



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

LENKTYNINIO DRONO AERODINAMINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS
Baigiamasis magistro projektas

Paulius Obolevičius
Projekto autorius

Prof. Dr. Artūras Keršys
Vadovas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

„LENKTYNINIO DRONO AERODINAMINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS“

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Paulius Obolevičius
Projekto autorius

Dr. Artūras Keršys
Vadovas

Dr. Algimantas Fedaravičius
Recenzentas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Pauliaus Obolevičiaus

LENKTYNINIO DRONO AERODINAMINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Pauliaus Obolevičiaus, baigiamasis projektas tema „LENKTYNINIO DRONO TOBULINIMAS“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Turinys

SANTRAUKA	5
SUMMARY	6
ĮVADAS	7
1.OBJEKTO ANALIZĖ	9
1.1 Apžvalga	9
1.3. Skrydžio valdymo sistema.....	14
1.4. Baterijos.....	18
1.5. Korpusas	20
1.6. Modernizuojamo įrenginio įvertinimas	24
2. TYRIMAS.....	26
2.1. Rinkos reikalavimai.....	26
2.2. Aerodinaminių savybių tyrimas.....	27
2.3 Variklį laikančios rankos pasipriešinimo tyrimas.....	31
3. PROJEKTINĖ DALIS	32
3.1 Lenktyninio drono korpuso projektavimas.....	32
3.2 Pasipriešinimo koeficiento skaičiavimas.....	41
Išvados ir pasiūlymai	43
Informacijos šaltinių sąrašas:.....	44

Paveikslų sąrašas

Pav. 1. 1 Luisas Breguet ir Jacques Breguet kvadrokopteris.....	9
Pav. 1. 2 Kvadrokopterį veikiančios jėgos ir momentai.....	10
Pav. 1. 3 Keturi pagrindiniai kvadrokopterio manevrai	11
Pav. 1. 4 variklio traukos bandymai	12
Pav. 1. 5 Skirtingų motorų bandymai	12
Pav. 1. 6 Emax RS2306 2750 kv bandymų rezultatai	13
Pav. 1. 7 elektroninių greičio reguliatorių bandymai	14
Pav. 1. 8 Dobilo formos antena ir skleidžiamas signalas	16
Pav. 1. 9 Kiss skrydžio valdiklio kompiuteris	17
Pav. 1. 10 „Kiss“ skrydžio valdiklio, sensorių ir kitų komponentų sujungimo schema.....	18
Pav. 1. 11 Baterijų bandymas iškraunant 20 A srove.....	19
Pav. 1. 12 Trumplaiškė iškrova.....	20
Pav. 1. 13 Trumpalaikės įtampos šuolis testo metu.....	20
Pav. 1. 14 Multirotorių konstrukcijos.....	21
Pav. 1. 15 „Realacc x210“	22
Pav. 1. 16 NIMBUS dronas.	23
Pav. 1. 17 KORE dronas	24
Pav. 2. 1 bandymai „Aerolab EWT“ aerodinamiame vamzdyje.....	27
Pav. 2. 2 „Realacc“ drono aerodinaminio pasipriešinimo rezultatai	28
Pav. 2. 3 Tiriamas „Reallac“ rėmo modelis.....	28
Pav. 2. 4 Simuliacija 40 m/s 65° posvyrio kampas.....	29
Pav. 2. 5 Variklį laikančios rankos pasipriešinimo tyrimas.	31
Pav. 3. 1 Vienas pirmųjų dizaino variantų, profilio pjūvis.....	33
Pav. 3. 2 Pirmasis baigtas dizainas „MS-1“	34
Pav. 3. 3 „MS-1“ vidinė konstrukcija.....	34
Pav. 3. 4 Galutinio dizaino „MS-2“ rėmo konstrukciniai ir dizaino elementai.....	35
Pav. 3. 5 „MS-2“ surinkimo iliustracija.	36
Pav. 3. 6 motorus laikančios rankos.	37
Pav. 3. 7 pav. „MS-2“ baigtas korpusas	37

Pav. 3. 8 „MS-2“ korpuso pasipriešinimo tyrimas	38
Pav. 3. 9 „MS-2“ rėmo galinės motorus laikančios rankos slėgio pasiskirstymo tyrimas.	39
Pav. 3. 10 „MS-2“ rėmo rankos aptekamčio srauto greičio tyrimas.	40

Lentelių sąrašas

Lentelė 1. 1 TBS UNIFY PRO 5G8 ir TBS UNIFY PRO 5G8 HV / RACE vaizdo siūstuvų palyginimas.....	15
Lentelė 1. 2 vaizdo siūstuvų naudojami dažniai.....	16
Lentelė 1. 3 Tyrimui pasirinktos baterijos.....	19
Lentelė 2. 1 „Realacc“ rėmo srauto pasipriešinimo tyrimas prie 65° atakos kampo.....	30
Lentelė 2. 2 PLA ir ABS plastikų palyginimas	32
Lentelė 2. 3 „MS-2“ rėmo galinės motorus laikančios rankos pasipriešinimo palyginimas su „Reallac“ rėmo ranka.	40
Lentelė 3. 1 Aerodinaminio pasipriešinimo koeficientai.....	41

Obolevičius Paulius, LENKTYNINIO AERODINAMINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Artūras Keršys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Transporto inžinerija (03T)

Reikšminiai žodžiai: *Lenktyninis dronas, multi-rotorius, kvardrokopteris, FAI, F3U, FPV.*

Kaunas, 2017.

SANTRAUKA

Šiame darbe tyrinėjamas lenktynėms skirtas dronas. Analizuojami komponentai ir projektuojamas patobulintas korpuso prototipas su galingiausia sistema leidžiama naudoti lenktynėse pagal „FAI“ F3U kategorijoje nustatytas taisykles. Pirmoje projekto dalyje apžvelgiama geriausios rinkoje esančios elektroninės dalys. Palyginama ir ieškoma tinkamiausio varianto projektuojamam korpusui, pagrindinis kriterijus kuo mažesni matmenys ir kuo didesnė galia. Atlikus apžvalgą ir išrinkus komponentus projektuojamam modeliui teorinė gauta sukomplektuotos sistemos galia siekia 2500 W didžiausia bendra variklių išvystoma traukos jėga yra apie 61 N.

Atlikti aerodinaminiai bandymai parodė kad paprasto dizaino „Reallac“ lenktyninio drono pasipriešinimas didžiausio pasiekiamo greičio momentu yra apie 15 N. Detalesni tyrimai parodo kurie konstrukcijos elementai sukuria didžiausią pasipriešinimą, kuriant prototipą šie komponentai tobulinami. Rinkoje esantys lenktynėms skirtų dronų korpusai skelbiantys apie geras aerodinamines savybes neturi jokių tai remiančių tyrimų, todėl kuriamas prototipas turi didelį potencialą. Projektinėje dalyje siekiama kad kuriamo drono pasipriešinimas būtų bent dvigubai mažesnis.

Suprojektuotas korpusas atspausdintas 3D spausdintuvu iš PLA plastiko nėra tinkamas lenktynėms, kadangi tai trapi medžiaga, tačiau atlikti tyrimus ir bandomuosius skrydžius tvirtumo užtenka. Atlikti suprojektuoto modelio tyrimai, Solidworks Flow simulation programoje, parodė kad pasipriešinimas sumažėja daugiau nei du kartus. Pagal programos skaičiavimus modelis turėtų pasiekti apie 200 km/h didžiausią greitį. Sukurtas korpuso dizainas galėtų būti pritaikomas gamybai iš kompozitinių medžiagų.

Obolevičius Paulius. RESEARCH OF RACING DRONE AERODYNAMIC PROPERTIES.
Master's thesis in Technological Science, Transport Engineering, supervisor assoc. prof. Artūras Keršys. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Science, Transport Engineering (03T)

Key words: Racing drone, multi-rotor, FAI, F3U, FPV, drone race.

Kaunas, 2017.

SUMMARY

This paper is about racing drones research, common components and basic aerodynamic properties. The goal of this project is to improve overall performance by reducing airframe aerodynamic resistance and create a model that could be a prototype for building a commercial product. To test the calculations a 3D model and was designed, printed and tested in real world conditions. The first part of this project is a research of most popular components and chose which ones to use in my designed prototype, the main goal of this part is to chose the best and most powerful components that are allowed to use in drone FPV races by FAI F3U category rules. Component research revealed that the best combination of electronic system is around 2500 W and 61 N of thrust.

In the second part of the project, aerodynamic properties of a standard racing drone are tested. This shows that the resistance created by the airflow is quite big and the drone loses most of its energy to this.

The third part is creating the prototype. The designed enclosed body protects all of the components while reducing airflow resistance by a factor of 2. This model is designed for 3D printing but potentially could be redesigned for manufacturing out of composite materials.

ĮVADAS

Šiame darbe nagrinėjamas ir tobulinamas lenktyninis radijo bangomis valdomas multi-rotorius, pagal FAI F3U kategorijos nustatytus varžyboms keliamus reikalavimus. Šie modeliai geriau žinomi kaip lenktyniniai dronai ar kvadropteriai. Darbo tikslas – sumažinti lenktyninio drono aerodinaminį pasipriešinimą. Darbo uždaviniai:

- Išanalizuoti naudojamus komponentus.
- Iširti „Reallac“ lenktyninio drono aerodinamines savybes.
- Suprojektuoti aerodinaminį korpusą.
- Iširti suprojektuoto drono korpusą.

Išpopuliarėjus bepilotėms skraidyklėms, sparčiai populiarėja nauja sporto rūšis – dronų lenktynės. Iki dronų lenktynių atsiradimo niekam nerūpėjo jų pagreitis ar maksimalus greitis nes jie buvo naudojami pagrindė fotografijai. Tačiau dabar kiekvienais metais pasiekiami nauji greičio rekordai. Elektronika tobulėja ir kartu paprastėja, atsiranda vis daugiau informacijos ir tai įtraukia vis daugiau žmonių. Tai yra auganti rinka kurioje yra daug vietos naujovėms. Žmonės lenktyniaujantys dronais buriasi į bendruomenes ir komandas, informacija apie naujas kokybiškas dalis, komponentus, programines įrangas ir t.t. sklinda labai greitai ir vartotojai greitai įsisavina naujoves. Lenktyniniai dronai turi didelį potencialą tobulinimui, dauguma jų naudojamų lenktynėse yra paprastos tačiau tvirtos konstrukcijos. Jie yra pritaikyti atlaikyti stiprius smūgius tačiau neatsižvelgta į aerodinamiką. Nors rinkoje yra keli dronai kurie turi aerodinaminį pranašumą tačiau jie yra brangūs ir sunkesni, todėl nepopuliarūs.

Kiekvienais metais vis dažniau ir įvairiose vietose organizuojamos varžybos pritraukia vis daugiau dalyvių ir žiūrovų. Varžybos vyksta įvairiausiose vietose, miškuose, laukuose, apleistuose pastatuose, stadionuose, šiuo klausimu ribų nėra nes lenktynėms skirtos bepilotės skraidyklės yra labai manevringos ir greitos, šie prietaisai pasižymi neįtikėtinu greičiu ir praktiškai neribotomis valdymo galimybėmis. Naujausi lenktynėms sukonstruoti dronai pasiekia 100 km/h greitį per kiek daugiau nei vieną sekundę, o maksimalus greitis gali siekti 180 km/h. Masės ir galios santykis gali būti iki 3500 kW/kg. Lenktyniniai dronai yra kitokios konstrukcijos nei dronai skirti filmavimui. Juose nėra jokių nereikalingų detalių, dauguma jų neturi apsauginio korpuso ar pagražinimų. Visa tai daroma tam, kad skraidyklė būtų kiek įmanoma lengvesnė ir manevringesnė.

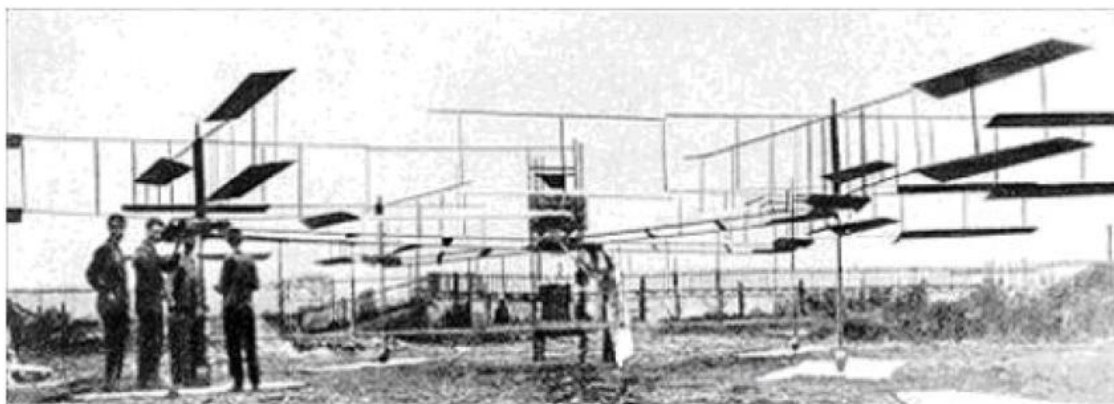
Lenktyninių dronų valdymui naudojami video akiniai, į kuriuos tiesiogiai perduodamas pirmojo asmens vaizdas iš drone įtaisytos kameros. Pilotai mato vaizdą iš drono ir gali pasijusti lyg patys sėdėtų jo viduje, tai leidžia tiksliai valdyti skrydžio trajektoriją. Netgi yra galimybė matyti 3D vaizdą tačiau lenktynėse tai nėra patogiu. Dronų lenktynės stipriai populiarėja visame pasaulyje, atsiranda vis daugiau profesionalių dronų lenktynininkų kuriuos remia įvairios kompanijos gaminančios skraidyklių dalis, valdymo sistemas ir kitą atributiką, varžybos rodomos per populiarius televizijos sporto kanalus kaip ESPN. Prizai vis didėja pritraukdami vis daugiau dėmesio. Atsiranda vis daugiau varžybų organizatorių. Šis sportas taip išpopuliarėjo, kad aukštos kokybės elektroniniai komponentai šluojami nuo internetinių parduotuvių lentynų greičiau nei yra gaminami. Gerų detalių dažnai tenka laukti ne tik kol atsiūs paštu, bet ir kol pagamins. Tai tik patvirtina kad šioje nišoje yra vietos naujovėms ir tobulėjimui.

1.OBJEKTO ANALIZĖ

1.1 Apžvalga

Šiuo metu rinkoje yra begalė elektronikos komponentų skirtų būtent lenktyniniams dronams, todėl analizuojant reikia rinktis geriausiai vertinamus ir populiariausius komponentus kurie yra leidžiami naudoti tarptautinėse lenktynėse pagal FAI taisykles. Dronu lenktynės priskirtos F3U kategorijai žinomi kaip multi-rotorių pirmo asmens vaizdo lenktynės [9].

Kvadrokoopteris - tai paprastesnė orlaivio konfigūracija, turinti geras skraidymo savybes. Kvadrokoopteris sudarytas iš keturių besisukančių rotorių, du sukasi pagal laikrodžio rodyklę ir du prieš. Kvadrokoopteriai išpopuliarėjo tik XXI a. pirmajame dešimtmetyje, tačiau pirmuosius kvadrokopterius pradėjo konstruoti ir daug ankščiau. Luisas Breguet ir Jacques Breguet, du broliai, kurie dirbo su profesoriumi Charles Richet, buvo pirmieji, kurie sukonstravo keturių rotorių skraidymo priemonę, kurią pavadino malūnsparniu Breguet-Richet-1907 (5 pav.). Pirmasis nevaldomas skrydis, skirtas demonstracijai, įvyko 1907 m. rugsėjo 29 d. [1]

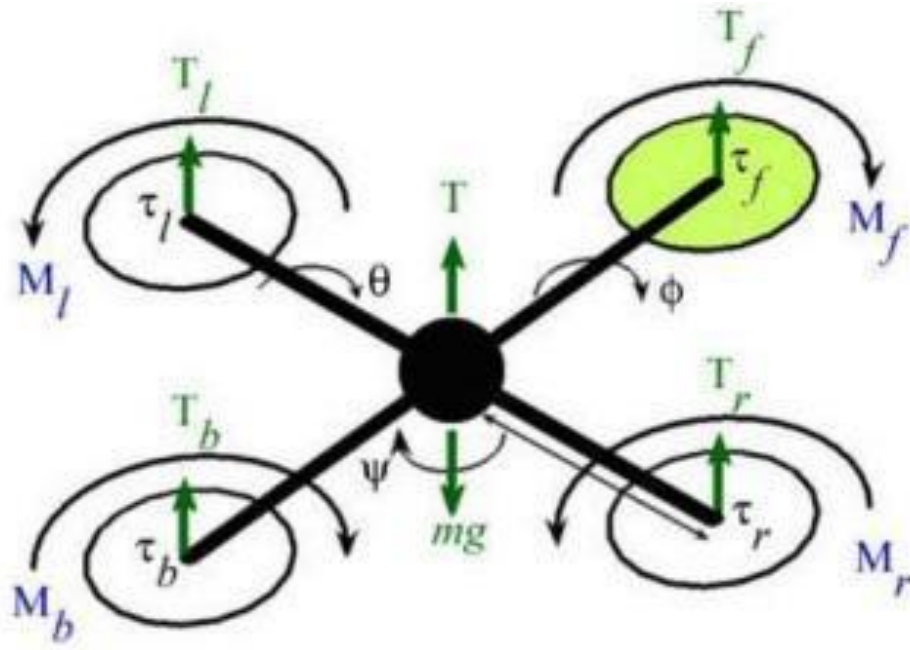


pav 1. 1 Luisas Breguet ir Jacques Breguet kvadrokopteris. [1]

Šiuo metu, neskaitant karinių misijų, bepiločiai orlaiviai taip pat naudojami įvairiose pramoninėse ir komercinėse srityse. Kopteriai naudojami laukams sėti arba tręšti, Pasitelkiant įvairius jutiklius, kvadrokopteriai naudojami žemės kartografavimui. Dronai, kurie gali atlikti autonominius skrydžius, plačiai naudojami žvalgybos užduotims atlikti. Bene plačiausias dronų panaudojimas yra tiek mėgėjiškų, tiek profesionalių užduočių atlikimui [4].

Bepiločiai orlaiviai skirstomi į rotacinių ir fiksuotų sparnų tipus. Rotacinių sparnų tipo orlaiviai yra pranašesni dėl jų didelės judesių laisvės, galimybės skristi tiek mažu tiek dideliu greičiu, stacionarių skrydžių ir galimybių naudoti patalpų viduje. Kvadrokopteris yra rotacinių sparnų tipo bepilotis

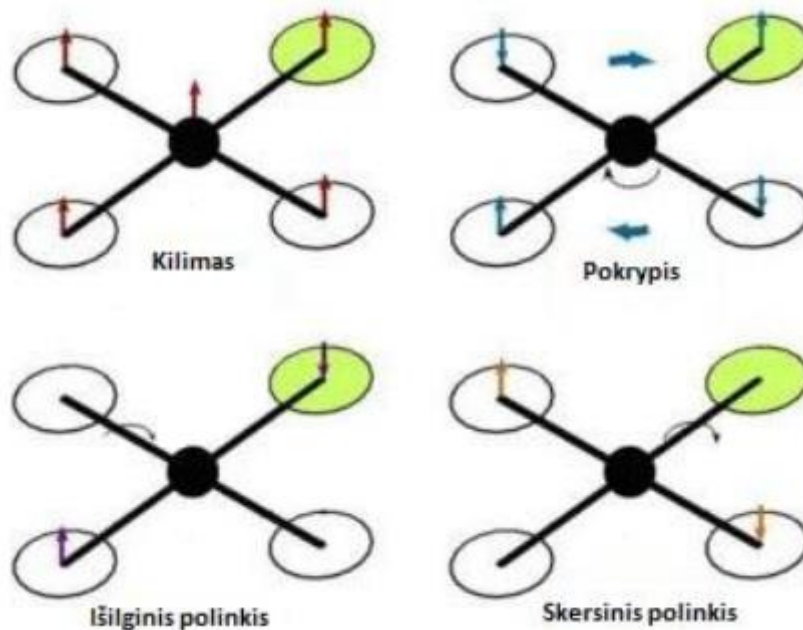
orlaivis, susidedantis iš keturių rotorių, esančių X formos (dažniausiai) struktūros galuose.



pav 1. 2 Kvadrokopterį veikiančios jėgos ir momentai [4]

Kvadrokopterio skrydis kontroliuojamas keičiant kiekvieno variklio greitį. Kvadrokopteriai turi keletą privalumų, lyginant su kito tipo orlaiviais, kurie padaro juos pranašesniais, naudojant paieškos ir gelbėjimo užduotyse. Šios charakteristikos yra: vertikalus kilimas ir tūpimas (angl. VTOL) ir gebėjimas atlikti lėtus tikslus judesius, arba labai staigius. Taip pat neabejotini privalumai, orlaivio, kuris turi keturis propelerius yra didesnė orlaivio krova, taip pat ypatingai didelis manevringumas, kuris išryškėja, orlaiviui skrendant daug kliūčių turinčiu ruožu ir atliekant nusileidimus atokiose ir mažose erdvėse.

Kaip parodyta 1.1.2 paveiksle, kvadrokopterio pozicija ir elgesys ore yra kontroliuojamas individualiai keičiant keturių propelerių greitį. Priekinio propelerio (M_f), ir galinio propelerio (M_b) pora sukasi laikrodžio rodyklės kryptimi, o dešiniojo (M_r), ir kairio rotoriaus (M_l) pora sukasi prieš laikrodžio rodyklę. Rotorių porų sukimosi kryptys yra skirtingos dėl to, kad išvengti sukimosi aplink savo ašį dėl atstojamųjų momentų. 1.1.3 paveikslėlyje galima matyti keturis pagrindinius kvadrokopterio manevrus, kurie yra pasiekiami, diferencijuojant propelerių greičius.

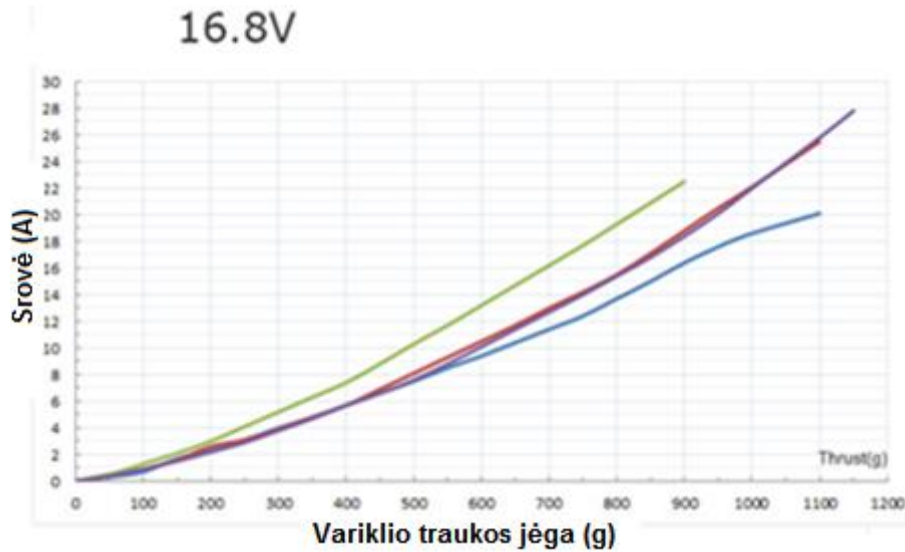


pav 1. 3 Keturi pagrindiniai kvadrokopterio manevrai [6]

Keičiant dešiniojo ir kairio rotoriaus santykinius greičius, kontroliuojamas šoninio sukimosi kampas. Polinkio kampas yra kontroliuojamas keičiant priekinio ir galinio propelerių santykinę greitį, o pokrypio kampas - keičiant į tą pačią pusę besisukančių rotorių greičius. Didinant arba mažinant visų keturių propelerių greitį vienu metu, kontroliuojamas kvadrokopterio aukštis.

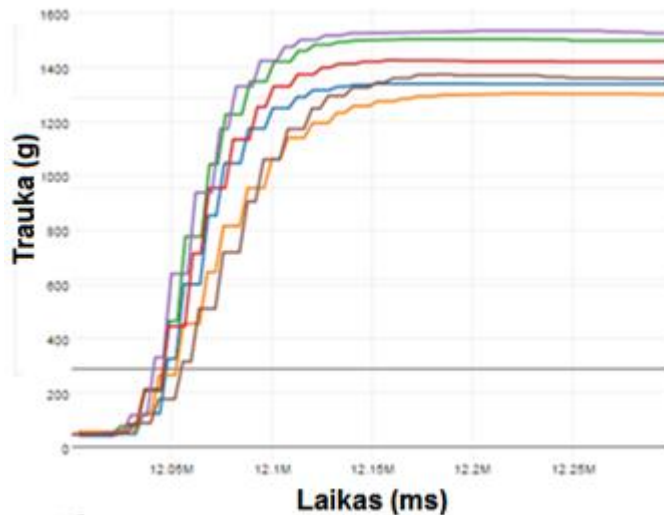
1.2. Varikliai, greičio regulatoriai ir propeleriai

Šiuose dronuose naudojami varikliai skirstomi pagal statoriaus diametrą, aukštį ir apsukas per voltą (KV), yra daugiau parametrų tačiau jie nėra svarūs šiame projekte. Varikliai yra išbandomi su skirtingais propeleriais. Siekiama kad kuo lengvesnis motoras generuotų kuo didesnę trauką naudojant kuo mažiau energijos, daugumoje testų nurodomi šie parametrai: generuojamos traukos (g) efektyvumo (g/W) srovės ir įtampos rodikliai. Gamintojų yra labai daug ir rezultatai įvairūs. Paveiksle 1.2.1 matome 30 g masės 2550 Kv motoro bandymą, maksimali trauka siekia apie 1150 g su 5 colių ilgio, 4 colių žingsnio, trejų menčių propeleriu. Variklių apžvalgoje daugiausia dėmesio skiriama motorams kurie su 5 colių trejų menčių propeleriais nes šie išvysto didžiausią trauką, šie propeleriai lenktynėse populiariausi nes suteikia optimalias valdymo galimybes ir didžiausią pagreitį.



pav 1. 4 variklio traukos bandymai [9]

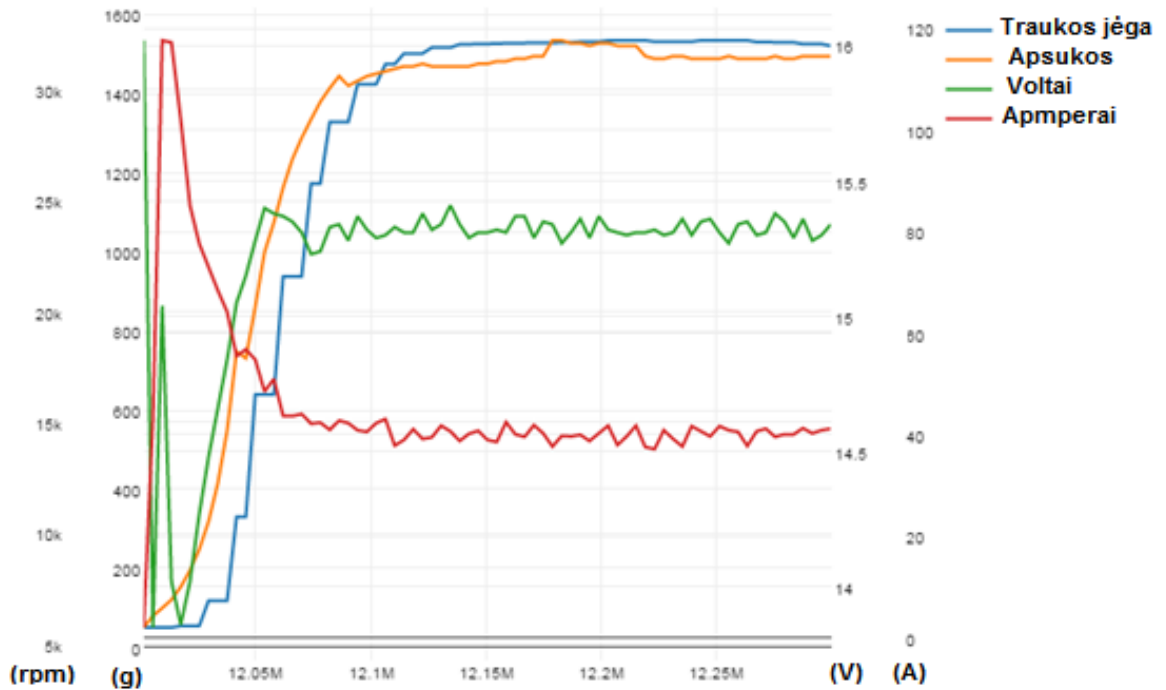
Analizuojant motorus naudojama „miniquadtestbench.com“ tinklapio suteikiama variklių ir elektroninių greičio reguliatorių tyrimų informacija. Aktualiausias rodiklis - variklio trauka, ekonomija lenktynėse nėra svarbu kadangi trasa būna pritaikyta taip jog ją galima apskristi per dvi minutes. Apžvelgiami tik motorai kurių masė apie 30 g ir kuo didesnė išvystoma trauka.



pav 1. 5 Skirtingų motorų bandymai [9]

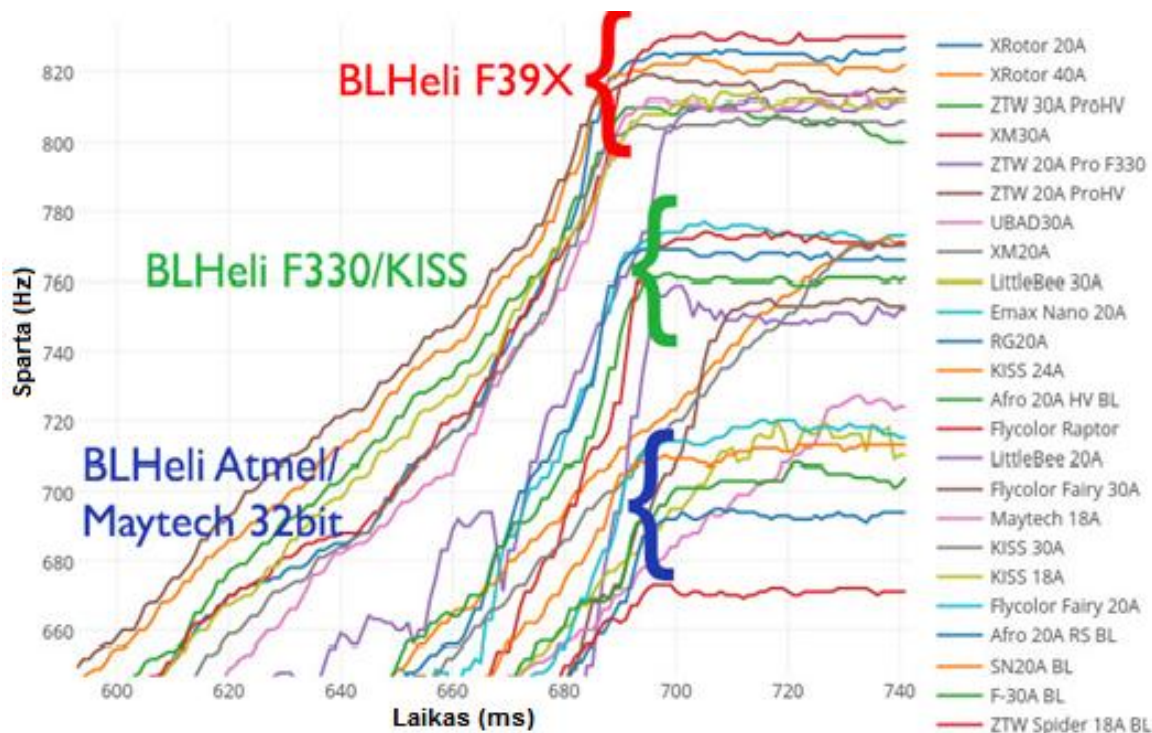
Peržvelgus daugiau nei 50 variklių bandymų parinkti galingiausi ir sudarytas traukos grafikas palyginimui naudojant duomenis iš anksčiau įvardinto tinklapio. Traukos bandymuose matome akivaizdų skirtumą. Galingiausias motoras yra Emax RS2306 2750 kv pasiekiantis 1750 g traukos jėgą su HQ 5x4x3 GF propeleriu šio motoro masė 34 g, tai puikiai atitinka išskeltus kriterijus. Paveiksle 1.2.3 matome detalesnius variklio bandymus. Iš grafiko galime paskaičiuoti didžiausią

pasiekama galingumą, didžiausiu traukos momentu pasiekama apie 616 W galia. Sumontavus drone šiuos variklius galėtų būti pasiekta apie 3466 W/kg galios ir masės santykis. To turėtų užtekti nugalėti oro srauto pasipriešinimą ir viršyti 200 km/h greitį.



Pav. 1. 6 Emax RS2306 2750 kv bandymų rezultatai [10]

Kad variklis veiktų optimaliai jam būtina sukombinuoti tinkamą elektroninį greičio reguliatorių. Šie prietaisai labai greitai tobulėja, todėl norint išnaudoti variklio potencialą reikia puikiai derančios sistemos kombinacijos. Neteisingai sukombinuotus variklį ir greičio reguliatorių vienas ar kitas gali neatlaikyti perkrovų ir sudegti.



Pav. 1. 7 elektroninių greičio reguliatorių bandymai [10]

1.2.4 pav. matome skirtingų reguliatorių su skirtingais mikrovaldikliais bandymus. Akivaizdu jog reguliatoriai naudojantys F39X mikrovaldiklius ir BLHeli programą yra tiksliausi ir ekonomiškiausi, ypač su aukštų apsukų motorais. Projektinėje dalyje reikia išrinkti ekonomiškiausią ir tinkantį pasirinktam motorui.

1.3. Skrydžio valdymo sistema

Valdymas susideda iš siūstuvo, imtuvo ir skrydžio valdiklio, bei vaizdo transliavimo sistemos. Valdymo sistema gali būti papildyta įvairiais jutikliais, tačiau lenktynėse naudojama tik įtampos ir srovės jutikliai tam kad pilotas matytu baterijos būklę ir momentinę naudojamą įtampą ir srovę. Laiko fiksavimui lenktynėse naudojami transponderiai, kurių pagalba laikas fiksuojamas išorinės sistemos nesusietos su valdymu, ši sistema veikia ant drono pritačius infraraudonųjų spindulių šviestuką su tam tikru skleidžiamu signalu, šis signalas yra fiksuojamas praskridus pro registratorių. Valdymo sistemai reikia sukompaktuoti siūstuvą ir imtuvą, kurie būtų suderinami su skrydžio valdikliu ir vaizdo siūstuvu. Vienas geriausių valdymo sistemų pagal kainos ir kokybės santykį yra „FrSky“ sistema, valdymo pultas turi galimybę naudoti iki 16 kanalų, tai leidžia integruoti įvairius sensorius ir funkcijas. Projektui naudosis būtent šią sistemą.

Labai svarbu geros kokybės CCTV tipo analoginė kamera kuri užtikrintų ryškų ir nevėluojantį vaizdą, geriausios tokio tipo kameros, kurios yra pritaikytos būtent tokio tipo

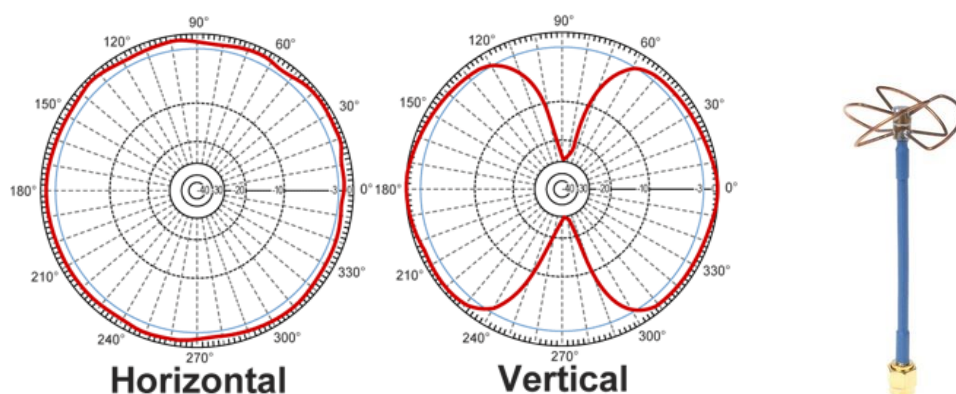
modeliams, yra gaminamos vieno gamintojo „Foxeer“ ši kamera naudoja „SONY“ matricos jutiklius kurie šiuo momentu yra patys geriausi rinkoje. Aukštesnės klasės šio gamintojo kameros turi integruotą OSD (On Screen Display) (informacija vaizde) palaikymą, tai leidžia matyti anksčiau minėtus duomenis transliuojamame vaizde. Vaizdo siųstuvai rinkoje yra tik keli kurie yra neginčijamai geriausi ir gali būti suderinami su valdymo sistema greitam parametrų keitimui net skrydžio metu. Vaizdo transliavimui naudojami siųstuvai turi būti negalingesni negu 25 mW kadangi tik tokie yra leidžiami naudoti mėgėjiškai. Geriausius vaizdo siųstuvus gamina kompanija „Team Black Sheep“ tai Šveicarijoje įsikūrusi kompanija kuri sukūrusi geriausius analoginio vaizdo siųstuvus skirtus bepilotėms mėgėjiškoms skraidyklėms, šie siųstuvai yra gerokai pranašesni už kitus nes skleidžiamas signalas yra tikslesnis ir todėl transliuojamas vaizdas yra kokybiškesnis. Taip pat šie siųstuvai turi papildomas funkcijas kurios yra naujovė šiuose prietaisuose. Kompanija yra sukūrusi du siųstuvų variantus, abu gali būti naudojami tiek lenktynėse tiek tolimesniems skrydžiams kadangi galima keisti signalo galingumą.

Lentelė 1. 1 TBS UNIFY PRO 5G8 ir TBS UNIFY PRO 5G8 HV / RACE vaizdo siųstuvų palyginimas [18]

Siųstuvo pavadinimas	TBS UNIFY PRO 5G8	TBS UNIFY PRO 5G8 HV / RACE
Maitinimo srovė	5 V	6v iki 26V
Papildomos funkcijos	Batch No 2xxx: SmartAudio V2.0, CleanSwipe, PitMode	SmartAudio V2.0, CleanSwipe, PitMode
Skleidžiamo signalo galia	13dBm (25mW), 23dBm (200mW*), 27dBm (500mW*), 29dBm (800mW*)	
Kanalų sk.	24Ch, 5733MHz - 5866MHz and 40ch, 5658MHz - 5917MHz*	
Galios suvartojimas	25mW: 250mA, 200mW: 320mA, 500mW: 460mA, 800mW: 600mA	
Veikimo atstumas	iki 4 km su omnidirekcinėmis RHCP tipo antenomis	
Antenos jungtis	RP-SMA	
Jungties tipas	JST-SH, 4 kontaktų	JST-GH, 6 kontaktų
Matmenys	17 (H) x 24 (W) x 4 (D) mm	22 (H) x 30 (W) x 4 (D) mm
Masė	5g	7g

Pagrindinis skirtumas tarp šių siųstuvų yra jų didžiausia skleidžiama galia ir papildomos funkcijos. Labai svarbi funkcija, kurios neturi jokie kitų kompanijų siųstuvai yra „Pit mode“ ši funkcija leidžia sumažinti skleidžiamo signalo galią iki 1- 2 mW tai yra labai patogiu lenktynėse kai reikia pakeisti nustatymus, šios funkcijos neturint varžybų metu draudžiama įjungti sistemą nes transliuojamas vaizdas trikdytų kito piloto matomą vaizdą jeigu dažniai sutampa, daugumoje lenktynių naudojami tik keturi standartu tapę dažniai.

Signalui sustiprinti naudojamos pažengusio dizaino siųstuvo ir imtuvo antenos. Siųstuvams naudojamos plačios spinduliuotės antenos, gerai žinomos kaip „dobiliukai“, jų skleidžiamas signalas sklinda į visas puses praktiškai vienodai. 1.3.1 paveikslas, sudaromas burbulas aplink anteną (pav. 4), tai yra labai naudinga kadangi skrydžio metu dažnai daromi posūkiai ir paprastų antenų signalas dingtų ar labai susilpnėtų. Imtuvams naudojamos spiralinės kryptinės antenos, jos gali net ir silpną signalą pagauti už kelių kilometrų. Lenktynėse naudojamas vaizdo transliavimo dažnis yra 5,8Ghz šis dažnis buvo pasirinktas natūraliai dėl to kad šiam dažniui skirtos antenos yra labai mažos ir neapsunkina drono konstrukcijos.



Pav. 1. 8 Dobilo formos antena ir skleidžiamas signalas

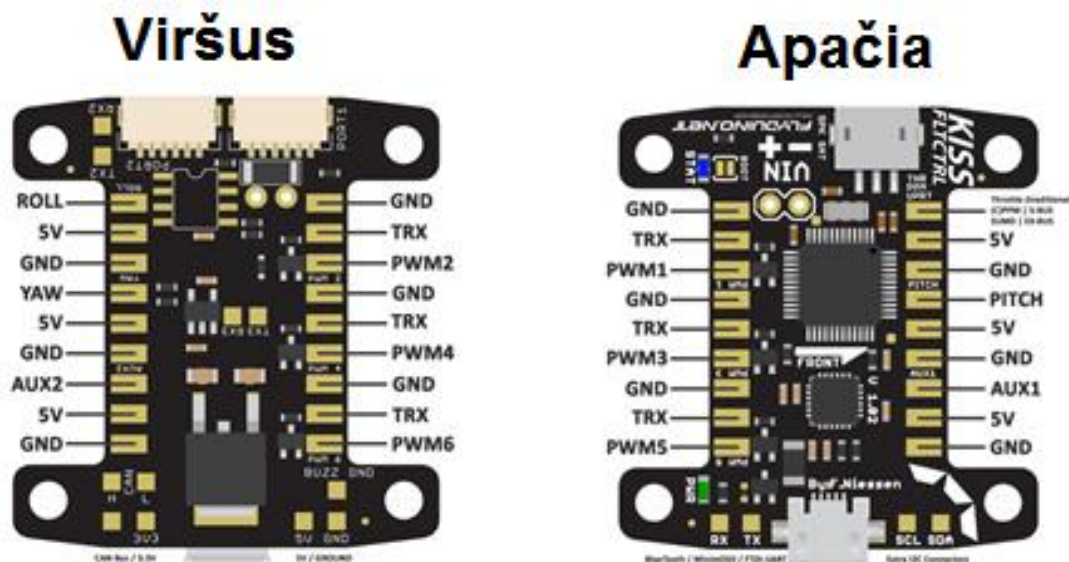
Lentelė 1. 2 vaizdo siųstuvų naudojami dažniai [9]

Channel	1	2	3	4	5	6	7	8	
Band A	5865	5845	5825	5805	5785	5765	5745	5725	MHz
Band B	5733	5752	5771	5790	5809	5828	5847	5866	MHz
Band E	5705	5685	5665	5645	5885	5905	5925	5945	MHz
Airwave	5740	5760	5780	5800	5820	5840	5860	5880	MHz
Race Band	5658	5695	5732	5769	5806	5843	5880	5917	MHz
PowerLevel	25	200	500	800					mW

Geltonai pažymėti laukeliai yra dažnis kurį leidžiama naudoti didesne galia nei 25 mW tik turint HAM licenziją. Naudojant tik 25 mW galią galima nevaržomai naudoti visus lentelėje pateiktus dažnius.

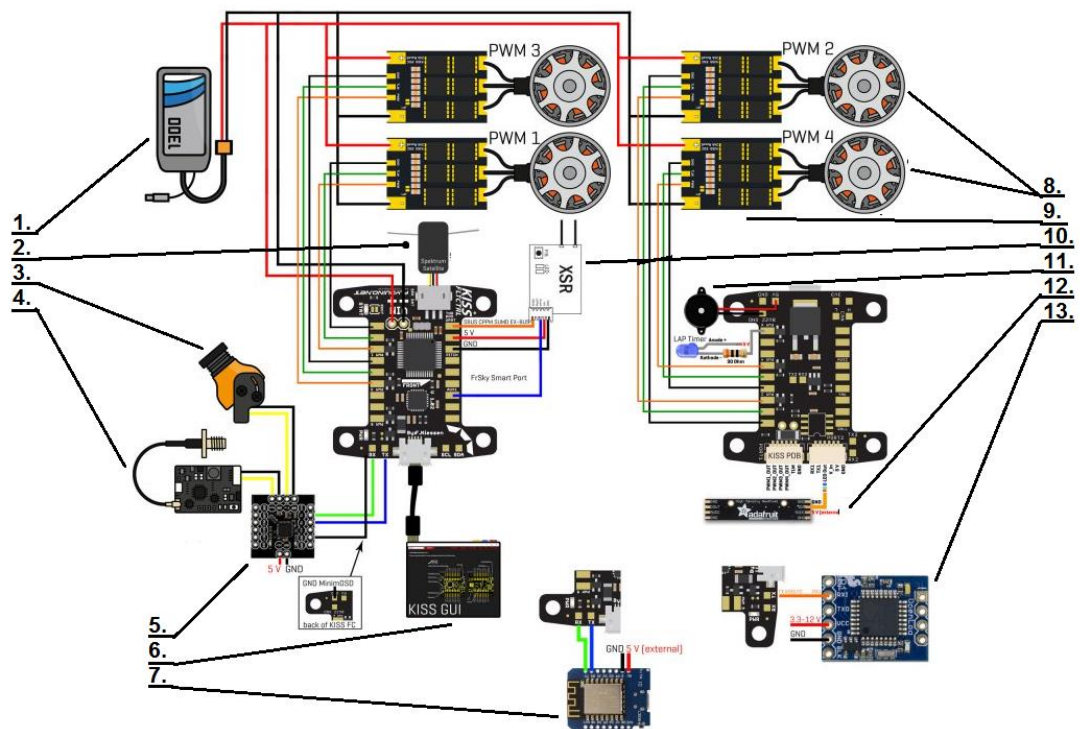
Pagrindinė valdymo sistemos dalis yra skrydžio kontrolieris (FC) šiuos kompiuterius gamina gana daug kompanijų tačiau dauguma gali veikti pasirinkta atviro kodo programine įranga. Paskutinė šių kompiuterių versija vadinama F4 ši versija turi naujausius mikro procesorius ir tiksliausius

sensorius. Šiuose valdikliuose naudojami nauji MPU6000 akcelerometrai ir giroskopai, STM32F405 32-bit 168 MHz procesoriai, 1 Mb flash atmintis, 192 kb ram, tai ženkliai pagerina valdymą lyginant su senomis žemesnių specifikacijų valdiklių versijomis.



Pav. 1. 9 Kiss skrydžio valdiklio kompiuteris [2]

Vienas geriausiai vertinamų skrydžio valdiklių yra „Kiss FC“ jame integruota naujausi sensoriai todėl valdymas yra tikslesnis ir sklandesnis bei skrydžio parametrų keitimas yra gana paprastas. 1.3.2 pav. pažymėti valdymo sistemos sujungimo kontaktai.



Pav. 1. 10 „Kiss“ skrydžio valdiklio, sensorių ir kitų komponentų sujungimo schema. 1 – Ličio polimero baterija. 2 – Spectrum Satellite imtuvas. 3 – Kamera. 4 – TBS video siųstuvas. 5 – Minim OSD. 6 – USB jungtis prie PC. 7 – WIFI modulis. 8 – Motorai. 9 – Elektroniniai greičio reguliatoriai. 10 – FrSky imtuvas. 11 – Garsinis signalizatorius. 12 – LED šviestukai. 13 – skrydžio duomenų registratorius „juodoji dėžė“ [2][19]

Šioje schemoje parodyta pilna skrydžio valdiklio komplektacija. Verta išskirti tai jog šis kompiuteris gali būti sujungtas su duomenų registratoriumi ir gali įrašyti visus skrydžio duomenis, tai labai patogiu reguliuojant valdiklio parametrus, nes skrendant neįmanoma pajauti kompiuterio konvertuoto valdymo signalo pokyčių, taip pat galima matyti vibracijas, signalo stiprumą ir kitus parametrus, tai palengvina viso drono kalibravimą sklandžiam skrydžiui.

1.4. Baterijos

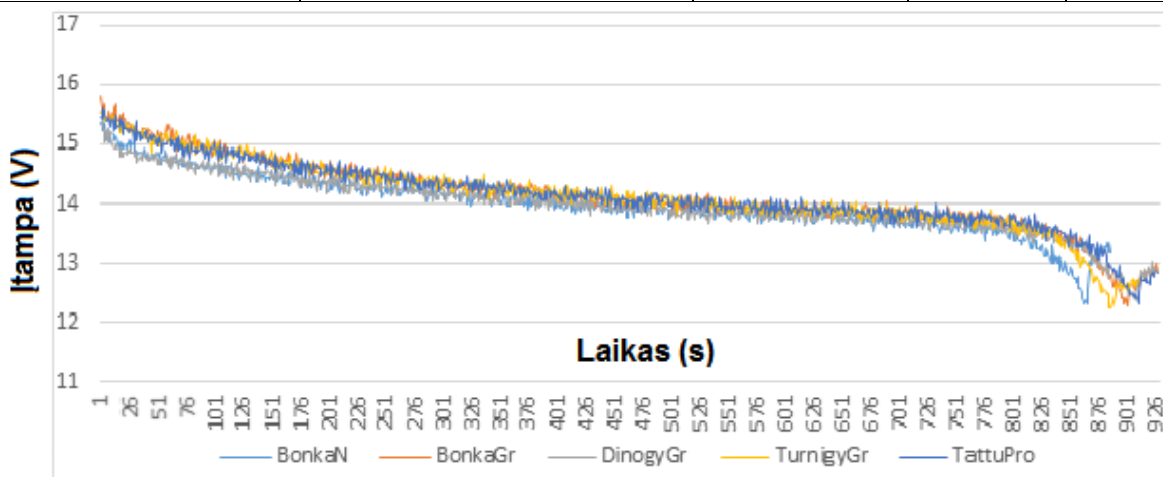
Tai vienas svarbiausių komponentų sistemoje. Nuo baterijos priklauso skrydžio laikas ir sistemos didžiausia pasiekama galia. Naudojamos tik ličio polimero baterijos kurios pritaikytos atiduoti labai aukštą srovę. Lenktynėse leidžiama naudoti baterijas kurios pilnai pakrautos neviršija 16.8 V, talpa ir masė nėra ribojama. 160 g. baterija gali suteikti momentinę (iki 10 sekundžių) 150 A srovę. Pastovi srovė dažniausiai yra tarp 10 ir 60 A. Baterijos ilgaamžiškumas priklauso nuo iškrovimo lygio ir iškrovimo greičio, teisingai eksploatuojant baterijas jos praranda apie 1,5 % talpos po kiekvieno ciklo. 1300 mAh baterijos užtenka iki 5 minučių skrydžio priklausomai nuo sistemos ir

skrydžio greičio. Šios baterijos turi išskirtines savybes, tačiau jas lengva pažeisti per daug iškraunant, įkraunant ar sandėliuojant netinkamai. Yra atlikta daug bandymų su skirtingomis baterijomis, vienos jų kiek geriau darbo ciklo pradžioje išlaiko įtampą, kitos greitai praranda. Baterijos skirstomos pagal talpą (mAh) ir iškrovimo reitingą (C).

Baterijų kokybei ir tinkamumui lenktynėms nustatyti atliekami įvairūs testai. Pirmiausia atliekamas paprastas iškrovos testas kuris parodo kaip greitai baterija praranda srovę ir matuojama sunaudotos ampervalandės. Naujausios ir galingiausios baterijos paremtos technologijoje pritaikius grafeno medžiagą. 250 klasės lenktynėse dažniausiai naudojama nuo 1000 iki 1800 mAh talpos baterijos, tokios talpos baterijos yra pakankamai lengvos ir gali suteikti pakankamai didelę įtampą kad išnaudoti variklių galią. Yra atlikta daugybė bandymų nustatyti geriausią baterija būtent lenktynėms. Lenktynėse svarbiausios baterijos savybės yra iškrovimo stabilumas ir įtampos atsistatymas po trumpų didelių iškrovų. Rinkoje yra keletas gamintojų kurie kuria ličio polimero baterijas būtent lenktyniniams multi-rotoriams. Kad Pasirinkti geriausią baterija reikia įvertinti atliktus bandymus. Tyrime kurį atliko propwashed.com buvo išbandytos penkios populiarios baterijos, gaminamos keturių skirtingų firmų. Pirmasis bandymas tai paprastas iškrovos testas skirtas patikrinti baterijų talpą. Testas atliekamas iškraunant bateriją 20 A įtampa.

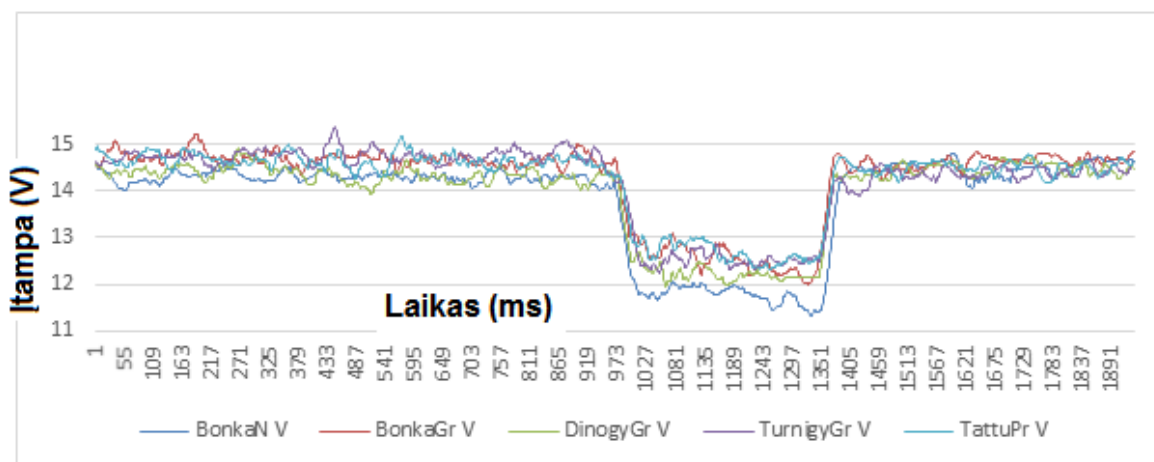
Lentelė 1. 3 Tyrimui pasirinktos baterijos [10]

Pavadinimas	Iškrovos reitingas [C]	Talpa mAh	Celės	Masė [g]
Bonka "Normal"	75	1300	4	153
Bonka Graphene	85	1300	4	167
Dinogy Graphene 2.0	75	1300	4	152
Tattu Pro Pilot	75	1300	4	162
Turnigy Graphene	65	1300	4	176



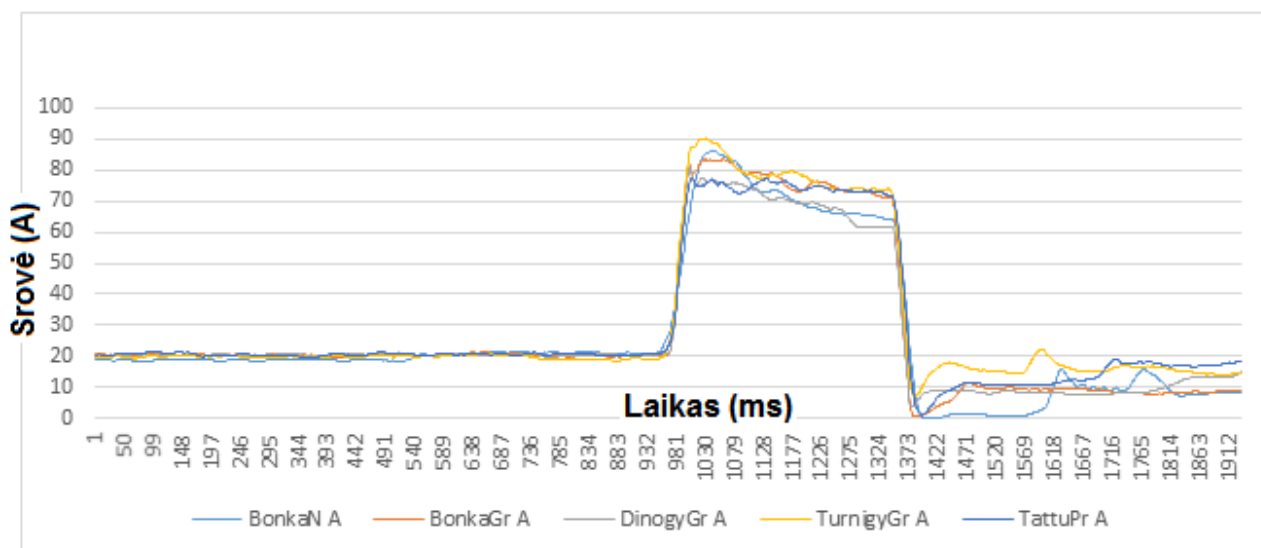
Pav. 1. 11 Baterijų bandymas iškraunant 20 A srove

Šis bandymas 1.4.1 pav. parodo kad aukštesnę įtampa ilgiausiai išsilaiko Tattu pro Baterija. Tačiau taip pat reikia atsižvelgti į įtampos atsistatymą po momentinių didelių iškrovų.



Pav. 1. 12 Trumplaikė iškrova [12]

Šiame tyrime 1.4.2 pav. matome kad visos baterijos reaguoja labai panašiai. Atsižvelgus į šiuos bandymus galima daryti prielaidą jog Turnigy graphene ir Tattu pro akumulatoriai yra vieni geriausių. Projektuojamas korpusas bus pritaikytas būtent pagal šių baterijų išmatavimus.



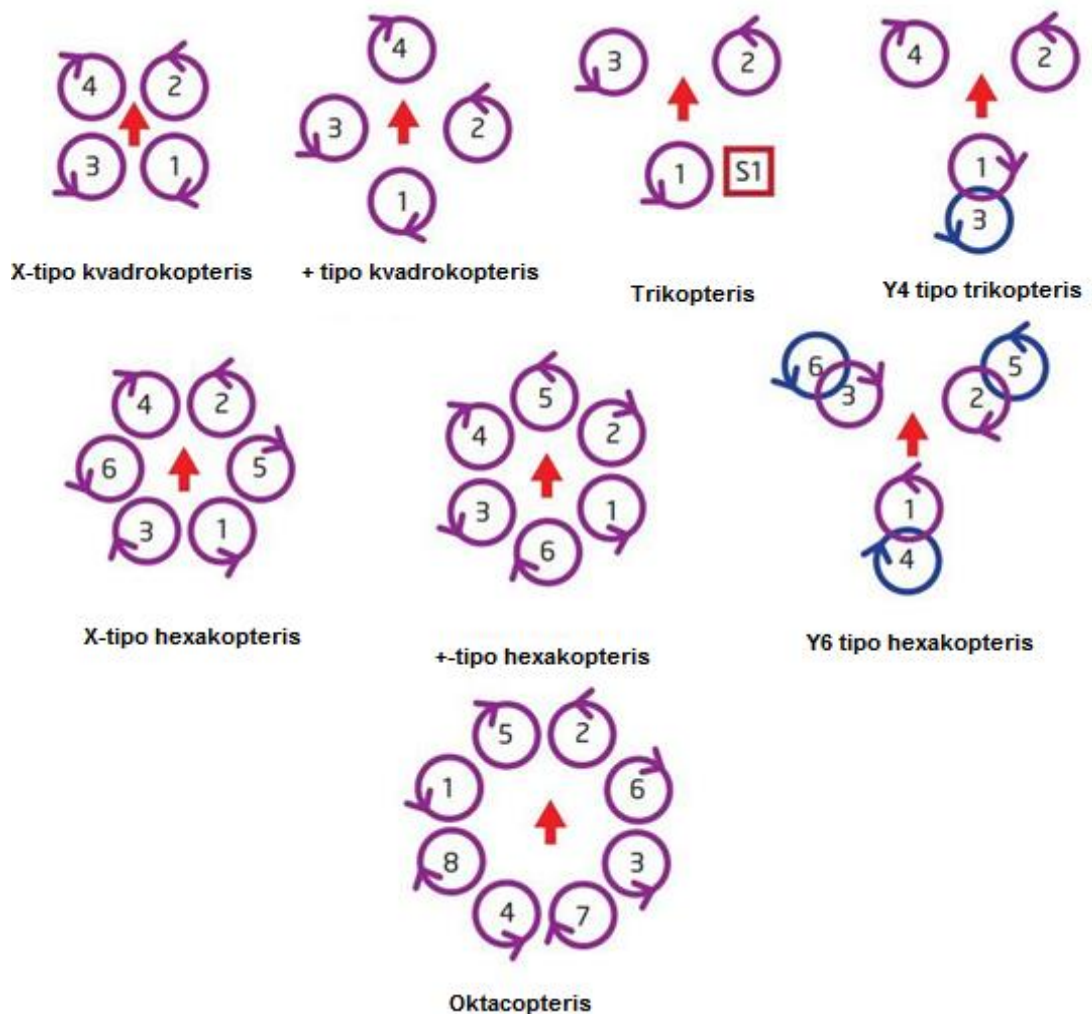
Pav. 1. 13 Trumpalaikės įtampos šuolis testo metu [12]

1.4.3 pav. akivaizdžiai matome kad Turnigy graphene baterijos grafikas yra aukščiau kitų, tai rodo jog net ir po trumpalaikių didelių iškrovų baterija greičiau grįžta į būklę prieš didelę iškrovą.

1.5. Korpusas

Kvadrokopterio konstrukcijos pagrindą sudaro rėmas. Rėmai yra skirstomi į kelis tipus 1.5.1 pav. ir yra naudojamos konstrukcijos su daugiau nei keturiais varikliais. Šios konstrukcijos variacijos naudojamos atviroje lenktynių klasėje ir laisvo stiliaus rungtyse. Kuo daugiau variklių dronas turi tuo galingesnis gali būti. Teoriškai apie 1,5 kg masės kvadrokopteris gali išvystyti 21 kg trauką, 10 kW galią ir apie 300 km/h greitį. (10 pav.):

- + tipo.
- X tipo.
- H tipo.
- Y tipo.
- Y4 tipo.
- Y6 tipo.
- Hexa X tipo.
- Hexa + tipo.
- Octo X tipo.
- Octo H tipo.



Pav. 1. 14 Multirotorių konstrukcijos [7]

Dauguma naudojamų rėmų yra paprastos konstrukcijos ir labai lengvi, apie 100 gramų, tačiau tokie rėmai akivaizdžiai nėra aerodinamiški, todėl prie didesnio greičio sukuria didelį oro srauto pasipriešinimą. Šiuo klausimu tyrimų buvo atlikta vos keli nes tai gana maža rinka. Norint išsiaiškinti kokios oro srauto jėgos veikia skraidyklę reikia ištirti standartinį rėmą. Suprojektuoti kuo aptakesnį korpusą ir taip pat ištirti. Gautus rezultatus palyginti.

Vienas populiariausių lenktynėse naudojamų dronų yra „Realacc x210“ nors tai yra tik rėmo pavadinimas tačiau elektronikos komponentai neįtakoja aerodinaminių savybių. Šis rėmas yra paprasčiausios konstrukcijos, išpjautas iš 4 mm anglies pluošto audinio plokštės su apsauginiu dangteliu viršuje kurį laiko keturi plieniniai vamzdeliai sutvirtinti varžtais ir papildomomis anglies pluošto plokštelėmis iš šonų kurios taip pat laiko kamerą. Ant visų lenktyninių dronų yra pritaikyta vieta montuoti mažoms veiksmo kameroms, 2016 metais buvo privalomas papildomas 60 g masė ar veiksmo kamera, todėl visi modeliai turi galimybę šioms kameroms tvirtinti, tačiau dabar nebėra šio reikalavimo, tai leidžia lenktynėse pasiekti didesnę greitį bei ilgesnį skridimo laiką.



Pav. 1. 15 „Realacc x210“

Panašiausias modelis į norimą suprojektuoti šiame darbe yra Nimbus dronas 1.5.2 pav. pagamintas iš anglies pluošto kevalo yra labai tvirtas ir kiek geresnių aerodinaminių savybių nei paprasti rėmai tačiau kaina gana aukšta.



Pav. 1. 16 NIMBUS dronas. [11]

Šis rėmas pranašesnis tuo kad komponentai yra apsaugoti nuo elementų. Jam suteiktas IP 54 standartas, tai reiškia prietaisas nebijo dulkių ir vandens pusrų, tai didelis pranašumas lyginant su paprastais pigiais rėmais. Tačiau ši konstrukcija turi kelis didelius trūkumus. Didžiausias minusas didelė masė, korpusas sveria dvigubai daugiau nei iš anglies pluošto plokščių išpjauti lenktyniniai dronai, tai ženkliai sumažina pagreitį ir skrydžio laiką. Taip pat jo forma nėra optimaliai aptaki, taigi oro srauto pasipriešinimas tik truputi mažesnis nei paprastos konstrukcijos. Labai svarbus faktorius yra tai jog visas korpusas yra anglies pluošto, tai reiškia kad antenos turi būti išorėje kadangi per šią medžiagą radijo bangos praktiškai nepraeina, tai prisideda prie didesnio srauto pasipriešinimo ir avarijos metu antena gali lengvai nulūžti.

Dar vienas modelis turintis dalinai aptakų kėbulą yra „Kore“ šis dizainas yra tik iš dalies uždaras, tačiau lengviau prieinami komponentai. Dizainas iš dalies aerodinamiškas tačiau baterija lieka neuždengta, tai sukuria nereikalingą pasipriešinimą ir baterija gali būti lengviau pažeista avarijos metu.



Pav. 1. 17 KORE dronas [15]

Šio rėmo konstrukcija gana paprasta todėl ir gamyba yra paprastesnė ir pigesnė nors kainos atžvilgiu yra tik apie 20 procentų pigesnis nei dronas „Nimbus“. Rėmo masė tik 95 g, o tai yra labai geras rezultatas tokio tipo korpusui. Sienelių storis apie 3 mm, tai užtikrina kad krentant rėmas atlaikys smūgius. Visi elektronikos komponentai yra puikiai apsaugoti nuo fizinės žalos.

1.6. Modernizuojamo įrenginio įvertinimas

Norint pasiekti aukštesnius rezultatus nei artimiausi konkurentai reikia sukompaktuoti optimalią elektronikos sistemą ir ją išbandyti galutinėje korpuso dizaino versijoje. Norint sukurti kuo geresnį lenktyninį droną reikia įgyvendinti šiuos uždavinius:

- Ištirti rinkos reikalavimus ir įvertinti svarbiausias savybes.
- Pagrindinis reikalavimas projektui yra sukurti optimizuota lenktyninį droną kuris būtų kuo lengvesnis ir talpintų visus komponentus viduje.
- Atlikti tyrimus ir pagaminti bent vieną prototipą kurio pasipriešinimas oro srautui būtų kuo mažesnis.
- Apskaičiuoti prototipo pasipriešinimo jėgą.
- Ištirti standartinį lenktyninį droną ir palyginti jo savybes su prototipu.

Įgyvendinus šiuos uždavinius produktas teoriškai turėtų būti vienas geriausių rinkoje. Projektuojant rėmą iš apžvalgos galima susidaryti viziją kaip turi atrodyti maksimaliai aptakus kūbulas. Apvalios ir pailgos formos korpusas su motorus laikančiomis rankomis turėtų būti sujungtas apie 50° kampu, nes tokiu kampu pasviręs dronas skrenda apie 80 km/h greičiu. Greičiui didėjant drono posvyris didėja tačiau nedaug, iki 65°. Labai daug energijos prarandama srautui aptenkant

motorus laikančias kojas, todėl jos turi būti simetrinio profilio ir atakos kampas lygus su propelerių sukuriamu srautu.

1. TYRIMAS

2.1. Rinkos reikalavimai.

Norint suprasti ko reikalauja rinka reikia išanalizuoti straipsnius, internetinius forumus, gamintojų tinklapiuose esančius atsiliepimus ir vertinimus.

Lenktyninių dronų gamintojų yra kelios dešimtys, dauguma jų gamina daugiau ar mažiau tokios pačios konstrukcijos rėmus, elektronikos detalės dažniausiai pritaikomos kitų specializuotų gamintojų. Pirmieji dronai su kuriais buvo pradėta lenktyniauti nebuvo konstruojami šiuo tikslu, tai buvo būdavo tik paprasta konstrukcija į kuria lengva integruoti reikiamą aparatūrą kad būtų galima mėgautis skrydžiu matant vaizdą video akiniuose transliuojamą tiesiai iš modelio. Kai visa ši sistema patobulėjo pilotai pradėjo lenktyniauti ir tobulinti šiuos prietaisus. Per kelis metus ši rinka išaugo daug kartų ir prognozuojama kad augimas tik didės. Dabar jau yra sugalvota daugybė konstrukcijų variacijų. Kiekvienais metais atsiranda galingesni varikliai, tikslesnės valdymo sistemos, geresni vaizdo siųstuvai ir kameros, elektronika tampa vis mažesnė ir galingesnė, baterijos taip pat stato naujus galios ir talpos rekordus. „theconversation.com“ straipsnyje apie dronus rašoma - dronų kūrimas ir tobulinimas yra tikrosios lenktynės.

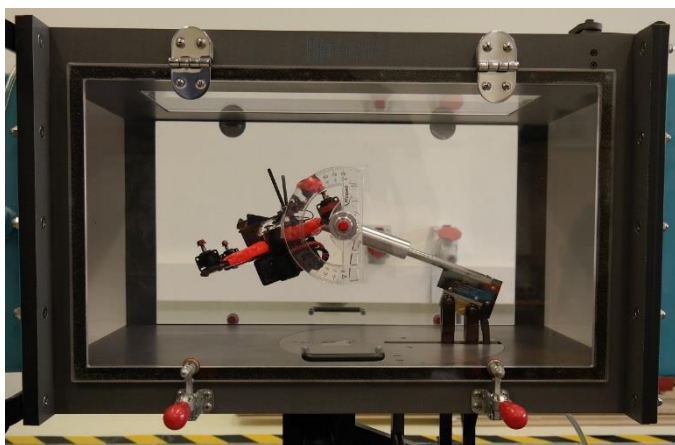
Internetiniuose forumuose galima rasti daug įvairių mėgėjų kuriamų dronų patobulinimų ir įvairiausių eksperimentų. Labai dažnai bandoma išspręsti pagrindines problemas kurios yra greitis, patikimumas, masė, vaizdo kokybė ir kita. Viena labiausiai akcentuojamų temų yra kaip pigiai galima pradėti užsiimti šiuo hobiu, todėl labai svarbu kad kuriamas prototipas galėtų būti pritaikomas nesudėtingai ir pigiai gamybai.

Apžvelgus įvairius atsiliepimus apie įvairius produktus, įvertinus daugumą rinkoje esančių lenktyninių dronų tampa labai aišku kaip turi būti tobulinami lenktyniniai dronai. Kolkas yra tik keletas tokių modelių kurie žengia į sekančią šių modelių dizaino kartą, tai yra uždaro korpuso tipo dronai. Tokios konstrukcijos korpusas suteikia keletą pranašumų. Pirmiausia visi komponentai yra apsaugoti nuo purvo, drėgmės ar kitų pašalinių daiktų. Antra - toks korpusas gali būti sukurtas aptakus ir gerokai sumažinti pasipriešinimą, o tai įtakoja skrydžio charakteristikas. Trečia - gali būti sumažinta masė, kadangi visi komponentai yra viduje, nebelyka poreikio kiekvieną komponentą apsaugoti nuo fizinės žalos. Baterijos dažnai turi apsaugines plokšteles ir gumines apsaugas bei prailgintus laidus tam kad tiktų į daugumą konstrukcijų. Antenos daromos su ilgu storu laidu ir plastikinėmis apsaugomis, uždareme korpuse tai visiškai nereikalinga.

Vienas svarbiausių kriterijų renkantis detales lenktynėms yra kainos ir kokybės santykis. Dažniausiai žmonės ieško pigesnių variantų kadangi dalis dažnai tenka keisti. Jei produktas yra brangesnis tačiau geros kokybės ir aukštos vertės dauguma šį ir renka. Šioje sferoje produkto vertė yra patikimumas, ilgaamžiškumas ir žinoma greitis. Teoriškai tobulas lenktyninis dronas turėtų būti kuo lengvesnis, atitikti FAI reikalavimus, būti visiškai sandarus, minimaliu aerodinaminiu pasipriešinimo koeficientu, lengvai ardomas ir kuo tvirtesnis. Sandarus rėmas turėtų būti pagamintas iš kompozitinių medžiagų kombinuojant su paprastomis pigesnėmis medžiagomis tam kad galutinio produkto gamybos kaina būtų konkurencinga tačiau būtų išlaikytos atsparumo savybės. Idealu būtų rėmą padaryti sandarų jog šis galėtų be pasekmių įkristi į vandenį ir skristi toliau.

2.2. Aerodinaminių savybių tyrimas

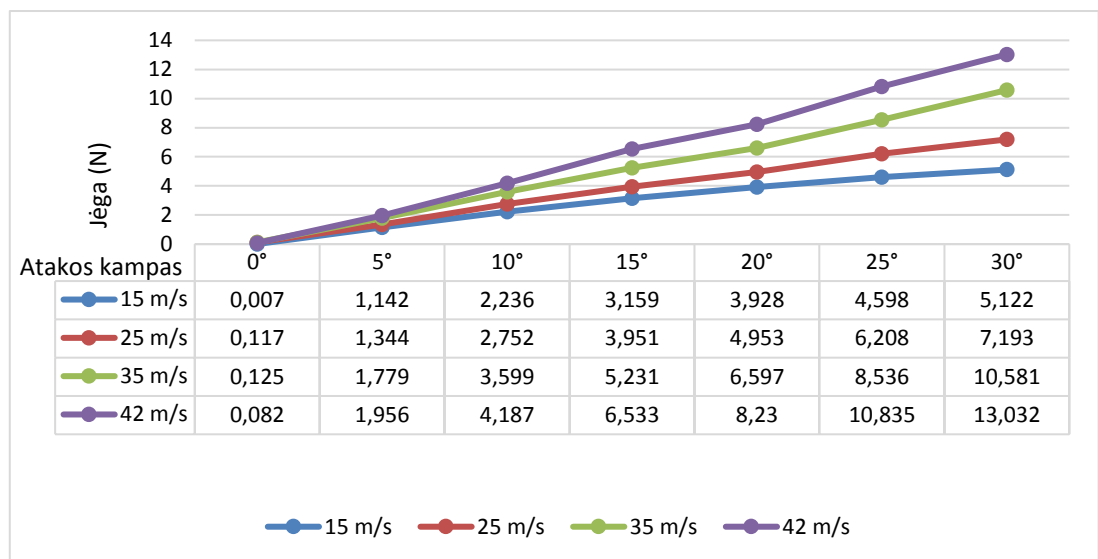
Kuriant naują produktą reikia jį palyginti su esamais lenktyniniais dronais kurie jau spėjo tapti standartiniais. Tyrimui pasirenku „Realacc“ rėmo konstrukcijos droną. Tai simetrinio dizaino anglies pluošto korpusas kurio masė 90 gramų, su sumontuota elektronika masė vidutiniškai siekia 560 gramų. Palyginimui renkuosi šį rėmą nes jis yra vienas dažniausiai naudojamų dėl prieinamos kainos ir kokybės santykio, jį daugiausia naudoja pažengę pilotai kadangi yra labai lengvas tačiau tuo pačiu ir labai mažai vietos elektronikos dalims sutalpinti. Pirmą tyrimą atlieku aerodinamiame tunelyje tam kad išsiaiškinti kaip aerodinaminės jėgos veikia šį droną įvairiose skrydžio padėtyse ir prie skirtingo greičio. Tyrimai atliekami nustatyti Pasipriešinimo koeficientą prie skirtingų atakos kampų.



Pav. 2. 1 bandymai „Aerolab EWT“ aerodinamiame vamzdyje.

Bandymai atliekami „Aerolab EWT“ vėjo tunelyje nustačius pastovų oro srauto greitį ir keičiant atakos kampą 5° intervalu pradedant nuo 0. Matavimai atliekami nustačius greitį 15 m/s ir

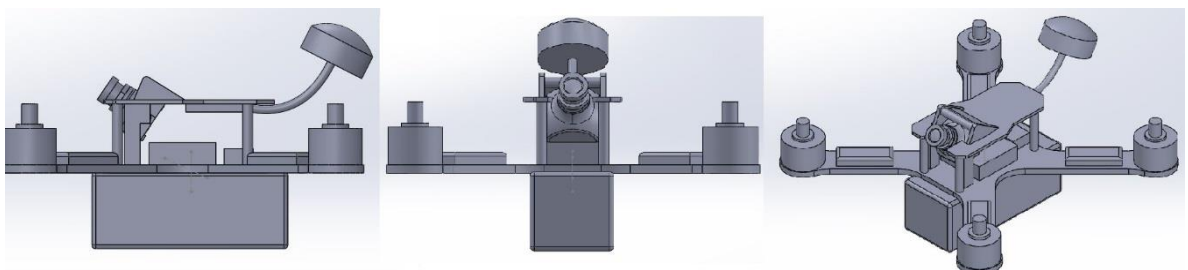
didinant 10m/s intervalais iki 42 m/s kadangi tai didžiausias tunelio išsvystomas srauto greitis jame įmontavus šį modelį. Paveiksle 2.2.1 matome 10° atakos kampu įtaisytą „Realacc“ droną.



Pav. 2. 2 „Realacc“ drono aerodinaminio pasipriešinimo rezultatai

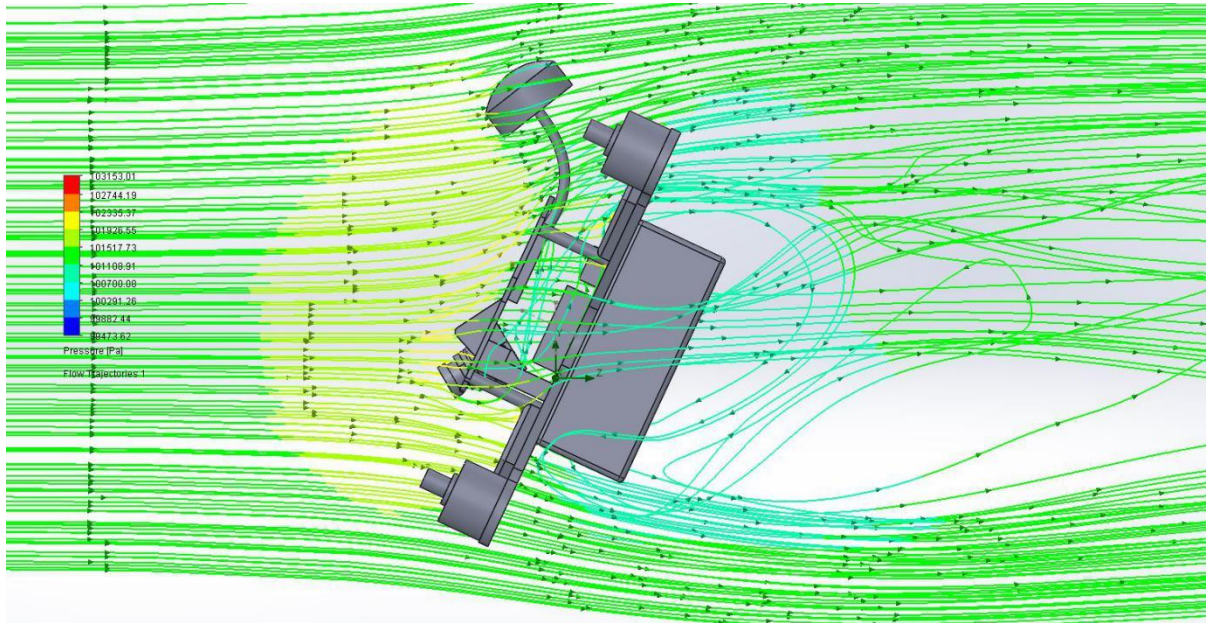
Aerodinamiame vamzdyje atliktuose bandymuose (2.2.1. lentelė) buvo nustatyta kad didžiausias pasipriešinimas susidaro prie 30° atakos kampo ir pasiekia 13,03 N tačiau išsamesniems tyrimams reikia atlikti bandymus iki 65° atakos kampo. Vėjo tunelyje dėl didelių modelio matmenų ir sudėtingų tyrimui reikalingų pozicijų tolimesnius tyrimus atlikti labai sudėtinga ir rezultatai būtų netikslūs, todėl išsamesnius tyrimus reikia atlikti kompiuterine programa.

Kompiuteriniams skaičiavimams ir simuliacijai atlikti pasirenku „Solidworks“ Flow simulation funkciją. Ši programa pakankamai tiksliai gali išmatuoti oro srauto sukuriamas jėgas. Atsižvelgiant į tai jog lenktyninio drono skrydžio dinamikos įtaka nuo korpuso formos kol kas nėra ištirta, aukštas rezultatų tikslumas nėra būtinas, šiame tyrime svarbiausia pasiekti ženkliai mažesnę pasipriešinimą.



Pav. 2. 3 Tiriamas „Reallac“ rėmo modelis.

Svarbiausias rodiklis tyrime yra pasipriešinimo jėga. 2.2.3 pav. Matome vizualiai reprezentuota srauto sukuriamą pasipriešinimą esant 65° pokrypio kampui. 65° kampas pasirenkamas dėl to kad, tai yra didžiausias posvyrio kampas prie kurio dronas pasiekia didžiausią greitį. Srauto greitis nustatytas 50m/s, realūs bandymai leidžia daryti prielaidą jog tai apytiksliai didžiausias pasiekiamas greitis esant optimalioms sąlygoms. Aiškiai matyti jog modelio priekyje atsiranda didelis aukštesnio slėgio burbulas, taip vyksta dėl didelės konstrukcijos plokštumos.



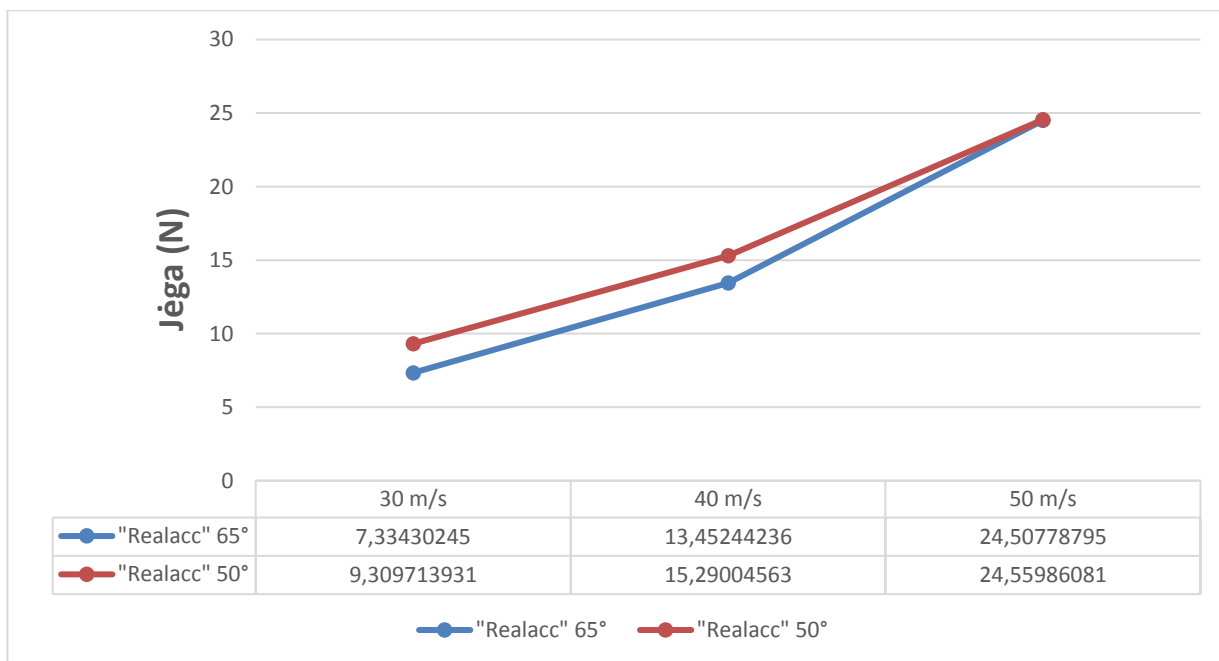
Pav. 2. 4 Simuliacija 40 m/s 65° posvyrio kampas

Susidariusios aukštesnio slėgio zonos sukuria didelį pasipriešinimą (2.2.3 paveiklas), nors propelerių sukuriamą trauką turėtų nusiurbti dalį šios zonos slėgio tačiau dalis vis tiek išlieka. Už modelio matome žemesnio slėgio zoną kuri yra konstrukcijos formos sukurtų sukūrių pristabdyto srauto pasekmė. Ši zona taip pat vizualiai parodo kur yra prarandama energija. Už Drono susidaro didžiuliai sūkūriai kurie stabdo aptekantį srautą, čia prarandama labai didelė energijos dalis.

Lentelė 2. 1 „Realacc“ rėmo srauto pasipriešinimo tyrimas prie 65° atakos kampo.

Realacc 65°	50 m/s	40 m/s	30 m/s
Pasipriešinimo jėga [N]	18.53	10.24	5.53
Jėga ašiai (X) 1	0.01	0.12	0.04
Jėga ašiai (Y) 1	-3.23	-2.81	-0.83
Jėga ašiai (Z) 1	18.24	9.85	5.47

Lentelėje matome tyrimo rezultatus, didžiausias pasipriešinimas siekia 18,5 N prie 50 m/s skraidant 30m/s greičiu pasipriešinimas siekia 5,54 N. Apytiksliai lenktynėse vidutinis greitis būna apie 30 m/s todėl pasipriešinimas prie šio greičio yra svarbus nes tai prailgina skrydžio laiką.

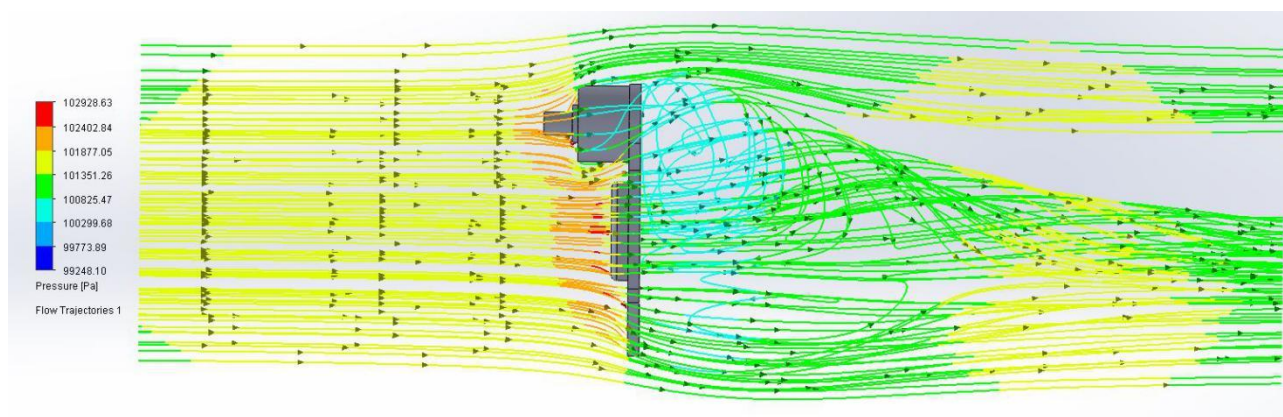


2.2.4 pav. Realacc rėmo aerodinaminis pasipriešinimas

Grafike matome dviejų bandymų rezultatus, pirmasis bandymas atliktas modelį pastačius 50° kampu į srautą, antrasis 65°. Rezultatas labai panašus, abiem atvejais pasipriešinimas prie 50 m/s siekia apie 18 N. Norint išsiaiškinti kurie konstrukcijos komponentai sudaro didžiausią pasipriešinimą reikia ištirti rėmo dalis atskirai nuo konstrukcijos. Didžiausia įtaką pasipriešinimui turėtų daryti rankos laikančios variklius. Todėl šį komponentą pasirenku ištirti nuosekliau

2.3 Variklį laikančios rankos pasipriešinimo tyrimas.

Tyrimas atliekamas pasirinkus 50m/s greitį nes prie didžiausio pasiekiamo greičio matomos didžiausios slėgio zonos ir sūkuriai. Atlikus komponento tyrimą matome susidarančias aukšto slėgio zonas ir sūkurius. Didžiausia aukšto slėgio zona susidaro prieš pat plokštumą, šį komponentą būtina suprojektuoti simetrinio profilio sparno tipo tam kad aptekantis srautas pasiskirstytu vienodai aplink komponentą.



Pav. 2. 5 Variklį laikančios rankos pasipriešinimo tyrimas.

Už rankos žemo slėgio zonoje susidaro sūkuriai kurių pasekmė taip pat prarasta energija. Projektinėje dalyje reikia šį konstrukcijos komponentą suprojektuoti kuo aptakesnį, tikslas kuo labiau sumažinti aukšto slėgio zoną ir susidarančius sūkurius. Vidutinė gauta pasipriešinimo jėga yra 2.72N tai gana daug kaip vienam komponentui.

2. PROJEKTINĖ DALIS

3.1 Lenktyninio drono korpuso projektavimas

Šioje dalyje pagrindinis uždavinys suprojektuoti prototipą kuriuo ateityje galėtų būti paremtas modelis skirtas gamybai. Prototipo pavadinimas „MS-X“. Svarbiausias reikalavimas projektuojant korpusą yra kuo mažesnis kiekvieno korpuso komponento pasipriešinimas. Tikslui pasiekti reikia visus elektronikos komponentus suspausti taip kad pats korpusas būtų kiek įmanoma mažesnis, lengvesnis ir aptakios formos. Prototipas bus spausdinamas 3D spausdintuvu iš PLA plastiko. Tokiu būdu sutaupoma daug laiko, tačiau gamybai tai nėra tinkama technologija kadangi naudojami plastikai yra per silpni tokiam aparatui. Skraidant lenktyniniais dronais labai dažnai pasitaiko kritimų ir smūgių todėl vystant toliau šį produktą reikėtų nešančią konstrukcijos dalį gaminti iš kompozitinių medžiagų.

Lentelė 2. 2 PLA ir ABS plastikų palyginimas

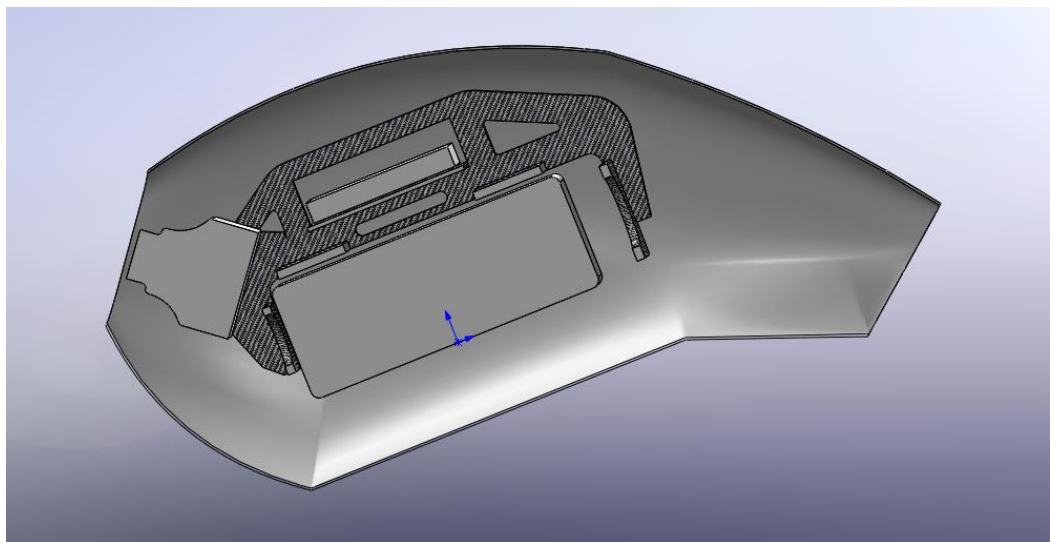
Savybės	ABS	PLA
Stipris tempiant **	27 MPa	37 MPa
paillėjimas	3.5 - 50%	6%
lenkimo modulis	2.1 - 7.6 GPa	4 GPa
tankis	1.0 - 1.4 g/cm ³	1.3 g/cm ³
Lydimosi temperatūra	180 °C	173 °C
Biologiškai skaidžios	Ne	Taip

Pasirenkamas PLA plastikas prototipo spausdinimui nes jis yra pigus ir šiek tiek tvirtesnis už ABS. Spausdinimas PLA plastiku yra gana paprastas procesas ir nereikalauja priežiūros, kadangi visas detales šiam modeliui spausdinti trunka apie 40 valandų tai yra geriausias pasirinkimas. Tvirtiausias plastikas naudojamas spausdinimui yra nailonas arba ABS maišyta su anglies pluošto drožlėmis, tačiau šie plastikai gana brangūs ir modelis bus skirtas tik tyrimams todėl didelis tvirtumas nėra svarbu. Užtenka kad korpusas atlaikytų nedidelius smūgius.

Pirmiausia projektuojamas korpusas. Kuriant dizainą remiuosi piešimo aplink komponentus metodu todėl pradedu išdėliojant pagrindinius komponentus apie 60° atakos kampu į srautą, bandoma rasti geriausią komponentų poziciją kuri užimtų kuo mažiau vietos ir taip kad piešiant korpusą galima būtų išgauti aptakią ir patrauklią formą. Labai svarbu atkreipti dėmesį į tai jog masės centre turi būti įtaisytas skrydžio valdiklis, ir masės centras turi būti lygiai atitolęs nuo visų

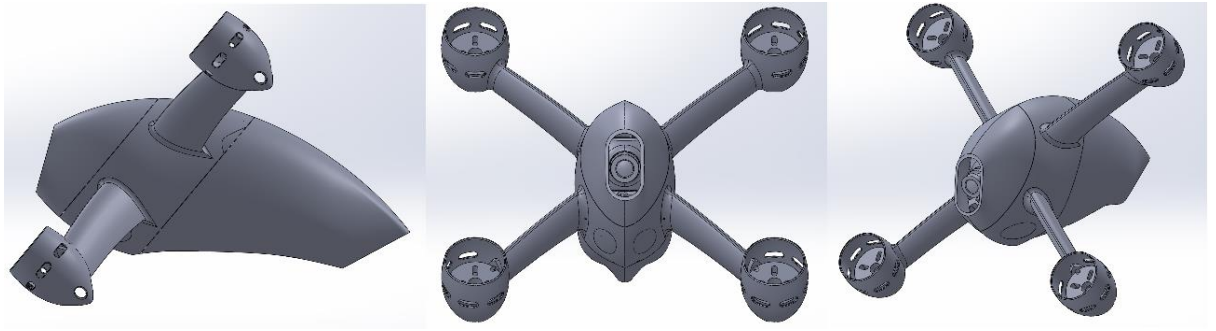
motorų ašių. Rezultate gaunama jog geriausia pozicija komponentams yra nuoseklia tvarka nuo galo - baterija, skrydžio valdiklis, kamera, video siųstuvus su antena virš baterijos, greičio reguliatoriai baterijos šonuose ir apačioje, imtuvas virš baterijos už video siųstuvo.

Piešiant preliminarią formą labai svarbu kad korpusas atrodytų pritaikytas funkcijai atlikti, t.y. turi atrodyti greitas, formos turi priminti sportinius automobilius, kovinius lėktuvus, lenktyninius motociklus. Dizainas labai svarbu norint sukurti produktą gamybai, modelio išvaizda turi būti ir funkcionali ir patraukli. Kadangi rinkoje nėra panašaus produkto piešdamas formas bandau išgauti kažką naujo. Dronu lenktynės tapatinamos su žvaigždžių karų filmuose matomais kosminiais aparatais, beveik visi žmonės kurie užsiima šia veikla yra dideli mokslinės fantastikos fanai, todėl labai svarbu kad dizainas primintų kažką matyto filmuose, taip produktas turės gerokai didesnę pasisekimą. Nuo pirmojo dizaino iki pateikiamo šiame darbe buvo apie 10 – 15 korpuso variacijų. Pirmiausia piešiama aplink komponentus lašo forma. Ieškant teisingos formos reikia remtis fantastiniuose kompiuteriniuose žaidimuose ir filmuose matytais aparatais.



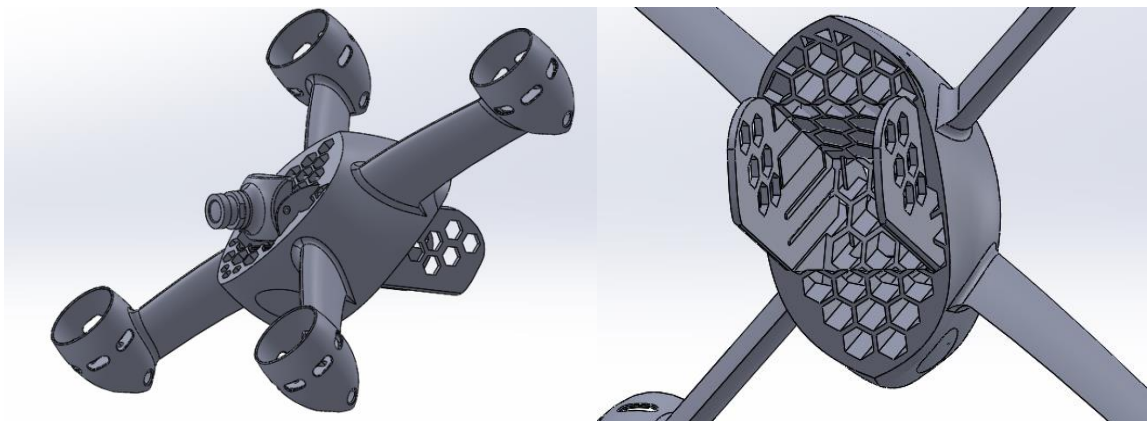
Pav. 3. 1 Vienas pirmųjų dizaino variantų, profilio pjūvis.[17]

Pirmieji dizaino eskizai buvo projektuojami gamybai dalinai iš kompozitinių medžiagų, Spausdinti buvo planuojama tik išorinį kevalą, tačiau šį dizainą atmečiau kadangi prototipo gamybai reikėtų skirti gerokai daugiau laiko. Šis dizainas palyginus su sekančiais gana didelis ir didėjant atakos kampui ženkliai didėtų pasipriešinimas.



Pav. 3. 2 Pirmasis baigtas dizainas „MS-1“

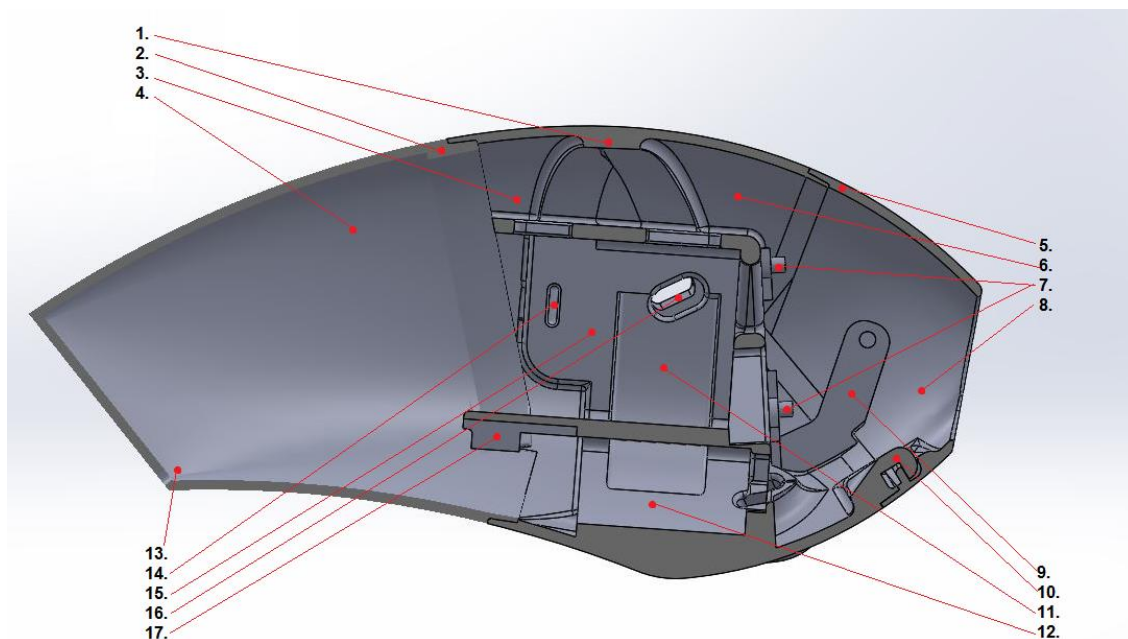
Tai simetrinio kryžiaus dizainas, tokio tipo konstrukcija lenktyniniuose dronuose yra populiariausia, tačiau kuriant išskirtinį modelį reikia netradicinės formos dizaino. Šio dizaino taip pat buvo atsisakyta nes modeliui trūko unikalios konstrukcinės išvaizdos. Ši konstrukcija buvo pritaikyta spausdinimui iš PLA plastiko. Vidinėje konstrukcijoje, tūryje kuriame nėra elektronikos komponentų, sudarytas korys, tačiau korpusas vis tiek yra sunkus palyginus su „Realacc“ rėmu ir tokia konstrukcija būtų labai sunkiai pritaikoma gamybai iš kompozitinių medžiagų. Todėl buvo kuriama nuo pradžių sekanti versija kurioje atsispindi ankstesnių variacijų patirtis.



Pav. 3. 3 „MS-1“ vidinė konstrukcija.

Galutinis konstrukcijos dizainas piešiamas stipriai laikantis tikslo kad prototipo 3D spausdintuvu atspausdintą dizainą būtų galima kuo lengviau pritaikyti gamybai, todėl atsisakyta sudėtingų konstrukcijų. Naujoje konstrukcijoje išskiriami elementai kurie turėtų būti gaminami iš skirtingų medžiagų. Projektuojant modelį konstrukcijos elementus darau tokio dydžio kokio būtų detalės skirtos gamybos versijai.

MS-2 prototipo konstrukcija galiausiai gavosi supaprastinta ir išlengvinta.



Pav. 3. 4 Galutinio dizaino „MS-2“ rėmo konstrukciniai ir dizaino elementai. 1 - Centrinės rėmo dalies sutvirtinimo elementas. 2 - Galinio dangtelio sujungimas su centrine dalimi. 3 - Vieta imtuvui. 4 - Galinis dangtelis. 5 - Priekinio dangtelio sujungimas. 6 – Vieta video siųstuvui ir antenai. 7 – skrydžio valdiklio laikiklis. 8 – priekinis dangtelis. 9 – Video kameros laikiklis. 10 – Priekinio dangtelio kabliukas. 11 – Vieta galinių variklių greičio reguliatoriams. 12 – Vieta priekinių variklių greičio reguliatoriams. 13 – Vieta šviesos diodams. 14 – Iškarpa baterijos laikančiajam dirželiui tvirtinti. 15 – Baterijos pozicija ir laikančioji konstrukcija. 16 – Tunelis laidams į variklį. 17 – Baterijos jungties pozicija.

Pradžioje nupiešiamas korpuso kevalas, 2mm storio, su platesne iškarpa kamerai kad būtų galima keisti kameros kampą apie 20°. Forma paremta sklandytuvų pavyzdžiu, kadangi tai aptakiausia ir ekonomiškiausia forma, tačiau pritaikoma pasirinktiems komponentams. Vidurinė korpuso dalis su kuria jungiasi motorus laikančios rankos turi būti pakankamai tvirta kad nuo nedidelių smūgių nesulūžtų todėl pridedama sutvirtinimo elementas X formos pastorinimas viršutinėje sienelės dalyje (3.5. pav. 1.) Korpuso apačioje tarp priekinių motorų rankų paliekamas pastorintas kevalas, kadangi ši vieta turės atlaikyti didesnę jėgą grubaus nusileidimo metu.

Aplink akumuliatorių piešiama dėžutė į kurią įstačius akumuliatorių jis taps dalis konstrukcijos kadangi tolerancija labai nedidelė, taip mažinama masė ir kuriai kompozitinį dizainą bus paprasta pagaminti tokią formą akumulatoriaus laikikliui iš kompozitinių medžiagų plokštelių (3.5. pav. 15.). Akumuliatoriui įtvirtinti ir laikyti pozicijoje pasirenkama nailoninė virvutė su velkro lipduku ant galo. Taip bus sumažinama masė, dažniausiai dronuose naudojami velkro dirželiai kurie sunkesni, taip pat paprastas ir greitai prieinamas įtvirtinimas yra privalomas lenktyniniuose dronuose. Virvutei įtvirtinti palieku mažus tunelius abiejuose korpuso šonuose (3.5. pav. 14.). Baterijos jungties

vietą pridedu į dėžutės apatinę dalį, taip bus panaudota mažiausias kiekis laido sujungiant elektronine sistema (3.5. pav. 17).

Skrydžio valdikliui padaromi pakėlimai ir ertmės aplinkui laidams nuvesti į kitus komponentus (3.5. pav. 7.). Valdiklio posvyrio kampas nėra svarbu kadangi kompiuterinėje programoje galima nustatyti plokštės kampą ir sukalibruoti taip kad kompiuteris suprastų poziciją.

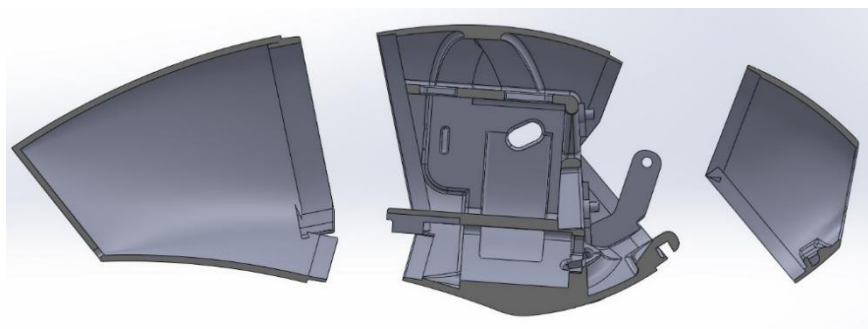
Prie motorus laikančiųjų rankų padaromos ertmės elektroniniams greičių reguliatoriams (3.5. pav. 11 ir 12). Čia reguliatoriams yra geriausia vieta nors ir sunkiau sudėti į korpusą tačiau taip sutaupoma laido ilgio ir tai labai svarbu atsižvelgiant į galutinę masę.

Imtuvui ir video siųstuvui ertmė paliekama virš baterijos dėžutės (3.5. pav. 3 ir 6), čia taip pat talpinama ir antena. Šiems komponentams priėjimas nėra svarbus kadangi video imtuvo nustatymus galima keisti valdymo siųstuvo pagalba.

Kameros laikiklis projektuojamas taip kad būtų kuo geresnis priėjimas prie kameros ir skrydžio valdiklio. (3.5. pav. 11 ir 12) Kamera turi būti lengvai reguliuojama apie 20° vertikaliai.

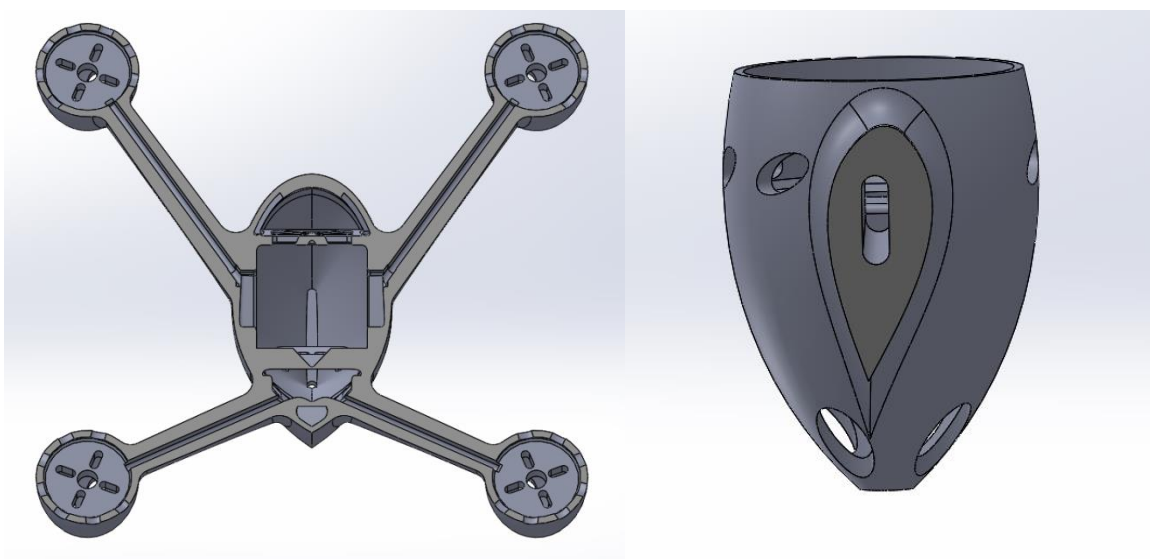
Priekinis kameros dangtelis (3.5. pav. 8) atskiriamas nuo korpuso ir sukuriama sujungimo lūpa, dangtelis turi būti sujungiamas su pagrindiniu korpusu taip kad būtų paprastas priėjimas prie skrydžio valdiklio mini usb jungties, taip pat įkomponuoju kabliuką dangtelio apačioje, taip dangtelis laikysis savo vietoje agresyvių manevrų metu.

Galinis dangtelis (3.5. pav. 4) taip pat atskiriamas nuo korpuso taip kad nuėmus dangtelį liktų patogus priėjimas prie baterijos ir centrinėje dalyje esančių komponentų. Sukuriama sujungimo lūpa (3.5. pav. 2) kadangi šis dangtelis didesnis padaromas 2 mm pastorinimas iš vidaus aplink sujungimo lūpą kad sutvirtinti konstrukciją. Dangtelio gale paliekama skylė laidams praveisti į šviesos diodus.

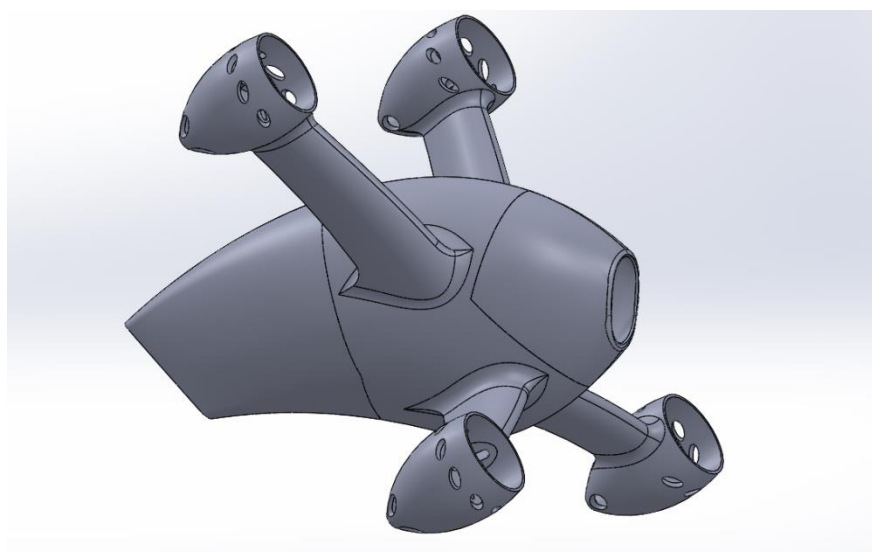


Pav. 3. 5 „MS-2“ surinkimo iliustracija.

Sukuriamos simetrinio sparno profilio motorus laikančios rankos su tuneliais viduje laidams pravesti. Pasirenku tokią formą kadangi ši konstrukcijos dalis turi kuo mažiau įtakoti valdymą, t.y. negali sukurti keliamosios galios jokia kryptimi. Šios rankos daromos statmenos oro srautui esant didžiausiam greičiui, kurio metu drono atakos kampas yra apie 65° taip bus užtikrinama kad didžiausio greičio metu rankos sudarys minimalų pasipriešinimą. Variklių laikikliai daromi aptakūs ir paliekamos angos oro srautui tekėti kuris vėsina motorus, taip pat šis variklių kevalas atliks apsaugos funkciją. Priekinės rankos daromos nuo žemiausios korpuso dalies tam kad būtų trumpesnės ir tvirtesnės. Ant visų lenktyninių dronų ši konstrukcijos vieta dažniausiai lūžta pirma.

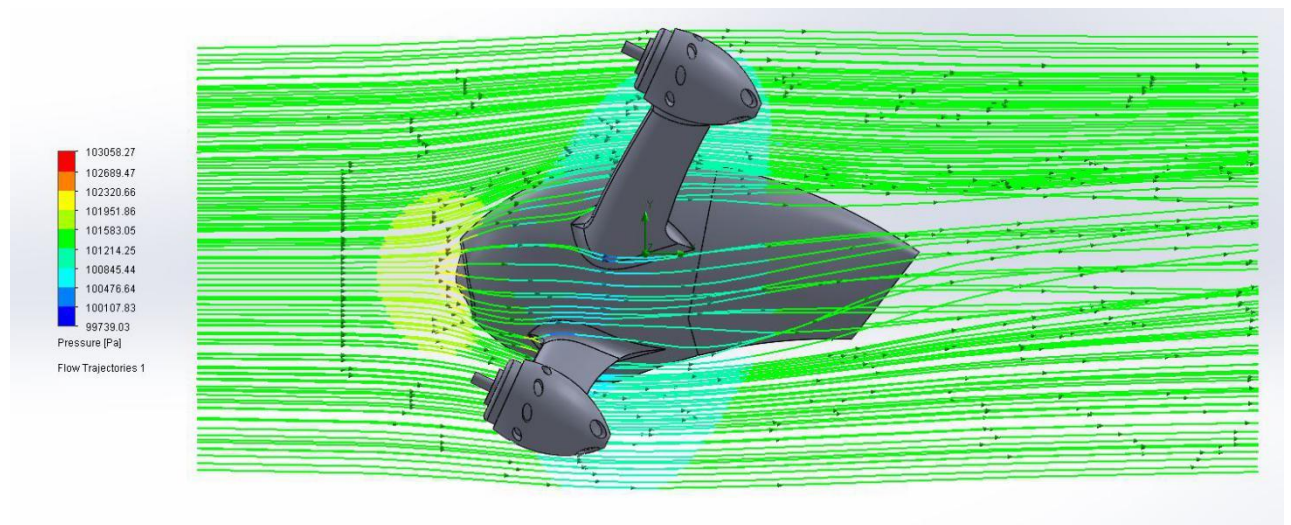


Pav. 3. 6 motorus laikančios rankos.



Pav. 3. 7 pav. „MS-2“ baigtas korpusas

Tai yra dizainas kuris primena mokslinės fantastikos filmuose matytus aparatus, o šioje nišoje tai labai populiaru tema. Šis modelis ne tik gerai atrodo bet ir yra praktiškas. Kiekvienas dronų pilotas yra patyręs ką reiškia atviras korpusas, modelio viduje prisikaupia žolių purvo ir visko ką propeleriai kliudo yra metama į visas puses. Todėl uždaras ir sandarus korpusas yra visų šia veikla užsiimančių žmonių svajonė, tačiau rinkoje tokio prieinamo pasiūlymo kol kas nėra. Baigus projektuoti korpusą reikia ištirti aerodinaminį pasipriešinimą ir palyginti su „Realacc“ rėmu. Tyrimas vykdomas identiškais programos nustatymais kaip ir su „Realacc“ rėmu.

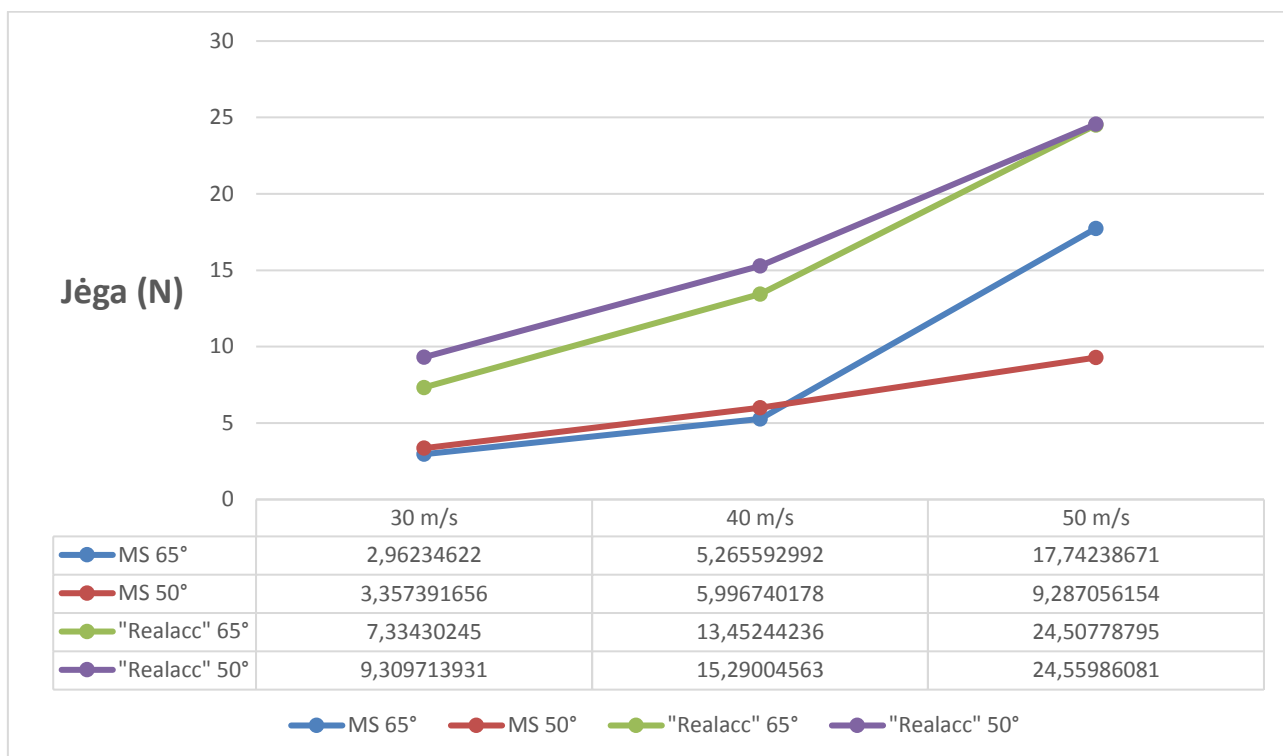


Pav. 3. 8 „MS-2“ korpuso pasipriešinimo tyrimas

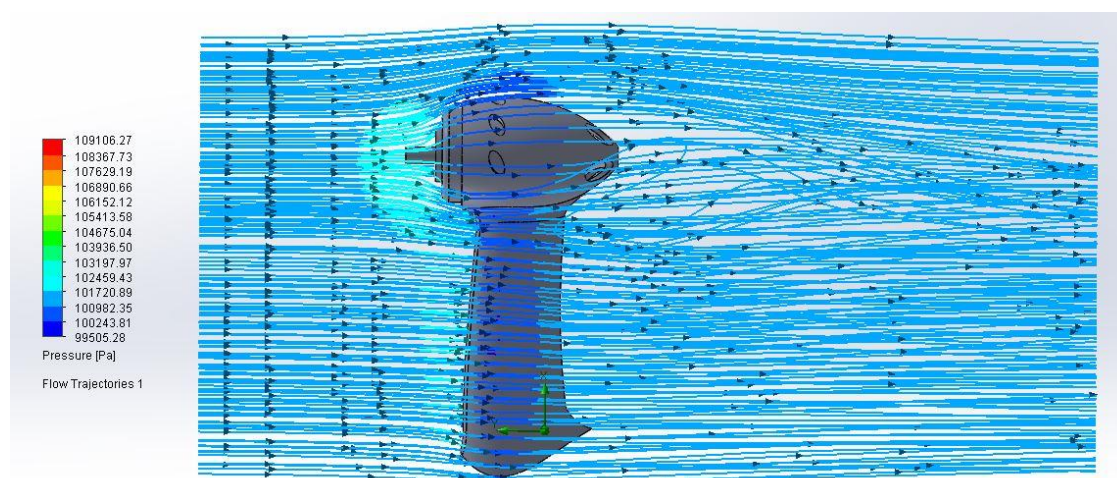
Atlikus tyrimą matome kad srauto aptekėjimas ženkliai lygesnis ir korpusas nesukuria sukurių ir žemo slėgio zonos už jo. Priekyje kameros matome nedidelį šiek tiek aukštesnės slėgio zonos burbulą, tačiau šis gerokai mažesnis už „Realacc“ tyrimo metu gautą vizualinį palyginimą.

3.2 lentelėje matome rezultatus gautus tyrimo metu. Didžiausias pasiekiamas pasipriešinimas tik 17,74 N tai yra ženkliai mažiau nei pirmojo tirtu rėmo. 30 m/s sraute pasipriešinimas tik apie 3 N tai dvigubai mažiau nei „Realacc dizaino rėmo.

3.2 lentelė MS-2 ir Realacc aerodinaminio pasipriešinimo palyginimas

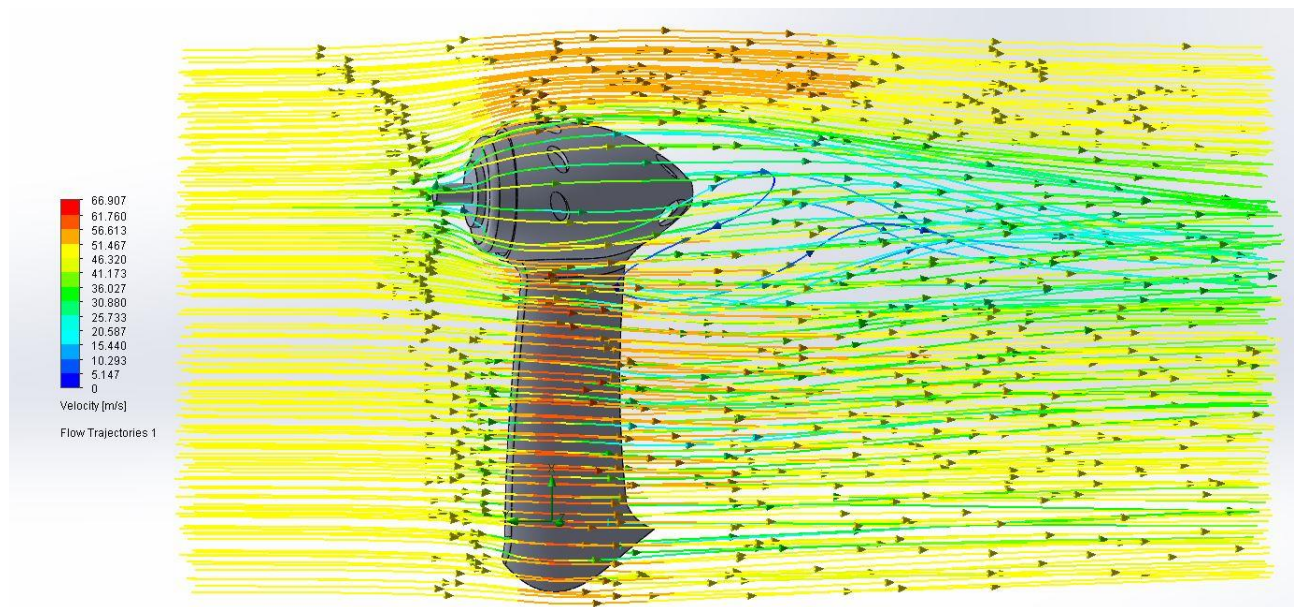


Iš lentelės matyti kad „Realacc“ rėmo pasipriešinimas nuo atakos kampo mažai keičiasi, turint omenyje kad šis rėmas nebuvo projektuojamas būti aptakus to buvo galima tikėtis. „MS-2“ rėmo pasipriešinimas prie skirtingo kampo keičiasi labai ženkliai, o lyginant su „Reallac“ skirtumas beveik dvigubas. Galima drąsiai teigti kad tikslas pasiektas, tačiau tolimesniam tobulinimui reikia nuoseklesnių tyrimų todėl atlieku motorą laikančios rankos tyrimą identiškais nustatymais kaip ir pirmajame tyrime.



Pav. 3. 9 „MS-2“ rėmo galinės motorus laikančios rankos slėgio pasiskirstymo tyrimas.

Srauto tyrimo vizualioje reprezentacijoje matome labai nedidelę šiek tiek aukštesnio slėgio zoną konstrukcinės dalies priekyje. Susidariusios slėgio zonos aplink rėmą labai nedidės tačiau zona už motoro sukuria sūkurius ir suardo tolygų srautą, šia vieta reikėtų ištirti nuosekliau ir tobulinti. Tolimesniam tyrimui pasirenku srauto greičio vertinimą. Šis metodas vizualiai parodo kurioje vietoje srautas sulėtėja ir kur pagreitėja, tai tiesiogiai įtakoja pasipriešinimą ir susidarančio slėgio zonas. Remiantis šiais tyrimais reikia keisti konstrukcijos matmenis, formas ar pridėti srautą nukreipiančių elementų kurie paskirstant aptekėjimą sumažintų aukšto slėgio zonas.



Pav. 3. 10 „MS-2“ motorą aptekancio srauto greičio tyrimas.

Tyrimas rodo jog zona esanti už motoro yra nuostolingiausia, srautas šioje zonoje ženkliai sulėtėja. Konstrukcija aplink motorą reikėtų projektuoti labiau ištemptą srauto kryptimi ir eksperimentuoti srautą kreipiančiais elementais.

Lentelė 2. 3 „MS-2“ rėmo galinės motorus laikančios rankos pasipriešinimo palyginimas su „Reallac“ rėmo ranka.

Dronas	50 m/s	
	MS-2	Realacc
Pasipriešinimo jėga [N]	1.018	2.73

Tyrimo rezultatai rodo jog rankos sukuriamas pasipriešinimas beveik tris kartus mažesnis už „Realacc“ rėmo ranką. Tai yra labai geras rezultatas, tačiau reikėtų išbandyti daugiau variklio apsaugų variacijų ir dar labiau sumažinti pasipriešinimą.

3.2 Pasipriešinimo koeficiento skaičiavimas.

Kūno pasipriešinimas susideda iš trinties ir slėgio pasipriešinimo. Trinties pasipriešinimas pasireiškia dėl klamos jėgų sąveikos su aptekamo kūno paviršiumi, o slėgio pasipriešinimas, dėl atsiradusio slėgių skirtumo. Šių dviejų pasipriešinimų visuma, vadinama profiliniu pasipriešinimu. Buki kūnai, paprastai turi tiksliai išreikštą srauto atplyšimo vietą ir didžiausią jų profilinio pasipriešinimo dalį sudaro slėgio pasipriešinimas.

Kūnų pasipriešinimas priklauso nuo kūno formos, dydžio, atakos kampo ir srauto parametrų. Kūno pasipriešinimo jėgos dydis gali būti išreikštas tokia formule:

$$D = C_D \frac{\rho V^2}{2} S$$

Čia:

D – pasipriešinimo jėga, N

C_D – pasipriešinimo koeficientas

ρ – oro tankis, kg/m³ (jūros lygyje esant 15C° tankis lygus 1.225 kg/m²)

V – srauto greitis, m/s

S – kūno plotas, m²

Lentelė 3. 1 Aerodinaminio pasipriešinimo koeficientai

	30 m/s	40 m/s	50 m/s
Realacc 50°	1.424	1.317	1.351
Realacc 65°	1.122	1.318	1.353
MS-2 50°	0.513	0.516	0.511
MS-2 65°	0.453	0.482	1.042

Rezultate matome kad Rėmo „MS-2“ pasipriešinimo koeficientas daugiau nei perpus mažesnis tačiau 65° atakos kampu ir 50 m/s greičio koeficientas pakyla iki 1,04

3.3 Apibendrinimas

Atlikus tyrimus paaiškėjo, kad paprasto dizaino lenktynėms skirti dronai daug energijos praranda dėl konstrukcijos sukeliama oro srauto pasipriešinimo. Suprojektuotas aptakus drono korpusas sumažina pasipriešinimą daugiau nei du kartus, išlaikant tą pačią masę. Toliau vystant dizaino tobulinimą reikia jį pritaikyti gamybai. Gamybai skirtas rėmas turėtų būti gaminamas iš anglies

pluošto ir plastiko. Konstrukciją reikėtų perdaryti taip kad variklių rankos ir baterijos dėžutė būtų gaminami iš anglies, o kevalas ir aptakių formų dalys, skirtos uždengti konstrukciją iš tvirto plastiko. Tokį dizainą galima patentuoti ir parduoti gamintojams kurie superka dizaino patentus.

Išvados ir pasiūlymai

Atlikus lenktyninių dronų aerodinaminius tyrimus „Solidworks Flow simulation“ kompiuterine programa ir aerodinaminiam vamzdyje, gautos šios išvados.

1. Ištirta „Realacc“ drono aerodinaminė pasipriešinimo jėga esant 50 m/s ir 65° atakos kampui yra 24,5 N o aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas 1.353 šio modelio atakos kampas pasipriešinimą mažai įtakoja.
2. Projektuojant išbandytos kelios modelio versijos ir prieita prie prototipo dizaino „MS-2“ kuris yra 8% lengvesnis. Paruošto skrydžiui masė 580 g. Didžiausia momentinė galia 2660 W didžiausia išvystoma trauka 62 N.
3. Sukurtos konstrukcijos aerodinaminis pasipriešinimas esant 50 m/s ir 65° atakos kampui siekia 17,74 N, mažinant atakos kampą pasipriešinimas taip pat mažėja. Pasipriešinimo koeficientas prie 50 m/s ir 65° atakos kampo yra 1,04 tačiau sumažinus atakos kampą iki 50° koeficientas yra tik 0,5.
4. Ištyrus dronų konstrukcijos detales laikančias variklius paaiškėjo jog „Realacc“ drono rankos sukuriama pasipriešinimas siekia iki 2,7 N o suprojektuoto tik 1 N.

Informacijos šaltinių sąrašas:

1. Flight control of unmanned rotorcrafts for enhanced situational awareness. New York [N.Y.] : Novinka, 2014 [žiūrėta 2017-2-16] ISBN: 9781619423114.
2. edited by Douglas M. Marshall. Boca Rato. Introduction to unmanned aircraft systems [Fla.] : CRC Press, 2016. ISBN: 9781482263930.
3. Torres-Sánchez, Jorge ; López-Granados, Francisca ; De Castro, Ana Isabel ; Peña-Barragán, José Manuel. Configuration and specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) . Prieiga per internetą: [žiūrėta 2017-05-15]:
<http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.ktu.edu/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=af0d8ae5-1828-440c-92b9-fe00df246e2c%40sessionmgr4007&hid=4106>
4. Intelligent Flight Control of an Autonomous Quadrotor. [žiūrėta 2017-05-18]: Prieiga per internetą: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/6587/intech->
5. Chepizhenko, V.I. ; Tryzna, O.O. Maintenance Planing Optimisation of Unmanned Aerial Systems. Oct. 2015, pp.120-123 Prieiga per internetą [žiūrėta 2017-05-14]:
<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.ktu.edu/stamp/stamp.jsp?arnumber=734657>
6. Castillo, Pedro ; Lozano, Rogelio ; Dzul, Alejandro. Modelling and control of mini-flying machines ISBN: 978-1-85233-957-9. [žiūrėta 2017-01-20]: Prieiga per internetą:
<https://link-springer-com.ezproxy.ktu.edu/book/10.1007%2F1-84628-179-2>
7. . Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017 Multi-rotor drone tutorial: systems, mechanics, control and state estimation [žiūrėta 2017-04-05]: Prieiga per internetą: <https://link-springer-com.ezproxy.ktu.edu/article/10.1007/s11370-017-0224-y>
8. Elektronikos komponentai, varikliai ir elektroniniai greičio reguliatoriai, [žiūrėta 2017-05-27]: prieiga per internetą: <http://www.miniquadtestbench.com/motors/>
9. Nimbus dronas, [žiūrėta 2017-02-03]: prieiga per internetą: <http://aerodyne-rc.com/>
10. Akumuliatoriai ir jų bandymai, [žiūrėta 2017-03-25]: prieiga per internetą:
<http://www.propwashed.com/graphene-lipo-battery-performance-tests/>

11. FAI F3U kategorijos varžybų taisyklės, [žiūrėta 2017-01-23]: prieiga per internetą:
<http://www.fai.org/fai-documents>
12. Europos dizaino patentų biuras, [žiūrėta 2017-01-18]: prieiga per internetą:
<https://euipo.europa.eu/ohimportal/en/designs>
13. „Hoby King“ išradimų pirkimo svetainė, [žiūrėta 2016-11-12]: prieiga per internetą:
<https://support.hobbyking.com/hc/en-us/categories/200257774-Inventor-Portal>
14. [Jack Langelaan](#) Straipsnis, How might drone racing drive innovation? 2016 [žiūrėta 2017-03-08]: prieiga per internetą:<http://theconversation.com/how-might-drone-racing-drive-innovation-57933>
15. Diskusijos apie lenktyninių dronų savybes, [žiūrėta 2017-04-10]: prieiga per internetą:
<https://www.rcgroups.com/forums/index.php>
16. V. P. Gor'kov, N. L. Grigorenko, and A. E. Rummyantsev, QUADCOPTER TERMINAL CONTROL IN THE PRESENCE OF DISTURBANCES Computational Mathematics and Modeling [interaktyvus]. October, 2017, Prieiga per: Science Direct
17. Giancarlo Genta, Are there severe limitations to the bioinspired approach in machine design? Mechanical Engineering Science [interaktyvus] 2016. Prieiga per: Science Direct
18. Giuseppe Guido, Vincenzo Gallelli, Daniele Rogano, Alessandro Vitale. Evaluating the accuracy of vehicle tracking data obtained from Unmanned Aerial Vehicles. International Journal of Transportation Science and Technology 5 (2016) Prieiga per: Science Direct
19. Emmanouil N. Barmponakis, Eleni I. Vlahogianni, John C. Golias. Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges. International Journal of Transportation Science and Technology 5 (2016). Prieiga per: Science Direct