Biopohjaisten 3D-tulostettujen materiaalien läpikuultavuus

Sampsa Runila

Materiaalitutkimus

Muotoilun koulutusohjelma

Muotoilun laitos

Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu

Aalto-yliopisto

6.4.2022

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa tutkitaan 3D-tulostettujen biopohjaisten materiaalien läpikuultavuutta. Motivaatio tutkimukseen syntyy kysymyksestä: mitä mahdollisuuksia uusiutuvat, biohajoavat materiaalit ja 3D-tulostaminen tuovat valaisinsuunnitteluun?

Tutkittavina materiaaleina ovat läpinäkyvä ja valkoinen PLA, sekä puukuituja sisältävä biokomposiitti. Tutkimuksen tavoitteena on tutkia materiaalien läpikuultavuutta, materiaalin paksuuden vaikutusta läpikuultavuuteen, sekä ulkonäkövaikutelmaa.

Tutkimusmenetelmänä on valaistusvoimakkuuden mittaus ja valokuvaus. Koejärjestelyssä valaistusvoimakkuus eri paksuisten ja eri materiaalisten koepalojen läpi mitataan luksimittarilla ja ulkonäköarviointia varten koepalojen valon läpikuultavuus valokuvataan.

Tulokset osoittavat, että kaikki valitut materiaalit ovat läpikuultavia sopivilla paksuuksilla ja riittävän tehokkaalla valaisulla. Kaikki materiaalit toimivat valoa läpipäästävänä ja levittävänä mediana. Ulkonäöllisesti tarkasteltuna materiaaleissa on eroja. Tulostuksen jäljet näkyvät läpivalaisussa. Valkoinen PLA ja biokomposiitti levittävät läpi kuultamaansa valoa tasaisimmin, mutta niissä läpikuultavan valon väri muuttuu kellertävämmäksi materiaalin paksuuden kasvaessa.

Sisällys

1 Johdanto 3
2 Materiaalien esittely 4
2.1 PLA 4
2.2 Biokomposiitti 4
3 Menetelmä 4
3.1 Koejärjestely 5
3.2 Koepalojen valmistus 7
4 Tulokset 9
4.1 Läpinäkyvä PLA 9
4.2 Valkoinen PLA 11
4.3 Biokomposiitti 13
4.4 Tulosten vertailu 14
5 Päätelmät 15
Lähteet 17

1 Johdanto

Tässä tutkimuksessa on tarkoitus tutkia biopohjaisten 3D-tulostettavien materiaalien läpikuultavuutta. Aihe tutkimukseen syntyi uusiutuvien, biohajoavien materiaalien ja 3D-tulostamisen mahdollisuuksista valaisinsuunnittelussa. Valaisimissa käytetään tyypillisesti läpikuultavina materiaaleina mm. opaalilasia, tekstiilejä, paperia ja muovia levittämään valoa pehmeästi. Lontoon Design Museon (2010) kirjan *How to Design a Light* mukaan valaisinsuunnittelun yksi periaate on, että ihmisen tulisi nähdä levinnyttä valoa, ei häikäiseviä valonlähteitä (Design Museum, 2010, 17).

Tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Kuinka läpikuultavia eri materiaalit ovat suhteessa toisiinsa?
2. Miten materiaalien paksuus vaikuttaa läpikuultavuuteen?
3. Miltä materiaalit näyttävät kuultaessaan valoa läpi?

Rajaan tutkimuksen yleisimpiin biopohjaisiin 3D-tulostusmateriaaleihin, sekä yleisimpään niin kutsuttuun FDM-tulostustekniikkaan (Fused Deposit Modeling). Tutkittavat materiaalit ovat PLA:n (polylaktidi) eri variaatiot läpinäkyvä ja valkoinen, sekä puukuituja sisältävä biokomposiitti. Esittelen materiaalit myöhemmin tarkemmin kts. kappale 2. Tutkimuksen hypoteeseina oletan, että:

- Materiaalien keskinäisillä läpikuultavuuksilla ei ole suurta eroa, mutta materiaalin väri vaikuttaa läpikuultavuuteen
- Materiaalin paksuus vaikuttaa lineaarisesti läpikuultavuuteen; mitä paksumpi koepala, sitä vähemmän läpikuultava

Oletan, että mitä enemmän materiaalissa on väriä ja mitä tummempaa väri on, sen enemmän se absorpoi valoa ja sitä vähemmän läpikuultava se on. Kaikki materiaalit ovat polymeeripohjaisia. Tämän vuoksi oletan, että materiaalien välillä ei ole niin suuria eroja läpikuultavuudessa. Paksuuden uskon vaikuttavan lineaarisesti läpikuultavuuteen; mitä paksumpi koepala, sitä vähemmän läpikuultava. Paksumman kappaleen voi ajatella koostuvan lukuisista ohuista kappaleista päällekkäin. Näin ollen kaksin verroin paksumpi kappale vastaa kahta kappaletta ja sen pitäisi olla puolet vähemmän läpikuultava.

Tutkimusmenetelminä käytän 1) valaistusvoimakkuuden mittausta 2) valokuvaamista. Selvitän minkä verran valoa koepalat päästävät lävitse hämärässä tilassa ja vertaan sitä valonlähteen valaistusvoimakkuuteen.

2 Materiaalien esittely

2.1 PLA

PLA (Polylaktidi) on uusiutuva, biopohjainen ja biohajoava polymeeri, jota on kehitetty korvaamaan ympäristölle ongelmallisia raakaöljypohjaisia muoveja. PLA:ta voidaan valmistaa monista maatalouden sivutuotteina syntyvistä biomassoista (Nampoothiri et al., 2010, 1). PLA:n valmistuksessa kasvien tärkkelys muutetaan bakteerikäymisen avulla maitohapoksi, joka muutetaan laktidiksi ja polymerisoidaan PLA:ksi (Vink et al., 2003, 410). Valmistustapaa muutellen ja muiden lisäaineiden avulla on mahdollista saada hieman erilaisia ominaisuuksia lopputuloksena syntyvälle materiaalille.

PLA on muovimaista, suhteellisen sitkeää ja kovaa ainetta. PLA:ta on saatavilla eri värisinä vaihtoehtoina, sekä läpinäkyvänä. PLA soveltuu moniin valmistustekniikoihin kuten pursotukseen, ruiskuvaluun, lämpömuovaukseen, 3D-tulostamiseen ja muottiin puhallukseen.

2.2 Biokomposiitti

Käytän tässä tutkimuksessa biokomposiittina AddNorth Textura -biokomposiittia. Se on PLA:n tapaan uusiutuva, biopohjainen ja biohajoava materiaali. Komposiitin matriisiaineena toimii PLA ja täyteaineena (kuituna) puukuitu eli selluloosa. Puukuidut antavat materiaalille enemmän sitkeyttä ja lujuutta ja 3D-tulostuksessa häivyttävät tulostuskerrosten rajoja.

3 Menetelmä

Läpikuultavuudella tarkoitetaan osittaista läpinäkyvyyttä. Aine voi olla täysin läpinäkyvää kuten puhdas ilma tai kirkas lasi. Toisaalta aine voi olla täysin läpinäkymätöntä, kuten vaikka metallilevy. Moni peittävä materiaali on oikeastaan läpikuultava; pöytälampun kangasvarjostin näyttää peittävältä päivänvalossa, mutta valon ollessa päällä se näyttää hehkuvan valoa, ihon peittävä

vaate päästää kuitenkin voimakkaan valon kudoksistaan läpi. Jopa puu on läpikuultavaa aina kahden senttimetrin paksuuteen asti (Pärssinen, 2016).

Tutkin läpikuultavuutta sen perusteella, minkä verran materiaali päästää valoa lävitseen. Läpinäkyvä materiaali päästää kaiken valon lävitseen, kun taas läpinäkymätön ei päästä lainkaan valoa lävitseen. Läpikuultavat materiaalit asettuvat näiden ääripäiden väliin. Läpikuultavuuden mittaaminen valon läpipääsyn perusteella vaatii koejärjestelyn, jossa koepalojen vaikutus valonlähteen valaistusvoimakkuuteen voidaan vakioidusti ja vertailukelpoisesti mitata.

3.1 Koejärjestely

Koejärjestelyssä on kiinteässä pisteessä valonlähde ja kiinteän välimatkan päässä valonlähteestä kiinteästi paikoillaan valaistusvoimakkuuden mittari. Kun valonlähde kytketään päälle, mittari ilmoittaa valaistusvoimakkuuden näytöllään. Tämä on koejärjestelyn perusmittaustaso, valaistusvoimakkuus valo päällä ilman mitään koepalaa valonlähteen ja mittarin sensorin välissä. Kun valonlähteen ja mittarin väliin asetetaan koepala, voidaan mittarista lukea mittaustulos ja sen avulla todeta kuinka paljon koepala vähentää valaistusvoimakkuutta verrattuna mittaukseen ilman koepalaa, toisin sanoen kuinka paljon se päästää valoa lävitseen. Mitä läpikuultavampi koepala on, sen enemmän valoa se päästää lävitseen ja sitä pienempi on valaistusvoimakkuuden poikkeama perusmittaustasosta. Lisäksi asensin kameran koejärjestelyyn, jolla oli mahdollista tutkia materiaalien ulkonäkövaikutelma.

Kuva 1 - Koelaitteen runko

Hankin tavallisen E14-kantaisen valaisimen johdon, jossa on töpseli, johto, katkaisin ja lampun kanta. Suunnittelin ja 3D-tulostin yksinkertaisen rungon koelaitteelle. Koejärjestelyn idea oli seuraava: 1) saada valonlähde suoraan asentoon kiinni pöytään, 2) asettaa mittalaite kiinni pöytään vakioetäisyydelle, 3) asettaa kamera kiinni koejärjestelyyn ja kytkeä valo päälle ja vaihtaa laitteeseen koepalat ja lukea mittarista mittaustulokset ja ottaa valokuvat.

Mittalaitteena minulla oli kotikäyttöön tarkoitettu valaistusvoimakkuuden mittari eli Luksimittari. Mittarissa on sensori ja digitaalinäyttö, joka ilmoittaa valaistusvoimakkuuden lukseina. Kamerana oli digitaalinen järjestelmäkamera. Valonlähteenä oli E14-kantainen 40-wattinen LED-valo, jonka valovoima oli 470 lumenia ja valon väri puhdas valkoinen (värilämpö 3000 Kelviniä).

Kuva 2 - Koejärjestely ennen kiinnitystä pöytään

Kuva 3 - Koejärjestely ja biokomposiittinen koepala

Kuva 4 - Koejärjestely valmiina

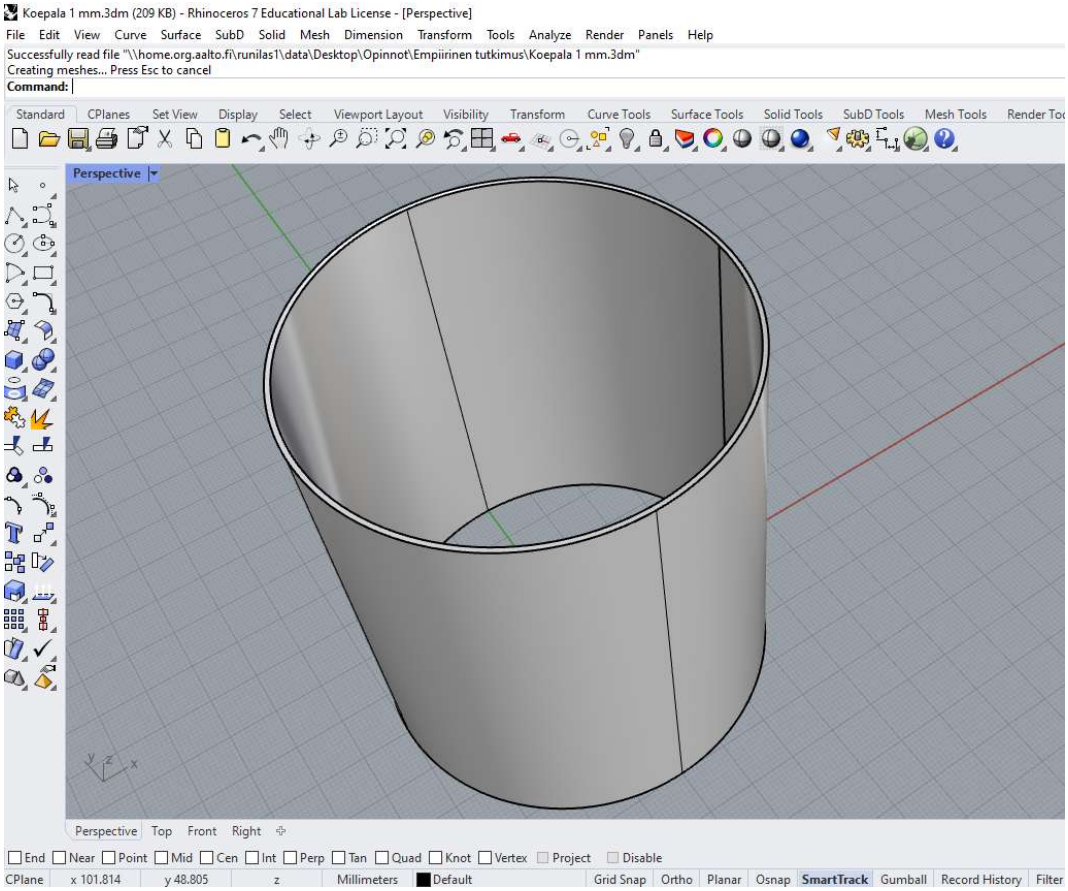
Kuva 5 - Mittaus käynnissä

Alun perin suunnittelin koejärjestelyyn koepalojen päälle laitettavan levyn. Kun tein ensimmäisen mittauksen läpinäkyvällä 0,4 mm paksulla PLA-koepalalla havaitsin, että valaistusvoimakkuus itseasiassa kasvoi verrattuna pelkkään valonlähteeseen. Tämä johtui siitä, että levy heijasti ylöspäin suuntautuvan valon ja lisäsi näin mittarin suuntaan tulevaa valaistusvoimakkuutta. Jätin levyn mittauksista pois, koska se olisi siten vääristänyt tuloksia.

3.2 Koepalojen valmistus

Mallinsin tietokoneella CAD-ohjelmalla sylinterimaiset kappaleet, joiden korkeus oli 90 mm ja halkaisija 80 mm ja seinämänpaksuudet 0,4 mm, 1 mm ja 2 mm. Biokomposiittien tapauksessa koepalojen korkeudeksi tuli 60 mm, koska materiaalia oli rajallisesti. Valitsin oikeat materiaalit ja

tulostin kappaleet 3D-tulostimella sarjoina. Tulostuksen asetuksena oli umpinainen kappale, jolloin tulostin tekee umpimateriaalia.



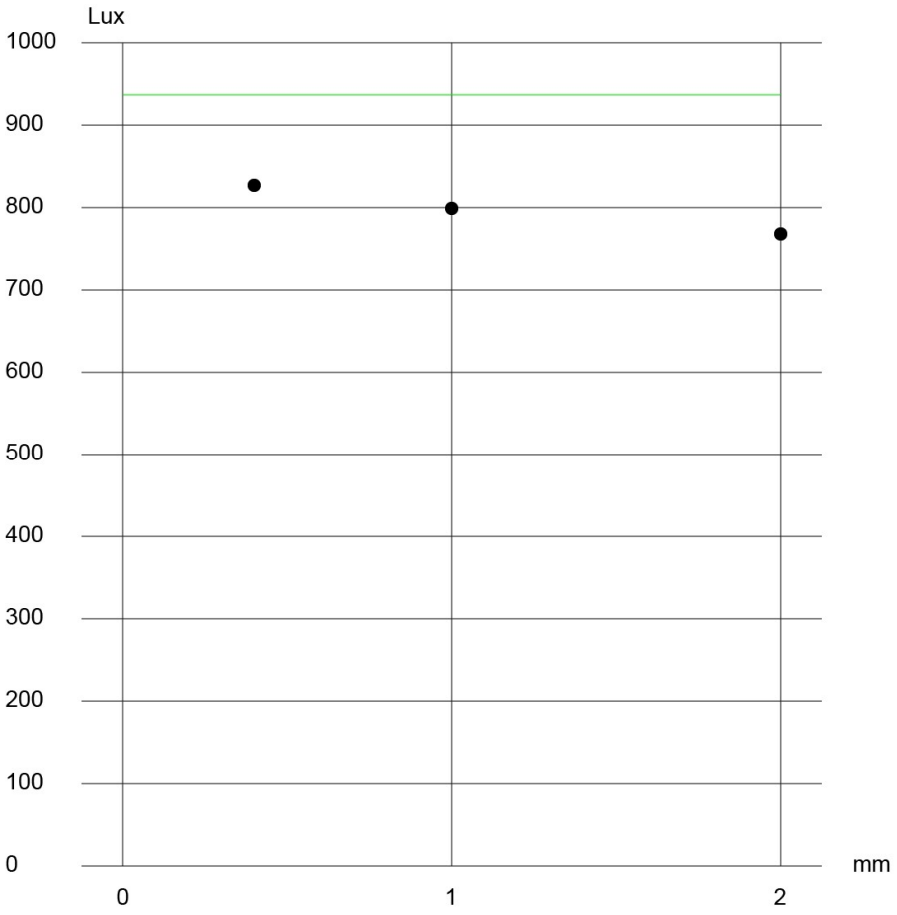
Kuva 6 - Koepalan CAD-mallinnus

Kuva 7 - Koepalojen valmistus

4 Tulokset

Esittelen kunkin materiaalin osalta valaistusvoimakkuuden mittauksen tulokset, sekä ulkonäköanalyysin. Lopuksi vertaan eri materiaalien tuloksia keskenään. Kustakin materiaalista ja koepalasta on esitetty valaistusvoimakkuuden mittauksen kuvaaja ja valokuvat. Yhteensä koepaloja oli yhdeksän kappaletta: kustakin kolmesta materiaalista paksuudet 0,4 mm, 1 mm ja 2 mm. Koepalojen paksuuksina halusin nähdä tulostimen minimiseinämänpaksuuden 0,4 mm ja lisäksi halusin kaksi muuta paksuutta. 1 mm ja 2 mm paksuudet valikoituivat siksi, että arvelin yli 2 mm paksuiset koepalat jo hyvin vähän läpikuultaviksi.

4.1 Läpinäkyvä PLA



Kuva 8 - Läpinäkyvän PLA:n valonläpäisy

Kuvassa 8 on esitetty läpinäkyvän PLA:n valonläpäisy. Pystyakselilla on valaistusvoimakkuus Lukseissa ja vaaka-akselilla on koepalan paksuus millimetreissä. Vihreä viiva kuvastaa

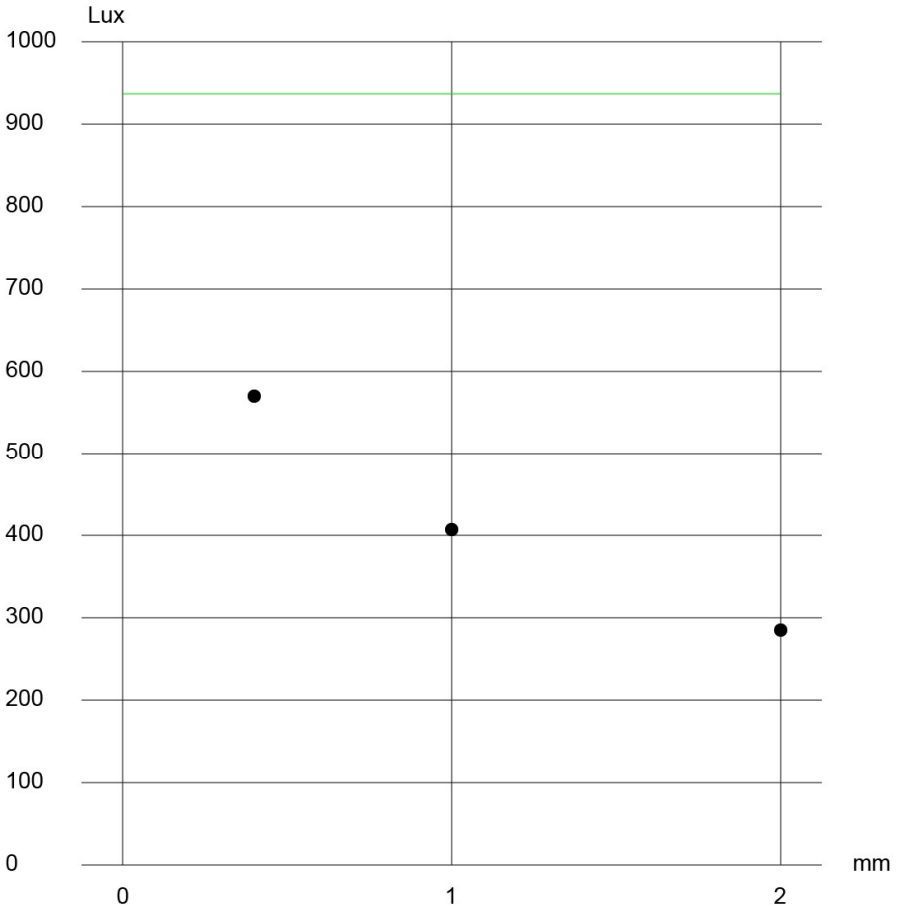
perusmittaustasoa, mitattua valaistusvoimakkuutta ilman koepalaa (942 Lux). Se vastaa kysymykseen: mikä mittausarvo mittarissa lukee, kun valonlähde on päällä, mutta mitään koepalaa valonlähteen ja mittarin väliin ei ole asetettu? Mittaustuloksia verrataan tähän perusmittaustasoon. Mustat pisteet kuvaavat mittaustuloksia, mitattua valaistusvoimakkuutta eri paksuisten (mm) koepalojen läpi, kun koepalat ovat yksi kerrallaan asetettu koejärjestelyyn valonlähteen ja mittarin väliin.

Kuva 9 - Läpinäkyvän PLA:n valokuvat, vasemmalla 0,4 mm, keskellä 1 mm ja oikealla 2 mm koepalat

Rullalle kerittynä lankana läpinäkyvä PLA näyttää ennen 3D-tulostusta lasimaisen kirkkaalta. Tuloksista havaitaan, että materiaali on tulostuksen jälkeen melko läpikuultavaa. Materiaalin rakenne muuttuu tulostuksessa, tulostimen rakentaessa kappale 0,15 mm paksuista kerroksista. Verrattaessa mittaustuloksia kuvaajasta perusmittaustasoon, nähdään että 0,4 mm koepala päästää lävitseen n. 88 % valoa, 1 mm koepala n. 84,5 % ja 2 mm koepala n. 81,5 %. Mittaustulokset näyttävät asettuvan likimain suoralle.

Ulkonäöllisesti tarkasteltuna tuloksista voi todeta, ettei valo leviä kovin tasaisesti näytekappaleen läpi, vaan valonlähteen sijainti ja muoto erottuvat materiaalin läpi kaikilla paksuuksilla. Leviäminen voimistuu materiaalin paksuuden kasvaessa. 2 mm koepalan kuvasta näkyy koepalan reuna-alueiden suurempi valoisuus vaaleutena verrattuna 0,4 mm koepalaan. Tulostetuissa kappaleissa näkyy pystyjuovaisuutta, mutta se pehmenee selvästi 2 mm paksussa koepalassa.

4.2 Valkoinen PLA



Kuva 10 - Valkoisen PLA:n valonläpäisy

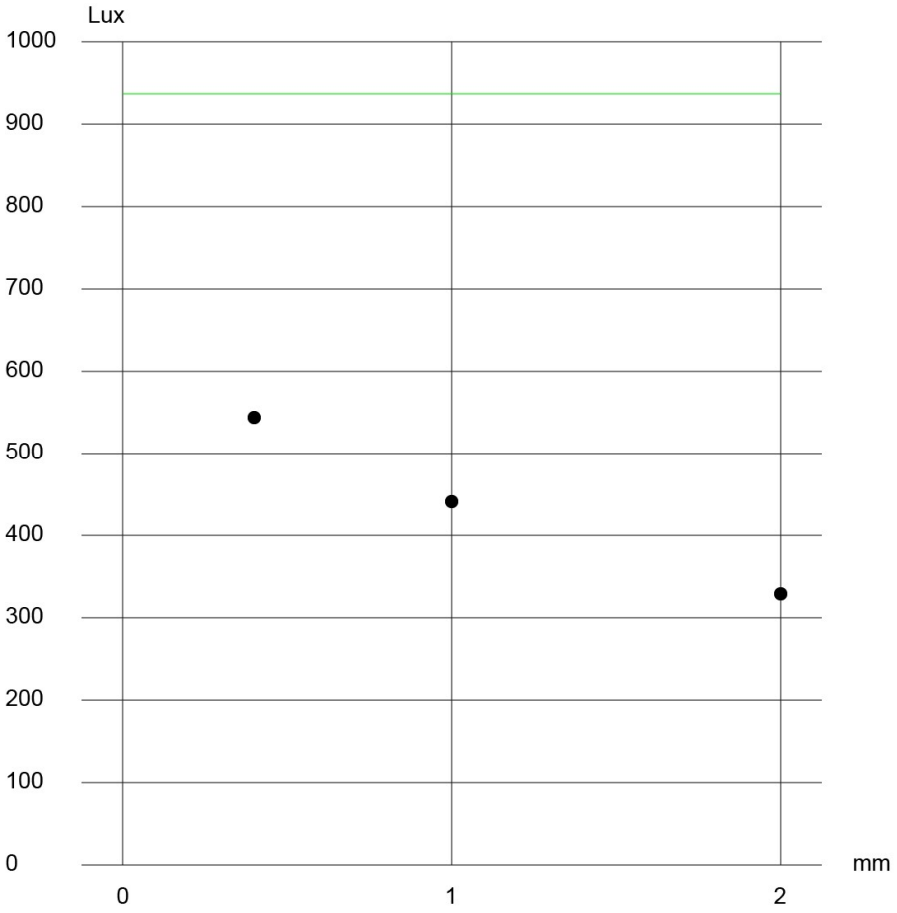
Kuvassa 10 on esitetty valkoisen PLA:n valonläpäisy. Vihreä viiva kuvastaa mitattua valaistusvoimakkuutta ilman koepalaa (942 Lux). Mustat pisteet kuvaavat mitattua valaistusvoimakkuutta eri paksuisten (mm) koepalojen läpi.

Kuva 11 - Valkoisen PLA:n valokuvat, vasemmalla 0,4 mm, keskellä 1 mm ja oikealla 2 mm koepalat

Rullalle kerittynä lankana valkoinen PLA näyttää täysin valkoiselta hieman kiiltävältä läpinäkymättömältä aineelta. Tuloksista havaitaan, että materiaali päästää kuitenkin valoa lävitseen ja on siten läpikuultavaa. 0,4 mm koepala päästää lävitseen n. 61,1 % valoa, 1 mm koepala n. 43,1 % ja 2 mm koepala n. 30,3 %. Mittaustulosten kuvaaja vaikuttaa vähemmän suoralta, kuin läpinäkyvän PLA:n tapauksessa. Kuvaaja antaa vaikutelman, että materiaalin paksuuden kasvaessa alussa valonläpäisy laskee nopeammin, mutta muutos tasaantuu paksuuden kasvaessa. Mittaustuloksia eri paksuuksilla tarvittaisiin lisää, jotta materiaalin paksuuden vaikutus valonläpäisyyn selviäisi tarkemmin.

Ulkonäöllisesti tarkasteltuna valkoinen PLA on läpikuultava ja se levittää valonlähteen valon melko tasaisesti. Materiaalissa näkyy aivan aavistuksenomaista hiusmaista vaakajuovaisuutta. Valo paljastaa, että materiaali ei ole täysin homogeenista ja tasaista. Kiinnostavaa on, että materiaalin paksuuden kasvaessa sen läpi tuleva valo muuttuu vaaleammasta kellertävämmäksi.

4.3 Biokomposiitti



Kuva 12 - Biokomposiitin valonläpäisy

Kuvassa 12 on esitetty biokomposiitin valonläpäisy. Vihreä viiva kuvastaa mitattua valaistusvoimakkuutta ilman koepalaa (942 Lux). Mustat pisteet kuvaavat mitattua valaistusvoimakkuutta eri paksuisten (mm) koepalojen läpi.

Kuva 13 - Biokomposiitin valokuvat, vasemmalla 0,4 mm, keskellä 1 mm ja oikealla 2 mm koepalat

Rullalle kerittynä lankana käyttämäni AddNorth Textura -biokomposiitti näyttää läpinäkymättömältä, mattapintaiselta, hieman beigeltä aineelta. Tulokset näyttävät kuitenkin, että kuten valkoinen PLA:kin, myös biokomposiitti on läpikuultavaa. 0,4 mm paksuudella se päästää

läpi 57,3 % valoa, 1 mm paksuudella 47,3 % ja 2 mm paksuudella 35,4 %. Mittapisteet asettuvat likimain suoralle, joka ei kuitenkaan leikkaa kuvaajan pystyakselia, siellä missä sen tutkimushypoteesin mukaisesti pitäisi, eli vihreän viivan (valaistusvoimakkuus ilman väliainetta) ja pystyakselin leikkauspisteessä.

Ulkonäöllisesti tarkasteltuna biokomposiitti levittää valoa suhteellisen tasaisesti. Se häivyttää valonlähteen ja antaa vaikutelman, että koko koepala hehkuu lähes tasaisesti. 0,4 mm paksuisessa koepalassa näkyy pystysuuntainen juova, joka päästää enemmän valoa lävitseen. 1 mm paksuisessa koepalassa näkyy hieman pystyjuovaisuutta. 2 mm paksuisessa koepalassa valoa tulee läpi vähemmän, mutta materiaalin epätasaisuuksia ei helposti erota. Myös biokomposiitissa läpitulevan valon väri muuttuu materiaalin paksuuden kasvaessa valkoisemmasta kohti kellertävämpää. Paksuimmassa koepalassa näkyy jopa oranssiin taittuvia sävyjä lähempänä koepalan alareunaa. Biokomposiitin koepalat olivat korkeudeltaan vain 60 mm, toisin kuin muut koepalat, jotka olivat 90 mm korkeita. Syynä tähän oli materiaalin vähyys. 60 mm korkeus riitti kuitenkin kokonaan peittämään valonlähteen, mutta siitä huolimatta se saattaa jollain tavalla vaikuttaa tuloksiin.

4.4 Tulosten vertailu

Materiaalit näyttävät erilaisilta ennen niiden muokkaamista 3D-tulostamalla kappaleeksi. Läpinäkyvä PLA näyttää kiiltävältä, kirkkaalta, lasimaiselta tai muovimaiselta. Se muistuttaa polykarbonaattia, josta aikoinaan tehtiin esimerkiksi cd-levyn läpinäkyvät kannet. Valkoinen PLA näyttää puolestaan läpinäkymättömältä hieman kiiltävältä aineelta. Biokomposiitti on lähempänä valkoista PLA:ta, mutta se on mattapintaisempi ja hieman beigen värinen. 3D-tulostimen sulattaessa materiaalit ja tulostaessa ne kerros kerrokselta ohuemmiksi koepaloiksi niiden ominaisuudet muuttuvat.

Läpinäkyvä PLA muuttuu kirkkaan näköisestä materiaalista läpikuultavaksi. Kiilto himmenee, mutta osittain säilyy. Tulostuksen kerrokset erottuvat hiusviivoituksena, ikään kuin pintaa olisi yhdensuuntaisesti hienosti hiottu vrt. harjattu teräs. Toisaalta se muistuttaa kiillossaan ohuesta langasta kudottua silkkikangasta. Valkoinen PLA muuttuu kiiltävän valkoisesta mattavalkoiseksi. Tulostuskerrokset erottuvat vain hyvin läheltä katsottuna. Materiaalista ei normaalivalaistuksessa

sinänsä näe läpi millään koepalan paksuudella. Biokomposiitti säilyttää tulostuksessa parhaiten ulkomuotonsa. Mattapintaisuus ja väri säilyvät, kerrosrajoja on biokomposiitista vaikein erottaa. Päivänvalossa materiaali on täysin läpinäkymätöntä kaikilla koepalojen paksuuksilla.

Tutkimustulokset osoittavat kokonaisuutena, että kaikki materiaalit ovat kuitenkin läpikuultavia ohuempina kerroksina. Läpinäkyvä PLA päästää eniten valoa läpi. Valkoinen PLA ja biokomposiitti ovat lähellä toisiaan valon läpäisyssä. Mikään materiaaleista ei ole täysin homogeenista vaan erilaista juovaisuutta näkyy enemmän tai vähemmän. Valkoinen PLA ja biokomposiitti levittävät valonlähteen valon huomattavasti tasaisemmin kuin läpinäkyvä PLA. Valkoinen PLA ja biokomposiitti muuttavat valkoista valoa kellertävämmäksi mitä paksummaksi käy materiaalin paksuus.

Materiaalit käyttäytyvät tutkimushypoteesin mukaisesti siinä, että mitä paksumpi aine, sen vähemmän se läpäisee valoa. Toisaalta tulokset eivät täysin vahvista hypoteesia materiaalin paksuuden ja valon läpäisyn lineaarisesta suhteesta. Kaikissa koesarjoissa läpikuultavuus vaikuttaa laskevan suhteessa hieman vähemmän paksuudesta 1 mm paksuuteen 2 mm, kuin paksuudesta 0,4 mm paksuuteen 1 mm. Selvin tämä ilmiö on valkoisen PLA:n kohdalla.

5 Päätelmät

Kumpikaan tutkimuksen hypoteeseista ei osoittautunut täysin paikkansapitäväksi. Oletin, että materiaalien valon läpäisyllä ei olisi suurta eroa, mutta materiaalin väri vaikuttaisi siihen, ja että materiaalin valonläpäisy on suoraan verrannollinen materiaalin paksuuteen. Läpinäkyvä PLA läpäisi valoa kirkkaasti parhaiten tulostuksen jälkeenkin. Vaikka valkoinen PLA ja biokomposiitti ovat selvästi eri värisiä (biokomposiitti hieman tummempi), niiden valonläpäisyssä ei ollut merkittävää eroa. Oletin, että mittaustulokset asettuisivat likimain suoralle, joka leikkaa kuvaajan pystyakselin valonlähteen omassa valaistusvoimakkuudessa (942 Lux). Tulokset ehdottavat, että paksuuden ja valonläpäisyn suhde ei ole täysin lineaarinen. Minkään materiaalin mittauspisteiden välille ei voi piirtää yksiselitteisesti suoraa viivaa.

Tulokset osoittivat toki, että mitä paksumpi kerros materiaalia sen vähemmän valoa tulee läpi. Mutta loogisesta nollakohdasta lineaarisesti laskevan suoran sijaan käyrä ja sen kuvaama relaatio voi olla jonkin muun muotoinen. Tästä voi muodostaa uuden hypoteesin siinä suhteessa, että toisin kuin 0,4 mm koepalassa paksummissa koepaloissa on useampia toisiinsa liittyneitä

sisäkkäisiä kerroksia, joilla tulostin antaa materiaalille paksuutta. Näin ollen materiaalin rakenne muuttuu. Voi olla, että lineaarisuushypoteesi pätisi ainoastaan, kun verrataan keskenään koepaloja, jotka kaikki ovat niin paksuja, että niissä on useampia sisäkkäisiä kerroksia ja näin ollen samankaltainen rakenne.

Tutkimusmenetelmän valinta ja koejärjestelyn avulla saadut tulokset tuottivat vastaukset tutkimuskysymyksiin: 1) Kuinka läpikuultavia eri materiaalit ovat suhteessa toisiinsa? 2) Miten materiaalien paksuus vaikuttaa läpikuultavuuteen? ja 3) Miltä materiaalit näyttävät kuultaessaan valoa läpi?

Läpinäkyvä PLA osoittautui selvästi läpikuultavimmaksi. Valkoinen PLA ja biokomposiitti olivat vähemmän läpikuultavia, mutta keskenään lähellä toisiaan. Materiaalin paksuuden vaikutuksesta tutkimus tuotti tuloksen: paksuus vähentää läpikuultavuutta, mutta tässä tarkastelussa epälineaarisesti. Ulkonäköarvioissa pyrin neutraaliuuteen, pyrin kuvaamaan sitä miltä valon tuleminen koepalan läpi näyttää. Keskeiset havainnot liittyivät materiaalissa näkyviin juoviin tai hiusviivoihin, valon leviämisen pehmeyteen ja valon väriin. Itse pidin eniten 1 mm paksusta valkoisesta PLA:sta: se hehkui ja levitti valoa pehmeästi muuttamatta kuitenkaan valon väriä.

Tutkimuksen tulokset herättävät pohtimaan läpikuultavuutta. Aineen kemiallisesta koostumuksesta, materiaalin rakenteesta (esim. kudottu kangas) ja paksuudesta, sekä sen läpi pyrkivän säteilyn voimakkuudesta riippuu miten läpikuultavalta se ihmissilmään näyttää. Tutkimus osoitti, että siinä missä läpinäkyvän, myös näennäisesti läpinäkymättömänkin aineen läpikuultavuus saadaan esille, kun siitä tehdään riittävän ohut kerros ja taustalle asetetaan riittävän voimakas valonlähde. Olin yllättynyt, että kahdenkin millimetrin paksuinen näennäisesti läpinäkymättömästä materiaalista valmistettu koepala hehkuu ja levittää valoa päästäen jopa n. kolmanneksen valaistusvoimakkuudesta läpi.

Valonlähde kuitenkin myös läpivalaisee materiaalin ja paljastaa sen rakenteen tehokkaammin kuin tarkastelu normaalissa valaistuksessa. 3D-tulostettu kappale ei ole läpivalaisussa täysin virheetön ja homogeeninen, kuten tutkimus osoitti.

Kriittisesti tarkasteltuna tästä tutkimuksesta puuttui tarkempi käsittely optiikasta ja kuinka valo käyttäytyy fysikaalisesti materiaalissa. Tutkimus ja koejärjestely käsittelee ilmiönä läpikuultavuutta melko suppeasti. Se kehitti kuitenkin valmiuksia empiiriseen tutkimukseen ja materiaalitutkimukseen. Tutkimuksen johtopäätöksiä rajoittaa materiaalivalikoima ja koepalojen

määrä. Useammat paksuudet olisivat mahdollistaneet lineaarisuushypoteesin tutkimisen tarkemmin. 3D-tulostuksesta käsiteltiin vain yhtä tekniikkaa ja vain biopohjaisia materiaaleja. Myöskään materiaalien yhdistelyä kerroksittain ei kokeiltu.

Valaisinsuunnittelun näkökulmasta jatkotutkimusaiheita voisivat olla erilaisten muotojen vaikutus valon estetiikkaan, tulostuksen tasalaatuisuuden kehittäminen, koepalojen tarkempi ulkonäköanalysointi päivänvalossa ja käyttäjätutkimus.

Lähteet

Design Museum (2010) How to Design a Light, Conran

Nampoothiri, K.; Nair, N.; John, R. (2010) An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research, Bioresource Technology

Pärssinen, J. (2016) Puun läpikuultavuus - Tutkimus valon kulkemisesta puun lävitse, Materiaalitutkimus, Muotoilun laitos, Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu, Aalto-yliopisto

https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20216/sem_p%c3%a4rssinen_janne_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y [30.3.2022]

Vink, E.; Rabago, K.; Glassner, D.; Gruber, P (2003) Applications of life cycle assessment to NatureWorksTM polylactide (PLA) production, Polymer Degradation and Stability 80 (2003) 403-419