



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Matas Misiūnas

Kvadrokopterio triukšmo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

doc. dr. Ramūnas Skvireckas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Kvadropterio triukšmo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Vadovas

(parašas) doc. dr. Ramūnas Skvireckas
(data)

Recenzentas

(parašas) doc. dr. Kazimieras Juzėnas
(data)

Projektą atliko

(parašas) Matas Misiūnas
(data)

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta:

2015 m. vasario mėn. 6 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Matas Misiūnas

1. Darbo tema: Kvadrokopterio triukšmo tyrimas

Patvirtinta: 2015 m. gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr. ST17-F-11-2

2. Darbo tikslas: Eksperimentiškai nustatyti kvadrokopterių keliamus triukšmo lygius panaudojant medžiagas, skirtas triukšmo slopinimui.

3. Darbo uždaviniai ir reikalavimai:

- Iširti ir apibendrinti esamą informaciją apie aviacijos technikos skleidžiamus triukšmus.

- Išsiaiškinti kurios medžiagos izoliuoja triukšmą geriausiai.

- Apibrėžti, koku atstumu kvadrokopteris gali skristi nuo klausytojo, neviršydamas pasirinktų garso lygių, prie tam tikrų apkrovų.

4. Darbo konsultantai (nurodant projekto skyrius)¹: doc. dr. Ramūnas Skvireckas, prof. habil. dr. Vitalijus Volkovas

5. Užduoties išdavimo terminas: 2015 m. vasario mėn. 6 d.

Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2015 m. gegužės mėn. 29 d.

Vadovas: Ramūnas Skvireckas

(vardas, pavardė)

(parašas)

Užduotį gavau Matas Misiūnas

(studento vardas, pavardė)

(parašas)

¹ Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Matas Misiūnas

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. Birželio mėn. 2 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Mato Misiūno**, baigiamasis projektas tema „Kvadrokopterio triukšmo tyrimas“ 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

<i>Santrauka</i>	6
<i>Įvadas</i>	8
1. <i>Orlaiviai ir triukšmas</i>	9
1.1. <i>Orlaivių tipai</i>	9
1.1.1. <i>Sraigatasparnis</i>	9
1.1.2. <i>Kvadrokopteris</i>	11
1.2. <i>Kvadrokopterio konstrukcija</i>	14
1.3. <i>Triukšmas</i>	18
1.3.1. <i>Triukšmo problema</i>	18
1.3.2. <i>Triukšmo kvadrokoptyje šaltiniai</i>	20
1.3.3. <i>Aerodinaminis triukšmas</i>	21
1.4. <i>Garso izoliacija</i>	23
1.4.1. <i>Veikimo principas</i>	23
1.4.2. <i>Akustinės varžos parametrai</i>	28
1.5. <i>Garso matavimas</i>	29
2. <i>Kvadrokopterio tirukšmo bandymas</i>	32
2.1. <i>Bandymo aprašymas</i>	32
2.2. <i>450 mm tipo kvadrokopterio bandymas</i>	36
2.3. <i>250 mm kvadrokopterio bandymas</i>	48
<i>Išvados</i>	52
<i>Literatūros sąrašas</i>	53
<i>Priedas Nr.1</i>	55

Misiūnas M. Kvadrokopterio triukšmo tyrimas. Sausumos transporto inžinerijos magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Ramūnas Skvireckas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Kaunas, 2015

Santrauka

Šiuo metu, sparčiai besivystant bepiločiams orlaiviams ir didėjant jų naudotojų skaičiui, daugėja ir problemų su kuriomis susiduriama naudojant bepiločius orlaivius. Viena iš tokių problemų – jų sukeliamas triukšmas. Todėl visoje bepiločių orlaivių naudotojų bendruomenėje yra jaučiama tendencija šį triukšmą mažinti.

Šiame darbe nagrinėjamas triukšmas, susidarantis skrendant kvadrokopteriui – bepiločiam orlaiviui su keturiais, vienoje plokštumoje, simetriškai išdėytais, propeleriais.

Baigiamojo darbo tikslas yra eksperimentiškai nustatyti kvadrokopterio keliamo triukšmo lygius esant skirtingiems kvadrokopterių tipams ir apkrovimams. Baigiamajame darbe eksperimentams buvo pasirinkti mažo ir vidutinio tipo kvadrokopteriai – 250 mm ir 450 mm. Tyrimo metu buvo palygintos dviejų medžiagų akustinės savybės, išsiaiškinta, kuri medžiaga labiau tinka mažinti kvadrokopterių sukeltą triukšmą.

Baigiamajame darbe, programinio paketo MATLAB pagalba buvo atlikti skaičiaivimai ir gauti rezultatai buvo palyginti su Lietuvoje galiojančiomis triukšmo higienos normomis, bei kitomis reikšmėmis.

Raktiniai žodžiai: triukšmas, kvadrokopteris, bepiločiai orlaiviai

Misiūnas M. Research of quadcopter's noise. Land Transport Engineering Master's Final Project / supervisor associate professor PhD Ramūnas Skvireckas; Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design.

Kaunas, 2015

Summary

At a time of rapid advances in unmanned aircraft and increasing number of users, the problems encountered is increased too. One of these problems - the noise. Therefore, in unmanned aircraft operators community there is a tendency to reduce that noise.

This paper will address the noise occurred in quadcopter - unmanned aircraft with four symmetrically and plane - aligned propellers.

Final work's aim is to experimentally determine quadcopter noise levels at different quadcopter types and loads. For the quadcopter experiment, it was to choose small and medium types of quadcopters - 250 mm and 450 mm. The study compared two materials acoustic properties and it was found out, which material is better in terms of isolating quadcopter's noise.

The final work research have been done with the help of program package MATLAB, calculations were carried out and the results were compared with Lithuania's noise hygiene standards, and other values.

Keywords: noise, quadcopter, unmanned aircraft

Įvadas

Šiuo metu sparčiai besivystanti aviacijos tyrimų sritis yra bepiločiai orlaiviai. Jų pritaikymo galimybių su kiekviena diena vis daugiau. Pirmiausiai bepiločiai orlaiviai buvo pradėti naudoti karinėje pramonėje, bet šiuo metu į juos jau žvalgomasi, kaip pagalbininkus pernešant smulkias siuntas, atlikti meteorologinius matavimus taip pat plačiai pritaikomi žemės ūkyje.

Viena paprasčiausių bepiločių orlaivių konstrukcijų yra kvadrokopteris. Šios konstrukcijos orlaiviai nereikalauja didelių laiko ir finansinių sąnaudų juos gaminant ir eksploatuojant, todėl tai lemia didelį jų populiarumo augimą. Didėjant populiarumui, išskyla vis naujos problemos. Viena jų – kvadrokopterių skleidžiamas triukšmas. Egzistuoja daugybė kvadrokopterio panaudojimo sričių, bene daugumoje jų triukšmas yra pašalinis veiksnys. Todėl būtina ištirti nuo ko priklauso triukšmo dydis šiame bepiločiame orlaivyje ir jo mažinimo būdus.

Nors kvadrokopterių tobulinimas nėra nauja tyrimų sritis, tačiau Lietuvos mokslo tyrimų lauke šios srities darbų neteko aptikti.

Darbo tikslas: eksperimentiškai nustatyti kvadrokopterių keliamus triukšmo lygius panaudojant medžiagas, skirtas triukšmo slopinimui.

Darbo uždaviniai:

- Ištirti ir apibendrinti esamą informaciją apie aviacijos technikos skleidžiamus triukšmus.
- Išsiaiškinti kurios medžiagos izoluoja triukšmą geriausiai.
- Apibrėžti, kokių atstumu kvadrokopteris gali skristi nuo klausytojo, neviršydamas pasirinktų garso lygių, prie tam tikrų apkrovų.

1. Orlaiviai ir triukšmas

1.1. Orlaivių tipai

1.1.1 Sraigtašparnis

Per visą aviacijos istoriją buvo kuriami du orlaivių tipai: su fiksuotais sparnais ir su besisukančiais sparnais. Tarp šių orlaivių tipų skirtumas yra toks, kad keliamoji jėga yra sukuriama sparnui nesisukant apie ašį (fiksuotas sparnas) arba sukantis.



Besisukančio sparno tipas



Fiksuoto sparno tipas

1 pav. Orlaivių tipai [12]

Dinamine prasme didžiausias skirtumas tarp šių dviejų tipų yra tai, kad fiksuoto sparno orlaiviai gali išvystyti didesnę greitį dėl didensio sparno, tuo tarpu besisukančio sparno orlaivių keliamoji galia yra didesnė ir jiems nereikalingas pakilimo takas.

Šiame darbe bus daugiausiai minimi besisukančių rotorių turintys lėktuvai. Jie taip pat yra skirti pagal rotorių skaičių.

Pati paprasčiausia, ir XX a. labiausiai pasiteisinus konstrukciją buvo vieno (arba dviejų) rotorių sraigtašparniai. Dviejų rotorių sraigtašparnių aviacijos istorijoje nėra daug, dėl

jų didelės kainos ir gan sudėtingos konstrukcijos, o vieno rotoriaus sraigtasparniai yra šiandien dažniausiai sutinkamas sraigtasparnio tipas (2 pav.)



2 pav. Vieno rotoriaus sraigtasparnis [13]

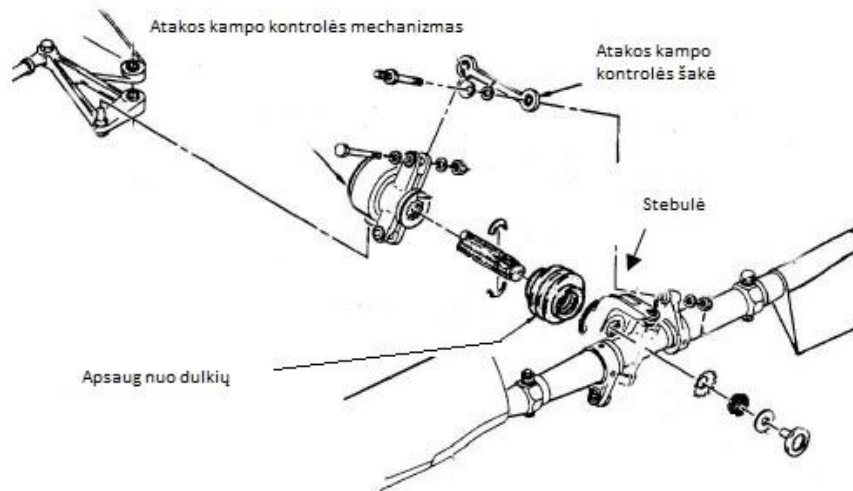
Sraigtasparnio konstrukcija yra pranašesnė stabilumo atžvilgiu, vienas didelis rotorius daug stabiliau išlaiko sraigtasparnį ore, bet žinant sraigtasparnio menčių veikimo principą, mechanizmas yra daug sudėtingesnis nei kvadrokopterių. Tai padaro sraigtasparnį brangiu ir ne tokiu atspariu rotorijų smūgiams.

Sraigtasparnio veikimo principas pagrįstas tuo, kad pagrindinis rotorius (3 pav.), per vieną savo apsisukimą, gali vieną kartą pakeisti kiekvienos mentės atakos kampą. Taip oro srautas nukreipiamas į pageidaujamą pusę.



3 pav. Sraigtasparnio pagrindinis rotorius [14]

Kadangi dėl reaktyvaus sukimo momento, atsiranda sraigataspurnio korpuso sukimasis apie rotoriaus ašį, reikalingas papildomas rotorius gale atstojamajai jėgai sukurti (4 pav.).

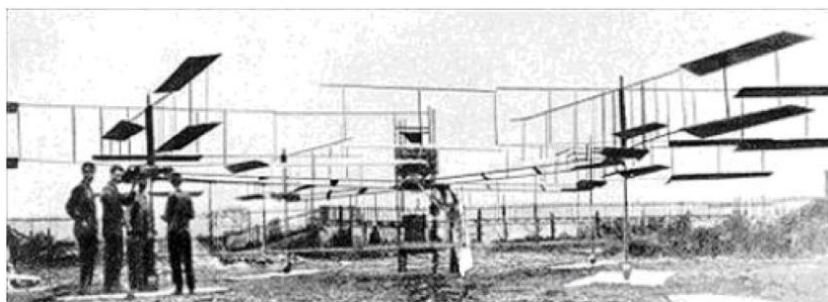


4 pav. Sraigataspurnio galinio rotoriaus schema [15]

Jo pagalba reguliuojamas sraigataspurnio pasukamumas apie rotoriaus ašį. Oro srautas reguliuojamas keičiant sparnų atakos kampą galiniame rotoriuje.

1.1.2. Kvadrokopteris

Daug paprastesnis orlaivio tipas, turintis geras skraidymos savybes yra kvadrokopteris. Kvadrokopterį sudaro keturi besisukantys rotoriai, iš kurių du sukasi pagal laikrodžio rodyklę ir du prieš. Kvadrokopteriai populiarėti pradėjo tik XXI a. pirmajame dešimtmetyje, nors buvo bandom realaus dydžio kvadrokopterius konstruoti ir anksčiau. 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.



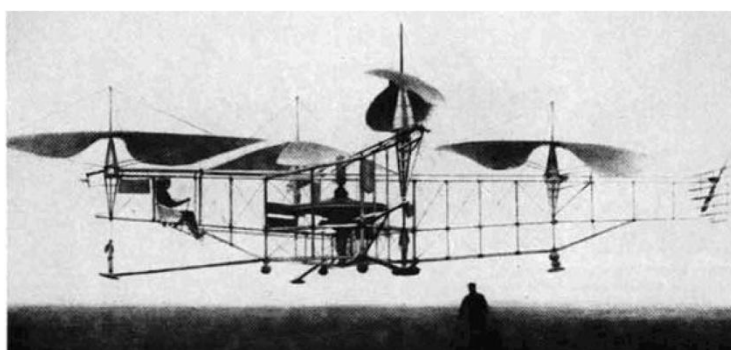
5 pav. Breguet-Richet-1907 malūnsparnis – kvadrokopteris [6]

Vėliau, buvo sukurti dar keletas projektų ir buvo atliekami eksperimentiniai skrydžiai. Pirmesnis, 1922 metais sukurtas Georges de Bothezat ir Ivan Jerome, turėjo šešių ašmenų rotorius, išdėytus kiekviename X formos struktūros gale (6 pav.).



6 pav. Georges de Bothezat ir Ivan Jerome kvadrokopteris [6]

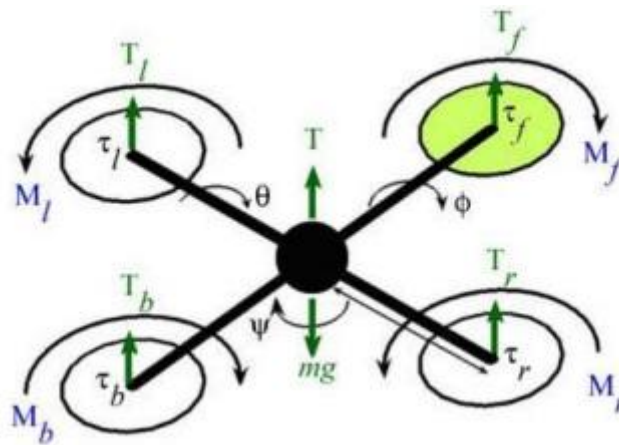
Antrojo projekto autorius Etienne Oehmichen sukonstravo savo kvadrokopterį 1924 m., ir su savo kūrinių sumušė kelis tuometinius pasaulio rekordus, įskaitant ir pirmą Sraigtasparnio kilometro skrydį (7 pav.).



7 pav. Etienne Oehmichen sukurtas kvadrokopteris [6]

Šiuo metu, neskaitant karinių misijų, bepiločiai orlaiviai taip pat naudojami įvairiose pramoninėse ir komercinėse srityse. Kopteriai naudojami laukams sėti arba tręšti, panaudojant įvairius aukščio ir nuotolio matuoklius, 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.

Kaip jau minėta, bepiločiai orlaiviai skirstomi į rotacinių ir fiksuotų sparnų tipus. Rotacinių sparnų tipo orlaiviai yra pranašesni dėl jų didesnės judesio laisvės, galimybės skristi mažais greičiais, stacionarių skrydžių ir galimybių naudoti patalpų viduje. Kvadrokopteriai yra rotacinių sparnų tipo bepilotis orlaivis, susidedantis iš keturių rotorių, esančių X formos (dažniausiai) struktūros galuose (8 pav.).

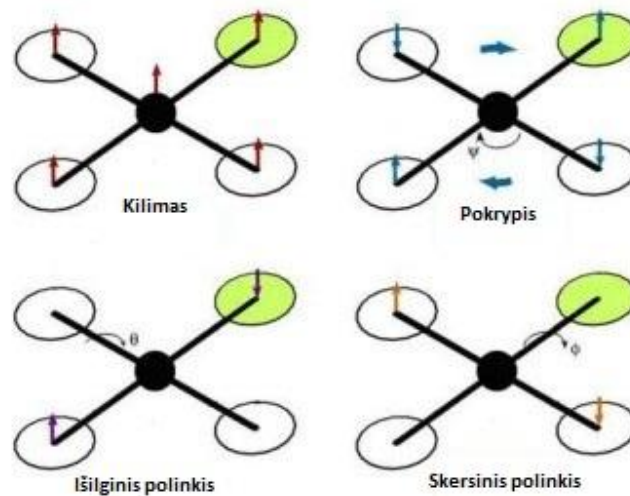


8 pav. Kvadrokopterių veikiančios jėgos ir momentai [6]

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

Kaip parodyta aštuntame 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. 9

paveikslėlyje galima matyti keturi pagrindinius kvadrokopterio manevrus, kurie yra pasiekiami, diferencijuojant propelerių greičius.



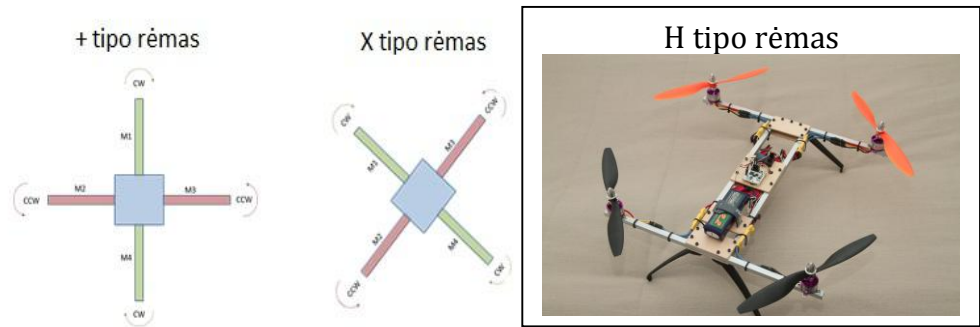
9 pav. Keturi pagrindiniai kvadrokopterio manevrai [6]

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. Kvadrokopterio konstrukcija

Kvadrokopterio konstrukcijos pagrindą sudaro rėmas. Rėmai yra skirstomi į kelis tipus (10 pav.):

- + tipo.
- X tipo.
- H tipo.



10 pav. Kvadrokopterio rėmų tipai [16]

Kvadrokopterio techninė schema nėra sudėtinga. Jį sudaro [9]:

- Skrydžio kompiuteris (11 pav.), (priklausomai nuo komplektacijos) turi įmontuotą šešių laisvės laipsnių (6DOF) jutiklį su 3 ašių giroskopais ir akselerometrais. Kvadrokopterio, kaip orlaivio tipo konstrukcija yra labai nestabili, palyginus su kitais orlaivių tipais, todėl reikalinga sistema, kuri itin greitai reaguoja į pozicijos pokyčius. Taip pat aukščiui palaikyti gali būti pridedamas barometras, skrydžio krypties laikymui gali būti naudojamas magnetometras, pozicijos išlaikymui naudojamas GPS imtuvas ir retkarčiais optinės takos jutiklis. Skrydžio kompiuteris “stebi”, kaip kvadrokopteris juda, ir visų savo jutikliu pagalba stengiasi išlaikyti orlaivį stabilioje būsenoje.



11 pav. Skrydžio kompiuteris

- Variklių valdikliai (*angl.* ESC – Electronic Speed Control) (12 pav.). Kvadrokopteriams dažniausiai naudojami trijų fazių varikliai, su magnetais išorinėje dalyje ant rotoriaus. Tam reikalingi variklių valdymo blokai. Jie skirstomi pagal

veikimo dažnį (kiek kartų per sekundę gali būti keičiamas variklių greitis) ir pagal maksimalias leidžiamas sroves bei įtampas.



12 pav. Variklio valdiklis (*angl.* ESC)

- Varikliai. Dažniausiai naudojami tiesioginės pavaros (*angl.* Direct drive) tipo trifaziai varikliai. Šepetėliniai varikliai nenaudojami dėl per trumpo jų darbo laiko (sudyla šepetėliai). Variklų specifikacijose dažniausiai nurodoma jų sukuriama traukos jėga su keliais propelerių tipais ir KV parametras ($\text{aps./min} * \text{V}$). Šie varikliai turi itin geras greičių reguliavimo charakteristikas, todėl kad yra daugiapoliai. Norint dar labiau padidinti variklių tikslumą, yra naudojami rotoriaus padėties davikliai.



13 pav. Trifazis bešepetėlinis variklis

- Akumuliatorius. Naudojami greito išsikrovimo Ličio Polimerų akumuliatoriai, jų išsikrovimo greitis gali siekti iki 100 C. Šios baterijos yra gan nestabilios, todėl reikalauja priežiūros jas eksploatuojant (neviršyti nustatytų išsikrovimo ir įtampos reikšmių, krovimas tik nedegiuose maišuose). Jeigu akumuliatorius sudarytas iš

daugiau nei vienos sekcijos, kraunant turi būti balansuojamas. Kvadropterio baterija yra bene sunkiausias vienalytis elementas visame kvadropteryje, todėl jos montavimo vieta ypatingai atsiliepia orlaivio valdymo savybėm.



14 pav. 2 sekcijų ličio polimerų akumuliatorius

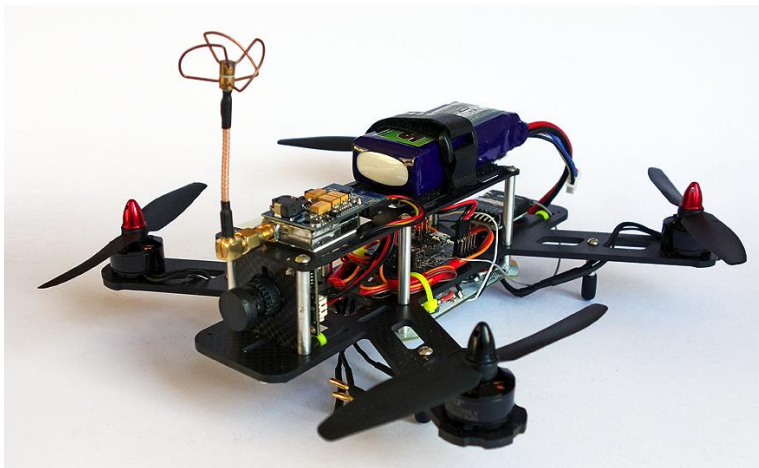
- Imtuvas ir siųstuvas. Šie du įrenginiai perduoda vartotojo norimą judesio informaciją apie kvadropterio judėjimo skrydį kompiuteriui. Siųstuvo dažniausiai sutinkama konfigūracija yra dviejų vairolazdžių tipo. Beveik visi imtuvai turi integruotą saugumo funkciją – dingus ryšiui transliuoti tam tikrą kombinaciją skrydžio kontroleriui, tam, kad orlaivis nepradėtų nevaldomai kristi (15 pav.).



15 pav. Siųstuvas ir imtuvas

Kvadropterio varikliai yra išdėstomi rėmo kampuose, per maždaug pusę propelerio pločio nuo centrinės korpuso dalies. Pačiame viduryje yra montuojamas skrydžio

kompiuteris. Montavimas centre reikalingas tam, kad gauti tikslius giroskopų parodymus ir neapkrauti procesoriaus papildomais kompensacijų skaičiavimais. Baterija taip pat dažniausiai montuojama centre (jeigu naudojama vaizdo sistema, baterija dažniausiai montuojama gale, kad išlaikyti svorio balansą).



16 pav. Pilnai surinktas H tipo kavdrokopteris

Šių orlaivių dydžiai matuojami pagal variklių bazės ilgį. Dydžiai prasideda nuo maždaug 100 mm ir tęsiasi iki ~1000 mm.

1.3. Triukšmas

1.3.1. Triukšmo problema

Transportas yra vienas pagrindinių triukšmo šaltinių ir yra vis auganti problema ne tik Europoje, kur yra didelis gyventojų ir transporto priemonių tankis, bet ir visame pasaulyje. Didžiausia transporto triukšmo dalis tenka labiausiai paplitusiai transporto priemonių rūšiai t.y. kelių transportui, bet nepamirškime ir oro transporto sukeliama triukšmo, kuris ypač sparčiai populiarėjant ultralengviesiems bei bepiločiams orlaiviams užima vis didesnę dalį transporto priemonių sukeliama triukšme.

Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, 40% europiečių patiria 55dBa sukeliama triukšmą, kuris yra sukeliama įvairių transporto priemonių, 20% patiria didesnę nei 65 dBa triukšmą.

Triukšmo problemos egzistuoja beveik kiekvienoje transporto priemonėje, bet efektyviai jas išspręsti yra sunku. Bepiločiai orlaiviai Lietuvoje dar nėra itin populiarūs, bet

jų populiarėjimas įgauna stiprų pagreitį pasaulyje, triukšmo problemą juose reikia spręsti nedelsiant.

Apibrėžti triukšmą galima taip: tai įvairūs garsai, trukdantys pajusti tinkamus garsus ir trikdančios tylą bei ramybę [22]. Tai pat, triukšmui priskiriami garsai, kenkiantys žmogaus organizmui. Neginčijamai įrodyta, kad triukšmas neigiamai veikia mūsų sveikatą bei gyvenimo kokybę. Triukšmingoje aplinkoje sunku bendrauti, girdėti garsinius signalus, įsiminti informaciją, susikaupti. Triukšmas slopina norą suteikti pagalbą, padidina agresyvaus elgesio tikimybę. Triukšmo poveikį organizmui stiprina ir kiti žalingi veiksniai – netinkami mikroklimato parametrai, kenksmingosios medžiagos, virpesiai ir pan. Triukšmo poveikį žmogui galima suskirstyti į dvi grupes:

- triukšmo įtaka klausai,
- triukšmo poveikis visam organizmui.

Triukšmas žmogaus organizmą veikia ne tik darbo aplinkoje. Klausą galima sugadinti ir namuose, laisvalaikiu, turint hobių, sportuojant. Didžiulė yra laisvalaikio praleidimo problema. Diskotekose, klubuose triukšmas gali siekti iki 115 dBA ir šiuo atveju klausos apsaugos priemonės nenaudojamos.

Triukšmo patologijos laipsnis visų pirma priklauso nuo jo intensyvumo ir poveikio trukmės. Skiriamos šios triukšmo poveikio pakopos [22]:

1. tyla – 0 dB;
2. normalus triukšmo fonas – 0-40 dB;
3. psichologinis poveikis – 40-80 dB;
4. fiziologinis poveikis – 80-120 dB;
5. traumatizmas – 120-140 dB;
6. šokas (poveikis prietaisams ir konstrukcijoms) – 140-160 dB.

Triukšmo poveikis organizme kaupiasi ir visų pirma pakenkiama nervų, kraujotakos, virškinimo sistemos, labai susilpnėja imuninė sistema. Visa tai vyksta dar iki klausos sutrikimo atsiradimo ir dažnai klaidina gydytojus nustatant daugelio sunkiai gydomų ligų priežastis.

Bepiločių orlaivių skleidžiamas triukšmas ne tik yra sveikatos problema. Šiuo metu, orlaiviai naudojami daugelyje stebėjimo arba filmavimo misijų. Šios užduotys reikalauja geresnių akustinių parametru, todėl pašaliniai garsai sklindantys iš orlaivio yra

nepageidaujami. Tarp pavyzdžių galėtų būti masiniai susibūrimai (koncertai, mitingai, įvairios šventės), pasienio stebėjimo šalies sienų stebėjimas, stebėtojo vaidmuo karinėse operacijose, nuotolinis audio medžiagos įrašinėjimas.

1.3.2. Triukšmo kvadrokopteryje šaltiniai

Kvadrokopterio skleidžiamas triukšmas susideda iš keleto komponentų skleidžiamų triukšmų, tai yra:

- Variklių skleidžiamas triukšmas.
- Propelerių skleidžiamas triukšmas.
- Rėmo skleidžiamas triukšmas.

Šie triukšmai, kol yra naudojami nedideli orlaiviai, nedarys didelės žalos organizmui, bet gali būti nemaža sudedamoji dalis įprastai patiriamo triukšmo, kuris tiesiogiai veikia bepiločio orlaivio valdytoją ir aplinkinius žmones, be to yra daug bepiločių orlaivių panaudojimo sferų, net sveikatai nekenkiantis triukšmas yra žalingas (pvz.: karinės žvalgybos operacijos). Todėl svarbu ištirti visus būdus, kaip įmanoma labiau sumažinti bepiločių orlaivių skleidžiamą triukšmą.

Kai ir minėta anksčiau, didžiausi triukšmo šaltiniai yra propeleriai ir varikliai. Kiekviena detalė, kuri turi mechaninį judesį, taip pat sukelia ir triukšmą.



17 pav. Triukšmo šaltiniai kvadrokopteryje

Kuo didesni energijos mainai tenka agregatui, tuo didesnis sukeliamas triukšmas. Pagrindiniai veiksniai, didinantys variklių sukeliamą triukšmą:

- Nekokybiški, išdilę guoliai.
- Dėl didelių apkrovų susidarantys aukšto dažnio virpesiai.
- Variklio aerodinaminės formos sukeliamas triukšmas.

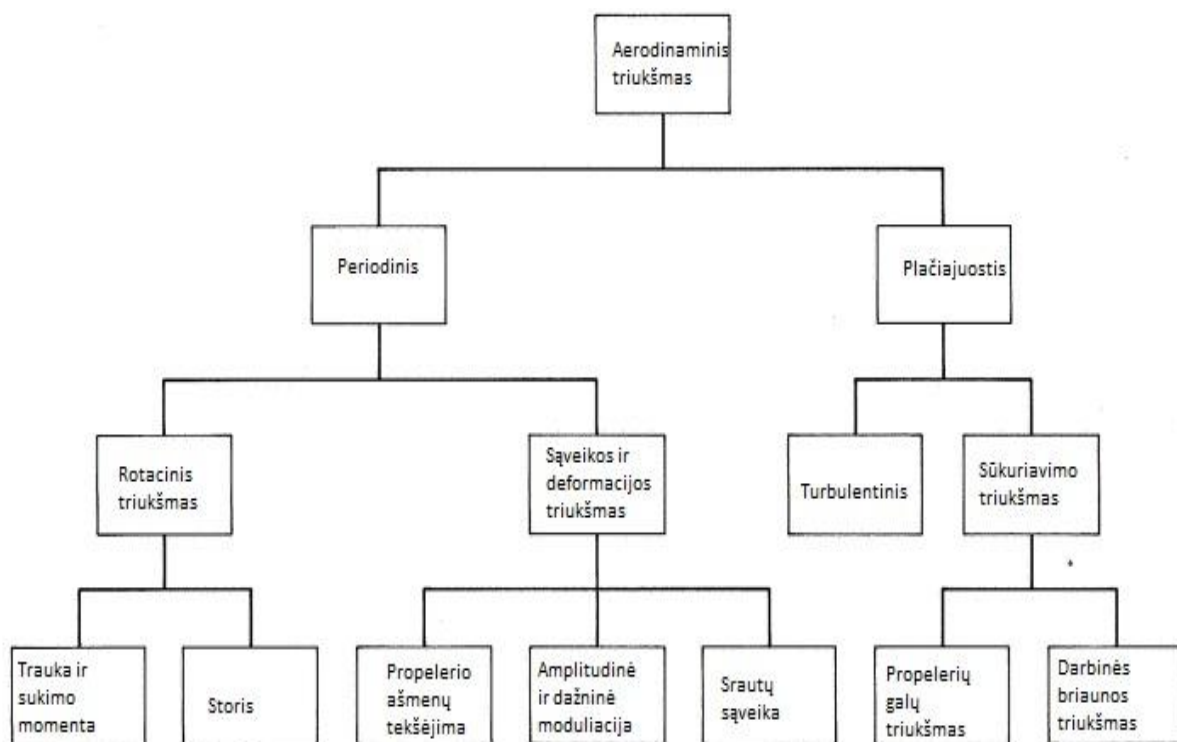
Pagrindiniai veiksniai didinantys propelerių sukeliamą triukšmą:

- Netaisyklinga geometrija.
- Dydis.
- Atakos kampas.
- Pažeidimai.

Šiame darbe labiausiai koncentruosimės ties propelerių skleidžiamu triukšmu, bet taipogi nepamiršime ir variklių skleidžiamo triukšmo.

1.3.3. Aerodinaminis triukšmas

Aerodinaminis triukšmas gali būti apibrėžiamas kaip garsas, kuris yra sukurtas kaip tiesioginis rezultatas santykinio judėjimo tarp kieto kūno ar skysčių srauto ir aplinkos terpės (pvz. oro) [18]. Tradiciškai, keliamas triukšmas yra skirstomas į dvi grupes: besisukančių detalių triukšmas ir sūkurinis triukšmas. Besisukančių detalių arba periodinis triukšmo dažnis tapatinamas su diskrečiais dažniais, kurie yra prilyginami menčių praėjimo dažnių harmonikom. Kitaip tariant, tai yra propelerių sukimosi dažnis, padaugintas iš propelerio menčių skaičiaus. Sūkurinis arba plačiajuostis triukšmas apibrėžia moduluotą garsą, kurį sukelią nepastovaus slėgio sritys, susijusios su sūkuriais susidariusiais sąveikaujant propelerio mentės darbiniam ašmeniui ir galui su dujom (oru), taip pat turbulentinis triukšmas, susidarantis dėl oro srovių nepastovumo, išeinančių iš po propelerių. Triukšmų schema, susidaranti įvairaus tipo orlaiviuose pateikta 18 pav.



18 pav. Orlaivio triukšmą sudarantys veiksniai [10]

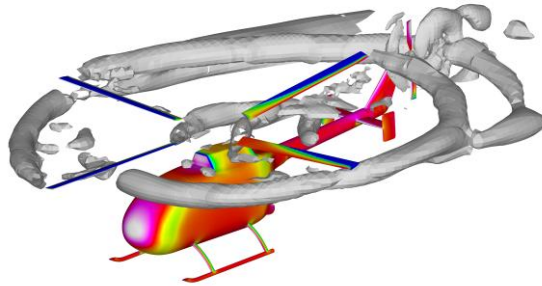
1. Rotacinis triukšmas

Traukos ir sukimo momento sukiamas triukšmas. Visi besisukantys profiliai, tie kurie turi storį ir kai jie juda, turi ir slėgio paskirstymą. Šis slėgio paskirstymas gali būti išreikštas traukos vektoriumi, statmenu propelerio plokštumai ir sukimo momentu, kuris „guli“ propelerio plokštumoje. Taip pat, oras atsimušdamas į propelerio mentes veikia jį jėga, kuri taip pat gali būti išskaidyta į traukos ir sukimo momento komponentes. Šis slėgio laukas, esant tolyginiam oro tekėjimui pro propelerį, yra sąlyginai pastovus. Šis besisukantis slėgio laukas, atrodo kaip pulsuojantis diskas, kurio pulsacijos dažnis yra lygus jį kertančio propelerio menčių dažniui. Šis garsas yra labiau generuojamas pačio propelerio, nei į jį atsimušančio oro.

Propelerio „storio“ triukšmas. Šis triukšmas atsiranda, dėl išilginio propelerio profilio formos. Kadangi dažniausiai mentė, einant nuo centro, į galą suplonėja, oro masė taip pat yra nustumama į šoną, link menčių galų. Šis judesys sukia „storio“ triukšmą. Šis triukšmas dažniausiai būna labai mažas, dėl to dažnai nėra skaičiuojamas projektuojant propelerį.

2. Sūkurinis triukšmas. Tai triukšmas sukurtas propelerio mentei kertant oro masę. Dėl didelių jėgų ir greičių, susidaro sūkuriai. Jie labiausiai jaučiami menčių galuose, kur

mentės greitis yra didelis. Taipogi, papildomas triukšmas yra sukeliamas, propelerio mentei jau kertant oro sūkuri, sudaryta prieš tai judėjusios mentės.



19 pav. Propelerio sūkurių vizualizacija [17]

3. Turbulentinis triukšmas atsiranda dėl didelių greičių orui išeinant iš po propelerio menčių.

1.4. Garso izoliacija

1.4.1. Veikimo principas

Garsą sugeriančios medžiagos sugeria didžiąją dalį garso energijos ir atspindi jos labai mažai. Todėl, garsą absorbuojančios medžiagos yra labai naudingos norint mažinti triukšmą. Jos naudojamos įvairiose vietose: šalia triukšmo šaltinių (pvz.: elektro variklių), o kartais ir arti garso imtuvo (ausų kaiščiai, apsauginės ausinės).

Egzistuoja platus garsą absorbuojančių medžiagų spektras; jų garso sugėrimo savybės priklauso nuo garso dažnio, medžiagos sudėties, storio, paviršiaus apdirbimo ir jų tvirtinimo metodo. Dažniausiai, geras garso sugėrimo savybes turinčios medžiagos yra porėtos.



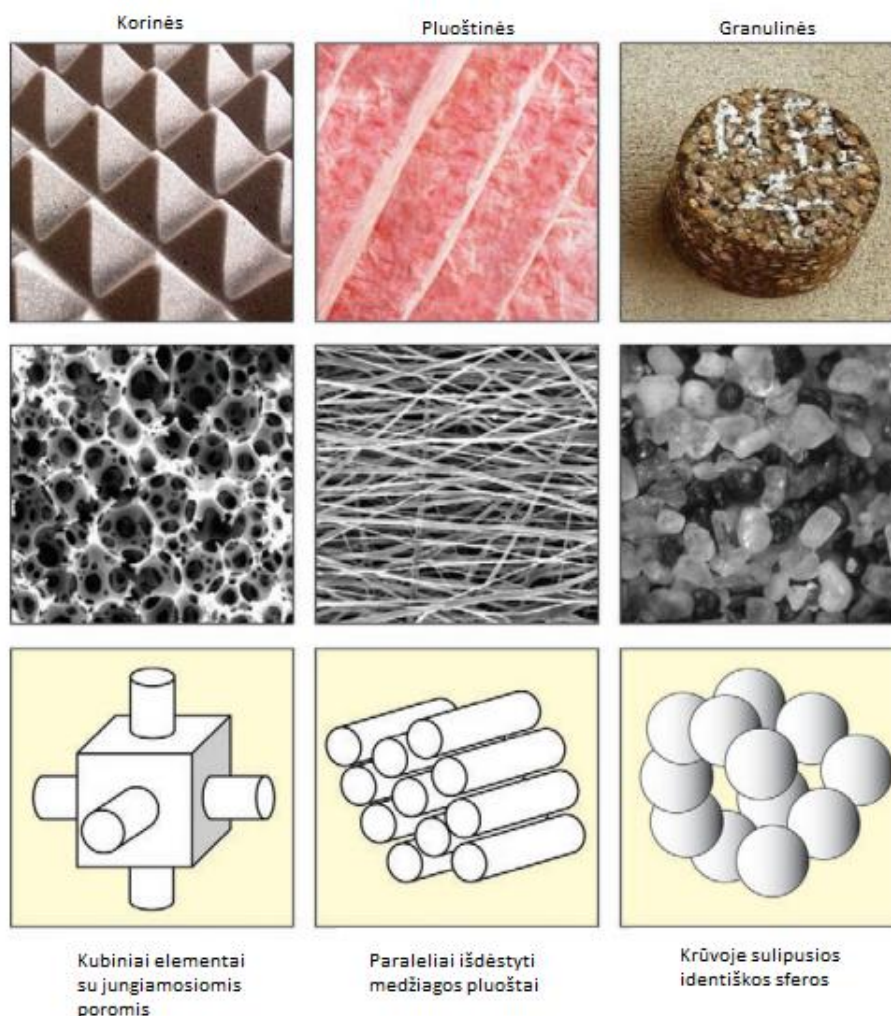
20 pav. Porėtos medžiagos skerspjūvis [18]

Porėtos garsą sugeriančios medžiagos yra kietos būsenos medžiagos, turinčios ertmių, kanalų arba tarpų, kurie yra išdėstyti taip, kad garsas gali patekti į medžiagos vidų [18]. Porėtos medžiagos klasifikuojamos pagal jų pralaidumą išoriniam skysčiui (dujoms), šiuo atveju - orui. 1 paveikslėlis pavaizduoja porėtos medžiagų skerspjūvį. Poros, kurios yra izoliuotos nuo kaimyninių porų yra vadinamos uždaromis poromis. Faktas, kad poros yra uždaros, ir jų kiekis medžiagoje turi tam tikrą poveikį įvairioms medžiagos savybėms (tankis, stiprumas, šiluminis laidumas). Tačiau, uždaros poros silpniau absorbuoja garsą. Todėl garsui absorbuoti naudojamos medžiagos turi daugiau atvirų porų, kurios susiekia įvairiais kanalais su medžiagos paviršium ir taip gali "priimti" ir absorbuoti garso bangas. Atviros poros taip pat gali būti aklinos arba susijungiančios. Taip pat reikėtų atskirti porėtumą nuo paviršiaus šiurkštumo, kuris įtakos garso absorbcijai neturi (nebent paviršiaus nelygumų gylis yra didesnis nei jų plotis).

Akytos, garsą sugeriančios medžiagos klasifikuojamos į:

- Korines.
- Pluoštines.
- Granulines.

Ši klasifikacija remiasi medžiagų mikroskopine struktūra, kuri parodyta 21 pav.



21 pav. Korinės, pluoštinės ir granulinės medžiagos [18]

Akytoms medžiagoms būdinga savybė yra tai, kad garsas į jas patenka per mažas angas esančias medžiagos paviršiuje. Medžiagos, tokios kaip, “atviro” tipo poliuretanai ir porolonai yra tipinis korinių akustinių medžiagų pavyzdys. Pluoštinių medžiagų, susideda iš į tunelius panašių angų, kurios susiformuoja tarpuose tarp medžiagos pluoštų. Pluoštinės medžiagos dažniausiai yra gaminamos iš sintetinio arba natūralaus pluošto. Kaip pavyzdžiai galėtų būti stiklas ir mineralinis pluoštas. Taip pat, trečioji porėtų medžiagų rūšis yra granulinės medžiagos. Sustiprintos granulinės medžiagos susideda iš palyginti standžių, makroskopinių kūnų, kurių dydis yra keletą eilių didesnis nei tarpai tarp jų. Nesutvirtintos medžiagos – tai laisvai supilti, nesutvirtinti kūnai, kuriuos, jeigu norima, kad jie įgautų formą, reikia sutvirtinti. Geriausias pavyzdys būtų putų polisterolas.

21 paveiksle pavaizduoti trys pagrindiniai porėtų medžiagų tipai, jų tipinė mikroskopinė tvarka ir fizikiniai modeliai, naudojami apibūdinti kiekvienos medžiagos sugerimo mechanizmus.

Kai akytos medžiagos susiduria su garso banga, viduje esančios molekulės ima vibruoti, taip prarasdamos dalį savo pradinės energijos. Tai įvyksta dėl to, kad molekulės, vibruodamos viduje medžiagos esančiose porose ir tuneliuose, paverčia savo energiją šiluma, dėl akustinės medžiagos visko elastinių savybių. Žemų dažnių zonoje šie energijų mainai yra izoterminiai, aukštų dažnių juostose - adiabatiniai. Pluoštinėse medžiagose, garsas absorbuojamas dėl individualių pluoštų virpėjimų ir trinimosi vienas į kitą. Šie judesiai yra sukeliama į medžiagą įeinančios garso bangos.

Kietosios, garsą sugeriančių medžiagų (dar vadinamų akustiniais amortizatoriais) dalys gali būti aprašomos panaudojant jų mechanines savybes. Medžiagos yra laikomos standžiomis, kai jų kietosios fazės judesys yra nedidelis, palyginti, su skysčio faze. Tai būna tada, kai medžiagos kietoji fazė turi didelį tankį arba kietumą, todėl reikalingi dideli energijos kiekiai, kad sukeltų kietosios fazės virpėjimus, arba kai tarp kietos ir fluidinės fazės yra prastas energijos perdavimas.

Poroelastiškumas yra pastebimas, kai kuriuose akustiniuose amortizatoriuose. Poroelastinių medžiagų kietoji dalis taip pat yra elastinga, o "skystoji" dalis yra klampi. Todėl poroelastinės medžiagos gali atremti skersines ir išilginius triukšmo sukeltus virpsesius. Akustinės medžiagos efektyvumas gali būti reguliuojamas "žaidžiant" keliais parametrais, tokiais kaip medžiagos tankis, garso greitis toje medžiagoje ir poringumas [8], ϕ (1 formulė).

1 formulė

$$\phi = \frac{V_{pore}}{V_{total}} = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}$$

čia: V_{pore} – poros tūris (m^3)

V_{total} – bendras tūris (m^3)

ρ_a – bendras medžiagos tankis (kg/m^3)

ρ_m – kietosios dalies tankis (kg/m^3)

Garsą absorbuojančioje medžiagoje, garso greitis priklauso nuo jos elastiškumo ir morfologijos. Energijos slopinimo mechanizmas, panaudodamas kietosios ir klampiosios trinities energijos nuostolius, konvertuoja akustinę energiją į šilumą. Bet kuri kietos

matricinės medžiagos savybė, kuri pagerina energijos perdavimą iš oro į struktūrą ir padeda tą energiją išsisklaidyti struktūroje, gali padidinti medžiagos, kaip triukšmo izoliatoriaus, našumą. Kad nesumažėtų medžiagos akustinis efektyvumas, tarkime, tankio padidėjimas, turi būti kompensuojamas proporcingu garso greičio medžiagoje sumažėjimu, arba padidintu poringumu. Didinant akustinių medžiagų efektyvumą, pirmiausiai vertėtų atkreipti dėmesį į atvirų porų kiekį – kuo daugiau atvirų porų, tuo daugiau oro patenka į vidinę medžiagos struktūrą.

Dauguma akustinių amortizatorių medžiagų yra izotropiškos ir homogeninės. Jų vidinė struktūra ir savybės yra vienodos visomis kryptimis. Šios savybės, leidžia lengviau daryti prielaidą dėl akustinių medžiagų savybių, jas naudojant inžineriniuose projektuose. Egzistuoja ir nehomogeniškos akustinės medžiagos, bet ši savybė kyla iš to, kad yra naudojami kelių tipų medžiagų sluoksniai. Tuo pačiu, pakinta ir medžiagos izotropiškumas. Daugelyje dirbtinių pluoštų medžiagų yra pastebimas anizotropiškumas, priklausantis nuo pluoštų orientacijos. Pavyzdžiui anglies pluoštas turi labai skirtingas elektrines ir termines savybes, priklausančias nuo to, kaip yra orientuotas. Tačiau reikia pažymėti, jog izotropiškumas akustinėse medžiagose yra teigiama savybė.

Porolonai yra geras, akustinių amortizatorių pavyzdys. Porolonas yra kieta medžiaga su dideliu skaičiumi dujų burbuliukų visame tūryje. Porolonų tankis priklauso nuo skeleto tankio ir dujų tankio, kuris užpildo poras. Porolonai yra laikomi atviraporėmis medžiagomis, kai dujos, esančios tarpuose tarp skeleto susisiečia. Taip pat porlonuose yra ir uždarų porų, kurios neturi susisiekančių kanalų su išore, bet jų yra mažiau, negi atvirų. Nustatinėjant porolonų akustines savybes, į skaičiavimus neįtraukiamas uždarų porų tūris, kadangi į jas negali patekti oras ir jos neatlieka garso slopinimo vaidmens.

Apibendrinant, tam, kad medžiaga būtų efektyvus akustinis amortizatorius, turi būti struktūra, kuri perduotų energiją ir paskirstytų garsą poringajam regione, kad garso bangos prasiskverbtų kuo toliau į struktūrą. Jei medžiagos poringumas yra per šiurkštus, garso banga praeis per akustinę medžiagą, per daug su ja nesąveikaudama. Jei poringumas yra pernelyg smulkus, garso bangos nėra sugeriamos, o daugiau atmušamos nuo paviršiaus. Medžiagos kurių kietoji faze yra kieta, pirminis energijos pernešimas vyks skystyje (dujose), o medžiagose kurios turi elastinę struktūrą, pirminiame energijos pernešime dalyvaus yra kietoji faze [8].

1.4.2. Akustinės varžos parametrai

Oro srauto, praeinančio per medžiagą matavimas, yra naudingas, norint sužinoti jos akustines savybes ir įvertinti, ar medžiagą galima naudoti kaip akustinį amortizatorių. Šios lygtys caharakterizuoja medžiagos pasipriešinimą praeinančiam oro srautui [8]:

$$R_f = \frac{\Delta p}{q_v} \quad 2 \text{ Formulė}$$

$$R_s = R_f A \quad 3 \text{ Formulė}$$

$$r_f = \frac{R_s}{d} \quad 4 \text{ Formulė}$$

čia: R_f – pasipriešinimas tekėjimui ($\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$)

Δp – slėgių skirtumas abiejuose bandinio pusėse (Pa)

q_v – pratekančio oro debitas (m^3/s)

R_s – specifinė varža ($\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$)

A – paviršiaus plotas per kurį prateka oras (m^2)

r_f - pasipriešinimas tekėjimui ($\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

d – medžiagos storis (m)

Specifinė varža, tai viena iš medžiagos savybių, kuri nusako tiek medžiagos sugerimo tiek perdavimo savybes. Ji matuoja kaip lengvai oras patenka į porėtą struktūrą ir koks pasipriešinimas yra toje struktūroje.

Dažniausiai nurodomas medžiagos akustinis rodiklis yra absorbcijos koeficientas. Jis matuojamas pasitelkus Čango-Blaserio metodą su dviem mikrofonais ir matavimo vamzdžiu. Šis matavimo metodas yra standartizuotas ISO 10534-2:1998 [7]. Naudojamas dviejų kanalų FFT (*angl.* fast fourier transform) analizatorius, ir du mikrofonai. Panaudojant furjė pernešimo funkcijas, gaunamas medžiagos garso atspindėjimo koeficientas R , tada absorbcijos koeficientas α_n yra:

$$\alpha_n = 1 - |R|^2$$

čia: R – medžiagos garso atspindėjimo koeficientas

Keletos medžiagų akustinės absorbcijos koeficientai [19] pateikti 1 lentelėje.:

1 lentelė

Medžiaga	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000Hz	4000 Hz
Stiklo pluoštas	0.22	0.82	0.99	0.99	0.99	0.99
Porolonas Sonex	0.06	0.25	0.56	0.81	0.90	0.91
Porolonas SDG	0.33	0.90	0.84	0.99	0.98	0.99
Medis	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07

Kaip matome, žemi dažniai yra sugeriami prasčiausiai, dėl to, akustinės aplinkos konstruojamos panaudojant įvairias formas (kūgiai, prizmės, piramidės), kurių matmenys yra arti žemo dažnio garso bangos ilgio, kad padidinti efektyvumą, sugeriant žemo dažnio garsus.

1.5. Garso matavimas

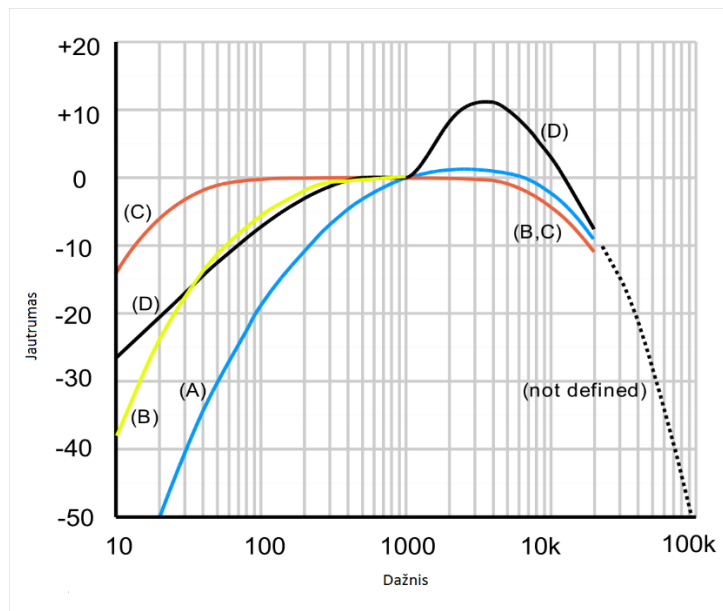
Įvairių įrenginių skleidžiamas triukšmas yra matuojamas panaudojant garso lygio matuoklį. Garso lygio matuoklis yra priemonė, skirta reaguoti į garsą maždaug taip pat, kaip žmogaus ausis ir pateikti objektyvius duomenis apie garso slėgio lygį. Egzistuoja įvairių tipų garso matavimo sistemos. Skirtumai tarp tokių sistemų nėra dideli, pagrindiniai komponentai išlieka mikrofonas, signalų apdorojimo blokas ir duomenų pateikimo sąsaja.



22 pav. Garso lygio matuoklis [20]

Mikrofonas konvertuoja garso signalą į atitinkamo dydžio elektrinį signalą. Tinkamiausio tipo mikrofonai garso matavimams yra kondensatoriniai mikrofonai, jų parametrai apjungia tikslumą su patikimumu ir stabilumu. Mikrofono sukuriamas elektrinio signalo pokytis yra labai nedidelis, todėl prieš signalą apdorojant, jis yra sustiprinamas stiprintuvo bloke.

Yra keletas signalo apdorojimų būdų. Signalas gali būti praleidžiamas per grandinę filtrų, kurie vadinami svertiniais filtrais. Šie filtrai yra kalibruojami taip, kad mikrofono jautrumas, atskiroms dažnių juostoms, būtų skirtingas ir panašus (arba toks pats) kaip žmogaus ausies. Pasaulyje yra naudojami keturių tipų svertiniai filtrai: A, B, C arba D tipo (23 pav.).

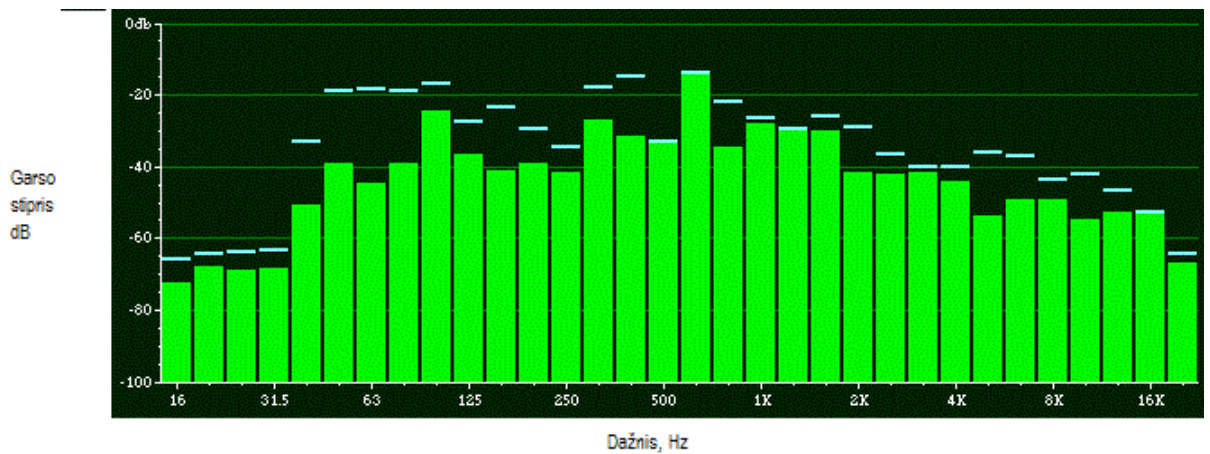


23 pav. A, B, C ir D svertų jautrumai [21]

A tipo svertai, naudojami, kai garso slėgis nėra didelis, B – vidutiniai garso slėgiai, C – didžiausi. Ketvirtas svertas D naudojamas matuoti garsui aviacijoje. Taip pat, visi garso matuokliai turi LINEAR funkciją, kuria išjungiami visi filtrai. Šiuo metu, labiausiai naudojama jautrumo svertas yra A tipo. Tokia situacija susiklostė todėl, kad visi šie jautrumai, yra pagrįsti vieno tono matavimais, o šiandien, dauguma prietaisų, kurie yra tiriami, skleidžia platų spektrą garsų, o B ir C tipo kreivių rezultatai, dažnai nekoreliuoja su tikrove.

Norint, bandymų metu gauti tikslesnę informaciją, girdimo garso juosta (20 Hz – 20 KHz) gali būti suskaidyta į siauresnes dažnių juostas. Kiekviena dažnių juosta priima tik jai priimtinius dažnius. Dažniausiai dažnių juostos skaidomos į vienos oktavos tarpus.

Pavyzdžiui, vienos oktavos dažnių juosta, su centriniu dažniu 1 KHz dažniu, priims dažnius tik nuo 707 Hz iki 1414 Hz. Toks garso skaidymas vadinamas dažnine analize, ir atvaizduojamas spektrogramoje (24 pav.).



24 pav. Garso dažnių spektrograma

Kai signalas yra išdalinamas į dažnių juostas, poto jis yra sustiprinamas ir apskaičiuojamas kvadratinis vidurkis (*angl.* RMS). RMS yra labai svarbus rodiklis, kadangi jis parodo, kiek garso energijos buvo nukreipa į mikrofoną.

Paskutinis etapas yra rezultato atvaizdavimas. Matuoklis gali turėti savo ekraną, arba duomenys gali būti išvedami atvaizduojant į kompiuterį.

2. Kvadrokopterio triukšmo bandymas

2.1. Bandymo aprašymas

Dažnėjant technikos panaudojimui pramonėje, triukšmas tampa labai svarbia problema projektuojant įrenginius, arba juos pritaikant naujose srityse. Juos kuriant, labai didelis dėmesys yra atkreipiamas į visas įmanomas galimybes, kaip sumažinti jų skleidžiamą triukšmą. Produktą „išleidžiant į apyvertą“, vienas iš svarbiausių bandymų yra jo triukšmo tyrimas ir žalos aplinkai įvertinimas.

Kvadrokopterio skleidžiamas triukšmas, palyginus su jo matmenimis yra tikrai nemažas. Spinduliuojamo triukšmo dydis priklauso nuo daugybės veiksnių pačiame kvadrokopteryje: rėmo konstrukcija, propelerių dydžiai, garso izoliacija, variklių tipas, masė ir t.t.

Šiame tyrime gauti duomenys buvo apdoroti ir sumodeliuoti dvejoms situacijoms:

1. Kvadrokopteris naudojamas arti žmonių, pagalbinėms užduotims atlikti (filmavimas, garso įrašymas ir t.t.)
2. Kvadrokopteris naudojamas žvalgybinėms užduotims.

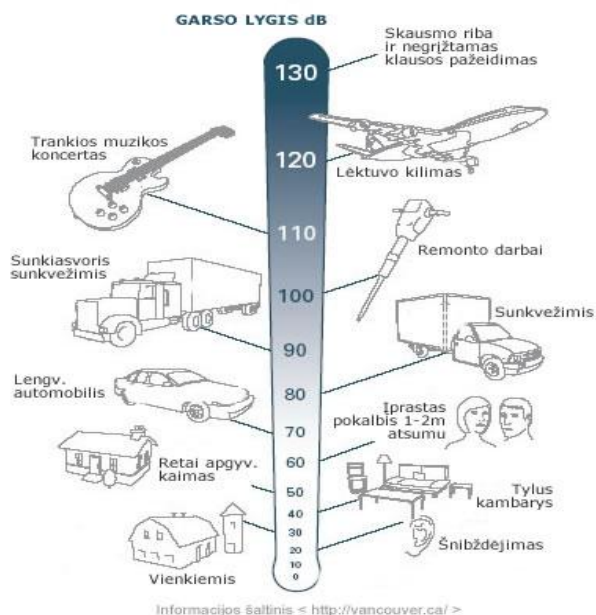
Abi užduotys reikalauja garso stiprio normų, kuriomis remiantis būtų atliekami skaičiavimai. Pirmajai užduočiai triukšmo standarto reikalavimus imame iš „LIETUVOS HIGIENOS NORMA HN 33:2011“ [2] (2 lentelė).

2 lentelė. Garso slėgio lygiai įvairiose aplinkose

Eil. Nr.	Objekto pavadinimas	Paros laikas, val.	Garso slėgio lygis, dBA
1.	Gyvenamųjų pastatų (namų) gyvenamosios patalpos, visuomeninės paskirties pastatų miegamieji kambariai, stacionariųjų asmens sveikatos priežiūros įstaigų palatos	6–18 18–22 22–6	45 40 35
2.	Visuomeninės paskirties pastatų patalpos, kuriose vyksta mokymas ir (ar) ugdymas		45

3.	Gyvenamųjų pastatų (namų) ir visuomeninės paskirties pastatų (išskyrus maitinimo ir kultūros paskirties pastatus) aplinkoje, veikiamoje transporto sukeliama triukšmo	6–18	65
		18–22	60
		22–6	55
4.	Gyvenamųjų pastatų (namų) ir visuomeninės paskirties pastatų (išskyrus maitinimo ir kultūros paskirties pastatus) aplinkoje, išskyrus transporto sukeltą triukšmą	6–18	55
		18–22	50
		22–6	45
5.	Maitinimo ir kultūros paskirties pastatų salėse estradinių ar kitų pramoginių renginių metu, kino filmų demonstravimo metu		80
6.	Atvirose koncertų ir šokių salėse estradinių ar kitų pramoginių renginių metu	6–18	85
		18–22	80
		22–6	55

Pirmajai užduočiai artimiausias standartas būtų nr. 6. Kaip atskaitos taškas bus panaudojamas 80 dbA riba. Ši riba buvo pasirinkta todėl, kad kvadrokopteriai labai dažnai naudojami įvairiems renginiams ar koncertams filmuoti iš oro. Antrajai užduočiai buvo pasirinkta 20 dbA riba. Ši riba atitinka šnabždesį tarp dviejų žmonių (25 pav.).



25 pav. Garso slėgio lygių atitikmenys [11]

Tyrimo metu buvo matuota dviejų dydžių ir charakteristikų kvadrokopterių sklaidžiamas triukšmas. Bandymas buvo atliekamas KTU TSDI Mašinų vibracijų ir akustinių

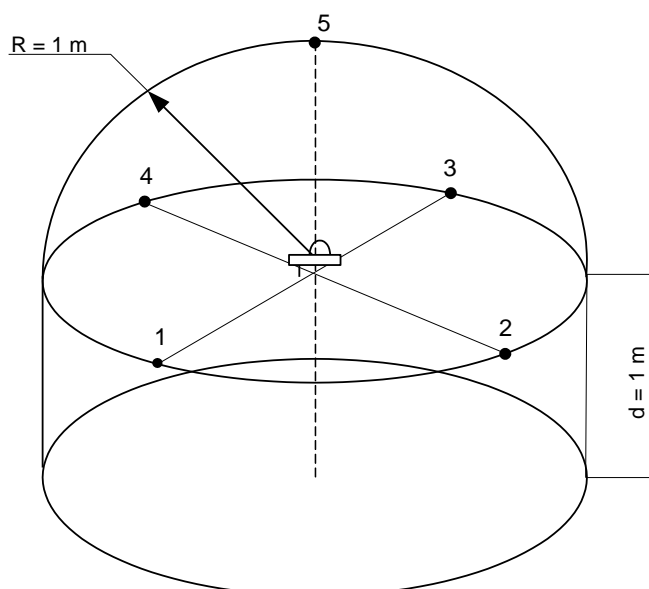
triukšmų lygio bandymų laboratorijoje, pusiau atspindinčioje akustinėje kameroje, laisvajame lauke virš atspindinčios plokštumos. Matavimai buvo atlikti pagal LST EN ISO 3744:2011 [1] penkių taškų triukšmo matavimo bandymą. Matavimo priemonės:

- Modulinis precizinis vibracijų ir triukšmo matuoklis PULSE 3560 Nr. 2339104.
- Programinė įranga Bruel & Kjaer 7700A, 7700A MSI.
- Mikrofonas 1 Bruel & Kjaer 4189 Nr. 2339352.
- Mikrofonas 2 Bruel & Kjaer 4189 Nr. 2339353.
- Mikrofonas 3 Bruel & Kjaer 4189 L001 Nr. 2539711.
- Mikrofonas 4 Bruel & Kjaer 4189 L001 Nr. 2539712.
- Kalibravimo įrenginys 4231 Nr. 2326365, kalibruotas VMC 2014-12-09, kalibravimo liudijimo Nr. 765649.

Matavimo metu naudoto pagalbinės priemonės:

- Mikrofono stovas VTL S1, TSDI atestavimo pažymos Nr. A12-05, 2012-02-06.
- Mikrofono stovas VTL S2, TSDI atestavimo pažymos Nr. A12-06, 2012-02-06.
- Mikrofono stovas VTL S3, TSDI atestavimo pažymos Nr. A12-07, 2012-02-06.
- Mikrofono stovas VTL S4, TSDI atestavimo pažymos Nr. A12-08, 2012-02-06; Daugiafunkcinė matavimo priemonė TESTO 445 Nr. 01008459/410, LEI kalibravimo liud. Nr. 29/14-S, 2014-10-06.
- Ruletė Stanley Nr. 352, KMC kalibravimo liud. Nr. MG-1475, 2014-10-10.

Matuojamasis paviršius parinktas dviejų segmentų pusrutulio ir cilindro formos. Cilindro aukštis $d = 1$ m, pusrutulio spindulys $R = 1$ m (26 pav.)



26 pav. Bandyto schema

Tyrimo metu buvo išbandyti du kvadrokopteriai. Jų techniniai parametrai pateikti 3 lentelėje.

3 lent. Kvadrokopterių techniniai parametrai

	1 kvadrokopteris	2 kvadrokopteris
Rėmo tipas	250 mm, H forma	450 mm, X forma
Rėmo medžiaga	Anglies pluoštas	Plastikas
Varikliai	18x06, 2280 kv	22x12, 935 kv
Akumulatorius	LiPo 3S, 11.1V, 25C	LiPo 3S, 11.1V, 25C
Propeleriai	20.3 cm x 45°	7.7 cm x 30°

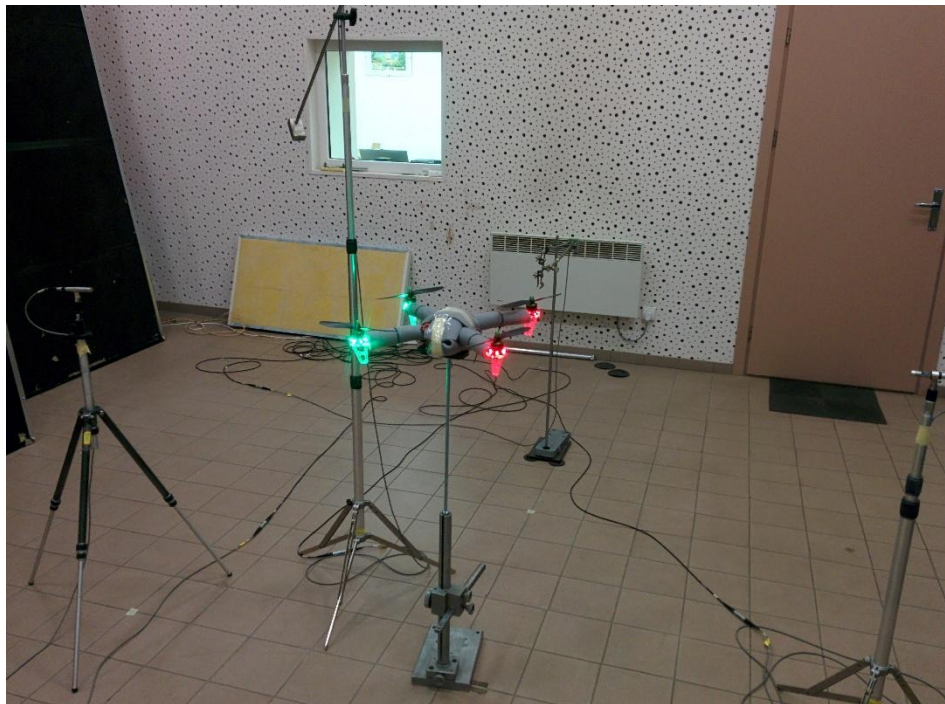
Bandymas buvo atliekamas su dviem triukšmą izoliuojančiomis medžiagomis: ArmaSound Barrier E ir polietileno putos. Jų parametrai [3, 4] pateikiami 4 lentelėje.

4 lentelė garso izoliacinių medžiagų duomenys

	Tankis	Garso mažinimo indeksas
Polietileno putos	25 kg/m ³	~22 dB
ArmaSound Barrier E	2500 kg/m ³	28 dB

Atliekant tyrimą, pradžioje buvo matuojamas foninis triukšmas. Įrašius foninio triukšmo duomenis buvo matuojamas triukšmas, kai akseleratoriaus padėtis yra ties 50 proc.

Įrašius pastaruosius duomenis, akseleatoriaus padėtis buvo padidinama iki 100 proc. Atlikus pirmąjį matavimą, buvo perstatomas mikrofonas, kad išmatuoti 5-osios padėties triukšmą. Atlikus matavimus visuose taškuose, kvadrokopteris buvo „apvelkamas“ (27 pav.) garso izoliacine medžiaga ir bandymas pakartojamas.



27 pav. Kvadorkopteris akustinėje kameroje, su garso izoliacija (Autoriaus fotografija)

Skaičiavimai atlikti naudojant MATLAB programų paketą. Apskaičiuota bendra garso galia visose dažnių juostuose. Panaudojant šį dydį, paskaičiuotas atstumas, kuriame nebūtų viršytas anksčiau pasirinktas garso slėgio barjeras.

2.2. 450 mm tipo kvadrokopterio bandymas

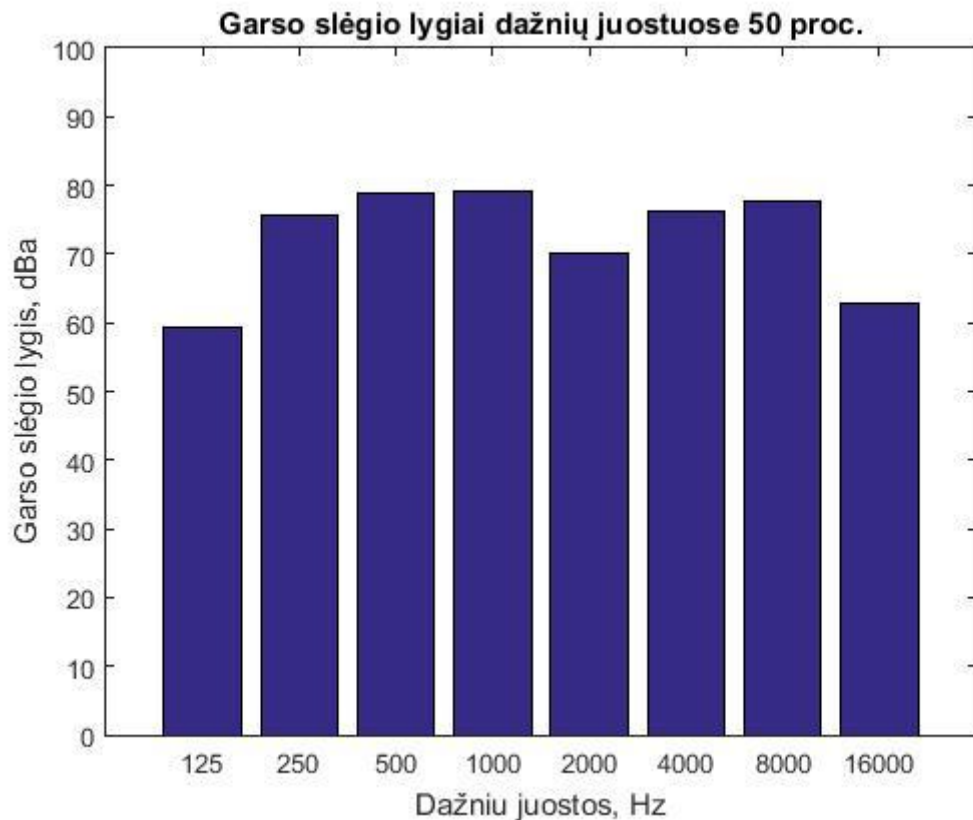
Bandymo metu buvo nustatytas 450 mm X tipo kvadrokopterio keliamas triukšmas. Šis kvadokopteris, palyginus su kitu bandiniu, buvo tylus, kadangi jo propeleriai yra storesni ir tuo pačiu standesni, todėl propelerio menčių vibracijos išilginę kryptimi yra mažesnės. Taip pat, variklių apsisukimų dažnis yra beveik dvigubai mažesnis, dėl to nesusidaro tiek daug sūkurių, ties propelerių menčių ašmenimis. Triukšmo parametrai dažnių juostuose, šiam kvadrokopteriui esant be garso izoliacijos pateikti 5,6 lentelėse ir 28 ir 29 grafikuose.

5 lentelė. 1 bandymo rezultatai esant 50 proc. galios

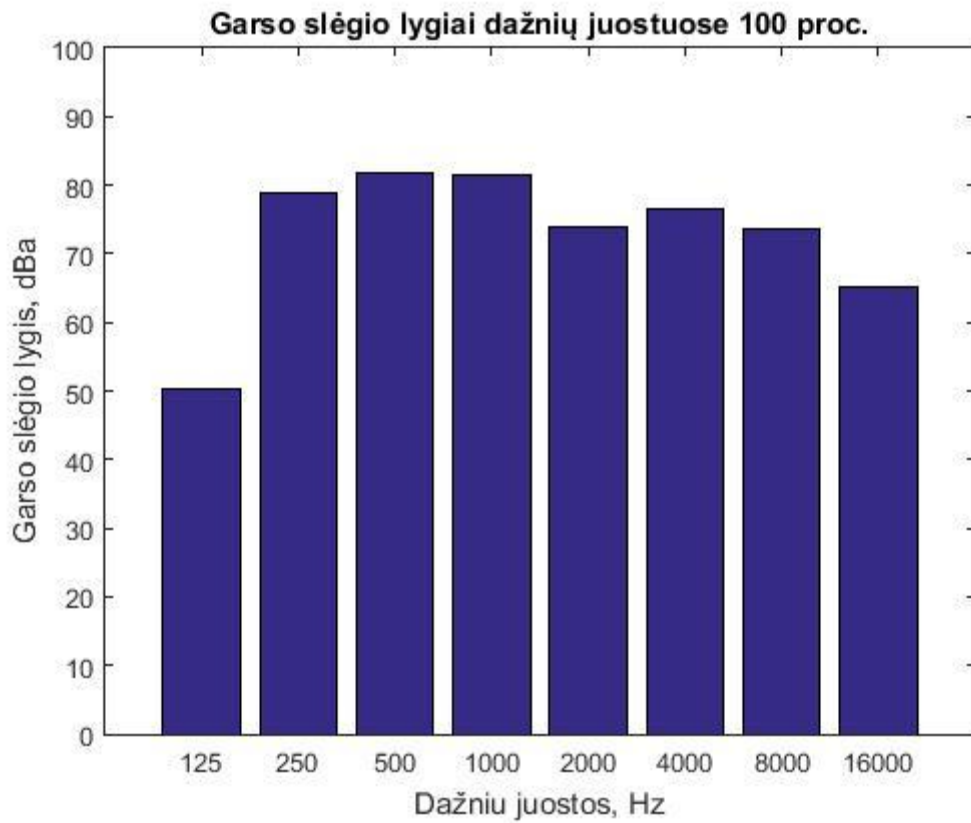
	Hz_125	Hz_250	Hz_500	kHz_1	kHz_2	kHz_4	kHz_8	kHz_16	Suminis
Vid Paviršiaus dB	50.0	66.3	69.3	70.2	61.6	67.2	68.5	53.4	75.7
Fonas (A) dB	3.3	7.6	11.3	10.9	11.3	12.9	12.2	7.7	19.5
Skirtumas dB	46.8	58.6	58.0	59.3	50.3	54.3	56.3	45.7	56.2
Fono pataisa dB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aplinkos pataisa dB	1.6	1.5	1.6	2.0	2.5	2.0	1.9	1.7	1.8
Vidutinis (A) dB	48.4	64.8	67.7	68.3	59.1	65.2	66.6	51.8	73.9
Galios lygis dB	59.4	75.8	78.7	79.3	70.1	76.2	77.6	62.8	84.9

6 lentelė 1 bandymo rezultatai esant 100 proc. Galios

	Hz_125	Hz_250	Hz_500	kHz_1	kHz_2	kHz_4	kHz_8	kHz_16	Suminis
Vid Paviršiaus dB	40.9	69.4	72.5	72.5	65.6	67.5	64.6	55.8	77.6
Fonas (A) dB	3.3	7.6	11.3	10.9	11.3	12.9	12.2	7.7	19.5
Skirtumas dB	37.6	61.8	61.2	61.6	54.3	54.5	52.4	48.1	58.0
Fono pataisa dB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aplinkos pataisa dB	1.6	1.5	1.6	2.0	2.5	2.0	1.9	1.7	1.8
Vidutinis (A) dB	39.2	67.9	70.9	70.6	63.0	65.5	62.7	54.1	75.7
Galios lygis dB	50.2	78.9	81.9	81.6	74.0	76.5	73.7	65.1	86.7

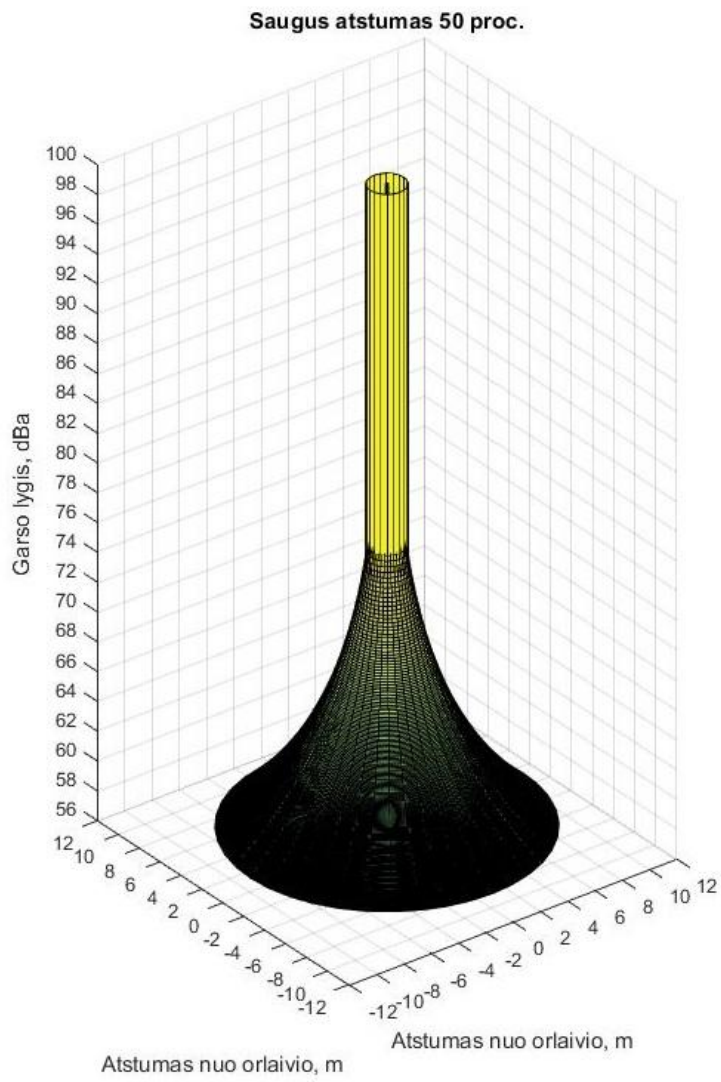


28 pav. Garso slėgio lygiai oktavoje, esant 50 proc. galiai

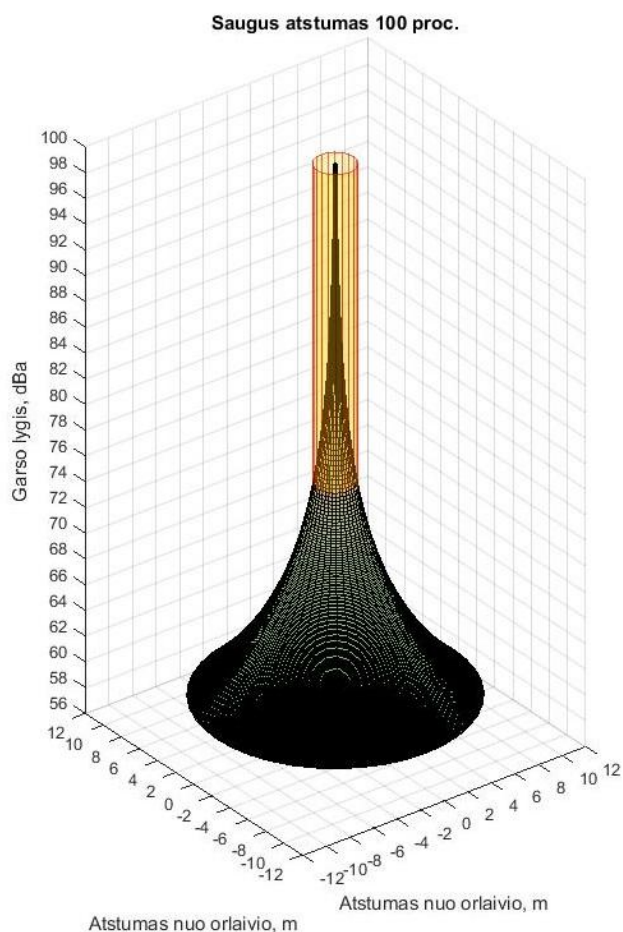


29 pav. Garso slėgio lygiai oktavoje, esant 100 proc. galiai

Taip pat buvo išmatuotas vidutiniai garso slėgiai, esant nuo kvadrokopterio įvairiems atstumams (30 ir 31 paveikslėliai). Cilindrai žymi „saugų“ atstumą nuo kvadrokopterio (neviršijanti pasirinktos triukšmo normos – šiuo atveju 85 dBa).

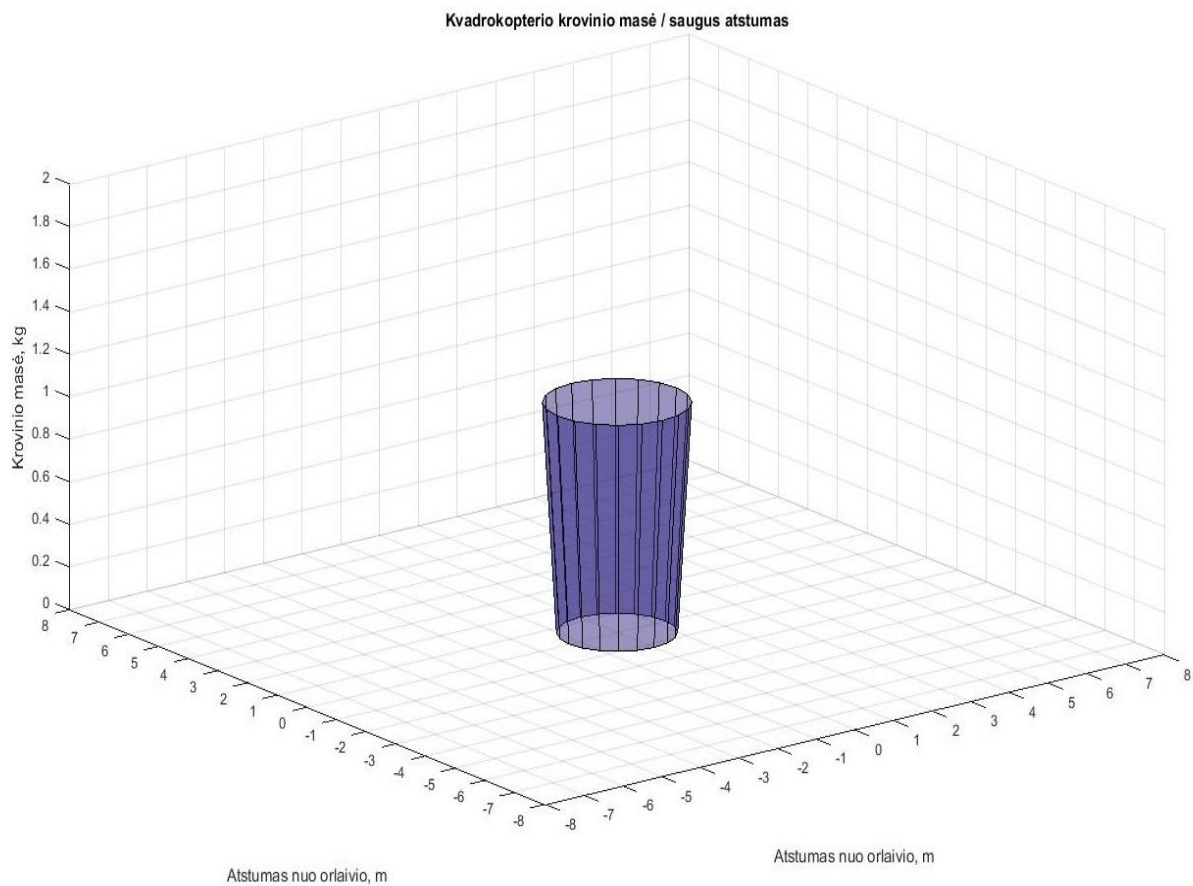


30 pav. Garso slėgiai esant tam tikram atstumui nuo orlaivio ir „saugi“ riba esant 50 proc. galingumui



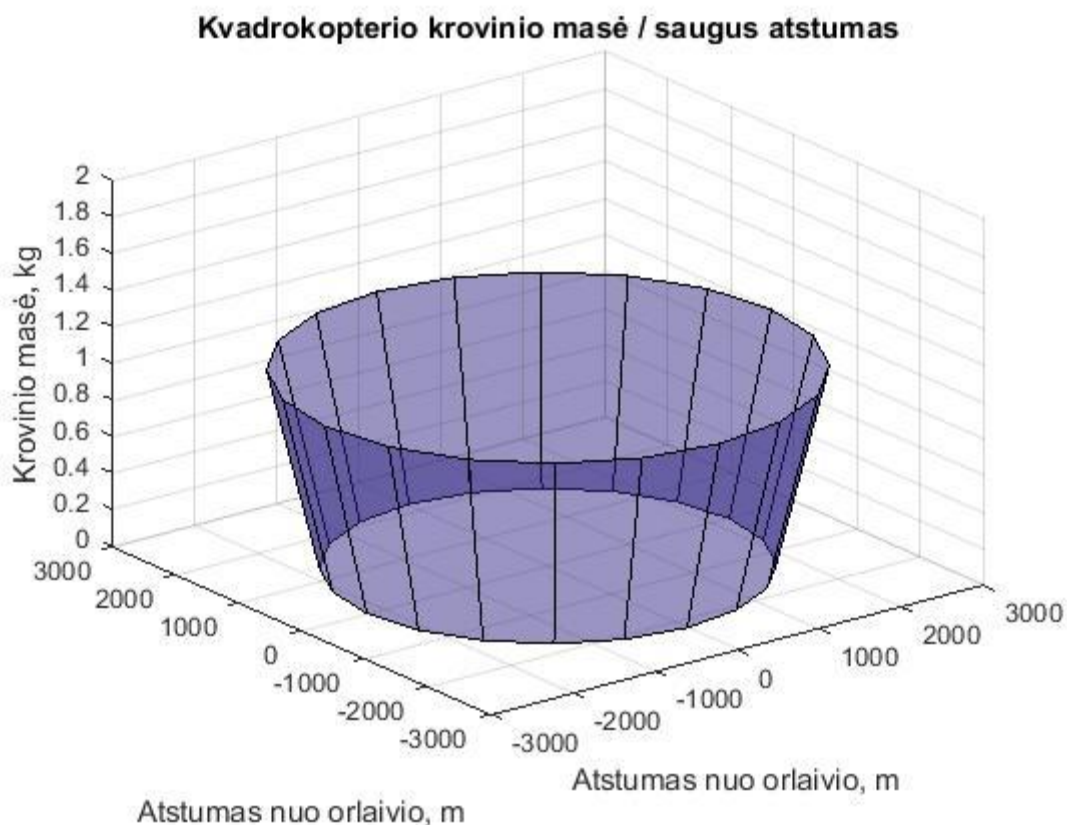
31 pav. Garso slėgiai esant tam tikram atstumui nuo orlaivio ir „saugi“ riba esant 100 proc. galingumui

Šiuo atveju atstumas, kuriame nebūtų viršijamos triukšmo higienos normos, nebuvo didelis 50 ir 100 proc. galios, jis atitinkamai buvo 1.24 m ir 1.53 m. Galima palyginti, kiek šį kvadrokopterį, šioje situacijoje galima apkrauti papildomą mase, kad nebūtų viršijamos triukšmo normos (10 proc. galios rezervas yra paliekamas kvadrokopterio pagrindinimas manevrams atlikti) (32 pav.).



32 pav. Didžiausia galima kvadropterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. (85 dBa slenkstis)

Toliau buvo bandoma skaičiuoti, koku atstumu turėtų būti kvadropteris nutolęs nuo klausytojo, kad klausytojo gaunamas garso bango slėgio stiprumas neviršytų 20 dB (žvalgybinė misija). Rezultatai pateikti 33 paveiksle.



33 pav. Didžiausia galima kvadrokopterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. (20 dBA slenkstis).

Kaip matome, atstumas pasikeičia drastiškai. Kvadrokopteriui esant be papildomo krovinio, jo negirdimumo riba būtų pasiekta tik esant šiek tiek virš 2 km nuo klausytojo ir apie 2.5 km kvadrokopteriui esant apkrautam.

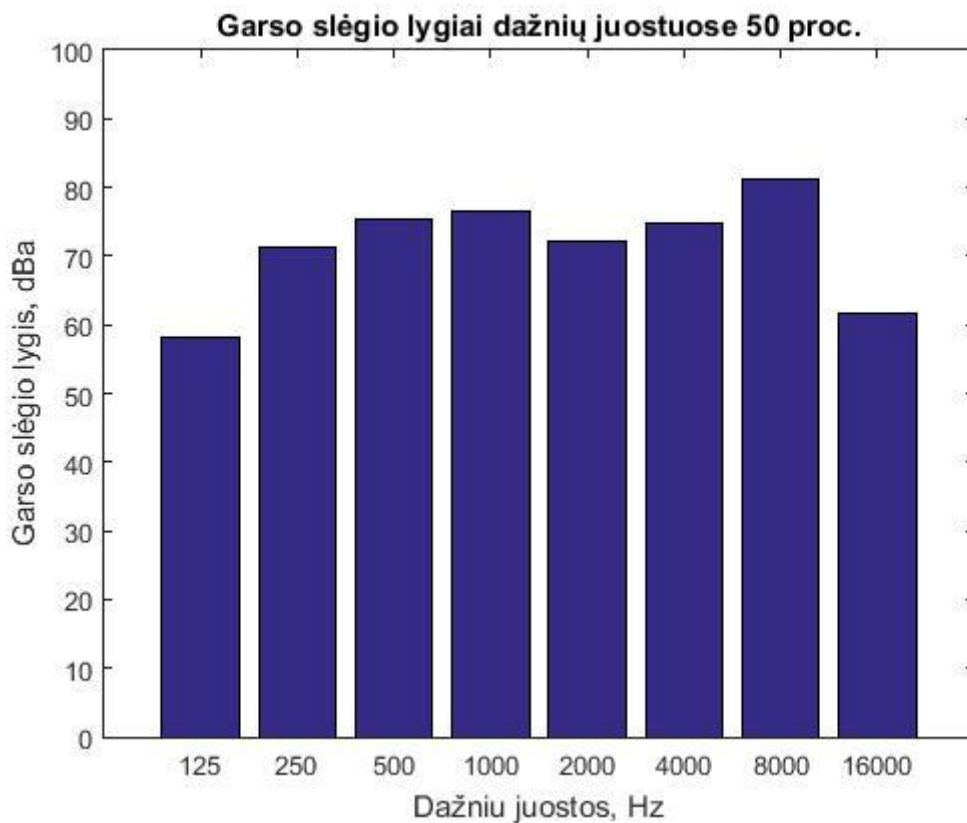
Kitas bandymas buvo atliekamas kvadrokopterio rėmą apviniojant polietileno putų porolonų ir ArmaSound dangomis. Bandymų rezultatai su polietilenu pateikti 7 ir 8 lentelėse ir 34 ir 35 paveikslėliuose.

7 lentelė. 2 bandymo rezultatai esant 50 proc. galios

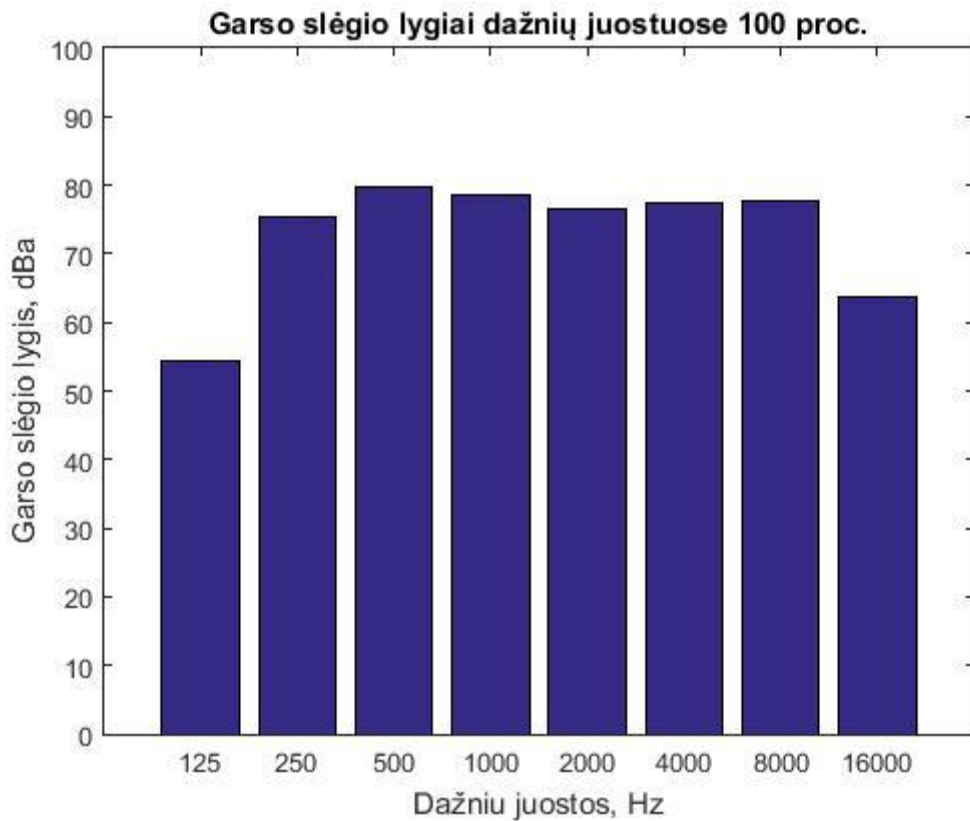
	Hz_125	Hz_250	Hz_500	kHz_1	kHz_2	kHz_4	kHz_8	kHz_16	Suminis
Vid Pavirsiaus dB	48.8	61.8	65.8	67.4	63.6	65.9	72.1	52.2	75.2
Fonas (A) dB	3.7	6.9	10.2	9.6	11.0	12.7	12.4	7.7	19.1
Skirtumas dB	45.1	54.9	55.6	57.7	52.6	53.2	59.7	44.5	56.1
Fono pataisa dB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aplinkos pataisa dB	1.6	1.5	1.6	2.0	2.5	2.0	1.9	1.7	1.8
Vidutinis (A) dB	47.2	60.3	64.2	65.4	61.0	63.9	70.2	50.5	73.4
Galios lygis dB	58.2	71.3	75.2	76.4	72.0	74.9	81.2	61.5	84.4

8 lentelė. 2 bandymo rezultatai esant 100 proc. galios

	Hz_125	Hz_250	Hz_500	kHz_1	kHz_2	kHz_4	kHz_8	kHz_16	Suminis
Vid Paviršiaus dB	44.9	66.0	70.3	69.5	68.1	68.3	68.7	54.4	76.5
Fonas (A) dB	3.7	6.9	10.2	9.6	11.0	12.7	12.4	7.7	19.1
Skirtumas dB	41.2	59.1	60.1	59.9	57.1	55.6	56.4	46.8	57.4
Fono pataisa dB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aplinkos pataisa dB	1.6	1.5	1.6	2.0	2.5	2.0	1.9	1.7	1.8
Vidutinis (A) dB	43.3	64.5	68.7	67.5	65.5	66.3	66.8	52.7	74.7
Galios lygis dB	54.3	75.5	79.7	78.5	76.5	77.3	77.8	63.7	85.7



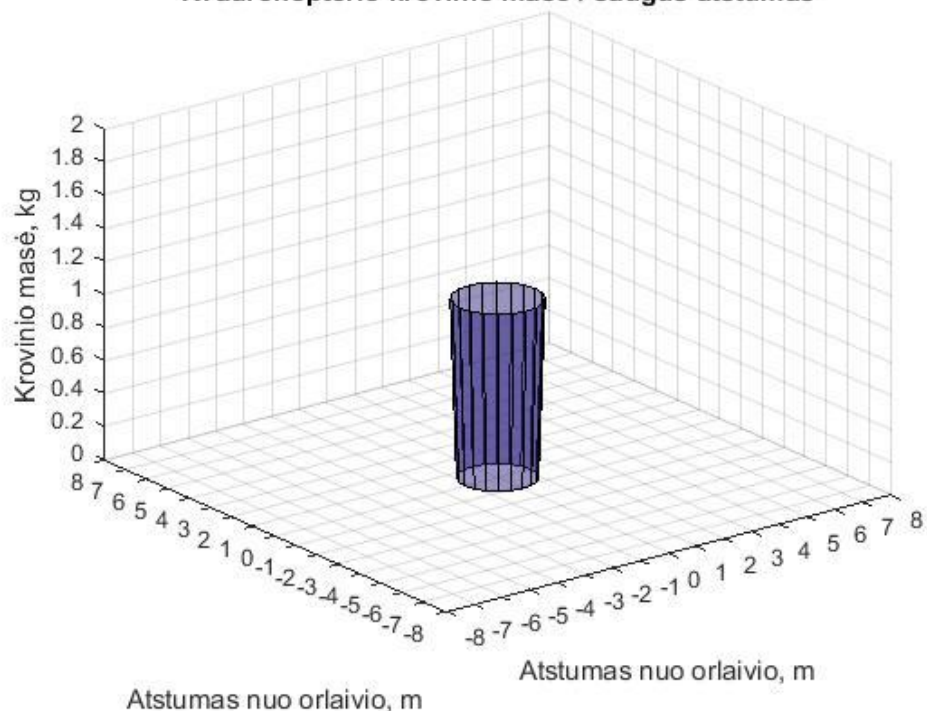
34 pav. Garso slėgio lygiai oktavoje, esant 50 proc. galiai



35 pav. Garso slėgio lygiai oktavose, esant 100 proc. galiai

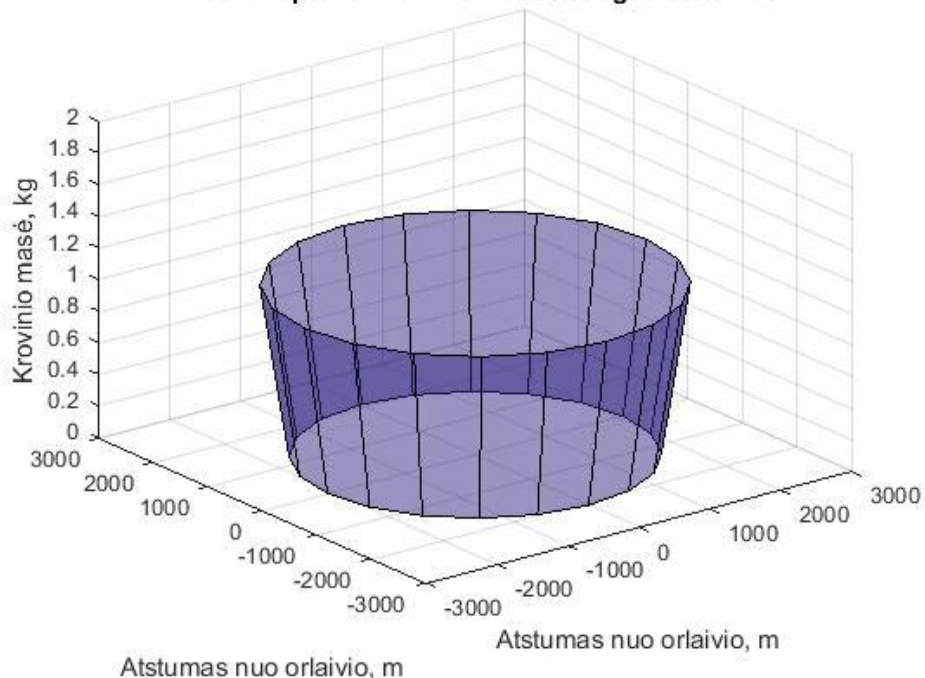
Saugūs atstumai, naudojant polietileno putų poroloną, kaip triukšmo izoliacinę medžiagą, šiek tiek sumažėjo. Esant 85 dBa ribai minimalus kvadropterio atstumas turėtų būti 1.17 m esant 50 proc. galios ir 1.35 m esant 100 proc. galios, o esant žvalgybinės užduoties modeliui, atstumas esant 50 proc. galios sumažėjo nežymiai - ~20 metrų, bet esant 100 proc. galiai atstumas iki klausytojo sumažėjo beveik 100 metrų. Kvadropterio atstumų nuo jų krovinių masės pateiktos 36 ir 37 paveikslėliuose.

Kvadrokopterio krovinio masė / saugus atstumas



36 pav. Didžiausia galima kvadrokopterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai.
Izoliacinė medžiaga – polietileno putų porolonas (85 dBa slenkstis)

Kvadrokopterio krovinio masė / saugus atstumas



37 pav. Didžiausia galima kvadrokopterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai.
Izoliacinė medžiaga – polietileno putų porolonas (20 dBa slenkstis)

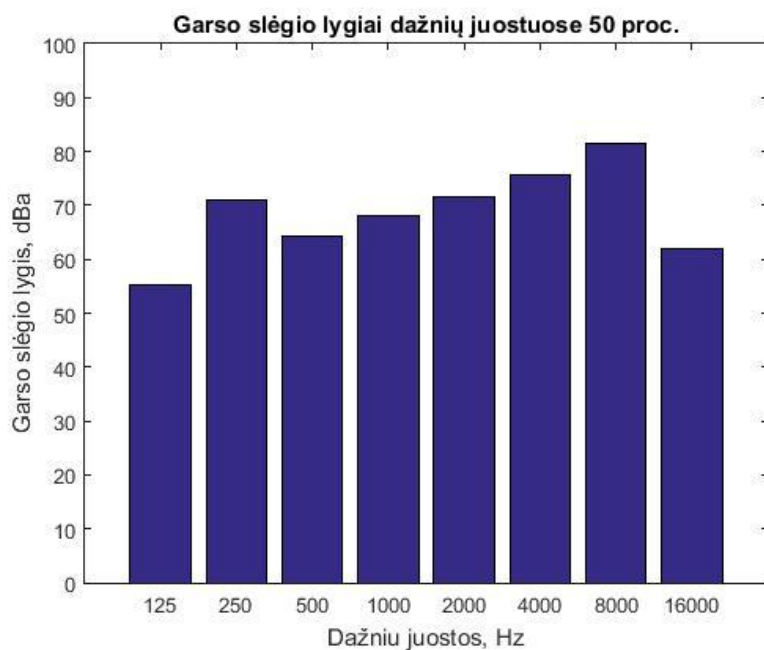
Galiausiai, kvadrokopterio garsui sumažinti buvo pasirinkta moderni, triukšmą izoliuojanti medžiaga ArmaSound Barrier E. Bandymo rezultatai su šia triukšmą izoliuojančia medžiaga pateikti 9 ir 10 lentelėse ir 38, 39, 40 ir 41 grafikuose.

9 lentelė. 3 bandymo rezultatai esant 100 proc. galios

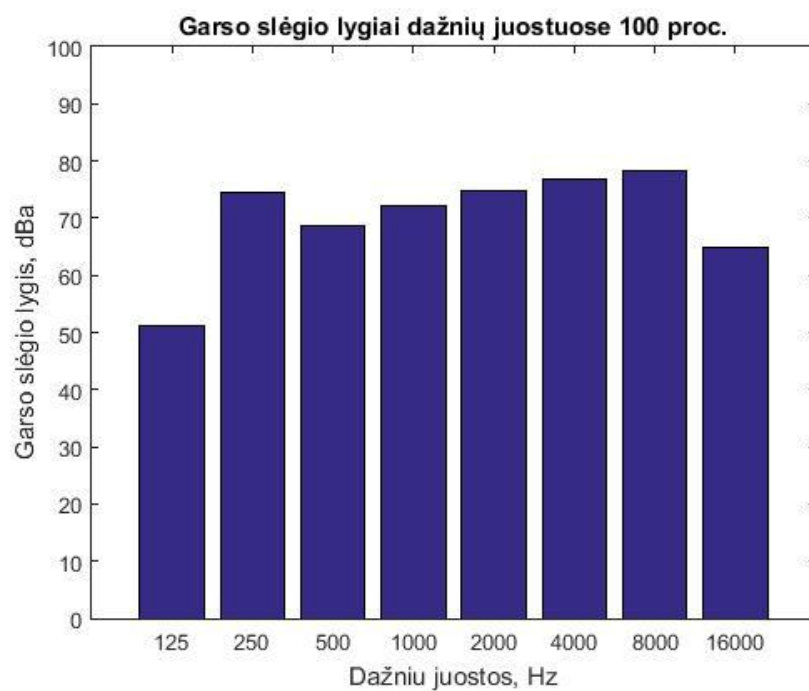
	Hz_125	Hz_250	Hz_500	kHz_1	kHz_2	kHz_4	kHz_8	kHz_16	Suminis
Vid Pavirsiaus dB	41.8	65.0	59.2	63.1	66.4	67.8	69.2	55.5	74.0
Fonas (A) dB	5.1	12.0	11.4	8.6	10.6	12.3	11.7	7.6	19.5
Skirtumas dB	36.7	53.0	47.7	54.5	55.8	55.5	57.4	47.9	54.5
Fono pataisa dB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aplinkos pataisa dB	1.6	1.5	1.6	2.0	2.5	2.0	1.9	1.7	1.8
Vidutinis (A) dB	40.1	63.5	57.6	61.2	63.9	65.8	67.2	53.8	72.2
Galios lygis dB	51.1	74.5	68.6	72.2	74.9	76.8	78.2	64.8	83.2

10 lentelė. 3 bandymo rezultatai esant 100 proc. galios

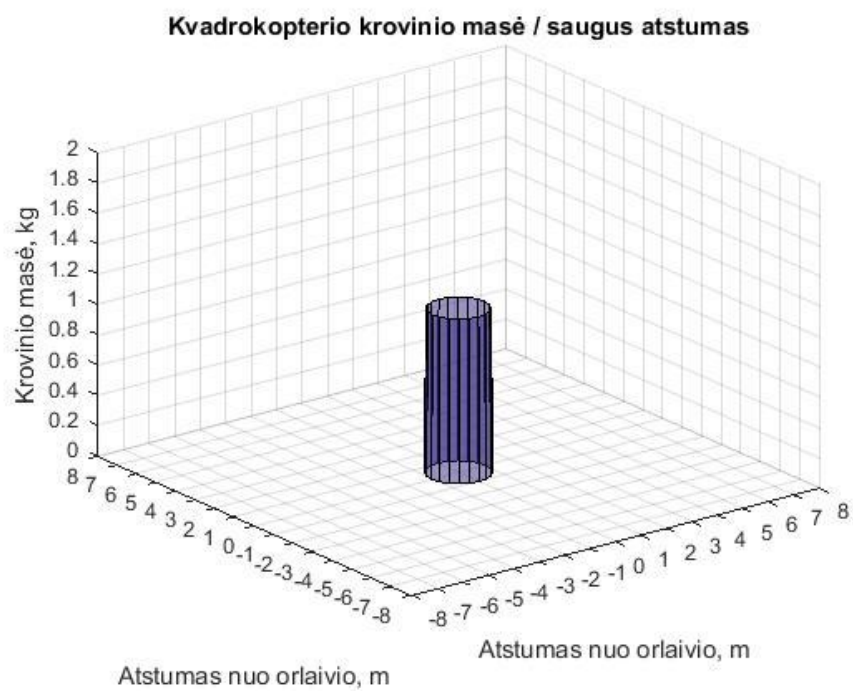
	Hz_125	Hz_250	Hz_500	kHz_1	kHz_2	kHz_4	kHz_8	kHz_16	Suminis
Vid Pavirsiaus dB	46.0	61.5	54.9	59.0	63.1	66.6	72.5	52.7	74.4
Fonas (A) dB	5.1	12.0	11.4	8.6	10.6	12.3	11.7	7.6	19.5
Skirtumas dB	40.9	49.5	43.4	50.4	52.5	54.3	60.8	45.1	54.8
Fono pataisa dB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aplinkos pataisa dB	1.6	1.5	1.6	2.0	2.5	2.0	1.9	1.7	1.8
Vidutinis (A) dB	44.4	60.0	53.3	57.0	60.6	64.6	70.6	51.1	72.5
Galios lygis dB	55.4	71.0	64.3	68.0	71.6	75.6	81.6	62.1	83.5



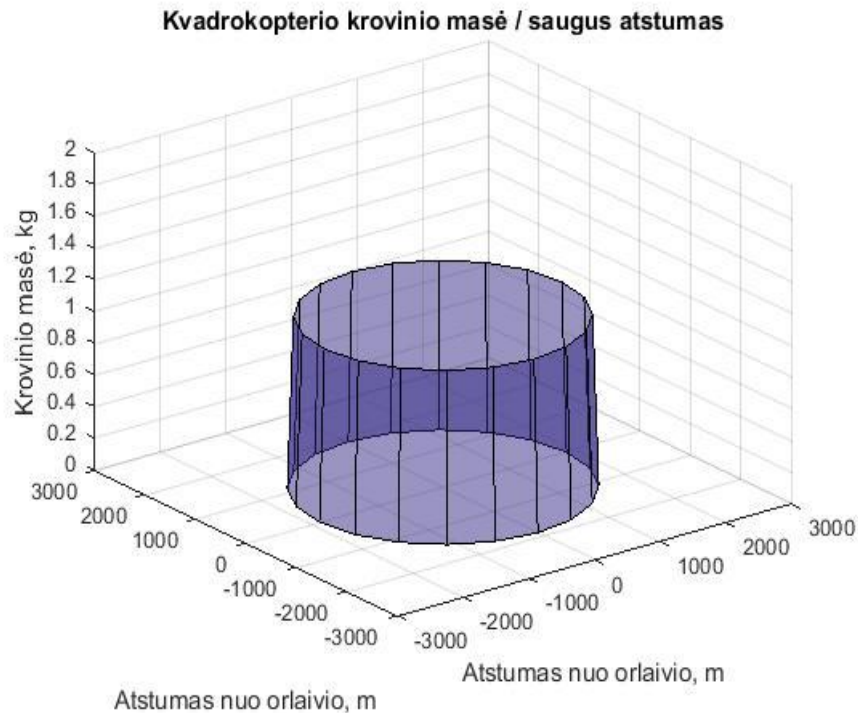
38 pav. Garso slėgio lygiai oktavoje, esant 50 proc. galiai. Izoliacinė medžiaga ArmaSound.



39 pav. Garso slėgio lygiai oktavose, esant 100 proc. galiai. Izoliacinė medžiaga ArmaSound.



40 pav. Didžiausia galima kvadropterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. Izoliacinė medžiaga – ArmaSound (85 dBa slenkstis)



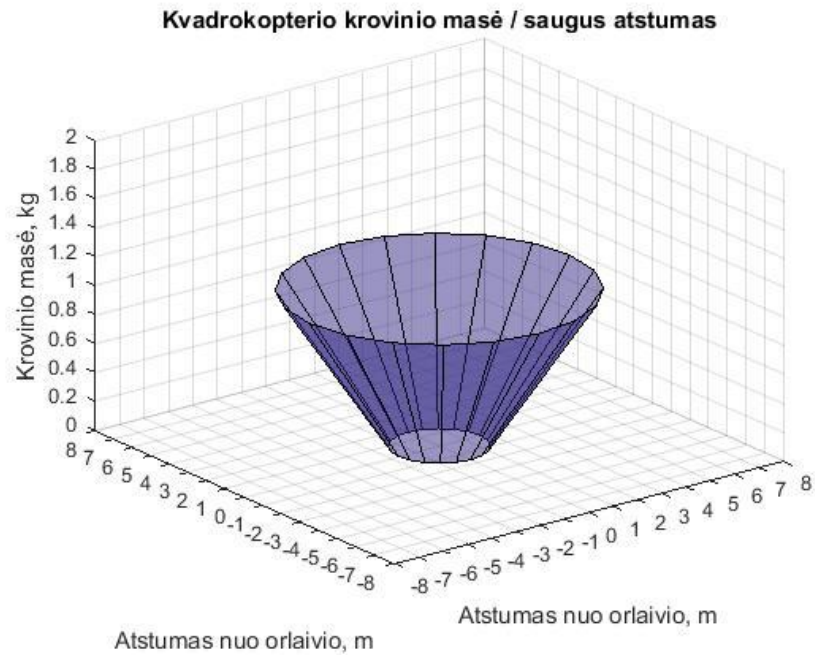
41 pav. Didžiausia galima kvadrokofterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai.

Izoliacinė medžiaga – ArmaSound (20 dBa slenkstis).

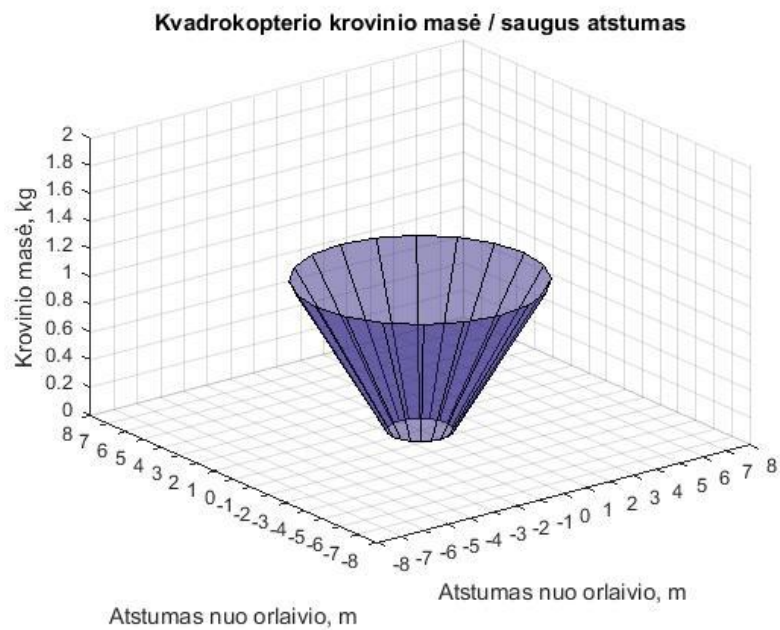
Saugūs atstumai, naudojant ArmaSound poroloną, kaip triukšmo izoliacinę medžiagą pastebimai sumažėjo. Įdomu tai, kad sumažėjo ir skritumas tarp darbo režimų – esant 50 ir 100 proc. variklių galios, triukšmo rezultatai beveik nesiskyrė. Esant 85 dBa ribai minimalus kvadrokofterio atstumas turėtų būti 1.01 m esant 50 proc. galios ir 1.05 m esant 100 proc. galios, o esant žvalgybinės užduoties modeliui, kvadrokofterio atstumas turėtų būti 1807 m esant 50 proc. galios ir 1882 m esant 100 proc. galios.

2.3. 250 mm kvadrokofterio bandymas

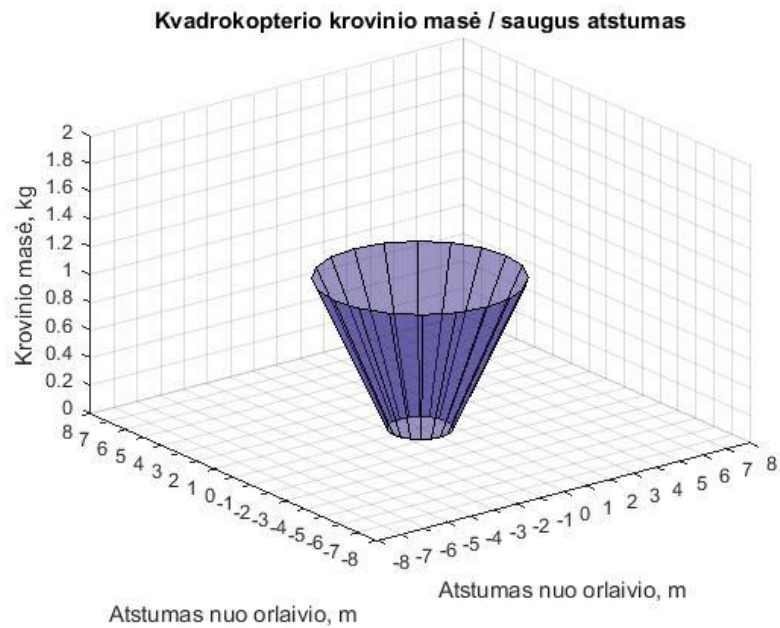
250 mm kvadrokofteris šiame bandyme buvo daug triukšmingesnis, kadangi jo propeleriai yra plonesni, lankstesni, todėl daugiau disbalanso, tenka ir rėmui. Taip pat variklių apsisukimai yra beveik 2.5 karto didesni. Kvadrokofterio didžiausi leistini apkrovimai pateikiami 42, 43 ir 44 paveikslėliuose.



42 pav. Didžiausia galima 250 mm kvadrokopterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. (85 dBa slenkstis)



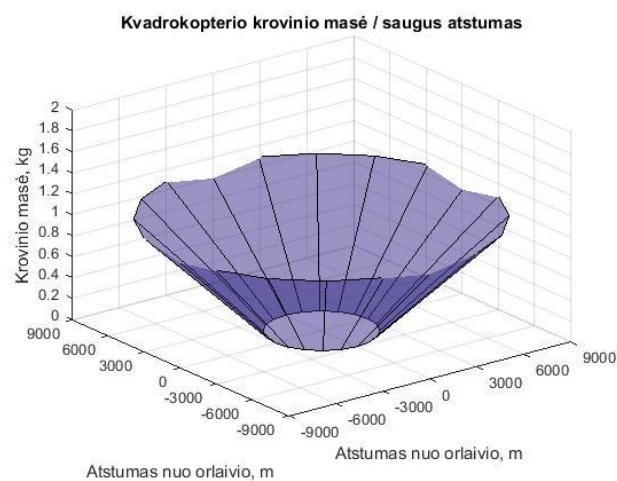
43 pav. Didžiausia galima 250 mm kvadrokopterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. Izoliacinė medžiaga – polietileno putų porolonas (85 dBa slenkstis)



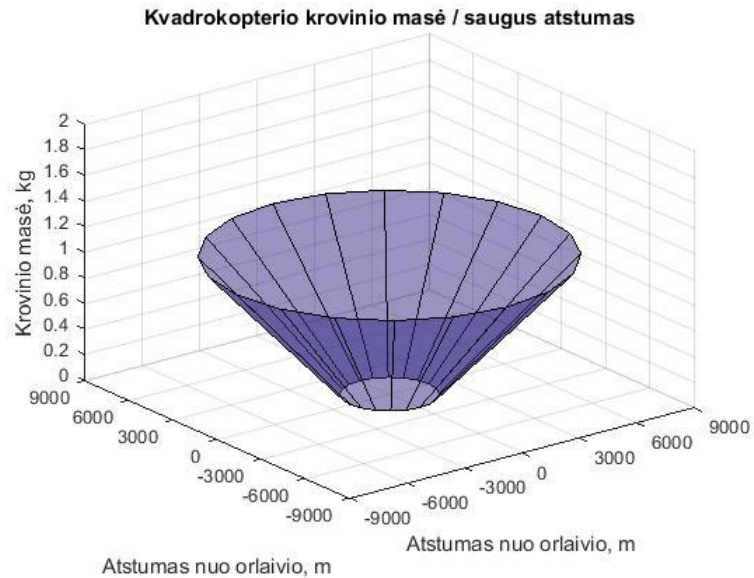
44 pav. Didžiausia galima 250 mm kvadrokofterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. Izoliacinė medžiaga – ArmaSound(85 dBa slenkstis)

Kaip matome iš grafikų, atstumas sistemiškai mažėjo naudojant izoliacines medžiagas. Be apsaugų apkrautas kvadrokofteris galėtų prisitarti prie klausytojo per 5.3 m, o štai su ArmaSound porolonų – 3.7 metro.

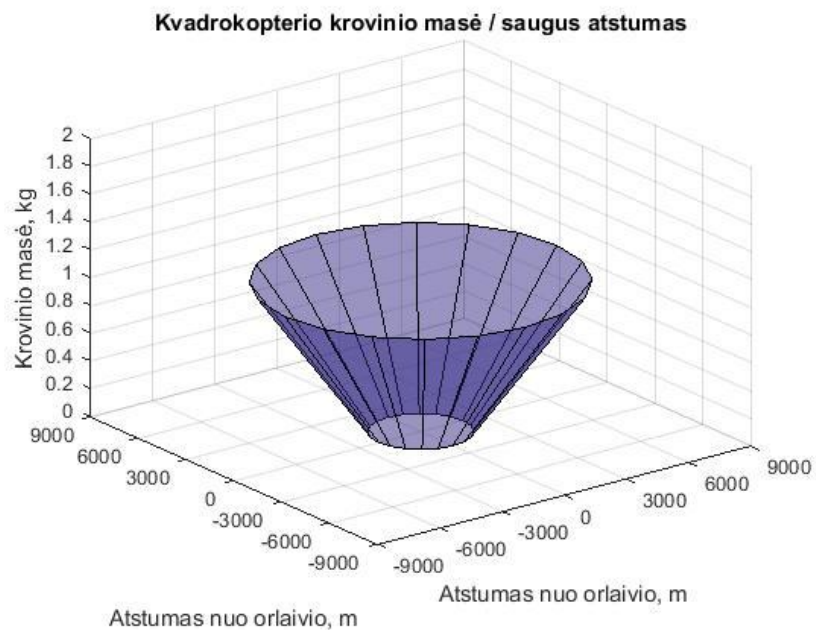
Žvalgybos užduoties bandyme skirtumai daug žymesni. 250 mm tipo kvadrokofteris be triukšmo izoliacijos, pilnai apkrautas nuo klausytojo galėtų būti 9500 m, o apsaugotas aksutine medžiaga ArmaSound – 6500 m. Atstumo nuo klausytojo priklausomybės nuo apkrovos grafikai pateikiami 45,46 ir 47 paveikslėliuose.



45 pav. Didžiausia galima 250 mm kvadrokofterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. (20 dBa slenkstis).



46 pav. Didžiausia galima 250 mm kvadropterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. (20 dBa slenkstis) Izoliacinė medžiaga – polietileno putų porolonas



47 pav. Didžiausia galima 250 mm kvadropterio krovinio masė ir „saugus“ atstumas esant jai. (20 dBa slenkstis) Izoliacinė medžiaga – ArmaSound

Taigi, matant bandymų rezultatus, galima pastebėti, kad izoliavus kvadropterio rėmą triukšmą sugeriančia medžiaga, teorinis atstumas, nuo kurio kvadropteris beveik nesigirdėtų, sumažėjo ~ 30 proc.

Išvados

Atlikus kvadrokopterių triukšmo bandymą, buvo išmatuoti šio tipo bepiločio orlaivio skleidžiamami triukšmai. Rezultatai buvo suskaičiuoti naudojant matematinį paketą MATLAB. Atlikus šią analizę daromos išvados:

1. Pirmasis testuotas 450 mm kvadrokopteris dirba tyliau. Neizoliuotas kvadrokopteris, neviršydamas triukšmo normų, gali būti apie 1.53 m nuo klausytojo, tuo tarpu 250 mm tipo kvadrokopteris dirba daug garsiau, ir pilnai apkrautas nuo klausytojo turėtų būti laikomas ne mažiau nei per 5.3 m. Todėl filmavimo ir žvalgybos užduotyse praktiškesnis būtų 450 mm kvadrokopteris dėl jo mažesnio skleidžiamo triukšmo.
2. Triukšmo, atsirandančio dėl kvadrokopterio rėmo virpėjimo, slopinimui labiausiai tinka akustinis porolonas ArmaSound, didesnis efektas buvo jaučiamas panaudojus šį poroloną ant 250 mm kvadrokopterio, kadangi triukšmo lygiai buvo žymiai didesni.
3. Apibrėžta kokiais minimaliais atstumais nuo klausytojų gali skristi pilnai izoliuoti kvadrokopteriai. Pilnai izoliuotas ir apkrautas 250 mm kvadrokopteris, kai triukšmo riba yra 85 dBa, gali skristi 3.7 metro atstumu nuo klausytojo, tuo tarpu 450 mm kvadrokopteris – 1.01 metro atstumu.
4. Nustatyta, kad kvadrokopterio orlaivių tipas labiau tinka konstruojant mažus bepiločius orlaivius, kadangi jo konstrukcija yra žymiai paprastesnė nei sraigtasparnio.

Literatūros sąrašas

1. Akustika. Triukšmo šaltinių garso galios lygių ir garso energijos lygių nustatymas pagal garso slėgį. Ekspertinis beveik laisvo lauko virš atspindinčiosios plokštumos metodas (LST EN ISO 3744:2010)
2. Higienos norma HN 33:2001 "Akustinis triukšmas. Leidžiami lygiai gyvenamojoje ir darbo aplinkoje. Matavimo metodikos bendrieji reikalavimai". Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]: <https://www.etar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.340235D685E1>
3. ArmaSound Barrier E datasheet. Prieiga per internet [žiūrėta 2015-05-25]: [http://www.armacell.com/C1256AF100412A28/F/NT018CBEAE/\\$FILE/ArmaSoundBarrierE_ES.pdf](http://www.armacell.com/C1256AF100412A28/F/NT018CBEAE/$FILE/ArmaSoundBarrierE_ES.pdf)
4. PE foam acoustics. Data sheet. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]: <http://www.dafa-germany.de/media/28601/DAFA-Sound-Combi-PER-Produktblad.pdf>
5. Emax motors data sheets. Prieiga per internet [žiūrėta 2015-05-25]: <http://www.emaxmodel.com/brushless-motor/brushless-motor-for-multirotors/emax-multicopter-motor-mt1806.html>
<http://www.emaxmodel.com/brushless-motor/brushless-motor-for-multirotors/multi-copter-motor-mt2213-920kv.html>
6. Intelligent Flight Control of an Autonomous Quadrotor. Prieiga per internet [žiūrėta 2015-05-25]: http://cdn.intechopen.com/pdfs/6587/intech-intelligent_flight_control_of_an_autonomous_quadrotor.pdf
7. Sound absorption coefficient measurement: Re-examining the relationship between impedance tube and reverberant room methods. Prieiga per internet [žiūrėta 2015-05-25]: http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2012/papers/p55.pdf
8. Acoustic Absorption in Porous Materials. Prieiga per internet [žiūrėta 2015-05-25]: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20110011143.pdf>
9. Revolution Board Setup. Prieiga per internet [žiūrėta 2015-05-25]: <https://wiki.openpilot.org/display/WIKI/Revolution+Board+Setup>
10. Jack E. Made , Donald W. Kurtz "A Review of Aerodynamic Noise From Propellers, Rotors, and Lift Fans". Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]: http://cafefoundation.org/v2/pdf_tech/Noise.Technologies/NASA.1970.Prop.Noise.Review.pdf
11. Garso lygiai. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:

- <http://www.neg.lt/index.php/lt/vjo-energija/vjo-elektrins-ir-aplinka>
12. Stop-Rotor Rotary Wing Aircraft. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
<http://www.nrl.navy.mil/techtransfer/available-technologies/electronics/stop-rotor-rotary-wing-aircraft>
 13. The Huffington Post “Ont. Helicopter Crash Victim Was 'Brave,' 'Courageous’”.
Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
http://www.huffingtonpost.ca/2013/06/01/chris-snowball-helicopter-crash_n_3372024.html
 14. Heli Start “Main Rotors & Rotorhead”. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
<http://www.helistart.com/RotorSystem.aspx?clientHeight=775&clientWidth=1440>
 15. Aviation safety investigations & reports. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
https://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/2005/aair/aair200505332.aspx
 16. QuadCopter Balancing & Controlling Separation. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
<http://technicaladventure.blogspot.com/2012/09/quadcopter-stabilization-control-system.html>
 17. Helicopter Tip Vortices. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
http://www.dlr.de/media/en/desktopdefault.aspx/tabid-4985/8422_read-19451
 18. Jorge P. Arenas, Malcolm J. Crocker “Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials”. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
<http://www.sandv.com/downloads/1007croc.pdf>
 19. Absorption Coefficients α of Building Materials and Finishes. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
<http://www.sengpielaudio.com/calculator-RT60Coeff.htm>
 20. Digital sound level meter. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
<http://www.sengpielaudio.com/calculator-RT60Coeff.htm>
 21. A – weighting in details. Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-25]:
<http://www.lindos.co.uk/cgi-bin/FlexiData.cgi?SOURCE=Articles&VIEW=full&id=2>
 22. Misevičius I. (2004) Triukšmo poveikis sveikatai

Priedas Nr.1

Programos kodas MATLAB aplinkoje

Rezultatai_paleidimas.m

```
clear
run('Skaiciavimai.m')
% -----Lentele-----
Vertikalu = {'Vid Pavirsiaus dB';'Fonas (A) dB';'Skirtumas dB';'Fono
pataisa dB';'Aplinkos pataisa dB'; 'Vidutinis (A) dB';'Galios lygis dB'}
Horizontalu = {'Hz_125' 'Hz_250' 'Hz_500' 'kHz_1' 'kHz_2' 'kHz_4' 'kHz_8'
'kHz_16' 'Suminis'}
Rezultatai_pilnas_100=[L_pST L_pST_A;LpB LpB_A;deltaLp deltaLp_A;K1 K1_A;K2
K2_A;LpST LpST_A;Lw Lw_A]
Rezultatai_pilnas_50=[L_pST_50 L_pST_A_50;LpB_50 LpB_A_50;deltaLp_50
deltaLp_A_50;K1_50 K1_A_50;K2_50 K2_A_50;LpST_50 LpST_A_50;Lw_50 Lw_A_50]
Bar_Labels = {'125','250','500','1000','2000','4000','8000','16000'}

% -----Grafikas Lw dažniu juostuose 100 proc.-----
---
figure
bar(Lw)
set(gca, 'XTick', 1:8, 'XTickLabel', Bar_Labels)
axis([0 9 0 100])
title('Garso slėgio lygiai dažnių juostuose 100 proc.')
xlabel('Dažniu juostos, Hz')
ylabel('Garso slėgio lygis, dBa')
% -----Grafikas Lw dažniu juostuose 50 proc.-----
--
figure
bar(Lw_50)
set(gca, 'XTick', 1:8, 'XTickLabel', Bar_Labels)
axis([0 9 0 100])
title('Garso slėgio lygiai dažnių juostuose 50 proc.')
xlabel('Dažniu juostos, Hz')
ylabel('Garso slėgio lygis, dBa')
% -----Atstumo grafikas 100 proc.-----
[xx1,yy1,zz2] = cylinder(r_saugus_riba,20);
zz2(1, :) = 100;
%-----
theta = 0:pi/20:2*pi;
xx = bsxfun(@times,ri',cos(theta));
yy = bsxfun(@times,ri',sin(theta));
zz = repmat(LpAi',1,length(theta));
figure
grafikas=surf(xx,yy,zz) % atstumo vs. garso galios grafikas
hold on
cilindras=surf(xx1,yy1,zz2) % "saugumo" cilindras, rodantis saugu atstuma
hold off
axis equal
title('Saugus atstumas 100 proc.')
xlabel('Atstumas nuo orlaivio, m')
ylabel('Atstumas nuo orlaivio, m')
zlabel('Garso lygis, dBa')
```

```

axis([-12,12,-12,12,56,100])
set(gca,'XTick',[-12:2:12])
set(gca,'YTick',[-12:2:12])
set(gca,'ZTick',[56:2:100])
set(cylindras,'FaceAlpha',0.3,'EdgeColor','red','EdgeAlpha',0.6,...
'DiffuseStrength',1,'AmbientStrength',1)
% -----Atstumo grafikas 50 proc.-----
[xx3,yy3,zz3] = cylinder(r_saugus_riba_50,20);
zz3(1, :) = 100;
%-----
theta = 0:pi/20:2*pi;
xx2 = bsxfun(@times,ri',cos(theta));
yy2 = bsxfun(@times,ri',sin(theta));
zz2 = repmat(LpAi_50',1,length(theta));
figure
grafikas_50=surf(xx2,yy2,zz2) % atstumo vs. garso galios grafikas
hold on
cylindras_50=surf(xx3,yy3,zz3) % "saugumo" cilindras, rodantis saugu
atstuma
hold off
axis equal
title('Saugus atstumas 50 proc.')
xlabel('Atstumas nuo orlaivio, m')
ylabel('Atstumas nuo orlaivio, m')
zlabel('Garso lygis, dBa')
axis([-12,12,-12,12,56,100])
set(gca,'XTick',[-12:2:12])
set(gca,'YTick',[-12:2:12])
set(gca,'ZTick',[56:2:100])
set(cylindras,'FaceAlpha',0.3,'EdgeColor','red','EdgeAlpha',0.6,...
'DiffuseStrength',1,'AmbientStrength',1)

%-----Saugos kugis pagal mase-----
tt = [r_saugus_riba_50;r_saugus_riba];
[xx4,yy4,zz4] = cylinder(tt)
zz4(2, :) = m_krov
figure
surf(xx4,yy4,zz4)
alpha(.5);
title('Kvadrokopterio krovinio masė / saugus atstumas')
xlabel('Atstumas nuo orlaivio, m')
ylabel('Atstumas nuo orlaivio, m')
zlabel('Krovinio masė, kg')
axis([-8,8,-8,8,0,2])
set(gca,'XTick',[-8:1:8])
set(gca,'YTick',[-8:1:8])
set(gca,'ZTick',[0:0.2:2])

clc
% Spausdiname lenteles
Rezultatai_100proc=array2table(Rezultatai_pilnas_100,'RowName',Vertikalas,'VariableName',Horizontalas)
Rezultatai_50proc=array2table(Rezultatai_pilnas_50,'RowName',Vertikalas,'VariableName',Horizontalas)

% Sukuriame .xls failus duomenų išvedimui
writetable(Rezultatai_50proc,'Rezultatai_50proc.csv','Delimiter',' ')
writetable(Rezultatai_100proc,'Rezultatai_100proc.csv','Delimiter',' ')

```

Iranga_duomenys.m

```
% Duomenys apie bandymą
```



```

Ti=0.490      % Variklio traukos jėga kg
n=4           % Variklių kiekis
m=0.820      % Tuščio orlaivio masė kg
norm=85       % Leidžiama triukšmo norma dB
r=1          % Mikrofonų atstumas nuo bandinio m
h=1          % Bandinio atstumas nuo žemės m

```

```
ri=0.05:0.05:10
```

Fonas_duomenys.m

```

format short g
p0=0.0000000004
% -----Galingumas 100 proc.-----
% 1 taskas
%-----
-----
Pa2_1T_fon=csvread('Duomenys.csv',154,0,['A155..C162'])    %Duomenys is 1
tasko
Pa2_1T_OKTVID_fon=rdivide((mean(Pa2_1T_fon,2)),p0)          %Vidutinis slegis
oktavose su ivertintu p0
Pa2_1T_OKTVID_dB_fon=10*log10(Pa2_1T_OKTVID_fon)            %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_1T_fon=10*log10((sum(Pa2_1T_fon))/p0)                    %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_1T_fon=mean((sum(Pa2_1T_fon))/p0)                  %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_1T_dB_fon=10*log10(mean((sum(Pa2_1T_fon))/p0))     %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_1T_fon=std(Lp_1T_fon)
%-----
% 2 taskas
%-----
-----
Pa2_2T_fon=csvread('Duomenys.csv',164,0,['A165..C172'])
%Duomenys is 2 tasko
Pa2_2T_OKTVID_fon=rdivide((mean(Pa2_2T_fon,2)),p0)          %Vidutinis slegis
oktavose su ivertintu p0
Pa2_2T_OKTVID_dB_fon=10*log10(Pa2_2T_OKTVID_fon)            %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_2T_fon=10*log10((sum(Pa2_2T_fon))/p0)                    %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_2T_fon=mean((sum(Pa2_2T_fon))/p0)                  %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_2T_dB_fon=10*log10(mean((sum(Pa2_2T_fon))/p0))     %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_2T_fon=std(Lp_2T_fon)
%-----
% 3 taskas
%-----
-----
Pa2_3T_fon=csvread('Duomenys.csv',174,0,['A175..C182'])
%Duomenys is 3 tasko
Pa2_3T_OKTVID_fon=rdivide((mean(Pa2_3T_fon,2)),p0)          %Vidutinis slegis
oktavose su ivertintu p0
Pa2_3T_OKTVID_dB_fon=10*log10(Pa2_3T_OKTVID_fon)            %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_3T_fon=10*log10((sum(Pa2_3T_fon))/p0)                    %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_3T_fon=mean((sum(Pa2_3T_fon))/p0)                  %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose

```

```

Vid_SUM_3T_dB_fon=10*log10(mean((sum(Pa2_3T_fon))/p0)) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_3T_fon=std(Lp_3T_fon)
%-----
% 4 taskas
%-----
-----
Pa2_4T_fon=csvread('Duomenys.csv',184,0,['A185..C192'])
%Duomenys is 4 tasko
Pa2_4T_OKTVID_fon=rdivide((mean(Pa2_4T_fon,2)),p0) %Vidutinis slegis
oktavose su ivertintu p0
Pa2_4T_OKTVID_dB_fon=10*log10(Pa2_4T_OKTVID_fon) %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_4T_fon=10*log10((sum(Pa2_4T_fon))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_4T_fon=mean((sum(Pa2_4T_fon))/p0) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_4T_dB_fon=10*log10(mean((sum(Pa2_4T_fon))/p0)) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_4T_fon=std(Lp_4T_fon)
%-----
% 5 taskas
%-----
-----
Pa2_5T_fon=csvread('Duomenys.csv',194,0,['A195..C202']) %Duomenys
is 5 tasko
Pa2_5T_OKTVID_fon=rdivide((mean(Pa2_5T_fon,2)),p0) %Vidutinis slegis
oktavose su ivertintu p0
Pa2_5T_OKTVID_dB_fon=10*log10(Pa2_5T_OKTVID_fon) %Vidutinis slegis
oktavose dB
Lp_5T_fon=10*log10((sum(Pa2_5T_fon))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_5T_fon=mean((sum(Pa2_5T_fon))/p0) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_5T_dB_fon=10*log10(mean((sum(Pa2_5T_fon))/p0)) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_5T_fon=std(Lp_5T_fon) %Standartinis
nuokrypis
%-----
% Sumavimai
%-----
Pa2_OKTVID_fon=[Pa2_1T_OKTVID_fon Pa2_2T_OKTVID_fon Pa2_3T_OKTVID_fon
Pa2_4T_OKTVID_fon Pa2_5T_OKTVID_fon]
Pa2_OKTVID_dB_fon=[Pa2_1T_OKTVID_dB_fon Pa2_2T_OKTVID_dB_fon
Pa2_3T_OKTVID_dB_fon Pa2_4T_OKTVID_dB_fon Pa2_5T_OKTVID_dB_fon]
Lp_fon=[transpose(Lp_1T_fon) transpose(Lp_2T_fon) transpose(Lp_3T_fon)
transpose(Lp_4T_fon) transpose(Lp_5T_fon)]
Vid_SUM_fon=[Vid_SUM_1T_fon Vid_SUM_2T_fon Vid_SUM_3T_fon Vid_SUM_4T_fon
Vid_SUM_5T_fon]
Vid_SUM_dB_fon=[Vid_SUM_1T_dB_fon Vid_SUM_2T_dB_fon Vid_SUM_3T_dB_fon
Vid_SUM_4T_dB_fon Vid_SUM_5T_dB_fon]
DEV_Lp_fon=[DEV_Lp_1T_fon DEV_Lp_2T_fon DEV_Lp_3T_fon DEV_Lp_4T_fon
DEV_Lp_5T_fon]
Pa2_OKTVID_sum_fon=sum(Pa2_OKTVID_fon)
Pa2_OKTVID_dB_sum_fon=10*log10(Pa2_OKTVID_sum_fon)

% -----Galingumas 50 proc.-----
% 1 taskas
%-----
-----
Pa2_1T_fon_50=csvread('Duomenys.csv',103,0,['A104..C111'])
%Duomenys is 1 tasko

```

```

Pa2_1T_OKTVID_fon_50=rdivide((mean(Pa2_1T_fon_50,2)),p0)      %Vidutinis
slegis oktavose su ivertintu p0
Pa2_1T_OKTVID_dB_fon_50=10*log10(Pa2_1T_OKTVID_fon_50)
%Vidutinis slegis oktavose dB
Lp_1T_fon_50=10*log10((sum(Pa2_1T_fon_50))/p0)              %SPL vertes
laiko intervaluose
Vid_SUM_1T_fon_50=mean((sum(Pa2_1T_fon_50))/p0)             %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_1T_dB_fon_50=10*log10(mean((sum(Pa2_1T_fon_50))/p0)) %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_1T_fon_50=std(Lp_1T_fon_50)
%-----
% 2 taskas
%-----
-----
Pa2_2T_fon_50=csvread('Duomenys.csv',113,0,['A114..C121'])
%Duomenys is 2 tasko
Pa2_2T_OKTVID_fon_50=rdivide((mean(Pa2_2T_fon_50,2)),p0)    %Vidutinis
slegis oktavose su ivertintu p0
Pa2_2T_OKTVID_dB_fon_50=10*log10(Pa2_2T_OKTVID_fon_50)
%Vidutinis slegis oktavose dB
Lp_2T_fon_50=10*log10((sum(Pa2_2T_fon_50))/p0)              %SPL vertes
laiko intervaluose
Vid_SUM_2T_fon_50=mean((sum(Pa2_2T_fon_50))/p0)             %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_2T_dB_fon_50=10*log10(mean((sum(Pa2_2T_fon_50))/p0)) %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_2T_fon_50=std(Lp_2T_fon_50)
%-----
% 3 taskas
%-----
-----
Pa2_3T_fon_50=csvread('Duomenys.csv',123,0,['A124..C131'])
%Duomenys is 3 tasko
Pa2_3T_OKTVID_fon_50=rdivide((mean(Pa2_3T_fon_50,2)),p0)    %Vidutinis
slegis oktavose su ivertintu p0
Pa2_3T_OKTVID_dB_fon_50=10*log10(Pa2_3T_OKTVID_fon_50)
%Vidutinis slegis oktavose dB
Lp_3T_fon_50=10*log10((sum(Pa2_3T_fon_50))/p0)              %SPL vertes
laiko intervaluose
Vid_SUM_3T_fon_50=mean((sum(Pa2_3T_fon_50))/p0)             %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_3T_dB_fon_50=10*log10(mean((sum(Pa2_3T_fon_50))/p0)) %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_3T_fon_50=std(Lp_3T_fon_50)
%-----
% 4 taskas
%-----
-----
Pa2_4T_fon_50=csvread('Duomenys.csv',133,0,['A134..C141'])
%Duomenys is 4 tasko
Pa2_4T_OKTVID_fon_50=rdivide((mean(Pa2_4T_fon_50,2)),p0)    %Vidutinis
slegis oktavose su ivertintu p0
Pa2_4T_OKTVID_dB_fon_50=10*log10(Pa2_4T_OKTVID_fon_50)
%Vidutinis slegis oktavose dB
Lp_4T_fon_50=10*log10((sum(Pa2_4T_fon_50))/p0)              %SPL vertes
laiko intervaluose
Vid_SUM_4T_fon_50=mean((sum(Pa2_4T_fon_50))/p0)             %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_4T_dB_fon_50=10*log10(mean((sum(Pa2_4T_fon_50))/p0)) %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_4T_fon_50=std(Lp_4T_fon_50)
%-----

```

```

% 5 taskas
%-----
-----
Pa2_5T_fon_50=csvread('Duomenys.csv',143,0,['A144..C151'])
%Duomenys is 5 tasko
Pa2_5T_OKTVID_fon_50=rdivide((mean(Pa2_5T_fon_50),p0)           %Vidutinis
slegis oktavose su invertintu p0
Pa2_5T_OKTVID_dB_fon_50=10*log10(Pa2_5T_OKTVID_fon_50)         %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_5T_fon_50=10*log10((sum(Pa2_5T_fon_50))/p0)                 %SPL vertes
laiko intervaluose
Vid_SUM_5T_fon_50=mean((sum(Pa2_5T_fon_50))/p0)               %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_5T_dB_fon_50=10*log10(mean((sum(Pa2_5T_fon_50))/p0))  %Vidutinis
suminis slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_5T_fon_50=std(Lp_5T_fon_50)                             %Standartinis
nuokrypis
%-----
% Sumavimai
%-----
Pa2_OKTVID_fon_50=[Pa2_1T_OKTVID_fon_50 Pa2_2T_OKTVID_fon_50
Pa2_3T_OKTVID_fon_50 Pa2_4T_OKTVID_fon_50 Pa2_5T_OKTVID_fon_50]
Pa2_OKTVID_dB_fon_50=[Pa2_1T_OKTVID_dB_fon_50 Pa2_2T_OKTVID_dB_fon_50
Pa2_3T_OKTVID_dB_fon_50 Pa2_4T_OKTVID_dB_fon_50 Pa2_5T_OKTVID_dB_fon_50]
Lp_fon_50=[transpose(Lp_1T_fon_50) transpose(Lp_2T_fon_50)
transpose(Lp_3T_fon_50) transpose(Lp_4T_fon_50) transpose(Lp_5T_fon_50)]
Vid_SUM_fon_50=[Vid_SUM_1T_fon_50 Vid_SUM_2T_fon_50 Vid_SUM_3T_fon_50
Vid_SUM_4T_fon_50 Vid_SUM_5T_fon_50]
Vid_SUM_dB_fon_50=[Vid_SUM_1T_dB_fon_50 Vid_SUM_2T_dB_fon_50
Vid_SUM_3T_dB_fon_50 Vid_SUM_4T_dB_fon_50 Vid_SUM_5T_dB_fon_50]
DEV_Lp_fon_50=[DEV_Lp_1T_fon_50 DEV_Lp_2T_fon_50 DEV_Lp_3T_fon_50
DEV_Lp_4T_fon_50 DEV_Lp_5T_fon_50]
Pa2_OKTVID_sum_fon_50=sum(Pa2_OKTVID_fon_50)
Pa2_OKTVID_dB_sum_fon_50=10*log10(Pa2_OKTVID_sum_fon_50)

```

Triuksmas_duomenys.m

```

format short g
p0=4e-10
% -----Galingumas 100 proc.-----
% 1 taskas
%-----
-----
Pa2_1T=csvread('Duomenys.csv',52,0,['A53..H60'])
%Duomenys is 1 tasko
Pa2_1T_OKTVID=rdivide((mean(Pa2_1T),p0)           %Vidutinis slegis oktavose su
invertintu p0
Pa2_1T_OKTVID_dB=10*log10(Pa2_1T_OKTVID)         %Vidutinis slegis
oktavose dB
Lp_1T=10*log10((sum(Pa2_1T))/p0)                 %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_1T=mean((sum(Pa2_1T))/p0)               %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose
Vid_SUM_1T_dB=10*log10(mean((sum(Pa2_1T))/p0))  %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose dB
DEV_Lp_1T=std(Lp_1T)
%-----
% 2 taskas
%-----
-----
Pa2_2T=csvread('Duomenys.csv',62,0,['A63..H70'])
%Duomenys is 2 tasko

```

```

Pa2_2T_OKTVID=rdivide((mean(Pa2_2T,2)),p0) %Vidutinis slegis oktavose su
invertintu p0
Pa2_2T_OKTVID_dB=10*log10(Pa2_2T_OKTVID) %Vidutinis slegis
oktavose dB
Lp_2T=10*log10((sum(Pa2_2T))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_2T=mean((sum(Pa2_2T))/p0) %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose
Vid_SUM_2T_dB=10*log10(mean((sum(Pa2_2T))/p0)) %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose dB
DEV_Lp_2T=std(Lp_2T)
%-----
% 3 taskas
%-----
-----
Pa2_3T=csvread('Duomenys.csv',72,0,['A73..H80'])
%Duomenys is 3 tasko
Pa2_3T_OKTVID=rdivide((mean(Pa2_3T,2)),p0) %Vidutinis slegis oktavose su
invertintu p0
Pa2_3T_OKTVID_dB=10*log10(Pa2_3T_OKTVID) %Vidutinis slegis
oktavose dB
Lp_3T=10*log10((sum(Pa2_3T))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_3T=mean((sum(Pa2_3T))/p0) %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose
Vid_SUM_3T_dB=10*log10(mean((sum(Pa2_3T))/p0)) %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose dB
DEV_Lp_3T=std(Lp_3T)
%-----
% 4 taskas
%-----
-----
Pa2_4T=csvread('Duomenys.csv',82,0,['A83..H90'])
%Duomenys is 4 tasko
Pa2_4T_OKTVID=rdivide((mean(Pa2_4T,2)),p0) %Vidutinis slegis oktavose su
invertintu p0
Pa2_4T_OKTVID_dB=10*log10(Pa2_4T_OKTVID) %Vidutinis slegis
oktavose dB
Lp_4T=10*log10((sum(Pa2_4T))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_4T=mean((sum(Pa2_4T))/p0) %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose
Vid_SUM_4T_dB=10*log10(mean((sum(Pa2_4T))/p0)) %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose dB
DEV_Lp_4T=std(Lp_4T)
%-----
% 5 taskas
%-----
-----
Pa2_5T=csvread('Duomenys.csv',92,0,['A93..H100']) %Duomenys is 5
tasko
Pa2_5T_OKTVID=rdivide((mean(Pa2_5T,2)),p0) %Vidutinis slegis oktavose
su invertintu p0
Pa2_5T_OKTVID_dB=10*log10(Pa2_5T_OKTVID) %Vidutinis slegis oktavose
dB
Lp_5T=10*log10((sum(Pa2_5T))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_5T=mean((sum(Pa2_5T))/p0) %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose
Vid_SUM_5T_dB=10*log10(mean((sum(Pa2_5T))/p0)) %Vidutinis suminis slegis
visuose intervaluose dB
DEV_Lp_5T=std(Lp_5T) %Standartinis nuokrypis
%-----

```

```

% Sumavimai
%-----
Pa2_OKTVID=[Pa2_1T_OKTVID Pa2_2T_OKTVID Pa2_3T_OKTVID Pa2_4T_OKTVID
Pa2_5T_OKTVID]
Pa2_OKTVID_dB=[Pa2_1T_OKTVID_dB Pa2_2T_OKTVID_dB Pa2_3T_OKTVID_dB
Pa2_4T_OKTVID_dB Pa2_5T_OKTVID_dB]
Lp=[transpose(Lp_1T) transpose(Lp_2T) transpose(Lp_3T) transpose(Lp_4T)
transpose(Lp_5T)]
Vid_SUM=[Vid_SUM_1T Vid_SUM_2T Vid_SUM_3T Vid_SUM_4T Vid_SUM_5T]
Vid_SUM_dB=[Vid_SUM_1T_dB Vid_SUM_2T_dB Vid_SUM_3T_dB Vid_SUM_4T_dB
Vid_SUM_5T_dB]
DEV_Lp=[DEV_Lp_1T DEV_Lp_2T DEV_Lp_3T DEV_Lp_4T DEV_Lp_5T]
Pa2_OKTVID_sum=sum(Pa2_OKTVID)
Pa2_OKTVID_sum_db=10*log10(Pa2_OKTVID_sum)

% -----Galingumas 50 proc.-----
% 1 taskas
%-----
-----
Pa2_1T_50=csvread('Duomenys.csv',1,0,['A2..H9'])
%Duomenys is 1 tasko
Pa2_1T_OKTVID_50=rdivide((mean(Pa2_1T_50,2)),p0) %Vidutinis slegis
oktavose su invertintu p0
Pa2_1T_OKTVID_dB_50=10*log10(Pa2_1T_OKTVID_50) %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_1T_50=10*log10((sum(Pa2_1T_50))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_1T_50=mean((sum(Pa2_1T_50))/p0) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_1T_dB_50=10*log10(mean((sum(Pa2_1T_50))/p0)) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_1T_50=std(Lp_1T_50)
%-----
% 2 taskas
%-----
-----
Pa2_2T_50=csvread('Duomenys.csv',11,0,['A12..H19'])
%Duomenys is 2 tasko
Pa2_2T_OKTVID_50=rdivide((mean(Pa2_2T_50,2)),p0) %Vidutinis slegis
oktavose su invertintu p0
Pa2_2T_OKTVID_dB_50=10*log10(Pa2_2T_OKTVID_50) %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_2T_50=10*log10((sum(Pa2_2T_50))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_2T_50=mean((sum(Pa2_2T_50))/p0) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_2T_dB_50=10*log10(mean((sum(Pa2_2T_50))/p0)) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_2T_50=std(Lp_2T_50)
%-----
% 3 taskas
%-----
-----
Pa2_3T_50=csvread('Duomenys.csv',21,0,['A22..H29'])
%Duomenys is 3 tasko
Pa2_3T_OKTVID_50=rdivide((mean(Pa2_3T_50,2)),p0) %Vidutinis slegis
oktavose su invertintu p0
Pa2_3T_OKTVID_dB_50=10*log10(Pa2_3T_OKTVID_50) %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_3T_50=10*log10((sum(Pa2_3T_50))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_3T_50=mean((sum(Pa2_3T_50))/p0) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose

```

```

Vid_SUM_3T_dB_50=10*log10(mean((sum(Pa2_3T_50))/p0)) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_3T_50=std(Lp_3T_50)
%-----
% 4 taskas
%-----
-----
Pa2_4T_50=csvread('Duomenys.csv',31,0,['A32..H39'])
%Duomenys is 4 tasko
Pa2_4T_OKTVID_50=rdivide((mean(Pa2_4T_50,2)),p0) %Vidutinis slegis
oktavose su ivertintu p0
Pa2_4T_OKTVID_dB_50=10*log10(Pa2_4T_OKTVID_50) %Vidutinis
slegis oktavose dB
Lp_4T_50=10*log10((sum(Pa2_4T_50))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_4T_50=mean((sum(Pa2_4T_50))/p0) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_4T_dB_50=10*log10(mean((sum(Pa2_4T_50))/p0)) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_4T_50=std(Lp_4T_50)
%-----
% 5 taskas
%-----
-----
Pa2_5T_50=csvread('Duomenys.csv',41,0,['A42..H49']) %Duomenys is
5 tasko
Pa2_5T_OKTVID_50=rdivide((mean(Pa2_5T_50,2)),p0) %Vidutinis slegis
oktavose su ivertintu p0
Pa2_5T_OKTVID_dB_50=10*log10(Pa2_5T_OKTVID_50) %Vidutinis slegis
oktavose dB
Lp_5T_50=10*log10((sum(Pa2_5T_50))/p0) %SPL vertes laiko
intervaluose
Vid_SUM_5T_50=mean((sum(Pa2_5T_50))/p0) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose
Vid_SUM_5T_dB_50=10*log10(mean((sum(Pa2_5T_50))/p0)) %Vidutinis suminis
slegis visuose intervaluose dB
DEV_Lp_5T_50=std(Lp_5T_50) %Standartinis
nuokrypis
%-----
% Sumavimai
%-----
Pa2_OKTVID_50=[Pa2_1T_OKTVID_50 Pa2_2T_OKTVID_50 Pa2_3T_OKTVID_50
Pa2_4T_OKTVID_50 Pa2_5T_OKTVID_50]
Pa2_OKTVID_dB_50=[Pa2_1T_OKTVID_dB_50 Pa2_2T_OKTVID_dB_50
Pa2_3T_OKTVID_dB_50 Pa2_4T_OKTVID_dB_50 Pa2_5T_OKTVID_dB_50]
Lp_50=[transpose(Lp_1T_50) transpose(Lp_2T_50) transpose(Lp_3T_50)
transpose(Lp_4T_50) transpose(Lp_5T_50)]
Vid_SUM_50=[Vid_SUM_1T_50 Vid_SUM_2T_50 Vid_SUM_3T_50 Vid_SUM_4T_50
Vid_SUM_5T_50]
Vid_SUM_dB_50=[Vid_SUM_1T_dB_50 Vid_SUM_2T_dB_50 Vid_SUM_3T_dB_50
Vid_SUM_4T_dB_50 Vid_SUM_5T_dB_50]
DEV_Lp_50=[DEV_Lp_1T_50 DEV_Lp_2T_50 DEV_Lp_3T_50 DEV_Lp_4T_50
DEV_Lp_5T_50]
Pa2_OKTVID_sum_50=sum(Pa2_OKTVID_50)
Pa2_OKTVID_sum_db_50=10*log10(Pa2_OKTVID_sum_50)

```

Skaiciavimai.m

```

clear
format short g
run('Fonas_duomenys.m')
run('Triuksmas_duomenys.m')
run('Iranga_duomenys.m')

```

```

% -----Galingumas 100 proc.-----
-
% Visu mikrofonu duomenys turi buti imami lygiais laiko intervalais
% Skaiciuojamos TRIUKSMO vidutines vertes dazniu juostuose (Pa ir dB)
Pa2_OKTVID_JUOSTVID=mean(Pa2_OKTVID,2)
Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID=mean(Pa2_OKTVID_sum)
Pa2_OKTVID_JUOSTVID_db=10*log10(Pa2_OKTVID_JUOSTVID)
Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_db=10*log10(Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID)
% Skaiciuojamos FONO vidutines vertes dazniu juostuose (Pa ir dB)
Pa2_OKTVID_JUOSTVID_fon=mean(Pa2_OKTVID_fon,2)
Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_fon=mean(Pa2_OKTVID_sum_fon)
Pa2_OKTVID_JUOSTVID_db_fon=10*log10(Pa2_OKTVID_JUOSTVID_fon)
Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_db_fon=10*log10(Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_fon)
%-----
% Matuojamo pavirsiaus ploto skaiciavimas
% Pavirsius-kombinuotas (ritinys apacioje, virsuje - puse sferos
Srit=2*pi*r*h
Spsfer=2*pi*r^2
S=Srit+Spsfer
s0=1
%-----
L_pST=transpose(Pa2_OKTVID_JUOSTVID_db)
LpB=transpose(Pa2_OKTVID_JUOSTVID_db_fon)
deltaLp=L_pST-LpB

% Fono pataisos koeficientas
if deltaLp<=6
    K1=1.3
elseif deltaLp>=15
    K1=zeros([1 8])
else
    K1=-10*log10(1-10^(-0.1*deltaLp))
end
%-----
% Aplinkos pataisos koeficientas
A=[108.91 121.55 113.23 88.34 63.37 84.99 89.20 107.71] % Ekvivalentinis
bandymu kameros sugerties plotas kiekvienai dazniu juostai
K2=10*log10(1+4*(S./A))

LpST=L_pST-K1-K2
Lw=LpST+10*log10(S/s0)
% Suminiai dydziai
L_pST_A=Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_db

LpB_A=Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_db_fon

deltaLp_A=L_pST_A-LpB_A

if deltaLp_A<=6
    K1_A=1.3
elseif deltaLp_A>=15
    K1_A=zeros([1 1])
else
    K1_A=-10*log10(1-10^(-0.1*deltaLp_A))
end

A_A=mean(A)

K2_A=10*log10(1+4*(S./A_A))

LpST_A=L_pST_A-K1_A-K2_A
Lw_A=LpST_A+10*log10(S/s0)

```



```

%saugus atstumas
ri=0.05:0.05:10
LpAi=Lw_A-(10*log10(2*pi*(ri).^2))
r_saugus_riba=sqrt((10^((Lw_A-norm)/10))/2*pi)

% -----Galingumas 50 proc.-----
% Visu mikrofonu duomenys turi buti imami lygiais laiko intervalais
% Skaiciuojamos TRIUKSMO vidutines vertes dazniu juostuose (Pa ir dB)
Pa2_OKTVID_JUOSTVID_50=mean(Pa2_OKTVID_50,2)
Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_50=mean(Pa2_OKTVID_sum_50)
Pa2_OKTVID_JUOSTVID_db_50=10*log10(Pa2_OKTVID_JUOSTVID_50)
Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_db_50=10*log10(Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_50)
% Skaiciuojamos FONO vidutines vertes dazniu juostuose (Pa ir dB)
Pa2_OKTVID_JUOSTVID_fon_50=mean(Pa2_OKTVID_fon_50,2)
Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_fon_50=mean(Pa2_OKTVID_sum_fon_50)
Pa2_OKTVID_JUOSTVID_db_fon_50=10*log10(Pa2_OKTVID_JUOSTVID_fon_50)
Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_db_fon_50=10*log10(Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_fon_50)
%-----
L_pST_50=transpose(Pa2_OKTVID_JUOSTVID_db_50)
LpB_50=transpose(Pa2_OKTVID_JUOSTVID_db_fon_50)
deltaLp_50=L_pST_50-LpB_50

% Fono pataisos koeficientas
if deltaLp_50<=6
    K1_50=1.3
elseif deltaLp_50>=15
    K1_50=zeros([1 8])
else
    K1_50=-10*log10(1-10^(-0.1*deltaLp_50))
end
%-----
% Aplinkos pataisos koeficientas

K2_50=10*log10(1+4*(S./A))

LpST_50=L_pST_50-K1_50-K2_50
Lw_50=LpST_50+10*log10(S/s0)
% Suminiai dydziai
L_pST_A_50=Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_db_50

LpB_A_50=Pa2_OKTVID_sum_JUOSTVID_db_fon_50

deltaLp_A_50=L_pST_A_50-LpB_A_50

if deltaLp_A_50<=6
    K1_A_50=1.3
elseif deltaLp_A_50>=15
    K1_A_50=zeros([1 1])
else
    K1_A_50=-10*log10(1-10^(-0.1*deltaLp_A_50))
end

K2_A_50=10*log10(1+4*(S./A_A))

LpST_A_50=L_pST_A_50-K1_A_50-K2_A_50
Lw_A_50=LpST_A_50+10*log10(S/s0)
%saugus atstumas
LpAi_50=Lw_A_50-(10*log10(2*pi*(ri).^2))
r_saugus_riba_50=sqrt((10^((Lw_A_50-norm)/10))/2*pi)
% Varikliu galia
T=n*Ti

```

$m_{krov} = (T - m) * 0.95$ %papildomo krovinio kvadrkopteriui mase (5 proc. palikti
judejimui)