

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2019

Roope Sirkiä

SUIHKUJÄÄHDYTTIMIEN POTKURIT

– vaihtoehtoiset valmistustavat



Roope Sirkiä

SUIHKUJÄÄHDYTTIMIEN POTKURIT

- vaihtoehtoiset valmistustavat

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kokeilla W-Rix Oy:n käyttämien muovista valmistettujen potkurien valmistamista 3D-tulostamalla ja epoksivaluna. 3D-tulostamista kokeiltiin, jotta potkurin geometrian muutosten testaaminen olisi edullisempaa ja nopeampaa sekä piensarjoina valmistaminen olisi edullista. Epoksivalua testattiin, jotta korkean käyttölämpötilan tuomat ongelmat saataisiin minimoitua.

3D-tulostamista varten potkurin geometriaan tehtiin muutoksia, jotta potkuri olisi mahdollista tulostaa yhden suuttimen tulostimella. Potkuri jaettiin osiin, jotka lukkiutuivat toisiinsa kokoonpanon jälkeen. Epoksivalua varten potkurista valettiin polyuretaaninen muotti, johon valettiin korkean lämpötilan kestävä epoksia.

Työn tuloksena saatiin helposti tulostettava potkurin malli, joka on mahdollista tulostaa myös edullisimman luokan tulostimilla. Myös epoksista valmistettu potkuri saatiin valmiiksi ja lähetettiin asiakkaalle koeajoon.

ASIASANAT:

3D-tulostus, epoksi, muotti, potkuri

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering

2019 | 26 pages

Roope Sirkiä

PROPELLERS OF SPRAY COOLERS

- alternative manufacturing methods

The objective of this thesis was to test 3D printing and epoxy casting of the plastic propellers used by W-Rix Ltd. 3D printing was tested so the testing of geometry changes in the propeller would be cheaper and faster as well as the small-scale manufacturing of the propellers would be cheaper. Epoxy casting was tested so the problems caused by high operating temperatures could be minimized.

For 3D printing, changes were made to the geometry of the propeller to allow the printing of the propeller with a single nozzle printer. The propeller was divided in-to parts that would lock together after assembly.

For epoxy casting, a polyurethane mold was cast from the original propeller into which high temperature resistant epoxy was cast.

The result was an easy-to-print propeller model that could be printed on the most affordable class of 3D printers. The epoxy propeller was also completed and sent to the customer for testing purposes.

KEYWORDS:

3D-printing, epoxy, mould, propeller

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 POTKURIEN VAATIMUKSET JA VALMISTUS	7
3 POTKURIN 3D-TULOSTAMINEN	9
3.1 3D-tulostus	9
3.2 Potkurin geometrian muutokset tulostamista varten	13
3.3 Potkurin valmistaminen tulostamalla	15
4 POTKURIN EPOKSIVALU	18
4.1 Valuepoksi	18
4.2 Potkurin muotti ja valu	20
5 TULOKSET	24
6 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26

KUVAT

Kuva 1. COOLIT 8000-jäähdyttimiä käytössä (W-Rix Oy 2019).	6
Kuva 2. Vasemmalla COOLIT 8000 potkuri ja oikealla COOLIT 22000 potkuri	8
Kuva 3. FFF-menetelmässä kappale (punaisella) valmistuu kerroksista (Redwood ym. 2019, 37).	10
Kuva 4. Kappaleen sisälle tulevan täytön muotoja (Redwood ym. 2019, 212).	11
Kuva 5. Tulostettavan kappaleen ulokkeiden kulmat (Redwood ym. 2019, 44).	12
Kuva 6. Potkuri Cura-ohjelmassa, jossa kerrokset punaisella ja tukimateriaali syaanilla.	13
Kuva 7. Potkurin navan akselille sopivuutta varten tulostetut koekappaleet.	14
Kuva 8. Punaisella potkurin alkuperäinen malli, sinisellä potkurin napa ja vihreällä potkurin lapa.	15
Kuva 9. Tulostettu napa ja kolme lapa.	16
Kuva 10. Vasemmalla koneistettu potkuri ja oikealla tulostettu.	17
Kuva 11. Potkurin muottilaatikon havainnekuva, jossa pohjalevy sinisellä, putki korvineen vihreällä ja potkuri punaisella.	20
Kuva 12. Vasemmalla polyuretaani muottilaatikossa ja oikealla painekammio.	21
Kuva 13. Vasemmalla kuivunut muotti ja oikealla muotti potkurin poiston jälkeen.	22
Kuva 14. Vasemmalla koneistettu potkuri ja oikealla epoksivalu potkuri.	23

TAULUKOT

Taulukko 1. Smooth-On EpoxAcast 670 HT -epoksin ominaisuuksia (Smooth-On 2019, 1).	19
Taulukko 2. VytaFlex-polyuretaanin ominaisuudet (Smooth-On 2019, 15).	20

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kokeilla W-Rix Oy:n käyttämien muovista valmistettujen potkurien valmistamista 3D-tulostamalla ja epoksivaluna. Laitteiden potkurit valmistetaan yleensä korkeatiheyksisestä polyeteenistä koneistamalla. Jotta potkurien kappalehinta saadaan sopivalle tasolle, joudutaan niitä valmistamaan useita varastoon. Työssä kokeiltiin mahdollista potkurien 3D-tulostamista ja epoksivalua, jotta potkureita ei täytyisi varastoida suuria määriä ja potkurien geometrian muutosten testaaminen olisi halvempaa ja nopeampaa.

W-Rix Oy on Paraisilla toimiva vedenkäsittelylaitteisiin erikoistunut yritys. W-Rix suunnittelee, valmistaa ja asentaa AIRIT-pintailmastimia, COOLIT-suihkujäähdyttimiä (kuva 1), MIXIT-sekoittimia ja DENIT-yhdistelmälaitteita. Laitteita käytetään jätevesien ja prosessivesien käsittelyyn sekä luonnonvesien ja kalankasvattamoiden ilmastukseen ja jäähdytykseen. (W-Rix Oy 2019, 3–6.)



Kuva 1. COOLIT 8000-jäähdyttimiä käytössä (W-Rix Oy 2019).

2 POTKURIEN VAATIMUKSET JA VALMISTUS

W-Rix Oy:n alle kuuden kilowatin moottorilla varustettujen laitteiden potkurit ovat yleensä muovisia. Prosessi- ja jätevedet, joissa koneita yleensä käytetään, sisältävät useita eri kemikaaleja, jotka voivat vahingoittaa potkureita. Veden lämpötila saattaa myös olla korkea käyttökohteissa, noin 70 °C (Martikainen 2019).

Näiden vaatimusten ja pienten sarjakokojen takia potkurit valmistetaan koneistamalla PE300-polyeteenistä. Polyeteenistä valmistettujen potkurien käyttölämpötila-alue on 50–80 °C, mutta korkeassa lämpötilassa kemikaalit voivat vahingoittaa niitä (Vink Oy 2019, 2–4). Koneistamalla valmistettuja potkureita ei ole kannattavaa tehdä vain muutamaa kerrallaan, koska tällöin valmistuskulut potkuria kohden ovat liian suuret. Kallein ja suurin muovisista potkureista on COOLIT 22000-laitteen etupotkuri, jonka halkaisija on noin 200 mm.

Polyeteenistä valmistetut potkurit ovat yleensä riittävän kestäviä käyttökohteisiin, mutta osassa kohteista suuret lämpötilat aiheuttavat potkurien rikkoontumisia. Esimerkkinä COOLIT 8000-laitteen potkuri, jonka lavat ovat niin ohuet, että suurissa lämpötiloissa ne taipuvat paljon. Näiden vaatimusten perusteella epoksivalun kokeiluun valittiin COOLIT 8000-laitteen potkuri ja 3D-tulostukseen COOLIT 22000-laitteen etupotkuri (kuva 2).



Kuva 2. Vasemmalla COOLIT 8000 potkuri ja oikealla COOLIT 22000 potkuri

3 POTKURIN 3D-TULOSTAMINEN

3.1 3D-tulostus

3D-tulostus on ainetta lisäävä valmistustapa, jossa valmistettava kappale rakennetaan useista kerroksista. 3D-tulostustekniikoita on useita ja niillä on omat rajoitteet ja materiaalit. (Redwood ym. 2019, 14–15.)

SFS-EN ISO/ASTM 52900 standardin mukaan 3D-tulostustekniikat voidaan jakaa seuraaviin kategorioihin:

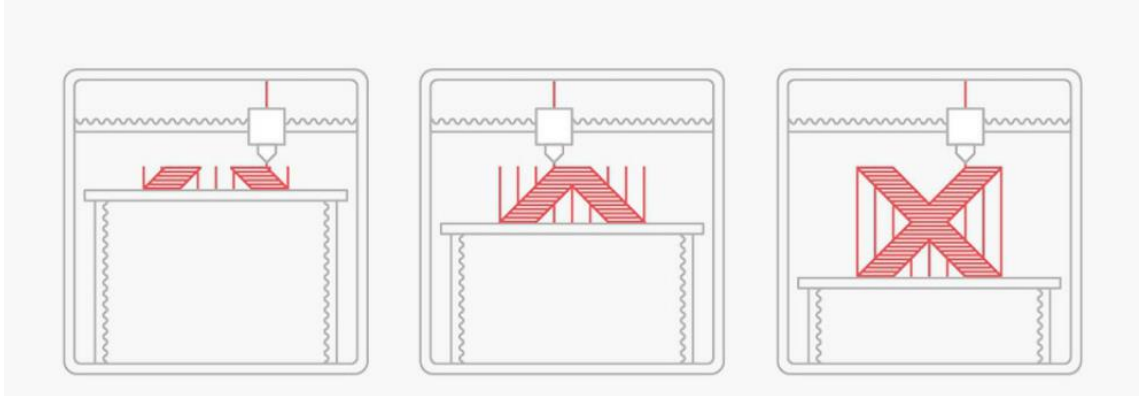
- Sideaineen suihkutus, eli menetelmä, jossa nestemäistä sideainetta kohdistetaan valittuihin kohtiin jauheen yhteenliittämiseksi.
- Suorakerrostus, eli menetelmä, jossa kohdennetulla lämpöenergialla, kuten laserilla, elektronisuihkulla tai plasmalla, sulatetaan liitettävää materiaalia.
- Pursotus, eli menetelmä, jossa materiaalia annostellaan suuttimen tai reiän läpi kohdennetusti.
- Materiaalin suihkutus, eli menetelmä, jossa pisaroina oleva raaka-aine kovetetaan kohdennetusti.
- Jauhepeticulatus, eli menetelmä, jossa lämpöenergialla sulatetaan jauhepedin kohdennettuja alueita.
- Kerroslaminointi, eli menetelmä, jossa materiaalileikkeitä liitetään muodostaen niistä kappale.
- Valokovetus altaassa, eli menetelmä, jossa nestemäistä muovia kovetetaan käyttäen valoaktiivista polymerointia kohdennetusti.

(Metalliteollisuuden Standardointiyhdistys ry 2017, 7-8.)

Tässä opinnäytetyössä päätettiin keskittyä materiaalia pursottavaan 3D-tulostukseen, sillä se on tekniikoista yleisin ja tämän takia myös edullisin. Lisäksi kirjoittajalta löytyi aiempaa kokemusta tästä tekniikasta.

Materiaalin pursotustekniikoista yleisin on fused filament fabrication (FFF). FFF-menetelmässä materiaali on lankana kerällä, josta se syötetään moottorilla lämmitetyn suuttimen läpi tulostusalustalle. Tulostin liikuttaa suutinta alustalla tai alustaa suuttimen alla, pursottaen muovia haluttuun paikkaan, johon se jähmettyy jäähtyessään. Kun kerros on

tulostettu, tulostin nostaa suutinta tai laskee alustaa ja aloittaa seuraavan kerroksen tulostamisen edellisen päälle. (Kuva 3.) Tällä tavoin kappale rakennetaan valmiiksi kerroksittain (Redwood ym. 2019, 36.)

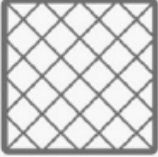
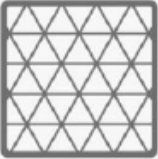

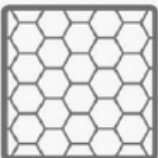


Kuva 3. FFF-menetelmässä kappale (punaisella) valmistuu kerroksista (Redwood ym. 2019, 37).

FFF-menetelmässä kappaleen valmistus aloitetaan luomalla kappaleesta 3D-malli. 3D-malli voidaan luoda tietokoneavusteisella suunnitteluohjelmalla (CAD) tai 3D-skannamalla. Valmis 3D-malli muutetaan STL-muotoon, jotta tulostimen ohjausratojen luontiin käytettävä pilkontaohjelma pystyy lukemaan sitä.

STL-formaatilla tarkoitetaan kappaleen pintageometrian kolmioverkkoon perustuvaa esitysmuotoa, jota käytetään kappaleen 3D-geometrian siirtoon (Metalliteollisuuden Standardintyhdistys ry 2017, 12). STL-muodossa oleva 3D-malli siirretään pilkontaohjelmaan, jonka avulla tehdään G-koodi tulostinta varten. Pilkontaohjelmia on useita, joista tässä työssä keskityttiin käyttämään Ultimaker Cura-ohjelmaa, sillä kirjoittaja osasi käyttää kyseistä ohjelmaa entuudestaan. Ohjelmassa säädetään kappaleen halutut parametrit. Säädetäviä parametrejä ovat esimerkiksi kerroskorkeus, kappaleen täyttötiheys, seinämien vahvuus, tulostuslämpötila ja tulostusnopeus.

Yleensä FFF-menetelmällä valmistettavat osat jätetään osittain ontoiksi. Tämä tehdään, jotta säästetään materiaalia ja pienennetään tulostusaikaa. Kappaleen sisälle tulostetaan täyttö (kuva 4), jonka muotoa ja tiheyttä voidaan muuttaa pilkontaohjelmasta. Täytön muoto ja tiheys vaikuttavat myös suoraan kappaleen kestävyteen. (Redwood ym. 2019, 40.)

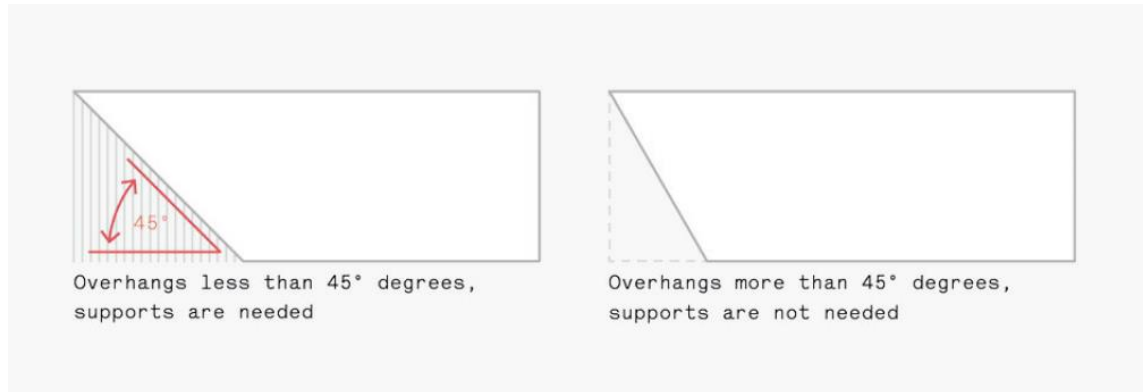
Infill geometry	Description
Rectangular 	Standard infill pattern for most FFF prints. Has strength in all directions and is relatively fast to print. Requires the printer to do the least amount of bridging across the infill pattern.
Triangular or diagonal 	Used when strength is needed in the direction of the walls. Triangular infill takes longer to print.
Wiggle 	A good choice for designs that need to be soft, to twist, or to compress particularly when printed with a soft rubbery material or softer nylon.
Honeycomb 	Popular infill. Is very strong providing strength in all directions.

Kuva 4. Kappaleen sisälle tulevan täytön muotoja (Redwood ym. 2019, 212).

Kun halutut parametrit on säädetty, ohjelma tekee kappaleesta G-koodin. G-koodi tallennetaan muistikortille tai lähetään suoraan tulostimelle. G-koodi on numeerisen ohjauksen ohjelmointikieli, jota käytetään CNC-työstökoneissa sekä 3D-tulostimissa (Redwood ym. 2019, 16). Tulostaminen tapahtuu syöttämällä tallennettu G-koodi tulostimelle, jonka avulla tulostin luo kappaleen.

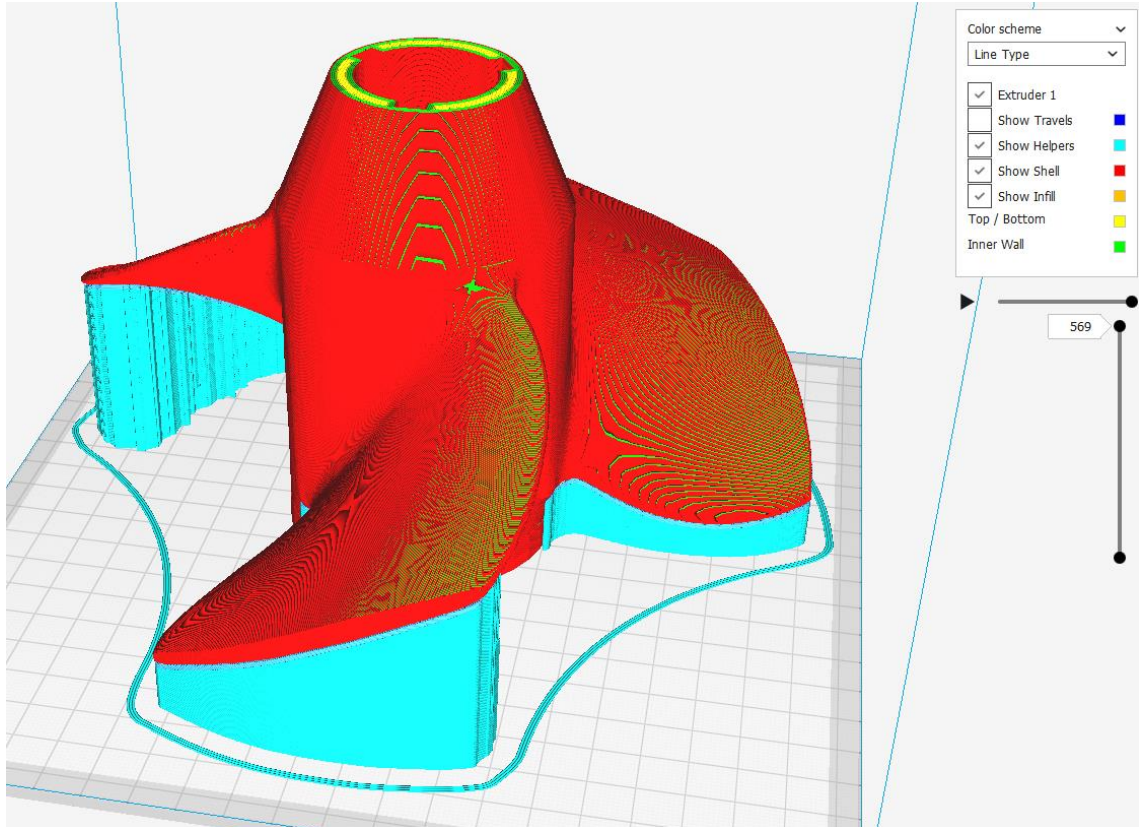
Opinnäytetyössä käytettiin kirjoittajan omaa 3D-tulostinta. Tulostin oli muutaman vuoden vanha Anycubic i3 Mega, joka on kotikäyttöön tarkoitettu edullinen laite. Tulostusalueen koko on noin 200x200x200 mm ja tulostimessa on yksi suutin.

3D-tulostuksen toimintaperiaatteen takia tulostettavan kappaleen pitää alkaa tulostusalustasta. Tulostettavassa kappaleessa voi olla myös ulokkeita, jotka eivät ala alustasta. Tällöin ulokkeen kulman pitää olla riittävä (kuva 5).



Kuva 5. Tulostettavan kappaleen ulokkeiden kulmat (Redwood ym. 2019, 44).

Tulostamisessa voidaan myös käyttää apuna väliaikaisia tukia, jotka poistetaan tulostamisen jälkeen. Kahdella suuttimella varustetussa tulostimessa voidaan toisella suuttimella pursottaa vesiliukoista materiaalia, jolloin ulokkeet voivat olla lähes minkälaisia vain ja ulokkeen pinnanlaatu saadaan hyväksi. Yhdellä suuttimella ei voida käyttää vesiliukoista tukimateriaalia, jolloin tukina joudutaan käyttämään samaa materiaalia kuin tulostetussa kappaleessa (kuva 6). Kun tukimateriaali on samaa kuin tulostetussa kappaleessa, on ulokkeen pinnanlaatu vaikea saada hyväksi.



Kuva 6. Potkuri Cura-ohjelmassa, jossa kerrokset punaisella ja tukimateriaali syaanilla.

3.2 Potkurin geometrian muutokset tulostamista varten

Potkurin tulostaminen aloitettiin tutkimalla potkurin 3D-mallia. W-Rix Oy toimitti potkurin valmiin Solidworks 3D-mallin, joka kokeiltiin ensin tulostaa pienemmässä koossa yhtenä kappaleena. Koska kirjoittajan tulostimessa oli vain yksi suutin, jouduttiin potkurin lapojen tukina käyttämään samaa materiaalia kuin tulostettavassa kappaleessa. Aiemman kokemuksen perustella oli tiedossa, että potkurin lapojen pinta tulisi olemaan huono niistä kohdista, joissa tukia jouduttiin käyttämään. Ensimmäisen kokeilun jälkeen päätettiin, että potkuri jaetaan osiin. Tällöin lavat ja napa voitaisiin tulostaa erillään, jolloin lapojen pinnanlaatu olisi hyvä.

Tulostimen toleransseista ei ollut täyttä varmuutta, joten potkurin navasta tehtiin useita pieniä koekappaleita. Tulostettuun koekappaleeseen tehtiin akselia varten reikä sekä kiilaurat. Tulostetuissa koekappaleissa suurennettiin akselin ja kiilaurien kokoa 0,1 mm välein. Näitä kappaleita kokeiltiin sovittaa akselille ja tasakiiloihin. Parhaiten akselille sopivassa kappaleessa reiän koko 3D-mallissa oli 0,4 mm suurempi kuin nimellinen

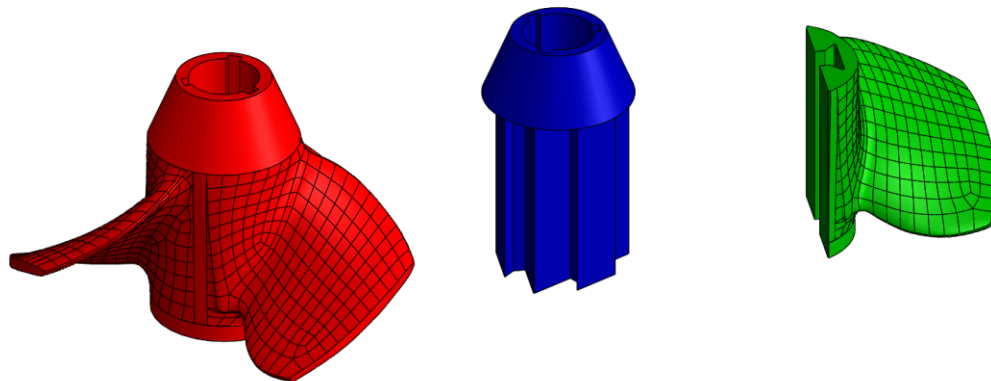
halkaisija. Parhaiten tasakiiloihin sopivassa kappaleessa taas kiilauran leveys oli 3D-mallissa 0,1 mm suurempi kuin nimellinen leveys. (Kuva 7.)



Kuva 7. Potkurin navan akselille sopivuutta varten tulostetut koekappaleet.

Näiden kokeilujen perusteella päästiin muokkaamaan itse potkurin geometriaa. Potkurin napa ja lavat erotettiin toisistaan (kuva 8). Tämän jälkeen osiin tehtiin lohenpyrstöliitos, jotta osat lukkiutuisivat toisiinsa. Liitoksen mitoituksessa ei mietitty kulmien vaikutusta kestävyYTEEN, vaan liitoksen mitoitusta tehtiin sen mukaan, että se voidaan 3D-tulostaa käytössä olevalla tulostimella. Tämä tarkoittaa sitä, että tulostettaessa mikään kulma ei ole täysin terävä. Tulostimen toimintaperiaatteen takia jokaiseen kulmaan tulee pieni pyöristys, johtuen suuttimesta.

Lohenpyrstöliitoksesta tehtiin myös koekappaleita, joilla haettiin muodon toleranssit sopiviksi, jotta osien kokoonpano olisi mahdollinen. Parhaiten toisiinsa sopivien osien väliin jäi 3D-mallissa 0,4 mm rako. Näiden testien jälkeen valitut toleranssit laitettiin navan ja lapojen 3D-malleihin, jonka jälkeen päästiin tulostamaan ensimmäistä potkuria.



Kuva 8. Punaisella potkurin alkuperäinen malli, sinisellä potkurin napa ja vihreällä potkurin lapa.

3.3 Potkurin valmistaminen tulostamalla

Itse potkurin tulostaminen aloitettiin tuomalla navan malli Cura-ohjelmaan. Ohjelmassa napa käännettiin asentoon, jossa sen tulostamiseen ei tarvita tukia. Tämän jälkeen säädettiin parametrit aiemmasta kokemuksesta sopiviksi. Tärkeimmät parametrit olivat seuraavat:

- Suuttimen koko 0,4 mm
- Materiaali PLA
- Kerroskorkeus 0,2 mm
- Seinämien vahvuus 1,6 mm
- Täyttötiheys 50 %
- Täytön muoto suorakulmainen

Tulostamisen materiaalina käytettiin polylaktidi-muovia (PLA), koska sen hinta oli alhaisin materiaaleista sekä sopivat parametrit tälle olivat hyvin tiedossa. Kerroskorkeudeksi valittiin 0,2 mm, koska aiempien tulostuksien perusteella tällä korkeudella pinnanlaatu on riittävän hyvä ja tulostusaika pienenee huomattavasti oletusarvon 0,1 mm kerroskorkeudesta. Seinämien vahvuudeksi valittiin neljä kertaa suuttimen leveys, koska aiemmista kappaleista huomattiin tämän tuovan hyvän pinnanlaadun. Täyttötiheydeksi

valittiin 50 %, koska tällä kappaleesta tuli jäykkä sekä tulostusaika ei vielä kasvanut todella suureksi. Täytön muotona käytettiin oletusarvona olevaa suorakulma-valintaa, sillä se on tukeva joka suuntaan sekä nopea tulostaa (Redwood ym. 2019, 212). Näillä asetuksilla navan tulostus onnistui hyvin, joten lavat tulostettiin myös samoilla asetuksilla yksi kerrallaan (kuva 9).

Tulostuksen jälkeen napa ja lavat sopivat hyvin yhteen. Kokoonpanon jälkeen koneistetun ja tulostetun potkurin mittoja verrattiin toisiinsa (kuva 10). Tulostetun potkurin mittoissa oli muutaman millin kymmenyksen verran heittoa. Suurin ero huomattiin pinnanlaadussa. Tulostetun potkurin pinta ei ikinä ole täydellinen, vaan siinä näkyvät kerroksien rajat ja kerroskorkeudesta johtuvat muodon yksinkertaistukset. Nämä virheet olivat niin pieniä, että niiden ei arvioitu tuottavan ongelmia, sillä tulostetun potkurin tarkoitus olisi alkuun toimia prototyyppinä laitteen testeissä.



Kuva 9. Tulostettu napa ja kolme lapaa.



Kuva 10. Vasemmalla koneistettu potkuri ja oikealla tulostettu.

4 POTKURIN EPOKSIVALU

4.1 Valuepoksi

Epoksit ovat kertamuoveja, joissa epoksihartsit kovettuvat sekoittamalla siihen sopivaa kovetetta. Epoksien hyviä ominaisuuksia on useita, kuten pieni kutistuminen kovettuessa, laaja käyttölämpötila-alue ja hartsin useat olomuodot. Epoksihartsia löytyy useita täysin nestemäisen ja kiinteän väliltä. Näiden ominaisuuksien takia epoksit ovat laajalti käytettyjä liimoissa, pinnoitteissa ja komposiiteissa. (Ratna 2009, 155.)

Epoksin kahden pääainesosan, epoksihartsin ja kovetteen, lisäksi epokseihin voidaan lisätä erilaisia lisäaineita. Näiden lisäaineiden avulla epoksin ominaisuuksia pystytään muuttamaan, esimerkiksi käyttölämpötilaa, viskositeettia, sitkeyttä ja sähkönjohtavuutta. (Ellis 1993, 117–125.)

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin Smooth-On yrityksen valmistamaa EpoxAcast 670 HT-epoksia. Epoksi valittiin valmistajan ilmoittamien ominaisuuksien takia (taulukko 1).

EpoxAcast 670 HT on valuepoksi, joka tarjoaa korkean lämmönkestävyyden. Lämmönkestävyys on jopa 177 °C, jos kappale lämpökäsitellään kovettumisen jälkeen tai 122 °C, jos lämpökäsittelyä ei tehdä. Epoksin viskositeetti on myös suhteellisen matala, jolloin valuun jää mahdollisimman vähän ilmakuplia. Kutistuvuus kovettuessa on 0,002 mm per valettu mm. (Smooth-On 2019, 1.)

Taulukko 1. Smooth-On EpoxAcast 670 HT -epoksin ominaisuuksia (Smooth-On 2019, 1).

EpoxAcast™ 670 HT High Temp Castable Epoxy	
Handling Properties	
Mix Ratio By Weight	100 A : 16 B
Mixed Viscosity - cps. (ASTM D2393)	6,000
Specific Gravity - Mixed; g./c.c. (ASTM D1475)	1.15
Spec. Volume - Mixed; cu. in./lb. (ASTM D792)	20.51
Pot Life* (ASTM D2471)	3 Hours
Cure Time*	24 Hours followed by: Heat cure for 2 hrs at 175°F/80°C followed by 3 hrs at 300°F/150°C
Color - Mixed	Beige
Physical Properties	
Shore D Hardness (ASTM D2240)	90
Ultimate Tensile - psi (ASTM D638)	4,500
Tensile Modulus - psi (ASTM D638)	332,000
Tensile Elongation (ASTM D638)	0.65%
Flexural Strength - psi (ASTM D790)	11,000
Flexural Modulus - psi (ASTM D790)	254,000
Compressive Strength - psi (ASTM D695)	13,000
Compressive Modulus - psi (ASTM D695)	101,400
Shrinkage - in./in. (ASTM D-2566)	0.002
Heat Deflection Temp. (ASTM D648)	
If cured at room temperature	252° F / 122° C
if post cured according to heat curing schedule	350° F / 177° C
<p>Volume Resistance (ohm) (ASTM D257-99): >5.42E+11 Volume Resistivity (ohm cm) (ASTM D257-99): >3.59E+15 Dielectric Constant k' @ 60 Hz (ASTM D150-98): 5.3 Dielectric Constant k' @ 1 kHz (ASTM D150-98): 5.08 Dielectric Strength (V/mil) (ASTM D-147-97a): 404</p> <p><i>All values measured after 7 days at 73°F / 23°C</i> *Pot Life and Cure Time values are dependent on mass and mold configuration, as epoxies are mass-sensitive.</p>	

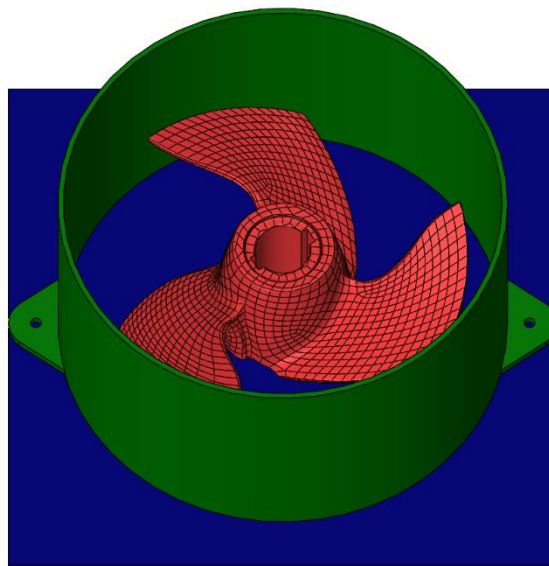
4.2 Potkurin muotti ja valu

Epoksivalua varten tarvittiin potkurin muotti. Koska kokeilun kustannukset haluttiin pitää matalina, päätettiin myös muotti tehdä valuna käyttämällä koneistettua potkuria. Aiemmista projekteista oli tiedossa, että epoksin valuun sopii hyvin muottipolyuretaanista tai muottisilikonista valmistetut muotit. Aiemmin oltiin käytetty Smooth-On -yrityksen VytaFlex-sarjan polyuretaaneja muottien valmistamiseen. VytaFlex-polyuretaaneja (taulukko 2) vertailemalla päädyttiin VytaFlex 20-materiaaliin, sillä sen viskositeetti oli pienin (1000 cps), murtovenymä suurin (1000 %) sekä väriltään se oli läpikuultava, jolloin ilmakuplat olisi mahdollista havaita (Smooth-On 2019, 15).

Taulukko 2. VytaFlex-polyuretaanin ominaisuudet (Smooth-On 2019, 15).

	Vytaflex 10	Vytaflex 20	Vytaflex 30	Vytaflex 40	Vytaflex 45	Vytaflex 50	Vytaflex 60
Viskositeetti (cps)	3100	1000	1800	2000	2000	2000	2000
Kuivumisaika	24 h	16 h	16 h	30 min	30 min	60 min	16 h
Shore A kovuus	10	20	30	40	45	50	60
Väri	luonnonvalkoinen	kirkkaan kellertävä	luonnonvalkoinen	luonnonvalkoinen	luonnonvalkoinen	luonnonvalkoinen	luonnonvalkoinen
Murtovenymä (%)	1000	1000	1000	660	900	400	480

Muotin valmistaminen aloitettiin etsimällä potkurin halkaisijaa hieman suurempi putki, josta sahattiin potkuria noin 30 mm pidempi pala. Putkeen hitsattiin korvat, joiden avulla putki kiinnitettäisiin pohjalevyyn. Pohjalevyksi leikattiin putkea hieman suurempi MDF-levy. (Kuva 11.)



Kuva 11. Potkurin muottilaatikon havainnekuva, jossa pohjalevy sinisellä, putki korvi-
neen vihreällä ja potkuri punaisella.

Potkuri kiinnitettiin väliaikaisesti pohjalevyyn kuumaliimalla, jotta se olisi mahdollista irrottaa helposti muotin valun jälkeen. Putken ja pohjalevyn välinen sauma tiivistettiin varmuudeksi vielä silikonilla, jotta nestemäinen polyuretaani ei valuisi muottilaatikon ulkopuolelle.

Ennen valua potkuri ja muottilaatikko käsiteltiin muotiniirrotusaineella, jotta potkuri varmasti irtoaisi muotista. Tämän jälkeen polyuretaani ja kovete mitattiin tarkasti vaa'alla valmistajan ilmoittaman sekoitussuhteen mukaan. Polyuretaanin muottilaatikkoon kaataminen tapahtui kaatamalla hitaasti koko ajan yhteen kohtaan. Tällöin materiaali peittää hitaasti potkurin ja mahdollisten ilmakuplien määrä minimoituu. Kaadon jälkeen koko muotti laitettiin maaliruiskun paineastiasta valmistettuun painekammioon, jotta ilmakuplien määrä saataisiin minimoitua. Painekammion kansi suljettiin huolellisesti ja se liitettiin paineilmaletkuun. Paine kammiossa säädettiin 4 bariin, jonka jälkeen venttiili suljettiin ja letku irrotettiin. Muotin annettiin kuivua varmuudeksi viikonlopun yli painekammiossa, vaikka valmistajan ilmoittama kuivumisaika oli 24 tuntia (kuva 12).



Kuva 12. Vasemmalla polyuretaani muottilaatikossa ja oikealla painekammio.

Muotin kuivuttua aloitettiin potkurin irrottaminen muotista. Irrottaminen tapahtui poistamalla pohjalevy ja putki muotin ympäriltä. Tämän jälkeen tehtiin terävällä veitsellä

potkurin lapojen reunoja seuraten halkaisulinjat, jotta potkuri olisi mahdollista poistaa muotista. Halkaisulinjoja leikatessa veitsellä tehtiin siksak-kuviota, jotta muotin puolet tiivistyisivät hyvin myöhemmin. (Kuva 13.)



Kuva 13. Vasemmalla kuivunut muotti ja oikealla muotti potkurin poiston jälkeen.

Potkurin poiston jälkeen muotin tarkastuksessa ei huomattu pinnoissa virheitä, joten päätettiin aloittaa potkurin valaminen. Potkurin valaminen tapahtui käsittelemällä muotti muotiniirrotusaineella, jonka jälkeen muotin päälle lisättiin pieni suppilo. Suppilon tarkoituksena oli auttaa poistamaan ilmakuplat potkurin lapojen kärjistä. Epoksi ja kovete mitattiin vaa'alla, jotta varmistuttiin oikeasta sekoitussuhteesta. Muotti täytettiin epoksilla kaataen hitaasti ohuena norona muotin alimpaan kohtaan, tällöin muotti täyttyi hitaasti ja ilmakuplien määrä minimoitiin. Potkurin kärkien kohdalta muottia raotettiin hieman, jolloin viimeiset ilmakuplat saatiin pois. Lopuksi muotti laitettiin painekammioon ja paine säädettiin 4 bariin. Muotin annettiin olla painekammiossa muutaman vuorokauden, jotta epoksi kovettuisi. Epoksin kovettuttua potkuri poistettiin muotista ja suppilo sahattiin irti potkurin päästä. Valetun potkurin mitoissa ei huomattu eroa koneistettuun potkuriin verrattuna (kuva 14).



Kuva 14. Vasemmalla koneistettu potkuri ja oikealla epoksivalu potkuri.

Epoksin sopivuudesta teollisuuden prosessivesiin ei ollut täyttä varmuutta, sillä ei ollut tietoa mitä kaikkia kemikaaleja prosessivedessä saattaa olla. Tämän takia haluttiin epoksista valmistettu potkuri koeajaa, jotta saataisiin tietoa, miten potkuri toimii. Erään asiakkaan kanssa saatiin sovittua potkurin koeajo, minkä jälkeen potkuri lähetettiin heille koeajoon. Kirjoitushetkellä ei vielä ollut tuloksia koeajosta.

5 TULOKSET

COOLIT 22000-laitteen etupotkurista saatiin muokattua helposti 3D-tulostettava malli, joka on mahdollista tulostaa myös edullisimman luokan tulostimilla, joissa on vain yksi suutin. Mahdolliset potkurin geometrian muutokset saadaan myös tällöin kokeiltua edullisesti. Tulevaisuudessa on tarkoitus koeajaa tulostettu potkuri testialtaassa ja kokeilla tulostaa potkureita eri materiaaleista, sillä PLA-muovi kestää huonosti lämpöä. Myös potkurin tulostamista kahdella suuttimella on tarkoitus kokeilla, jolloin potkuri voidaan tulostaa yhtenä kappaleena.

COOLIT 8000-laitteen potkurista saatiin tehtyä epoksivalua varten muotti. Muotilla valettiin kaksi potkuria, joista toinen on koeajossa asiakkaan kohteessa. Potkurin toimivuudesta odotetaan vielä tuloksia. Muottiin ei valuissa tullut mitään näkyvää kulumaa, joten muotilla on myös tulevaisuudessa mahdollista testata eri materiaalien valuja.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kokeilla W-Rix Oy:n muovisten potkurien valmistamista 3D-tulostamalla ja epoksivaluna. 3D-tulostamalla valmistusta kokeiltiin, jotta potkurin geometria muutosten testaaminen olisi edullisempaa ja nopeampaa sekä mahdollinen piensarjoina valmistaminen olisi edullista. Epoksivalua testattiin, jotta korkean käyttölämpötilan tuomat ongelmat teollisuuden prosessivesissä saataisiin korjattua. Työ suoritettiin vuoden 2019 aikana.

COOLIT 22000-laitteen, noin 200 mm halkaisijaltaan olevan, potkurin 3D-malli jaettiin osiin, jotta se oli mahdollista tulostaa 3D-tulostimella, jossa oli yksi suutin. Potkuri tulostettiin napa ja lavat erillään PLA-muovista, jolloin potkurin valmistuskulut olivat matalat. Tulostetun potkurin mitat olivat hyvin lähellä koneistettua potkuria. Potkurin koeajoa ei ehditty suorittaa opinnäytetyön aikana.

COOLIT 8000-laitteen potkurista valmistettiin polyuretaaninen muotti. Muotin avulla potkureita valettiin kaksi kappaletta korkean käyttölämpötilan epoksista. Epoksisen potkurin valmistuskustannukset olivat myös matalat. Toinen epoksisista potkureista saatiin asiakkaan kohteeseen testiajoon, josta tulokset saadaan keväällä 2020.

Jos 3D-tulostettuja potkureita haluttaisiin käyttää oikeissa kohteissa pelkän testaamisen sijaan, tulisi tutkia eri tulostusmateriaaleja, jotta löytyisi lämpöä ja kemikaaleja kestävä materiaali. Potkurien piensarjatuotannossa 3D-tulostamisen kulut olisivat huomattavasti pienemmät kuin koneistamalla valmistettujen.

LÄHTEET

Ellis, B. 1993. Chemistry and Technology of Epoxy Resins. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V.

Martikainen, T. 2019. Käyty keskustelu 20.03.2019. Viitattu 29.05.2019

Metalliteollisuuden Standardointiyhdistys Ry. 2017. SFS-EN ISO/ASTM 52900:2017.

Ratna, D. 2009. Handbook of Thermoset Resins. Shawbury: Smithers Rapra

Redwood, B.; Schöffer, F. & Garret, B. 2019. The 3D Printing Handbook. Amsterdam: 3D Hubs B.V.

Smooth-On. 2019. EpoxAcast 670 HT tekninen tiedote.
https://www.smooth-on.com/tb/files/EPOXACAST_670_HT_TB.pdf

Smooth-On. 2019. Tuotekatalogi. Viitattu 25.05.2019.
https://www.smooth-on.com/assets/pdf/smoothon_catalog.pdf

Vink Oy. 2019. PE tekniset tiedot 2019. Viitattu 29.05.2019.
https://www.vink.fi/muovitietopankki/pe_muovi

W-Rix Oy 2019. Yleisesite 2019. Viitattu 29.05.2019