

Teemu Maijanen

## **DRONEJEN KÄYTTÖ KUNNOSSAPIDOSSA**

# DRONEJEN KÄYTTÖ KUNNOSSAPIDOSSA

Teemu Maijanen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2022  
Konetekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Teemu Maijanen

Opinnäytetyön nimi: Dronejen käyttö kunnossapidossa

Työn ohjaaja: Jari Viitala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2022

Sivumäärä: 29 + 1 liite

---

Työssä tutkittiin dronejen käyttömahdollisuuksia kunnossapidossa ja valmistettiin yleismallin kiinnike. Yleismallin kiinnikkeen tarkoitus on, että sen avulla droneen voidaan kiinnittää laitteistoa, jolle ei ole olemassa virallista kiinnitystä. Opinnäytetyö painottui toimivan prototyypin valmistukseen. Opinnäytetyön tilaajana toimi Arctic Drone Labs.

Droneilla on monenlaisia käyttökohteita, mutta teollisuudessa ne painottuvat kuntotarkastuksiin. Teoriaosassa esitellään opinnäytetyön aikana käytössä olleet laitteet, kuten testeissä käytetty DJI:n valmistama Matrice 600 Pro -drone ja Fluke ii900 -ultraäänikamera, jolla valmistettua prototyyppiä testattiin.

Työn suunnitteluvaiheessa pohdittiin erilaisia kiinnikkeitä droneen ja arvioitiin niiden käytännöllisyyttä, teknisiä tietoja, valmistustapaa ja kustannuksia. Ensimmäinen suunniteltu kiinnityssysteemi oli teoriassa toimiva, mutta monimutkaisten osien valmistus olisi ollut kallista ja haastavaa. Toisessa ratkaisussa olisi hyödynnetty pikakiinnitintä, joka vipua vääntämällä saa tukevan otteen nostettavasta laitteistosta. Pikakiinnityksellä oleva prototyyppi olisi ollut helppo valmistaa ja yksinkertainen käyttää. Sopivan pikakiinnittimen löytäminen oli vaikeaa, joten tästä ideasta luovuttiin. Kolmannessa ratkaisussa hyödynnettiin valmista alumiiniprofiilia, jonka keskellä olevaan uraan saa helposti kiinni L-mallisia osia kuusiokoloruuvilla. L-mallisten osien avulla saadaan hyvä ote nostettavasta laitteistosta. Tästä mallista päädyttiin tekemään prototyyppi, koska se oli helppo valmistaa. Ainoat itse valmistettavat osat olivat 3D-tulostetut kiinnityskappaleet, joilla kiinnityssysteemi saadaan kiinni dronen kehikkoon.

Prototyypeistä tehtiin 3D-mallit käyttäen SolidWorksia. 3D-mallien avulla pystyi havainnollistamaan suunniteltua ratkaisua. Kiinnitysratkaisujen lisäksi muita SolidWorksilla mallinnettuja osia olivat kehikko, ultraäänikamera, kaasuanalysaattori ja virtapankki.

Työssä päästiin tavoitteeseen eli toimivan prototyypin valmistukseen. Prototyyppiä testattiin kiinnittämällä se droneen ja laittamalla ultraäänikamera prototyyppiin. Testauksessa ultraäänikameralla kuvattiin videoita, minkä jälkeen tuloksia tutkittiin. Oli tärkeää selvittää, kuinka paljon dronen pitämä ääni häiritsee kameran toimintaa. Tuloksista selvisi, että droneen kiinnitettyä ultraäänikameraa on mahdollista käyttää vuotojen etsimiseen. Prototyyppiä voisi parantaa muun muassa valmistamalla 3D-tulostetut kiinnitysosat alumiinista. Teoriaosassa löydettyjen tietojen perusteella tultiin johtopäätökseen, että dronejen käyttömahdollisuudet kasvavat tulevaisuudessa kunnossapidossa ja teollisuudessa yleisesti.

---

Asiasanat: drone, kunnossapito, automaatio, UAV

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical engineering, option of automation

---

Author: Teemu Majjanen  
Title of thesis: Use of Drones in Maintenance  
Supervisor: Jari Viitala  
Term and year when the thesis was submitted: spring 2022  
Number of pages: 29 + 1 appendix

---

The objective of this thesis was to research what kind of uses drones have in maintenance and industry. The other objective was to design and create an add-on product to an existing drone's frame so that it could carry different kind of devices. Most of the time of this thesis project was spent on designing the product, creating and testing the prototype. The thesis was commissioned by Arctic Drone Labs.

In the beginning of the theory part it was important to study how drones work in general and how they have been used previously in maintenance. Flying drones have strict regulations and that was researched as well. One part of the thesis is used for introducing the devices used in this project, for example the drone called DJI Matrice 600 Pro and an acoustic imager used for finding leaks. The acoustic imager used was Fluke ii900. The acoustic imager was used for testing the prototype.

When designing the product, it was important to review the product's practicality, specifications and how to make it. 3D drawings were made of every designed product. The 3D drawings were made using SolidWorks. Modeled designs were easy to present and review. The first designed product worked in theory but it would have been difficult to make. The second solution would have been easy to make but it also had some downsides. The final solution was also easy to create and all the parts needed for it were purchaseable. After designing a prototype using purchaseable parts, it was time to order them and make the prototype. The other parts modeled with SolidWorks were frame, acoustic imager, gas analyzer and a powerbank.

After creating the prototype and testing it in the field with an acoustic imager and studying the results, a conclusion was made that the prototype worked and it was possible to search for leaks using a drone with an acoustic imager. Although the prototype worked, it could be improved by not using any 3D printed parts and the weight could be lower using lighter parts. It seems drones will have more uses in maintenance and industry in the future after their technology progresses.

---

Keywords: drone, maintenance, automation, UAV

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	DRONET JA NIIDEN KÄYTTÖ NYKYPÄIVÄNÄ.....	7
2.1	Taustatietoa droneista .....	7
2.2	Dronejen toimintaperiaate .....	9
2.3	Dronejen hyödyntäminen kunnossapidossa .....	10
2.4	Dronen lennättämiseen liittyvät säädökset ja vaatimukset .....	11
3	KÄYTÖSSÄ OLEVA KALUSTO JA SEN HYÖDYNTÄMINEN .....	13
3.1	DJI M600 Pro .....	13
3.2	Vuotoäänen paikannuskamera Fluke ii900.....	14
3.3	Sniffer4D-kaasuanalysointilaite .....	14
4	OPINNÄYTETYÖN SUORITUS.....	16
4.1	Aloitukset .....	16
4.2	Suunnittelu .....	16
4.3	Prototyypin valmistus .....	21
4.4	Testaus .....	22
5	TULOKSET.....	25
6	JATKOKEHITYSIDEOITA .....	26
7	YHTEENVETO .....	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET.....	30

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä selvitetään, millaisia kunnossapitotehtäviä on mahdollista suorittaa dronejen avustuksella. Droneja hyödyntämällä kunnossapidossa tuotantokatkoksia ja niiden pituuksia voidaan vähentää. Vaativissa olosuhteissa tehtävät kunnossapitotarkastukset onnistuvat turvallisesti droneja käyttäen vaarantamatta ihmisten turvallisuutta.

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Arctic Drone Labsin kanssa osana Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) Käypi-hanketta (KÄYPI-Käynnissäpidon uusimmat teknologiat ja niiden vaikutus vähähiilisyteen). Käypi-hanketta kuvaillaan näin: ”investointiosassa kilpailutetaan ja hankitaan laitteistoa teollisuuden käynnissäpidon demonstraatioiden kehittämiseen. Hankinnat liittyvät laiteanalysointeihin, mittalaitteisiin, 3D-skannaukseen ja siinä syntyvän datan hyödyntämiseen sekä AV/VR-teknologioihin. Oamk toteuttaa demonstraatioita, joiden perusteella tutkitaan laitteiden käyttökohteita ja niillä saavutettavia tuloksia. Demonstraatiokohteet dokumentoidaan varsinaisen Käypi-hankkeen tuloksissa.” (1.)

Käypi-hankkeessa tehtyihin investointeihin kuuluu muun muassa ultraäänikamera, jota hyödynnetään tässä opinnäytetyössä. Arctic Drone Labs tekee droneihin ja miehittämättömiin ilma-aluksiin liittyvää liiketoimintaa, tutkimusta ja koulutusta (2).

Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään droneja ja laitteistoa, jota olisi tarkoitus hyödyntää kunnossapidossa, ja arvioidaan niiden hyödyllisyyttä ja mahdollisia ongelmia. Käytännön osuudessa suunnitellaan ja valmistetaan kiinnike, jolla laitteisto saadaan kiinni droneen. Lopuksi dronea testataan käytännössä ja tutkitaan tuloksia.

## 2 DRONET JA NIIDEN KÄYTTÖ NYKYPÄIVÄNÄ

Dronejen käyttö on ollut kasvussa viime vuosina, ja niillä on monia eri käyttötarkoituksia. Droneista on paljon hyötyä teollisuudessa ja kunnossapidossa. Dronejen lennättämiseen kuitenkin liittyy joitakin haittoja. Tässä luvussa käydään läpi teoriaa droneista, niiden toimintaperiaatetta ja käyttötarkoitusta sekä dronen lennättämiseen liittyviä säädöksiä ja vaatimuksia.

### 2.1 Taustatietoa droneista

Dronet eli miehittämättömät ilma-alukset ovat lennokkeja, joita ohjataan maasta käsin erillisellä ohjaimella. Jotkin dronet osaavat lentää itseksensä erilaisten antureiden ja lidarin eli valotutkan ansiosta. Dronet suunniteltiin alun perin sotilaskäyttöön avuksi tehtäviin, jotka ovat vaarallisia ihmisille, kuten tiedustelutehtävät. Nykyään droneja on paljon myös siviilikäytössä, jossa sitä käytetään pääosin valokuvaukseen. Dronejen muita käyttökohteita ja -tarkoituksia ovat muun muassa rakennus- ja kiinteistöala, video- ja valokuvaus, kilpailu, geologian ja maatalouden valvonta, pelastustehtävät esimerkiksi katastrofialueilla tai kadonneen vuorikiipeilijän etsintä ja tavaroiden toimitus. Droneja käytetään myös teollisuudessa apuna jonkin verran, mutta niiden käyttö on rajoitettua erilaisten säädösten ja lakien takia. (3.)

Dronejen monipuolisten käyttökohteiden takia droneilla on paljon hyviä ja huonoja puolia. Hyviä puolia lyhyesti ovat esimerkiksi seuraavat:

- **Turvallisuus:** Droneilla voidaan tutkia paikkoja, jotka ovat vaarallisia ihmisille.
- **Taloudellisuus:** Dronet ovat halvempia ostaa tai vuokrata ja ylläpitää kuin esimerkiksi helikopterit tai nosturit.
- **Kuvien laatu:** Droneilla saadaan otettua tarkkoja kuvia ilmasta käsin ja niillä voidaan tehdä myös projektiokartoitusta. Tarkoista kuvista voidaan huomata esimerkiksi vauriot rakenteissa.
- **Tarkkuus:** Dronejen GPS:n avulla niitä voidaan ohjata tarkasti tiettyyn paikkaan. Tämä on hyödyllistä esimerkiksi maataloudessa tuholaismyrkyä levittämiseen pelloille.
- **Helppokäyttöisyys:** Dronejen käyttö ja lentämisen opettelu on helppoa verrattuna muihin lentäviin laitteisiin. Dronet saadaan nopeasti käyttöön haluamaan kohteeseen. (4.)

Droneissa on hyvien puolien lisäksi myös huonoja puolia, joista suuri osa liittyy yksityisyyteen. Huonoja puolia ovat esimerkiksi seuraavat:

- **Yksityisyys:** Dronejen pienen koon ja hiljaisuuden ansiosta droneilla on helppoa lentää alueelle, jossa valokuvaaminen tai lentäminen on kiellettyä. On myös mahdollista rikkoa toisen ihmisen yksityisyyttä vahingossa.
- **Lainsäädäntö:** Dronet kehittyvät jatkuvasti, eikä dronen lentämiseen liittyvät säännöt ole vielä valmiita. Dronen lennättäjän on mahdollista rikkoa sääntöjä tietämättään.
- **Törmäysmahdollisuus:** Dronejen törmäminen rakenteisiin, ihmiseen tai eläimeen voi aiheuttaa vakavia vahikoja. On esimerkiksi ollut tilanteita, joissa drone on lentänyt lähellä lentokonetta.
- **Toimintahäiriöt:** Dronejen ohjelmistossa on mahdollista olla virheitä tai käyttäjällä voi katketa yhteys droneen.
- **Sään armoilla:** Sää määrittelee, onko dronella kannattavaa lentää. Tuuli ja sade vaikuttavat lentämiseen ja kuvien laatuun.
- **Tieto ja taito:** Dronen antaman datan tulkitsemiseen tarvitaan tietty määrä teknistä osaamista. (4; 5.)

Droneja on erikokoisia ja -mallisia. Droneilla on eroavaisuuksia myös lennätyskäytöksissä, akun kestossa ja lentonopeuksissa. Pienimmät dronet ovat vain alle 0,5 kg:n painoisia, ja suurimmat jopa yli 150 kg. Droneista puhuttaessa ajatellaan yleensä neljällä potkurilla olevaa dronea, mutta on olemassa myös erilaisia. Joissakin droneissa on vain yksi potkuri, ja ne muistuttavat pientä helikopteria, ja isoimmissa on kahdeksan potkuria. Harrastus- ja ammattikäytössä neljän potkurin dronet ovat yleisimpiä. Kahden potkurin dronet ovat melko harvinaisia, ja sellainen on esimerkiksi V-Coptr Falcon (6). On olemassa myös siivellisiä droneja, jotka muistuttavat lentokonetta, koska niissä on siivet potkureiden sijasta. Siivellisiä droneja on enimmäkseen sotilaskäytössä, ja niitä käytetään esimerkiksi tiedusteluun tai tavaroiden kuljetukseen. (3.)

Dronejen lentomatassa on myös paljon eroavaisuuksia. Harrastuskäytössä olevat dronet ovat yleensä lähietäisyyden droneja eli niillä voi lentää noin 5 km tai puoli tuntia täydellä latauksella. Lyhyen matkan droneilla voidaan yleensä lentää 50 km tai tunnin verran. Jotkin dronet voivat lentää pitempäänkin ja sotilaskäytössä olevat siivelliset tiedusteludronet voivat lentää useita kymmeniä tunteja. Dronejen nopeuteen vaikuttavat dronen paino, koko, moottorin teho ja sääolosuhteet. Ammattikäytössä olevien dronejen maksiminopeus on yleensä 50 - 80 km/h. Kilpailuun tarkoitett



mini dronet voivat lentää jopa 160 km/h, kun taas maailman nopeimman dronen DRL RacerX:n huippunopeus on 265 km/h. (3.)

Droneissa on mallin mukaisesti olemassa erilaisia automatisoituja lentotiloja. Niitä kehitetään jatkuvasti dronen lennättämisen helpottamiseksi. Yleisempiä automatisoituja lentotiloja ovat esimerkiksi seuraavat:

- **Etapit:** Tällä komennolla voidaan suunnitella dronen lentämä reitti etukäteen.
- **Kiertorata:** Tämän avulla drone voidaan laittaa seuraamaan tiettyä esinettä esimerkiksi autoa tai ihmistä.
- **Kotiinpaluu:** Yhden napin painalluksella drone voidaan lennättää ennaltamäärättyyn paikkaan, kun esimerkiksi akku on vähissä. Jotkin dronet tekevät tämän automaattisesti.
- **Lentokorkeuden ylläpito:** Drone liikkuu ilmassa tietyllä korkeudella.
- **Seuranta:** Drone voidaan määrittää seuraamaan sen käyttäjää ohjaimen perusteella. (3.)

## 2.2 Dronejen toimintaperiaate

Dronejen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista ovat sen propellit. Propellien pyörimisen aiheuttaman ilmanvastuksen avulla dronet pystyvät lentämään. Propelleja on erimallisia ja -kokoisia, mutta periaate on kaikissa sama, vaikkakin niiden vaikutus lentämiseen voi olla erilainen. Propellisissa on useita siipiä, ja propellien pyöriessä siipien ohi menevä ilmanvirtaus aiheuttaa siiven alle korkeapaineen, ja yläpuolelle matalapaineen, jolloin drone nousee ylöspäin. Propellien pyörimisnopeus vaikuttaa dronen nopeuteen. (7.)

Siipien kaltevuus vaikuttaa siihen, kuinka helposti drone nousee ilmaan. Vaakasuoralla siivellä oleva drone ei nouse ilmaan yhtä helposti kuin jyrkemmässä kulmassa olevalla siivellä. Vaakasuora siipi pyörii helpommin, koska sillä ei ole niin paljoa ilmanvastusta, mutta sen on pyörittävä nopeammin kuin kaltevalla siivellä olevan dronen. Pienillä moottoreilla nopeus on helpommin saatavilla kuin vääntö. Kaltevilla siivillä olevat dronet vaativat paremman moottorin, joka voi tuottaa enemmän vääntöä. Tällöin propellien ei tarvitse pyöriä yhtä nopeasti kuin vaakasuorilla siivillä olevat. Tällaisilla droneilla on enemmän tehoa ja korkeampi lentonopeus. (7.)

Siipien pinta-ala vaikuttaa myös lentoon. Dronet pysyvät tasapainossa eri suuntaan pyörivien propellien ansiosta. Oikean kokoisien propellin ja sen kaltevuuden valitseminen ovat tärkeä osa

tehon ja suorituskyvyn tasapainoittamisessa. Yleensä propelleissa on kaksi siipeä, mutta kolme tai neljäkin on mahdollista. Kahdella siivellä olevat propellit antavat ketterämmän lentokyvyn, kun taas neljällä siivellä olevat antavat sulavamman ajon. Useammalla siivellä olevat dronet vaativat enemmän virtaa moottorilta. (7.)

### **2.3 Dronejen hyödyntäminen kunnossapidossa**

Nykypäivänä dronejen käyttö kunnossapidossa painottuu erilaisiin tarkastuksiin ja kuvauksiin. Tehtailla on yleensä tiukat säännöt, mitä siellä saa kuvata, ja missä dronella saa lentää. Kun dronejen teknologia kehittyy tulevaisuudessa, myös niiden käyttö tehtailla kasvaa.

Dronejen hyödyntäminen kunnossapidossa parantaa työturvallisuutta ja vähentää työtapaturmia asentajille. Turvallisuus on monelle tehtaalle tärkein asia, joten siihen panostetaan paljon. Droneilla pääsee helposti paikkoihin, jotka ovat vaarallisia ihmisille. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi korkeat rakennukset tai alueet, joissa on säteilyä tai korkeajännitteisiä sähkölinjoja. Myös kuntotarkastuksien tekeminen esimerkiksi kaivoksiin ja putkistoihin on helpompaa ja nopeampaa dronejen avustuksella. (8.)

Droneilla voidaan ottaa korkealaatuisia kuvia ja videoita eri kuvakulmista niiden tarkistamista paikoista, ja näin saadaan hyvä käsitys mahdollisista vanhingoista. Tämän tiedon avulla pystytään suunnittelemaan sopivat korjausmenetelmät. Eri tarkastuskohteisiin voidaan käyttää eri droneja, ja dronea valitessa täytyy ottaa huomioon lentokorkeus, kuvien tarkkuus, lentoaika ja datasiirtoon kuluva aika. (8.)

Dronejen antama data on helposti saatavilla, prosessoitavissa ja jaettavissa. On paljon työläämpää, jos ihminen käsin tekee tarkastukset, ottaa mitat ja kirjoittaa muistiin. Heti saatavilla olevan datan ansioista korjaustoimenpiteisiin voidaan ruveta mahdollisimman pian. Joissakin tehtävissä dronejen käyttäminen tarkastuksiin vähentää prosessien häiriöaikaa eli koneita ei tarvitse sammuttaa tarkastuksen ajaksi. Ihmisten tekemissä tarkastuksissa yleensä kaikki tarkastettavat tai lähettyvillä olevat koneet joudutaan sammuttamaan ja tekemään turvalliseksi esimerkiksi kytkemällä pois sähkötkä tarkastuksen ajaksi työturvallisuuden takia. Koneiden laittaminen turvalliseen tilaan ja niiden uudelleenkäyttö vievät paljon aikaa tuotannolta. Droneilla

voidaan siis tehdä koneiden tarkastuksia tuotannon aikana kustannustehokkaasti vaarantamatta ihmishenkiä. (8.)

Dronejen käyttö tarkastuksissa on taloudellista myös siinä mielessä, että se vähentää työtapaturmien määrää eikä aiheuta terveyshuoltokustannuksia. Droneja hyödyntäen ei tarvitse käyttää rahaa kaluston, kuten nostureiden vuokraamiseen korkealla tehtäviin tarkastuksiin. Droneilla saa otettua myös tavallisia valokuvia tai videomateriaalia, joita voidaan käyttää esimerkiksi markkinointiin tai opastusvideoiden tekemiseen. (8.)

## **2.4 Dronen lennättämiseen liittyvät säädökset ja vaatimukset**

Dronejen lennättämiseen liittyy paljon eri sääntöjä, ja nykyään harrastajien ja ammattilaisten pitää rekisteröityä ja suorittaa droneihin liittyvä teoriakoe. Uuden Euroopan unionin (9) mukaan harrastajien ja ammattilaisten täytyy rekisteröityä dronetoimijarekisteriin. Aiemmin pelkästään ammattilaisten täytyi rekisteröityä.

Dronetoiminta jaetaan kolmeen eri kategoriaan, joita ovat Avoin luokka (open), Erityinen luokka (specific) ja Sertifioitu luokka (certified). Harrastajista suurin osa kuuluu Avoimeen luokkaan. Erityistä luokkaa ja Sertifioitua luokkaa koskevat tiukemmat vaatimukset. Avoin-kategoriassa dronen maksimipaino on 25 kg ja lentäminen tapahtuu alle 120 m korkeudella. (9.)

Dronen käyttäjän täytyy rekisteröityä ja kauko-ohjaajan täytyy suorittaa verkkotentti hyväksytysti. Verkkotentin järjestää Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Avoimen kategorian teoriakokeet tehdään verkossa rekisteröinnin jälkeen. Teoriakokeessa on 40 monivalintakysymystä. Kysymykset liittyvät dronejen yleistuntemukseen, turvallisuuteen, ilmatilarajoituksiin ja -säädöksiin, ihmisten suorituskyvyn rajoituksiin, lentomenetelmiin, yksityisyyteen, tietosuojaan ja vakuutuksiin. Kokeen kysymyksistä täytyy saada 75 % oikein, ja jokaisesta aihealueesta vähintään 50 % oikein. (9.)

Avoin-kategoria on jaettu kolmeen alakategoriaan, joita ovat A1, A2 ja A3. A1-luokassa saa lentää ihmisten päällä kevyillä laitteilla. A2-luokassa voi lentää hieman raskaampia droneja, mutta lennon täytyy tapahtua kaukana ihmisistä. A3-luokassa tapahtuvat lennot suoritetaan aina kaukana ihmisistä ja asutuksesta. (9.) Alaluokat on selitetty tarkemmin taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Dronen avoin -kategorian alaluokat ja niiden rajoitukset (9)

Kategoria	Avoin A1	Avoin A2	Avoin A3
<b>CE-merkinnät</b>	C0 ja C1	C2	C2, C3 ja C4
<b>Maksimipaino</b>	900 grammaa	4 kg	25 kg
<b>Rajoitukset</b>	Lentäminen sallittu yksittäisten ihmisten yli, mutta ei ihmisjoukkojen päällä  UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lentäminen sallittu turvallisella etäisyydellä ihmisistä  UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lentäminen sallittu kaukana ihmisistä ja asutuksesta  UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida
<b>Koulutusvaatimus</b>	Yli 250 gramman laitteen kauko-ohjaajan tulee olla suorittanut verkkotentti	Verkkotentti ja valvottu lisäteoriakoe	Verkkotentti

Erityinen- ja Sertifioitu-kategorioita käytetään vain silloin, kun dronen lennättämistä ei ole mahdollista suorittaa Avoimen kategorian säännöillä. Toimijan täytyy hakea erillinen toimilupa Erityinen-kategoriaan. Luvan voi saada ilmoituksella EASAn julkaiseman vakioskenaarion mukaisesti tai hakemalla Traficomilta. Ennen luvan saamista täytyy tehdä toiminnasta riskienarviointi. (9.)

Sertifioitu-kategoriaa tarvitaan silloin, kun toimintaan liittyy ihmisten yli lentämistä tai vaarallisten aineiden kuljettamista. Sertifioitu-kategorian standardi ei ole vielä valmis, joten luvan saaminen on mahdotonta toistaiseksi. (9.)

Lennoikkikerhot voivat erillisellä luvalla poiketa avoimen kategorian vaatimuksista. Dronetoiminnan mahdollistamiseksi voidaan perustaa UAS-ilmatilavyöhykkeitä. UAS-ilmatilavyöhykkeillä lentäminen on vapaampaa kuin muualla. (9.)

### 3 KÄYTÖSSÄ OLEVA KALUSTO JA SEN HYÖDYNTÄMINEN

Tässä luvussa esitellään opinnäytetyössä käytetty drone ja kalustoa, joita hyödynnetään opinnäytetyön käytännön osuudessa. Tähän kalustoon kuuluvat muun muassa kaasuanalysaattori ja ultraäänikamera kaasuvuotojen paikantamiseen.

#### 3.1 DJI M600 Pro

Opinnäytetyössä käytettävä drone on DJI:n valmistama M600 Pro (kuva 1). Arctic Drone Labsilla on myös muita droneja, joita olisi mahdollista käyttää, mutta sovittiin tämän olevan paras vaihtoehto. Optimaalinen tulos olisi, että tälle dronelle suunniteltava kiinnike voitaisiin liittää myös muihin droneihin.

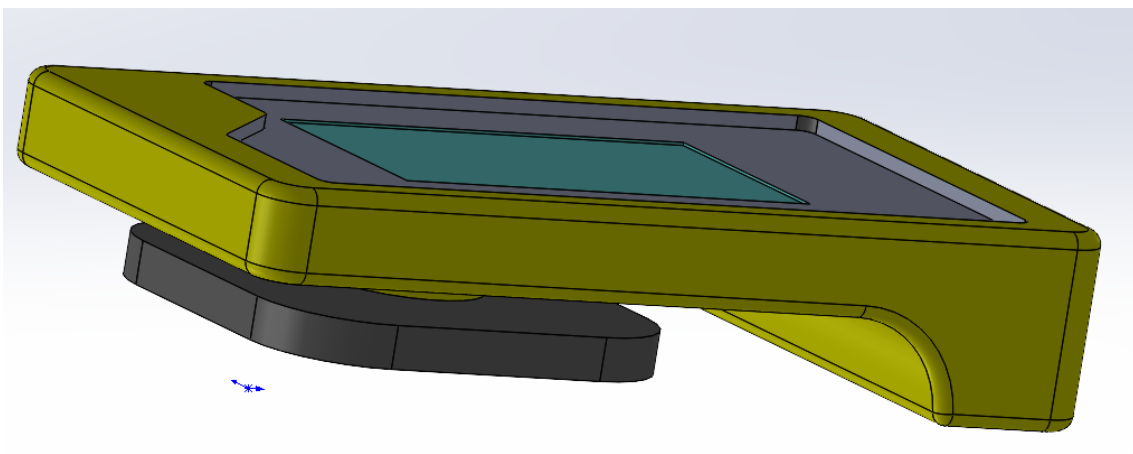


*KUVA 1. Opinnäytetyössä käytettävä drone*

Dronen hyötykuorma on noin 5,5 kg ja sen maksimi lentoaika on 18 minuuttia täydellä kuormalla. Dronen maksiminopeus on 65 km/h ja sen lentosäde on 5 km.

### 3.2 Vuotoäänien paikannuskamera Fluke ii900

Toinen tärkeä osa opinnäytetyössä on ultraäänikamera. Laite on suunniteltu paineilmajärjestelmien ilma- ja kaasuvuotojen paikantamiseen teollisuusympäristössä. Ultraäänikameran ulkomittojen perusteella mallinnettu osa on kuvassa 2. Paikannuskameraa käytetään siten, että sen kanssa kierretään ympäri tehdasta ja kuvataan putkistoja. Kamera ilmoittaa näytöllä mahdolliset ilmapuotopaikat, joita ei välttämättä itse kuule. Laitteella voidaan ottaa kuvia raporteja varten ja kuvata videoita. Kameran liittäminen droneen, ja sillä putkistojen yli lentäminen mahdollistaisi vaikeiden paikkojen kuvaamista ja voisi nopeuttaa työn suoritusta.



*KUVA 2. SolidWorksilla tehty karkea malli ultraäänikamerasta*

Kamerassa on sisäinen muisti, johon mahtuu noin 1 000 kuvaa tai 20 videopätkää. Kameran leveys on 322 mm, korkeus 186 mm ja paksuus 68 mm ja paino 2,15 kg. Ultraäänikameralla mitattava taajuusalue on 2 - 52 kHz. Yksi mahdollinen mieleen tullut ongelma oli selvittää, häiriintyykö ultraäänikameran toiminta, jos sen yläpuolella on ääntä pitävä drone. Laitteen tuotekuvauksessa kerrotaan, että se on suunniteltu erityisesti meluisiin tuotantotiloihin, joten dronen pitämä ääni ei pitäisi olla ongelma. (10.) Dronen pitämää ääntä ja häiriöiden määrää täytyi testata ultraäänikameralla.

### 3.3 Sniffer4D-kaasuanalysaattori

Kaasuanalysaattoria käytetään ilmaston eri saasteiden, kuten häkäpitoisuuden mittaamiseen. Sniffer4D on tarkoitettu käytettäväksi liikkuvissa kulkuneuvoissa, kuten helikoptereissa, autoissa ja

droneissa. Sniffer4D:lle on jo olemassa valmistajan omatekemiä kiinnityskappaleita tiettyihin droneihin. (11.)

Kaasuanalysointilaite ottaa sisälleen ilmaa sen suuttimesta ja analysoi ilman koostumuksen ja antaa datan käyttäjälleen. Kaasuanalysointilaitteen lentättäminen dronella voi olla hyödyllinen esimerkiksi paikoissa, joissa saattaa olla korkeat häikäpitoisuudet eikä siellä ole kaasuantureita entuudestaan. Näin voidaan varmistaa, onko siellä turvallista ihmisen työskennellä. Kuvan 3 Sniffer4D-kaasuanalysointilaite tarvitsee erillisen virtapankin, joka täytyy ottaa huomioon kiinnittintä suunniteltaessa.



*KUVA 3. Sniffer4D-kaasuanalysointilaite*

## 4 OPINNÄYTETYÖN SUORITUS

Tässä osiossa kerrotaan työn kulusta ja haasteista. Projekti on jaettu neljään vaiheeseen: aloitus, suunnittelu, prototyypin valmistus ja viimeisenä testaus. Suurin osa ajasta on käytetty tutkimukseen ja suunnitteluun.

### 4.1 Aloitus

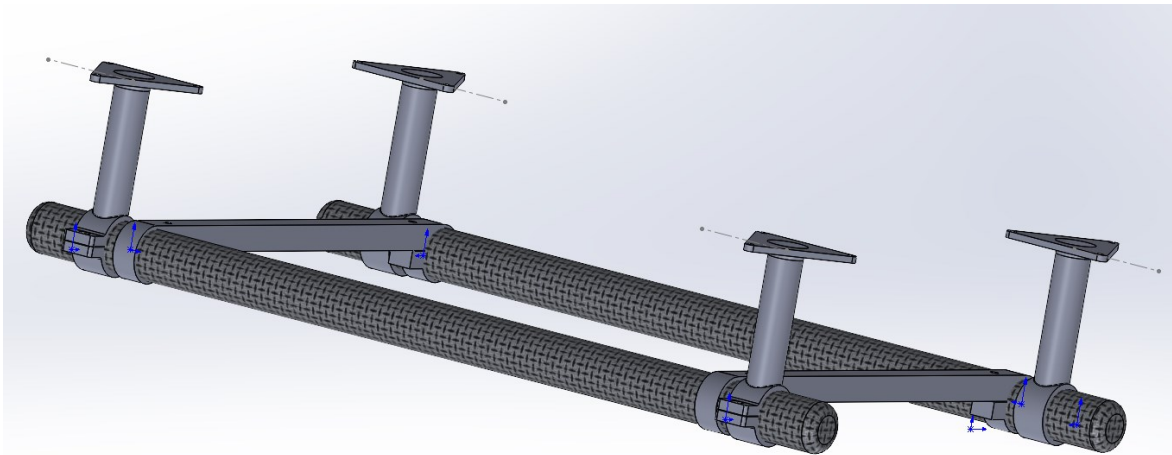
Projekti aloitettiin pitämällä aloituspalaveri opinnäytetyön tilaajan ja ohjaajan kanssa. Palaverissa tarkennettiin, mitä tähän opinnäytetyöhön kuuluu, ja rajattiin tavoitteet. Aloituspalaverissa käytiin läpi myös yleisiä asioita. Tehtävät ovat hieman tarkentuneet tai muuttuneet työn edetessä. Aloituspalaverin jälkeen opinnäytetyölle tehtiin projektisuunnitelma, jossa on kerrottu muun muassa työn tavoitteita ja aikataulutusta. Hyväksytyn projektisuunnitelman jälkeen oli aika aloittaa tutkimuksen tekeminen ja suunnittelu. Tutkimus alkoi perehtymällä droneihin yleisesti ja niiden toimintaperiaatteeseen.

### 4.2 Suunnittelu

Työn tavoitteena oli suunnitella yleismallin kiinnike, johon voi kiinnittää eri laitteistoa. Dronen alapuolella on kehikko, johon suunniteltu kiinnike liitetään. Ensimmäiset vaihtoehdot kiinnikkeelle olivat sellaisia, jolla saisi helposti pelkästään Fluken ultraäänikameran kiinnitettyä. Arctic Drone Labsille oli tullut uutena laitteena kaasuanalysointilaitteisto. Näiden kahden laitteen kokoero on melko suuri, joten tämä vaikeutti kiinnikkeen suunnittelua. Suunnittelun ensimmäisenä vaiheena oli mallintaa kehikko ja laitteisto. Mallintamisohjelmaksi käytettiin SolidWorksia, joka on myös koulussa käytetty.

SolidWorks on 3D-mallinnusohjelma, jota käytetään osien mallintamiseen, ja mallinnettujen osien valmistuspiirustusten tekemiseen. SolidWorksin käyttöä on opeteltu koulussa paljon, joten perusteet sillä mallintamiseen on olemassa. Arctic Drone Labsilla oli ylimääräinen dronen kehikko, jonka pohjalta mallinnus tehtiin. Kehikon mallintaminen SolidWorksin avulla oli helppoa kehikon yksinkertaisuuden takia. Kehikkoa mallintaessa se kannatti jakaa kolmeen osaan: putki, sivupalkki ja jalat. Näistä osista pystyi rakentamaan kuvassa 4 olevan kokoonpanon.



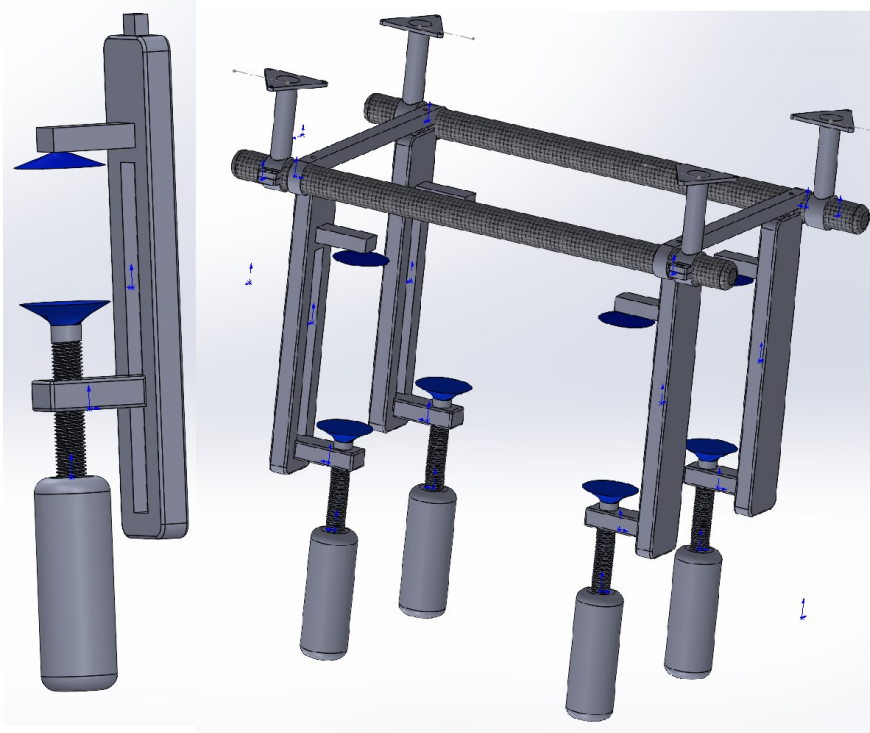


*KUVA 4. Kehikon kokoonpano SolidWorksissa*

Kehikon putket on valmistettu hiilikuidusta. Sivupalkit ovat liikutettavissa käyttäjän haluamalle kohdalle. Kehikon hiilikuituputkien pituus on noin 300 mm, ja ultraäänikameran pituus on noin 320 mm, joten ultraäänikameran kiinnittäminen kehikon alapuolelle on mahdollista vain leveys suunnassa suunnitelluilla ratkaisuilla.

Seuraavana suunnittelun vaiheena oli suunnitella kiinnitin. Kiinnittimen vaatimuksena oli, että se olisi yleismallin kiinnike eli sillä voitaisiin nostaa erimallisia ja -kokoisia kappaleita. Oli myös suositeltavaa, että kiinnike on yksinkertainen ja helppo käyttää. Ensimmäiset vaihtoehdot olivat jonkilainen verkkosysteemi tai hihnakiinnitys. Nämä olisivat voineet olla toimivia ratkaisuja, mutta ei oikein insinöörin lopputyöhön sopivia, koska suunnittelijan tehtäviin kuuluu mallintaminen ja tuotteen kehittäminen.

Ensimmäinen SolidWorksissa suunniteltu kiinnike toimii samalla periaatteella kuin ruuvipuristin. Siinä olisi korkeussäätö, ja kiinnitys varmistettaisiin kahvaa kiristämällä. Kiinnikkeessä olisi imukupit, jotta se ei vahingoita kalustoa ja saa hyvän otteen niistä. Karkea malli suunnitellusta kiinnikkeestä ja kokoonpanosta on kuvassa 5.



*KUVA 5. Vasemmalla kuvassa on itse kiinnike ja oikealla, miltä lopputulos näyttäisi*

Kehikkoon pitäisi valmistaa uudenlaiset sivupalkit, joissa on kiskot sisällä. Kiskojen avulla kiinnikkeiden paikkaa voidaan siirtää sivuttaissuunnassa, ja irroitettavien sivupalkkien avulla pituussuunnassa. Tällöin dronella voidaan nostaa erilaista laitteistoa ottaen huomioon maksimitat ja painorajan. Tämän ratkaisun huonoina puolina on, että se on monimutkainen valmistaa ja epäkäytännöllinen käyttää. Monimutkaisten osien koneistus on kallista. Säädettäviä muttereita ja ruuveja on paljon, ja laitteiston asentaminen kiinnityssysteemiin olisi vaikeaa yksin. Kiristykseen käytettävät puristimet vaatisivat jonkinlaisen turvamekanismin, jotta ne eivät voi löystyä käytön aikana. Lisäksi 30 mm leveät alumiinilevyt toisivat turhaa ilmanvastusta, mikä vaikuttaa dronen lentokykyyn.

Ensimmäisessä tuotekehityspalaverissa käytiin läpi suunniteltua ratkaisua. Palaverissa saatujen ideoiden perusteella pystyi ruveta suunnittelemaan ja mallintamaan uutta ratkaisua. Suurin muutos ensimmäiseen suunniteltuun ratkaisuun oli, että kierrettävien puristimien tilalla olisi pikakiinnityksellä toimivat työntötankokiinnittimet. Nämä kiinnittimet liitetään alustaan ruuveilla. Tällöin alustassa ei tarvitse olla minkäänlaisia kiskoja vaan tietyn välein olevat reiät riittää, joten kiinnittimen siirto toimii asteittan. Tämä on yksinkertaisempi valmistaa ja turvallisempi käyttää. Toinen muutos oli, että imukuppien tilalla on silikonityyny. Kolmas muutos oli, että kehikkoon ei

valmisteta uusia kiskoilla olevia sivupalkkeja vaan, että myös kiinnityssysteemin kiinnittäminen kehikkoon toimisi puristimilla.

Toinen suunniteltu ratkaisu ei siis tarvitse kiskoja, on helpompi säätää ja turvallisempi sekä helpompi valmistaa. Ennen tämän ratkaisun mallintamista piti löytää sopiva työntötankokiinnitin. Sopivia kiinnikkeitä oli hieman vaikea löytää, koska sellaisia ei ole myytävissä tavallisissa työkalu- tai remontointiliikkeissä. Kuvassa 6 on esimerkki työntötankokiinnittimestä ja alumiinilevystä, johon se kiinnitetään.



*KUVA 6. Ruuveilla kiinnitettävä pikakiinnitin*

Ennen toisen ratkaisuvaihtoehdon valmistumista pidettiin uusi palaveri, jossa käytiin läpi eri asioita, ja tarkennettiin suunniteltavaa mallia ja sen kiinnityksiä. Tämän palaverin jälkeen keskusteltiin prototyypin valmistamiseen liittyvistä asioista läpi Oulun ammattikorkeakoulun valmistustekniikan asiantuntijan kanssa. Häneltä saatiin hyviä parannusehdotuksia, joita hyödynnettiin suunnittelussa.

Oulun ammattikorkeakoulun konepajalla eikä automaatiolaboratoriossa ollut sopivaa työntötankokiinnitintä, jonka mukaan alumiinilevyn olisi voinut suunnitella. Tämän jälkeen piti etsiä verkkokauppa, joka myy sopivaa kiinnikettä. Vaihtoehtoja ei ollut paljoa, sillä Würth oli suositelluista verkkokaupoista ainoa, jossa oli saatavilla tällaisia työntötankopuristimia. Heilläkin oli myynnissä

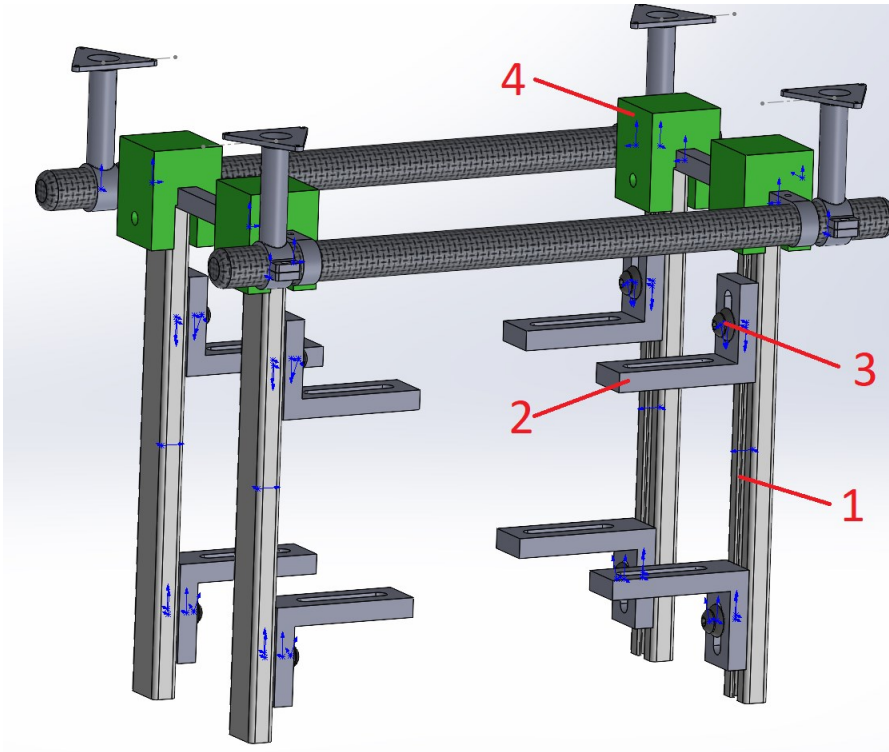
vain yhdenlaista mallia. Wurthilla saatavilla olevan kiinnikkeen huono puoli oli, että se on monta kertaa suurempi kuin suunniteltu. Tällöin prototyyppikin olisi myös paljon suurempi ja kömpelömpi.

Seuraavassa palaverissa pohdittiin, kannattaako tälle työntöankopuristimelle rakentaa prototyyppiä. Lopputuloksena oli, ettei tällaista kannata valmistaa, koska silloin dronen painoraja ylittyisi, ja pitkän ja leveän alumiinilevyn takia ilmanvastusta on paljon. Tämä vaikuttaa huomattavasti dronen lentokykyyn. 50 mm leveän alumiinilevyn takia säätövaraa sivuttaissuunnassa ei olisi ollut juuri ollenkaan. Vaarana olisi ollut myös, että pikaniinitin puristaa nostettavaa laitteistoa liian lujaa. Kiinnityssysteemi oltaisiin kiinnitetty dronen kehikkoon 3D-tulostetulla osalla.

Samassa palaverissa sovittiin, että kolmas suunniteltu ratkaisu on seuraava vaihtoehto, joka myöskin toteutetaan. Tämän ratkaisun valmistaminen on yksinkertaista ja helppo liittää kehikkoon. Tämän ratkaisun periaatteena oli käyttää valmista alumiiniprofiilia, jossa on T-mallinen ura keskellä. Item Profiili valmistaa tällaisia profiileja, ja yrityksellä on myös L-mallisia osia, jotka saa helposti kiinnitettyä T-uraan ruuveilla.

L -mallisissa osissa on urat molemmat sivuilla, joten nostettavaa laitteistoa puristavan sivun uraan voi laittaa esimerkiksi ruuvin ja mutterin, ja mutterin päähän silikonityyny. Tämä ratkaisu on hyvä siinä mielessä, että kiinnikkeen saa valmistettua valmiista osista, ja ainoana koneistettavana tai 3D-tulostettavana osana ovat kiinnikkeet, joilla kiinnityssysteemi saadaan kiinni dronen kehikkoon. Item Profiilin osiin on saatavilla 3D-mallit, joten tämä helpotti suunnittelua. Tämän ratkaisun vaarana on ruuvien löystyminen käytön aikana. Ruuvien löystyminen voisi aiheuttaa mittauslaitteiston putoamisen. Yksi ruuvi joutuu pidättelemään enintään noin 1 000 gramman painoa. Jos haluaa varmistaa ruuvien pidon, L-malliset osat voi kiinnittää kahdella ruuvilla yhden sijaan.

Kolmas ratkaisuvaihtoehto (kuva 7) muistuttaa melko pitkälti ensimmäistä suunniteltua vaihtoehtoa, mutta valmiilla osilla. Kuvan 7 vihreät osat on valmistettu 3D-tulostamalla. Ne pystyisi myös koneistamaan, mutta sen materiaali- ja valmistuskustannukset ovat moninkertaiset. Koneistetut kiinnityskappaleet ovat kestävämmät ja vievät vähemmän tilaa. Kolmannen ratkaisuvaihtoehdon kokoonpanopiirustus ja osaluettelo ovat liitteessä 1. Ennen osien tilausta oli tehtävä tilauslista osista ja hinta-arvio. Prototyypin hinnaksi arvioitiin noin 100 euroa.



KUVA 7. Lopullinen suunniteltu ratkaisu: 1) alumiiniprofiili, jonka leveys on 20 mm ja paksuus 10 mm, 2) L-mallinen osa, joka pitää kiinnitetyn laitteiston tukevasti kiinni, 3) kuusiokoloruuvi, jolla osa kiristetään kiinni, 4) 3D-tulostettu osa, jolla kiinnityssysteemi kiinnitetään kehikoon

### 4.3 Prototyypin valmistus

Prototyypin valmistus oli helppoa, koska melkein kaikki osat olivat tilattavissa. Ainoa itse valmistettava osa oli kiinnitys, jolla rakennelma saadaan kiinni dronen kehikoon. Tilattujen osien saavuttua Oulun ammattikorkeakoulun konepajalle prototyypin valmistukseen tarvitsi vain leikata alumiiniprofiili oikean mittaiseksi ja porata niihin reiät. Alumiiniprofiilin leikkauksen ja 3D-tulostettujen kappaleiden valmistuksen jälkeen prototyyppi oli valmis kokoonpantavaksi.

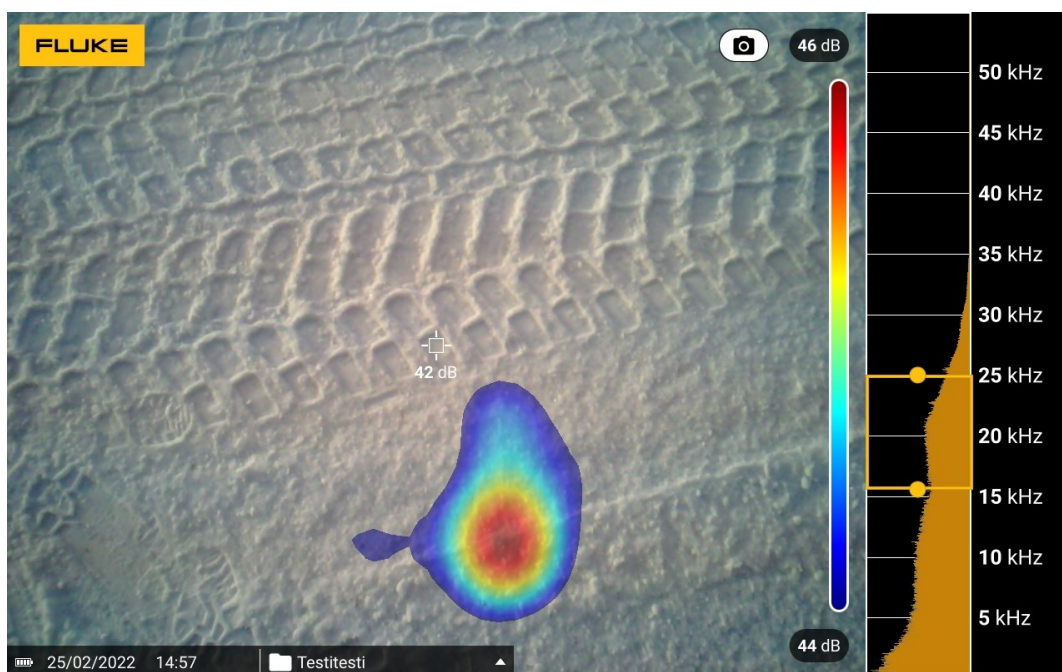
Ensimmäiseen prototyyppiin täytyi tehdä korjauksia, jotta siitä saatiin toimiva. 3D-tulostettujen osien urat olivat hieman liian leveät, joten ne eivät pysyneet tukevasti kiinni kehikon sivupalkeissa. Urien leveyttä täytyi kaventaa 2 mm. 3D-tulostuksen yksi parhaimmista ominaisuuksista on, että aiemmin tulostettuihin osiin on helppo tehdä muutoksia, ja tulostuksen jälkeen näet heti autoitvatko korjaukset. Täytyi vain avata tulostettava osa SolidWorksissa ja tehdä muutokset. 2 mm:n muutoksen ansiosta 3D-tulostetut osat pysyivät tukevasti paikoillaan kehikossa.

Tarkoituksena oli käyttää L-mallisissa osissa silikonityynyjä pehmentämään otetta laitteistosta ja antamaan paremman pidon. Silikonityynyjen käyttö osoittautui epäkäytännölliseksi, joten tyydyttiin kuplamuovin hyödyntämiseen. Kuplamuovia kierrettiin paksusti L-mallisten osien ympärille. Tämän ansiosta osat eivät voineet naarmuttaa laitteistoa, ja laitteisto saatiin tukevasti kiinni. Kuplamuovi kuluu käytössä, joten tämä ei ollut paras vaihtoehto.

#### 4.4 Testaus

Ennen ultraäänikameran testausta prototyypillä oli tärkeä selvittää, että häiritseekö dronen pitämä ääni kameran toimintaa. Tätä testattiin Arctic Drone Labsin avustuksella siten, että dronen lennättäjä piti dronea paikallaan ilmassa, ja toinen ottaa ultraäänikameralla kuvia dronesta ja dronen alapuolella olevasta maasta, jos siitä mahdollisesti heijastuu ääni. Tämä testaus ei kuitenkaan vastannut oikeaa tilannetta, koska ultraäänikameran on tarkoitus olla noin 30 cm dronen alapuolella, ja testauksessa kuvia ottava henkilö ei voi mennä dronen lähelle turvallisuussyistä.

Testissä kävi ilmi, että ultraäänikamera ottaa häiriötä maasta heijastuvasta äänestä matalilla taajuuksilla. Tarkemmat testitulokset saadaan, kun ultraäänikamera kiinnitetään dronessa olevaan prototyyppiin. Kuvassa 8 näkyy, kuinka ääni heijastuu maasta, kun mitattava taajusalue on 15 - 25 kHz.



KUVA 8. Testauksessa otettu kuva ultraäänikameralla

Seuraavana oli testattava, kuinka ultraäänikamera sopii valmistamaani prototyyppiin. Testauksessa kävi ilmi, että kameran sai tukevasti kiinni prototyyppiin eli sen lennättäminen dronella on mahdollista. Tämän jälkeen keuhkoa kiinnittäessä droneen huomattiin, että kiinnitys ei onnistunutkaan. Ultraäänikameran leveyden vuoksi se ei mahtunutkaan dronen jalkojen välistä, kuten kuvassa 9 näkyy. Tätä ei oltu osattu ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa, koska dronen ollessa ilmassa sen jalat taittuvat ylös. Kameran kytkeminen droneen täytyy tehdä maassa, eikä sitä voi tehdä dronen ollessa ilmassa.



*KUVA 9. Ultraäänikamera kiinnitettynä prototyyppiin*

Prototyypin ja keuhkon kiinnittäminen droneen vaati, että prototyypin alumiiniprofiilit olisivat pitemmät tai keuhkon hiilikuituputki olisi pitempi, jolloin ultraäänikameran voisi kiinnittää pituussuunnassa keuhkoon. Oli helpompaa tehdä pitemmät alumiiniprofiilit kuin ruveta tilaamaan uusia hiilikuituputkia keuhkoon. Alkuperäisten 200 mm pitkien alumiiniprofiilien tilalle leikattiin 400 mm pitkät alumiiniprofiilit. Uudet alumiiniprofiilit jäivät noin 5 cm:n maan yläpuolelle dronen ollessa maassa. Alumiiniprofiilin leikkaamisen jälkeen prototyyppi oli valmis testattavaksi.

Prototyyppiä testattiin Oulun ammattikorkeakoulun tyhjällä parkkipaikalla. Ensimmäisenä täytyi testata, onko ultraäänikameran painopiste kohdillaan vai lähteekö drone kallistumaan johonkin suuntaan. Dronen painopiste oli ok, joten dronella pystyi lentämään korkeammalle ja kauemmas. Testauksessa käytettiin ultraäänikameran videotallennusta. Testin tarkoituksena oli tarkentaa edellisen ultraäänikameran testauksen tuloksia eli, kuinka drone häiritsee kameran toimintaa. Kuvassa 10 näkyy dronessa oleva toimiva prototyyppi ja siinä kiinni oleva ultraäänikamera.



*KUVA 10. Drone valmiina testaukseen*

Ultraäänikameran kantohihna kiinnitettiin droneen siltä varalta, jos jokin kiinnikkeen ruuveista löystyy käytön aikana. Testauksessa käytetyt pitkät alumiiniprofiilit ja ultraäänikameran alhainen painopiste aiheuttaa sen, että tuuli tarttuu helpommin droneen. Testin aikana oli hieman tuulinen sää, mutta drone pysyi kuitenkin hyvin hallinnassa. Dronella tehtiin useita testilentoja eri ultraäänikameran taajuusalueita käyttäen. Onnistuneen testauksen päätteeksi todettiin prototyypin olevan toimiva.



## 5 TULOKSET

Opinnäytetyön teoriaosassa perehdyttiin droneihin ja selvitettiin, millaisia käyttökohteita niillä on teollisuudessa ja kunnossapidossa. Selvisi, että droneja on käytetty muun muassa kuntotarkastuksissa ja muissa mittaustehtävissä. Dronejen käyttö on kasvanut viime vuosina paljon, ja niiden teknologia on kehittynyt. Tulevaisuudessa, kun dronejen teknologia kehittyy vielä entisestään, niin varmasti droneille syntyy uusia käyttökohteita teollisuudessa ja kunnossapidossa. Jospa jossain vaiheessa droneilla pystytään suorittamaan pieniä mekaanisia töitä, kuten venttiilin sulkemisen.

Opinnäytetyön aikana valmistetusta prototyypistä tuli onnistunut. Prototyypin suunnitteluun kului eniten aikaa, ja hieman ensimmäistä prototyyppiä parantamalla saatiin lopulta toimiva ratkaisu. Prototyypin vaatimuksina oli, että se olisi yleismallin kiinnike. Lopullisesta ratkaisusta ei tullut liian painava, ja sillä saa nostettavan laitteiston tukevasti kiinni. Lisäksi se on helppo säätää kuusiokoloruuvien ansioista.

Testauksessa käytetyn prototyypin alumiiniprofiilien pituus on 400 mm. Alkuperäiset 200 mm pitkät alumiiniprofiilit ovat vaihdettavissa prototyyppiin, jos tarvitsee jotain pienikokoisempia laitteita kiinnittää droneen. Yleismallin kiinnikkeen avulla myös Sniffer4D-kaasuanalysaattori on käytettävissä tällä prototyypillä. Kaasuanalysaattori on paljon kevyempi kuin ultraäänikamera, joten kiinnityksen ruuvien löystymisen todennäköisyys on pienempi. Prototyyppi on kiinnitettävissä muihinkin droneihin, jos niissä on samalainen kehikko, tai sitten erillisellä kiinnitysadapterilla.

Prototyypin testauksen yhteydessä testattiin myös ultraäänikameraa. Testillä oli tarkoituksena selvittää, onko mahdollista etsiä vuotoja ultraäänikameralla dronea hyödyntäen. Tiedettiin, että dronen pitämä ääni antaa häiriötä kameralle matalilla mittaustaajuuksilla, mutta oli tärkeä selvittää, kuinka paljon se häiritsee. Testauksessa käytettiin kameras videokuvausta. Alle 25 kHz taajuuksilla kamera otti paljon häiriötä dronelta. 25 - 35 kHz:n taajuudella häiriötä on jonkin verran, mutta vuotojen etsiminen saattaa olla mahdollista. 35 - 52 kHz:n taajuudella häiriötä on vähän, joten vuotojen etsiminen on mahdollista, jos ne ovat näin korkealla taajuudella.

## 6 JATKOKEHITYSIDEOITA

Valmistettu ratkaisu on toimiva, mutta parannettavaa on jonkin verran. Kiinnitys toimii halutusti, ja se pitää laitteiston tukevasti kiinni. Yhteensä koko kiinnitysteemi painaa noin 900 g. Kiinnitysteemissa on kahdeksan kappaletta L-mallisia osia, jotka ovat valmistettu teräksestä. Jollakin toisella materiaalilla valmistettuna esimerkiksi alumiinilla massaa saisi hieman pudotettua. 3D-tulostetunkin osan voisi valmistaa jostain toisesta materiaalista esimerkiksi alumiinista. Tällöin osan ei tarvitsisi olla yhtä suuri kuin 3D-tulostettu muovikappale. Paras osa olisi sellainen, jonka voi sormilla kiristää kiinni. L-mallisten osien kuplamuovin voisi korvata esimerkiksi 10 mm paksulla joustavalla silikonityynyllä, joka peittää koko L-mallisen osan.

Ultraäänikameran toimintaperiaate on, että käyttäjä kävelee kameran kanssa esimerkiksi tehdasympäristössä ja kuvaa kaasuputkistoja vuotojen varalta samalla katsoen kameran näyttöä ja tarvittaessa ottaa kuvia vuotokohdista. Kyseisen kameran käyttö dronella toimii siten, että videokuvauksen laitetaan päälle ennen dronen lähtemistä lentoon eli valokuvauksen vaihtoehtoa ei voi käyttää dronella lennättäessä. Paras kamera kyseiseen tehtävään olisi sellainen, jonka tallennetta voi katsoa etäältä esimerkiksi tietokoneelta, ja myös kuvia voisi ottaa etäohjauksen avulla. Ultraäänikamera on leveydeltään noin 320 mm, joten pienempi ultraäänikamera olisi kätevämpi dronella lennättämiseen.

Dronessa olevan kehikon hiilikuituputkien pituus on noin 300 mm. Ultraäänikameran pisin sivu on noin 320 mm, joten ultraäänikameran pystyi kiinnittämään vain leveyssuunnassa. Jos kehikon putket olisivat olleet pitemmät, niin ultraäänikameran olisi voinut kiinnittää pituussuunnassakin. Tällöin myös kameran painopiste olisi ollut paremmin säädettävissä. Kehikossa olisi myös hyvä olla jonkinlainen hihna, jolla voidaan estää laitteiston putoaminen ruuvien mahdollisesti löystyessä. Toinen turvamekanismi voisi olla kiinnittää ylimääräiset ruuvit alimmaisten L-mallisten osien alapuolelle. Tämä estäisi osien valumisen alas, vaikka niiden kiinnitys löystyisi.

## 7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka droneja on hyödynnetty kunnossapidossa. Toinen tavoite oli valmistaa droneen yleismallin kiinnike, jolla voidaan nostaa erilaista laitteistoa. Aluksi ajattelin työn olevan pelkästään tutkielma, jossa voisin hyödyntää omaa työkokemusta, millaisissa tehtävissä drone olisi ollut hyödyllinen apulaite. Kiinnityksen valmistus muutti opinnäytetyön enimmäkseen tuotekehitysprojektiksi, jolloin teoria jäi vähemmälle kuin aluksi olin kuvitellut. Tämä ei kuitenkaan haitannut, koska pidän SolidWorksilla mallintamisesta ja tuotekehitys on mielestäni mielenkiintoista. Koulussa on ollut kaksi tuotekehityskurssia, joissa on ryhmän kesken parannettu aiempaa tuotetta tai kehitetty kokonaan uusi. Nyt opinnäytetyötä tehdessä huomasin yksin suoritettavan projektin haastavuuden.

Työn suurin haaste oli keksiä idea, jota ruveta mallintamaan ja kehittämään. Alussa minulla ei ollut minkäänlaista käsitystä, millainen kiinnikkeen pitäisi olla. Ensimmäiset miettimäni ratkaisut olivat helppoja ja yksinkertaisia, kuten jonkilainen verkko- tai remmisysteemi. Ensimmäinen oikea vaihtoehto oli vaikea valmistettava. Muutaman tuotekehitysvaiheen kuluttua lopullinen prototyyppi saatiin valmistettua. Projekti ei noudattanut perinteistä tuotekehityksen kaavaa, vaan menin enemmänkin yrityksen ja erehdyksen kautta. Olisi ollut helpompaa alussa keksiä monta eri ideaa ja vertailla niitä ennen mallinnusta. Prototyypin valmistus Oulun ammattikorkeakoulun konepajalla oli työn helpoin osuus, kun tilatut osat olivat saapuneet.

Opinnäytetyössä valmistettiin droneen kiinnityssysteemi, jolla voidaan nostaa erilaista laitteistoa. Kiinnityssysteemin prototyyppiä testattiin Fluken valmistamalla ultraäänikameralla, ja tällä laitteella prototyyppi toimi suunnitellusti. Ultraäänikameralla saatujen tulosten perusteella tultiin lopputulokseen, että vuotojen etsiminen dronen avulla on mahdollista. Tällaisen itse valmistetun kiinnityssysteemin avulla droneen voidaan kiinnittää sellaista mittauslaitteistoa, jolle ei ole olemassa virallista kiinnitystapaa droneen. Opinnäytetyön teoriaosuudessa tutkittiin dronejen käyttökohteita ja niiden tuomaa apua ihmisten töihin. Dronejen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on, että niillä voidaan tehdä esimerkiksi tarkastustehtäviä sellaisissa paikoissa, jotka normaalisti ovat ihmisille vaarallisia. Dronejen ja mittauslaitteiston teknologian kehittyessä dronejen käyttökohteet kasvavat entisestään ja työturvallisuus paranee.

## LÄHTEET

1. Oulun ammattikorkeakoulu. KÄYPI -Käynnissäpidon uusimmat teknologiat ja niiden vaikutus vähähiilisyteen (investointi). Hakupäivä 23.10.2021. <https://www.oamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/tki-ja-hanketoiminta/hankkeet?pn=W428>.
2. Arctic Drone Labs. Our fleet. Hakupäivä 25.11.2021. <https://www.arcticdronelabs.com/our-fleet>.
3. Lucidcam 2022. Different type of drones. Hakupäivä 20.1.2022. Saatavissa: <https://lucidcam.com/different-types-of-drones/>.
4. Equinox's drones 2020. 10 Major Pros & Cons of Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Drones. Hakupäivä 25.1.2022. <https://www.equinoxsdrones.com/blog/10-major-pros-cons-of-unmanned-aerial-vehicle-uav-drones>.
5. Söderkultalahti, Olli 2021. Drone aiheutti vakavan vaara-tilanteen Helsinki-Vantaalla – ”Tilanne on ollut erittäin huolestuttava”. Ilta-Sanomien verkkolehti 8.7.2021. Hakupäivä 25.1.2022. <https://www.is.fi/digitoday/art-2000008112202.html>.
6. Goldman, Joshua 2019. V-Coptr Falcon 4K camera drone gets 50-minute flight time with just two rotors. Cnetin verkkojulkaisu 19.12.2019. Hakupäivä 18.11.2021. <https://www.cnet.com/tech/computing/v-coptr-falcon-4k-camera-drone-gets-50-minute-flight-time-with-its-two-rotors/>.
7. Feist, Jonathan 2018. Drone propellers – how to fly, the science of flight. Dronerushin verkkojulkaisu 4.3.2018. Hakupäivä 20.11.2021. <https://dronerush.com/drone-propellers-how-to-fly-science-10010/>.
8. Prometheus Group 2019. Drones and Robots are Taking Over Maintenance Inspections...and That's Not a Bad Thing. Hakupäivä 5.1.2022. <https://www.prometheusgroup.com/posts/drones-and-robots-are-taking-over-maintenance-inspections-and-thats-not-a-bad-thing>.

9. Traficom 2021. EU:n dronesäännöt. Hakupäivä 22.11.2021. <https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaaannot>.
10. Fluke. Fluke ii900 -vuotoäänen paikannuskamera. Hakupäivä 25.11.2021. <https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/teollisuuskuvaus/vuotoaanen-paikannuskamera-ii900>
11. Sniffer4D. Sniffer4D-kaasuanalysaattori . Hakupäivä 15.12.2021. <http://sniffer4d.eu/sniffer4d/>.

# KIINNITYSSYSTEEMIN KOKOONPANOPIIRUSTUS

# LIITE 1

Osa / Part	Koodi / Code	Nimitys / Name	Tekninen tieto, mitat / Technical info, dimensions	Huom / Note	Lim / Qty
6		Kiinnitys sivupalkkiin		Valmistetaan itse, koneistus / 3D tulostus	1
5	0.0.444.44	Prikka	Locating washer 6 D5		2
4	8.0.000.07	Ruuvi	Button-Head screw M5x16		2
3	0.0.370.01	T-uramutteri	T-Slot nut 5 St M5		2
2	0.0.474.61	L-kulmaosa	Angle bracket 60x40x20	fark. mitat katalogista	2
1	0.0.391.02	Alumiiniprofiili 200mm	Profile 5 20x10		1

Yleistoleranssi / General tolerances		Asiakas / Customer		Suunnittelija / Designed	
SFS-EN 22768-1, SFS-EN ISO 13920		Arctic drone labs		Teemu M.	
Massa / Mass		Projekti / Project		Tarkastaja / Checked	
Mittakaava / Scale		Opinnäytetyö		Pvm / Date	
A3 1:2		Työnnumero / Work number		Tehdään kpl / Quantity manufactured	
Nimitys / Description		Kiinnityssysteemi		Pinustusnumero / Drawing number	
Rev		Muutos / Change		Pvm / Date	
1		2		3	
Suunnittelija / Designed		4		5	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.