



Jaakko Polet

Gateway-laatikon parannuksien suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Koneenosien suunnittelu

Insinöörityö

23.4.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Jaakko Polet
Otsikko: Gateway-laatikon parannuksien suunnittelu
Sivumäärä: 24
Aika: 23.4.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka
Ammatillinen pääaine: Koneenosien suunnittelu
Ohjaajat: Yliopettaja Jyrki Kullaa
Toimitusjohtaja Timo Konu Kaltio Technologies Oy

Tämä opinnäytetyö on tehty Kaltio Technologies Oy:lle. Kaltio Technologies Oy kehittää ja luo IoT-palveluita kaikenlaisiin tarkoituksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella gateway-laatikkoon sisäosien eristys, sekä uudet kiinnikkeet, jotka mahdollistavat elektroniikan nopean huollon ja vaihdon. Parannuksien tavoitteena oli myös parantaa iskunkestävyyttä ja lämpötilan- ja kosteudenhallintaa gateway-laatikon sisällä.

Lämmöneristeeksi gateway-laatikkoon valittiin Armaflex XG-solukumieristematto, joka tarjoaa hyvän kosteudensietokyvyn, iskunvaimennuksen ja lämmöneristykseen. Kiinnitysratkaisuksi valikoitui snap-fit-tyyppinen koukkuliitos, joka toteutettiin Onshape CAD-ohjelmassa suunnitelluilla 3D-tulostettavilla kiinnikkeillä. Prototyypit valmistettiin PLA- ja PETG-muoveista ja niiden toimivuus testattiin käytännössä.

Testauksessa liitokset osoittautuivat helposti asennettaviksi ja sopivan tiukoiksi. PLA-muovin hauraus rajoitti kiinnikkeiden kestävyyttä, mutta PETG:n arvioidaan soveltuvan lopulliseen tuotteeseen hyvin. Lopputuloksena syntyi kustannustehokas ratkaisu, joka parantaa gateway-laatikon käyttöikä ja huollettavuutta merkittävästi.

Avainsanat: suunnittelu, 3D-tulostus, IoT

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check –ohjelmalla.

Abstract

Author: Jaakko Polet

Title: Design Improvements for Gateway-Box

Number of Pages: 24

Date: 23 April 2025

Degree: Bachelor of Engineering

Degree Programme: Mechanical Engineering

Professional Major: Machine design

Supervisors: Jyrki Kullaa, Principal Lecturer

Timo Konu, CEO Kaltio Technologies Oy

This thesis has been commissioned by Kaltio Technologies Oy. Kaltio Technologies Oy develops and creates IoT-services for multiple applications.

The goal of this thesis was to design new insulation for the insides of a Gateway-box as well as new attachment points for the required electronics. The goal of these improvements was to improve the impact resistance, temperature and humidity control inside the gateway box.

The insulation material choice made for this thesis was Armaflex XG rubber, closed cell insulation, which provides good humidity resistance, improves impact resistance and insulates the gateway-box effectively. For the attachments, it was determined the best solution would be to design custom hook-type snap-fit fittings for the electronics on the OnShape CAD-program. The prototypes were 3D-printed using PLA- and PETG-plastics and their functions were tested with electronics.

In testing, the attachment points proved to be easily attachable to the box and the snap-fit fittings proved sufficiently tight. The use of PLA-plastic and its fragility proved difficult in testing the fittings, with a few breaking, but the PETG-plastic chosen for the final is expected to last well.

The result was a cost-effective solution that improves the lifetime and serviceability of the box significantly.

Keywords: design, 3D-Printing, IoT

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teoreettinen tausta	1
2.1	Lämmöneristyksen perusteet	2
2.1.1	Lämmönsiirtymisen muotoja	2
2.1.2	Lämmönvastus	2
2.1.3	Lämmönjohtavuus	2
2.2	Snap-fit-kiinnikkeiden suunnitteluperiaatteet	3
3	Eristysmateriaalin valinta ja suunnittelu	6
3.1	Materiaalivaatimukset ja vertailu	7
3.2	Markkinoilla saatavilla olevat vaihtoehdot	8
3.2.1	Polyuretaanivaaho	8
3.2.2	Solumuovit	8
3.2.3	Polystyreenit	8
3.2.4	Solukumieristematto	8
3.3	Materiaalivalinta	9
3.4	Asennus- ja testausmenetelmät	10
4	Snap-fit-kiinnikkeiden suunnittelu ja materiaalivalinta	11
4.1	Snap-fit-mekanismit ja tyypit	11
4.2	Materiaalivaatimukset ja vertailu	12
4.3	Prototyypimateriaalien valinta ja perustelut	12
4.4	Suunnittelu ja mitoitus CAD-ohjelmassa	13
4.5	Gateway-elektroniikan kiinnike	13
4.5.1	Versiovaihtoehdot	14
4.5.2	Valittu ratkaisu	14
4.6	Akkulaatikon kiinnike	15
4.6.1	Versiovaihtoehdot	15
4.6.2	Valittu ratkaisu	16
5	Prototyyppien valmistus ja testaus	17
5.1	3D-tulostuksen prosessi ja parametrit	17
5.2	Tulosten analysointi ja mahdolliset parannukset	21
6	Johtopäätökset ja jatkokehitysehdotukset	22

6.1	Työn keskeiset tulokset	22
6.2	Suunnittelun haasteet ja ratkaisut	22
6.3	Mahdolliset jatkokehityssuunnat	23
	Lähteet	24

1 Johdanto

Kaltio Technologies Oy kehittää ja toimittaa IoT (Internet of Things)–ratkaisuja eri toimialoille. IoT:llä tarkoitetaan esineiden verkkoutumista internetiin erilaisten sensorien avulla jotka siirtävät dataa analysoitavaksi. IoT-järjestelmän keskeisenä komponenttina on gateway joka toimii tiedonvälittäjänä sensorien ja pilvipalvelun välillä.

Opinnäytetyön gateway-laatikko on tarkoitettu sijoitettavaksi ulkokuntosalien käyttöasteseuranta varten ja altistuu siksi sään ja ilkvallan aiheuttamille rasituksille.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on valita Kaltio Technologies Oy:lle olemassa olevaan gateway-laatikkoon sopiva eristys, joka vaimentaa mahdollisia ilkvallan aiheuttamia iskuja, ja eristää gateway-laatikon paremmin lämpötilavaihteluilta. Tämän lisäksi tavoitteena on suunnitella gateway-laatikon elektroniikalle uudet kiinnikkeet, joiden avulla elektroniikan vaihtaminen ja huoltaminen gateway-laatikossa on mahdollisimman helppoa ja nopeaa. Kiinnikkeiden tulee olla myös helposti massatuotettavissa. Työ on rajattu keskittymään gateway-laatikkoon suunniteltavan lämmöneristyksen valintaan ja suunnitteluun, sekä sen sisäisen elektroniikan kiinnityksien uudelleen suunnitteluun snap-fit-kiinnityksillä.

2 Teoreettinen tausta

Tässä osiossa käsitellään työn kannalta keskeisimmät teoreettiset lähtökohdat, mukaan lukien perusteet lämmöneristyksestä, sekä iskunkestävyydestä ja snap-fit-kiinnikkeiden suunnitteluperiaatteista.

Iskunvaimennuksen merkitys on tämän gateway-laatikon kannalta erityisen tärkeää, koska gateway-laatikkoa käytetään usein julkisilla paikoilla altistaen sen vandalismille ja esimerkiksi iskuille ja törmäyksille. Gateway-laatikon sisällä oleva elektroniikka on siis tärkeää suojata iskuilta mahdollisimman hyvin.

Gateway-laatikko altistuu ulkona suurille lämpötilavaihteluille, jopa -30 °C pakkasesta $+30\text{ °C}$ lämpöön. Tämän vuoksi sen sisäosa on lämpäeristettävä, jotta elektroniikan elinikä, sekä gateway-laatikossa sijaitsevien akkujen keston maksimoidaan.

2.1 Lämmöneristyksen perusteet

Lämmöneristyksen tavoitteena on estää tai hidastaa lämmön siirtymistä kahden eri lämpötilan omaavan tilan välillä. Gateway-laatikon tapauksessa tavoitteena on suojata sisällä olevat komponentit ulkoisilta lämpötilavaihteluilta mahdollisimman tehokkaasti ja minimoida kosteuden tiivistyminen ja sen aiheuttamat vauriot.

2.1.1 Lämmönsiirtymisen muotoja

Lämmöltä eristämässä täytyy ottaa huomioon lämmönsiirtymisen muodot ja niiden vaikutus eristettävään kohteeseen, tässä tapauksessa gateway-laatikkoon. Lämmönsiirtyminen tapahtuu johtumalla, konvektiolla ja säteilyllä. Johtumisessa lämpö siirtyy aineen sisällä, konvektiossa lämmennyt aine kulkeutuu esimerkiksi kaasun tai virtauksen mukana ja säteilyssä lämpö siirtyy sähkömagneettisen säteilyn välityksellä, esimerkiksi auringon lämmittävä vaikutus perustuu säteilyyn. (Suvanto 2018:450-451)

2.1.2 Lämmönvastus

Lämmönvastus (R) kertoo materiaalin kyvystä vastustaa lämmön virtausta (Suvanto 2018:457). Tämän projektin kannalta halutaan eristysmateriaalille mahdollisimman hyvä lämmönvastustuskyky.

2.1.3 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuus (λ) tarkoittaa materiaalin kykyä johtaa lämpöä. Tämän projektin kannalta on oleellista, että valittava eristysratkaisu johtaa lämpöä

mahdollisimman heikosti, jolloin lämpötilamuutokset gateway-laatikossa olisivat mahdollisimman hitaita (Suvanto 2018:450-451).

2.2 Snap-fit-kiinnikkeiden suunnitteluperiaatteet

Snap-fit-kiinnikkeet ovat kustannustehokas ja helppo tapa kiinnittää kaksi osaa toisiinsa ilman työkaluja tai muita erillisiä kiinnitystarvikkeita. Snap-fit-kiinnikkeessä kiinnitys perustuu elastiseen muodonmuutokseen, jossa toinen kappale muuttaa aluksi muotoaan, palaten sen jälkeen alkuperäiseen muotoonsa lukiten osat toisiinsa (Stoll 1999:172). Huolellisesti suunniteltu snap-fit-kiinnitys on mekaanisesti kestävä ja helposti asennettavissa.

Snap-fit-mekanismeja on useita eri tyyppisiä, joista opinnäytetyön kannalta relevantteja ovat:

Cantilever eli uloke snap-fit

Uloke snap-fitissä uloke taipuu kunnes se liikkuu vastakappaleen ulokkeen ohi, palaten sen jälkeen takaisin muotoonsa (Kuva 1). Cantilever snap-fit on yleisin snap-fitin muoto ja se sopii hyvin suoraviivaiseen kokoonpanoon (Troughton 2014:188).



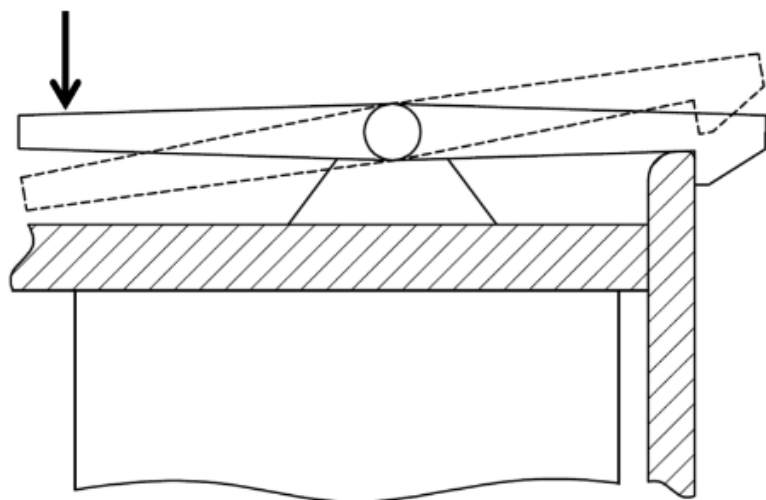
Kuva 1. Tunnettu esimerkki uloke snap-fitistä, pistosolki. (Snap Fit Joints: Types, Benefits, and Best Practices)

Vääntönapsautusnivel eli torsional snap-fit

Kiinnitys perustuu vääntöön ja sopii parhaiten pyöriviin tai liikkuviin liitoksiin.

Vääntönapsautusnivelessä kiinnitys tapahtuu nimensä mukaisesti vääntämällä (Kuva 2) (Troughton 2017:188).

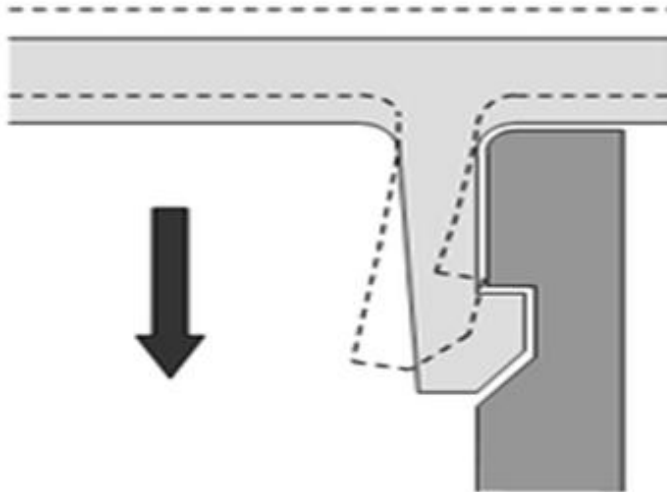
(4) Torsional Snap-Fit



Kuva 2. Esimerkki vääntönapsautusnivelen toiminnasta (Snap Fit Joints: Types, Benefits, and Best Practices).

Hook eli koukku-snap-fit

Koukkuliitoksessa uloke tarttuu vastakappaleen reunaan tai aukkoon. (Kuva 3)
Tämä soveltuu hyvin ratkaisuihin, jossa kappaleen irrottaminen ei ole jatkuvaa
(Troughton 2014:188.)



Kuva 3. Esimerkki koukkuliitoksen toiminnasta (Snap-Fit Design: The Complete Engineering Guide).

Taulukossa 1 erilaisten snap-fit-liitosten hyötyjä ja haittoja taulukoituna.

Taulukko 1. Erilaisten snap-fit-liitosten käyttökohteet, edut ja haitat

Tyyppi	Käyttökohteet	Edut	Haitat
Cantilever	Suorat liitokset	Helppo suunnitella	Alttius murtumiselle korkea
Torsional	Pyörivät liitokset ja nivelet	Kompakti rakenne	Vaatii tarkan mitoituksen
Hook	Pysyvämmät kiinnitykset	Hyvä pito, yksinkertaisuus	Haastavampi irrottaa

Snap-fit-kiinnikkeet tuovat suunnitteluun monenlaisia etuja, kuten matalat kustannukset, helpon kokoonpanon ilman erityisiä kiinnitystarvikkeita sekä

yksinkertaisuuden. Liitosten käyttö vaatii kuitenkin huolellista suunnittelua, sillä pienetkin virheet toleransseissa tai liitoksen muodossa voivat johtaa liitoksen rikkoutumiseen tai toimimattomuuteen. Myös yleisimmät virheet, joita suunnittelussa on tärkeää välttää esitellään.

Liian terävät sisäkulmat aiheuttavat kiinnikkeessä jännityksiä, erityisesti ulokkeiden juurissa. Liian pienillä säteillä suunnitellut kulmat saattavat aiheuttaa materiaalin murtumisen jo muutaman käyttökerran jälkeen (Snap Fit Joints: Types, Benefits, and Best Practices). Pyöristettyjä muotoja käyttämällä ja varmistamalla riittävän suuret säteet voidaan varmistaa materiaalin parempi kestävyys.

Väärä materiaalivalinta voi tehdä muuten hyvän kiinnikkeen toimintakelvottomaksi, sillä snap-fit-kiinnike tarvitsee riittävän joustavan, mutta kestävän ja jäykän materiaalin, joka kykenee palautumaan muotoonsa taipumisen jälkeen (Troughton 2014, s.191).

Myös sopimattomat välykset ovat yleinen ongelma snap-fit-kiinnikkeiden suunnittelussa. Mikäli kiinnike suunnitellaan liian isoilla välyksillä, se ei kykene pitämään kappaletta paikallaan, kun taas liian tiukka kiinnike on alttiimpi rikkoutumiselle (The Ultimate Guide to Snap Fit Designs: Types and Best Practices).

3 Eristysmateriaalin valinta ja suunnittelu

Tässä osiossa käsitellään gateway-laatikon sisäisen eristysratkaisun suunnittelu määrittelemällä ensin projektin vaatimukset eristemateriaalille, jonka jälkeen esitellään markkinoilta löytyviä vaihtoehtoja. Lopuksi on esitetty valitun materiaalin valintaperusteet ja kuvattu sen asennus- sekä testausmenetelmät.

3.1 Materiaalivaatimukset ja vertailu

Eristemateriaalia valittaessa otettiin huomioon gateway-laatikon käyttötarkoitus, rakenne ja toimintaympäristö. Gateway-laatikko tullaan sijoittamaan pääasiassa ulkotiloihin, jossa se voi altistua iskuille ilkvallan seurauksena. Myös lämpötilavaihtelut ja kosteus ovat merkittäviä tekijöitä käyttöolosuhteita ajatellen.

Eristemateriaalille muodostettiin seuraavat vaatimukset:

- Materiaalin tulee olla helposti asennettava:

Materiaalin on oltava helposti kiinnitettävissä gateway-laatikon seiniin ilman erikoistyökaluja, liimoja tai isompaa koulutusta.

- Materiaalin tulee olla helposti muokattava:

Eristeen on oltava helposti leikattavaa esimerkiksi mattoveitsellä tai saksilla.

- Tehokas lämmöneristyskyky:

Materiaalin tulee ehkäistä lämpötilavaihteluiden vaikutusta gateway-laatikon sisällä ja suojata elektroniikkaa ääriämpötiloilta.

- Materiaalin tulee olla iskua vaimentava:

Materiaalin tulee olla tarpeeksi pehmeää ja joustavaa, jotta se vähentäisi ilkvallan tai kolhujen vaikutusta sisällä olevaan elektroniikkaan.

- Paksuus:

Materiaalin tulee olla tarpeeksi ohut, jotta elektroniikka ja suunnitellut kiinnikkeet mahtuvat gateway-laatikkoon.

3.2 Markkinoilla saatavilla olevat vaihtoehdot

Kartoittaessa erilaisia materiaaleja gateway-laatikon eristämistä varten löydettiin seuraavia vaihtoehtoja:

3.2.1 Polyuretaanivaaho

Polyuretaanivaaho on halpa vaihtoehto eristämiseen, sillä on hyvä lämmöneristyskyky ja materiaali voi lisätä kotelon rakenteen lujutta. Se kuitenkin todettiin epäsopivaksi vaihtoehdoksi, koska sen levittäminen gateway-laatikkoon tarpeeksi tarkasti on turhan haastavaa ja elektroniikka tulee suojata. Materiaali ei myöskään auta iskunvaimennuksessa (Pech-Can ym. 2024).

3.2.2 Solumuovit

Solumuovit kuten PE eli polyeteenivaaho tai PP eli polypropeenivaaho ovat suhteellisen hyvä vaihtoehto materiaalivalinnaksi niiden joustavuuden, helpon muokattavuuden ja kosteudenkestävyyden takia. Niiden lämmöneristyskyky ei kuitenkaan ole tarpeeksi hyvä tähän projektiin (*Polyolefins*).

3.2.3 Polystyreenit

Polystyreenit kuten styrox omaavat hyvän lämmöneristyskyvyn ja ovat edullinen vaihtoehto. Se ei kuitenkaan takaa yhtä hyvää lämmöneristystä kuin Armaflex, ei ole yhtä helposti sopivaksi muokattavissa ja iskunvaimennusominaisuudet eivät ole riittävät (*EPS Enhances Buildings*).

3.2.4 Solukumieristematto

Solukumieristematot omaavat erinomaisen lämmöneristyskyvyn ja ovat helposti muokattava ja asennettava vaihtoehto sekä helposti saatavilla. Ne ovat myös pehmeitä ja joustavia, mikä antaa niille hyvän iskunvaimennuskyvyn (*ArmaFlex HT Technical Specifications*).

Taulukossa 2 erilaisten eristemateriaalien ominaisuudet kerättyinä taulukkoon.

Taulukko 2. Erilaisten eristemateriaalien vertailutaulukko

Materiaali	Lämmöneristyskyky	Iskunvaimennuskyky	Muokattavuus	Asennettavuus	Saataavuus	Hinta
Polyuretaani vaahto	Hyvä	Heikko	Heikko	Heikko	Hyvä	Edullinen
Solumuovit (PE/PP)	Kohtalainen	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Kohtalainen
Polystyreeni (Styrox)	Hyvä	Heikko	Kohtalainen	Kohtalainen	Hyvä	Edullinen
Armaflex XG	Erinomainen	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Kohtalainen

3.3 Materiaalivalinta

Materiaaliksi valittiin Armaflex XG 13mm solukumieristematto. Valinta perustuu materiaalin erinomaiseen lämmöneristyskykyyn, joustavuuteen, helppoon asennettavuuteen, iskunvaimennusominaisuuksiin ja hyvään saatavuuteen.

Armaflex-materiaalin alhainen lämmönjohtavuus tekee siitä hyvän ratkaisun lämpötilavaihteluiden hallintaan ja materiaalin suljettu solurakenne estää kosteuden sisäänpääsyn suojaten elektroniikan kondensaatiolta ja kosteudelta (*ArmaFlex HT Technical Specifications*).

Pehmeä ja joustava materiaali vaimentaa gateway-laatikkoon kohdistuvia iskuja ja tärinää vähentäen vaurioriskiä ilkvallan seurauksena. Armaflex on myös helppo muokata haluttuun muotoon saksilla tai mattoveitsellä.

Materiaalilla on lisäksi pitkä käyttöikä, eikä se menetä toimivuuttaan ajan kuluessa ja se on helposti saatavissa rautakaupoista (*ArmaFlex HT Technical Specifications*).

3.4 Asennus- ja testausmenetelmät

Eristemateriaali asennettiin gateway-laatikon seinämiin kiinnittämällä niihin ensin kaksipuoleista kosteuttakestävää teippiä (Kuva 4), jonka jälkeen eristemateriaali kiinnitettiin teippiin kiinni (Kuva 5). Teippi pitää materiaalin tukevasti paikallaan ja on prototyypivaiheessa hyvä ratkaisu materiaalin kiinnitykseen. Tulevaisuudessa voidaan selvittää erilaisten liimojen tai muiden vastaavien ratkaisuiden käyttöä.



Kuva 4. Eristeen kiinnityksen ensimmäinen vaihe, teipin kiinnitys gateway-laatikon seinämään.



Kuva 5. Eriste kiinnitettynä gateway-laatikon seinämään.

4 Snap-fit-kiinnikkeiden suunnittelu ja materiaalivalinta

Tässä osiossa käsitellään uusien snap-fit-kiinnikkeiden suunnittelu Gateway-laatikon elektroniikan kiinnittämiseksi. Alkuun käydään läpi mekanismit ja niiden tyypit sekä soveltuvuus, jonka jälkeen määritellään materiaalivaatimukset ja esitellään valinnat. Lopussa on käsitelty CAD-mallinnus, sen mitoitus ja erilaiset kiinnitysvaihtoehdot.

4.1 Snap-fit-mekanismit ja tyypit

Snap-fit-mekanismin tarkoitus on mahdollistaa kahden kiinteän kappaleen toistuva keskenäinen kiinnittäminen ja irrottaminen. Näissä mekanismeissa on erityisen tärkeää huomioida materiaalien geometria, kitka sekä materiaalien taipumisominaisuudet (Yoshida&Wada 2020:1).

Snap-fit-kiinnikkeet voidaan suunnitella erittäin vahvoiksi ja ne ovat yleensä huomattavan vahvoja liitoksia kun osat on liitetty yhteen, sillä kiinnike on tällöin matalassa potentiaalienergian tilassa, joka myös parantaa kiinnityksen sietokykyä esimerkiksi tärinälle (Stoll 1999:172).

4.2 Materiaalivaatimukset ja vertailu

Kiinnikkeiden materiaalivalinnassa huomioitiin useita teknisiä vaatimuksia. Materiaalin haluttiin olevan riittävän luja ja jäykkä, jotta kiinnike kestää toistuvan kuormituksen ja kykenee pitämään komponentin tukevasti paikallaan. Samalla materiaalin täytyy olla tarpeeksi joustava, jotta liitos toimii suunnitellulla tavalla.

Tärkeänä kriteerinä oli myös materiaalin soveltuvuus 3D-tulostukseen ja projektin prototyypivaiheesta mahdolliseen massatuotantoon. Tästä syystä valituilla materiaaleilla täytyi olla hyvä tulostettavuus ja niiden täytyi olla sopivia ruiskupuristukseen tai sitä vastaavaan tuotantomenetelmään.

Taulukossa 3 on kuvattu kolmen eri muovin vertailu vaatimuksien näkökulmasta (*3D Printer Filament Comparison Guide*).

Taulukko 3. Erialaisten 3D-tulostusmateriaalien vertailu

Vaatus	PLA	PETG	ABS
Jäykkyys	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Joustavuus	Heikko	Kohtalainen	Kohtalainen
3D-tulostettavuus	Erinomainen	Erinomainen	Hyvä
Soveltuvuus massatuotantoon	Hyvä	Hyvä	Erinomainen
Iskunkestävyys	Heikko	Hyvä	Hyvä

4.3 Prototyypimateriaalien valinta ja perustelut

Prototyypimateriaaliksi valittiin PLA-muovi, sillä se oli paras projektin saatavilla olevista materiaaleista. Lopulliseksi materiaaliksi kiinnikkeille valittiin PETG-muovi sen kestävyden, jäykkyyden sekä sopivan joustavuuden takia. PETG on myös helppo 3D-tulostaa.

4.4 Suunnittelu ja mitoitus CAD-ohjelmassa

Projektin tavoite oli suunnitella kiinnitys kahdelle eri osalle: Gateway elektroniikalle sekä akkulaatikoille. Suunnittelua toteutettaessa todettiin nopeasti että koukku-tyyppinen snap-fit-liitos toimisi projektissa parhaiten. Kummastakin osasta mallinnettiin erilaisia versioita, joista lopullisiin ratkaisuihin päädyttiin yrityksen kanssa käytyjen keskusteluiden pohjalta.

Työssä käytettiin taulukossa 4 olevasta taulukosta löytyviä suunnittelutoleransseja:

Taulukko 4. Työssä käytetyt toleranssit.

Yhteystyyppi	Toleranssi	Huomioita
Snap-fit-liitos	0.2–0.5 mm	PETG:llä 0.3 mm on todettu hyväksi lähtökohdaksi
Liukupinnat / ohjausurat	0.1–0.3 mm	Helppo asennus ilman puristusta
Puristusistukkaan menevä osa	-0.1–0 mm	Pysyy kiinni ilman lisäkiinnikkeitä
Mekaaniset kiinnityspisteet (esim. pultin reiät)	Ø +0.1–0.3 mm	Estää kiinnikkeiden kuormittumisen väärin

4.5 Gateway-elektroniikan kiinnike

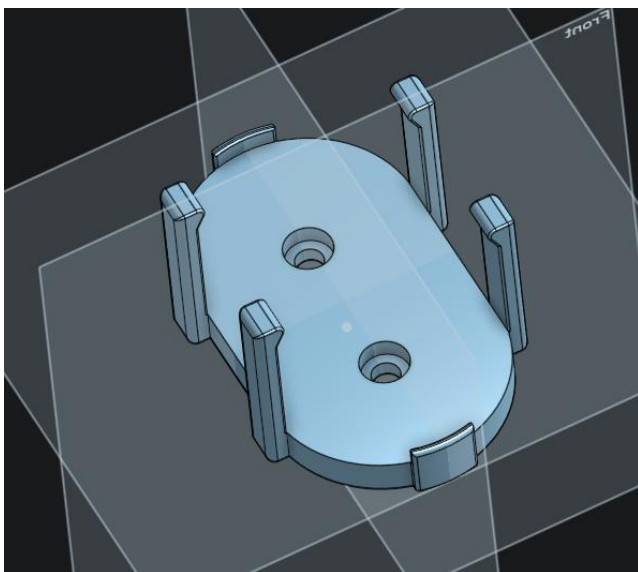
Gateway-elektroniikan kiinnitykseen suunnitellun kiinnikkeen tavoitteena oli kiinnittää elektroniikka gateway-laatikkoon helposti, mutta tukevasti niin, että se on tarpeen mukaan helppo vaihtaa. Suunnittelussa todettiin parhaaksi ratkaisuksi snap-fit-tyyppiset koukkuliitokset ja suunnitella kiinnikkeen pohjan päätyihin pienet lipat sivusuunnassa tapahtuvan liikkeen estämiseksi. Suunnittelussa haluttiin myös ottaa huomioon kiinnikkeen kiinnittäminen gateway-laatikkoon uraruuveilla ja täten suunniteltiin syvennykset uraruuvien päitä varten. Syvennykset ovat ruuvien päiden osalta ylisuuret, jotta kiinnikkeen voi kiinnittää monenlaisilla uraruuveilla pään muodosta huolimatta.

4.5.1 Versiovaihtoehdot

Gateway-elektroniikan kiinnikkeen kohdalla visio kiinnikkeen suunnitteluratkaisusta oli alusta asti hyvin selkeä ja suunnitteluprosessissa ei tehty merkittäviä muutoksia.

4.5.2 Valittu ratkaisu

Valitussa ratkaisussa on elektroniikan kannen muotoinen pohja, jossa on valmiit reiät uraruuveja varten. Pitkien sivujen päihin on suunniteltu ulokkeet, jotka estävät elektroniikan liikkumisen sivusuunnassa ja sivuilla on neljä koukku-tyyppistä snap-fit uloketta, jotka pitävät elektroniikan vertikaalisuunnassa paikallaan (Kuva 6).



Kuva 6. Gateway-elektroniikkakiinnikkeen CAD-malli.

4.6 Akkulaatikon kiinnike

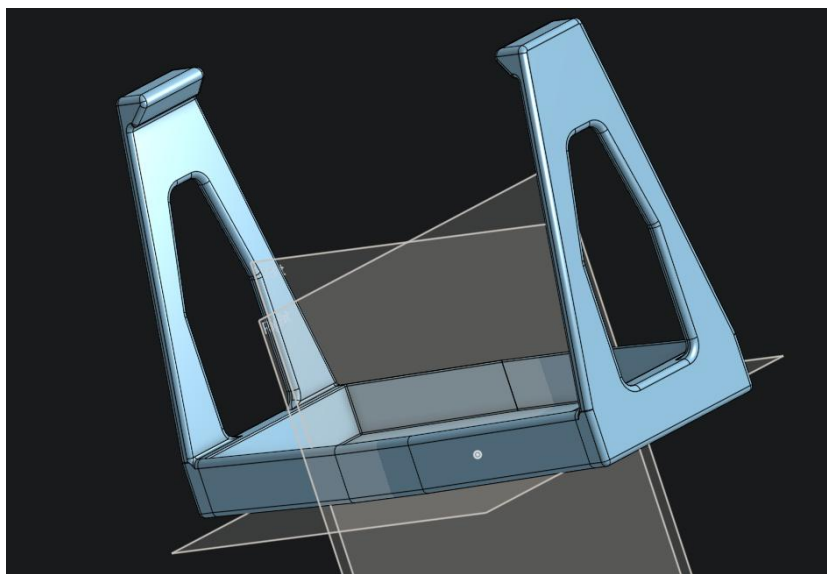
Akkulaatikon kiinnikettä suunniteltaessa tavoitteena oli suunnitella kiinnike niin, että akku ei pääse liikkumaan helposti ja olisi helposti vaihdettavissa kuten Gateway-elektroniikkakin.

4.6.1 Versiovaihtoehdot

Akkulaatikkoa suunniteltaessa muodostui kaksi hieman erilaista vaihtoehtoa akkujen gateway-laatikkoon kiinnittämiseksi.

Vaihtoehto 1: Päätykiinnitys

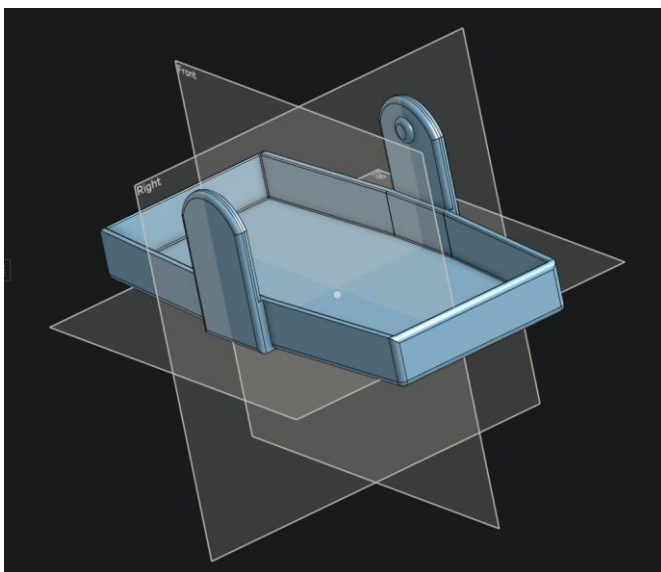
Ensimmäisenä vaihtoehtona esitettiin kiinnikettä jossa olisi kaksi koukku-tyyppistä snap-fit uloketta, jotka kiinnittäisivät akkulaatikon sivuilta (Kuva 7). Tässä muodostui kuitenkin haasteeksi turhan pitkä tulostusaika sekä tarpeettoman suuri materiaalimenekki verrattuna toiseen versioon.



Kuva 7. Akkukiinnikkeen ensimmäinen versio, jossa kiinnitys tapahtuu päädyissä olevilla koukku-ulokkeilla.

Vaihtoehto 2: Kiinnitys olemassa olevista rei'istä

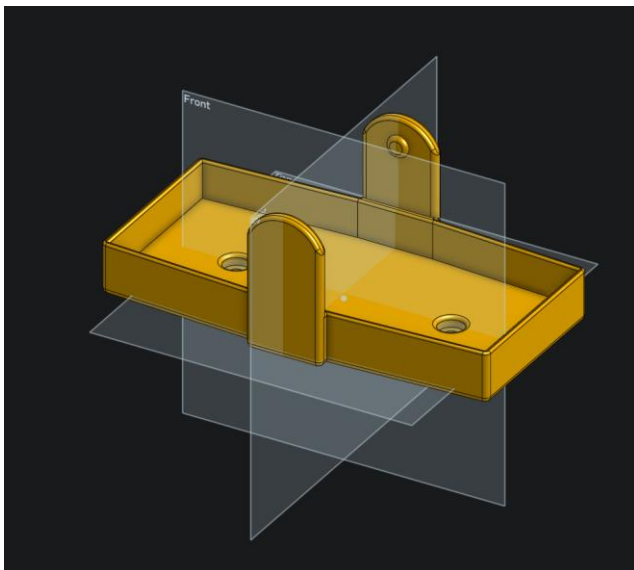
Toisena vaihtoehtona nähtiin ratkaisu, jossa akkulaatikko voitaisiin kiinnittää hyväksikäyttäen akkulaatikossa jo olemassa olevia pultinreikiä (Kuva 8). Tämä ratkaisu oli myös tulostusnopeudeltaan merkittävästi parempi, lyhentäen tulostusajan alle puoleen ensimmäiseen prototyyppiin verrattuna. Vaihtoehto oli myös helpompi suunnitella ja toleroida.



Kuva 8. Akkukiinnikkeen toinen versio, jossa kiinnitys tapahtuu kahdella pultinreikiä hyödyntävällä ulokkeella.

4.6.2 Valittu ratkaisu

Ratkaisuksi akkulaatikon kiinnikkeeksi valittiin ratkaisuvaihtoehto 2 sen materiaalitehokkuuden ja yksinkertaisuuden vuoksi. Ratkaisussa on kaksi reikää uraruuveille, joille on suunniteltu ylisuuri pääosa erilaisten uraruuvien käytön mahdollistamiseksi (Kuva 9).



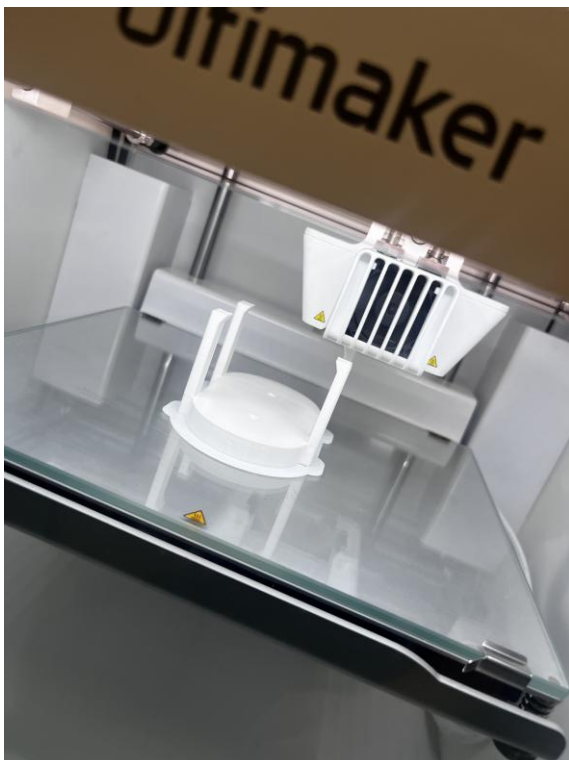
Kuva 9. Valitun akkukiinnike-version CAD-malli.

5 Prototyyppien valmistus ja testaus

Tässä osiossa esitellään suunniteltujen kiinnikkeiden ja eristeratkaisun prototyyppien valmistus- ja testausvaiheet. Aluksi esitellään 3D-tulostusparametrit, jonka jälkeen kuvataan käytetyt testausmenetelmät ja analysoidaan saadut tulokset. Lopussa arvioidaan suunnitteluratkaisujen onnistuminen ja pohditaan mahdollisia parannusehdotuksia.

5.1 3D-tulostuksen prosessi ja parametrit

Prototyypit tulostettiin Ultimaker S3 ja S5 3D-tulostimilla PLA-muovista (Kuva 10). Nämä tulostimet sekä materiaali valittiin prototyyppien valmistukseen, koska ne olivat helposti saatavilla projektin käyttöön ja olivat tarkoituksenmukaisia nopeaan kehitystyöhön.



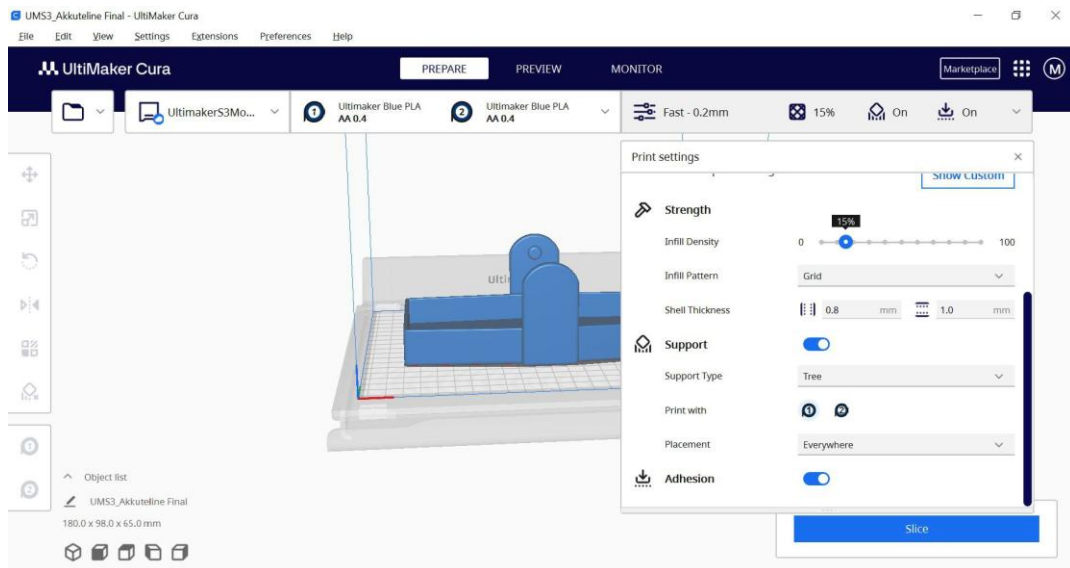
Kuva 10. Gateway-elektroniikan kiinnikkeen prototyyppi valmistumassa 3D-tulostimella.

Prototyyppien tulostamisen aikana oli haasteita tulosteiden epäonnistumisen kanssa. Prototyyppien tulosteita epäonnistui mm. 3D-tulostimen suutintukosten takia tästä esimerkkinä kuva 11.

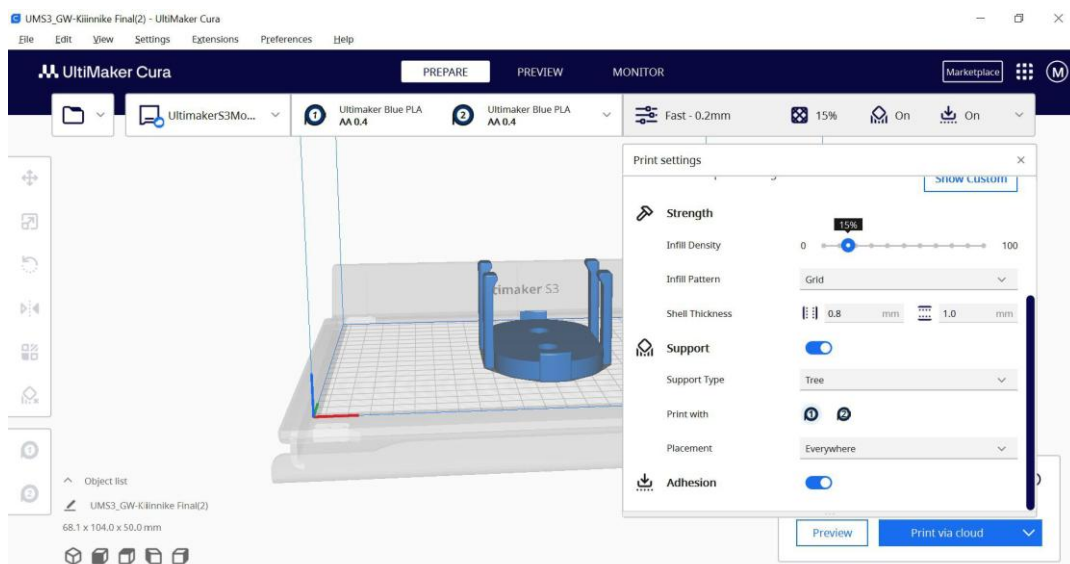


Kuva 11. Esimerkki epäonnistuneesta akkukiinnikkeen 3D-tulosteesta, joka epäonnistumisen aiheutti suutintukos.

Liitosten muotoilu ja tolerointi onnistui kuitenkin kummankin kiinnikkeen osalta nopeasti alle kymmenen kehityskierroksen sisällä. Kuvissa 12 ja 13 on esitetty kiinnikkeiden tulostusparametrit.



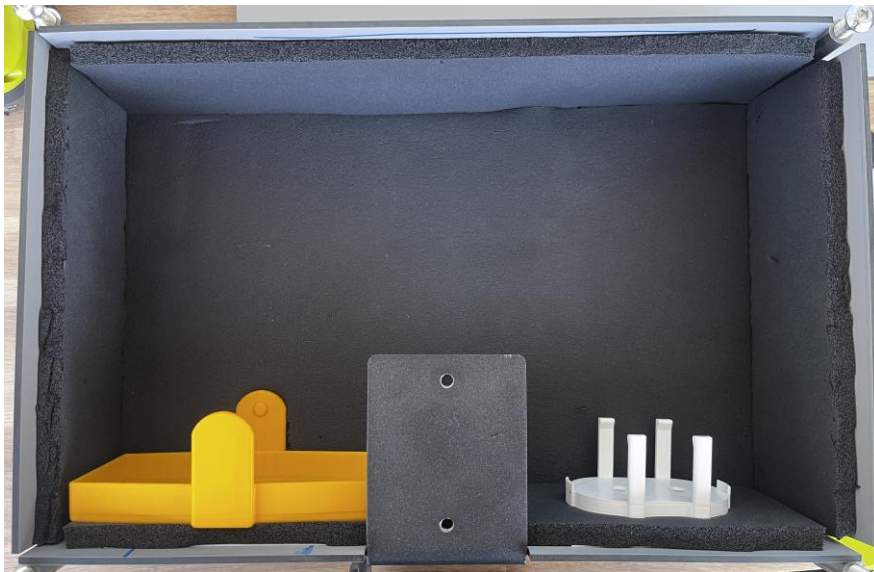
Kuva 12. Akkutelineen tulostusparametrit.



Kuva 13. Gateway-kiinnikkeen tulostusparametrit.

5.2 Tulosten analysointi ja mahdolliset parannukset

Kiinnikkeiden prototyypit testattiin asentamalla ne gateway-laatikkoon (Kuva 14) ja ne käyttäytyivät suunnitellusti. Liitokset saatiin muutaman CAD-mallinnuksen hienosäädön jälkeen napakoiksi ja ne tukivat komponentteja hyvin päästämättä niitä heilumaan tai tärisemään. Kiinnikkeet olivat helposti asennettavissa ilman tarvetta pakottaa niitä paikalleen työkaluilla.



Kuva 14. Valmis gateway-laatikko eristettynä kiinnikkeineen.

Testausvaiheessa kappaleet valmistettiin PLA-muovista tarjolla olevien materiaalien rajoituksista johtuen. PLA:lle ominaista materiaalihaurautta havaittiin kiinnitysvaiheessa ja kiinnikkeet olivat alttiita rikkoutumaan, mikäli elektroniikan kiinnityksessä ei noudatettu riittävää varovaisuutta. Tämä rajoite kuitenkin liittyy PLA:n haurauteen, eikä itse rakenteelliseen suunnitteluun.

Lopulliseksi tuotteessa käytettäväksi valittu PETG-materiaali tarjoaa paremman joustavuuden ja iskunkestokyvyn, joten sen kanssa ei odoteta esiintyvän edellämainittuja ongelmia. Tämä tukee valittua materiaaliratkaisua sekä suunnittelun soveltuvuutta massatuotantoon ja käytännön asennuksiin kentällä (*3D Printer Filament Comparison Guide*).

6 Johtopäätökset ja jatkokehitysehdotukset

Tässä osiossa esitetään yhteenveto työn keskeisimmistä tuloksista ja arvioidaan ratkaisujen toimivuus suhteessa asetettuihin tavoitteisiin. Lisäksi osiossa käsitellään opinnäytetyön aikana ilmenneitä haasteita ja niihin löydettyjä ratkaisuja. Osion lopussa esitetään mahdolliset jatkokehityssuunnat ja ideat ratkaisujen parantamiseksi tulevaisuudessa.

6.1 Työn keskeiset tulokset

Työn lopputuloksena oli uudet kiinnikkeet ja eristys Gateway-laatikolle. Aikaisemmassa ratkaisussa elektroniikkaa ei ollut kiinnitetty tai eristetty gateway-laatikon sisällä. Nyt tehdyt muutokset varmistavat, että elektroniikka pysyy tukevasti paikallaan ja on suojassa vaurioilta esimerkiksi iskujen tai muun gateway-laatikkoon kohdistuvan mekaanisen rasituksen seurauksena. Lisäksi projektissa lisätty eristys auttaa iskunvaimennuksen lisäksi gateway-laatikon sisäistä lämpötilanvaihtelua ja estää kondensaation syntymistä gateway-laatikkoon vähentäen elektroniikalle kosteuden aiheuttamia vaurioita ja haittoja merkittävästi.

6.2 Suunnittelun haasteet ja ratkaisut

Suunnittelussa suurimmiksi haasteiksi muodostui elektroniikan kiinnikkeiden asennus gateway-laatikkoon. Aluksi pohdittiin erilaisia teippeihin ja liimoihin pohjautuvia ratkaisuja, mutta lopulta päädyttiin yksinkertaisimpaan ratkaisuun eli uraruuviin. Myös kiinnikkeiden mahdollistaminen erityisesti akkukiinnikkeen osalta tuotti haasteita akun leveyden takia, mikä rajoitti ratkaisussa käytettyjen kiinnikkeiden geometriaa ja paksuutta.

Lisäksi haastetta tuottivat sopivan toleranssin löytäminen kiinnikkeisiin. Ensimmäisenä suunnitellun Gateway-kiinnikkeen toleranssia jouduttiin muokkaamaan muutamia kertoja kunnes liitos oli sopivan tiukka.

6.3 Mahdolliset jatkokehityssuunnat

Mahdollisina jatkokehityssuuntia voisivat olla kiinnikkeiden mahdollinen massatuotanto, joka onnistuu kätevästi ruiskupuristamalla kappaleet PETG-muovista sekä huolto- ja vaihto-ohjeiden luomisen huollosta vastaaville henkilöille. Tämän lisäksi voitaisiin selvittää ja optimoida käytöstä poistuvien kiinnikkeiden ja eristeiden kierrätys ja uudelleenkäyttömahdollisuuksia kiertotalouden näkökulmasta. Myös lämmöneristys ja iskunvaimennus voitaisiin testata.

Lähteet

3D Printer Filament Comparison Guide. MatterHackers. (n.d.). <https://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare> [Luettu 25.3.2025].

ArmaFlex HT Technical Specifications. Armacell. (n.d.). <https://www.armacell.com/fi-FI/product/technical-specs/htarmafle> [Luettu 3.4.2025].

EPS Enhances Buildings. EUMEPS. (n.d.). <https://eumeps.eu/topics-sie/eps-enhances-buildings> [Luettu 20.4.2025]

Pech-Can, G.E., Flores-Johnson, E.A., Carrillo, J.G., Bele, E. & Valadez-Gonzalez, A. (2024). Mechanical Properties of Polyurethane Foam Reinforced with Natural Henequen Fibre. *Journal of Composites Science*, 8(9), 343. <https://doi.org/10.3390/jcs8090343> [Luettu 20.4.2025].

Polyolefins Plastics Europe. (n.d.). <https://plasticseurope.org/plastics-explained/a-large-family/polyolefins/> [Luettu 20.4.2025].

Snap Fit Joints: Types, Benefits, and Best Practices WayKen. Rapid Manufacturing. (2023). <https://waykenrm.com/blogs/snap-fit-joints/> [Luettu 5.4.2025].

Suvanto K. *Tekniikan Fysiikka 1* (2018). <https://tuotteet.sanomapro.fi/tuotteet/ammattillinen-korkea-aste/bu610196-tekniikan-fysiikka-1.html> [Luettu 3.3.2025].

The Ultimate Guide to Snap Fit Designs: Types and Best Practices. Kemal Manufacturing. (n.d.). <https://www.kemalmfg.com/mold-manufacturing/design/snap-fit-designs> [Luettu 5.4.2025].

Snap-Fit Design: The Complete Engineering Guide. RapidDirect. (n.d.). <https://www.rapiddirect.com/blog/snap-fit-design/> [Luettu 31.3.2025].

Stoll, H.W. (1999). Product Design: Methods and Practices. Marcel Dekker.

<https://books.google.fi/books?id=mbtkxzX1wUMC> [Luettu 8.4.2025].

Troughton, Michael J. (2008). Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide.

https://books.google.fi/books?id=BXL_mnDzW0QC&printsec=frontcover&hl=fi#v=onepage&q&f=false [Luettu 4.4.2025]

Yoshida, S. & Wada, H. (2020). Mechanics of a Snap-Fit.

<https://arxiv.org/abs/2003.13566> [Luettu 7.4.2025].