



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Driežo roboto prototipo sukūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Aurimas Kraptavičius

Autorius

Doc. Dr. Virginijus Baranauskas

Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Driežo roboto prototipo sukūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Valdymo technologijos (6211EX014)

Aurimas Kraptavičius

Projekto autorius

Doc. Dr. Virginijus Baranauskas

Vadovas

Lekt. Dr. V. Gargasas

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Aurimas Kraptavičius

Driežo roboto prototipo sukūrimas ir tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Aurimo Kraptavičiaus, baigiamasis projektas tema „Driežo roboto prototipo sukūrimas ir 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)

Kraptavičius, Aurimas. Driežo roboto prototipo sukūrimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Virginijus Baranauskas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: analizė, prototipas, sukūrimas, elgsena, modelis.

Kaunas, 2020. 100 p.

Santrauka

Šiame darbe atliekama driežo judėjimo analizė, roboto prototipo sukūrimas, gamyba bei eksperimentiniai tyrimai. Pirmojoje darbo dalyje išanalizuojama driežo judėjimo elgsena, einant, bėgant, su uodega ir ją praradus, bei apžvelgiami komponentai driežo roboto prototipo gamybai. Antrojoje dalyje suprojektuojamas roboto prototipo modelis, atliekami jo konstrukcijos deformaciniai tyrimai, parenkami komponentai roboto prototipo gamybai, nusakoma jo gamybos eiga bei aiškinamas valdymo kodo veikimas. Trečiojoje dalyje atliekami modelio eksperimentiniai tyrimai, dviem atvejais, su uodega ir be jos.

Siekiant ištirti ar roboto prototipas skiriasi nuo gyvo organizmo, jame atlikti įvairūs modelio eksperimentiniai tyrimai: įstrižinių galūnių poslinkio, masės centro poslinkio, modelio linijinio greičio, generuojamos kinetinės energijos, bei reakcijos jėgų į paviršių eksperimentai. Taip pat atlikti pagaminto roboto prototipo tyrimai siekiant sužinoti, kaip uodegos netekimas įtakoja judėjimą.

Driežo roboto prototipas buvo projektuotas pasitelkus braižymo programą „*SolidWorks*“, valdymo dalis sukurta pasitelkus programas „*Arduino IDE*“ bei „*MIT App Inventor*“.

Kraptavičius, Aurimas. Development and Investigation of a Lizard Robot Prototype. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Virginijus Baranauskas; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Electronics Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: analysis, prototype, development, behavior, model.

Kaunas, 2020. 100 pages.

Summary

In this project, lizard movement analysis, robot prototype development, production and experimental research are performed. The first part of the project analyzes the lizard's movement behavior during walking, running, with and without the tail, and reviews components for the production of a lizard robot prototype. In the second part, the robot prototype model is designed, its design deformation studies are performed, components for the robot prototype production are selected, its production process is described and the operation of the control code is explained. In the third part, experimental studies of the model are performed, in two cases, with and without a tail.

In order to investigate whether the robot prototype differs from the living organism, various experimental studies of the model were performed: diagonal limb displacement, center of mass displacement, model linear velocity, generated kinetic energy, and reaction forces to the surface. Studies of a prototype of the manufactured robot were also performed to find out how the loss of the tail affects the movement.

The prototype lizard robot was designed using *SolidWorks* drawing software, and the control part was developed using *Arduino IDE* and *MIT App Inventor*.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslėlių sąrašas	8
Įvadas.....	10
1. Mokslinės literatūros apžvalga ir analizė	11
1.1. Judėjimo mechanika	11
1.2. Driežo judėjimo mechanika.....	14
1.2.1. Žemės reakcijos jėga, masės centro greitis ir masės centro vertikalusis poslinkis.....	17
1.2.2. Masės centro mechaninės energijos svyravimai.....	19
1.2.3. Mechaninė jėga reikalinga masės centro pakėlimui bei judinimui.....	22
1.2.4. Uodegos praradimo įtaka driežo judėjimui.....	24
1.3. Komponentų apžvalga.....	26
1.3.1. Mechaniniai komponentai	26
1.3.2. Elektronikos komponentai	28
1.3.3. Valdymo dalis.....	30
2. Projektinė dalis	31
2.1. Mechaninė dalis.....	31
2.1.1. Polimero parinkimas	31
2.1.2. Driežo prototipo konstrukcijos deformacijos tyrimas naudojant BEM.....	32
2.1.3. Variklių parinkimas	37
2.2. Elektronikos dalis	38
2.3. Prototipo gamyba.....	41
2.4. Valdymo dalis.....	45
3. Eksperimentinė dalis	54
3.1. Eksperimentinis tyrimas su driežo roboto <i>SolidWorks</i> modeliu.....	54
3.2. Eksperimentinis tyrimas su driežo roboto prototipu	58
Išvados ir rezultatai	60
Literatūros sąrašas	61
Priedai.....	63
1 priedas. Eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	63
2 priedas. Varžtų suvestinė.....	64
3 priedas. Valdymo programos kodas, <i>Arduino</i>	65

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Variklių palyginimas [14]	28
2 lentelė. Valdiklių palyginimas [16]	29
3 lentelė. Polimerų savybių palyginimas [18]	31

Paveikslėlių sąrašas

1.1 pav. Jėgų kitimo pvz.[1]	12
1.2 pav. Jėgos einant ir bėgant [1]	12
1.3 pav. Neuroninis ir mechaninis grįžtamieji ryšiai [1]	13
1.4 pav. Raumenys veikia, kaip varikliai, stabdžiai ar spyruoklės [1]	14
1.5 pav. Eumeces skiltonianus ir Coleonyx variegatus[6]	15
1.6 pav. Diagonalinių galūnių fazės poslinkis palyginus su greičiu.[7]	16
1.7 pav. Žemės reakcijos jėga, masės centro greitis ir poslinkis, C.Variegatus A-einant B-Bėgant [7]	17
1.8 pav. Žemės reakcijos jėga, masės centro greitis ir poslinkis, E.Skiltonianus A-einant B-Bėgant [7]	18
1.9 pav. Kinetinės energijos, gravitacinės potencialinės energijos ir bendros mechaninės energijos (masės centro) kitimas laike (C.Variegatus)[7]	19
1.10 pav. Kinetinės energijos, gravitacinės potencialinės energijos ir bendros mechaninės energijos (masės centro) kitimas laike (E.Skiltonianus)[7]	20
1.11 pav. Fazė tarp kinetinės energijos svyravimų ir gravitacinės potencialinės energijos svyravimų, kintant greičiui [9]	21
1.12 pav. Mechaninės energijos regeneravimas apverstos švytuoklės mechanizmu, lyginant su greičiu.[9]	21
1.13 pav. Žingsnio dažnio priklausomybė nuo greičio [9]	22
1.14 pav. Išorinės mechaninės galios priklausomybė nuo greičio [9]	23
1.15 pav. Lokomotorinių kintamųjų vidutinės vertės [10]	24
1.16 pav. Pabėgimo gebėjimų pakitimas[10]	25
1.17 pav. FDM spausdinimo metodas [12]	26
1.18 pav. Mikrovaldiklių funkcinių blokų schema [15]	29
1.19 pav. Arduino IDE Sąsaja [17]	30
2.1 pav. Supaprastintas driežo prototipas	32
2.2 pav. Konstrukcijos baigtinių elementų tinklelis	33
2.3 pav. Konstrukcija su pridėtomis apkrovomis bei suvaržymais	33
2.4 pav. Konstrukcijoje vyraujantys įtempiai	34
2.5 pav. Konstrukcijos deformacijos	34
2.6 pav. Įtempių tyrimas, kai stovi ant dviejų kojų 1 ir 4	35
2.7 pav. Įtempių tyrimas, kai stovi ant dviejų kojų 2 ir 3	36
2.8 pav. Galutinis prototipo modelis “SolidWorks” aplinkoje	36
2.9 pav. MG996R variklio matmenys	37
2.10 pav. SG90 variklio matmenys	38
2.11 pav. Arduino MEGA2560	38
2.12 pav. Bluetooth HC-05 modulis	39
2.13 pav. HC-SR04P ultragarsinis jutiklis	39
2.14 pav. DC-DC 4-40V 8A keitiklis	40

2.15 pav. Li-Po 3000mAh baterija	40
2.16 pav. Atspausdinti komponentai	41
2.17 pav. Prototipo uodega.....	41
2.18 pav. Prototipo galinė dalis	42
2.19 pav. Prototipo priekinė dalis.....	42
2.20 pav. Prototipo galva.....	43
2.21 pav. Prototipo pilvo apatinė dalis	43
2.22 pav. Elektronikos komponentų jungimo schema.....	44
2.23 pav. Driežo prototipas.....	44
2.24 pav. Kodo fragmentas bibliotekų įtraukimui.....	45
2.25 pav. Kodo fragmentas variklių priskyrimui.....	45
2.26 pav. Kodo fragmentas pin priskyrimui	46
2.27 pav. Kodo fragmentas pradinių pozicijų nustatymui.....	47
2.28 pav. Kodo fragmentas tam tikros komandos vykdymui	48
2.29 pav. Judėjimo į priekį algoritmas	49
2.30 pav. Kodas vienos kojos žingsniui atlikti	50
2.31 pav. Kodas kojos gražinimui	50
2.32 pav. MIT app inventor kūrimo langas	51
2.33 pav. Driežo prototipo valdymo vizualizacija.....	51
2.34 pav. Prisijungimo mygtukų blokinė schema	52
2.35 pav. Funkcijų suteikimo blokinė schema	53
3.1 pav. Driežo modeliai 1) su uodega 2) be uodegos.....	54
3.2 pav. Įstrižinių galūnių poslinkiai a) su uodega b) be uodegos.....	55
3.3 pav. Masės centro poslinkis a) su uodega b) be uodegos	55
3.4 pav. Modelio linijinis greitis a) su uodega b) be uodegos	56
3.5 pav. Generuojama kinetinė energija a) su uodega b) be uodegos	56
3.6 pav. Reakcijos jėgos į paviršių a),b) su uodega c),d) be uodegos	57
3.7 pav. Įveiktas atstumas einant/bėgant	58
3.8 pav. Nukrypimas nuo tiesaus kelio.....	59

Įvadas

Mus supanti gamta pilna neištirtų technologijų, kurias galima panaudoti savo poreikiams, daugelis mūsų kasdienybėje naudojamų technologijų yra pasiskolintos iš egzistuojančių organizmų. Tačiau organizmai evoliucionuoja, prisitaikydami prie sudėtingų aplinkos sąlygų ir taip įgaudami naujų gebėjimų. Taigi, dar daug ko galima išmokti iš vis tobulėjančios gamtos. Todėl, kilo idėja iširti driežo elgseną ir pabandyti pagaminti roboto prototipą, kuris gebėtų atkartoti gyvo driežo judesius. Tiriant driežo elgseną būtų pasinaudota, patyrusių specialistų sukaupta informacija ir žiniomis. Gaminant prototipą būtų pasitelkti naujausi ir šiandien populiariausi komponentai, atsižvelgiant į jų kainą ir kokybę.

Projekto tikslas – Iširti driežo judėjimo elgseną ir pagaminti driežo-roboto prototipą, atkartojantį šiuos judesius.

Projekto uždaviniai :

1. iširti driežo judėjimo elgseną;
2. apžvelgti tinkamus komponentus roboto prototipo gamybai;
3. suprojektuoti ir iširti roboto prototipo konstrukciją;
4. parinkti komponentus roboto prototipo gamybai;
5. susipažinti su programine įranga skirta roboto prototipo valdymui bei parašyti jo valdymo kodą;
6. pagaminti pilnai funkcionuojantį roboto prototipą;
7. eksperimentiškai iširti roboto prototipo modelį;
8. eksperimentiškai iširti pagamintą roboto prototipą.

Tyrimo metodai – mokslinės literatūros analizė, *SolidWorks* imitacinis modeliavimas, eksperimentai.

1. Mokslinės literatūros apžvalga ir analizė

Šiame skyriuje remiantis mokslinės literatūros šaltiniais ištiriama driežo judėjimo elgsena bei aptariami komponentai mechaniniam driežui pagaminti.

1.1. Judėjimo mechanika

Judėjimas aplinka yra elgesys, kuris labiausiai lemia gyvūnų morfologiją ir fiziologiją. Aplinka ir jos veiksniai, kurie pareikalauja efektyvaus, greito, reguliuojamo ar paprasto patikimo judėjimo dažnai lemia organizmo sandarą (dizainą). Biologus jau seniai traukia judesio kraštutinumai, nes jie pateikia ypač aiškius pavyzdžius, kuriais remiantis galima nustatyti struktūrų ir funkcijų santykius. Kiti pagrindiniai atradimai, susiję su centrinio modelio generatoriais, vizualiniu apdorojimu, skeleto remodeliavimu ir daugeliu kitų svarbių fiziologinių reiškinių, kilusių iš gyvūnų judėjimo tyrimų. Tačiau judėjimas nėra paprastas atskirų ląstelių ir audinių sąveikos rezultatas. Nors judėjimo mechanizmą galima išskaidyti į paprastą kaskadą (algoritną) – smegenys aktyvina raumenis, raumenys judina skeletą, skeletas atlieka judesius išoriniame pasaulyje – tokia vienkryptė sistema neįtraukia esminių dinamių savybių, kurios kyla iš grįžtamojo ryšio tarp lygių. Vienas iš svarbiausių uždavinių tiriant judėjimą yra nustatyti, kaip veikia kiekvienas atskiras lokomotorinės sistemos komponentas, tuo pačiu metu atrandant, kaip jie veikia kartu kaip integruota visuma. Gyvūnų judėjimo tyrimui išskiriamos keturios pagrindinės temos:

- Pirma, judrumo dinamika yra sudėtinga, tačiau suprantama, remiantis keliais bendrais principais, įskaitant bendrus energijos mainų mechanizmus ir jėgos panaudojimą varomumui, stabilumui ir manevringumui.
- Antra, gyvūnų judėjimo charakteristikos natūraliose buveinėse atspindi skirtingų ekologiškai svarbių elgesio aspektų kompromisus ir kaip juos veikia fizinė aplinka.
- Trečia, judėjimo kontrolė nėra linijinis algoritmas, bet paskirstyta struktūra, kuriai reikalingi tiek į priekį nukreipti variklio modeliai, tiek ir nerviniai bei mechaniniai atsakai.
- Ketvirta, raumenys atlieka daugybę skirtingų funkcijų, susijusių su judėjimu, o požiūris į raumenų fiziologiją integruojamas į visą gyvūną veikiančią mechaniką.[1]

Pradiniu lygmeniu judėjimas yra apgaulingai paprastas. Organizmas, pagal Niutono dėsnius, jėga veikia išorinę aplinką ir juda priešinga jėgai kryptimi. Vis dėlto vaikščiojimo, bėgimo, plaukimo ir skraidymo tyrimai rodo, kad jėgos taikymo erdvinė ir laiko dinamika nėra tokia paprasta, kaip galėtų pasirodyti iš pirmo žvilgsnio. Nors gyvūnas gali atrodyti tolygiai judantis į priekį, jėgos, kuriomis jis veikia aplinką nėra pastovios.[1]

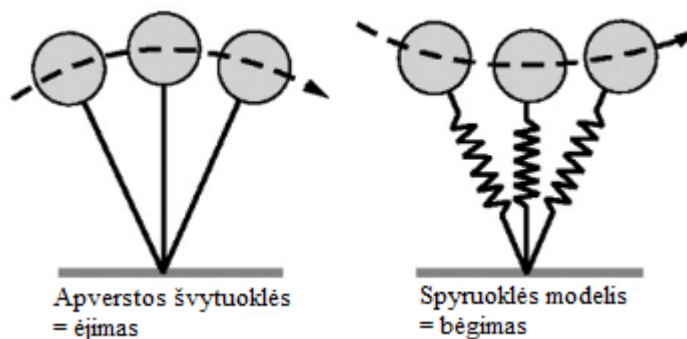
Žemiau esančiame paveikslėlyje (1.1 pav.) aiškinamas bendrasis judėjimo laiko ir erdvės jėgų kitimo pavyzdys.



1.1 pav. Jėgų kitimo pvz.[1]

Paveikslėlyje (1.1 pav.) pavaizduotas, kojinis judėjimas sausumoje, kur kiekviena koja stumia į žemę ir sukuria vienodą bet priešingos krypties žemės reakcijos jėgą. Žemės reakcijos jėgos vektoriai (parodyti raudona spalva) bėgančiam žmogui bei šuniui yra atvaizduojami vienodais laiko intervalais.[1]

Du pagrindiniai mechanizmai, skirti paaiškinti skirtingus laike kintančių jėgų modelius (pėsčiomis ir bėgant) pavaizduoti žemiau esančiame paveikslėlyje (1.2 pav.).



1.2 pav. Jėgos einant ir bėgant [1]

Kai gyvūnai eina, masės centras persisveria virš kiekvienos standžios (nejudančios) kojos lanku, analogiškai apverstai švytuoklei (1.2 pav.). Vidutinėje pozicijoje masės centras pasiekia aukščiausią tašką. Kaip ir švytuoklė, kinetinės ir gravitacinės kūno energijos keičiasi cikliška. [2]

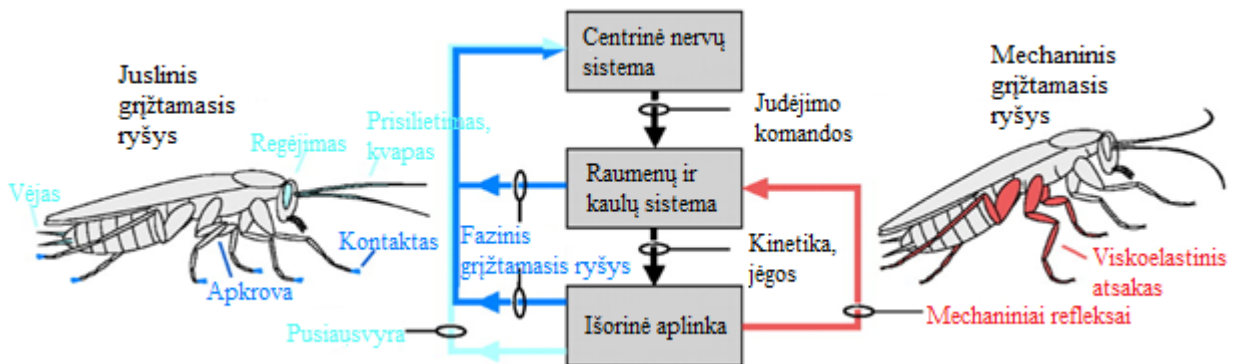
Bėgant, kojos veikia lyg spyruoklės (1.2 pav.), susispaudžia stabdymo metu ir išsitempia bėgimo metu. Vidutinėje padėtyje masės centras pasiekia žemiausią tašką. Kaip ir paprasta spyruoklių sistema, stabdymo fazėje yra išlaikoma elastinga energija ir atiduodama judėjimo fazės metu.[2]

Įdomu tai, kad šie pagrindiniai energijos taupymo mechanizmai buvo įrodyti įvairiuose gyvūnuose, kurie skiriasi pagal kojų skaičių, kūno masę arba skeletą, įskaitant žmones, kengūras, šunis bei driežus.[2]

Stebėtina, kad laike kintančios jėgos ir energijos mainai šonine kryptimi yra vienodai svarbūs. Pavyzdžiui, vabzdžių, krabų, vorų ir driežų kojos susiduria su didelėmis šoninėmis jėgomis kontakto su žeme metu. Pagal hipotezę, elastinės jėgos atsiranda horizontalioje plokštumoje stačiai judėjimo kryptiai. Be to, šoninės jėgos gali padidinti pasyvų stabilumą ir aktyvų manevringumą. Remdamosi į šoną, kojos sukuria tvirtesnę eiseną, kuri gali būti pasyviai stabilizuojanti, kai gyvūnas keičia greitį, juda per nelygius paviršius arba yra išjudintas nelygaus reljefo, vėjo ar potencialių plėšrūnų. Rūšys su tokio tipo kojomis, gali aktyviai keisti judėjimo kursą, keisdami vienos kojos sukurtą jėgų orientaciją.[3]

Gyvūnų judėjime svarbiausia tai, kad varomosios jėgos kinta laike ir kūno bei galūnių kinetinė energija paverčiama į gravitacinį potencialą, deformacinę energiją ir panaudojama tolesniam judėjimui. Varomosios jėgos taip pat skiriasi jų orientacija, ir bet kuriuo momentu sukaupta energija gali stumti gyvūną tiesiai arba netgi prieš jo judėjimo kryptį. Nors toks kitimas gali atspindėti neišvengiamus apribojimus būdingus varomajam mechanizmui, jėgos, atsirandančios statmenai judėjimo kryptiai gali prisidėti prie bendro judėjimo stabilumo. Tai yra svarbu, nes gyvūnų judėjimas ir natūrali aplinka, kurioje jie juda yra sudėtinga ir nuolat kintanti.[1]

Abu neuroninis ir mechaninis grįžtamieji ryšiai valdo judėjimą. Nors žemiau esančiame paveikslėlyje (1.3 pav.) pavaizduotas tarakonas, diagramoje vaizduojamas bendras judėjimo kontrolės modelis.



1.3 pav. Neuroninis ir mechaninis grįžtamieji ryšiai [1]

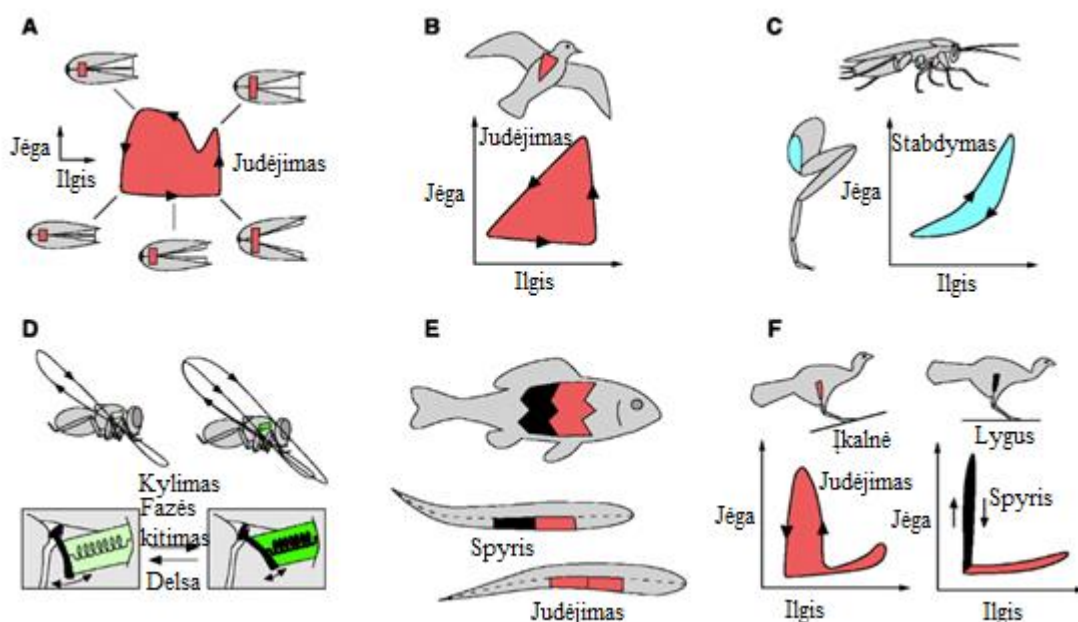
Centrinė nervų sistema generuoja motorines komandas, kurios suaktyvina gyvūnų kaulų ir raumenų sistemą. Raumenų ir kaulų sistema savo ruožtu veikia išorinę aplinką. Išorinė aplinka suvokiama jausmėmis ir pojūčiais grįžta į centrinę nervų sistemą. Jutiminis grįžtamasis ryšys gali būti suskirstytas į tris plačias kategorijas:

- Orientacija ir pusiausvyra (1.3 pav. šviesiai mėlyna spalva);
- Greitas fazinis grįžtamasis ryšys (iš mechaninių jausnių 1.3 pav. tamsiai mėlyna spalva);
- Viskoelastiniai mechaniniai refleksai (1.3 pav. raudona spalva).[4]

Taigi, pirmiausia, jutiminių signalų įėjimai iš krypties jutiklių, tokių kaip akys, ausys ir nosis, daro įtaką bendram judėjimo greičiui ir kryptiai. Šis signalo įvedimas yra būtinas, norint nukreipti gyvūną į konkrečią vietą, išvengti kliūčių, užpuolant grobį arba išvengiant plėšrūnų. Antra, specialūs pusiausvyros organai, tokie kaip vidinės ausys ir statocistai, išlaiko nustatytą kūno orientaciją judėjimo metu. Trečia, greitas fazinis grįžtamasis ryšys iš mechasensorinių ląstelių, gali reguliuoti ciklinius judėjimo modelius, moduluojant ląsteles CPG arba aktyvuojant judėjimo grandines, kurios veikia lygiagrečiai su modelius generuojančiais tinklais. Tačiau, raumenys taip pat daro labai didelę įtaką judėjimui, raumenys – daugiau nei varikliai.[4]

Remiantis atliktais viso organizmo judėjimo natūralioje aplinkoje tyrimais, yra galimybė sužinoti, kaip raumenys veikia judančiuose gyvūnuose. Raumenys gali veikti kaip varikliai, stabdžiai ar spyruoklės (1.4 pav.).

- Raumenys (varikliai), kurie judėjimo metu sukelia teigiamą galią (pažymėti raudonai);
- Raumenys (stabdžiai), kurie sugeria galią judėjimo metu (pažymėti mėlynai);
- Raumenys, veikiantys kaip kintančios standumo spyruoklės (pažymėti žaliai).[1]



1.4 pav. Raumenys veikia, kaip varikliai, stabdžiai ar spyruoklės [1]

Eksperimentiniai tyrimai, bei tiesioginiai raumenų ilgių matavimai parodė, kad atskirų raumenų kinematika ne visada yra tokia pati kaip raumenų-sausgyslių sistemos kinematika. Šie tyrimai, padeda geriau suvokti, kaip veikia mus supantys gyvūnai ir kur galėtume panaudoti šias žinias.[1]

1.2. Driežo judėjimo mechanika

Driežai su kiekvienu judėjimo etapu lenkia liemenį į šoną, todėl jų judėjimas iš esmės skiriasi nuo žinduolių judėjimo. Kaip minėta anksčiau (1.1 skyriuje) driežai naudoja apverstos švytuoklės eiseną,

esant mažam greičiui ir spyruoklinę eiseną, esant dideliam greičiui. Apverstos švytuoklės modelis atitinka vaikščiojimą ir pasižymi švytuokliniu keitimu tarp kinetinės energijos ir masės centro gravitacinės potencialinės energijos. Masės centro vertikali padėtis pasiekia maksimalią vidutinę padėtį beveik tuo pačiu metu, kai masės centro greitis pasiekia minimalų lygį. Dėl to kinetinės energijos ir gravitacinės potencialinės energijos svyravimai beveik vienas su kitu nesutampa, tai leidžia švytuoti. Šis švytuoklinis mainas sumažina mechaninius energijos poreikius net 70%, ėjimo metu. Didesniais greičiais (bėgant, ropojant, šokinėjant), kojos elgiasi kaip atitinkamos spyruoklės. Kojų atitiktis priverčia masės centrą pasiekti žemiausią tašką, fazės viduryje. Šiuo atveju masės centro kinetinės energijos ir gravitacinės potencialinės energijos svyravimai yra tos pačios fazės. Tai panašu į mechaninių energijos svyravimų modelį spyruoklėse arba šokinėjančio kamuolio modelį. Šis modelis nepasižymi dideliu energijos taupymu, kadangi kinetinės energijos ir gravitacinės potencialinės energijos fazės sutampa. Tačiau, šokinėjanti eisena pasižymi dideliu energijos taupymu, dėl elastingo energijos kaupimo raumenyse, sausgyslėse ir raiščiuose.[5]

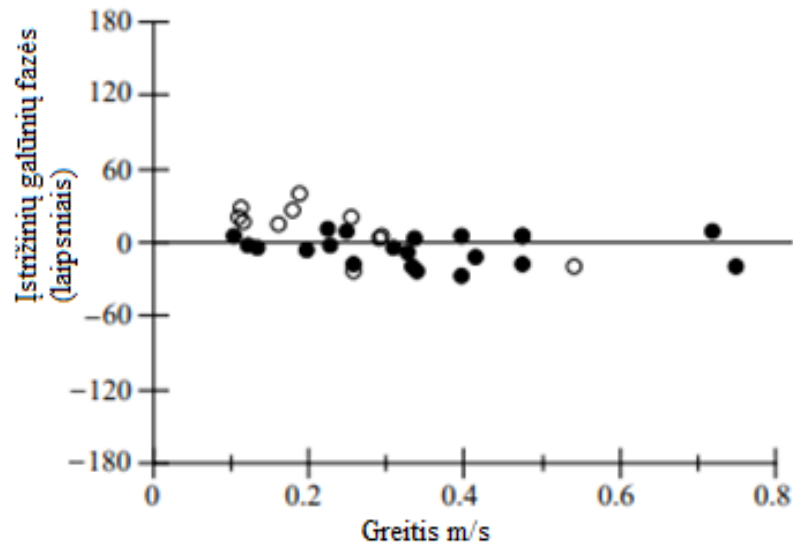
Plika akimi, driežo judėjimas iš esmės skiriasi nuo žinduolių judėjimo, dėl šoninio liemens lenkimo dominavimo. Šią idėją patvirtina stebėjimai, kad daugelis driežų rūšių turi sumažėjusias galūnes arba išvis jų neturi ir pasikliauna vien liemens judėjimu. Taigi, atrodo įmanoma, kad liemens lenkimas yra toks pats svarbus kaip ir galūnių funkcionavimas. Nežinoma, ar driežų galūnės vaidina panašų vaidmenį kaip žinduolių. Gali būti, kad galūnės vaidina labai skirtingą vaidmenį driežų judėjimui, kaip jos daro kai kuriuose kojose turinčiuose robotuose (kojos padeda išlaikyti masės centrą tam tikrame aukštyje).[5]

Mokslininkai atliko dviejų driežų rūšių (*Coleonyx variegatus* ir *Eumeces skiltonianus* 1.5 pav.) tyrimus, ar jie naudoja apverstos švytuoklės ir spyruoklės eisenas. Taip pat, ištyrė, ar driežų masės centro judinimui reikalinga didelė išorinė jėga (judinant liemenį). Šiems tikslams pasiekti buvo panaudota jėgos platforma ir kinematiniai matavimai, kad būtų galima sužinoti mechaninę galią reikalingą masės centro pakėlimui ir judinimui. Būtent dviejų rūšių palyginimas gali padėti suprasti galūnių morfologijos svarbą nustatant driežų judėjimo biomechaniką.[5]



1.5 pav. *Eumeces skiltonianus* ir *Coleonyx variegatus*[6]

Tyrimų metu nustatyta, kad abiejų rūšių driežų įstrižinės galūnės judėjo beveik sinchroniškai, skirtingais greičiais. Žemiau paveikslėlyje (1.6 pav.) pavaizduoti tyrimo rezultatai, diagonalinių galūnių fazės poslinkis palyginti su greičiu.[5]

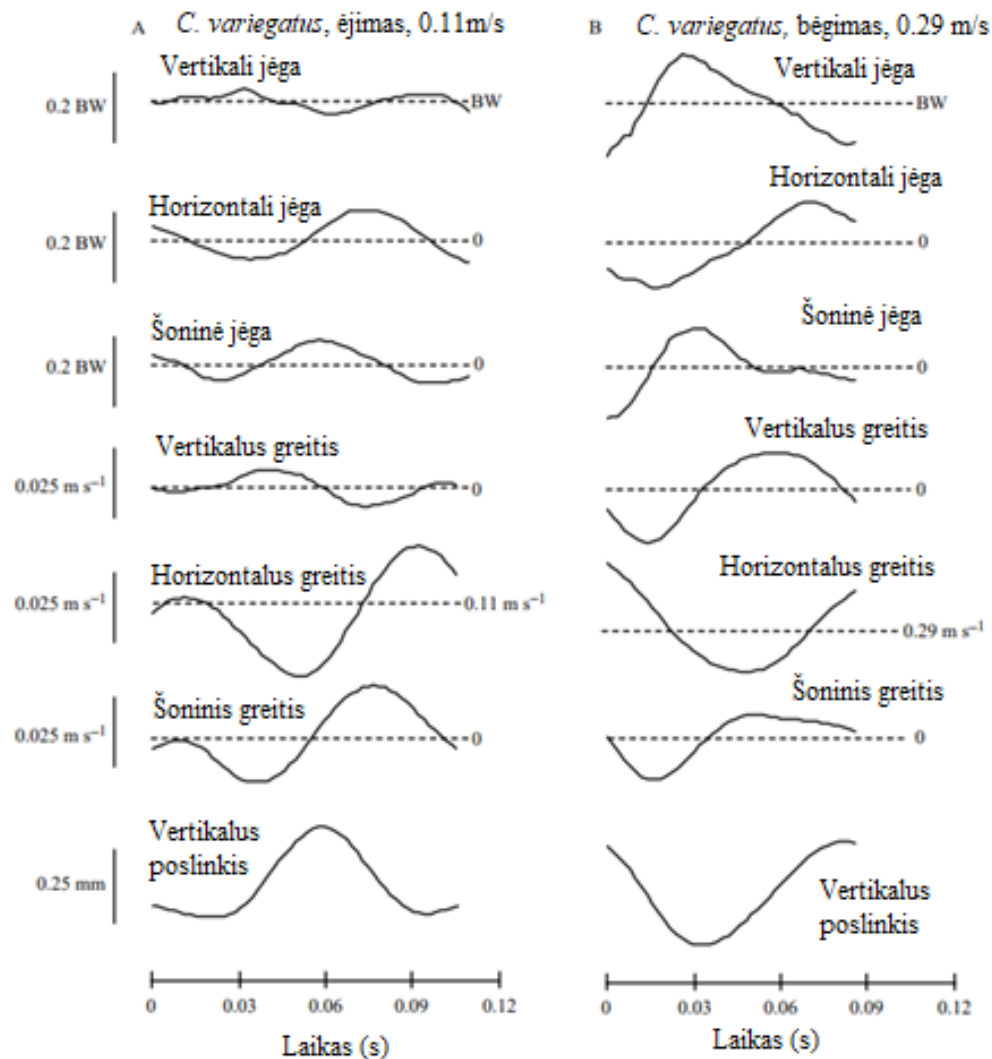


1.6 pav. Diagonalinių galūnių fazės poslinkis palyginus su greičiu.[7]

Paveikslėlyje (1.6 pav.) vaizduojama *Eumeces skiltonianus* (tušti burbuliukai) ir *Coleonyx variegatus* (užtušuoti burbuliukai) tyrimai. 0° fazės poslinkis rodo, kad kiekviena (priekinė ir galinė kojos) įstrižinė pora paliečia žemę tuo pačiu metu. 90° fazės poslinkis rodo, kad priekinė koja pasiekia žemę prieš ketvirtadalį žingsnio, kol priešingos pusės galinė koja paliečia žemę.[7]

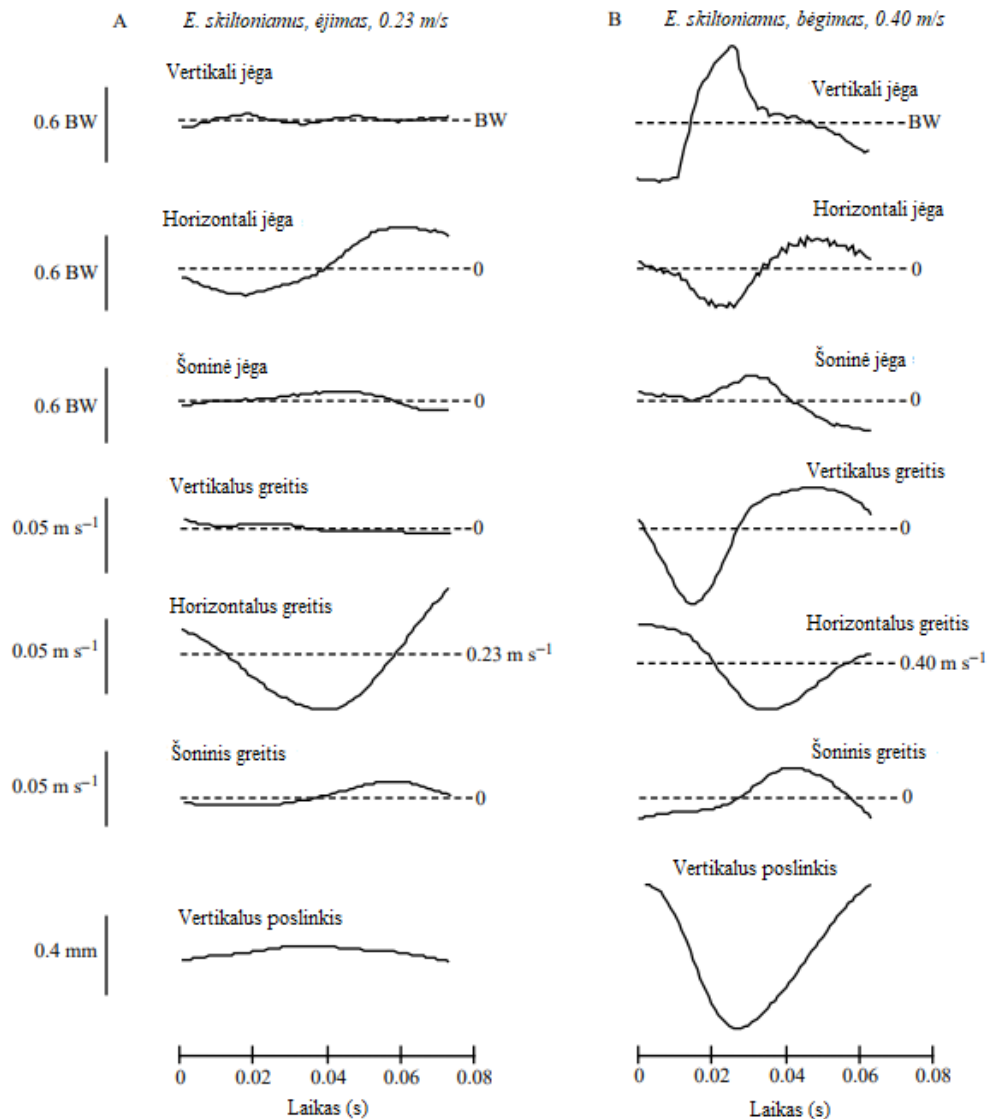
1.2.1. Žemės reakcijos jėga, masės centro greitis ir masės centro vertikalusis poslinkis

Eksperimentų metu buvo stebimi, žemės reakcijos jėgos ir masės centro judėjimo modeliai.



1.7 pav. Žemės reakcijos jėga, masės centro greitis ir poslinkis, C.Variegatus A-einant B-Bėgant [7]

Paveikslėlyje (1.7 pav.) pavaizduotas *C.Variegatus* žemės reakcijos jėgos, masės centro greičio ir poslinkio kitimas laike. Vaizduojamas kiekvienos eisenos vienas žingsnis (vienam individui), pradedant, kai viena diagonali kojų pora paliečia žemę ir baigiant, kai kita kojų pora paliečia žemę. BW, kūno svoris (body weight) 0,034N.[5]



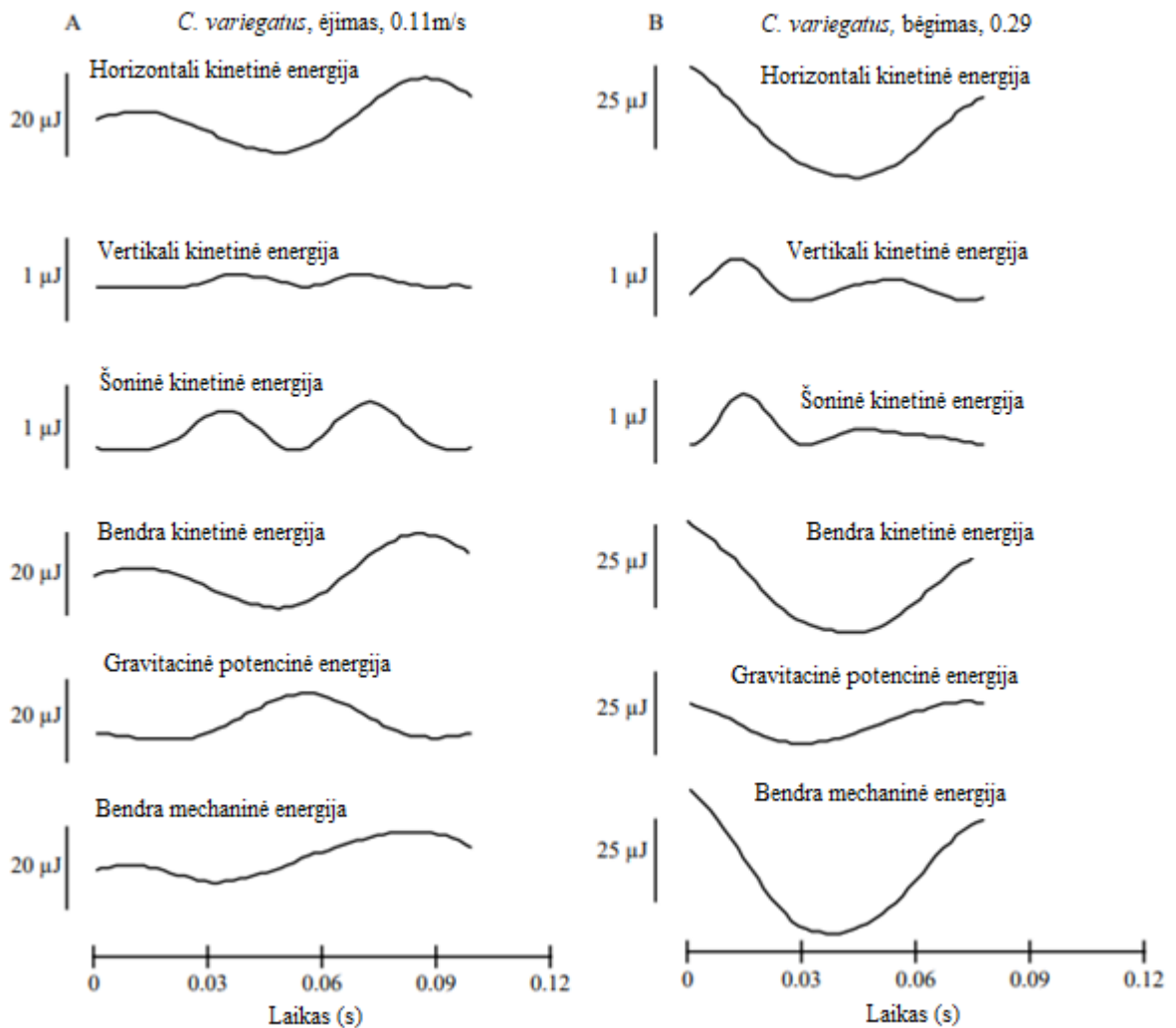
1.8 pav. Žemės reakcijos jėga, masės centro greitis ir poslinkis, *E. Skiltonianus* A-einant B-Bėgant [7]

Paveikslėlyje (1.8 pav.) pavaizduotas *E. Skiltonianus* žemės reakcijos jėgos, masės centro greičio ir poslinkio kitimas laike. Kūno svoris (BW) 0,047N. Abiejuose paveikslėliuose (1.7 pav., 1.8 pav.) buvo vaizduojami skirtingi modeliai, apverstos švytuoklės (Pav.7A, Pav.8A) bei spyruoklės (Pav.7B, Pav.8B). Svarbiausias skirtumas tarp šių eisenų buvo svyravimo tarp masės centro vertikalūs poslinkis žingsnio metu. Kai kuriuose tyrimuose masės centras pasiekė aukščiausią tašką viduryje (1.7 pav.A, 1.8 pav.A). Šis modelis yra būdingas ėjimui. Kituose bandymuose masės centras pasiekė mažiausią vertę prie žingsnio vidurio (1.7 pav.B, 1.8 pav.B). Toks modelis panašus į tą, kuris matomas bėgimo ar šokinėjimo metu. Abiejuose rūšyse didžiausia žemės reakcijos jėga buvo didesnė bėgimo atveju (1.7 pav.B, 1.8 pav.B). Einant, vertikalios žemės reakcijos jėgos neviršijo 1,05 karto kūno svorio. Bėgant, didžiausia vertikali žemės reakcijos jėga buvo iki 1,6 karto didesnė už kūno svorį. Tiek einant, tiek bėgant vertikalios žemės reakcijos jėgos niekada nebuvo nulinės. Taigi, tai reiškia, kad visada buvo bent viena diagonali galūnių pora, besiliečianti su žeme. Pirmame pusžingsnyje jėgos buvo neigiamos (stūmė driežą atgal) ir tada tapo teigiamos per antrąją žingsnio pusę.[8]

Masės centro svyravimo greitis buvo panašus abiejuose modeliuose (abejoms rūšims). Šie greičio svyravimai buvo didžiausi horizontalia kryptimi. Horizontalia kryptimi masės centro greitis sumažėjo pirmoje žingsnio pusėje ir išaugo antroje. Svarbių skirtumų tarp rūšies horizontalių ir šoninių greičių svyravimų nebuvo.[8]

1.2.2. Masės centro mechaninės energijos svyravimai

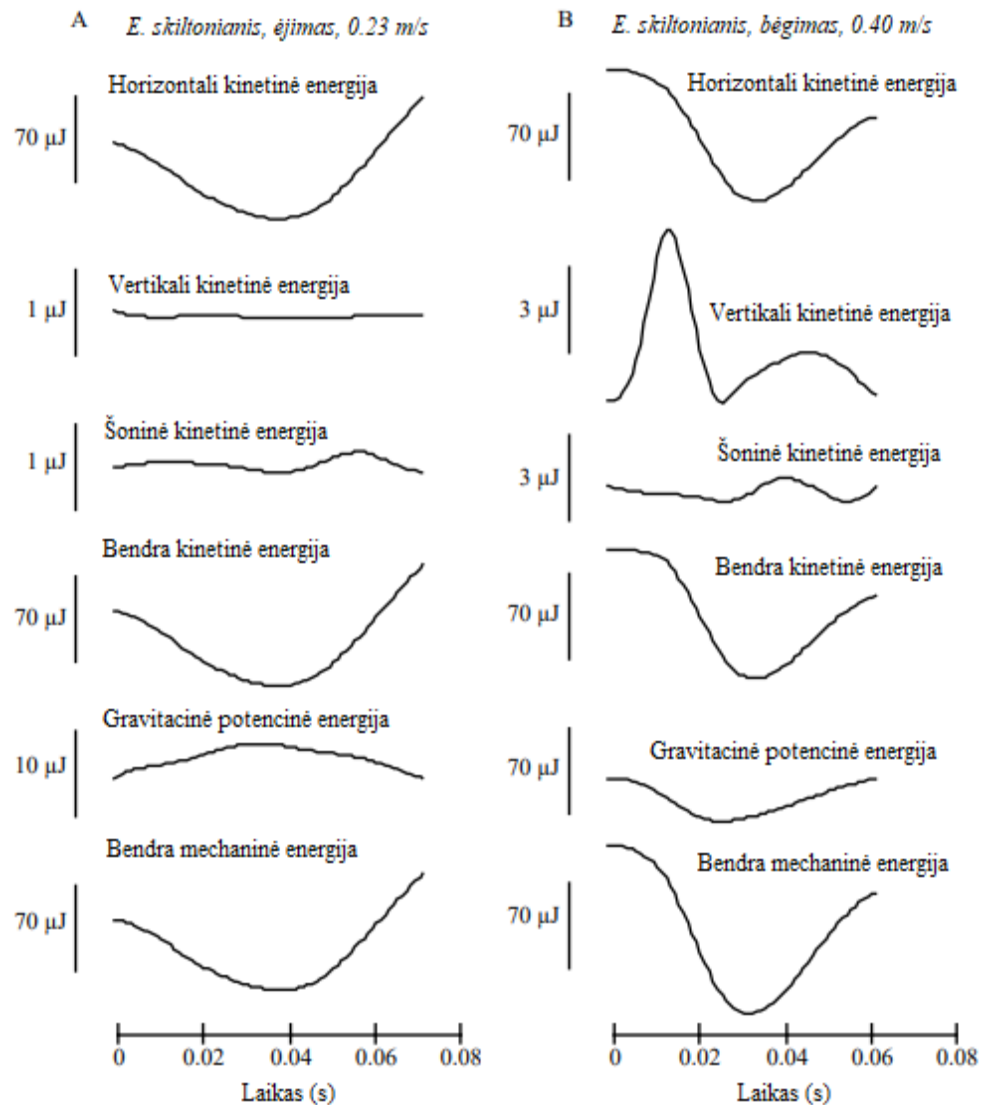
Masės centro mechaninės energijos svyravimai judėjimo metu gali būti suskirstyti į kinetinės energijos svyravimus ir gravitacinės potencialinės energijos svyravimus. Tiek ėjimo, tiek bėgimo metu bendroji masės centro kinetinė energija per pirmąją žingsnio pusę sumažėjo, pasiekė savo minimalų lygį viduryje ir padidėjo antroje žingsnio pusėje. (1.9 pav., 1.10 pav.)[8]



1.9 pav. Kinetinės energijos, gravitacinės potencialinės energijos ir bendros mechaninės energijos (masės centro) kitimas laike (*C. Variegatus*)[7]

Duomenys to paties žingsnio kaip ir anksčiau tirtu atveju (1.7 pav., 1.8 pav.).

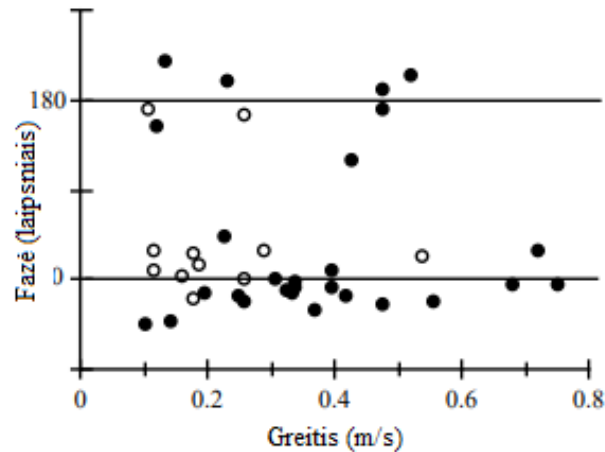
Bendra mechaninė energija, tai horizontaliųjų, vertikalųjų ir šoninių jėgų suma. Kinetinės energijos horizontaliosios dedamosios svyravimai buvo gerokai didesni nei kinetinės energijos šoninių ar vertikalųjų dedamųjų svyravimai. Abiejose rūšyse, naudojant abu eisenų modelius, horizontaliosios kinetinės energijos svyravimai buvo daugiau nei 20 kartų didesni nei šoninių kinetinių jėgų svyravimai.[9]



1.10 pav. Kinetinės energijos, gravitacinės potencialinės energijos ir bendros mechaninės energijos (masės centro) kitimas laike (*E.Skiltonianus*)[7]

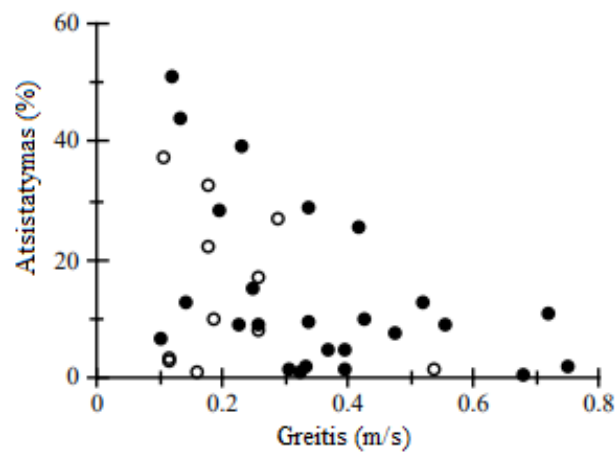
Abiejuose rūšyse stebimi du skirtingi gravitacinės potencialinės energijos svyravimų etapai. (1.9 pav., 1.10 pav.) Pirmajame pavyzdyje gravitacinė potencialinė energija pasiekė didžiausią ribą arti žingsnio vidurio. Šis modelis atitinka apverstą švytuoklę, stebėtą ėjimo metu. Šioje eisenoje masės centro kinetinė energija pasiekė minimalų lygį beveik tuo pačiu metu, kai gravitacinė potencialinė energija pasiekė savo vidurio žingsnio maksimumą (1.9 pav.A, 1.10 pav.A). Taigi “fazė” tarp gravitacinės potencialinės energijos ir kinetinės energijos svyravimų buvo maždaug 180° (1.11 pav.). Mechaninis

energijos atgavimas apverstos švytuoklės mechanizmu buvo maksimalus mažiausiais greičiais, pasiekus maksimalią 51% reikšmę (1.12 pav.). Svarbu pažymėti, kad mechaninės energijos atgavimas apverstos švytuoklės mechanizmu priklauso nuo kelių veiksnių: gravitacinės potencialinės energijos ir kinetinės energijos svyravimų fazės, formos ir santykinio dydžio.[9]



1.11 pav. Fazė tarp kinetinės energijos svyravimų ir gravitacinės potencialinės energijos svyravimų, kintant greičiui [9]

Antrasis gravitacinės potencialinės energijos svyravimų etapas, atitinka bėgimo modelį. Šiuo modeliu gravitacinė potencialinė energija pasiekė savo minimumą žingsnio viduryje. Gravitacinės potencialinės energijos minimumas pastebėtas tuo pačiu metu kaip ir kinetinės energijos. Taigi “fazė” tarp gravitacinės potencialinės energijos ir kinetinės energijos svyravimų buvo maždaug 0° (1.11 pav.).[9]

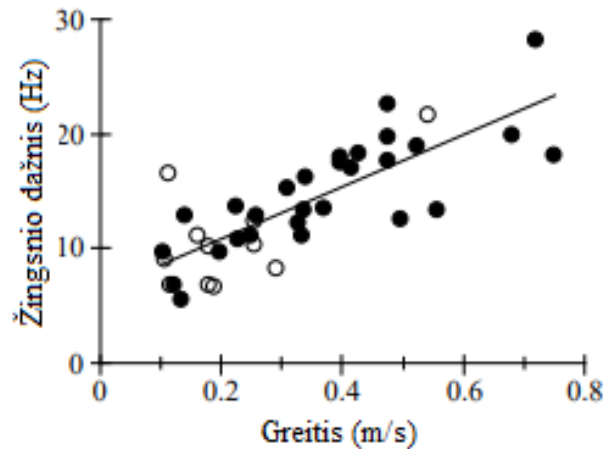


1.12 pav. Mechaninės energijos regeneravimas apverstos švytuoklės mechanizmu, lyginant su greičiu.[9]

Abi rūšys naudojo tiek ėjimo, tiek bėgimo modelį esant mažam ar vidutiniam greičiui, tačiau naudojo tik bėgimo modelį esant didžiausiam greičiui (1.11 pav.). Nuo 0,10 iki 0,52 m/s, gyvūnai naudojo eiseną, kurios fazės buvo maždaug 0° (bėgant) ar 180° (einant). Virš 0,52 m/s, jie visada naudojo bėgimo modelį, kurio fazė maždaug 0° . [9]

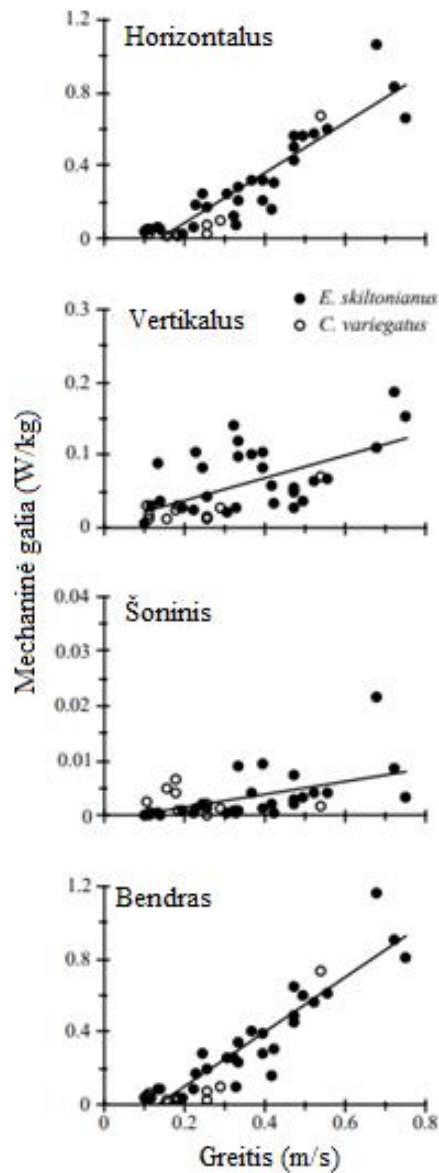
1.2.3. Mechaninė jėga reikalinga masės centro pakėlimui bei judinimui

Mechaninė jėga, reikalinga masės centrui pakelti ir pajudinti, yra lygi teigiamam mechaniniam darbui, kurio reikia kiekvienam judėjimo etapui, padaugintam iš žingsnio dažnio (1.13 pav.).[9]



1.13 pav. Žingsnio dažnio priklausomybė nuo greičio [9]

Žingsnio dažnis padidėjo beveik tris kartus tarp mažiausio ir didžiausio greičio. Mechaninė galia, reikalinga masės centrui pajudinti horizontalia kryptimi (P_{horiz}), padidėjo greičiu (v) ir buvo didžiausia visos mechaninės galios sudedamoji dalis (1.14 pav.). Visais greičiais mechaninė galia, pajudinanti masės centrą šonine kryptimi, buvo mažesnė nei 5% mechaninės galios, reikalingos masės centrui pajudinti horizontalia kryptimi. Tiek šoninė (P_{lat}), tiek vertikali (P_{vert}) išorinės mechaninės galios dedamosios padidėjo greičiui kylant. Didžiausiu greičiu, vertikali dedamoji buvo maždaug 15% horizontaliosios dedamosios, o šoninė dedamoji 1% horizontaliosios dedamosios. Bendra išorinė mechaninė galia greičio diapazone padidėjo iki maksimalios vertės 0,9W/Kg (1.14 pav.).[9]



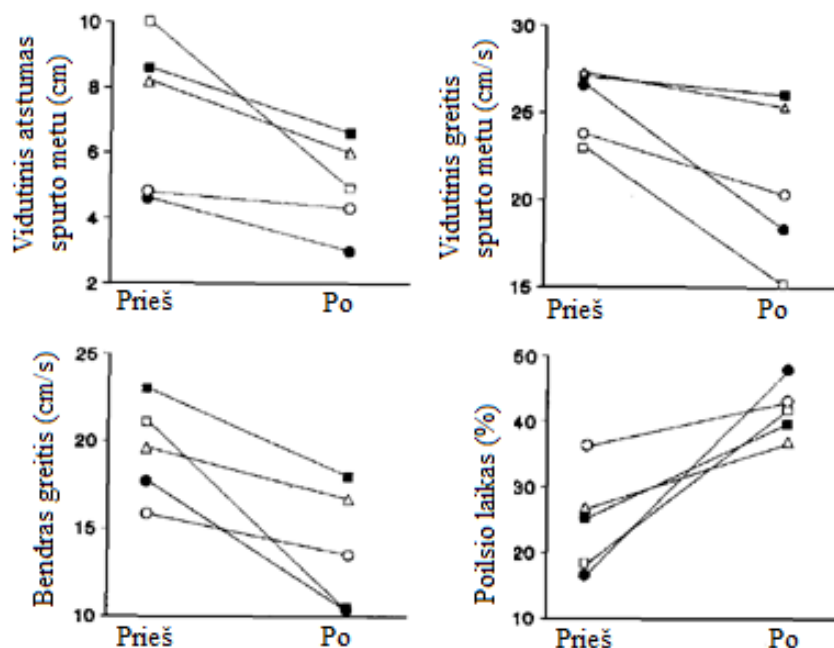
1.14 pav. Išorinės mechaninės galios priklausomybė nuo greičio [9]

Bendros išorinės mechaninės galios ir greičio santykio nuolydis yra išorinis mechaninis darbas, kurio reikia norint nukelti 1m. Šiems driežams reikalingas 1,5J/Kg mechaninis darbas, kad jie nukeltų 1m.[9]

Šiame tyrime esama didelių morfologijos ir fiziologijos skirtumų tarp dviejų tirtų driežų rūšių, tačiau rezultatai rodo, kad nėra reikšmingų skirtumų judėjimo mechanikoje. Šoninis liemens lenkimas driežo judėjimo metu reikalauja labai mažos išorinės mechaninės galios, o išorinis mechaninis darbas, reikalingas nukelti 1m, yra panašus kaip ir kitų kojinių individų (šunų, žmonių ir t.t.). Šie rezultatai rodo, kad kojų judėjimo mechanizmas yra nepaprastai panašus, nepaisant kūno morfologijos, kūno dydžio ir evoliucinės istorijos. [5]

1.2.4. Uodegos praradimo įtaka driežo judėjimui

Daugelis driežų naudoja kaudalinę autotomiją kaip gynybinę strategiją. Tačiau vėlesnės pasekmės, susijusios su judėjimo gebėjimų pakitimu, gali pabloginti individų fizinę būklę. Šiame tyrime buvo ištirtas spontaniškas driežų judėjimas ir jų pabėgimo galimybės prieš ir po uodegos praradimo. Uodegos praradimas turėjo didelį poveikį spontaniškam judėjimui. Beuodegiai individai judėjo sąlyginai lėčiau ir nueiti atstumai buvo sąlyginai mažesni. Bendras poilsio laikas padidėjo, ir todėl bendras greitis sumažėjo. Tačiau vidutinis atskirų judėjimo ir poilsio trukmių laikotarpis žymiai nepasikeitė (1.15 pav.).[10]

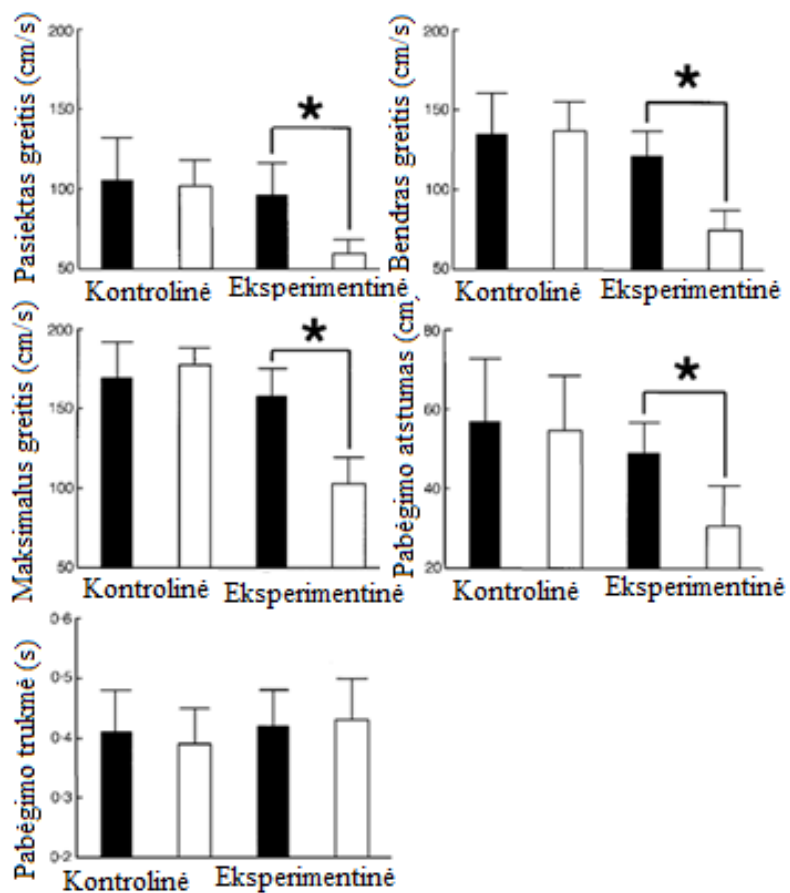


1.15 pav. Lokomotorinių kintamųjų vidutinės vertės [10]

Keturių skirtingų lokomotorinių kintamųjų, kuriuos smarkiai paveikė uodegos praradimas, vidutinės vertės. Vidutinės kiekvieno individo vertės prieš ir po uodegos praradimo yra sujungtos linijomis. Analizuojant kiekvieno eksperimentinės grupės individo duomenis, galima daryti išvadą, kad individai buvo paveikti (uodegos netekimo) skirtingai. Tačiau, visi individai buvo paveikti ta pačia kryptimi, tai yra į blogąją pusę.[10]

Taip pat uodegos praradimas sumažino vidutinę judėjimo trukmę (reikėjo dažnesnio poilsio), nors buvo išlaikytas teigiamas santykis tarp judėjimo trukmės ir greičio.[10]

Labai nukentėjo driežo sugebėjimas pabėgti, uodegos praradimas lėmė gerokai sumažėjusį pasisėkimą ir bendrą pabėgimo greitį. Dėl šių pokyčių atsirado trumpesni pabėgimo atstumai (pirmojo pailsėjimo laikas, po pabėgimo pradėjimo).[10]



1.16 pav. Pabėgimo gebėjimų pakitimas[10]

Paveikslėlis (1.16 pav.) vaizduoja, kaip uodegos netekimas įtakoja, pabėgimo greitį, trukmę. Juodi stulpeliai vaizduoja, kaip judėjo individai spontaniškai, o balti, kai buvo išgąsdinti. Žvaigždutė žymi reikšmingą išgąsdinimo efektą.[10]

Iš tyrimo rezultatų, galima pamatyti, kad uodegos netekimas bėgimo greitį sumažino 36%, didžiausias greitis ir pabėgimo greitis parodė panašius sumažėjimus.[10]

1.3. Komponentų apžvalga

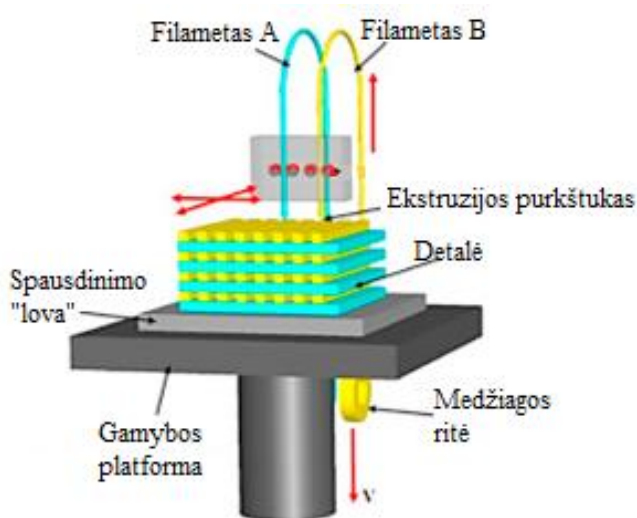
Kiekvieną robotą turi sudaryti trys pagrindinės dalys: mechaninė, elektroninė bei valdymo dalis, todėl šiame skyriuje apžvelgiami komponentai, tinkami roboto gamybai.

1.3.1. Mechaniniai komponentai

Dėl sudėtingų roboto korpuso ir galūnių formų, geriausia jas gaminti naudojant 3D spausdinimo technologiją. 3D spausdinimo technologija yra automatizuotas procesas, skirtas gaminti kietus 3D objektus iš skaitmeninio (CAD) modelio. Yra daug skirtingų technologinių variantų, tačiau beveik visi 3D spausdinimo aparatai veikia panašiai: 3D CAD failas „supjaustomas“ sluoksniais (2D plokštėmis), o spausdintuvas lieja vieną sluoksnį virš kito, taip sukurdamas 3D gaminį. Didžiausias 3D spausdintuvų privalumas yra tai, kad jie geba atspausdinti bet kokios formos gaminius. Apie pasirinktą spausdinimo metodą bei medžiagą (polimerą) plačiau aprašoma tolimesnėje darbo eigoje.[11]

Labiausiai paplitęs 3D spausdinimo metodas, kuriame daugiausia naudojami polimeriniai siūlai, yra žinomas kaip lydyto nusodinimo modeliavimas (FDM). Toliau paaiškinamas šio metodo veikimo principas.[12]

FDM metodu 3D sluoksnių spausdinimui naudojami ištisiniai termoplastinio polimero siūlai (1.17 pav.).



1.17 pav. FDM spausdinimo metodas [12]

Gija kaitinama antgalyje, kad pasiektų pusiau skystą būseną, tada išspaudžiama ant platformos arba ant anksčiau atspausdintų sluoksnių. Polimerinių gijų termoplastiškumas yra pagrindinė šio metodo savybė, leidžianti išlietoms gijoms susilieti į vientisą kūną ir po spausdinimo sukietėti kambario temperatūroje. Sluoksnio storis, gijų plotis ir orientacija bei oro tarpas (tame pačiame sluoksnyje arba tarp atskirų sluoksnių) yra pagrindiniai apdorojimo parametrai, turintys įtakos spausdintų dalių mechaninėms savybėms. Nustatyta, kad pagrindinė mechaninio silpnumo priežastis yra tarp sluoksnių iškraipymai. Pagrindiniai FDM pranašumai, pigus, didelis greitis ir proceso paprastumas.[12]

Variklių palyginimas

Roboto judesiams perteikti reikalingi varikliai, naudojama daug skirtingų variklių: DC, servo, žingsniniai (stepper) ir daugelis kitų. Toliau aprašoma apie kiekvieną iš jų:

- Nuolatinės srovės variklis (DC) – įjungus maitinimą, variklis sukasi tol, kol bus atjungtas. Dauguma DC variklių veikia dideliais apsisukimais per minutę (RPM). DC variklio greitį galima valdyti naudojant PWM (impulso pločio moduliacijas), greito įjungimo/išjungimo techniką.
- Servo variklis – keturių dalių asociacija: nuolatinės srovės variklio, valdymo grandinės, pavarų dėžės ir potenciometro. Servo variklio padėtį galima valdyti tiksliau nei tipinių DC variklių, paprastai jie turi 3 laidus (GND, maitinimo, valdymo). Šie varikliai skirti tikslesnėms užduotims atlikti, kai variklio padėtis turi būti aiški (pvz. Roboto rankos judesiai). PWM naudojama servo variklio signalui valdyti.
- Žingsninis variklis – iš esmės yra servo variklis, kuris naudoja kitokį motorizacijos būdą. Žingsninis variklis turi išorinę valdymo grandinę, kad kiekvienas elektromagnetas būtų įjungtas atskirai. Kiekviena revoliucija nuo vieno elektromagneto į kitą vadiname „žingsniu“, todėl variklis gali būti aktyvuotas tiksliai iš anksto nustatytais žingsniais.[13]

DC, servo ir žingsninių variklių privalumai ir trūkumai:

- DC varikliai yra greiti ir pastovaus sukimosi, dažniausiai naudojami, kai reikia sukti dideliu greičiu (pvz. Automobilio ratai).
- Servo varikliai yra didelio sukimo momento, greito ir tikslaus sukimosi ribotame kampe. Paprastai aukšto našumo alternatyva žingsniniams varikliams, bet sudėtingesne sąranka su PWM derinimu. Tinka robotų rankoms ir pan.
- Žingsniniai varikliai yra lėti, lengvo valdymo ir tikslaus sukimosi. Šis variklis turi padėties valdymą per savo sukimosi pobūdį. Tinka 3D spausdintuvams ir su jais susijusiems įrenginiams.[13]

Kadangi roboto judesiams reikalingas didelis tikslumas ir greitaveika, tinkamiausi yra servo varikliai. Žemiau pateikiama lentelė (lentelė 1) su įvairiais servo varikliais ir jų charakteristikomis. Pagrindiniams judesiams (kojų) atlikti reikalingas didelis sukimo momentas bei variklių pavarų tvirtumas, nes šiai vietai tenka didžiausia apkrova (plačiau apie tai 2.1.2 skyrelyje). Galvos bei uodegos valdymui užtenka silpnesnių variklių (su mažesniu sukimo momentu, bei tikslumu) ir kaip įmanoma mažesnio svorio (plačiau 2.1.2 skyrelyje).

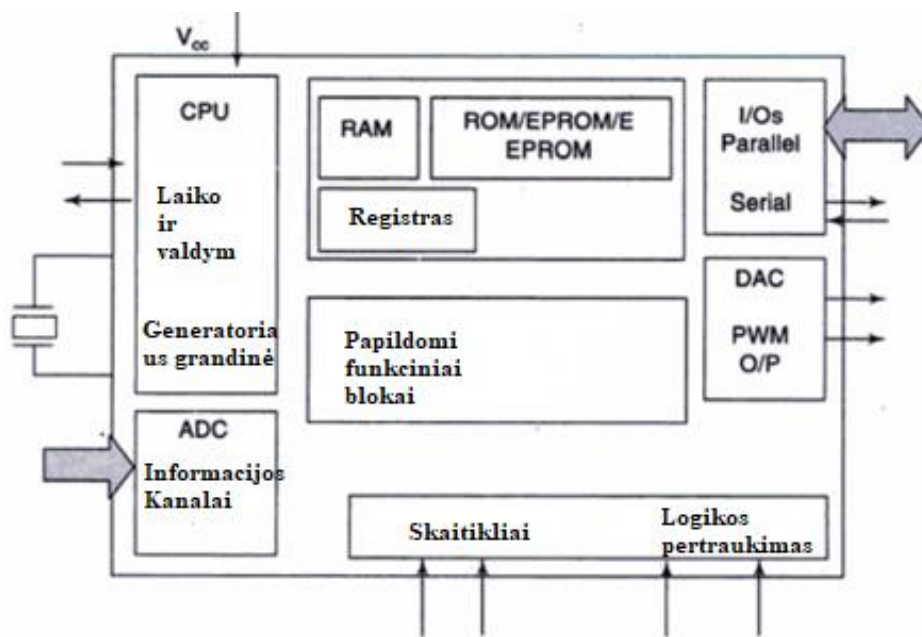
1 lentelė Variklių palyginimas [14]

Gamintojas	Modelis	Svoris	Matmenys, mm	Sukimo momentas	Greitis	Pavarų medžiaga	Kaina, eur
TowerPro	SG90	9g	23x12,2x29	4,8V 0,18Nm	0,12s/60°	Plastikas	1,89
Futaba	S3003	37g	39,9x20,1x36,1	4,8V 0,31Nm	0,23s/60°	Plastikas	10,81
				6,0V 0,4Nm	0,19s/60°		
TowerPro	MG995	55g	40,7x19,7x42,9	4,8V 0,83Nm	0,20s/60°	Metalas	7,66
				6,0V 0,98Nm	0,16s/60°		
Traxxas	2075	45g	55,1x20,1x38,1	6,0V 0,88Nm	0,17s/60°	Plastikas	36,06
TowerPro	MG996R	55g	40,7x19,7x42,9	4,8V 0,92Nm	0,17s/60°	Metalas	9,47
				6,0V 1,08Nm	0,14s/60°		
Futaba	S148	44g	39,9x20,1x36,1	4,8V 0,24Nm	0,28s/60°	Plastikas	13,52
				6,0V 0,29Nm	0,22s/60°		
Traxxas	2065	13g	22,6x12,6x22,5	6,0V 0,23Nm	0,20s/60°	Plastikas	26,14
Align	DS610	53g	41,7x20,8x37,3	4,8V 0,94Nm	0,10s/60°	Titanas	61,30
				6,0V 1,18Nm	0,08s/60°		
SpringRC	S2309S	9g	22,2x11,6x21,5	4,8V 0,10Nm	0,12s/60°	Plastikas	7,97
				6,0V 0,12Nm	0,10s/60°		
Hitec	645MG	55g	40,4x19,6x37,6	4,8V 0,76Nm	0,24s/60°	Metalas	36,02
				6,0V 0,94Nm	0,20s/60°		

Iš lentelės (1 lentelė) pasirenkami labiausiai reikalavimus tenkinantys varikliai: kojų judesiams - MG996R; galvos bei uodegos judesiams – SG90.

1.3.2. Elektronikos komponentai

Mikrovaldikliai, tai vieno lusto mikrokompiuteriai, tinkami mašinų ir procesų valdymui ir automatizavimui. Mikrovaldikliai turi centrinį procesoriaus bloką (CPU), atmintį, įvesties/išvesties prievadus (I/O), laikmačius ir skaitiklius, analoginį-skaitmeninį keitiklį (ADC), skaitmeninį-analoginį keitiklį (DAC), nuoseklųjį prievadą, pertraukimo logiką, osciliatoriaus grandinę ir daug kitų funkcinių blokų mikroschemoje. Paveikslėlyje (1.18 pav.) pavaizduota mikrovaldiklio bendroji funkcinių blokų schema. Svarbu tai, kad funkciniai blokai gali būti skirtingi viename integruotame grandyne (IC), todėl sumažėja valdymo plokštės dydis, mažėja galios vartojimas, didesnis patikimumas ir paprastas integravimas taikomuosiose programose. Mikrovaldiklių naudojimas ne tik sumažina automatizavimo išlaidas, bet ir suteikia daugiau lankstumo. Prietaisas gali būti užprogramuotas taip, kad sistema taptų protinga. Tai įmanoma dėl mikrovaldiklių duomenų apdorojimo ir atminties.[15]



1.18 pav. Mikrovaldiklių funkcinų blokų schema [15]

Mikrovaldiklių rinka labai plati, todėl rinktis yra tikrai iš ko. Šiam projektui nereikalingas brangus ir galingas valdiklis, todėl tinkamiausi yra *Arduino* serijos mikrovaldikliai (nes jie turi visas reikiamas funkcijas tokio tipo projektui įgyvendinti). Žemiau pateikiama lentelė (lentelė 2) su *Arduino* plokščių charakteristikomis. Kadangi prototipo konstrukciją sudaro 14 variklių, jiems valdyti reikia 14PWM (PWM-pulse width modulation) pin'ų, bei atitinkamos įtampas (šiuo atveju MG996R reikalauja 6V).

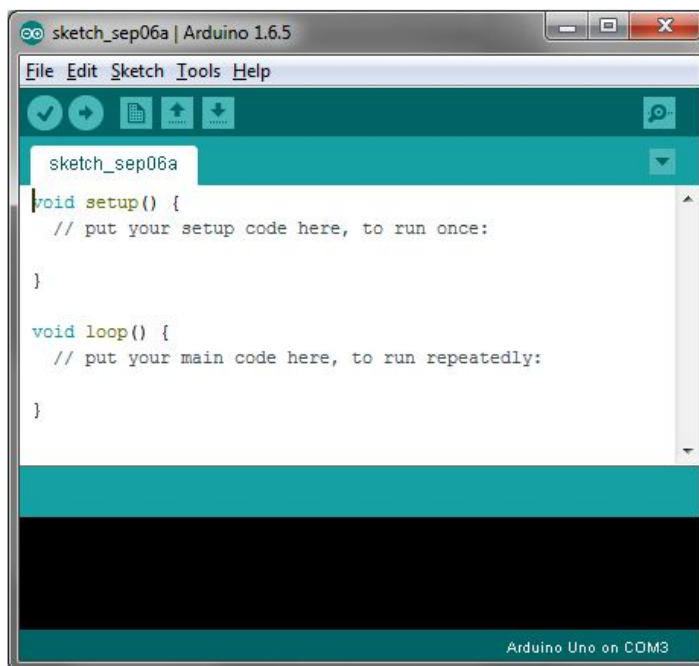
2 lentelė Valdiklių palyginimas [16]

Pavadinimas	Procesorius	Valdymo/ įėjimo įtampa	CPU greitis	Analoginių I/O	Skaitmeninių IO/PWM	SRAM [kB]	FLASH [kB]	USB
101	Intel	3,3/7-12V	32MHz	6/0	14/4	24	196	R
LilyPad	ATmega168	2,7-5,5V	8MHz	6/0	14/6	1	16	-
Mega2560	ATmega2560	5V/7-12V	16MHz	16/0	54/15	8	256	R
Micro	ATmega32U4	5V/7-12V	16MHz	12/0	20/7	2,5	32	M
Pro	ATmega168P	5/5-12V	16MHz	6/0	14/6	2	32	-
Uno	ATmega328P	5V/7-12V	16MHz	6/0	14/6	2	32	R
Zero	ATSAMD	3,3/7-12V	48MHz	6/1	14/10	32	256	2M
Due	ATSAM3X	3,3/7-12V	84MHz	12/2	54/12	96	512	2M
Leonardo	ATmega32U4	5V/7-12V	16MHz	12/0	20/7	2,5	32	M

Iš aukščiau pavaizduotos lentelės (2 lentelė) galime puikiai išsirinkti tinkamiausią *Arduino* mikrovaldiklį. Šiam projektui tinkamiausias būtų, *Arduino Mega 2560* mikrovaldiklis, nes jis palaiko 15 PWM, 7-12V įtampą bei pasižymi kitomis projektui įgyvendinti reikalingomis savybėmis (analoginių pin'ų skaičius, USB jungtis).

1.3.3. Valdymo dalis

Kiekvienas robotas turi būti valdomas, kadangi šiame projekte bus naudojamas *Arduino* valdiklis, tai roboto valdymui bus naudojama su *Arduino* valdikliu suderinama programa. *Arduino IDE* (1.19 pav.), tai atviro kodo programinė įranga, skirta mikrovaldiklių programavimui. Naudojant *C* programavimo kalbą, lengva įgyvendinti norimas užduotis. Parašius kodą, *Arduino* mikrovaldiklį ir kompiuterį sujungiamo USB sąsaja ir į valdiklį įdiegiama valdymo programa.[17]



1.19 pav. *Arduino IDE* Sąsaja [17]

Sujungus visas šiame skyriuje nagrinėtas dalis (mechaninę, elektroninę ir valdymo) į bendrą visumą, gaunamas pilnai funkcionuojantis robotas.

2. Projektinė dalis

2.1. Mechaninė dalis

Atsižvelgiant į literatūrinėje dalyje aptartus mechanikos komponentus, atliekami projektiniai skaičiavimai – parenkami tinkamiausi komponentai driežo prototipo gamybai.

2.1.1. Polimero parinkimas

Kaip aptarta literatūrinės analizės dalyje, driežo prototipo gamybai bus naudojama *FDM 3D* spausdinimo technologija. Du dažniausiai naudojami polimerai yra: *ABS* ir *PLA* (3 lentelė):

- *ABS* (akrilonitrilo butadieno stirenas) yra dažnas termoplastikas, gerai žinomas liejimo pramonėje, jis taikomas „*LEGO*“, elektronikos korpusams ir automobilių buferių dalims gaminti.
- *PLA* (polilaktinė rūgštis) yra biologiškai skaidus (tinkamomis sąlygomis) termoplastas, gaunamas iš atsinaujinančių išteklių, tokių kaip kukurūzų krakmolos ar cukranendrės, tai vienas populiariausių bioplastikų, naudojamų daugeliui sričių, pradedant plastikiniais puodeliais ir baigiant medicininiais implantais.[18]

3 lentelė Polimerų savybių palyginimas [18]

Savybės	ABS	PLA
Tempiamasis stipris	27 MPa	37 MPa
Pailgėjimas	3,5-50%	6%
Lankstusis modulis	2,1-7,6 GPa	4 GPa
Tankis	1,0-1,4 g/cm ³	1,3 g/cm ³
Lydimosi temperatūra	Amorfinis	173 °C
Biologiškai skaidomas?	Ne	Taip
Kaina (1kg, 1.75mm, juodas)	20	21

Atspausdintų detalių savybės:

- Dėl žemesnės spausdinimo temperatūros *PLA*, tinkamai aušinant mažiau deformuojasi ir gali spausdinti “aštresnius” kampus lyginant su *ABS*.
- *PLA* idealiai tinka *3D* spausdinimui, kur svarbi estetika, dėl žemesnės spausdinimo temperatūros ją lengviau spausdinti, todėl ji geriau tinka gaminiams su smulkiomis detalėmis.
- *ABS* geriausiai tinka tais atvejais, kai reikalingas stiprumas, lankstumas, apdirbamumas ir šiluminis stabilumas, *ABS* labiau linkusi deformuotis.[18]

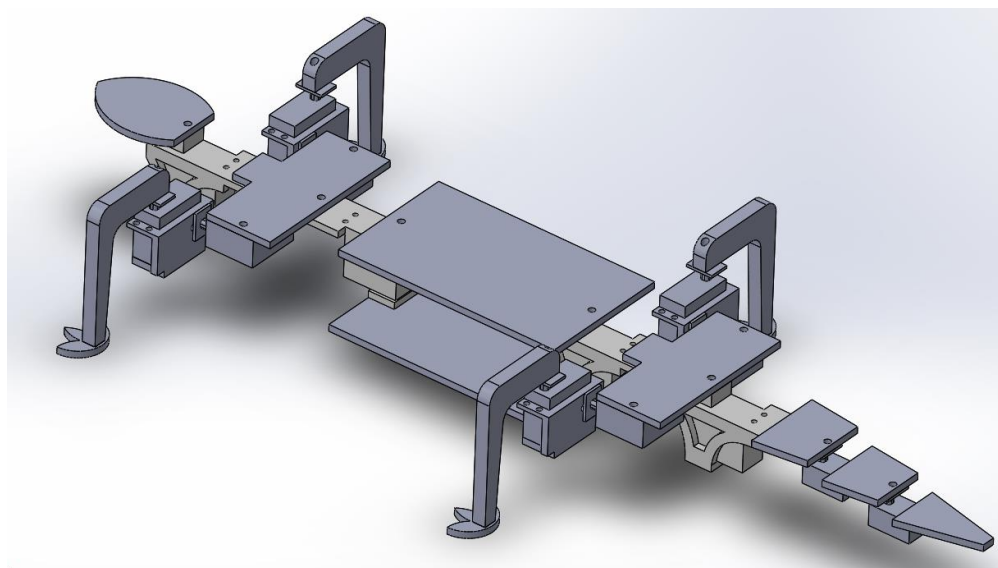
Būtent dėl aukščiau išvardintų savybių prototipo gamybai naudojamas *PLA* polimeras.

2.1.2. Driežo prototipo konstrukcijos deformacijos tyrimas naudojant BEM

Baigtinių elementų metodas (*BEM*) plačiausiai taikomas įvairius fizikinius reiškinius ir procesus aprašančioms diferencinėms lygtims dalinėmis išvestinėmis spręsti. Skaičiavimai baigtinių elementų metodu atliekami šiais etapais:

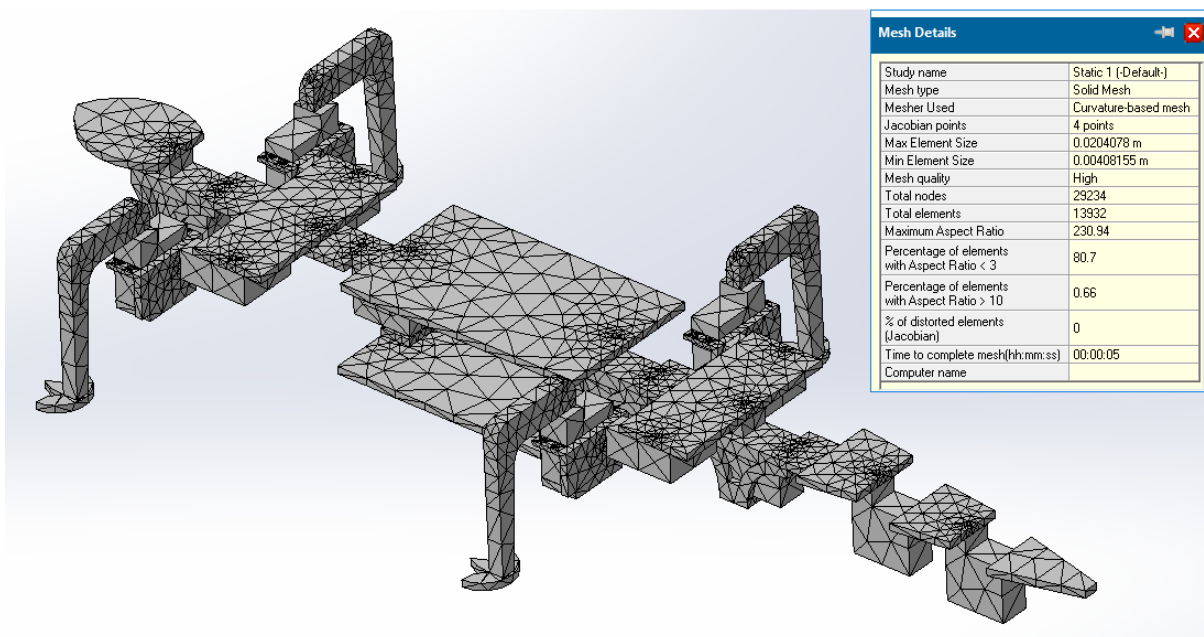
- Bet kuri sudėtingos geometrinės formos sritis pavaizduojama baigtiniu, nesudėtingos formos elementų skaičiumi;
- Kiekvienoje elemento srityje diferencinė lygtis dalinėmis išvestinėmis apytiksliai pakeičiama algebrinių lygčių sistema;
- Elementų algebrinės lygtys jungiamos į bendrą vienareikšmiškai išsprendžiamą algebrinių lygčių sistemą;[19]

Norint palengvinti skaičiavimus *BEM*, naudojant “*SolidWorks*” driežo prototipo konstrukcija supaprastinta iki realių matmenų korpuso be pagražinimų (užapvalinimų ir pan.) (2.1 pav.).



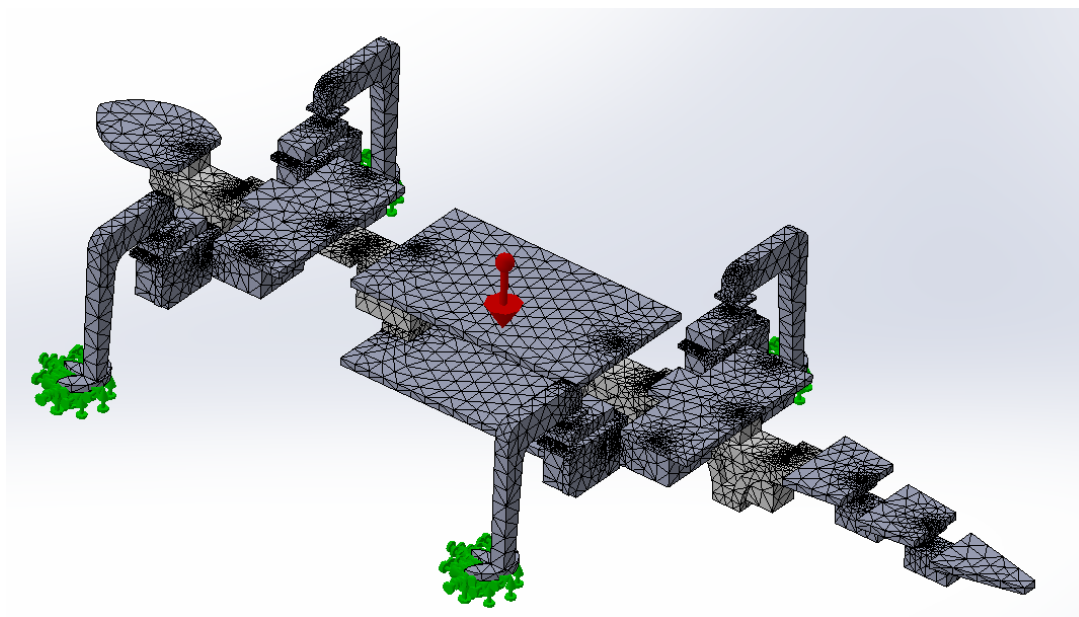
2.1 pav. Supaprastintas driežo prototipas

Paveikslėlyje (2.2 pav.) vaizduojamas driežo prototipas, kurį sudaro 68284 elementai bei 121318 mazgai. Kadangi driežo prototipo konstrukcija supaprastinta, todėl “*SolidWorks*” pasirinkus *PLA* polimerą mases apskaičiuoja ne tiksliai, masių defektui kompensuoti naudojamos papildomos (trūkstamos iki realių) masės, kurios suteikiamos trūkstamoms dalims.



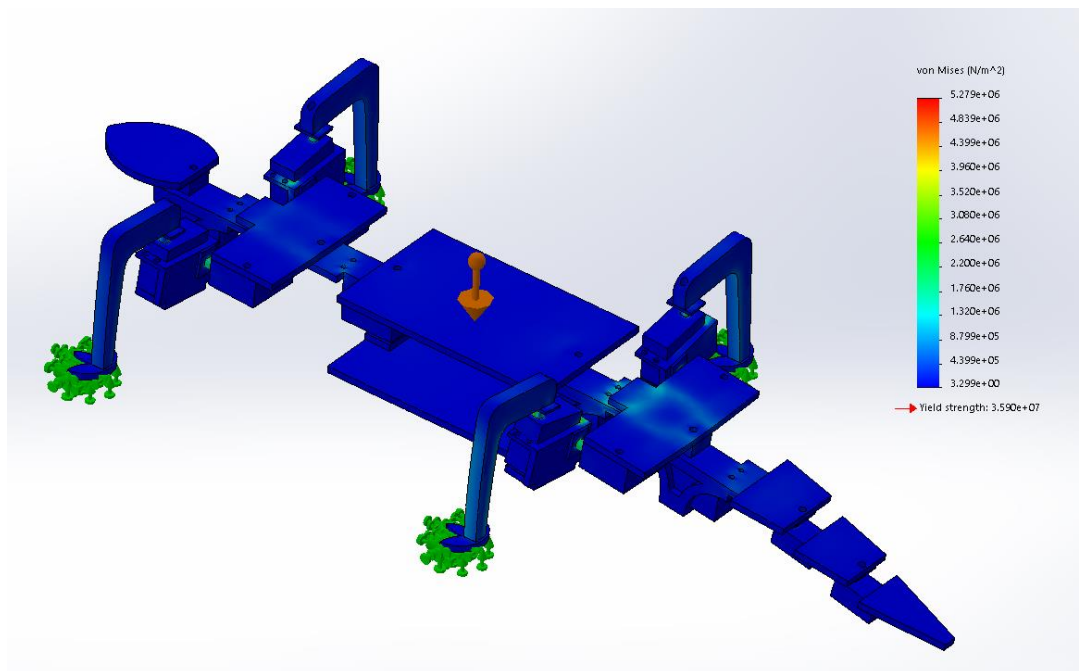
2.2 pav. Konstrukcijos baigtinių elementų tinklelis

Ant baigtinių elementų tinkleliu sudalintos konstrukcijos uždedamos apkrovos (laisvojo kritimo pagreitis $g=9,81\text{m/s}^2$) bei prototipo pėdų laisvės laipsniai suvaržomi, kad būtų galima atlikti skaičiavimus (2.3 pav.).



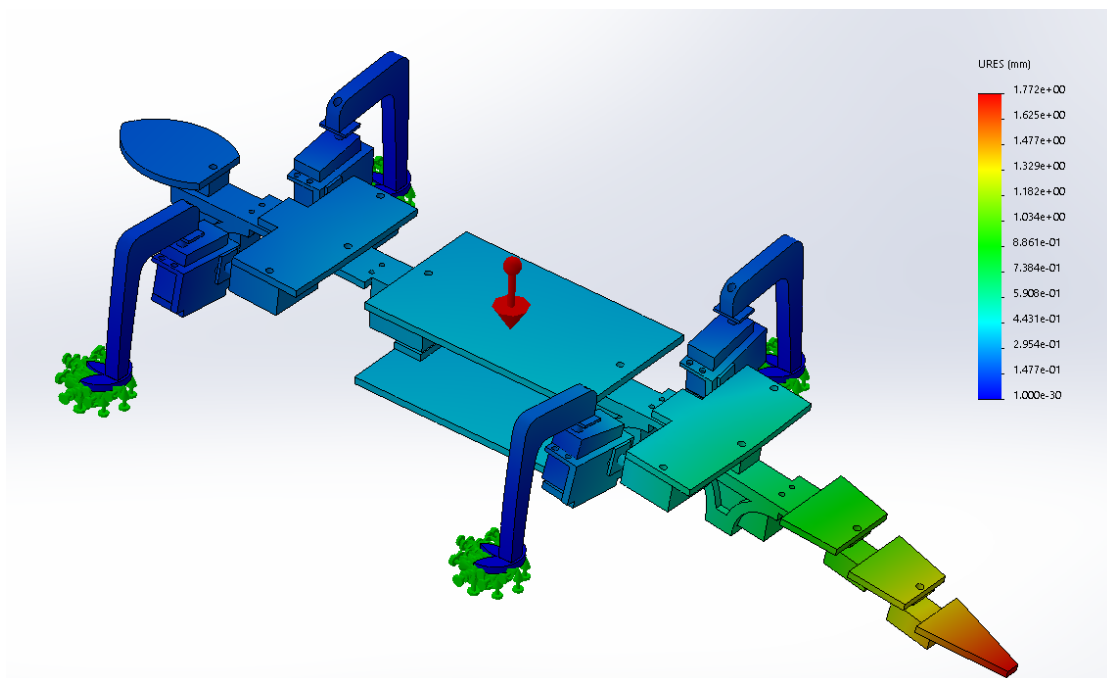
2.3 pav. Konstrukcija su pridėtomis apkrovomis bei suvaržymais

Toliau paleidžiamas „SolidWorks“ modeliavimas ir atliekami skaičiavimai. Žemiau pateiktame paveikslėlyje (2.4 pav.) vaizduojami konstrukcijoje vyraujantys įtempiai.



2.4 pav. Konstrukcijoje vyraujantys įtempiai

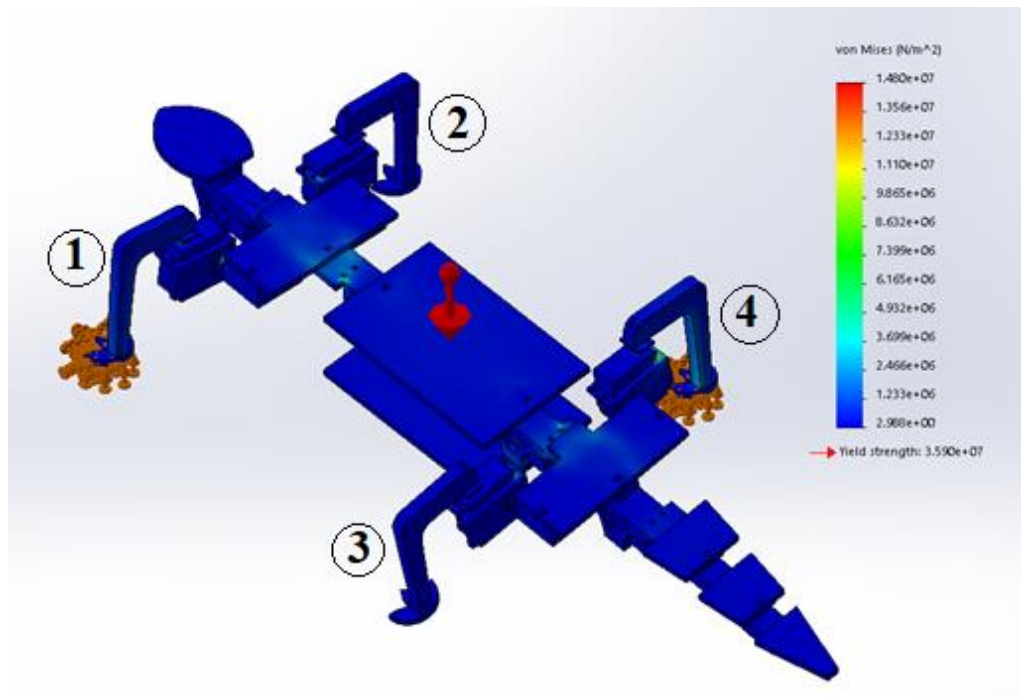
Kaip matome iš aukščiau pateiktų rezultatų (2.4 pav.) didžiausi įtempiai (1,76MPa) tenka variklių ašims, kadangi tos vietos yra ploniausios. Būtent todėl bus parinkti varikliai su metalinėmis ašelėmis. Taip pat buvo atliekamas konstrukcijos deformacijos tyrimas, pavaizduotas žemiau (2.5 pav.).



2.5 pav. Konstrukcijos deformacijos

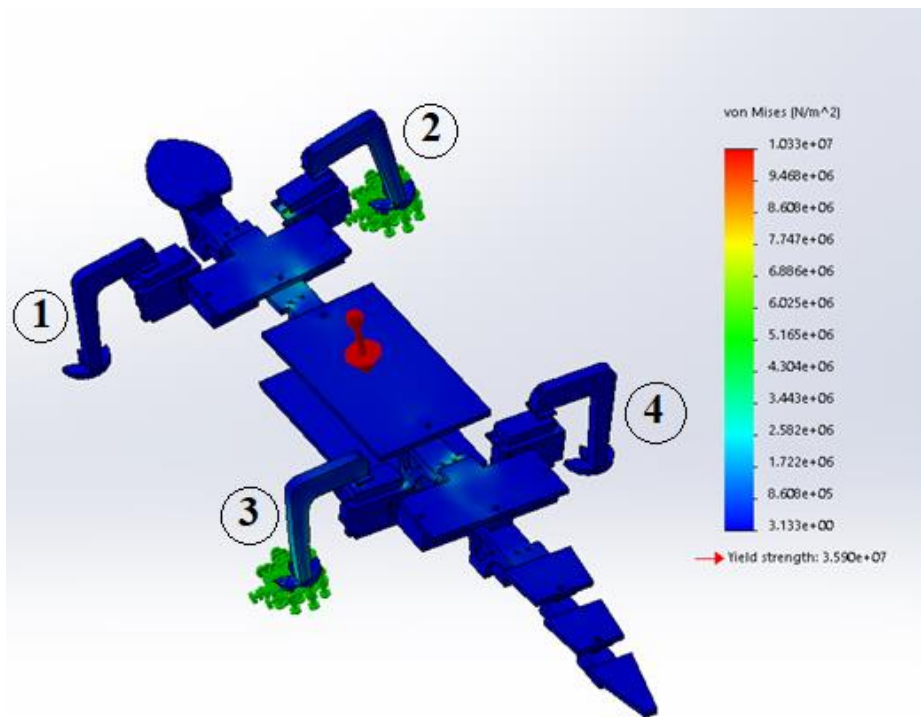
Iš paveikslėlio (2.5 pav.) matyti, kad didžiausias deformacijas patiria prototipo uodega, gaunamas 1,77mm maksimalus poslinkis, taip atsitinka todėl, kad ši vieta yra labiausiai nutolusi nuo įtvirtinimo.

Kitose prototipo dalyse pastebimos nežymios (0,14mm) deformacijos. Kadangi driežo prototipas judės ir tam tikru metu stovės ant dviejų kojų, reikia į tai atsižvelgti ir atlikti tyrimus. Žemiau esančiame paveikslėlyje pavaizduotas prototipo tyrimas, kai stovima ant dviejų kojų (2-a ir 3-a kojos neįtvirtintos 2.6 pav.).



2.6 pav. Įtempių tyrimas, kai stovi ant dviejų kojų 1 ir 4

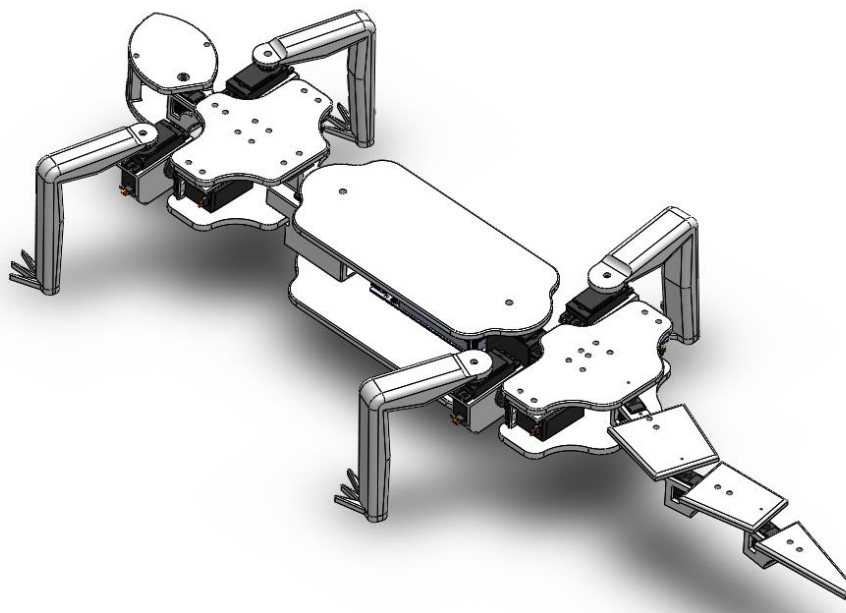
Kaip matome iš rezultatų (2.6 pav.) šiuo atveju didesni įtempiai tenka stuburo sujungimams, 2-ai bei 3-ai kojoms. Taip pat skaičiavimai atliekami, kai pakeltos 1-a bei 4-a kojos (2.7 pav.).



2.7 pav. Įtempių tyrimas, kai stovi ant dviejų kojų 2 ir 3

Iš rezultatų (2.7 pav.) matyti, kad 2-ai ir 3-iai kojoms tenka didesni įtempiai, negu pirmuoju atveju (2.6 pav.) taip atsitinka dėl nevienodai paskirstytos masės.

Atlikus tyrimus pasitelkiant baigtinių elementų metodą nustatyta, kad didžiausi įtempiai bei deformacijos atsiranda pakėlus pirmąją ir ketvirtąją kojas. Išanalizavus tyrimus bei parinkus komponentus pradedama prototipo gamyba. Žemiau pavaizduotas galutinis modelis (2.8 pav.).



2.8 pav. Galutinis prototipo modelis “SolidWorks” aplinkoje

2.1.3. Variklių parinkimas

Kaip aptarta anksčiau labiausiai tinkami prototipo gamybai yra servo varikliai. Atsižvelgus į „SolidWorks“ tyrimo rezultatus parenkami varikliai su metalinėmis pavaromis. Jų charakteristikos pateiktos žemiau (2.9 pav.).

MG996R servo variklių specifikacijos [20]:

- Svoris: 55g
- Išmatavimai: 53,6x20x47,6mm
- Sukimo momentas: 0,92Nm (4,8V), 1,08Nm(6V)
- Veikimo greitis: 0,17 s/60° (4,8 V), 0,14 s/60° (6V)
- Veikimo įtampa: 4,8-7,2V
- Srovė: 2,5A (6V)
- Stabili ir smūgiams atspari dvigubo rutulinio guolio konstrukcija
- Temperatūros ribos: 0-55°C
- Kaina: 2,5eur



2.9 pav. MG996R variklio matmenys

MG996R varikliai naudojami prototipo judėjimui realizuoti (8 kojoms ir 2 stuburo judesiams).

Kadangi prototipo galvos ir uodegos svoriai nėra dideli, šioms dalims valdyti parenkami šiek tiek silpnesnis bei mažesni varikliai, jų specifikacijos pateiktos toliau (2.10 pav.).

SG-90 servo variklių specifikacijos [21]:

- Svoris: 9g
- Išmatavimai: 32x12x32mm
- Sukimo momentas: 0,18Nm
- Veikimo greitis: 0,12s/60°
- Kaina: 1,5 eur



2.10 pav. SG90 variklio matmenys

Tokio tipo variklių prireiks 4-ių (1 galvai sukinti bei 3 uodegai valdyti).

2.2. Elektronikos dalis

Atsižvelgiant į literatūrinėje analizėje išnagrinėtus elektronikos komponentus, parenkami elektronikos komponentai šiam projektui įgyvendinti.

Pasirenkamas labiausiai tokio tipo projekto valdymui tinkamas mikrovaldiklis „*Arduino MEGA2560 R3*“ (2.11 pav.), kurio specifikacijos pateiktos žemiau.



2.11 pav. Arduino MEGA2560

„*Arduino MEGA2560*“ specifikacija [22]:

- Valdymo įtampa: 5V
- Rekomenduojama maitinimo įtampa: 7-12V
- Skaitmeninių I/O: 54 (iš kurių 14 PWM)
- Analoginių įėjimų: 16
- Nuolatinė srovė pin'ui: 40mA
- Matmenys: 100x55mm
- Svoris: 37g
- Kaina: 8.73eur.

Mikrovaldiklio valdymui nuotoliniu būdu naudojamas „*Bluetooth HC-05*“ modulis (2.12 pav.), kurio specifikacijos pateiktos žemiau.

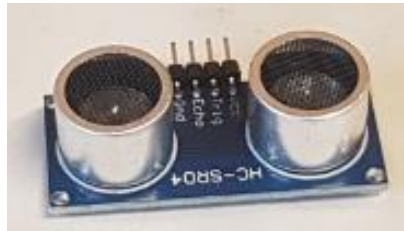


2.12 pav. *Bluetooth HC-05* modulis

“*Bluetooth HC-05*” modulio specifikacijos [23]:

- Dažnis: 2,45 GHz
- Duomenų perdavimo greitis: max. 2,1 Mbps
- Maitinimas: 3,3 VDC
- Veikimo temperatūra: iki 60°C
- Matmenys: 15,5x39,8mm
- Kaina: 2,98eur.

Taip pat parenkamas ultragarsinis atstumo jutiklis “*HC-SR04P*” (2.13 pav.), kurio parametrai aprašyti žemiau.



2.13 pav. *HC-SR04P* ultragarsinis jutiklis

Ultragarinio jutiklio “*HC-SR04P*” specifikacijos [24]:

- Maitinimas: 5V DC
- Efektyvumo kampas: <30°
- Veikimo nuotolis: 2-500cm
- Tikslumas: 1cm
- Ultragarsinis dažnis: 40kHz
- Kaina: 0,79eur

Kad visa elektronika tinkamai veiktų reikalinga tam tikra įtampa, todėl parenkamas nuolatinės srovės keitiklis “*DC-DC 4-40V 8A*” (2.14 pav.), žemiau pateikiami šio keitiklio parametrai.



2.14 pav. DC-DC 4-40V 8A keitiklis

„DC-DC 4-40V 8A” keitiklio parametrai [25]:

- Įėjimo įtampa: DC 4-40V
- Išėjimo įtampa: DC 1,25-36V
- Maksimali išėjimo srovė: 8A
- Galia: 200W
- Naudingumo koeficientas: 94%
- Matmenys: 61x41x27mm
- Kaina: 2,78eur

Visai elektronikai reikalingas maitinimo šaltinis, kuris atitiktų srovės ir įtampos poreikį bei tenkintų galios reikalavimus. Todėl parenkamas „Li-Po 3S“ energijos šaltinis (2.15 pav.) jo charakteristikos pateikiamos žemiau.



2.15 pav. Li-Po 3000mAh baterija

„Li-Po 3S“ baterijos charakteristikos [26]:

- Talpa: 3000mAh
- Energija: 24,42Wh
- Nominali įtampa: 11,1V
- Matmenys: 103x34x20,5mm
- Svoris: 200g
- Kaina: 25,60eur

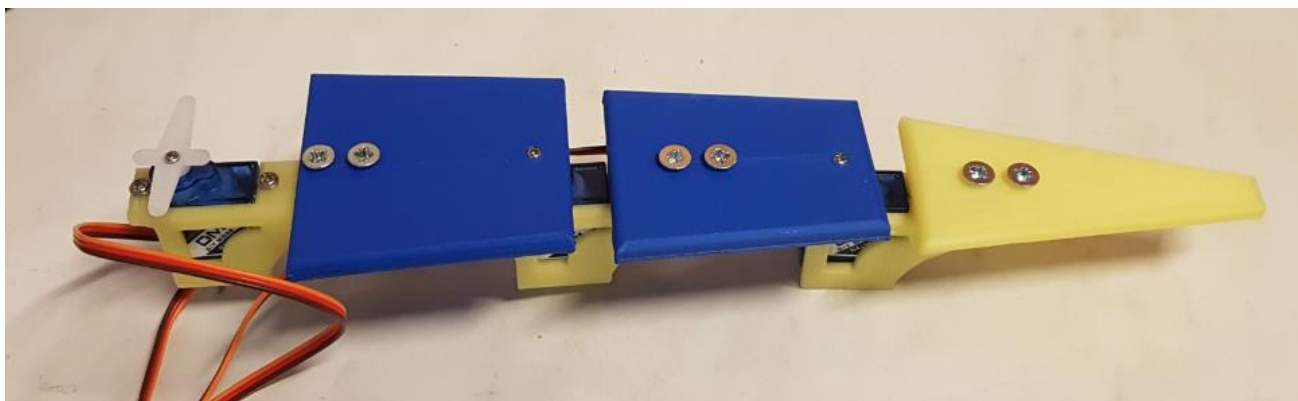
2.3. Prototipo gamyba

3D Spausdintuvo pagalba atspausdinami prototipo korpuso komponentai, šie komponentai sujungiami tarpusavyje, naudojant varžtus.



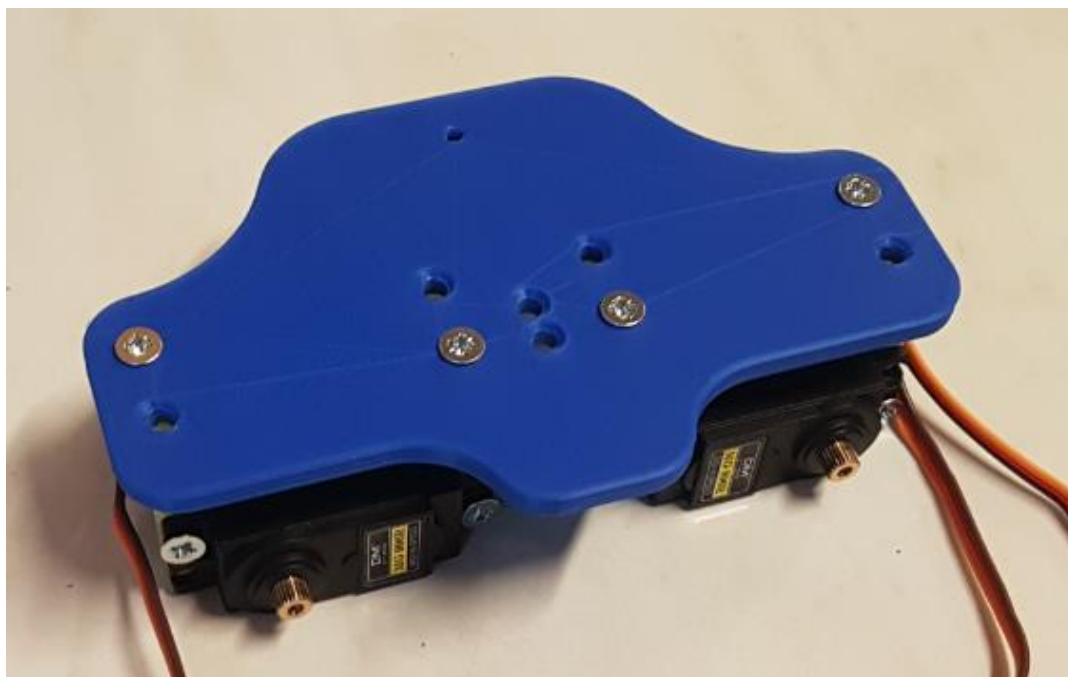
2.16 pav. Atspausdinti komponentai

Pirmiausia į laikiklius įtvirtinami varikliai (3 *SG90* varikliai), prie laikiklių prisukamos uodegos plokštelės (2.17 pav.).



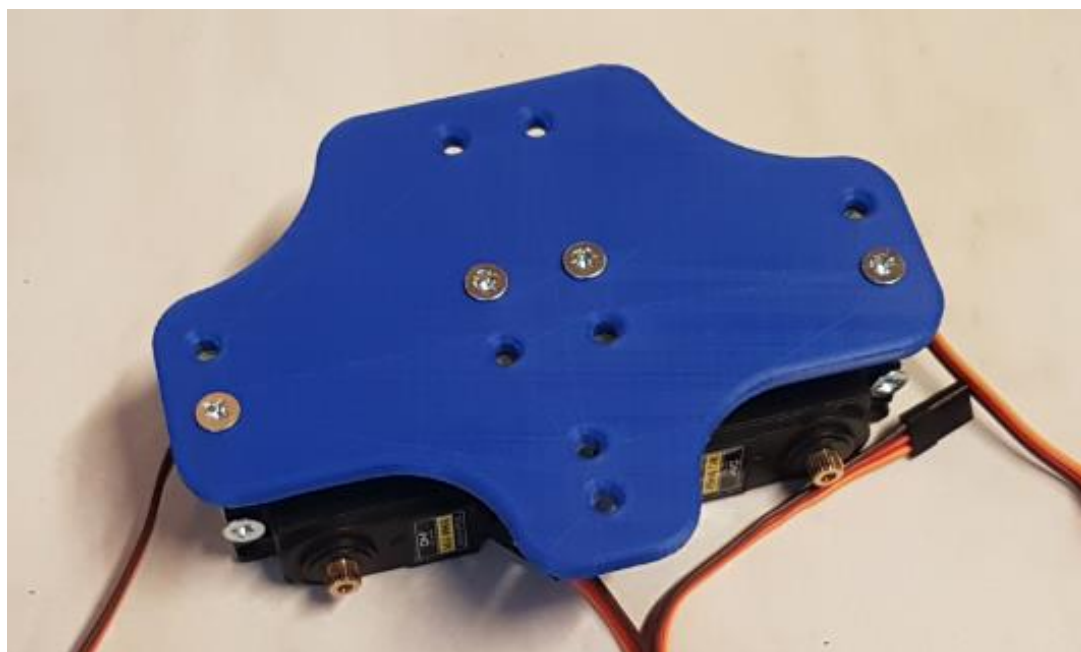
2.17 pav. Prototipo uodega

Toliau surenkama galinė prototipo dalis, varikliai (*MG996R*) įtvirtinami į laikiklius, šie sutvirtinami plokšte (2.18 pav., mėlyna).



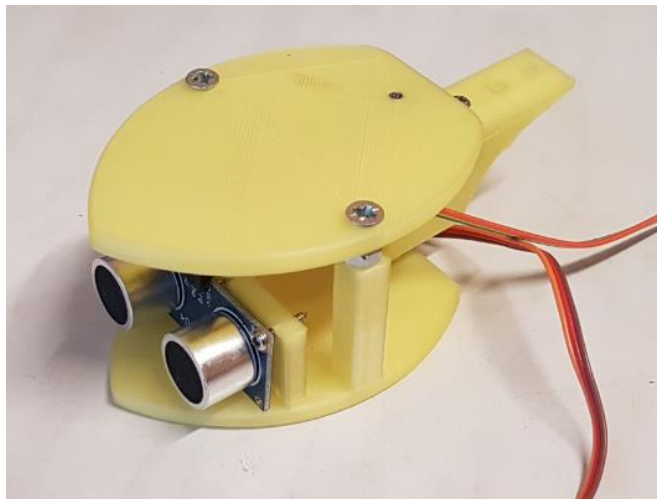
2.18 pav. Prototipo galinė dalis

Taip pat surenkama prototipo priekinė dalis. Varikliai (*MG996R*) pritvirtinami prie laikiklių, sujungiami plokšte (2.19 pav., mėlyna).



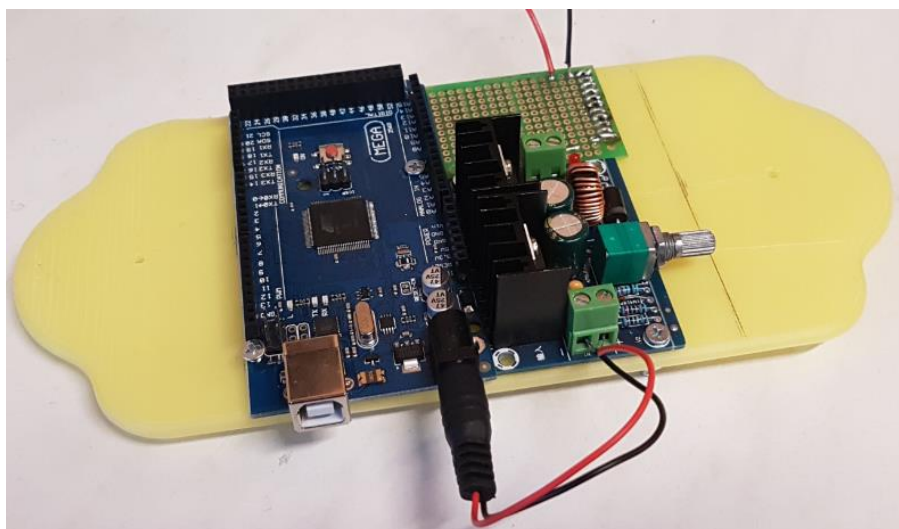
2.19 pav. Prototipo priekinė dalis

Surenkama galva, prie apatinės dalies prisukamas ultragarsinis jutiklis (*HC-SR04P*), į laikiklį įtvirtinamas variklis (*SG90*), skirtas galvai judinti, prisukama viršutinė plokštelė (2.20 pav.).



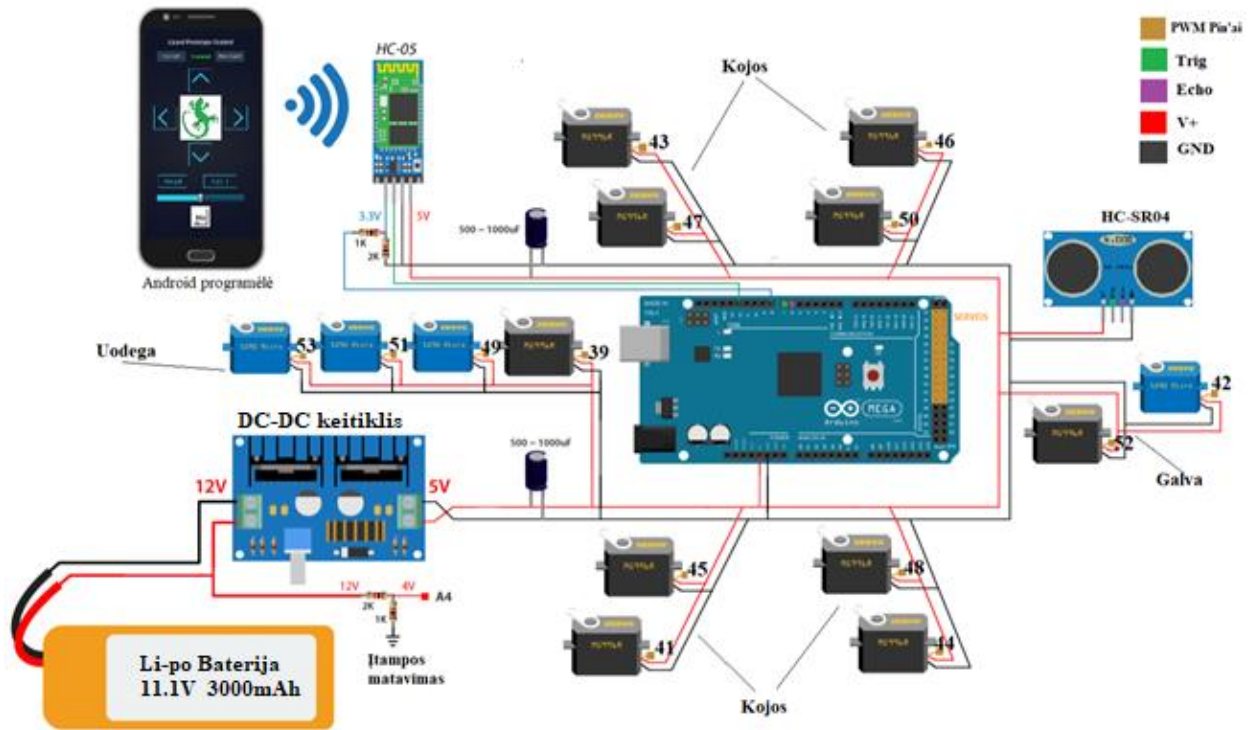
2.20 pav. Prototipo galva

Pilvo dalies surinkimas, prie apatinės plokštės varžtais pritvirtinami, mikrovaldiklis (*ArduinoMega2560*), srovės keitiklis (*DC-DC 4-40V 8A*) bei montažinė plokštė (2.21 pav.).



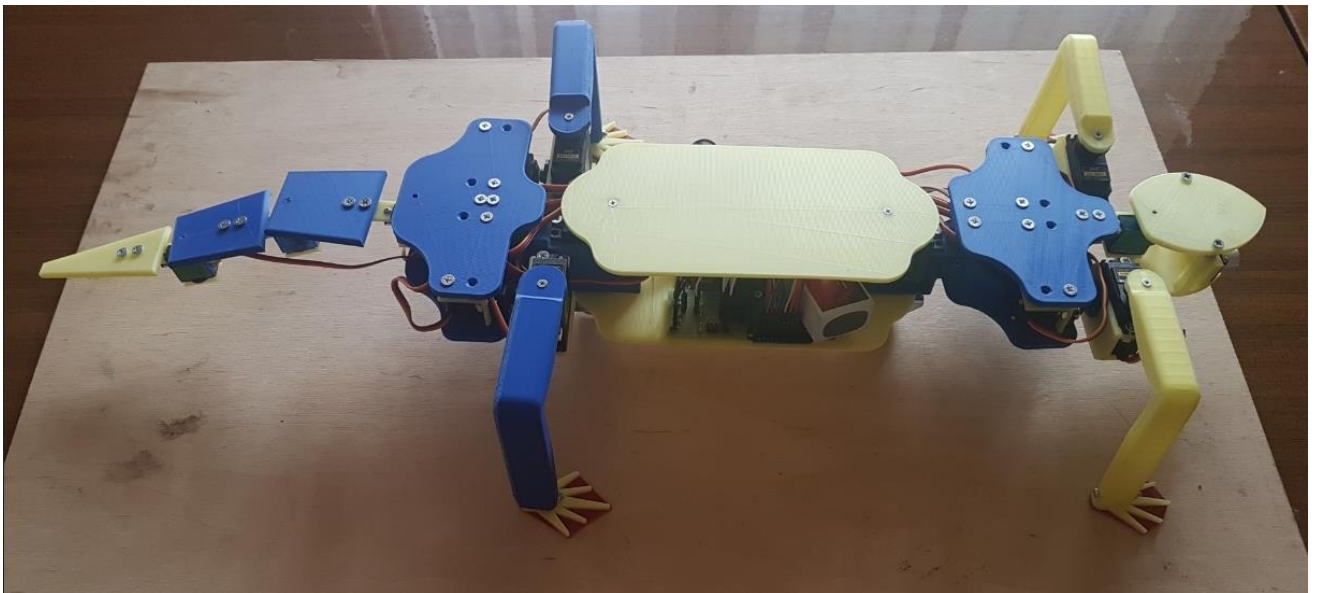
2.21 pav. Prototipo pilvo apatinė dalis

Visi elektronikos komponentai sujungiami pagal žemiau pavaizduotą schemą (2.22 pav.), jungtys pavaizduotos skirtingomis spalvomis. Skaičiais pavaizduoti variklių valdymo pin'ai esantys *Arduino* mikrovaldiklyje.



2.22 pav. Elektronikos komponentų jungimo schema

Sujungus visus atspausdintus komponentus, sulitavus jungtis bei prijungus elektronikos komponentus gautas driežo roboto prototipas, pavaizduotas žemiau esančiame paveikslėlyje (2.23 pav.).



2.23 pav. Driežo prototipas

2.4. Valdymo dalis

Šioje dalyje aiškinamas kodas skirtas prototipo judesiams atlikti.

Servo variklių valdymui reikalinga *Servo.h* biblioteka, *Bluetooth* komunikacijai reikalinga *SoftwareSerial* biblioteka, jas galima rasti *Arduino IDE* programos bibliotekų skiltyje. Pirmiausia įtraukiamos reikalingos bibliotekos bei priskiriami kintamieji (šiuo atveju lemputė, ultragarsinio jutiklio bei *Bluetooth* modulio pinai'ai), tam skirtas kodo fragmentas pavaizduotas žemiau (2.24 pav.).

```
#include <Servo.h>
#include <SoftwareSerial.h>

#define ledR 10
#define trigPin 9
#define echoPin 8

SoftwareSerial Bluetooth(7, 6);           //Arduino (RX, TX) - HC-05 (TX, RX) 7-P 6-G
```

2.24 pav. Kodo fragmentas bibliotekų įtraukimui

Priskiriami nauji objektai, šiuo atveju servo varikliai, jiems suteikiami vardai (*S1*, *S2*...), kodo fragmentas pateiktas žemiau (2.25 pav.).

```
////////Servo varikliai////////

//Galva
Servo S1;

//Kaire Priekine Koja
Servo S2;           //Petis
Servo S4;           //Alkune

//Desine Priekine Koja
Servo S3;           //Petis
Servo S5;           //Alkune

//Pirmas Slankstelis
Servo S6;

//Antras Slankstelis
Servo S7;

//Kaire Galine Koja
Servo S8;           //Petis
Servo S10;          //Alkune

//Desine Galine Koja
Servo S9;           //Petis
Servo S11;          //Alkune

//Uodega
Servo S12;          //Pirmas narelis
Servo S13;          //Antras narelis
Servo S14;          //Trecias narelis
```

2.25 pav. Kodo fragmentas variklių priskyrimui

Šioje *setup* dalyje aprašoma *Bluetooth* komunikacija, nustatoma jos sparta (*Baud rate*). Taip pat aprašomi ultragarsinio jutiklio bei lempučių jungčių režimai (*pin modes*), kiekvienam varikliui priskiriamas tam tikras *pin*'as. Šias funkcijas atlieka kodo fragmentas pateiktas žemiau (2.26 pav.).

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Bluetooth.begin(9600);           //Numatytas Baud rate HC-05 modulio
  Bluetooth.setTimeout(1);
  delay(20);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);       //Nustato trigPin kaip output
  pinMode(echoPin, INPUT);       //Nustato echoPin kaip input
  pinMode(ledR, OUTPUT);

  ///Pin priskyrimas varikliams\\

  //Galva
  S1.attach(42, 600, 2400);

  //Kaire Priekine Koja
  S2.attach(50, 600, 2400);
  S4.attach(46, 600, 2400);

  //Desine Priekine Koja
  S3.attach(48, 600, 2400);
  S5.attach(44, 600, 2400);

  //Pirmas Slankstelis
  S6.attach(52, 600, 2400);

  //Antras Slankstelis
  S7.attach(39, 600, 2400);

  //Kaire Galine Koja
  S8.attach(47, 600, 2400);
  S10.attach(43, 600, 2400);

  //Desine Galine Koja
  S9.attach(45, 600, 2400);
  S11.attach(41, 600, 2400);

  //Uodega
  S12.attach(49, 600, 2400);
  S13.attach(51, 600, 2400);
  S14.attach(53, 600, 2400);
}
```

2.26 pav. Kodo fragmentas *pin* priskyrimui

Tada naudojant *write()* funkciją nustatoma norima servo variklių pozicija. Šioje vietoje galima atlikti variklių kalibraciją, įvertinant tai, kad surenkant roboto prototipą nepavyksta kiekvieno variklio nustatyti į konkrečią pradinę poziciją. Žemiau esančiame kodo fragmente (2.27 pav.) varikliai nustatomi į pradines pozicijas, šiuo atveju 60^0 .

```

////Varikliu judejimas i pradines pozicijas\\
////Galva
S1.write(60);

////Kaire Priekine Koja
S2.write(60); //Petis
S4.write(60); //Alkune

////Desine Priekine Koja
S3.write(60); //Petis
S5.write(60); //Alkune

////Pirmas Slankstelis
S6.write(60);

////Antras Slankstelis
S7.write(60);

////Kaire Galine Koja
S8.write(50); //Petis
S10.write(60); //Alkune

////Desine Galine Koja
S9.write(60); //Petis
S11.write(60); //Alkune

////Uodega
S12.write(60); //Pirmas narelis
S13.write(60); //Antras narelis
S14.write(60); //Trecias narelis

```

2.27 pav. Kodo fragmentas pradinių pozicijų nustatymui

Šioje *loop()* dalyje vykdomas ciklas, pastoviai tikrinama informacija (*dataIn*), ateinanti iš išmaniojo telefono. Priklausomai nuo gautos vertės (2, 3, 4...), vykdoma tam tikra komanda, atliekamas judėjimas (į priekį, atgal, į kairę, į dešinę, galvos ar uodegos judinimas), kodo fragmentas pateiktas žemiau (2.28 pav.).

```

void loop() {

    //Tikrinam ar ateina info is bluetooth
    if (Bluetooth.available() > 0) {
        dataIn = Bluetooth.read(); //Nuskaito info
        //Tikrina ar paspaustas "Forward" mygtukas
        if (dataIn == 2) {
            m = 2;
        }
        //Tikrina ar paspasutas "Left" mygtukas
        if (dataIn == 3) {
            m = 3;
        }
        //Tikrinamas ar paspaustas "Right" mygtukas
        if (dataIn == 4) {
            m = 4;
        }
        //Tikrina ar paspaustas "Reverse" mygtukas
        if (dataIn == 5) {
            m = 5;
        }
        //Tikrina ar paspaustas "Tail" mygtukas
        if (dataIn == 10) {
            t = 10;
        }
        //Tikrina ar paspaustas "Head" mygtukas
        if (dataIn == 11) {
            h = 11;
        }
        //Greiciu reguliavimas
        if (dataIn >= 15) {
            speedV = dataIn;
        }
    }
}

```

2.28 pav. Kodo fragmentas tam tikros komandos vykdymui

Šioje kodo dalyje, aprašomas judėjimo į priekį algoritmas. Jei iš programėlės gaunama vertė “2”, tada judinamos pirma ir ketvirta kojos, šioms pasiekus galinę padėtį, pradeda judėti antra ir trečia kojos bei pirma ir ketvirta kojos grįžta į pradinę poziciją, šioms pasiekus naujai užduotą poziciją, prasideda 1 ir 4 kojų judėjimai į priekį bei 2 ir 3 kojų grįžimas atgal, ir taip kartojasi, kol gaunama vertė “2”. Šis algoritmas įgyvendinamas kodo esančio žemiau (2.29 pav.). Judėjimo atgal bei į šonus algoritmas veikia panašiu principu, todėl jų veikimas nebus aiškinamas.


```

//Judejimas i prieki
if (m == 2 & l1status == HIGH ) {
    moveLeg1();
    delay(50);
    moveLeg4();
    delay(50);
}
if (l2status == HIGH) {
    moveLeg2();
    delay(50);
    moveLeg3();
    delay(50);
    backLeg1();
    backLeg4();
}
if (l3status == HIGH) {
    moveLeg1();
    delay(50);
    moveLeg4();
    delay(50);
}
if (l4status == HIGH) {
    backLeg2();
    backLeg3();
}

```

2.29 pav. Judėjimo į priekį algoritmas

Vienos kojos kodas, vienam žingsniui atlikti. Jei sąlyga tenkinama, atliekamas tam tikro variklio pasukimas užduotu žingsniu. Kode naudojami *i1L1*, *i2L1*... skaitikliai (jų veikimo principas, kiekvieno ciklo metu pridama vertė lygi vienetui ($i=i+1$), tokiu būdu variklis sukasi po vieną laipsnį), skirti užduoti norimam variklio pasisukimo žingsniui. Atlikus vieną pilną žingsnį (kojos pakėlimas, pasukimas bei nuleidimas), skaitikliai nunulinami. Kodo fragmentas patiektas žemiau (2.30 pav.).

```

void moveLeg1() {
    //1 Kojos pakylimas
    if (i1L1 <= 10) {
        S2.write(60 + i1L1 * 2);
        i1L1++;
    }
    //1 Kojos pasukimas
    if (i2L1 <= 30) {
        S4.write(60 - i2L1);
        i2L1++;
    }
    //1 Kojos nuleidimas
    if (i2L1 > 20 & i3L1 <= 10) {
        S2.write(80 - i3L1 * 2);
        i3L1++;
    }
    //Counter reset
    if (i3L1 >= 10) {
        i1L1 = 0;
        i2L1 = 0;
        i3L1 = 0;
        i4L1 = 0;
        i5L1 = 0;
        llstatus = LOW;
    }
}

```

2.30 pav. Kodas vienos kojos žingsniui atlikti

Jei tenkinama sąlyga, tada vykdomas kojos grąžinimo į pradinę poziciją kodas (2.31 pav.).

```

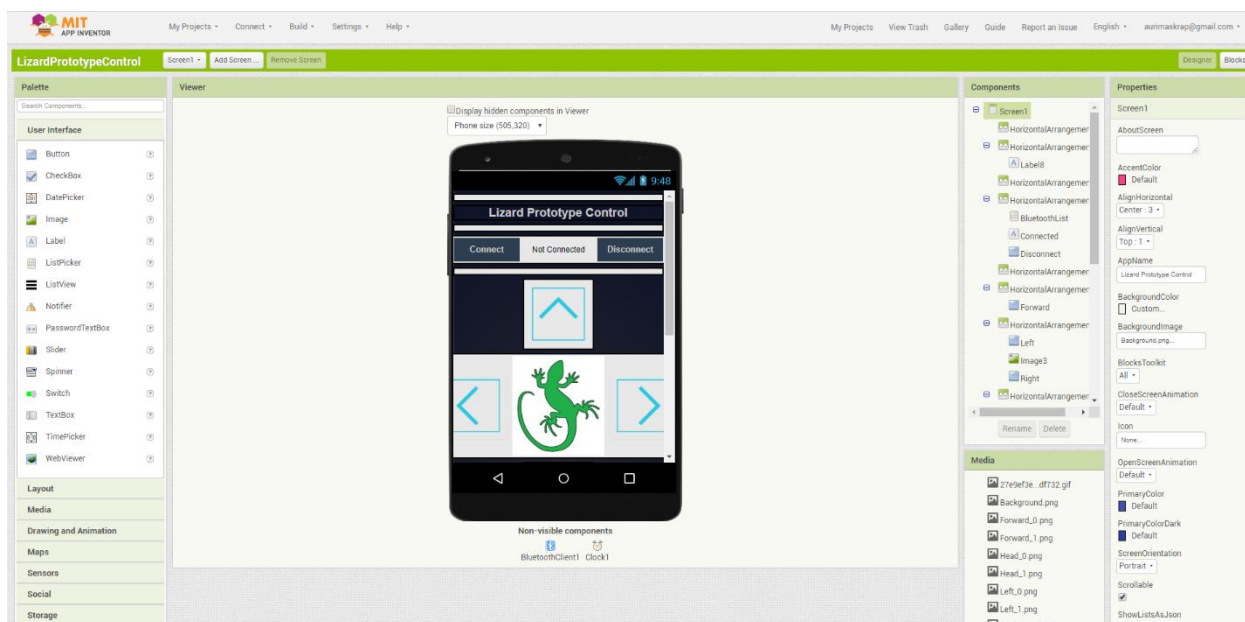
void backLeg1() {
    //1 Kojos grazinimas i pradine pozicija
    if (i2L1 <= 30 & l2status == HIGH ) {
        S4.write(30 + i4L1);
        i4L1++;
    }
    //Counter reset
    if (i4L1 >= 30) {
        i1L1 = 0;
        i2L1 = 0;
        i3L1 = 0;
        i4L1 = 0;
        i5L1 = 0;
        llstatus = LOW;
    }
}

```

2.31 pav. Kodas kojos grąžinimui

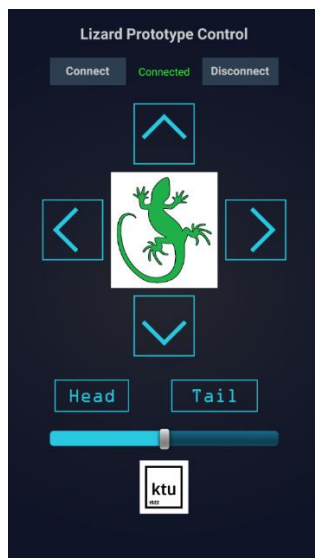
Kadangi visos keturios kojos veikia identišškai, jų veikimo kodai nebus aiškinami.

Norint prototipą valdyti išmaniuoju telefonu, reikia sukurti programėlę (app), tam puikiai tinka nemokama internetinė programa *MIT app inventor*, ji pasiūlo puikias galimybes kurti programėles realiu laiku (yra galimybė naudoti emuliatorių, USB jungtį arba matyti realų vaizdą savo išmaniajame telefone, pasitelkus *AI companion* programėlę). Žemiau pavaizduotas *MIT app inventor* kūrimo langas (2.32 pav.).



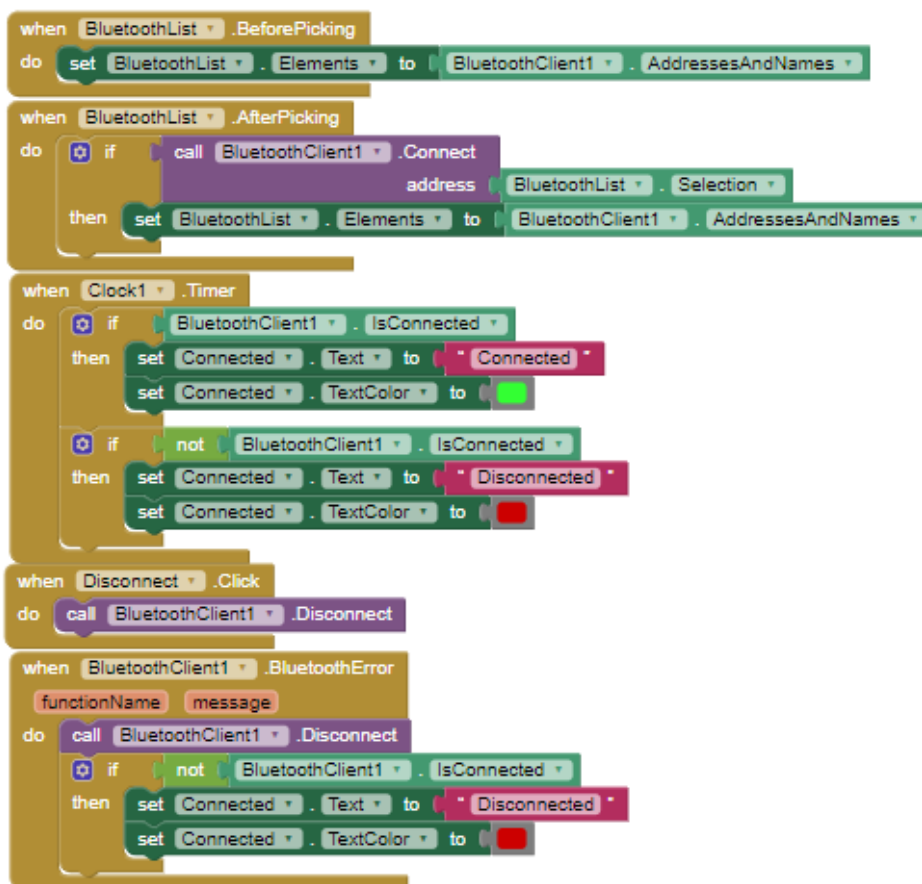
2.32 pav. *MIT app inventor* kūrimo langas

Pradedant kurti norimą programėlę, pasirenkami reikiami parametrai (telefono ekrano dydis, fonas ir t.t.), toliau sudėliojamas norimas dizainas. Driežo prototipo valdymo programėlės vizualizacija pateikta žemiau (2.33 pav.).



2.33 pav. Driežo prototipo valdymo vizualizacija

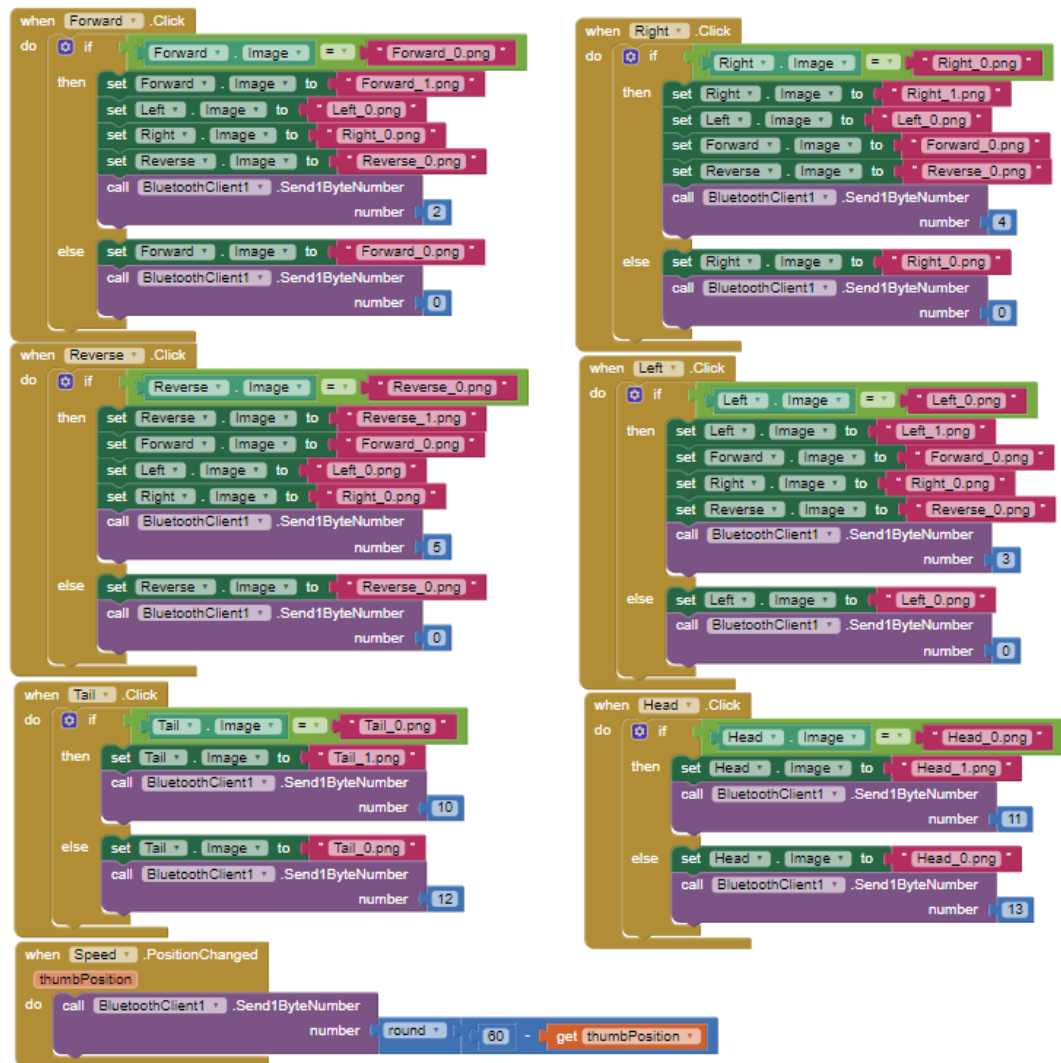
Padarius vizualizaciją mygtukams suteikiamos įvairios funkcijos. Mygtukų programavimas ganėtinai paprastas, kadangi naudojamos blokinio stiliaus funkcijos.



2.34 pav. Prisijungimo mygtukų blokinė schema

Šiame paveikslėlyje (2.34 pav.) pavaizduota funkcija, skirta išmaniojo telefono komunikacijai *Bluetooth* ryšiu su *Arduino* mikrovaldikliu. Veikimo principas, kai programėlėje paspaudžiamas mygtukas *Connect*, ekrane atsiranda sąrašas su visais randamais *Bluetooth* įrenginiais, pasirinkus norimą įrenginį, užmezgamas *Bluetooth* ryšys. Jei prisijungimas sėkmingas, tekstas esantis ant šio mygtuko pasikeičia į *Connected*, o spalva į žalią, priešingu atveju tekstas į *Disconnected* bei spalva į raudoną. Paspaudus mygtuką *Disconnect* nutraukiama *Bluetooth* komunikacija, užrašas *Connected* pasikeičia į *Disconnected*, spalva į raudoną.

Toliau suteikiamos funkcijos prototipo valdymo mygtukams (*Forward* - į priekį, *Reverse* - atgal, *Right* - į dešinę, *Left* - į kairę, *Tail* - uodega, *Head* - galva).



2.35 pav. Funkcijų suteikimo blokinė schema

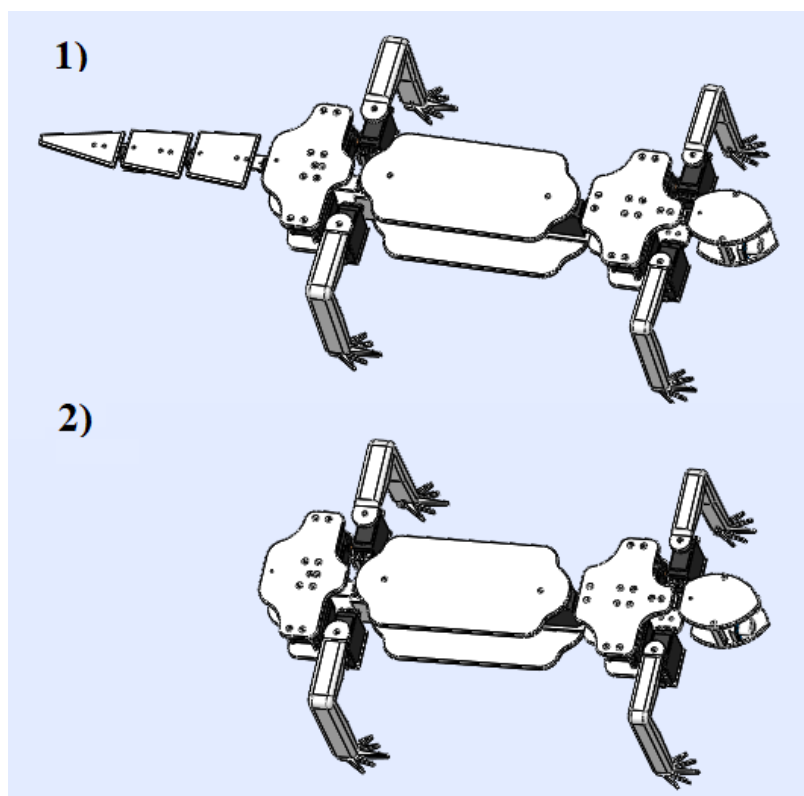
Visi mygtukai veikia tuo pačiu principu, kai nuspaudžiamas mygtukas, pasikeičia jo spalva bet visų kitų mygtukų spalva išlaikoma nepakitus, taip pat į *Arduino* mikrovaldiklį siunčiamas tam tikras bito numeris (*Forward* - 2, *Reverse* - 5, *Right* - 4, *Left* - 3, *Tail* - 10, *Head* - 11) priešingu atveju siunčiamas "0" (*Tail* - 12, *Head* - 13). Šios bitų numerių vertės naudojamos *Arduino* kode, judesiams atlikti. Esant vienam aktyviam mygtukui, kito mygtuko aktyvavimas pakeičia jo būseną į neaktyvią (toku būdu prototipas negali eiti pirmyn bei atgal vienu metu). Blokinė schema pateikta aukščiau (2.35 pav.).

3. Eksperimentinė dalis

Šioje dalyje apibendrinami eksperimentinių tyrimų rezultatai, su driežo roboto *SolidWorks* modeliu bei su driežo prototipo robotu. Buvo planuojama atlikti pagaminto roboto prototipo tyrimus (tokius pačius kaip ir su *SolidWorks* modeliu, kad būtų galima palyginti gautus rezultatus) KTU Mechatronikos insitute, pasitelkiant modernią įrangą, tačiau dėl pandemijos (karantino) to atlikti nepavyko. Todėl eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami namų sąlygomis.

3.1. Eksperimentinis tyrimas su driežo roboto *SolidWorks* modeliu

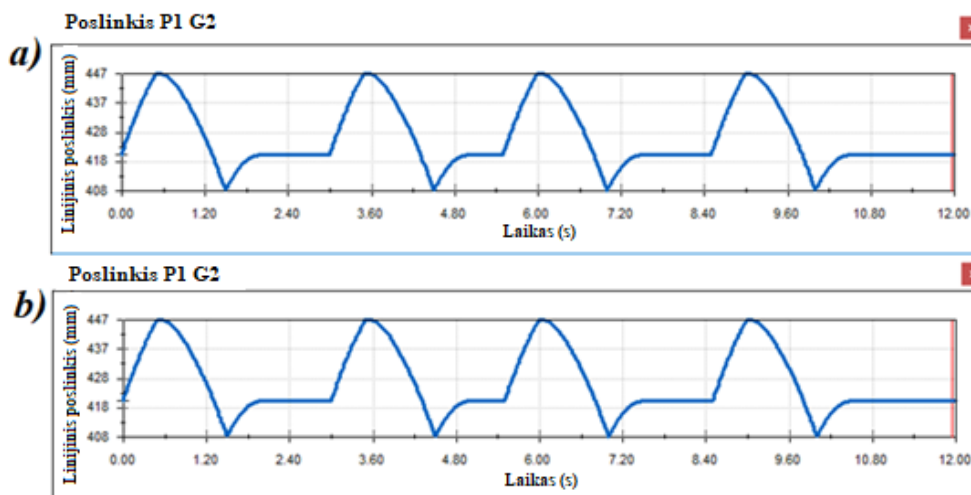
Šioje dalyje apibendrinami driežo roboto modelio eksperimentinių tyrimų rezultatai. Eksperimentams atlikti pasitelkta *SolidWorks* programa, judesio analizės įskiepis (*motion analysis add-in*). Taikant šią programą buvo atlikti įvairūs eksperimentai (kojų poslinkio, masės centro poslinkio, greičio, reakcijos jėgos į paviršių, kinetinės energijos). Objektas, šiuo atveju driežo roboto modelis, buvo tiriamas dviem skirtingais atvejais: su uodega ir be jos.



3.1 pav. Driežo modeliai 1) su uodega 2) be uodegos

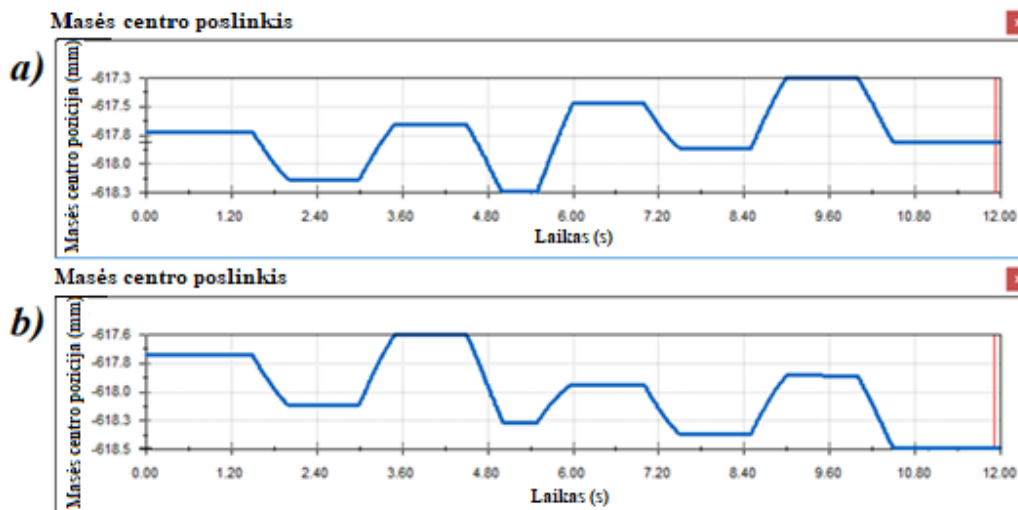
Eksperimento eiga: pirmas modelis (3.1 pav. 1) patalpinamas *SolidWorks* aplinkoje, nustatomos pradinės kojų pozicijos, aprašomi kontaktai tarp modelio ir paviršiaus (kuriuo jis juda), varikliams suteikiamas sukimo momentas. Toliau sukuriamas, įvykiais paremtas (*events based motion*) judėjimo algoritmas, skirtas modelio judesiams atlikti. Atlikus visus pasiruošimo darbus paleidžiamas skaičiavimo procesas, galiausiai stebimi gauti rezultatai, grafikų pavidalu. Tas pats procesas atliekamas ir su antruoju (3.1 pav. 2) driežo roboto modeliu.

Taigi atlikus skaičiavimus, gauti rezultatai, pavaizduoti žemiau pateiktuose grafikuose. Šiame paveikslėlyje (3.2 pav.) pavaizduoti driežo įstrižinių galūnių poslinkiai: kreivės kylimai vaizduoja galūnių kylimą, kreivės nuolydis vaizduoja galūnių nusileidimą, tiesi linija galūnių kontaktą su paviršiumi. Kaip matoma iš grafikų (3.2 pav. a), b), uodegos praradimas neturi jokios įtakos šiam procesui.



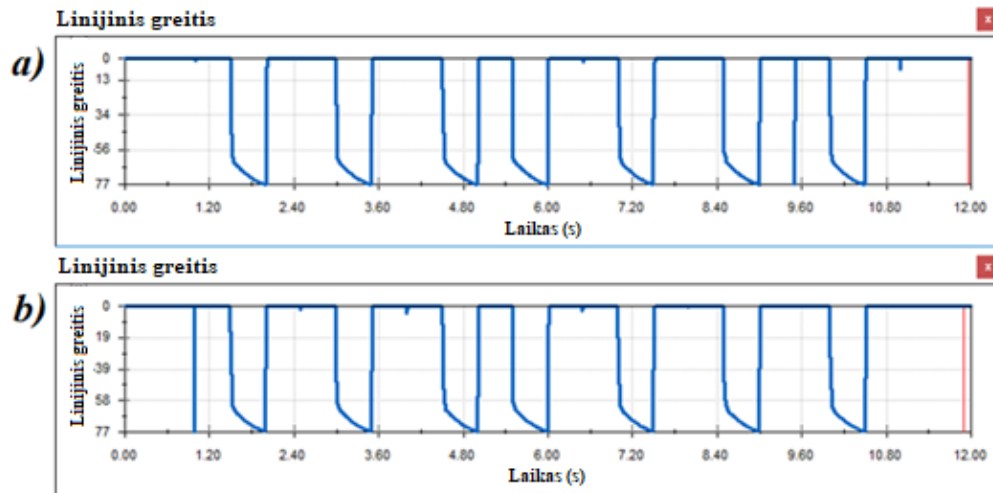
3.2 pav. Įstrižinių galūnių poslinkiai a) su uodega b) be uodegos

Taip pat buvo atliekamas modelio masės centro poslinkio eksperimentas, abiem atvejais (su uodega ir be jos). Šio eksperimento rezultatai pavaizduoti žemiau esančiame paveikslėlyje (3.3 pav.). Kreivės kylimai bei nuolydžiai vaizduoja masės centro pasislinkimą judėjimo metu. Kaip matome masės centras pasislenka į vedančiosios (priekinė kairė arba dešinė) kojos pusę. Horizontalios ištiesinės linijos vaizduoja modelio ramybės būseną (galūnių judėjimą oru). Antruoju atveju (3.3 pav. b)) pastebima šiek tiek kitokia kreivė, kadangi pasikeičia modelio masė (dėl uodegos netekimo), pakinta ir masės centro būvimo vieta, tačiau pastebima ta pati tendencija, kaip ir pirmuoju atveju.



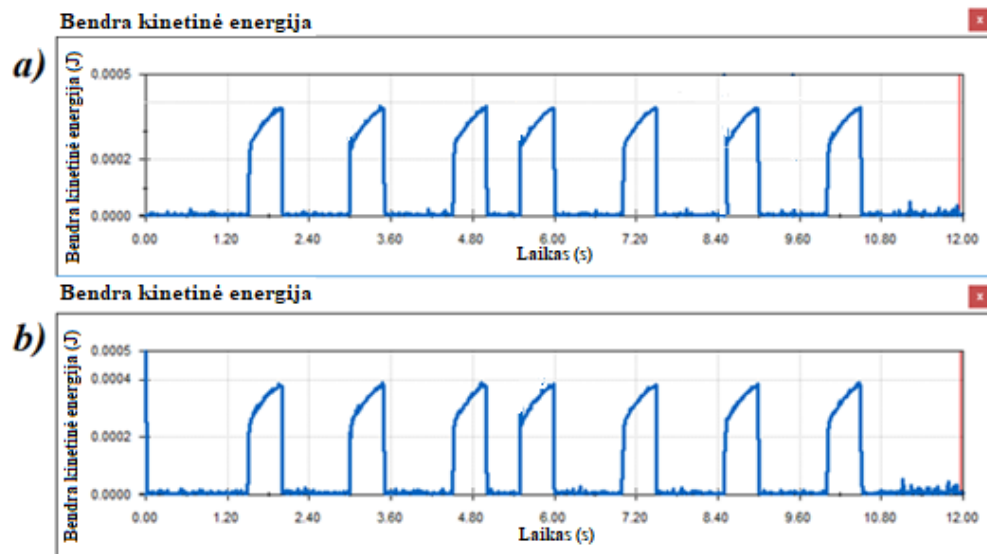
3.3 pav. Masės centro poslinkis a) su uodega b) be uodegos

Toliau buvo atliktas modelio judėjimo greičio eksperimentas, jo rezultatai pateikti žemiau esančiame paveikslėlyje (3.4 pav.). Modelio judėjimo metu vidutinis greitis buvo 72mm/s abiem atvejais. Per 12 sekundžių įveiktas atstumas, su uodega 249,32mm, be uodegos 249,16mm. Modelio judėjimą atlieka varikliai, masės sumažėjimas judėjimo greičiui įtakos nepadarė (labai nežymus skirtumas 0,16mm). Kadangi, priešingai negu gyvas organizmas, modelis nejaučia skausmo ar nuovargio, atsiradusio dėl uodegos netekimo (*SolidWorks* negeba įvertinti šio aspekto).



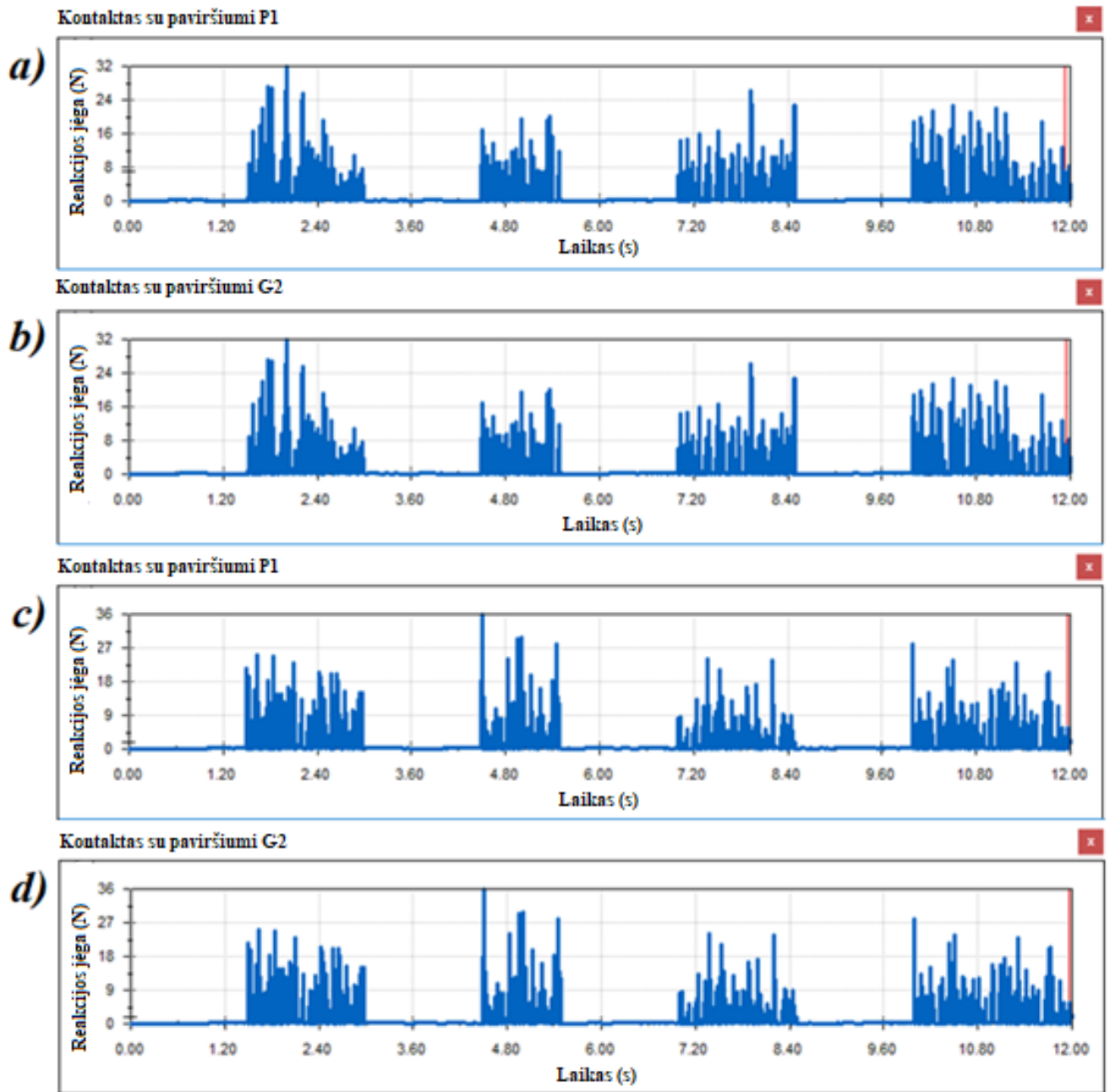
3.4 pav. Modelio linijinis greitis a) su uodega b) be uodegos

Taip pat buvo atliktas modelio judėjimo metu generuojamos kinetinės energijos eksperimentas, jo rezultatai pateikti žemiau (3.5 pav.). Iš grafikų matyti, kad maksimali generuojama kinetinė energija yra $\sim 400\mu\text{J}$, kai tuo tarpu literatūrinės analizės dalyje tirto objekto $20\mu\text{J}$, taip yra todėl, kad *SolidWorks* modelio masė 1431,41g, o literatūrinės analizės dalyje tirto objekto masė 70g, taigi skirtumas tarp objektų masių ~ 20 kartų. Dėl uodegos netekimo kinetinė energija turėtų sumažėti, bet iš grafiko (3.5 pav. b)) ganėtinai sunku pasakyti koks tai sumažėjimas (uodegos masė 94,44g).



3.5 pav. Generuojama kinetinė energija a) su uodega b) be uodegos

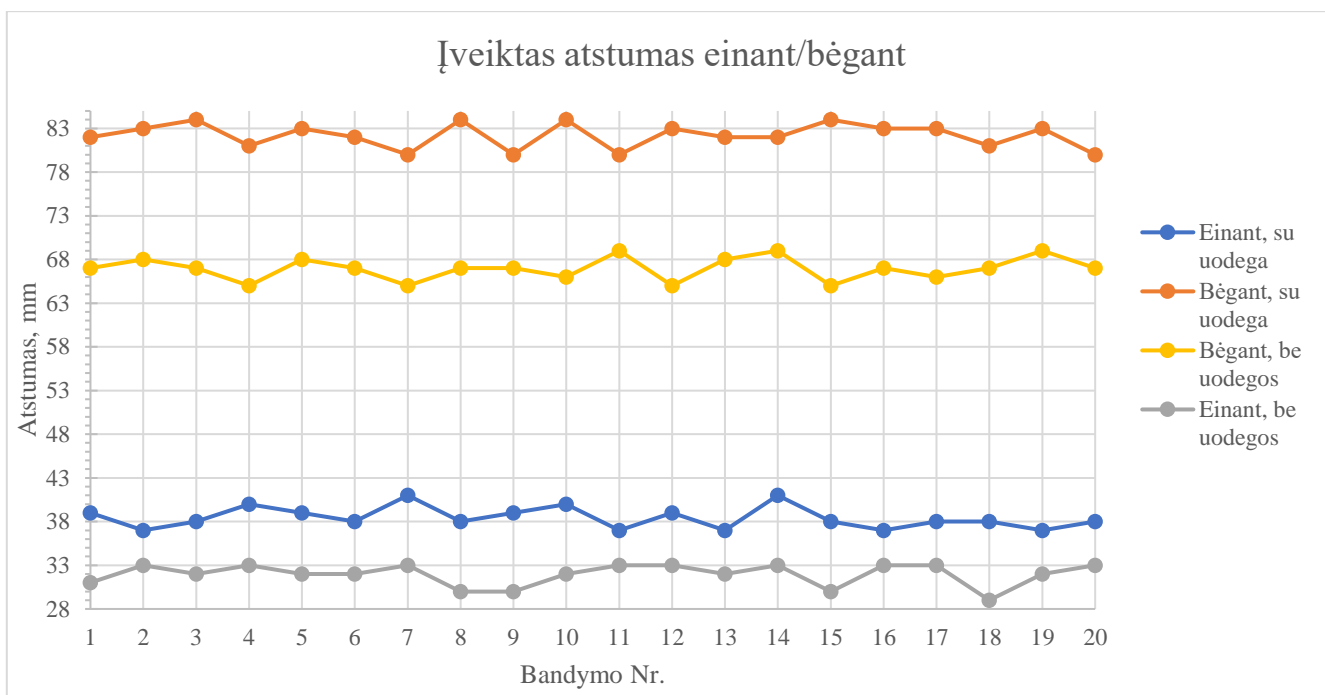
Žemiau esančiame paveikslėlyje (3.6 pav.) pavaizduoti modelyje generuojamų reakcijos jėgų eksperimento rezultatai. Grafikai *a*) ir *b*) vaizduoja rezultatus gautus pirmuoju atveju (su uodega), o grafikai *c*) ir *d*) antruoju atveju (be uodegos). Kaip matoma iš rezultatų, įstrižinės kojos vienodomis jėgomis veikia kontakto paviršių, tiek pirmuoju, tiek antruoju atveju. Tačiau antruoju atveju pastebimos mažesnės jėgos, nes dėl uodegos netekimo modelio masė mažesnė.



3.6 pav. Reakcijos jėgos į paviršių a),b) su uodega c),d) be uodegos

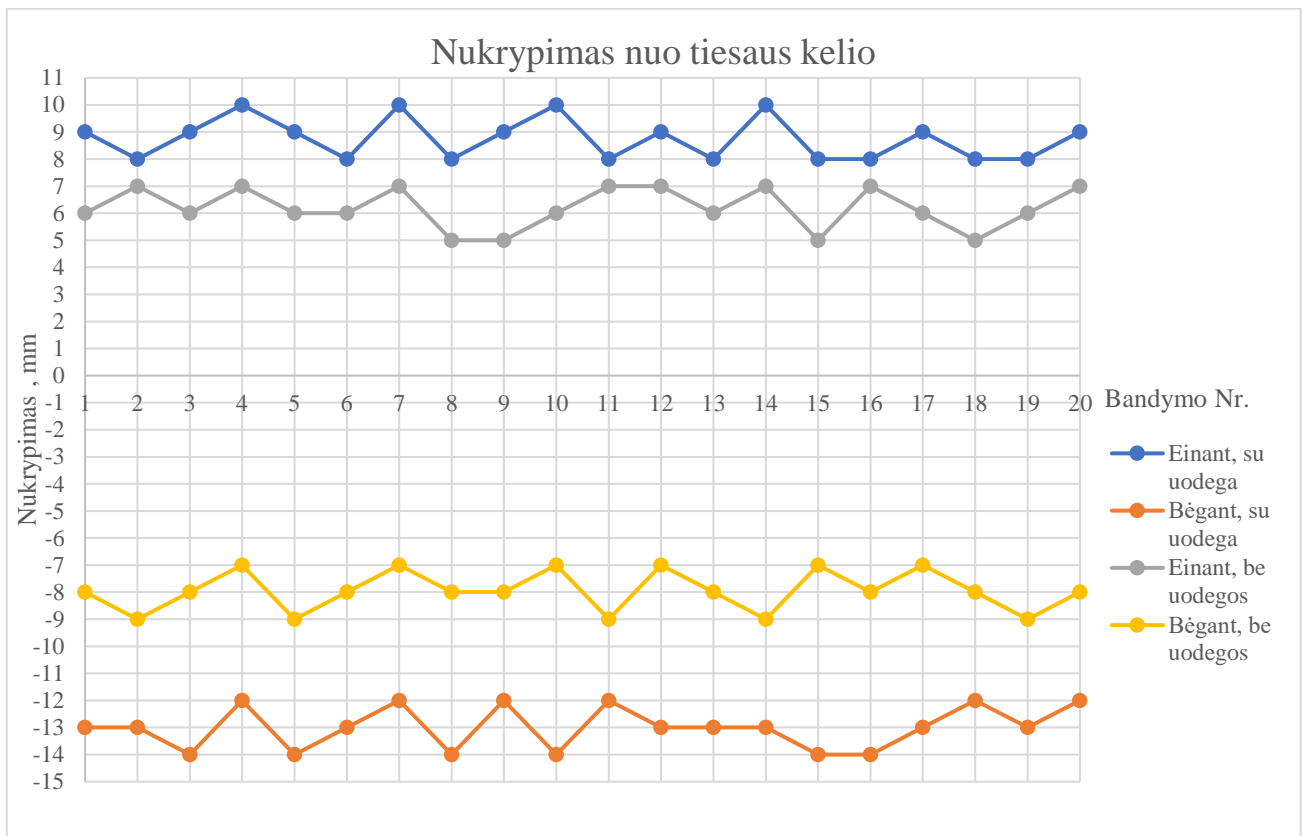
3.2. Eksperimentinis tyrimas su driežo roboto prototipu

Šioje dalyje apibendrinami driežo roboto prototipo eksperimentinių tyrimų rezultatai. Eksperimentams atlikti pasitelktas pagamintas roboto prototipas bei primityvi matavimo įranga (liniuotė, laikmatis). Objektas buvo tiriamas dviem skirtingais atvejais: su uodega ir be jos. Tyrimo tikslas išsiaiškinti, kaip skirtingas greitis bei uodegos netekimas įtakoja roboto prototipo įveiktą kelią bei poslinkį (nukrypimą nuo tiesaus kelio) per apibrėžtą laiko tarpą (12 sekundžių). Buvo atliekama 20 bandymų, duomenys pateikti prieduose (1 priedas), rezultatai vaizduojami žemiau esančiose grafikuose (3.7 pav. , 3.8 pav.).



3.7 pav. Įveiktas atstumas einant/bėgant

Kaip matoma iš grafiko (3.7 pav.) kiekvieno bandymo metu gauti šiek tiek skirtingi rezultatai: vidutinis prototipo su uodega nueitas atstumas 38,45mm, o nubėgtas vidutinis atstumas 82,2mm; vidutinis prototipo be uodegos nueitas atstumas 31,95mm, o nubėgtas atstumas 66,95mm. Kiekvienu bandymu gauti skirtingi rezultatai, nes pastatant roboto prototipą į pradinę poziciją nepavyksta išgauti identiškų sąlygų (pasikeičia trintis, bei sąlyčio paviršius). Nueitas kelias be uodegos yra trumpesnis 6,5mm lyginant su nueitu keliu su uodega, kas sudaro 2,5%. Nubėgtas kelias be uodegos yra trumpesnis 15,25mm lyginant su nubėgtu keliu su uodega, kas sudaro 12,5%. Uodegos netekimas didesnę įtaką daro bėgimo metu įveiktam atstumui.



3.8 pav. Nukrypimas nuo tiesaus kelio

Kaip matoma iš grafiko (3.8 pav.), prototipui judant skirtingais greičiais (einant, bėgant) gaunami nukrypimai į skirtingas puses, einant - į dešinę, bėgant - į kairę. Vidutinis nukrypimas su uodega gautas didesnis negu be jos: einant - 8,75mm, bėgant - 13mm (su uodega); bei einant - 6,2mm ir bėgant - 7,95mm (be uodegos). Einant nukrypimas nuo trajektorijos yra 8,75mm (su uodega) ir 6,2mm (be uodegos), kas sudaro 3,4% (su uodega) ir 2% (be uodegos). Bėgant nukrypimas nuo trajektorijos yra 13mm (su uodega) ir 7,95mm (be uodegos), kas sudaro 10,7% (su uodega) ir 5,3% (be uodegos). Uodegos netekimas didesnę įtaką daro bėgimo metu atsirandančiam nukrypimui.

Taigi iš rezultatų galima teigti, kad dėl uodegos netekimo įveikiamas trumpesnis atstumas, nes dėl sumažėjusios masės, galūnes veikia mažesnės sunkio jėgos, todėl sumažėja trintis tarp pėdų ir paviršiaus. Taip pat dėl sumažėjusios masės, pasikeičia masės centro buvimo vieta, todėl roboto prototipas krypta į priešingą pusę (į kairę).

Išvados ir rezultatai

1. Ištyrus driežo judėjimą keliais skirtingais būdais: driežui einant, bėgant bei praradus uodegą, kiekvienu atveju pastebimas kitoks judėjimo algoritmas bei generuojamos skirtingos jėgos.
2. Apžvelgti tinkamiausi komponentai roboto prototipo gamybai: mechaninei daliai – 3D spausdinimo technologija; elektronei daliai – *Arduino* mikrovaldiklis, servo varikliai; valdymo daliai – *Arduino IDE* programinė įranga.
3. Suprojektuota roboto prototipo konstrukcija, du modeliai: su uodega; be uodegos. Ištirta roboto prototipo konstrukcija BEM bei įvertinti gauti rezultatai.
4. Parinkti komponentai prototipo gamybai: PLA polimeras, *Arduino Mega2560* mikrovaldiklis, *HC-05 Bluetooth* modulis, *MG996R* ir *SG90* servo varikliai, *HC-SR04* ultragarsinis atstumo jutiklis, *DC 12-5V* srovės keitiklis bei *Li-Po 11.1V* maitinimo šaltinis.
5. Išmokta dirbti su roboto prototipo programine įranga *Arduino IDE*, *MIT App Inventor* bei parašytas funkcionuojantis kodas.
6. Pagamintas veikiantis driežo roboto prototipas.
7. Eksperimentiškai ištirtas roboto prototipo modelis, dviem atvejais (su uodega ir be jos). Gauta, kad uodegos netekimas nedaro įtakos įstrižinių galūnių poslinkiams bei modelio judėjimo greičiui, tačiau daro įtaką masės centro poslinkiui (masės centras pasislenka į vedančiosios kojos pusę), generuojamai kinetinei energijai (maksimali generuojama kinetinė energija yra $\sim 400\mu\text{J}$) bei generuojamoms reakcijos jėgoms į paviršių (įstrižinės kojos vienodomis jėgomis veikia kontakto paviršių).
8. Eksperimentiškai ištirtas roboto prototipas, gauta, kad praradus uodegą įveikiamas trumpesnis atstumas bei padidėja nukrypimas nuo tiesaus kelio, dėl sumažėjusios sunkio jėgos bei pasikeitusios masės centro pozicijos. Nueitas kelias be uodegos yra trumpesnis 6,5mm lyginant su nueitu keliu su uodega, kas sudaro 2,5%. Nubėgtas kelias be uodegos yra trumpesnis 15,25mm lyginant su nubėgtu keliu su uodega, kas sudaro 12,5%. Uodegos netekimas didesnę įtaką daro bėgimo metu įveiktam atstumui. Einant nukrypimas nuo trajektorijos yra 8,75mm (su uodega) ir 6,2mm (be uodegos), kas sudaro 3,4% (su uodega) ir 2% (be uodegos). Bėgant nukrypimas nuo trajektorijos yra 13mm (su uodega) ir 7,95mm (be uodegos), kas sudaro 10,7% (su uodega) ir 5,3% (be uodegos). Uodegos netekimas didesnę įtaką daro bėgimo metu atsirandančiam nukrypimui.

Literatūros sąrašas

1. Michael H. Dickinson, Claire T. Farley, Robert J. Full, M.A.R. Koehl, Rodger Kram, Steven Lehman. *How Animals Move: An Integrative View*. Department of Integrative Biology, University of California, Berkeley, CA 94720, USA, 2000 [Žiūrėta: 2019-04-25] Prieiga per: <https://science.sciencemag.org/content/288/5463/100>
2. C.T.Farley, J.Glasheen, T.A.McMahon. *Running springs: speed and animal size*. Museum of Comparative zoology, Harvard University, Cambridge, 1993 [Žiūrėta:2019-04-26] Prieiga per: http://jeb.biologists.org/content/185/1/71?ijkey=23cad0889fdbde6efa6cd508304613ac9ab43785&keytype2=tf_ipsecsha
3. L.H.Ting, R.Blickhan, R.J.Full. *Dynamic and static stability in hexapedal runners*. Department of Integrative Biology, University of California at Berkeley, 1994 [Žiūrėta: 2019-04-26] Prieiga per: http://jeb.biologists.org/content/197/1/251?ijkey=c812f529b291dac97f12b81a29dcab4d2ab38572&keytype2=tf_ipsecsha
4. J.D.Altringham, C.S.Wardle, C.I.Smith. *Myotomal muscle function at different locations in body of a swimming fish*. Journal of Experimental Biology, 1993 [Žiūrėta: 2019-04-27] Prieiga per: http://jeb.biologists.org/content/182/1/191?ijkey=b4a299d6b379fbeb650cc074cd7e81ad43410ad&keytype2=tf_ipsecsha
5. Claire T. Farley, T.Christine Ko. *Mechanics of locomotion in lizards*. Department of Integrative Biology, University of California, Berkeley, CA 94720-3140, USA, 1997 [Žiūrėta: 2019-05-10] Prieiga per: <https://jeb.biologists.org/content/jexbio/200/16/2177.full.pdf>
6. Braid Girard. *Skilton Skink – Plestiodon skiltonianus*. [Žiūrėta: 2019-05-11] Prieiga per: <http://www.californiaherps.com/lizards/pages/p.s.skiltonianus.html>
7. HILDEBRAND, M. L. (1985). *Walking and running*. In *Functional Vertebrate Morphology* (ed. M. L. Hildebrand, D. M. Bramble, K. F. Liem and D. B. Wake), pp. 38–57. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press. [Žiūrėta: 2019-05-15]
8. HEGLUND, N. C., CAVAGNA, G. A. AND TAYLOR, C. R. (1982). *Energetics and mechanics of terrestrial locomotion. III. Energy changes of the centre of mass as a function of speed and body size in birds and mammals*. J. exp. Biol. 79, 41–56. [Žiūrėta: 2019-05-17]
9. CAVAGNA, G. A., THYS, H. AND ZAMBONI, A. (1976). *The sources of external work in level walking and running*. J. Physiol. Lond. 262, 639–657. [Žiūrėta: 2019-05-19]
10. J.Martin, R.A. Avery. *Effects of tail loss on the movement patterns of the lizard*. British Ecological Society, 2002 [Žiūrėta: 2019-05-20] Prieiga per: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2435.1998.00247.x>
11. Robert Bogue. *3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?* Emerald Group. 2014 [Žiūrėta: 2019-05-25] Prieiga per: https://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/AA-06-2013-055#_i7
12. Tuan D. Ngo. *Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges*. Department of Infrastructure Engineering, The University of

- Melbourne, Victoria 3010, Australia. [Žiūrėta: 2020-01-18] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836817342944>
13. *What Is The Difference between DC Motor, Servo Motor And Stepper Motor?* [Žiūrėta: 2019-06-10] Prieiga per: <https://www.elprocus.com/difference-dc-motor-servo-motor-stepper-motor/>
 14. *Popular Servos.* [Žiūrėta: 2019-06-10] Prieiga per: <https://servodatabase.com/>
 15. Ajay V Deshmukh. *Microcontrollers Theory and Applications.* Instrumentation Engineering Department Vishwakarma Institute of Technology Pune. 2007 [Žiūrėta: 2019-06-02] Prieiga per: https://books.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=5PDx2Q9Ea_YC&oi=fnd&pg=PR13&dq=microcontrollers&ots=uDsoP8Qphs&sig=EOM_-gbwRS1EFZJ_e6C1LRar8rY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
 16. *Compare board specs.* <https://www.arduino.cc/en/products.compare>
 17. *What is Arduino?* [Žiūrėta: 2019-06-10] Prieiga per: <http://web.csulb.edu/~hill/ee400d/Technical%20Training%20Series/02%20Intro%20to%20Arduino.pdf>
 18. *PLA vs. ABS: What's the difference?* [Žiūrėta: 2020-01-15] Prieiga per: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference/>
 19. BARAUSKAS, Rimantas. *Baigtinių elementų metodas Iš Skaitiniai inžinerijos metodai* [Interaktyvus] Kaunas: Vitae Litera 2007 [Žiūrėta: 2020 01 14] ISBN: 9789955686408 Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/357/skaitiniai-inzinerijos-metodai/>
 20. *MG996R High Torque.* [Žiūrėta: 2020-01-15] Prieiga per: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf
 21. *SG90 Servo motor.* [Žiūrėta: 2020-01-15] Prieiga per: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf
 22. *Arduino Mega 2560 Board* [Žiūrėta: 2020-01-15] Prieiga per: <https://www.elprocus.com/arduino-mega-2560-board/>
 23. *HC-05-Bluetooth Module* [Žiūrėta: 2020-01-15] Prieiga per: <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>
 24. *HC-SR04P Ultrasonic Module* [Žiūrėta: 2020-01-15] Prieiga per: <https://handsontec.com/index.php/product/hc-sr04-ultrasonic-ranging-module/>
 25. *DC-DC Converter* [Žiūrėta: 2020-01-15] Prieiga per: https://www.nwpparsi.com/index.php?main_page=product_info&products_id=130739
 26. *Lithium-ion Polymer Battery Specification* [Žiūrėta: 2020-01-15] Prieiga per: <https://www.olimex.com/Products/Power/BATTERY-LIPO3000mAh/resources/JA0545135P-Spec-Data-Sheet-3.7V-3000mAh--120312.pdf>
 27. *Arduino* [Žiūrėta: 2020-03-01] Prieiga per: <https://www.arduino.cc/en/main/Software>
 28. *MIT App Inventor* [Žiūrėta: 2020-03-01] Prieiga per: <https://appinventor.mit.edu/>
 29. *SolidWorks* [Žiūrėta: 2019-04-01] Prieiga per: <https://www.solidworks.com/>

Priedai

1 priedas. Eksperimentinio tyrimo rezultatai

Bandymo Nr.	Su uodega (1 atvejis)				Be uodegos (2 atvejis)			
	Einant		Bėgant		Einant		Bėgant	
	Atstumas, mm	Nukrypimas, mm	Atstumas, mm	Nukrypimas, mm	Atstumas, mm	Nukrypimas, mm	Atstumas, mm	Nukrypimas, mm
1	39	9, D	82	13, K	31	6, D	67	8, K
2	37	8, D	83	13, K	33	7, D	68	9, K
3	38	9, D	84	14, K	32	6, D	67	8, K
4	40	10, D	81	12, K	33	7, D	65	7, K
5	39	9, D	83	14, K	32	6, D	68	9, K
6	38	8, D	82	13, K	32	6, D	67	8, K
7	41	10, D	80	12, K	33	7, D	65	7, K
8	38	8, D	84	14, K	30	5, D	67	8, K
9	39	9, D	80	12, K	30	5, D	67	8, K
10	40	10, D	84	14, K	32	6, D	66	7, K
11	37	8, D	80	12, K	33	7, D	69	9, K
12	39	9, D	83	13, K	33	7, D	65	7, K
13	37	8, D	82	13, K	32	6, D	68	8, K
14	41	10, D	82	13, K	33	7, D	69	9, K
15	38	8, D	84	14, K	30	5, D	65	7, K
16	37	8, D	83	14, K	33	7, D	67	8, K
17	38	9, D	83	13, K	33	6, D	66	7, K
18	38	8, D	81	12, K	29	5, D	67	8, K
19	37	8, D	83	13, K	32	6, D	69	9, K
20	38	9, D	80	12, K	33	7, D	67	8, K

*Nukrypimas D- į dešinę, K- į kairę.

2 priedas. Varžtų suvestinė

Varžtų suvestinė

Varžtų klasifikacija	Kiekis, vnt.
ISO 7046 M4x12	46
ISO 7046 M3x16	14
ISO 7046 M3x8	5
ISO 7046 M2x5	8

Tolerancijų lentelė

Tolerancijos ISO 2768m (mm)	
0,5 – 3	±0,1
3 – 6	±0,1
6 – 30	±0,2
30 – 120	±0,3
120 – 400	±0,5
400 – 1000	±0,8
1000 – 2000	±1,2
2000 – 4000	±2,0

3 priedas. Valdymo programos kodas, *Arduino*

```
#include <Servo.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#define ledR 10
#define trigPin 9
#define echoPin 8

SoftwareSerial Bluetooth(7, 6);           //Arduino(RX, TX) - HC-05 (TX, RX) 7-P
6-G

//////////Servo varikliai\\\\\\\\\\\\\\

//Galva
Servo S1;
//Kaire Priekine koja
Servo S2;           //Petis
Servo S4;           //Alkune
//Desine Priekine koja
Servo S3;           //Petis
Servo S5;           //Alkune
//Pirmas slankstelis
Servo S6;
//Antras slankstelis
Servo S7;
//Kaire Galine koja
Servo S8;           //Petis
Servo S10;          //Alkune
//Desine Galine koja
Servo S9;           //Petis
Servo S11;          //Alkune
//Uodega
Servo S12;          //Pirmas narelis
Servo S13;          //Antras narelis
Servo S14;          //Trecias narelis
//Uodegos counteriai
int i0T1 = 0;
int i1T1 = 0;
int i2T1 = 0;
//Galvos counteriai
int i0H1 = 0;
int i1H1 = 0;
int i2H1 = 0;
int i3H1 = 0;
int i4H1 = 0;
int i5H1 = 0;
int i6H1 = 0;
//Kaires puses counteriai
int i1L1 = 0;
int i2L1 = 0;
int i3L1 = 0;
int i4L1 = 0;
int i5L1 = 0;
int i6L1 = 0;
int i1L3 = 0;
int i2L3 = 0;
int i3L3 = 0;
int i4L3 = 0;
int i5L3 = 0;
int i6L3 = 0;
//Desines puses counteriai
```

```

int i1L2 = 0;
int i2L2 = 0;
int i3L2 = 0;
int i4L2 = 0;
int i5L2 = 0;
int i6L2 = 0;
int i1L4 = 0;
int i2L4 = 0;
int i3L4 = 0;
int i4L4 = 0;
int i5L4 = 0;
int i6L4 = 0;
//Sukimo counteriai
int i1S1 = 0;
int i1S2 = 0;
//Status kintamieji
boolean l1status = HIGH;
boolean l2status = LOW;
boolean l3status = LOW;
boolean l4status = LOW;
boolean l5status = LOW;
boolean la1status = HIGH;
boolean la2status = LOW;
boolean la3status = LOW;
boolean la4status = LOW;
long duration;
float distance;
int dataIn;
int m = 0;
int h = 0;
int t = 0;
int speedV = 30;
int sensorValue = 0;

//Tikrinimo kintamasis
//Koju Judejimo kintamasis
//Galvos Judejimo kintamasis
//Uodegos Judejimo kintamasis
//Varikliu greitis
//Itamos pradine verte

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Bluetooth.begin(9600);
  Bluetooth.setTimeout(1);
  delay(20);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(ledR, OUTPUT);

  //Numatytas Baud rate HC-05 modulio

  //Nustato trigPin kaip output
  //Nustato echoPin kaip input

  ////Pin priskyrimas varikliams\\\\
  //Galva
  S1.attach(42, 600, 2400);
  //Kaire Priekine Koja
  S2.attach(50, 600, 2400);
  S4.attach(46, 600, 2400);
  //Desine Priekine Koja
  S3.attach(48, 600, 2400);
  S5.attach(44, 600, 2400);
  //Pirmas slankstelis
  S6.attach(52, 600, 2400);
  //Antras slankstelis
  S7.attach(39, 600, 2400);
  //Kaire Galine Koja
  S8.attach(47, 600, 2400);
  S10.attach(43, 600, 2400);
  //Desine Galine Koja

```

```

S9.attach(45, 600, 2400);
S11.attach(41, 600, 2400);
//Uodega
S12.attach(49, 600, 2400);
S13.attach(51, 600, 2400);
S14.attach(53, 600, 2400);
////Varikliu judejimas i pradines pozicijas\\
////Galva
S1.write(60);
////Kaire Priekine Koja
S2.write(60); //Petis
S4.write(60); //Alkune
////Desine Priekine Koja
S3.write(60); //Petis
S5.write(60); //Alkune
////Pirmas Slankstelis
S6.write(60);
////Antras Slankstelis
S7.write(60);

////Kaire Galine Koja
S8.write(50); //Petis
S10.write(60); //Alkune
////Desine Galine Koja
S9.write(60); //Petis
S11.write(60); //Alkune
////Uodega
S12.write(60); //Pirmas narelis
S13.write(60); //Antras narelis
S14.write(60); //Trecias narelis
delay(3000);
}

void loop() {
//Tikrinam ar ateina info is bluetooth
if (Bluetooth.available() > 0) {
dataIn = Bluetooth.read(); //Nuskaito info
//Tikrina ar paspaustas "Forward" mygtukas
if (dataIn == 2) {
m = 2;
}
//Tikrina ar paspasutas "Left" mygtukas
if (dataIn == 3) {
m = 3;
}
//Tikrinamas ar paspaustas "Right" mygtukas
if (dataIn == 4) {
m = 4;
}
//Tikrina ar paspaustas "Reverse" mygtukas
if (dataIn == 5) {
m = 5;
}
//Tikrina ar paspaustas "Tail" mygtukas
if (dataIn == 10) {
t = 10;
}
//Tikrina ar paspaustas "Head" mygtukas
if (dataIn == 11) {
h = 11;
}
}
}

```

```

//Greiciu reguliavimas
if (dataIn >= 15) {
    speedV = dataIn;
}
}

//Judejimas i prieki
if (m == 2 & l1status == HIGH ) {
    moveLeg1();
    delay(50);
    moveLeg4();
    delay(50);
}
if (l2status == HIGH) {
    moveLeg2();
    delay(50);
    moveLeg3();
    delay(50);
    backLeg1();
    backLeg4();
}
if (l3status == HIGH) {
    moveLeg1();
    delay(50);
    moveLeg4();
    delay(50);
}
if (l4status == HIGH) {
    backLeg2();
    backLeg3();
}

//Judejimas atgal
if (m == 5 & l1a1status == HIGH ) {
    moveLeg1R();
    delay(50);
}
if (l1a2status == HIGH) {
    moveLeg4R();
    delay(50);
}
if (l1a3status == HIGH) {
    moveLeg2R();
    delay(50);
}
if (l1a4status == HIGH) {
    moveLeg3R();
    delay(50);
}

//Judejimas i desine
if (m == 4) {
    turnR();
    delay(40);
}

//Judejimas i kaire
if (m == 3) {
    turnL();
    delay(40);
}

```

```

    }

//Galva "Head"
  if (m == 11) {
    head();
    delay(40);
  }

//Uodega "Tail"
  if (m == 10) {
    tail();
    delay(40);
  }

//Pradine uodegos pozicija
  if (dataIn == 12) {
    initialPosTail();
  }

//Pradine galvos pozicija
  if (dataIn == 13) {
    initialPosHead();
  }

//Pradine viso kūno pozicija
  if (dataIn == 0) {
    initialPosition();

    // ultra sonic sensor
    if (getDistance() <20) {
      Serial.println(distance, 2);
      delay(250);
    }
  }
  //
  //Baterijos lygio matavimas \\
  int sensorValue = analogRead(A1);
  float voltage = sensorValue * (5.00 / 1023.00) * 2.9; //keitimas is skaitomos 5V
  i tinkama 12V
  Serial.println(voltage);
  //Jei itampa zemiau 11V LED HIGH
  if (voltage < 11) {
    digitalWrite(ledR, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(ledR, LOW);
  }
} //VOID loop paabaiga

//Galvos judinimas
void head() {
  if (i0H1 <= 25) {
    s1.write(60 - i0H1);
    i0H1++;
  }
  if (i0H1 >= 25 & i1H1 <= 50) {
    s1.write(35 + i1H1);
    i1H1++;
  }
  if (i1H1 >= 50 & i2H1 <= 50) {

```

```

    s1.write(75 - i2H1);
    i2H1++;
}
if (i2H1 >= 50 & i3H1 <= 50) {
    s1.write(35 + i3H1);
    i3H1++;
}
if (i3H1 >= 50 & i4H1 <= 50) {
    s1.write(75 - i4H1);
    i4H1++;
}
if (i4H1 >= 50 & i5H1 <= 50) {
    s1.write(35 + i5H1);
    i5H1++;
}
if (i5H1 <= 50 & i6H1 <= 25) {
    s1.write(75 - i6H1);
    i6H1++;
}
}
}

//Uodegos judinimas
void tail() {
    if (i0T1 <= 25) {
        s12.write(60 - i0T1);
        i0T1++;
    }
    if (i0T1 >= 25 & i1T1 <= 30) {
        s13.write(60 + i1T1);
        i1T1++;
    }
    if (i1T1 >= 30 & i2T1 <= 30) {
        s14.write(60 - i2T1);
        i2T1++;
    }
    if (i2T1 > 30) {
        i0T1 = 0;
        i1T1 = 0;
        i2T1 = 0;
        delay(3000);
        s12.write(60);
        s13.write(60);
        s14.write(60);
    }
}

}

////koju judejimo i prieki algoritmas\\\\
//Koja 1

void moveLeg1() {
    //1 Kojos judejimas oru iš pradinės į galutinę poziciją
    //1 Kojos pakylimas
    if (i1L1 <= 10) {
        s2.write(60 + i1L1 * 2);
        i1L1++;
    }
    //1 Kojos pasukimas
    if (i2L1 <= 30) {
        s4.write(60 - i2L1);
        i2L1++;
    }
}

```

```

//1 Kojos nuleidimas
if (i2L1 > 20 & i3L1 <= 10) {
    s2.write(80 - i3L1 * 2);
    i3L1++;
}
//Counter reset
if (i3L1 >= 10) {
    i1L1 = 0;
    i2L1 = 0;
    i3L1 = 0;
    i4L1 = 0;
    i5L1 = 0;
    l1status = LOW;
}
}
void backLeg1() {
//1 Kojos grazinimas i pradine pozicija
if (i2L1 <= 30 & l2status == HIGH ) {
    s4.write(30 + i4L1);
    i4L1++;
}
//Counter reset
if (i4L1 >= 30) {
    i1L1 = 0;
    i2L1 = 0;
    i3L1 = 0;
    i4L1 = 0;
    i5L1 = 0;
    l1status = LOW;
}
}

//Koja 4
void moveLeg4() {
//4 Kojos judesys oru is pradines pozicijos i galutine
//4 Kojos pakylimas
if (i1L4 <= 10) {
    s9.write(60 - i1L4 * 2);
    i1L4++;
}
//4 Kojos pasukimas
if (i2L4 <= 30) {
    s11.write(60 + i2L4);
    i2L4++;
}
//4 Kojos nuleidimas
if (i2L4 > 20 & i3L4 <= 10) {
    s9.write(40 + i3L4 * 2);
    i3L4++;
}
//Counter reset
if (i3L4 >= 10) {
    i1L4 = 0;
    i2L4 = 0;
    i3L4 = 0;
    i4L4 = 0;
    i5L4 = 0;
    l1status = LOW;
    l2status = HIGH;
}
}

```

```

}
void backLeg4() {
  //4 Kojos grazinimas i pradine pozicija
  if (i2L4 <= 30 & l2status == HIGH) {
    s11.write(90 - i4L4);
    i4L4++;
  }
  //Counter reset
  if (i4L4 >= 30) {
    i1L4 = 0;
    i2L4 = 0;
    i3L4 = 0;
    i4L4 = 0;
    i5L4 = 0;
    l1status = LOW;
    l2status = LOW;
    l3status = HIGH;
  }
}

//Koja2

void moveLeg2() {
  //2 Kojos judesys oru is pradines i galutine pozicija
  //2 Kojos pakylimas
  if (i1L2 <= 10) {
    s3.write(60 - i1L2 * 2);
    i1L2++;
  }
  //2 Kojos pasukimas
  if (i2L2 <= 30) {
    s5.write(60 + i2L2);
    i2L2++;
  }
  //2 Kojos nuleidimas
  if (i2L2 > 20 & i3L2 <= 10) {
    s3.write(40 + i3L2 * 2);
    i3L2++;
  }
  //Counter reset
  if (i3L2 >= 10) {
    i1L2 = 0;
    i2L2 = 0;
    i3L2 = 0;
    i4L2 = 0;
    i5L2 = 0;
    l1status = LOW;
    l2status = LOW;
    l3status = LOW;
  }
}

void backLeg2() {
  //2 Kojos grazinimas i pradine pozicija
  if (i2L2 <= 30 & l4status == HIGH) {
    s5.write(90 - i4L2);
    i4L2++;
  }
  //Counter reset
  if (i4L2 >= 30) {
    i1L2 = 0;

```



```

        i2L2 = 0;
        i3L2 = 0;
        i4L2 = 0;
        i5L2 = 0;
        l1status = LOW;
        l2status = LOW;
        l3status = LOW;
    }
}

//Koja3

void moveLeg3() {
    //3 Kojos judesys oru is pradines pozicijos i galutine
    //3 Kojos pakylimas
    if (i1L3 <= 10) {
        s8.write(53 + i1L3 * 2);
        i1L3++;
    }
    //3 Kojos pasukimas
    if (i2L3 <= 30) {
        s10.write(60 - i2L3);
        i2L3++;
    }
    //3 Kojos nuleidimas
    if (i2L3 > 20 & i3L3 <= 10) {
        s8.write(63 - i3L3 * 2);
        i3L3++;
    }
    //Counter reset
    if (i3L3 >= 10) {
        i1L3 = 0;
        i2L3 = 0;
        i3L3 = 0;
        i4L3 = 0;
        i5L3 = 0;
        l1status = HIGH;
        l2status = LOW;
        l3status = LOW;
        l4status = HIGH;
    }
}

void backLeg3() {
    //3 Kojos grazinimas i pradine pozicija
    if (i2L3 <= 30 & l4status == HIGH) {
        s10.write(30 + i4L3);
        i4L3++;
    }
    //Counter reset
    if (i4L3 >= 30) {
        i1L3 = 0;
        i2L3 = 0;
        i3L3 = 0;
        i4L3 = 0;
        i5L3 = 0;
        l1status = HIGH;
        l2status = LOW;
        l3status = LOW;
        l4status = LOW;
    }
}
}

```

```

/////koju judejimo atgal algoritmas\\\\
//koja 1
void moveLeg1R() {
//1 Kojos judesys oru is pradines pozicijos i glautine
//1 Kojos pakylimas
if (i1L1 <= 10) {
    S2.write(60 + i1L1 * 2);
    i1L1++;
}
//1 Kojos pasukimas
if (i2L1 <= 30) {
    S4.write(60 + i2L1);
    i2L1++;
}
//1 Kojos nuleidimas
if (i2L1 > 20 & i3L1 <= 10) {
    S2.write(80 - i3L1 * 2);
    i3L1++;
}
//1 Kojos grazinimas i pradine pozicija
if (i2L1 >= 30) {
    S4.write(90 - i4L1);
    i4L1++;
}
//Counter reset
if (i4L1 >= 30) {
    i1L1 = 0;
    i2L1 = 0;
    i3L1 = 0;
    i4L1 = 0;
    i5L1 = 0;
    la2status = HIGH;
    la1status = LOW;
}
}

//koja 4
void moveLeg4R() {
//4 Kojos judesys oru is pradines pozicijos i galutine
//4 Kojos pakylimas
if (i1L4 <= 10) {
    S9.write(60 - i1L4 * 2);
    i1L4++;
}
//4 Kojos pasukimas
if (i2L4 <= 30) {
    S11.write(60 - i2L4);
    i2L4++;
}
//4 Kojos nuleidimas
if (i2L4 > 20 & i3L4 <= 10) {
    S9.write(40 + i3L4 * 2);
    i3L4++;
}
//4 Kojos grazinimas i pradine pozicija
if (i2L4 >= 30) {
    S11.write(30 + i4L4);
}
}

```

```

    i4L4++;
}
//Counter reset
if (i4L4 >= 30) {
    i1L4 = 0;
    i2L4 = 0;
    i3L4 = 0;
    i4L4 = 0;
    i5L4 = 0;
    la3status = HIGH;
    la1status = LOW;
    la2status = LOW;
}
}
//koja 2

void moveLeg2R() {
    //2 kojus judesys oru is pradines pozicijos i galutine
    //2 kojus pakylimas
    if (i1L2 <= 10) {
        S3.write(60 - i2L2 * 2);
        i1L2++;
    }
    //2 kojus pasukimas
    if (i2L2 <= 30) {
        S5.write(60 - i2L2);
        i2L2++;
    }
    //2 kojus nuleidimas
    if (i2L2 > 20 & i3L2 <= 10) {
        S3.write(40 + i3L2 * 2);
        i3L2++;
    }
    //2 kojus grazinimas ir pradine pozicija
    if (i2L2 >= 30) {
        S5.write(30 + i4L2);
        i4L2++;
    }
    //Counter reset
    if (i4L2 >= 30) {
        i1L1 = 0;
        i2L1 = 0;
        i3L1 = 0;
        i4L1 = 0;
        i5L1 = 0;
        la4status = HIGH;
        la1status = LOW;
        la2status = LOW;
        la3status = LOW;
    }
}
//koja 3

void moveLeg3R() {
    //3 kojus judesys oru is pradines pozicijos i glautine
    //3 kojus pakylimas
    if (i1L3 <= 10) {
        S8.write(60 + i1L3 * 2);
        i1L3++;
    }
}

```

```

//3 Kojos pasukimas
if (i2L3 <= 30) {
    s10.write(60 + i2L3);
    i2L3++;
}
//3 Kojos nuleidimas
if (i2L3 > 20 & i3L3 <= 10) {
    s8.write(80 - i3L3 * 2);
    i3L3++;
}
//3 Kojos grazinimas i pradine pozicija
if (i2L3 >= 30) {
    s10.write(90 - i4L3);
    i4L3++;
}
//Counter reset
if (i4L3 >= 30) {
    i1L3 = 0;
    i2L3 = 0;
    i3L3 = 0;
    i4L3 = 0;
    i5L3 = 0;
    la1status = HIGH;
    la2status = LOW;
    la3status = LOW;
    la4status = LOW;
}
}

//Posukis i desine
void turnR() {
    if (i1S1 <= 10) {
        s6.write(60 + i1S1 * 2);
        delay(50);
        s1.write(60 - i1S1 * 2);
        delay(50);
        i1S1++;
    }
    if (i1S1 > 10) {
        i1S1 = 0;
        delay(3000);
    }
}

//Posukis i kaire
void turnL() {
    if (i1S1 <= 10) {
        s6.write(60 - i1S1 * 2);
        delay(50);
        s1.write(60 + i1S1 * 2);
        delay(50);
        i1S1++;
    }
    if (i1S1 > 10) {
        i1S1 = 0;
        delay(3000);
    }
}

//Pradine pozicija uodegos
void initialPosTail() {

```

```

    i0T1 = 0;
    i1T1 = 0;
    i2T1 = 0;
    t= 0;
}

//Pradine pozicija galvos
void initialPosHead() {
    i0H1 = 0;
    i1H1 = 0;
    i2H1 = 0;
    i3H1 = 0;
    i4H1 = 0;
    i5H1 = 0;
    i6H1 = 0;
    h = 0;
}

//Pradine pozicija viso kuno
void initialPosition() {
    m = 0;
    llstatus = LOW;

    ////Galva
    S1.write(60);

    ////kaire priekine koja
    S2.write(60);           //Petis
    S4.write(60);         //Alkune

    ////Desine Priekine koja
    S3.write(60);         //Petis
    S5.write(60);         //Alkune

    ////Pirmas slankstelis
    S6.write(60);

    ////Antras slankstelis
    S7.write(60);

    ////kaire Galine koja
    S8.write(50);         //Petis
    S10.write(60);       //Alkune

    ////Desine Galine koja
    S9.write(60);         //Petis
    S11.write(60);       //Alkune

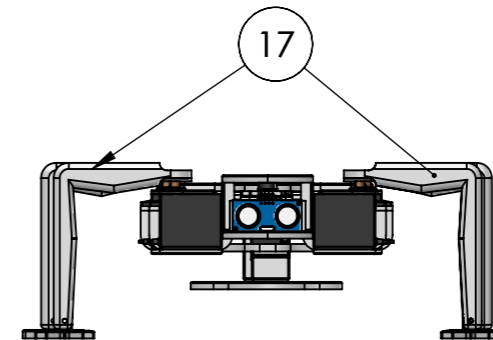
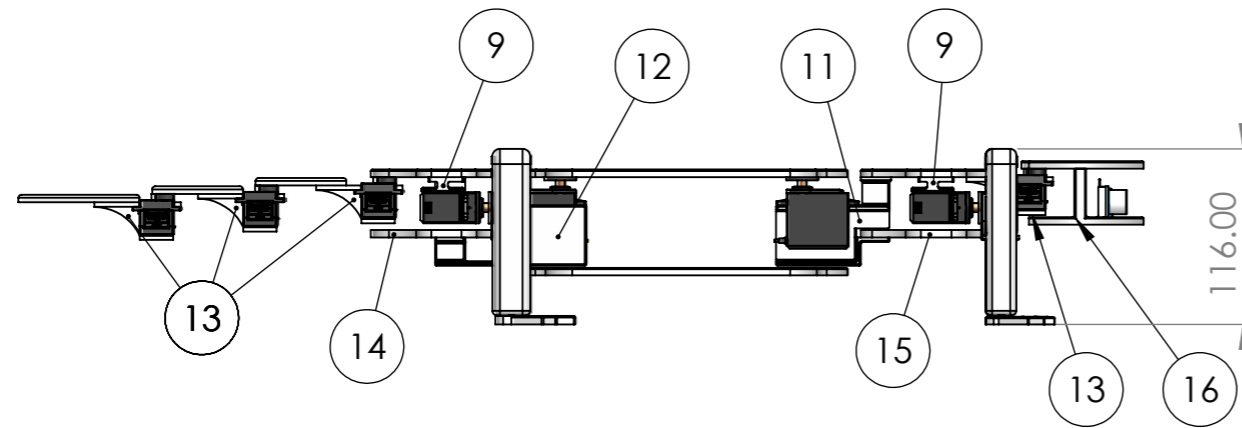
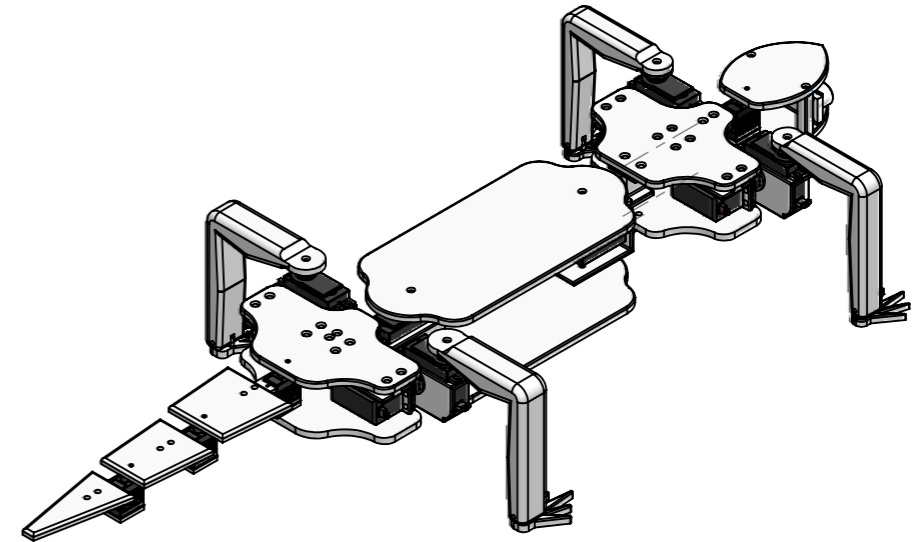
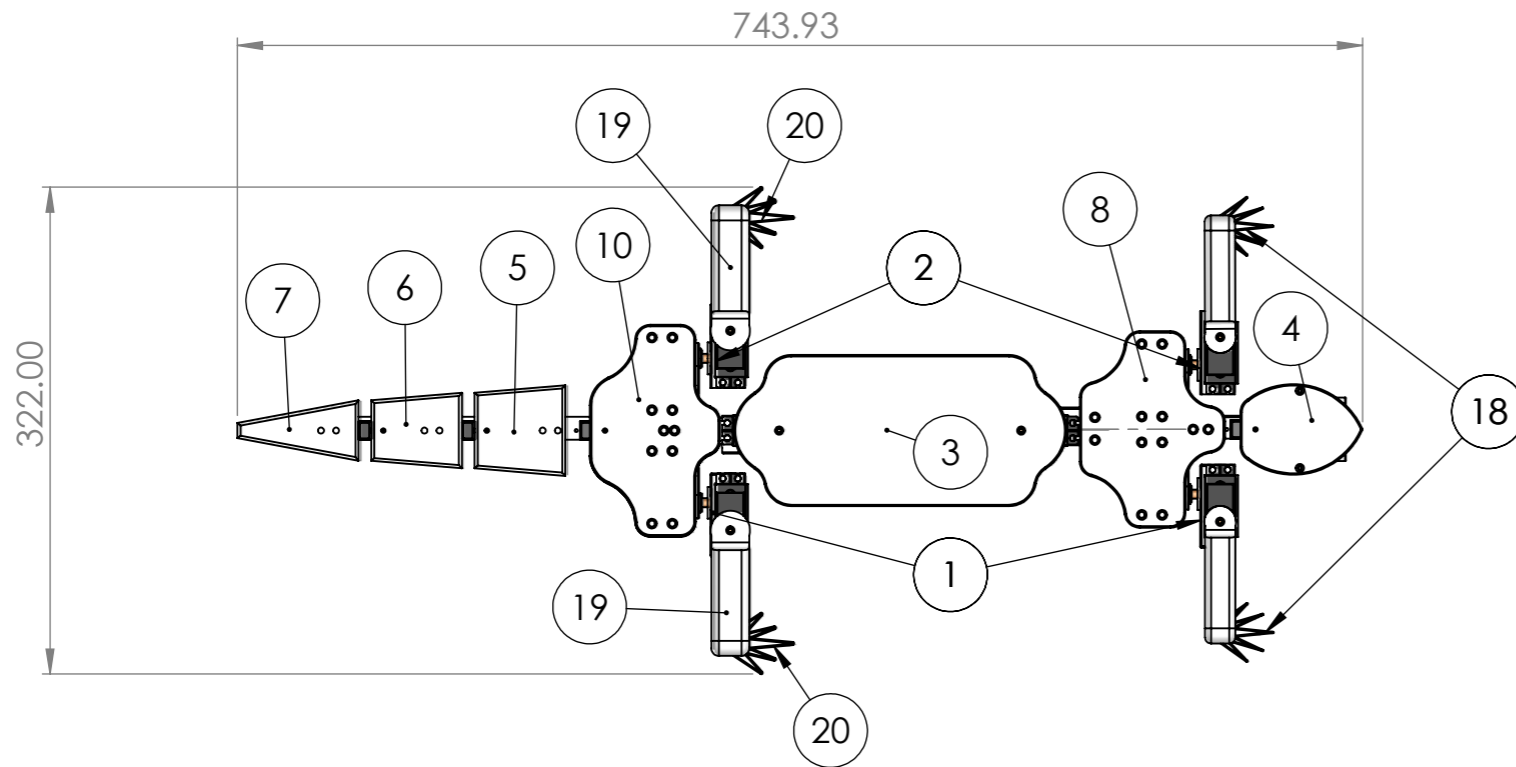
    ////Uodega
    S12.write(60);        //Pirmas narelis
    S13.write(60);        //Antras narelis
    S14.write(60);        //Trecias narelis
    //Uodegos counter reset
    i0T1 = 0;
    i1T1 = 0;
    i2T1 = 0;
    //Galvos counter reset
    i0H1 = 0;
    i1H1 = 0;
    i2H1 = 0;
    i3H1 = 0;

```

```

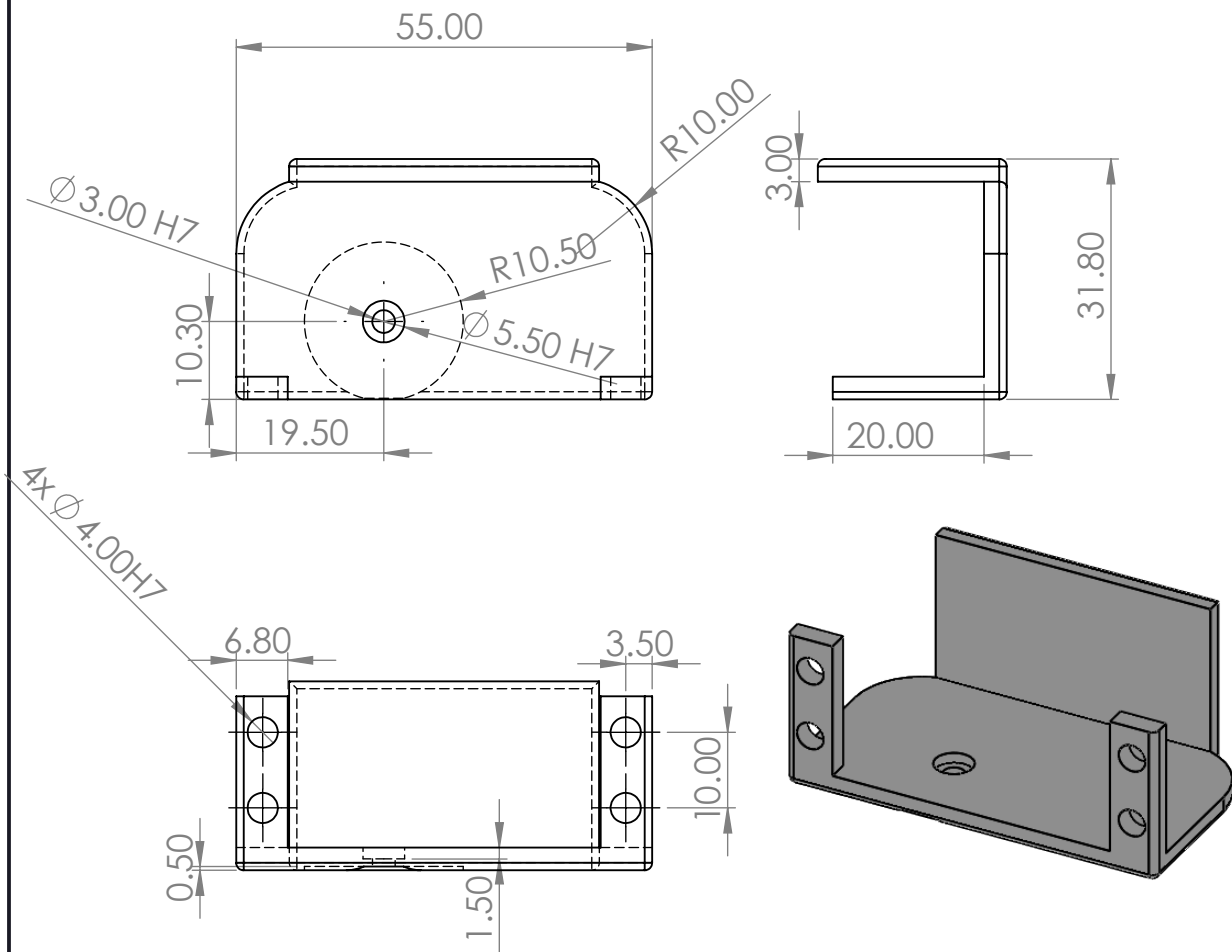
i4H1 = 0;
i5H1 = 0;
i6H1 = 0;
//Kaires puses counter reset
i1L1 = 0;
i2L1 = 0;
i3L1 = 0;
i4L1 = 0;
i5L1 = 0;
i6L1 = 0;
//Desines puses counter reset
i1L2 = 0;
i2L2 = 0;
i3L2 = 0;
i4L2 = 0;
i5L2 = 0;
i6L2 = 0;
//Sukimo counteriai
i1S1 = 0;
i1S2 = 0;
}
// ===== Atstumo matavimas =====
int getDistance() {
  //Nunulinimas trigPin
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  //Nustatymas trigPin > HIGH - 10ms
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  //Nuskaitymas echoPin
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  //Apskaiciuojamas atstumas
  distance = (duration / 2) / 29.1; //Atstumas cm
  return distance;
}

```



	Bylos Nr.	Papildoma informacija Masė 1431,41g	Medžiaga	Mastelis 1:10
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Surinkimo brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė AURIMAS KRAPTAVIČIUS Tvirtino	Antraštė Driežo roboto prototipas	BP-00.00.000 SB	
		Laida A	Data 2020-05-20	Kalba lt. Lapas 1/1

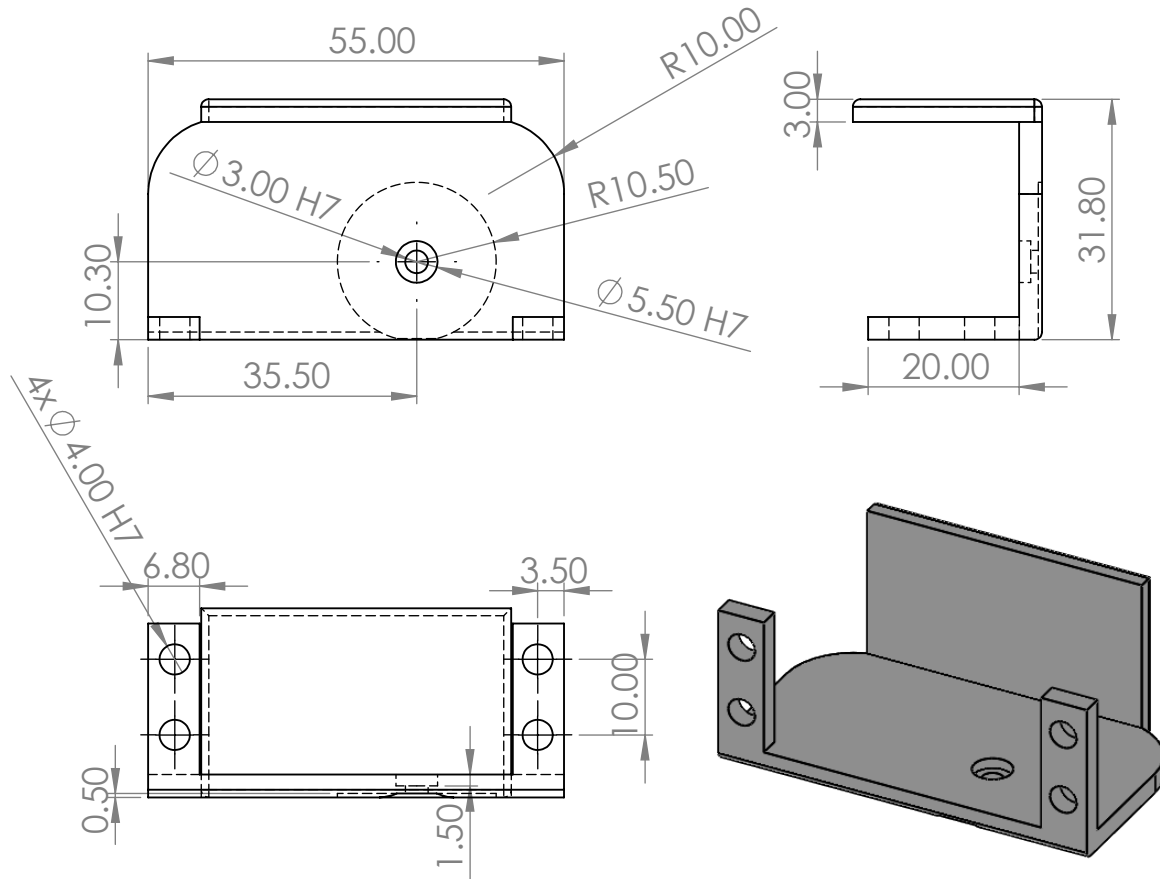
√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

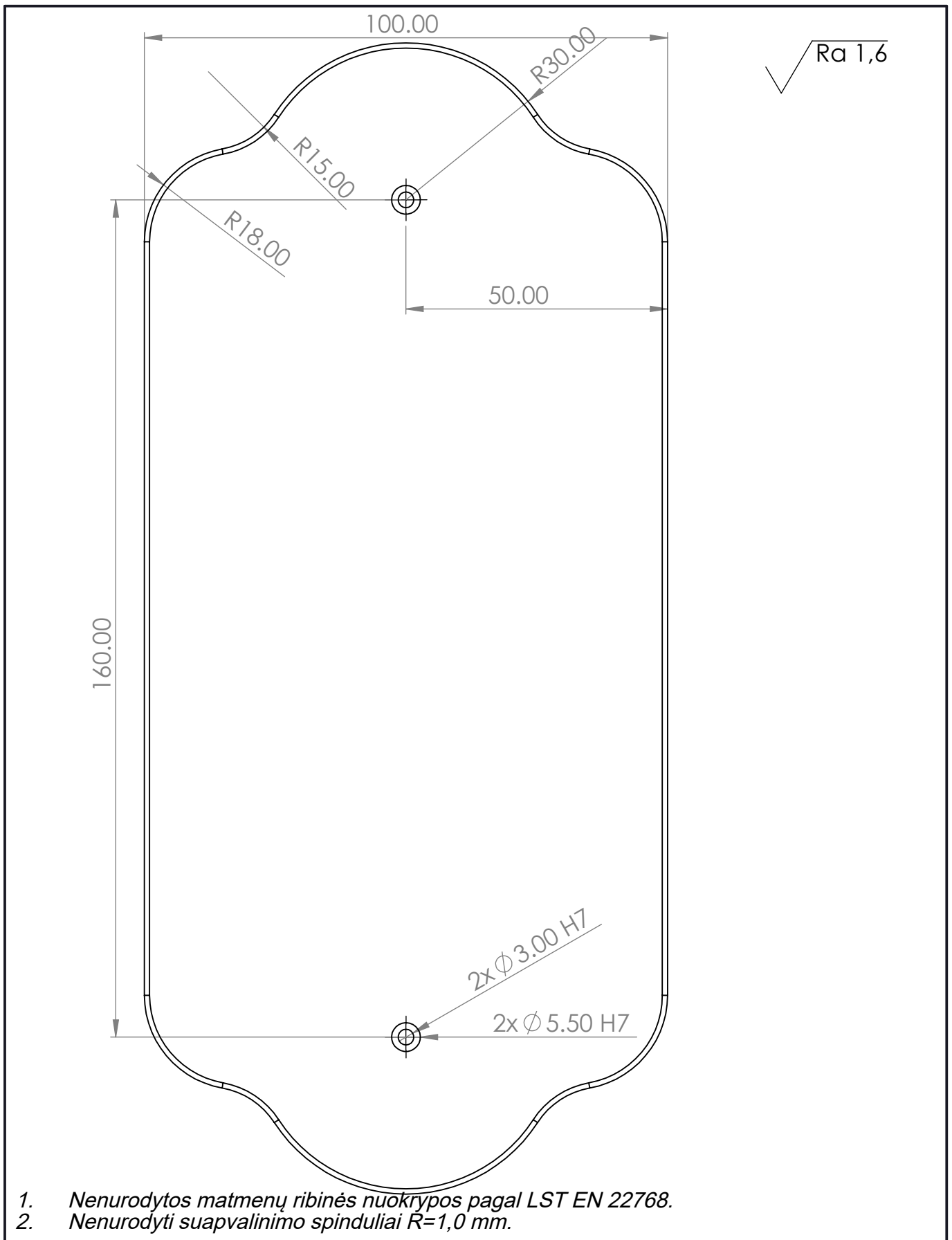
	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16137:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Variklio laikiklis D	BP-00.00.001	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 1/2

√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

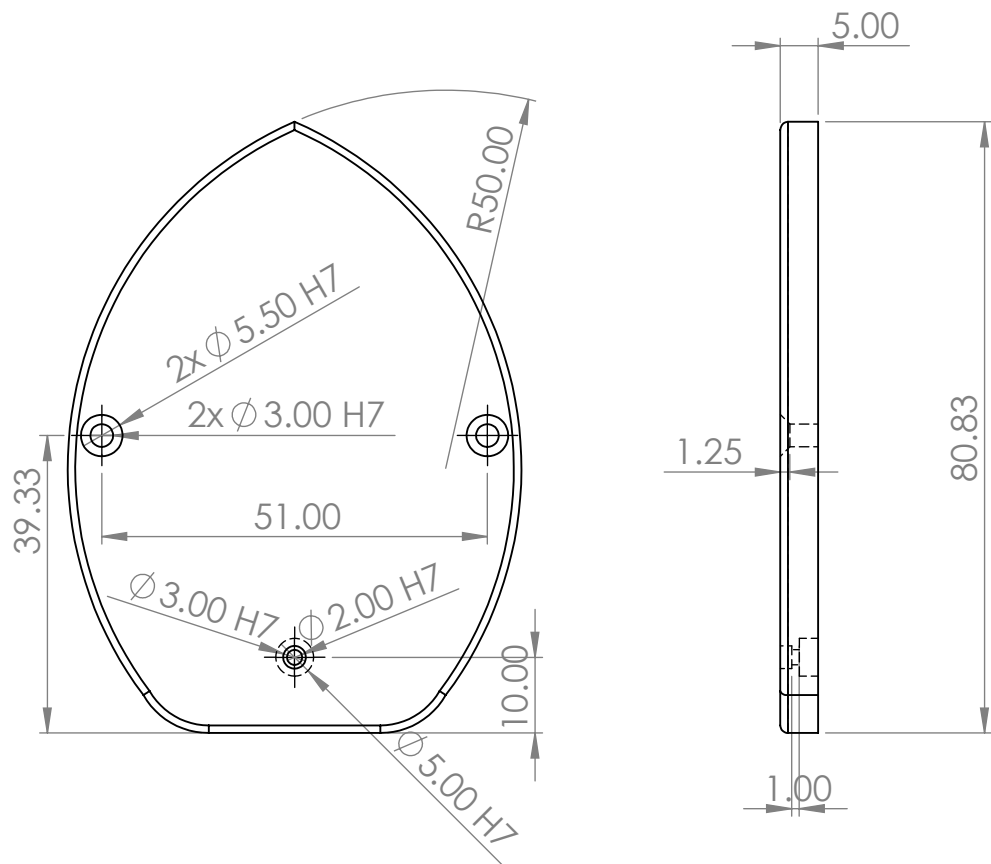
	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16137:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Variklio laikiklis K	BP-00.00.002	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 2/2



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai R=1,0 mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija storis 4mm	Medžiaga PLA LST CENTS 16137:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Korpuso viršus	BP-00.00.003	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 3/3

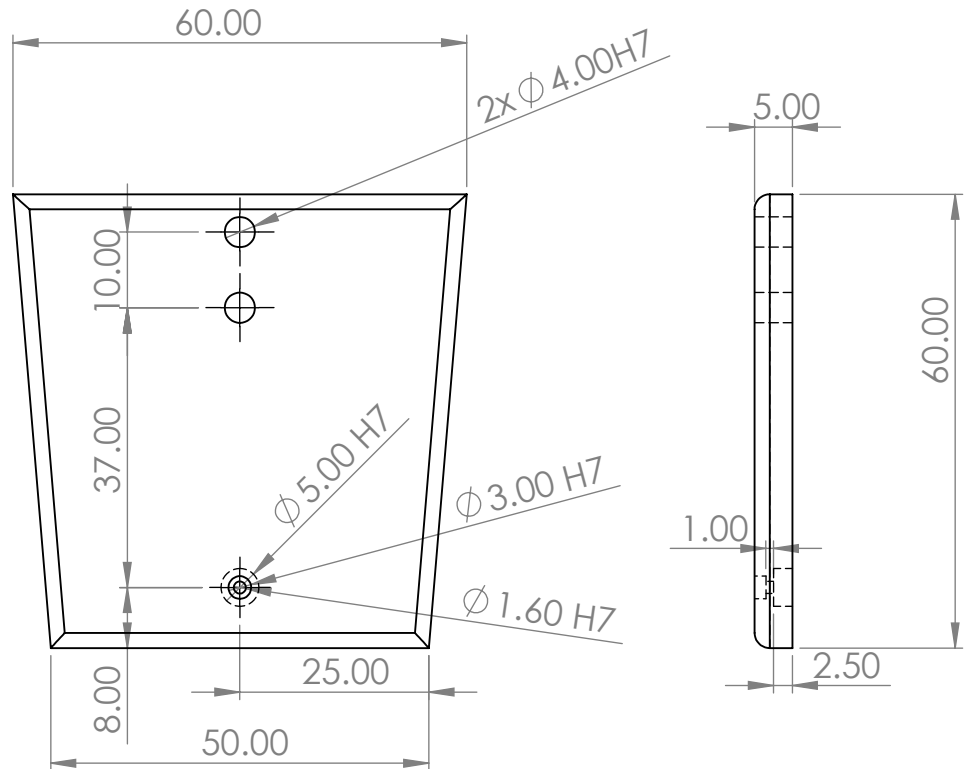
✓ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija storis 5mm	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16137:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Galvos viršus	BP-00.00.004	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 4/4

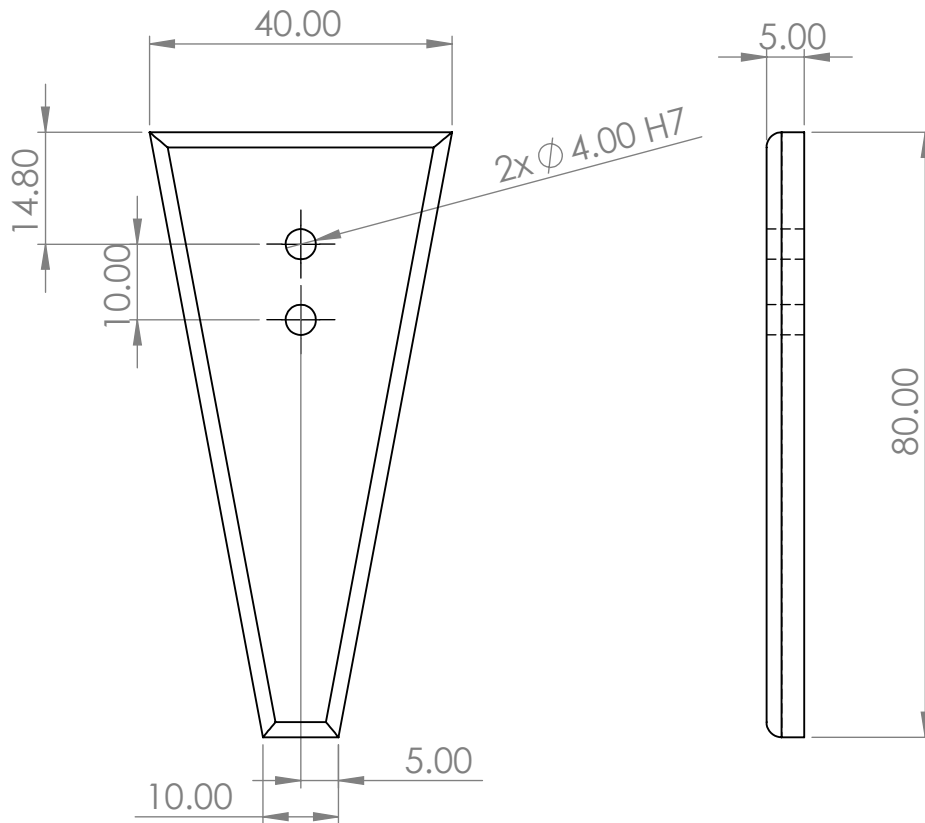
√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16137:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Uodega1	BP-00.00.005	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 5/5

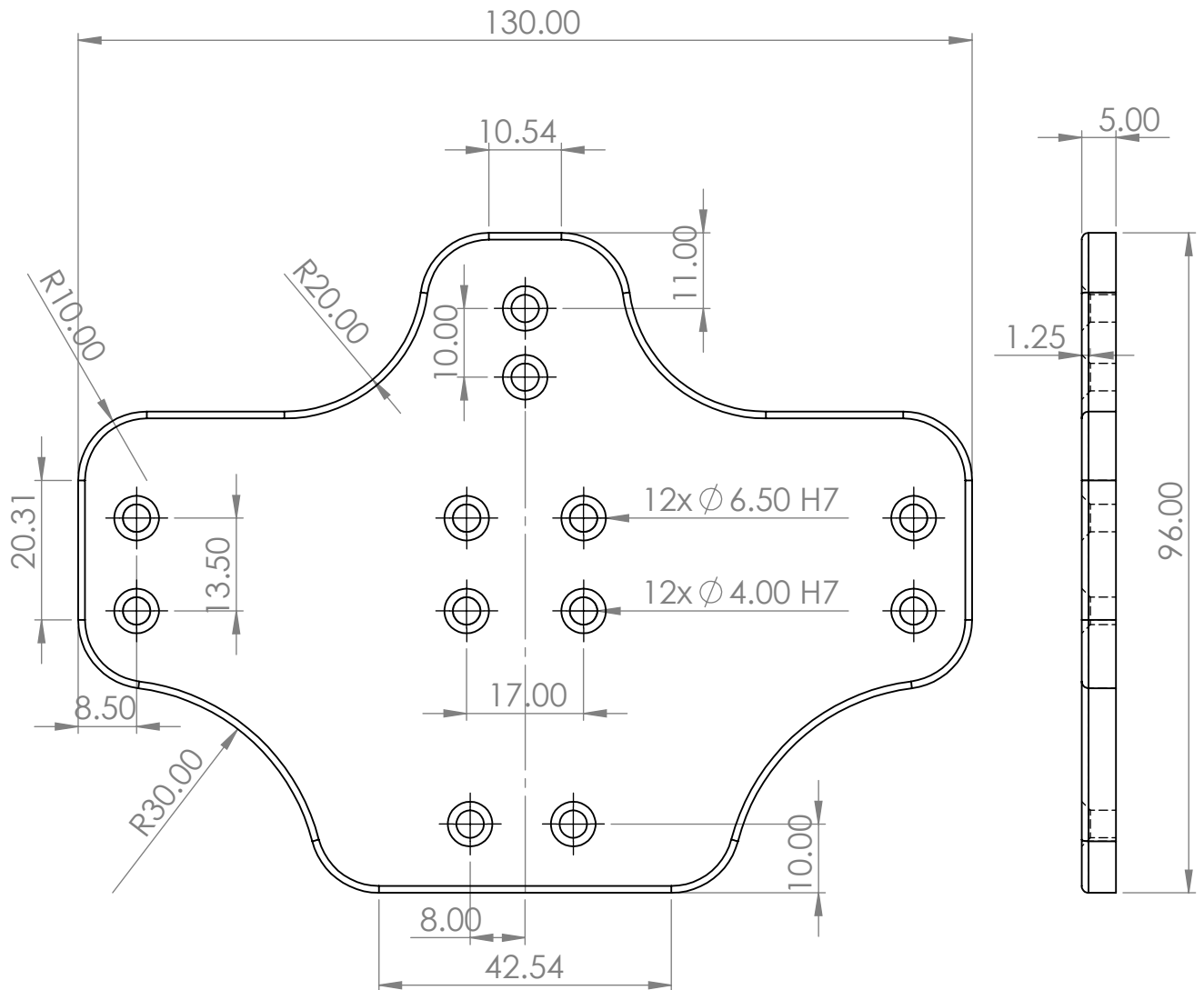
√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Uodega3	BP-00.00.007	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 7/7

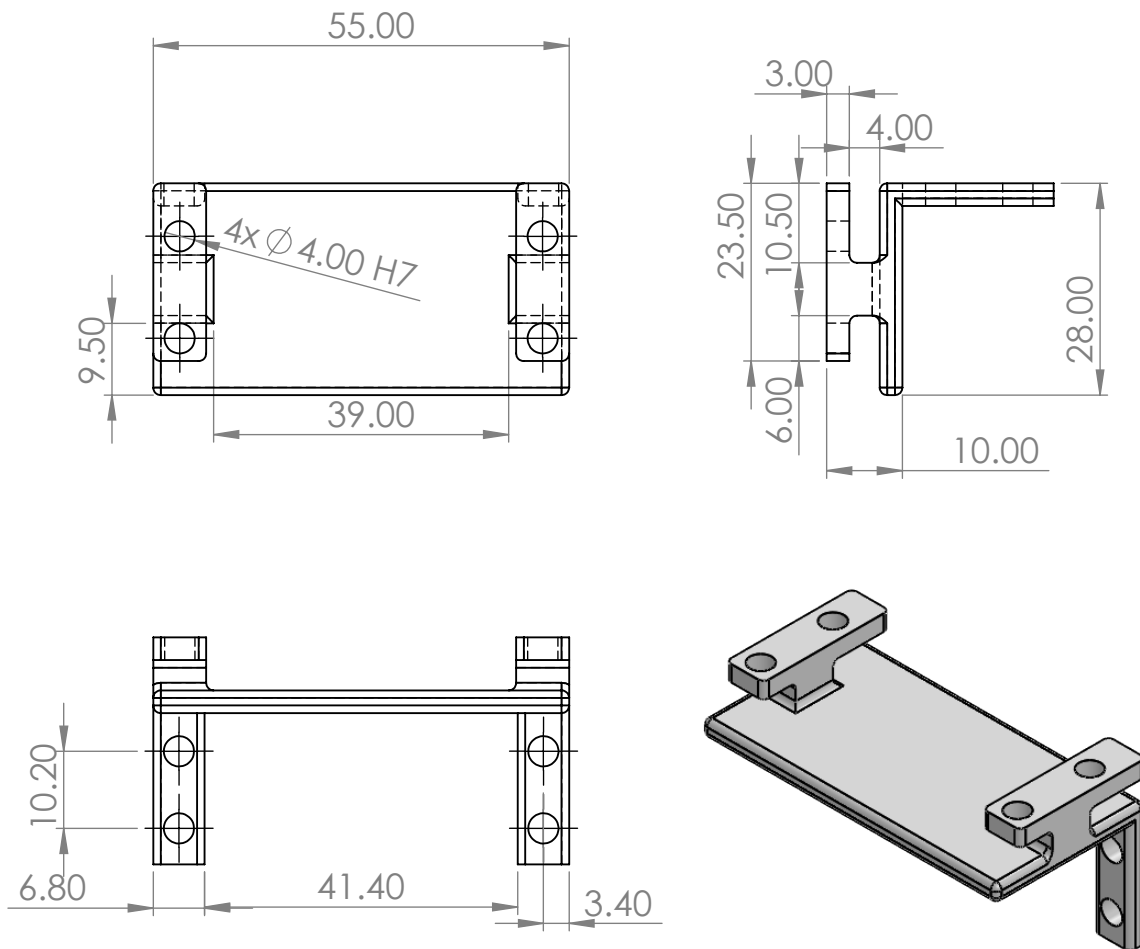
√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Priekinė viršutinė P	BP-00.00.008	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 8/8

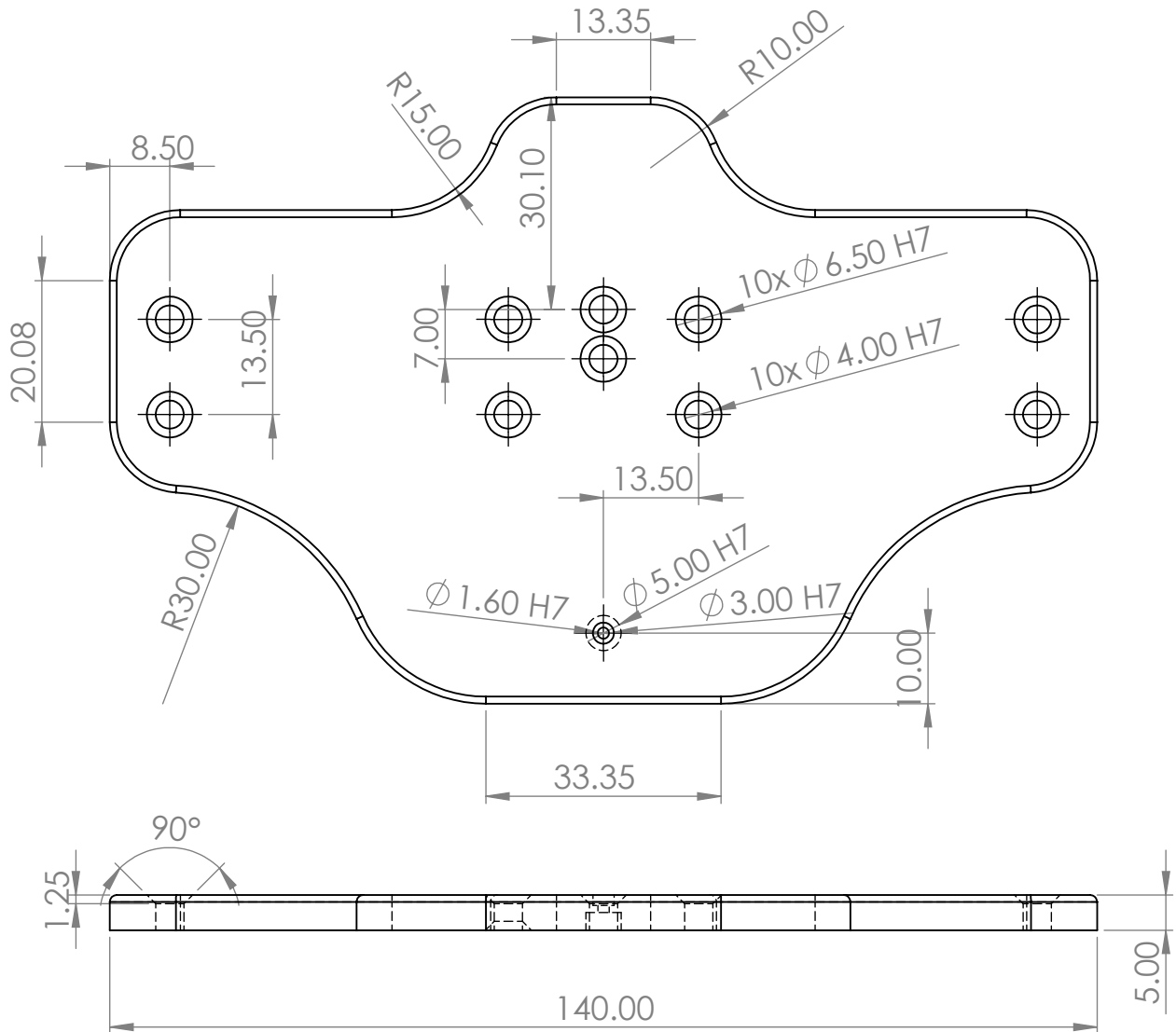
√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai R=1,0 mm.

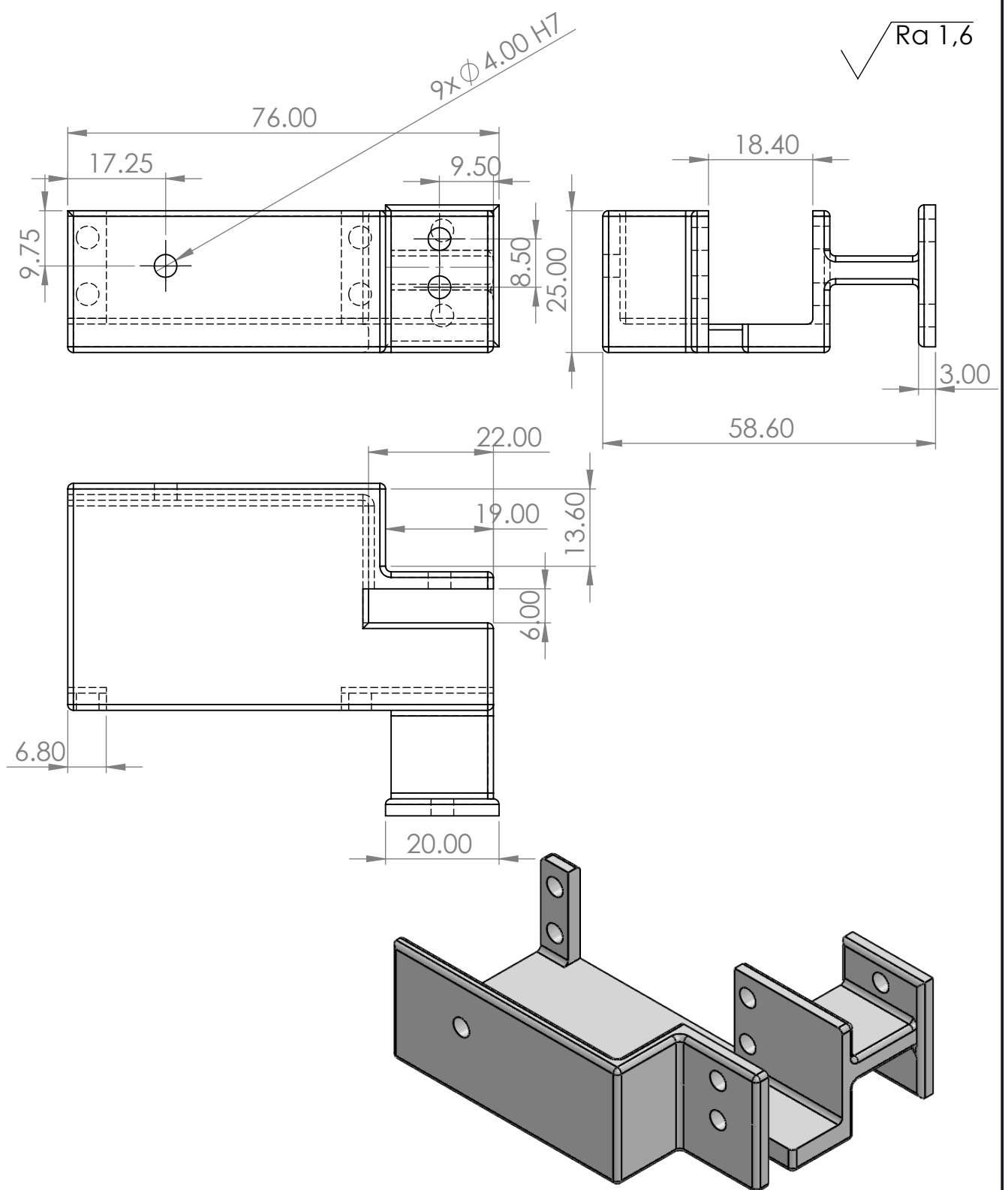
	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Varikliukų laikikliai	BP-00.00.009	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 9/9

√ Ra 1,6



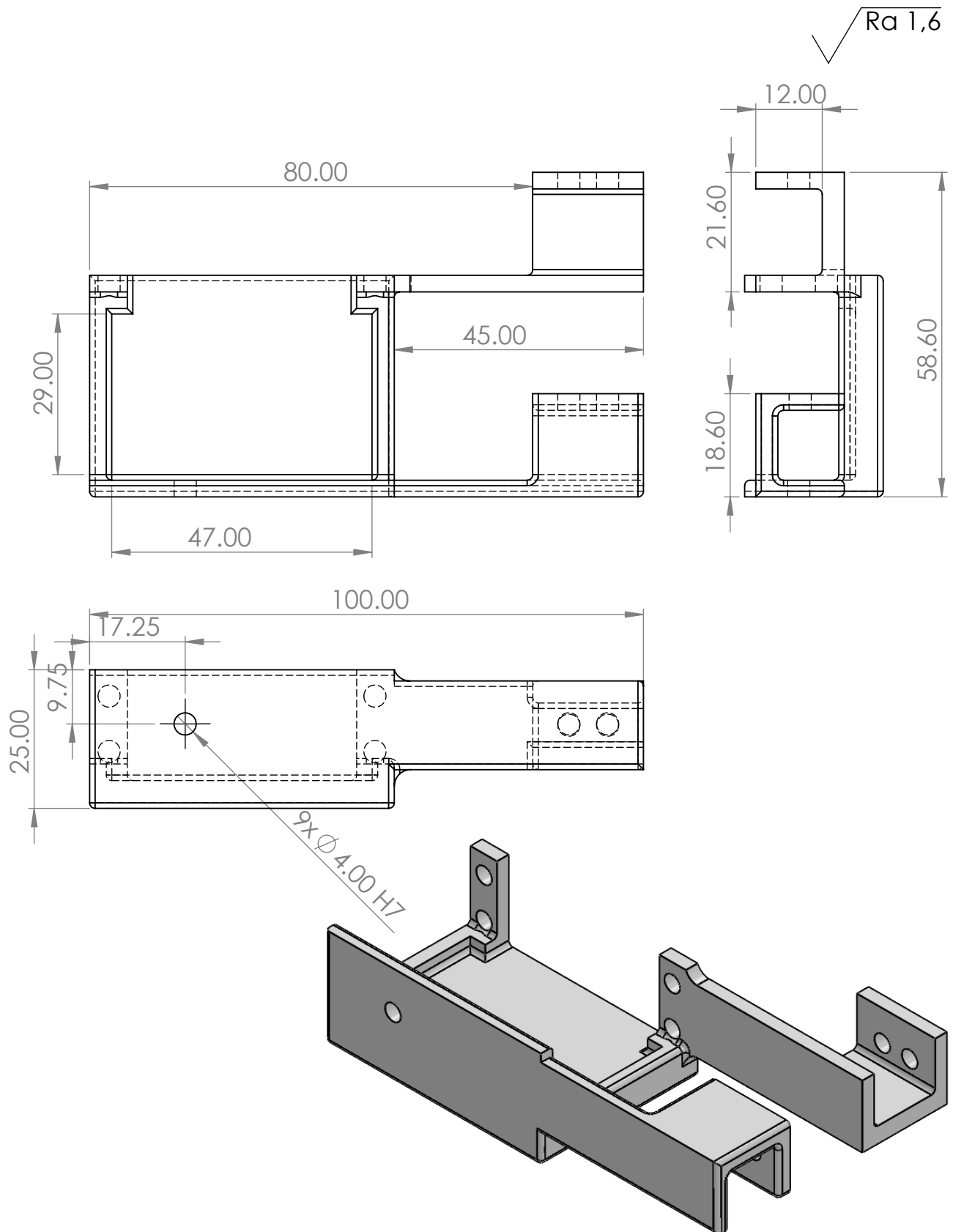
1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Galinė viršutinė P	BP-00.00.010	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 10/10



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

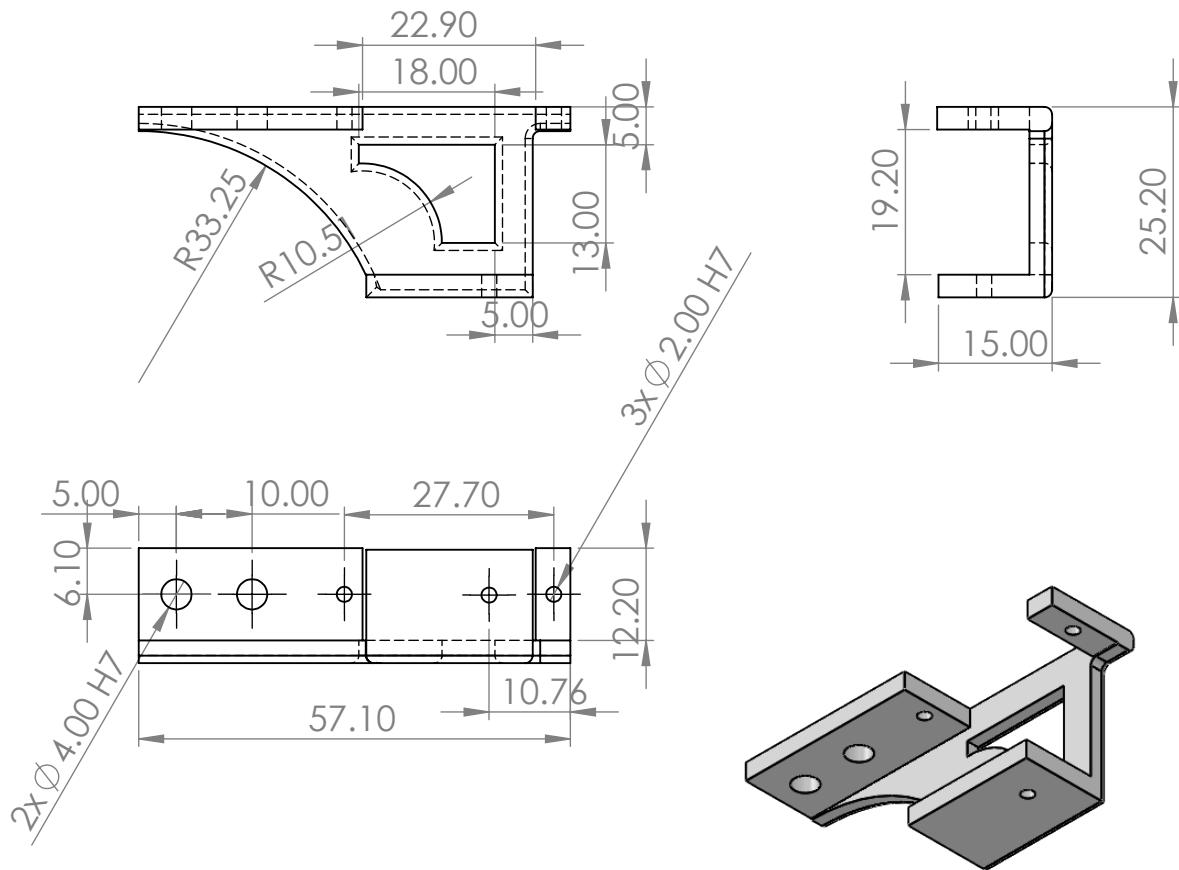
	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Variklio laikiklis B	BP-00.00.011	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 11/11



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Variklio laikiklis B G	BP-00.00.012	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 12/12

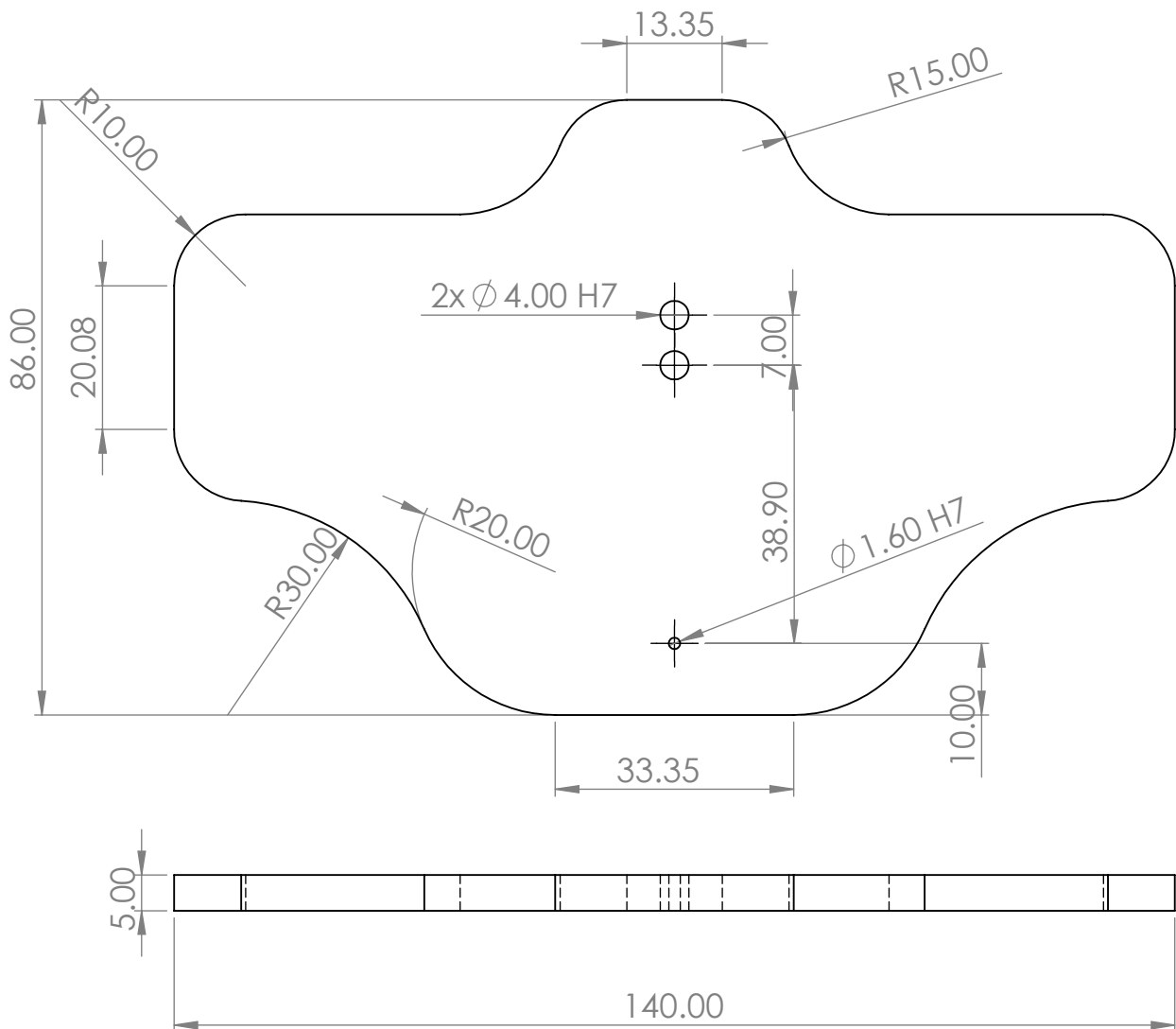
√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Sg90 laikiklis	BP-00.00.013	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 13/13

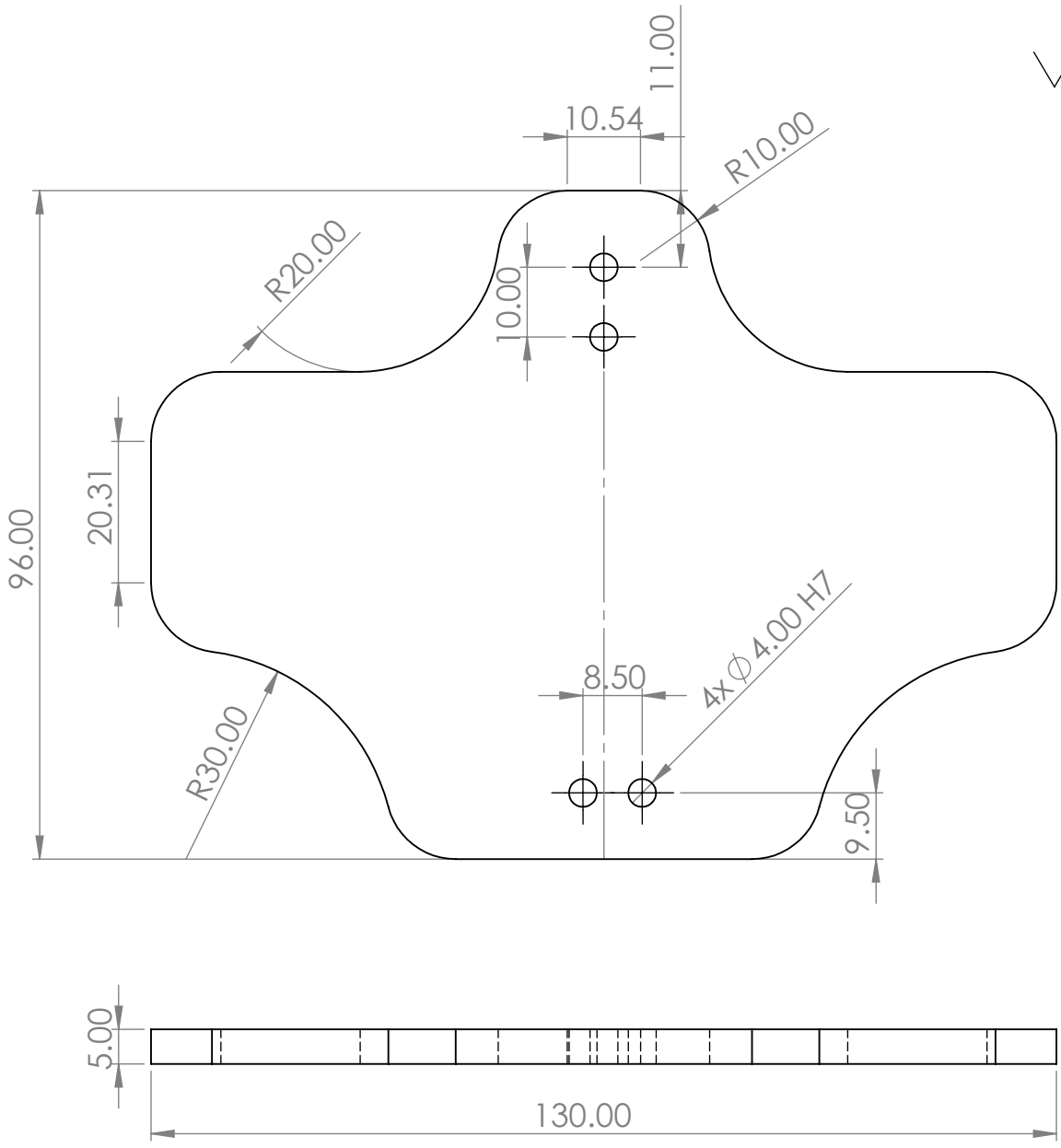
√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

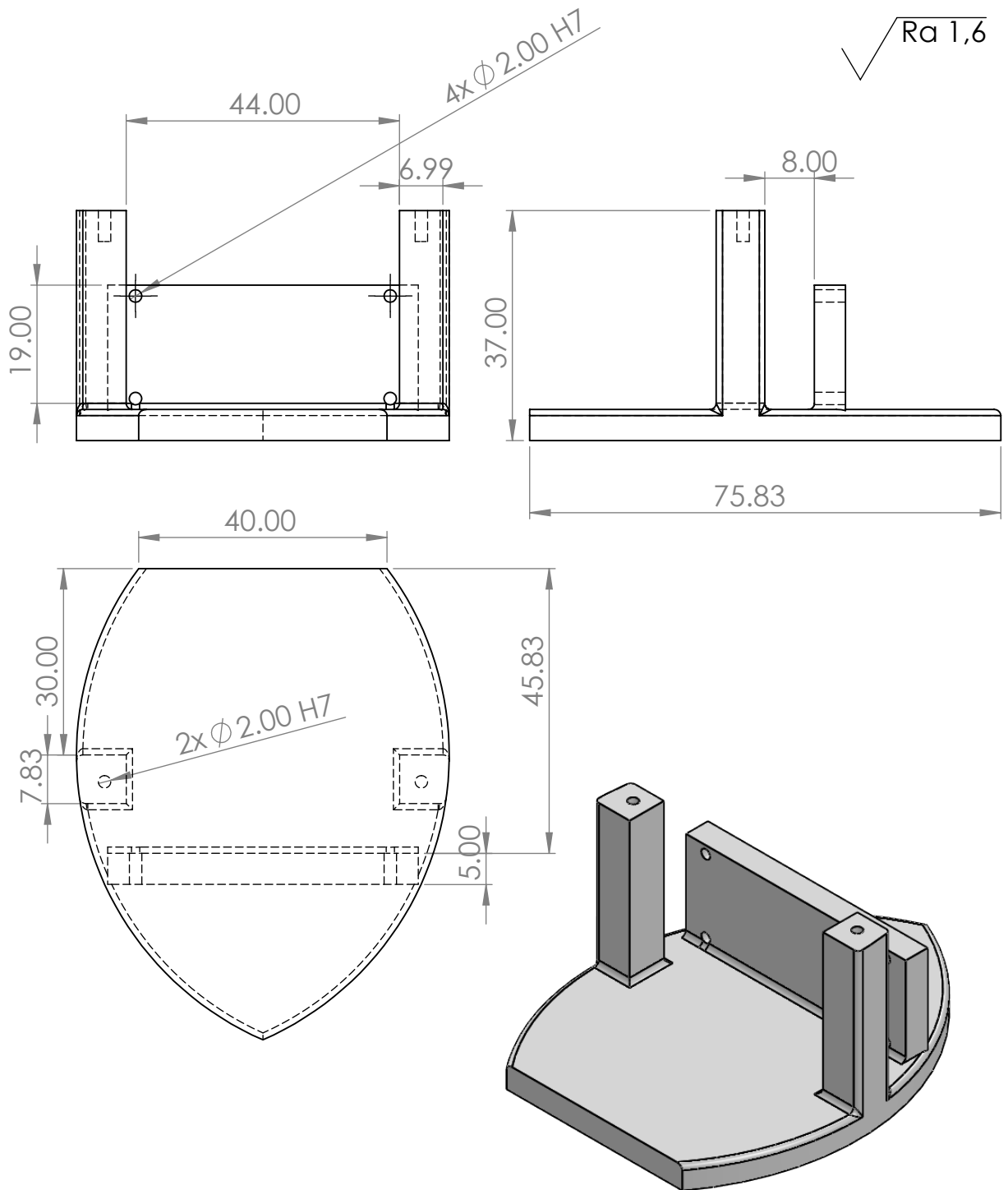
	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Galinė apatinė P	BP-00.00.014	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 14/14

√ Ra 1,6



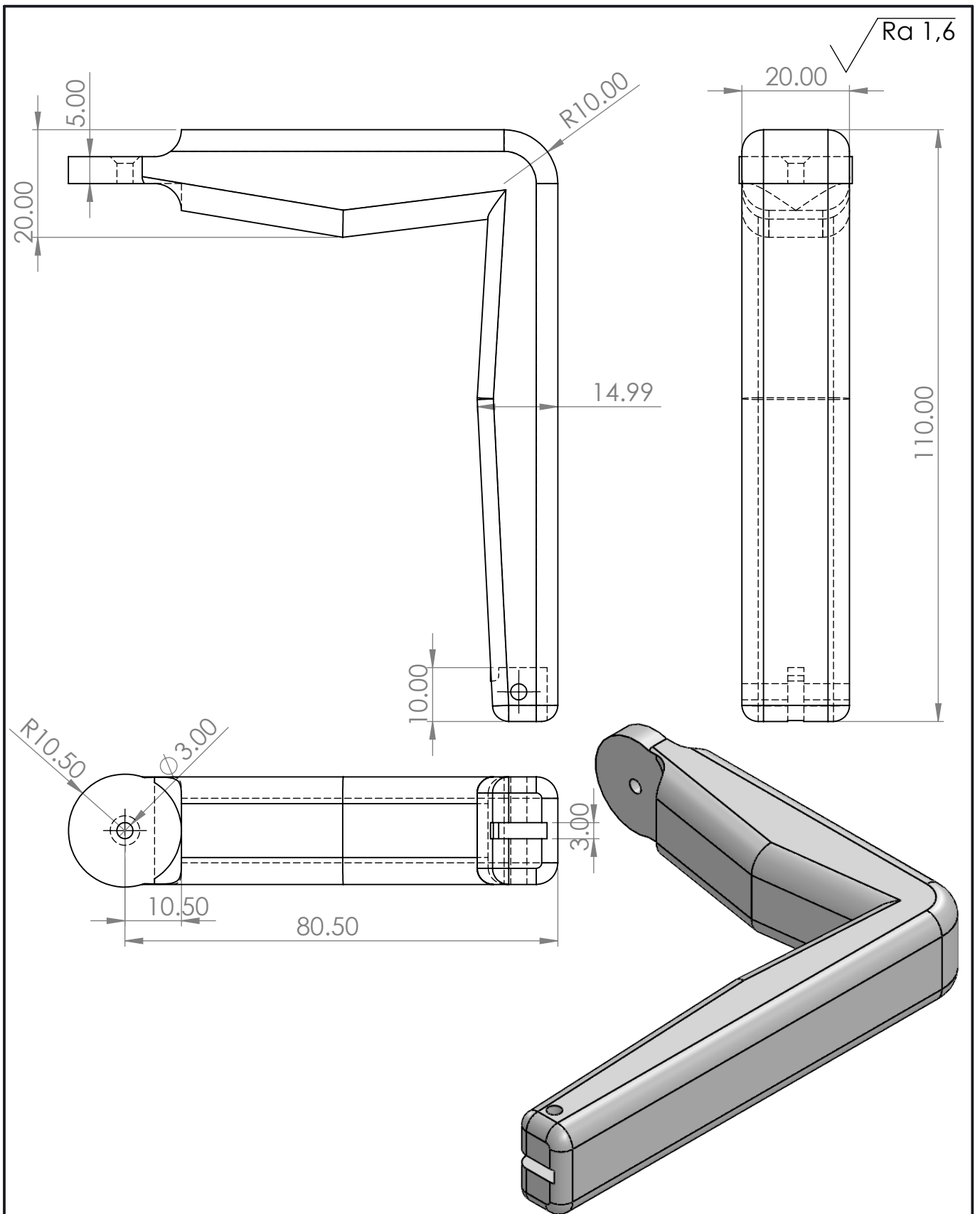
1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai R=1,0 mm.

		Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CENTS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys		Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Priekinė apatinė P		BP-00.00.015	
	Tvirtino				



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0 \text{ mm}$.

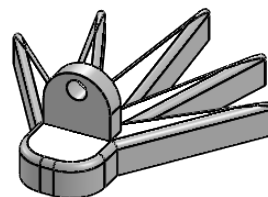
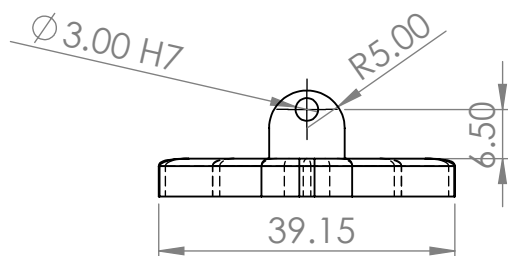
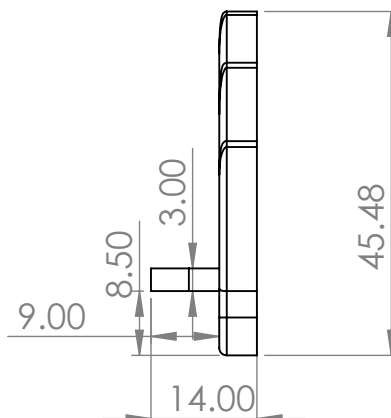
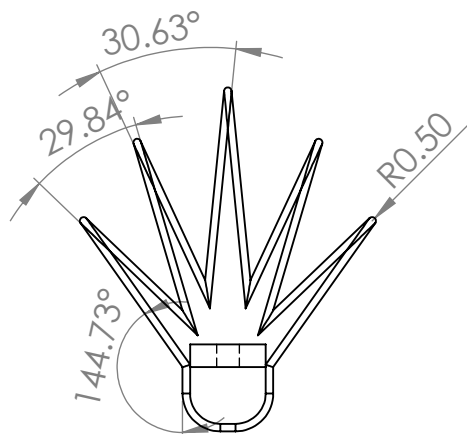
	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Galvos apatinė dalis	BP-00.00.016	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 16/16



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

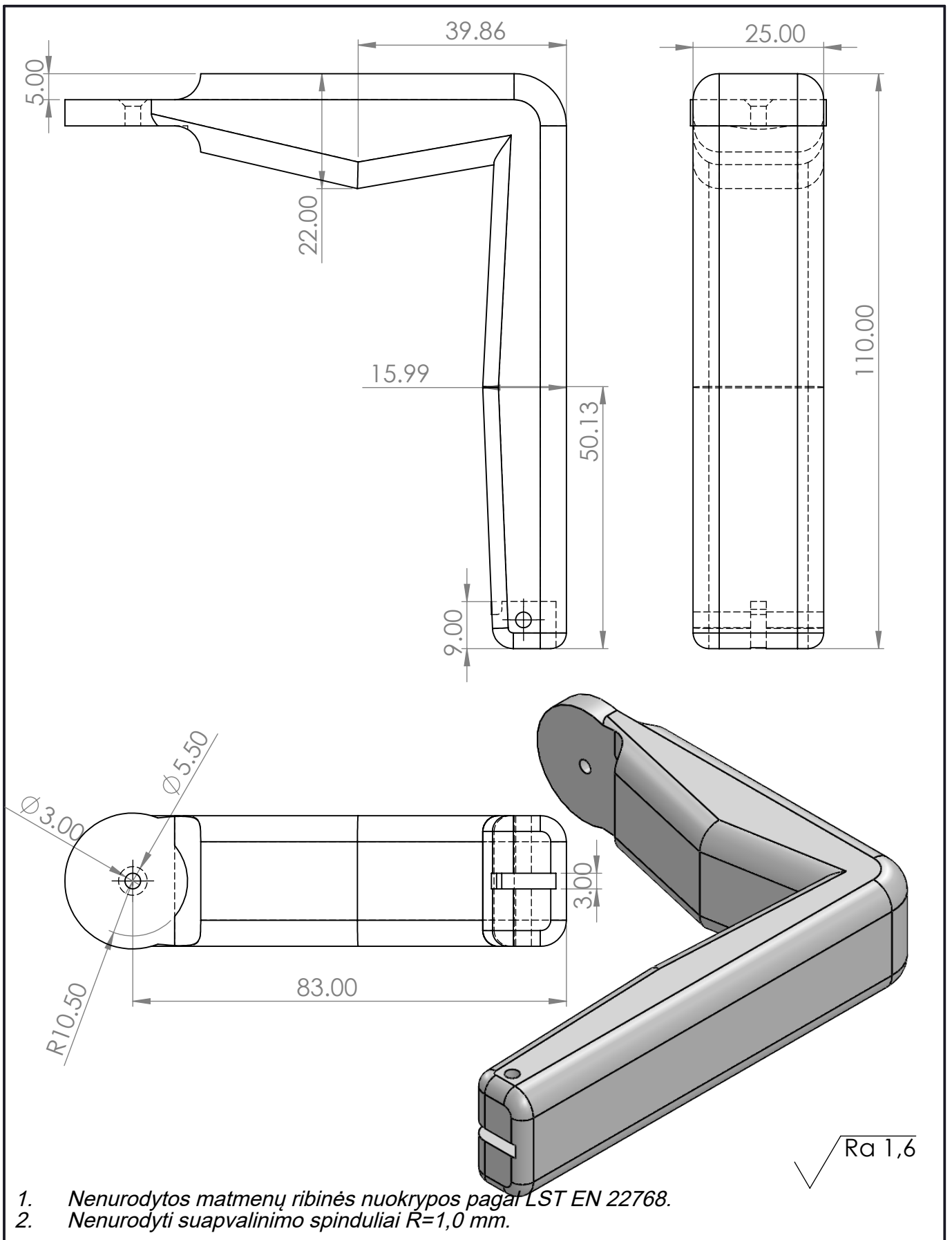
	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CENTS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Priekinė koja	BP-00.00.017	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 17/17

√ Ra 1,6



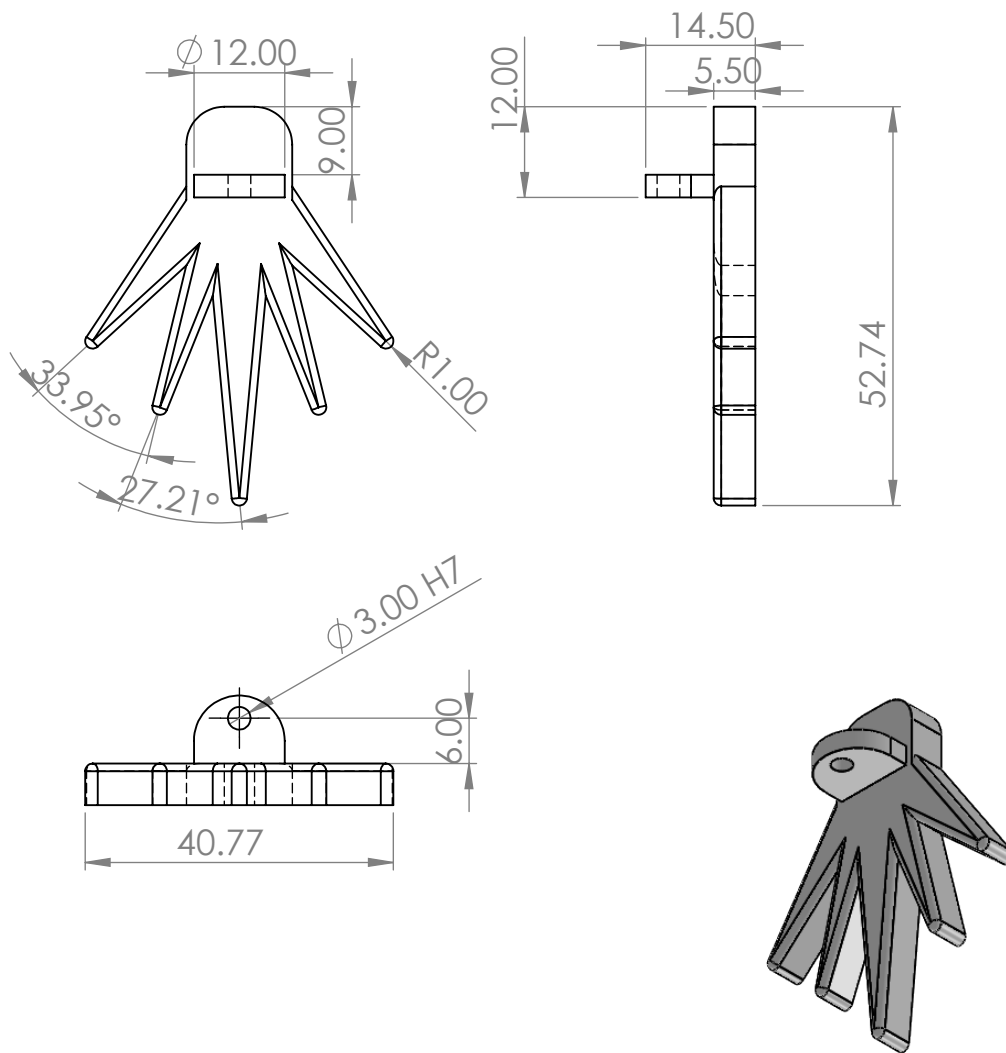
1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CENTS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Pėda P	BP-00.00.018	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 18/18



	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Galinė koja	BP-00.00.019	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 19/19

√ Ra 1,6



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai $R=1,0$ mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga PLA LST CEN/TS 16173:2011	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba GK	Konsultantas	Dokumento tipas Detalės brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Aurimas Kraptavičius	Antraštė Pėda G	BP-00.00.020	
	Tvirtino		Laida A	Data 2020-05-19
			Kalba lt.	Lapas 20/20