



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Saulės elementų naudojimo efektyvumo tyrimas bepiločiuose
orlaiviuose**

Baigiamasis magistro projektas

Egidijus Mykolaitis
Projekto autorius

Doc. Darius Gailius
Vadovas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Saulės elementų naudojimo efektyvumo tyrimas bepiločiuose orlaiviuose

Baigiamasis magistro projektas
Aeronautikos inžinerija (621H40001)

Egidijus Mykolaitis
Projekto autorius

Doc. Darius Gailius
Vadovas

Dr. Valdas Grigaliūnas
Recenzentas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Egidijus Mykolaitis

Saulės elementų naudojimo efektyvumo tyrimas bepiločiuose orlaiviuose

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Egidijaus Mykolaičio, baigiamasis projektas tema „Saulės elementų naudojimo efektyvumo tyrimas bepiločiuose orlaiviuose“ 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)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa: Aeronautikos inžinerija (621H40001)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO
UŽDUOTIS

Studentui: Egidijui Mykolaičiui

1. Baigiamojo projekto tema:

Saulės elementų naudojimo efektyvumo tyrimas bepiločiuose orlaiviuose

Solar Energy Efficiency research on Non-pilot Aircraft

2. Projekto tikslas ir uždaviniai:

Nustatyti saulės baterijų naudojimo efektyvumą bepilotėje skraidyklėje. Tiksliams rezultatams gauti - projektuoti ir pagaminti skrydžiui ir tyrimui tinkamą orlaivį.

3. Pradiniai Projekto duomenys:

Saulės baterijų naudojimas orlaiviuose, kurių sparno mostas iki 2m.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos:

Pagaminta sistema turi būti tinkama atlikti bandymus.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

Literatūros apžvalga, tyrimo eiga, rezultatų analizavimas.

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis

Vizualus atliktų darbų pateikimas projekto eigoje.

7. Projekto konsultantai

doc. dr. Darius Gailius

Studentas:

(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

TURINYS

ĮVADAS	10
1. ORLAIVIŲ CHARAKTERISTIKOS IR PRIVALUMAI	12
1.1. Pritaikymas.....	13
1.1.1. Orlaivių tipai.....	14
1.1.2. Projektui pasirinktas orlaivio tipas	14
1.2. Varomoji jėga ir valdymas	15
2. PROJEKTO EIGA IR PASIRUOŠIMO ETAPAI	17
2.1. Saulės baterijos ir kita elektronika	17
2.2. Orlaivio projektavimas.....	19
2.2.1. Gamyba.....	22
2.2.2. Elektronikos diegimas	24
3. TECHNIKOS BANDYMAI IR DUOMENŲ ANALIZAVIMAS	28
3.1. Gautų duomenų analizė.....	29
3.2. Rezultatų palyginimas.....	44
3.2.1. Kai orlaivio saulės baterijas pasiekia statmeni spinduliai	44
3.2.2. Kai orlaivio saulės baterijos apšviečiamos 30° kampu.....	45
IŠVADOS	47
LITERATŪROS SĄRAŠAS	48

Paveikslų sąrašas

1 pav. Projekto idėja	11
2 pav. Pasirinkti foto elementai	18
3 pav. orlaivio eskizas kartu su saulės baterijomis	20
4 pav. Orlaivio konstrukcijos eskizas	20
5 pav. Programos pagalba rastas sparno plotas ir teorinis masės centras	21
6 pav. Komponentų išdėstymo patirinimas	22
7 pav. Modelio konstrukcija	23
8 pav. Modelis surinktas ir paruoštas pirmiems bandymams	23
9 pav. Elektronikos sujungimo schema	25
10 pav. Elektronika orlaivyje	27
11 pav. Orlaivis bandymų metu	29
12 pav. Saulės baterijos įtampos priklausomybė nuo apkrovos srovės	30
13 pav. Saulės baterijos galios priklausomybė nuo apkrovos srovės	30
14 pav. Saulės baterijos galios priklausomybė nuo įtampos.	30
15 pav. Saulės baterijos įtampos priklausomybė nuo apkrovos srovės	31
16 pav. Saulės baterijos galios priklausomybė nuo apkrovos srovės	31
17 pav. Saulės baterijos galios priklausomybė nuo įtampos.	31
18 pav. Didžiausia galia reikalinga orlaivio sistemai	32
19 pav. Vidutinis vėjo greitis	33
20 pav. Didžiausia įtampa, kokia gali būti kraunamas akumuliatorius	34
21 pav. Didžiausia įtampa, kokią gali pasiekti saulės baterijos	34
22 pav. Akumuliatoriaus krovimas naudojant saulės baterijas	35
23 pav. Akumuliatoriaus krovimas naudojant saulės baterijas. Optimalios sąlygos	36
24 pav. Veikti nuo akumuliatoriaus įjungiamą 55W lempa	37
25 pav. Didžiausią efektyvumą pasiekti orlaivis pritvirtinamas atakos kampu	38
26 pav. Didžiausias užfiksuotas galingumas	39
27 pav. Didžiausias galingumas optimaliomis sąlygomis	40
28 pav. Orlaivis pritvirtintas horizontalioje pozicijoje	40
29 pav. Didžiausias galingumas. I bandymas	41
30 pav. Vidutinis galingumas. II bandymas	42
31 pav. Vidutinis galingumas optimaliomis sąlygomis. I bandymas	43
32 pav. Vidutinis galingumas optimaliomis sąlygomis. II bandymas	44

Autoriaus Mykolaitis Egidijus. „Saulės elementų naudojimo efektyvumo tyrimas bepiločiuose orlaiviuose“. Magistro baigiamasis projektas vadovas doc. dr. Darius Gailius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aeronautikos inžinerija (E14), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: 8165.

Kaunas, 2018. 49 p.

Santrauka

Privačiai naudojamų bepiločių orlaivių sistemos (angl. Unmanned aerial systems, UAS) pastaraisiais metais perkopė dėmesio centrą, tolimesnis šios technikos populiarumas priklauso tik nuo radikalių naujovių pristatomu kartu su orlaiviu. Viena iš šių naujienų – saulės baterijos, naudojamos akumulatoriaus įkrovimui skrydžio metu. Taip prailginant skrydžio laiką, naudojant mažos talpos akumulatorius. Projekto idėja yra patikrinti saulės elementų efektyvumą bepilotėje skraidyklėje.

Tiek bepilotis orlaivis, tiek visa įranga yra prieinama kiekvienam. Pasirinkti saulės elementai yra visiškai standartiniai, tačiau pasižymintis aukštu efektyvumu rinkoje. Jie bus bandomi atsižvelgiant į dienos metą, oro sąlygas, drėgnumą, temperatūrą. Kokioje padėtyje orlaivis dažniausiai būna saulės atžvilgiu. Gavus duomenis, kokiomis sąlygomis orlaivis kraunamas stipriausia srove, bus atsižvelgta skrydžių metu. Koreguojamas skrydžio planas, taip jog saulės baterijos būtų naudojamos efektyviai. Fiksuoto sparno orlaiviams šiandien didžiausias privalumas – ilgas skrydžio laikas, tuo pačiu ir didelis nuskrendamas atstumas. Tokio tipo orlaivio efektyvumas puikiai tiks bandymams su saulės baterijomis. Ar verta foto elementus naudoti tokio tipo orlaivyje paaiškės bandymų metu.

Author's Mykolaitis, Egidijus. "Solar Energy Efficiency research on Non-pilot Aircraft" supervisor Darius Gailius; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Aeronautical Engineering (E14), Engineering Science.

Keywords: 8165.

Kaunas, 2018. 49 pages.

Summary

The popularity of Unmanned Aerial Systems (UAS) has grown at it's best and now going beyond center of attention in recent years. Further popularity of this technology depends only on radical innovations delivered with the aircraft. One of these news is solar panels used to charge the battery during a flight. This extends the flight time using a low-capacity battery. The idea behind the project is to check the efficiency of solar cells in a non-pilot aircraft.

Both the unmanned airplane and all equipment are available to everyone. The selected solar cells are completely standard, but have a high level of efficiency on the market. They will be tested according to the day's weather conditions, humidity, and temperature. In what position aircraft is usually against the sun. Upon receipt of the data, under which conditions the aircraft will be loaded with the strongest current, it will be taken into account during the flights. Modify the flight path so that solar panels are used efficiently. For a fixed wing aircraft today, the biggest advantage is a long flight time, and a large coverage distance. The performance of this type of aircraft's is great for tests with solar panels. Is it worth the use of solar cells on this type of aircraft will become clear during the project.

IVADAS

Bepilotis orlaivis, dar vadinamas dronu, yra autonomiškai arba nuotoliniu būdu valdomas orlaivis be įgulos narių. Bepiločio orlaivio skrydis gali būti valdomas autonomiškai (naudojant pačiame orlaivyje esantį kompiuterį) arba nuotoliniu būdu (piloto, esančio ant žemės arba kitoje transporto priemonėje). Įprastai orlaivis yra paleidžiamas ir valdomas naudojantis automatine sistema arba išoriniu valdytoju ant žemės. Anksčiau dronai buvo tiesiog nuotoliniu būdu valdomi orlaiviai, tačiau dabar jų valdymui vis dažniau taikomos autonominės sistemos. Bepiločiai orlaiviai paprastai naudojami karinėms ir specialiosioms operacijoms vykdyti, dabar yra pritaikomi ir civiliniam naudojimui. Jų mobilumas misijose greitas ir sąlyginai pigus darbas. Tikriems orlaiviams neekonomiškos ar pavojingos, gal net neįmanomos sąlygos – juos čia pakeičia dronai [13].

Įvairių operacijų metu dronais naudojasi policijos bei ugniagesių gelbėtojų pajėgos. Bepiločiai orlaiviai taip pat naudojami įvairių objektų tikrinimui bei priežiūrai (pvz.: statybinės konstrukcijos, žemės ūkio objektai, tiltai, užtvankos, vėjo jėgainės, elektros tinklai, dujotiekiai ir pan.). Apibendrinus, bepiločiams orlaiviams pirmenybė teikiama tokiose užduotyse, kuriose tikslumą sunku užtikrinti vien žmogaus pajėgumais arba tai užimtų daug laiko ir būtų pavojingos jas atliekantiems žmonėms. Bepiločių orlaivių dydis gali būti labai įvairus: nuo orlaivio, kuris telpa į delną, iki mažo keleivinio dydžio lėktuvo dydžio orlaivio [20].

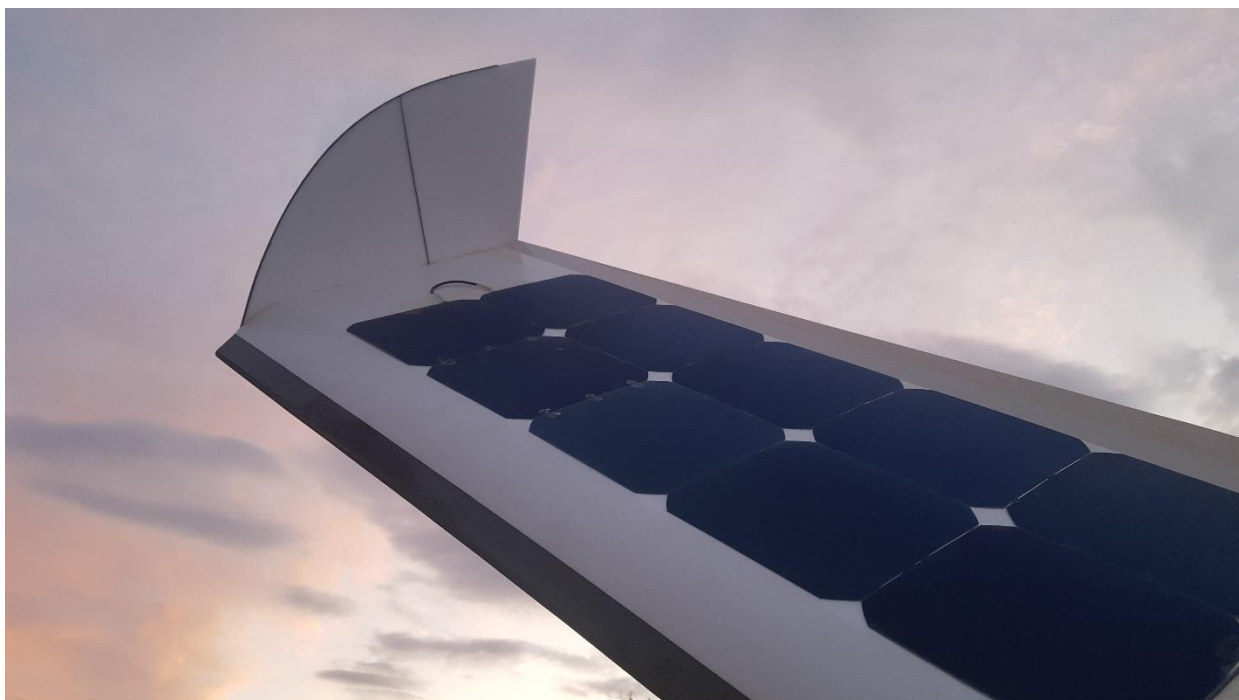
Yra keletas bepiločių orlaivių naudojimą ribojančių veiksnių. Autonominių dronų taikymą Lietuvoje stipriai riboja taikomi Lietuvos Respublikos Civilinės Aviacijos Administracijos (CAA) teisės aktai. Šiuo metu visiškai autonomiškas orlaivio skrydis yra draudžiamas. Bepiločio orlaivio valdytojas viso skrydžio metu privalo vizualiai matyti droną. Didėjant bepiločių orlaivių sričių taikymo skaičiui, prognozuojama, kad bepiločių orlaivių rinka iki 2020 metų sudarys 8,5 mlrd. eurų. Energetikos sektorius yra ypač suinteresuotas, dėl elektros tinklų ir dujotiekių priežiūros. Šioms užduotims atlikti reikalingi ypatingai patikimi dronai. Tokiose srityse jie dirba šviesiu paros metu – tik labai prastos oro sąlygos atleidžia droną nuo darbo [22].

Bepiločiai orlaiviai yra skirstomi į kelias grupes, nuo kurių priklauso dronų surenkamos informacijos ypatumai ir charakteristika. Orlaiviai skirstomi į grupes pagal sparno formą ir variklių padėtį. Yra dvi pagrindinės grupės: fiksuoto sparno (angl. Fixed-wing) ir vertikalios kilimo-daugiasraigčiai (angl. Multirotor). Pagrindinis šių dviejų bepiločių orlaivių grupių skiriamasis bruožas – būdas, naudojamas orlaiviui išsilaikyti ore. Fiksuoto sparno tipo bepiločiai orlaiviai naudoja sparnų keliamąją jėgą, tuo tarpu daugiasraigčių tipo dronai, panašiai kaip sraigtasparniai, naudoja sraigtus. Daugiasraigčių orlaivių sraigčių skaičius gali būti labai įvairus, tačiau dažniausiai jis svyruoja nuo trijų iki aštuonių. Kiekviena šių konstrukcijų turi savo privalumus ir trūkumus (1 pav.).

Projekto tikslas – nustatyti saulės baterijų naudojimo efektyvumą bepilotėje skraidyklėje.

Projekto uždaviniai:

- išanalizuoti ir pasirinkti tinkamus komponentus orlaivio sistemai;
- projektuoti ir pagaminti skraidantį orlaivį;
- atlikti reikiamus tyrimus ir duomenų analizę;
- pateikti įgyvendinto projekto išvadas.



1 pav. Projekto idėja

1. ORLAIVIŲ CHARAKTERISTIKOS IR PRIVALUMAI

Bepiločiai orlaiviai skirstomi į dvi pagrindines grupes, tai sraigtiniai ir fiksuoto sparno. Kiekviena iš šių klasių turi savo privalumų ir trūkumų. Tai yra visiškai skirtingų charakteristikų platformos, tačiau tam tikrose vietose jų atliekamos funkcijos ir darbas yra gana panašūs. Šie skirtumai ir pranašumai, bet tuo pačiu ir tas pats bendras pavadinimas, dronus integruoja faktiškai visose srityse, kur autonominis skrydis suderintas su skrendančia platforma ir kroviniu. Pagal savęs stabilizavimo ir valdymo savybes, sraigtiniai dronai yra sudėtingesni. Jie negali kabėti ore neturėdami vidinio kompiuterio, pagal algoritmus apskaičiuojančių tiesios jų kabėjimo padėties ir atitinkamus signalus perduodantys į jėgos generavimo taškus. Fiksuoto sparno orlaiviams paprasčiau, jų tiesų skridimą galima užtikrinti tiesiog su išmania ir tinkama aerodinamine forma. Tačiau fiksuoto sparno orlaivis negali kabėti ore be minimalaus dujų srauto aptekėjimo – reikalingas pastovus greitis. Sraigtiniai dronai gali. Šie du skirtumai yra pagrindinės savybės, skiriančios paminėtas bepiločių orlaivių grupes. Pagal atliekamas užduotis, yra stengiamasi abu dronų tipus, kiek galima suvienodinti - jų charakteristikas ir parametrus padaryti, kiek galima išplėstus. Jei prieš dvejus metus daugiasraigti dronas ore kabėti galėdavo iki 20 minučių, dabar nėra naujiena analogišką platformą ore matyti 2 ar daugiau valandas. Didelis ir spartus progresas būdingas tik daugiasraigčių klasėje. Ši sritis yra vis dar nesustabdomai plintanti, perspektyvos labai didelės. Juolab, jog greitu metu skrydžio ekonomija vertikalaus kilimo orlaiviuose gali būti efektyvesnė net už fiksuoto sparno orlaivius ir tuo pačiu turėti vertikalaus kilimo galimybę [21].

Šiame darbe projektuojamas fiksuoto sparno orlaivis. Šio tipo orlaivių privalumai:

- mažesnė kaina (priklauso nuo dydžio);
- lėktuvuose yra mažiau elektronikos, tai sistemos kainą mažina;
- dalys ir elementai veikia ilgiau;
- mažiau patikrinimų prieš skrydį;
- idealiai pritaikyti žemėlapiams sudaryti ar skraidyti išplėstose teritorijose;
- lėktuvai gali atlaikyti ilgas keliones, didelius aukščius, išlaikyti stabilų kreiserinį greitį, greitai ir ekonomiškai jį keisti. Tai reiškia, skrydis gali vykti labai didelėje teritorijoje;
- ilgas skrydžio laikas, net jei akumulatorius nėra įkraunamas skrydžio metu;
- skrydžio laikas priklauso nuo trinties į orą. Lėktuvai turi geras aerodinamines savybės, todėl pagrindinė variklio užduotis – tiesiog palaikyti orlaivio greitį. Žinant kiek energijos reikia orlaiviui judėti, galima pasirinkti labai ekonomišką variklio tipą ir darbo režimą;
- didelis skrydžio atstumas (<100km), ribojamas įstatymų ir ryšio perdavimo įrangos;

- nuskrendamas atstumas lygus skrydžio laikui. Galima nuskristi tokį patį atstumą, didinant greitį, tačiau mažinant maksimalų skrydžio laiką. Didinant greitį, didėja energijos sąnaudos;
- lengva valdyti. Pilotuoti žemės atžvilgiu judantį objektą visada paprasčiau, nei kabantį ore;
- vidutinis mechaninis sudėtingumas (mažesnė gedimo tikimybė);
- pigesnis tvarkymas / taisymas. Paprasčiau tai atlikti;
- jei orlaivis pažeidžiamas švelnaus kritimo (avarija nėra rimta), dažniausiai pakanka pakeisti kelias korpuso dalis, kurios gali būti suprojektuotos taip, jog lūžtų pirmos. Tokios pakeičiamos lengvai ir orlaivis gali tęsti misiją;
- didesnis kreiserinis ir didžiausias greitis;
- lėktuvai pritaikyti keisti savo skrydžio greitį ir prie jo prisitaikyti. Tai vyksta išbandytame ir saugiame intervale. Nėra didelės įtakos skrydžio atstumui, jei norima skristi lėčiau ar greičiau. (prisitaikyti prie pakitusio misijos laiko);
- aukštas saugumo lygis;
- lengvesni už daugiasraigčius;
- lengvai pasiekia didelius aukščius. Paprastai bepiločiai lėktuvai pasiekia iki 4 km aukštį;
- aukštesnio lygio aerodinaminis ekonomiškumas.

Dauguma rimtų, geros kokybės orlaivių, turi tvirtus, didelį proilgį turinčius sparnus. Jų sparno profiliai atkartoja sklandytuvų sparnų profilių formas. Taip pasiekama gera sklendimo kokybė, mažiau nereikalinga trintis į orą. Korpusai ir kiti elementai projektuojami, jog sudarytų kuo mažiau trinties į orą, tokiu atveju – mažiau galios reikia varikliui visą sistemą palaikyti judančia. Teoriškai, pati sudėtingiausia vieta yra sparno konstrukcija. Ji privalo būti suprojektuota teisingai ir apgalvotai. Antra, vairų valdymo sprendimas - jis turi būti ypač gerai integruotas į orlaivio sparną.

1.1. Pritaikymas

Abejoms anksčiau minėtoms bepiločių orlaivių grupėms priklausantys dronai gali atlikti tas pačias užduotis, tačiau skrydžio charakteristikos skirtumai reikalauja skirtingų jutiklių kiekvienai sistemai. Duomenys surenkami lygiai taip pat, tačiau skiriasi jų kokybė. Fiksuoto sparno orlaiviai dažniausiai naudojami didesnių teritorijų žemėlapiams sudaryti iš oro, reljefui modeliuoti ir topografiniams tyrimams ar tiesiog aplinkai stebėti.

Kitaip nei fiksuoto sparno, vertikalaus kilimo orlaiviai gali skristi visomis kryptimis (tiek horizontaliai, tiek vertikalčiai) ir kaboti vietoje. Tai leidžia juos panaudoti sudėtingai pasiekiamų

vietų (dujotiekių, tiltų, elektros tinklų, geležinkelių, statybinių konstrukcijų, žemės ūkio objektų, miškų) stebėjimui ir priežiūrai [14].

1.1.1. Orlaivių tipai

Terminas „orlaivio tipas“ apibūdina orlaivio korpuso konstrukciją. Projektavimo filosofija ta pati kaip ir tikro dydžio orlaiviuose. Tai yra bepiločių orlaivių gamintojų įgūdžių, žinių ir kokybės atspindys. Pagal orlaivio formą, gamybos medžiagą, dydį galima įvertinti daug dalykų – t.y. kokiu būdu orlaivis kyla ar leidžiasi, kokį ir kiek krovinio geba gabenti, kiek patikimas ir saugus jis yra, koks skrydžio greitis ir stabilumas ir kiti parametrai. Vidutinio dydžio orlaivių korpusai kainuoja nuo 12 iki 40 000 EUR už vienetą. Tai nėra visiškai surinktos sistemos, tai yra orlaivio korpusas, kuriam būtina pritaikyti autopilotą, krovinį, komunikavimo sistemas. Dažniausiai beveik visi korpusai gaminami iš kompozitinių medžiagų. Tokie rėmai atlaiko dideles perkrovas, kurios būna paleidimo iš katapultos metu. Visi konstrukcijos elementai turi gerai veikti misijos metu.

Dauguma gamintojų stengiasi orlaivį projektuoti taip, kad lengvai prisitaikytų bet koks vartotojas. T. y.: standartizuoti dydį tiek orlaivio, tiek jo viduje būsimai įrangai, optimizuoti orlaivio paruošimo skrydžiui laiką, įdiegti įvairius komponentus skrydžio saugai gerinti (parašiusus, vietas įvairiems sensoriams). Į visa tai atsižvelgia klientas, kuris renkasi orlaivio gamintoją [12].

1.1.2. Projektui pasirinktas orlaivio tipas

Pagrindiniai reikalavimai projekto orlaiviui: pasižymėti aukšta aerodinamine kokybe, turėti sparnų mostą iki 2 metrų, visiškai paruošto skrydžiui orlaivio masė turi neviršyti 1.5 kg, erdvų ir patogų priėjimą prie reikalingų taškų – greitą orlaivio paruošimą skrydžiui, patogų transportavimą. Korpusas turi apsaugoti viduje esančią techniką nuo aplinkos poveikio. Krituliai, drėgmė – negali patekti į orlaivio vidų. Perkrovos tiek teigiamos, tiek neigiamos turi atitikti reikalavimus, nustatytus CAA. Lietuvoje yra priimta, jog apkrova, kurią atlaiko orlaivio sparnai (ir tvirtinimai) yra ne mažesnė nei +4/-2G. Visas korpusas gaminamas iš atskirų komponentų [1].

Reikalavimai konstrukcinėms medžiagoms turi būti greitai ir lengvai apdirbamos, kadangi projekto pagrindinė dalis yra saulės elementų efektyvumo nustatymas, o ne gamyba. Bandyimų metu galimi orlaivio pažeidimai turi būti greitai sutvarkomi.

Pasirinktas orlaivio tipas yra skraidantis sparnas. Tokios konstrukcijos orlaivis pasižymės mažiausiu pasipriešinimu skrydyje. Kas yra ypač svarbu, norint apkrauti variklį kuo mažiau. Konstrukcijos masė yra pati mažiausia, kadangi nėra nei uodegos plokštumų, nei didelio ir prastą aptekėjimą turinčio liemens. Toks orlaivis turės mažą įkrovą, todėl bus patogus startuoti iš rankų ir nereikalaus specialios pakilimo dangos, bus paprastai valdomas – nusileidimas atliekamas taip pat pagaunant orlaivį. Gamybos laikas bus trumpesnis, dėl didelio skaičiaus simetriškų dalių. Sparno

paviršiaus plotas bus kiek galima labiau pritaikytas saulės elementų formai ir dydžiui, taip pasiekiant didesnę naudingą saulės energijai plotą [3].

1.2. Varomoji jėga ir valdymas

Vidaus degimo ar elektriniai varikliai plačiai paplitę bepiločiuose orlaiviuose. Šie sprendimai yra pritaikomi tik skirtingose situacijose. Elektrinis orlaivis niekada neprilygs iškastiniu kuru varomam lėktuvui. Priežastis yra paprasta – 1 kg iškastinio kurio yra kur kas daugiau energijos, nei 1 kg akumuliatorių. Retai kas išgirdęs apie ilgą skrydžio laiką pagalvoja, jog lėktuvas gali būti varomas elektros energija. Šį nustatymą tikimasi pakeisti projekto metu [12].

Pavyzdžiui, pasaulio rekordu kol kas yra laikomas vieno iš „UAV Factory“ orlaivių skrydis, trukęs kiek ilgiau nei 54 valandas be nutūpimo (kalbama apie orlaivius, kurių sparnų mostas iki 3.3 m). Tuo tarpu elektriniai orlaiviai gali skristi tik iki 6 valandų (analogiškas orlaivis). Tokio tipo bepiločių pliusas – labai tylus skrydis, paprastas variklio reguliavimas. Tuo pačiu variklis negali užgesti ore (kol neįvyksta koks nors mechaninis jo gedimas). Tačiau elektra varomą orlaivį galima krauti skrydžio metu. Krovimas naudojant saulės energiją yra populiarus, bet ne išbaigtas sprendimas, kuris reikalauja gilesnių bandymų ir analizių (galbūt net neverta orlaivį apkrauti saulės elementais - daugiau naudos būtų turėti trumpesnę skrydžio laiką, bet akumulatorius keisti dažniau) [11].

Kiekvienas autonominis skrydis yra atliekamas autopiloto skaičiavimais. Skrydžio telemetrija pagal atitinkamus algoritmus apdorojama vidinio kompiuterio. Ji lyginama su reikiamomis telemetrijos reikšmėmis, taip gaunamos trečios (realios) reikšmės, kurios verčiamos į signalą vairams, o šie nukreipia orlaivį reikiama skrydžio kryptimi, aukščiau ir greičiau. Tam tikro lygio autopilotas yra neišvengiamas orlaiviuose. Šiame projekte bus naudojamas galingas ir tikslus „3DR“ įmonės autopilotas.

Norint pasiekti efektyvią kontrolę, pirmiausia reikia gauti orlaivio būsenos kintamuosius, ir tai bus pasiekama matuojant šiuos parametrus, pasitelkiant išvardintus metodus:

- GPS imtuvas: matuoja orlaivio esamą buvimo vietą;
- magnetiniai jutikliai: pozicijos (pasvirimo, pokrypio, pasisukimo), aukščio;
- gyroskopiniai jutikliai: judesio matavimo (pasvirimo, pokrypio ir pasisukimo);
- akselerometro jutikliai: fiksuoja tiesinius pasvirimus (pasvirimo kampo matavimas nuo nulinės padėties);
- Pito vamzdelis: slėgio jutikliai matuoja statinio ir absoliutaus slėgio rodmenis, nustatomas oro srauto greitis ir aplinkos slėgis. [19]

Svarbiausios autopiloto funkcijos: stabilumas ir judėjimų mažinimas, manevringumo parametrų keitimas, staigių pokyčių tikslus lyginimas, ekonomiškumas, atsparumas aplinkos sąlygoms.

Dauguma anksčiau vardintų ypatumų būtini UAV autopilotams, tik kai kurie nėra tokie svarbūs. Tikriausiai pats svarbiausias reikalavimas siekiant užtikrinti skrydžio tikslumą, yra teisingas skrydžio plano parinkimas. Skrydžio planas yra labai svarbus gaunamos informacijos pobūdžiui. Pozicija, aukštis, vieta privalo visada būti keičiam įvertinant įtaką energijos praradimui. Šie duomenys taip pat naudojami gautiems duomenims apdirbti.

Labai mažų gabaritų autopilotai negali užtikrinti gero ekonominio skrydžio. Jie reguliuoja parametrus pagal numatytas komandas ir neseka realių aplinkos sąlygų, jei tiesiog neturi reikiamų jutiklių. Tarkime, parinkti optimalų variklio darbą esant atitinkamam judėjimui žemės atžvilgiu – išlieka nepasiekiamas. Tik stiprių galimybių autopilotai stebi visus parametrus, kintančius orlaivyje ir atsižvelgdamas į juos pritaiko lėktuvo valdymo komandas [19].

Šiandieniniai autopilotai sudaryti iš vieno segmento. Visus elementus stengiamasi įdiegti po vienu korpusu, taip sumažinant įrangos gabaritus ir papildomos priežiūros taškus. IMU jutiklių modulis dvigubinamas, tačiau viename korpuse. Kiti jutikliai, kaip magnetinio lauko jutiklis, oro slėgio jutikliai, GPS, gali būti jungiami atskirai. Magnetometras yra labai jautrus elektrinio lauko triukšmams. Jį stengiamasi nuo to izoliuoti arba montuoti kiek įmanoma toliau nuo didžiausių magnetinį triukšmą turinčių taškų. Slėgio jutimo elementai turi būti įmontuojami taip, jog būtų kiek galima trumpesni oro tekėjimo kanalai nuo Pito vamzdelio, o elektrinis signalas keliautų kuo trumpesniu laidu [19].

Autopilotai yra dviejų rūšių: tokie kokius pateikia gamintojas ir angl. „Open-source“, kuriuos gali programuoti pats ar keisti jų veikimo algoritmus, nepažeisdamas gamintojo perspėjimų. Pastarieji yra paremti idėja naudoti komercinius komponentus, bet programinę dalį atlieka vartotojas, kartu pasiekdamas visiško funkcionalumo autopilotą. Tokio tipo autopilotai yra pigūs - tai pagrindinis jų pliusas. Nors tuo pačiu jiems reikia skirti labai daug laiko, norint, kad jie veiktų taip, kaip reikia. Net ir tada, kai visa sistema veikia patikimai, niekas nėra garantuotas, jog jos darbas išliks stabilus.

Bet kuriuo atveju angl. „Open-source“ sprendimai funkcionalumu neprilygsta komerciniams ir išbaigtiems produktams, todėl naudojami tik mažuose orlaiviuose, kurie atlieka paprastas misijas (nedidelio atstumo, virš atvirų vietovių) ir orlaivio veikimas nėra paremtas vien autopiloto galimybėmis. Tikras pilotas (operatorius) taip pat valdo orlaivį. Būtent toks auto pilotas bus naudojamas orlaivyje [19].

2. PROJEKTO EIGA IR PASIRUOŠIMO ETAPAI

Projektui pasirinktas skrendančio sparno tipo orlaivis. Toks sparnas projektuojamas derinant su saulės baterijų matmenimis ir forma, kurių matmenys yra standartiniai – 125x125mm.

Projekto medžiagų pagrindą sudarys: aviacinis putoplastas, balzos mediena ir anglies pluoštas. Tokioms medžiagoms tiks bendri klijai: specialius „CA“ momentiniai, „Kleiberit“ poliuretaninginiai, ir epoksidiniai klijai. Taip konstrukcijos masė bus ypač maža, o apdirbimas lengvas. Nukentės tik estetinis vaizdas. Tokios medžiagos gerai sugeria vibracijas, kurios gali sugadinti foto elementų paneles.

2.1. Saulės baterijos ir kita elektronika

Projektuotojų kuriami orlaiviai su saulės baterijomis yra skirtingi. Daugumai elektronikos elementų nėra rekomendacijų. Pavyzdžiui, koks variklis geriausias ar kokio žingsnio ir diametro propelerį naudoti. Taip yra dėl skirtingų bepiločių orlaivių gabaritų, skrydžio greičių, plačios komponentų rinkos ir kitų kintamųjų. Šiam skraidančiam sparnui parinkti komponentai pasižymėję geriausia kokybė ir patvarumu ankstesniuose projekto etapuose:

- variklis / sūkių reguliatorius: DJI e800 350KV su 13x5 propeleriu ;
- „servo“ mechanizmai: HG-D260 ;
- autopilotas: „3DR Pixhawk“;
- „GPS“ imtuvas: „3DR Ublox + compass“;
- įtampos jutiklis: „3DR 6s power module“;
- oro greičio matuoklis: „3DR digital airspeed sensor“;
- ryšio perdavimas: „Spectrum setellite“ valdymo imtuvas ir „3DR 433Mhz“ telemetrija;
- akumulatorius: 3 x „Panasonic/ Sanyo NCR18650BF“, 3350mAh, 3,7V;
- elektroninis jungiklis: „Turnigy receiver controlled switch“.

Saulės baterijų pasirinkimą lėmė kitų analogiškų projektų išvadų rekomendacijos ir naudota įranga, taip pat panelės efektyvumas ir kaina. [6] Šiuo metu plačiai paplitę vieno gamintojo saulės baterijos. Šio gamintojo produkcija pasižymi gerokai didesniu panelių efektyvumu, naudingas ir panelių lankstumas. Net ir skilus, panelė veikia toliau. Pasirinktos „Sunpower 3,4W Mono Cells“ panelės [6].

Deklaruojamas vienos panelės informacija:

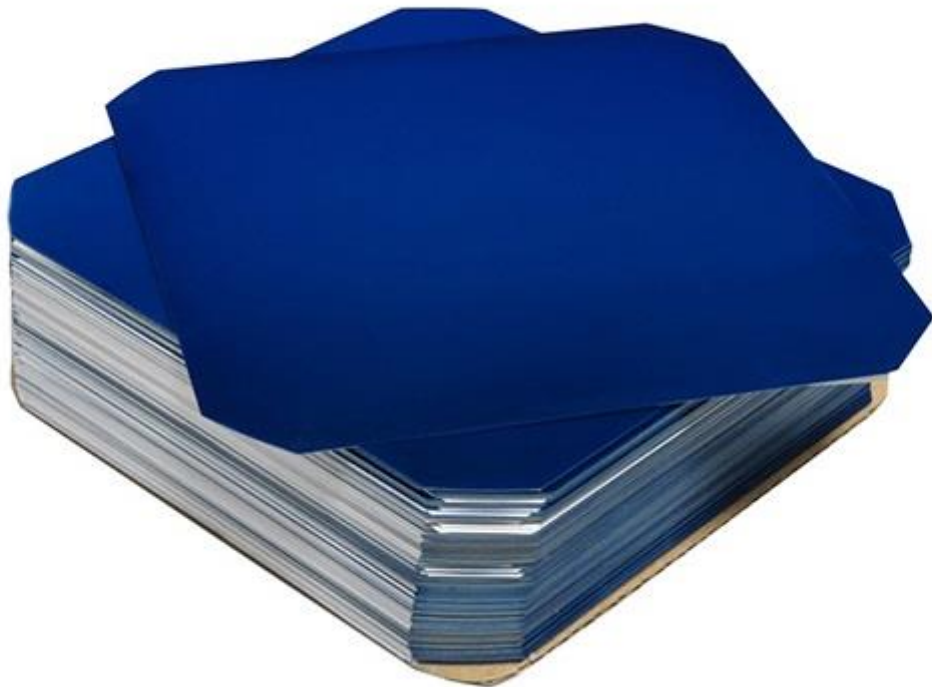
- galingumas: 3,2 - 3,4W;
- generuojama įtampa: 0,58V;

- generuojama srovė: 5,93A;
- matmenys: 125mm x 125mm;
- efektyvumas: 22,5 %;
- gamintojas/ modelis: „Sunpower/ 3,4W Mono Cells“.

Palyginimas su analogiškais ankstesnių versijų panelėm:

- galingumas: 0,19W;
- generuojama įtampa: 0,5V;
- generuojama srovė: 0,38A;
- matmenys: 52mm x 22mm;
- efektyvumas: 17 %;
- gamintojas/ modelis: „Sunpower/ Aoshike“ [7].

Gamintojo prekės aprašyme nurodyta, tai yra vienos efektyviausių panelių rinkoje, taip pat 0,6W didesnė galia už pirmąją šių saulės baterijų versiją (2 pav.), [8].



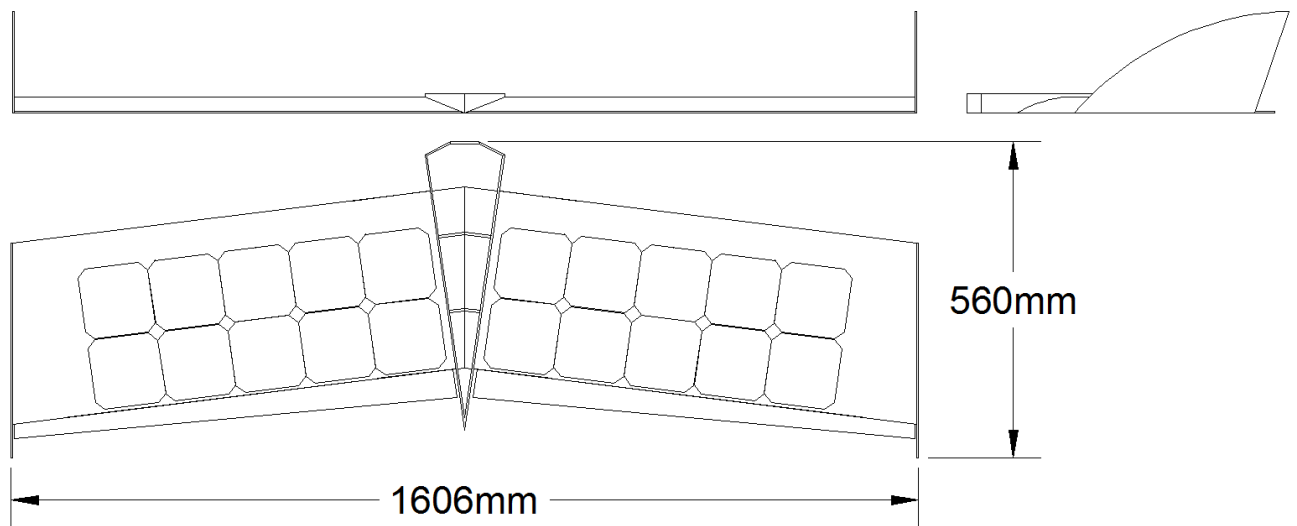
2 pav. Pasirinkti foto elementai

2.2. Orlaivio projektavimas

Modeliuotojų gaminami skraidantys sparnai neturi konkrečių reikalavimų, formų ar sparno profilių. Ieškant literatūros apie beuodegius orlaivius galima rasti tik nepatikimos informacijos apie šiam projektui tinkamus sparno profilius. Taip yra dėl didelio profilių pasirinkimo, kurių tiesiog neįmanoma išbandyti visų. Net jei pasirenkamas populiariausias, dažnai tai būna lengvai pagaminamas ir konstituciškai paprastas profilis – sudėtinga arba neįmanoma rasti aerodinaminės informacijos. Gaminant skraidančio sparno tipo orlaivį gerai tai, jog tokiems tinka beveik visi profiliai, su sąlyga jei sparno stygos kampas kinta atitinkamai. Teoriškai, vienas ir vienintelis sparno profilis tokio tipo orlaiviams neegzistuoja. Projektuojamo orlaivio sparno profilis braižytas taip, jog viršutinė dalis turėtų tiesią liniją, kurioje būtų tvirtinamos saulės baterijos, pastarosios nėra lengvai pritvirtinamos, jei sulenktos. Orlaivis turės pasižymėti geromis skridimo savybėmis įvairiose sąlygose ir skrydžio režimuose. Susuktas sparnas yra gerokai efektyvesnis, bet tik jei yra naudojamas tiksliame skridimo greičio diapazone, kitu atveju tai gali tik trukdyti orlaivio sklendimo kokybei ar valdymui. Projekto orlaivio skrydžio greitis bus žinomas tik realių bandymų metu. Dėl šios priežasties atsisakyta sparno susukimo, visos nerviūros montuojamos tuo pačiu atakos kampu [3].

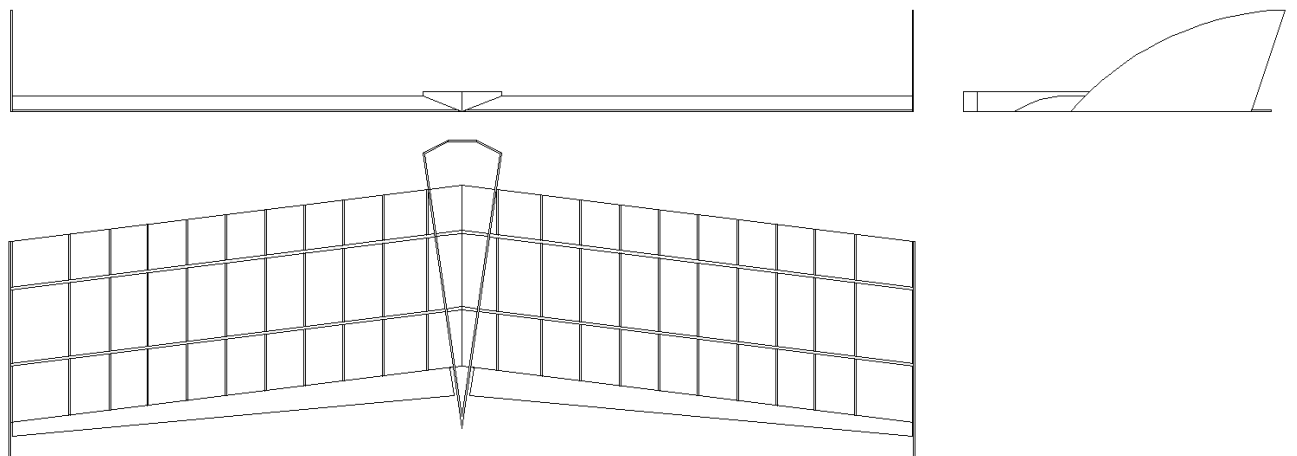
Projekto orlaivio skridimo greitis numatomas nedidelis: 9-12m/s. Jis grindžiamas maža sparno įkrova ir mase koncentruota sparno viduryje. Lengviems sparnams reikia mažiau oro greičio, valdymo jautrumui ir jėgai palaikyti. Mažo strėliškumo sparnas leidžia pasiekti geras charakteristikas skrendant mažais greičiais. Didėjant skrydžio greičiui, palaipsniui didinamas ir sparno strėliškumas. Beuodegiui lėktuvui sparno strėliškumas reikalingas stabilumui garantuoti. Sparnų galai kompensuoja trūkstantį tradicinę uodegą. Jei žiūrint į orlaivį iš šono, sparno centrinės ir paskutinės nerviūros yra nevienodame atstume nuo orlaivio priekio. Vertikalūs kiliai sparnu galuose, stabilizuoja sukimo į šonus nepastovumą, sukuria papildomą oro pasipriešinimą, taip sumažinamas orlaivio šoninis slydimas [4,5].

Projektavimas pradedamas naudojant kompiuterinę braižymo programą „AutoCAD“. Braižant atsižvelgiama ir į konstrukcijos paprastumą. Detalių eskizai tinkami naudoti pjovimui su „CNC staklėmis“. Pirminis projektuojamo orlaivio eskizas pateiktas (3 pav.).



3 pav. Orlaivio eskizas kartu su saulės baterijomis

Projektuojamo metu neatsižvelgta į smulkias dalis. Jos nėra braižomos. Pastarųjų matmenys gali kisti, dėl klijavimo netikslumų ar pati detalė gali būti netinkama naudoti dėl pasikeitusių reikalavimų. Braižomi tik tie konstrukcijos elementai, kurie negali kisti gamybos metu. Orlaivio konstrukcijos eskizas pateiktas (4 pav.).



4 pav. Orlaivio konstrukcijos eskizas

Saulės baterijų tvirtinimui nereikalingos papildomos dalys. Elementai bus klijuojami prie sparno viršutinės dangos. Tai sutvirtins sparno konstrukciją susukimo ašimi. Elementų niekas neuždengs, nebus prarastas sugeriamų saulės spindulių kiekis ar sparno aptekėjimo kokybė. Plokščių aušinimas bus stipriausias.

Variklio montavimas taškas projektuotas 80mm nuo sparno priekinės briaunos. Akumulatoriaus tvirtinimo erdvė taip pat ilgesnė. Galutinis ir tikrasis masės centras bus žinomas tik pilnai surinkus orlaivį. Vienintelis elektronikos elementas, kurio vieta gali kisti ir nuo kurios labiausiai priklauso

masės centras, yra akumulatorius. Atsiradus poreikiui keisti masės centrą būtina turėti galimybę lengvai keisti akumulatoriaus tvirtinimo poziciją.

Naudojant programą „3dzone“ apskaičiuojama teorinė masės centro vieta ir sparno plotas. Sparno plotas $S_{sparno} = 0,573m^2$. Teorinė masės centro vieta matuojama nuo priekinės sparno briaunos. Ji lygi $CG = 0,121m$ (5 pav.), [5].

Skaičiuojamas saulės baterijų plotas:

$$S_{bat} = a \times S_{saulės\ elementas}$$

$$S_{bat} = 20 \times (0,125 \times 0,125) - (0,012 \times 0,012 \times 40) = 0,306m^2$$

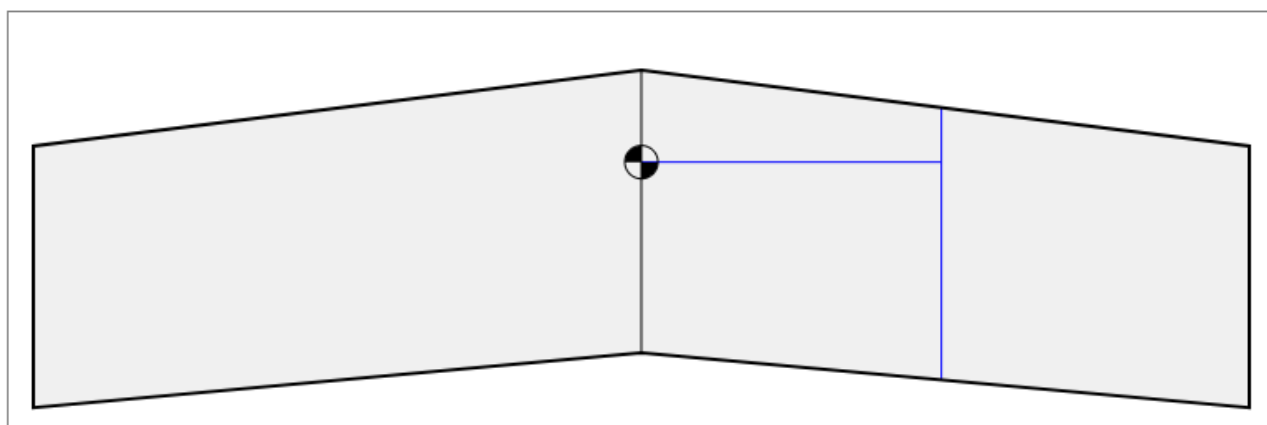
Čia, S_{bat} – bendras saulės baterijų plotas.

a – baterijų kiekis.

$S_{saulės\ elementas}$ – saulės elemento plotas.

Efektyvus sparno paviršiaus ploto santykis: $\beta = \frac{S_{bat}}{S_{sparno}} = \frac{0,306}{0,573} = 0,534$.

Saulės baterijomis sudarys daugiau nei pusę viso sparno paviršiaus ploto.

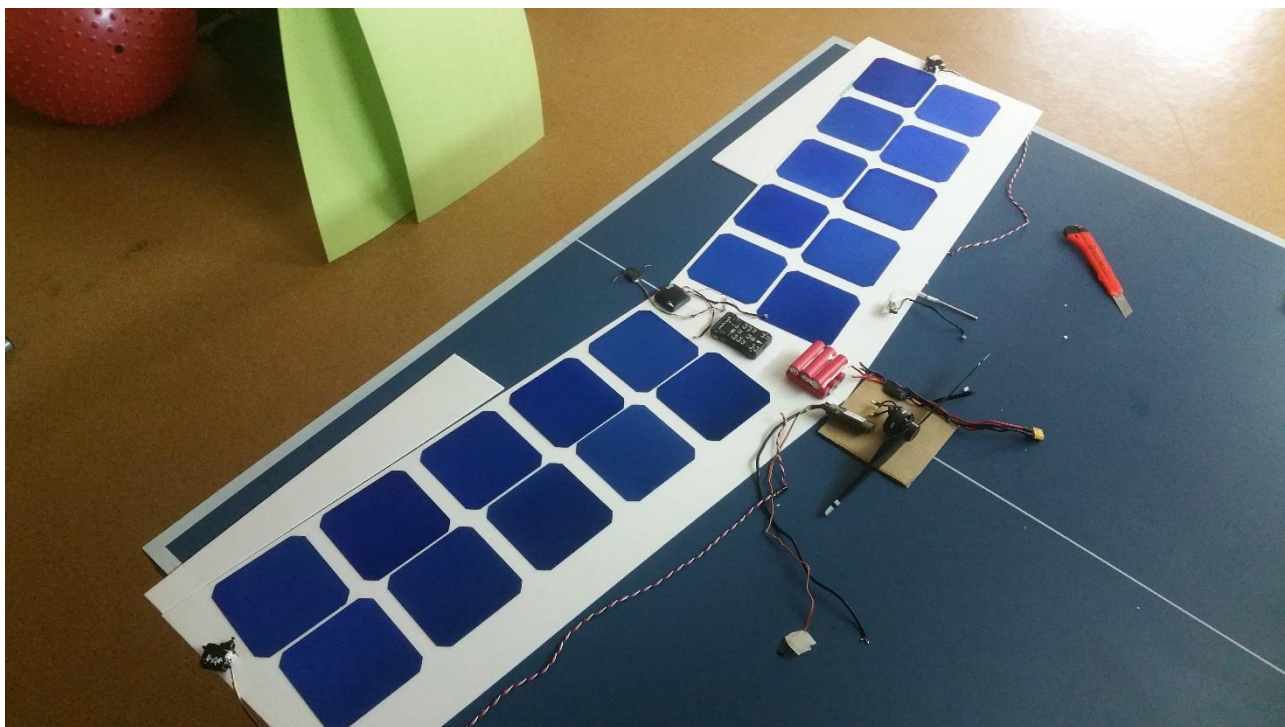


Wing span	<input type="text" value="1600"/>	Wing area	<input type="text" value="572800"/>
Root chord	<input type="text" value="372"/>	MAC distance	<input type="text" value="394.79"/>
Tip chord	<input type="text" value="344"/>	MAC length	<input type="text" value="358.18"/>
Sweep	<input type="text" value="100"/> as <input type="text" value="distance"/>	CG distance	<input type="text" value="120.98"/>
CG position	<input type="radio"/> 15% - for beginners/testing new planes <input checked="" type="radio"/> 20% - allround <input type="radio"/> 25% - for experts <input type="radio"/> Other: <input type="text" value="22.5"/> %		
Options	<input type="checkbox"/> Show MAC lines		
		Image scale	<input type="text" value="0.46"/> pixels/unit
		Deep-link	This specific wing

5 pav. Programos pagalba rastas sparno plotas ir teorinis masės centras

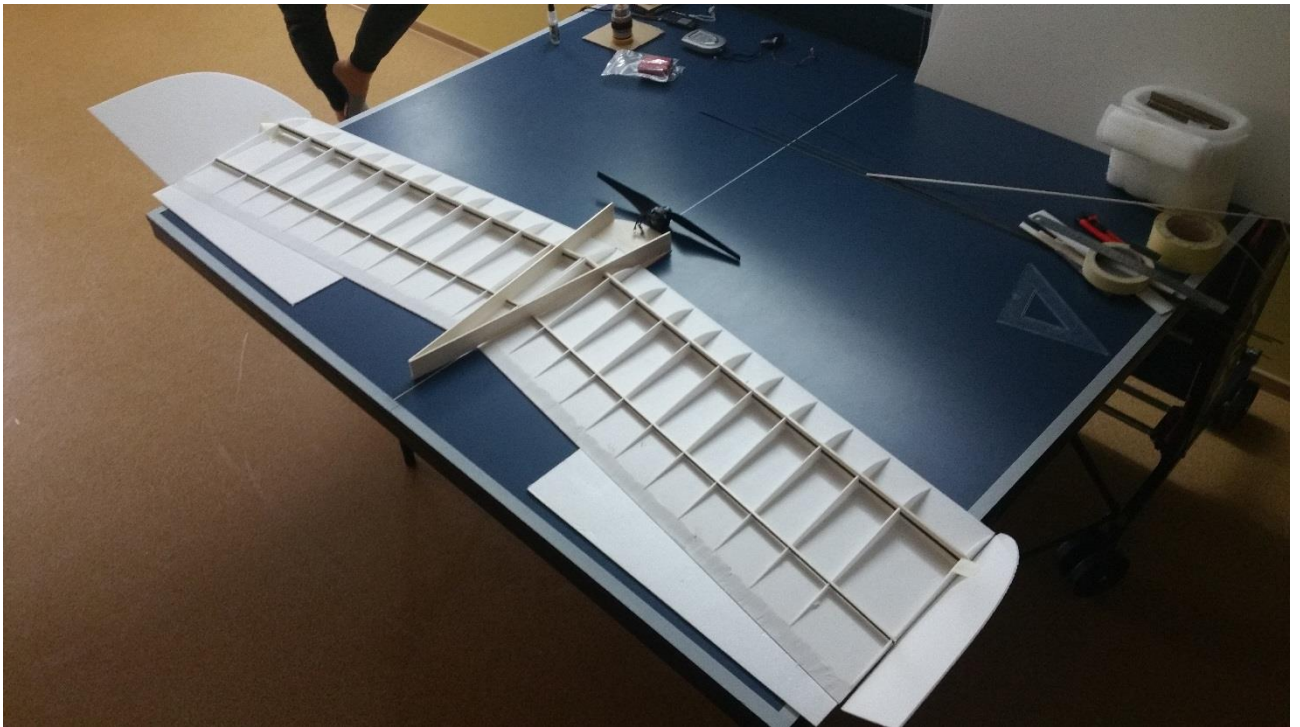
2.2.1. Gamyba

Gaminamo sparno apatinė plokštuma yra visiškai plokščia, tai palengvina surinkimo procesą ir sumažina tikimybę klijuoti nerviūras blogu atakos kampu. Puta lengvai apdirbama aštriu peiliu ir šveitimo popieriumi, naudojantis šiais įrankiais išpjaunamos pagrindinės sparno dalys. Visi komponentai sudėliojami į numatomas vietas. Patikrinama ar viskas gali būti sumontuota į norimas pozicijas, ar nereikalingos papildomos sparno geometrijos korekcijos (6 pav.).



6 pav. Komponentų išdėstymo patikrinimas

Projektuojamo orlaivio sparno išilginį standumą palaikys balziniai lonžeronai, sutvirtinti anglies strypais. Nerviūros gaminamos iš 3mm aviacinės putos. Apatinė sparno plokštumai pasirinktas 5mm putplastis, viršutinei dangai – 3 mm aviacinė puta. Liemens gamybai pasirinktos 3mm storio balzos plokštės. Galutinis standumas bus pasiektas tik suklijavus visas dalis ir paviršius (7 pav.).



7 pav. Modelio konstrukcija

Surinkus orlaivį, nustatoma galutinė masės centro pusiausvyra, akumulatorius įtvirtinamas. Pastarojo vieta gali kisti atlikus pirmąjį skrydį, dėl blogai nustatytos teorinės masės centro ribos. Šiame etape matomas galutinis orlaivio vaizdas. Konstrukcija surinkta ir klijuota patikimai. Orlaivio lonžeronai atlaiko 2G perkrovas, kurių pilnai užteks skrydžiui atlikti (8 pav.).



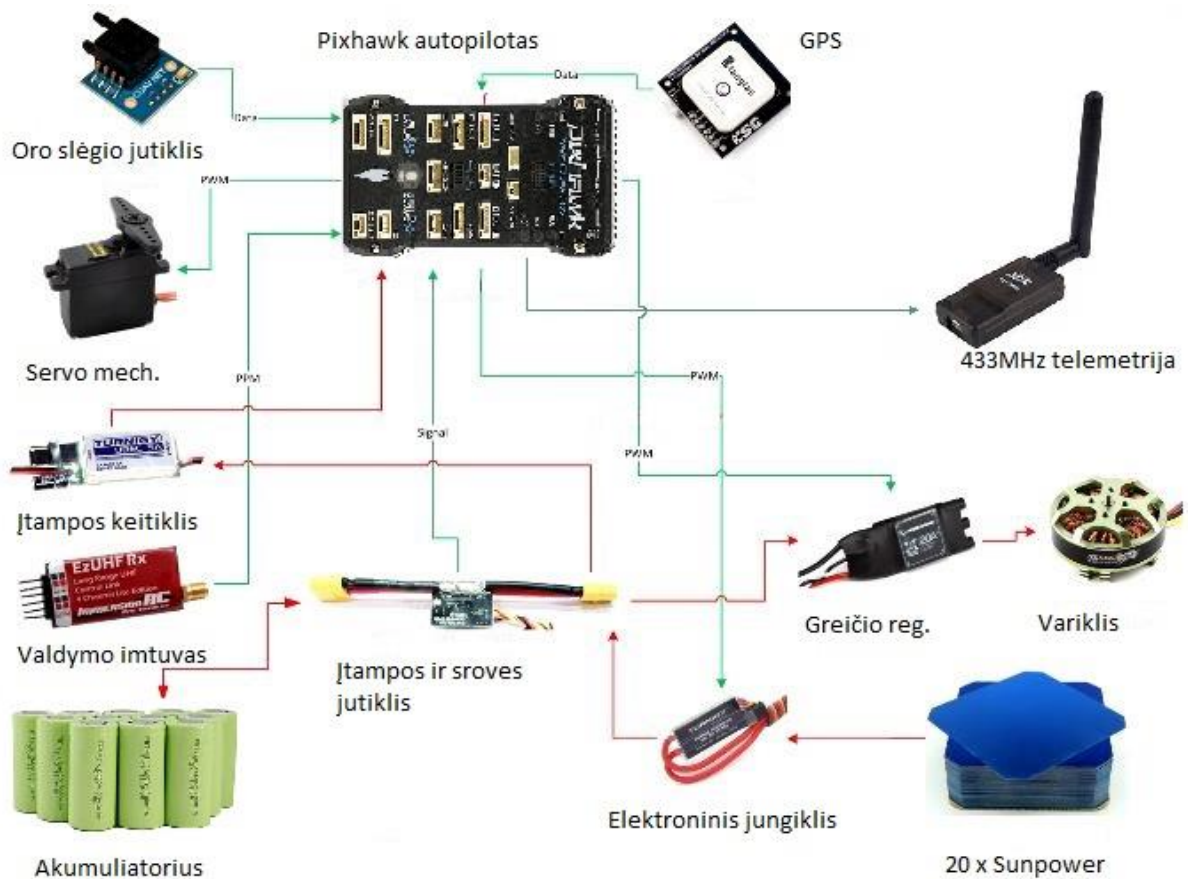
8 pav. Modelis surinktas ir paruoštas pirmiems bandymams

2.2.2. Elektronikos diegimas

Elektronikos tvirtinimas, tai galutinis surinkimo proceso etapas. Visi komponentai numatyti galutinėse pozicijose, kurios yra kuo arčiau orlaivio simetrijos ašies. Taip centriniai lonžeronų sujungimai apkraunami labiau, aileronai priešingai – lengvi sparnai turi mažą inerciją, geresnį valdumą. Valdovam skrydžiui užtenka mažesnio oro greičio.

Kokybiškam autopiloto darbui trukdo didelės vibracijos. Numatyta montavimo vieta tarp pagrindinių sparno lonžeronų sujungimų. Šioje zonoje yra daugiausia sparno masės kuri gali absorbuoti vibraciją. Tuo pačiu patenkinamas reikalavimas autopilotą tvirtinti kuo arčiau masės centro.

Kiti elektronikos komponentai klijuojami ant liemens sienelių paviršiaus naudojant aviacinius standartus atitinkančią, dvipusę lipnią juostą. Jų vietos pariktos pagal laidų ilgį ir laisvą plotą aplink autopilotą. Taip, jog neblokotų aušinimui skirto oro srauto pratekėjimo liemenyje. Pito vamzdelis tvirtinamas prie pirmos nerviūros, kuri jau nepatenka į propelerio sukuriamo oro srauto zoną. Telemetrijos ir valdymo ryšio moduliai montuojami liemens gale, šioje zonoje yra mažiausiai elektromagnetinį triukšmą keliančių elementų. Taip bus sukurtos geresnės sąlygos ryšio kokybei palaikyti. Elementų jungimo schemos eskizas (9 pav.). Galutinis, paruošto skrydžiui orlaivio svoris: 1120g.



9 pav. Elektronikos sujungimo schema

Energijos komponentai pasirinkti taip, jog sistemoje nėra būtinas specialus didžiausios galios taško keitiklis. Taip nuspręsta po atskiros saulės elemento panelės parametrų patikrinimo. Panelės reali sukuriama srovė neviršijo 4A, įtampa 0,60V. Pasirinkta baterija sudėta iš 3 atskirų akumuliatorių. Baterijos deklaruojami parametrai:

- didžiausia pakrovimo įtampa: 4,25V;
- mažiausia iškrovimo įtampa: 2,5V;
- krovimų ciklą skaičius: 1000<;
- vidinė baterijos varža: 40mΩ;
- rekomenduojama krovimo srovė: <4A;
- baterijos talpa: 3350 mAh [10].

Saulės baterijos didžiausia sukuriama srovė yra mažesnė už didžiausią leidžiamą akumuliatoriaus krovimo srovę. Pasirinktas 20-ties saulės elementų kiekis. Tokio kiekio saulės elementų didžiausia sukuriama įtampa sieks : $U_{saulės\ bat.\ did.} = 20 \times 0,6 = 12\ V$. Didžiausia pakrauto akumuliatoriaus įtampa : $U_{akum.\ did.} = 3 \times 4,25 = 12,75\ V$. Mažiausia iškrauto akumuliatoriaus įtampa : $U_{akum.\ mim.} = 3 \times 2,5 = 7,5\ V$.

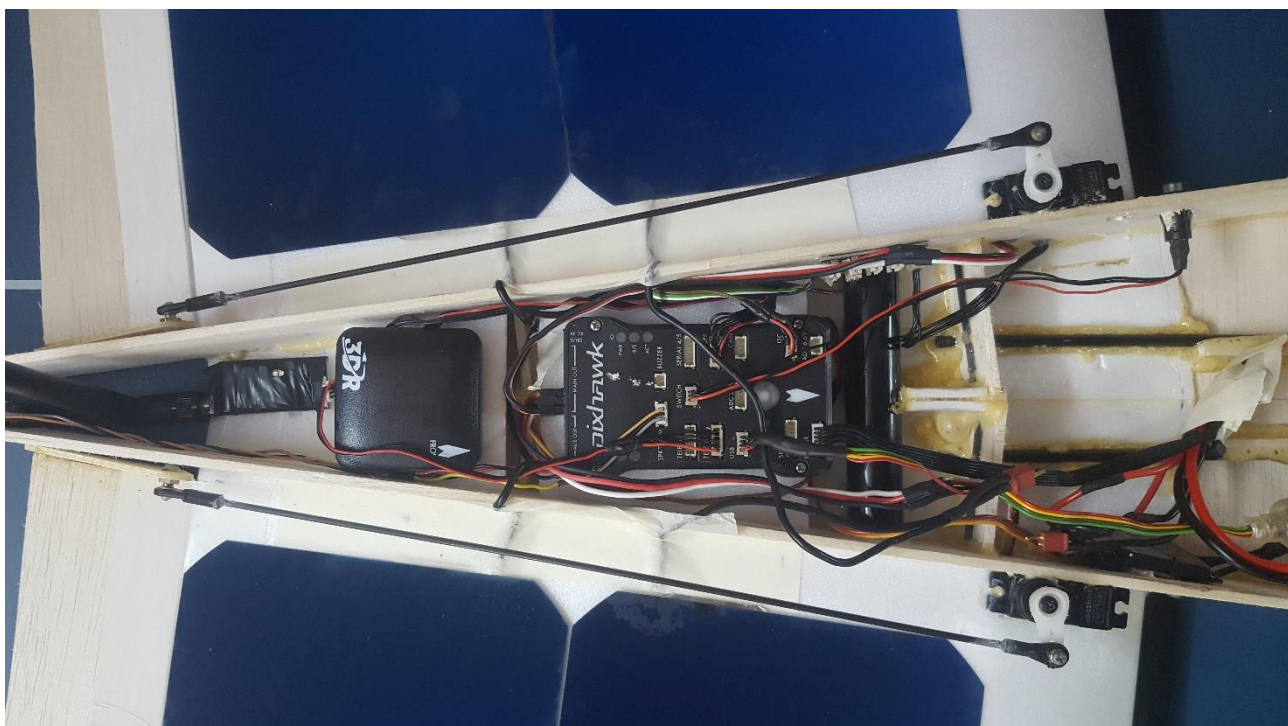
Remiantis šiais duomenimis, nustatyta, kad saulės baterijų didžiausia sukuriama įtampa yra mažesnė už pilnai pakrauto akumuliatoriaus įtampą. Taip akumuliatorius apsaugojamas nuo galimo perkrovimo bandymų skrydžio metu. Planuota orlaivio sistemos darbinė įtampa 10–12V. Saulės baterijų efektyvumo nustatymui nebūtinai pilnas akumuliatoriaus įkrovimas. Elektronikos schema bandymams projektuota taip:

- I- režimas. Tik akumuliatorius maitina sistemą. Stebimi įtampos ir srovės parametrai;
- II- režimas. Sistemos maitinimas nuo akumuliatoriaus ir saulės baterijų. Stebimi įtampos ir srovės parametrai.

Sistemos darbas I – režimu yra įprasta situacija, kurios metu energiją gaunama iš baterijos. Tokiame režime yra galimybė išmatuoti viso orlaivio didžiausią energijos vartojimą, nustatyti akumuliatoriaus iškrovimo laiką.

Sistemos darbas II- režime. Kai orlaivis veikia naudodamas tik bateriją, įtampos ir srovės jutiklis perduoda informaciją į autopilotą. Pastarasis visus įvykius registruoja. Saulės elementai prijungti į sistemą už įtampos ir srovės jutiklio. Naudojant elektroninį jungiklį, kuris valdomas piloto arba autopiloto, įjungiami ar atjungiami saulės baterijų grandinė. Taip saulės pagalba sukurta energija keliauja į akumuliatorių ir į pagrindinį energijos vartotoją – variklį. Įtampos ir srovės jutiklis fiksuoja atitinkamai mažesnę vartojamą energiją iš orlaivio baterijos. Ši schema veikia, kai saulės elementų kuriama įtampa yra aukštesnė už baterijos. Saulės elementų įtampai nukritus žemiau akumuliatoriaus įtampos - orlaivio sistema veikia I- režimu. Elektroninio jungiklio schema elektrą praleidžia tik viena kryptimi. Atsiradus aplinkos priežastiai, kurios rezultatas – nepakankamas sistemos krovimas saulės energija, orlaivio baterijos resursas nepateks į saulės elementų grandinę (9 pav.).

Orlaivio elektronikos komponentai tvirtinami taupant vietą ir svorį. Sunkiausi elementai tvirtinami arčiau priekinės sparno briaunos, taip mažinant galinės sparno masės centruotės tikimybę. Sistemoje naudojami laidai yra ypač lankstūs, vidinės vielos storiai pritaikyti konkrečiam komponentui - taip sutaupoma svorio. Laidai gaminami kiek galima trumpesni - taip mažinant elektromagnetinių triukšmų šaltinius. Didžiausias numatytas elektromagnetinis triukšmas yra skleidžiamas iš variklio, jo maitinimo laidu, baterijos. Visi šie komponentai yra montuojami didžiausiu įmanomu atstumu liemenyje nuo telemetrijos ir valdymo modulių, kurie yra jautrūs pašaliniam triukšmams (10 pav.).



10 pav. Elektronika orlaivyje

3. TECHNIKOS BANDYMAI IR DUOMENŲ ANALIZAVIMAS

Technikos bandymai pradėti baigus orlaivio autopiloto reguliavimo darbus. Visi jutikliai, įskaitant ir srovės / įtampos matuoklį, privalėjo būti sukalibruoti. Tik baigus šiuos pasiruošimo darbus, orlaivis gali būti pilnai įjungiamas. Šie autopiloto reguliavimo darbai suderina visus orlaivyje esančius komponentus, rezultatas – orlaivio komponentai veikia kaip viena sistema. Atlikus pilną programavimo darbą orlaivis yra paruoštas pirmam skrydžiui. Šiame etape pradedami pirmieji saulės baterijų bandymo etapai.

Saulės elementų panelės sujungtos nuosekliai, trumpojo jungimo atveju tai gali sukelti rimtos žalos tiek orlaiviui, tiek aplinkai. Saugumo tikslais įdiegtos dvi papildomos mechaninės jungtys, nutraukiančios orlaivio baterijos arba saulės baterijų grandines. Pavojaus atveju paruošti specialūs uždangalai saulės panelėms. Bandymų metu orlaivis veikia kaip autonominė sistema, kurios veikimą gali pertraukti operatorius. Komandų perdavimas, telemetrijos duomenų stebėjimas vyksta naudojant kompiuterį su specialia programine įranga. Rankinis valdymas užtikrinamas tam pritaikytu pultu, veikiančiu atskirame ir nepriklausomame dažnyje nuo telemetrijos modulių. Valdymo pultas skirtas nenumatytiems atvejams ir rankinei kontrolei. Šios komandos yra svarbiausios visai sistemai. Baigus bandymus orlaivio autopiloto atmintyje yra išsaugota visų jutiklių informacija ir visas darbas, kurį atliko procesorius. Apdorojus šią informaciją kompiuteriu, gaunami tyrimui reikalingi duomenys (11 pav.), [20].

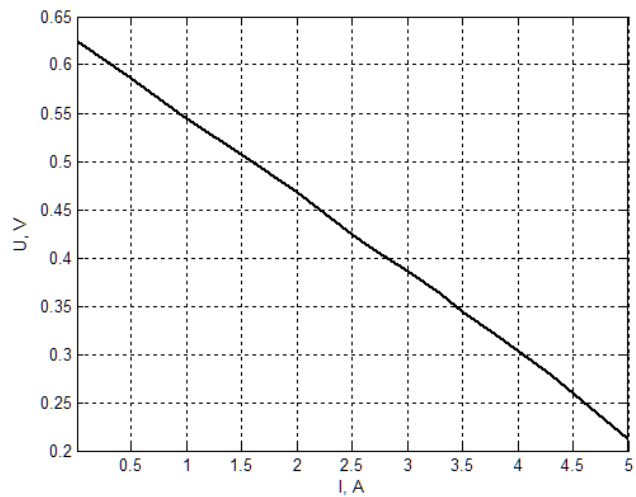


11 pav. Orlaivis bandymų metu

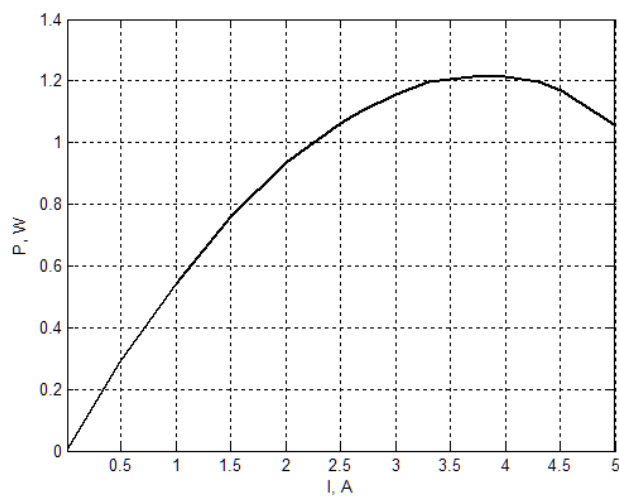
3.1. Gautų duomenų analizė

Prieš pradėdant bandymus su orlaiviu, atliekami testai su atskira saulės baterijos patele. Norima nustatyti panelės galimybių ribas esant įvairiai apkrovai. Bandymų metu naudotas multimetras su rankiniu būdu reguliuojama srovės apkrova. Keičiant iš saulės baterijos reikalaujamos srovės vertę, stebimi įtampos, varžos ir galios parametrų kitimai. Bandymai atliekami 0A – 5A intervale, keičiant apkrovos srovę po 0,2A. Panelės apšvietimas skirstomas į du atvejus: I – kai saulės spindulių kritimo kampas statmenas panelei. II – kai saulės panelę spinduliai pasiekia 45° kampu. Rezultatai apdoroti naudojant „Matlab“ programą (12 – 17 pav.). Gauti duomeys:

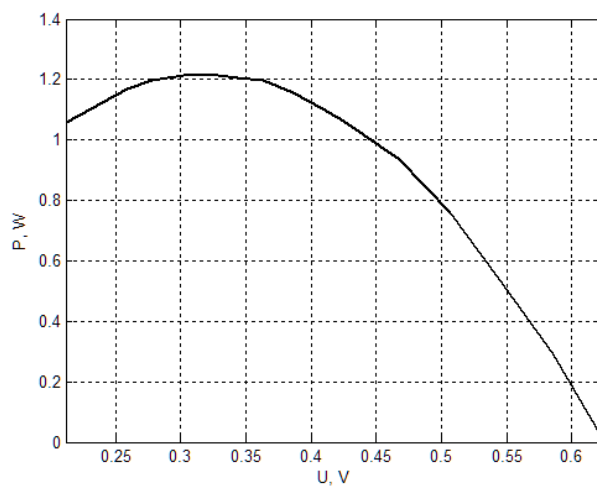
I – atvejis. Didžiausia panelės galia pasiekta, kai apkrovos srovė yra 3,7A (13 pav.). Didžiausios galios įtampa 0,33V (14 pav.). Įtampos priklausomybė nuo apkrovos srovės pateikta (12 pav.).



12 pav. Saulės baterijos įtampos priklausomybė nuo apkrovos srovės

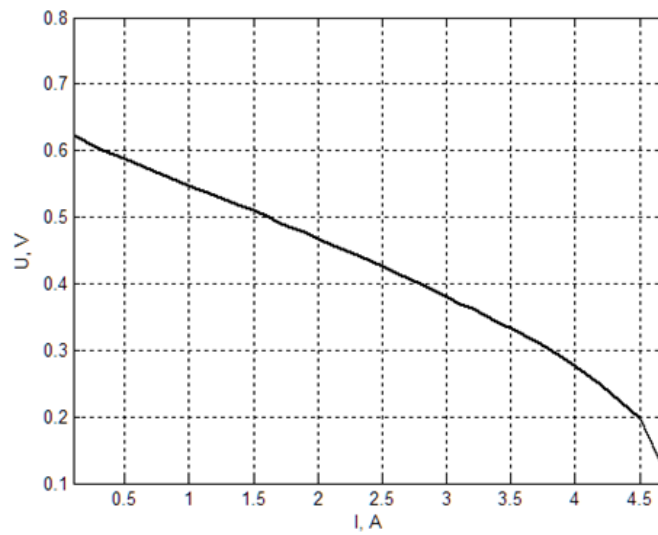


13 pav. Saulės baterijos galios priklausomybė nuo apkrovos srovės

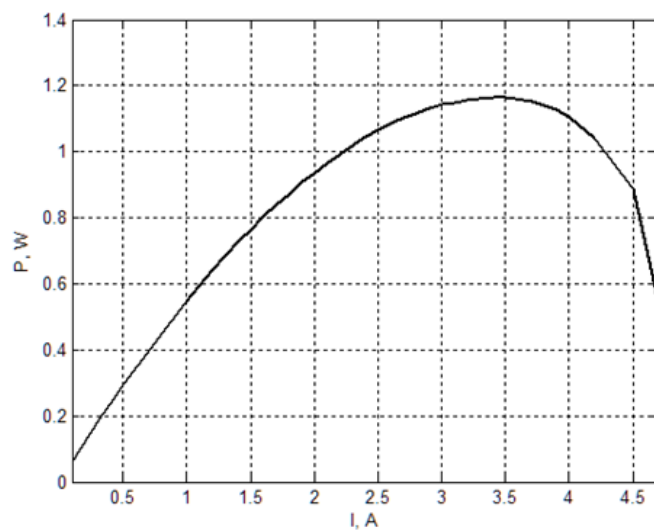


14 pav. Saulės baterijos galios priklausomybė nuo įtampos

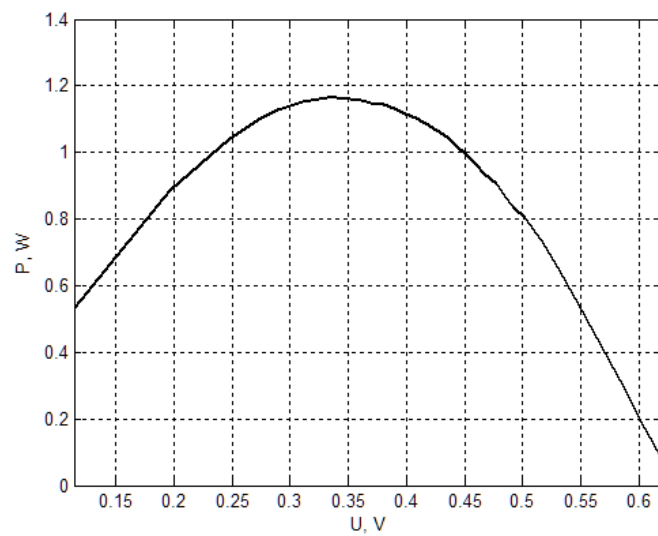
II – atvejis. Didžiausia panelės galia pasiekta, kai apkrovos srovė yra 3,5A (5 pav.). Didžiausios galios įtampa 0,35V (6 pav.). Įtampos priklausomybė nuo apkrovos srovės pateikta (4 pav.).



15 pav. Saulės baterijos įtampos priklausomybė nuo apkrovos srovės



16 pav. Saulės baterijos galios priklausomybė nuo apkrovos srovės

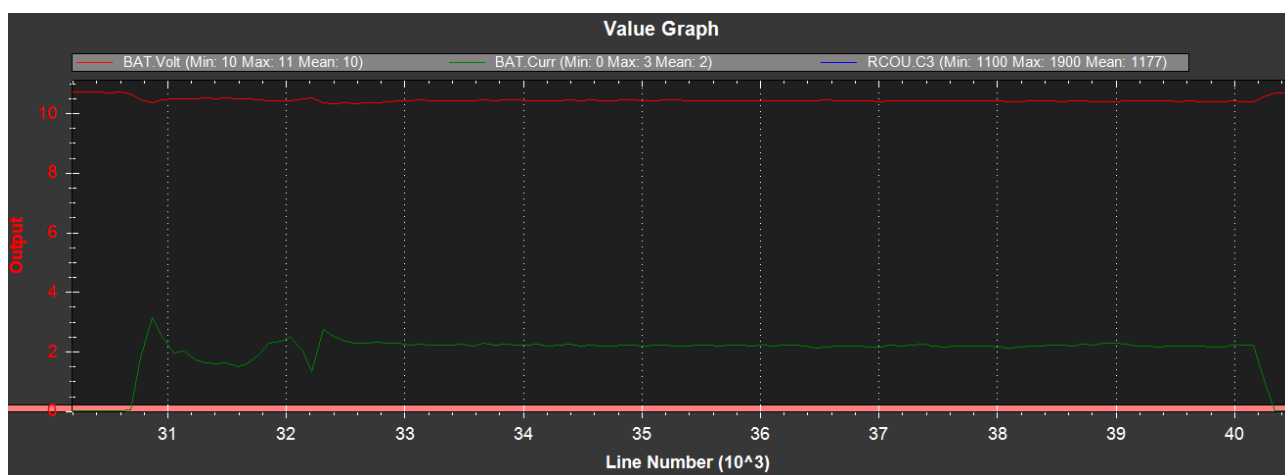


17 pav. Saulės baterijos galios priklausomybė nuo įtampos

Atlikus bandymus laboratorinėmis sąlygomis nustatytos ribos kuriose saulės baterijos veikia efektyviausiai. Foto elemento paviršiaus ir saulės spindulių kritimo kampas nedaro didelės įtakos didžiausios galios taškui.

Bandymai su orlaiviu pradedami nustatant maksimalią galią, kurią gali pasiekti visa sistema. Šiame žingsnyje skraidantis sparnas bus bandomas laikomas rankose. Tokiose sąlygose nebus horizontalaus stabilumo, autopilotas siųs signalą į „servo“ mechanizmus su komandomis atstatyti orlaivį į horizontalią padėtį. Apkrauti „servo“, mechanizmai naudos daugiau energijos. Orlaiviui esant įtvirtintam ant žemės, sistema apkraunama dar labiau, nei galėtų būti skrydžio metu. Oras aplink variklį nejudės, o nejudantį orą propeleriui sunkiau traukti. Variklis sunaudos daugiau energijos, nei naudotų orlaiviui skrendant kreiseriniu ar didžiausiu greičiu.

Aušros metu, kai oro santykinė drėgmė didžiausia, pilnai įkraunamas orlaivio akumuliatorius ir pradedamas bandymas. Įjungiami visi komponentai, be saulės baterijų. Autopilotui duodama komanda įjungti stabilizavimo režimą, taip užtikrinamas abiejų „servo“ mechanizmų darbas. Rankiniu būdu variklio sūkių reguliatoriui duodama komanda veikti didžiausiais sūkais. Šiame etape orlaivis bus lyg prieš paleidimą skrydžiui, bet paleistas nebus. Toks režimas tęsiamas 15s, kartojamas tris kartus. Išjungus orlaivį, autopilotas prijungiamas prie kompiuterio. Iškeliami tyrimui reikiama informacija ir analizuojami duomenys (18 pav.).



18 pav. Didžiausia galia reikalinga orlaivio sistemai

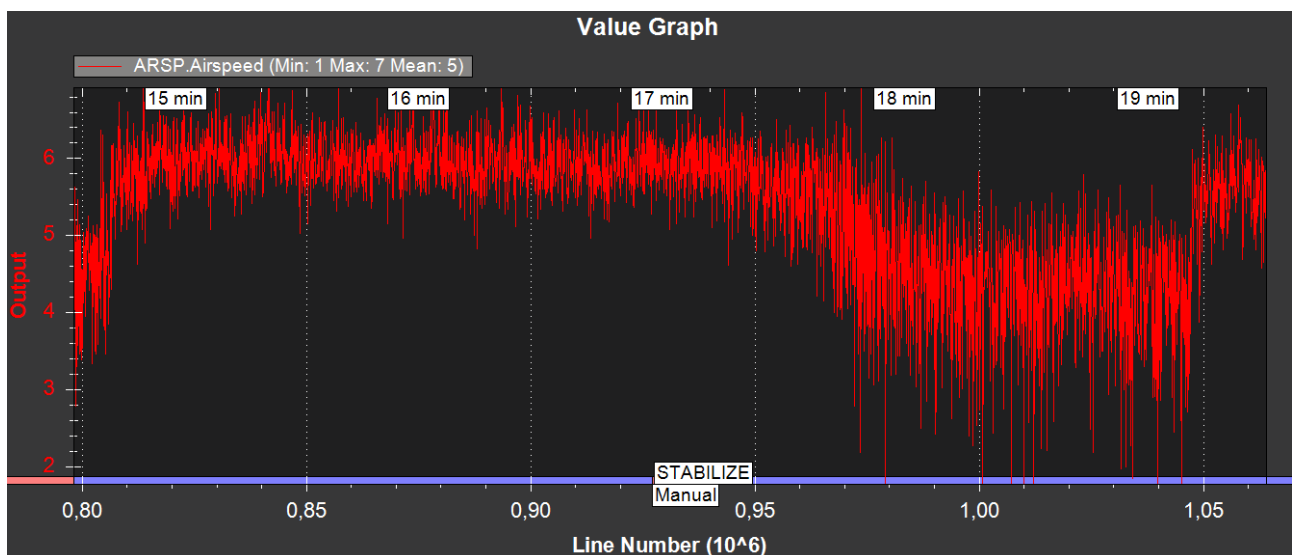
Žalia spalva: srovė (A),
raudona spalva: įtampa (V).

Gauti duomenys atspindi orlaivio suvartotos energijos kiekį (18 pav.). Paveiksle pateikiamas vienas iš trijų analogiškų sistemos apkrovų bandymų. Žalia grafiko juosta atvaizduoja srovės vartojimo amplitudę:

- didžiausia momentinė srovė: 3,1A;
- vidutinė vartojama srovė: 2,3A.

Toliau sekantiems bandymams pasirinktas vidurdienio metas, tai 13:00 – 16:00 val. dienos. Tokiu metu saulė yra aukščiausioje zonoje, krintantys spinduliai stačiausiu kampu apšviečia paneles. Oro temperatūra 19 – 25 laipsniai. Bandymams pasirinktos dvi dienos. Pirmos bandymų dienos metu debesuotumas lygus 0 %, bandymai tokiomis sąlygomis padės nustatyti didžiausiai įmanoma energijos kiekį gaunama iš saulės baterijų. Antros dienos 30 –40% debesuotumas leis aiškiai nustatyti saulės elementų efektyvumą optimaliomis sąlygomis.

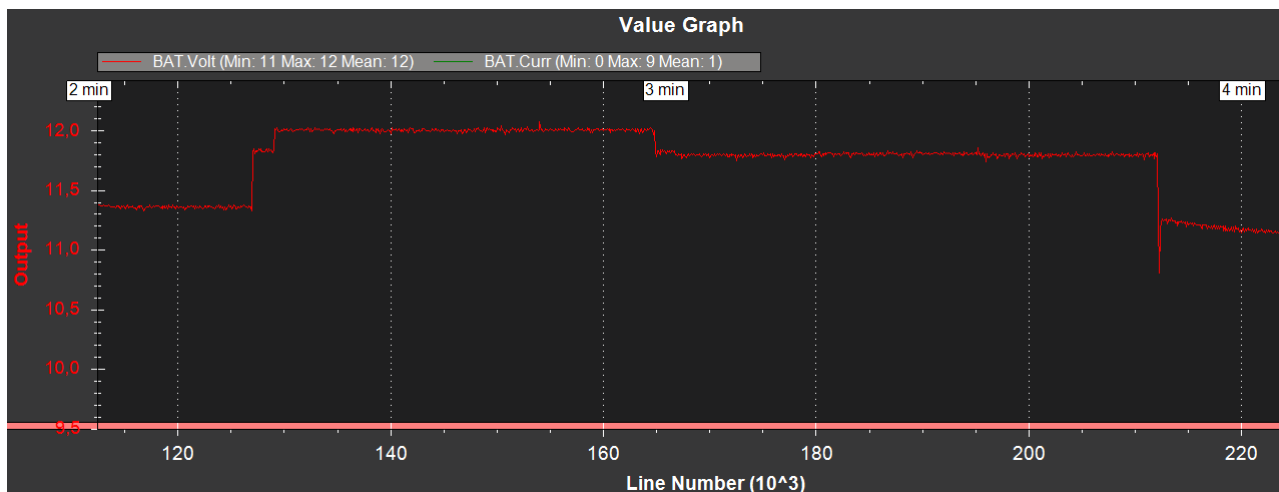
Veikiant saulės baterijoms, per pirmas 15-20min. pasiekama didžiausia panelės paviršiaus temperatūra, kuri nepakyla aukščiau 50 °C. Bandymų metu orlaivis tvirtinamas taip, jog vėjo kryptis būtų statmena, taip imituojamas orlaivio skrydis, kadangi sparną apteka oras. Oro srautas aušina saulės baterijų paneles. Vidutinis vėjo greitis pateiktas (19 pav.).



19 pav. Vidutinis vėjo greitis

Raudona spalva: vėjo greitis (m/s).

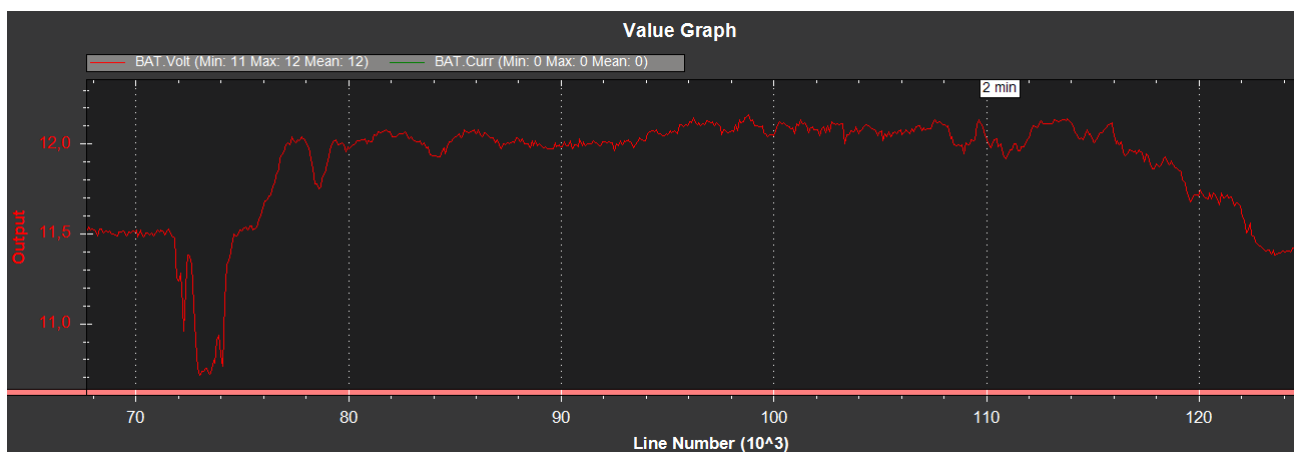
Jeigu akumulatoriaus įtampa $V_{akum.}$ bus didesnė už saulės elementų sukuriamą įtampą $U_{did.}$, stebėti krovimo proceso nepavyks. Akumulatorius kraunamas, kol krovimo šaltinio įtampa yra aukštesnė. Didžiausia saulės baterijų įtampa gali būti $U_{did.} = 12 V$. Orlaivio akumulatoriaus įkrautas iki $U_{akum.} = 11,4 V$. Įjungta visa orlaivio sistema. Prijungiama saulės baterijų grandinė, pradėdamas orlaivio akumulatoriaus krovimo procesas. Šiame etape akumulatoriaus nėra apkrautas jokių darbu, krovimo metu įtampa pasiekai didžiausia įmanoma reikšme, $U = 12 V$. Teoriškai apskaičiuota didžiausia saulės baterijų kuriama įtampa sutampa su gauta bandymo metu (20 pav.).



20 pav. Didžiausia įtampa, kokia gali būti kraunamas akumuliatorius

Raudona spalva: įtampa (V).

Atliekamas bandymas matuojant tik saulės elementų grandinės įtampą. Tikslas nustatyti didžiausią galimą įtampą šioje grandinėje. Saulės elementai nėra prijungti prie sistemos, nėra jokios apkrovos, kuri gali žeminti įtampą. Bandymo metu aukščiausia įtampos vertė siekia $U = 12,1 V$, tačiau vidutinė įtampa sutampa su krovimo metu gauta reikšme $U = 12 V$ (21 pav.).

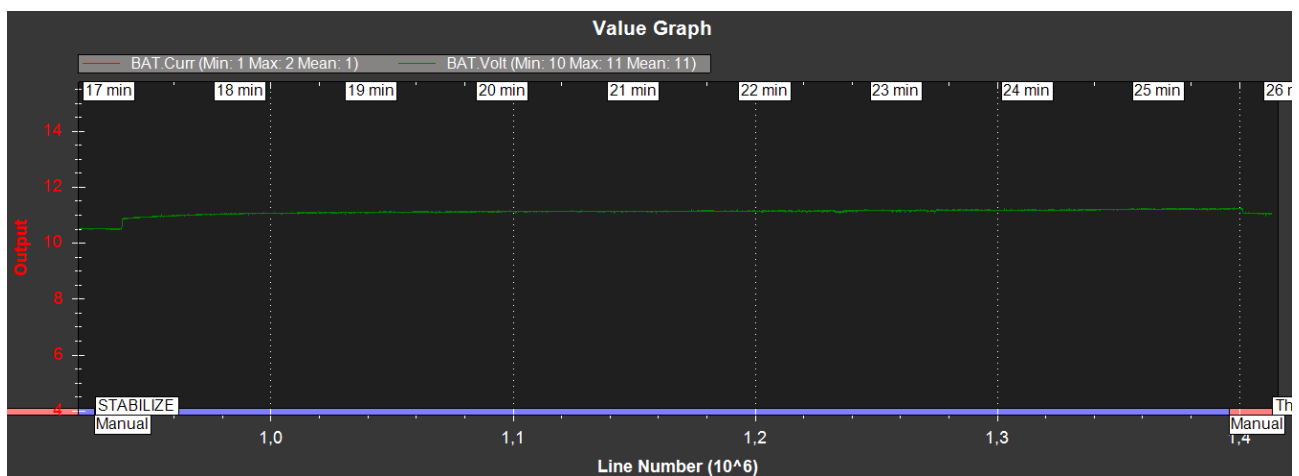


21 pav. Didžiausia įtampa, kurią gali pasiekti saulės baterijos

Raudona spalva: įtampa (V).

Atlikus ankstesnius bandymus įsitikinta, jog sistemą saugu naudoti, nėra viršijami reikiami parametrai. Tikėtasi, jog orlaivio akumuliatoriaus temperatūra turi būti didesnė už aplinkos. Šiam procesui stebėti naudojamas temperatūros matavimui skirtas prietaisas. Pradedamas akumuliatoriaus krovimo bandymas veikiant visai sistemai, tik be papildomos apkrovos. Variklis neveikia. Grafike matoma, jog per pirmas 8 minutes akumuliatoriaus įtampa stabiliai kilo nuo

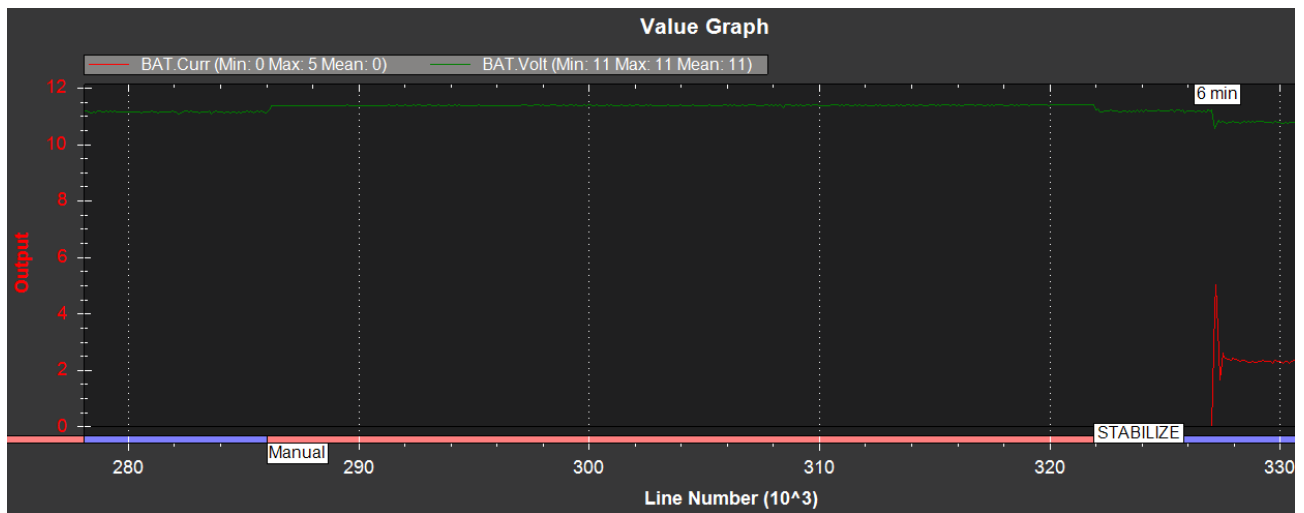
$U_{min.} = 11 V$ iki $U_{did.} = 11,5 V$. Šiame etape matuoti įkrovimo srovės nebuvo galimybės, dėl elektronikos jungimo schemos. Per šias 8 minutes akumulatoriaus įtampa pakito nuo $T_{pradž.} = 25 ^\circ C$ iki $T_{pab.} = 29 ^\circ C$. Toks akumulatoriaus temperatūros pakitimas yra visiškai normalus. Įprasto krovimo metu naudojant pakrovėją, kai akumulatorius įkraunamas 3 A srove, o įtampos intervalas nuo $U_{min.} = 11 V$ iki $U_{did.} = 11,5 V$, užfiksuotas analogiškas akumulatoriaus įtampos kilimas. Tai saugus būdas krauti akumuliatorių, atsižvelgiant į faktą, jog saulės baterijos dirbo visu pajėgumu, debesuotumas buvo lygus 0 % ir stipresne srove krovimas - negalimas. Bandymo metu saulės baterijos aušinamos vėjo, kurio greitis nekito ir buvo lygus $\sim 6 m/s$, visu dvidešimties panelių išmatuota temperatūra testo pabaigoje, $T = 48 ^\circ C$ (22 pav.).



22 pav. Akumulatoriaus krovimas naudojant saulės baterijas

Žalia spalva: įtampa (V).

Atliekamas dar vienas akumulatoriaus krovimo testas. Pasirenkama antroji diena, kai debesuotumas lygus 30 – 40%. Tai leis aiškiai nustatyti saulės elementų efektyvumą optimaliomis oro sąlygomis. Bandymas truks taip pat, apie 8 minutes. Nustatytas įtampos kitimas nuo $U_{min.} = 11,1 V$ iki $U_{did.} = 11,4 V$. Oro srautas paneles aušina panašiu 5 – 6 m/s greičiu, jų temperatūra testo pabaigoje $T = 40 ^\circ C$ (23 pav.).



23 pav. Akumuliatoriaus krovimas naudojant saulės baterijas. Optimalios sąlygos
Žalia spalva: įtampa (V).

Nustatant visos orlaivio sistemos didžiausią galią (24 pav.), nustatyta vidutinė įtampa $U_{norm.} = 10,6 V$ ir didžiausia vidutinė naudojama srovė $I_{vid.did.} = 2,3 A$. Sistemos galia bandymo metu:

$$P_{darbinė} = U_{norm.} \times I_{vid.did.} = 10,6 \times 2,3 = 24,38 W$$

Didžiausia teorinė orlaivio sistemos galia, kai akumuliatorius įkrautas iki $U_{akum.did.} = 12,75 V$:

$$P_{did.} = U_{akum.did.} \times I_{vid.did.} = 12,75 \times 2,3 = 29,32 W$$

Orlaivio saulės baterijų galia yra mažesnė, nei nurodoma gamintojo aprašyme. Reali vienos panelės generuojama įtampa $U_{saulės\ panelės\ did.} = 12 V$ ir srovė $I_{saulės\ panelės\ did.} = 3,6 A$. Saulės baterijų reali galia:

$$P_{saulės\ panelės} = U_{saulės\ panelės\ did.} \times I_{saulės\ panelės\ did.} = 12 \times 3,6 = 43,2 W$$

Gamintojo deklaruojama didžiausia saulės baterijų galia:

$$P_{saulės\ panelės\ teo.} = U_{saulės\ panelės\ did.\ teo.} \times I_{saulės\ panelės\ did.\ teo.} = 11,6 \times 5,93 = 68,78 W$$

Atlikus šiuos skaičiavimus ir bandymus paaiškėjo, kad orlaiviui reikalingas didžiausias galios kiekis ir krovimo galia gaunama iš saulės elementų skiriasi. Realiomis sąlygomis krovimo galia gaunama $P_{saulės\ baterijų} = 46,8 W$, teorinėmis sąlygomis $P_{saulės\ bat.teo.} = 68,78 W$. Tuo metu visa orlaivio sistemos didžiausia galia $P_{did.} = 29,32 W$. Atsižvelgus į tai ir į faktą, jog orlaivis skrydžio metu naudos mažiau energijos, didžiausia galia naudojama tik kilimo metu, nuspėta nenaudoti orlaivio komponentų apkrovos sudarymui. Vietoje orlaivio variklio ir „servo“ mechanizmų

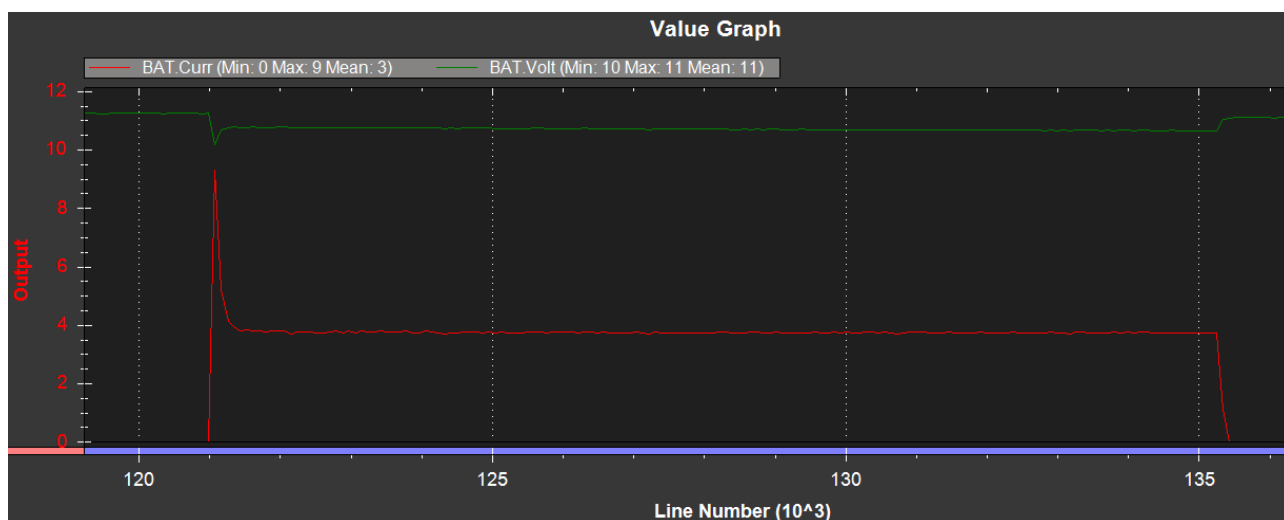
dirbančių didžiausioje apkrovoje bus naudojama automobilinė „H11“ standarto lempa. Šios lempos parametrai:

- didžiausia galia: 55 W;
- darbinė įtampa: 12 V.

Lempos galia didesnė, nei saulės baterijų krovimo galia. Veikiant lempai orlaivio akumuliatorius nebus kraunamas, dėl per mažo srovės stiprio gaunamo iš saulės baterijų. Bus galimybė aiškiai matyti srovės stiprumo kitimą priklausomai nuo oro sąlygų.

Įjungiamas orlaivis, prie sistemos prijungta „H11“ lempa. Grafike matomas įtampos kritimas lempos prijungimo metu nuo $U_0 = 11,25 V$ iki $U_1 = 10,8 V$, srovės pakilimas nuo $I_0 = 0 A$ iki $I_1 = 4 A$. Lempos vartojamas srovės stipris yra stabilus ir nekinta laiko atžvilgiu. „H11“ lempos galia bandymo metu (24 pav.):

$$P_{H11 \text{ bandymo.}} = U_1 \times I_1 = 10,8 \times 4 = 43,2 W$$



24 pav. Veikti nuo akumuliatoriaus įjungiamą 55W lempą

Žalia spalva: įtampa (V),

raudona spalva: srovė (A).

Atsižvelgiant į ankstesnių bandymų rezultatus atliekamas didžiausios saulės elementų galios testas. Orlaivis įtvirtinamas taip, jog saulės spindulių kryptis būtų visiškai statmena panelėms. Panelių pasvirimo kampas matuojamas nuo horizontalios ašies ir yra 35° . Debesuotumas lygus 0 %. Testo metu orlaivis veikia nuo akumuliatoriaus, prijungiamas krovimas naudojant saulės baterijas, prijungiamą „H11“ lempą apkrovai sudaryti. Stebimas sistemos darbas (31 pav.).



25 pav. Didžiausią efektyvumą pasiekti, orlaivis pritvirtinamas atakos kampu

Šio testo metu įtampa nekito, buvo lygi $U_{H11 \text{ did.}} = 11,4 \text{ V}$. Srovės mažiausia reikšmė $I_{H11 \text{ min.}} = 0,6 \text{ A}$. Vidutinė mažiausia srovė $I_{H11 \text{ min.vidutinė.}} = 1 \text{ A}$. Žinant koks srovės stipris reikalingas „H11“ lempai veikti, galima apskaičiuoti saulės elementų srovės stiprį:

$$I_{\text{saulės baterijų did.}} = I_1 - I_{H11 \text{ min.}} = 4 - 0,6 = 3,4 \text{ A}$$

Didžiausia vidutinė saulės elementų generuojama srovė:

$$I_{\text{saulės baterijų did. vid.}} = I_1 - I_{H11 \text{ min.vidutinė.}} = 4 - 1 = 3 \text{ A}$$

Praktiškai nustatyta, jog didžiausia tikra vienos panelės kuriama srovė yra $I_{\text{saulės panelės did.}} = 3,6 \text{ A}$. Gamintojo deklaruojama didžiausia vienos panelės kuriama srovė yra $I_{\text{saulės panelės did. teo.}} = 5,93 \text{ A}$. Taip pat gamintojas nurodo, jog panelės, kurios parametrai:

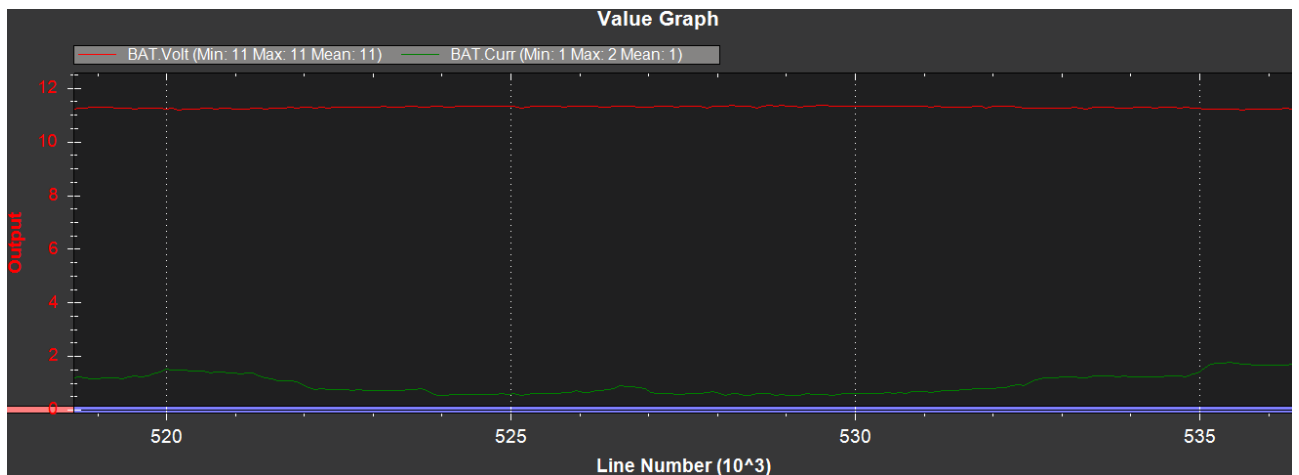
- generuojama įtampa: 0,58V;
- generuojama srovė: 5,93A.

naudingumo koeficientas yra 22,5%. Pagal bandymo metu gautus duomenis tikrasis didžiausias panelės naudingumo koeficientas:

$$1 \text{ Koef.} = I_{\text{saulės baterijų did.}} \times 22,5\% \div I_{\text{saulės panelės did. teo.}} = 3,4 \times 22,5\% \div 5,93 = 12,9\%$$

Pagal bandymo metu gautus duomenis tikrasis didžiausias vidutinis panelės naudingumo koeficientas (26 pav.):

$$2 \text{ Koeff.} = I_{\text{saulės baterijų did. vid.}} \times 22,5\% \div I_{\text{saulės panelės did. teo.}} = 3 \times 22,5\% \div 5,93 = 11,4\%$$



26 pav. Didžiausias užfiksuotas galingumas

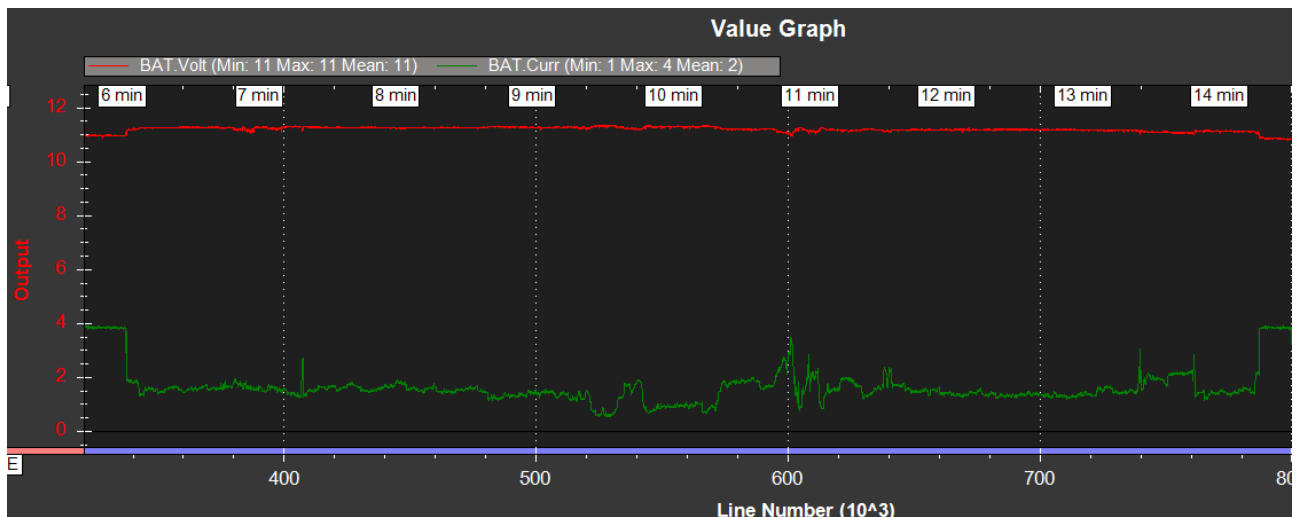
Žalia spalva: srovė (A),
raudona spalva: įtampa (V).

Analogiškas bandymas atliktas antrą dieną, kai debesuotumo lygis 30–40%. Šiuo testu bus nustatytas saulės elementų didžiausias efektyvumas optimaliomis sąlygomis. Orlaisis įtvirtintas taip, kad saulės spinduliai būtų statmeni panelėms. Šio testo metu įtampa kito labiau, dėl saulės šviesos nepastovumo. Vidutinė įtampa $U_{2H11 \text{ did.}} = 11,4 \text{ V}$. Srovės mažiausia reikšmė $I_{2H11 \text{ min.}} = 0,6 \text{ A}$. Vidutinė mažiausia srovė $I_{2H11 \text{ min.vidutinė.}} = 1,5 \text{ A}$. Žinant koks srovės stipris reikalingas „H11“ lempai veikti, galima apskaičiuoti saulės elementų srovės stiprį:

$$I_{2 \text{ saulės baterijų did.}} = I_1 - I_{2H11 \text{ min.}} = 4 - 0,6 = 3,4 \text{ A}$$

Didžiausia vidutinė saulės elementų generuojama srovė (27 pav.):

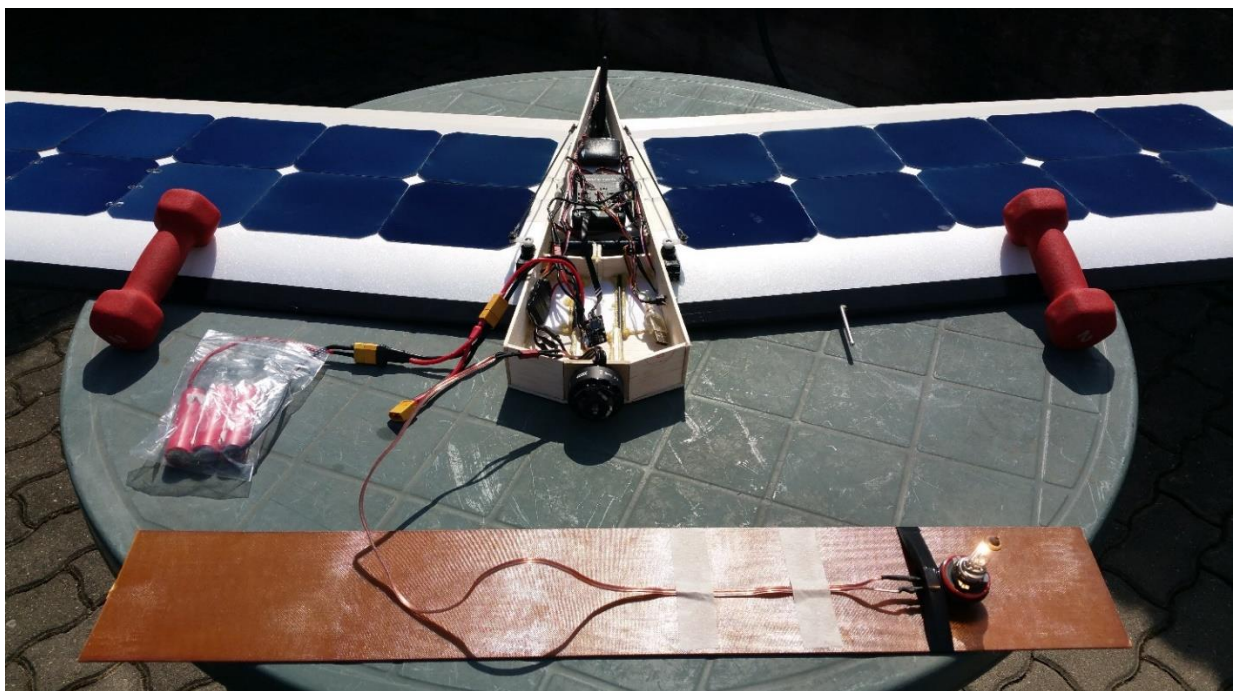
$$I_{2 \text{ saulės baterijų did. vid.}} = I_1 - I_{2H11 \text{ min.vidutinė.}} = 4 - 1,5 = 2,5 \text{ A}$$



27 pav. Didžiausias galingumas optimaliomis sąlygomis

Žalia spalva: srovė (A),
raudona spalva: įtampa (V).

Baigus bandymus su didžiausiu įmanomu saulės baterijų efektyvumu, kai orlaivis pritvirtintas stačiausiu kampu į saulę, pradedami testai su orlaiviu realioje skrydžio pozicijoje. Šių bandymų metu orlaivis vėl įtvirtinamas horizontalioje pozicijoje. Dėl sparno išgaubtumo viršutinėje dalyje, saulės baterijų panelės yra 5° kampu nuo horizontalios pozicijos. 5 – 6 m/s vėjas apteka orlaivio sparną imituodamas skrydžio būseną. Skaiciavimo metu bus nustatytas saulės baterijų efektyvumas įprastoje lėktuvo pozicijoje. Gauti duomenys - kokią įtaką saulės elementų efektyvumui turi šviesos kritimo kampas (28 pav.).



28 pav. Orlaivis pritvirtinamas horizontalioje pozicijoje

Testo metu įtampa nekito, buvo lygi $U_{3 H11 did.} = 10,9 V$. Srovės mažiausia reikšmė $I_{3 H11 min.} = 0,6 A$. Vidutinė mažiausia srovė $I_{3 H11 min.vidutinė.} = 0,7 A$. Žinant koks srovės stipris reikalingas „H11“ lempai veikti, galima apskaičiuoti saulės elementų srovės stiprį:

$$I_{3 saulės baterijų did.} = I_1 - I_{3 H11 min.} = 4 - 0,6 = 3,4 A$$

Didžiausia vidutinė saulės elementų generuojama srovė:

$$I_{3 saulės baterijų did. vid.} = I_1 - I_{3 H11 min.vidutinė.} = 4 - 0,7 = 3,3 A$$

Praktiškai nustatyta, jog didžiausia tikra vienos panelės kuriama srovė yra $I_{saulės panelės did.} = 3,6 A$. Gamintojo deklaruojama didžiausia vienos panelės kuriama srovė yra $I_{saulės panelės did. teo.} = 5,93 A$. Taip pat gamintojas nurodo, jog panelės, kurios parametrai:

- generuojama įtampa: 0,58V;
- generuojama srovė: 5,93A.

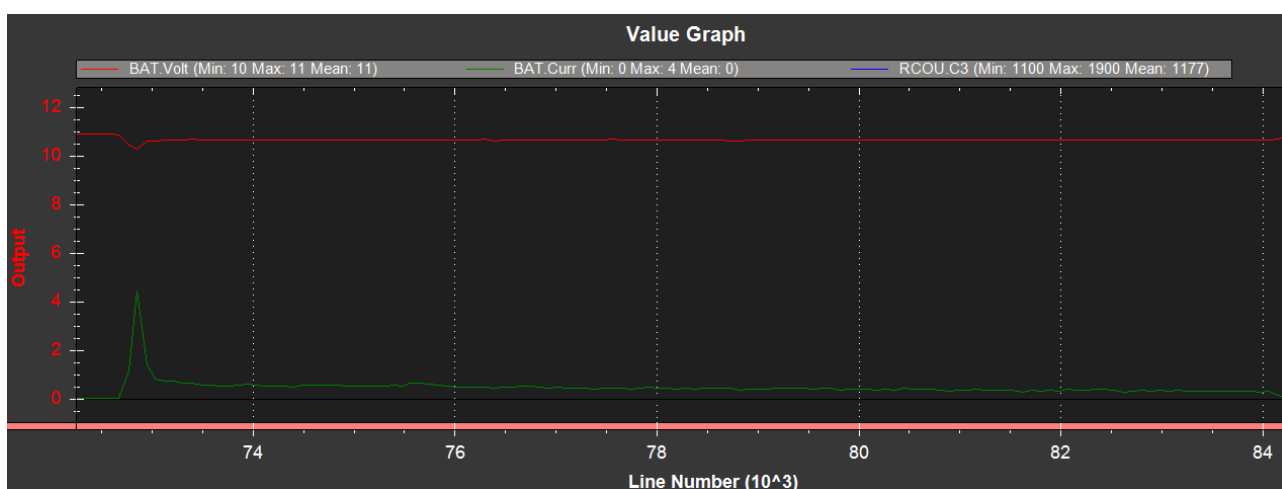
naudingumo koeficientas yra 22,5%. Pagal bandymo metu, kai orlavis horizontalioje pozicijoje, gautus duomenis tikrasis didžiausias panelės naudingumo koeficientas:

$$3 Koeff. = I_{3 saulės baterijų did.} \times 22,5\% \div I_{saulės panelės did. teo.} = 3,4 \times 22,5\% \div 5,93 = 12,9\%$$

Pagal bandymo metu, kai orlavis horizontalioje pozicijoje, gautus duomenis tikrasis didžiausias vidutinis panelės naudingumo koeficientas (29 pav.):

$$4 Koeff. = I_{3 saulės baterijų did.vid.} \times 22,5\% \div I_{saulės panel. did. teo.} = 3,3 \times 22,5\% \div 5,93 = 12,5\%$$

Reikia pabrėžti jog šio testo pabaigos metu saulės elementų paviršiaus temperatūra siekė 34 °C.



29 pav. Didžiausias galingumas. I bandymas

Žalia spalva: srovė (A),
raudona spalva: įtampa (V).

Bandymas pakartotas antrą kartą. Mažesnės paklaidos tikimybės užtikrinimui. Testo metu įtampa $U_{4 H11 did.} = 10,8 V$. Srovės mažiausia reikšmė $I_{4 H11 min.} = 1,6 A$. Vidutinė mažiausia srovė $I_{4 H11 min.vidutinė.} = 1,8 A$. Apskaičiuotas saulės elementų didžiausias srovės stipris:

$$I_{4 saulės baterijų did.} = I_1 - I_{4 H11 min.} = 4 - 1,6 = 2,4 A$$

Didžiausia vidutinė saulės elementų generuojama srovė:

$$I_{4 saulės baterijų did. vid.} = I_1 - I_{4 H11 min.vidutinė.} = 4 - 1,8 = 2,2 A$$

Pakartoto bandymo metu, kai orlavis horizontalioje pozicijoje, gautus duomenis tikrasis didžiausias panelės naudingumo koeficientas (30 pav.):

$$5 Koeff. = I_{4 saulės baterijų did.} \times 22,5\% \div I_{saulės panelės did. teo.} = 2,4 \times 22,5\% \div 5,93 = 9,1\%$$

Pakartoto bandymo metu, kai orlavis horizontalioje pozicijoje, gautus duomenis tikrasis didžiausias vidutinis panelės naudingumo koeficientas:

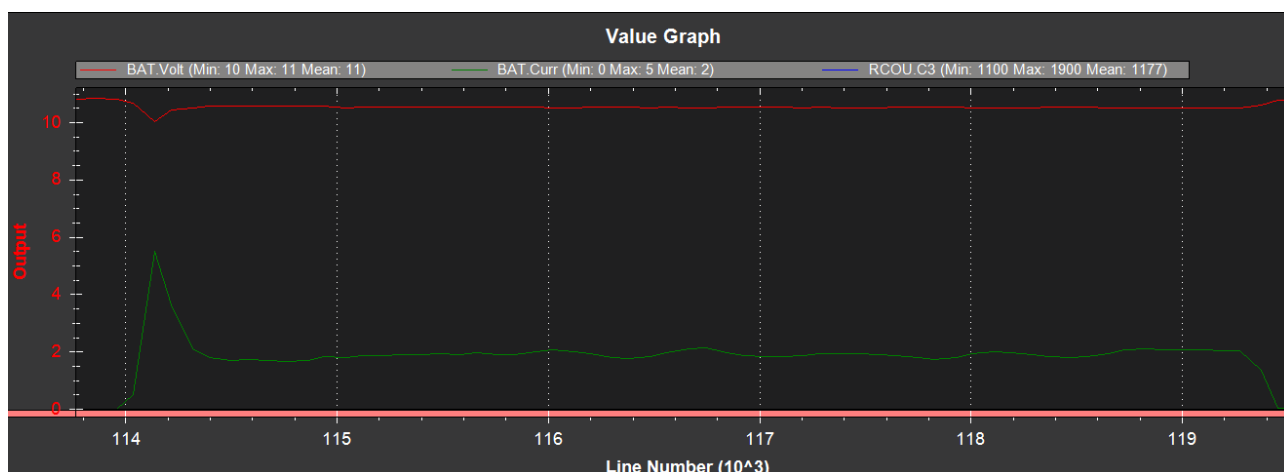
$$6 Koeff. = I_{4 saulės baterijų did.vid.} \times 22,5\% \div I_{saulės panelės did. teo.} = 2,2 \times 22,5\% \div 5,93 = 8,34\%$$

Reikia pabrėžti, kad šio testo pabaigos metu saulės elementų paviršiaus temperatūra siekė $48\text{ }^{\circ}C$.

Vidutiniai paskutinių dviejų bandymų rezultatai:

Didžiausio efektyvumo vidurkis: $(3 Koeff. + 5 Koeff.) \div 2 = (12,9 + 9,1) \div 2 = 11\%$.

Didžiausia vidutinė srovė: $(I_{3 saulės baterijų did.} + I_{4 saulės baterijų did.}) \div 2 = (3,4 + 2,4) \div 2 = 2,9 A$.



30 pav. Vidutinis galingumas. II bandymas

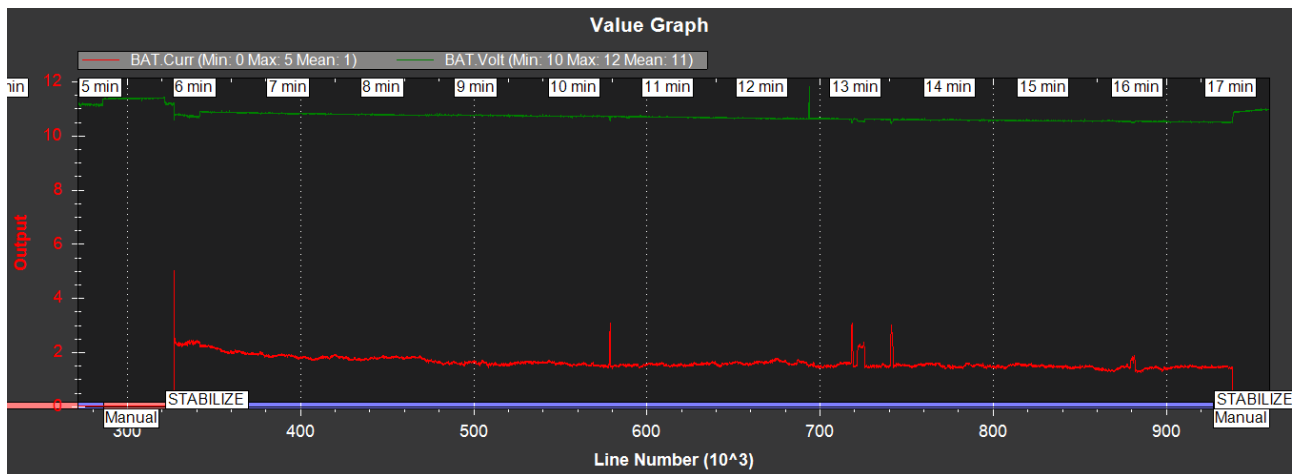
Žalia spalva: srovė (A),
raudona spalva: įtampa (V).

Analogiškas bandymas atliktas antrąją dieną, kai debesuotumo lygis 30 –40%. Šiuo testu bus nustatytas saulės elementų didžiausias efektyvumas optimaliomis sąlygomis, kai orlaivis horizontalioje pozicijoje. Vidutinė įtampa $U_{5 H11 did.} = 10,9 V$. Srovės mažiausia reikšmė $I_{5 H11 min.} = 1,6 A$. Vidutinė mažiausia srovė $I_{5 H11 min.vidutinė.} = 1,9 A$. Apskaičiuotas saulės elementų srovės stiprį (31 pav.):

$$I_{5 saulės baterijų did.} = I_1 - I_{5 H11 min.} = 4 - 1,6 = 2,4 A$$

Didžiausia vidutinė saulės elementų generuojama srovė:

$$I_{5 saulės baterijų did. vid.} = I_1 - I_{5 H11 min.vidutinė.} = 4 - 1,9 = 2,1 A$$



31 pav. Vidutinis galingsumas optimaliomis sąlygomis. I bandymas

Žalia spalva: įtampa (V),
raudona spalva: srovė (A).

Bandymas pakartotas antrą kartą. Mažesnės paklaidos tikimybės užtikrinimui. Vidutinė įtampa $U_{6 H11 did.} = 11,2 V$. Srovės mažiausia reikšmė $I_{6 H11 min.} = 1 A$. Vidutinė mažiausia srovė $I_{6 H11 min.vidutinė.} = 1,5 A$. Apskaičiuotas saulės elementų srovės stiprį (32 pav.):

$$I_{6 saulės baterijų did.} = I_1 - I_{6 H11 min.} = 4 - 1 = 3 A$$

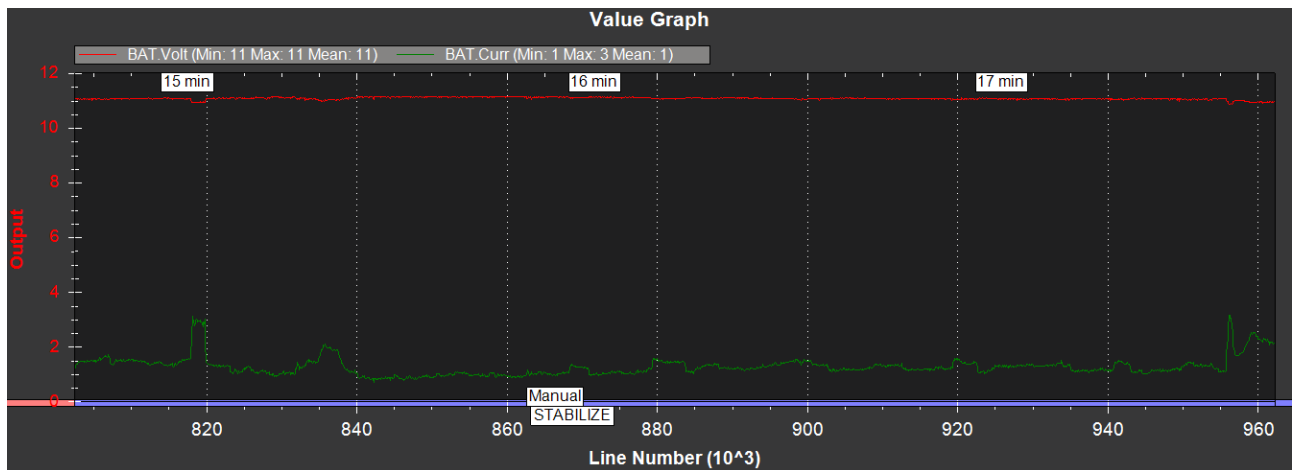
Didžiausia vidutinė saulės elementų generuojama srovė:

$$I_{6 saulės baterijų did. vid.} = I_1 - I_{6 H11 min.vidutinė.} = 4 - 1,5 = 2,5 A$$

Vidutiniai paskutinių dviejų bandymų rezultatai:

didžiausia vidutinė srovė:

$$(I_{5 saulės baterijų did.} + I_{6 saulės baterijų did.}) \div 2 = (2,4 + 2,5) \div 2 = 2,45 A.$$



32 pav. Vidutinis galingumas optimaliomis sąlygomis. II bandymas

Žalia spalva: srovė (A),
raudona spalva: įtampa (V).

3.2. Rezultatų palyginimas

3.2.1. Kai orlaivio saulės baterijas pasiekia statmeni spinduliai

Atlikti bandymai su didžiausiu įmanomu saulės baterijų efektyvumu, kai saulės spindulių kampas į panelės paviršių yra statmenas. Panelių pasvirimo kampas matuojamas nuo horizontalios ašies ir yra 35° . Debesuotumas lygus 0 %. Testo metu gauti duomenys:

Didžiausia saulės elementų generuojama srovė tobulomis sąlygomis:

$$I_{\text{saulės baterijų did.}} = 3,4 \text{ A}$$

Didžiausia vidutinė saulės elementų generuojama srovė tobulomis sąlygomis:

$$I_{\text{saulės baterijų did. vid.}} = 3 \text{ A}$$

Didžiausias panelės naudingumo koeficientas esant tobulomis sąlygomis:

$$1 \text{ Koef.} = 12,9\%$$

Didžiausias vidutinis panelės naudingumo koeficientas esant tobulomis sąlygomis (32 pav.):

$$2 \text{ Koef.} = 11,4\%$$

Analogiškas bandymas atliktas antrą dieną, kai debesuotumo lygis 30–40%. Šiuo testo metu nustatytas saulės elementų didžiausias efektyvumas optimaliomis sąlygomis. Gauti duomenys:

Didžiausia saulės elementų generuojama srovė optimaliomis sąlygomis:

$$I_2 \text{ saulės baterijų did.} = 3,4 \text{ A}$$

Didžiausia vidutinė saulės elementų generuojama srovė optimaliomis sąlygomis (27 pav.):

$$I_2 \text{ saulės baterijų did. vid.} = 2,5 \text{ A}$$

3.2.2. Kai orlaivio saulės baterijos apšviečiamos 30° kampu

Atlikti testai su orlaiviu realioje skrydžio pozicijoje. Šių bandymų metu orlaivis įtvirtinamas horizontalioje pozicijoje. Dėl sparno išgaubtumo viršutinėje dalyje, saulės foto elementai yra 5° kampu nuo horizontalios plokštumos. Saulės spindulių kritimo kampa į panelę yra 30°. Debesuotumas lygus 0 %. Gauti duomenys:

I– bandymo, kai saulės elementų paviršiaus temperatūra siekė 34 °C :

Didžiausia foto elementų generuojama srovė tobulomis sąlygomis:

$$I_3 \text{ saulės baterijų did.} = 3,4 \text{ A}$$

Didžiausia vidutinė foto elementų generuojama srovė tobulomis sąlygomis:

$$I_3 \text{ saulės baterijų did. vid.} = 3,3 \text{ A}$$

Didžiausias foto elementų naudingumo koeficientas esant tobulomis sąlygomis:

$$3 \text{ Koef.} = 12,9\%$$

Didžiausias vidutinis foto elementų naudingumo koeficientas esant tobulomis sąlygomis (29 pav.):

$$4 \text{ Koef.} = 12,5\%$$

II– bandymo, kai saulės elementų paviršiaus temperatūra siekė 48 °C (30 pav.):

Didžiausia foto elementų generuojama srovė tobulomis sąlygomis:

$$I_4 \text{ saulės baterijų did.} = 2,4 \text{ A}$$

Didžiausia vidutinė foto elementų generuojama srovė tobulomis sąlygomis:

$$I_4 \text{ saulės baterijų did. vid.} = 2,2 \text{ A}$$

Didžiausias foto elementų naudingumo koeficientas esant tobulomis sąlygomis:

$$5 \text{ Koef.} = 9,1\%$$

Didžiausias vidutinis foto elementų naudingumo koeficientas esant tobulomis sąlygomis:

$$6 \text{ Koef.} = 8,34\%$$

Vidutiniai paskutinių I ir II bandymų rezultatai:

Didžiausio efektyvumo vidurkis: 11%.

Didžiausia vidutinė srovė: 2,9A.

Analogiškas bandymas atliktas antrą dieną, kai debesuotumo lygis 30 –40%. Šiuo testo metu nustatytas saulės elementų didžiausias efektyvumas optimaliomis sąlygomis. Gauti duomenys (31 pav.):

I– bandymo:

Didžiausia foto elementų generuojama srovė optimaliomis sąlygomis:

$$I_{5 \text{ saulės baterijų did.}} = 2,4 \text{ A}$$

Didžiausia vidutinė foto elementų generuojama srovė optimaliomis sąlygomis:

$$I_{5 \text{ saulės baterijų did. vid.}} = 2,1 \text{ A}$$

II– bandymo:

Didžiausia foto elementų generuojama srovė optimaliomis sąlygomis (32 pav.):

$$I_{6 \text{ saulės baterijų did.}} = 3 \text{ A}$$

Didžiausia vidutinė foto elementų generuojama srovė optimaliomis sąlygomis:

$$I_{6 \text{ saulės baterijų did. vid.}} = 2,5 \text{ A}$$

I ir II bandymo didžiausia vidutinė srovė: 2,45A.

IŠVADOS

1. Projektui pasirinkta aktuali tema, suformuluotas aiškus darbų planas, įvykdytas tyrimas. Tyrimo metu susipažinta su saulės baterijų veikimo principu. Individualių saulės panelių pasiūla, jų jungimo schemomis. Pasirinktos efektyvios saulės baterijos, kurios puikiai tiko tyrimui. Suprojektuotas ir pagamintas tikras skraidantis orlaivis, turintis pilną autonomiją, atitinkantis projekto reikalavimus. Orlaivio elektronika pritaikyta naudojimui ir bandymas su foto elementais. Tyrimų metu nustatyta didžiausia orlaivio galia. Foto elementų generuojamos elektros parametrai esant tobulomis ir optimaliomis sąlygomis, kai saulės spinduliai yra statmeni ir pasvirę 30° kampu į elementą. Efektyvumas priklausantis nuo panelės temperatūros. Gauti tikrieji saulės baterijų parametrai palyginti su gamintojo deklaruojamais.

2. Atliekant bandymus su orlaiviu ir saulės baterijomis nustatyta, jog didžiausia orlaivio galia yra lygi generuojamai saulės elementų blogiausiomis apšvietimo sąlygomis. Dėl per mažo orlaivio sistemos galingumo, bandymai atlikti naudojant automobilinę „H11“ standarto lempą, kurios galia atitiko teorinę saulės baterijų galią. Tyrimo metu gauti duomenys pateikti skyriuje: 3.2 Rezultatų palyginimas. Nustatyti tikrieji foto elementų naudingumo koeficientai. Palyginimui, gamintojo deklaruojamas efektyvumas 22,5%. Efektyvumo reikšmės gautos tyrimo metu:

- didžiausias įmanomas: 12,9%;
- labiausiai tikėtinas skrydyje: 8,3-11%.

Nustatytas panelių efektyvumas priklausomas nuo temperatūros:

- kai panelės temperatūra 34°C : 12,9%;
- labiausiai tikėtinas skrydyje 48°C : 9,1%.

3. Atlikti atskiros saulės baterijos panelės bandymai laboratorinėmis sąlygomis.

4. Nustatyta, jog spindulių kritimo kampas nuo statmeno iki 30° foto elementams didesnės įtakos neturi. Šviesos šaltinio kampo įtaka foto elementams geriau atsispindėtų, naudojant papildomus veidrodžius šviesos koncentracijai. Taip didinant efektyvumo koeficientą, tačiau skrydžio metu tokios sąlygos niekada nebus pasiektos. Tyrimo metu į tai neatsižvelgta.

5. Praktiškai patvirtinta, jog tyrimo metu pagamintas orlaivis, turintis $0,306\text{m}^2$ plotą saulės baterijų ir esant debesuotumui iki 30%, gali sėkmingai apsirūpinti reikalinga energija skrydžiui.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Saulės baterijos. Priega per internetą: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Saulės_baterija> [2018 gegužės 1d.].
2. Sunpower Solar cell. Priega per internetą: <<https://www.ebay.com/itm/Sunpower-Solar-Cell-Flexible-Mono-Wafer-Monocrystalline-Dogbone-Busbar-DIY-Panel/262898382095?hash=item3d35f6f50f:m:msJzk-39uYv1QYuwg5VPWdA>> [2018 gegužės 10d.].
3. Mh-aerotools. Priega per internetą: <<https://www.mh-aerotools.de/airfoils/flywing1.htm>> [2018 gegužės 11d.].
4. Bronius Merkys. Orlaivių konstrukcijos. – Vilnius: Technika, 2012. p. 27–35. ISBN 978-609-457-223-4.
5. 3dzone. Priega per internetą: <<httpsfwcg.3dzone.dk>> [2018 gegužės 1d.].
6. Dronerest. Priega per internetą: <<https://blog.dronetrest.com/solar-powered-apm-plane-that-charges-your-batteries-as-you-fly/>> [2018 gegužės 6d.].
7. DIY solar cell. Priega per internetą: <<https://www.ebay.com/itm/Aoshike-100Pcs-DIY-Solar-Panel-Painel-Sun-Solar-Cell-Sunpower-Polycrystalline/253489407981?hash=item3b052567ed:g:IR8AAOSw4P1aqM2C>> [2018 gegužės 6d.].
8. Sunpower. Priega per internetą: <<https://us.sunpower.com/buy-solar-cells/>> [2018 gegužės 5d.].
9. Baterijos specifikacija. Priega per internetą: <<http://rcm.lt/viewtopic.php?f=20&t=33306>> [2018 gegužės 4d.].
10. Sanyo battery. Priega per internetą: <<https://www.aliexpress.com/item/Brand-3-7v-sanyo-ncr18650bf-3400mah-3-7v>> [2018 gegužės 3d.].
11. Uav Factory. Priega per internetą: <<http://www.uavfactory.com/>> [2018 gegužės 4d.].
12. Unmanned systems technology. Priega per internetą: <<http://www.unmannedsystemstechnology.com/company/uav-factory/>> [2018 gegužės 10d.].
13. Wikipedia. Priega per internetą: <https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle> [2018 gegužės 10d.].
14. A. G. Basden. Artificial guide stars for adaptive optics using unmanned aerial vehicles. – Oksfordas: MNRAS, 2018. p. 12–21. PP 2209-2219 [2018 gegužės 12d.].
15. Bronius Merkys. Orlaivių konstrukcijos. – Vilnius: Technika, 2012. –14 p. ISBN 978-609-457-223-4 [2018 gegužės 10d.].
16. Ron Swenson. Solar skyways. Santa Kruzas: Energy Procedia, 2014. p. 109-116. CA 95061 [2018 gegužės 10d.].

17. C.R. Kalaiselvi. Importance of halide perovskites for next generation solar cells. Santa Kruzas: Elsevier, 2014. p. 198-200. ISBN 1876-6102 [2018 gegužēs 8d.].
18. P. Panagiotou. Conceptual design of a hybrid solar MALE UAV. Salonikai: Aristotle University, 2016. p. 207-219. DOI 10.1016 [2018 gegužēs 7d.].
19. Ardupilot. Priega per internetu: <<http://ardupilot.org/plane> [2018 gegužēs 6d.].
20. Sinovoltaics. Priega per internetu: <<http://sinovoltaics.com/technology/top8-leading-companies-developing-solar-powered-drone-uav-technology/> [2018 gegužēs 3d.].
21. My drone labarotory. Priega per internetu: <<http://mydronelab.com/blog/what-is-a-drone.html> [2018 gegužēs 5d.].
22. Civilinēs aviācijas administrācija. Priega per internetu: <<https://www.caa.lt/index.php?1863262406>> [2018 gegužēs 12d.].