

3D-tulostimen käyttöönotto ja opastus



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Kone- ja tuotantotekniikka

Riihimäki, kevät 2017

Tero Paso

Kone- ja tuotantotekniikka
HAMK Riihimäki

Tekijä	Tero Paso	Vuosi 2017
Työn nimi	3D-tulostimen käyttöönotto ja opastus	
Työn ohjaaja	Jaakko Vasko	

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin Hämeen ammattikorkeakoululle Riihimäen kampukselle. Opinnäytetyön tavoitteena oli käyttöönottaa kampuksen uusi Formlabs Form 2 3D-tulostin. Työn toinen tavoite oli tuottaa tulostimen käyttöön käyttöopas. Käyttöoppaan tarkoitus on toimia ensisijaisena tiedonlähteenä, kun opiskelija käyttää laitetta itsenäisesti perehdytyksen jälkeen.

Tulostin saapui koululle tammikuussa 2017. Käyttöönotto-opastus tilattiin Maker3D Oy:tä. Käyttöönotto oli 28.2.2017 ja se tehtiin Peter Brobergin johdolla. Käyttöönoton jälkeen suunniteltiin sarja koetulostuksia, joiden avulla testattiin tulostimen rajoja. Koetulosten sarjat rajattiin tulostimen yleiseen käyttöön, mallin asennon vaikutukseen ja kerrospaksuuden merkitykseen tulostuksen laadussa. Koetulosteet auttoivat myös käyttöoppaan teossa. Niiden avulla saatiin kokemusta koneen käytöstä ja tietoa siitä, mitkä ovat tulostuksen ongelmakohtia. Käyttöopasta arvioitiin heuristista arviointitapaa soveltamalla.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaiseksi käyttöopas Form 2 -tulostimelle ja kokemusta koneen käytöstä. Käyttöoppaan tehokkuutta ja hyötyä ei ehditty selvittämään. Käyttöoppaan kehitys jää tulevien tulostimen käyttäjien vastuulle.

Avainsanat 3D-mallinnus, stereolitografia, pikavalmistus

Sivut 29 sivua, joista liitteitä 8 sivua

Mechanical Engineering and Production Technology
HAMK Riihimäki

Author	Tero Paso	Year 2017
Subject	Commissioning and guidance of a 3D-printer	
Supervisor	Jaakko Vasko	

ABSTRACT

This thesis was commissioned by Häme University of Applied Sciences. The purpose of this thesis was to commission a new Formlabs Form 2 3D printer located at the Riihimäki campus. An additional goal was to produce a user's manual for the printer. The purpose of the manual was to act as the primary source of information when a student is using the machine independently.

The printer was delivered to the campus in January 2017. The commissioning guidance was ordered from Maker3D Oy. The commission took place on 28 January 2017 and it was led by Peter Broberg. After the commissioning a series of test prints were designed to test the limits of the printer. The series were limited to the general use of the printer, the orientation of the model affecting the print quality and layer thickness affecting print quality. The test prints provided help for drafting the manual by exposing some of the problems in the printing process. The manual was evaluated using a heuristic evaluation method.

The results of this thesis included a manual for the Form 2 printer and experience in 3D printing. The efficiency and benefits of the manual were not tested in this project. An improvement of the manual is left in the hands of the future users of the printer.

Keywords 3D modeling, stereolithography, rapid prototyping.

Pages 29 pages including appendices 8 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	STEREOLITOGRAFIA	1
2.1	Mallinnukselle ja tukimateriaaleille asetetut vaatimukset.....	2
2.1.1	Mallinnuksen vaatimukset	3
2.1.2	Tukirakenteen vaatimukset.....	4
2.2	Työturvallisuus	5
2.2.1	Työkalut	5
2.2.2	Laser.....	5
2.2.3	Hartsit	6
2.2.4	Huuhteluneste	6
3	KÄYTTÖÖNOTTO.....	7
3.1	Tulostimen käyttöönotto	7
3.1.1	Esivalmistelut.....	7
3.1.2	Tulostimen kokoonpano.....	7
3.1.3	Ohjelmisto	8
3.1.4	Tasapainotus.....	8
3.2	Testitulostus	8
4	TESTAUS.....	9
4.1	Thingiverse	9
4.2	Testit.....	9
4.2.1	Case Elf Ranger	9
4.2.2	Case Vault Boy	11
4.2.3	Case Fillenium Malcom.....	13
5	OPASTUS.....	15
5.1	Suunnittelu ja toteutus	15
5.2	Käytettävyys	16
5.2.1	Heuristinen arviointi.....	16
6	YHTEENVETO JA ARVIOINTI	18
	LÄHTEET	19
	HAASTATTELUT JA MUUT SUULLISET LÄHTEET	20
	KUVAT	21

Liitteet

Liite 1 Form 2 Guide

1 JOHDANTO

3D-tulostus on kasvava ilmiö. Länkinen kirjoitti artikkelissaan (Länkinen 2016), että 3D-tulostimien määrä maailmanlaajuisesti tuplaantuu joka vuosi. Tulostimia saattaa olla kaksi miljoonaa vuonna 2018. Suomessa suurin osa tulostimista löytyy kirjastoista ja kouluilta. Kiinnostusta 3D-tulostamiseen opiskelijoiden keskuudesta löytyy mutta tarvittavaa tietoa laitteiden käytöstä on rajoitetusti.

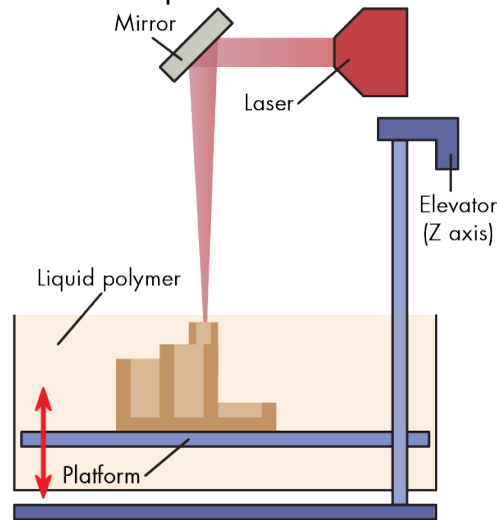
Lähestyin vuoden 2016 lopulla Hämeen ammattikorkeakoulun opettajaa Jaakko Vaskoa tiedustellen, onko hänellä minulle soveltuvaa opinnäytetyöaihetta. Vasko kertoi suunnitteilla olevasta uuden 3D-tulostimen hankinnasta ja mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö sen ympärille. Hämeen ammattikorkeakoulun Riihimäen kampuksella on kolme aikaisempaa tulostinta, joista yksi on opiskelijakäytössä. Innostuin aiheesta ja päätin ottaa sen työstettäväkseni.

Opinnäytetyön aiheeksi kartoitettiin uuden Formlabs Form 2 SLA-tulostimen käyttöönotto ja sen dokumentointi. Toimeksiantoon kuului myös käyttöoppaan valmistaminen. Tarkoituksena on, että uusi tulostimen käyttäjä saa alkuun perehdytyksen koneen käyttöön ja sen jälkeen hän voi turvautua käyttöoppaaseen tulostaessaan itsenäisesti. Uusi tulostin saapui vuoden 2017 alussa. Käyttöönotto saatiin sovittua 28.2.2017 ja se suoritettiin Maker3D:n edustajan Peter Brobergin johdolla.

2 STEREOLOGRAFIA

i.materialise -sivuston (i.materialise n.d.) mukaan Stereolografia on vanhin ja yksi laajimmin käytetyistä pikavalmistustavoista. Ennen valmistusprosessia tehdään 3D-mallinnus valmistettavasta kappaleesta. Tämän jälkeen 3D-mallinnus leikataan kerroksiksi tietokoneohjelman avulla. Ohjelma tekee malliin tukirakenteet ulokkeita ja onkaloita varten. Valmistusprosessi tapahtuu tankissa, jossa kone levittää nestemäistä muovia työskentelytason päälle. Tietokoneohjattu laservalo piirtää ja kovettaa ensimmäisen kerroksen mallinnuksesta. Tämän jälkeen työskentelytasoa lasketaan alaspäin tankissa ja uusi kovetetta-

va muovikerros levitetään työskentelytasolle. Tätä prosessia toistetaan, kunnes malli on valmis. Kuvassa 1 havainnollistetaan prosessia.



Kuva 1. SLA Process (Machine design 2015)

Malli ei ole suoraan valmis tulostimesta tullessaan vaan se vaatii jälkikäsittelyjä. Kappale on kovettamattoman muovinesteeseen peitossa. Muovineste pestään ensin pois, minkä jälkeen kappale kovetetaan lopullisesti UV-kaapissa. Tukimateriaalit poistetaan mekaanisesti. UV-kaapin jälkeen kappale on valmis mahdolliseen jälkikäsittelyyn, johon tässä opinnäytetyössä ei perehdytä.

2.1 Mallinnukselle ja tukimateriaaleille asetetut vaatimukset

Mallinnus on hyvä tehdä alusta alkaen 3D-tulostamista silmällä pitäen. Suunnitteluun auttaa myös se, että tietää, minkälaisella tulostimella tuote valmistetaan. Käytettävä valmistustekniikka ja käytössä oleva tulostin antavat tiettyjä vapauksia ja rajoituksia mallin luomiselle. Seuraavat luvut käsittelevät Form 2 -tulostimelle annettuja vaatimuksia mallinnuksen ja tukirakenteiden osalta.

2.1.1 Mallinnuksen vaatimukset

Formlabs luettelee tukisivuillaan (Formlabs 2017) tärkeimpiä suunnittelupiirteitä, joita noudattamalla voi parantaa tulosteen onnistumista. Suositukset on tehty käyttämällä Formlabsin läpinäkyvää hartsia ja 0.1 mm:n kerrospaksuutta. Suositellut vaatimukset ovat seuraavat:

- Tuetun seinän vähimmäispaksuus: 0.4 mm
- Tukemattoman seinän vähimmäispaksuus: 0.6 mm
- Tukemattoman ulokkeen enimmäispituus: 1.0 mm
- Tukemattoman ulokkeen enimmäiskulma: 19° vaakasuorasta tasosta
- Vaakasuoran tukisillan enimmäispituus: 21 mm
- Pystysuoran langan vähimmäishalkaisija: 0.3 mm:stä (7 mm korkea) 1.5 mm:iin (30 mm korkea)
- Kohokuviodun yksityiskohdan vähimmäiskorkeus: 0.1 mm
- Kaiverretun yksityiskohdan vähimmäissyvyys: 0.4 mm
- Toiminnallisten osien vähimmäisvälys: 0.5 mm
- Reikien vähimmäishalkaisija: 0.5 mm
- Hartsin poistumisreiän vähimmäishalkaisija: 3.5 mm.

Edellä mainituista suosituksista tärkeimmät ovat toiminnallisten osien välys ja hartsin poistumisreiän halkaisija. Toiminnallisten osien vällysmitta tulee tarpeelliseksi, kun suunnitellaan kappaleita, joissa on toimivia mekanismeja. Tämän kaltaisia mekanismeja ovat esimerkiksi hammasratat, mutterit ja pultit. Hartsin poistumisreikä on stereolitografialle erityinen piirre, joka pitää ottaa huomioon mallia suunnitellessa ja tulostaessa. Koska tulostusmateriaali on nestemäistä, pitää tulostusta suunnitellessa huomioida suljetut kammiot, altaat ja ontot rakenteet. Pahimmassa tapauksessa nestemäinen hartsi jää jumiin osan sisään ja aiheuttaa "räjähdysten", joka rikkoo tulosteen. Ontot kammiot pitää huomioida joko hartsin poistumisreiällä tai viimeistään mallia orientoitaessa tulostusta varten.

2.1.2 Tukirakenteen vaatimukset

Stereolitografia on ainetta lisäävä valmistustapa. Tukirakenteita voidaan ajatella rakennustelineinä, joiden päälle varsinainen malli rakennetaan. Tukirakenteiden avulla parannetaan tulostuksen onnistumisvarmuutta ja mahdollistetaan vaikeiden osien tulostus. (Formlabs 2017.)

Tukirakenne voidaan jakaa seuraaviin osiin:

- Base eli pohja
- Scaffolding eli teline
- Touch point eli kosketuspiste.

Pohja on tasainen alue, jolla tukirakenne ja malli kiinnitetään tulostustasolle. Telineet ovat automaattisesti luotuja rakenteita, jotka on sisäisesti punottu toisiinsa. Telineiden tarkoitus on tuottaa rakenteellista kestävyttä mahdollisimman pienellä hartsin määrällä. Kosketuspiste on se osa tukirakenteesta, joka koskettaa mallia.

Kun tukirakennetta luodaan, tietokoneohjelma laskee, onko malli riittävästi tuettu. Tukirakenteet luovat tukivoiman, joka vaikuttaa jokaisen kosketuspisteen kohdalta katkautuneen kartion muotoiselle alueelle. Mitä useampi näistä kartioista on limittäin, sen paremmin malli on tuettu. Kun mallissa on riittävästi kosketuspisteitä siten, että kaikki kartiot ovat limittäin, malli on täysin tuettu.

Tukirakennetta luodessa on kuitenkin huomioitava kokonaisuus. Jokainen kosketuspiste jättää jäljen valmiiseen tulosteeseen. Liian kaukana toisistaan olevat tukirakenteet aiheuttavat painauman kosketuspisteiden välille. Liian lähellä toisiaan olevat kosketuspisteet luovat tiheän puuston, johon hartsia voi jäädä jumiin. Formlabs suosittelee, että tukirakenteita luodessa käytetään automaattisesti luotuja rakenteita, kunnes on riittävästi kokemusta säätää rakenteita parempaan suuntaan.

2.2 Työturvallisuus

Työterveyslaitoksen (TTL n.d.) mukaan ensimmäinen askel tapaturmien ehkäisyyn on ennakointi. Riskien ja työympäristön arvioinnilla voidaan kehittää työturvallisuutta ja tavoitella nollaa tapaturmaa. Varsinkin kouluympäristössä on tärkeää, että varmistetaan turvallisuus, jotta säästytään henkilö- ja materiaalivahingoilta.

Form 2 SLA-tulostin on kuluttajakäyttöön suunniteltu tarkkuustyökalu. Oikein käytettynä se on myös turvallinen käyttäjälle ja ympäristölle. Jotta voidaan taata turvallinen työympäristö, on tulostinta ja sen oheislaitteita käytettävä ohjeiden mukaisesti.

2.2.1 Työkalut

Form 2:n lisätarvikesarja sisältää teräviä työkaluja kuten pinsetit, sivuleikkurit ja lastan. Näiden työkalujen kanssa pitää noudattaa yleistä varovaisuutta. Työkalujen käyttö liukkailla pinnoilla kuten hartsipeitetyllä tulostustasolla voi johtaa yhtäkkiisiin liikkeisiin. Tukirakennetta irrottaessa tulee käyttää suojalaseja, koska on mahdollista, että muovipalanen lentää silmään. (Formlabs n.d.)

2.2.2 Laser

Form 2:n käyttämä laser on luokiteltu 1 luokan laserlaitteeksi oikein käytettynä. Säteilyturvakeskuksen (STUK 2015) mukaan luokan 1 laserit ovat heikkotehoisia ja niiden säteily ei aiheuta vaaraa käyttäjälle. Form 2 luokitellaan niin kutsutuksi suljetuksi laitteeksi. Suljettu laite voi sisältää luokkaansa korkeamman laserin. Tämä laite automaattisesti katkaisee virran laserilta, jos suojakupua avataan laitteen ollessa päällä. Jos tämä suojaus kierretään tai se on epäkunnossa, riskinä on altistuminen 3B luokan laserservalolle (Formlabs n.d.). Tämän luokan laser voi aiheuttaa ihovaurioita ja sen valo suorana ja peiliheijastuneena on aina vaarallinen silmille.

2.2.3 Hartsit

Form 2:n käyttämälle hartsille on annettu varoitus sen aiheuttamasta terveyshaitasta (Formlabs 2016). Terveystieteen luokittelussa ”kemikaalit, jotka aiheuttavat iho- ja silmä-ärsytystä, allergisia ihoreaktioita, hengitysteiden ärsytystä, välitöntä myrkyllisyyttä, uneliaisuutta tai huimausta.” (Kemikaalilainsäädäntö. 2010.)

Pääasiallinen suojaus hartsin haittoja vastaan on käyttää asianmukaisia suojavälineitä. Suojavälineiksi suositellaan suojahanskoja, suojaavaa vaatetusta, silmä- ja kasvosuojusta. Hartsin käyttöturvallisuustiedote myös suosittelee kaasujen ja sumun hengittämisen välttämistä. Kappaleiden käsittelyä varten tulostimen välittömästä läheisyydestä löytyy suojahanskoja, suojakäsineitä ja talouspaperia.

2.2.4 Huuhteluneste

Huuhtelunesteenä Formlabs (Formlabs n.d.) suosittelee käytettäväksi IPA:ta eli isopropanolia. Isopropanolia käsitellessä pitää käyttää suojahanskoja ja tilassa pitää olla hyvä ilmanvaihto. Isopropanolin käyttöturvallisuustiedotteen (TAMRO 2015) mukaan se on helposti syttyvää ja palavaa, joten se on pidettävänä kaukana lämpölähteistä, kipinöistä ja avotulesta. Isopropanoli haihtuu nopeasti, joten huuhteluallas ja säilytyspullot on pidettävä suljettuina aina, kun se on mahdollista. Isopropanoli tulee varastoida viileään ja hyvin ilmastoituun tilaan astia tiivistii suljettuna. Hävitys pitää katsoa tilanteen mukaan. Pienet määrät voi kaataa takaisin pulloon suppilon avulla. Huolellisesti tyhjennetyt huuhteluallat pohjalle jääneiden jäännösten voi antaa haihtua turvallisessa tilassa.

3 KÄYTTÖÖNOTTO

Tulostimen käyttöönotto oli 28.2.2017 Hämeen ammatti-
korkeakoulun Riihimäen kampuksella luokahuoneessa
D210. Tilaisuudessa oli läsnä Maker3D Oy:n työntekijä Pe-
ter Broberg, vastuopettaja Jaakko Vasko ja minä. Kävim-
me läpi tulostimen käyttöönoton, kalibroinnin ja lopuksi
tulostimme testimallin. Seuraavat luvut perehtyvät sy-
vemmin päivän tapahtumiin. (Broberg 2017.)

3.1 Tulostimen käyttöönotto

Form 2 toimitettiin koululle useissa merkatuissa pahvilaai-
tikoissa. Tulostin ja sen osat olivat erikseen pakattuina
omissa laatikoissaan. Ennen käyttöönottopäivää tulostin
oli purettu omasta laatikostaan mutta muihin laatikoihin ei
ollut koskettu. Tulostin ja sen muut osat oli toimitettu
luokkaan D210.

3.1.1 Esivalmistelut

Aloitettiin valitsemalla sopiva työskentelytason. Parhaiten
sopiva työtaso on tukeva ja tasainen. Vaihtoehdot olivat
rajoitetut, sillä luokassa ei ollut kuin yhdenlaista pöytä-
tyyppiä. Valittiin pöytä, joka oli lähellä vapaita pistorasioita
ja jossa oli riittävästi vapaata työskentelytilaa. Pistorasiois-
ta valittiin sellainen, joka ei ollut merkitty ATK-
pistorasiaksi. ATK-pistorasiat ovat kytketty vikavirtasuoja-
kytkimen taakse. Ei ole suositeltavaa, että 3D-tulostus kes-
keytyy vikavirtasuojakytkimen lauetessa. Form 2 on mah-
dollista kytkeä internettiin kaukohallintaa varten mutta jä-
timme sen kytkemättä.

3.1.2 Tulostimen kokoonpano

Form 2 ei ole täysin käyttövalmis suoraan paketista. Tulos-
timen mukana toimitettiin omissa paketeissaan tulostusta-
so, hartsikasetti, hartsiallas ja sen pyyhkijä. Tulostimen lo-
pullinen kokoonpano tapahtui Brobergin avustamana.
Broberg näytti ensin, kuinka kukin osa tuli paikalleen ja
tämän jälkeen antoi minun ja Vaskon laittaa ne paikalleen.

3.1.3 Ohjelmisto

Tulostimen viereen sijoitettiin kannettava tietokone, jolle asennettiin Formlabsin tekemä PreForm-ohjelma. PreForm on tulostettavien mallinnusten esikäsittelyohjelma. Sillä voi skaalata, kääntää ja siirtää mallia tulostusalustalla. Kuitenkin tärkein ominaisuus PreFormissa on tukirakenteiden generointi. PreFormissa on mahdollista luoda tukirakenteet automaattisesti tai säätää asetuksia omalle tulosteelle sopivaksi. Jokaisen esikäsittelyvaiheen voi tehdä itse manuaalisesti. Ohjelmassa on myös One-Click Print - ominaisuus, joka tekee automaattisesti mallin asettelun ja tukirakenteiden luonnin.

Kun malli on käsitelty ohjelmalla sopivaksi, se lähetetään ohjelman avulla tulostimelle. Tulostin vaatii vielä erillisen hyväksynnän ennen tulostustyön aloittamista.

3.1.4 Tasapainotus

Form 2 on ohjelmoitu niin, että sillä ei voi tulostaa, jos tulostin ei ole tasapainossa. Ennen tulostustyön aloittamista tulostimen näyttöön tulee ilmoitus, jos tulostin ei ole tasapainossa. Tulostin tasapainotetaan säätämällä jalkojen korkeutta erikoistyökalulla, joka toimitetaan tulostimen mukana. Tulostimen näytössä näkyy säädön ajan digitaalinen vesivaaka, joka auttaa hahmottamaan, mihin suuntaan jalkoja pitää säätää.

3.2 Testitulostus

Ensimmäiseksi tulosteeksi valittiin yksinkertaisen robotin mallinnus, jonka Vasko oli tehnyt aikaisemmin. Malli skaalattiin pieneksi, jotta säästäisimme tulostusaikaa. Käytimme normaalia 0.1 mm kerrospaksuutta. Asettelu ja tukirakenteet luotiin automaattisesti mutta pohjan kerrospaksuus määritettiin 1 mm:ksi säästääksemme aikaa. Tulostus kesti noin tunnin ja se arvioitiin onnistuneeksi. Jälkikäsitteily epäonnistui tarvittavan huuhtelunesteen puutteen vuoksi mutta tarkoitus oli vain todeta tulostimen toimivuus.

4 TESTAUS

Käyttöönoton jälkeen aloitimme testauksen, jolla pyritään selvittämään parhaimmat tavat käyttää tulostinta. Päätarjoituksena on selvittää asennon ja kerrospaksuuden vaikutus tulosteen laatuun. Pyrimme myös selvittämään, minkälaisiin ongelmiin aloitteleva tulostaja voi törmätä ja mitkä asiat ovat tärkeitä huomioida opastusta suunnitellessa.

4.1 Thingiverse

Thingiverse (Thingiverse 2017) on maailman laajin 3D tulostus yhteisö. Sivusto on suunnattu mallien jakamiseen ja lataamiseen. Sivuston perusti Zach Smith vuonna 2008 ja vuonna 2017 sivustolle on ladattu yli 700 000 mallinnusta. Suurin osa sivustolle ladatuista malleista on lisensoitu Creative Commons -lisenssin alle eli kuka tahansa voi käyttää tai muokata malleja. Tekemämme testit käyttävät Thingiversestä ladattuja malleja

4.2 Testit

Seuraavat kappaleet käsittelevät tarkemmin testejä, joita tulostimella tehtiin. Testeillä kartoitettiin Form 2 -tulostimen käyttökokemusta, tarkkuutta ja tulostusrajoja. Testeissä käytettiin Formlabsin PreForm -ohjelmaa.

4.2.1 Case Elf Ranger

Tämä oli käyttöönoton jälkeen ensimmäinen tulostus, joka tehtiin omassa valvonnassa. Tarkoituksena oli testata pienellä mutta silti yksityiskohtia sisältävällä mallilla, kuinka vaikeaa tulostimen käyttö on aloittelijalle. Mallinnuksena käytettiin käyttäjän Dutchmogul luomaa Elf Ranger mallia (Thingiverse 2016.) Käytimme PreFormin One-Click Print ominaisuutta, joka automaattisesti asettelee mallin ja luo sille tukirakenteet. Kuvassa 2 valmis kappale edestä ja takaa kuvattuna.



Kuva 2. Case Elf Ranger valmis kappale (Paso 2017).

Tulostin suoriutui tehtävästään hyvin. Brobergiltä saadun opastuksen jälkeen ohjelman käyttö ja tulostus tuntuivat helpolta ja yksinkertaiselta. Varsinkin tässä testissä, jossa käytettiin One-Click Printtiä, käyttäjällä ei ole valtaa muuttaa muuta kuin tulostustarkkuutta.

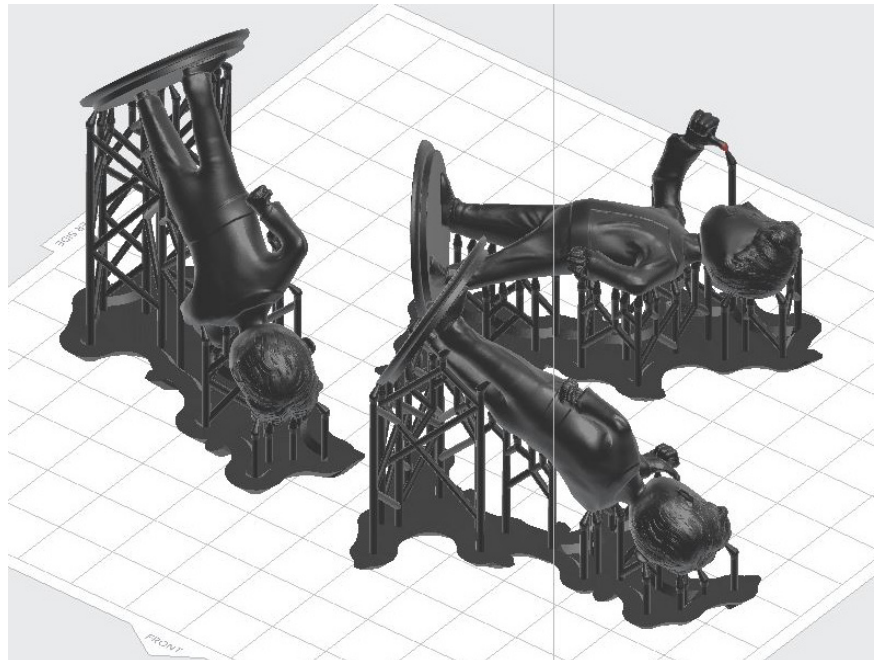
Tulostus onnistui muuten hyvin paitsi kahdelta osalta. Tukirakenteiden kosketuspisteiden paikoittamisen olisi voinut suorittaa paremmin. PreForm oli generoinut liian monta kosketuspistettä mallin jalkojen väliin. Paremmat kosketuspisteet olisivat luultavimmin tulleet, jos malli olisi orientoitu kylki työtasoa vasten tai kosketuspisteitä olisi vähennetty.

Toinen moitinnan aihe on jälkikäsittely. Kun tuloste on valmis, se pitäisi huuhdella isopropanolissa lähes välittömästi. Valitettavasti tavarantoimituksessa oli ongelmia ja saimme isopropanolin käyttöön kaksi viikkoa tulostuksen jälkeen. Tuloste pidettiin auringonvalolta suojattuna sen ajan mutta osa tulostuksesta jääneestä hartsista kerkesi kovettua tulosteen pintaan. Kokonaisuudessaan tulostus onnistui hyvin ottaen huomioon, että kyseessä oli ensimmäinen tulostus.

4.2.2 Case Vault Boy

Tämän testin tarkoituksena on selvittää erot One-Click Printin ja itse asetetun mallin välillä. Mallinnuksena käytettiin käyttäjän Abei luomaa Fallout Vault Boy mallia. (Thingiverse 2013.) Testistä saatua tietoa käytetään apuna, kun suunnitellaan opastusta tukirakenteiden luomisesta.

Malli tulostettiin kolmessa eri asennossa, joista yksi oli luotu automaattisesti ja kaksi itse asettelemalla. Itse aseteluista toinen on selällään ja toinen kyljellään. Kuvassa 3 on PreForm näkymä. Vasemmalla on automaattisesti aseteltu osa ja oikealla olevat kaksi itse aseteltuja osia. Kuvassa 4 valmiit kappaleet rinnakkain vasemmalta lähtien One Click Print, tuki selässä, tuki kyljellä.



Kuva 3. Case Vault Boy asetelma (Paso 2017).



Kuva 4. Case Vault Boy valmiit kappaleet (Paso 2017).

One-Click Printillä on kuitenkin suora yhteys tulosteen laatuun. Usein malleissa on sivuja tai puolia, jotka ovat tärkeämpiä kuin toiset esimerkiksi muotin syvennykset tai tässä tapauksessa hahmon kasvopiirteet. One-Click Print ei ota kantaa siihen, mikä sivu mallista on tärkeämpi kuin toinen. Tämä on selvästi huomattavissa valmiista kappaleista. Jokainen kosketuspiste jättää jäljen, kun tukirakenne irrotetaan. Tukirakenteen kanssa tulee huomioida kosketuspisteiden määrä ja paikka, jos haluaa varmistua tulostuksen laadusta. Myös mallin orientointi vaikuttaa tulostukseen laatuun, sillä tulostin on tarkempi korkeussuunnassa kuin vaakatasossa.

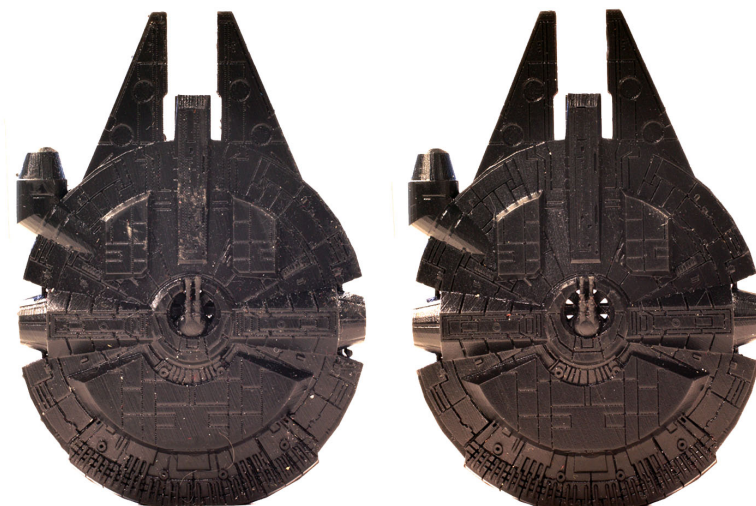
One-Click Print asetti mallin kasvot työtasoa vasten ja generoi tukirakenteet suoraan linjaan hahmon oikean jalan ja kasvojen keskiosan välille. Kasvojen pienet yksityiskohdat tulostuivat mutta jäivät peittoon kosketuspisteiden alle.

Selällään ollut malli kärsi pahimmin tukirakenteiden poistamisesta. Selällään ollessaan vaakatason pinta-ala on suurin ja tukipisteitä tarvitaan enemmän. Jostain syystä hahmon etupuolen yksityiskohdat eivät ole tulostuneet tarkasti. Pinnassa on havaittavissa kiiltoa, joka on merkki siitä, että hartsi ei ole kovettunut täydellisesti tulostuksen aikana. Syynä saattaa olla myös sama kuin edellisessä tapauksessa eli jälkikäsitteilyn viivästyminen.

Parhaiten kolmesta onnistui kyljellään ollut malli. Tukirakenteen keskittyi hahmon oikealle kyljelle ja pari pään oikealle puoliskolle. Tukirakenteet olivat paikoilla, josta ne oli helppo poistaa. Jos kosketuspisteiden jäljet haluaisi hioa pois, ne olisivat helposti käsiteltävissä. Kasvon ja kehon yksityiskohdat ovat tulostuneet onnistuneesti. Jatkoa ajatellen kosketuspisteiden kokoa ja sijaintia voisi harkita uudelleen paremman lopputuloksen aikaansaamiseksi.

4.2.3 Case Fillenium Malcom

Tämän testin tarkoituksena on selvittää, mikä vaikutus kerrospaksuudella on valmiin kappaleen laatuun. Mallinnuksena käytettiin käyttäjän aaskedall luomaa Fillenium Malcom mallia. (Thingiverse 2015.) Malli valittiin sen sisältämien pienten yksityiskohtien vuoksi. Niitä voidaan käyttää vertailukohtina eroja etsiessä. Testin tulosten avulla käyttäjä voi valita parhaiten itselleen sopivan kerrospaksuuden omaan tulosteeseensa. Testissä muuten samoja asetuksia kummankin kappaleen tulostuksessa. Ainoa ero oli kerrospaksuus, joka oli kappaleessa A 0,1 mm ja kappaleessa B 0,05 mm. Kuvassa 5 valmiit kappaleet. Vasemmalla kappale A ja oikealla kappale B.



Kuva 5. Case Fillenium Malcom valmiit kappaleet (Paso 2017).

Kummatkin tulostukset onnistuivat hyvin. Yksityiskohtat aluksen pinnalla toistuivat hyvin kummallakin kerrospaksuudella. Erot ovat havaittavissa enemmän yleisellä tasolla.

Kappaleen A kerrokset ovat selvemmin havaittavissa osan pinnassa. Pinnanlaatu tuntuu karheammalta ja pinta näyttää suttuiselta. Lopputulos oli silti todella hyvä ja täysin soveltuva pienten yksityiskohtien esittämiseen.

Kappaleen B kerrokset ovat myös nähtävissä mutta ne eivät pistä silmään niin pahasti. Pinnanlaatu on todella hyvä ja tasainen. Se, että osaan on tulostettu tuplasti enemmän kerroksia, näkyy parhaiten pyöreissä muodoissa. Jos kappale A olisi niin sanottu kuluttajaversio, kappale B on siihen verrattuna yritysversio. Kuvassa 6 on kummatkin kappaleet makrokuvattuna. Kuva on jaettu keskeltä kahtia, jotta erot ovat nähtävissä. Kuva on myös muokattu vihreäksi korostamaan yksityiskohtia. Vasemmalla kappale A ja oikealla kappale B.



Kuva 6. Case Fillenium Malcom makrokuvattuna (Paso 2017).

Yhteenvetona 0,1 mm sopii yleisimpiin käyttötarkoituksiin, kuten esittelykappaleiden tekoon, tuotemuotoiluun ja tuotekehitykseen. Näissä tapauksissa tarkempi 0,05 mm ei ole pois suljettu vaihtoehto. Tulostusjälki on huomattavasti parempi ja hartsia kuluu sama määrä riippumatta tarkkuudesta. Ainoa ero on tulostusaika. Koska kerrosmäärä kaksinkertaistuu, tulostusaika kasvaa. Mielenkiintoista on se, että aika ei kasva kaksinkertaisesti vaan noin puolitoistakertaiseksi. Case Fillenium Malcolmin kohdalla 0,1 mm tulostui neljä tuntia ja 15 minuuttia ja 0,05 mm kuusi tuntia ja 16 minuuttia. Aika kasvoi kaksi tuntia eli 1,4 kertaiseksi. Omasta mielestäni tarkempi kerrospaksuus kannattaa aina, jos on tarvittava lisäaika varattavissa.

5 OPASTUS

Opastuksen rooli Form 2 tulostinta käytettäessä on valttavan tärkeä. Ilman riittävää opastusta laitteen käyttö väärin voi aiheuttaa laitteen rikkoontumisen ja pahimmassa tapauksessa henkilövahinkoja. Seuraavat luvut kertovat opastuksen suunnittelusta ja arvioinnista. Opas itsessään on liite 1.

5.1 Suunnittelu ja toteutus

Oppaan suunnittelu alkoi layoutin teosta. Tulostimen käyttö jaettiin tärkeimpiin osa-alueisiin, joista käyttäjälle olisi eniten hyötyä. Ensimmäinen mockup-versio tehtiin nopeasti, jotta voitiin aloittaa käyttäjäkokeilut. Käyttäjäkokeilujen myötä huomattiin, että suunta oli oikea mutta siitä puuttui prosessin kokonaiskuvan hahmotus. Käyttäjän on hyvä tietää, miten tulostusprosessi etenee. Oppaaseen lisättiin sisällysluettelo ja luvut jäsennettiin järjestykseen, joka vastaa tulostusprosessia. Sivujen ylä- ja alaviitteet kertovat, missä vaiheessa prosessia ollaan menossa ja mitkä ovat edellinen ja seuraava vaihe.

Ensimmäinen luku Printing Process tiivistää tulostusprosessin kuuteen vaiheeseen ja avaa jokaista aihetta parilla virkkeellä. Käyttäjä saa yleisen kuvan siitä, miten tulostusprosessi etenee. Seuraavat luvut avaavat vaiheita tarkemmin.

Toinen luku Design Specifications listaa tulostimen rajoitukset kappaletta suunnitellessa. Käyttäjä voi perehtyä piirteiden suositeltuihin mittoihin ja mallintaa kappaleensa sopivaksi tulostuksen ajatellen. Luku myös kertoo suositellun mallinnuksen tiedostomuodon.

Kolmas luku Software kertoo perusteet mallinnuksen esikäsittelyohjelman, PreFormin käyttöön. Luku sisältää käyttäjälle tärkeimmät tiedot, kuten perusasetukset, tulostusajan tarkistuksen ja tulostettavuuden. Seuraavat luvut syventyvät tarkemmin ohjelman käyttöön.

Luvut neljä ja viisi sisältävät tulostuksen kannalta tärkeimmät aiheet eli orientaation ja tukirakenteet. Nämä kaksi asiaa ovat tärkeimmät tulostumisen onnistumisen kannalta. Sen vuoksi kumpikin niistä ansaitsee oman luvun oppaassa.

Oppaan viimeinen luku käsittelee tulostusprosessin viimeistä vaihetta eli jälkikäsitteilyä. Tässä vaiheessa on tärkeää työturvallisuus, joten turvallisuusohjeet on kirjoitettu suoraan otsikon jälkeen. Koska jälkikäsitteily on jokaiselle kappaleelle samanlainen, työvaiheet ovat numeroitu.

5.2 Käytettävyys

Käytettävyyttä voidaan arvioida useilla metodeilla. Ne voidaan kuitenkin jakaa kahteen pääryhmään, asiantuntija-arvioihin ja empiirisiin testeihin. Asiantuntija-arvioissa ei ole käyttäjiä ja näihin kuuluu muun muassa heuristinen ja kognitiivinen arviointi. Empiiriset testit ovat kokeellisia ja niistä yleisin on käytettävyystestaus. Testien avulla on tarkoitus paljastaa erityyppisiä käytettävyysongelmia tuotteissa ja käyttöliittymissä. (Mustaniemi 2009). Luku 5.2.1 käsittelee opastukselle tehtyä sovellettua heuristista arviointia.

5.2.1 Heuristinen arviointi

Jacob Nielsen (Nielsen 1995) kehitti Rolf Molichin kanssa vuonna 1990 heuristisen eli kokemukseen perustuvan arvioinnin. Heuristisella arviointitavalla on tarkoitus löytää ongelmia käyttöliittymän käytettävyydestä. Tämän kaltaisen arvioinnin hyviä puolia ovat sen nopeus, hinta ja se, että sitä voi käyttää suunnittelun alkuvaiheilla. Tätä arviointia voidaan myös käyttää yhdessä muiden käytettävyyden arviointitapojen kanssa. Huono puoli heuristisessa arvioinnissa on sopivien arvioitsijoiden löytäminen. Sen lisäksi, että arvioitsijoita tarvitaan useita, heidän pitäisi olla sekä käytettävyyden että arvioinnin kohteen alan asiantuntijoita.

Nielsenin arviointitavassa suositellaan, että useampi arvioitsija käy läpi itsenäisesti kymmenen kohdan muistilistan arvioidessaan käyttöliittymää. Hyvä määrä arvioitsijoita on kolmesta viiteen henkilöä. Arvioitsijoita on useampi, koska Nielsen huomasi, että ainoastaan yhteen arvioitsijaan ei voi luottaa löytääkseen kaikkia ongelmia käyttöliittymästä. Yksi asiantuntija voi löytää 20 % ongelmista, kun kymmenen asiantuntijaa voi löytää 85 % ongelmista. (Chambers 2016.) Nielsenin heuristisen arvioinnin muistilista (Nielsen 1995) sisältää kymmenen nyrkkisääntöä, joiden kannalta arvioitsija tarkastelee käyttöliittymää.

Näitä ovat muun muassa tuotteen tilan näkyvyys, esteettisyys ja minimalistinen design ja virheiden estäminen.

Opastuksen arvioinnin suorittaa tässä tapauksessa vain yksi henkilö, koska sopivia asiantuntijoita ei ollut enempää saatavilla. Arviointiasteikko on 0-3, jossa 0 on vakava ongelma ja 3 on ei ongelmia. Opastuksen arviointia varten tarkastellaan sitä seuraavia kolmea kohtaa soveltamalla:

- Tuotteen tilan näkyvyys
- Tuotteen ja tosielämän vastaavuus
- Yhteneväisyys ja standardit.

Tuotteen tilan näkyvyydellä tarkoitetaan, että käyttäjä tietää, missä kohtaa prosessia hän on menossa, mitä palautetta laite antaa väärin tehdessä ja mistä tietää, että työvaihe on valmis. Tilan näkyvyyden kannalta on tärkeää, että käyttäjä tietää, missä kohtaa prosessia hän on menossa ja mitä tulee seuraavaksi. Oppaassa tämä on huolehdittu sillä, että yläviitteessä on lueteltu kaikki prosessin vaiheet. Vaihe eli sivu, jolla on, on tummennettu tarkentamaan prosessin kulkua. Alaviitteessä näkyy nuolilla vahvistettuna seuraava ja edellinen sivu, jotta käyttäjä tietää paremmin, mitä seuraavana on luvassa kääntämättä sivua. Tuotteen tilan näkyvyys saa arvosanaksi 3.

Tuotteen ja tosielämän vastaavuus tarkoittaa, että käyttöliittymä puhuu samaa kieltä kuin käyttäjä eli käyttää samoja sanoja, ilmaisuja ja konsepteja, joihin käyttäjä on totunut. Tulostimen käyttäjät tulevat olemaan suurimmalta osalta insinööriopiskelijoita, joille tekninen kieli on tullut tutuksi viimeistään opintojen aikana. Oppaan kieli on teknistä. Normaalisti erikoissanaston käyttöä ei suositella vaan pitäisi käyttää kaikille tuttuja termejä. Tässä tilanteessa siitä on kuitenkin hyötyä, koska opas käyttää samaa termistöä kuin käytettävät ohjelmat. Termejä käyttämällä löytää internetistä helpommin apua ongelmiin koneen käytön kanssa. Tuotteen ja tosielämän vastaavuus saa arvosanaksi 2 sillä ei ole varmaa, onko termistö liian teknistä uudelle käyttäjälle. Tämä kohta vaatii käytännön kokeiluja, että saa varmuuden käytettävästä termistöä.

Yhteneväsyydellä ja standardeilla tarkoitetaan, että samat toiminnot ja viestit tarkoittavat samoja asioita kaikkialla käyttöliittymässä. Opas käyttää samoja termejä toiminnoille koko oppaan läpi. Oppaan luvut on järjestetty loogisesti. Kappaleet ovat samassa järjestyksessä kuin tulostusprosessi, joten opasta voi seurata prosessin edetessä. Kappaleet, jotka ovat tärkeitä tulostuksen onnistumisen kannalta, sisältävät linkit sivustoille, josta löytyy tarkempaa tietoa aiheesta. Kohta 3, joka kertoo perustietoa ohjelman käytöstä, imitoi ohjelman käyttöliittymää ohjeiden sijainnilla. Yhteneväsyyys ja standardit saa arvosanaksi 3.

6 YHTEENVETO JA ARVIOINTI

Toimeksianto vei minulta aikaa noin neljä kuukautta mutta suurimman osan ajasta tein palkkatöitä samalla. Viimeiset kaksi viikkoa tein opinnäytetyötä kokopäiväisesti, sillä työ oli saatava päätökseen ennen kesää. Työ tuli ehkä kiiruhdettua loppuun mutta olen silti tyytyväinen siihen, mitä sain aikaiseksi. Tulostin on nyt toimintavalmis. Tulostimen sijainti tulee luultavasti muuttumaan

Omalta osaltani opin paljon uutta 3D-tulostamisesta. Ennen tätä työtä minulla oli kokemusta vain FDM-tulostimista. Työ laajensi näkemystäni 3D-tulostamisen merkityksestä teollisuuden työvälineenä. Sain myös käyttöoppaan valmistamisesta ja arvioinnista uutta tietoa.

Olisin halunnut suorittaa enemmän käytettävyyden testauksia oppaalle mutta aika loppui kesken. Tulostimen tulevaisuutta ajatellen olisi hyvä, jos joku ottaisi työkseen arvioida oppaan toimivuutta empiirisillä kokeilla. Niiden perusteella kyseinen henkilö voisi valmistaa uuden, parannetun version oppaasta.

Kiitän Hämeen ammattikorkeakoulua ja Jaakko Vaskoa mahdollisuudesta työskennellä 3D-tulostamisen parissa. Toivon, että koulun tulevista oppilaista löytyy innokkaita henkilöitä työskentelemään tulostimien parissa.

LÄHTEET

Chambers, L. (2016). How to run an heuristic evaluation. Haettu 24.4.2017 osoitteesta <http://uxmastery.com/how-to-run-an-heuristic-evaluation/>

Formlabs (2017). Design Specs. Haettu 9.3.2017 osoitteesta <https://support.formlabs.com/hc/en-us/articles/115000024504-Design-Specs>

Formlabs (2016). Grey. Haettu 14.2.2017 osoitteesta https://formlabs.com/media/upload/Grey-SDS_IQLbyNE.pdf

Formlabs (n.d.). Isopropyl Alcohol. Haettu 14.2.2017 osoitteesta <https://support.formlabs.com/hc/en-us/articles/115000024624-Isopropyl-Alcohol-IPA->

Formlabs (n.d.). Safety first. Haettu 14.2.2017 osoitteesta <https://support.formlabs.com/hc/en-us/articles/115000011604-Safety>

Formlabs (2017). What Supports Do. Haettu 2.4.2017 osoitteesta <https://support.formlabs.com/hc/en-us/articles/115000018144-What-Supports-Do>

i.materialise (n.d.). Stereolithography. Haettu 31.1.2017 osoitteesta <https://i.materialise.com/3d-printing-technologies/stereolithography>

Kemikaalineuvonta (2010). "Vaara! Tunne kemikaalien uudet varoitusmerkit!". Haettu 14.2.2017 osoitteesta http://www.kemikaalineuvonta.fi/Documents/clp/esitteet/CLP_A4lyhyt_esite_FI_C-2010-2-FIN.pdf

Länkinen, T. (2016). Ei mikään leipäkone – Gartner: 3D-tulostimien markkina tuplaantumassa joka vuosi. Haettu 25.4.2017 osoitteesta <http://yle.fi/uutiset/3-9227626>

Mustaniemi, J. (2009). *Käytettävyyden arviointimenetelmät*. Opinnäytetyö. Tietojenkäsittelytieteen koulutusohjelma. Jyväskylän yliopisto. Haettu 24.4.2017 osoitteesta <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/19970/Johanna.Mustaniemi.pdf>

Nielsen, J. (1995). How to Conduct a Heuristic Evaluation. Haettu 21.4.2017 osoitteesta <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>

Nielsen, J. (1995). 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Haettu 21.4.2017 osoitteesta <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>

Tamro (2015). Käyttöturvallisuustiedote isopropanoli. Haettu osoitteesta <http://kayttoturvallisuustiedotteet.tamro.fi/webktt/frmPDF.aspx?id=90216>

Thingiverse (2013). Fallout vault boy by Abei. Haettu 7.3.2017 osoitteesta <http://www.thingiverse.com/thing:179150>

Thingiverse (2015). Fillenium Malcom by Aaskedall. Haettu 9.3.2017 osoitteesta <http://www.thingiverse.com/thing:919475>

Thingiverse (2016). Elf Rangers by Dutchmogul. Haettu 28.2.2017 osoitteesta <http://www.thingiverse.com/thing:1372824/>

Thingiverse (2017). What is Thingiverse. Haettu 7.3.2017 osoitteesta <http://www.thingiverse.com/about/>

Työterveyslaitos (n.d.). Työturvallisuus. Haettu 19.2.2017 osoitteesta <https://www.ttl.fi/tyoymparisto/tyoturvallisuus/>

Säteilyturvakeskus (2015). Laserluokat. Haettu 19.2.2017 osoitteesta <http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/laserluokat>

HAASTATTELUT JA MUUT SUULLISET LÄHTEET

Broberg P., Paso T., Vasko J. 2017. Formlabs Form 2 – tulostimen käyttöönotto-opastus. Tapaaminen 28.2.2017, Hämeen ammattikorkeakoulu.

KUVAT

Machine design (2015). SLA Process. Haettu 21.2.2017 osoitteesta <http://machinedesign.com/3d-printing/whats-difference-between-stereolithography-and-selective-laser-sintering>

Paso, T. (2017). Case Vault Boy asetelma. Otettu 7.3.2017.

Paso, T. (2017). Case Vault Boy valmiit kappaleet. Otettu 6.4.2017.

Paso, T. (2017). Case Elf Ranger valmis kappale. Otettu 6.4.2017.

Paso, T. (2017). Case Fillenium Malcom makrokuvattuna. Otettu 6.4.2017.

Paso, T. (2017). Case Fillenium Malcom valmiit kappaleet. Otettu 6.4.2017.

FORM 2 GUIDE



Table of contents

1. Printing Process
2. Design Specifications
3. PreForm Software
4. Orientation
5. Supports
6. Cleaning and Post-curing

1. Printing Process

Design

To start the 3D printing process, you need a 3D model. Design your own model using CAD software of your choice. You can also download the model from sites like **Thingiverse.com**, **Pinshape.com** or **Myminifactory.com**. The model is exported as a **.STL file** that's readable by the software that prepares the file for the printer.

Prepare

Form 2 uses Preform software to specify printing settings and slice the model into layers for printing. Printing settings include **material, layer height, scaling, orientation and support structure**. Once the preparation is complete, you can send the file to the printer via USB cable.

Print

Follow the instructions on the printer.

Clean

Once the print is complete, remove the print platform from the printer. The printed parts require rinsing in isopropyl alcohol (IPA) to remove any uncured resin.

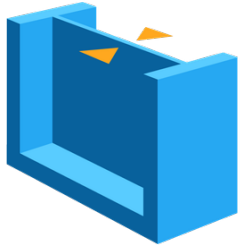
Cure

The printed parts require post curing in UV post-cure chamber. This finalizes the hardening process and stabilizes the mechanical properties.

Finish

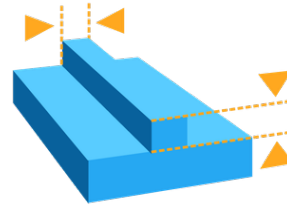
After rinsing and curing, supports can be easily removed with flush cutters. Remaining support marks can be sanded away.

2. Design Specifications



Minimum Supported Wall Thickness

Recommended: **0.4 mm**



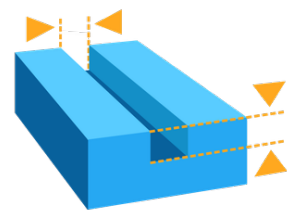
Minimum Embossed Detail

Recommended: **0.1 mm**



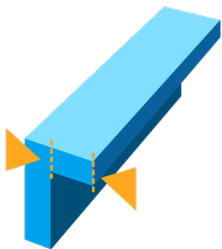
Minimum Unsupported Wall Thickness

Recommended: **0.6 mm**



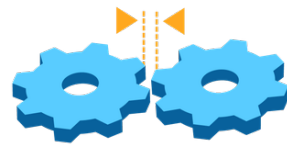
Minimum Engraved Detail

Recommended: **0.4 mm**



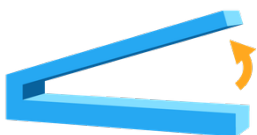
Maximum Unsupported Overhang Length

Recommended: **1.0 mm**



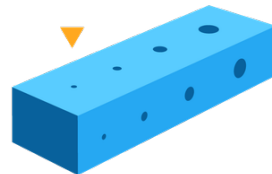
Minimum Clearance

Recommended: **0.5 mm**



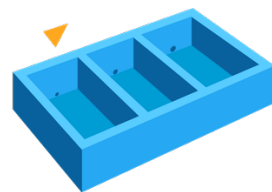
Minimum Unsupported Overhang Angle

Recommended: **19° from level**



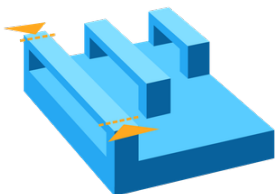
Minimum Hole Diameter

Recommended: **0.5 mm**



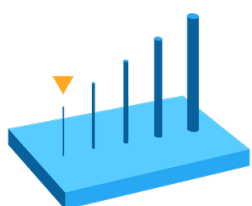
Minimum Drain Hole Diameter

Recommended: **3.5 mm**



Maximum Horizontal Support Span/Bridge

Recommended: **21 mm**

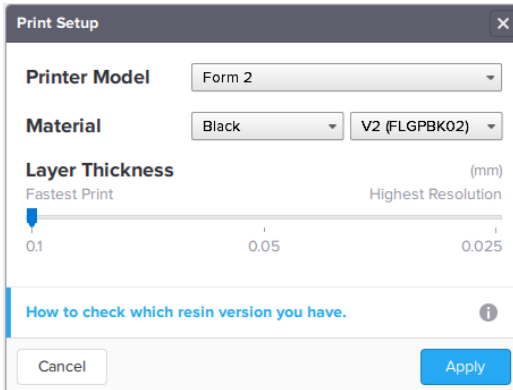


Minimum Vertical-Wire Diameter

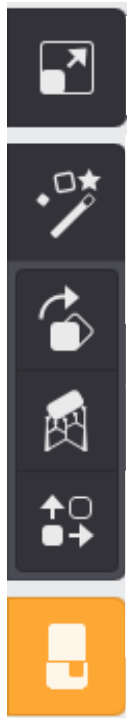
Recommended: **0.3 mm (7 mm tall) to 1.5 mm (30 mm tall)**

Export Your Model as .STL

3. PreForm Software



- **Printer model: Form 2**
- **Check that the material matches the one in the printer. Number is found on the bottle or cartridge label. If not, it is the number ending in 01.**
- **0.1 mm layer thickness is usually good choice.**



Scale

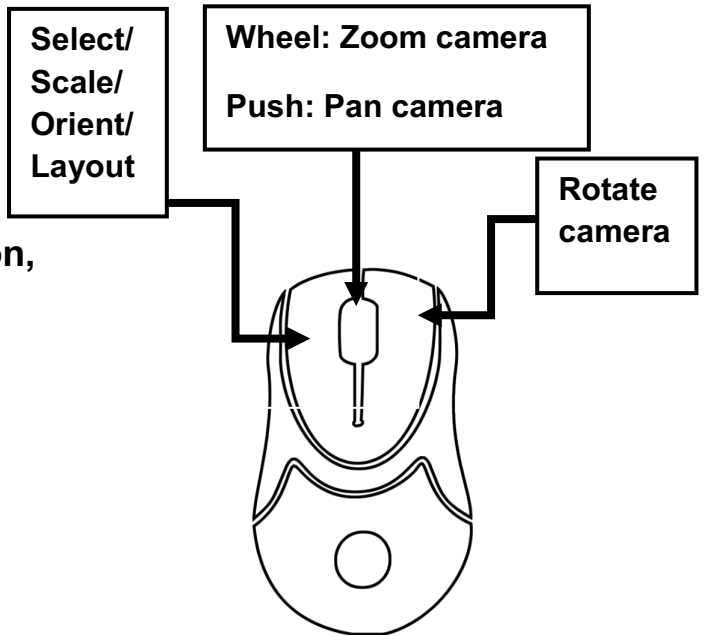
One Click Print: Automated orientation, Supports and Layout

Orientation

Supports

Layout
(Moving parts, making duplicates)

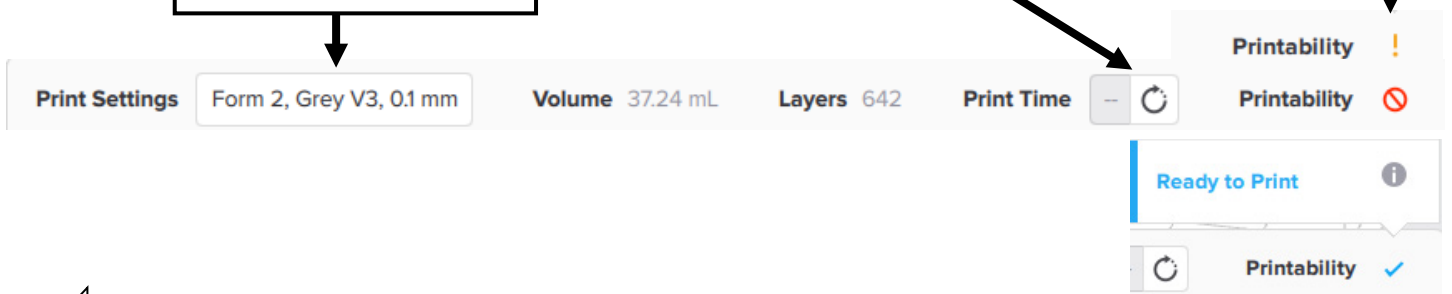
Send to printer



Estimate print time

Change print setup

Printability determines whether your print is likely to succeed. Hover cursor over the icon to see the problem.



← Design Specifications

Orientation →

4. Orientation

Keep in mind that Form 2 prints are inverted so what you see in Preform will print upside down in reality.

Rules of Orienting for Inverted SLA Printing

1. Make your part build off itself whenever possible.

Orienting your model so that it builds off itself saves time and will make the part print better.

2. Avoid enclosed cavities facing the bottom of the resin tank.

Enclosed cavities will create a suction effect that might lead to printing failure. Bottom of the resin tank is in the top of the build area queue.

Orient your model so that cupped parts are facing towards the build platform. More layers the cavity has the higher the risk of print failure.

Use the slider located on the right side of the screen to slice through the model to get a better view of the printing process.

3. Minimize surface area per layer.

After each layer, Form 2 “peels” the printed layer off the resin tank.

Large surface areas increase the pulling force in the peeling process.

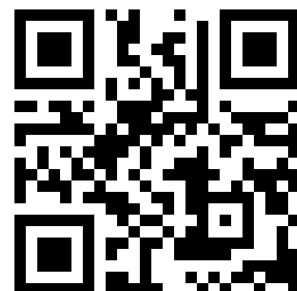
Flat surfaces will print more successfully when they are oriented at an angle of at least 10-20°.

4. Orient long parts parallel with the front of the machine.

This helps with the resin flow through the tank thus improving print reliability.

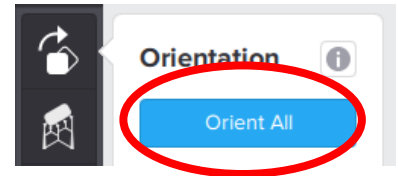
For more information on orientation go

<https://tinyurl.com/modelorient>

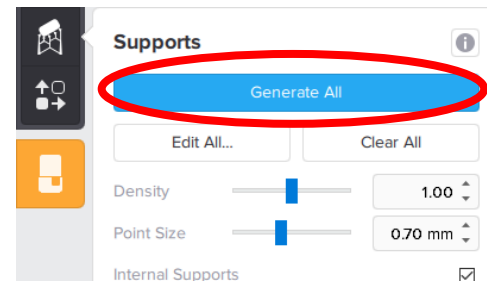


5. Supports

- Before adding supports you might want to orient your model to a slight tilt.
 - If you are unsure how to orient your model, use Orientation -> Orient All / Selected



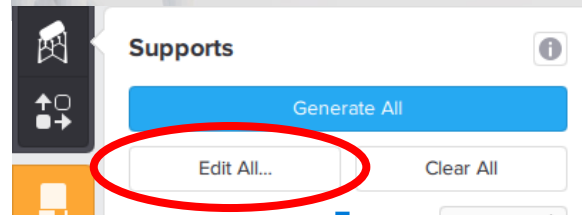
- To generate supports click Supports -> Generate All / Selected
- Depending on your model you might need to increase density or point size to get the result you want.



- After generating supports, check your model for red spots.
 - Red sections indicate unsupported structure. Deeper the color, more likely it is to not print well.
- To manually add/remove support click "Edit All / Selected"



- Click a point where you want the support to be added and when you are finished click "Apply Support Edits"



For more information on supports go

<http://tinyurl.com/kmvlh8o>

When you ready click  give a job name to your print and click "Send to Printer"



6. Cleaning and Post-curing

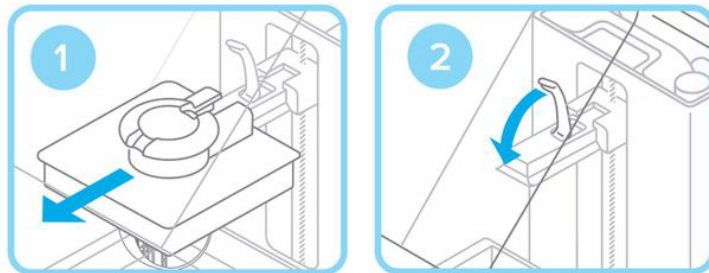


Wear gloves when handling parts.



Wear protective eyewear when removing supports.

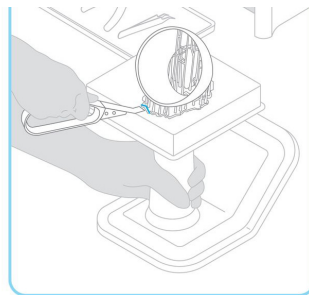
1. Remove the Build Platform



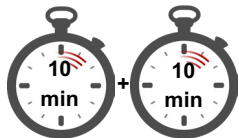
Close the printer cover after you are done.

2. Remove Your Print

Attach the build platform to the jig and pry the print off with removal tool.



3. Wash Your Print



Drop your print in the left side rinse bucket and leave it for **10 minutes**. Repeat with the process with the second rinse bucket. Keep the lids closed. Pick the print with tweezers and let it dry on a paper towel.

4. Post-cure and removing supports



Once dry, remove supports using flush cutters. Use protective glasses while removing supports. Put the print in UV oven for **one hour**.

