

Tulostimesta terälehtiin

Eri PLA pohjaisten 3D-tulostettujen maljakoiden vaikutus ruusujen
elinikään

Henrik Jansson
Empiirinen tutkimus-kurssin raportti
Muotoilun pääaine
Muotoilun laitos
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu
Aalto-yliopisto
17.4.2024

Tiivistelmä

Tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisten PLA-pohjaisten muovien sopivuutta maljakkona käytettäväksi ja niiden vaikutusta ruusujen säilymiseen ja kasvuolosuhteisiin.

Pääongelmana oli selvittää, miten eri muovimateriaalit vaikuttavat ruusujen säilymiseen ja kasvuolosuhteisiin maljakoissa, ja tarkastella 3D-tulostusfilamenttien potentiaalia maljakoiden materiaalina. Kolme eri käytettyä materiaalia olivat: Perinteinen valkoinen PLA, colorFabb "Woodfill"- puu PLA ja colorFabb "Copperfill"- kupari PLA. Maljakot valmistettiin 3D-tulostamalla ja ruusuja asetettiin niihin, seuraten niiden säilymistä päivittäin. Tulokset osoittivat, että lasiset maljakot olivat parempia ruusujen säilyttämiseen kuin eri PLA-muoveista valmistetut. Erityisesti Woodfill- ja Copperfill-maljakot säilyttivät ruusut huomattavasti paremmin verrattuna perinteiseen valkoiseen PLA:han, joka pärjasi melkein yhtä hyvin kuin lasi. Johtopäätöksenä todettiin, että vaikka 3D-tulostetut maljakot ovat mahdollisia, lasi on paras ja turvallisin vaihtoehto. PLA mikromuovilla on tapana alentaa veden pH-arvoa, joka vaikuttaa negatiivisesti kukkien säilymiseen. Vaasien pintakäsittely voisi parantaa PLA-maljakoiden vedenpitävyyttä ja vähentää mikromuovien irtoamista. Säännöllisellä veden vaihtamisella ja hoidolla lyhytikäisen kukkien, kuten ruusujen pitäminen PLA pohjaisessa vaasissa ei eroa huomattavasti lasisesta vaasista.

Sisällysluettelo

1. Johdanto	4
2. Menetelmä	5
2.1 Aikaisemmat tutkimukset.....	5
2.2 Materiaalien sekä vaasien valinta	6
2.3 3D-tulostus	7
2.4 Kukkien valinta	8
2.5 Dokumentointiprosessi	8
3. Tulokset	9
3.1 Päivä 1	10
3.2 Päivä 4	11
3.3 Päivä 8	11
3.4 Päivä 12	12
3.5 pH-arvot	12
4. Johtopäätökset	13
5. Lähdeluettelo	14

1. Johdanto

Polylaktidi (PLA) on yksi tunnetuimmista biohajoavista muoveista, jotka perustuvat biopohjaisiin raaka-aineisiin. PLA valmistetaan yleensä käymällä valmistuksessa erilaisia maitohappoja. PLA:n ominaisuudet muistuttavat usein polystyreeniä, sillä se on jäykkä, hauras ja läpinäkyvä. Markkinoilla on kuitenkin monia erilaisia PLA-laatuja erilaisiin käyttötarkoituksiin, joista löytyy sopivia vaihtoehtoja niin ruiskuvalamiseen kuin ekstruusioonkin. Lisäksi on saatavilla laatuja, jotka kestävät korkeita lämpötiloja ja monet PLA-laadut soveltuvat teolliseen kompostointiin. PLA:ta voidaan myös kierrättää sekä mekaanisesti, että kemiallisesti.

Alkuperäinen idea tutkimusaiheeseen syntyi omasta mielenkiinnosta 3D-tulostusta kohtaan. Kyseinen valmistusmenetelmä, vaikkakin alunperin keksitty jo 70-luvulla, on räjähdysmäisesti kasvanut vasta viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tämä on tapahtunut teknologian halventuessa, jolloin nykyään myös yksityishenkilöt voivat hankkia oman tulostimen. Nykyään jopa metallia voi tulostaa ja sitä käytetään paljon esimerkiksi avaruus teollisuudessa. Tiesin haluavani tutkia jotain 3D-tulostukseen liittyvää, ja biohajoavana materiaalina PLA kiinnosti eniten.

Fused Deposition Modeling (FDM), joka tunnetaan myös nimellä Fused Filament Fabrication (FFF), on kuluttajatasolla laajimmin käytetty 3D-tulostustyyppi. FDM 3D-tulostus perustuu siihen, että materiaalia syötetään tulostimeen, joka sulattaa sen ja rakentaa tulostettavan objektin kerros kerrokselta. Siinä käytetään useimmiten PLA:ta, koska siitä ei lähde myrkyllisiä kaasuja sulattaessa. PLA valmistetaan tyypillisesti fermentoidusta kasvitärkkelyksestä, kuten maissista, maniokista, sokeriruo'osta tai sokerijuurikasmassasta - joten se on itsessään myrkytöntä. Tästä huolimatta sen käyttöä 3D-tulostetussa muodossa esimerkiksi ruoan säilyttämiseen ei suositella bakteerien takia. FDM 3D-tulostaessa syntyy kerrosmainen rakenne, jolloin bakteerien sekä muiden sienten on tapana kaivautua ja kasvaa tulostettujen kerrosten väliin (Wevolver 2003). Tämä luo epähygieeniset olosuhteet ruoan säilytystä varten, mutta halusin tietää päteekö sama kasveihin. 3D-tulostus avaa uusia mahdollisuuksia vaasien tuotannon suhteen, ja haluan tietää onko se soveliaista kasvien säilömiseen vedessä.

Tutkimuksessa käytin kolmea eri PLA-pohjaista muovifilamettiä, eli materiaalia, jota käytetään 3D-tulostamiseen: colorFabb PLA Economy- valkoinen PLA, colorFabb Woodfill-puu PLA sekä colorFabb Copperfill- kupari PLA. Perinteisen valkoisen PLA muovin lisäksi

valitsin Woodfill filamentin puupohjan takia. Ajattelin sen vaikuttavan eri lailla kukkiin, alemman muovihalttinsa takia sekä siksi, että lisätty materiaali on orgaanista. Copperfill filamentti sai taas inspiraationsa konstista saada tulppaanikimppu pysymään raikkaana pidempään – jos maljakon pohjalle pudottaa pari viiden sentin kolikkoa, esimerkiksi tulppaanit säilyvät hyvänä pidempään. Tämä johtuu siitä että kolikot tekevät vedestä hapokkaampaa, vähentäen bakteerien ja sienten kerääntymistä veteen.

Luulen Woodfill- ja Copperfill filamenttien pärjäävän paremmin vertailussa kuin perinteisen PLA:n koska niissä on vähemmän itse muovia, mutta uskon kaikkien pärjäävän huonommin kuin lasiset vaasit – ei pelkästään mikromuovien takia vaan myös yllä mainittujen rakenteen kanssa syntyvien ongelmien vuoksi. PLA:n luoma hapokas kasvuympäristö on todettu haitalliseksi kasvien kasvuille (PLA-mikromuovit vähensivät merkittävästi maissin maanpäällistä ja juurien biomassaa (Run, L. ym. 2023)), joten tämä vahvistaa epäilyksiäni.

2. Menetelmä

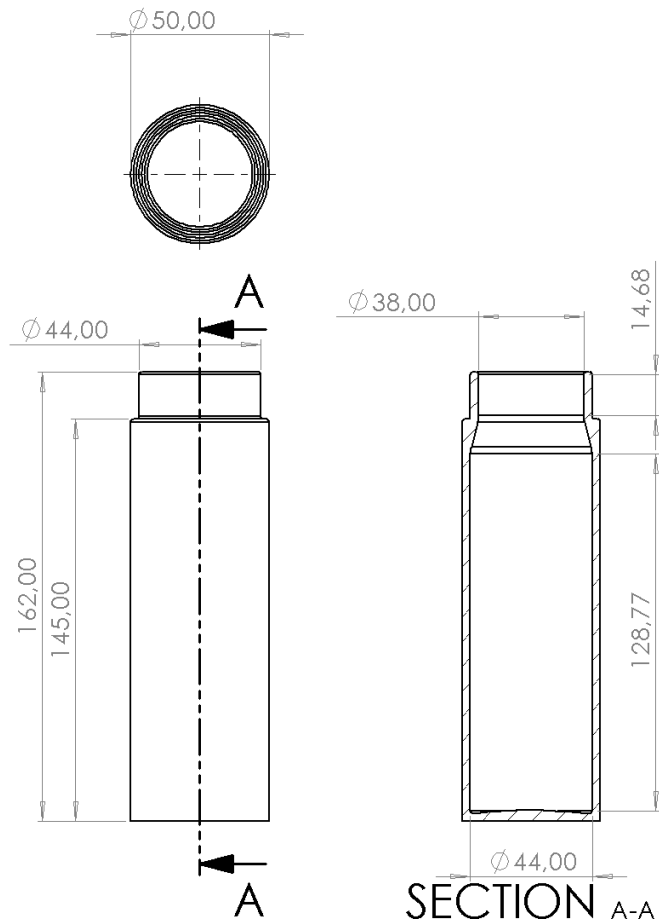
2.1 Aikaisemmat tutkimukset

Kiinassa sijaitseva Nanjingin Yliopiston State Key Laboratory of Pharmaceutical Biotechnology teki tutkimuksen PLA mikromuovien vaikutuksesta kasvien kasvuun. He tutkivat PLA:n käyttöä lehtikatteenä maanviljelyssä, ja täten sen jättämien mikromuovien vaikutusta pellolla kasvavan maissin kasvuun. Tutkimuksen mukaan (Run, L. et al. 2023) havaittiin, että PLA-mikromuovit merkittävästi alensivat maan pH-arvoa. Lisäksi korkeat PLA-mikromuovipitoisuudet vaikuttivat haitallisesti kasvien kasvuun. Korkeat PLA-mikromuovipitoisuudet muodostivat merkittävän uhan maaperän mikrobeille ja terveydelle lyhyellä aikavälillä. Tästä inspiroituneena halusin selvittää onko muovilla samanlaisia vaikutuksia maljakon/vaasin muodossa, mullan sijaan.

2.2 Materiaalien sekä vaasien valinta

Materiaalin valinta alkoi alunperin tutkimalla erilaisia 3D tulostettuja materiaaleja internetistä. Alunperin mietin PLA:n lisäksi ABS-muovia sekä jotain PLA pohjaista muovia, jossa olisi orgaanista täytemateriaalia. Juteltuani pajamestari Hector Reynoso Velasquezin kanssa, päädyimme lopulta täysin PLA pohjaiseen koesarjaan. Tämä oli myös syystä, että aikaisempia tutkimuksia jotka käsittelivät PLA:ta materiaalina löytyi paljon. Päädyin colorFabb-brändin tarjoamaan PLA Economy-, Woodfill- sekä Copperfill- PLA pohjaiseen muoviin. Woodfill muovissa on käytetty kierrätettyä hienoa mäntypuukuitua täytemateriaalina. Toivoin sen, orgaanista materiaalia sisältävänä, olevan vähemmän haittaa aiheuttava kukille kuin pelkän puhtaan muovin. Copperfill muovissa täyteaineena toimii kuparijauhe. Kuten johdannossa mainittu, jos maljakon pohjalle pudottaa pari viiden sentin kolikkoa, erityisesti tulppaanit säilyvät hyvänä pidempään. Tämä johtuu siitä, että kolikot tekevät vedestä hapokkaampaa, vähentäen bakteerien ja sienten kerääntymistä veteen. Tämä inspiroi Copperfill muovin käytön.

Vaasin valinta oli muutaman askeleen prosessi. Lasisen kontrollivaasin piti mahtua 3D-tulostimen tulostus alustalle, jotta siitä olisi mahdollista tehdä muoviset kopiot. Käytössä oli Ultimaker 2+ Connect -tulostin, joten tila oli 200x200x205mm. Kävin hakemassa noin 20cm korkean ja 10cm leveän vaasin, jota ajattelin käyttää tutkimuksessa, mutta päädyin lopulta monen pienen vaasin käyttöön yhden ison sijaan (Kuva 1.). Koen, että tämä muutos lisää luotettavuutta tulosten oikeanlaatuisuuteen, sillä ulkoiset tekijät vaikuttavat vähemmän monissa pienissä vaaseissa oleviin kukkiin kuin yhdessä isossa oleviin. Päädyin tekemään kaksi vaasia jokaisesta materiaalista, joista jokaiseen laitoin 2,5 dl huoneenlämpöistä vettä.



Kuva 1. Tekninen piirustus lopullisesta vaasista

2.3 3D-tulostus

Mallinsin vaasit SolidWorks-ohjelmalla, ja valmistellakseni tiedostoja tulostusta varten, käytin Ultimaker Cura:a. Tulostimen asetukset näkyvät alla (Taulukko 1.).

Kerroskorkeus	0.25mm
Seinän paksuus	0.8mm
Seinäriivien määrä	4
Täyte	20% Grid
Tulostuslämpötila	210°C
Rakennuslevyn lämpötila	60°C
Nopeus	65mm/s

Taulukko 1. 3D-tulostusasetukset

Kerroskorkeus oli 0.25mm koska vaasin pinnan ei tarvinut olla niin sileää, ja tämä lyhensi tulostusaikaa huomattavasti. Päädyimme myös pajamestari Velasquezin kanssa neljään seinään, takaaksemme vedenpitävyyden. Kaikki muut asetukset olivat normaaleja.

2.4 Kukkien valinta

Saadakseni parhaat mahdolliset tulokset lyhyessä ajassa, tulin lopputulokseen että valitsemani kukkalajikkeen tulisi olla mahdollisimman vaikea pitää elossa. Lajin pitäisi siis olla hyvin tarkka siitä, missä olosuhteissa se on ja reagoida negatiivisesti huonoihin olosuhteisiin. Kävin läpi monia kukka- sekä kasvilajeja, kysyin ystäviltä ja perheeltä joiden vastausten hajonta oli suuri. Tulppaanit tulivat mieleen heti, kun sain tietää mahdollisuudesta 3D-tulostaa kuparitäytteistä PLA:ta. Niiden lyhyt elinikä olisi myös ollut etu, mutta tarkistettuani asian alan opintoja suorittaneen ystävän kanssa, tulimme lopputulokseen että ruusu olisi hyvä vaihtoehto. Ruusujen elinikä on tulppaaneja hieman pidempi, noin 7-10 päivää hyvin huollettuna, mutta se mahtui kuitenkin tutkimusaikatauluuni. Kävin ostamassa Pirkka Reilun Kaupan pinkkejä ruusuja, ja käytin vain samasta kimpusta tulleita kukkia tutkimuksessa. Valitsin kahdeksan parasta ruusua, joihin leikkasin uudet imupinnat viistoon, terävällä veitsellä. Tein tietoisin valinnan olla vaihtamatta vettä koko tutkimuksen aikana, jotta PLA:n vaikutus olisi mahdollisimman suuri. Veden lisääminen olisi myös voinut lisätä esimerkiksi hapen määrää vedessä. Mittasin vielä lopuksi kaikkien vaasien pH arvot, jotta niitä voisi verrata Nanjingin Yliopiston tutkimukseen.

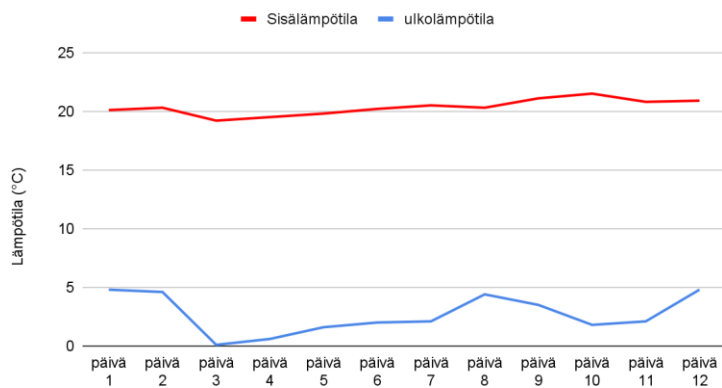
2.5 Dokumentointiprosessi

Ruusut saivat olla vierekkäin suuren läntisen ikkunan edessä, jossa ne saivat paljon valoa koko päivän ajan. Kukat siirrettiin kuvattavaksi joka päivä klo 17, kahden suuren studiovalon eteen, jossa ne kuvattiin järjestelmäkameralla jotta laatu olisi mahdollisimman hyvä. Valokuvauksen lisäksi kirjasin ylös joka kuvan yhteydessä silmämääräiset muutokset, verrattuna edellisen päivän kuvaan. Dokumentoin myös päivän säätilan sekä sisälämpötilan.

3. Tulokset

Valokuvasin ruusut ja tein muistiinpanoja jokaisena päivänä, mutta näytän vain päivät yksi, neljä, kahdeksan ja kaksitoista, jotta erot näkyisivät mahdollisimman selvästi. Ulkona oli pilvistä ensimmäisen viikon ajan ja aurinko alkoi paistamaan osan päivää viimeisen viiden päivän ajan. Dokumentoin myös sisä- ja ulkolämpötilan (Kaavio 1.).

Sisä- ja ulkolämpötila kuvaushetkellä



Kaavio 1. Sisä- ja ulkolämpötila kuvaushetkellä.

3.1 Päivä 1

Ruusut ovat juuri laitettu vaaseihin, ja ne ovat kirkkaan pinkkejä ja tuoreita. Niinkuin alla olevasta kuvasta huomaa, Woodfill vaasit (vaaleanruskeat) sekä Copperfill vaasit (punaruskeat) ovat vesilaseissa. Tämä johtuu siitä etteivät vaasit olleet vesitiiviitä. Ongelma ei selvästikään ollut tulostusasetuksissa, sillä samoilla asetuksilla tulostetut valkoiset PLA vaasit pitivät vettä normaalisti, vaan materiaalissa itsessään. Täyttömateriaali filamentissa on luultavasti tehnyt materiaalista vähemmän vesitiiviin. Kokeiltuani kaikkea ilmastointiteipistä muovikelmuun pysäyttääkseni vuodon, päädyin laittamaan vaasit puhtaisiin korkeisiin juomalaseihin. Lasista ei liukene muita mahdollisesti tutkimustuloksiin vaikuttavia materiaaleja, toisin kuin kelmusta tai teipistä saattaisi.



3.2 Päivä 4

Ruusut ovat kallistuneet eteenpäin, jotkut enemmän kuin toiset. Jotkut ruusuista alkoivat nuupahtaa huomattavasti nopeammin kuin muut, joten oli hyvä että vaaseja on enemmän kuin yksi materiaalia kohden. Lasi ja perus PLA pärjäävät parhaiten, eikä Woodfill ole kovinkaan kaukana. Copperfill-ruusut alkavat pikkuhiljaa nuupahtamaan nopeammin kuin muut.



3.3 Päivä 8

Ruusut alkavat olla huonossa hapessa. Alussa ollut kirkas pinkki väri on alkanut haalistumaan, ja terälehtien pinnassa alkaa näkyä ryppejä. Kuivumisen merkit alkavat myös näkyä. Woodfill ja Copperfill pärjäävät huonoiten.



3.4 Päivä 12

Kukkia ei kehtaa pitää enää. Rypyt ovat nyt vallanneet kaikki kukat, mutta erityisen huonolta näyttää Copperfill. Woodfill on toiseksi huonoin, mutta PLA:n ja lasin välillä ei ole massiivista eroa. Vasta kun katsoo läheltä, huomaa lasisessa vaaseissa olleiden ruusujen terälehtien oleman hitusen vähemmän rypyisiä, ja vihreiden lehtien olevan huomattavasti ryhdikkäämpiä.



3.5 pH-arvot

Päätin lopuksi mitata kaikkien vaasien veden pH arvon siltä varalta että selitys löytyisi sieltä (Taulukko 2.). Lyhyen ajan ja kurssibudjetin takia käytin uima-altaisiin tarkoitettuja pH liuskoja, ja uskon että kunnollisella pH paperilla saisi tarkemmat tulokset. Ruusujen mullan ihanteellinen pH on 6,5. Ruusut pitävät hieman hapokkaasta vedestä, ja pärjäävät myös jos luvut vähän heittävät, mutta jos vesi on liian hapokasta, ruusu ei kasva ollenkaan. Tämä selittääkin Woodfill- ja Copperfill vaasien huonon tuloksen.

	Hanavesi	Lasi	Valkoinen PLA	Woodfill	Copperfill
pH arvo	6,2	6,2	6,1	5,8	5,9
Ero ruusujen ihanteelliseen kasvu-ympäristöön (pH 6,5)	-0,3	-0,3	-0,4	-0,7	-0,6

Taulukko 2. Maljakoiden lopullisen veden pH-arvot

4. Johtopäätökset

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että 3D-tulostaminen vaasien ja maljakoiden valmistustapana on mahdollista. Paras materiaalivalinta näyttää olevan puhtas PLA ilman täytemateriaaleja. Suositeltavaa on kuitenkin varmistaa, että vaasissa on jokin pinnoite, joka varmasti pitää veden vaasissa ja suojaa sitä UV-säteilyltä. Pintakäsittely, kuten hiominen, voisi olla hyödyllistä, vähentääkseen mikromuovin irtoamista ja bakteerien kasvamista. Kaikesta huolimatta lasi on kuitenkin paras ja turvallisin materiaali tähän tarkoitukseen.

Tutkimusmenetelmän rajoituksiin kuului pelkästään yhden koesarjan suorittaminen, ja eri kukkalajien kokeilemisen vähäisyys. Tulokset lisäsivät kuitenkin tietoa tällä alueella, joka oli aiemmin vähän tutkittu. Aiemmin keskityttiin lähinnä mullassa kasvaviin kasveihin, kun taas tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vesitäytteisten maljakoiden vaikutusta kasvien säilymiseen.

Vaikka tuloksia voidaan jossain määrin yleistää, niiden soveltuvuus riippuu suuresti käytettävistä kukista ja käyttötarkoituksesta. Tutkimuksessa ei esimerkiksi tarkasteltu UV-säteilyn vaikutusta materiaalin eroosioon tai vedenpitävyyteen, mikä voi vaikuttaa tulosten yleistettävyyteen. Lisäksi kukkien laatu, aikaisempi hoito ja ympäristöolosuhteet voivat vaikuttaa tuloksiin.

Tuloksia voidaan hyödyntää antamalla suosituksia vaasien valmistukseen ja käyttöön, kuten valitsemalla sopiva materiaali ja laittamalla pinnoite veden ja UV-säteilyn varalta. Tutkimus herätti myös jatkotutkimushaasteita, kuten erilaisten pinnoitteiden tutkiminen ja pitkäikäisempien kukkien käyttäminen vaaseissa.

Jos tekisin tutkimuksen uudelleen, harkitsisin useampien koesarjojen tekemistä ja tarkempaa resurssien hallintaa, kuten vaasien vedenkestävyyden varmistamista ja koesarjojen standardoinnin lisäämistä. Uskon, että laadukkaampi pH-paperi ja laajempi materiaalivalikoima olisivat myös vaikuttaneet tulokseen. Lisäksi varmistaisin, että käytettävät kukat olisivat tasalaatuisia ja että kokeiden olosuhteet olisivat mahdollisimman standardisoidut ja vakiot.

5. Lähdeluettelo

ColorFabb. (n.d.). Copperfill. Luettavissa: <https://colorfabb.com/copperfill> [Viitattu: 25.3.2024].

ColorFabb. (n.d.). Woodfill. Luettavissa: <https://colorfabb.com/woodfill> [Viitattu: 25.3.2024].

Muoviyhdistys. (2020). Biopohjaiset ja biohajoavat muovit. Luettavissa: <https://www.muoviyhdistys.fi/2020/03/03/biopohjaiset-ja-biohajoavat-muovit/> [Viitattu: 27.3.2024].

Run, L., Jiawen, L., Yinghui, Y., Han, J., & Xingjun, T. (2023). Effect of polylactic acid microplastics on soil properties, soil microbials and plant growth. ScienceDirect. Luettavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653523007713> [Viitattu: 16.3.2024].

Wevolver. (n.d.). Food-grade 3D printing: Is PLA food safe? Luettavissa: <https://www.wevolver.com/article/food-grade-3d-printing-is-pla-food-safe> [Viitattu: 27.3.2024].