



Rahdinkuljetusjärjestelmän suunnittelu droneen

Risto Hyväri

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2022

Ajoneuvotekniikka
Älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Älykkäät koneet

HYVÄRI, RISTO:
Rahdinkuljetusjärjestelmän suunnittelu droneen

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Joulukuu 2022

Tavaroiden kuljettaminen ilmateitse, automaattisesti lentävillä miehittämättömillä ilma-aluksilla voi vaikuttaa utopistiselta. Yritys Lentola Logistics Oy, johon opinnäytetyö tehtiin, kehittää kuitenkin ratkaisua juuri tähän tehtävään. Yritys on valmistanut useamman kehityspolven prototyypin laitteestaan ja uusimpaan uudistetaan rahtijärjestelmää verrattuna aikaisempiin malleihin. Opinnäytetyön aiheena oli kehittää ja valmistaa rahdinkuljetusjärjestelmän prototyyppi, jota yritys voi käyttää osana droneaan.

Työn tuloksena yritys sai toimivan laitteiston, joka koostui rahdin kiinnitysmekanismista sekä rahdin jättöpaikan tarkasta paikannusjärjestelmästä. Yritys sai myös tietoa uuden drone mallinsa suorituskyvystä ja tarkkuudesta.

Tuotekehitysprojektit ovat monivaiheisia ja usein aikaa vieviä töitä. Panostamalla suunnitteluvaiheeseen, vähennetään prototyyppien valmistukseen kuluva aikaa ja rahaa. Joitain asioita ei kuitenkaan välttämättä osata ottaa suunnittelussa huomioon, jolloin nopeat ja edulliset prototyyppien valmistamiset ovat tärkeitä. Järjestelmän suunnittelu kulki rinnakkain uuden drone-mallin suunnittelun kanssa ja siitä tuli melko kiinteä osa alusta. Tulevaisuudessa etenkin mekanismista olisi hyvä tehdä modulaarisempi, jotta drone soveltuisi helpommin useaan tehtävään.

Tuotesuojan takia työssä ei esitetä järjestelmästä tarkkoja mittoja tai suoritusarvoja. Tuotekehitysprojektiin osallistuivat yrityksen muutkin työntekijät tiiminä.

Asiasanat: tuotekehitys, miehittämätön ilma-alus, drone

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering
Intelligent Machines

HYVÄRI, RISTO:
Designing cargo transportation system for drone

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 2 pages
December 2022

Transporting goods by air with unmanned autonomous aircraft can seem utopic. Lentola Logistics, where the thesis was made, is a company attempting to create a solution for just this task. The company has produced many revisions of their prototype aircraft and for the newest model the cargo system is revised. The purpose of this thesis was to create a cargo system prototype that the company can use as a part of their drone.

As a result of this work, the company received working setup that included a cargo securing mechanism and an accurate positioning system for locating cargo unloading zone. The company also received information about the new drone model's performance and accuracy.

Development projects require many phases and are often time consuming. Taking time in the planning phase can reduce the number of prototypes needed and save money. Everything can't be considered in the planning, so fast and cheap prototype production is also key. Designing the cargo system was done along designing the new drone model and it became a fixed part of the aircraft. For future development the cargo system should be made more modular, so the drone could be used more versatile.

For protection of design this thesis doesn't present detailed measurements or performance values. Other members of the company participated in the work of this development project as a team.

Key words: product development, unmanned aerial vehicle, drone

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | TEORIA | 8 |
| 2.1 | Tuotesuunnitteluprosessi | 8 |
| 2.2 | 3D -mallintaminen | 12 |
| 2.3 | 3D-tulostaminen | 13 |
| 2.4 | Paikannusjärjestelmä | 16 |
| 3 | TUOTESUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT | 18 |
| 3.1 | Vaadittavat ominaisuudet | 18 |
| 3.2 | Rajoittavat tekijät | 19 |
| 4 | SUUNNITTELUPROSESSI | 21 |
| 4.1 | Rahtimekanismi | 21 |
| 4.2 | Jättöpaikan paikannus | 23 |
| 5 | TOTEUTUS | 25 |
| 5.1 | Rahtimekanismi | 25 |
| 5.1.1 | 3D-mallinnus | 25 |
| 5.1.2 | Valmistus | 29 |
| 5.2 | RTK GPS-laitteisto | 32 |
| 6 | TESTAUS | 34 |
| 7 | VIIMEISTELY | 38 |
| 8 | POHDINTA | 40 |
| | LÄHTEET | 42 |
| | LIITTEET | 44 |
| | Liite 1. Rahtimekanismin ratkaisuvaihtoehtojen pisteytyksiä | 44 |
| | Liite 2. Kokoonpanopiirustus osaluettelolla | 45 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|------------|--|
| CAD | Computer Aided Desing, tietokoneavusteinen suunnittelu. |
| Drone | Miehittämätön alus. Usein viitataan lentävään laitteeseen, mutta voi tarkoittaa myös muualla liikkuvia. |
| FDM | Fused Deposition Modeling, 3D-tulostustekniikka. |
| GNSS | Global Navigation Satellite System, Satelliittipaikannusjärjestelmä |
| GPS | Global Position System, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä, Yhdysvaltain puolustusministeriön satelliittipaikannusjärjestelmä. |
| Kano-malli | Tuoteominaisuuksien luokittelumalli. |
| NTRIP | The Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, Satelliittipaikannuksen korjaussignaalien välitys teknologia. |
| QFD | Quality Function Deployment, Laatutalo tuotesuunnittelun ratkaisumallien valinta työkalu. |
| RTK | Real Time Kinematic, Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, tarkkuus satelliittipaikannusjärjestelmä, jossa hyödynnetään kiinteitä mittaustukiasemia. |
| VTOL | Vertical Takeoff and Landing, ilma-alus, joka kykenee pystysuoraan nousuun ja laskeutumiseen. |

1 JOHDANTO

Dronet, eli miehittämättömät ilma-alukset, eivät ole uusi keksintö, mutta vasta lähiaikoina niiden hinnat on saatu kohtuullisen alas. Tämä on johtanut dronejen käytön suureen kasvuun. Ennen vain puolustusvoimien käytössä ollutta tekniikkaa on nyt saatavilla kuluttaja kaupoista. Käyttötarkoituksia on keksitty paljon.

Yhtenä käyttökohteena droneille on kehitetty kuluttaja tavarankuljetusta. Tavarankuljetuksen tehokkaan ja erityisesti autonomisen kuljetuksen kannalta on tärkeää automatisoida dronen kuorman lastaus sekä purkaminen.

Opinnäytteen antaja on miehittämättömiä ilma-aluksia suunnitteleva ja valmistava yritys Lentola Logistics Oy. Lentola on nuori pienyritys, jonka tarkoitus on valmistaa kuluttajamarkkinoiden logistisiin tarpeisiin soveltuva lentolaite. Yritys on jo valmistanut useamman prototyypin aluksesta. Aikaisempi malli on kuvassa 1.



KUVA 1. Lentolan aikaisempi drone malli. (Lentola Logistics Oy, 2021)

Yrityksen valmistama drone-malli on niin sanottu VTOL tailsitter. Tämä tarkoittaa dronen olevan kiinteäsiipisen lentokoneen mallinen, joka pystyy leijumaan paikoillaan ja nousemaan ja laskeutumaan pystysuoraan. Tailsitter tarkoittaa, että leijuntavaiheessa aluksen keula osoittaa ylöspäin kohti taivasta ja suoraan lentoon vaihdettaessa kone kääntyy siivilleen keula kohti horisonttia. Yksi erityispiirre Lentolan konemallissa on suunnattava työntövoima, joka toteutetaan moottorin ja potkurin kokonaisuuden aktiivisella kääntämisellä. Tällä ratkaisulla hoidetaan etenkin leijunnan ohjaus ja vakautus. Yrityksen alukset ovat olleen kokoluokaltaan noin vähän reilun 10 kg painoisia ja siipien kärkiväli 2 metrin luokkaa.

Yritys on suunnittelemassa seuraavan sukupolven konemallia, joka poikkeaa edellisistä hiukan. Perustoimintaperiaate säilyy, mutta jotkin osaratkaisut muuttuvat. Yksi näistä on opinnäytetyön aihe suunnitella ja toteuttaa prototyyppi ratkaisu rahdinkuljetusjärjestelmästä. Edellisissä konemalleissa rahti kuljetettiin aluksen rungon sisällä, uudessa se jää rungon ulkopuolelle.

Työ painottuu vain itse tuotteen suunnitteluun, ei niinkään esimerkiksi tutkimuksiin tuotteen tarpeellisuudesta yhteiskunnalle, markkinatalouteen liittyvää tai sarjatuotantoon ja tuotteen kierrätykseen tai loppusijoitukseen. Työssä ei käydä tuoteistamisprosessia vaan lähinnä tuotteen osan tuotekehitysprosessia. Työssä käydään läpi tuotekehityksen ratkaisujen tekoa, prototyypin valmistukseen liittyviä työvaiheita, prototyypin testaamista sekä testien perustaista kehittämistä.

Työssä suunnitellaan ja valmistetaan valmis ratkaisukokonaisuus, kuitenkin vain ns. prototyyppivalmistukseen ja korkeintaan nollasarjaan. Ratkaisumallia voitaisiin kuitenkin hyödyntää jatkokehityksessä suurempiinkin valmistusmääriin tähdäten. Rahdinkuljetusjärjestelmä tässä työssä on kokonaisuus, joka koostuu rahdin kiinnitysmekanismista, mahdollisista rahtiin tulevista muutoksista sekä rahdin jättöpaikan paikannuksesta. Tälle kokonaisuudelle siis haetaan ratkaisut. Tuotekehitykseen osallistuivat yrityksen muutkin työntekijät tiiminä.

Työssä ei esitetä tarkkoja mittoja ja lukuarvoja liittyen yrityksen droneen tai sen suoritusarvoihin tuotesalaisuuden takia.

2 TEORIA

2.1 Tuotesuunnitteluprosessi

Organisaation menestyksen uskotaan perustuvan siihen, että se kykenee luomaan innovatiivisia ratkaisuja ja kehittämään jatkuvasti tuotteitaan ja prosessejaan. Usein innovaatiota pidetään tärkeänä positiivisen tuloksen lähteenä yrityksille. Innovatiivisuudella haetaan kilpailuetua, mikä on mahdollista vain, mikäli yritys kykenee kehittymään jossain suhteessa paremmaksi kilpailijoihin nähden. (Tiensuu 2005, 8.) Yksi näistä asioista on tuotteen paremmuus, mitä pyritään saavuttamaan hyvällä tuotekehityksellä. Tuotekehitys on toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote. Siinä pyritään täyttämään ennalta asetetut tavoitteet niin hyvin kuin se on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista ja tarkoituksenmukaista. (Jokinen 2001, 9). Tässä insinöörin päätehtävänä on käyttää tieteellistä ja teknistä tietämystään teknisten ongelmien ratkaisuun näiden tavoitteiden saavuttamiseksi (Pahl & Wallace 2007, 1)

Tuotekehityksessä siis suunnitellaan täysin uusi tuote tai jatkokehitetään jo olemassa olevaa tuotetta niin, että tuotteesta tulisi teknisesti aikaisempaa parempi ja valmistus tai muilta kustannuksiltaan halvempi. Tehtävänä voi myös olla jo olemassa olevan järjestelmän uudelleensovittamisesta toiseen tarkoitukseen. Tällöin tuotteesta saatetaan joutua suunnittelemaan yksityisiä osia uudestaan, mutta perus ratkaisuperiaate säilyy eikä tavoitteena ole täysin uuden tuotteen suunnitteleminen. (Jokinen 2001, 10.) Tuotekehitys ei liity vain fyysisten tuotteiden aikaansaamiseen. Sitä hyödynnetään myös esimerkiksi palveluliiketoimintaan, jossa henkilön osaamista kehitetään myytäväksi tuotteeksi (Tiensuu 2005, 9). Tuotekehitystoiminnassa voidaankin siis joutua tekemisiin lähes kaikkien ihmiselämän alueiden kanssa. Siinä tarvitaan luonnontieteiden hyvää tuntemusta ja kykyä luovaan työhön. (Jokinen 2001, 9).

Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi. Tuotekehityshanke voidaan jakaa neljään toimintavaiheeseen: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely (Jokinen 2001, 14). Nämä vaiheet voidaan pilkkoa pienempiin kokonaisuuksiin. Tuotekehitys yritys Matricompin (n.d.) mukaan vaihteita olisi vaatimusten

määrittely, ratkaisujen määrittely, markkinoiden testaaminen, valitun ratkaisun konseptointi ja simulointi, lopullisen ratkaisun ja yksityiskohtien päättäminen, prototyypin suunnittelu, prototyypin testaus sekä jatkokehitys ja lopulta sarjatuotannon suunnittelu. Matricompin (n.d.) kokemukseen perustuen tuotekehitys on pitkä ja resursseja syövä projekti, mutta jossa ei kannata oikoa työvaiheista. Oikomisella voidaan saada ensimmäinen prototyyppi nopeammin valmiiksi, mutta ongelmia saattaa ilmaantua lopullisen tuotteen kohdalla. Tämä voi pahimmillaan johtaa koko projektin kaatumiseen eli rahan ja ajan menettämiseen. Mitä aikaisemmassa vaiheessa ongelmakohdat löydetään ja ratkaistaan, sen vähemmän varoja hukataan. (Matricomp n.d., 3)

Kun hyvä tuoteidea on keksitty, aloitetaan tuotekehitys vaatimusten määrittelyllä. Vaatimusmäärittelyllä haetaan ongelman ratkaisulle selvät rajat ja tuotteelle täytettävät tarpeet. Tätä listausta voidaan käyttää hyödyksi koko projektin läpivienin ajan ja siitä voidaan tarkastaa tulevien ratkaisujen toimivuutta (Matricomp n.d., 4). Tässä siis asetetaan kehitystyön tavoitteet ja määritetään tuotteen spesifikaatiot (Hietikko 2021, 46). Vaatimukset ja tavoitteet tulisi asettaa korkealle, jotta saavutettavat tulokset olisivat mahdollisimman hyviä. Jos vaatimukset perustaa esimerkiksi sen hetkisen markkinoiden parhaan mukaan, olisi tuote valmistuksessaan jo hiukan vanhentunut, sillä myös kilpailijat kehittävät jatkuvasti tuotteitaan. (Jokinen 2001, 28.) Vaatimuslistaukseen tulisi asiat kuvata mahdollisuuksien mukaan numeroin tai muuten hyvin yksiselitteisesti (Matricomp n.d., 4). Vaatimukset riippuvat millaisesta tuotteesta on kyse, mutta asioita voisivat olla esimerkiksi tuotteen suorituskyky, hinta, ulkonäkö, käytettävyys, kehityskustannukset ja fyysiset ominaisuudet sekä koko.

Vaatimuslistauksen pohjalta lähdetään määrittelemään ratkaisumalleja. Ratkaisujen määrittelyssä tukeudutaan vahvasti vaatimuslistan asioihin, intuitioon ja tietoon. Intuitio muodostuu henkilölle kokemuksen kautta ja se on tyypillinen tapa nopeuttaa ajattelua tunneälyn avulla. (Matricomp n.d., 6.) Tavoitteiden keskinäinen tasapainottaminen on vaikea tehtävä, sillä ihmisillä on taipumus painottaa oman kokemuksensa mukaan tärkeitä asioita ja jättää muut tavoitteet vähäisemmälle arvolle. Tästä syystä luonnosteluvaiheeseen on hyvä osallistua henkilöitä organisaation eri osa-alueilta. (Jokinen 2001, 29.) Jotta kehittäjät eivät sokaistuisi omasta erinomaisuudestaan nopeiden ratkaisujen keksimisessä, tarvitaan myös

systemaattista tapaa ratkaisujen luonnosteluun sekä arviointiin (Matricomp n.d, 6).

Kun ratkaisuperiaatteita tuotteelle on keksitty, niitä jatkokehitetään ratkaisuluonnoksiksi. Suunnittelutyö laajenee ideoinnista enemmän laskennallisemmaksi ja kokeita sisältävämmäksi. Ratkaisuperiaatteita konkretisoidaan hyvien ja huonojen puolien arviointia varten sekä teknisissä että taloudellisissa asioissa. (Jokinen 2001, 75.) Ideoita vertaillaan toisiinsa, ja niitä karsitaan pois niin sanotulla karkealla arvostelulla. Tässä arvostelussa käytetään tervettä järkeä ja tarkastellaan, että idea tulisi toteuduttuaan varmasti tuottamaan yritykselle tulosta. (Jokinen 2001, 76.) Ideoista olisi hyvä karsia jäljelle kaksi tai kolme kappaletta. Näitä konseptitason suunnitelmia voidaan ajatuksena viedä vielä pidemmälle ja miettiä, voisiko niitä vielä parantaa tai voisiko niihin yhdistää muista ideoista ratkaisuja. (Matricomp n.d, 7.) Jäljelle jääneille ratkaisuluonnoksille tehdään tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa vertailua. Tähän on olemassa useita valmiiksi kehitettyjä metodeja, jotka eroavat hiukan muodoltaan, mutta jokaisen lopputulos on sama. Vertailusta jää jäljelle ratkaisu, joka parhaiten täyttää asetetut ehdot. Esimerkkeinä vertailumenetelmistä on Hietikon (2021, 83) mukaan QFD (Quality Function Deployment, Laatutalo) ja Kano-malli sekä Jokisen (2001) esittelemä painoarvotaulukko, josta on esimerkki kuvassa 2. Painoarvotaulukossa arvostelukriteereille annetaan painoarvo ominaisuuden tärkeyden perusteella ja tuote ratkaisuille pisteet, miten hyvin toteuttavat kriteerin. Painotetut pisteet lasketaan kertomalla pisteet painoarvolla ja lopuksi ne lasketaan yhteen. Suurimmat pisteet saanut olisi arvioinnin paras ratkaisu. (Jokinen 2001, 78.) Täytyy kuitenkin muistaa, että arviointimetodit eivät ole absoluuttisia ja lopullisen ratkaisumallin valitsemiseen kannattaa käyttää aikaa, useita apuvälineitä ja muiden osajien mielipiteitä. ”Valittu ratkaisu on kokonainen suunta, jonne projekti lähtee menemään” (Matricomp n.d, 7)

| Arvostelukriteerio | Painoarvo | Ratkaisu 1 | | | Ratkaisu 2 | | | Ratkaisu 3 | | |
|---------------------|-----------|-------------|---------|--------------------|------------|---------|--------------------|-------------|---------|--------------------|
| | | Ominaisuus | Pisteet | Painotetut pisteet | Ominaisuus | Pisteet | Painotetut pisteet | Ominaisuus | Pisteet | Painotetut pisteet |
| Ylikuormitettavuus | 0,15 | 1,5 | 3 | 0,45 | 1,2 | 2 | 0,30 | 2,0 | 4 | 0,60 |
| Hyötysuhde | 0,05 | 0,80 | 2 | 0,10 | 0,90 | 3 | 0,15 | 0,95 | 4 | 0,20 |
| Paino (kg / kW) | 0,15 | 1,7 | 3 | 0,45 | 2,7 | 2 | 0,30 | 1,5 | 4 | 0,60 |
| Osien lukumäärä | 0,05 | suuri | 1 | 0,05 | pieni | 3 | 0,15 | keskinkert. | 2 | 0,10 |
| Ergonomia | 0,05 | hyvä | 3 | 0,15 | hyvä | 3 | 0,15 | hyvä | 3 | 0,15 |
| Turvallisuus | 0,05 | hyvä | 3 | 0,15 | hyvä | 3 | 0,15 | eritt. hyvä | 4 | 0,20 |
| Valmistus | 0,05 | helppo | 3 | 0,15 | helppo | 3 | 0,15 | vaikea | 1 | 0,05 |
| Asennus | 0,10 | vaikea | 1 | 0,10 | helppo | 3 | 0,30 | vaikea | 1 | 0,10 |
| Elinikä (vuosia) | 0,05 | 7 | 1 | 0,05 | 15 | 3 | 0,15 | 20 | 4 | 0,20 |
| Huollon määrä | 0,10 | kohtalainen | 2 | 0,20 | pieni | 3 | 0,30 | pieni | 3 | 0,30 |
| Valmistushinta | 0,10 | 20.000 | 3 | 0,30 | 15.000 | 4 | 0,40 | 25.000 | 1 | 0,10 |
| Kehityskustannukset | 0,05 | pienet | 3 | 0,15 | pienet | 3 | 0,15 | kohtalaiset | 2 | 0,10 |
| Toimitusaikariski | 0,05 | ei | 4 | 0,20 | ei | 4 | 0,20 | on | 2 | 0,10 |
| Yhteensä | 1,0 | | 32 | 2,50 | | 39 | 2,85 | | 35 | 2,80 |

KUVA 2. Painoarvotaulukko (Jokinen 2001, 79)

Tuotekehityksellä on tarkoitus tehdä yritykselle voittoa ja tuotteen valmistuttua sitä pitäisi saada myytyä. Asiasta voisi tehdä monenlaisia markkinatutkimuksia, joilla oikein tehtynä voisi selvitetäisiin tuotteen menekkiä markkinoilla. Tähän on kuitenkin toinenkin ratkaisu. Matricomp yrityksen mukaan tuotetta voisi alkaa jo myydä ennen kuin ensimmäistäkään kappaletta on valmistettu. Näin saataisiin hyvä käsitys, olisivatko asiakkaat valmiita ostamaan tuotetta sen valmistuttua. Parhaassa tapauksessa saadaan ennakkotilauksia ja tuotteelle menekkiä. (Matricomp n.d., 8)

Kun tuotteen ratkaisumalli on valittu, aloitetaan systeemin tarkempi suunnittelu. Tässä vaiheessa kiinnitetään huomiota tuoterakenteeseen ja modulointiin, siis tuotteen kokonaisuuteen ja sen osaratkaisuihin (Hietikko 2021, 48). Osaratkaisujen valitsemisen jälkeen siirrytään yksityiskohtaiseen suunnitteluun, jossa tuotteen jokainen osa ja kokoonpano saa lopullisen muotonsa. Erilaisista luonnoksista voidaan tehdä tietokonemallit niiden testaamista ja valmistettavuutta arvioitaessa. Pääasiassa tuotesuunnittelun tavoitteena on kuitenkin luoda sellaiset valmistuksen tarvitsemat dokumentit, joiden perusteella tuotanto kykenee yksiselitteisesti valmistamaan oikeanlaiset ja yhteensopivat osat ja niistä kokoonpanot. (Hietikko 2007, 12) Tässä vaiheessa määritetään osien materiaalit, valmistusvaiheet, mahdolliset erikoistyökalut sekä osien valmistajat tai mistä osat ostetaan (Hietikko 2021, 48). Siis tuote suunnitellaan jokaista pientä yksityiskohtaa myöten.

Ennen ensimmäisenkään prototyypin valmistusta tulisi suunnitella laadunvarmistuskäytännöt. Valmistettujen osien laadunvarmistuksella voidaan prototyyppiä testatessa varmistaa, etteivät mahdolliset vikaantumiset johdu valmistuksellisista asioista. Prototyypin systemaattinen testaaminenkin tulisi suunnitella etukäteen, ja valmistamisen jälkeen suorittaa testit. Prototyypeillä voidaan suhteellisen edullisesti ja nopeasti selvittää, onko tuotteessa vikoja ja mistä ne johtuvat. Harvoin selvittäänkään vain yhdellä prototyyppi kierroksella, vaan havaittuja ongelmakohtia muutetaan ja koetetaan uudelleen. (Matricomp n.d., 11–13)

2.2 3D -mallintaminen

CAD (Computer Aided Design) eli tietokoneavusteinen suunnittelu hyödyntää tietokoneen matemaattista ja graafista mallinnuskykyä toimien näin suunnittelijan työkaluna tuotesuunnittelussa. Tietokonetta voidaan hyödyntää suunnitteluprosessissa useissa toiminnoissa. Näistä yksi yleisin on piirustusten laatiminen, jota on harjoitettu jo parin vuosikymmenen ajan. Tällöin kyseessä on enemmänkin tietokoneavusteinen piirtäminen kuin suunnittelu. 3D eli kolmiulotteinen mallintaminen on kehittynyt vasta lähiaikoina sellaiselle tasolle, että sitä voidaan soveltaa useimpien tuotteiden suunnittelussa. (Hietikko 2021, 141.)

Tuotekuvien tekemisessä 3D-mallinnusta voidaan käyttää monipuolisesti, mutta suurin hyöty saavutetaan osien yhteensovittamiseen kokoonpano mallinuksissa sekä rakenteiden toimivuuden varmistamiseen. Mallinnusohjelmilla voidaan myös tehdä lujuustarkastelumalleja, joita voidaan käyttää lujuusanalyysien pohjatietona. (Tuhola & Viitanen 2008, 13.) Mallinnusohjelmistoja voidaan käyttää kinemaattisten analyysien ja mallinnettujen kokoonpanojen liikkuvien osien käyttäytymissimuloinneissa. Simulointia voidaan käyttää myös esimerkiksi muoviosien valamisen tai valmistusprosessin tutkimiseen. (Hietikko 2021, 141.)

3D-mallinuksella tarkoitetaan erilaisten tuotteiden ja kappaleiden suunnittelua kolmiulotteisesti. Mallinuksella kappaleet, osat ja kokoonpanot saadaan näyttämään oikeilta ja niille voidaan antaa kaikki ne fysikaaliset sekä mekaaniset omi-

naisuudet, jotka tuotteella todellisuudessaakin olisi. Tuote suunnitellaan kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaattiakseleista. (Tuhola & Viitanen 2008, 17)

Itse tuotteen mallinnus tapahtuu aina tiettyä reittiä pitkin, joka sisältää seuraavallaisia vaiheita:

- Suunnittelijalla on idea, valmis luonnos, tai jopa valmis tuote tai toimeksianto, jota hän lähtee työstämään.
- Mallinnusohjelmaan syötetään asiakkaan pohjat ja tarvittavat määrittelyt.
- Suunnittelija tekee toimeksiannon pohjalta 2D-piirustuksen eli sketsin.
- Sketsistä pursotetaan 3D-malli.
- Kahta edellä mainittua vaihetta toistetaan, kunnes kappale on kokonaisuudessaan mallinnettu osamalliksi.
- Osamalleista rakennetaan kokoonpano.
- Kokoonpanosta ja osamalleista tehdään tarvittavat 2D-piirustukset tuotetietoineen ja osaluetteloineen valmistusta ja kokoonpanoa varten.

(Tuhola & Viitanen 2008, 19.)

Tämän karkean vaiheluettelon avulla 3D-mallinnus on helpompi ymmärtää prosessina, joka koostuu lähtötietojen kartoittamisesta, esivalmisteluista ja varsinaisen mallinnuksen osuudesta. Varsinainen mallinnus sisältää paljon muitakin välivaiheita ja on omana prosessinaan huomattavasti vivahteikkaampi ja monimuotoisempi. (Tuhola & Viitanen 2008, 20.)

2.3 3D-tulostaminen

3D-tulostus, jota kutsutaan myös additiiviseksi valmistukseksi, on prosessiperhe, jossa esineitä valmistetaan lisäämällä materiaalia kerroksittain, jotka vastaavat 3D-mallin peräkkäisiä poikkileikkauksia. Muovit ja metalliseokset ovat yleisimmin käytettyjä materiaaleja 3D-tulostuksessa, mutta tekniikka voi toimia lähes millä tahansa aineella betonista elävään kudokseen. (Autodesk n.d.) Tämä valmistusmenetelmä on vastakohta perinteisemmälle työstävälle valmistukselle, jossa kappaleesta poistamalla materiaalia saadaan halutunlainen (3D printing.com n.d.).

3D-tulostuksesta tulee siis vähemmän hukkamateriaalia. 3D-tulostus soveltuu monenlaisten kappaleiden valmistukseen ja sitä käytetään usealla alalla. Valmistusmenetelmää hyödynnetään esimerkiksi autoteollisuudessa, ilmailussa, rakentamisessa, kuluttaja hyödykkeissä, terveydenhoidossa, opetuksessa ja jopa elintarviketeollisuudessa. (3D printing.com n.d.)

3D-tulostamista varten halutusta kappaleesta täytyy tehdä 3D-CAD-mallinnus. Malli muutetaan sopivaan tiedosto muotoon ja syötetään niin sanottuun slicer -ohjelmaan. Tällä ohjelmalla kappale viipaloidaan ohuiksi kerroksiksi, jotka toimivat tulostimen ohjauskomentoina. Slicer -ohjelmasta voidaan muokata lukuisia asetuksia tulostukselle, mitkä vaihtelevat käytettävän tulostustekniikan sekä ohjelmiston mukaan. Ohjelmasta ulos saatu tiedosto syötetään tulostimelle, joka kerros kerrokselta valmistaa kappaleen. (3D printing.com n.d.)

TWI-global (n.d.) organisaation sivuston mukaan 3D-tulostus teknologioita on kolme sintraus, sulatus ja stereolitografia. Näistä teknologioista on jaoteltu seitsemän valmistystyyppiä ja ne ovat kirjattu standardiin ISO/ASTM 52900 mukaan:

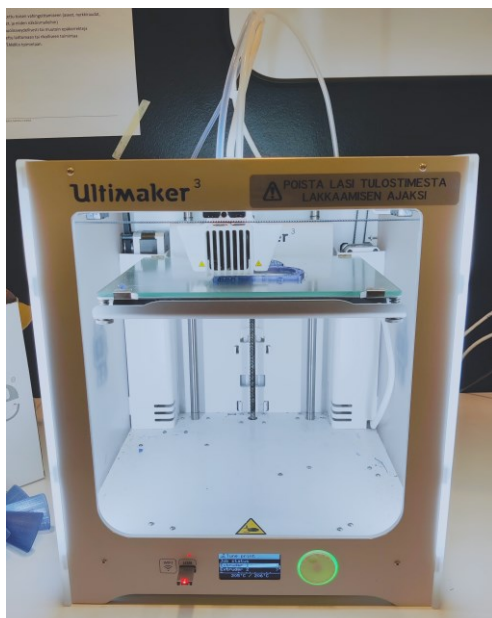
- Binder jetting
- Direct energy deposition
- Material extrusion
- Material jetting
- Powder bed fusion
- Sheet lamination
- VAT polymerization

(TWI-global n.d.)

Metodit eroavat muun muassa aloitusmateriaalin olomuodosta, materiaalin käsittelystä ja kiinnittämisestä kerroksiin. Kaikissa perusidea on kuitenkin sama, materiaalin lisäys kerroksittain kappaleeseen.

Näistä metodeista käytettiin opinnäytetyön osien valmistuksessa material jetting:iä, eli FDM-menetelmää. Pitkän ajan kokemuksen 3D-tulostuksesta omaavan Flynt:n (2018) mukaan FDM-menetelmässä tulostimessa käytetään thermo-
plastista filamenttiä, eli lämmöstä muokkautuvaa lankamaista materiaalia. Fila-

menttia syötetään suuttimelle, jossa se kuumennetaan hiukan yli lasittumislämpötilan ja sulaneena pursotetaan ulos. Suutin liikkuu tulostusalustalla tulostettavan kohteen mallin mukaan määrättyä kuviota pitkin (Flynt 2018). Kuvassa 3 on esimerkki FDM-tulostusmenetelmää käyttävä laite.



KUVA 3. Ultimaker 3 FDM-3D-tulostin. (Risto Hyväri 2022)

FDM-tulostimet ovat nousseet suosituimmiksi ja laajimmin käytetyiksi tulostimiksi. Laitteista on tullut edullisia ja kompakteja malleja, joten lähes kuka tahansa voi hankkia sellaisen. Lisäksi internetistä löytyy paljon valmiita tulostettavia kappaleita ja oppaita koneiden käyttöön sekä niihin on saatavilla laaja alati kasvava materiaali valikoima. (Flynt 2018.) Vaikka FDM-tulostimia on laajalti käytössä, siinä on huonot puolensakin. Tulostetut kappaleet eivät ole pinnaltaan tasaisia, prosessi kestää kohtuullisen pitkään ja kappaleet eivät aina onnistu tulostumaan mekaanisesti kestäviksi. Teknologian joustavuus ja kustannustehokkuus kuitenkin tehneet siitä arvokkaan työkalun nopean prototyyppien valmistuksessa. (Flynt 2018.)

TWI-global on listannut 3D-tulostamisen hyviä ja huonoja puolia verrattuna perinteisempiin valmistusmenetelmiin. Heidän mielestään hyviä asioita on:

- Edullinen monimutkaisten kappaleiden valmistus.
- Edulliset aloitus kustannukset.
- Valmistettavien tuotteiden mallin helppo muunneltavuus.
- Ideaali nopeaan prototyyppien valmistukseen.

- Mahdollistaa tietyllä ominaisuudella olevia kappaleita.

Huonoja puolia heidän mielestään tällä valmistusmenetelmällä on:

- Mahdollisesti heikompi loppu tuote, kuin perinteisesti valmistettu.
- Suurilla tuotantomäärillä korkeammat valmistus kustannukset.
- Rajoitteita mittatarkkuudessa.
- Valmistetut kappaleet vaativat jälkiprosessointia.

(TWI-global n.d.)

3D-tulostaminen on siis ideaali valmistusmetodi etenkin prototyypeille. Tulostimen mallista ja ominaisuuksista riippuen laitteen pystyy hankkimaan edulliseenkin hintaan, mallintamansa kappaleen voi saada tuntien sisällä valmistettua ja mallia on helppo ja nopea muuttaa ja valmistaa uusi kappale päivitettyinä.

2.4 Paikannusjärjestelmä

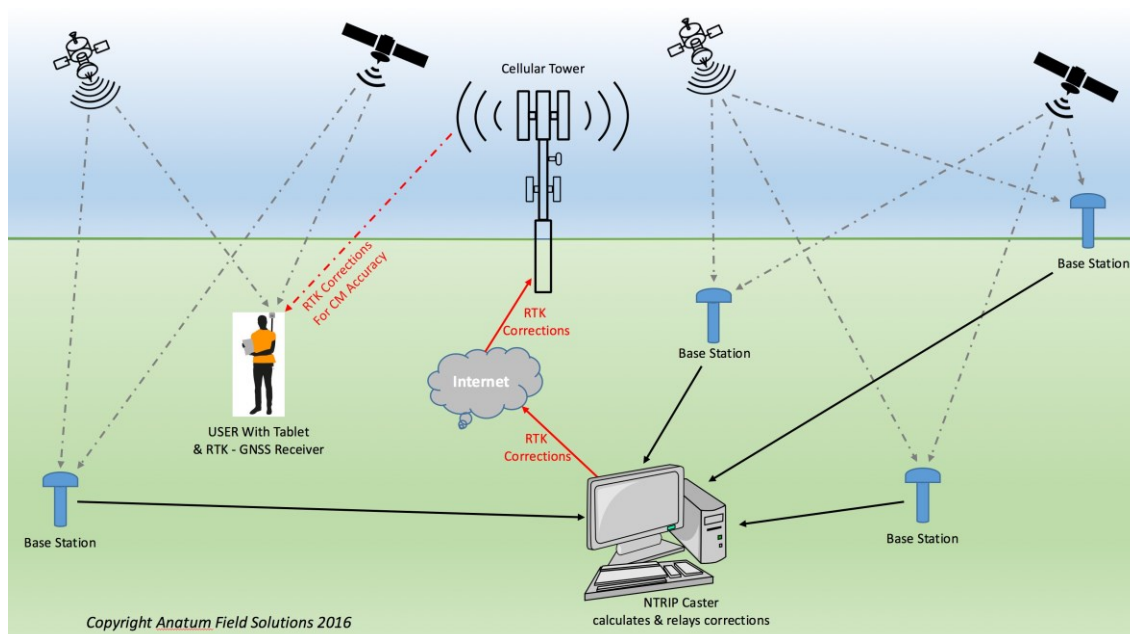
GNSS (Global Navigation Satellite System) on yleisnimike satelliittipaikannusjärjestelmille. Yleisessä käytössä on amerikkalainen GPS, venäläinen GLONASS, eurooppalainen Galileo sekä kiinalainen BeiDou. GPS lyhennettä on myös käytetty synonyyminä GNSS tilalla. (Maanmittauslaitos n.d.)

GNSS järjestelmässä maassa oleva vastaanotin saa radiosignaalia avaruudessa noin 20 000 km korkeudella olevista satelliiteista. Vastaanotin mittaa etäisyyden lähettimeen erittäin tarkan aikatietojen erotuksen avulla, eli kuinka kauan signaalilla on kestänyt liikkua. Signaalin mukana tulee lähetysajan lisäksi lähettäjän, eli satelliitin, tarkka sijaintitieto. Kun näitä signaaleja saadaan vähintään neljästä lähteestä samanaikaisesti, vastaanotin pystyy triangulaatioalgoritmin ja signaalin liikkumisnopeuden, eli valonnopeuden, avulla määrittämään oman sijaintinsa. (Bevly & Cobb 2010,2–3.)

Kuluttajakäytössä olevien GNSS-vastaanottimien tarkkuus on tyypillisesti noin viiden metrin luokkaa. Epätarkkuudet johtuvat monesta tekijästä, muun muassa signaalin vaimenemisesta ja heijastumisista sekä satelliittien rata- ja kellopoik-

keamaennusteiden epätäydellisyydestä. Myös satelliittisignaalin heikko lähetysteho hankaloittaa signaalin viestin tulkintaa ja se saattaa kadota taustakohinan sekaan. (Maanmittauslaitos n.d.)

RTK (Real-Time Kinematic) -tekniikalla voidaan parantaa paikannusta jopa senttimetrien tarkkuuteen. Tässä tekniikassa käytetään hyväksi maassa olevia kiinteitä vastaanotinasemia, joiden tarkka sijainti on tiedossa. Ottaen huomioon tunnetut koordinaatit ja vastaanotetut satelliittisignaalit, tukiasema lähettää korjaukset liikkuvalla vastaanottimella. Näin liikkuja saa senttimetriluokan tarkkuuden paikannukseen. Järjestelmä toimii, kun tukiasema ja liikkuva vastaanotin saavat samoilta satelliiteilta signaalia. (Uiugova 2021.) Suomessa on esimerkiksi Maanmittauslaitoksen ylläpitämä tukiasemaverkosto FinnRef, joka koostuu kymmenistä asemista (Maanmittauslaitos n.d.). Korjaussignaali voidaan lähettää yksittäisen tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välillä perinteisellä radiosignaalilla. Edistyneempi vaihtoehto on tukiasemaverkostossa kuitenkin käyttää NTRIP (The Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) teknologiaa. Tässä teknologiassa kiinteät tukiasemat on yhdistetty internetin välityksellä ja pystyvät sitä kautta keskustelemaan liikkuvien vastaanottimien kanssa lähettäen korjaussignaalia. (Anatum GeoMobile Solutions 2017). Kuvassa 4 on havainnoitu RTK-järjestelmän toimintaa NTRIP teknologialla.



KUVA 4. RTK-järjestelmän toimintaperiaate mobiiliverkossa. (Anatum GeoMobile Solutions 2016)

3 TUOTESUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Tuotesuunnittelu aloitetaan järjestelmältä vaadittavien ominaisuuksien ja suorituskyvyn hakemisella. Tämä tapahtuu yhdessä yrityksen muiden työntekijöiden kanssa neuvottelemalla ja hyödyntämällä aikaisemmin kerättyä tietoa.

Käyttötarkoitus on rahdin kuljettaminen. Dronen tulisi pystyä kantamaan ja jättämään rahti ennalta määrättyyn paikkaan. Työssä ei oteta kantaa dronen muuhun toimintaan, vain rahdin käsittelyyn liittyviin asioihin.

3.1 Vaadittavat ominaisuudet

Lähtökohtien hakeminen aloitetaan rahdin massan ja koon määrittämisestä. Lähtökohtaisesti haluttaisiin molempien olevan mahdollisimman suuri. Kuitenkin rajoittavat tekijät määräävät rahdin maksimi painon, sekä vaikuttavat vahvasti muotoiluun. Rahdiksi päätettiin valmiina löytyvät ja tunnetut paketit Postilta, XS sekä S kokoiset. Paketit ovat ulkomitoiltaan XS-koon leveys 155 mm, korkeus 105 mm ja syvyys 255 mm, S-koon leveys 295 mm, korkeus 105 mm ja syvyys 335 mm. Paketit ovat kuvassa 5.



KUVA 5. Postin XS ja S-koon paketit. Lennätettävät rahdit. (Risto Hyväri 2022)

Dronen tekniset ominaisuudet rajoittavat maksimi hyötykuorman, eli ylimääräisen massan, jonka drone pystyy kantamaan, 4 kg:aan. Tämä lukema siis sisältää kuljetettavan rahdin sekä rahdin kiinnitysmekanismin massan. Mekanismista tulisi tehdä mahdollisimman kevyt, jotta hyötykuorman määrää saataisiin mahdollisimman paljon rahtiin.

Tässä vaiheessa päätettiin, ettei dronen tarvitse pystyä kantamaan kuin yhden paketin per lento. Tulevaisuudessa tämä voi muuttua niin, että kone kykenisi yhden lennon aikana toimittamaan rahtia useampaan jättöpaikkaan. Tällainen ratkaisumalli on ollut käytössä yrityksen aikaisemmissa drone-malleissa.

Rahdin tulisi olla helposti kiinnitettävissä droneen. Sen täytyy myös pysyä kyydissä vaativissakin lentoliikkeissä, joita drone saattaa joutua tekemään vallitsevien sääolojen mukaan. Rahti ei saa liikkua juurikaan lennon aikana, sillä se saattaisi pahimmassa tapauksessa pudottaa dronen alas. Rahti pitää myös varmasti saada jätettyä dronen kyydistä pois, sillä dronen on tarkoitus tulevaisuudessa suorittaa rahdinkuljetustehtävät automaattisesti eikä vastaanottopäässä olisi yrityksen henkilöä valvomassa jättöä paikan päällä.

Automaattisen toiminnan takia rahdin jättö tulisi suorittaa mahdollisimman tarkasti ennalta määrättyyn ja sovittuun kohtaan. Mahdollisiksi jättöpaikoiksi on suunniteltu muun muassa omakotitalojen piha-alueet. Rahti haluttaisiin jättää 1 metrin säteiselle alueelle. Tämä asettaa vaatimuksen dronen paikannustarkkuudesta, etenkin rahtia jättäessä.

3.2 Rajoittavat tekijät

Dronen kantokyky rajoittaa kuljetettavan rahdin massaa. Lisäksi aerodynaamiset ominaisuudet ja koneen muotoilu asettavat rajoitteita rahdin muotoon ja kokoon. Etenkin ilmanvastus ja koneen kokonaispainopiste määrittävät, mihin kohtaan dronea rahti voidaan asettaa. Nämä osakseen määrittävät rahdin kiinnityskohdan ja näin ollen kiinnitysmekanismin paikan.

Dronen rakenneratkaisut asettavat rajoitteita kiinnitysmekanismissille. Koska mekanismi on olennainen osa dronea, on sitä huomioitu koko koneen suunnittelussa. Kuitenkin aerodynaamiset ja kulutukseen liittyvät ominaisuudet ajavat etusijalle suunnittelu ratkaisuissa. Myös tekniset mahdollisuudet ja käytettävissä olevat osaaminen sekä yrityksen rahalliset resurssit rajoittavat ratkaisumalleja.

4 SUUNNITTELUPROSESSI

Järjestelmä kokonaisuuteen kuuluu kolme selvästi omaa osa-aluetta, joihin haetaan ratkaisua. Näitä ovat droneen integroitu rahtimekanismi, dronen tarkka asemoituminen rahdin jättöpaikalle sekä jättöpaikan rakennelmat. Karkeassa arvostelussa karsittiin aluksi pois selvästi huonommat ratkaisumallit pois jokaisesta alueesta. Karkeaa arvostelua tehtiin yrityksen muiden työntekijöiden kanssa työryhmässä yhteisessä keskustelussa. Tässä vaiheessa pois pudotettuja malleja ei käsitellä tässä työssä.

Jäljelle valikoituneita ideoita jatkoarvioitiin muun muassa Jokisen (2001) esittelemällä painoarvotaulukolla. Tässä työssä esitetään valitun ratkaisuvaihtoehdon saamat pisteytykset. Kun valikoinnin päätteeksi työryhmän mielestä oli valittu paras vaihtoehto, siihen suunniteltiin tarvittavat osaratkaisut.

4.1 Rahtimekanismi

Rahtimekanismin kehittäminen alkoi perustoiminnan ajattelusta. Dronen mallin takia, rahti kiinnitetään rungon ulkopuolelle. Rahti pitää saada helposti kiinnitettyä, sen täytyy varmasti pysyä lennon ajan kiinni ja se täytyy luotettavasti irrota oikeassa paikassa. Rahti irrotetaan dronen kyydistä leijuntavaiheessa, eli dronen keulan osoittaessa ylöspäin, kun taas matkalennon aikana drone ja rahti on kääntyneenä kohti horisonttia. Kaikissa ratkaisuissa suunnittelu ja ainakin osa valmistuksesta tehtäisiin Lentola Logisticsin toimesta.

Työryhmässä ideoitiin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Alkuarvioinnin jälkeen muodostui kolme ratkaisuvaihtoehtoa:

- Hihnakiristin
- Kiskolukitus
- Hihnalukitus

Hihnakiristimessä dronen rungossa olisi kiinni hihna, jota voitaisiin löysätä ja kiristää moottorilla. Kuljetettava rahti laitettaisiin hihnan väliin ja kiristettäisiin tiukasti runkoa vasten. Jätettäessä hihnaa löysennettäisiin moottoria ajamalla ja rahti luiskahtaisi sen välistä pois.

Kiskolukitus ratkaisussa pakettiin kiinnitettäisiin kiskon vastakappale, jonka varassa rahti työnnettäisiin dronessa olevaan kiskoon. Kiskossa olisi takareunassa lukkokieli, jota vasten paketin vastakappale nojaisi leijuntavaiheessa ja jonka avaamalla rahti tippuisi kiskolta pois.

Hihnalukituksessa rahdin ympärille laitetaan kiinteästi hihna, josta rahti ripustettaisiin dronessa olevaan lukitusmekanismiin. Mekanismin avaamalla rahti irtoaisi dronen kyydistä.

Valikoinnin lopuksi toteutettavaksi ratkaisuksi valittiin hihnalukitusmekanismi. Siinä yhdistyi muiden ratkaisujen hyviä puolia ja vältti niiden huonoja puolia. Taulukossa 1 on hihnalukitus ratkaisun painoarvotaulukon pisteytys, jota käytettiin apuna ratkaisun tekemisessä. Muiden ratkaisujen pisteytykset ovat liitteessä 1.

TAULUKKO 1. Rahtimekanismin valitun ratkaisun painoarvotaulukko.

| Arviointikriteeri | Painotus | Ratkaisu Hihnalukitus | | |
|-------------------|----------|-----------------------|---------|--------------------|
| | | Ominaisuus | Pisteet | Painotetut pisteet |
| Paino (kg) | 0,15 | 0,2 | 3 | 0,45 |
| Toimintavarmuus | 0,25 | Hyvä | 4 | 1 |
| Käytettävyys | 0,15 | Kohtalainen | 3 | 0,45 |
| Lisäykset rahtiin | 0,1 | Hiukan | 3 | 0,3 |
| Hinta (€) | 0,1 | <100 | 4 | 0,4 |
| Komponentit | 0,1 | 2 | 3 | 0,3 |
| Valmistettavuus | 0,15 | Kohtalainen | 3 | 0,45 |
| Yhteensä | 1,0 | | 23 | 3,35 |

Ratkaisumallin valinnan jälkeen suunniteltiin sen osaratkaisut. Mekanismin haluttiin pysyvän lukitussa asennossa ilman jatkuvaa sähköistä voimaa. Lisäksi rahti haluttiin pystyä lukitsemaan paikoilleen ilman sähköisten komponenttien käyttöä. Ratkaisuksi keksittiin keinumainen kielekemekanismi, jonka väliin rahdin hihna

työnnetään ja painetaan kiinni runkoa vasten. Keinun toisella puolella olisi lukituspalat, jotka työntyvät jousivoimalla keinun väliin ja näin lukitsisivat mekanismin. Lukituspaloja liikutettaisiin servomootoreilla keinun välistä pois auki asentoon, jolloin kieleke kääntyisi toisen jousen voimalla auki ja vapauttaisi rahdin.

4.2 Jättopaikan paikannus

Rahdin jättäminen pitää tehdä mahdollisimman tarkkaan ennalta määrättyyn kohtaan. Tämä on tärkeää etenkin ahtaisiin paikkoihin tavaraa toimittaessa. Lisäksi se lisää dronen turvallisuutta, koska jättopaikalla oleva mahdollinen asiakastietäisi tarkalleen mihin drone laskeutuu ja osaisi varoa paikkaa.

Paikannusratkaisu olisi elektroninen ja se yhdistettäisiin dronen autopilotin paikannus- ja ohjausjärjestelmään. Tekijällä eikä yrityksellä ollut osaamista tällaisen järjestelmän toteutuksesta, joten se täytyisi ostaa. Lisäksi järjestelmän piti olla yhteensopiva dronessa käytettävän autopilotin kanssa.

Potentiaalisiksi ratkaisuvaihtoehtoina löydettiin:

- Infrapuna tähtäys
- RTK-GPS-paikannus
- Laserkeilaus

Infrapuna tähtäyksessä ratkaisu hankittaisiin IR-LOCK valmistajalta. Ratkaisussa maahan laitettaisiin infrapunavalon lähettäjä ja dronen kyytiin kamera. Kamera kuvan perusteella drone yrittäisi laskeutua valolähtetimen päälle. (IR-LOCK n.d.)

RTK-GPS-paikannus toimii GPS-satelliittipaikannuksella, johon lisäksi käytetään tunnettujen kiinteiden maa-asettien korjaussignaalia. Korjaussignaali pitäisi jollain yhteystekniikalla saada välitettyä droneen. Drone pyrkisi laskeutuessa osua ennalta määrättyyn koordinaattipisteeseen. Tällaisia järjestelmiä toimittaa usea yritys.

Laserkeilauksessa dronessa olisi lähetin, jonka säteily peilattaisiin maassa olevasta peilistä takaisin dronessa olevaan vastaanottimeen. Drone ohjautuisi kohti peiliä. Tällaista järjestelmää oli ehdottanut Lentola Logisticsin yhteistyöyritys.

Infrapunan ja laserkeilauksen merkittävä huono puoli on maassa tarvittava laitteisto. Infrapuna ratkaisussa siihen tarvittaisiin lisäksi sähköä. Tämä lisäisi laskeutumispaikkojen kustannuksia. Maassa olevat komponentit voisivat lisäksi peittyä esimerkiksi lumella tai syksyisin puitten lehdillä. Tällöin niiden toimivuus heikkenee tai jopa loppuu. Toisaalta GPS-signaalikin voi kärsiä häiriöistä, jolloin paikannus tarkkuus heikkenee. Tätä ei pidetä kuitenkaan kovin suurena uhkana.

Ratkaisuja tutkimalla selvisi, että IR-LOCKin infrapuna tähtäys ratkaisu ei toimisi suoraan dronen autopilotin kanssa. Se vaatisi merkittäviä lisäyksiä ohjelmointiin, mitä ei osattu tehdä. Myöskään laserkeilaus ei toimisi suoraan vaan pitäisi räätälöidä erikseen. Näin ollen tässä vaiheessa ainoaksi vaihtoehdoksi jää RTK-GPS-paikannus.

Muita hyviä puolia RTK-GPS-paikannusratkaisussa muihin verrattuna on useita muitakin. Ratkaisua voi käyttää koneen navigointiin koko lentotehtävän ajan, se toimii korkeus anturointina sekä järjestelmä on suoraan asennettavissa dronen autopilottijärjestelmään. Lisäksi valmistajilta saa kattavat ohjeet järjestelmän toimintaan saamiseksi.

5 TOTEUTUS

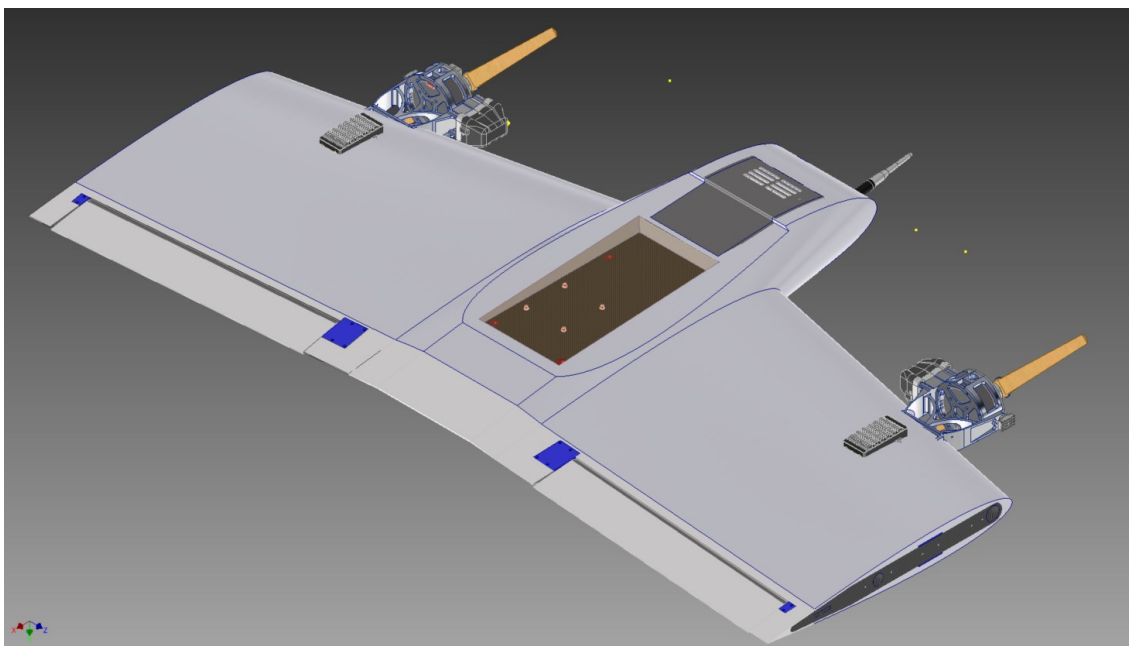
5.1 Rahtimekanismi

5.1.1 3D-mallinnus

Rahtimekanismin toteutuksen lähtökohtana käytetään suunnitteluprosessissa valikoitunutta mallia. Toteutus aloitetaan mekanismin 3D-mallinnuksella. Osille valitaan sopivat valmistusmateriaalit ja -menetelmät saatavilla olevien resurssien mukaan.

Suunnitteluprosessin pohjalta syntynyt ratkaisu mallinnetaan Autodesk Inventor-ohjelmiston avulla. Työssä ei käydä läpi piirtämisen jokaista kohtaa vaihe vaiheelta, vain oleelliset kohdat.

Mallintamisen suunnittelu aloitetaan käytössä olevan tilan määrittämisestä. Dronen rungosta on määrä tehdä mahdollisimman matalaprofiilinen sekä kapea. Tässä vaiheessa rahtimekanismin ja itse rahdin paikka on määrätty, joten voidaan selvittää käytössä oleva tila koneen rungon työpiirustuksista. Kuvassa 6 on dronesta tehty kokoonpanomallinnus ja rahtimekanismin paikka on koneen keskikohdassa olevassa aukossa. Rungon muotoiluun on tehty pakettia varten tasainen alue, jota vasten kuljetettavan paketin tulisi painautua tiukasti kiinni. Mekanismin tarvitsee tästä syystä siis mahtua etenkin korkeus suunnassa määrätyn alueen sisälle. Alueen koko on noin pituus 308 mm, leveys 154 mm ja korkeus vaihtuu etureunassa 28 mm takareunan 11 mm

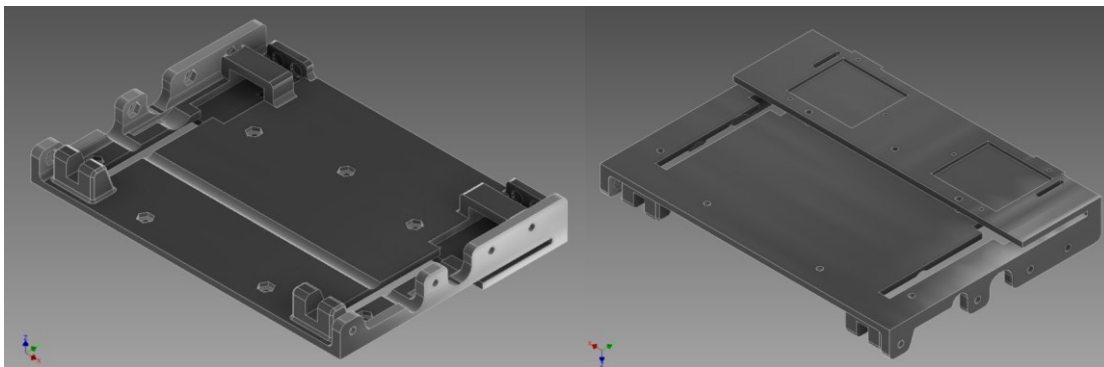


KUVA 6. Rahtimekanismin tila dronen alapuolella. (Lentola Logistics 2022)

Rahtimekanismin kiinnitystä varten tarvitaan tukeva kiinnityskohta. Tähän tarkoitukseen kuvassa 6 aukon pohjassa näkyvä hiilikuitulevy ei käy, sillä se on tarkoitettu elektroniikan kiinnitykseen ja on vain tärinänvaimennuskumien varassa. Sen sijaan aukon reunoilla koneen pituussuuntaisesti on pystysuunnassa olevat hiilikuitulevyt, jotka ovat osa dronen kantavaa runkorakennetta. Rahtimekanismi siis kiinnitetään näihin. Koska kone oli vielä kokonaisuudessaan valmistamatta ja suunnitteluvaiheessa, tukirakenteisiin voitiin tehdä tarvittavia muutoksia.

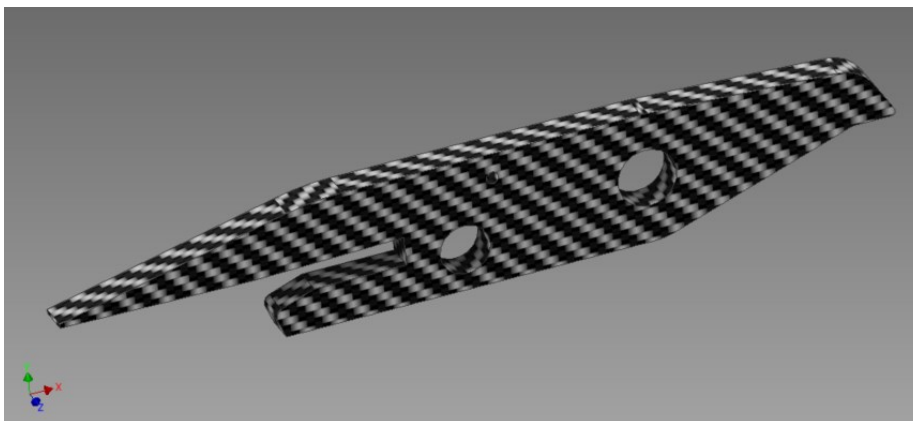
Lentodynamiikan tutkimusten ja suunnittelun pohjalta tiedetään, missä kohtaa kuljetettavan rahdin painopiste olisi hyvä olla. Tämän ja rahdin pituustiedon avulla tiedetään rahtipaketin kantohihna suurin piirteinen kohta koneen pituus suunnassa, jonka kohdalle mekanismin lukituskiekkeet tulevat. Näiden tietojen ja suunnitellun toimintaperiaatteen avulla mallinnettiin rahtimekanismin osat.

Mallinnus aloitettiin mekanismin alustasta, joka kiinnitettiin runkorakenteisiin ja johon muut komponentit kiinnittyvät. Alustan muodosta ei suoraan saatu lopullista, vaan sitä muutettiin myöhemmässä vaiheessa tehtävän kokoonpanomallin avulla. Muutoksia tehtiin, kunnes osista ja kokoonpanosta saatiin mieleinen. Iteroinnin läpikäynyt mallinnettu alusta on kuvassa 7.



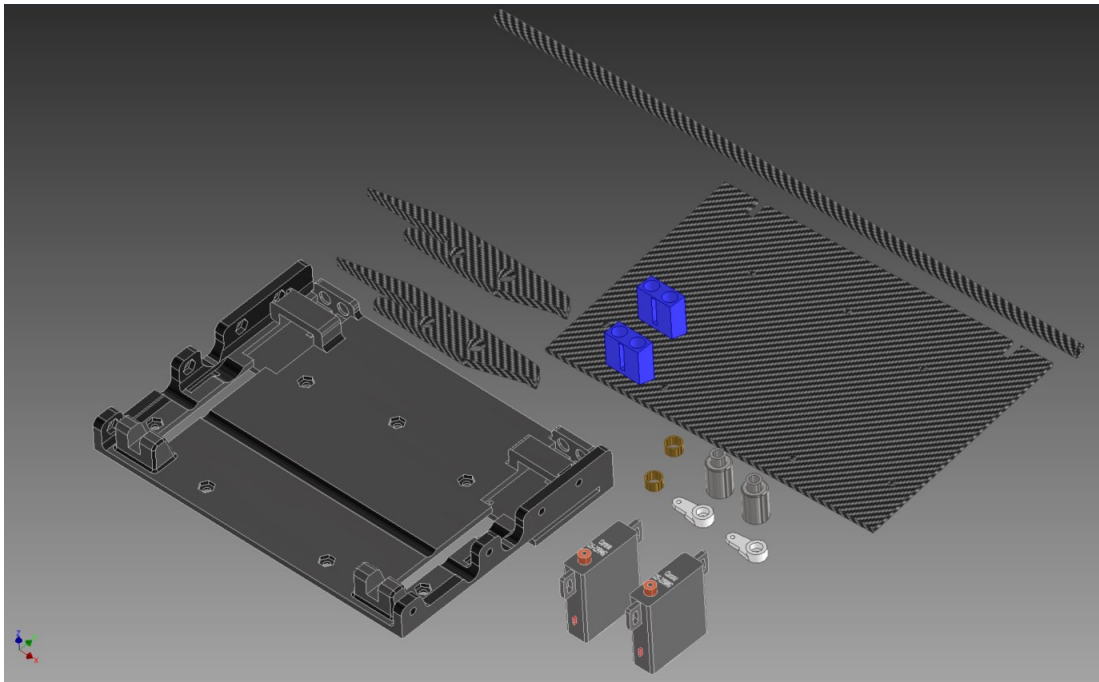
KUVA 7. Rahtimekanismin alusta. (Lentola Logistics 2022)

Lukituskielekkeet ovat mekanismin yksi tärkeimmistä osista. Se pitää pystyä pujotta rahdin ympärillä olevan tiukan hihnan väliin, se kannattelee rahdin painon, toimii irrotusmekanismina ja on osa mekaanista lukkomekanismia. Näihin liittyykin kielekkeen muotoilun tarkimmat asiat. Kieleke täytyi saada pysymään tiukasti lukitusasennossa ja varmasti ja napakasti avautumaan, muttei kuitenkaan liian paljon, ettei rahti tai hihna jumiutuisi. Myös kielekkeen suunnittelua iteroitiin koonpanomallin avulla. Kieleke päätettiin valmistaa 4 mm hiilikuitulevystä leikkaamalla. Kuvassa 8 on kielekkeen lopullinen malli.



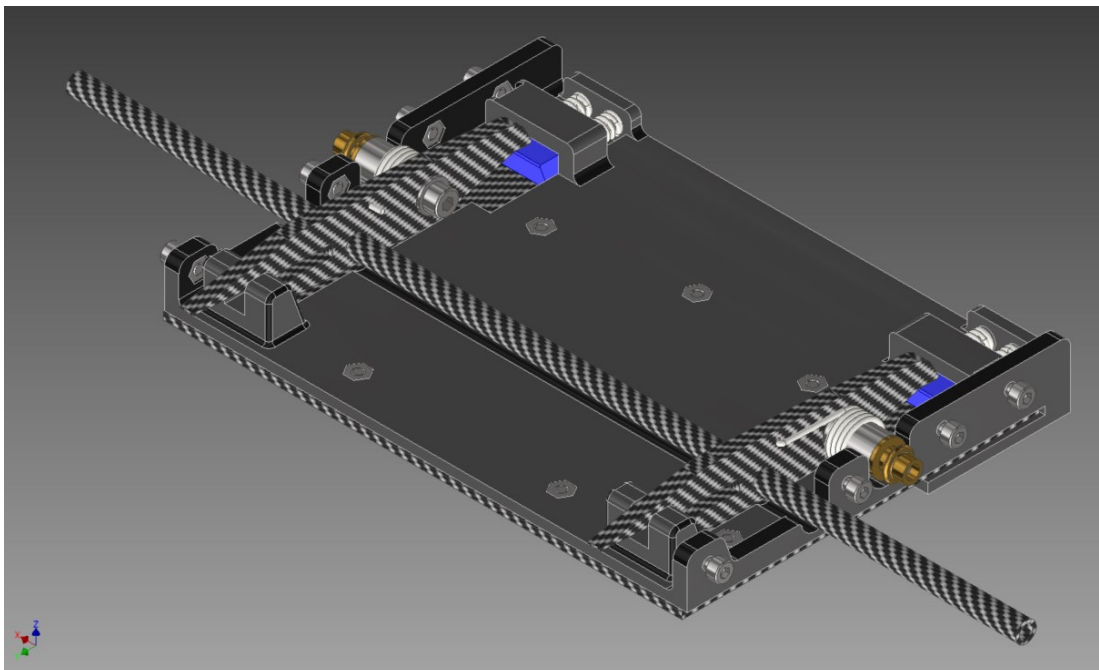
KUVA 8. Lukituskieleke. (Lentola Logistics 2022)

Kuvaan 9 on koottu mallinnetut osat. Muovisen alustan vahvikkeeksi suunniteltiin hiilikuitulevy, joka varmistaa, ettei mekanismi pääse vääntyilemään rasituksessa. Lukituskielekkeiden kiinnitystä varten tehtiin metalliset soviteholkit ja messinkiset liukulaakerit. Lukituskielekkeet kiinnitetään rungon hiilikuitulevyihin niittimutterilla. Mekanismin lukitusta varten ovat kuvassa 9 siniset muoviset lukkokielet, joita liikutetaan servomoottorien ja niiden vipujen avulla.



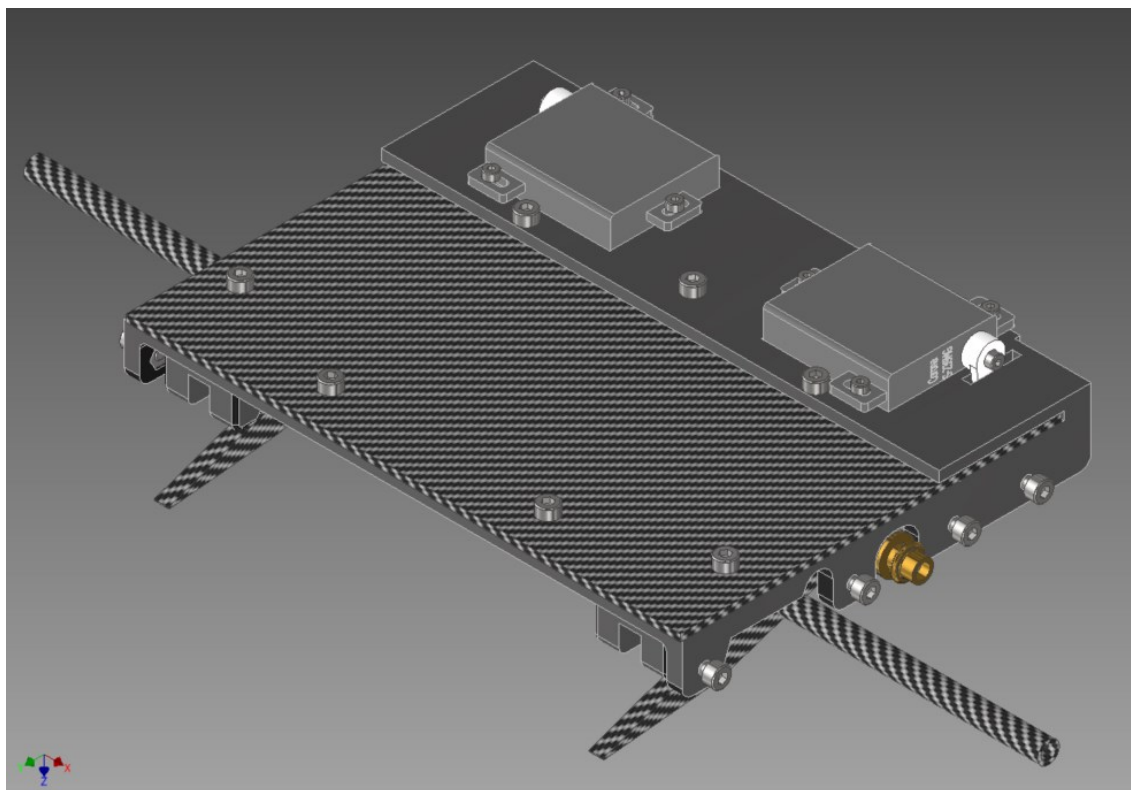
KUVA 9. Rahtimekanismin osamallinnukset. (Lentola Logistics 2022)

Osista koottiin kokoonpanomalli, jonka avulla voitiin simuloida mekanismin toimintaa. Kuvassa 10 kokoonpanoon on lisätty tarvittavat kasaus ja kiinnitys pultit ja mutterit, sekä mekanismin toimintaan tarvittavat jouset. Kierrejouset pitävät lukkokielet kiinni asennossa, vaikka lukitusta liikuttavat servomoottorit esimerkiksi hajoaisivat. Lukituskielekkeiden kiinnitysholkkien ympärille laitettiin jouset, jotka avaavat mekanismin, kun lukkokielet liikutetaan auki asentoon.



KUVA 10. Rahtimekanismin kokoonpanokuva yläpuoli. (Lentola Logistics 2022)

Kuvassa 11 on mekanismin kokoonpano rungon sisäpuolelta. Tässä kuvassa näkyy lukkokieliä liikuttavat servomoottorit. Kokoonpanosta tehtiin osalistallinen piirustus, jota voi hyödyntää mekanismin kasaamisessa. Piirustus on liitteessä 2.



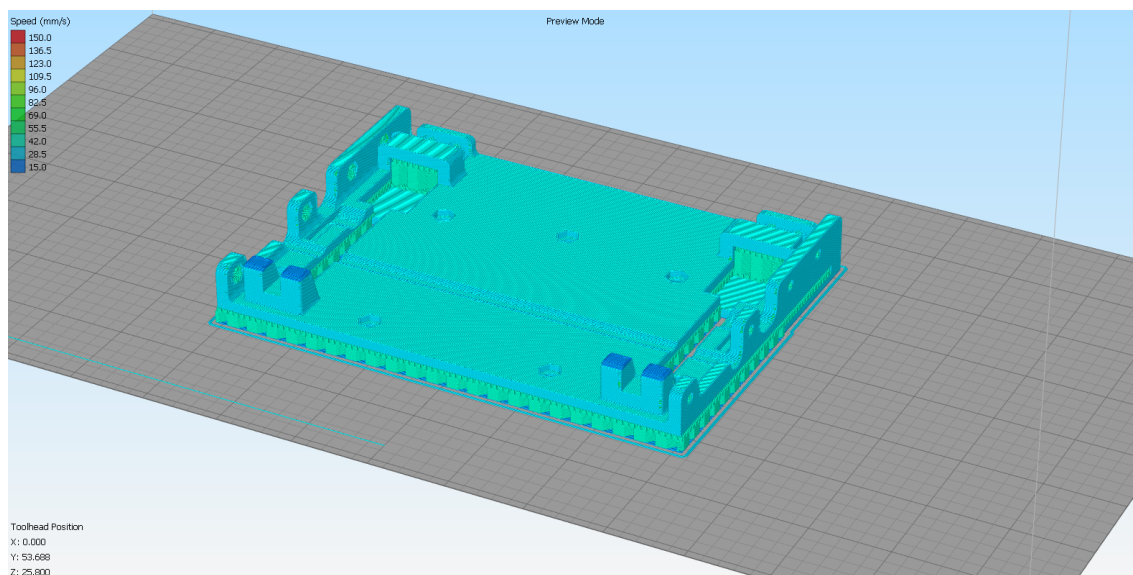
KUVA 11. Rahtimekanismin kokoonpanokuva alapuoli. (Lentola Logistics 2022)

5.1.2 Valmistus

Mekanismin valmistus aloitettiin, kun mallinnettuihin osiin ja kokoonpanoon oltiin tyytyväisiä. Muoviset osat valmistettiin Lentola Logisticsin sisäisenä työnä, Hiilikuitulevyjen muotoon leikkaaminen ulkoistettiin ja servomootoreina käytettiin aikaisemmissa projekteissa käytettyä mallia.

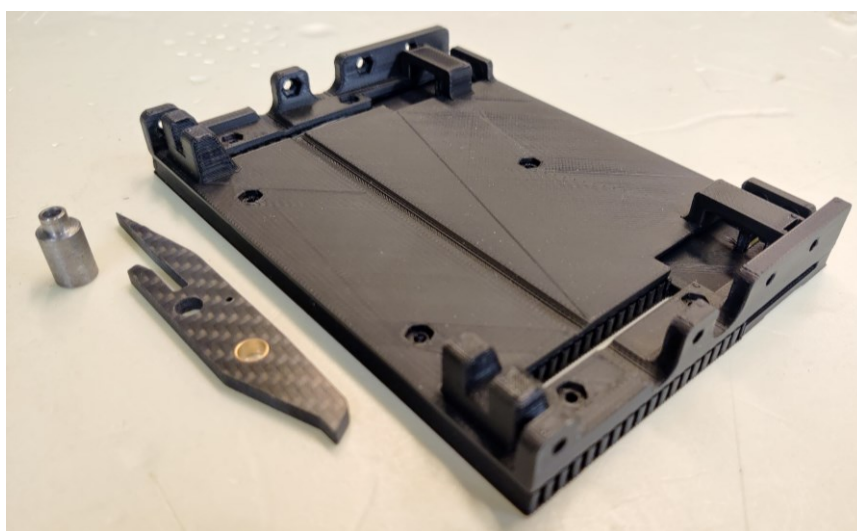
Muoviset osat valmistetaan FDM-tekniikkaa käyttävällä 3D-tulostimella. Mallinnettut kappaleet muutetaan tulostimelle sopivaan muotoon Simplify3D slicer-ohjelmalla. Ohjelmalla määritettiin kappaleen tulostusasetukset, kuten tulosteen sisätyttö ja kerroskorkeus. Kuvassa 12 on rahtimekanismin alusta Simplify3D ohjelmassa. Kappaleet tulostettiin Prenta merkkisellä 3D-tulostimella. Ensimmäiset

versiot valmistettiin PLA-muovista (polyaktidi muovi), myöhemmin valmistusmateriaali tullaan vaihtamaan toiseen, esimerkiksi PC-muoviin (polykarbonaatti).



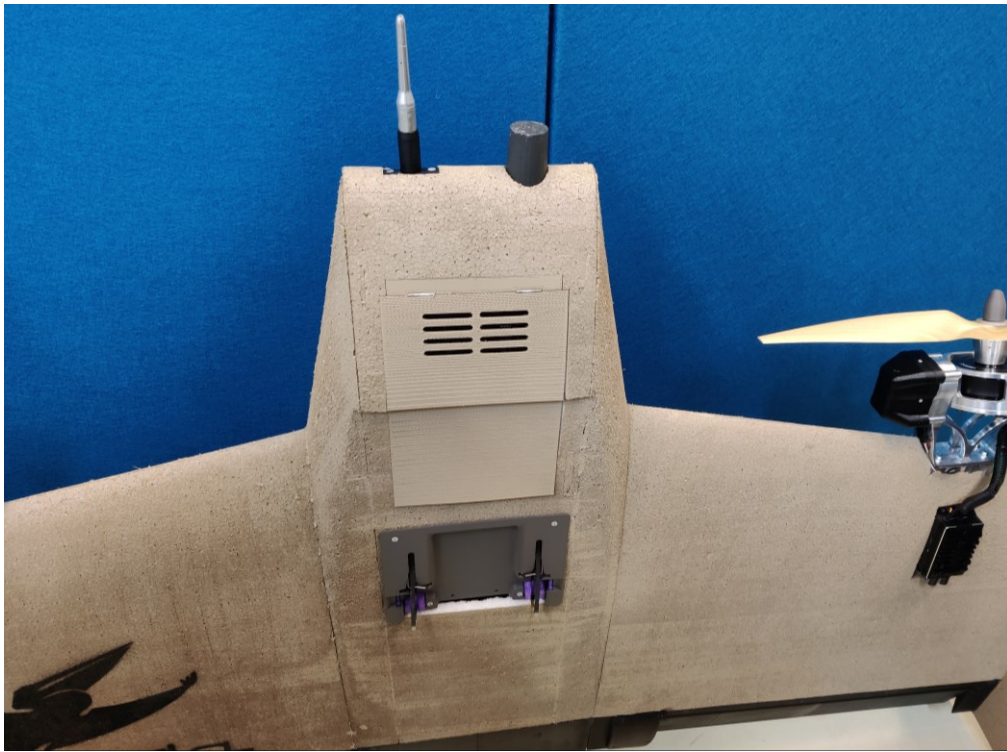
KUVA 12. Rahtimekanismin alusta Simplify3D ohjelmassa. (Lentola Logistics 2022)

Hiilikuituiset osat valmistettiin ostetusta levymateriaalista, joka vesileikattiin muotoonsa. Vesileikkaukset teki Tampereen Vesileikkaus Oy. Metalliset soviteholkit valmistettiin manuaalisorvilla. Kuvassa 13 on valmistettuja osia.



KUVA 13. Valmistettuja osia. (Lentola Logistics 2022)

Osat siistittiin ja asennettiin dronen runkorakenteisiin. Mekanismin päälle suunniteltiin myös suojakotelo, joka valmistettiin LW-PLA-muovista (low weight polyaktidi) tulostamalla. Kuvassa 14 mekanismi on asennettu droneen.



KUVA 14. Rahtimekanismi ja RTK antenni asennettuna droneen. (Lentola Logistics 2022)

Rahdin kiinnitysmekanismiratkaisun takia kuljetettavaan tavaraan tarvitsee lisätä kiinnityshihna. Hihnana käytettiin polypropeenista (PP) valmistettua kiristysvannetta, joka voidaan muovilukolla käsin kiristää rahdin ympärille. Vanteen koko oli valittu jo kiinnitysmekanismi suunnitteluvaiheessa, 12 mm levyinen ja 0,55 mm paksuinen. Rahtina käytettyyn pakettiin lisättiin myös viistot foam-palat eteen sekä taakse. Tällä haettiin pientä parannusta rahdin ilmanvastukseen. Rahti paketti on kuvassa 15.



KUVA 15. Rahdin kiinnityshihna sekä paketin muotoilupalat. (Risto Hyväri 2022)

5.2 RTK GPS-laitteisto

Tarkkuuspaikannuslaitteeksi valittiin Emlid yrityksen Reach M2 RTK GNSS moduuli. Kuvassa 16 on droneen asennettava laitteisto, joista sylinterin muotoinen osa on antenni ja laatikko on prosessointiyksikkö. Laitteisto oli valmis yksikkö, joka asennettiin droneen valmistajan ohjeiden mukaan.

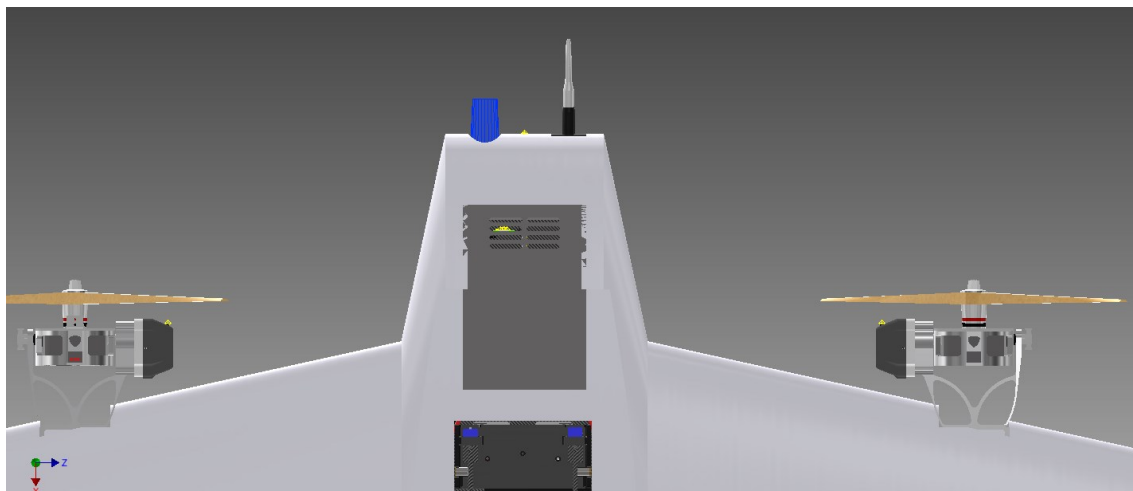


KUVA 16. Emlid Reach M2 (Emlid first setup n.d.).

Laitteiston asennuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota antennin asemointiin. Hyvin asemoitu antenni on olennainen osa hyvän RTK paikannustuloksen saavuttamiseen (Emlid n.d). Antennilla tulee olla vähintään 120 asteen avoin näkymä taivaalle. Se tulisi asentaa mahdollisimman kauas sähkö- ja elektroniikkalaitteista, sillä ne voivat tuottaa RF (radio frequency) häiriötä, joka voi heikentää GNSS signaalin vastaanottamista. Emlidin mukaan Antennin olisi hyvä olla noin 15–20 cm päässä muista sähkölaitteista. Asennusohjeen mukaan tämän tyyppinen antenni ei välttämättä tarvitse ns. maa-alustaa mutta sellaisen käyttö voi parantaa signaalin saantia. Maa-alusta tässä tarkoittaisi antennin alle laitettavaa levyä, joka on sähköä johtavaa ainetta kuten metallinen levy, mikä toimisi häiriösignaalisuojana.

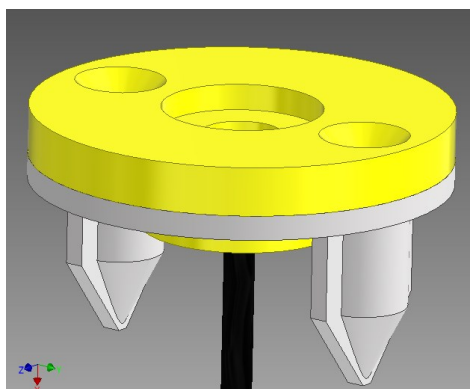
Antenni sijoitettiin koneen keulaan, mihin oli kaksi syytä. Antenni toimii parhaiten, kun se osoittaa suoraan kohti taivasta. Tarkkaa paikannusta tarvitaan etenkin leijunta vaiheessa, jolloin koneen keula osoittaa ylöspäin ja näin ollen myös antenni.

Lisäksi antenni pyrittiin asentaa mahdollisimman kauas muista elektroniikkalaitteista. Kuvassa 17 antenni on mallinnettu koneen keulaan sinisenä.



KUVA 17. RTK-antennin paikka mallinnus. (Lentola Logistics 2022)

Antennille piti tehdä kiinnityspohja, jolla antenni ja antenni johto saatiin kiinnitettyä foam-runkoon. Kuvassa 18 on osat, jotka liimattiin runkoon upotustappien avulla. Pohjaan kiinnitettiin antennijohto sekä antenni. Pohja valmistettiin 3D-tulostamalla PLA-muovista.



KUVA 18. Antennin kiinnike. (Lentola Logistics 2022)

Emlidin laitteisto oli suoraan yhteensopiva ja toimiva dronessa käytetyn autopilottijärjestelmän kanssa ja laitteisto yhdistettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. RTK-järjestelmän korjaussignaali palveluna käytettiin ostettavaa Geotrim Oy:n Trimnet palvelua, joka pystyy tekemään virtuaalisen tukiaseman lähes koko Suomen alueelle. Korjaussignaali välitetään Emlid laitteistolle mobiiliverkkoyhteyden kautta käyttäen NTRIP-teknologiaa. Tarvittaessa Emlid laitteistossa voi käyttää omaa kannettavaa paikallista GPS-tukiasemaa.

6 TESTAUS

Rahdinkuljetusjärjestelmän testaaminen aloitettiin kiinnitysmekanismin testaamisella. Ensimmäiset testit tehtiin toimisto olosuhteissa, joissa vain kiinnitettiin ja irrotettiin rahti. Ensimmäisenä asiana huomattiin, että hihnan lukituskielien lukkoon painaminen pelkän paketin avulla oli hyvin hankalaa etenkin, jos paketti pääsi joustamaan. Lukituskieliä yhdistävästä tangosta painamalla lukitus saatiin kiinni, mutta se oli hankalaa. Koska paketti haluttiin tiiviisti aluksen runkoa vasten, lukituskielet olivat ulomman runkopinnan sisäpuolella. Tämä aiheutti lukitusta kiinni painaessa paketin kiinnityshihnan kiristymistä. Vaikka tämä paransi paketin paikoillaan pysymistä, ei sen vaikutusta lukituksen kiinni painamiseen ollut otettu huomioon. Lukituksen avaamisessa ja rahdin irrotuksessa ei havaittu ongelmia.

Seuraavaksi mekanismia testattiin dronen leijuessa. Ensimmäiset testit suoritettiin sisätiloissa turvanarun varassa, jossa dronen vikaantuessa se ei putoa lattialle saakka vaan jää narun varaan roikkumaan. Kuvassa 19 drone on roikkumassa turvanarun varassa 3 kg testirahdin kanssa. Samalla testattiin itse dronea, jota ei aikaisemmin ollut käytetty. Paikannusjärjestelmää ei voitu sisätiloissa luotettavasti testata, sillä rakennus heikensi GPS-signaalia huomattavasti. Rahtimekanismia testattiin eri painoisilla paketeilla aina neljään kilogrammaan asti. Kone toimi hyvin, joskin havaittiin sen hiukan liikkuvan painon kallistamaan suuntaan. Tämä liike oli kuitenkin sen verran pientä ja muita epäkohtia ei havaittu, joten voitiin siirtyä vapaan ilmatilan testeihin.



KUVA 19. Rahdinkiinnitysmekanismin testausta turvanarun varassa. (Lentola Logistics 2022)

Ulkona vapaassa ilmatilassa voitiin testata dronea tositilanteissa ja testeissä käytettiin suunnitellun mukaista pakettia. Kuvassa 20 drone on leijunnassa kahden kilogramman painoisen virallisen rahtipaketin kanssa. Turvallisuus- ja yksityisyyssyistä testejä suoritettiin suljetun lentokentän alueella sekä järven yläpuolella, jotta jos jokin menisi pieleen ja drone tippuisi alas, olisi ulkopuolisiin vahinkoihin mahdollisimman pieni todennäköisyys. Testilennot tehtiin näköyhteydellä ja manuaali sekä ennalta määrättyjen automaattilentojen avulla. Lentoja tehtiin useiden viikkojen aikana vaihtelevissa olosuhteissa. Leijunta meni hyvin etenkin, kun GPS paikannus ja ohjaus oli käytössä ei kone lähtenyt itsestään liikkumaan rahdin painon takia. Seuraava vaihe oli siirtyä suoraan lentoon.



KUVA 20. Rahdinkuljetusjärjestelmän testausta oikeassa tilanteessa. (Lentola Logistics 2022)

Suorasta lennosta haluttiin ensimmäisenä testata rahdin vaikutusta koneen kokonaispainopisteeseen ja näin koneen lento-ominaisuuksiin. Haluttiin lisäksi varmistaa, mihin kohtaa koneen pituussuunnassa rahti olisi paras asettaa. Tätä varten rahdin tilalle kiinnitettiin pitkulainen litteä alusta, jossa oli siirrettävä massa. Massaa siirtämällä pystyttiin demoaan rahdin vaikutusta painopisteeseen ilman että se tuottaisi ilmanvastusta. Tekemällä useita samanlaisia automaattisia lentotehtäviä siirtäen massaa lentojen välissä, voitiin paras lisäpainon paikka määrätä vertailemalla dronen virrankulutusta, kohtauskulmaa sekä käyttäytymistä. Esimerkiksi jos lisämassa oli liian edessä, drone joutui käyttämään suurempaa siivekekulmaa ja kulutti enemmän virtaa. Jos massa oli liian takana, drone alkoi muuttua epävakammaksi ja lentää aaltoilevalla liikkeellä. Tällä testillä siis saatiin

määritettyä pituussuuntainen alue, johon rahti voidaan asettaa. Alueeseen otettiin huomioon rahdin ilmanvastuksen aiheuttama dronen keulaa alaspäin vääntävä voima.

Seuraavaksi lentoja tehtiin oikean rahtipaketin kanssa. Koska paketti osattiin asettaa oikeaan kohtaan, lentäminen onnistui. Testien perusteella nähtiin rahdin vaikutus aluksen tehon kulutukseen ja näin ollen mahdolliseen lentomatkaan. Kulutuksen muutokseen vaikuttivat rahdin aiheuttama ilmanvastus, lisämassan vaikutus ohjainpintojenkulmiin ja näin lisävastukseen sekä lentonopeuden kasvattamiseen. Paketilla ja sen muotoilulla on vaikutus dronen suoritusarvoihin.

Jättöpaikan paikannuksen ratkaisua testattiin myös oikeilla testilennoilla samaan aikaan rahdinlukitusmekanismin kanssa. Automaattiset lentoreitit suunniteltiin niin, että drone käy lennon aikana tai lopuksi jättämässä rahdin ennalta määrättyyn ja merkattuun pisteeseen. Kuvassa 21 varoituskolmioilla merkattun neliön sivun pituus oli 2,5 metriä ja keskelle oli merkattu piste, jonka koordinaatit oli syötetty droneen tavarán jättöpisteeksi. Piste ja koordinaatit pidettiin samana testijakson ajan, jotta nähtiin, olisiko ajalla vaikutusta. Rahti joko jätettiin maahan tai pudotettiin 2 metrin korkeudesta. Näin nähtiin RTK GPS järjestelmän korkeuden paikkansapitävyys.



KUVA 21. Paikannuksen tarkkuuden testaamista. (Lentola Logistics 2022)

Rahtimekanismin irrotustoiminto toimi pääsääntöisesti hyvin. Servojen avauksissa oli havaittavissa pieni ajallinen eroavaisuus, mikä johtuu siitä, että lentoreitit joudutaan laittamaan servojen liikutuskomennot peräjälkeen eikä samaan aikaan. Ero on kuitenkin hyväksyttävän pieni. Mutta suurempi ongelma oli, että isommilla yli 2 kg massoilla rahti ei aina heti pudonnut irrotuskomennon saatuaan. Dronen tarvitsi heilahtaa, että rahti irtosi. Tämän ongelman pääteltiin johtuvan liian loivista vastinpinnoista, joihin rahdin hihna nojasi dronen leijuessa. Raskeammalla massalla hihna pääsi painumaan ruttuun ja jumiutumaan.

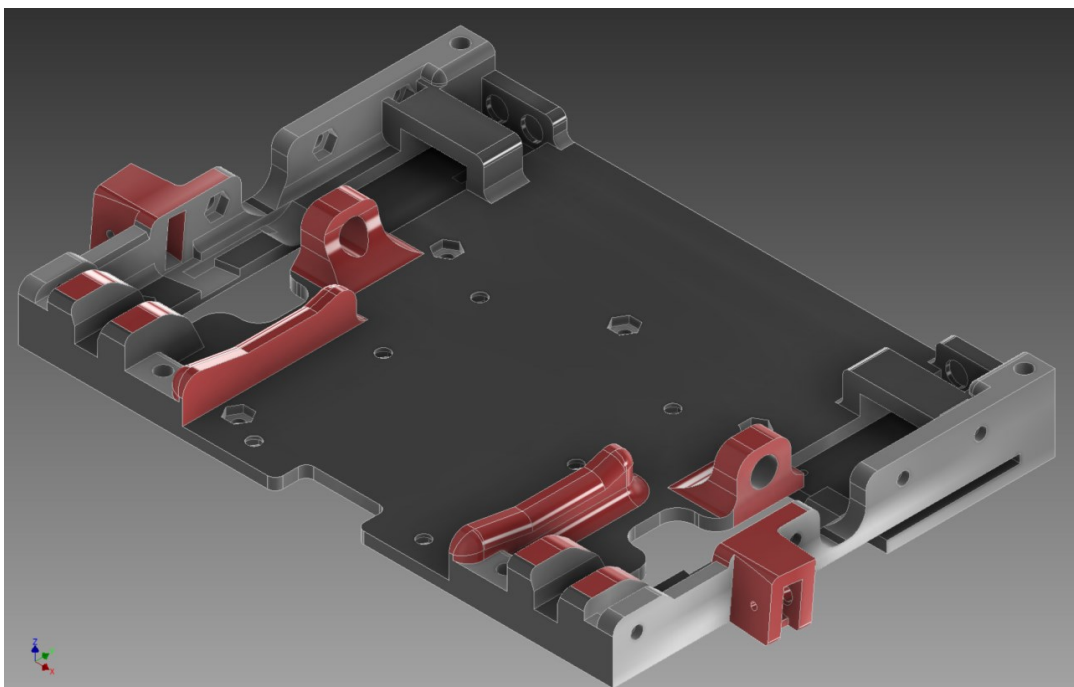
Jättöpaikan paikannukseen käytettävä RTK GPS järjestelmä toimi mallikkaasti. Noin 30 % laskeutumisista osui 20 cm säteelle määrätystä pisteestä ja kahta poikkeusta lukuun ottamatta loput 40 cm säteelle. Drone ei harhautunut kertaakaan asetetun neliön ulkopuolelle. Näistäkin tuloksista osa olisi voinut mennä tarkemmin, sillä kone heilahteli tuulisella kelillä ja korjasi asentoaan myös maan läheisyydessä. Mutta todellisissa tavarantoimitustilanteissa sää on yksi toimintaan liittyvä tekijä. Tähän vertailuna kokeiltiin samaa laskeutumista ilman RTK:n avustusta pelkällä tavallisella GPS vastaanottimella. Tällä asetuksella dronen osuutarkkuus laski merkittävästi. Useimmin kone laskeutui neliön ulkoreunalle tai sen ulkopuolelle. Pahimmillaan drone laskeutui noin 12 metrin päähän määrätystä pisteestä. Lisäksi välillä leijunnan aikana drone ajoi noin 2–3 metrin säteistä ympyrää, mikä johtui GPS paikannuksen epätarkkuudesta. Voidaan siis todeta RTK systeemin parantavan toimintaa huomattavasti. Lisäksi se täyttää asetetut lähtövaatimukset ja käytännössä toimii koko Suomen alueella.

Testien loppupuolella lukitusmekanismeissa havaittiin ongelma. Turvallisessa ympäristössä harkitussa lentotilanteessa, jossa haettiin dronelle hitaita lentonopeuksia rahdin kanssa, päädyttiin pieneen sakkaus tilanteeseen, eli koneella ei enää riittänyt noste pitämään korkeutta. Kone menetti korkeutta mutta pystyi kääntämään itsensä takaisin lentoon. Nopeassa nykyksessä 3 kg painoinen rahti irtosi kyydistä. Drone pääsi palaamaan normaalisti lähtöpaikkaan. Jälkitutkinnoissa huomattiin, että lukitusmekanismi oli yhä kiinni. Kokeilemalla selvisi lukituskieleksen kiinnityksen joustavan kohtuullisella voimalla sen verran, että kiinnityshihna pääsee livahtamaan pois mekanismista. Tällaisia voimia ei pitäisi normaalin lentotehtävän aikana tulla, mutta testien perusteella täytyy myös valmistautua erikoisempiakin tilanteita varten.

7 VIIMEISTELY

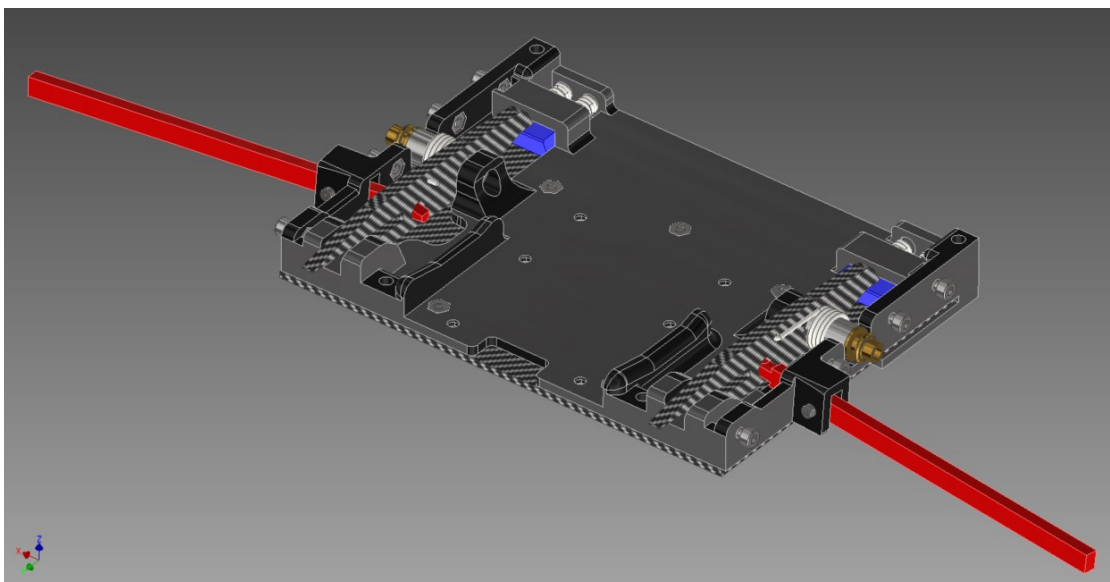
Viimeistelyvaiheessa palataan suunnittelussa hiukan takaisinpäin ja korjataan asioita, joita testausvaiheessa huomattiin. Korjaustoimet liittyvät kaikki lukitusmekanismin toiminnan parantamisesta. Mekanismin suunnittelua parannetaan toimimaan varmemmin ja käyttäjäystävällisemmin.

Muutoksia tarvitsi tehdä vain rahtimekanismin alustan 3D-tulostettuun osaan. Lisäksi mekanismin lukitsemisen helpottamista varten tarvittiin erilaiset hiilikuituiset vivut. Kuvassa 22 näkyy punaisella tehdyt muutokset. Tulostetta vahvistettiin joiltain osin, mutta perusmekaniikka säilyi entisenlaisena. Lukituskielekkeiden kiinnityspultit joustivat kuorman alla, joten pultinkannan ympärille tehtiin kannake. Lisäksi pintoja, joita vasten rahdin kiinnityshihna liukuu pois, jyrkennettiin.



KUVA 22. Päivitetty rahtimekanismin alusta. (Lentola Logistics 2022)

Lukituksen kiinni vetämiseksi suunniteltiin vivut ja niille nivelpisteet alustaan. Uudet lukituksen kiinnivetotangot ovat kuvassa 23 punaisella. Näillä lukitsemisesta saatiin kevyempää ja helpompaa. Alustaan lisättiin myös keskelle korokkeet, jotka tiukkaavat rahdin kiinnityshihnaa.



KUVA 23. Päivitetty rahtimekanismin kokoonpanokuva yläpuoli. (Lentola Logistics 2022)

Uutta päivitettyä mekanismeamia kokeiltiin uudestaan samankaltaisissa tilanteissa ja se toimi paremmin kuin aikaisempi. Aikaisempia toimintavaikeuksia ei enää havaittu. Tämä mekanismi on yhä käytössä dronessa. Kuvassa 24 uudistettu mekanismi on käytössä rahdin kuljetuksessa.



KUVA 24. Päivitetyr rahtimekanismin testaamista. (Lentola Logistics 2022)

8 POHDINTA

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin hyväksyttävällä tasolla. Lentola Logistics sai droneensa toimivan prototyypin rahdinkuljetusjärjestelmästä, jota voidaan käyttää todellisissa tilanteissa. Paikannusjärjestelmää voi käyttää, vaikka yrityksen koneen rakenneratkaisut ja muotoilu muuttuisi. Rahdin lukitusmekanismeissa käytettyä toimintaideaa voi hyödyntää muissakin rakenneratkaisuissa, mutta sellaisenaan suunniteltuja osia ei voi käyttää, sillä ne suunniteltiin juuri kyseisen dronen runkoon integroidusti.

Tuotetta voisi kehittää melkein loputtomasti, mutta jossain vaiheessa täytyy päättää tuotteen olevan tarpeeksi hyvä. Rahtimekanismeja voitaisiin parantaa mm. tekemällä siitä vielä käyttäjäystävällisemmän, esteettisemmän, osaratkaisuja optimoimalla ja modulaarisemman. Modulaarisuudella tarkoitetaan tässä mahdollisuutta irrottaa mekanismi helposti ja kiinnittää sen tilalle esimerkiksi erilaisen rahdin kuljetukseen tarkoitetun mekanismin, kamerajärjestelmän tai anturointia. Nykyisen mekanismin suunnittelua saatetaan joutua muokkaamaan sarjatuotanto valmistuksen takia, riippuen tuotantomenetelmästä.

Työhön olisi pystynyt sisällyttämään teoriaa enemmän esimerkiksi liittyen materiaali tekniikkaan, mekaniikkaan, aerodynamiikkaan, signaali teknologiaan ja markkinatutkimukseen. Työn oli kuitenkin tarkoitus keskittyä tuotekehitysprosessiin ja toimivan prototyypin valmistukseen. Teoriaan sisällytettiin näistä olennaimpia asioita. Työn eri vaiheissa on pyritty totuudenmukaisuuteen, huolellisuuteen ja tarkkuuteen. Lähteitä on pyritty käyttämään laajasti. Vaikka kaikki eivät ole aivan tuoreita, on niissä olevan tiedon arvioitu olevan relevanttia ja paikkansa pitävää.

Oppimalla itselle uusia suunnittelu-, valmistus- ja materiaali tekniikoita voi parantaa ja laajentaa omaa tuotekehitysoosaamista ja mahdollisuuksia. Luovan ajattelun laajentaminen ja tehostaminen parantaa myös suunnittelutyötä. Tulevaisuuden projektina rahdin toimitukseen liittyen pitäisi tehdä asiakkaalle jonkinlainen käyttöliittymä, joka ilmoittaisi saapuvasta dronestä. Samalla ohjelmalla asiakas

voisi tehdä tavaratilauksia. Toisena asiana olisi optimoida kuljetettava rahti. Rahdista voisi tehdä drone kuljetukseen optimoidun. Huomioiden esimerkiksi aerodynamiikan ja kiinnityksen droneen.

LÄHTEET

3D Printing.com. n.d. What is 3D printing? Verkkosivu. Viitattu 26.11.2022. <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

Autodesk. n.d. 3D printing. Verkkosivu. Viitattu 26.11.2022. <https://www.autodesk.com/solutions/3d-printing>

Anatum GeoMobile Solutions. 2016. RTK GPS Explained. Verkkosivu. Viitattu 27.11.2022. https://www.agsgis.com/RTK-GPS-Explained_b_6.html

Anatum GeoMobile Solutions. 2017. What is NTRIP? Verkkosivu. Viitattu 27.11.2022. https://www.agsgis.com/What-is-NTRIP_b_42.html

Bevly, D. & Cobb, S. 2010. GNSS for vehicle control. Boston, Mass: Artech House.

Emlid first setup. n.d. Verkkosivu. Viitattu 27.11.2022. <https://docs.emlid.com/reach/>

Flynt, J. 2018. What is FDM 3D Printing? 3D Insider. Verkkosivu. Viitattu 3.12.2022. <https://3dinsider.com/what-is-fdm/>

Hietikko, E. 2007. Autodesk Inventor. Helsinki: Readme.fi.

Hietikko, E. 2021. Tuotekehitystoiminta. 4. painos. Helsinki: BoD – Books on Demand.

IR-LOCK. n.d. MarkOne Beacon V3.0. Verkkosivu. Viitattu 5.12.2022. <https://ir-lock.com/collections/ir-markers/products/markone-beacon-v3-0-beta>

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. 6. korj. painos. Helsinki: Otatieto.

Lentola Logistics Oy. 2022. Kuvat ja keskustelut.

Maanmittauslaitos. n.d. Satelliittipaikannus. Verkkosivu. Viitattu 27.11.2022. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>

Matricomp. n.d. Tuotekehityksen 8 vaihetta tuotekehityspäälliköille, -johtajille ja yrittäjille. Verkkosivu. Viitattu 18.11.2022. https://matricomp.fi/wp-content/uploads/2022/10/matricomp_tuotekehitys.pdf

Pahl, G & Wallace, K. 2007. Engineering design: a systematic approach. 3. painos. Berlin: Springer; London.

Tiensuu, E. 2005. Tuotteistaminen tutuksi: esitutkimus tuotteistamisen haasteista mikroyrityksissä. Lahden ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia, osa 9. Vaajakoski: Gummerus Kirjapaino Oy

Tuhola, E & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.

TWI. n.d. What is 3D Printing? - Technology Definition and Types. Verkkosivu. Viitattu 26.11.2022. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing>

Utiugova, O. 2021. Introduction to RTK GNSS. Emlid. Verkkosivu. Viitattu 27.11.2022. <https://blog.emlid.com/introduction-to-rtk-gps/>

LIITTEET

Liite 1. Rahtimekanismin ratkaisuvaihtoehtojen pisteytyksiä.

| Arviointikriteeri | Painotus | Ratkaisu: Hihnakristin | | | Ratkaisu: Kiskolukitus | | | Ratkaisu: Hinnalukitus | | |
|-------------------|----------|------------------------|---------|--------------------|------------------------|---------|--------------------|------------------------|---------|--------------------|
| | | Ominaisuus | Pisteet | Painotetut pisteet | Ominaisuus | Pisteet | Painotetut pisteet | Ominaisuus | Pisteet | Painotetut pisteet |
| Paino (kg) | 0,15 | 0,15 | 4 | 0,6 | 0,25 | 2 | 0,3 | 0,2 | 3 | 0,45 |
| Toimintavarmuus | 0,25 | Heikko | 2 | 0,5 | Kohtalainen | 3 | 0,75 | Hyvä | 4 | 1 |
| Käytettävyys | 0,15 | Heikko | 2 | 0,3 | Kohtalainen | 3 | 0,45 | Kohtalainen | 3 | 0,45 |
| Lisäykset rahtiin | 0,1 | Ei mitään | 5 | 0,5 | Paljon | 2 | 0,2 | Hiukan | 3 | 0,3 |
| Hinta (€) | 0,1 | <100 | 4 | 0,4 | <100 | 4 | 0,4 | <100 | 4 | 0,4 |
| Komponentit | 0,1 | 2 | 3 | 0,3 | 1 | 4 | 0,4 | 2 | 3 | 0,3 |
| Valmistettavuus | 0,15 | Kohtalainen | 3 | 0,45 | Kohtalainen | 3 | 0,45 | Kohtalainen | 3 | 0,45 |
| Yhteensä | 1 | | 23 | 3,05 | | 21 | 2,95 | | 23 | 3,35 |

Liite 2. Kokoonpanopiirustus osaluettelolla.

