatarvike kauppa .Viitattu 24.3.2022.
<https://www.metalswarehouse.co.uk/aluminium-vs-stainless-steel-what-are-the-main-differences/>

hyvän vaihtoehdon lämmönvaihtimille ja muille applikaatioille, joiden täytyy siirtää lämpöä.⁴⁸

2.9.4 Kupari

Kupari on 3D-tulostettavista metalleista omalaatuisin. Sen erinomainen sähkön- ja lämmönjohtavuus yhdistettynä sen varsin heikkoon vahvuuteen, erottelevat sen muista metalleista hyvin. Kuparin massa on myös varsin korkea; se painaa enemmän kuin teräs. Kuparilla on varsin hyvä kemiallinen kestävyys ja se kestää todella hyvin korroosiota.⁴⁹

Kuparin käyttökohteita ovat yleensä sähköä johtavat applikaatiot ja lämmönvaihtimet. Myös ”dekoratiivisia” tulosteita on valmistettu kuparista sen uniikin värin vuoksi. Käyttökohteita rajoittaa kuparin korkea massa ja sen varsin matala vahvuus.

2.10 ONYX- ja Nylon komposiitit

Greelane.com kertoo: ”Komposiitit ovat yhden, tai useamman erilaisen materiaalin yhdiste, joka johtaa parempaan (usein vahvempaan) materiaaliin.”⁵⁰

⁴⁸ engineeringtoolbox.com. Metallien lämmönjoto. Engineeringtoolbox.com -Mekaanisen information tietopankki. Viitattu 24.3.2022.

https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-metals-d_858.html

⁴⁹ all3dp.com. Kuparin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://all3dp.com/1/copper-3d-printing-the-ultimate-guide/>

⁵⁰ greelane.com. Komposiitit määritelmä. Greenlane -Komposiitteihin erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.greelane.com/fi/science-tech-matematiikka/tiede/what-is-a-composite-820406/>

2.10.1 Onyx

Onyx-komposiitit ovat erittäin lujia, kevyitä ja kovia. Niillä on myös todella hyvä kemiallinen kestävyys. Onyx-komposiitteja on kuitenkin monta eri versiota, joista jokaisella on oma komposiittiyhdistelmä ja ominaisuudet. Onyx alkuperäinen materiaali on nylonin ja mikrohiilikuitujen yhdistelmä. Oikealla yhdistelmällä Onyx-komposiitit voivat yltää alumiinin vertaisiin vahvuuksiin. Onyxin huonoihin puoliin kuuluu sen heikko kierrätettävyys.⁵¹

Onyxin käyttökohteena ovat yleensä funktionaaliset osat, jotka tarvitsevat lujuutta ja hyvää lämmönsietokykyä. Syy siihen, miksei Onyx ole yleisempi materiaali yleisellä tasolla, on sen korkea hinta.

Erilaisia Onyx-komposiitteja ovat: Onyx+CF (Carbon fiber), Onyx+FG (Fiber Glass), Onyx+HSHT (High Strength, High Temperature) ja Onyx+Kevlar (0). FG, Kevlar ja CF -yhdistelmät tullaan lisäämään työkaluun yhteisellä nimellä "Onyx CF/Kevlar/FG". Syy tähän on se, että kaikilla näillä materiaaleilla on verrattavat ominaisuudet, mutta ovat vain toinen toistaan lujempia. HSHT ja itsessään Onyx tulevat olemaan erilliset lisäykset työkaluun. Onyx siksi, että sen vahvuus on selvästi heikompi kuin Onyx CF/Kevlar/FG ja HSHT siksi, että se omaa selvästi paremman lämmönkestävyyden kuin muut Onyx-materiaalit.

2.10.2 Nylon

Niin kuin aiemmin mainittu, nylon soveltuu erittäin hyvin komposiittiyhdisteisiin. Nylon-komposiitit omaavat samankaltaiset ominaisuudet kuin Onyx-komposiitit.

⁵¹ markforged.com. Onyx informaatiot. Markforged -3D tulostusmateriaalien valmistaja. Viitattu 24.3.2022. <https://markforged.com/materials/plastics/onyx>

Tämä johtuu osittain siitä, että myös Onyx-komposiiteissa käytetään nylonia. Danfoss tarjoaa käyttäjälle PA11- ja P12 -pohjaisia komposiitteja.

PA11-komposiiteista valittavissa ovat: PA11-CF (Carbon Fiber), PA11-GF (Glass Fiber)

PA12-komposiiteista valittavissa ovat: PA12 GB (Glass beads) ja PA12-C (Carbon filled).

PA11- ja PA12 -komposiitit skaalautuvat komposiittien kanssa samalla tavalla kuin Onyxin vastaavat verrattuina normaaliin Onyxiiin.^{52 53}

⁵² eos.info. Nylon 11 ja Nylon 11 CF informaatiot. Eos -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.
<https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/3d-printing-plastic/sls-polymer-materials/pa-11-nylon-abs-pa6>

⁵³ simplify3d.com. PC informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/polycarbonate/>

3 TYÖKALU

Työn keskeisin ja käytännössä toteutettava osa on materiaalivalintatyökalu. Työkalun pääperiaate on helpottaa ja tehostaa Danfossin henkilöstön 3D-tulosteiden materiaalivalintaa.

Työkalulle on annettu toimeksiantajan puolelta muutamia tavoitteita ja pyrin vastaamaan näihin tavoitteisiin mahdollisimman onnistuneesti. Näitä tavoitteita ovat:

- käyttäjäystävällisyys: aiheelle tuntemattoman käyttäjän tulisi ymmärtää työkalun toimintaperiaate ja onnistua käyttämään työkalua ilman ulkopuolisia ohjeita
- tehokkuus: työkalun tulee tuottaa toimivia ratkaisuja käyttäjän materiaalikysymykseen
- yksinkertaisuus: työkalun käyttö tulee olla nopeaa ja helppoa.

Näihin tavoitteisiin tulen löytämään parhaimmat ratkaisut ohjelmiston, pohja-asetelman ja tietokannan puolesta. Tarkkailen myös kokonaiskuvaa, joka koostuu näistä palasista ja päätän, tuottavatko kyseiset osakokonaisuudet yhdessä toimivan työkalun, joka tuottaa lisäarvoa Danfossin 3D-tulostustarpeisiin.

3.1 Ohjelmistomahdollisuuksia työkalun pohjaksi

Ohjelmisto tulee olemaan kaiken pohja työkalussa. Sille on annettu toimeksiantajan puolesta yksi pyyntö: Microsoft Office 365 -yhteensopivuus. Tämä pyyntö rajaa käytettävät ohjelmapohjat varsin hyvin ja jäljelle jää kaksi parhaiten soveltuvaa ohjelmaa. Nämä ohjelmat ovat Microsoft Word ja Microsoft Excel.

3.1.1 Microsoft Word

Microsoft Word on Microsoftin kehittämä tekstiprosessointiohjelma, jolla tekstiä voidaan muokata, muotoilla, tallentaa, tulostaa ja jakaa tekstiä sisältäviä tiedos-

toja. Word on pääasiallinen tekstinkäsittelyyn käytetty ohjelmisto monissa yrityksissä ja instituutioissa Suomessa ja maailmalla. Esimerkiksi Vaasan ammattikorkeakoulu tarjoaa oppilailleen ilmaisen Office 365 -paketin, joka sisältää Wordin. Word on helppokäyttöinen ja monille ennestään tuttu ohjelmisto.⁵⁴

Wordin puolesta ei kuitenkaan puhu sen huono modulaarisuus⁵⁵. Wordin dokumentteihin on mahdollista tehdä makrokomentoja, minkä avulla voidaan automatisoida toimintoja. Tämä on tapa, jolla Wordiin voitaisiin rakentaa kaikista toimivien materiaalinvalintatyökalu.

Ongelmaksi tässä muodostuu taas Wordin huono modulaarisuus ja jos samassa Wordin pohjassa on monia automaattisia toimintoja, jotka vaikuttavat jotenkin toistensa tehtäviin, voi Wordin koko dokumentti mennä sekaisin ja lopettaa toimintansa.

Ongelmaksi muodostuu myös Wordin makrojen huono muokattavuus. Jos teet väärällä tavalla toimivan makron, ainoa asia mitä kyseissä tilanteessa voi tehdä on poistaa väärä makro ja nauhoittaa uusi. Hyvä puoli Wordissa on se, että kaksi eri Word-dokumenttia saadaan liitettyä toisiinsa ja makrot voidaan jakaa näiden dokumenttien kesken.

Wordin hyvä puoli on se mihin se on luotu. Sen tekstinkäsittelyominaisuudet ovat hyvät ja sillä saa luotua selkeitä kokonaisuuksia. Wordissa, kuten melkein kaikissa

⁵⁴ support.microsoft.com. Word makro informaatiot. Support.microsoft -Microsoftin tietopankki ja informaationsivu ohjelmistoistaan. Viitattu 24.3.2022. <https://support.microsoft.com/en-us/office/create-or-run-a-macro-c6b99036-905c-49a6-818a-dfb98b7c3c9c>

⁵⁵ brandwares.com. Word modulaarisuus. Brandwares -Tietokone ohjelmistojen optimointiin ja niiden käytön avustamiseen erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.brandwares.com/bestpractices/2013/10/modular-documents/>

Office365 -ohjelmissa, on yläreunassa hakukenttä, josta voi hakea apua tarvitta-
viin Wordin toimintoihin.

3.1.2 Excel

Microsoft Excel on ohjelma, joka käyttää laskentataulukoita datan hallitsemiseen
hyödyntäen kaavoja ja funktioita. Excel on käytetyin datan analytiikkaan käytetty
työkalu ympäri maailmaa ja hyvästä syystä⁵⁶. Excel on todella rikas funktioiltaan,
mutta myös todella käyttäjäystävällinen. Excelissä on myös oma hakukenttänsä,
josta löytyy apua Excelin erilaisista funktioista.

Excel, toisin kuin Word, on varsin modulaarinen ja ellei toisin funktiolla määrätä,
eivät kaksi eri ruutua vaikuta toisiinsa. Tämä modulaarisuus tekee Excelistä oivan
vaihtoehdon työkalun pohjaksi. Excelissä voidaan myös liittää kaksi eri Excel-sivua
toisiinsa ja esimerkiksi tietokanta voidaan asettaa toiselle sivulle ja funktiot toiselle
sivulle. Tällä tavalla pääkäytössä oleva Excel-sivu saadaan pidettyä siistinä.

Excelissä, niin kuin Wordissa, voi tehdä myös makroja. Toisin kuin Wordissa, Ex-
celissä on kaksi tapaa tehdä makroja. Makron voi kirjoittaa ohjelmointityylisesti,
tai makron voi nauhoittaa samalla tavalla kuin Wordissa. Nauhoituksen jälkeen
makroja voi kuitenkin muokata manuaalisesti tekstitiedostosta, josta Excel lukee
makron. Nämä toiminnot mahdollistavat kompleksien toimintojen automatisoin-
nin ja se mahdollistaa suuria muutoksia Excel-sivussa ilman suurta vaivaa.⁵⁷

⁵⁶ jigsawacademy.com. Excel suosituimpana datan analytiikkaan käytetty työkalu. Jigsawaca-
demy -Intialainen oppilaitos. Viitattu 24.3.2022. <https://www.jigsawacademy.com/10-most-popular-analytic-tools-in-business/>

⁵⁷ corporatefinanceinstitute.com. Excel informaatiot. Corporatefinanceinstitute.com -rahoitus
koulutukseen erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022. [https://corporatefinanceinstitute.com/re-
sources/excel/study/excel-definition-overview/](https://corporatefinanceinstitute.com/resources/excel/study/excel-definition-overview/)

3.1.3 Excelin ja Wordin kombinaatio

Yksi vaihtoehto olisi käyttää Wordia ja Exceliä yhdessä. Koska molemmat ohjelmat ovat samalta tekijältä, on mahdollista yhdistää ohjelmien tiedostoja keskenään. Ongelmaksi tässä muodostuu se, että sillä ei tuoda lisäarvoa työkaluun, koska Excel yksinään täyttää kaikki tarvittavat vaatimukset ohjelmistopohjalta. Kombinaatio tekisi työkalusta entistä kompleksisemmän ja toimintavarmuus kärsisi, kun tarvittavien tiedostojen määrä kasvaisi.

3.2 Työkalun layout

Oikean layoutin valitseminen työkaluun on todella tärkeää, koska se määrittää käyttäjäystävällisyyden, selkeyden ja tehokkuuden. Ennen kaikkea työkalua tulisi onnistua käyttämään todella nopeasti sen avauduttua.

Layoutiin on kaksi päämuotoista mahdollisuutta. Toinen on pudotusvalikko-menetelmä, jossa kriteerien arvot ovat yhdessä pudotusvalikossa ja käyttäjä valitsee valikosta itselleen sopivimman vaihtoehdon. Toinen mahdollisuus on tehdä jokaisesta kriteerien arvosta oma nappi ja käyttäjä valitsee sopivimman vaihtoehdon ja painaa vaihtoehdon nappia.

3.2.1 Napit

Nappien painamisen puolesta puhuu sen käyttäjäystävällisyys ja tehokkuus. Käyttäjä näkisi heti vaihtoehdonsa tullessaan valintakohtaan ja tarvitsisi vain yhden klikkauksen valitakseen oman vaihtoehdonsa.

Toinen erittäin suuri etu napeille on se, että niihin voidaan kytkeä makroja, jotka tuovat lisävalintoja. Täten jokaista valintaa ei tarvitse esittää käyttäjälle suoraan, vaan jos käyttäjä valitsee haluavansa materiaalilta tietyn ominaisuuden, tarkentava kysymys tulisi esiin. Tämä mahdollistaisi työkalun pitämisen mahdollisimman lyhyenä samalla, kun tarkkuus ei kärsisi.

Nappien suurin huono puoli on työkalun pitäminen lyhyenä ja siistinä. Napit vievät tilaa ja työkalusta voi tulla nopeasti pitkä ja epämiellyttävän näköinen. Tämän es-tämiseksi napit vaativat enemmän työtä, kuin pudotusvalikot. Napit ovat myös kompleksisempia ja vievät enemmän aikaa tehdä kuin pudotusvalikot.

3.2.2 Pudotusvalikko

Pudotusvalikkojen paras piirre on niiden kompakti koko, joka mahdollistaa työka-lun olemisen mahdollisimman pieni. Huono puoli pudotusvalikoissa on se, että käyttäjäystävällisyys on huonompi kuin napeilla. Tämä johtuu siitä, että käyttäjä joutuu käyttämään enemmän aikaa, sillä hän ei näe vaihtoehtoja suoraan ja valit-seminen vaatii enemmän klikkauksia. Nämä ovat tietenkin vain minimaalisia ja ei-vät luultavasti kehityksestä tietämättömälle käyttäjälle luo yhtään haittaa.

3.3 Tietokanta

Tietokanta tulee sisältämään kaikki tulostettavat materiaalit, joita työkalu voi eh-dottaa. Tietokannan pääasiallinen tehtävä on siis säilyttää materiaalien nimet ja niiden vertailukriteerien arvot. Tietokanta pohjautuu Microsoft Exceliin, joka toi-mii erinomaisesti tässä tehtävässä.

3.3.1 Vertailuasteikko

Tämä vaatii, että kaikille materiaaleille kehitetään yhteinen vertailukriteerias-teikko. Yksi idea asteikoksi olisi yksinkertaisesti käyttää arvoja yhdestä kolmeen. Näin käyttäjä saisi päättää esimerkiksi, kuinka kovaa materiaalin pitää olla as-teikolla 1–3. Esimerkiksi Alchemer-sivuston mukaan yleisissä kyselyissä ei kannatta

olla yli kolmea vaihtoehtoa, tai vastaaja saattaa häkeltyä⁵⁸. Ongelmaksi tässä muodostuu asteikon liian jäykkä liikkumatila. Jos oletetaan vaikkapa venyvyydessä, että 1 on kumimainen TPU ja 3 on titaani, niin mikä erottaa ABS- ja PLA -muovin toisistaan.

Toinen vaihtoehto vertailuasteikoksi olisi nostaa asteikon vaihtoehtoja, jolloin liikkumatilaa tulisi lisää. Loogisin vaihtoehto on tehdä asteikko yhdestä viiteen. Näin pidetään yhdestä kolmeen -asteikon selvät pääty- ja keskiarvo, mutta saadaan niille selvät väliarvot, jotka tarkentavat vastauksen.

Yhdestä viiteen -asteikko on siis kaikista optimaalisin vertailuasteikko yleisesti, mutta minkään kysymyksen vertailuasteikkoa ei kuitenkaan pidennetä viiteen tarpeettomasti. Esimerkiksi ESD-suojaukseen kysyttäessä on vain kaksi vaihtoehtoa: kyllä ja ei.

3.3.2 Vertailuasteikon suuret

Vertailuasteikon suuret kertovat sen, mitä nappien tai pudotusvalikon valintojen nimet ovat. Loogisin vaihtoehto on käyttää numeroita yhdestä viiteen, jolloin jokainen vaihtoehto on oma kokonaisnumeronsa. Tässä vaihtoehdossa tulee lisätä suureiden merkitykset vertailukriteerin ja vertailuasteikon väliin. Näin käyttäjä saa hyvän kuvan siitä, mitä jokainen numero tarkoittaa.

Toinen vaihtoehto on kirjoittaa numeroiden sijasta kuvaileva sana, kuten heikko / vahva. Näin vertailukriteeriselitykseen ei tarvitsisi lisätä kuin esimerkki vahvasta ja heikosta. Kysymyksiin, joissa vertailuasteikon suuret eivät tarkoita heikkoa ja

⁵⁸ alchemer.com. Suositeltu määrä kysymyksille kyselyssä. Alchemer -Informaation keräämiseen ja kyselyiden optimointiin erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.alchemer.com/resources/blog/survey-questions-how-much-is-too-much/>

vahvaa, tullaan selventämään suureiden merkitys kysymyksen yhteydessä. Ongelmaksi tämä vaihtoehto aiheuttaa sen, että jos asteikon suureiden merkitys nousee tai laskee eksponentiaalisesti, ei käyttäjä välttämättä saa tästä selvää kuvaa.

4 VERTAILTAVAT OMINAISUUDET

Kun vertailun kohteena ovat tulostusmateriaalit, tulee vertailun kriteereinä käyttää materiaalien ominaisuuksia. Tulen opinnäytetyön tässä osiossa kertomaan hieinan kyseessä olevasta materiaalin ominaisuudesta, sekä miksi kyseinen ominaisuus on mukana työkalussa. Lähteinä tulen käyttämään virallisia materiaalien ominaisuustaulukoita ja kuvailuja, joita valmistajat ja jälleenmyyjät käyttävät. Jokaisessa vertailukriteeriominaisuudessa käytetään vertailussa samaa yhdestä viiteen-asteikkoa, ellei toisin ole sanottu ominaisuuden selityksessä.

4.1 Lujuus

Lujuuden määritelmä on: ”Esineen kyky vastustaa siihen kohdistuvien voimien pyrkimystä muuttaa esineen muotoa tai rikkoa se.” Sanakirja.org mukaan⁵⁹. Työkalussa kysytään materiaalilta vaadittava murtolujuus. Se tarkoittaa voimaa, joka rikkoo kappaleen. Lujuus on jokaiselle materiaalille olennainen ominaisuus ja sen säilyttäminen työkalussa on todella olennaista.

4.2 Elastisuus

Elastisuus on erittäin ominainen ominaisuus kaikille materiaaleille. Se määrittää kuinka hyvin materiaali palaa alkuperäiseen muotoonsa sen jälkeen, kun ulkopuolinen voima on lakannut vaikuttamasta siihen⁶⁰. Työkalussa elastisuutta kysytään yhdellä kysymyksellä.

⁵⁹ sanakirja.org. Lujuus määritelmä. Sanakirja.org -Internet tietosanakirja. Viitattu 24.3.2022. <https://www.sanakirja.org/search.php?id=49577&l2=3>

⁶⁰ termipankki.fi. Elastisuus määritelmä. Termipankki -Internet tietosanakirja. Viitattu 24.3.2022. <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/elastisuus>

4.3 Venyvyys

Työkalussa kysytään materiaalilta vaadittavaa venyvyyttä. Venyvyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon kappale pystyy venymään ennen kuin se katkeaa.

4.4 Tiheys

”Tiheys on suure, joka kuvaa kappaleen massaa tilavuusyksikköä kohden” Kertoo peda.net⁶¹. Tiheys siis antaa meille mahdollisuuden arvioida halutun materiaalin painon tulostettavan kappaleen koossa. Arkikielessä tätä voidaan kutsua painoksi.

Kuitenkin työkalussa on mahdollista muotoilla kysymys kappaleen painosta kahdella tavalla. Ensimmäinen on halutun materiaalin tiheys, jolloin kysymys kohdistuu haluttuun materiaaliin. Toinen on tulostettavan kappaleen paino, jolloin vertailukriteeri kohdistuu haluttuun painoon, joka tulostettavalla kappaleella tulisi olemaan.

Molemmat vaihtoehdot ovat valideja, koska työkalussa ei tulla kysymään tarkkoja summia vertailukriteereissä.

4.5 Ekologisuus

Suomen Biokiertotuote Oy kertoo sivullaan seuraavasti: ”Ekologia auttaa ymmärtämään, miten luonto ympärillämme toimii”⁶². Sivulla kuitenkin selvennetään,

⁶¹ peda.net. Tiheys määritelmä. Peda.net -Digitaalinen oppimisympäristö. Viitattu 24.3.2022. <https://peda.net/jamsa/perusopetus/paunu2/luokat-oppiaineet/fysiikka/veijonryhm%C3%A4t/8/efysiikka-83f/25-noste/tiheys>

⁶² biokiertotuote.fi. Ekologisuus määritelmä. Biokiertotuote -biohajoamista ja kasvien kasvua edistäviin tuotteisiin erikoistunut yritys Viitattu 24.3.2022. <https://www.biokiertotuote.fi/ekologia-ekologisuus-maaritelma/>

kuinka ekologia itsessään merkitsee nykyään kokoalaisesti kestävän kehityksen elämäntapaa, aatesuuntaa ja toimintatapoja. Työkalussa käytetäänkin siis ekologisuuden kestävään kehitykseen viittaavaa tarkoitusta.

Ekologisuus mittaa työkalussa, kuinka ympäristöä kuormittavaa materiaali on. Sitä mitataan sillä, että onko materiaali kierrätettävää ja halutaanko materiaalin olevan maatuva. Kysymysjärjestys on myös tärkeää; ensiksi voidaan tiedustella maatuvuuden tärkeydestä. Jos käyttäjä ei halua maatuva tulostetta, avaa se kysymyksen siitä, haluaako käyttäjä materiaalin olevan kierrätettävää.

4.6 Sähkönjohtavuus

Tohtori Anne Marie Helmenstine kertoo EFerrit-sivuston artikkelissaan seuraavasti: ”Sähkönjohtavuus on mitattava sähkövirran määrä, jota materiaali voi kuljettaa tai kyky kantaa virtaa”⁶³. Sähkön johtavuus on tärkeä osa työkalua, koska Danfoss valmistaa taajuusmuuttajia ja muita sähköön liittyviä applikaatioita. Tästä syystä sähköä johtavat tulosteet ovat hyvinkin mahdollisia.

Sähkön johtavuus tullaan mittaamaan työkalussa materiaalin resistanssin mukaan. Mitä suurempi resistanssi työkalulla on, sitä pienempi arvio työkalun kriteereissä sillä on. Valita tapahtuu taulukossa 6 näkyvien vaihtoehtojen mukaisesti.

4.6.1 ESD-suojaus

Sähkönjohtavuuteen liittyen työkalusta löytyy toinenkin kysymys, joka koskee sitä, haluaako käyttäjä materiaalin olevan ESD-suojattu. ESD tarkoittaa sitä, kun kahden

⁶³ eferrit.com. Sähkönjohtavuus määritelmä. Helmenstine, A, M. Eferrit -Artikkelien julkaisu alusta. Viitattu 24.3.2022. <https://fi.eferrit.com/saehkoejohtavuus-maaeeritelmae/>

eri varauksen omaavien kappaleiden välillä tapahtuu purkaus niiden ollessa lähellä toisiaan. ESD-suojauksella pyritään estämään tätä.⁶⁴

4.7 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuus on erittäin olennainen kriteeri materiaalille, kun puhutaan teollisuuden applikaatioista. Tästä syystä sen sisältäminen työkaluun on tarpeellista. Muovien lämmönjohtavuus on kuitenkin melkein samaa luokkaa (alle 1 W/mK), joten tämä kriteeri koskee lähinnä metalleja.

4.8 Väri

Väri on monelle tulosteelle, varsinkin harrastetoiminnassa, sekä ulkoapäin näkyville osille, todella tärkeä ominaisuus. Tästä syystä osan väritarvetta kysytään myös työkalussa. Työkalussa tullaan tiedustelemaan, haluaako käyttäjä vaikuttaa kappaleen väriin jo materiaalivalinnassa.

4.9 Lämmönkesto

Lämmönkestolla työkalussa tarkoitetaan materiaalin ominaisuutta kestää lämmön vaikutusta ilman että se muuttaa haittaavasti materiaalin muita ominaisuuksia, varsinkaan mekaanisia. Lämmönkesto on erittäin tärkeä ominaisuus, sillä monet työkalusta haluttavat materiaalit tarvitsevat korkeaa lämmönsietokykyä. Tämä johtuu siitä, että monet Danfossin tuotteet menevät teolliseen käyttöön, missä korkeat lämpötilat eivät ole harvinaisia.

⁶⁴ lectronics.net. ESD määritelmä. Lectronics -Sähkökomponenttien valmistukseen erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022.
<https://www.lectronics.net/esd-explained-what-is-electrostatic-discharge/>

Jotkin 3D-applikaatiot voivat tarvita myös tulta kestävästä materiaalista. Tämä merkitään työkalussa 1-5-asteikolla numerolla viisi. Sivuston Hunker.com mukaan tulenkestävät materiaalit voivat kestää todella korkeita lämpötiloja ja auttavat hidastamaan tulen leviämistä.⁶⁵

4.10 Kemiaallinen kestävyys

Työkalussa kemiallisella kestävyydellä tarkoitetaan tulostettuun osaan kohdistuvaa kemiallista reaktiota ulkopuolisen aineen johdosta, mikä heikentää materiaalin muita ominaisuuksia. Venttiili- ja mittalaittevalmistaja Burkert kertoo sivuillaan: ”Käsite kemiallinen kestävyys kuvaa materiaalien kemikaalien kestävyttä. Näin se on materiaalin ominaisuus kestää ympäristön ja pinnan välisten reaktioiden laukaisemia tuhoamisprosesseja.”⁶⁶

4.11 UV-sietokyky

Tulostettava kappale voi olla tarkoitettu ulkoilmakäyttöön ja tällöin auringosta tulevalta UV-valolta ei voida välttyä. Tästä syystä työkalun on tärkeää antaa käyttäjän valita materiaalilta haluttava UV-sietokyky.

UV-sietokyky on erittäin materiaalikohtainen. Esimerkiksi ABS -muovi ja ASA -muovi ovat erittäin samanlaisia, mutta toinen kestää UV -valoa ja toinen ei. UV valon vaikutus sitä sietämättömille muoveille on yleensä näkyvässä muovin pin-

⁶⁵ hunker.com. Tulenkestävyys käsite. Moultry, A. Hunker.com -Artikkeleiden julkaisualusta. Viitattu 24.3.2022. <https://www.hunker.com/12444429/what-materials-are-fireproof>

⁶⁶ burkert.fi. Kemiaallinen kestävyys käsite. Viitattu 24.3.2022. <https://www.burkert.fi/fi/Asiakaspalvelu-ja-varaosat/Tuki/Sanasto/Kemikaalien-resistenssi-taulukko>

nassa värimuutoksena ja mahdollisina huokosina. Pitkään auringosta peräsin olevan UV-valon vaikutuksen alaisena ollut muovi voi alkaa heikkenemään ja muuttua hauraaksi.⁶⁷

UV sietokyvyn asteikko näkyy taulukossa 12.

4.12 Jälkikäsittely

Jälkikäsittely on erittäin applikaatiokohtaisesti toteutettava toimenpide. Monet materiaalit, kuten esimerkiksi PLA, omistavat varsin heikon pinnanlaadun tulostuksen jälkeen. Tätä heikkoa pinnanlaatua voidaan parantaa materiaalikohtaisesti erilaisilla menetelmillä.

Pinnanlaatua mitataan 3D -tulostuksessa yleisesti kahdella eri menetelmällä. Nämä ovat RZ ja RA-menetelmät. Molemmat menetelmät mittaavat kappaleen pinnan korkeimmat- ja matalimmat kohdat. Näitä kutsutaan nimillä ”huippu” ja ”laakso”.

RA-menetelmä toimii algoritmilla ja ottaa huomioon koko näytekohdan pinnan. Pinnasta mitataan laaksojen keskiarvoinen syvyys ja huippujen keskiarvoinen korkeus. RA ottaa myös huomioon keskiarvoisen pinnankorkeuden vaihtelun. RA ei ota huomioon poikkeavan koreita huippuja, tai poikkeavan syviä laaksoja.

RZ-menetelmässä otetaan mitattavalta matkalta huomioon vain viisi syvintä laaksoa ja viisi korkeinta huippua ja näistä otetaan keskiarvo. RA ja RZ-menetelmän

⁶⁷ [essentracomponents.com. UV -valon vaikutus muoveihin. Essentracomponents -Teollisuuskomponenttien valmistaja. Viitattu 24.3.2022. https://www.essentracomponents.com/en-us/news/product-resources/uv-and-its-effect-on-plastics-an-overview](https://www.essentracomponents.com/en-us/news/product-resources/uv-and-its-effect-on-plastics-an-overview)

erottaa siis niiden laajuus ja niiden suhtautuminen huippujen ja laaksojen maksimaalisiin arvoihin. Tämä tarkoittaa, että RZ ja RA-arvoista voi saada erittäin erilaisen kuvan kappaleen pinnanlaadusta.⁶⁸

RZ ja RA-arvoja voidaan kuitenkin vaihtaa keskenään jollain tasolla, mutta sitä tulee välttää. Paras tapa toimia on sopia käyttäjän ja pinnanlaadun mittaajan välillä yhteinen mittausmenetelmä.

Jos käyttäjä haluaa hyvän pinnanlaadun materiaalille, jonka pinnanlaatu on yleisesti heikompaa, voidaan materiaali kohtaisesti joillain seuraavista menetelmistä parantaa sitä:

- Maalaus: Kappale voidaan maalata, jolloin pienemmät pinnan epätasaisuudet jäävät maalikerroksen alle.
- Vapor smoothing: Pinnanlaatua parannetaan kemiallisesti ”sulattamalla” pinnan epätasaisuudet tasaisiksi. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi asetonia ja tapauskohtaisesti vettä.
- Kiillotus: Kappaleen pintaa voidaan kiillottaa, jolloin epätasaisuudet tasoituvat.

⁶⁸ [additivemanufacturing.media RZ ja RA eroavaisuudet. Additivemanufacturing.media -Lisäävään valmistukseen liittyvien tietoartikkeleiden julkaisualusta. Viitattu 24.3.2022.](https://www.additivemanufacturing.media/articles/the-difference-between-ra-and-rz)
<https://www.additivemanufacturing.media/articles/the-difference-between-ra-and-rz>

5 KÄYTÄNTÖ

Työkalun suunnittelu lähti liikkeelle heti, kun opinnäytetyöaihe lukittiin. Aloin heti ideoimaan erilaisia käyttäjänäkymiä ja tietokanta mahdollisuuksia. Päätin kuitenkin työkalun valmistuksen kannalta tehokkaammaksi, tehdä asiat selvässä järjestyksessä. Alaotsikot ovat siinä järjestyksessä, jossa työkalun ideoin ja valmistin.

5.1 Tietokanta

Tässä osiossa selostan työkalun tietokannan rakentamisen ja kehityksen, sekä siihen liittyvät valinnat. Selostus tapahtuu valintakriteerikohtaisesti. Vertailuasteikkojen suunnittelussa täytyi turvautua eksponentiaalisesti nouseviin arvoihin, kun arvot ovat yhdestä viiteen. Tämä johtuu siitä, että työkalussa täytyy erotella erilaisia muoveja toisistaan, sekä myös erilaisia metalleja toisistaan.

Tietokannan suunnittelun ja valmistuksen aikana kävin läpi monia erilaisia variaatioita. Tehokkuuden, helppokäyttöisyyden, sekä luotettavien tietojen puutteellisuuden takia, työkalua täytyi muokata yksinkertaisemmaksi. Esimerkiksi päätin supistaa Murtolujuuden ja Vetolujuuden vain murtolujuudeksi, koska monet valmistajat ja jälleenmyyjät eivät ilmoittaneet selvästi veto- tai myötölujuutta.

5.1.1 Murtolujuus

Työkalun murtolujuuden asteikon suunnittelin alla näkyvän taulukon 2 mukaan.

Taulukko 2. Murtolujuus

1	~40Mpa
2	~60Mpa
3	~150Mpa
4	~300Mpa

5	~350Mpa
---	---------

Esimerkit tullaan antamaan käyttäjälle valinnan yhteydessä, jolloin käyttäjä voi valita itselleen optimaalisimman vaihtoehdon paremmalla tarkkuudella.

5.1.2 Elastisuus

Elastisuus-vertailuasteikon suunnittelin siten, että mitä pehmeämpää materiaali on, sitä suuremman numeron se saa asteikolla. Asteikko luotiin ottamalla materiaalien pienin elastisen moduulin omaava materiaali numerolle viisi ja suurimman elastisen moduulin omaava materiaali numerolle yksi. Asteikon pehmeimmässä päässä on PETG noin 2.00 GPa elastisella moduulilla ja jäykimmässä päässä on rosteri 190 GPa-arvolla. Työkalun Elastisuuden taulukko on alla näkyvä taulukko 3.

Taulukko 3. Elastisuus

1	~2 GPa
2	~3GPa
3	~15Gpa
4	~60Gpa
5	~120Gpa

5.1.3 Venyvyys

Venyvyyttä tullaan työkalussa mittaamaan sillä, kuinka paljon materiaali venyy ennen, kuin se katkeaa. Työkalun venyvyyden asteikko näkyy alla taulukossa 4.

Taulukko 4. Venyvyys

1	<1 %
2	~3%
3	~30%
4	~100%

5.1.4 Tiheys

Työkalun taulukko tiheydelle on alla näkyvä taulukko 5.

Taulukko 5. Tiheys

1	~1 g/cm ³
2	~1,3 g/cm ³
3	~1,7 g/cm ³
4	~4 g/cm ³
5	~7 g/cm ³

Asteikon alkupäähän sijoittuvat eri muovit ja niitä voidaan erotella toisistaan varsin hyvällä tarkkuudella. Asteikon loppupäähän sijoittuvat metallit ja ne voidaan jakaa kahteen painoryhmään.

5.1.5 Maatuvuus

Työkalun taulukko maantuvuudelle on alla näkyvä taulukko 6.

Taulukko 6. Maatuvuus

1	Materiaali on maatuva
2	Materiaali ei ole maatuva

Ongelmaksi muodostuivat materiaalit, jotka olivat biohajoavia vain oikeissa olosuhteissa. Näissä tilanteissa materiaali useasti sijoitettiin ryhmään kaksi, sillä yleisesti luontoon joutuessaan materiaalin täydellinen biohajoaminen olisi epätodennäköistä.

5.1.6 Kierrätettävyys

Työkalun kierrätettävyyden taulukko on alla oleva taulukko 7.

Taulukko 7. Kierrätettävyys

1	Materiaali on kierrätettävää
2	Materiaali ei ole kierrätettävää

Samoin kuin maatuvuudessa, myös kierrätettävyydessä on omat ongelmamateriaalinsa. Nämä materiaalit saadaan kierrätettyä, mutta vain esimerkiksi valmistajan erikoistoimenpiteillä. Nämä materiaalit merkittiin ryhmään kaksi. Tämä johtuu siitä, että normaali suomalainen kierrätysyritys ei kykene tehokkaasti kierrättämään kyseisiä materiaaleja.

5.1.7 Sähkönjohtavuus

Työkalun sähkönjohtavuus jaettiin myös kahteen vaihtoehtoon. Vaihtoehdot nähdään alla olevasta taulukosta 8.

Taulukko 8. Sähkönjohtavuus

1	Materiaali johtaa sähköä
2	Materiaali ei johda sähköä

Alun perin sähkönjohtavuuden asteikossa oli kolme vaihtoehtoa. Päädyin vaihtamaan asteikon kahteen, koska kolmanteen vaihtoehtoon sijoittuivat ainoastaan alumiini ja kupari, jotka johtavat sähköä erinomaisesti.

5.1.8 ESD-suojaus

Jos käyttäjän applikaation tarvitsee olla ESD-turvallinen, täytyy materiaalinkin sitä olla. ESD ABS minimoi sähköpurkaukset kappaleen ja muiden materiaalien välillä.

Työkalun ESD-suojauksen asteikko löytyy alta taulukosta 9.

Taulukko 9. ESD-suojaus

1	Materiaali on ESD-suojahyväksytty
2	Materiaali ei ole ESD-suojahyväksytty

ESD materiaaleja, joita työkalusta löytyy ovat:

- ESD ABS
- ESD PLA
- ESD PETG
- PA12+CF
- Onyx ESD (Kaikki Onyx komposiitit voidaan tehdä ESD turvallisesti käyttämällä Onyx ESD:tä pohja-aineena.)

5.1.9 Lämmönjohtavuus

Työkalun lämmönjohtavuuden asteikko on suunniteltu taulukon **Error! Reference source not found.** mukaisesti.

Koska kaikilla muovimateriaaleilla on erittäin samankaltaiset lämmönjohto-ominaisuudet, ovat ne työkalussa kaikki arvoilla yksi. Ainoat joukosta erottuvat materiaalit ovat metallit ja komposiitit. Lämmönjohtavuuden taulukko löytyy alta taulukosta 10.

Taulukko 10. Lämmönjohto

1	0,5 W/mK
2	2 W/mK
3	20 W/mK
4	50 W/mK

5.1.10 Väri

Työkalun värin asteikko näkyy alla taulukossa 11.

Taulukko 11. Väri

1	Materiaalille on mahdollista valita erilaisia värejä
2	Materiaalille ei ole mahdollista valita erilaisia värejä, tai valinnanvara on erittäin rajallinen.

Värikysymyksessä käyttäjä saa karsia materiaalit, joissa ei voi valita materiaalin väriä. Kysymyksessä huomautetaan kuitenkin, että kysymys ei sisällä kappaleen maalamisen mahdollisuutta.

Toinen väriin liittyvä kysymys koskee kappaleen läpinäkyvyyttä. Tämän kysymyksen asteikko on alla näkyvän taulukon 12 mukainen.

Taulukko 12. Läpinäkyvyys

1	Materiaali ei päästä valoa läpi
2	Materiaali on läpikuultavaa
3	Materiaali on läpinäkyvää

Erottelin läpikuultavat ja läpinäkyvät materiaalit toisistaan, sillä materiaalit, jotka ovat täysin läpinäkyviä eroavat selvästi ominaisuuksiltaan verrattuna läpikuultaviin materiaaleihin.

5.1.11 Lämmönkesto

Työkalun lämmönkesto asteikko nähdään alla taulukossa 13. Nämä luvut ovat materiaalien taipumislämpötiloja.

Taulukko 13. Lämmönkesto

1	<100 °C
2	~120 °C
3	~140 °C
4	~160 °C

5	180 °C<
---	---------

5.1.12 Kemiallinen kestävyys

Kemialliset kestävydet otin asteikkoon valmistajien ilmoittaman kemiallisen kestävyden mukaan. Vertailin myös yleisesti esimerkiksi eri muovien happojen kestävyttä. Etsin siis ensiksi heikoiten eri kemiallisia aineita kestävä materiaalin ja tein kyseisestä materiaalista pohjustan asteikolle. Samoin etsin kaikista eniten kemiallisia aineita kestävä materiaalin ja tein siitä materiaalin yläpään.

Kemiallisen kestävyden asteikko löytyy taulukosta alta 14.

Taulukko 14. Kemiallinen kestävyys

1	PC
2	ABS
3	Hartsit sekä normaali teräs
4	Metallit kuten rosteri ja hyvin kemikaaleja vastustavat muovit kuten nylon.
5	Kestävät metallit

5.1.13 UV-sietokyky

Työkalun UV-sietokyvyn sisällytin kaksivalintaiseen kysymykseen. Käyttäjä saa valita alla olevasta taulukosta 15 näkyvistä valinnoista.

Taulukko 15. UV-sietokyky

1	Materiaali sietää UV-valoa hyvin tai todella hyvin
2	Materiaali ei siedä UV-valoa hyvin tai todella hyvin

Materiaalit, jotka sietävät UV-valoa kohtalaisesti, sisällytin kategoriaan 2. Tämä johtuu siitä, että jos käyttäjä tarvitsee materiaalilta UV-sietokykyä, voi materiaalista valmistettava kappale olla auringonvalossa suurimman osan elinkaarestaan.

5.1.14 Kommentit

Tein jokaiselle materiaalille tietokantaan oman kommentin. Kommenteista käyttäjä saa lisätietoa kyseisestä materiaalista sen jälkeen, kun työkalu on materiaalia käyttäjälle ehdottanut. Kommenteissa lukevat myös materiaaliveitokset kyseiselle materiaalille, jos kyseisen nimikkeen alle sisältyy monta.

Kommentit ovat materiaali-kohtaisia ja ne sisältävät materiaalin erikoispiirteitä, joita tämän opinnäytetyön aikana on kyseiselle materiaalille selostettu.

5.2 Käyttäjän valinta ehdot ja käyttöliittymä

Työkalun filterointi suoritetaan Excelin funktioilla ja automatisoimaan Excelin makroja käyttäen. Tähän vaiheeseen sisältyi työkalun käyttäjänäkymän suunnittelu, valmistus ja optimointi.

Layout tulee olla todella selvä käyttäjälle ja sen täytyy luoda vaikutelma toimivasta applikaatioista. Tästä syystä päätin vaihtaa työkalun taustaväri valkoisesta siniseksi. Sininen väri kuitenkin osoittautui hankalaksi, sillä oli teksti mustaa, tai valkoista, se ei erottunut kunnolla taustasta. Tästä syystä vaihdoin taustan keltaiseksi.

Keltainen väri osoittautui toimivaksi, sillä valkoiset makronapit erottuivat hyvin ja mielestäni keltaisella pohjalla oleva musta teksti toimi myös varsin hyvin. Näistä syistä työkalun käyttöliittymä ei rasita käyttäjän silmiä yhtä paljon, kuin mahdollisella sinisellä taustalla.

Kun työkalun taustaväri oli päätetty, aloin suunnittelemaan valintakriteereiden paikkoja ja niiden tekstejä. Päädyin käyttämään fonttikokoa 16 jokaisen valintakriteerin otsikossa ja fonttikokoa 11 kriteerien ohjeistuksissa. Otsikot sijoitettiin luonnollisesti keskelle työkalua, niin että ne ovat ensimmäinen asia, joka osuu käyttäjän silmiin.

Kriteerien ohjeistukset päätin sijoittaa alkaviksi kaksi Excel-ruutua otsikosta oikealle ja yhden ruudun otsikon alle. Tämä johtui siitä, että joissain kriteereissä ohjeistus on pidempi kuin toisissa. Kaksi ruutua mahdollistaa varsin pitkän tekstin ja suurin osa teksteistä jatkuu niin, että ne ovat varsin hyvin keskitettyjä. Vaikkakin olisin voinut laittaa jokaisen tekstin alkamaan eri kohdista riippuen niiden pituuksista, oli mielestäni työkalun selkeyden kannalta järkevämpää aloittaa jokainen teksti samasta kohtaa.

Tilanteissa, joissa teksti selvästi ylitti kriteerin valintanapit oikealta puolelta, katkaisin tekstin sopivasta kohtaa ja jatkoin sitä uudelta riviltä.

Ohjeistuksissa lukee, mitä käyttäjä tulee valitsemaan kyseissä kohdassa ja millä asteikolla. Käyttäjälle myös annetaan osviittaa jokaisen arvon suureista, mutta päätin olla laittamatta käyttöliittymään käyttäjille näkyväksi kriteerien numeroiden tarkkoja arvoja, koska en näe sen tuovan lisäarvoa käyttäjälle. Tämä johtuu siitä, että kohdekäyttäjryhmä ovat henkilöt, jotka eivät ole tuttuja 3d -materiaalien, tai materiaaliopin kanssa.

Päätin sisällyttää tarkentavat arvot kuitenkin erilliselle Excel-sivulle ja tästä informoidaan käyttäjää, kun hän alkaa käyttämään työkalua.

Seuraavaksi lisäsin tyhjät makronapit, jotta pystyin hahmottelemaan käyttöliittymän mahdollisimman toimivaksi, ennen makrojen lisäämistä. Lisäsin nappien sisään kriteerikohtaisesti niiden tarkoituksen. Kun napit olivat oikeilla paikoillaan, päätin ottaa Excelin-ruutujen ulkoreunat pois, näin työkalu on paljon selvemmän näköinen.

5.2.1 Makrot

Seuraavaksi tein makrot, joilla työkalua operoidaan. Makrojen valmistamiseksi täytyy avata Excelin developer tab. Se onnistuu menemällä file -> options -> customize ribbon -> main tabs -> merkki ruutuun "developer".

Developer tabissa on nauhoitusnappi "record macro", jota käytin valmistamaan työkalun makrot. Painamalla "record macro" ja tämän jälkeen tekemällä itse omassa Excelissään makrolta vaadittavat toimenpiteet ja tämän päätteeksi painamalla "stop recording", Excel tallentaa tehdyt funktiot. Tämän jälkeen makro voidaan asettaa nappiin, jota painamalla kyseisen makron toimenpide tapahtuu automaattisesti.

Ennen, kuin rakensin työkalun omat makrot, tein harjoitteita tyhjällä Excel-sivulla, jotta pystyin varmistamaan niiden toimivuuden.

Työkalussa käytettävät makrot ovat erittäin yksinkertaisia. Jokaisella yhdestä viiteen olevalla napilla on oma makronsa, joka korostaa kyseisen kriteerin kohdasta tietokannasta halutun numeron. Kun kaikki kriteerit on käyty läpi, painamalla "tulokset"-napista makro laittaa tietokannan yläpään eniten korostettuja kohtia omaavat materiaalit. Tämän jälkeen makro tulostaa käyttäjälle näkyviin viisi ylintä vaihtoehtoa.

Makrot korostavat materiaalin tietokannasta vain makrojen tiedot sisältävät ruudut punaisella värillä. Esimerkiksi, jos käyttäjä haluaa materiaalin olevan maatuva

ja painaa nappia "1", tulee kuvan alla olevan kuviosta 1 tapainen korostus tapahtumaan tietokannassa.

Maantuvuus	K
	1
	1
	2
	2
	2
	2
	2
	2
	2
	2

Kuva 1. Tietokanta

Kun kaikki kriteerit on käyty läpi, "Tulos" -nappi käyttää excelin "data" -osion alla olevasta "sort & filter" -osion alta löytyvää "sort" -toimintoa, jolla se yksitellen asettaa jokaisen jonon punaisella korostetut ruudut hyppäävät jonojen yläpäähän. Ne rivit, joissa on eniten korostettuja ruutuja, löytyvät tällöin tietokannan yläpäästä. Sen jälkeen makro ottaa viisi ylintä valintaa ja tulostaa ne käyttäjälle näkyviin.

Käyttäjälle tullaan huomauttamaan, että työkalun materiaalivalintaan ei tule luottaa sokeasti. Työkalu kertoo käyttäjälle, että hänen tulisi varmistaa pienellä lisätutkimuksella työkalun antama materiaalivaihtoehto.

Käyttäjällä on myös vaihtoehto nollata työkalun tulos, jolloin käyttäjä voi aloittaa kriteerien valinnan alusta.

5.3 Työkalu toiminnassa

Kun käyttäjä aloittaa työkalun käyttämisen, alla olevasta kuviosta **Error! Reference source not found.** nähdään käyttäjäliittymän näkymä.

Materiaalivalinta työkalu

Tämän työkalun tarkoitus on helpottaa valitsemaan 3d tulostettavaan applikaatioon materiaali. Työkalu ei käytä tarkkoja suureita, vaan käyttäjä saa valita asteikoilta minkä tasoisen ominaisuuden applikaatio tarvitsee. Tarkentavat arvot työkalun numeroarvoille löytyvät Excel sivulta kolme, johon pääsee työkalun vasemmasta alareunasta. Työkalun tietokantana toimii Danfossin 3d tulostusosien tilauslomakkeen perusmateriaalit. Käytön jälkeen on suositeltavaa etsiä lisätietoa työkalun ehdottamasta materiaalista ja varmistaa sen sopivuus.

Materiaalilta vaadittava murtolujuus

Valitse asteikolla 1-5 materiaalilta vaadittava murtolujuus

Asteikolla 1-2 ovat yleisiä muoveja. 3 on heikommat metallit ja komposiitit ja 4-5 ovat metallit.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Materiaalilta vaadittava elastisuus

Valitse asteikolla 1-5 materiaalilta vaadittava elastisuus.

Asteikolla 1-3 ovat muovien ja komposiittien jäykkyyksiä. 4-5 ovat metaalien ja erittäin vahvojen muovien jäykkyyksiä.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Materiaalilta vaadittava venyvyys

Valitse asteikolla 1-5 materiaalilta vaadittava paino.

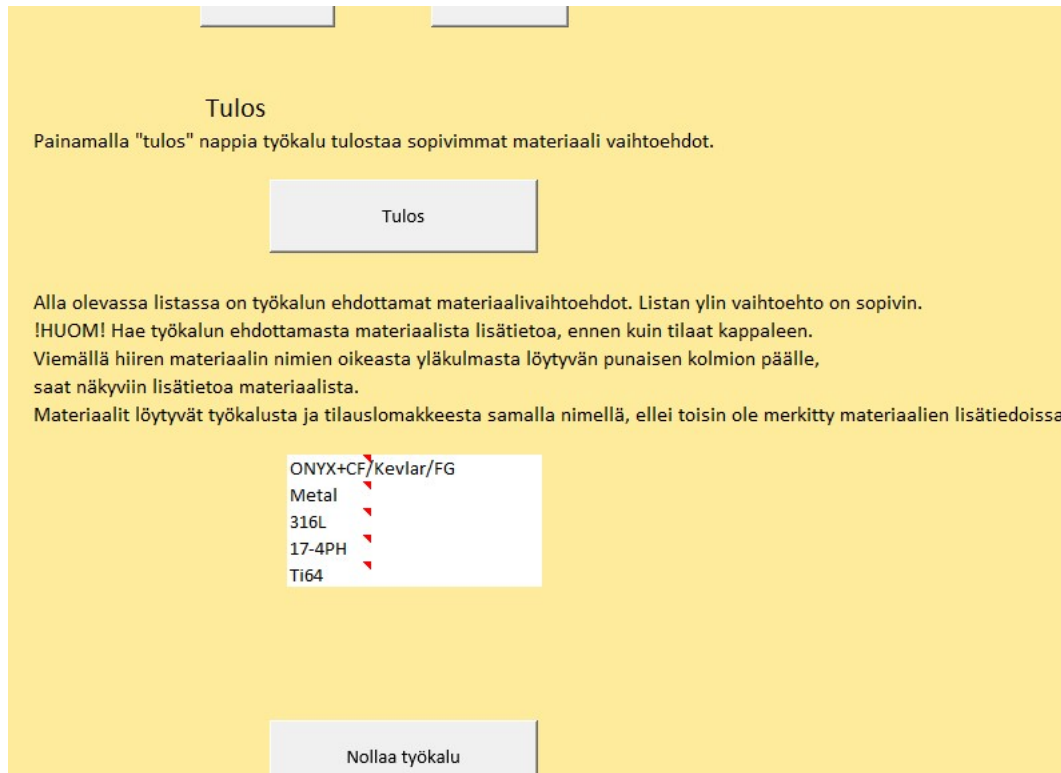
Asteikolla 1-2 ovat metallit, kovat muovit ja jotkin komposiitit. 3-4 ovat yleiset muovit ja 5 sisältää kumimaiset materiaalit

--	--	--	--	--

Kuva 2. Alkunäkymä

Työkalu kertoo hieman työkalusta ja sen tarkoituksesta. Kuvannossa nähdään myös valintanapit, joita painamalla käyttäjä saa valittua itselleen sopivimman vaihtoehdon kyseisestä kriteeristä. Kriteerien yhteydessä myös selvennetään käyttäjälle hieman jokaisen napin merkitystä.

Kun käyttäjä on valinnut kaikki itselleen sopivimmat vaihtoehdot, ja painanut ”tulostus”-nappia, tulee hänelle alla olevan kuviosta 3 kaltainen näkymä.



Kuva 3. Loppunäkymä

Kuvannon keskiosiossa nähdään ohjeet, jotka työkalu antaa käyttäjälle. Ohjeiden alla nähdään lista materiaaleista, jotka sopivat parhaiten käyttäjän kriteereihin. Listan ylin materiaali vastaa työkalun mukaan parhaiten käyttäjän vaatimuksia. Kuvassa nähdään myös kommentti, jonka käyttäjä saa esiin. Kommentti sisältää tässä tapauksessa lisätietoja kyseisestä materiaalista.

6 ITSEREFLEKTIO

Itserefleksiossa tulen ottamaan kantaa siihen, mikä onnistui, mikä ei onnistunut, miksei jokin onnistunut, mitä opin, oma mielipiteeni työkalusta.

6.1 Mitä opin

Tämän opinnäytetyön aikana opin lukuisia asioita. Opin todella paljon 3D-tulostuksesta yleisellä tasolla. Esimerkiksi erilaiset 3D-tulostustekniikat ja säännöt ovat minulle tutumpia nyt kuin koskaan aiemmin. Tästä saan kiittää Danfossin erinomaisia 3D-tulostuskoulutuksia.

Opin myös erittäin paljon materiaaliopista. Tiesin ennestään, että 3D-tulostuksessa voidaan käyttää paljon erilaisia materiaaleja. Silti yllätyin materiaalien paljoudesta ja kuinka paljon eroavaisuuksia voi olla esimerkiksi tietyn muovilajikkeen sisälle kuuluvissa versioissa. Erilaiset materiaalien ominaisuudet ja näiden mitasuureet tulivat tutuksi opinnäytetyön aikana.

Opin myös käyttämään paljon paremmin Microsoftin Excel-ohjelmistoa. Excelin automatisointi avasi itselleni todella paljon mahdollisuuksia automatisoida helpoja, mutta toistuvia työtehtäviä tulevaisuudessa.

Opin keräämään tietoa internetistä paljon tehokkaammin. Ymmärsin, kuinka tärkeää lähdekritiikki on ja kuinka tietoa kannattaa verrata kolmestakin lähteestä tiedon paikkansapitävyyden varmistamiseksi.

6.2 Onnistumiset ja epäonnistumiset

Opinnäytetyö oli mielestäni onnistunut kokonaisuutena. Sain mielestäni tuotettua hyvin tekstiä ja käytettyä luotettavia lähteitä. Työkalun ”Brainstorming” onnistui mielestäni hyvin ja minulla oli todella nopeasti selvä visio siitä, millainen työkalu

tulisi olemaan. Työkalun valmistaminenkin sujui varsin hyvin, vaikkakin jotkin automatisoidut kohdat tuottivat hieman enemmän vaivaa.

Epäonnistumiset ovat tämän opinnäytetyön kohdalla enimmäkseen aikataulullisia. Myöhästyin omasta aikataulustani viikolla. Tämä johtuu siitä, että aloitin raportin kirjoittamisen liian myöhässä ja myös kirjoituksen aikana ajoittain tapahtuneesta niin sanotusta kirjoituskrampista.

Osittain myös tuottamani teksti oli hieman huonolaatuista. En omasta mielestäni onnistunut joissain osioissa tuottamaan tarpeeksi akateemista ja kirjaopillisesti oikeaa tekstiä.

Myös työkalun kehityksessä oli välillä hieman hankaluuksia. Oikeiden Excel -funktioiden käyttäminen ja niiden tallentaminen makroiksi, tuotti osittain ongelmia, mutta näistä hankaluuksista selvisin varsin hyvin.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoitus oli luoda työkalu, jolla saataisiin helposti käyttäjän 3D -tulostus applikaatioon soveltuvat materiaali. Tässä onnistuttiin ja työkalusta saatiin toimiva. Opinnäytetyössä myös selvennettiin laajasti teoriaa työkalun ja sen ehdottamien materiaalien puolelta. Tämä teoria vahvisti toimivan työkalun valmistusta.

Työssä myös pohdittiin työn kulkua ja sen onnistumisia. itsereflektio on erittäin tärkeä osa omaa kehitystä ja kyseisessä kohtaa huomattiinkin hyvin työn onnistumiset ja epäonnistumiset.

Uskon, että työkalu tulee tehostamaan materiaalivalintaa ja mahdollisesti nostamaan Danfossin tuotannon tilaamien 3D -applikaatioiden toimivuutta ja täten tulostusten yleistä tasoa.

Mitä luultavimmin työkalua tullaan vielä kehittämään entistä toimivammaksi ja tehokkaammaksi. Tämä on kuitenkin erittäin helppoa työkalun pohjana käytetyn Excelin käyttäjäystävällisyyden, modulaarisuuden ja vakauden takia.

Lopuksi haluaisin kiittää Danfossia ja erityisesti Danfossin 3D -jaoksen päällikköä Oskari Jylhää, tilaisuudesta valmistaa heille tämä työkalu ja opinnäytetyö.

LÄHTEET

3dcompare.com RPU 60 informaatiot. 3dcompare -3D -tulostus materiaalien hintavertailuun käytettävä sivusto. Viitattu 24.3.2022 <https://3dcompare.com/materials/product/rpu-60/>

3dnatives.com Informaatiota eroista PETG ja PLA muovien välillä. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dnatives.com/en/pla-vs-petg-which-material-should-you-choose-110520215/>

3dsystems.com Informaatiota Accura 25 materiaalista. 3D systems -3D tulostustarvike yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dsystems.com/materials/accura-25-sla>

3dsystems.com Accura 60 informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dsystems.com/materials/accura-60>

3dsystems.com AccuraClear Informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dsystems.com/materials/accura-clearvue>

3dsystems.com Alumiini informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dsystems.com/materials/laserform-alsi10mg>

3dsystems.com Accura Xtreme informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dsystems.com/materials/accura-xtreme>

3dsystems.com Tough 1500 informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3d-tulostus.fi/Formlabs-Tough-1500-resiini>

3dsystems.com though 2000 informatiot. Viitattu 24.3.2022. https://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectID=34908747

3d-tulostus.fi PA12 informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3d-tulostus.fi/Sinterit-PA12-Smoot>

3dxtech.com Lista ESD materiaaleista. Viitattu 24.3.2022. <https://www.3dxtech.com/tech-data-sheets-safety-data-sheets/>

additivemanufacturing.media RZ ja RA eroavaisuudet. Additive-manufacturing.media -Lisäävään valmistukseen liittyvien tietoaik-keleiden julkaisualusta. Viitattu 24.3.2022. <https://www.additive-manufacturing.media/articles/the-difference-between-ra-and-rz>

alchemer.com Suositeltu määrä kysymyksille kyselyssä. Alchemer - Informaation keräämiseen ja kyselyiden optimointiin erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.alchemer.com/resources/blog/survey-questions-how-much-is-too-much/>

all3dp.com PLA -muovin kierrätettävyys. Viitattu 24.3.2022. <https://all3dp.com/2/is-pla-recyclable/>

all3dp.com Kuparin informaatiot. All3dp.com -3D tulostuksesta informoiva sivusto. Viitattu 24.3.2022. <https://all3dp.com/1/copper-3d-printing-the-ultimate-guide/>

all3dp.com Informaatiota tulostettavasta alumiinistä. Viitattu 24.3.2022. <https://all3dp.com/1/3d-printing-aluminum/>

all3dp.com TPU ja TPE -muovien eroavaisuuksia. Viitattu 24.3.2022. <https://all3dp.com/2/tpe-vs-tpu-flexible-filament-the-differences/>

angstromsciences.com Metallien tiheydet. Viitattu 24.3.2022. <https://www.angstromsciences.com/density-elements-chart>

bigrep.com Hi Temp informaatiot. Bigrep -3D tulostus materiaalien valmistaja. Viitattu 24.3.2022. <https://bigrep.com/filaments/hi-temp/>

bigrep.com ProHT valmistajan tiedot. Viitattu 24.3.2022. <https://prostech.vn/bigrep-pro-ht-an-alternative-material-for-abs/>

biokiertotuote.fi Ekologisuus määritelmä. Biokiertotuote -biohajomista ja kasvien kasvua edistäviin tuotteisiin erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.biokiertotuote.fi/ekologia-ekologisuus-maaritelma/>

brandwares.com Word modulaarisuus. Brandwares -Tietokone ohjelmistojen optimointiin ja niiden käytön avustamiseen erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.brandwares.com/bestpractices/2013/10/modular-documents/>

buildparts.com Ultem 1010 ominaisuudet. Viitattu 24.3.2022. <https://www.buildparts.com/materials/ultem1010/>

burkert.fi Kemiallinen kestävyys käsite. Viitattu 24.3.2022. <https://www.burkert.fi/fi/Asiakaspalvelu-ja-varaosat/Tuki/Sa-nasto/Kemikaalien-resistenssi-taulukko>

carbon3d.com CE221 informaatiot. Carbon3D -3D tulostusmateriaaleja valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.carbon3d.com/materials/ce-221/>

carbon3d.com Epu40 informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.carbon3d.com/materials/epu-40/>

carbon3d.com Epu41 informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.carbon3d.com/materials/epu-41/>

carbon3d.com RPU 70 Informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.carbon3d.com/materials/rpu-70/>

carbon3d.com RPU130 Informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.carbon3d.com/materials/rpu-130/>

carbon3d.com UMA 90 Informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.carbon3d.com/materials/uma-90/>

corporatefinanceinstitute.com Excel informaatiot. Corporatefinanceinstitute.com -rahoitus koulutuksiin erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/excel/study/excel-definition-overview/>

dekmake.com Titaanin ja ruostumattoman teräksen erot. Viitattu 24.3.2022. <https://www.dekmake.com/titanium-vs-stainless-steel/>

delva.fi Ti64 informaatiot. Delva -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://delva.fi/en/titanium/>

eferrit.com Sähkönjohtavuus määritelmä. Helmestine, A, M. Eferrit -Artikkelien julkaisu alusta. Viitattu 24.3.2022.

<https://fi.eferrit.com/saehkoejohtavuus-maeaeritelmae/>

electronics-cooling.com Muovien lämmönjohto. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.electronics-cooling.com/2001/05/the-thermal-conductivity-of-unfilled-plastics/>

electronics-cooling.com Täytettyjen muovien lämmönjohto. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.electronics-cooling.com/2009/05/thermal-conductivity-of-filled-plastics/>

engineeringtoolbox.com Metallien lämmönjoto. Engineeringtoolbox.com -Mekaanisen information tietopankki. Viitattu 24.3.2022.
https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-metals-d_858.html

essentracomponents.com UV -valon vaikutus muoveihin. Essentracomponents -Teollisuuskomponenttien valmistaja. Viitattu 24.3.2022.
<https://www.essentracomponents.com/en-us/news/product-resources/uv-and-its-effect-on-plastics-an-overview>

eos.info Nylon 11 ja Nylon 11 CF informaatiot. Eos -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022
<https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/3d-printing-plastic/sls-polymer-materials/pa-11-nylon-abs-pa6>

filament2print.com PA11 ja PA12 nesteen keräys informaatiot. Viitattu 24.3.2022. <https://filament2print.com/gb/powders/1086-pa11-onyx-nylon-powder.html>

finnprofiles.com TPE muovit tiivisteinä. Finnprofiles -Tiivisteitä valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022.
<https://www.finnprofiles.com/fi/tpe-tiivistemateriaalina/>

formlabs.com Clear resin informaatiot. Formlabs -3D tulostustarvike valmistaja. Viitattu 24.3.2022.
<https://formlabs.com/blog/3d-printing-transparent-parts-techniques-for-finishing-clear-resin/>

formlabs.com Color resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://formlabs.com/blog/guide-color-3d-printers/>

formlabs.com Durable resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://formlabs.com/store/durable-resin/>

formlabs.com Flexible A80 resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://formlabs.com/store/flexible-80a-resin/>

formlabs.com Hi temp resin informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://formlabs.com/store/materials/high-temp-resin/>

formlabs.com Rigid 10K informaatiot. Viitattu 24.3.2022.
<https://formlabs.com/store/materials/rigid-10k-resin/>

formlabs.com Rigid 4000 informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://formlabs.com/store/materials/rigid-resin/>

greelane.com Komposiitit määritelmä. Greenlane -Komposiitteihin erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.greelane.com/fi/science-tech-matemaatiikka/tiede/what-is-a-composite-820406/>

hubs.com ABS ja PLA erot. Hubs.com -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.hubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference/#rules-of-thumb>

hunker.com Tulenkestävyys käsite. Moultry, A. Hunker.com -Artikkelien julkaisualusta. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.hunker.com/12444429/what-materials-are-fireproof>

javelin-tech.com Tango informaatiot. Javelin-tech -3D tulostusohjelmia valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.javelin-tech.com/3d/stratasys-materials/>

jigsawacademy.com Excel suosituimpana datan analytikkaan käytetty työkalu. Jigsawacademy -Intialainen oppilaitos. 24.3.2022.

<https://www.jigsawacademy.com/10-most-popular-analytic-tools-in-business/>

lectronics.net ESD määritelmä. Lectronics -Sähkökomponenttien valmistukseen erikoistunut yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.lectronics.net/esd-explained-what-is-electrostatic-discharge/>

markforged.com Onyx informaatiot. Markforged -3D tulostusmateriaalien valmistaja. Viitattu 24.3.2022.

<https://markforged.com/materials/plastics/onyx>

materialise.com ABSi tiedot ja erot verrattuna ABS:ään. Materialise -3D tuotteiden valmistaja ja jälleenmyyjä. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.materialise.com/en/manufacturing/materials/absi>

Matterhackers.com Yleisesti paljon tietoa eri materiaaleista. Viitattu 24.3.2022. <https://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare>

medlineplus.gov Tietoa hartsien myrkyllisyydestä. Medilineplus -Terveystietopankki. Viitattu 24.3.2022. <https://medlineplus.gov/ency/article/002734.htm>

metalswarehouse.co Alumiinin ja ruostumattoman teräksen kemiallisen kestävyiden erot. Metalswarehouse -Metalleihin erikoistunut raakatarvike kauppa . Viitattu 24.3.2022. <https://www.metalswarehouse.co.uk/aluminium-vs-stainless-steel-what-are-the-main-differences/>

mgg-recycling.com PC/ABS kierrätettävyys. Viitattu 24.3.2022. <https://mgg-recycling.com/a-new-fixed-star-thanks-to-research-and-development/>

oberk.com PETG versioiden ominaisuuksia. Oberk -Pakkauksia valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.oberk.com/packaging-crash-course/differences-in-pet>

omnexus.specialchem.com Elastinen moduuli muoveille. Viitattu 24.3.2022. <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/young-modulus>

omnexus.specialchem.com Eri muovien murtolujuudet. Viitattu 24.3.2022. <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/strength-at-break-tensile>

omnexus.specialchem.com Heat deflection vs Glass transition. Viitattu 24.3.2022. <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/glass-transition-temperature?src=prop-cnx>

omnexus.specialchem.com Muovien massat. Viitattu 24.3.2022. <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/density#PA-PC>

onlinelibrary.wiley.com Nylon komposiittien sähkönjohtavuus. Viitattu 24.3.2022. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adv.20004>

peda.net Tiheys määritelmä. Peda.net -Digitaalinen oppimisympäristö. Viitattu 24.3.2022. <https://peda.net/jamsa/perusopetus/paunu2/luokat-oppiaineet/fysiikka/veijon-ryhm%C3%A4t/8/efysiikka-83f/25-noste/tiheys>

printparts.com Tietoa Onyx komposiiteista. Viitattu 24.3.2022.

<https://printparts.com/materials/onyx/>

prostech.vn ProHT, ABS ja PLA erot. Viitattu 24.3.2022.

<https://prostech.vn/bigrep-pro-ht-an-alternative-material-for-abs/>

resolutionmedical.com RPU130 ja Sil30 Informaatiot. Resolution-medical -lääketieteellisiä applikaatioita myyvä yritys. Viitattu 24.3.2022. <https://www.resolutionmedical.com/additive>

Redwood, B., Schöffer, F., Garret, B. The 3D Printing Handbook. 2018

sabic.com Ultem 1010 tiedot. Viitattu 24.3.2022.

[https://www.sabic.com/en/products/specialties/ul-tem-resin](https://www.sabic.com/en/products/specialties/ultem-resins/ul-tem-resin)

sanakirja.org Lujuus määritelmä. Sanakirja.org -Internet tietosanakirja. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.sanakirja.org/search.php?id=49577&l2=3>

sciencedirect.com Eri materiaalien lämmönjohtavuudet. Viitattu 24.3.2022. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-conductivity-coefficient>

setra.com Ruostumattomien terästen erot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.setra.com/blog/what-is-the-difference-between-17-4-and-316l-stainless-steel>

shapeways.com PA 12 informaatiot. Shapeways -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.shapeways.com/blog/archives/41298-everything-you-need-to-know-about-nylon-12-material.html>

simplify3d.com ASA muovi informaatiot. Simplify3d -3D tulostusohjelmia valmistava yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/asa/>

simplify3d.com Nylon informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/nylon/>

simplify3d.com Materiaali taulukko. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/?highlight=nylon>

simplify3d.com PC informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/polycarbonate/>

Sinterit.com PA11-Carbon Fiber Specificataion-1.pdf PA11+onyx ja PA11+CF tiedot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.3d-tulostus.fi/Sinterit-PA12-Smoot>

stratasys.com PC/ABS Tiedot. Stratasys 3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/fdm-materials/pc-abs>

stratasys.com Ultem 9085 informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/fdm-materials/ultem-9085>

support.formlabs.com Elastic A50 ja A80 informaatiot. Viitattu 24.3.2022. https://support.formlabs.com/s/article/Using-Elastic-Resin?language=en_US

support.ultimaker.com CPE informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011940320-Which-Ultimaker-material-should-I-use->

support.microsoft.com Word makro informaatiot. Support.microsoft -Microsoftin tietopankki ja informaationsivu ohjelmistoistaan. Viitattu 24.3.2022. <https://support.microsoft.com/en-us/office/create-or-run-a-macro-c6b99036-905c-49a6-818a-dfb98b7c3c9c>

termipankki.fi Elastisuus määritelmä. Termipankki -Internet tietosanakirja. Viitattu 24.3.2022.

<https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/elastisuus>

tibtech.com Metallien sähkönjohtavuudet. Tibtech -Innovaatio yritys. Viitattu 24.3.2022.

https://www.tibtech.com/conductivite.php?lang=en_US

totalmateria.com Titaanin sähkönjohtavuus. Viitattu 24.3.2022.

<http://www.totalmateria.com/Article122.htm>

transparencymarketresearch.com FST tietoja. 24.3.2022.

<https://www.transparencymarketresearch.com/fire-smoke-toxicity-retardant-composite-resin-market.html>

trinckle.com Nylon 11 informaatiot. 24.3.2022.

<https://www.trinckle.com/blog/material-science-part-1-polyamide-pa-where-how-and-when-to-use-pa-11/>

ultimaker.com CPE ja ABS eroja. Ultimaker -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://ultimaker.com/materials/cpe>

weerg.com Nylon 11 ja Nylon 12 erot. Weerg -3D tulostus yritys. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.weerg.com/en/global/blog/what-are-the-differences-between-pa12-and-pa11>

www.3d-tulostus.fi ESD PLA informaatiot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.3d-tulostus.fi/3DXSTAT-ESD-PLA>

www.stratasys.com Ultem 9085 tiedot. Viitattu 24.3.2022.

<https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/fdm-materials/ultem-9085>

youtube.com Video SLS tulostuksesta ja hartsista. 23.6.2021. DestructiveCreativity. Viitattu 24.3.2022

<https://www.youtube.com/watch?v=Qha7N28sM2g>

youtube.com Video Metallin rajoitteista ja suunnittelusta.

20.9.2019. Hubs. Hubs -sisällöntuottaja, aiheena digitaalinen valmistus. Viitattu 24.3.2022

<https://www.youtube.com/watch?v=XsEPGVD1qdY>

LIITTEET

LIITE 1



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖPASSI

(Annetaan opinnäytetyön valmistuttua
ohjaavalle opettajalle arkistoitavaksi.)

Opiskelijan nimi _____ Ryhmä _____

Opiskelijan yhteystiedot _____

Opinnäytetyön aihe _____

Toimeksiantaja _____

	Viimeistään	Päiväys	Allekirjoitus
1. Perehdytys opinnäytetyön tekemiseen tehtävineen suoritettu	_____	_____	_____
2. Aihe hyväksytty	_____	_____	_____
3. Opinnäytetyösuunnitelma hyväksytty	_____	_____	_____
4. Väliseminaariesitys pidetty	_____	_____	_____
5. Opinnäytetyön sisältö hyväksytty	_____	_____	_____
6. Raportin muoto ja kieliasu hyväksytty	_____	_____	_____
7. Vieraskielinen tiivistelmä hyväksytty	_____	_____	_____
8. Työ toimitettu opponentille	_____	_____	_____
9. Osallistuminen esitysseminaareihin - ei sisällä opponointia eikä omaa esitysseminaaria			
1. _____	_____	_____	_____
2. _____	_____	_____	_____
3. _____	_____	_____	_____
4. _____	_____	_____	_____
5. _____	_____	_____	_____
6. _____	_____	_____	_____
10. Oman opinnäytetyön esitysseminaari pidetty		_____	_____
11. Opponointi suoritettu (aihe/tekijä) _____	_____	_____	_____
12. Kypsyysnäyte hyväksytty	_____	_____	_____
13. Opinnäytetyön kirjallinen (kovakantinen) versio toimitettu ohjaajalle, jos työtä ei ole julkaistu Theseuksessa.	_____	_____	_____
14. Vakuutan, että opinnäytetyö on sähköisesti tallennettu Theseukseen osoitteeseen			

osoite

opiskelijan allekirjoitu

