

3D-tulostuksen ja tulostusmateriaalien sovel- tuvuus kytkentäkoteloiden valmistamiseen – vaatimukset ja turvallisuus

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2025

Jasmin Huovila

Tiivistelmä

| | | |
|---|--|-------------------------|
| Tekijä(t) Jasmin Huovila | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 30 | Valmistumisaika 2025 |
| Työn nimi 3D-tulostuksen ja tulostusmateriaalien soveltuvuus kytkentäkoteloiden valmistamiseen – vaatimukset ja turvallisuus | | |
| Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus | | |
| Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) LUT-yliopisto | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä selvitettiin 3D-tulostuksen ja tulostusmateriaalien soveltuvuutta kytkentäkoteloiden valmistamista varten ottaen huomioon niin toimeksiantajan asettamat vaatimukset kuin eri standardit ja määräykset, jotka koskettavat kytkentäkoteloiden valmistamista. Tavoitteena oli määrittää ominaisuuksiltaan sopivia muovisia tulostusmateriaaleja kytkentäkoteloiden valmistamiseen.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin 3D-tulostamisen historiaan, erilaisiin valmistusmenetelmiin, valmistusmateriaaleihin sekä standardeihin ja määräyksiin, jotka koskettavat kytkentäkoteloiden valmistamista. Menetelminä opinnäytetyössä käytettiin tiedonhakua, jonka pohjalta tehtiin päätelmiä.</p> <p>Keskeisenä lopputuloksena opinnäytetyössä olivat annettujen kriteerien ja standardien mukaisesti valitut muoviset 3D-tulostusmateriaalit kytkentäkoteloiden valmistamista varten. Valittuja tulostusmateriaaleja käyttämällä tulisi olla mahdollista valmistaa turvallisia kytkentäkoteloiden valmistamista varten.</p> | | |
| Asiasanat 3D-tulostus, 3D-tulostusmateriaalit, kytkentäkotelot | | |

Abstract

| | | |
|--|---------------------|-----------|
| Author(s) | Type of Publication | Published |
| Jasmin Huovila | Thesis, UAS | 2025 |
| | Number of Pages | |
| | 30 | |
| Title of Publication | | |
| The suitability of 3D-printing and 3D-printing materials for manufacturing junction boxes – requirements and safety | | |
| Degree, Field of Study | | |
| Engineer (UAS), Mechanical Engineering | | |
| Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) | | |
| LUT-university | | |
| Abstract | | |
| <p>This thesis investigated the suitability of 3D-printing and 3D-printing materials for manufacturing junction boxes. Thesis considered both the requirements set by the client and various standards and regulations that affect junction boxes. The objective of the thesis was to determine thermoplastic 3D-printing materials with suitable properties for manufacturing junction boxes.</p> <p>The thesis examined the history of 3D-printing, various manufacturing methods used in 3D-printing, different materials and standards that affect junction boxes. Information retrieval was the main method used in this thesis.</p> <p>The main result of the thesis was the selection of suitable plastic 3D-printing materials for the production junction boxes given the criteria and standards. Using the selected printing materials, the junction boxes should be safe for use.</p> | | |
| Keywords | | |
| 3D-printing, 3D-printing materials, junction box | | |

Sisällys

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto..... | 1 |
| 2 | 3D-tulostaminen..... | 2 |
| 2.1 | 3D-tulostamisen historiakatsaus ja nykypäivä..... | 2 |
| 2.2 | Erilaiset 3D-tulostusmenetelmät | 5 |
| 2.3 | Nykypäivän tulostusmateriaalit | 9 |
| 2.3.1 | Muovimateriaalit | 9 |
| 2.3.2 | Metallit..... | 13 |
| 2.3.3 | Keramiikka..... | 13 |
| 2.3.4 | Komposiitti..... | 13 |
| 3 | KytKentäkoteloiden turvallisuusvaatimukset | 15 |
| 4 | 3D-tulostusmateriaalin ja -rakenteiden soveltuvuus sähkökomponenttien suojaamiseen | 22 |
| 4.1 | Toimeksiantajan asettamat kriteerit kytkentäkotelolle | 22 |
| 4.2 | Tulostusmateriaalien ja -rakenteiden vertaaminen turvallisuuden kannalta..... | 24 |
| 4.3 | KytKentäkoteloiden valmistamiseen valitut materiaalit ja perustelut siihen | 26 |
| 5 | Yhteenveto ja pohdinta | 29 |
| | Lähteet | 31 |

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tullaan selvittämään 3D-tulostamisen soveltuvuutta kytkentäkoteloiden valmistamiseen sekä muovista valmistettujen filamentitulostusmateriaalien soveltuvuutta kytkentäkoteloiden valmistamiseen. Opinnäytetyössä esitellään erilaisia 3D-tulostusmenetelmiä sekä materiaaleja, joita käytetään 3D-tulostamiseen. Opinnäytetyössä myös kerrotaan 3D-tulostamisen historiasta valmistusmenetelmänä. Opinnäytetyössä selvitetään myös sellaiset standardit sekä määräykset, jotka koskevat kytkentäkoteloiden ja niiden valmistamista. Kyseiset standardit ja määräykset tulee ottaa huomioon, kun mietitään esimerkiksi erilaisia 3D-tulostusmateriaaleja ja millaisia olosuhteita materiaalien tulisi kestää sekä millaisia vaatimuksia standardit ja määräykset asettavat myös materiaaleille. Tämän kaiken pohjalta tulisi valita ominaisuuksiltaan parhaiten kytkentäkoteloiden valmistamiseen sopivat filamentit.

Opinnäytetyön tavoitteena on määrittää toimeksiantajalle eli LUT-yliopistolle, millaiset muoviset 3D-tulostusmateriaalit ovat ominaisuuksiltaan sopivia kytkentäkoteloiden valmistamiseen 3D-tulostamalla. Samalla opinnäytetyössä tulee myös arvioida, miten tulostusmateriaalit ja rakenteet soveltuvat sähkökomponenttien suojaamiseen. Opinnäytetyössä tulee myös vertailla materiaaleja ja rakenteita niiden turvallisuuden kannalta. Lopputuloksena on ohjeistus siitä, millaiset 3D-tulostusmateriaalit sopivat ominaisuuksiltaan parhaiten kytkentäkoteloiden valmistamiseen 3D-tulostamalla sekä mitkä materiaalit sopivat myös ominaisuuksiltaan suojaamaan sähkökomponentteja kaikkien vaadittujen kriteerien kannalta.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on LUT-yliopisto (Lappeenranta-Lahti University of Technology, LUT), joka on perustettu vuonna 1969. LUT-yliopiston koulutustarjontaan kuuluu tekniikan, talouden ja yhteiskuntatieteiden opintoja. Yliopistolla on kampus sekä Lappeenrannassa että Lahdessa ja alueyksiköt Mikkelissä sekä Kouvolassa. (LUT-yliopisto a.)

LUT-yliopistot tekevät tiivistä yhteistyötä LAB-ammattikorkeakoulujen kanssa, ja ne muodostavatkin yhdessä LUT-korkeakoulut. LUT-yliopisto on akateemiseen tutkimukseen keskittynyt kansainvälinen tiedeyliopisto, kun LAB-ammattikorkeakoulu on puolestaan työelämälähtöiseen koulutukseen ja sen soveltavaan tutkimukseen keskittynyt ammattikorkeakoulu. Lappeenrannassa sekä Lahdessa LUT-yliopistot ja LAB-ammattikorkeakoulut sijaitsevat samoilla kampusalueilla. Opiskelijoita on yhteensä noin 16 500 LUT-korkeakouluyhteisössä. (LUT-yliopisto b.)

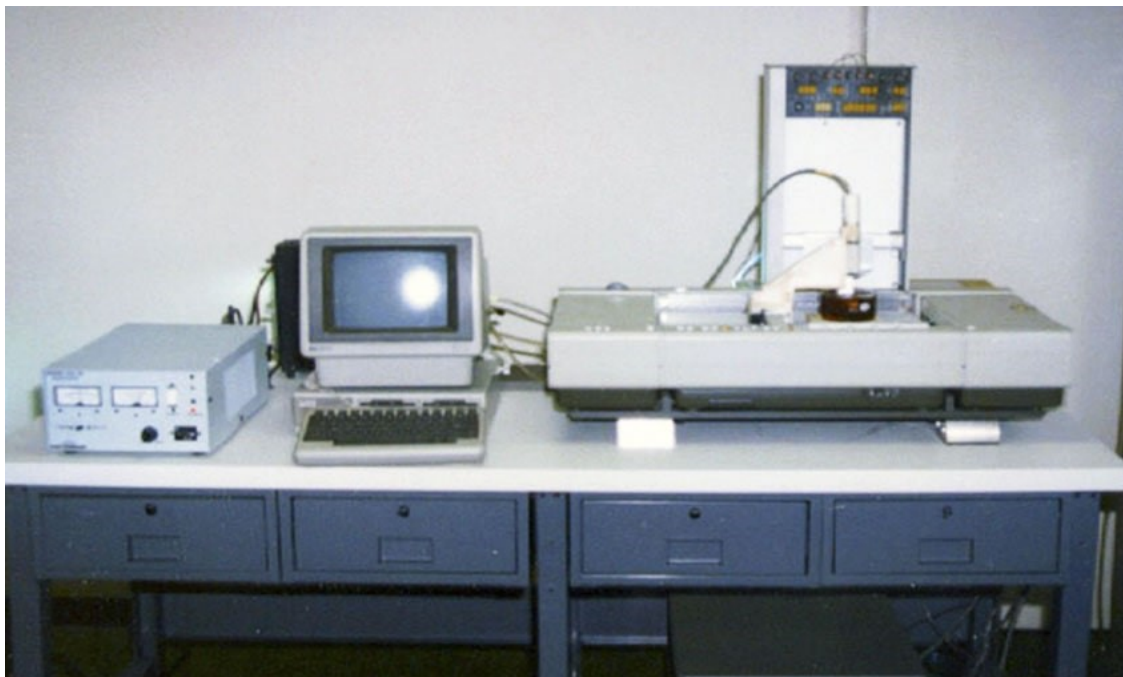
2 3D-tulostaminen

2.1 3D-tulostamisen historiakatsaus ja nykypäivä

3D-tulostuksen historia ulottuu aina 1980-luvulle asti ja kauemmas. Ensimmäisenä 3D-tulostuksen konseptin voidaan sanoa esittäneen David E. H. Jones vuonna 1974. Jones esiteli 3D-tulostuksen konseptin Ariadne nimisessä kolumnissaan New Scientist-tiedelehdessä. (Abdel-Aal 2022, 48.)

Ensimmäisen 3D-tulostamiseen liittyvän patentin haki Dr. Hideo Kodama vuonna 1981. Dr. Kodama sanoi kehittämiensä laitteen oleva pikamallinnuslaite. Dr. Kodamon menetelmässä käytettiin laservaloa kovettamaan hartsia. Tämän menetelmän kehitys kuitenkin päättyi jo vuoden jälkeen patentin hakemisesta. (Haines 2024).

Vuonna 1984 Charles Hull haki patenttia stereolitografia- eli SLA-nimiselle menetelmälle. Stereolitografiassa käytetään UV-valoa, joka sitten kovettaa hartsia. Hullille myönnettiin patentti stereolitografialle vuonna 1986. Samana vuonna Hull perusti myös oman yrityksensä – 3DSystemsin. Vuoden 1988 aikana 3DSystemsin julkaisi ensimmäisen 3D-tulostimen markkinoille ja kyseisen tulostinmallin nimi oli SLA-1. Kuvassa 1 on esitelty yksi ensimmäisistä stereolitografisista tulostimista. Nykyään 3DSystem on yksi 3D-tulostusalan suurimmista yrityksistä. (Haines 2024). Hull nimesi myös 3D-tulostamisessa käytettävät tiedostotyytit STL-tiedostoiksi, ja se on vielä tänäkin päivänä kaikkein laajimmin käytetty tiedostotyyppi 3D-tulostamisessa. (Horne 2024, 21)



Kuva 1 Yksi ensimmäisistä stereolitografisista 3D-tulostimista (Sculpteo 2025.)

Kuitenkin kolme viikkoa ennen Hullia, Alain Le Mehaute, Oliver de Witte sekä Jean Claude Andre hakivat myös patenttia stereolitografialle. Heidän työskentelynsä stereolitografian parissa päättyi kuitenkin pian rahoituksen lopettamisen takia, koska Alsthom ja CILAS eivät nähneet stereolitografiassa minkäänlaista menestymisen mahdollisuutta markkinoilla. (Abdel-Aal 2022, 48.)

Carl Deckard haki puolestaan SLS- eli valikoiva lasersintraus -nimiselle menetelmälle patenttia vuonna 1988. Deckardin SLS-menetelmä ei kuitenkaan ollut kovin kehittynyt vielä vuonna 1988, mutta idea siitä ja miten se toimisi oli jo olemassa ja työn alla. (Haines 2024).

Deckardin SLS-menetelmän lisäksi samana vuonna Scott Crump haki patenttia FDM- eli muovipursotus -menetelmälleen (eng. fused deposition modeling). FDM:lle myönnettiin patentti kuitenkin vasta vuonna 1992. Crump oli myös yksi Stratasys-yrityksen perustajajäsenistä. (Haines 2024). FDM on nykyään harrastajien ja kuluttajien eniten käyttämä 3D-tulostusmenetelmä sen helppouden takia. Vuonna 1992 Crumpin Stratasys-yritys julkisti sen ensimmäisen FDM 3D-tulostimen markkinoille. Vuonna 2009 FDM prosessin patentti meni umpeen. (Abdel-Aal 2022, 48.)

3D-tulostamisesta käytettiin pikamallinnus nimitystä vuoteen 1993 asti. MIT-yliopiston professori Emanuel Sachs esitteli uuden termin kuvaamaan menetelmää, ja se oli 3D-tulostaminen. (Haines 2024).

Koska kumpaakin FDM- ja SLA-prosesseja koskevat patentit menivät umpeen vuonna 2009, markkinoille alkoi tulemaan paljon erilaisia halvempia tulostinvaihtoehtoja. FDM-menetelmää käyttäviä tulostimia ilmestyi marketeille jo pian, mutta kuluttajille ensimmäinen järkevän hintainen SLA-tulostin ilmestyi vasta vuonna 2012. SLA-menetelmää käyttävän kohtuuhintaisen 3D-tulostimen takana oli Formlabs ja heidän Form 1 tulostin. (Haines 2024).

Nykypäivänä 3D-tulostamista käytetään monella eri alalla ja erilaiseen tarkoitukseen. Yksi 3D-tulostamisen käyttäjistä ja hyödyntäjistä on armeijat. Yhdysvaltojen armeija muun muassa on keskittynyt kehittämään sellaisia 3D-tulostimia, joilla olisi mahdollista tehdä droneja, joiden on todettu olevan hyödyllisiä sodankäynnissä. (Horne 2024, 112).

Puolestaan NASA eli Yhdysvaltojen ilmailu- ja avaruushallinto pyrkii tutkimaan ja kehittämään sellaisia 3D-tulostusmenetelmiä, joiden avulla olisi mahdollista tehdä avaruustutkimusmatkoista omavaraisempia. 3D-tulostamista olisi esimerkiksi mahdollista hyödyntää avaruusaluusten moottorien osien ja muiden varaosien tekemisessä. 3D-tulostusta voitaisiin myös hyödyntää ruuan valmistamiseen siten, että ruoka voitaisiin valmistaa jauheista ja vedestä ja se tulostettaisiin kiinteäksi syötäväksi ruuaksi. 3D-biotulostusta on ajateltu käyttävän lihan valmistamiseen avaruudessa sekä 3D-biotulostustekniikkaa voitaisiin myös käyttää kudosten sekä elinten tekemiseen terveydenhoitoa varten kaukaisilla ja pitkillä avaruusmatkoilla. (Horne 2024, 115–116.)

On myös esitetty, että 3D-tulostamista olisi mahdollista käyttää avaruusmatkailijoiden asuintilojen tekemiseen siten, että materiaaleina käytettäisiin paikallisia materiaaleja sekä energianlähteenä käytettäisiin tähdistä tulevaa säteilyä eli auringonvaloa. (Horne 2024, 115).

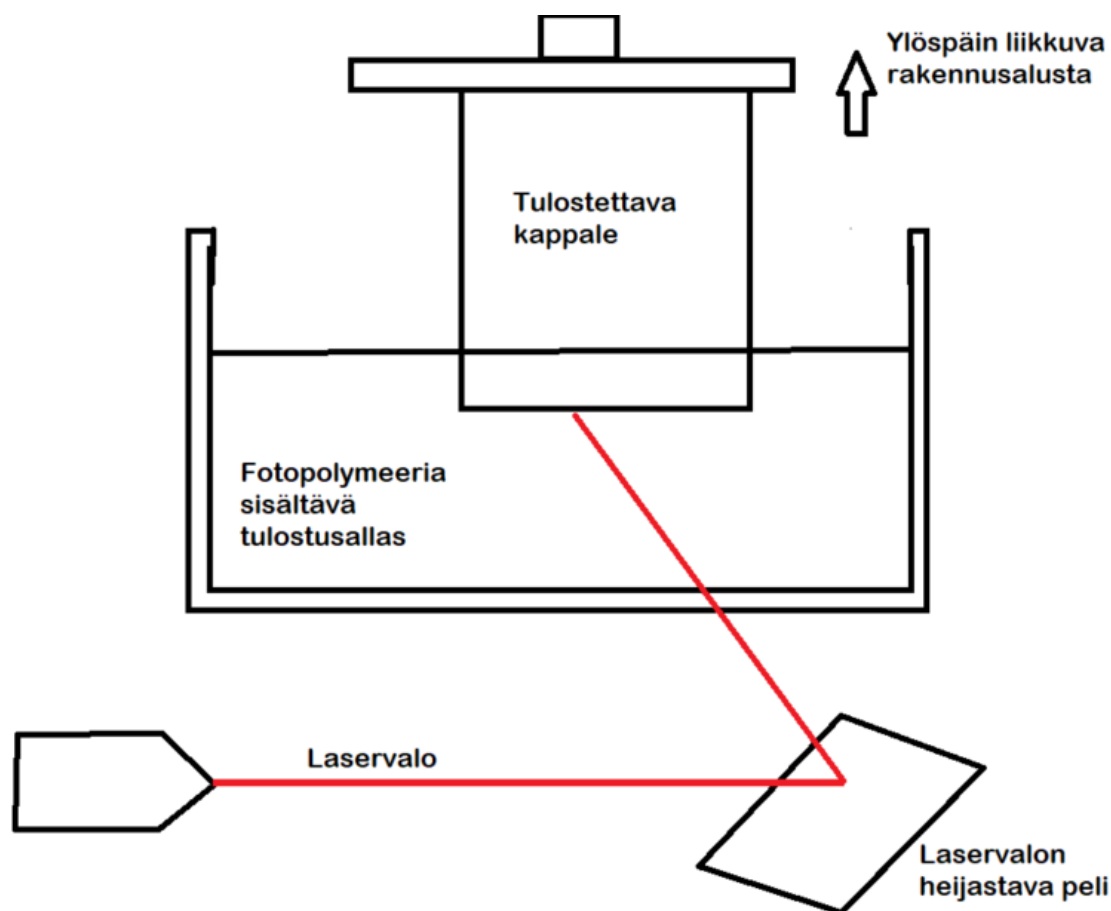
3D-tulostusta käytetään paljon erityisesti lääketieteen parissa. 3D-tulostusta on käytetty alussa ulkoisten tukien tekemiseen sekä proteesien valmistuksessa, mutta nykyään sitä käytetään jo vaativammissa asioissa kuten ortopedisissä implanteissa, proteeseissa sekä uusia leukaluita ja kallon suojalevyjä on tehty myös tulostamalla. Tulevaisuudessa 3D-biotulostus tulee varmasti kehittymään kohti elinten ja kudosten tulostamista ja hyödyntämistä. (Horne 2024, 117–118.) Ensimmäinen 3D-tulostettu lonkkaproteesi laitettiin lonkkanivelleikkauksessa ihmiseen vuonna 2007, ja muutaman vuoden päästä vuonna 2011 tehtiin ensimmäinen leukaluu 3D-tulostamalla. (Haines 2024).

2.2 Erilaiset 3D-tulostusmenetelmät

SLA – Stereolitografia

Stereolitografia eli SLA on Charles Hullin kehittelemä 3D-tulostusmenetelmä vuodelta 1984. SLA:ssa tulostusmateriaalina käytetään fotopolymeerejä, jotka kovettuvat kovaksi tietynlaisen valon alla. Hullin SLA-menetelmässä fotopolymeerien kovettamiseen käytetään keskitettyä UV-laservaloa. Stereolitografiaa käytetään valmistusmenetelmänä etenkin silloin, kun lopputuloksen halutaan olevan tarkkaa ja valmistettavassa kohteessa on pieniä yksityiskohtia, joiden halutaan onnistuvan erinomaisesti. (Horne 2024, 20–21.)

Stereolitografiassa tulostaessa on allas, johon upotetaan taso siten, että se on juuri ja juuri fotopolymeerin peittämänä. Sitten UV-laservalolla tehdään ensimmäinen kovettunut kerros tulostettavasta esineestä, ja sen jälkeen tulostasoa lasketaan hieman alemmas ja tehdään toinen kerros ensimmäisen päälle ja niin edelleen. Kaikkein kehittyneimmillä ja laadukkaimmilla SLA-tulostimilla on mahdollista tehdä sellaisia tulostettavia esineitä, että niiden yksityiskohdat ovat jopa mikroskooppisen pieniä. (Horne 2024, 21.)

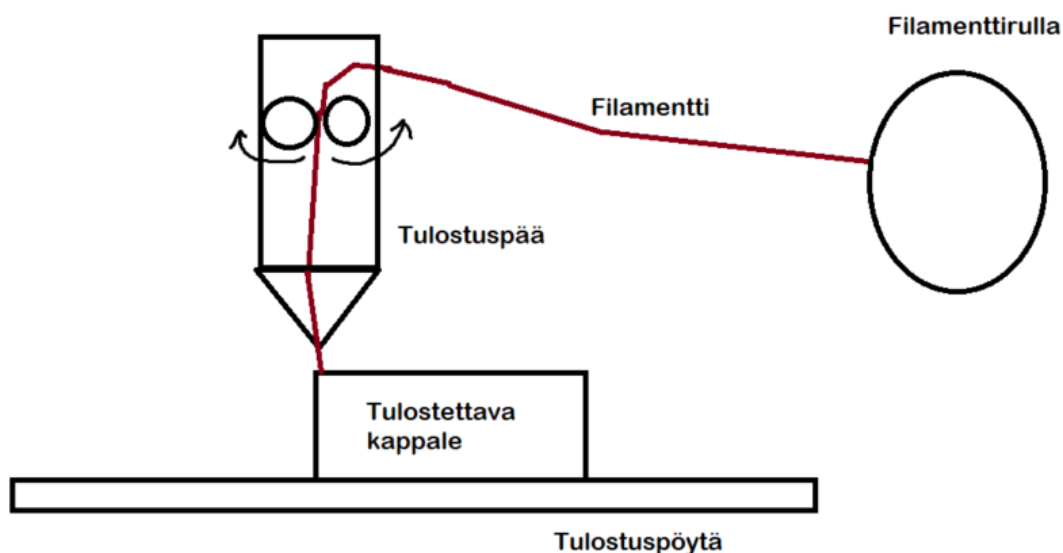


Kuva 2 Käänteisesti toimiva SLA tulostin (mukailtu Protolabs Network 2025a.)

Perinteisen SLA-menetelmän lisäksi on kehitetty sellainen versio, jossa tulostaminen tapahtuu toisinpäin. Siinä fotopolymeeria ei koveteta ylhäältä, vaan se kovetaan alhaaltapäin läpinäkyvän fotopolymeerialtaan läpi. Tulostin siis hiljalleen nostaa tulostettavan kappaleen esille tulostusaltaasta. Tämä valmistusmenetelmä on Formlabsin perustajien esittelemä menetelmä vuodelta 2011. (Formlabs 2025.) Käänteisesti toimivan SLA-tulostimen periaate on esitetty kuvassa 2.

FFF – Fused filament fabrication eli muovipursotus

FFF eli fused filament fabrication tunnetaan myös paremmin nimellä FDM eli fused deposition modeling. Suomenkielinen termi FDM-menetelmälle on muovipursotus. FDM on Scott Crumpin kehittelemä menetelmä, ja se on nykyään käytetyin 3D-tulostamismuoto. FDM:ssä käytetään useimmiten Hullin kehittelemää STL-tiedostomuotoa. Tulostaessa FDM-tulostin puristaa kuumennetun tulostinosan läpi filamenttia ja rakentaa siten tulostettavan kappaleen kerros kerrokselta. Tulostettu filamentti jäähtyy jopa minuuteissa huonelämpötilaan. (Horne 2024, 27.) Filamenttien lisäksi valmistusmateriaalina voidaan käyttää pellettimäisessä muodossa olevaa muovia. FDM:ssä käytetään tulostuspään liikuttamiseen useimmiten X-, Y-, ja Z akselia, mutta on olemassa sellaisia tulostimia, jotka käyttävät napakoordinaatistoa. (Carolo 2024.) Kuvassa 3 on esitetty FDM-menetelmällä toimivan 3D-tulostimen rakenne.



Kuva 3 FDM 3D-tulostimen rakenne (mukailtu Protolabs Network 2025b.)

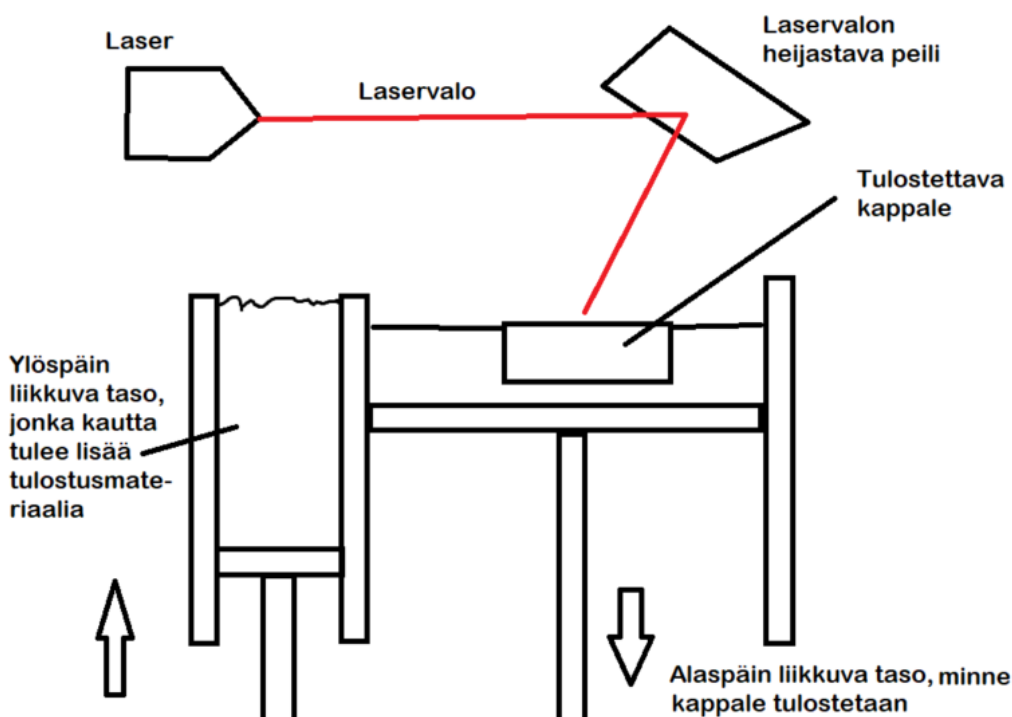
FDM-menetelmästä käytetään myös nimeä FFF, joka tarkoittaa fused filament fabricationia, koska FDM on terminä menetelmän kehittäneen Stratasys-yrityksen suojaama tavaramerkki. (Horne 2024, 28.)

FDM-tulostimien hyviä puolia on se, että niiden kokoa on mahdollista skaalata helposti verrattuna muihin tulostimiin. Materiaalikustannukset ovat FDM:ssä muihin tulostusmenetelmiin halvempia, joka tekee siitä myös kustannustehokkaan valmistusmenetelmän, kun ei vaadita esimerkiksi äärimmäistä tarkkuutta tulostettavalta kappaleelta. Koska FDM-tulostimien osat ovat halpoja ja tulostimen muotoilu on yksinkertainen, se mahdollistaa entistä suurempien sekä halvempien 3D-tulostimien valmistamisen. (Carolo 2024.)

SLS – Valikoiva lasersintraus

Valikoiva lasersintraus eli SLS on 3D-tulostusmenetelmä, jossa käytetään jauhomaista materiaalia tulostusmateriaalina. SLS-tulostamisessa käytettävät tulostimet ovat kalliita ja kaikkein eniten SLS-tulostusta käytetäänkin alan ammattilaisten toimesta erilaisiin sovelluskohteisiin. SLS-tulostamista käytetään usein korvaamaan CNC-koneistusta ja ruiskupuristusta, koska se on niin erikoistunut menetelmä sekä verrattavissa laadultaan edellä mainittuihin perinteisiin valmistusmenetelmiin. SLS-tulostaminen on myös nopeampaa ja halvempaa verrattuna perinteisiin menetelmiin ja sillä on myös mahdollista valmistaa muodoltaan sellaisia kappaleita, joiden valmistaminen olisi muuten hankalaa perinteisten menetelmien avulla. FDM-tulostamiseen verrattuna SLS-menetelmällä tulostetut kappaleet omaavat paremman mekaanisen kestävyuden sekä niiden pinnanlaatu on huomattavasti parempi. (Schwaar 2024b.)

Valikoivassa lasersintrauksessa käytetään laseria sulauttamaan jauhemaista muovimateriaalia kappaleeksi. Tulostaminen etenee kerros kerrokselta. SLS-tulostin kuumentaa jauheastiassa olevan tulostusmateriaalin sen sulamislämpötilan alapuolelle, ja kerros materiaalia levitetään tulostuspöydän päälle. Tämän jälkeen laserin avulla kovetetaan tulostuspöydällä oleva lämmitetty jauhemateriaali haluttuun muotoon sintraamalla. Kun kerros on valmis, tulostuspöytä liikkuu alaspäin ja tulostin levittää sen päälle uuden kerroksen jauhemaista tulostusmateriaalia. Sen jälkeen laserin avulla sintrataan uusi kerros laserin avulla. Tulostamista jatketaan näin kerros kerrokselta eteenpäin, kunnes on valmistunut tulostettava esine. Ennen kuin tulostetun esineen on mahdollista ottaa tulostimesta ulos pitää odottaa tulostusalueen jäähtymistä, joka voi viedä joissakin tapauksissa jopa useita tunteja. (Schwaar 2024b.) Kuvassa 4 on havainnollistettu, miten SLS-tulostin toimii periaatteessa, kun sillä tulostetaan jotain.



Kuva 4 SLS tulostimen rakenne (mukailtu Protolabs Network 2025c.)

SLS on tulostusmenetelmänä sellainen, että se vaatii jonkin verran jatkokäsittelyä. Esimerkiksi harjalla ja paineilimalla poistetaan tulostetusta esineestä ylimääräinen jauhe. Tulostettujen kappaleiden siistiminen voi tapahtua ihmisen tekemänä työnä, tai sitten siihen voidaan käyttää siihen erityisesti suunniteltuja laitteita. Kuitenkin SLS-tulostamisesta ylijäänyt jauhe on mahdollista käyttää uudelleen tulostamiseen, joka vähentää uuden jauheen lisäämisen tarvetta. (Schwaar 2024b.)

Tietyissä SLS-tulostimissa tulostusmateriaaleissa vaihtoehdot ovat rajattuja ja ne pystyvät käyttämään pelkästään PA 11 ja PA 12 nylonia. On kuitenkin olemassa sellaisia SLS tulostimia, jotka pystyvät käyttämään useampia materiaalivaihtoehtoja. Laserin vahvuudesta on kiinni, että mitä materiaaleja tulostin pystyy käyttämään tulostamiseen. (Schwaar 2024b.)

Metalleilla on käytössä SLS:n kaltainen menetelmä DMLS- eli suora metallilasersintraus. DMLS toimii samojen periaatteiden mukaisesti kuin SLS, eli kappale tulostetaan sintraamalla metallia kerros kerrokselta. DMLS mahdollistaa mahdollisimman vähäisen materiaalien hukkaamisen valmistusmenetelmänä ja sillä voi valmistaa monimutkaisia osia. (AI3DP 2024a.)

2.3 Nykypäivän tulostusmateriaalit

2.3.1 Muovimateriaalit

Muoviset tulostusmateriaalit ovat kaikkein suosituimpia ja eniten käytetyimpiä 3D-tulostusmateriaaleja maailmalla. Se on yksinkertainen materiaali kuluttajalle käyttää kotona 3D-tulostamisessa sekä muoveista löytyy myös teollisuuden käyttöä kestäviä vaihtoehtoja.

FDM menetelmässä pursottamiseen käytetyistä filamenteista suurimman osan muodostavat termoplastiset muovit, mutta niiden lisäksi on myös muita vaihtoehtoja olemassa ja markkinoille tulee koko ajan uudentyyppisiä filamentteja. Useimmiten filamentin paksuus on joko 1,75 mm tai 2,85 mm, mutta nykyään 1,75 mm halkaisija on filamenteissa kaikkein yleisin. (Horne 2024, 50–51.) Kuvassa 5 on havainnollistettu, miltä filamenttirullat näyttävät.



Kuva 5 Erivärisiä filamenttirullia (Flickr 2015.)

Filamenteja valmistetaan useissa eri väreissä ja markkinoilla on saatavilla myös läpinäkyviä filamentteja. Filamentit voivat vaihdella väritykseltään osan ollessa kiiltävämpiä ja osan ollessa mattamaisia väritykseltään. Joihinkin filamentteihin on lisätty esimerkiksi kimaltelevaa glitteriä.

Tulostaessa filamenteilla virheet johtuvat useimmiten juuri filamentissa olevista virheistä. Filamentin poikkeava paksuus aiheuttaa tulostaessa vääristymistä kappaleen muodossa, koska sitä tulee tulostimesta ulos vaihtelevalla paksuudella. Puolestaan filamentissa olevat epäpuhtaudet voivat aiheuttaa tulostimen suutinosan tukkeutumisen ja tuhota tulostinta. Ongelmat ovat paljon todennäköisempiä käytettäessä heikkolaatuisia filamentteja korkealaatuisempien sijaan. (Horne 2024, 51.)

ABS – Akryylinitriilibutadieenistyreeni

ABS (akryylinitriilibutadieenistyreeni) on tunnettu etenkin ikonisten tanskalaisten Lego-palikoitten valmistusmateriaalina. ABS on öljypohjainen tulostusmateriaali, jota käytetään 3D-tulostamista enemmän esimerkiksi ruiskuvaluissa. (Schwaar 2024a.) Tulostusmateriaalina ABS on sellainen, että se vaatii lämmitetyn tulostuspöydän, koska se alkaa muuten muuttamaan muotoaan, kun se jäähtyy. (Filamentti.com a.) ABS muovin taipumuksen takia muuttaa muotoaan jäähtyessä sitä käyttäen on vaikea tulostaa yli 150 mm suuruisia kappaleita (Horne 2024, 54).

ABS tulostusmateriaalin ominaisuuksiin vaikuttaa se, kuinka paljon tiettyä osa-ainetta on käytetty sen valmistamisessa. Akryylinitriili lisää esimerkiksi öljyn- ja korroosionkestävyyttä, butadieeni lisää iskunkestävyyttä sekä kovuutta, styreeni lisää materiaalin eristävyttä ja lujuutta. Yleensä tulostuslämpötilana käytetään noin 180–230 °C asteen lämpötilaa ABS:lla. Mentäessä yli 250 °C asteen lämpötilan, ABS:sta alkaa vapautumaan myrkyllisiä kaasuja. Tämän takia, kun tulostetaan ABS:lla, tulostustilassa pitäisi olla hyvä tuuletus ja ilmanvaihto käytössä. Tulostuksen aikana voi myös vapautua epämiellyttäviä hajuja ja se on normaalia ABS:lle. (Shi ym. 2021, 373–378)

PLA – Polyaktidi

PLA (polyaktidi) on yksi eniten käytetyistä tulostusmateriaaleista etenkin FDM (Fused Deposition Modeling) tyypisessä 3D-tulostamisessa. PLA on edullinen materiaalivalinta sekä se on erittäin helppo tulostusmateriaali vasta-alkajallekin sen ominaisuuksien takia. Esimerkiksi materiaalina PLA ei vaadi lämmitettyä tulostuspöytää kuten ABS, mutta PLA hyötyy jonkin verran lämmityspöydän käytöstä, koska se ennaltaehkäisee epämuodostumia. (Filamentti.com a.)

PLA:n valmistamisessa käytetään uusiutuvia materiaaleja ja sen sanotaan olevan myös biohajoava 3D-tulostusmateriaali, mutta näin ei ole aina. Vaikka PLA:n pohjamateriaalina käytetään esimerkiksi sokeriruokoa tai maissitärkkelystä, siihen saatetaan lisätä niiden lisäksi lisäaineita. Lisäaineilla pyritään parantamaan PLA:n ominaisuuksia, mutta osa lisäaineista on biohajovia ja osa ei ole, ja se vaikuttaa puolestaan PLA:n biohajoavuuteen. PLA

vaatii myös maatuakseen satoja vuosia ja PLA:n maatumisen vaatii tietynlaisia olosuhteita - kuten yli 30 °C asteen lämpötilaa - tapahtuakseen. (O'Connell & Bohlooli 2021)

PC – Polykarbonaatti

PC (polykarbonaatti) on suosittu 3D-tulostusmateriaali sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. PC on muoviksi kova materiaali, joka kestää hyvin suuriakin lämpötiloja. Polykarbonaattia käytetään esimerkiksi autoteollisuudessa ajovalojen prototyyppien tekemiseen, koska se on hyvin läpinäkyvää. PC säilyttää hyvin kovuutensa jopa -20 °C asteen lämpötilaan asti sekä PC:n mekaaniset ominaisuudet pysyvät muuttumattomina 140 °C asteeseen asti. PC omaa myös hyvät sähköneristyskyvyt sekä se on myös luonnostaan palonestävä materiaali. (Schwaar 2024a.)

PC filamentilla tulostaessa, kerrosten väliin jää kuitenkin erittäin pieniä tyhjiöitä, jotka vaikuttavat sen ominaisuuksiin. Polykarbonaatin ominaisuudet voivat muuttua myös esimerkiksi auringosta tulevan UV-säteilyn seurauksena. PC-filamentista tulostetusta kappaleesta tulee muun muassa läpinäkyvämpi UV-valolle altistumisen seurauksena ja siitä tulee myös hauraampaa. (Horne 2024, 54.)

PA – Polyamidi

PA (polyamidi) tunnetaan myös nimellä nylon. 3D-tulostusmateriaalina nylon on muoviksi erittäin kovaa ja se kestää jopa suuriakin lämpötiloja. Nylonin käyttäminen 3D-tulostusmateriaalina on kuitenkin hankalampaa kuin joidenkin muiden materiaalien, koska tietyt nylon filamentit vaativat jopa 300 °C asteen tulostuslämpötilan. (Schwaar 2024a.) Useimmiten käytettävä tulostuslämpötila on jossain noin 240–270 °C asteen välillä riippuen käytettävästä nylon filamentista. Koska kerrosten välinen tarttuvuus on erittäin hyvä nylon filamentteilla, on mahdollista tulostaa vedenkestäviä kappaleita. Nylon ei myöskään hajoa ja menetä ominaisuuksiaan asetonin vaikutuksen takia, kuten ABS. (Horne 2024, 54.)

PVA – Polyvinyylialkoholi

PVA (polyvinyylialkoholi) on vesiliukoinen tulostusmateriaali. Koska PVA on vesiliukoinen tulostusmateriaali, sitä käytetään usein tukimateriaalina, kun tulostetaan jollain muulla materiaalilla. PVA:n korkean vesiliukoisuuden takia, jopa liiallinen ilmankosteus voi olla haitallista PVA:lla tulostetulle kappaleelle. Jotkin tietyt PVA filamentit ovat myös sähkönjohtavia ja niitä käytetään erikoistuneiden virtapiirien tulostamiseen. PVA:n tulostuslämpötila on noin 180–200 °C asteen välillä. (Horne 2024, 54.)

PETG – Polyetyleenitereftalaatti glykoli

PETG (polyetyleenitereftalaatti glykoli) on puolikova 3D-tulostusmateriaali. PETG lasketaan elintarviketurvalliseksi materiaaliksi ja PETG:tä käytetään esimerkiksi muovipullojen valmistamiseen, vaikkakaan niitä ei valmisteta 3D-tulostamalla. PETG on myös hyvin säänkestävä materiaali, jonka takia sitä käytetäänkin usein sellaisissa kohteissa, joita käytetään ulkona. (Schwaar 2024a.)

PETG soveltuu myös sellaisiin kohteisiin, joissa valmistusmateriaalilta vaaditaan mekaanista kestävyyttä sekä kestävyyttä kemiallisia haittoja vastaan. Tämän takia PETG:tä käytetään esimerkiksi suojakoteloiden ja rasioiden valmistamisessa. Koska PETG omaa samanlaisia ominaisuuksia kuin ABS ja Nylon materiaalit, PETG:tä käytetään niiden korvaajana. (Filamentti.com a.)

3D-tulostusmateriaalina PETG vaatii myös korkean tulostuslämpötilan, ja sen suositeltu tulostuslämpötila onkin noin 220–245°C asteen välillä. PETG vaatii myös lämmitetyn tulostuspöydän, jonka lämpötila on noin 70–90°C asteen välillä. Tulosteen laatuun vaikuttaa PETG:llä myös tulostinmateriaalin kosteus sekä liian suuri kosteus aiheuttaa poikkeavuuksia tulosteessa. (Filamentti.com a.)

TPU – Termoplastinen polyuretaani

TPU (termoplastinen polyuretaani) on sellainen tulostusmateriaali, jossa yhdistyvät sekä muovi että kumi. TPU on pehmeä ja taipuisa materiaali ja sitä käytetään sen takia sellaisissa kohteissa, joissa vaaditaan taipumista tai venymistä tulostettavalta kappaleelta. Se on materiaalina kestävä ja se kestää muun muassa hankausta, öljyjä sekä kemikaaleja. TPU sietää lämpötilan vaihtelua kylmän ja lämpimän välillä. TPU on haastava tulostaa. (Schwaar 2024a.)

ASA – Akrylinitriilistyroliakrylaatti

ASA eli akrylinitriilistyroliakrylyytti. Tulostusmateriaalina ASA on sellainen, joka sietää hyvin erilaisia kemikaaleja. Se on kestävä ja vahva materiaali, joka ei myöskään menetä ominaisuuksiaan UV-säteilyn alla. (Schwaar 2024a.) Tämän takia ASAa käytetäänkin sellaisissa kohteissa, joissa vaaditaan materiaalilta sekä sään että auringon säteilyn kestävyyttä. Koska ASA soveltuu ulkokäyttöön hyvin, sitä käytetään esimerkiksi auto-, meri- ja matka-autokohteissa. (Filamentti.com a.)

ASA vaatii myös korkean tulostuslämpötilan ja sen tulostuslämpötila onkin noin 230–250 °C asteen paikkeilla. Kuten ABS, myös ASA vaatii hyvin lämmitetyn tulostuspöydän ja sen lämpötilaksi suositellaan myös noin 90–110 °C asteen lämpötilaa. Käytetyn

tulostuslämpötilan lisäksi ASA:n tulostuslaatuun vaikuttaa myös materiaalin kosteus. Liian suuri kosteus aiheuttaa poikkeamia tulosteessa. (Filamentti.com a.)

HIPS – Iskunkestävä polystyreeni

HIPS eli iskunkestävä polystyreeni on kokeellinen materiaali, joka on ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin ABS, mutta se menettää ominaisuuksiaan ja hajoaa limoneenissä. Koska HIPS:n käyttäminen 3D-tulostamisessa on sotkuista ja se aiheuttaa myös hajuja, sitä käytetäänkin usein hajoavana tukirakenteena tulostaessa muilla materiaaleilla. (Horne 2024, 55.)

2.3.2 Metallit

3D-tulostamisessa käytetään myös metalleja, ja niitä käytetään erityisesti silloin kun vaaditaan vahvempaa materiaalia. Tämän takia metallia käytetään 3D-tulostamisen parissa etenkin avaruus- ja autoteollisuuden sovelluksissa sekä lääketieteessä. (Horne 2024, 60.)

Metalleista tulostamiseen käytetään useimmiten terästä, ruostumatonta terästä, titaania, alumiinia, kuparia, pronssia sekä jalometalleja kuten kultaa, hopeaa ja platinaa. (Schwaar 2024a.) Titaania käytetään esimerkiksi proteesien valmistamiseen 3D-tulostamalla (Horne 2024, 60).

2.3.3 Keramiikka

Keraamisia tulostusmateriaaleja käytetään myös 3D-tulostamisessa ja ne omaavat monia sellaisia ominaisuuksia, mitä muut materiaalit eivät. Keraamiset tulostusmateriaalit ovat esimerkiksi erittäin lämmönkestäviä, ne kestävät hankausta ja hiomista erinomaisesti, niiden lämpölaajeneminen on vähäistä, ne eivät reagoi kemikaaleihin sekä niillä on hyvät sähköneristyskyvyt. Teknisiä keraamisia tulostusmateriaaleja on saatavilla monessa eri muodossa. Niitä on jauhemaisessa muodossa, erilaisina hartseina sekä filamentteina. (Schwaar 2024a.)

3D-tulostamisessa käytettäviä keraamisia valmistusmateriaaleja ovat esimerkiksi alumiinioksiidi, trikalsiumfosfaatti, piinitridi sekä titaanisilidiä (Shi ym. 2021, 7). Muita käytettäviä materiaaleja ovat zirkoniumdioksiidi, volframikarbidi kobaltti ja hydroksiapatiitti (Schwaar 2024a).

2.3.4 Komposiitti

Komposiittimateriaaleissa yhdistyy useita erilaisia materiaaleja. Yleensä komposiittimateriaaleihin on valittu materiaalit siten, että ne täydentävät ominaisuuksiltaan toisiaan ja

lopputuloksena on käyttötarkoitukseen parempi tulostusmateriaali. Esimerkiksi polymeereihin lisätyt hiilikuidut muodostavat komposiittimateriaalin, ja suosittuja hiilikuitukomposiitteja ovat PETG-CF, PLA-CF ja PA-CF. Komposiittimateriaalien tulostamiseen FDM-menetelmällä vaaditaan normaalien messinkisten tulostinpäiden sijaan erikoistuneita tulostuspäitä, jotka kestävät paljon enemmän korkeampia lämpötiloja. (Horne 2024, 56–57).

Markkinoilta löytyy hiilikuitukomposiittien lisäksi puu- ja metallikomposiitteja muun muassa. Puukomposiittien pohjana käytetään yleensä PLA muovia, johon on lisätty puukuituja. PLA pohjaiset komposiitit ovat todella yleisiä markkinoilla. (Schwaar 2024a.)

3 Kyt Kentäkoteloiden turvallisuusvaatimukset

Standardeja käytetään sekä valmistajien että maahantuojien toimesta osoittamaan, että kyseinen valmistettu tuote täyttää sille asetetut vaatimukset. Viranomaiset arvioivat puolestaan standardien avulla, että täyttääkö kyseinen tuote sille asetetun turvallisuustason. (Tukes a.)

Euroopassa on käytössä eurooppalaisia yhdenmukaistettuja standardeja, joilla pystytään mahdollistamaan tuotteen noudattavan EU:n alueella samoja vaatimuksia jokaisessa maassa. Yhdistetyillä eurooppalaisilla standardeilla mahdollistetaan myös, että tuotteet noudattaisivat EU-lainsäädäntöä ja tuotteiden valmistaminen olisi helpompaa. Yleensä yhdenmukaisten standardien noudattaminen on vapaaehtoista, mutta rakennustuoteasetukseen liittyvien standardien noudattaminen on pakollista. (Tukes a.)

Suomessa yhdenmukaisten standardien valmistamisesta vastuussa on Suomen Standarditoimisto SFS. Jokaisen standardin edessä on olemassa kirjaimet, jotka kertovat minkä organisaation vahvistama kyseinen standardi on. Suomessa vahvistetussa standardissa on kirjaimet SFS edessä, kun puolestaan eurooppalaisen standardointiorganisaation hyväksymän standardin edessä on kirjainyhdistelmä EN sekä kansainvälisesti hyväksytyssä standardissa on kirjaintunnus ISO ja IEC puolestaan. (Tukes a.)

Euroopan alueelta CEN:iin kuuluu yhteensä 34 valtiota, ja jokaisen siihen kuuluvan valtion standarditoimiston tulee vahvistaa kaikki ilmestyneet EN-standardit (SFS a.). Esimerkiksi Itävallan standarditoimiston vahvistamat standardit on mahdollista tunnistaa kirjainyhdistelmästä ASI (Austrian Standards International) sekä Saksan vahvistamat standardit tunnistaa puolestaan kirjainyhdistelmästä DIN (Deutsches Institut für Normung). Jokaisella CEN:iin kuuluvalla valtion standarditoimistolla on siis oma tunnuksensa, josta pystyy tunnistamaan millä alueella standardi on vahvistettu. (CEN 2022.)

Muutamassa eri standardissa on asetettu erilaisia turvallisuusvaatimuksia kytkentäkotelolle, jotka tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa ja silloin kun valitsee sopivia valmistusmateriaaleja valmistamista varten. Esimerkiksi standardissa SFS-EN 60670-1 on asetettu vaatimuksia kotitalouskäyttöön ja vastaaviin kiinteisiin sähköasennuksiin tarkoitettuihin asennusrasioita ja kotelointia kohti (SFS b.). Puolestaan standardissa SFS-EN 60529 määrittää sähkölaitteiden koteloitiluokitukset, eli kuinka hyvin sähkölaitteen kotelointi suojaa tietyn luokituksen mukaan sähkökomponentteja sen sisällä (SFS c.). Standardissa SFS-EN 62208 määritetään puolestaan tyhjiä koteloitinta koskevia asioita, ennen kuin siihen sijoitetaan mitään suoja- tai kytkinlaitteita koteloitinta käyttäjän toimesta (SFS d.) SFS-EN

62262 standardissa määritellään puolestaan erilaisten kotelointien mekaaniseen iskunkestävyyteen liittyviä asioita.

SFS-EN 60670-1. Kotitalouskäyttöön ja vastaaviin kiinteisiin sähköasennuksiin tarkoitetut asennusrasiat ja kotelot.

Standardi SFS-EN 60670-1 on 2014/35/EU ja 2006/95/EC pienjännitedirektiivin mukainen standardi, jossa on määritelty vaatimuksia kotitalouskäyttöön ja vastaaviin kiinteiseen sähköasennuksiin tarkoitettuja asennusrasioita ja kotelointeja koskevia vaatimuksia. Standardi on suunnattu sähköasennustarvikkeille tehdyille asennusrasioille, kotelointeille, koteloinneille ja niiden osille. Kyseisten osien mitoitusjännite on enintään 1000 V kun kyseessä on vaihtosähkö ja 1 500 V kun kyseessä on tasasähkö. Standardin alaiset osat on myös suunnattu kotitalouskäyttöön taikka vastaaviin sovelluksiin kiinteissä sähköasennuksissa. (SFS b.)

Standardissa määritelty suurin käyttölämpötila sähköasennuksiin tarkoitetuille asennusrasioille ja kotelointeille on 25°C, mutta lämpötilan nouseminen 35°C asti väliaikaisesti on sallittua. Standardin alaisia kotelointeja ja asennusrasioita voi käyttää ulko- sekä sisätiloissa kiinteissä sähköasennuksissa. (SFS b.)

Standardin SFS-EN 60670-1 mukaan koteloinnin on saatava aikaisiksi vähintään IPXXB kotelointiluokan mukainen suojaus (SFS b.). IPXX:n perässä oleva B tarkoittaa, että koteloinnin sisällä olevat asiat on suojattu sormella koskettamiselta (SFS c.). Suunniteltavan koteloinnin tulee noudattaa standardissa SFS-EN 60529 asetettuja vaatimuksia kiinteiden esineiden sisälle tunkeutumista vastaan (SFS b.).

Kotelointien tulee kestää standardin SFS-EN 60670-1 mukaan myös lämpöä sekä vanhenemista. Kotelointi laitetaan lämpökaappiin, jonka lämpötila on $+70 \pm 2$ °C ja sen annetaan olla siellä 168 tunnin ajan. Tämän jälkeen lämpökaapissa ollut testikappale otetaan pois ja sen annetaan olla huoneenlämmössä 96 tunnin ajan. Testiin jälkeen kappaleissa ei saa esiintyä haitallisia muutoksia. (SFS b.)

Koteloinnin tulee olla mekaanisesti kestävä ja sen tulee kestää asennuksen ja käytön aikana tulevia rasituksia sekä koteloinnin tulee myös kestää siihen aiheutuvia iskuja. Standardissa on määritelty, että eristysaineisten osien tulee kestää poikkeuksellista lämpöä ja tulta ja se määritellään hehkulankatestin avulla. Hehkulankatesti suoritetaan 650 °C lämpötilassa painamalla hehkulankaa kotelointiin kiinni 30 ± 1 sekunnin ajaksi. Kotelointi läpäisee hehkulankatestin, kun ei havaita liekkejä tai hehkumista tai liekit ja hehkuminen sammuvat alle 30 sekunnin kuluessa siitä, kun hehkulanka on otettu pois. (SFS b.)

SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019. Sähkölaitteiden koteloituudet (IP-koodi).

SFS-EN 60529 standardi on 2014/35/EU ja 2006/95/EC pienjännitedirektiivin mukainen standardi. SFS-EN 60529 standardi on tarkoitettu mitoitusjännitteeltään enintään 72.5 kV suuruisten sähkölaitteiden koteloituuksiin. Kyseinen standardi määrittelee koteloituudet sähkölaitteille ottaen huomioon, miten koteloituus estää ihmisiä koskettamasta sen suojaamaan sisältöön, estääkö koteloituus vierasesineiden ja pölyn haitallisen tunkeutumisen koteloituksien sisälle sekä miten koteloituus estää veden tunkeutumisen sen suojaamaan kohteeseen (SFS c.)

Standardissa SFS-EN 60529 esitetty IP koodi koostuu kirjaimista IP, jonka jälkeen tulee kaksi tunnusnumeroa. Ensimmäinen tunnusnumero kertoo sen, kuinka hyvin laitteisto on suojattu vierasesineiltä ja pölyn sisäänpääsystä. Toinen numero kertoo puolestaan, että kuinka hyvin koteloituksien suojaama laitteisto on suojattu veden haittavaikutuksilta. Tunnusnumeroiden jälkeen tulee lisäkirjain, joka kertoo suojaako koteloituus koskettamiselta. Sen jälkeen tuleva viimeinen täydentävä kirjain kertoo puolestaan täydentävää tietoa koteloituksista. Esimerkiksi onko kyseessä suurjännitelaitteisto, onko sitä testattu erityisiin olosuhteisiin taikka miten vesisuojausta on testattu. (SFS c.)

Tässä standardissa ei määritellä miltä ulkoisilta vaikutuksilta ja olosuhteilta koteloituksien tulee pystyä suojaamaan sen sisällä olevaa laitteistoa, vaan nämä kuuluvat laitekohtaisten standardien päätettäväksi. Koteloituksille voidaan asettaa määräyksiä suojata laitteistoa seuraavilta asioilta laitekohtaisessa standardissa: iskut, korroosio, syövyttävät aineet, sienet, tuhoeläimet, auringon säteily, jäätyminen, kosteus ja räjähdysvaarallinen ympäristö. (SFS c.)

SFS-EN 62208. Tyhjät koteloituudet jakokeskuskäyttöön.

Standardi SFS-EN 62208 on 2014/35/EU ja 2006/95/EC pienjännitedirektiivin mukainen standardi. Standardissa käsitellään kriteerejä tyhjiä koteloituksille, jotka on tarkoitettu jakokeskuskäyttöön. SFS-EN 62208 standardissa käsiteltävien koteloitusten nimelliskäyttöjännite on 1 000 V, kun kyseessä on vaihtosähkö korkeintaan 1 000 Hz taajuudella sekä nimelliskäyttöjännitteen suuruus on maksimissaan 1 500 V kyseessä ollen tasasähkö. Standardin mukaan koteloitusten luokittelu tapahtuu materiaalin, kiinnitystavan, tarkoitettun asennuspaikan, suojauksen mukaan sekä mitoitusjännitteen mukaan, jos kyseessä on eristeaineinen koteloituus. Standardin suojauksen määrittelevät IP-koodi standardista SFS-EN 60529 sekä IK-koodi standardista SFS-EN 62262. (SFS d.)

Standardissa SFS-EN 62208 määritteellään luokittelut, ominaisuudet sekä testausvaatimukset koteloituksia varten. Tämän standardin mukaiset koteloituudet sopivat niin sisä- kuin

ulkokäyttöön erilaisissa asennuksissa. SFS-EN 62208 standardi ei kuitenkaan koske sellaisia koteloiteja, joiden vaatimukset on määritelty juuri niitä koskevissa tuotestandardeissa. Yksi esimerkki sellaisista standardeista, joita standardi SFS-EN 62208 ei kosketa, ovat IEC-60670 sarjan standardit. (SFS d.)

Standardissa SFS-EN 62208 koteloinnin käyttölämpötila ei ylitä +40 °C asteen lämpötilaa eikä vuorokauden keskilämpötila saa ylittää +35 °C lämpötilaa, sekä alaraja lämpötilalle on -5 °C. Standardissa on säädetty myös suurimmasta sallitusta ilmankosteudesta eri lämpötiloissa. Sisätiloissa suhteellinen kosteus ei saa olla 50 % suurempi, kun lämpötila on +40 °C. Suurin sallittu ilman suhteellinen kosteus on 90 % +20 °C lämpötilassa. Jos koteloitinta käytetään puolestaan ulkona, suurin sallittu suhteellinen kosteus voi olla satunnaisesti jopa 100 %, kun lämpötila on +25 °C. Jos käyttöolosuhteet poikkeavat standardeista määräytyistä olosuhteista, on koteloinnin erikoisvaatimuksista sovittava sekä koteloinnin valmistajan että tilaajan kesken. (SFS d.)

Mekaanisen lujuuden iskunkestävyysluokitus eli IK-koodin testaamisen jälkeen kytkentäkotelon tulee täyttää sille määritelty IP-luokka sekä kestää jännityskokeet. KytKentäkotelon tulee kestää iskunkestävyysluokituksen testaamisessa kolme kertaa isku jokaiselle pinnalle, joka on alttiina iskuille, kun pisin sivu on enintään 1 metrin pituinen. KytKentäkotelon koteloitiluokan eli IP-koodin määrittämiseen käytetään standardin SFS-EN 62208 mukaan standardia SFS-EN 60529. SFS-EN 62208 standardin mukaisesti etäisyyskoetin ei saa mennä suojatun tilan sisälle. KytKentäkotelon sisällä ei saa myös olla vettä vedenkestävyyden testaamisen jälkeen. (SFS d.)

Koteloinnille tulisi suorittaa myös standardin IEC 60695 mukainen hehkulankatesti, jossa hehkulangan lämpötila on 650 ± 15 °C. Hehkulangan annetaan koskettaa kytkentäkoteloa 30 ± 1 sekunnin ajan, jonka jälkeen se otetaan pois. KytKentäkotelon katsotaan läpäisseen hehkulankatestin, jos koteloinnissa ei ole näkyviä liekkejä taikka pitkittynyttä hehkumista, tai jos koteloinnissa näkyy liekkejä ja hehkumista, mutta ne sammuvat 30 sekunnin kuluessa siitä, kun hehkulanka on otettu pois. (SFS d.)

Koteloinnin tulisi olla myös termisesti stabiili. Termistä stabiilisuutta testataan laittamalla koteloitinta lämpökaappiin +70 °C lämpötilaan 168 tunnin ajaksi. Lämpökäsittelyn jälkeen koteloitinta otetaan pois lämpökaapista ja sen annetaan olla 96 tunnin ajan ympäristön lämpötilassa kosteuden ollessa 45–55 %. Koteloinnissa ei saa olla havaittavana muutoksia kuten halkeamia, tahmaisuuksia ja rasvaisuuksia. Koteloitinta testataan myös kankaanpalalla 5 N voimalla. Kankaanpalasta ei saa tarttua kotelointiin tai koteloinnin ainetta ei saa tarttua kankaaseen. (SFS d.)

SFS-EN 62262. Sähkölaitteiden kotelointien mekaanisen iskunkestävyyden lujuusluokat (IK-koodi).

Standardi SFS-EN 62262 määrittelee kriteerit sähkölaitteille tarkoitettujen kotelointien ulkoisten mekaanisten iskujen kestävyydelle, kun kyseessä oleva kotelointi suojaa enintään 72.5 kV nimellisjännitteellä toimivaa laitteistoa. Standardia SFS-62262 sovelletaan sellaisille koteloinneille, joiden tuotestandardi määrittelee niille vaatimuksia koskien iskujen kestävyttä. Kyseisen standardin tarkoituksena on määrittellä erilaiset lujuusluokat, jotka saadaan aikaisiksi koteloinnilla, jotta ne suojaavat koteloinnin sisällä olevia laitteistoa vahingoittumisilta. Standardissa kuvataan myös käytettävät iskulujuusluokat sekä jokaiselle iskulujuusluokalle annetut vaatimukset. Standardissa SFS-EN 62262 määritellään myös ne testit, joiden avulla voidaan todeta koteloinnin täyttävän standardissa asetetut vaatimukset sähkölaitteiden kotelointien iskunkestävyydestä. (SFS e.)

Sähkömagneettinen yhteensopivuus – EMC

Koska kaikki sähkölaitteet ja -laitteistot vaikuttavat toisiinsa, niiden häiriöpäästöjen ja -sietojen on oltava vaatimustenmukaisia. Sähkömagneettisen yhteensopivuuden eli EMC-direktiivin 2014/30/EU:n tarkoituksena on varmistaa, että sähkölaitteet ja -laitteistot eivät häiriinny toisistaan. Valmistaja on vastuussa, että heidän kehittämä sähkölaite taikka -laitteisto noudattaa kyseistä direktiiviä. Sähkömagneettiset häiriöt leviävät laitteesta toiseen esimerkiksi johtimien kautta tai säteilemällä. (Tukes b.)

Kaikkien sähkölaitteiden ja -laitteistojen tulee noudattaa EMC-direktiiviä, jos on mahdollista, että ne voisivat aiheuttaa sähkömagneettisia häiriöitä tai jos niiden toimintaa voi häiritä toisen laitteen tai laitteiston aiheuttama sähkömagneettinen häiriö. On kuitenkin muutama soveltamisala, mihin EMC-direktiivin säädökset eivät vaikuta. Näitä ovat esimerkiksi radiolaitteet ja radioamatöörien käyttämät radiolaitteet sekä ilmailualan tuotteet. (Tukes b.)

Jos sähkölaite asennetaan tiettyyn kiinteään asennukseen ja sitä ei muuten ole myytävä markkinoilla, sitä ei koske EMC-direktiivi. Siinä tapauksessa sähkölaitteelle ei tarvitse tehdä EMC-direktiivin alaista vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely eikä valmistajan tarvitse tehdä EU-vaatimustenmukaisuusvakuutusta taikka laittaa laitteeseen CE-merkintää. (Tukes b.)

Koska tässä opinnäytetyössä materiaalivalinta tehdään yksittäistä kiinteään asennukseen suunniteltavaa kytkentäkoteloa varten eikä kyseistä kytkentäkoteloa tule muuten olemaan myytävänä, opinnäytetyössä ei tarvitse huomioida EMC-direktiivissä määrättyjä asetuksia sähkölaitteille. Täten 2014/30/EU EMC-direktiivi rajataan myös opinnäytetyön ulkopuolelle.

Sähköturvallisuus – LVD (Pienjännitedirektiivi)

LVD-pienjännitedirektiivillä säännellään laitteiden sähköturvallisuutta. LVD-direktiivin perimmäinen tarkoitus on varmistaa, että kaikki sähkölaitteet olisivat turvallisia niin ihmisille, kotieläimille ja omaisuudelle. Valmistaja on vastuussa, että sähkölaite noudattaa LVD-direktiivissä annettuja määräyksiä. LVD-direktiivi koskee niitä laitteita, jotka toimivat vaihtovirralla 50–1 000 V nimellisjännitteellä taikka tasavirralla 75–1 500 V nimellisjännitteellä. (Tukes c.)

LVD-direktiivi 2014/35/EU on otettu huomioon niissä standardeissa, joita käytetään opinäytetyössä määrittelemään turvallisuusvaatimuksia kytkentäkoteloidelle. Esimerkiksi standardeissa SFS-EN 60670-1, SFS-EN 62208 ja SFS-EN 60529 on otettu huomioon LVD-pienjännitedirektiivi 2014/35/EU, jonka takia sitä ei tulla käymään erikseen läpi tässä opinäytetyössä.

Standardien soveltaminen kytkentäkoteloiden valmistamiseen

Kun verrataan standardeja SFS-EN 60670-1 sekä SFS-EN 62208 kytkentäkoteloiden suunnittelun ja valmistamisen kannalta, on SFS-EN 62208 standardissa asetettu kytkentäkoteloidelle tiukemmat kriteerit, mutta kumpikin standardi on pääosiltaan sisällöltään samanlainen. Kytkentäkoteloiden materiaaliveikkojen arvioinnissa ja valinnassa tullaan huomioimaan standardissa SFS-EN 60670-1 asetetut vaatimukset kotitalouskäyttöön ja vastaaviin kiinteisiin sähköasennuksiin tarkoitetuista asennusrasioista ja koteloiden. Vaikka kyseinen standardi on suunnattu kotikäyttöön tulevien asennusrasioiden ja koteloiden suunnittelua varten, se on siitä huolimatta tähän käyttökohteeseen yksi sopivimmista standardeista. Opinäytetyön toimeksiantaja piti myös standardia SFS-EN 60670-1 kytkentäkotelon suunnittelua varten sopivana ottaen huomioon sen tulevan käyttökohteen.

Kytkentäkoteloiden suunnittelussa käyttökohteessa käytettävä jännite tulee olemaan enimmillään suuruudeltaan 1 000 V mitoitusjännitteeltään, kun kyseessä on vaihtosähkö taikka 1 500 V kun kyseessä on tasasähkö. Kytkentäkotelon käyttöolosuhteet tulee olemaan sisällä laboratorio-olosuhteissa. Käyttölämpötila tulee olemaan noin 20–25 °C sisällä. Standardin SFS-EN 60670-1 mukaan lämpötilan väliaikainen nousu 35 °C asti on sallittua, mutta se ei saa olla jatkuva käyttölämpötila kotitalouskäyttöön ja vastaavissa kiinteisiin sähköasennuksiin tarkoitetuilla asennusrasioilla ja koteloiden. Opinäytetyön toimeksiantajan asettamien kriteerien mukaan, valittavan materiaalin tulee kuitenkin kestää vähintään 40 °C lämpötiloja.

Standardi SFS-EN 60529 koskien kotelointien IP-koodeja eli sähkölaitteiden kotelointikoodeja ja standardi SFS-EN 62262 koskien kotelointien IK-koodeja eli mekaanista

iskunkestävyyttä on hyvä ottaa huomioon materiaalivalintaa miettiessä. Kumpikin standardi asettaa erilaisia vaatimuksia koskien materiaalivalintoja. IP- ja IK-koodit pystytään määrittelemään kytkentäkotelolle tarkemmin silloin, kun on tiedossa, että millainen kytkentäkotelon tulee olla. Tämän takia IP-koodeja koskevasta standardista saadaan materiaalin valintaa varten kriteeri, että sen tulee kestää vettä. Puolestaan IK-koodeja koskevasta standardista kriteeriksi tulee, että valittavan materiaalin on oltava iskunkestävä sekä sen tulee kestää räsitusta.

4 3D-tulostusmateriaalin ja -rakenteiden soveltuvuus sähkökomponenttien suojaamiseen

4.1 Toimeksiantajan asettamat kriteerit kytkentäkotelolle

Opinnäytetyön toimeksiantaja asetti myös kriteerejä koskien suunniteltavaa kytkentäkoteloa ja sen käyttöolosuhteita. Tämän kyseisen opinnäytetyön kytkentäkoteloa tullaan käyttämään laboratorio-olosuhteissa, jonka takia esimerkiksi valittavan materiaalin UV-valonkestävyys ei ole kaikkein tärkein kriteeri. Vaikka lämpötila tulee olemaan laboratorio-olosuhteissa noin 20–25 °C, tulee valitun materiaalin kestää vähintään 40 °C lämpötiloja. Sähkölaitteet saattavat usein hohkaa lämpöä, jonka takia todellinen lämpötila voi olla kytkentäkotelon sisäpuolella laboratorion sisälämpötilaa paljon korkeampi.

Laboratorio-olosuhteissa siisteys saattaa olla myös usein parempi, kuin esimerkiksi tehdasolosuhteissa. Tämä tarkoittaa sitä, että kytkentäkoteloon ei kohdistu yhtä paljon ympäristöstä tulevia likatekijöitä kuten suuria määriä pölyä tai jotain muuta massaa, jota saattaa tuotannossa olla ja irtaantua ja osua kytkentäkoteloon. Myös korroosiota aiheuttavia tekijöitä esiintyy vähemmän. Laboratorio-olosuhteissa on erittäin epätodennäköistä, että kytkentäkoteloon osuisi suoraan jonkinlainen vesisuihku, mutta vedenkestävyys tulee ottaa huomioon kytkentäkoteloa suunnitellessa sekä valitun materiaalin tulee kestää vettä.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli valmistanut kytkentäkotelon 3D-tulostamalla ja materiaalina oli käytetty PETG-filamenttia. Valittu materiaali ei ollut kestänyt käyttöolosuhteita ja sen muoto oli vääristynyt käytössä lämmön takia. Opinnäytetyön toimeksiantaja etsii kytkentäkoteloiden valmistamista varten paremman materiaalin, joka kestäisi yllä mainittuja olosuhteita sekä materiaali täyttäisi myös standardeissa asetet vaatimukset.

Kuvassa kuusi on havainnollistettu miltä kytkentäkotelon näyttää esimerkiksi, kun sen luukku on auki ja sen sisällä ei ole vielä mitään. Kuvassa seitsemän on puolestaan havainnollistettu kytkentäluukku siten, että sen luukku on kiinni. Markkinoilta löytyy monia erityyppisiä kytkentäkotelaita erilaisissa kokoluokissa moneen käyttötarkoitukseen.



Kuva 6 Kytentäkotelo, jonka luukku ei ole kiinni (Fibox)



Kuva 7 Kytentäkotelo, kun sen luukku on kiinni (Fibox)

Kuvissa kuusi ja seitsemän olevien kytkentäkoteloiden lisäksi on olemassa sellaisia kytkentäkotelaita, joiden sisälle pystyy näkemään, koska kotelon kannen materiaali on valmistettu läpinäkyvästä materiaalista. Yleensä kytkentäkotelot valmistetaan kuitenkin siten, että niiden sisälle ei pysty näkemään.

4.2 Tulostusmateriaalien ja -rakenteiden vertaaminen turvallisuuden kannalta

Muoviset 3D-tulostusmateriaalit sopivat luonnostaan hyvin sähkökomponenttien suojaamiseen, koska muovit ovat enemmän tai vähemmän eristäviä materiaaleja eivätkä ne johda sähköä hyvin. Tietyt filamentit saattavat johtaa sähköä hieman enemmän kuin toiset, mutta suurin osa niistä on turvallisia, kun niitä käytetään suojaamaan sähkökomponentteja. Tietyt PVA-filamentit ovat sähköä johtavia ja niitä käytetään tietynlaisten virtapiirien valmistamiseen.

3D-tulostusfilamentteja tulee vertailla materiaalien ominaisuuksien ja rakenteiden kannalta, jotta tiedetään, miten materiaalit sopivat kytkentäkoteloiden valmistusmateriaaliksi. Taulukossa yksi on vertailtu PLA (polyaktidi), PA (polyamidi eli nylon), PVA (polyvinyylialkoholi), PETG (polyetyleenitereftalaatti glykoli), ABS (akryliniitriilibutadieenistyreeni), PC (polykarbonaatti), ASA (akryliniitriilistyroliakrylaatti) ja HIPS (iskunkestävä polystyreeni) filamenttien ominaisuuksia. Materiaalien ominaisuuksien vertailua tehdessä ja mahdollisia valmistusmateriaaleja pohtiessa tulee ottaa huomioon niin standardeissa asetetut vaatimukset, kytkentäkotelaita koskevat säännökset sekä opinnäytetyön toimeksiantajan määrittelemät kriteerit.

| | Murtolujuus | Kestävyys (lämpö, UV, väsymys, vesi ja kemikaalit yhdessä) | Ylin käyttölämpötila | Tulostuslämpötila | Tulostuspöydän lämpötila | Iskunkestävä | Lämmönkestävä | Kemikaalinkestävä | Väsymyksenkestävä |
|-----|-------------|--|----------------------|-------------------|--------------------------|--------------|---------------|-------------------|-------------------|
| PLA | 65 MPa | Keskinkertainen | 52 °C | 190–220 °C | 45–60 °C | Ei | Ei | Ei | Ei |
| PA | 40–85 MPa | Erinomainen | 80–95 °C | 220–270 °C | 70–90 °C | Kyllä | Kyllä | Ei | Kyllä |

| | | | | | | | | | |
|------|--------|---------------|--------|------------|------------|-------|-------|----|-------|
| PVA | 78 MPa | Erittäin hyvä | 75 °C | 185–200 °C | 45–60 °C | Ei | Ei | Ei | Kyllä |
| PETG | 53 MPa | Erittäin hyvä | 73 °C | 230–250 °C | 75–90 °C | Ei | Ei | Ei | Kyllä |
| ABS | 40 MPa | Erittäin hyvä | 98 °C | 220–250 °C | 95–110 °C | Kyllä | Kyllä | Ei | Kyllä |
| PC | 72 MPa | Erinomainen | 121 °C | 260–310 °C | 80–120 °C | Kyllä | Kyllä | Ei | Kyllä |
| ASA | 55 MPa | Erinomainen | 95 °C | 235–255 °C | 90–110 °C | Kyllä | Kyllä | Ei | Ei |
| HIPS | 32 MPa | Erittäin hyvä | 100 °C | 230–245 °C | 110–115 °C | Kyllä | Kyllä | Ei | Ei |

Taulukko 1. PLA, PA, PVA, PETG, ABS, PC, ASA ja ABS muovifilamenttien ominaisuuksien vertailua (mukailen Simplify3D).

Taulukossa yksi arvioitiin sanallisesti filamenttien kestävyttä, kun lähteessä filamenttien kestävyden arviointi oli tehty asteikolla 0–10, numeron 0 tarkoittaen mahdollisimman huonoa kestävyttä ja numeron 10 tarkoittaen kaikkein parasta kestävyttä. Esimerkiksi PLA:n kestävyden arvosana oli 4, ja taulukossa se oli keskinkertainen. Arvosana erittäin hyvä tuli filamentteille, jotka olivat asteikolla 7–8 ja erinomainen tuli niille, jotka ovat saaneet arvonsaksi 9 tai 10. Kestävyys on määritelty taulukossa lämmön-, UV-, väsymyksen-, veden- ja kemikaalienkestävyyden summana.

Ensimmäisenä taulukossa yksi on esitetty, PLA-filamentti, jonka murtolujuus on 65 MPa ja kestävyys keskinkertainen. PLA on yksi suosituimmista filamentteista 3D-tulostamista varten, mutta sen ylin käyttölämpötila on vain 52 °C, jonka takia se ei ole sopiva materiaali kytkentäkoteloiden valmistamista varten. PLA ei ole myös iskunkestävä tai väsymyksenkestävä.

Toisena materiaalina taulukossa yksi on PA eli polyamidi, joka tunnetaan myös nylonina. PA on muoviksi erittäin kova ja se kestää myös 80–95 °C asteen lämpötiloja riippuen millainen PA-filamentti on kyseessä. PA on lämmönkestävä, iskunkestävä sekä väsymystä kestävä valmistusmateriaali. Nylonista voi myös valmistaa vedenkestäviä kappaleita, koska kerrosten välinen tarttuvuus on hyvä.

Kolmantena taulukossa yksi on PVA eli polyvinyylialkoholi. Vaikka PVA kestää jopa 75 °C lämpötiloja, se on vesiliukoinen valmistusmateriaali. PVA-filamentteja käytetään juuri tukimateriaalina sen vesiliukoisuuden takia. PVA ei ole myös iskunkestävä materiaali.

Seuraavana taulukossa yksi on PETG. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli valmistanut kytkentäkotelon PETG-filamentista, mutta se ei kestänyt käyttöolosuhteiden lämpötilaa ja se oli epämuodostunut, vaikka PETG:n ylin käyttölämpötila on 73 °C. Materiaalina PETG ei ole myös iskunkestävä.

Viidentenä taulukossa yksi on ABS-filamentti, joka kestää jopa 98 °C lämpötiloja. Se on materiaalina iskun-, lämmön- ja väsymyksenkestävä. ABS-filamentilla on vaikeaa tulostaa suurikokoisia kappaleita ja sitä käytetään enemmän pienempien kappaleiden 3D-tulostamiseen. ABS-filamentista vapautuu tulostamisen aikana myös myrkyllisiä kaasuja, jonka takia se vaatii hyvän ilmastoinnin tulostusvaiheessa.

Seuraavana taulukossa yksi on PC eli polykarbonaatti, joka on muoviksi kova materiaali. Taulukon yksi mukaan PC kestää 121 °C lämpötiloja sekä sen kestävyys on erinomainen. Se on iskun-, lämmön- ja väsymyksenkestävä materiaali. PC säilyttää materiaalina hyvin mekaaniset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa ja se on palonestävä materiaali.

Toiseksi viimeisenä materiaalina taulukossa yksi on ASA eli akryliiniitriilistyroliakrylaatti. ASA kestää 95 °C lämpötiloja ja se on myös iskun- sekä lämmönkestävä materiaali. ASA säilyttää materiaalina sen ominaisuudet hyvin myös UV-valon vaikutuksen alaisena ja sen kestävyys on erinomainen.

Viimeisenä taulukossa yksi on HIPS eli iskunkestävä polystyreeni. HIPS kestää jopa 100 °C lämpötiloja. HIPS on iskun- ja lämmönkestävä valmistusmateriaali. HIPS-filamentteja käytetään eniten tukimateriaalina, koska se hajoaa limoneenissa helposti sekä aiheuttaa erilaisia hajuhaittoja tulostaessa.

4.3 Kytkentäkoteloiden valmistamiseen valitut materiaalit ja perustelut siihen

Toimeksiantajan antamien vaatimusten sekä standardien ja määräysten vaatimusten mukaan valikoitui kolme kytkentäkoteloiden valmistamiseen sopivaa materiaalia, jotka on esitelty taulukossa 2. Kytkentäkoteloiden valmistusmateriaaleiksi valikoituivat PA, PC ja ASA niiden ominaisuuksien perusteella, koska ne sopivat kaikkein parhaiten annettuihin kriteereihin.

| | Murtolujuus | Kestävyys (lämpö, UV, väsymys, vesi ja kemikaalit yhdessä) | Ylin käyttölämpötila | Tulostuslämpötila | Tulostuspöydän lämpötila | Iskunkestävä | Lämmönkestävä | Kemikaalikestävä | Väsymyksenkestävä |
|-----|-------------|--|----------------------|-------------------|--------------------------|--------------|---------------|------------------|-------------------|
| PA | 40–85 MPa | Erinomainen | 80–95 °C | 220–270 °C | 70–90 °C | Kyllä | Kyllä | Ei | Kyllä |
| PC | 72 MPa | Erinomainen | 121 °C | 260–310 °C | 80–120 °C | Kyllä | Kyllä | Ei | Kyllä |
| ASA | 55 MPa | Erinomainen | 95 °C | 235–255 °C | 90–110 °C | Kyllä | Kyllä | Ei | Ei |

Taulukko 2. KytKentäkoteloiden valmistamiseen valitut materiaalit (mukailtu Simplify3D).

PA eli polyamidi omaa jopa 95 °C käyttölämpötilan riippuen filamentin tyypistä sekä se kestää käytössä vaihtelevia lämpötiloja, iskuja ja väsymystä. Polyamidilla on myös erinomainen murtolujuus sen ollessa jopa 85 MPa riippuen PA-filamentista. PA-filamentilla onnistuu myös vedenkestävien kappaleiden valmistaminen, koska kerrosten välinen tarttuvuus on hyvä. Polyamidi täyttää myös toimeksiantajan asettamat kriteerit: se kestää yli 40 °C lämpötiloja, se kestää vettä sekä siihen kohdistuvaa rasitusta. Polyamidin tulisi myös täyttää standardeissa asetut vaatimukset koteloinnin materiaalille.

PC eli polykarbonaatti omaa puolestaan valituista materiaaleista kaikkein korkeimman käyttölämpötilan, joka on 121 °C sekä se säilyttää hyvin mekaaniset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa. Polykarbonaatti kestää hyvin iskuja, väsymystä ja korkeita lämpötiloja. PC täyttää toimeksiantajan asettamat kriteerit kytkentäkotelon materiaalille sekä standardeissa asetettuja vaatimuksia. PC kestää yli 40 °C lämpötiloja, se kestää myös vettä ja siihen kohdistuvia iskuja.

ASA eli akryliniitriilistyroliakrylaatti kestää 95 °C lämpötiloja sekä se on iskunkestävä. ASA sietää hyvin lämpötilanvaihtelua ja UV-säteilyä, jonka takia sitä käytetään ulkokäyttökohteissa. ASA täyttää materiaalina toimeksiantajan antamat kriteerit sekä standardeissa olevia vaatimuksia. ASA kestää hyvin yli 40 °C lämpötiloja, iskuja ja vettä.

Muut materiaalit eivät soveltuneet kytkentäkoteloiden valmistamiseen erinäisistä syistä. PLA:n ylin käyttölämpötila on erittäin alhainen sen ollessa 52 °C. Alhainen käyttölämpötilan takia, se ei pääsisi standardin SFS-EN 60670-1 koteloinnin lämmönkestävyyden testiä, joka tehdään $+70 \pm 2$ °C lämpötilassa. PETG:llä ja PVA:lla olisi myös vaikeuksia selviytyä samasta lämmönkestävyyden testistä kuin PLA:n, koska PETG:n ylin käyttölämpötila on 73 °C ja PVA:n 75 °C. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli valmistanut kytkentäkotelon PETG:stä, joka ei toiminut käytännön olosuhteissa, vaan se muutti muotoaan liiallisen lämmön takia. PVA on puolestaan vesiliukoinen materiaali, joka ei tulisi kestäämään standardissa SFS-EN 60529 määriteltyjä vaatimuksia veden haittavaikutuksilta.

Vaikka ABS kestää jopa 98 °C lämpötiloja, siitä vapautuu tulostaessa myrkyllisiä kaasuja, eikä ABS-filamentilla ole suositeltavaa tulostaa suuria kappaleita, koska sen muodonmuutokset ovat suuria jäähtyessään materiaalien ominaisuuksien takia. HIPS ei puolestaan ole kytkentäkoteloiden valmistamiseen sopiva materiaali, koska se aiheuttaa erilaisia hajuhaittoja tulostaessa ABS:n tavoin ja HIPS-filamenttia käytetään enemmän tukimateriaalina 3D-tulostamisessa.

Tiedossa ei ole kuitenkaan, että kuinka hyvin valitut materiaalit – PA, PC ja ASA – selviäisivät standardissa SFS-EN 60670-1 olevasta hehkulankatestistä. Hehkulankatestissä kotelointia vasten laitetaan 650 °C hehkulanka, jonka annetaan olla siinä 30 sekunnin ajan. Sen jälkeen hehkulanka otetaan pois, ja kotelointi on läpäissyt testin, jos materiaali ei liekehti tai hehku tai liekit ja hehkuminen loppuvat 30 sekunnin sisällä siitä, kun hehkulanka on otettu pois. Materiaalivalinnat kaipaivat lisätutkimuksia niiden sopivuuden kannalta.

5 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli määritellä opinnäytetyön toimeksiantajalle sellaiset 3D-tulostusmateriaalit, jotka soveltuvat kytkentäkoteloiden valmistamiseksi varten. Samalla opinnäytetyössä tuli arvioida, miten tulostusmateriaalit soveltuvat suojaamaan sähkökomponentteja. Tavoitteena oli kehittää ohjeistus siitä, millaiset materiaalit sopivat parhaiten kytkentäkoteloiden valmistamiseksi varten 3D-tulostamiseksi varten ottaen huomioon toimeksiantajan asettamat kriteerit ja standardissa ja määräyksissä olevat vaatimukset.

Opinnäytetyössä perehdyttiin 3D-tulostamisen historiaan, erilaisiin 3D-tulostusmenetelmiin sekä nykyään käytettäviin erilaisiin tulostusmateriaaleihin. Tulostusmateriaaleista käytiin ohimennen läpi metalliset, keraamiset ja komposiittiset tulostusmateriaalit ja enemmän keskityttiin muovisiin termoplastisiin filamentteihin, joita käytetään muovipursotuksessa. Juuri muovisia tulostusmateriaaleja käytiin eniten läpi, koska kytkentäkotelon valmistusmateriaalin tuli olla muovi. Opinnäytetyössä selvitettiin myös kytkentäkoteloiden koskevat standardit ja direktiivit eli määräykset.

Vertaillen 3D-tulostuksessa käytettävien filamenttien ominaisuuksia yhdeksi tärkeimmäksi kriteeriksi nousi materiaalien ylin käyttölämpötila. Muita tärkeitä kriteerejä materiaallivalintoja tehdessä olivat materiaalin veden- ja iskunkestävyys. Nämä kriteerit tulivat niin toimeksiantajan puolelta kuin myös standardeista. Niiden perusteella selvitetystä materiaaleista valikoitui materiaalien ominaisuuksien perusteella kolme materiaalia, jotka soveltuisivat kytkentäkoteloiden valmistukseen: PA (polyamidi eli nylon), PC (polykarbonaatti) ja ASA (akryylinitriilistyroliakrylaatti). Valituista materiaaleista PC on ominaisuuksiltaan paras kytkentäkoteloiden tekemiseksi varten ja PA sekä ASA tulevat lähellä perässä. PC:n lämmönkestävyys on ylivoimaisesti paras.

Tämän opinnäytetyön aikana ei kuitenkaan päästy testaamaan sitä, miten materiaalit kävisivät käytännössä sähkökomponenttien suojaamiseen, jonka takia opinnäytetyössä tehdyt materiaalivalinnat perustuvat pelkästään annettuihin kriteereihin ja päätelyyn. Ei ole myös tiedossa, että kestävätkö kyseiset materiaalit hehkulankatestin, joka on standardissa SFS-EN 60670-1.

Materiaalivalintoja voitaisiin jatkokehittää testaamalla valittuja materiaaleja (PA, PC ja ASA) käytännössä ja tekemällä siitä saatujen tuloksien pohjalta jatkopäätöksiä. Käytännön testien perusteella jokin materiaalivalinnoista voi paljastua huonoksi ja joku paremmaksi valinnaksi. Valittujen materiaalivaihtoehtojen avulla olisi myös mahdollista kehittää kytkentäkotelon, ottaen tarkemmin huomioon relevantit standardit ja niissä annetut määräykset kytkentäkoteloiden materiaaleille ja kestävyydelle. Tämä vaatisi muun muassa hehkulankatestin

tekemisen, jotta voitaisiin tietää täysin, että miten turvallisia valitut materiaalit ovat paloturvallisuuden kannalta. Tässä opinnäytetyössä harkittujen termoplastisten filamenttien lisäksi voitaisiin selvittää komposiittimateriaalien käyttämistä kytkentäkoteloiden valmistamiseen. Hiilikuituja sisältävien komposiittien ylimmät käyttölämpötilat ovat usein korkeampia kuin termoplastisten muovien, joka voi olla eduksi kytkentäkoteloiden valmistamisessa. Hiilikuituja sisältävät komposiittimateriaalit saattaisivat lisätä myös kytkentäkotelojen paloturvallisuutta.

Lähteet

Abdel-Aal, H. Additive Manufacturing of Metals: Fundamentals and Testing of 3D and 4D printing. 1. painos. New York: McGraw Hill.

All3DP 2024a. DMLS 3D Printing / Direct Metal Laser Sintering in a Nutshell. Viitattu 24.04.2024. Saatavissa <https://all3dp.com/2/direct-metal-laser-sintering-dmls-simply-explained/>

Carolo, Lucas. 2024. What Is FDM 3D Printing? – Simply Explained. All3DP. Viitattu 24.04.2025. Saatavissa <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>

CEN. About CEN. Viitattu 28.04.2025. Saatavissa <https://standards.cenelec.eu/dyn/www/f?p=CEN:5>

Fibox. PC 765625 G 53330390. Viitattu 11.05.2025. Saatavissa <https://www.fibox.com/products/solid/pc-7656/5330390>

Filamentti.com a. Filamenttien tekniset ominaisuudet. Viitattu 09.04.2025 Saatavissa <https://www.filamentti.com/tekniset-tiedot/>

Formlabs. 2025. Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing. Viitattu 02.05.2025. Saatavissa <https://formlabs.com/eu/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/?srsltid=AfmBOopgPuTVM3N9Tn-oQai-MUf015k2G25KtLa8d0QtChTSyGfE54ca>

Flickr 2015. 3DKreator Filaments. Viitattu 11.05.2025. Saatavissa <https://www.flickr.com/photos/3dkreator/22364081573>

Haines, J. 2024. History of 3D Printing: When Was 3D Printing Invented? All3DP. Viitattu 10.04.2025. Saatavissa <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>

Horne, R. 2024. 3D Printing for Dummies. 3. painos. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

LUT-yliopisto a. Yliopiston esittely. Viitattu 14.04.2025. Saatavissa <https://www.lut.fi/fi/tutustu-meihin/yliopiston-esittely>

LUT-yliopisto b. LUT-korkeakoulut. Viitattu 14.04.2025. Saatavissa <https://www.lut.fi/fi/tutustu-meihin/yliopiston-esittely/lut-korkeakoulut>

O'Connell, J. & Bohlooli A. Is PLA Actually Biodegradable? All3DP. Viitattu 09.04.2025. Saatavissa <https://all3dp.com/2/is-pla-biodegradable-what-you-really-need-to-know/>

Protolabs Network 2025a. Schematic of SLA printer. Viitattu 02.05.2025. Saatavissa <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sla-3d-printing/>

Protolabs Network. 2025b. Schematic of a typical FDM printer. Viitattu 02.05.2025. Saatavissa <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>

Protolabs Network 2025c. Schematic of a SLS printer. Viitattu 02.05.2025. Saatavissa <https://www.hubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sls-3d-printing/>

Schwaar, C. 2024a. The Complete Guide to 3D Printing Materials. All3DP. Viitattu 10.04.2025. Saatavissa <https://all3dp.com/1/3d-printing-materials-guide-3d-printer-material/>

Schwaar, C. 2024b. The Complete Guide to SLS 3D Printing. All3DP. Viitattu 23.04.2025. Saatavissa <https://all3dp.com/1/sls-3d-printing-the-ultimate-guide/>

Sculpteo 2025. The SLA 1. Viitattu 09.05.2025. Saatavissa <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>

SFS a. Mitä standardi tarkoittaa? Viitattu 28.04.2025. Saatavissa <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>

SFS b. SFS-EN 60670-1. 2005. Kotitalouskäyttöön ja vastaaviin kiinteisiin sähköasennuksiin tarkoitettut asennusrasiat ja kotelot. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: SFS Suomen Standardit ry.

SFS c. SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019. 2019. Sähkölaitteiden koteloitiluokat (IP-koodi). Helsinki: SFS Suomen Standardit ry.

SFS d. SFS-EN 62208. Tyhjät koteloinnit jakokeskuskäyttöön. Yleiset vaatimukset. Helsinki: SFS Suomen Standardit ry.

SFS e. SFS-EN 62262. Sähkölaitteiden kotelointien mekaanisen iskunkestävyyden lujuusluokat (IK-koodi). Helsinki: SFS Suomen Standardit ry.

Shi, Y., Yan, C., Zhou, Y., Wu, J., Wang, Y., Yu, S. & Chen, Y. 2021. Materials For Additive Manufacturing. 1. painos. Lontoo: Elsevier.

Simplify3D. Filament Properties Table. Viitattu 17.04.2025. Saatavissa <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/properties-table/>

Tukes a. – Turvallisuus ja kemikaalivirasto. Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa. Viitattu 28.04.2025. Saatavissa <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaati-mustenmukaisuus/standardien-asema-vaatimustenmukaisuuden-osoittamisessa>

Tukes b. Sähkömagneettinen yhteensopivuus – EMC. Viitattu 03.05.2025. Saatavissa <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkomagneettinen-yhteensopivuus-emc>

Tukes c. Sähköturvallisuus – LVD. Viitattu 03.05.2025. Saatavissa <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkolaitteiden-vaatimuksia/sahkoturvallisuus-lvd>