

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS  
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS  
INFORMATIKOS IR STATISTIKOS KATEDRA**

**TOMAS LITVINAS**

**ŽVEJYBINIO KELTUVO  
IŠMANIOSIOS STABILIZAVIMO SISTEMOS KŪRIMAS**

DEVELOPMENT OF A SMART STABILIZATION SYSTEM FOR FISHING HAULER

Magistro baigiamasis darbas

Techninių informacinių sistemų inžinerijos studijų programa valstybinis kodas 6211BX020  
Informatikos inžinerijos studijų kryptis

Darbo vadovas: doc. dr. Darius Drungilas

Klaipėda, 2020

# BAKALAURO (MAGISTRO) BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠČIO FORMA

## Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

..... **Tomas Litvinas**.....  
(bakalauro/magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos kūrimas  
(bakalauro/magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

**Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.**

.....  
(bakalauro/ magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

**Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.**

.....  
(bakalauro/ magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

## Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

**Bakalauro/magistro baigiamąjį darbą ginti.....**

..... (įrašyti - leidžiu arba neleidžiu)  
.....2020.....  
(data) (bakalauro/magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

## Pildo katedros, kuriojančios studijų programa, administratorius (sekretorius)

**Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje**

2020 .....  
(data)

Laima Brazdeikienė.....  
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

## Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas

**Bakalauro/magistro baigiamąjį darbą ginti.....**  
(įrašyti - leidžiu arba neleidžiu)

2020.....  
(data) doc. dr. Mindaugas Kurmis.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**Recenzentu(-ais) skiriu .....**

.....  
(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

.....2020.....  
(data) doc. dr. Mindaugas Kurmis.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Tomas Litvinas

Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos kūrimas: informatikos magistro baigiamasis darbas. Vadovas doc. dr. D. Drungilas. Klaipėdos universitetas, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas, Informatikos ir statistikos katedra. Klaipėda, 2020

### **Anotacija**

Šiame magistro baigiamajame darbe suprojektuotas ir įgyvendintas žvejybinio keltuvo prototipas su integruota išmaniają stabilizavimo sistema, kuri sugeba atkartoti operatoriaus atliktus veiksmus.

Analitinėje dalyje analizuojami pasaulyje naudojami populiariausi žvejybiniai keltuvai, keltuvų techninės savybės ir galimybės. Remiantis mokslinės literatūros analize, išryškintos pasaulyje egzistuojančios stabilizavimo sistemos, jų principai ir naudojama techninė įranga. Projektavimo dalyje, projektuojamas ir gaminamas keltuvo korpusas, surenkami tinkamiausi sistemai reikalingi elektronikos komponentai, kurie sujungiami į vieną sistemą ir integruojami į keltuvo korpusą. Realizacijos dalyje sukuriama vizualizacijos sąsaja ir valdymo algoritmas skirtas išmaniajam stabilizavimui. Sistemos valdymo algoritmas įgyvendintas ir įdiegtas į keltuvo mikrovaldiklį. Testavimo dalyje atliktas sistemos testavimas, įvertini sistemos privalumai ir trūkumai.

Darbo pabaigoje pateiktos išvados ir rekomendacijos, galinčios galimai patobulinti žvejybinio keltuvo prototipą.

**PAGRINDINIAI ŽODŽIAI:** akselerometras, enkoderis, stabilizuojanti sistema, valdiklis, žvejybinis keltuvas.

Tomas Litvinas

Development of a smart stabilization system for fishing hauler: Master's thesis of Informatics. Supervisor: Assoc. prof. dr. D. Drungilas. Klaipeda University, Faculty of Marine Technology and Natural Sciences, Department of Informatics and Statistics. Klaipeda, 2020

### **Annotation**

This master's thesis is about design and implementation of a prototype fishing hoist with an integrated intelligent stabilization system that is able to replicate the activities performed by the operator.

The analytical part analyzes the most popular fishing lifters, technical characteristics and possibilities of the lifts. Based on the analysis of the scientific literature, the existing stabilization systems of the world, their principal and used technical equipment are highlighted. In the design phase, the hoist body is designed and manufactured, most suitable electronic components are assembled into one system and integrated into the hoist body. In the implementation part, a visualization interface and control algorithms for intelligent stabilization are created. System control algorithm is implemented in the elevator microcontroller. Advantages and disadvantages are evaluated after testing the systems performance.

Conclusions and recommendations which may improve the prototype of the fishing hoist

**KEY WORDS:** accelerometer , encoder, self stabilization system, fishing hoist.

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Dviratės priemonės riedžiai [3-5] .....	12
2 pav. Krano atramos pastatymas [6] .....	13
3 pav. Akselerometro parodymo ekranas ir krano atramos valdymo pultas[6].....	13
5 pav. Apverstos švytuoklės principas [10].....	14
6 pav. Roboto stabilizavimas[10] .....	15
7pav. Integruotas PID valdiklis[10].....	15
8 pav. Sistemos būsenos nustatymo jutikliai[14-17] .....	16
9 pav. Enkoderių pavyzdžiai[21-23] .....	16
10 pav. Dviejų pozicijos ašių erdvėje nuskaitymo jutiklis-akselerometras [26] .....	17
11 pav. Žvejybinis keltuvas " Belitronics BJ5000" [27] .....	17
12 pav. „ Belitronics BJ5000“ žvejybos programų režimai [27].....	18
13 pav. „DNG“ žvejybinis prietaisas [28] .....	19
14 pav. „ Hobby fisher “ žvejybinis keltuvas[29] .....	20
15 pav. Žvejybinio keltuvo sistemos valdymo principas .....	25
16 pav. Žvejybinio laivo modelis su žvejybinium keltuvu[30] .....	26
17 pav. Žvejybinio keltuvo maketas.....	26
18 pav. Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos komponentų principinė schema ...	27
20 pav. Žvejybinio keltuvo valdymo sistemos nulinio lygmens DFD .....	28
21 pav. Valdymo ekrano grafinis maketas .....	28
22 pav. Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos panaudos atvejų diagrama.....	29
23 pav. Vartotojo prisijungimo grafinis maketas .....	30
24 pav. Vartotojų parinkimo algoritmas.....	30
25 pav. Žvejybinio keltuvo sistemos valdymo algoritmas .....	31
26 pav. Išmaniosios stabilizavimo sistemos principas .....	32
27 Pav. "Arduino UNO" mikrovaldiklis[31].....	34
28 pav. Žvejybinio keltuvo valdymo ekranas „Nextion“[32].....	36
29 pav. Posvyrio kampo nustatymo jutiklis - „Akselerometras“[33].....	36
30 pav. Akselerometro vidinė struktūra[33].....	37
31 pav. „BLDC“ variklis ir kontroleris .....	38
32 pav. Sukimosi pozicijos nustatymo jutiklis- enkoderis [36].....	39
33 pav. Enkoderio generuojami signalai .....	40
34 pav. Bendra žvejybinio keltuvo komponentų pajungimo schema.....	41
35 pav. Žvejybinio keltuvo elektronikos plokštės schema .....	41
36 pav. Valdymo ekrano menu struktūra .....	42
37 pav. Rankinio ir automatinio keltuvo valdymo langai .....	43
38 pav. Žvejybinio keltuvo vartotojų prisijungimo langas ir tikrinimo programa .....	43
39 pav. Žvejybinio keltuvo būgno valdymo menu.....	44
40 pav. Simbolių ir skaičių įvesties klaviatūros .....	44
41 pav. Akselerometro integracinė sistemos schema .....	45
42 pav. Akselerometro signalo ribų nustatymas.....	45
43 pav. Programa akselerometro duomenų gavimui .....	46
44 pav. Akselerometro skaitmeninių ribų nustatymas .....	46
45 pav. Akselerometro duomenų vertimas į laipsnius.....	47
46 pav. Akselerometro generuojami duomenys .....	47
47 pav. Slenkančio vidurkio metodo realizacija „Arduino UNO “ mikrovaldiklyje .....	48
48 pav. Išfiltruoti akselerometro duomenys .....	48
49 pav. Principinė enkoderio sujungimo schema .....	49

50 pav. Laivo posvyrio kampo nustatymo .....	50
51 pav. PID regulatoriaus tipinė schema [38] .....	50
53 pav. Nenormalizuotų ir normalizuotų duomenų lentelės.....	52
54 pav. Neuroninio tinklo struktūra.....	52
55 pav. Neuroninio tinklo struktūra.....	53
56 pav. Neuroninio tinklo mokymosi langas.....	53
57 pav. Apmokinto neuroninio tinklo regresijos grafikai .....	54
58 pav. Neuroninio tinklo svoriai .....	55
59 pav. Žvejybinio keltuvo neuroninio tinklo svorių matrica .....	55
60 pav. Sistemos stabilizavimas naudojant neuroninį tinklą.....	56
61 pav. Laivo svyravimą imituojantys duomenys .....	58
62 pav. PID regulatoriaus sistemos valdymo grafikas .....	59
64 pav. PID regulatoriaus ir neuroninio tinklo sistemos valdymo palyginimo grafikas .....	60

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė „Belitronics 1500" prietaiso techninės charakteristikos .....	18
2 lentelė "DNG" keltuvo techninės charakteristikos .....	19
3 lentelė „Hobby fisher“ keltuvo techninės charakteristikos.....	20
4 lentelė „Fishmachines“ keltuvo techninės charakteristikos.....	21
5 lentelė. Žvejybinių keltuvų techninių charakteristikų palyginimų lentelė .....	22
6 lentelė. „Arduino UNO“ techninė charakteristika.....	35
7 lentelė. Akselerometro x-y ašių pakrypimų lentelė[28] .....	37
8 lentelė „BLDC “ variklio techninė charakteristika.....	38
9 lentelė Enkoderio techninė charakteristika.....	39
10 lentelė Neuroninio tinklo struktūros palyginimo lentelė .....	54
11 lentelė Žvejybinio keltuvo funkcionalumo tikrinimas .....	57

## TURINYS

Anotacija.....	3
Annotation .....	4
ĮVADAS .....	10
I. ANALITINĖ DALIS .....	12
1.1. Stabilizuojančios sistemos.....	14
1.2. Stabilizuojančių sistemų grįžtamasis ryšys .....	16
1.3. Esamų žvejybinių keltuvų analizė .....	17
II. SISTEMOS PROJEKTAVIMAS .....	23
2.1. Sistemos veikimo principas .....	25
2.2. Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos modelis.....	31
III. SISTEMOS REALIZACIJA .....	34
3.1. Aparatinės įrangos parinkimas .....	34
3.2. Elektronikos schemos projektavimas .....	40
3.3. Vizualizacijos ir naudotojo sąsajos kūrimas.....	42
3.4. Laivo pozicijos nuskaitymo posistemis.....	44
3.5. Lyno pozicijos nustatymas posistemis .....	48
3.5. Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos posistemis .....	50
IV. SISTEMOS VERIFIKAVIMAS IR VALIDAVIMAS.....	57
4.1. Žvejybinio keltuvo sistemos verifikavimas.....	57
4.2. Sistemos validavimas .....	58
IŠVADOS.....	62
LITERATŪRA .....	63
PRIEDAI .....	67

## TERMINŲ IR SANTRUPŲ ŽODYNĖLIS

A k s e l e r o m e t r a s ( angl. *accelerometer*) - prietaisas, kuris išmatuoja pagreitį.

B L D C v a r i k l i s (angl. *brushless DC motor* ) - bešepetėlinis nuolatinės srovės variklis.

K e l t u v a s – prietaisas sunkumams kelti.

P I D r e g u l i a t o r i u s (angl. *Proportional integral derivative*)- proporcinis, integruojantis, diferencijuojantis valdymas.

S t a t o r i u s (lot. *stator* ) - nejudamoji rotorinės mašinos dalis, kurioje sukasi judamoji dalis — rotorius.

D I (angl. *Artificial intelligence*)- dirbtinis intelektas, bet koks dirbtinai sukurtas intelektas. Tai sistema kuri gali interpretuoti išorinius duomenis, mokytis iš jų ir juos panaudoti, kad būtų įgyvendinti konkretūs tikslai ir uždaviniai.

S I S O - (angl. *Single input-single output*)- vieno įėjimo, vieno išėjimo kontroleris.

M I M O - (angl. *Multiple input, multiple output*)-kelios investys, kelios išvestys.

L C D - (angl. *liquid cristal display*)- skystų kristalų ekranas.

R I E D I S - (angl. *Segway*) – elektrinė dviratė transporto priemonė skirta vienam žmogui važiuoti.

## ĮVADAS

Šiomis dienomis pasaulyje išmaniųjų technologijų pažanga kelia vis aukštesnius kriterijus, kuriais siekiama patobulinti tam tikrų įrenginių funkcionalumą, preciziškumą bei supaprastinti naudotojo valdymo sistemos sąsajas.

Vienas iš sudėtingesnių iššūkių, su kuriais susiduria mokslas ir aukštųjų technologijų pramonė yra sukurti stabilizuojančias valdymo sistemas, kurios gebėtų palaikyti pastovias užduotas sistemos vertes ir savarankiškai reguliuoti jos parametrus, pagal tam tikrus įvykius. Dažniausiai tokiose sistemose yra integruojami neuroniniai tinklai. Tokios išmaniosios sistemos gali savarankiškai apsimokinti, o po to valdyti prietaisą parinkdamas optimaliausias vertes.

Žūklės pramonėje naudojami žvejybinių keltuvai yra lėti ir neproduktyvūs. Keltuvuose nėra integruotų išmanių stabilizavimo sistemų, todėl trūksta tokių žvejybinių keltuvų, kuriuose būtų integruotos inovatyvios valdymo sistemos. Nuspėta sukurti žvejybinių keltuvą ir įdiegti išmaniają stabilizavimo sistemą, kad prietaisas taptų tikslesnis ir efektyvesnis. Žvejybinio keltuvo su integruota išmaniają stabilizavimo valdymo sistema panaudos spektras prasiplėstų ir galėtų būti panaudotas ne tik žvejybai, bet ir mokslui pvz. jūros biologijos tyrinėjimui, žuvų maitinimui, sonarų įleidimui ir t.t..

„Žvejybinio keltuvo valdymo programa“ ( T. Litvinas; 2018) bakalauro baigiamajame darbe buvo analizuojami esamų žvejybinių keltuvų funkcionalumas. Išanalizavus jų privalumus ir trūkumus, buvo sukurtas žvejybinis keltuvai su valdymo programa, kuri buvo skirta pramoninei ir mėgėjiškai žūklei. Žvejybiniame keltuve „Fischmachines“ integruotas rankinis ir automatinis valdymas. Rankinis valdymas skirtas tinko traukimui iš vandens, o automatinis- žvejybai su kabliukais.

Pratęsiant žvejybinio keltuvo funkcionalumo tobulinimą, magistriniame baigiamajame darbe bus siekiama integruoti į žvejybinių keltuvą išmaniojo stabilizavimo valdymo sistemą, kuri gebės iš surinktų duomenų atkartoti operatoriaus atliktą darbą.

**Probleminė sritis:** žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos, gebančios atkartoti operatoriaus veiksmus, kūrimas.

**Darbo objektas:** Žvejybinio keltuvo valdymo sistema ir prototipas.

**Darbo tikslas:** Sukurti žvejybinio keltuvo išmaniają valdymo sistemą, kuri atliktų žvejybinio lyno gylio stabilizavimą, atkartojant keltuvo operatoriaus darbą.

**Darbo uždaviniai:**

1. Apžvelgti pasaulyje naudojamas stabilizavimo ir žvejybinių keltuvų valdymo sistemas.

2. Suprojektuoti žvejybinio keltuvo išmaniają valdymo sistemą, kuri atliktų lyno stabilizavimą, remiantis naudotojo valdymo veiksmais.
3. Sukurti žvejybinio keltuvo prototipą.
4. Atlikti žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos validavimą ir verifikavimą.

## I. ANALITINĖ DALIS

Analitinės dalies skyriuje bus analizuojamos pasaulyje egzistuojančios stabilizuojančios sistemos. Analitinės dalies pirmame skyriuje analizuojami valdymo principai ir koncepcijos esamų stabilizavimo sistemų. Antroje dalyje - analizuojami reikiamos aparatinės įrangos (sensoriai, jutikliai) pritaikymai ir diegimai. Paskutinėje dalyje bus apžvelgiami esami žvejybiniai keltuvai, išanalizuoti jų veikimo principai, funkcionalumai, pritaikymai mokslo tikslams.

Šiuo metu pasaulyje yra daug sukurtų įvairių stabilizavimo sistemų, vienos iš jų:

- Dviratė transporto priemonė riedis (angl.-seagway);
- Krano platformos stabilizavimo sistema;
- Telefono stovo stabilizavimo sistemos.

Dviračiuose riedžiuose (pav.1 ) naudojamos stabilizavimo sistemos[1,2], kurios padeda išlaikyti pusiausvyrą važiuojant pirmyn ar atgal. Pagrindinis sensorius akcelerometras nustato prietaiso pasvirimą, kuris toliau generuoja atitinkamą informaciją ir perduoda mikrovaldikliui, kuris valdo „BLDC“ variklius. Riedžiuose dažniausiai būna integruoti dviejų ašių akcelerometrai.



1 pav. Dviratės transporto priemonės riedžiai [3-5]

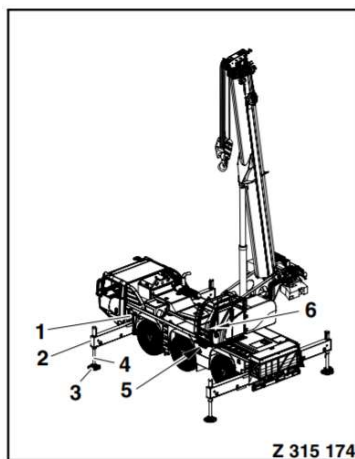
Šiuolaikiniuose automatizuotuose automobiliniuose kranuose yra naudojamos stabilizavimo sistemos:

- krovinio kėlimo stiebo stabilizavimas;
- važiuoklės stabilizavimas;
- krano platformos pastatymo stabilizavimas.

Krano platformos (2 pav.) išlyginimui ir stabilizavimui, kaip pagrindinei duomenų imčiai naudojamas jutiklis- akcelerometras. Dažniausiai tokiose sistemose akcelerometrai naudojami dviejų ašių. Akcelerometras apie platformos pasvirimą perduoda į išlyginimo sistemos valdiklį, kuris pagal

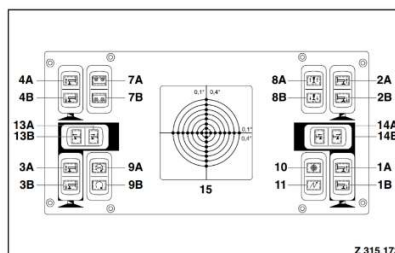
pakrypimą nusprendžia kokią pusę reikia kelti arba leisti, lygiagrečiai pasvirimo informaciją atvaizduojama informaciniame ekrane, kurią gali sekti automobilinio kran operatorius (3 pav. ). Platformos išlyginimo stabilizavimas būna dviejų rūšių:

- Aktyvus- valdymo sistema automatiškai stabilizuoja platformos padėtį;
- Pasyvus- operatorius mygtukų pagalba išlygina ir stabilizuoja platformos padėtį.



2 pav. Kranos atramos pastatymas [6]

4 paveiksle pavaizduotas kranos atramos pastatymas, 4 numeriu pažymėtos atraminės kojos veikiamos hidraulinių cilindrų pakeliamos arba nuleidžiamos pagal poreikį.



3 pav. Akselerometro parodymo ekranas ir kranos atramos valdymo pultas[6]

3 paveiksle vaizduojamas atramos valdymo pultas kuriame 15 numeriu pažymėtas informacinis kranos atramos posvyrio informacinis ekranas.

Kameros stabilizavimo stovai (4 pav.) sukonstruoti taip, kad įstatytas telefonas išlaikytų stabilią padėtį. Dažniausiai stabilizavimo stovė yra sumontuoti trys „BLDC“ varikliai su enkoderiais. Stovo rankenoje įmontuoti jutikliai akselerometras ir giroskopas. Akselerometras nustato stovo pasvirimo kampą, o giroskopas matuoja sukimosi kampą. Akselerometras ir giroskopas generuoja

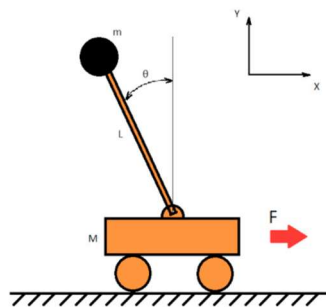
atitinkamą informaciją apie stovo pokytį erdvėje ir perduoda sistemos valdikliui, kuris toliau perduoda stovo varikliams atitinkamą valdymą.



4pav. Telefono stabilizatoriaus veikimo principas [7-9]

### 1.1. Stabilizuojančios sistemos

Dviejų ratų stabilizavimo sistema - savaime stabilizuojantis prietaisas yra vienas iš svarbiausių šių dienų informatikos inžinerijos tyrimų temų. Veikimo principas pateikiamas, kaip „Apverstos švytuoklės“ principu (5 pav.).



5 pav. Apverstos švytuoklės principas [10]

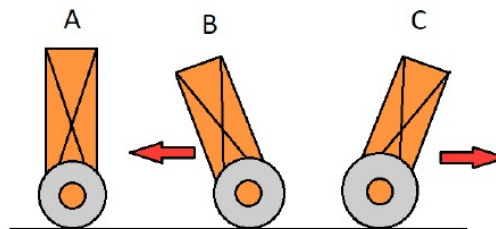
Girokopai ir posvyrio kampo sensoriai yra naudojami aptikti stabilizavimo kampą. Skaitmeniniai filtrai yra priskirti integruotiems grįžtamajį ryšį užtikrinantiems sensoriams matuoti pasvyrimo kampą su skirtingais dažniais[11].

Stabilizavimo proceso pozicijos klaidos, kaip apverstos švytuoklės principo robotuose dažnai susiduriama su ratų praslydimu klaidomis, kai giroskopo arba akcelerometro sensoriai keičia gravitacijos centrą ir priima linijinį grįžtamajį ryšį balansavimui ir važiavimui pirmyn ar atgal. Stabilizavimo procese paklaidų mažinimas atliekamas, kai iš naujo nustatomos balansavimo pozicijos, kurios turi asociaciją su norima kelio trajektorija[12].

Norint stabilizuoti dviratį kūną, būtina turėti tikslią informaciją iš integruotų sistemoje sensorių apie esamą pasvirimą ir kokia įtampa ir srovė turi būti generuojama į ratų variklius, kad atliktų tinkamus judesius stabilizavimo metu. Dėl šios priežasties sistemoje turi būti integruotas mikrovaldiklis, kuris apdoroja visus gaunamus duomenis, o vėliau perduoda tam tikrus signalus variklių valdikliams.

Dažniausiai save stabilizuojančiose sistemose yra aptinkami PID (angl.- proportional integral derivative controller) reguliatoriai. PID reguliatorius- tai reguliatorius, kuris turi duomenų įvestį, išvestį ir grįžtamą ryšį. PID reguliatorius yra parametriškai optimizuojamas. Reguliatorių sudaro trys grandys:

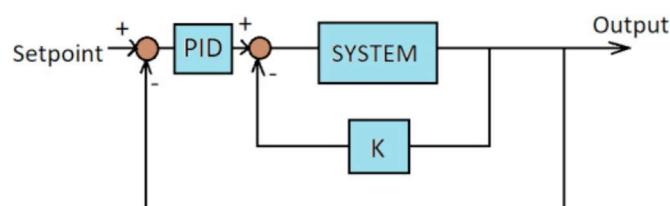
1. Proporcinė(P);
2. Integruojanti (I);
3. Diferencijuojanti (D).



6 pav. Roboto stabilizavimas[10]

Remiantis roboto stabilizavimo sistema (6 pav.), matome jog šiuo metodu robotas gali išlaikyti pusiausvyrą ratams sukantis tam tikru greičiu. Roboto kūnas būtų stabilizuotas per LQR valdiklį, o PID reguliatorius valdytų ratų sukimosi greitį.

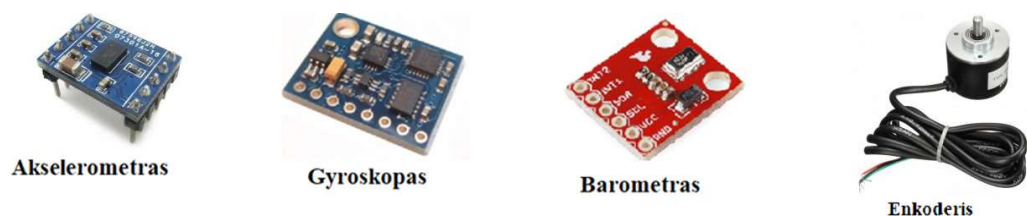
PID reguliatorius gali valdyti kūno posvyrio kampą, nes tai yra SISO (vienos įvesties vienos išvesties) valdiklis. Sistema veikia dinaminio judesio stabilizavimo principu, kai MPU6050 akcelerometro jutiklis naudojamas roboto pasvirimo kampui nustatyti. Remiantis gaunamais duomenimis iš akcelerometro jutiklio (MPU6050) PID reguliatorius siekia išlaikyti pusiausvyrą, kontroliuojant variklių kryptį ir greitį [10] ( 7 pav.).



7 pav. Integruotas PID valdiklis[10]

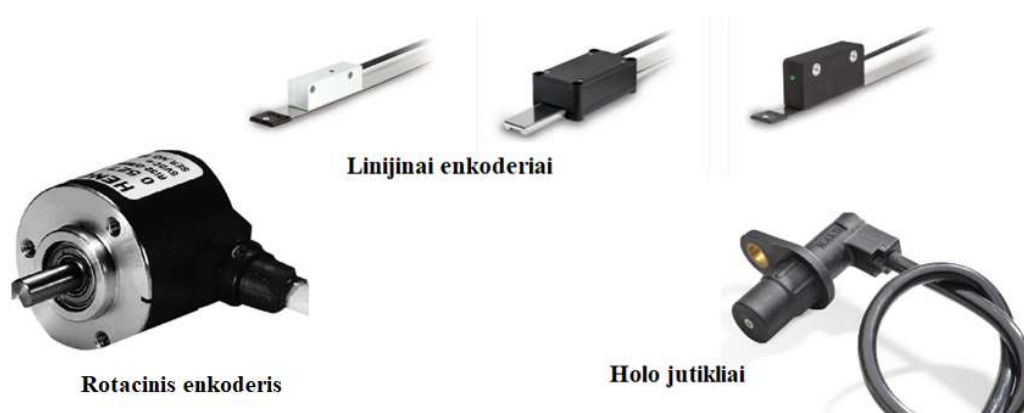
## 1.2. Stabilizuojančių sistemų grįžtamasis ryšys

Pramoniniuose ir buitiniuose prietaisuose stabilizavimo sistemose naudojamos uždaro tipo valdymo sistemos (angl. close loop). Tokiose sistemose, grįžtamajam ryšiui užtikrinti naudojami jutikliai: enkoderiai, akcelerometrai, gyroskopai, barometrai, magnetometrai (8pav.). Jutiklių tipas parenkamas pagal sistemos poreikį.



8 pav. Sistemos būsenos nustatymo jutikliai[14-17]

Pramoninės automatikos sistemose judamų dalių pozicijos nustatymui dažniausiai naudojami enkoderiai (8 pav. ). Enkoderiai tvirtinami prie variklio rotoriaus ašies, arba prie judančios dalies pvz. konvejerių stalo, CNC centro stalų, kai norima nustatyti konkrečią judančios dalies poziciją. Sistemos projektavime pagal techninius sprendimus enkoderiai parenkami pagal konkrečią rūšį: rotaciniai, holo arba linijiniai enkoderiai [18,19,20].

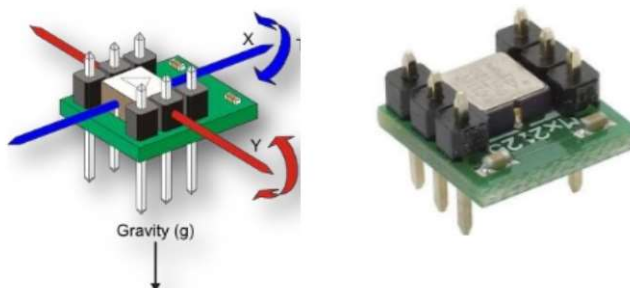


9 pav. Enkoderių pavyzdžiai[21-23]

9 paveiksle pavaizduoti pozicijos nustatymo enkoderiai, kurie dažniausiai būna trijų rūšių: rotaciniai, linijiniai, holo.

Akselerometrų (10 pav.) panaudos spektras yra didelis. Pasvyrimo kampo erdvėje nustatymo jutikliai naudojami ne tik butyje, bet ir pramonėje. Šiuos jutiklius galime rasti įvairiausiuose prietaisuose ar sistemose pradedant nuo išmaniųjų telefonų iki sudėtingiausių laivo stabilizavimo sistemų [19]. Akselerometrai skirstomi pagal matuojamo judesio rūšį. Jutikliai skirstomi į linijinius ir kampinius, o pagal veikimo principą į mechaninius, elektromechaninius.[20] Mechaninė akselerometro svyruoklė įtvirtinta tarp spyruoklių, pagreičio veikiami pakrypsta ir per

mechaninę sistemą suka rodyklę, rodančią pagreitį. Elektromechaniniame akcelerometre naudojamas jutiklis, kurio elektriniai parametrai (varža, induktyvumas, talpa) kinta nuo mechaninės deformacijos proporcingos pagreičiui.



10 pav. Dviejų pozicijos ašių erdveje nuskaitymo jutiklis-akcelerometras [26]

Išanalizavus stabilizavimui naudojamus jutiklius, toliau pereinama prie žvejybinių keltuvų analizės.

### 1.3 Esamų žvejybinių keltuvų analizė

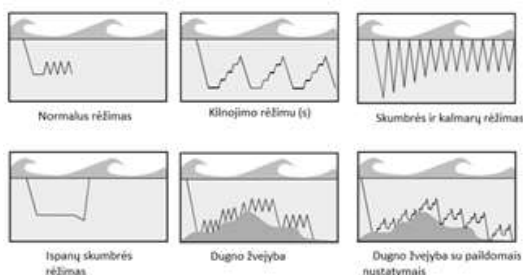
Žvejybinių keltuvų analizės dalyje nagrinėsime keturis žvejybinius keltuvus. Trumpai analizuosime prietaisų funkcionalumą, integruotų programų galimybes. Skyriaus pabaigoje pateiksime bendrą keltuvų analizės lentelę.

Pirmas iš keturių analizuojamų žvejybinių keltuvų- „ Belitronics BJ5000“, tai švedų sukurtas žvejybos prietaisas, skirtas žvejybai jūroje. Ant keltuvo būgno yra suvyniotas lynas su pritvirtintais kabliukais skirtais gaudyti žuvį. Keltuvo operatorius lyno poziciją gali keisti valdant rankiniu režimu arba pusiau automatiniu pagal parinktą programą. „ Belitronics BJ5000“ keltuvas pavaizduotas 11 pav.



11 pav. Žvejybinis keltuvas " Belitronics BJ5000" [27]

Žvejybinis keltuvas „ Belitronics BJ5000“ turi šešias skirtingas automatiniam valdymui skirtas valdymo programas, kuriomis naudotojas gali gaudyti skirtingų rūšių žuvis. Programų veikimo principai atvaizduoti (12 pav.).



12 pav. „ Belitronics BJ5000“ žvejybos programų režimai [27]

12 paveiksle pavaizduoti šeši pusiau automatiniai režimai skirti žvejybai. Pirmasis paveikslėlis nurodo normalų režimą. Žvejybinis prietaisas įleidžia žvejybai skirtą lyną, traukia pirmyn ir atgal kol užkibs žuvis. Antrajame paveiksle pavaizduotas kilnojimo režimas (angl.-Jigging). Šį režimą gali koreguoti keltuvo operatorius- keisti kilnojimo lyno intervalą ir gylį. Trečiajame paveiksle pavaizduota skumbrės ir kalmarų gaudymo programa. Programos veikimo principas- pastovus nuleidimo ir pakėlimo ciklas, t. y. lynas nuleidžiamas iki atitinkamo gylio ir iškart keliamas į viršų. Ketvirtame paveiksle – pavaizduota dugno ispanų skumbrės žvejybai skirta programa. Penktame ir šeštame paveiksluose nurodomos dugno skanavimo programos. „Belitronics “ prietaiso techninės charakteristikos pavaizduotos 1 lentelėje .

1 lentelė „ Belitronics 1500" prietaiso techninės charakteristikos

Nr.	Pavadinimas	Požymiai
1	Ekranas	LCD ekranas 2x16 su pašvietimu
2	Programų skaičius	6
3	Valdymo mygtukai	12
4	Rankinis režimas	yra
5	Automatinis režimas	yra
6	„EPROM“ atmintis	yra
7	Belaidis ryšys	nėra
8	Išmanioji stabilizavimo sistema	nėra

1 lentelėje matome jog žvejybinis keltuvas „ Belitronics BJ5000“ yra automatizuotas žvejybai skirtas prietaisas, kuris turi šešias integruotas automatinio valdymo programas. Žvejybinis keltuvas gali būti valdomas rankiniu arba pusiau automatiniu režimu. Techninės charakteristikos lentelėje matoma jog

keltuvo valdymo skyde yra integruota 12 valdymo mygtukų ir „LCD“ (angl.- liquid cristal display) informacinis ekranas. Pagal „Belitronics BJ5000“ pateiktus duomenis nustatyta jog prietaisas neturi išmaniosios stabilizavimo sistemos, kuri sugebėtų atkartoti vartotojo anksčiau atliktus veiksmus.

Antras analizuojamas žvejybinis keltuvas yra „Hookline“ kompanijos gaminamas žvejybinis keltuvas, „DNG C6000i“(pav.13). Šio įrenginio išskirtinumas- integruotas galingas elektrinis variklis galintis pakelti didelę masę. Keltuve yra integruotų programų, kurias keltuvo operatorius gali pasirinkti ir naudoti pagal poreikį. „DNG“ turi privalumą lyginant su kitais žvejybiniais keltuvais, nes keltuve yra integruotas „Wi-Fi“ modulis. „Wi-Fi“ modulis suteikia galimybę valdyti prietaisą nuotoliniu būdu.



13 pav. „DNG“ žvejybinis prietaisas [28]

„DNG“ žvejybinio keltuvo techninės charakteristikos yra išskirtinės lyginant su kitų gamintojų keltuvais. Keltuvo keliamoji galia 50kg. Kelia didelę masę, bet sunaudoja mažai srovės. „DNG“ techniniai duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė "DNG" keltuvo techninės charakteristikos

Nr.	Pavadinimas	Požymiai
1	Ekranas	LCD-neapšviestas
2	Valdymo mygtukai	4 vnt.
3	Rankinis valdymas	yra
4	Automatinis valdymas	yra
5	Programos	7
6	„EPROM“ atmintis	yra
7	Belaidis ryšys	yra (Wi-fi)
8	Išmanioji stabilizavimo sistema	nėra
9	Sunaudojama srovė(A)	40

10	Keliama masė (Kg)	50
----	-------------------	----

2 lentelėje "DNG" keltuvo techninės charakteristikos matome, kad prietaisas turi keturis valdymo mygtukus ir vizualinį naudotojo prievadą - „LCD“ ekraną. Žvegybiniame prietaise yra integruotos septynios programos. Prietaisas turi „EPROM“ atmintį, kuri skirta išsaugoti esamų programų parametrus. „DNG“ žvegybinis keltuvas turi belaidį ryšį, bet neturi išmaniosios stabilizavimo sistemos.

Trečias analizuojamas prietaisas yra lietuvių kompanijos UAB „ABFLT“ gaminamas prietaisas „Hobbyfisher E150“. Žvegybinis prietaisas skirtas žvejybai su tinklais, taip pat kėlimui iš vandens tinklines krabų gaudymo dėžes. „Hobbyfisher E150“ žvegybinis prietaisas neturi pusiau automatinį ar programuojamų režimų, todėl keltuvas yra valdomas tik rankiniu būdu. Keltuvas gali keisti būgno sukimo greitį. „Hobbyfisher E150“ žvegybinis prietaisas pavaizduotas (pav.14).



14 pav. „Hobby fisher“ žvegybinis keltuvas[29]

Analizuojant „Hobbyfisher E150“ žvegybinį keltuvas yra pateikiama techninės charakteristikos 3 lentelėje.

3 lentelė „Hobby fisher“ keltuvo techninės charakteristikos

Nr.	Pavadinimas	Požymiai
1	Ekranas	nėra
2	Valdymo mygtukai	nėra
3	Rankinis valdymas	yra
4	Automatinis valdymas	nėra
5	Programos	nėra

6	„EPROM“ atmintis	nėra
7	Belaidis ryšys	nėra
8	Išmanioji stabilizavimo sistema	Nėra
9	Sunaudojama srovė(A)	30-70
10	Maitinimo įtampa	12V

3 lentelėje nurodoma, kad prietaisas yra valdomas tik rankiniu būdu. Prietaisas neturi savyje jokio valdymo procesoriaus, taigi visą prietaiso valymą turi atlikti keltuvo operatorius.

Ketvirtas analizuojamas žvejybinis keltuvas „Fishmachines“. „Žvejybinio keltuvo valdymo programa“ ( T. Litvinas; 2018) bakalauro baigiamajame darbe buvo pagamintas žvejybinio keltuvo prototipas. Žvejybiniame keltuve integruota valdymo programa skirta žvejybai su kabliukais arba traukti tinklą iš vandens. Žvejybinis keltuvas turi du valdymo tipus: rankinį ir automatinį.

4 lentelė „Fishmachines“ keltuvo techninės charakteristikos

Nr.	Pavadinimas	Požymiai
1	Ekranas	LCD spalvotas -lietimui jautrus
2	Valdymo mygtukai	Trys valdymo mygtukai
3	Rankinis valdymas	yra
4	Automatinis valdymas	yra
5	Programos	2
6	„EPROM“ atmintis	nėra
7	Išmanioji stabilizavimo sistema	nėra
8	Sunaudojama srovė(A)	30-70A
9	Maitinimo įtampa	12V
10	Keliama masė (Kg)	50

4 lentelėje pateikta informacija nurodo, jog žvejybinis keltuvas turi spalvotą lietimui jautrų vizualizacijos ekraną, ir tris valdymo mygtukus. Keltuvas sukurtas valdyti rankiniu arba pusiau automatinio režimu. Iš pateiktos techninės charakteristikos lentelės matyti, kad žvejybinis prietaisas neturi išmaniosios stabilizavimo sistemos.

Išanalizavus visus keturis pasirinktus skirtingų gamintojų žvejybinius keltuvus, sudaroma palyginimų lentelė, kurioje atsispindi žvejybinių prietaisų techninių charakteristikų skirtumai. Visi svarbiausi žvejybinių keltuvų techniniai palyginimai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Žvejbinių keltuvų techninių charakteristikų palyginimų lentelė

Nr.	Požymiai	„DNG“	„Belitronics BJ 5000“	„Hoby fischer“	„Fishmachines“
1	Ekranas	+	+	-	+
2	Vizualinė vartotojo sąsaja	+	+	-	+
3	Programuojamas	+	+	-	+
4	Belaidis ryšys	+	-	-	-
5	„EPROM“ atmintis	+	+	-	-
6	Garsinis signalas	-	+	-	+
7	Šviesos signalas	-	+	-	-
9	Automatinis režimas	+	+	-	+
10	Rankinis režimas	+	+	+	+
11	Apsauga nuo viršsvorio perkrovos	+	+	+	+
12	Apsauga nuo viršsvorio	-	-	-	+
13	Apsauga nuo neteisingos įtampos pajungimo	-	-	-	-
8	Išmanioji stabilizavimo sistema	-	-	-	-

5 lentelėje matome analizuojamas žvejbinių prietaisų charakteristikas: „Belitronics BJ5000“, „DNG“, „Hoby fischer“ ir „Fishmachines“.

Remiantis sudaryta analizės 5 lentele galime teigti, kad „Belitronics“, „DNG“ ir „Fishmachines“ žvejbiniai keltuvai pritaikyti pusiau automatizuotam valdymui. Tai nurodo, kad keltuvai gali dirbti tam tikrą laiką vieni be žvejo priežiūros, pagal nustatytą programą. Trejuose tiriamuose prietaisuose pastebėta, kad turi integruotus rankinius ir pusiau automatinius režimus, apsaugą nuo viršsvorio, bet neturi apsaugos nuo viršsvorio, neteisingos įtampos pajungimo ir išmaniosios lyno stabilizavimo sistemos.

Išanalizavus žvejbinius keltuvus pastebima problema, kad tiriamuose keltuvuose nėra išmaniosios lyno stabilizavimo sistemos, kuri apsimokintų automatiškai ir atkartotų operatoriaus anksčiau atliktus veiksmus. Toks išmanus stabilizavimo valdymas gali būti naudojamas sonarų įleidimui, žuvų maitinimui, jūros biologijos ar dugno tyrimams atlikti ir t.t..

Apibendrinant analitinės dalies skyrių, daugelyje stabilizavimo sistemose grįžtamajam ryšiui užtikrinti naudojami jutikliai: akselerometrai ir enkoderiai. Norint sukurti išmaniają stabilizavimo sistemą reikia integruoti jutiklius nustatančius žvejbinio keltuvo būgno padėtį ir pasvirimo kampą, įgyvendinant savaiminio apsimokymo algoritmą.

## II.SISTEMOS PROJEKTAVIMAS

Sistemos projektavimo dalyje yra iškeliami pagrindiniai funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai, kuriais remiantis sistema turi būti suprojektuota ir realizuota.

Funkciniai reikalavimai:

1. Keltuvas turi turėti du valdymo tipus:
  - Rankinis valdymas- mygtukais aukštyn ir žemyn keisti lyno poziciją (gylį);
  - Automatinis valdymas- pagal laivo posvyrį automatiškai atliekamas lyno gylio stabilizavimas.
2. Rankinio valdymo programa valdoma 2 mygtukais:
  - Lyno pakėlimas į viršų;
  - Lyno nuleidimas į apačią.
  - Automatinio programos paleidimo mygtukas neaktyvus.
3. Automatinio valdymo programa startuojama nuspaudus „START“ mygtuką prieš tai lietimui jautriame ekrane nustačius lyno įleidimo gylį.
4. Informaciniame ekrane turi būti atvaizduojama informacija:
  - Lyno įleidimo gylis-matuojamas metrais;
  - Būgno sukimosi greitis-matuojama metrais per sekundę.
5. Informaciniame ekrane turi būti įvedami duomenys:
  - Lyno įleidimo gylis(m);
  - Būgno sukimo greitis(m/s);
6. Automatinė stabilizavimo programa turi atkartoti operatoriaus valdymą.
7. Sistema turi turėti du valdymo lygmenis:
  - Sistemos administratorius gali atlikti veiksmus:
    - a) Rankinis valdymas;
    - b) Automatinis valdymas;
    - c) Darbinių parametrų keitimas: lyno aukščio, gylio, būgno sukimosi greičio nustatymas.
  - Sistemos operatorius gali atlikti veiksmus:
    - a) Rankinis režimas -lyno padėties keitimas nuspaudžiant mygtukus aukštyn ir žemyn ;
    - b) Automatinis režimas.- lyno stabilizavimo programos paleidimas spaudžiant mygtuką „START“.

8. Sistemos valdymo operatoriai autentifikuojami nurodant skirtingus prisijungimo vardus ir slaptažodžius.

Nefunkciniai reikalavimai :

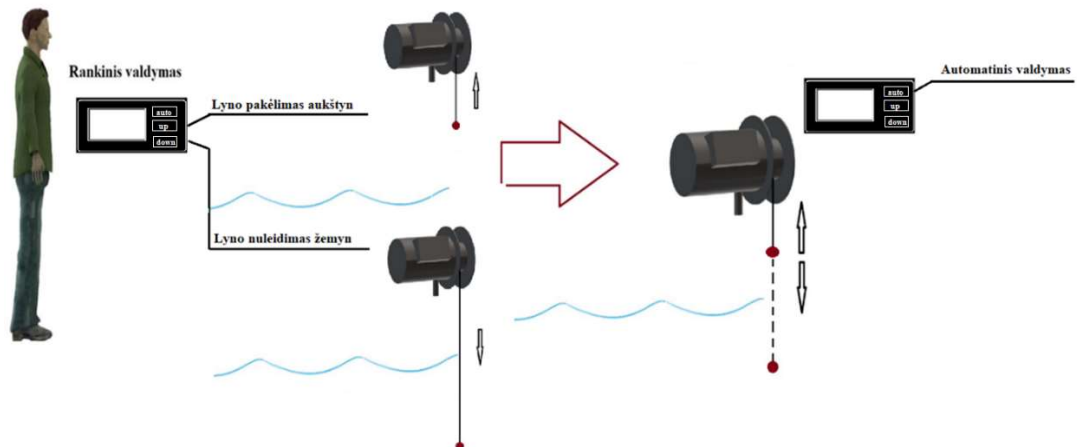
1. Žvejybiniame keltuve turi būti integruotas mikrovaldiklis, kuris turi turėti: 8 diskretinius įėjimus/išėjimus ir 6 analoginius įėjimus, su kuriais bus galima valdyti:
  - keltuvo variklio greitį;
  - keltuvo variklio sukimosi kryptį;
  - keltuvo būgno sankabą;
  - informacinį garsinį signalizatorių;
  - valdymo ekraną;
  - laivo pakrypimo kampo nustatymo jutiklį;
  - keltuvo būgno padėties jutiklį.
2. Žvejybinis keltuvas turi turėti vizualinę sąsają (lietimui jautrų informacinį ekraną). Ekranas dydis 3x4 colio, valdymo panelėje turi būti trys valdymo mygtukai.
3. Įrenginio korpusas pagamintas iš aliumininio ir padengtas dažais.
4. Įrenginio korpusas turi atitikti IP64 klasę, kuri nusako, kad įrenginys turi būti visiškai sandarus, apsaugotas nuo dulkių ir nuo vandens pusrū.
5. Įrenginio maitinimo įtampa DC 12V.
6. Įrenginio sunaudojama maksimali srovė 25A.
7. Įrenginio elektronika apsaugota automatinio viršsrovio saugikliu;
8. Sukimo būgno diametras 300 mm.
9. Lyno įleidimo peties ilgis 10m.
10. Įrenginio svoris neturi viršyti 15kg.;
11. Įrenginys turi pakelti atviroje erdvėje (ore) 20kg. svorį;
12. Įrenginio spalva juoda arba tamsiai pilka;
13. Žvejybinio keltuvo pagaminimo kaštai neturi viršyti 800eur.

## 2.1.Sistemos veikimo principas

Išanalizavus ir įvertinus pasaulyje naudojamas stabilizavimo bei žvejybinių keltuvų valdymo sistemas ir jų projektavimą, parengtas žvejybinio keltuvo koncepcinis modelis, kuriame pateikiama:

- projektuojamo žvejybinio keltuvo naudojimo paskirtis ir galimybės;
- žvejybinio keltuvo korpuso maketas;
- sudedamųjų elektronikos komponentų koncepcinis modelis;
- informacinio valdymo ekrano koncepcinis modelis;
- operatorių valdymo modelis;
- sistemos valdymo algoritmas.

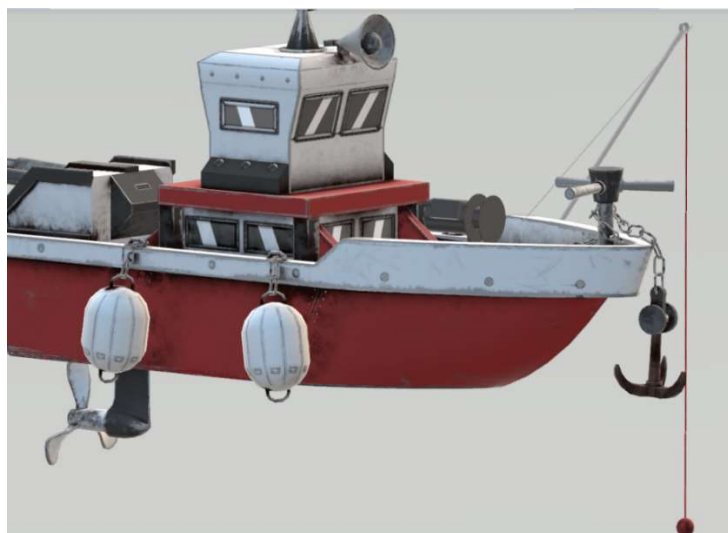
Projektuojamas žvejybinis keltuvas gali būti naudojamas pramoniniuose arba mėgėjiškuose žvejybiniuose laivuose. Žvejybinis keltuvas turi atlikti įleisto lino stabilizavimą, atkartojant operatoriaus atliktus ankstesnius valdymo veiksmus (15 pav.).



15 pav. Žvejybinio keltuvo sistemos valdymo principas

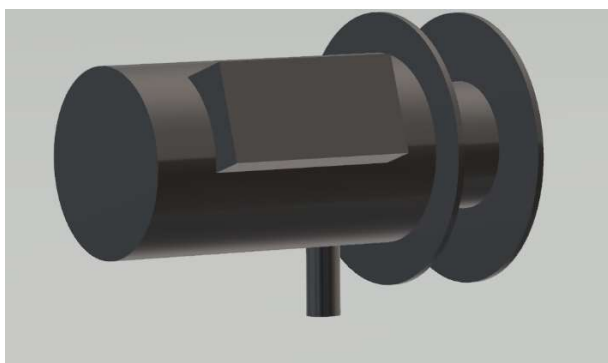
15 paveiksle kairėje pusėje vaizduojamas operatoriaus rankiniu būdu valdomas žvejybinis prietaisas, kuris vėliau perjungiamas į automatinį režimą. Žvejybinio keltuvo įleisto lino trajektorija nepasikeičia, išlieka lygiai tokia pati, atkartodama operatoriaus darbą.

Projektuojamas keltuvas bus tvirtinamas prie denio korpuso su specialiais laikikliais, šalia jo lino nukreipimo stiebas su skriemuliu, per kurį eina keltuvo lynas. Tokiu būdu lynas neliesdamas laivo korpuso gali netrukdomas leisti žemyn. Laivo modelis su pritvirtintu žvejybiniu keltuvu pavaizduotas 16 pav.



16 pav. Žvejybinio laivo modelis su žvejybiniu keltu[30]

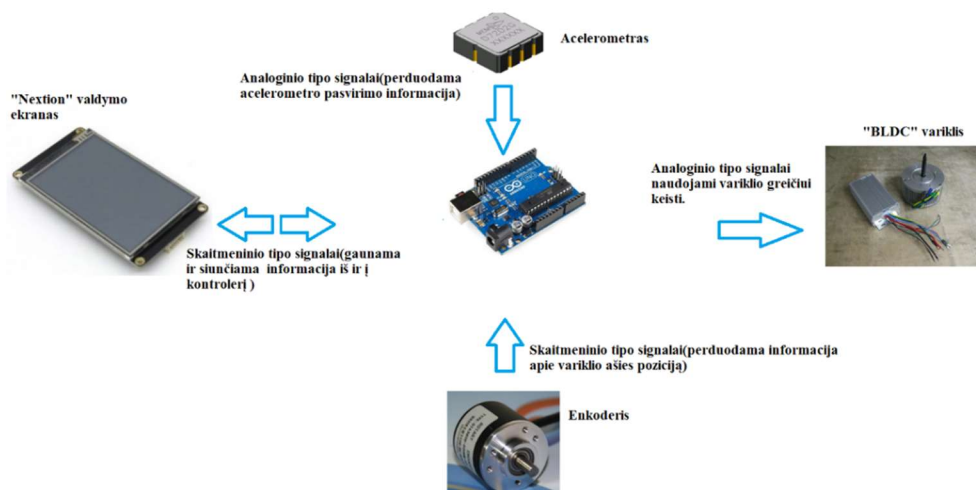
Atsižvelgiant į nefunkcinius reikalavimus sudaromas žvejybinio keltuvo korpuso maketas (17 pav.). Nefunkciniai reikalavimai pažymi, kad žvejybinio keltuvo korpusas turi būti pagamintas iš aliuminio ir dengtas dažais, kad metalas nebūtų veikiamas sūraus jūros vandens. Korpusas turi būti hermetiškas ir apsaugotas sandarinimo priemonėmis.



17 pav. Žvejybinio keltuvo maketas

Į žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos principinę schemą (pav. 18), įtraukiami tik tie elektronikos elementai, kurie pateikti funkciniuose ir nefunkciniuose reikalavimuose. Projektuojant keltuvo valdymo sistemą, pateikiama išmaniosios stabilizavimo sistemos principinė schema, kurioje pateikiami elementai pagal svarbą:

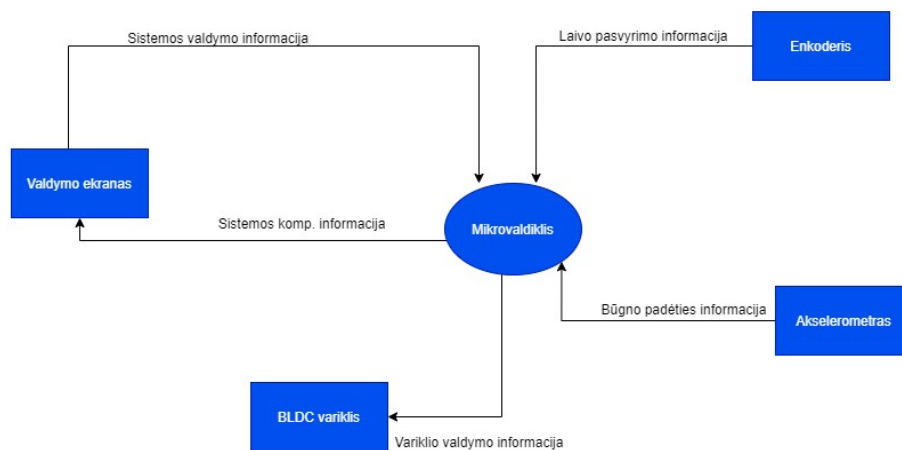
1. Automatinio stabilizavimo valdiklis;
2. Valdymo ekranas;
3. Akselerometras;
4. Enkoderis;
5. „BLDC“ variklis, variklio valdiklis.



18 pav. Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos komponentų principinė schema

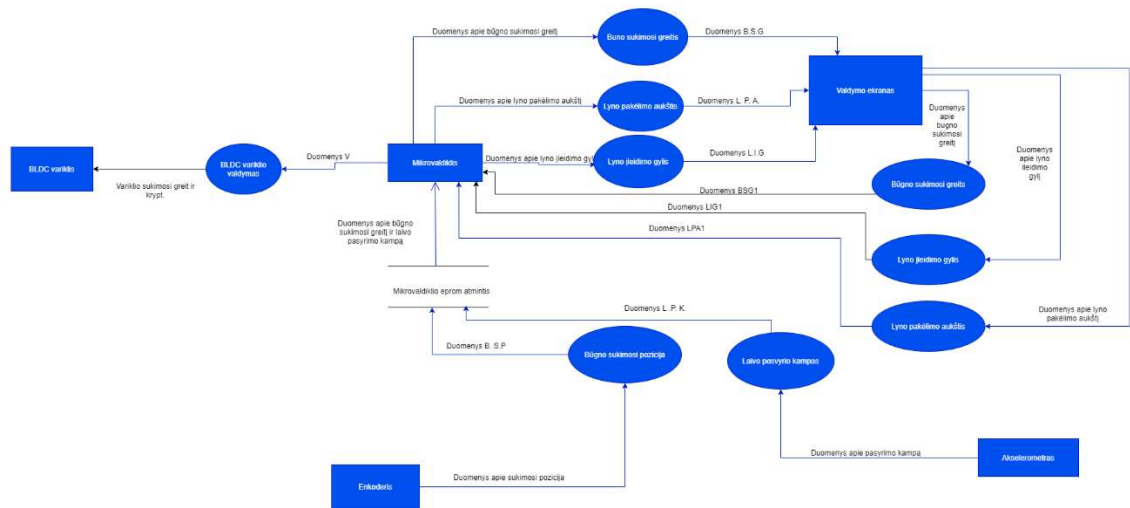
18 paveiksle pavaizduoti sudėtiniai komponentai, kurie bus naudojami išmanaus stabilizavimo sistemos įrenginiui.

Remiantis pateikta žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos komponentų principinė schema sudaroma aukščiausiojo („top“) lygmens DFD. TOP lygmens DFD modeliuoja mikrovaldiklio sąveiką su projektuojamo žvejybinio keltuvo elektronikos komponentais. Aukščiausiojo lygmens (TOP) DFD pateikta (19 pav.)



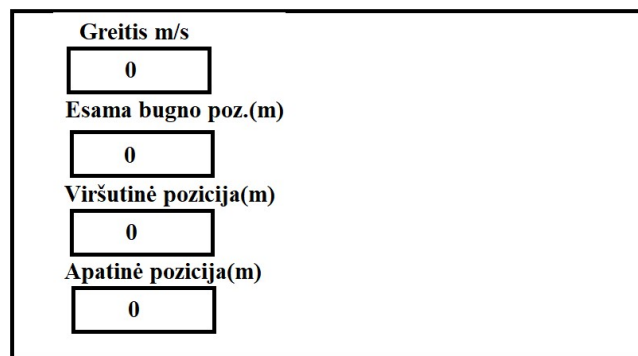
19 pav. Žvejybinio keltuvo sistemos aukščiausiojo lygmens (TOP) DFD

Toliau sudaroma nulinio lygmens DFD. DFD0 modeliuoja mikrovaldiklio informacijos srautus su žvejybinio keltuvo komponentais. Žvejybinio keltuvo DFD0 schema pavaizduota (20 pav.).



20 pav. Žvejybinio keltuvo valdymo sistemos nulinio lygmens DFD

Remiantis nurodytais funkciniais reikalavimais sudaromas žvejybinio keltuvo valdymo ekrano grafinis maketas (21 pav.), kuriame bus pateikiami keltuvo darbiniai parametrai.



21 pav. Valdymo ekrano grafinis maketas

Valdymo ekrano grafinio maketo paveiksle matoma, kad žvejybinio keltuvo ekrano parodymai pateikia operatoriui visą reikalingą keltuvo informaciją:

- būgno sukimosi greitį;
- būgno esamą poziciją;
- viršutinę lyno įleidimo poziciją;
- apatinę lyno įleidimo poziciją.

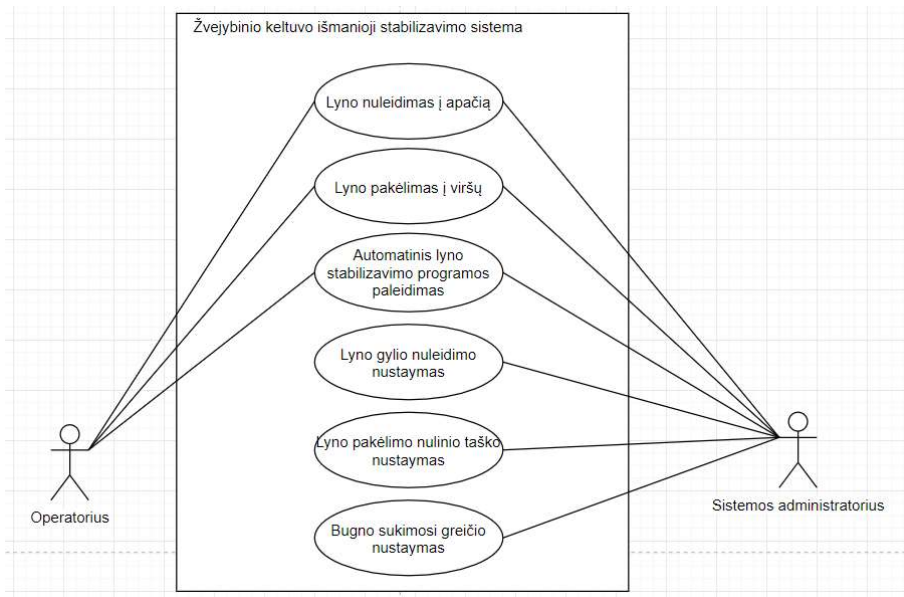
Pateikus ekrano parodymų informaciją, būtina sudaryti žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos panaudos atvejų diagramą (22 pav.), kuri leis lengviau suvokti sistemos valdymo principą, kai sistema naudojasi du valdymo operatoriai su skirtingomis valdymo privilegijomis.

Sistemos administratorius turi teisę keisti visus žvejybinio keltuvo parametrus:

- lyno nuleidimas žemyn;
- lyno pakėlimas aukštyn;
- automatinis lyno stabilizavimo programos paleidimas;
- lyno gylio nuleidimo nustatymas;
- lyno pakėlimo nulinio taško nustatymas;
- būgno sukimosi greičio nustatymas.

Sistemos operatorius turi teisę keisti ir vykdyti:

- lyno nuleidimą žemyn;
- lyno pakėlimą aukštyn;
- startuoti automatinę lyno stabilizavimo programą;



22 pav. Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos panaudos atvejų diagrama

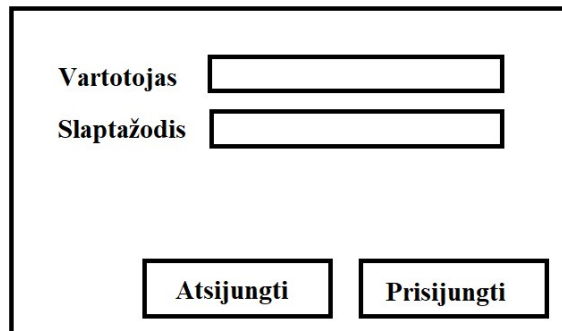
22 paveikslas nurodo, kad žvejybinis keltuvas turi dviejų tipų operatorius su skirtingomis valdymo privilegijomis.

Įgyvendinant panaudos atvejų diagrama sudaromas vartotojo prisijungimo grafinis maketas (23pav.). Sudaromi du įvesties simbolių ir skaičių laukai, kuriuose bus įvedama vartotojo tikrinimo informacija:

- vartotojo vardas- sudaromas iš raidžių, kurių kiekis nuo 5 iki 8 ;
- slaptažodis- sudaromas iš skaičių, kiekis nuo 4 iki 8 .

Ekranų apačioje – du valdymo mygtukai:

- prisijungti- vartotojo tikrinimas;
- atsijungti- atsijungimas nuo esamo vartotojo .



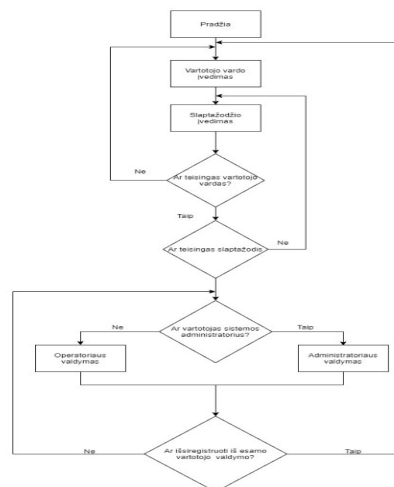
23 pav. Vartotojo prisijungimo grafinis maketas

23 paveiksle pateikiamas vartotojo prisijungimo ekrano grafinis maketas, kuriame pavaizduota preliminarini vartotojo prisijungimo prie valdymo sistemos ekrano išvaizda. Įvesties laukeliuose nurodoma informacija vartotojo vardas ir slaptažodis, o ekrano apačioje esantys mygtukai skirti prisijungti/atsijungti prie valdymo sistemos.

Remiantis anksčiau pateikta žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos panaudos atvejų diagrama, keltuve turi būti integruotos dviejų lygių valdymo sistemos:

- sistemos administratorius;
- operatorius.

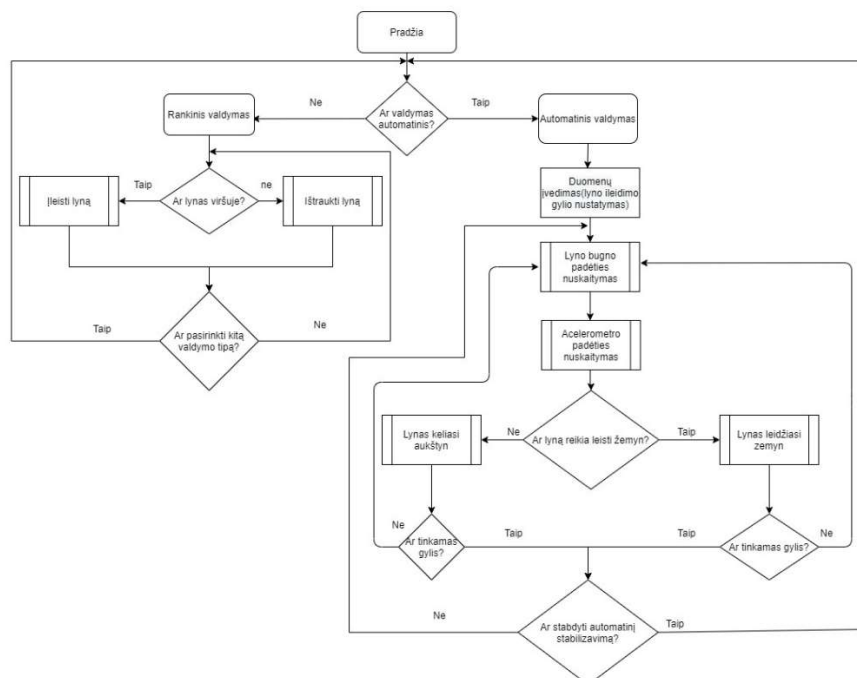
Sistema vartotojus turi skirti pagal vartotojo vardus ir slaptažodžius. Prisijungiant skirtingais prisijungimo vardais ir slaptažodžiais, sistema turi nustatyti, kokias valdymo privilegijas turintis naudotojas valdys žvejybinį keltuvą. Sudaromas vartotojų tikrinimo algoritmas 24 pav.



24 pav. Vartotojų parinkimo algoritmas

Analizuojant darbo probleminę sritį, sudaromas valdymo algoritmas. Algoritmas turi atspindėti visą prietaiso išmaniojo valdymo esmę. Funkciniai reikalavimai pažymi, kad prietaisas turi būti valdomas dviem būdais:

- rankinio režimo valdymas- operatoriui spaudžiant mygtukus aukštyn/žemyn kelia arba nuleidžia lyną;
- automatinio režimo valdymas- keltuvas atlieka lyno stabilizavimą atkartodamas anksčiau operatoriaus atliktus veiksmus. Automatinio režimo algoritmo pradžioje valdymo sistema turi žinoti, kokiam gylyje bus atliktas lyno stabilizavimas, todėl lyno įleidimo gylio nustatymas įvedamas rankiniu būdu. Sistema nuskaityto laivo pasvirimo kampą ir lyno esamą padėtį. Tokiu būdu įvertinama, kiek ir kokia kryptimi pasukti būgną. Sistemos algoritmas pateiktas (25 pav.).



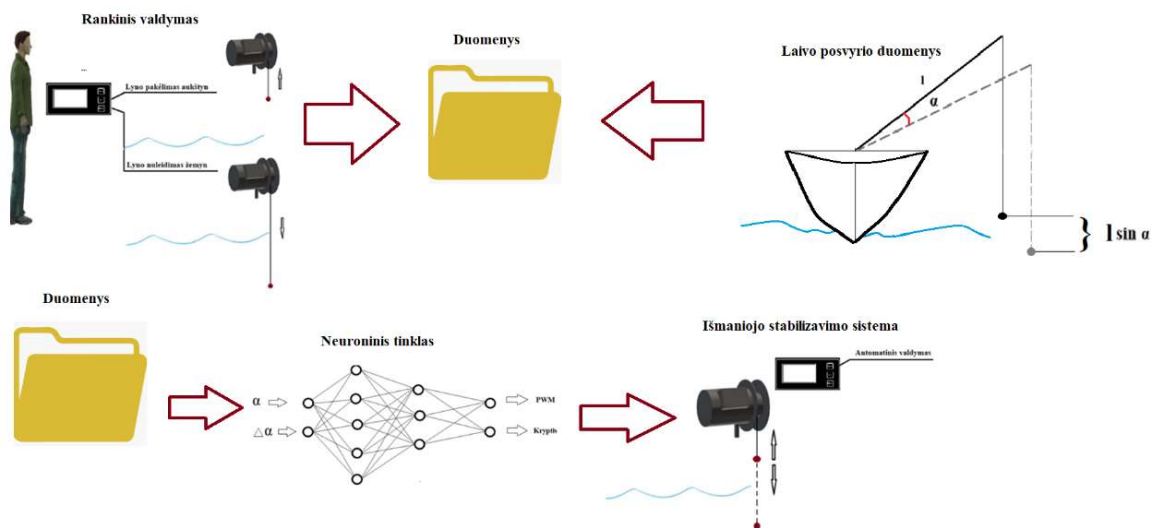
25 pav. Žvejybinio keltuvas sistemos valdymo algoritmas

25 paveiksle pavaizduotas žvejybinio keltuvas sistemos valdymo algoritmas, kuris atspindi rankinį ir automatinį sistemos valdymą.

## 2.2. Žvejybinio keltuvas išmaniosios stabilizavimo sistemos modelis

Išmaniosios stabilizavimo sistemos kūrimo esmė, kad žvejybinis keltuvas atkartotų anksčiau atliktus operatoriaus veiksmus. Norint tokias sistemas įgyvendinti, reikalingos savaime apsimokančios sistemos, kurios pagal surinktus operatoriaus atliekamu veiksmų duomenis gebėtų

apsimokyti. Viena iš priemonių leidžianti tai padaryti, integruojant į valdymo sistemą neuroninį tinklą su prižiūrima mokimosi posisteme (26 pav.). Pradžioje operatorius atlieka veiksmus (rankiniu režimu) sudarydamas neuroninio tinklo mokymosi duomenų imtį. Pateikiami duomenys neuroniniam tinklui. Apmokomas neuroninis tinklas, kuris sukuria mokymosi vertes, kurios buvo išprognuozuotos mokymosi metu. Neuroninio tinklo svoriai įvedami į žvejybinio keltuvo valdymo sistemą, kuri po to gali atkartoti žvejybinio keltuvo operatoriaus darbą.



26 pav. Išmaniosios stabilizavimo sistemos principas

Išmaniosios stabilizavimo sistemos principo paveiksle vaizduojama išmaniosios stabilizavimo sistemos principas, kuriame atspindi sistemai reikalingų duomenų surinkimas ir jų pateikimas neuroniniam tinklui.

Prieš apmokant neuroninį tinklą sistema turi būti paruošta, kad surinkti duomenų imtį. Išmaniojo stabilizavimo valdymo sistema veiktų tiksliai, reikalinga didelė duomenų imtis iš kurios neuroninis tinklas galės apsimokinti ir prognozuoti tikslias sistemos valdymo reikšmes. Todėl į sistemą planuojama integruoti PID reguliatorių. PID reguliatorius kaip pagalbinė priemonė padės surinkti gaunamus iš sistemos sensorių ir valdiklio valdymo duomenis.

Neuroninio tinklo sistemai reikalingi duomenys tokie kaip :

- laivo pasvyrimo kampas;
- laivo pasvyrimo kampo pokytis, t. y. skirtumas nuo tarp buvusio pasvyrimo ir esamo pasvyrimo kampo;
- keltuvo variklio valdymo variklio įtampa(PWM);
- keltuvo variklio sukimosi kryptis.

Laivo posvyrio ir posvyrio delta kampas reikalingas, kad apskaičiuoti kokių kampu yra laivas pasviręs, kad sistema žinotų kiek reikia keltuvo būgną sukuti atitinkama kryptimi, kad lynas išliktų toje pačioje padėtyje. Keltuvo variklio valdymo PWM signalas reikalingas, kad sistema žinotų kiek procentų PWM signalo buvo generuojama „BLDC“ variklio valdikliui prie tam tikro pasvyrimo kampo. Keltuvo sukimosi kryptis reikalinga, kad išmaniojo stabilizavimo valdymo sistema žinotų, kokia kryptimi keltuvo būgnui reikia sukuti, kai laivas pasviręs tam tikra kryptimi. Toks išmaniosios stabilizavimo valdymo sistemos principas bus realizuotas realizacijos trečioje sistemos realizacijos dalyje.

### III.SISTEMOS REALIZACIJA

Vadovaujantis ankstesniame skyriuje suprojektuota stabilizavimo sistema, jos realizacija susideda iš 6 punktų:

- 1) aparatinės įrangos parinkimas;
- 2) elektronikos schemos projektavimas;
- 3) vizualizacijos ir naudotojo sąsajos kūrimas.
- 4) laivo pozicijos nuskaitymas posistemis;
- 5) lyno pozicijos nustatymas posistemis;
- 6) žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos posistemis

#### 3.1 Aparatinės įrangos parinkimas

Aparatinės įrangos parinkimo skyriuje, remiantis funkciniais ir nefunkciniais reikalavimais parenkami optimaliausi komponentai, kurie bus diegiami į žvejybinio keltuvo išmaniojo stabilizavimo valdymo sistemą. Aparatinės įrangos skyriuje trumpai analizuojamos sudėtinių komponentų charakteristikos.

Remiantis nefunkciniais reikalavimais, išmanaus stabilizavimo valdymo sistemai reikalingas mikrovaldiklis, kuriam būtų pateikta informacija iš išorinių sensorių, kurią galėtų apdoroti ir pateikti tam tikrus valymo signalus: variklio valdymui ir informaciniam operatoriaus valdymo ekranui. Išanalizavus 5 gamintojų panašios klasės mikrovaldiklius pasirinktas „ATmega328“ mikrovaldiklis. Įvertinus „ATmega328P“ mikrovaldiklio technines charakteristikas (6 lentelė) galime daryti išvadą, kad projektui šis mikrovaldiklis tinkamas, nes išėjimų kiekis atitinka nefunkciniuose reikalavimuose, nurodytai įrangai valdyti. Mikroschema yra naudojama „ArduinoUNO“ plokštėje, kurią projekte naudosime kaip laboratorinę programavimo ir testavimo priemonę (27pav.).



27 Pav. "Arduino UNO" mikrovaldiklis[31]

27 paveiksle pavaizduotas „Arduino UNO“ mikrovaldiklis, kuris bus naudojamas duomenų imties kaupimui ir žvejybinio keltuvo sudedamųjų elektronikos komponentų valdymui.

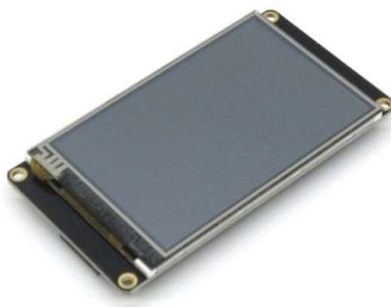
„Arduino UNO“ mikrovaldiklis turi: 6 skaitmeninius PWM išėjimus (angl. – pulse width modulation), 8 diskretinius įėjimus/išėjimus ir 6 analoginius įėjimus. „Arduino UNO“ techninė charakteristika pavaizduota 6 lentelėje .

6 lentelė. „Arduino UNO“ techninė charakteristika

1	Mikrovaldiklis	„ATmega 328 P“
2	Maitinimo įtampa	5-20V
3	Diskretinio išėjimo įtampa	4.2V~5V
3	Skaitmeniniai įėjimai/išėjimai	8
4	Skaitmeniniai PWM išėjimai	6
5	Analoginiai išėjimai	6
6	EPROM Atmintis	1Kb
7	Išėjimo srovė	40mA
8	SRAM atmintis	2Kb
9	Taktinis dažnis	16MHz
10	Flash atmintis	32Kb
11	UART	1 vnt.

6 lentelė nurodo, kad „Arduino UNO“ naudoja „ATmega328 P“ tipo mikrovaldiklį, kuris turi 14 skaitmeninio ir 6 analoginio tipo įėjimų/išėjimų, kuriais galima valdyti keltuvo sudedamąją elektronikos įrangą. Mikrovaldiklio taktinis dažnis yra 16 MHz. Lentelėje nurodyta, kad diskretinių išėjimų srovė gali siekti 40mA.

Remiantis antru nefunkciniu reikalavimu, kuris pažymi, kad projektuojamas žvejybinis keltuvas turi turėti vizualinę valdymo sąsają LCD lietimui jautrų ekraną. Pasirinktas „Nextion“ NX4832K035\_011 modelis. „Nextion“ tipo ekranai su kitais įrenginiais sujungiami per nuosekliąją (angl.- serial) jungtį, todėl paprasta prijungti prie mikrovaldiklio. Valdymo ekrano vizualizacija sudaroma „Nextion editor“ skirtu įrankiu. Žvejybinio keltuvo valdymo ekranas pavaizduotas 28 pav.



28 pav. Žvejybinio keltuvo valdymo ekranas „Nextion“[32]

28 paveiksle pavaizduotas lietimui jautrus „Nextion ekranas“, kuris bus naudojamas vizualizacijai ir žvejybinio keltuvo valdymui.

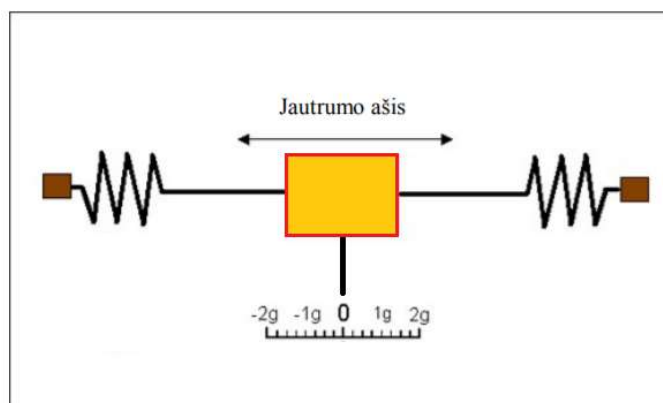
Atsižvelgiant į nefunkcinius reikalavimus žvejybinio keltuvo išmaniojo stabilizavimo sistemai reikalingas jutiklis, kuris matuotų keltuvo pasvirimo kampą, reikalingas akselerometras. Akselerometras- jutiklis, kuris pateikia mikrovaldikliui skaitmeninę arba analoginę informaciją, kaip detalė yra pakrypusi x-y ašies atžvilgiu. Vienos ašies arba daugiaašiai modeliai suranda kryptį, pagreitį ir vektoriaus normą kaip vektoriaus dydį. Mikro elektromechaniniai akselerometrai gali būti naudojami elektroniniuose aparatuose: mobiliuosiuose telefonuose, vaizdo žaidimų pulteliuose pramoniniuose kranuose, lygio nustatymo-niveliavimo sistemose. Akselerometras pavaizduotas (29 pav.).



29 pav. Posvyrio kampo nustatymo jutiklis - „Akselerometras“[33]

29 paveiksle pavaizduotas posvyrio kampo nustatymo jutiklis- akselerometras, kuris bus naudojamas žvejybiniame keltuve.

Akselerometrai yra sukonstruoti tokiu principu, kad būtų matuojama žinomos masės kūno jį veikianti jėga tam tikra ašimi[34] (30 pav.).



30 pav. Akselerometro vidinė struktūra[33]

30 paveiksle pavaizduota akselerometro veikimo principas, jautrumo ašies kryptis, kuri yra veikiamą tam tikra jėga.

7 lentelė. Akselerometro x-y ašių pakrypimų lentelė[33]

X-Axis Orientation To Earth's Surface (deg.)	X-Axis		Y-Axis	
	X Output (g)	Change per deg. of tilt (mg)	Y Output (g)	Change per deg. of tilt (mg)
90	-1.000	0.15	0.000	17.45
85	-0.996	1.37	0.087	17.37
80	-0.985	2.88	0.174	17.16
70	-0.940	5.86	0.342	16.35
60	-0.866	8.59	0.500	15.04
45	-0.707	12.23	0.707	12.23
30	-0.500	15.04	0.866	8.59
20	-0.342	16.35	0.940	5.86
10	-0.174	17.16	0.985	2.88
5	-0.087	17.37	0.996	1.37
0	0.000	17.45	1.000	0.15

7 lentelėje pateikti duomenys rodo x- orientaciją pagal žemės paviršiaus laipsnius ir akselerometro x ir y ašių generuojamus duomenis. Lentelėje pateikti duomenys bus naudojami laivo posvyrio kampo nustatymui.

Žvejybinio keltuvo viena iš pagrindinių sudedamųjų dalių yra variklis. Funkciniai reikalavimai pažymi jog žvejybinio keltuvo darbinė įtampa DC 12V ir maksimalus sukimosi greitis 1240 aps./min. Nefunkciniai reikalavimai pažymi, kad žvejybinis keltuvas ore turi pakelti 20 kg svorį, bet sukonstruoto keltuvo masė negali viršyti 15kg, todėl darome išvadą, kad žvejybinio keltuvo variklis turi būti kompaktiškas, lengvas ir galingas. Dėl šių priežasčių pasirinktas „BLDC“ tipo variklis. Pastovios srovės varikliai yra kompaktiški, turi daug valdymo galimybių ir išlaiko didelį sukimo momentą visame apsisukimų diapazone[35]. „BLDC“ varikliai yra ilgaamžiai, nes jie neturi besitrinančių dalių tokių kaip šepetėliai. „BLDC“ variklis ir variklio valdiklis pavaizduotas 31 pav.



31 pav. „BLDC“ variklis ir kontroleris

31 paveiksle pavaizduotas „BLDC“ variklis ir variklio valdiklis, komponentai bus naudojami žvejybiniame keltuve.

Pateikiama „BLDC“ variklio techninės charakteristikos 8 lentelėje, galios grafikas 3 priede.

8 lentelė „BLDC“ variklio techninė charakteristika

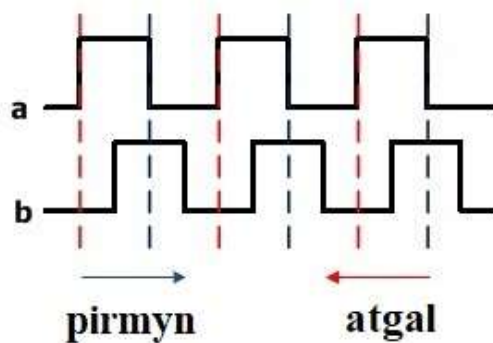
Nr.	Pavadinimas	Reikšmė
1	Modelis	-
2	Sukimosi greitis	1240 aps/min
3	Galia	300w
4	Maitinimo įtampa	12V
5	Analoginiai valymo signalai	1
6	Skaitmeniniai valdymo signalai	2

8 lentelė nurodo jog pasirinkto „BLDC“ variklio apsisukimo maksimalūs sūčiai yra 1240aps./min. Variklio maksimali galia siekia 300W. Maitinimo įtampa- 12V. „BLDC“ variklio valdiklis turi du skaitmeninius valdymo įėjimus, kuriais galima valdyti variklio sukimosi kryptį, taip pat stabdyti ir startuoti. Analoginio tipo įėjimo signalas naudojamas variklio greičio keitimui.

Nustatyti variklio ašies sukimosi greitį arba padėtį daugelyje sistemų yra naudojami enkoderiai arba induktyviniai „holo“ jutikliai. Projektuojamoje sistemoje naudosime enkoderį. Enkoderis- grįžtamo ryšio mechanizmas skirtas nustatyti variklio sukimosi greitį, pagreitį ir esamą rotoriaus padėtį. Enkoderių panaudojimas yra platus, kurie yra naudojami ne tik buityje, bet ir pramonėje nuo paprasčiausių iki sudėtingiausių prietaisų ar įrengimų.

Remiantis funkciniais reikalavimais, žvejybinio keltuvo išmaniojo stabilizavimo sistema turi atkartoti operatoriaus atliktą darbą. Todėl sistemai reikia variklio pozicijos enkoderio, kuris nustatytų lyno poziciją. Išanalizavus 10 skirtingų enkoderių tipų, pasirinktas optimaliausias variantas- LPD3806-360BM-5G-24V modelio enkoderis. Enkoderio tikslumas- 360 impulsų vienam apsisukimui. Minimalios veikimo įtampos diapazonas 5V. Enkoderis pavaizduotas (32 pav.).





33 pav. Enkoderio generuojami signalai

Išanalizavus ir surinkus visą žvejybinio keltuvo aparatinę įrangą, toliau pereinama prie elektronikos komponentų pajungimo schemos paruošimo.

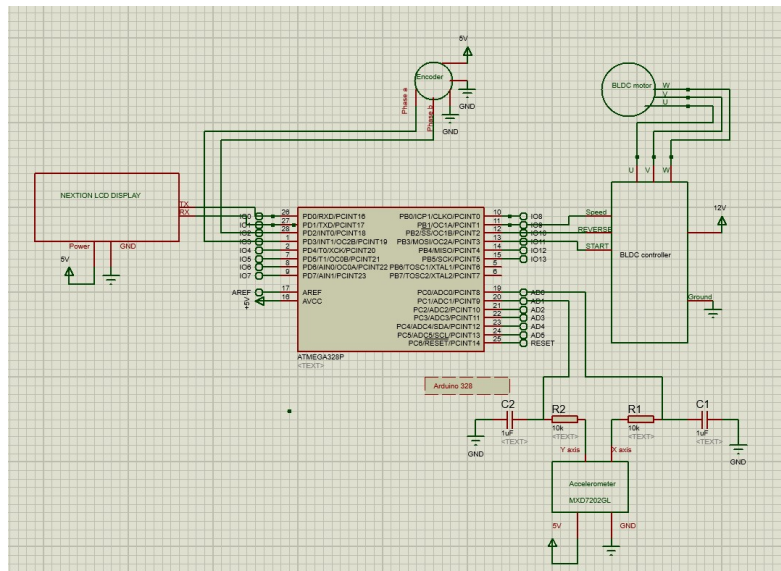
### 3.2 Elektronikos schemos projektavimas

Elektronikos projektavimas atliekamas pasitelkiant elektronikos schemų projektavimo „Proteus“ programą. Ši programa pasirinkta, nes turi didelę elektronikos komponentų biblioteką, todėl nesudėtingai galima suprojektuoti ir testuoti, net ir sudėtingiausią elektronikos schemą.

3.1. Aparatinės įrangos parinkimo skyriuje buvo parinkti tinkamiausi elektronikos komponentai projektuojamam išmaniosios stabilizavimo sistemos prototipo kūrimui:

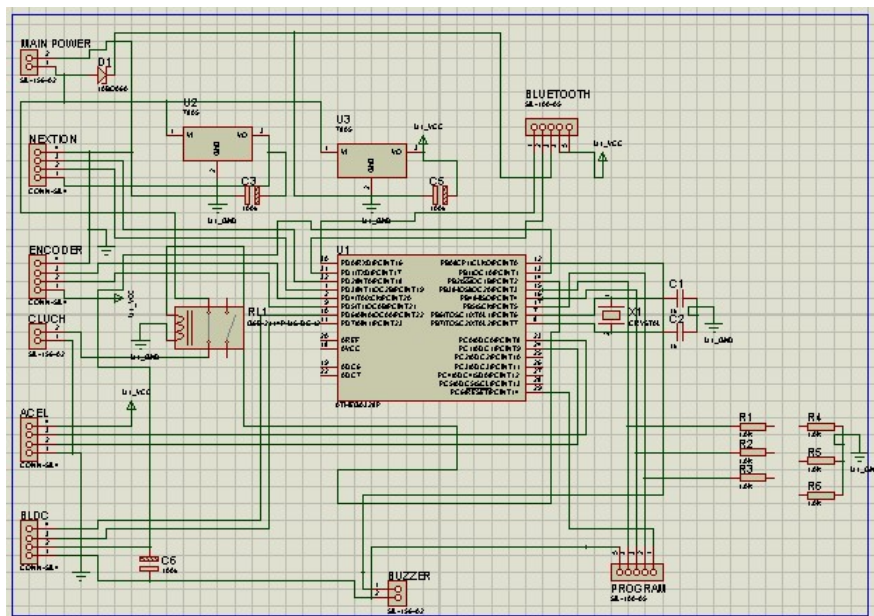
- mikrovaldiklis „Arduino UNO“;
- „Nextion“ valdymo ekranas.
- „BLDC“ variklis ir variklio valdiklis;
- akselerometras;
- sukimosi pozicijos nustatymo enkoderis;

Visi parinkti komponentai turi būti sujungti į bendrą valdymo sistemą, kad tarpusavyje sąveikautų. Bendra elektroninių prietaisų sujungimo schema pavaizduota 34 pav.



34 pav. Bendra žvejybinio keltuvo komponentų pajungimo schema

Toliau sudaroma mikrovaldiklio schema, kurioje turi būti integruoti du 5voltage stabilizuotos įtampos keitikliai, vienu iš jų bus maitinamas vizualizacijos ir valdymo ekranas „Nextion“, kitu bus maitinami likusieji žvejybinio keltuvo elektronikos elementai: mikrovaldiklis „Atmel328“, akcelerometras, enkoderis, ateityje „BLUETOOTH“ siųstuvas, kuris bus skirtas nuotoliniam valdymui ir duomenų rinkimui. Projektuojamoje elektronikos plokštėje bus įterptos patogios prietaisų prijungimo jungtys, kurios pagreitins esamų komponentų prijungimą arba pakeitimą. Žvejybinio keltuvo elektronikos valdymo plokštės schema pavaizduota 35 pav.



35 pav. Žvejybinio keltuvo elektronikos plokštės schema

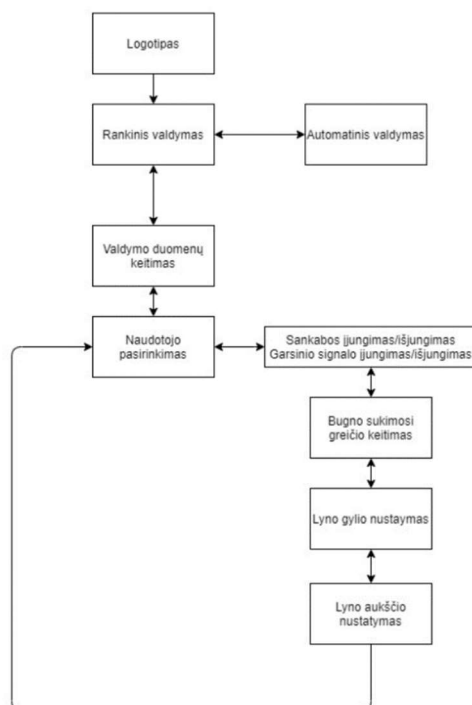
35 paveiksle pavaizduota projektuojamo žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos elektronikos plokštės sudedamųjų komponentų schema.

Atlikus elektronikos projektavimą, kitame etape kuriama vizualizacijos ir naudotojo sąsaja.

### 3.3. Vizualizacijos ir naudotojo sąsajos kūrimas.

Šiame skyriuje bus sudaroma projektuojamo žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos vizualinė valdymo sąsaja, naudojant „Nextion editor“ programą.

Projektuojant žvejybinio keltuvo vizualizacijos ir valdymo ekrano meniu išdėstymas turi atitikti tam tikrą seką (36 pav.). Įjungus žvejybinį keltuvas sistemos ekrane turi pasirodyti keltuvo logotipas, po logotipo pasirodo rankinio valdymo ekranas, kuris gali būti perjungiamas į automatinio valdymo langą. Rankinio valdymo lange esantis mygtukas „Meniu“ turi nukreipti į vartotojų parikimo langą. Įvedus atitinkamą slaptažodį, sistema suteiks skirtingas valdymo privilegijas.



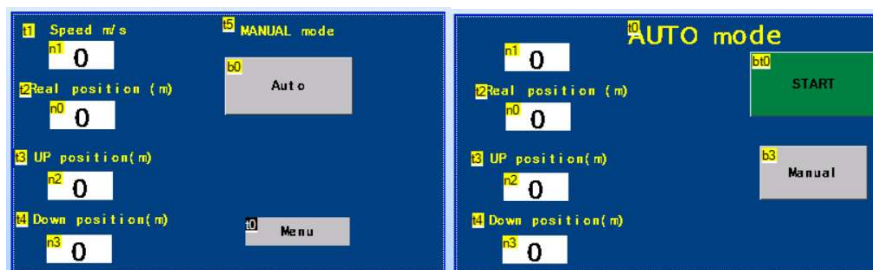
36 pav. Valdymo ekrano meniu struktūra

36 paveiksle pateikiama žvejybinio keltuvo valdymo ekrano meniu struktūrinis išdėstymas. Išsidėstę langai nurodo žvejybinio keltuvo informacinio ekrano meniu struktūrinį kelią.

Pateikta 36 paveikslo valdymo ekrano meniu struktūra, sudaromi rankinio/automatinio valdymo ir vizualizacijos langai (37 pav.), kurie skirti valdyti ir atvaizduoti svarbią keltuvo sistemos informaciją. Informaciniuose languose turi būti pateikta informacija:

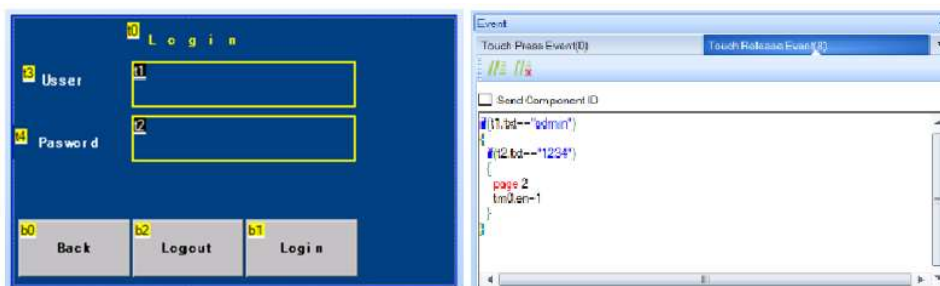
- būgno sukimosi greitis;
- lyno esama pozicija;

- lyno pakėlimo pozicija;
- lyno nuleidimo.



37 pav. Rankinio ir automatinio keltuovo valdymo langai

Remiantis aštuntu funkcinu reikalavimu, kuris pažymi, kad išmaniojo stabilizavimo valdymo sistema turi tūrėti du valdymo operatorius. Kad atskirti operatorių valdymą yra sukuriamas vartotojų prisijungimo/tikrinimo langas. Pagal sistemos veikimo poskyrio (25 pav.) pateiktu algoritmu sudaroma vartotojo tikrinimo programa, kuri atlieką vartotojų tikrinimą, pagal vartotojo vardą ir slaptažodį (38 pav.).

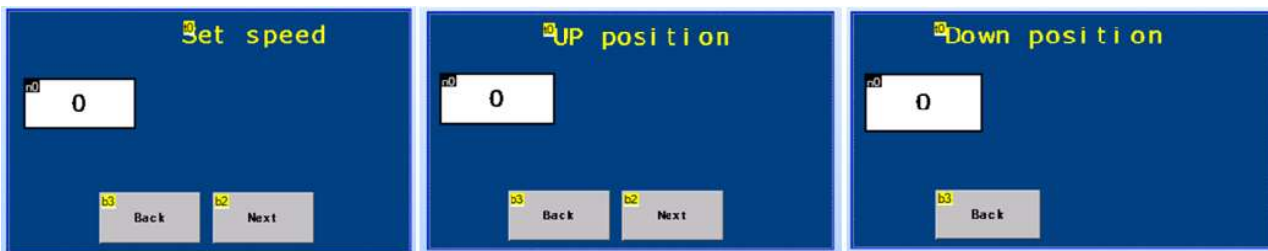


38 pav. Žvejbiniio keltuovo vartotojų prisijungimo langas ir tikrinimo programa

Paveiksle pavaizduotas žvejbiniio keltuovo vartotojų prisijungimo langas. Viršutiniame lange vartotojo vardo įvestis, apatiniame lange slaptažodžio įvestis. Apatiniai valdymo mygtukai skirti prisijungti arba išsiregistruoti iš esamo vartotojo valdymo režimo.

Pateiktu funkcinu (8c) reikalavimu, sistemos valdymo ekrane (39pav.) turi būti keičiami parametrai:

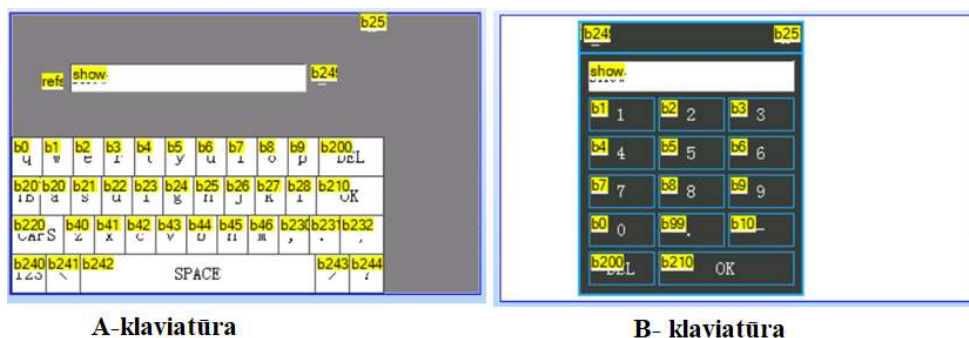
- būgno sukimosi greitis;
- lyno pakėlimo aukštis;
- lyno nuleidimo gylis.



39 pav. Žvejbiniio keltuovo būgno valdymo meniu

Paveiksle pavaizduoti žvejbiniio keltuovo būgno valdymui skirti meniu langai. Pirmajame meniu lange nustatomas žvejbiniio keltuovo būgno greitis. Antrajame– viršutinė lyno gylio įleidimo pozicija, trečiajame -apatinė lyno gylio įleidimo pozicija.

Norint į sistemą įvesti pakeitimus, būtina sudaryti simbolių ir skaičių įvesties klaviatūras (40 pav.).



A-klaviatūra

B- klaviatūra

40 pav. Simbolių ir skaičių įvesties klaviatūros

40 paveiksle pavaizduota žvejbiniio keltuovo informacinio ekrano klaviatūrų langai. A- tipo klaviatūra skirta į sistemą įvesti raides, B- skaičius.

### 3.4 Laivo pozicijos nuskaitymo posistemis

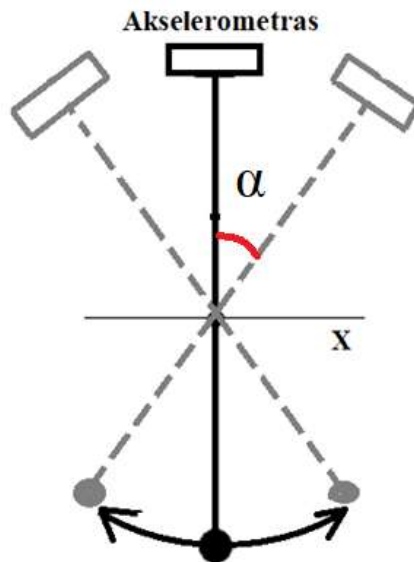
Žvejbiniio keltuovo lyno stabilizavimo sistemai yra reikalinga nustatyti laivo pasvirimo kampą, tokiu būdu sistema galės nuspręsti kiek reikia įleisti arba ištraukti lyną. Akselerometras turi būti sujungtas su mikrovaldikliu, tokiu būdu gausime informaciją apie laivo pasvirimo padėtį. Pasirinktas akselerometras „MXD7202GL“ generuoja analoginį signalą, kurį konvertuosime į skaitmeninį, tokiu būdu galėsime akselerometro išduodamus duomenis panaudoti laivo pasvirimo kampo nustatymui ir lyno stabilizavimui. Akselerometro integracinė sistemos schema pavaizduota (41pav.).



41 pav. Akselerometro integracinė sistema

41 paveiksle nurodo jog akselerometras yra sujungtas su mikrovaldikliu „Arduino UNO“ analoginiu įėjimu. Mikrovaldiklis apdoroja gaunamą analoginę informaciją ir paverčia į skaitmeninę.

Panaudojant specialią įrangą buvo atliekamas tyrimas. Tyrimo metu siūbuojant akselerometrą (42 pav.) buvo nustatomos jutiklio generuojamų signalų diapazonas. Akselerometro signalų parodymai registruojami viena ašimi (x).



42 pav. Akselerometro signalo ribų nustatymas

Sujungus akselerometrą su žvejybinio keltuvo mikrovaldikliu, reikalingas programinis kodas (43 pav.), kuris atlieka akselerometro analoginių reikšmių nuskaitymą ir perdavimą duomenų monitoriui (angl.-serial monitor).

```

Acelerometro_duomenu_programa | Arduino 1.8.5
File Edit Sketch Tools Help
Acelerometro_duomenu_programa $
const int acely=A1;
int acelyval=0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

int yAx=analogRead(acely);

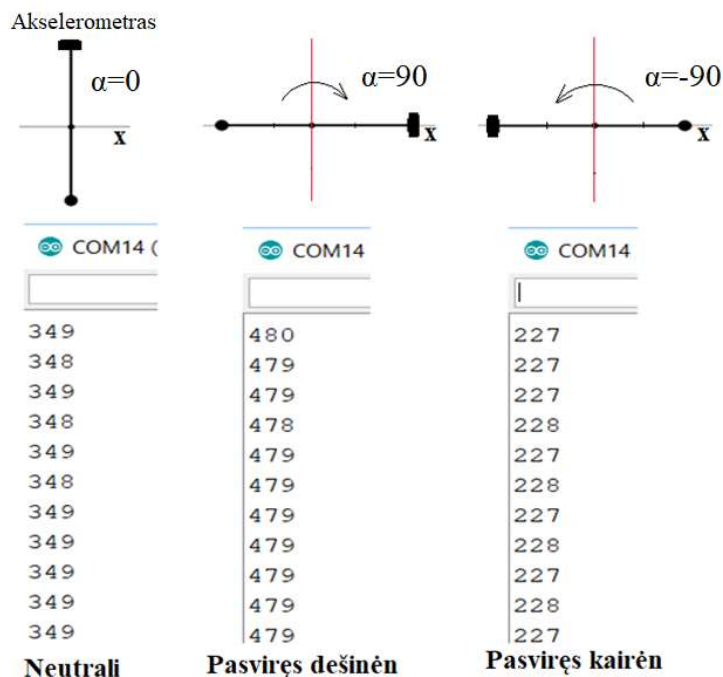
Serial.print(yAx);
Serial.println("\t");

}

```

43 pav. Programa akcelerometro duomenų gavimui

Vertimas iš analoginio įskaitmenizuotą signalą dar kitaip gali būti vadinamas analoginio/skaitmeninio signalo konverteris (angl. -A/D- analog to digital conwerter) – t. y. įtaisas, kurio įvestis yra įtampa, po to paverčiama skaitmeninis. Analoginis įėjimas -nurodantis ivesties įtampos stiprumą įtaise. Toliau nustatomos akcelerometro signalo minimalios ir maksimalios ribos (42 pav.). Kada akcelerometras yra neutralioje nulinėje padėtyje jutiklis generuoja skaitmenizuotas reikšmes 349. Kai jutiklis pasviręs maksimaliai dešinėn-478, o kai pasviręs kairėn -227.



44 pav. Akcelerometro skaitmeninių ribų nustatymas

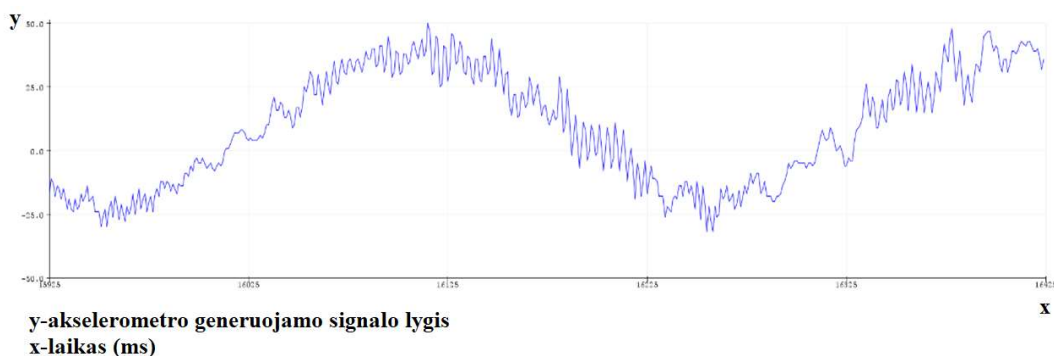
„Akselerometro skaitmeninių ribų nustatymas“ paveikslas nurodo akcelerometro nulinės -neutralios, maksimaliai pasvirusios į dešinę pusę ir maksimaliai pasvirusios į kairę pozicijos akcelerometro generuojamas skaitmenizuotas vertes.

Sudaromas programinis kodas skirtas akcelerometro reikšmių diapazono apibrėžimui, ribos nurodomos nuo -90 iki 90.

```
Acelerometro_duomenu_programa | Arduino 1.8.5
File Edit Sketch Tools Help
Acelerometro_duomenu_programa
const int acely=A1;
int acelyval=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int yAx=analogRead(acely);
  acelyval=map(yAx,230,450,-90,90);
  Serial.print(acelyval);
  Serial.println("\t");
}
```

45 pav. Akcelerometro duomenų vertimas į laipsnius

45 paveikslas nurodo nustatomos akcelerometro signalo ribos, kurių vertės yra nuo 230 iki 450, toliau ribos yra konvertuojamos į laipsnius nuo -90 iki 90. Akcelerometro generuojami signalai yra pateikiami duomenų monitoriaus lange (46 pav.).



46 pav. Akcelerometro generuojami duomenys

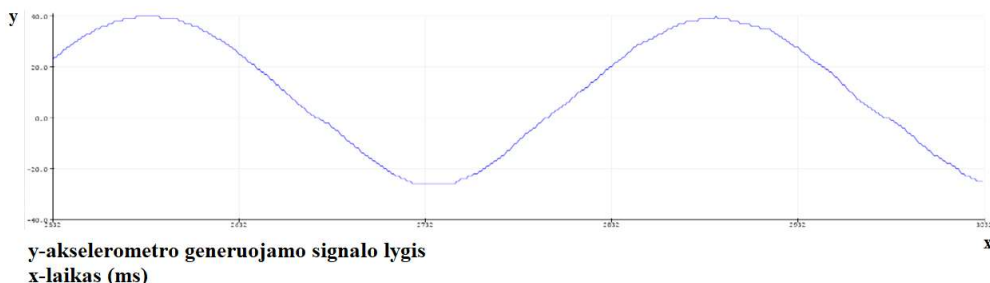
44 paveiksle nurodo skaitmenizuotos analoginio signalo vertės, kurios generuojamos akcelerometro. X ašis nurodo generuojamo signalo nuoskaitas, Y ašis -generuojamo signalo diapazoną. Iš pateikto grafiko matyti jog akcelerometro pozicija kinta apytiksliai nuo 40 iki -25 skaitmeninės vertės diapazone.

Gauti akcelerometro duomenys nėra tikslūs, grafike (46 pav.) matosi daug iškraipymų. Signalų iškraipymus įtakoja išoriniai veiksniai, tokie kaip įvairios aplinkos vibracijos. Norint išvengti

nerikalingų ir netikslių duomenų reikia juos filtruoti. Vienas iš filtravimo būdų– gautų duomenų slenkančio vidurkio metodo realizacija. Duomenų filtravimo programos kodas pavaizduotas (45pav.).

```
Acelerometro_duomeniu_programa | Arduino 1.8.5
File Edit Sketch Tools Help
Acelerometro_duomeniu_programa
const int acely=A1;
int acelyval=0;
int vid[10]={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int yAx=analogRead(acely);
  //prewaccel=acelyval;
  for(int j=10;j>0;j--){
    vid[j]=vid[j-1];
  }
  acelyval=map(yAx,230,450,-90,90);
  vid[0]=acelyval;
  int suma=0;
  for(int j=0;j<10;j++){
    suma+=vid[j];
  }
  acelyval=suma/10;
  Serial.print(acelyval);
  Serial.println("\t");
}
```

47 pav. Slenkančio vidurkio metodo realizacija „Arduino UNO“ mikrovaldiklyje. Vidurkis vedamas iš dešimties gautų akcelerometro duomenų. Išvesto vidurkio duomenų grafikas atvaizduotas 48 pav.



48 pav. Išfiltruoti akcelerometro duomenys

„Išfiltruoti akcelerometro duomenys“ paveiksle pavaizduotas grafikas parodo išfiltruotą akcelerometro generuojamą signalą. Lyginant su 46 paveikslu matoma, kad duomenys yra tikslesni ir nėra didelių iškraipymų.

### 3.5 Lyno pozicijos nustatymas posistemis

Nustatyti lyno įleidimo poziciją sistemai reikalingas enkoderis, kuris mechaniškai turi būti sujungtas su žvejybinio keltuvo varikliu. Enkoderio išduodami signalai yra skaitmeninio tipo,

todėl prietaisas gali būti sujungtas su žvejbino keltuvo mikrovaldikliu. Principinė enkoderio prie mikrovaldiklio pajungimo schema pavaizduota (49 pav.).



49 pav. Principinė enkoderio sujungimo schema

Principinė enkoderio sujungimo schemoje pavaizduota, kad enkoderis yra sujungtas su žvejbino keltuvo mikrovaldikliu „Arduino UNO“. Enkoderio generuojami signalai yra skaitmeninio tipo, kuriuos mikrovaldiklis apdoroja, taip sistema žino kurioje sukimosi padėtyje yra keltuvo variklis. Integruojant į sistemą pozicijos enkoderį svarbu žinoti enkoderio išduodamų impulsų kiekį per apsisukimą. Nefunkciniuose reikalavimuose pažymėta, kad žvejbino keltuvo būgno diametras turi būti 30cm. Pagal apskritimo ilgio formulę  $C = \pi D$  [37], kai žinome kad:

$\pi = 3.14$  ir  $D = 30\text{cm}$  tai apskritimo ilgis yra lygus  $C = 13.188$ .

Remiantis 3.1 poskyrio „Aparatinės įrangos parinkimas“ 9 lentelės 2 eilute, kuri pažymi, kad enkoderis per vieną apsisukimą sugeneruoja 360 impulsų arba 1 sukimosi laipsnis atitinka vienam impulsui. Iš apskritimo ilgio formulės  $C = \pi D$  gauname:

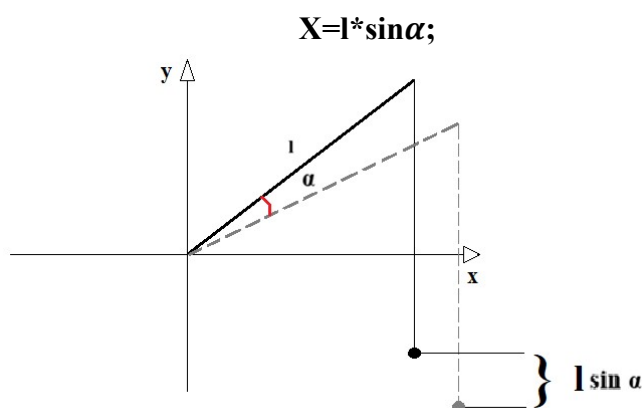
$$3,14 * d = 360 \text{imp}$$

Tai vienam impulsui tenka :

$$1 \text{imp} = \frac{3.14D}{360};$$

$1 \text{imp} = 0.2616\text{cm}$ . Gauname, kad enkoderiui pasisukus vieną laipsnį, lynas nueina 0,26 cm kelio.

Toliau apskaičiuojamas laivo posvyrio kampas alfa ir posvyrio kampo pokytis. Šie parametrai reikalingi, kad apskaičiuoti, kaip lyno padėtis turi kisti svyruojant laivui.



## 50 pav. Laivo posvyrio kampo nustatymo

50 paveiksle pavaizduotas laivo svyravimo brėžinys. Brėžinio atkarpos pažymėtos simboliais:

**l**- peties ilgis;

**$\alpha$** - posvyrio kampas;

Remiantis devintu nefunkciniu reikalavimu, kuris pažymi jog peties ilgis nurodytas  $l = 10\text{m}$ .  **$\alpha$** -posvyrio kampas- akcelerometro išduodamos reikšmės.

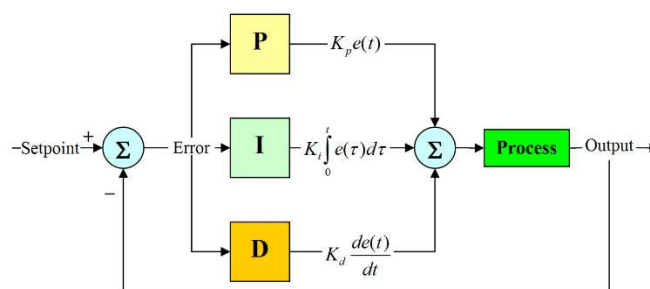
### 3.5 Žvejybinio keltuvo išmaniosios stabilizavimo sistemos posistemis

Išmaniosios stabilizavimo sistemos žvejybinio keltuvo posistemis dalyje bus integruojamas į sistemą PID reguliatorius ir neuroninis tinklas. PID reguliatorius bus naudojamas, kaip pagalbinė priemonė imituojant operatoriaus darbą, tokiu būdu bus surenkami duomenys apie sistemos veikimą. Surinkti duomenys vėliau bus naudojami neuroninio tinklo apmokinimui.

PID valdiklis turi veikti pagal tokią schema:

- 1) Gaunamas akcelerometro signalas, kuris nurodo koku kampu yra pasviręs;
- 2) Mikrovaldiklis nustato akcelerometro pasvyrimo kryptį :teigiama/neigiama;
- 3) Mikrovaldiklis nustato variklio sukimosi kryptį;
- 4) Mikrovaldiklis nustato variklio sukimosi greitį (PVM).

PID reguliatorius- reguliatorius turintis grįžtamąjį ryšį ir yra parametriškai optimizuojamas. Reguliatorių sudaro trys grandys: Proporcinė(P), Integruojanti (I) ir diferencijuojanti. PID reguliatoriaus principinė schema pavaizduota (51pav.).



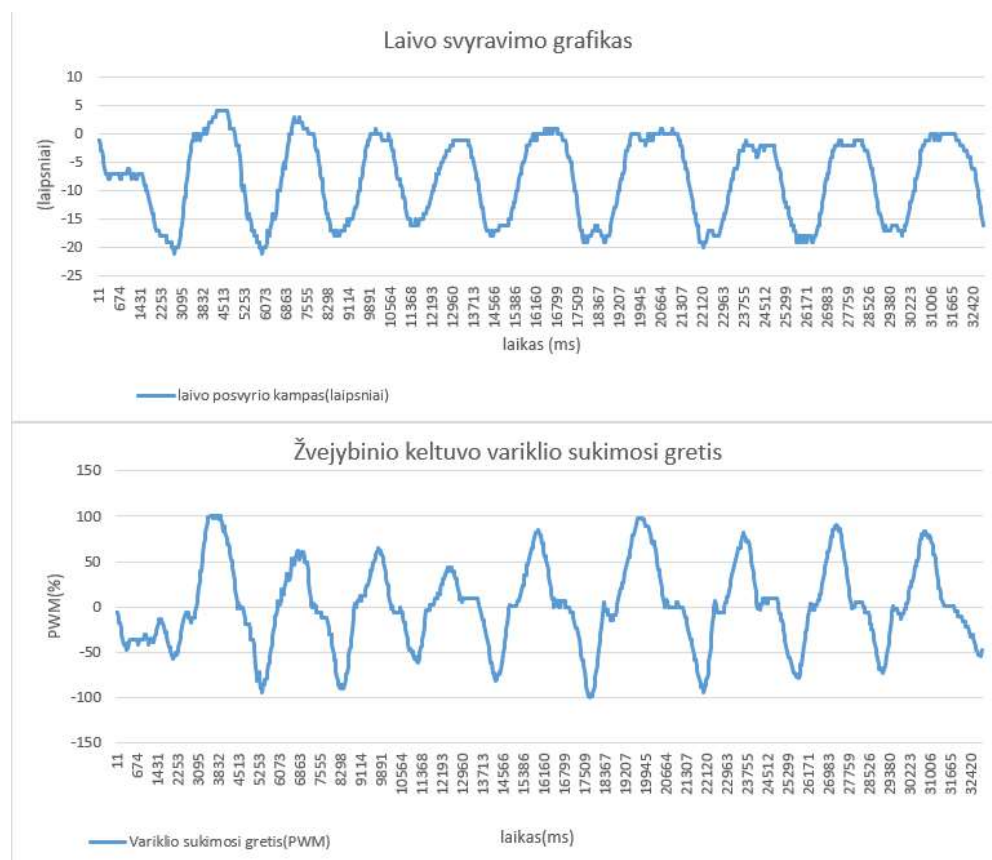
51 pav. PID reguliatoriaus tipinė schema [38]

Žvejybinio keltuvo PID reguliatoriui įvedamos dvi duomenų imtys ir išvedamas vienas išėjimas:

- Input -įėjimas, į kurį bus įvedama kintanti variklio enkoderio pozicija.
- Setpoint-akcelerometro pasvyrimo kampas su paskaičiuotu 10m. lyno nuleidimo pečiu.

- Output – variklio valdymo greitis PWM.

Nefunkciniai 8 ir 9 reikalavimai nurodo jog lyno peties įleidimo gylis yra 10 metrų, o keltuvo būgno diametras lygus 30 cm. Peties ilgis padaugintas iš pamatuoto akcelerometro posvyrio kampo yra gaunamas PID reguliatoriaus „SETPOINT“. „INPUT“ reikšmė gaunama, kai „SETPOINT“ reikšmė padauginta iš enkoderio impulsų skaičiaus ir padalinta iš keltuvo būgno ilgio. Įvesti duomenys į mikrovaldiklio PID reguliatoriaus programą. Startavus PID reguliatoriaus programą gaunami išvesties duomenys (50 pav.), kurie atspindi sistemos generuojamą signalą, kai esant tam tikram laivo posvyrio kampui generuojamas atitinkamas PVM signalas, kuris pateikiamas „BLDC“ variklio valdikliui[39-43].



52 pav. Žvejybinio keltuvo sistemos valdymas naudojant PID reguliatorių

Neuroninis tinklas žvejybinio keltuvo išmaniojo valdymo sistemoje reikalingas, kad sistema atliktų lyno stabilizavimą atkartodama naudotojo anksčiau atliktus veiksmus. Neuroninis tinklas bus konstruojamas pasitelkiant „MATLAB“ programą, iškviečiant neuroninio tinklo „NNTOOL“ įrankį. 3.5 skyriuje „PID valdiklio diegimas“, kaip pagalbinis įrankis buvo surinkti duomenys, kurie skirti neuroniniam tinklui mokinti. Gauti duomenys iš sistemos nėra normalizuoti, todėl turi teigiamas ir neigiamas reikšmes, dėl ko gali kilti problemų apmokinant neuroninį tinklą.

Jei neuroninio tinklo struktūroje yra tangentinė sigmoidinė funkcija, ji apriboja išėjimą (angl.-output), kuri gali išduoti reikšmes nuo 0 iki 1. Atliekama gautų duomenų normalizacija- apribojamos

tik teigiamos reikšmės t. y. nuo 0 iki 1. Pvz. jei reikšmės yra nuo 0 iki 15, tai iš visų reikšmių atimame minimalią reikšmę, o po to padaliname iš didžiausio skirtumo. „MATLAB“ programoje duomenų normalizavimas atliekamas įvedant komandas:

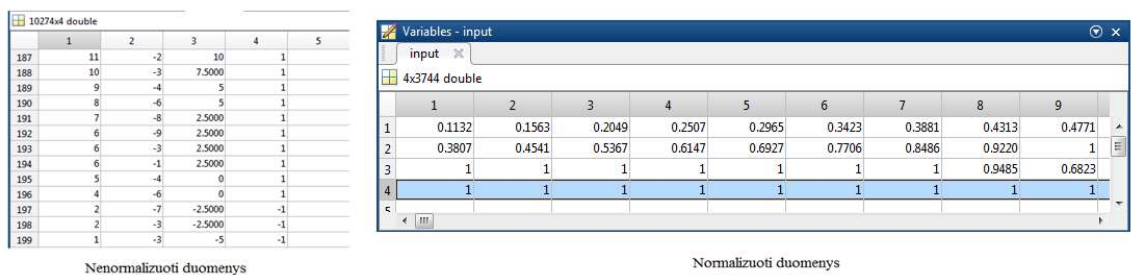
```
d=data;
```

```
input=data(:,1)'
```

```
Imm=minmax(input)
```

```
input=(input-Imm(1))/(Imm(2)-Imm(1))
```

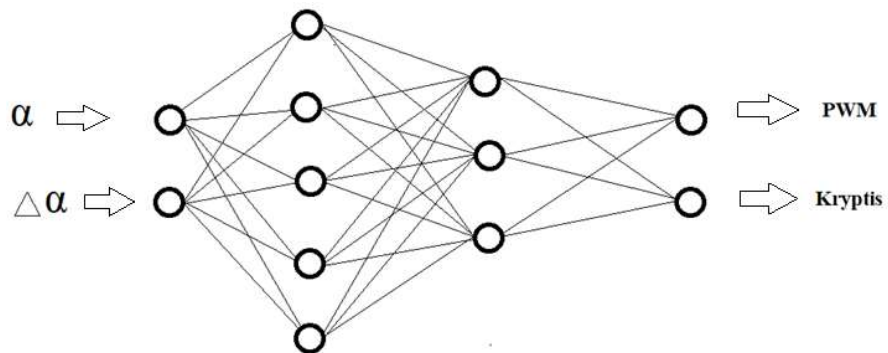
Gauti rezultatai pavaizduoti pav.



53 pav. Nenormalizuotų ir normalizuotų duomenų lentelės

Paveikslo kairėje pusėje pavaizduoti importuoti duomenys iš keltuvo sistemos, dešinėje pusėje duomenys po normalizacijos.

Sudaroma neuroninio tinklo schema, kurioje yra du įėjimai ir du išėjimai. Neuroninio tinklo vienas įėjimas laivo posvyrio kampas, antras- delta kampas t. y. skirtumas tarp buvusio ir esamo posvyrio kampo. Išėjimo sluoksnyje: PVM išėjimas, kuris valdo žvejybinio keltuvo variklio greitį, antras išėjimas variklio sukimosi kryptį. Preliminari neuroninio tinklo struktūra pavaizduota 54 pav.

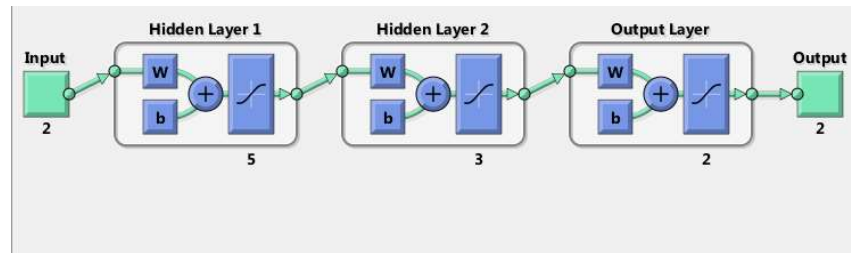


54 pav. Neuroninio tinklo struktūra

Neuroninio tinklo struktūra paveiksle vaizduojama neuroninio tinklo schema, pagal kurios principą neuroninis tinklas bus sudaromas „MATLAB“ programoje.

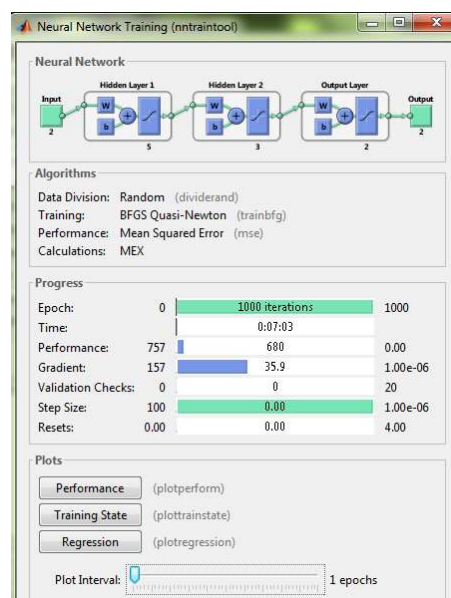
Neuroninio tinklo struktūra paveiksle vaizduojamas trijų sluoksnių neuroninis tinklas, kuris pažymi, kad neuroninis tinklas turi du įėjimus ir du išėjimus. Pirmajame įėjime bus pateikiami žvejybinio keltuvo posvyrio kampo duomenys, antrajame -delta posvyrio kampas. Išėjimuose: pirmajame PWM(keltuvo variklio greičio pokytis), antrajame- keltuvo variklio sukimosi kryptis.

„MATLAB“ programoje sukuriamas trijų sluoksnių neuroninio tinklo modelis. Pirmas sluoksnis turi 5 neuronus, antras sluoksnis - tris neuronus ir paskutinis trečias išėjimo (angl. -output) sluoksnis- du neuronus. Sukonstruotas neuroninis tinklas pavaizduotas (55 pav.).



55 pav. Neuroninio tinklo struktūra

Atliekamas neuroninio tinklo apmokinimas su pasirinktais apmokinimo ir adaptacijos mokymosi funkcija. Ap mokinimo parametras pasirinktas „TRAINBFG“ - tinklo treniravimo funkcija, kuri atnaujina svorio (angl. - weight) ir šališkumo (angl. - BIAS.) vertes, remiantis „BFGS“ kvazi- niutono metodu.[42] Mokymosi parametras pasirinktas „LEARNGD“ - tai gradiento nuleidimas su momentiniais svoriais ir postūmio koeficientas mokymosi funkcijomis.[43] Neuroninio tinklo mokymosi langas pavaizduotas (56pav.).

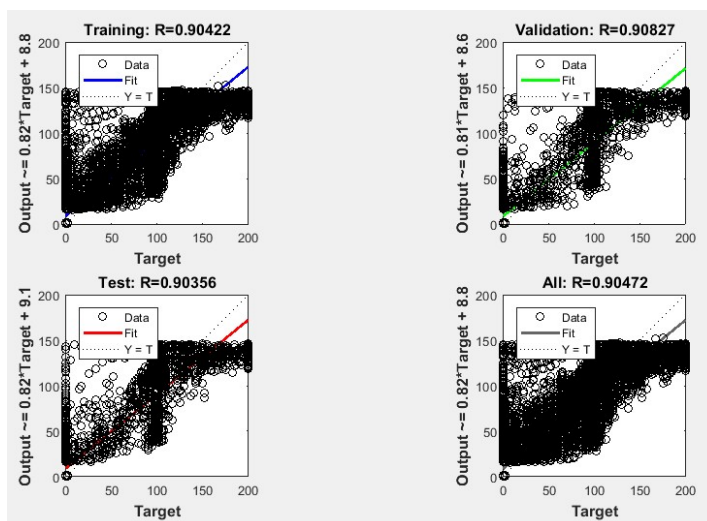


56 pav. Neuroninio tinklo mokymosi langas

56 paveiksle vaizduojamas neuroninio tinklo apmokinimo langas „Matlab“ programoje. Pirmame lange „EPOCH“ nurodo, kad apmokomas tinklas pasiekė 1000 apmokymo iteracijų. Trečioje skiltyje matoma, kad skaičiavimo atlikimas (angl. - perfomance) reikšmė 757 nukritusi iki 680, tai reiškia, kad

neuroninio tinklo apmokinimas yra įvykęs ir pasiektos optimaliausios svorių reikšmės. Klaidų ieškojimo skiltyje (angl.- validation checks) reikšmė 0, tai pažymi, kad apmokinimo metų klaidų programa nenustatė.

Toliau pereinama į regresijos skiltį kur nustatomas apmokintų duomenų regresijos lygis. Neuroninio tinklo regresijos paveikslukai pavaizduoti 57 pav.



57 pav. Apmokinto neuroninio tinklo regresijos grafikai

Paveiksle nr.57 pavaizduoti žvejybinio keltuvo Y ašis - output ir X ašis target duomenys. Apmokinto neuroninio tinklo regresijos koeficientas R lygus 0,90472. Tai reiškia, kad yra stipri tiesinė priklausomybė tarp neuroninio tinklo išprognozuotų ir tikrų reikšmių. Norint išsiaiškinti ar gauti apmokymo rezultatai yra pakankamai geri, sudaroma neuroninio tinklo palyginimo lentelė su skirtingomis paslėptų sluoksnių ir jose integruotų neuronų kiekiu.

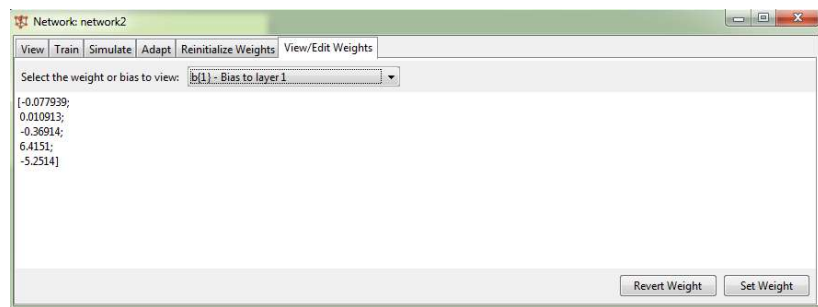
10 lentelė Neuroninio tinklo struktūros palyginimo lentelė

Nr.	1-ojo paslėpto sluoksnio neuronu skaičius	2-ojo paslėpto sluoksnio neuronu skaičius	Regresijos koeficientas
1	10	0	0,15541
2	10	5	0,27782
3	8	4	0,21944
4	8	3	0,34845
5	8	2	0,21348
6	6	5	0,44523
7	6	4	0,43595
8	6	3	0,12456
9	6	2	0,01425

10	5	4	0,21873
11	5	3	0,90472
12	5	2	0,12698
13	5	1	0,15141
14	5	0	0,20014

10 lentelėje pateikta informacija nurodo, kad geriausi apmokymo rezultatai gauti 11 numeriu pažymėta neuroninio tinklo modifikacija, kurios regresijos koeficientas lygus 0,90472.

Po neuroninio tinklo apmokymo gauti neuroninio tinklo svoriai. Kiekvienas paslėptas neuroninio tinklo sluoksnis turi savo nustatytus svorius (58pav.). Visi pateikti svoriai bus įvesti į žvejybinio keltuvo stabilizavimo programą. Kiti neuroninio tinklo svoriai pavaizduoti lentelėje priede (nr.7).



58 pav. Neuroninio tinklo svoriai

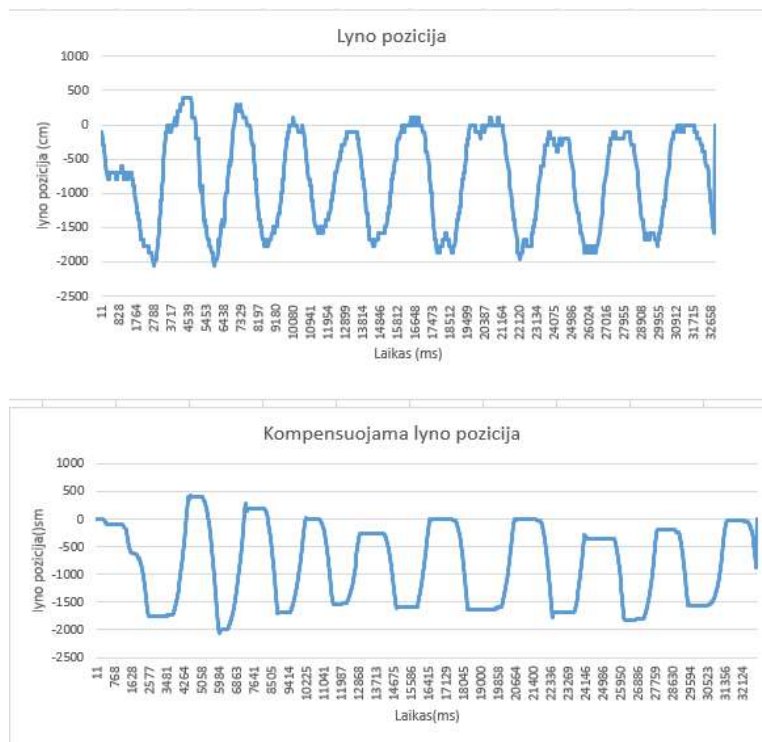
58 paveiksle pavaizduotos apmokinto neuroninio tinklo pirmo paslėpto sluoksnio svorių reikšmės.

„Arduino“ programavimo terpėje yra sudaroma gautų svorių matrica, iš kurios vėliau bus imami duomenys ir panaudoti žvejybinio keltuvo išmaniojo valdymo sistemai. Svorių duomenų matrica pavaizduota (59pav.).

```
int w1[5][2]={{-1.0221,0.42198},{0.47024,-0.36923},{0.059246,-0.0541},{2.2264,5.1711},{1.2064,10.2644}};
int w2[3][5]={{-1.1336,0.47024,33.4939,0.2832,-0.03209},{19.2336,17.3906,4.2381,-2.436,10.5492},{-12.5078,
int w3[2][3]={{35.2839,25.5499,-101.2297},{-2.2196,-3.4713,0.23533}};
int b1[5]={-0.077939,0.010913,-0.36914,6.4151,-5.2514};
int b2[3]={10.1552,-11.6949,7.9376};
int b3[2]={-48.2973,4.4804};
```

59 pav. Žvejybinio keltuvo neuroninio tinklo svorių matrica

Suvedus atitinkamus svorius į žvejybinio keltuvo stabilizavimo programą gaunami išvedimo duomenys: lyno pozicija ir kompensuojama lyno pozicija. 60 pav.



60 pav. Sistemos stabilizavimas naudojant neuroninį tinklą

60 paveiksle pateikti duomenys nurodo žvejybinio keltuvo lyno stabilizavimą, kurį valdo neuroninis tinklas. Iš pateikto grafiko matyti jog išmanioji valdymo sistema reaguoja į laivo pasvirimą ir atlieka lyno balansavimą.

Išmaniosios stabilizavimo sistemos veikimo vertinimas bus atliekamas sistemos validavimo ir verifikavimo dalyje.

#### IV. SISTEMOS VERIFIKAVIMAS IR VALIDAVIMAS

Sistemos verifikavimo ir validavimo skyriuje žvejybinio keltuvo prototipas bus tikrinamas dviem etapais. Verifikavimo dalyje atsižvelgiant į iškeltus funkcinis reikalavimus bus tikrinamos žvejybinio keltuvo atliekamos funkcijos. Validavimo dalyje- tikrinama ar tenkinami iškelti sistemos veikimo reikalavimai.

##### 4.1 Žvejybinio keltuvo sistemos verifikavimas

Sistemos projektavimo dalyje buvo iškelti funkciniai reikalavimai, kuriais remiantis buvo suprojektuotas žvejybinio keltuvo prototipas. Atliekant žvejybinio keltuvo sistemos verifikavimą sudaroma funkcionalumo tikrinimo lentelė, kuria remiantis galėsime nustatyti ar sistema buvo tinkamai realizuota.

11 lentelė Žvejybinio keltuvo funkcionalumo tikrinimas

Nr.	Funkcionalumas	Požymiai
1	Keltuvo valdymo sistema turi du operatorius	Taip
2	Valdymo operatorius gali nuleisti lyną	Taip
3	Valdymo operatorius gali pakelti lyną	Taip
4	Valdymo operatorius gali startuoti automatinio lyno stabilizavimo programą	Taip
5	Sistemos administratorius gali pakelti lyną	Taip
6	Sistemos administratorius gali nuleisti lyną	Taip
7	Sistemos administratorius gali startuoti automatinio lyno stabilizavimo programą	Taip
8	Sistemos administratorius gali keisti lyno įleidimo gylį	Taip
9	Sistemos administratorius gali keisti lyno pakėlimo aukštį	Taip
10	Sistemos administratorius gali keisti būgno sukimo greitį	Taip

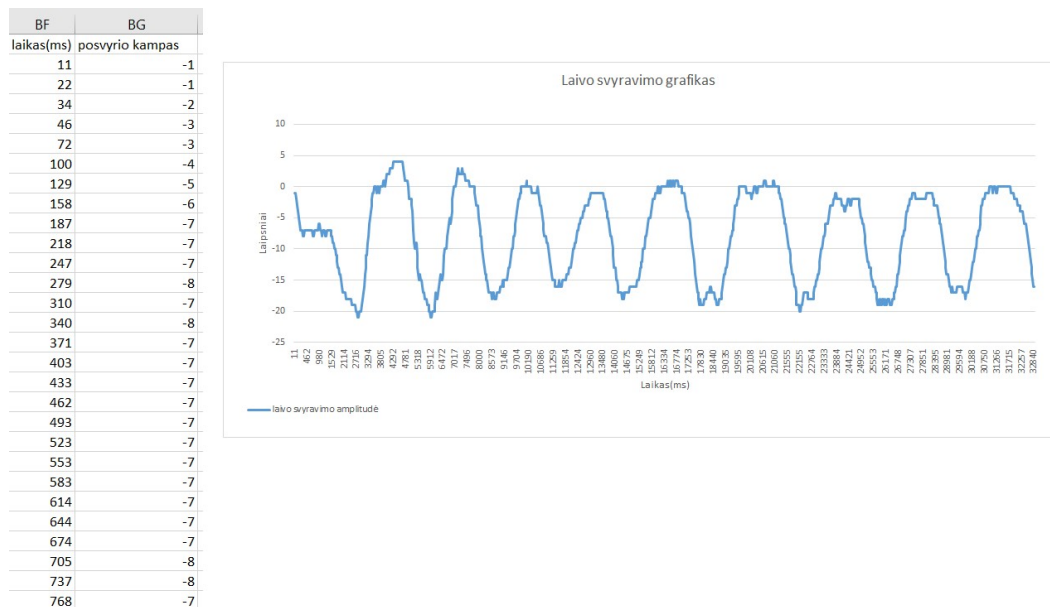
10 lentelės pateikta informacija nurodo jog visi pateikti funkcionalumo punktai buvo teigiami, todėl galime teigti, kad žvejybinis keltuvas atitinka nustatytus funkcinis reikalavimus.

## 4.2 Sistemos validavimas

Žvejybinio keltuvo išmaniojo stabilizavimo valdymo sistema turi atkartoti operatoriaus atliktą darbą. Dėl šios priežasties keltuve yra integruotas neuroninis tinklas, kuris iš pateiktų duomenų apsimokina ir atlieka žvejybinio keltuvo sistemos valdymą. Vienas iš sistemos funkcionalumo tikrinimo būdų- palyginti PID reguliatoriaus ir neuroninio tinklo valdymo reikšmes. Pateikus abiem sistemom tą pačią duomenų įvestį, laivo svyravimo duomenis.

Sudaromi sistemų valdymo duomenų grafikai. Iš pateiktų duomenų atliekama lyginamoji grafikų analizė. Tokiu būdu galima nuspręsti ar sistema tenkina numatytus funkcinis reikalavimus.

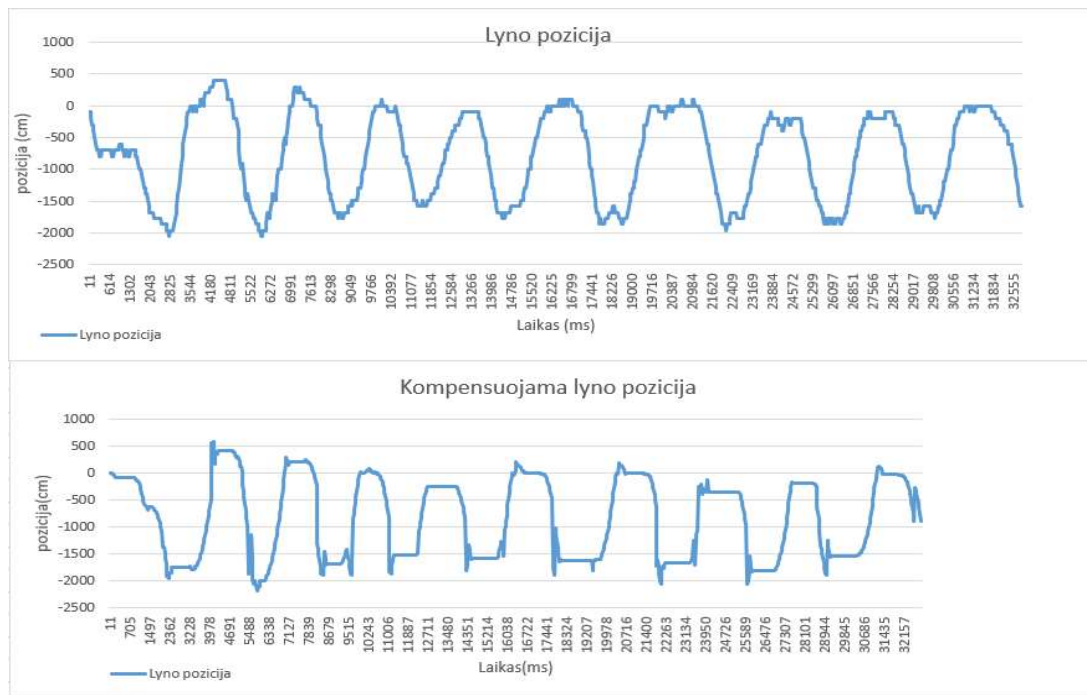
Sistemos testavimas apytikriai trunka apie 30 sekundžių. Imitacinė laivo svyravimo amplitudė siekia nuo -20 iki 5 laipsnių. (pav. 61):



61 pav. Laivo svyravimą imituojantys duomenys

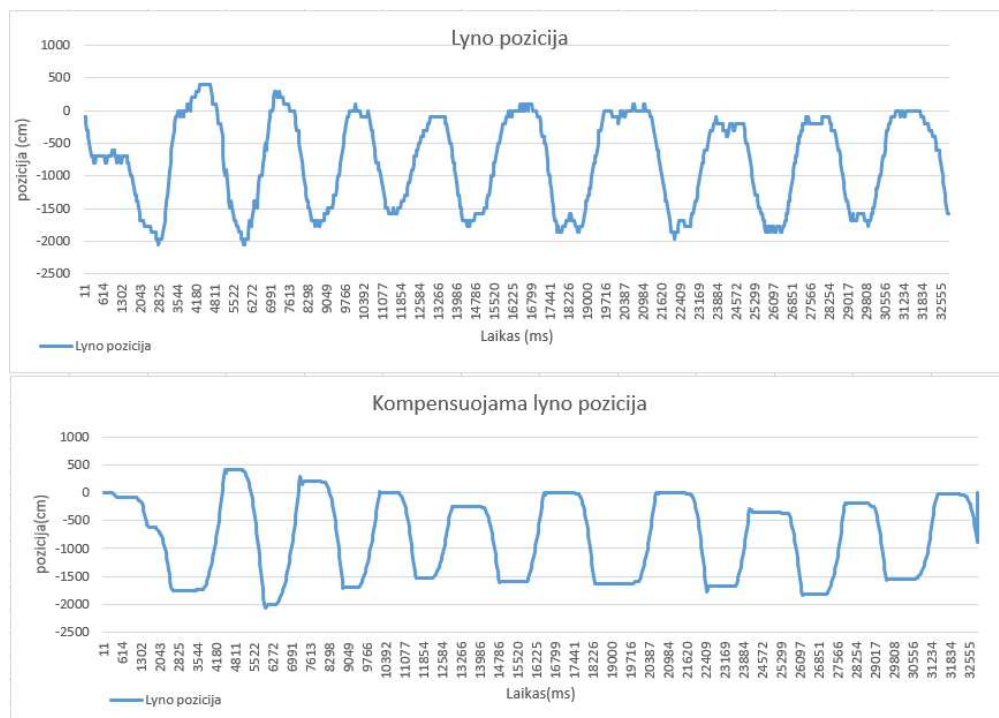
Gauti svyravimo duomenys yra pateikiami PID reguliatoriaus valdymo sistemai. Gauti išvesties duomenys (61pav.) pažymi laivo posvyrio kampą, kurie yra konvertuojami į lyno poziciją. Pateikti du grafikai(pav. 62):

- Lyno pozicija – grafikas nurodo PID reguliatoriaus generuojamas lyno pozicijas,
- Kompensuojama lyno pozicija- enkoderio generuojamos skaitinės reikšmės, kurios pažymi esamą lyno poziciją.



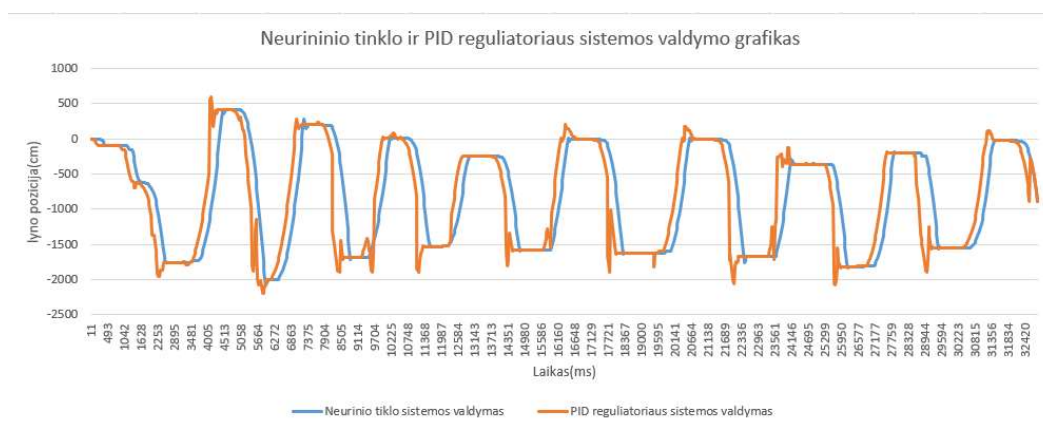
62 pav. PID reguliatoriaus sistemos valdymo grafikas

Toliau pateikiami tie patys imitaciniai laivo svyravimo duomenys į neuroninio tinklo valdymo sistemą. Gauti rezultatai pateikiami (pav.63).



63 pav. Neuroninio tinklo sistemos valdymo grafikas

PID reguliatoriaus ir neuroninio tinklo sistemos kompensavimo duomenų grafikai pateikiami į vieną grafiką (pav.64). Tokiu būdu galima nustatyti ir įvertinti ar išmanioji valdymo sistema sugeba atkartoti operatoriaus atliktą darbą.



64 pav. PID reguliatoriaus ir neuroninio tinklo sistemos valdymo palyginimo grafikas

Iš pateikto (64 pav.) neuroninio tinklo ir PID reguliatoriaus sistemos valdymo duomenų grafiko matome, kad abi sistemos valdymo sistemos veikia panašiai. Neuroninio tinklo sistemos valdymas truputi atsilieka nuo PID reguliatoriaus valdymo, bet neuroninio tinklo valdymo sistema tiksliau išprognozuoja valdymo reikšmes, kuriose nėra nepageidajamų momentinių sistemos šuolių.

Gautas sistemos validavimo rezultatas nurodantis, kad žvejybinio keltuvo išmanioji valdymo sistema gali atkartoti operatoriaus atliktą darbą, todėl tenkina šeštą funkcinuose reikalavimuose pažymėtą reikalavimą.

## **TOLIMESNI DARBAI IR PASIŪLYMAI**

Testuojant sukonstruotą žvejybinį keltuvą prototipą, buvo pastebėta jog „BLDC“ variklis vėluoja įvykdyti į užduotas komandas. Norint, kad stabilizavimo sistema veiktų dar tiksliau siūlau keisti „BLDC“ variklio valdymo kontrolerį, kuriame nebūtų integruotos variklio lėto stabdymo ir minkšto starto (angl. -soft start) pauzės.

## IŠVADOS

- 1) Išanalizavus žvejbinių keltuvų valdymo sistemas pastebėta, kad dauguma jų nėra automatizuotos, kurios gebėtų atlikti automatinį lyno įleidimo gylio stabilizavimą ar atkartotų užduotus operatoriaus veiksmus. Tokios stabilizavimo sistemos kūrimas grindžiamas akselerometru ir enkoderiu užtikrinant grįžtamąjį ryšį, bei pritaikant mašininio mokymo metodus.
- 2) Suprojektuota žvejbinių keltuvo išmanioji valdymo sistema, sudaryti žvejbinių keltuvo valdymo algoritmai, kurie operatoriui leidžia atlikti rankinį valdymą bei matuojant laivo posvyrio kampą atlikti automatinį lyno įleidimo gylio stabilizavimą, naudojant pavyzdinius valdymo parametrų duomenis.
- 3) Sukurtas žvejbinių keltuvo prototipas, su integruota vizualizacijos ir naudotojo sąsaja, laivo ir lyno pozicijos nustatymo posistemiais bei žvejbinių keltuvo išmaniojo stabilizavimo sistemos posistemių, kuris buvo realizuotas taikant dirbtinio neuroninio tinklo reguliatorių. Surinkti neuroninio tinklo apmokymo duomenys bei atliktas apmokymas.
- 4) Atlikus sistemos verifikavimą ir validavimą rezultatai parodė, jog sukurta žvejbinių keltuvo išmanioji valdymo sistema tenkina iškeltus reikalavimus, bei geba pagal surinktus valdymo parametrų duomenis atkartoti valdymo veiksmus.

## LITERATŪRA

1. S. Kim, S. Kwon Robust transition control of underactuated two-wheeled self-balancing vehicle with semi-online dynamic trajectory planning *Mechatronics*, 68, 6 2020[tinkle][žiūrėta2020.01.13]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957415820300465>
2. On the stability of two-wheeled vehicle balancing passive human subjects Balazs A. Kovacs, Gabor Stepan et al. *IFAC-PapersOnLine*, 51, 22, 1 2018[tinkle][žiūrėta2020.01.14]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318332701>
3. Segway Ninebot MiniPro N3M320 Electric Scooter - E-Mega Store. [tinkle][žiūrėta2020.01.13]  
<https://www.emegastore.co.nz/shop/e-skateboards/segway-ninebot-minipro-n3m320-electric-scooter/>
4. Segway x2 SE - Home - Segway UK- Segway and Ninebot Official UK Distributor [tinkle][žiūrėta2020.04.01]  
<https://www.segway-uk.net/shop/segway-personal-transporters/segway-x2-se/>
5. Black 6.5" Hoverboard UL 2272 Self Balance Scooter[tinkle][žiūrėta2020.02.01]  
<https://etechmotion.co.uk/Black-Hoverboard-Segway-LED-6-5-Self-Balancing-Scooter-UL2272-p151195003>
6. Terex Challenger crane model:3160 service manual 2016[4-84p]
7. DJI Osmo Mobile Phone Stabilizer - Black: Amazon.co.uk: Electronics[tinkle][žiūrėta2020.02.01]  
<https://www.amazon.co.uk/DJI-Osmo-Mobile-Phone-Stabilizer-Black/dp/B01KUX9VT2>
8. Emax marsoar glide 3-axis handheld gimbal stabilizer for mobile phones smartphone Sale - Banggood.com[tinkle][žiūrėta2019.06.25]  
[https://www.banggood.com/Emax-Marsoar-Glide-3-Axis-Handheld-Gimbal-Stabilizer-for-Mobile-Phones-Smartphone-p-1382123.html?cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/Emax-Marsoar-Glide-3-Axis-Handheld-Gimbal-Stabilizer-for-Mobile-Phones-Smartphone-p-1382123.html?cur_warehouse=CN)
9. Giroskopas. [tinkle][žiūrėta2019.05. 01]  
<https://www.vle.lt/Straipsnis/giroskopas-44342>
10. Pajaziti, A., & Gara, L. (2019). Navigation of self-balancing mobile robot through sensors. In *IFAC-PapersOnLine* (Vol. 52, pp. 429–434). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.576>
11. S. Canan, R. Akkaya, S. Ergintav. Extended Kalman filter sensor fusion and application to mobile robot, February 2012, *Mechatronics* 22(1): 95–105.
12. Takei, Ryoko Imamura ; Sh. Yuta. Baggage Transportation and Navigation by a Wheeled Inverted Pendulum Mobile Robot. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Volume 56, Issue 10. Page(s): 3985 – 3994. 21 July 2009.
13. ECE497: Introduction to Mobile Robotics Lecture 2 | FELIPE ADRIAN MORENO VERA - Academia.edu[tinkle][žiūrėta2019.06.25]  
[https://www.academia.edu/28344163/ECE497\\_Introduction\\_to\\_Mobile\\_Robotics\\_Lecture\\_2](https://www.academia.edu/28344163/ECE497_Introduction_to_Mobile_Robotics_Lecture_2)
14. Trijų ašių akselerometras MMA7361L - Tx.lt [tinkle][žiūrėta2020.02.22]  
<http://tx.lt/akselerometrai-giroskopai-magnetometrai/akselerometras-mma73611.html>
15. 9 DOF IMU jutiklio modulis (gyroskopas, akselerometras ir magnetometras) (GY-85) - Tx.lt[tinkle][žiūrėta2020.03. 02]  
<http://tx.lt/akselerometrai-giroskopai-magnetometrai/9-dof-imu-jutiklio-modulis-gyroskopas-akselerometras-ir-magnetometras.html>

16. Sparkfun MPL3115A2 - skaitmeninis barometras, aukščio jutiklis 110kPa I2C 3,3V [tinkle][žiūrėta2020.05. 02]<https://www.anodas.lt/sparkfun-mpl3115a2-skaitmeninis-barometras-aukscio-jutiklis-110kpa-i2c-3-3v>
17. Enkoderis greičio matavimui 400P/P 5-24V U-0024 [tinkle][žiūrėta2019.08. 24]<https://www.evita.lt/p-0098s-enkoderis-greicio-matavimui-400p-p-5-24v>
18. Proof of concept of a novel absolute rotary encoder  
Lorenzo Iafolla, Massimiliano Filipozzi et al. *Sensors and Actuators A: Physical*, 5 2020  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924424719322514>
19. High-speed CMOS magnetic angle sensor based on miniaturized circular vertical Hall devices M. Banjevic, B. Furrer et al. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 178, 5, 2012 [tinkle][žiūrėta 2020 03 25]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924424712001227>
20. Design and testing of a linear encoder capable of measuring absolute distance  
Yaping Shi, Qian Zhou et al. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 308, 6, 2020 [tinkle][žiūrėta 2020 02 24] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924424719309161>
21. Linijiniai enkoderiai | Automatikos biuras [tinkle][žiūrėta2020.03. 17][https://www.automatikosbiuras.lt/automatikos-komponentai/kategorijos/pramoniniai-jutikliai-ir-priedai/enkoderiai/linijiniai-enkoderiai?manufacturer\[\]=14](https://www.automatikosbiuras.lt/automatikos-komponentai/kategorijos/pramoniniai-jutikliai-ir-priedai/enkoderiai/linijiniai-enkoderiai?manufacturer[]=14)
22. Enkoderis RI32-O (impulsinis) [tinkle][žiūrėta2020.01. 23]<https://auregis.lt/enkoderis-impulsinis-ri32-o>
23. DELPHI jutikliai [tinkle][žiūrėta2020.03. 18]<https://intercars.lt/lt/naujienos/susipazinkite-su-delphi-jutikliais/>
24. On a method for finding position and orientation of accelerometers from their signals  
Dmitri Tcherniak, Manuel Schwaab *Mechanical Systems and Signal Processing*, 140, 6 2020 [tinkle][žiūrėta2020.02. 16]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0888327020300480>
25. Akselerometras Gintarė Viselgienė (2019) [tinkle][žiūrėta2020.02. 17]  
<https://www.vle.lt/Straipsnis/akcelerometras-71758>
26. Papoutsidakis, M., Psomopoulos, C., Ioannidis, G. C., & Tseles, D. (2016). Motion Sensors and Transducers to Navigate an Intelligent Mechatronic Platform for Outdoor Applications. *Sensors and Transducers*, 198(3), 16–24.
27. English\_Manual\_for\_Anthropometry\_20140320. [tinkle][žiūrėta2020.02. 22]  
<http://www.belitronic.se/bj5000/manual/engelsk.pdf>
28. The Jigging Reel | DNG [tinkle][žiūrėta2019.02. 01] <http://www.dng.is/en/dng>
29. hobbyfisher - Garnbua [tinkle][žiūrėta2020.04. 15]  
<https://www.garnbua.no/products/hobbyfisher-e150-elektrisk-teine-garnhaler-mtrommel>
30. Microsoft 3D paint software, 3D fish boat library.
31. Arduino Uno Rev3 [tinkle][žiūrėta2020.03. 24]<https://www.generationrobots.com/en/401867-arduino-uno-rev-3.html>
32. Nextion Enhanced NX4832K035 (3.5'') [tinkle][žiūrėta2020.05. 16]<http://tx.lt/lcd-ekranai/nextion-enhanced-nx4832k035.html>

33. MXD7202GL Datasheet(PDF) - List of Unclassified Manufacturers[tinkle][žiūrėta2020.05.14]  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/149250/ETC1/MXD7202GL.html>
34. Tahmasebipour, M., & Vafaie, A. (2020). A novel single axis capacitive MEMS accelerometer with double-sided suspension beams fabricated using  $\mu$ WEDM. *Sensors and Actuators A: Physical*, 309, 112003. doi:10.1016/j.sna.2020.112003 [tinkle][žiūrėta 2020.02.15]<https://sci-hub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092442471931550X>
35. Gopinath, M., Yuvaraja, T., & Jeykumar, S. (2018). Implementation of Four Quadrant Operation of BLDC Motor Using Model Predictive Controller. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 1666–1672. doi:10.1016/j.matpr.2017.11.261
36. China Lpd3806-400bm-G5-24c Ab Two-Phase 5-24V 400 Pulses Incremental Optical Rotary Encoder - China Rotary Encoder, Optical Encoder[tinkle][žiūrėta2020.03.14]  
<https://www.made-in-china.com/showroom/jn-syjm/product-detailmBkEIcNUXjWg/China-Lpd3806-400bm-G5-24c-Ab-Two-Phase-5-24V-400-Pulses-Incremental-Optical-Rotary-Encoder.html>
37. P. Grebeničekaitė, E. Tumėnaitė (2002 Šiaurės Lietuva leidykla) *Matematikos korepetitorius namuose*.(162p.)
38. 2-PID-block-diagram [tinkle][žiūrėta2020.02.22]  
<https://i2.wp.com/microcontrollerslab.com/wp-content/uploads/2019/01/2-PID-block-diagram.png?ssl=1>(PID)
39. Design and performance analysis of PID controller for an automatic voltage regulator system using simplified particle swarm optimizationS. Panda, B. K. Sahu et al.*Journal of the Franklin Institute*, 349, 8, 10 2012[tinkle][žiūrėta 2020 03 26]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916303581>
40. An enhanced PID controller for speed control of brushless DC motors based on convex set optimization Chang Hyun Kim, Ji Hoon Yang et al.*IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 8, PART 1, 1 2010[tinkle][žiūrėta 2020 01 16]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015309125>
41. Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO and BF techniques H. E.A. Ibrahim, F. N. Hassan et al. *Ain Shams Engineering Journal*, 5, 2, 6 2014[tinkle][žiūrėta 2020 03 27]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447913000993>
42. Verma Tushar, Akhilesh Kumar MishraComparative Study of PID and FOPID Controller Response for Automatic Voltage Regulation *International Organization of Scientific Research*, 4 (2014), pp. 41-48
43. J. Femmy Nirmal, D. Jeraldin AuxilliaAdaptive PSO based Tuning of PID Controller for an Automatic Voltage Regulator System *Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, 2013 International Conference on. IEEE (2013), pp. 661-666

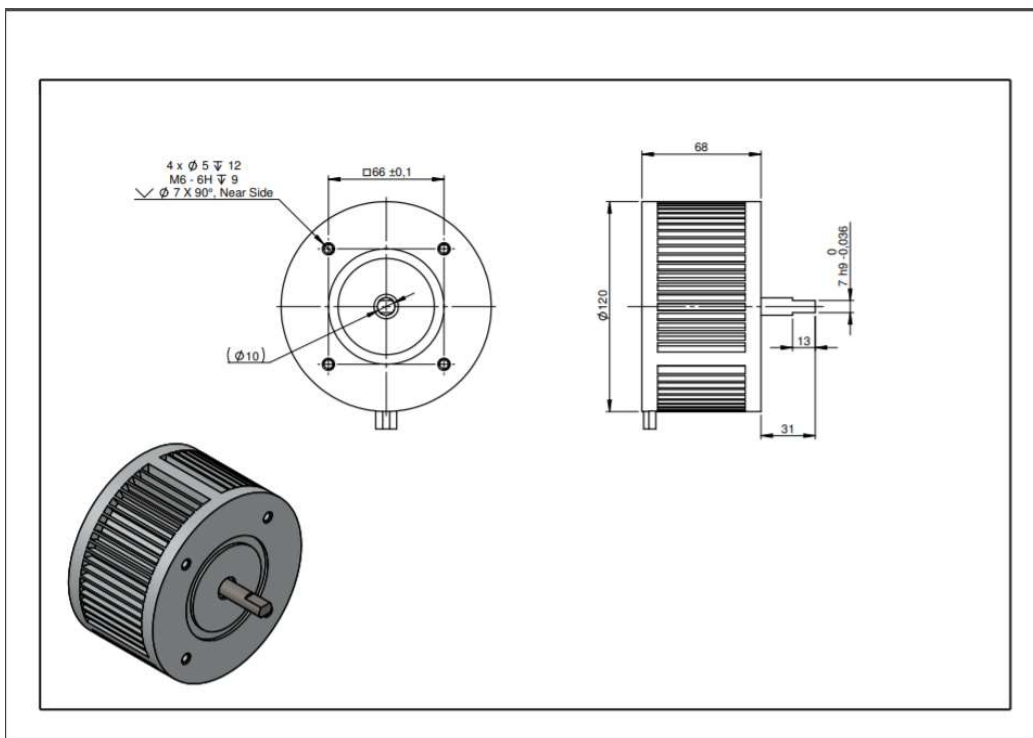
44. BFGS quasi-Newton backpropagation - MATLAB trainbfg - MathWorks United Kingdom [tinkle][žiūrėta2020.02. 22]  
<https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainbfg.html>
45. Gradient descent with momentum weight and bias learning function - MATLAB learnngdm - MathWorks United Kingdom [tinkle][žiūrėta2020.02. 22]  
<https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/learnngdm.html>

## PRIEDAI

### 1) Valdymo skydo projektas



## 2) „BLDC“ variklio brėžinys.



### 3) „BLDC“ variklio galios grafikas

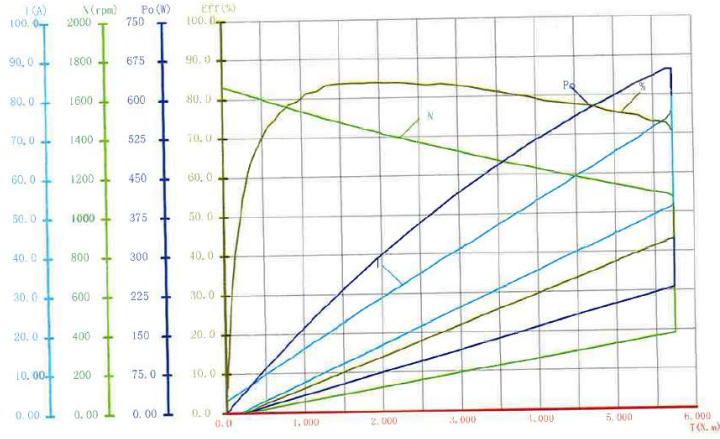
### 电机特性曲线图

公司名称:

测试日期:2018-04-13

打印日期:2018-04-13

产品名称		型号规格		提供单位		工作制	
额定转矩		N.m	额定转速	rpm	额定输出	W	电容值
额定电流		A	额定电压	V	额定输入	W	额定频率
			12				Hz



电机型号: 5  
序列号: 5  
转向: 正转

U: 12.4 (V)

最大效率 [83.9 (%)]  
T: 1.938 (N.m) N: 1428.0 (rpm)  
I: 28.10 (A) Po: 289.82 (W)

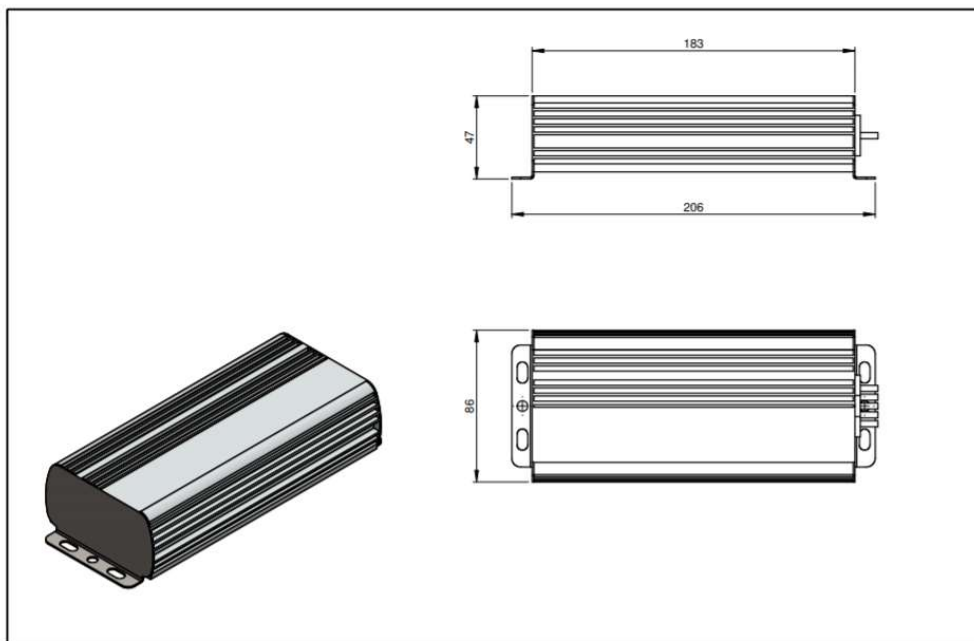
最大输出功率 [646.99 (W)]  
T: 5.668 (N.m) N: 1090.0 (rpm)  
I: 73.52 (A) Po: 889.59 (W)

最大转矩 [5.742 (N.m)]  
I: 75.74 (A) N: 1075.0 (rpm)  
Pi: 916.45 (W) Po: 646.42 (W)

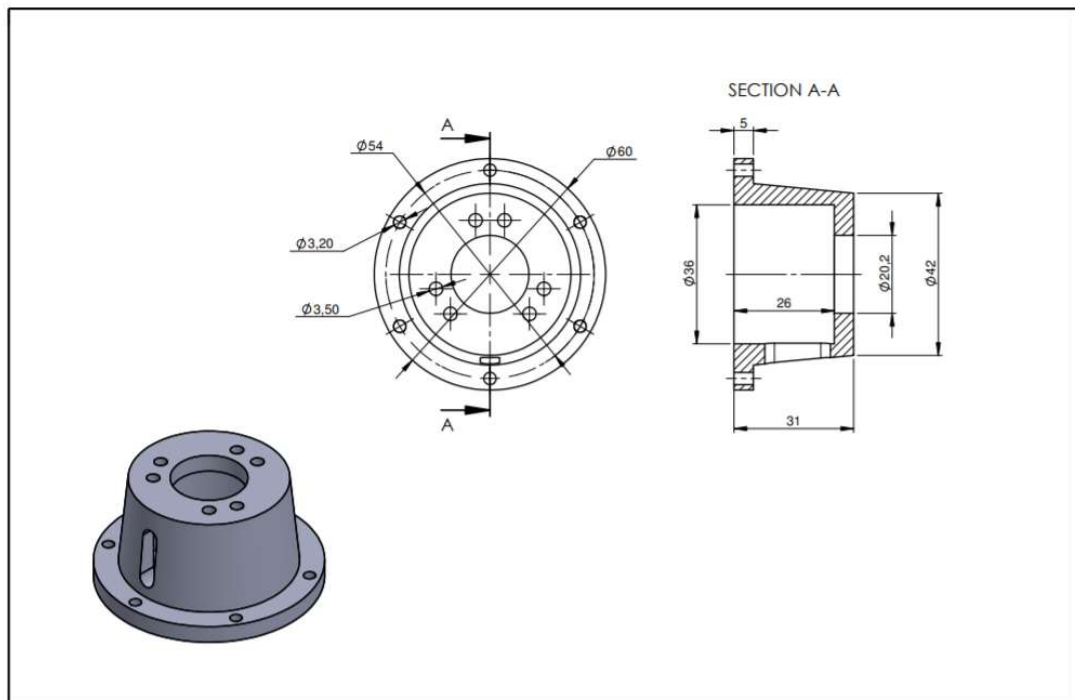
最大转速 [1657.0 (rpm)]  
I: 3.32 (A) T: 0.027 (N.m)  
Pi: 41.17 (W) Po: 4.69 (W)

最终点 [0.205 (N.m)]  
I: 0.32 (A) N: 0.0 (rpm)  
T: 0.205 (N.m) Pi: 3.97 (W)  
Po: 0.00 (W)

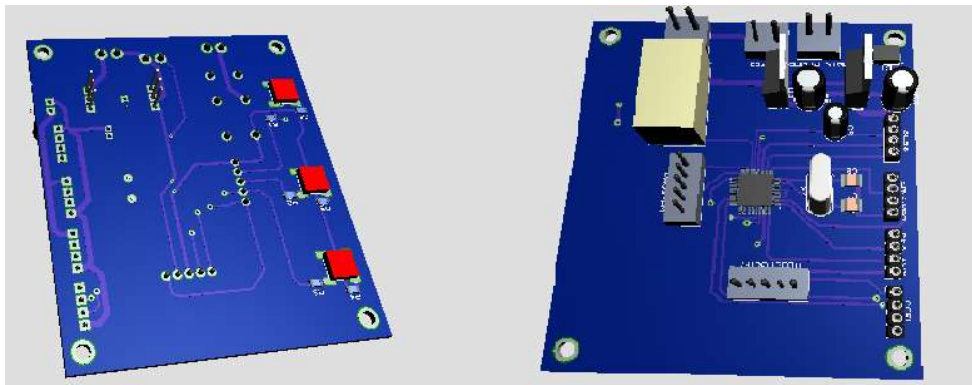
#### 4) „BLDC“ variklio valdiklio brėžinys



### 5) Enkoderio laikiklis



## 6) Elektronikos plokštės maketas



7) Neuroninio tinklo svorių (weight) ir „BIAS“ lentelės

Svoriai	Reikšmės				
W1	-1.0221	0.42198			
	0.47024	-0.36923			
	0.059246	-0.0541			
	2.2264	5.1711			
	1.2064	10.2644			
W2	-1.1336	0.47024	33.4939	0.2832	-0.03209
	19.2336	17.3906	4.2381	-2.436	10.5492
W3	35.2839	25.5499	-101.2297		
	-2.2196	-3.4713	0.23533		

BIAS	Reikšmės				
B1	-0.077939	0.010913	-0.36914	6.4151	-5.2514
B2	10.1552	-11.6949	7.9376		
B3	-48.2973	4.4804			