



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

KOKKUPÕRKE KAITSESÜSTEEMI PAIGALDAMINE PORTAALKRAANADE JAOKS MUUGA SADAMAS

INSTALLATION OF AN ANTICOLLISION SYSTEM FOR GANTRY CRANES IN THE PORT OF MUUGA

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Nikita Demestsenko

Üliõpilaskood: 206535EAAB

Juhendaja: Viktor Rjabtšikov, Doktorant-
Nooremteadur

Tallinn 2023

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20..... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Nikita Demestsenko,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Kokkupõrke kaitsesüsteemi paigaldamine portaalkraanade jaoks Muuga sadamas“, mille juhendaja on Viktor Rjabtšikov,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

18.05.2023 (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Nikita Demestsenko

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Kokkupõrke kaitsesüsteemi paigaldamine portaalkraanade jaoks Muuga sadamas

Kuupäev:
18.05.2023

47 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Doktorant-Nooremteadur Viktor Rjabtšikov

Töö konsultant (konsultandid): -

Sisu kirjeldus:

See lõputöö kinnitas RTG-kraanade kokkupõrgete probleemi aktuaalsust Muuga sadamapiirkonnas. Seda kinnitati kirjanduse ja teadusartiklite analüüsi abil. Järgnevalt koostas autor süsteemi kokkupõrgete arvu vähendamiseks. Analüüsi sellise süsteemi jaoks sobivaid seadmeid. Autori poolt välja töötatud süsteemi jaoks koostati elektri- ja programmeerimisloogika skeemid.

Märksõnad: Kummirehvidega pukk-kraana, kokkupõrged, probleemi aktuaalsust, süsteemi koostamine, elektri- ja programmeerimisloogika skeemid

ABSTRACT

<i>Author:</i> Nikita Demestsenko	<i>Type of the work:</i> Bachelor
<i>Title:</i> Installation of anticollision system for gantry cranes in Port of Muuga	
<i>Date:</i> 18.05.2023	<i>47 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Early Stage Researcher Viktor Rjabtšikov	
<i>Consultant(s):</i> -	
<i>Abstract:</i> This report confirmed the relevance of the problem of RTG crane collisions in the Port of Muuga. This was confirmed through a literature and scientific article analysis. In the next step the author developed a system to reduce the number of collisions. An analysis of suitable devices for such a system was made. Electrical and programming logic diagrams were drawn for the system developed by the author.	
<i>Keywords:</i> RTG, collisions, analysis, devices, system to reduce collisions, electrical and programming logic diagrams.	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Kokkupõrke kaitstesüsteemi paigaldamine portaalkraanade jaoks Muuga sadamas**

Lõputöö teema inglise keeles: **Installation of an anticollision system for gantry cranes in the Port of Muuga**

Üliõpilane: **Nikita Demestsenko, 206535EAAB**

Eriala: **EAAB – Elektroenergeetika ja mehhatroonika**

Lõputöö liik: **bakalaureusetöö**

Lõputöö juhendaja: **Viktor Rjabšikov, Doktorant-Nooremteadur**

Lõputöö kaasjuhendaja:
(ettevõtte, amet ja kontakt)

Lõputöö ülesande
kehtivusaeg: 2023/2024 2023/2024 Sügis

Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.2023**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Pärast üheksa kuud Muuga sadamas töötamist autor täheldas, et sadama piirkonnas toimuvad suhteliselt tihti õnnetused, mis on seotud Rubber-tired gantry crane (RTG)-kraanadega. Need õnnetused kuluvad ajale ja rahale ning kahjustavad ettevõtte reputatsiooni. Käesolevas töös autor pakub sellele probleemile kaks lahendust. Autori pakutud süsteemid peab vähendama selliste õnnetuste arvu sadamaalal ja lahendama eespool kirjeldatud probleeme.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on saada teada milline autori poolt välja pakutud süsteem vähendaks kokku põrgete arvu perspektiivis?

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Uurida maailma suurimate sadamate õnnetusjuhtumite statistikat.

Uurida millised õnnetusjuhtumite kaitstesüsteemid kasutatakse teistes sadamates?

Millised puudused esinevad olemasoleval süsteemil ja kuidas neid saaks parandada?

Kuidas integreerida uus kaitse süsteem olemasolevase sadamasse?

4. Lähteandmed

Andmed võetakse uuringute ja teadusartiklitest ning seadmete konstruktsiooni tehnilistest juhenditest.

5. Uurimismeetodid

Töö tulemused esitatakse erinevalt. Õnnetusstatistika koostatakse kirjandusülevaate, töötajate küsitluse ja autori vaatluste põhjal. Süsteemi komponentide valik põhineb arvutustel, mõõtmistel ja võrdlusel. Süsteemid modelleeritakse visuaalseks esitamiseks. Juhtmestikumeetodid näidatakse visuaalselt elektro skeemide viisil.

Artiklid valitakse sellistest allikatest nagu Scopus, IEEEexplorer, researchgate, sciencedirect.

6. Graafiline osa

Põhiosas tulevad Autori koostatud joonised, mis näitavad süsteemide komponenti ja süsteemide elektroskeemi.

7. Töö struktuur

Sissejuhatus

1. Teoreetiline osa
 - a. Kummirehvidega pukk-kraanade kirjeldus
 - b. Kokkupõrgete probleemide aktuaalsus
 - c. Kokkupõrgete statistika
 - d. Järeldus kokkupõrgete põhjuste kohta
 - e. Riski maandamine ja intsidentide ennetamine
2. Olemasolev GPS süsteem SMARTRAIL
 - a. SMARTRAIL süsteemi kirjeldus ja tema omadused
 - b. SMARTRAIL süsteemi komponendid
 - c. SMARTRAIL süsteemi eelised ja puudused
3. Ultraheliandurite süsteem
 - a. Ultrahelianduri võrdlus radari ja lidariga
 - b. Ultraheliandurite süsteemi seadmestamine ja kirjeldus
 - c. Ultraheliandurite süsteemi komponendid
 - d. Ultraheliandurite süsteemi eelised ja puudused
4. Lõpplüliti süsteem
 - a. Lõpplüliti süsteemi kirjeldus ja tema omadused
 - b. Lõpplüliti süsteemi komponendid
 - c. Lõpplüliti süsteemi eelised ja puudused
5. Analüüs
 - a. Veaotsing
 - b. Pakutavate lahenduste võrdlemise baasil langetatud lõplik otsus
 - c. PLC tingimused ja elektriskeemide koostamine
 - d. Konstruktsiooni koostamine ja jõuanalüüs.
6. Kokkuvõtte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Kraanide hoolduse juhendid. Krani operaatori juhendid. Komponentide juhendid. Kraanide PLC skeemid. Artiklid.

9. Lõputöö konsultandid

-

10. Töö etapid ja ajakava

Töö	Tähtaeg
Sissejuhatus	11.02.23
Probleemide aktuaalsus	20.02.23
Probleemide põhjused	25.02.23
Probleemide võimalikud lahendused	30.02.23
Esimene süsteem	15.03.23
Teine süsteem	20.03.23
PLC programmeerimine ja skeemide koostamine	30.03.23
Töö esimene versioon valmis	30.03.23
Juhendajale läbilugemiseks saatmine	03.04.23
Vigade parandamine	28.04.23
Juhendajale läbilugemiseks saatmine	04.05.23
Töö on valmis esitamiseks	18.05.23

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
SISUKORD.....	8
EESSÕNA	9
Lühendite ja tähiste loetelu.....	10
SISSEJUHATUS	11
1. TEOREETILINE OSA.....	12
1.1 Kummirehvidega pukk-kraanade kirjeldus.....	12
1.2 Kokkupõrgete probleemide aktuaalsus.....	13
1.3 Kokkupõrgete statistika	14
1.4 Järeldused kokkupõrgete põhjuste kohta	15
1.5 Riskide maandamine ja intsidentide ennetamine	16
2. OLEMASOLEV GPS SÜSTEEM SMARTRAIL.....	18
2.1 SMARTRAIL süsteemi kirjeldus ja tema omadused	18
2.2 SMARTRAIL süsteemi komponendid	18
2.3 SMARTRAIL süsteemi eelised ja puudused	19
3. ULTRAHELIAANDURITE SÜSTEEM	21
3.1 Ultrahelianduri võrdlus radari ja lidariga	21
3.2 Ultraheliandurite süsteemi seadistamine ja kirjeldus	23
3.3 Ultraheliandurite süsteemi komponendid	24
3.4 Ultraheliandurite süsteemi eelised ja puudused	26
4. LÕPPLÜLITI SÜSTEEM	29
4.1 Lõpplüliti süsteemi kirjeldus ja tema omadused	29
4.2 Lõpplüliti süsteemi komponendid	29
4.3 Lõpplüliti süsteemi eelised ja puudused	31
5. ANALÜÜS.....	33
5.1 Veaotsing	33
5.2 Pakutavate lahenduste võrdlemise baasil langetatud lõplik otsus	34
5.3 PLC tingimused ja elektriskeemide koostamine.....	35
5.4 Konstruktsiooni koostamine ja jõuanalüüs	36
6. KOKKUVÕTTE.....	38
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	39
LISAD	40

EESSÕNA

Antud bakalaureusetöö on koostatud autori Nikita Demestsenko poolt. Lõputöö teema oli valitud autori poolt. Selle bakalaureusetöö lõplik sõnastus oli vormistatud kooskõlas nõuetega. Töö koostati Tallinna Tehnikaülikooli tööruumides ja ettevõttes HHLA TK Estonia AS, mis võimaldas kasutada tööks vajalikke juhendeid ja keskkonda.

Autor soovib tänada oma juhendajat Viktor Rjabtšikov'it. Samuti teisi TTÜ õppejõude, kes on nõustunud seda tööd läbi vaatama. Autor hindab kõrgelt aega, mida kõik õppejõud on talle andnud. Töö käigus juhendaja Viktor Rjabtšikov oli alati abivalmis ning andis põhjaliku tagasiside.

Lühendite ja tähiste loetelu

α – lõppüliti avamise nurk

CPU – Central processing unit

FDE – Far Field Echo

GPS – Global Positioning System

L – Kaugus, mille varda lahtine ots oma algsest asendist läbib

N.O. – Normally Open

N.C. – Normally Closed

NDE – Near Field Echo

PLC – Programmable Logic Controller

RTG crane – Rubber-Tired Gantry Crane

RS 232 – Recommended Standard 232

r – varda pikkus

SISSEJUHATUS

Logistika mängib riigi jaoks olulist rolli, sest see tagab kaubanduse arengu ja seeläbi majanduskasvu. Merelogistika on üks tõhusamaid viise kaupade tarnimiseks pikkadele vahemaadele kuna mereteed on suure läbilaskevõime ja madalate tarnekuludega. „Merelogistika osakaal maailma kaubaveos on 62% ning see katab 80% rahvusvahelisest kaubandusest.“ [1]

Sadamad mängivad merelogistikas olulist rolli kauba ümberlaadimis- ja ladustamiskohtadena ning laevade lähte- ja sihtpunktidena. Sadamates kasutatakse lasti laadimiseks, mahalaadimiseks ja ladustamiseks mitmesugused masinad, sealhulgas kraanad, konteineriplatsid, konveierid jne.

Sadamates kasutatakse eri tüüpi kraanasid: portaalkraanad, püstkraanad, tornkraanad, teleskoopkraanad ja teised. Muuga sadamas praktiliselt olles on korduvalt juhtunud olukorrad kui kraana saab kahjustada kokkupõrge tõttu ning tänu sellele on kasutu. Kui sadamaala masinad ei ole töökorras, siis iga tund tekitab nii ettevõttele kui ka sadama omanikule kahjumit ning kahjustab nende mainet. Tööefektiivsuse suurendamine on suund kuhu liiguvad kõik tootmisettevõtted.

Selleks, et paremini probleemist aru saada oli vajalik uurida mis on kraanaintsidentide tekkimise põhjused, kuidas saab vältida kraanaõnnetuste arvu suurendades ettevõtte kasutegurit, mis andurid on hetkel kasutusel takistuste tuvastamiseks. Samuti oli vaja aru saada milline peab olema süsteem, et ta saaks vähendada kokkupõrgete arvu ning kuidas integreerida seda süsteemi kraanasse.

Teoreetilises osas autor kirjeldab probleemi, selle aktuaalsust ning statistikat. Lisaks sellele uuritakse juhtunud intsidendid ning nende tekkimise põhjusi. Läbi selle uuringu saadakse vastused enamusele küsimustele. Selle osa lõpus pakutakse võimalikud probleemi lahendused mis aitaks vältida kraanade intsidente sadamates.

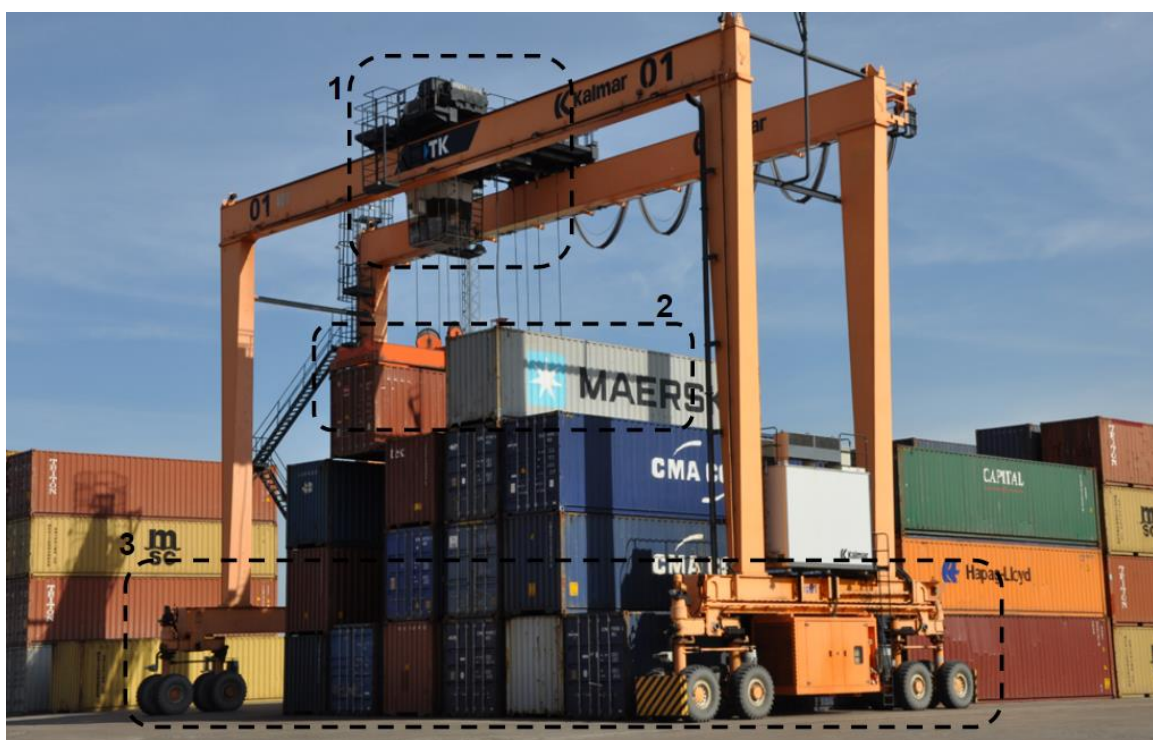
Praktilises osas pakutakse lahendada püstitatud probleem lissüsteemi paigaldusega mis tuvastaks kraana teel takistusi ning aitaks vältida kokkupõrked. Selles osas pakutakse välja 2 süsteemi, kirjeldatakse nende spetsifikatsioonid, komponendid, ühendamisvõimalused ning nende eelised ja puudused.

Analüüsi osas võetakse kogu info kokku, tehakse pakutavate lahenduste võrdlemine, veaotsing ja nende kõrvaldamine ning selle baasil langetatakse lõplik otsus. Samuti kirjeldatakse programmeerimisloogikat ning pakutava lahenduse ühendamine elektriskeemile.

1. TEOREETILINE OSA

Teoreetilises osas uuritakse ja kirjeldatakse probleemi, selle aktuaalsust, statistikat, juhtunud intsidendid ning nende tekkimise põhjusi. Selle uuringu lõpus pakutakse võimalikud probleemi lahendused mis aitaks vältida kraanade intsidente sadamates.

1.1 Kummirehvidega puk-kraanade kirjeldus

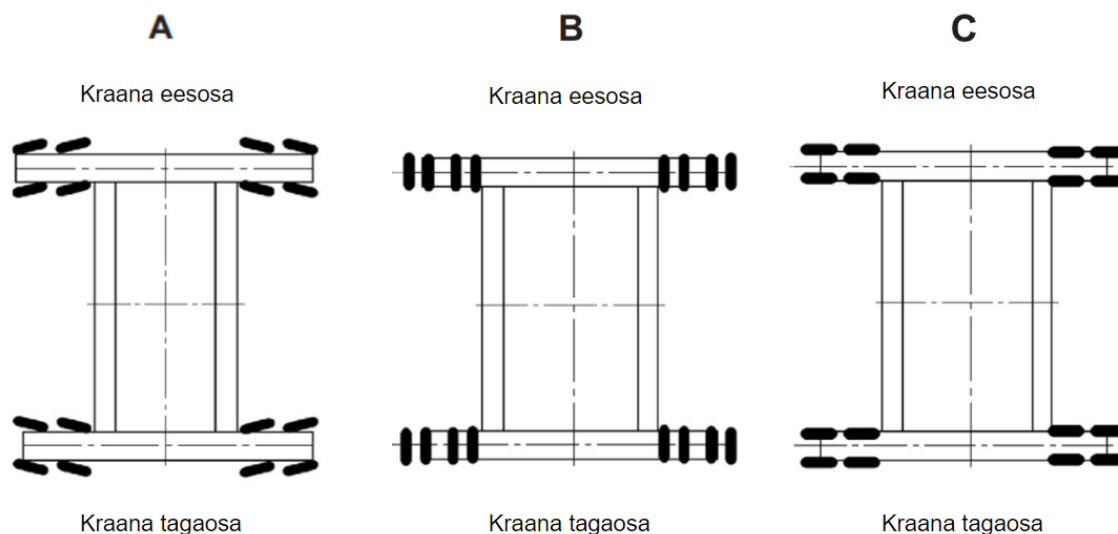


Joonis 1 Kummirehvidega puk-kraana [2]

Kummirehvidega puk-kraana «*Rubber-tired gantry crane*» (RTG) ning selle osad on näidatud joonisel 1. Kraana koosneb kärust (1), tõsteraamist (2) ja portaalist (3). Seda portaalkraanat kasutatakse konteinerite laadimiseks ja mahalaadimiseks sadamates. Kraana nimi tuleneb sellest, et ta sõidab kummist ratastega maapinna peal. RTG-d on üks kõige levinumatest portaalkraana tüüpidest ning neid kasutatakse paljudes sadamates üle maailma. Nad tagavad konteinerite kiire ja efektiivse teisaldamise.

RTG-del on rataste pööramise funktsioon tänu millele on neil hea manööverdatavas ning nad saavad lihtsalt sadamaalas olevatest takistustest mööda. Selle funktsiooniga saab kraana pöörata, mis suurendab selle liikuvust. See on eriti oluline tihedalt asustatud sadamates, kus manööverdamisruum on piiratud. Joonisel 2 on näidatud A rataste

asend pöörlemiseks, B rataste asend piki suunaliseks liikumiseks ning C rataste asend põiki suunaliseks liikumiseks.



Joonis 2 Kraanarattade võimalikud asendid. A rataste asend pöörlemiseks, B rataste asend piki suunaliseks liikumiseks ning C rataste asend põiki suunaliseks liikumiseks

1.2 Kokkupõrgete probleemide aktuaalsus

RTG kraanade kokkupõrked on väga aktuaalne probleem, sest nad toovad kaasa tõsiseid tagajärgi nagu näiteks: kraanade, kaupade või sadama infrastruktuuri kahjustused, sellega kaasnevad lisakulud ja potentsiaalne oht personali elu või tervisele. RTG kraanade kokkupõrge võib tekkida siis, kui kaks või rohkem kraanat tõstavad ja liigutavad kaubakonteinerid samas piirkonnas või samal teelõigul.

Lisaks eelnimetatule kraanade kokkupõrked võivad põhjustada sadama tööprotsesside peatumist ning teeninduse kvaliteedi halvenemist, kuna see põhjustab laevade peale- ja mahalaadimiste hilinemisi. Lisaks kahjustatud kraanad pole kasutamiseks kõlblikud, mis toob kaasa lisakulusid: remondi ja seadmete vahetuste kulud või tavaline sadama tööefektiivsuse langemine.

Artikkel „TT talt – Crane Safety – towards a baseline standard“ rõhutab kraanade kokkupõrgete probleemi olemasolul sadamates kirjeldades TT Clubi, PEMA ja ICHCA Internationali ühist algatust. Nende firmade sooviks on kehtestada kohustuslikud minimaalsed ohutusstandardid konteinerkraanade kasutamisele sadamates. TT Club soovitas paigaldada sensorid kraana noolele mis on vajalikud selleks, et vältida selle noole kokkupõrget laevadega mis tulevad sadama territooriumile kauba laadimiseks. Need sensorid on juba tõestanud oma efektiivsust aga hetkel nende kasutus on ainult

vabatahtlikul alusel. Sensorite olemasolu aitab tunduvalt vähendada kahjustuste arvu ning seisakuaega, samuti tagab kraanaoperaatorite, terminali personali, laevameeskondade ning kauba ohutust.

Selles artiklis Pema president Ottonel Popesco samuti rõhutab, et sarnased lisafunktsioonid ja lisasüsteemid mis aitavad vältida kokkupõrkeid peavad olema kohustuslikud, mitte täiendavad vabatahtlikul alusel. Seega tõestab artikkel kraanade kokkupõrgete probleemi aktuaalsust ja kinnitab minimaalsete kohustuslike ohutusstandardite kehtestamise ning lisaseadmete arendamise vajadust, mis aitavad vältida portaalkraanade kokkupõrkeid kohustusliku, mitte vabatahtliku funktsioonina. [3]

1.3 Kokkupõrgete statistika

Portaalkraanade kokkupõrgete statistika pole avalikult kättesaadav ning seda omab ainult sadama omanik. Tuginedes autori kogemusele Muuga sadamas on viimase 9 kuu jooksul olnud 2 sellist juhtumit. Samuti autor küsitles Muuga Sadama töötajaid kes on töötanud seal 10 aastat või rohkem ning selle tulemuseks sai järgmised andmed: kraanade kokkupõrked juhtuvad sadamas keskmiselt 2 kuni 4 korda aastas. Mõnikord kraanad põrkuvad omavahel kokku aga tihedamini kauba konteineritega. Need andmed kinnitavad ka ettevõtte sisedokumentid, millega autoril oli lubatud tutvuda, kuid see statistika on konfidentsiaalne info ning autorile ei lubatud seda statistikat hindamiskomisjonile tutvumiseks esitada.

Siiski võib kindlalt öelda, et kraanade intsidendid on tõsine ja aktuaalne probleem sadamates. Seda hüpoteesi kinnitavad 2 artiklit mis on allpool kirjeldatud.

Maritime Injury Centeri (Meretrauma keskus) veebilehel postitatud Artikkel "*Cargo and Crane Accidents in the Maritime Industry*" on pühendatud kaubaveo ja kraanatöödega seotud intsidentidele merendussektoris. Artikkel kirjeldab erinevad intsidentide tüübid, mis võivad sadamates juhtuda, nagu kauba kukkumine, laevade ja kraanade kokkupõrked. Artiklis arutatakse ka tegurid, mis põhjustavad selliseid õnnetusi, nagu inimfaktor, ilm mis on vastuolus sadamaprotsesside ohutuse eeskirjadega, sobimatu varustus jne.

Artikkel sisaldab ka andmed selle kohta millised kahjustuste tüübid ja vigastused võivad merendussektori intsidentidest tekkida. Samuti artikkel kirjeldab, kuidas need kahjustused ja vigastused võivad mõjutada töötajaid ja nende peresid. Lisaks

arutletakse artiklis ka kaubaveo ja kraanatöödega seotud intsidentide õiguslikke aspekte, nagu vastutus ja kahjutasu küsimused. [4]

Teine artikkel räägib intsidendist mis toimus Taiwani Kaohsiungi sadamas. 2021. aasta juunis Taiwani sadamas põrkas laev portaalkraanaga kokku, mis omakorda põrkas teise lähedal asuva kraanaga kokku. Mõlemad kraanad said tõsised kahjustused ning olid kasutuseks kõlbmatud ja terminali töö oli tõsiselt raskendatud. See töö kaasa reiside tühistamise ja sadama teenuste osutamise hilinemise. Kuigi keegi personalist ei saanud vigastada, näitab see artikkel selliste juhtumite keerulisi tagajärgi.

See juhtum kinnitab ka ohutuseeskirjade ja juhiste järgimise tähtsust portaalkraanade ja konteineritega töötamisel. Selliste õnnetuste vältimiseks toimuvad sadamates koolitused ja harjutused portaalkraana operaatoritele ning rakendatakse ranged ohutusmeetmed. [5]

1.4 Järeldused kokkupõrgete põhjuste kohta

Selleks, et paremini saada aru kuidas saaks efektiivsemalt aidata vältida kraanade kokkupõrked tuleb leida nende olukordade juurpõhjused. Analüüsides eespool kirjeldatud allikad, saab autor välja tuua mitmed tegurid, mis võivad põhjustada selliseid kokkupõrkeid.

Esimene tegur on inimfaktor ja ohustehnika eiramine. Liigne enesekindlus ja hoolimatus ohustehnika osas sageli viivad sellise tüüpi õnnetusteni sadamates. Operaatoritel kes töötavad sellise tehnikaga juba pikemat aega riskide juhtimine tuhmub mis omakorda võib tekitada olukorda, kus ta hindab riske alla ning jätkab liikumist tuginedes ainult oma kogemusele.

Teine tegur on ilmastikuolude ignoreerimine. Tihti ettevõtted eiravad ilmastikutingimuste ohutusstandardid, nagu tuulekiirus, lumi või udu. Tihti juhtub seda kiirustades, soovides ajaraami ära mahtuda või soovides suurendada koorma töötlemise kiirust. Tuleb märkida, et süsteem ei pruugi korrektselt töötada ebasobivates ilmastikutingimustes. Süsteem on loodud töötamiseks normaalsetes tingimustes, mis on ohutud antud protsessi jaoks.

Näiteks süsteem on projekteeritud garanteeritult korrektselt töötama tuulega, mis on väiksem kui 25 meetrit sekundis mis on tuulekiiruse ohutu ülempiir. Süsteem ei pruugi töötada korrektselt ega ei peaks tuulega mille kiirus on üle 25 meetrit sekundis kuna

see on väljaspool ohutu vahemikku ning kraana juhtimine sellistes tingimustes on tegelikult keelatud. Tavaliselt on süsteemidel sellised omadused ning süsteemi korrektse kasutamise tingimused on kirjeldatud selle kasutusjuhendis.

Järgmine tegur on Halvasti hooldatud tehnika. Sõltumata tootmisaastast on sadamas kasutatavad masinad väga keerulised ning nõuavad täpset arusaama kõikidest tehnilistest protsessidest, alates elektrikast kuni hüdraulikani. Hooldusspetsialisti koolitamine võtab väga palju aega ja on kulukas aga see on hädavajalik, et ta saaks sellised masinad hästi hooldada.

Ja viimane tegur on seotud sellega et ohutussüsteemid ei ole piisavalt tõhusad. Väiksemad sadamad tihti kasutavad masinaid, mis küllaltki pole kaasaegsed. See tähendab, et sellistel masinatel võivad puududa kaasaegsed kokkupõrgete vastased ohutussüsteemid.

1.5 Riskide maandamine ja intsidentide ennetamine

Tuginedes autori analüüsile ja arupidamisele on välja kujunenud mitmed meetmed mida saab rakendada, et maandada riske ning ennetada kokkupõrgete juhtumite arvu RTG kraanadega. Autori poolt pakutav valmislahendus võiks sisaldada järgmisi meetmeid.

Kraana juhtimise automatiseerimine. Kraanade automatiseeritud juhtimissüsteemid võivad vähendada kokkupõrgete ohtu, kuna nad kontrollivad täpselt iga kraana liikumist ning optimeerivad marsruute ja sõiduaegu. Samuti see võib aidata tõsta tootlikkust.

Kraana tööpiirkonna piiramine. Et vältida kraanade kokkupõrkeid, võib sadam jagada kraanade tööala eraldi sektoriteks millest igale sektorile oleks määratud kindel kraan. Seda võib saavutada eraldusribade, märgistuse või muude vahendite abil. Tuleb märkida, et enne kraana transportimist hoolduspiirkonda lülitatakse sellised süsteemid välja, mis omakorda suurendab kokkupõrgete ohtu. Seetõttu võib selle meetme kasutamine olla mitte eriti kasulik.

Kraanade ja lastide liikumise jälgimissüsteemide kasutamine. See võib olla süsteem, mis jälgib iga kraana ja lasti asukohta ning korraldab kraanade liikumist automaatselt, et vältida kokkupõrkeid.

Olemasolevate kokkupõrke vältimise süsteemide täiustamine. Selliste süsteemide täiustusi tuleb kavandada vastutustundlikult ja tõsiselt. Süsteemi uuendamisel tuleb

koostada põhjalik dokumentatsioon selle kohta mis sisaldaks elektriskeeme, süsteemiloogikat ja süsteemi üldomadusi.

Töötajate koolitus. Kraanadega seotud personalil peavad olema piisavad teadmised ja oskused kraanade ohutu kasutamise ning hooldamise kohta.

Kraanade regulaarne kontrollimine ja hooldus. Kraanade regulaarne kontrollimine ja hooldus aitab tuvastada võimalikud rikked, mis võivad viia õnnetusjuhtumiteni ja parandada need enne kui nad muutuvad tõsisteks probleemideks.

Sellised meetmed nagu „kraanade tööpiirkonna piiramine“ ja „kraanade juhtimise automatiseerimine“ on juba kasutuses Muuga sadama territooriumil. Kuid on olukorrad, kus kraan peab lahkuma oma tööpiirkonnast ning liigub hoolduspiirkonda. Kui kraana transporditakse hoolduspiirkonda, lülitatakse olemasolev SMARTRAIL süsteem välja ja operaator peab juhtima kraanat täielikult manuaalselt. Seetõttu ei ole need meetmed piisavad vältimaks kõiki kokkupõrkeid sadamaalal.

2. OLEMASOLEV GPS SÜSTEEM SMARTRAIL

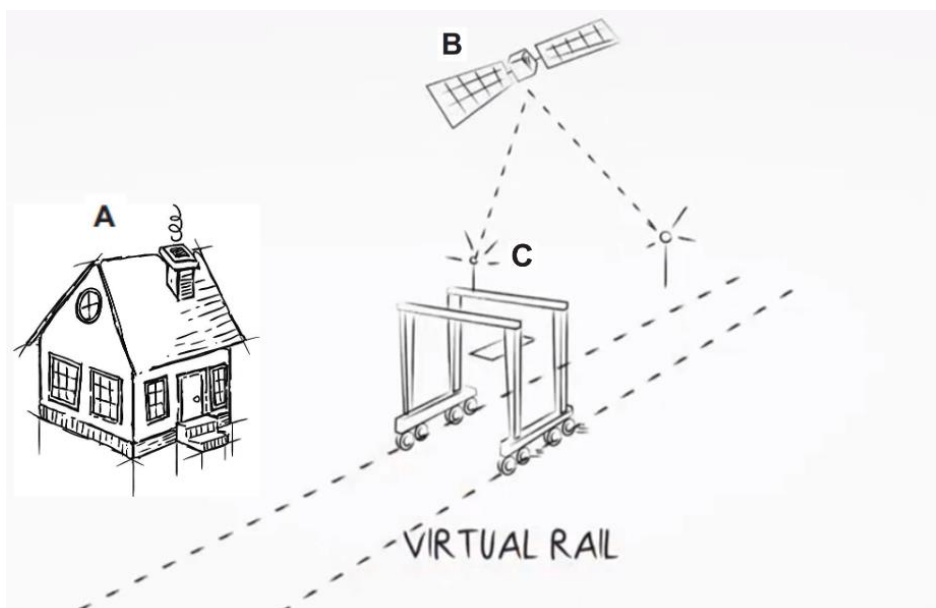
Bakalaureusetöö teises peatükis kirjeldatakse olemasoleva SMARTRAIL süsteemi mis tasutatakse RTG kraanal. Samuti kirjeldatakse tema eeliseid ja puudusi.

2.1 SMARTRAIL süsteemi kirjeldus ja tema omadused

Kraana kasutusjuhendist selgub, et SMARTRAIL süsteem on RTG-kraanade automaatne juhtimissüsteem. SMARTRAIL liigutab kraanat virtuaalsetel rööbastel +/-10 sentimeetri täpsusega. SMARTRAIL süsteemil on teine kasulik funktsioon ka, see näitab konteineri täpset asukohta. Kui konteiner on liigutatud saadab SMARTRAIL teate laohaldussüsteemi ja annab sellele teada, kus konteiner asub. SMARTRAIL süsteem põhineb uusimal globaalse positsioneerimissüsteemi (GPS) tehnoloogial. Kaasaegsed seadmed koos integreeritud anduritega võimaldavad kraana asukoha määramist reaalsajas sentimeetrite täpsusega. [2]

2.2 SMARTRAIL süsteemi komponendid

Joonisel 3 on näha, et süsteem koosneb kontrollkeskustest (A) mis asuvad maapinnal, navigatsioonisatelliitidest (B) mis asuvad Maa ümber orbiidil ning sõidukitele aigaldatud vastuvõtjatest (C) mis võtavad signaali vastu. GPS-satelliidid edastavad maapinnale signaale, mida GPS-vastuvõtjad võtavad vastu. Vastuvõtjad töötlevad signaale, määravad satelliitide kauguse ning kasutavad seda infot oma asukoha määramiseks maapinnal.



Joonis 3 SMARTRAIL süsteemi illustratsioon. A - kontrollkeskus, B - navigatsioonisatelliitid, C - vastuvõtjad. [2]

2.3 SMARTRAIL süsteemi eelised ja puudused

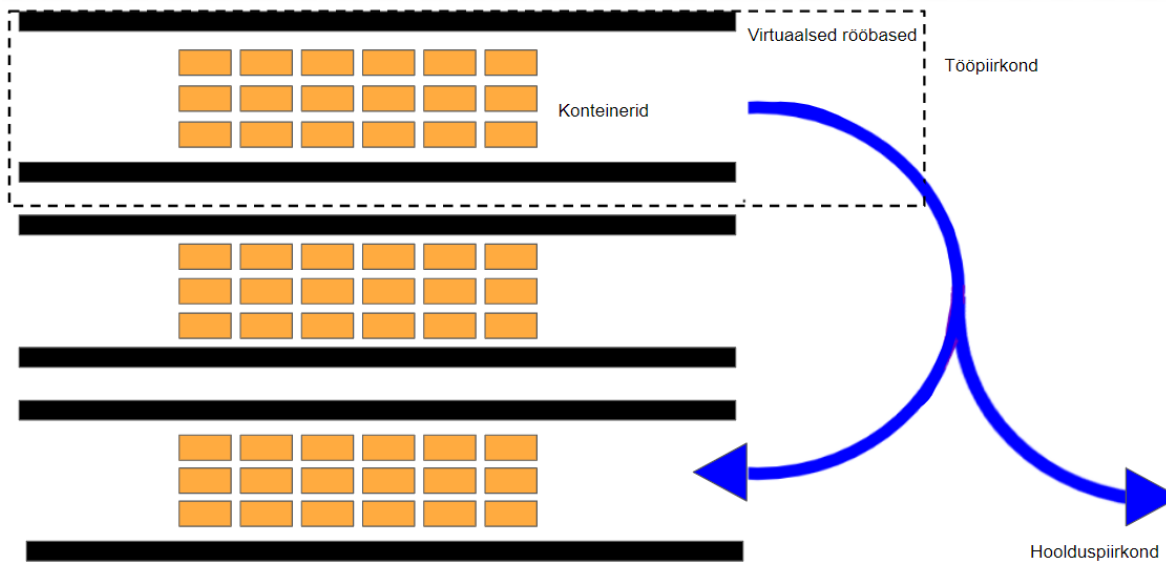
GPS-süsteemil on palju eeliseid. Täpsus, usaldusväarsus, kasutusmugavus ja laiad rakendamise võimalused. GPS võimaldab tõsta ohutust ja tööefektiivsust erinevates tööstusharudes, sealhulgas transpordilistikas, maanteetranspordis, meretranspordis, lennunduses jne.

Esimene süsteemi puudus on selle süsteemi kõrge maksumus. SMARTRAIL süsteem kuulub kõrgtehnoloogiliste ja innovaatiliste lahenduste kategooriasse, mistõttu selle hind võib olla kallis. See võib piirata süsteemi kasutamist mõnedes sadamates.

Teine puudus on keerukus. SMARTRAIL süsteemi loomine ja hooldamine nõuab spetsiifilisi teadmisi ja oskusi. Seetõttu nõuab see töötajate koolitust ja kõrget kvalifikatsiooni, mis võib olla kulukas, aeganõudev ja keeruline protsess.

Kolmas puudus on raske tehniline hooldus. SMARTRAIL süsteem vajab korrektseks toimimiseks regulaarset tehnilist tuge ja hooldust. See võib tähendada süsteemi täiendavaid hooldus- ja remondikuluseid.

Selle süsteemi peamine puudus on selle piiratus. SMARTRAIL süsteem ei lase rattadel pöörata ega sõita väljaspoole virtuaalseid rööpaid. Kui kraana peab liikuma teise tööpiirkonda või hoolduspiirkonda mis saab näha joonisel 4, tuleb see süsteem välja lülitada. Sellistes olukordades tuleb kraanat juhtida täielikult käsitsi. See tähendab et, olemasolev süsteem ei suuda sellistes olukordades kraanat kokkupõrke eest kaitsta, seega tuleb seda ohutussüsteemi täiustada. Sellest võib teha järelduse, et on vaja välja töötada süsteem, mis jääb kogu aeg töötama.



Joonis 4 Tööpiirkonna välimus

3. ULTRAHELIAANDURITE SÜSTEEM

Bakalaureusetöö kolmandas peatükis kirjeldatakse ultraheliandurite süsteemi. Samuti valitakse sobiv anduri tüüp ja kirjeldatakse süsteemi eeliseid ja puudusi.

3.1 Ultrahelianduri võrdlus radari ja lidariga

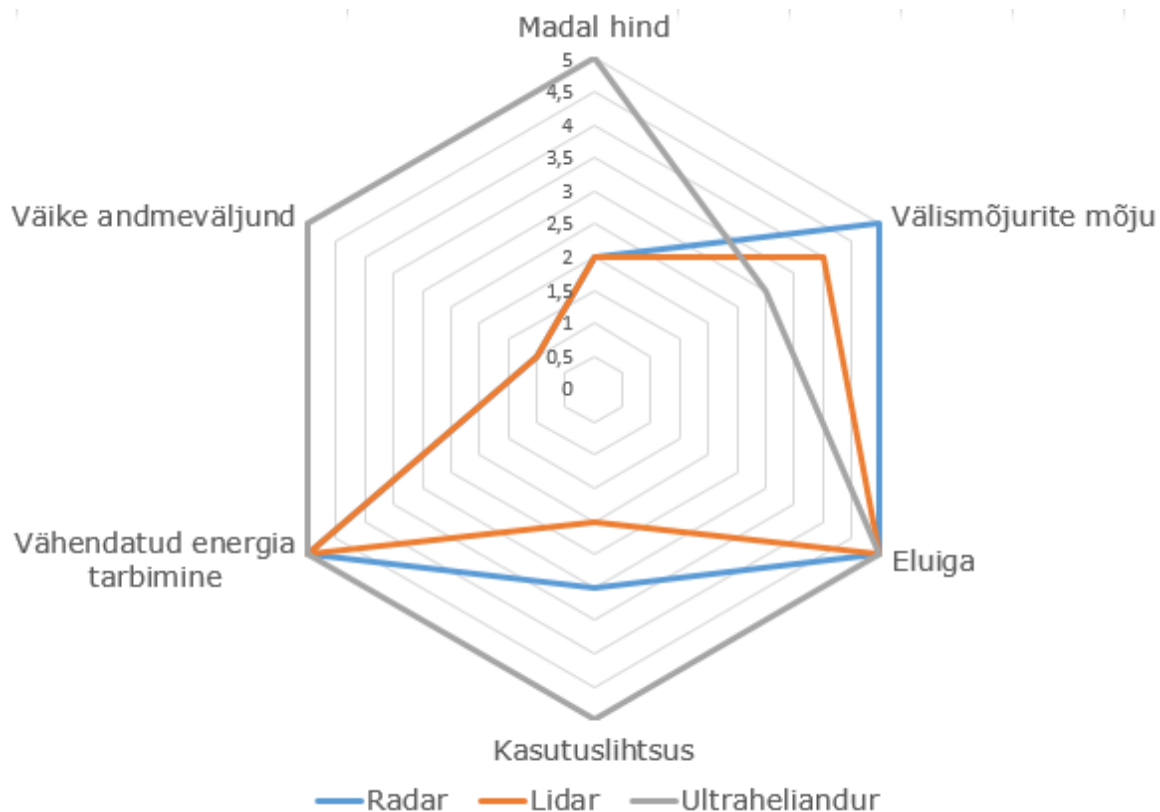
Selles osas kirjeldatakse igat seadet ja valitakse süsteemi jaoks sobivam takistuste tuvastamise andur. Võrdlus toimub Lidari, radari ja ultrahelianduri vahel.

Esiteks, ultrahelitehnoloogia on ennast hästi tõestanud ja arusaadav mõõtmismeetod, mida kasutatakse regulaarselt tööstusharudes üle kogu maailma. Loomulikult andmete kvaliteet sõltub seadme klassist ja maksumusest, kuid sageli pakuvad andurid head hinna ja kvaliteedi suhet. Ultraheli mõõtmiste tulemusi võib usaldada, andurid tagastavad iga kord täpsed andmed. Tänapäeva turg on mitmekesisem ja on näha, et kliendid nõuavad oma mõõtmisvajaduste jaoks spetsiifilisemaid lahendusi. Tänapäeva ettevõtetele tuletatakse pidevalt meelde vajadust vähendada energiatarbimist ja süsinikdioksiidi heitkogusi. On olemas madala energiatarbimisega ultrahelisüsteeme mis lisaks energia kokkuhoiule on sama täpsed nagu tavalised ultraheliandurid mis teeb nendest peaaegu ideaalse lahenduse. [6] Edusammud energiajuhtimise tehnoloogias võimaldavad seda, et selliste süsteemide akud kestavad aastaid. Vaatamata kogu tehnoloogia kiirele arengule ultraheliandurid on endiselt põhiline seade mõõtmiseks ja protsesside kontrollimiseks.

Lidar saadab välja laseri ja modelleerib saadud peegelduste põhjal ruumi koos kõigi objektidega. Neil on suur mõõteulatus ja väga suur täpsus võrreldes ultrahelianduritega. Lidari peamised puudused on selle kõrge maksumus ja toodetav andmemahut. Kõigi ruumis olevate objektide kirjeldus ei ole käesoleva töö probleemi lahendamiseks vajalik. Samuti on vaja võtta arvesse ka seda asjaolu, et valgus peegeldub erinevatelt värvilistelt pindadelt erinevalt. [7] See tähendab, et musta värvi konteinerilt peegeldub valgus halvemini kui näiteks kollast värvi konteinerilt. Arvestades seda infot autor on otsustanud mitte kasutada enda süsteemis Lidarit.

Radari- ja ultraheliandurite põhimõte on sisuliselt sama. Kuid radareid kasutatakse maastiku skaneerimiseks, et tuvastada mõne meetri kaugusel olevaid objekte. [7] Autori poolt välja töödatud süsteemis peaks takistuse tuvastamise kaugus olema umbes 3 meetrit. Radari töö tulemuseks on suur kogus andmeid, mida selles süsteemis

tegelikult pole vaja. Samuti tasub märkida, et radari maksumus on oluliselt kõrgem kui ultrahelianduri oma.



Joonis 5 Radari, lidari ja ultraheli eelised ja puudused (5 – Suurepärase, 0 – Halb)

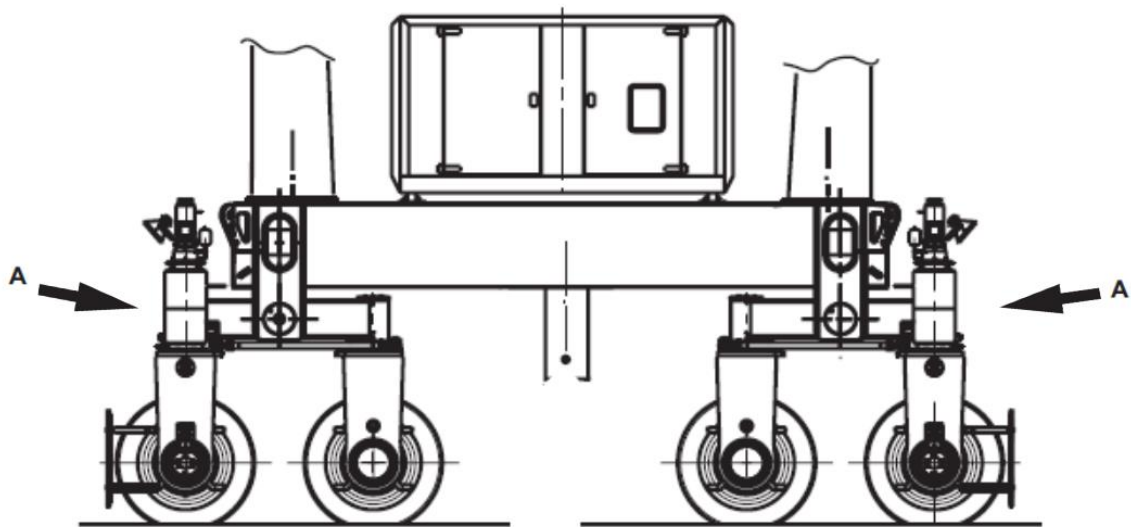
Kokkuvõtteks võib öelda, et Lidarid ei sobi selle süsteemi jaoks. Nende eelised ja puudused saab näha joonisel 5. Neid illustreerib oranž joon. Kuid peegelduse kvaliteet sõltub sellistest teguritest nagu objekti värvus ja materjal. Ka radarid ei sobi selle probleemi lahendamiseks, sest need on väga kallid. Neid kasutatakse ka kaugemal asuvate takistuste avastamiseks, mis ei sobi autori pakutud süsteemile. Radarite eelised ja puudused saab näha joonisel 5, neid illustreerib sinine joon. Nagu saab näha joonisel 5 ultrahelianduritel on palju eeliseid võrreldes konkurentidega:

1. Lihtne kasutada
2. Selge tööpõhimõte
3. Vähendatud energiatarbimine
4. Pikk eluiga.
5. Madal maksumus võrreldes konkurentidega.

Eelnimetatu põhjal autor on valinud enda süsteemi jaoks just ultraheliandurid.

3.2 Ultraheliandurite süsteemi seadistamine ja kirjeldus

Esimeses autori poolt välja töödatud süsteemis on 8 ultraheliandurit, mis asuvad 4 erinevas nurgas ja tuvastavad füüsiliste takistuste olemasolu. Kui ultraheliandur tuvastab takistuse enda ees, sagedusmuundur katkestab elektrimootorite juhtimissignaali mille tõttu nad jäävad seisma. Süsteemi projekteerimisel kasutati EVS-EN 62061:2021 standardit. [8]



Joonis 6 A - Ultraheliandurite süsteemid (4 komplekti koos) [2]

Et tuvastada selliseid takistusi nagu konteiner, peavad andurid olema paigaldatud mitte liiga kõrgele. Konteineri kõrgus on 2,59 meetrit. Autor pakub paigaldada andurid umbes 2 meetri kõrgusele joonisel 6 näidatud kohtadesse.

Tundmisulatuse määramiseks viidi 02.05.2023 kell 15:00 läbi katse. Katse eesmärk oli selgitada välja RTG kraana pidurdustekond märjal asfaldil praktilisel viisil. Tehti kümme katset, mille käigus täiskiirusega liikuv kraana hakkas pidurdama teatud märgini jõudes. Nagu kraana kasutusjuhendis on märgitud on maksimaalne kiirus ilma koormuseta 2,25 meetrit sekundis.

Kraana kiirus edastatakse reaajas operaatorile. Kui kraana saavutab maksimaalse kiiruse ja esimene rattapaar ületab asfaldil oleva märgistuse, hakkas kraana pidurdama. Kui kraana oli täielikult peatunud, mõõdeti pidurdustekond mõõdulindiga. Tavaliselt on mõõtmisel oluline arvestada nii tuule kiirust, suunda kui ka õhutemperatuuri. Sel juhul oli otsustatud neid siiski mitte arvestada, kuna läänepoolne tuul kiirusega 5-7 meetrit

sekundis ei mõjutanud oluliselt mõõtmisi. Samuti kuna mõõtmine toimus mõõdulindiga, otsustati jätta arvestamata ka õhutemperatuur, mis oli 9 kraadi Celsiuse järgi. Selle katse tulemused on esitatud allpool.

Tabel 1 Eksperimendi tulemused.

Katse number	Pidurdustee (meetrites)
1	0,66
2	0,58
3	0,82
4	0,69
5	0,72
6	0,95
7	0,65
8	0,68
9	0,71
10	0,67

Tabelis 1 on esitatud katse tulemused. Kaheksa katset andsid tulemuseks pidurdusteevahemiku vahemikus 0,58 meetrit kuni 0,72 meetrit. Katsed 3 ja 6 osutusid ebaõnnestunuks. Katses osalenud kraanaoperaatori sõnul ei suutnud ta nende kahe katse ajal piisavalt kiiresti reageerida. Katse andmete põhjal võib järeldada, et kõik katsed välja arvatud 3. ja 6. katse olid edukad. Selle katse järelduse võib sõnastada järgmiselt: selleks, et kraana saaks enne takistusega pörkimist peatuda, peab anduri ulatus olema vähemalt 2 meetrit. See suur varu tuleneb asjaolust, et pidurdusteevahemik võib muutuda tugevama tuule ja ka kraana suurenenud massi tõttu, näiteks kui tehakse tööd maksimaalse lubatud koormusega 40000 kg. [2]

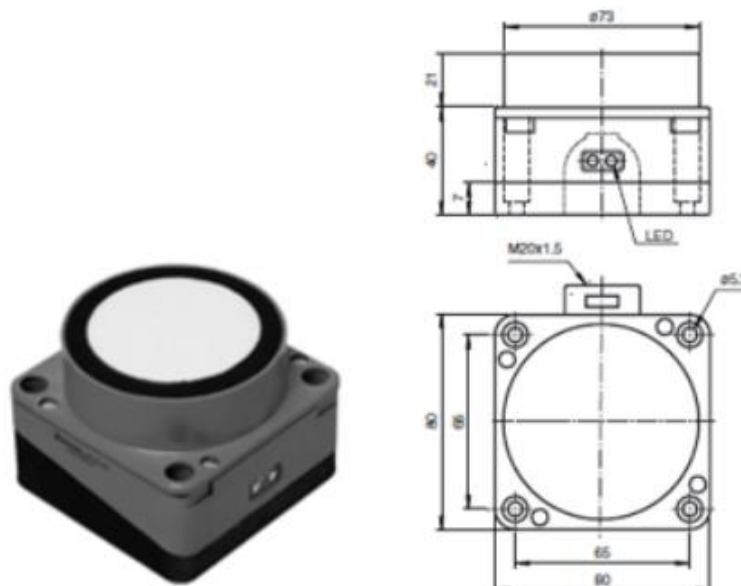
3.3 Ultraheliandurite süsteemi komponendid

Kraana liikumine toimub järgmiste komponentide abil:

1. Digitaalne sisendmoodul
2. CPU Keskprotsessor
3. Digitaalne väljundmoodul
4. Sagedusmuundur
5. Elektrimootorid

Autor ei saa asendada need komponendid, sest need on juba kraanale paigaldatud. Autor saab valida ultrahelianduri mudeli, mis teatab CPU-le takistuse olemasolust teatud piirkonnas. Autor peab oluliseks kirjeldada selle mudeli kõiki funktsioone, sest selle seadme õige seadistamine on kriitiliselt tähtis.

Ultraheliandur on seade, mis tuvastab füüsilise takistuse olemasolu teatud piirkonnas ja edastab süsteemile vastava signaali. Selles süsteemis kasutatakse Pepperl+Fuchs'i ultraheliandurit. Ultraheliandur UC6000-FP-E6-R2-P5.



Joonis 7 Ultraheliandur UC6000-FP-E6-R2-P5 [9]

Anduri saab näha joonisel 7. Andur töötab alalispingega 24V ning seda anduri väljundsignaale saab kasutada kahes režiimis. Režiime saab ümber lülitada DIP-lülitiga 10.

Anduril on kaks režiimi:

- Diskreetne signaal (1 või 0)
- Režiim "RS 232": selles režiimis saab anduri väljundsignaali RS-232-liidese kaudu teisele seadmele edastada.

Lisas 1.1 on näidatud DIP-lülitid ja nende funktsioonid, neid saab kasutada anduri töö seadistamiseks. DIP-lülititega 1-4 ja 5-8 seadistatakse reageerimiskaugus, kombinatsioonid on esitatud lisas 1.2. Autori poolt välja töödatud süsteemis anduri töökauguseks on seadistatud 2 meetrit. Lülitit 9 kasutatakse anduri funktsiooni tüübi seadistamiseks. See võib olla normaalselt avatud (N.O.) või normaalselt suletud (N.C.). Autori pakutud süsteemis ultraheliandur täidab normaalselt suletud anduri funktsiooni. DIP-lülitit 10 abil saab valida ühenduse tüübi. Kuna autori pakutud süsteemis on oluline, kas kraana liikumisteel on takistus või mitte, peab anduri väljundsignaal olema diskreetne.

Andur võib töötada kahes režiimis. Esimene režiim on NDE, mis tähendab "Near Field Echo" ja viitab režiimile, milles andur tuvastab lähedalasuvaid objekte. Selles režiimis

tekitab andur lühikesi ultrahelilainete impulsse, mis põrkuvad lähedalasuvatest objektidest ja peegelduvad töötlemiseks tagasi andurisse. NDE-režiimi kasutatakse tavaliselt objektide tuvastamiseks andurist kuni mõne meetri kaugusel.

Teine võimalik režiim on FDE, mis tähendab "Far Field Echo" ja viitab režiimile, milles andurit kasutatakse kaugete objektide tuvastamiseks. FDE-režiimi kasutatakse tavaliselt andurist rohkem kui mõne meetri kaugusel asuvate objektide tuvastamiseks.

Lisas 1.3 on näidatud anduri tööpiirkonnad NDE ja FDE režiimidel. Autori poolt välja pakutud süsteemis tuleb andurit kasutada NDE režiimis ning kauguseks on seadistatud 2 meetrit. FDE režiim sellesse süsteemi ei sobi kuna seda režiimi kasutatakse kaugete objektide tuvastamiseks.

Valitud on just see andur sest sellel on suur reageerimisnurg, on ilmastikukindel ning ei reageeri sellistele takistustele nagu sajav lumi või vihm, mis takistaks kraana tööd. Selle anduri puhul on neutraliseeritud ultraheliandurite peamine puudus. Kuna esimeseks kasutuspiirkonnaks oleks Eesti ning täpsemalt Muuga sadam on ilmastikukindlus väga oluline tegur.

Selles süsteemis loeb digitaalne sisendmoodul ultraheli signaali ja edastab selle PLC CPU-le. PLC tarkvara töötleb seda signaali ning omakorda genereerib signaale, mis edastatakse läbi digitaalse väljundmooduli sagedusmuundurile. Kui ultraheliandur on avatud, peavad mootori juhtimissignaaliid katkema, et vältida kokkupõrget ja tagada kraana ohutu töö.

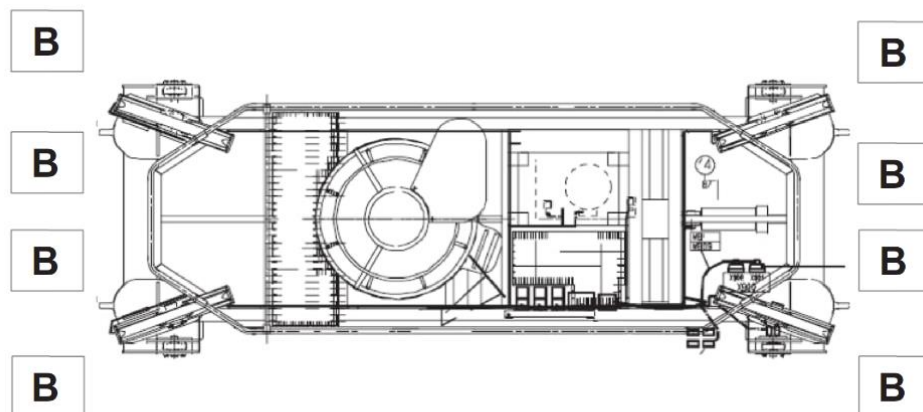
Süsteem koosneb seega komponentidest mis lugevad ja töötlevad signaale ning edastavad need CPU ja sagedusmuunduri vahel. See tagab elektrimootorite usaldusväärse juhtimise.

3.4 Ultraheliandurite süsteemi eelised ja puudused

Ultraheliandurite süsteem on autori arvates piisavalt efektiivne. Selline arvamus põhineb teoreetilisel analüüsil, praktikas ei ole autoril võimalik seda süsteemi testida selle maksumuse ning komponentide pikka tarneaaja tõttu. Süsteem peaks oluliselt vähendama kraanade kokkupõrgete arvu, kus see on paigaldatud. Peaks mainima, et sellel süsteemil on omad eelised, kuid ka puudused.

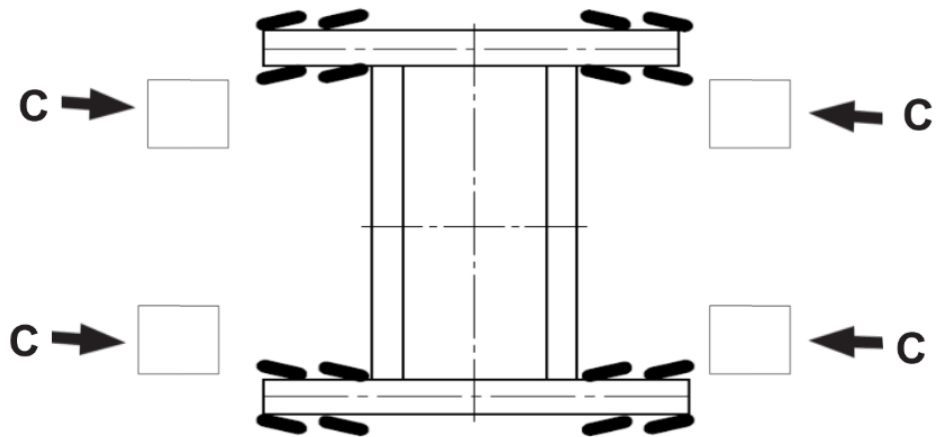
Süsteemi eelised:

1. Süsteem koosneb lihtsatest komponentidest, mida saab vajadusel kergesti ja kiiresti asendada või parandada. Kui komponendid vahetatakse välja, on lihtne leida sobivad komponendid ning jätkata tööd.
2. Suur anduri reageerimisala, mis tähendab, et ultraheliandurite asukohad võimaldavad märgata takistust joonisel 8 näidatud piirkondades.



Joonis 8 Kraana pealtvaade. B - andurite reageerimisala [2]

Kui rattad on pööratud asendisse nagu on näidatud joonisel 9 ja kraana liigub, süsteem kontrollib takistuste olemasolu tsoonides C ka. Seda tulemust on saavutatud tänu sellele, et süsteemis on igas nurgas kaks andurit ning isegi pööramisel kraana ei põrka takistustega kokku.



Joonis 9 Üks rataste võimalikest pöörlemisasenditest. C - andurite regeerimisalad [2]

3. Veatuvastamise lihtsus. Iga süsteemi komponenti saab kergesti kontrollida, kas see on katkine või mitte. Hästi koolitatud tehnik teab täpselt, mida süsteemi korrektse toimimise kontrollimisel otsida.

Puuduste osas tuleks märkida, et kuigi ultraheliandurid reeglina tuvastavad takistustena ka vihma ja lund. Selles süsteemis kasutatavad andurid ei tohiks reageerida nendele. Kahjuks ei olnud võimalik kontrollida seda praktikas, sest autoril puudus võimalus ehitada seda süsteemi päriselus ning testida selle töö korrektsust bakalaureusetöö raames.

4. LÖPPLÜLITI SÜSTEEM

Käesolevas bakalaureusetöö peatükis kirjeldatakse lõpplüliti süsteemi. Kirjeldatakse seda ning selle omadusi, süsteemi eeliseid ja puudused.

4.1 Lõpplüliti süsteemi kirjeldus ja tema omadused

Teises süsteemis pakub autor välja ultraheliandurite asemel kasutada lõpplüliteid, millele on kinnitatud vardad. Signaali olemasolu lõpplülil on tingimus millel sagedsumuundur saaks juhtimissignaale esitada. Kui lõpplülil puudub signaal siis katkestatakse elektrimootorite juhtimissignaale. Seepärast peaks kraana peatuma enne kokkupõrget takistusega.

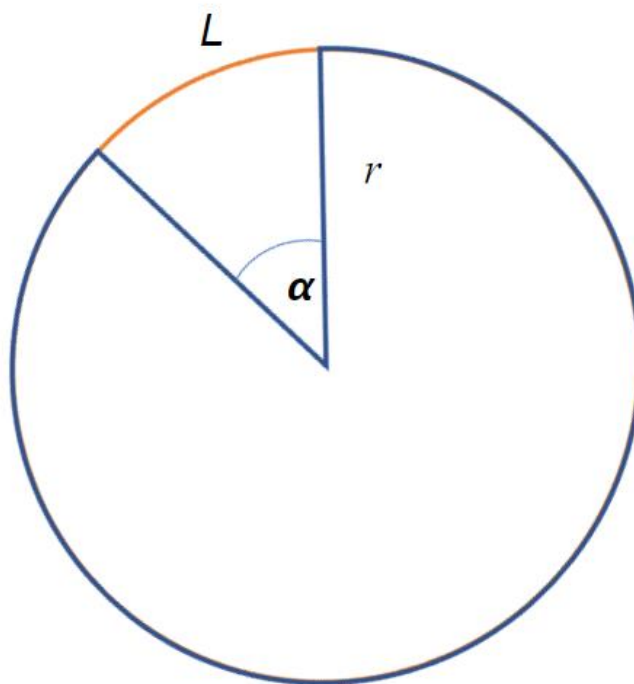
4.2 Lõpplüliti süsteemi komponendid

Lõpplüliti andur on seade, mis tuvastab objekti asukohta ja edastab süsteemile vastava signaali. Täpset anduri mudelit ei pakuta, sest süsteemi võib lisada mis tahes anduri, mille pöörlemisasend on kuni 90 kraadi mõlemas suunas. Selline suur pöörlemisnurk on vajalik selleks, et kui anduri liikuv osa puutub kokku mõne takistusega, ei saaks andur kahjustada. Andur peab olema normaalselt suletud (N.C.).

Et lahendada kaugust L , mille varda lahtine ots oma algsest asendist läbib, tuleb ringi pikkust $2\pi r$, kus raadius r on varda pikkus, korduda nurga suurusega α ja jagada 360 kraadiga (vt valem 4.1). Lahenduse mõtte saab näha joonisel 10.

$$L = 2\pi r * \frac{\alpha}{360} \quad (4.1)$$

$$r = \frac{360L}{2\pi\alpha}$$



Joonis 10 Varda sobilikku pikkust arvutus L - kaugust, mille varda lahtine ots oma algsest asendist läbib, raadius r on varda pikkus, korduda nurga suurusega α

Kõikide andurite avanemisnurk on erinev. Autor on teinud väikese uuringu, et arvutada andurite keskmise avanemisnurga. Võrdlus tehti erinevate mehaaniliste lõpplülitite vahel.

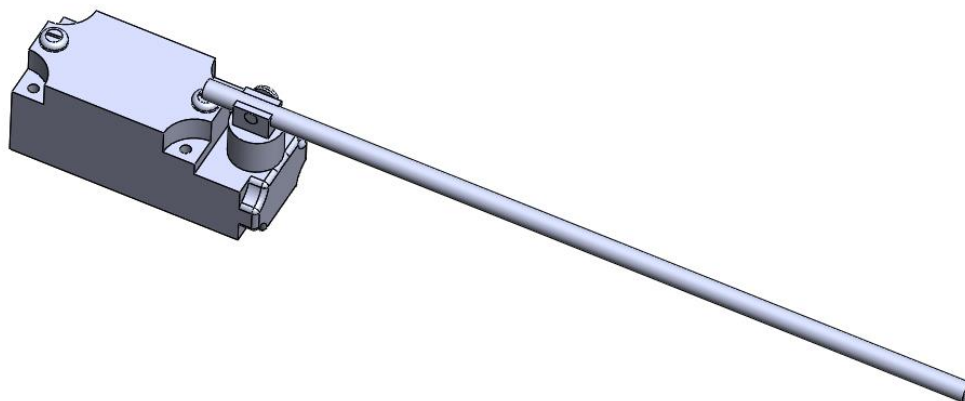
Tabel 2 Andurite lülitusnurgad [10] [11]

Anduri mudel	Lülitusnurk
Highly WL5107	12°
Highly WL5108	12°
OMRON WLMCA2-LD-N	15°
OMRON WLCA2-255-N	25°
ELMARK TZ-8107	20°
Keskmine	16,8°

Tabelis 2 on esitatud erinevad piirlülitid ja nende lülitusnurgad. Keskmiseks lülitusnurgaks on arvatud 16,8 kraadi. Arvutuste tulemusena

$$r = \frac{360L}{2\pi\alpha} = \frac{360 \cdot 10}{2\pi \cdot 16,8} = 34,1 \text{ cm} \quad (4.1)$$

jõudis autor järeltulele, et kui varda lahtise otsa kaugus algsest asendist on 10 cm peaks varda pikkus olema 34 cm. Selle anduri välimurus on autori poolt projekteeritud ja on näidatud joonisel 11.



Joonis 11 Lõpplülitid andur

Nagu eespool on öeldud, see süsteem on välja töötatud ultraheliandurite süsteemi alusel. Süsteemi toimimist võib kirjeldada järgmiste etappidega:

Sisendmooduli kaudu saab protsessor lõpplülitid asendi signaali. Protsessor töötleb seda signaali ja edastab selle sagedusmuundurile. Sagedusmuundur juhib elektrimootoreid, mis teostavad kraana liikumist. Kui lõpplülitid asend muutub ning see avaneb, saab sagedusmuundur käsu katkestada mootorite juhtimissignaale ära. Kui kraana mootorid jäävad vooluta kraana peatub.

4.3 Lõpplülitid süsteemi eelised ja puudused

Lõpplülitid süsteemi eelisteks võib nimetada:

1. Lihtsus. Nagu ultraheliandurisüsteem, koosneb see lihtsatest komponentidest, mida saab kergesti ja kiiresti kontrollida ning vajadusel korda teha.
2. Paindlikkus. Nagu juba kirjeldatud, sobib iga anduri mudel millel on samad pöördenurgad. See tähendab, et kui andur ei tööta on lihtne leida sellele alternatiiv ning jätkata tööga.

3. Lihtne veatuvastus. Iga süsteemi komponenti nõuetekohast toimimist saab kergesti kontrollida. Hästi koolitatud tehnik teab täpselt, mida süsteemi nõuetekohase toimimise kontrollimisel otsida.

Süsteemi peamine puudus on see, et lõpplüliti ei ole kaitstud välismõjude eest. Tuleks märkida, et tugev tuul võib muuta piirlüliti asendit.

Tabel 3 Ilmastikutingimused kraana ohutuks tööks

Ilmalised tingimused	Väärtused
Keskonnatemperatuur	-30°C(-22°F)...+45°C(113°F)
Niiskus	Max. 99%
Tuule kiirus, töökorras	0...20 m/s
Tuule kiirus, töötav piiratud jõudlus	20...25 m/s
Tuule kiirus, rattad parkimisasendis	25...44 m/s
Tuule kiirus, paigutatud seisundis	>44 m/s

Tabelis 3 kirjeldatakse ilmastikutingimusi, mis on kraana kasutamiseks sobilikud. Kui tuule kiirus on suurem kui 25 m/s ei tohi kraanat kasutada. Sellest võib järeldada, et tuul ei mõjuta lõpplüliti süsteemi sest keelatud on töötamine tuulega, mis suudaks muuta lõpplüliti asendit.

Lõpplüliti kontaktid on väga tundlikud oksüdeerumisele. See probleem on lahendatav piirlüliti kontaktide pideva kontrollimisega. Tasub märkida, et paindlikkus alternatiivsete andurite valimisel lahendab seda probleemi.

5. ANALÜÜS

Analüüsi osas võetakse kogu info kokku, võrreldakse pakutavad lahendused, teostatakse veaotsing ja nende kõrvaldamist ning selle baasil langetatakse lõplik otsus. Samuti kirjeldatakse programmeerimisloogikat ning pakutava lahenduse ühendamine elektriskeemile.

5.1 Veaotsing

Ultraheliandurite süsteemi analüüsidis leidis autor ühe vea. Kui kraana on pörkanud takistusega kokku ja mootorite juhtimissignaali on katkestatud ning selleks, et kraanat takistuse eest ära liigutada, on vaja mootorite juhtimissignaale. Süsteem ei laseks sagedusmuunduril neid mootoritele edastada, sest andur näeb jätkuvalt kraana teel olevat takistust. Oli vaja leida viis kuidas signaalide blokeerimise tingimusest mööda minna ja võimaldada kraanal liikuda soovitud suunas, isegi kui anduri tööpiirkonnas on takistus.

Seda probleemi saab lahendada nupu "Prevent Bypass" abil. See nupp võimaldab enamiku asendiandurite puhul signaalide ignoreerimist, kasutades helisignaali, et hoiatada personaali, et kraana liigub. Autori idee on, et vajutades nuppu "Prevent Bypass", võib kraana liikuda, kuigi ultraheliandur näeb takistust selle teel.

Järgmisena kirjeldab autor programmeerimisloogikat, mille abil saab lahendada käesoleva probleemi. Juhtimissignaali kraana liigutamiseks tulevad sagedusmuundurilt, kui üks kahest allpool kirjeldatud tingimusest on täidetud: ultraheliandur ei näe takistust oma teel või Prevent Bypass nupu vajutamisel.

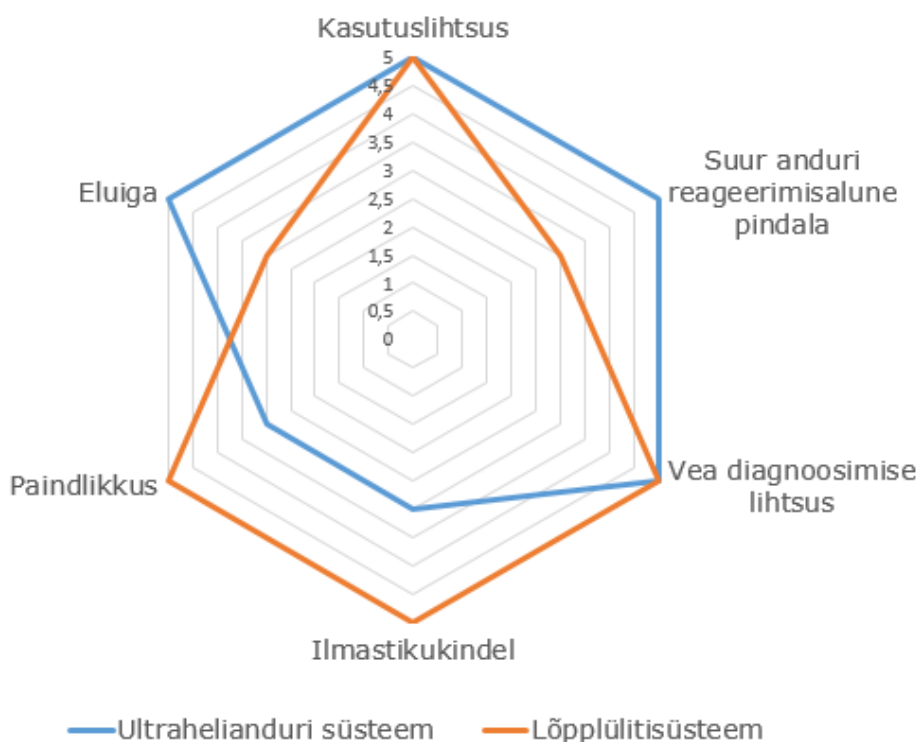
Süsteemi füüsiliselt kokku panna ja testida ei osutunud võimalik kuna autoril puudusid vajalikud komponendid. Seetõttu ei saanud autor kontrollida tootja kinnitust, et ultraheliandur UC6000-FP-E6-R2-P5 ei reageeri sajavale lumele ja vihmale. See puudus on otsustatud neutraliseerida, ühendades kaks süsteemi üheks kus lõpplüliti süsteem on täindav. Selle põhjal sisaldavad elektriskeemid ja loogikaskeemid PLC-de juba mõlema süsteemi ühendatud vaateid.

Kui mootoril on vool ära võetud pöörleb rootor vabalt, kuni hõõrdumine peatab selle täielikult. Suurte rootorite ja suure inertsimomendiga koormuste peatumine võib võtta märkimisväärse aja, ainuüksi omaenda hõõrdumise tõttu. Seisakuaja vähendamiseks saab rootori kiireks peatamiseks kasutada alalisvoolupidurdust mida nimetatakse ka

dünaamiliseks pidurdamiseks. Kui sagedusmuundur saab takistussignaali, lülitab ta kontaktor mootori toiteallikat ja teine kontaktor annab staatori mähisele alalisvoolu, tekitades sellega püsिमagnetvälja. Teise kontaktorit kasutatakse koos ajareleega, mis reguleerib, kui kaua staatorimähisele annatakse alalisvoolu. Mootori pidurdusaeg sõltub kahest parameetrist: mootorile antavast alalisvoolu pingest ja ajast, mille jooksul esitatakse alalisvoolu staatorimähisele. [12]

5.2 Pakutavate lahenduste võrdlemise baasil langetatud lõplik otsus

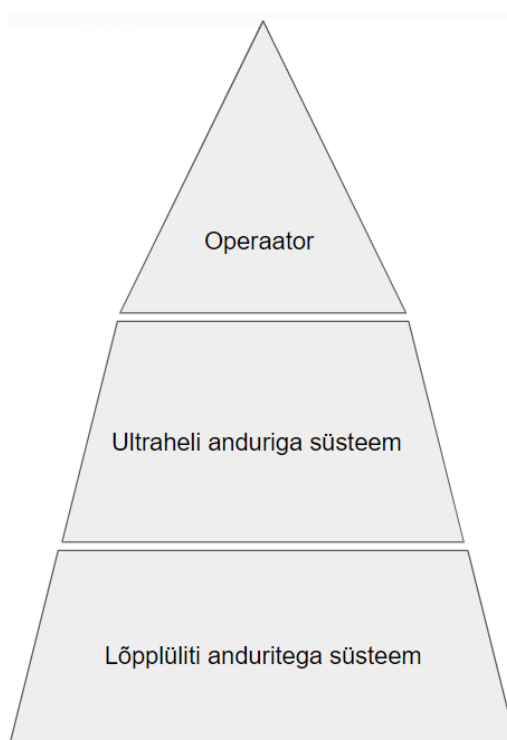
Ultrahelianduritesüsteemi ja lõpplülitisüsteemi eeliste ja puuduste illustreerimiseks on esitatud joonised 12. Ultrahelianduri süsteemil, mis on näidatud joonisel 12 on pikk eluiga, suur reageerimisala, kasutuslihtsus ja veatuvastus. Siiski ei ole see väga paindlik ja ei saa tõhusalt töötada halbades ilmastikutingimustes. Lõpplülitisüsteem on väga paindlik ja ilmastikust sõltumatu ning samuti on seda väga lihtne kasutada. Siiski on piirlülitid väga tundlikud oksüdeerumisele mis tähendab, et nende kasutamisega ei ole pikk. Lõpplülitussüsteemi reageerimisala ei ole suur.



Joonis 12 Ultraheliandurite süsteemi võrdlus lõpplülitisüsteemiga (5 – Suurepärase, 0 – Halb)

Nagu eespool oli mainitud, on otsustatud ühendada need süsteemid üheks, mis peab aitama nende puuduste neutraliseerimisel. Käesoleva PLC programmeerimisloogika skeem ja selle elektriskeem on esitatud bakalaureusetöö peatükis 5.3 „PLC tingimused ja elektriskeemide koostamine“.

Enne autori pakutud süsteemi paigaldamist, kui SMARTRAIL süsteem on välja lülitatud ainus ohutustase mis suudab takistuse tuvastada on operaator. Kui ultraheliandurite ja lõpplüli süsteemid on paigaldatud on ohutustasemed sellised nagu on näidatud joonisel 13. See joonis näitab, et kui operaator ei näe takistust, siis tuvastab seda ultraheliandurite süsteem, kui ultraheliandurite süsteem mingil põhjusel ei suuda takistust tuvastada, siis peab seda tuvastama lõppandurite süsteem.



Joonis 13 Ohutustased pärast autori pakutud süsteemi paigaldamist tingimused, et SMARTRAIL süsteem on deaktiveeritud

5.3 PLC tingimused ja elektriskeemide koostamine

Selle süsteemi protsessori programmeerimisloogika on näidatud tabelis 4. Selles tabelis on esitatud võimalikud signaalikombinatsioonid, mille alusel oli tehtud plokkiskeem mida saab näha lisas 2.1. Saadud tulemus on, et kraanal on keelatud liikuda, kui:

- Ultraheliandur ("normaalselt suletud") tuvastab takistuse ja on avatud ning Bypass-nuppu ei vajutata.

- Lõpplüli andur ("normaalselt suletud") muudab oma asendit ja on avatud ning Bypass-nuppu ei vajutata.

Kui Bypass-nuppu vajutatakse, ignoreeritakse andurite olekut ja nende signaale.

Tabel 4. Võimalikud signaalikombinatsioonid

Lõpplüli andur	1	0	1	0	0	1	0
Ultraheliandur	1	1	0	0	1	0	0
Bypass	0	0	0	0	1	1	1
Liikumine on lubatud	1	0	0	0	1	1	1

Süsteemi elektriskeem, mis on esitatud lisas 2.2, on koostatud EVS-EN 61082-1:2015 standardi põhjal [13]. See skeem on tehtud selleks, et inimene kes hakkab selle süsteemiga töötama saaks aru kuidas komponentide vaheline suhtlus on teostatud. Sellel skeemil on näidatud esimese ja teise nurgakomplektis asuvate seadmete juhtmestiku skeemid.

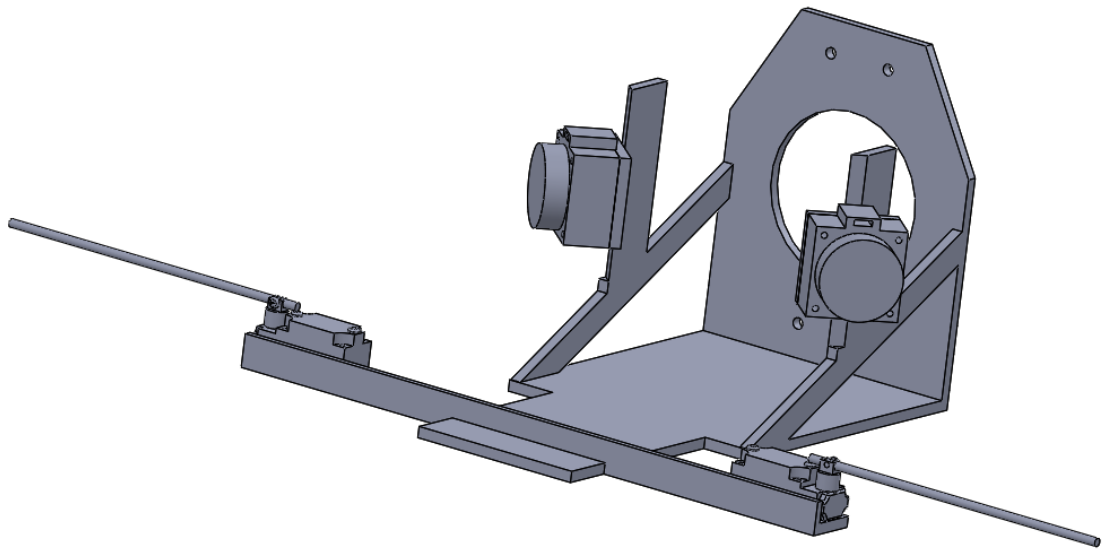
5.4 Konstruktsiooni koostamine ja jõuanalüüs

Andureid hoidev konstruktsioon ehitati programmiga *Solidworks* ja on nähtav joonisel 17. Konstruktsiooni ehitamiseks viidi läbi jõu tasakaalustamine. Selle katse tulemused aitasid vastata järgmistele küsimustele:

1. Kas anduri kinnitus suudab kanda varda kaalu?
2. Kas varras ei paindu tõmbejõu tõttu raskuse all?
3. Kas kronstein millele on kinnitatud kõik andurid suudab neid kanda?

Saadud andmete tulemusena leidis autor, et anduri murdumiseks peab selle mass olema umbes 23 kg. Kuna varda mass on ainult 100 g, siis ei teki vardas tõmbejõu tõttu lõtku. Sellest järeldub, et süsteemi deformatsiooni ei juhtu välisjõude mõjul.

Sama analüüs oli teostatud ka kronsteinile millele on kõik andurid kinnitatud. Selle tulemuseks saab teha järeldust, et kronstein on piisavalt tugev, et kanda kogu selle külge kinnitatud kaalu. Katseid kirjeldavad pildid on esitatud lisas 3.



Joonis 17 Andureid hoidev konstruktsioon

6. KOKKUVÕTTE

Käesolevas väitekirjas uuriti RTG-kraanade kokkupõrgete probleemi sadamapiirkondades. Täieliku pildi andmiseks on uuritud ettevõtte statistikat, samuti mitmeid artikleid, mis puudutavad kokkupõrke- ja ohutusküsimusi. Tehtud bakalaureusetöö kinnitab, et kokkupõrkejuhtumid on igas sadamas aktuaalne probleem. Samuti oli uuritud võimalikud lahendused probleemile ning Muuga sadama eripäradest lähtuvalt on valitud lahendus. Tuleb arvestada, et lahendus tuleb tingimata valida konkreetse ettevõtte tingimusi ja eripära arvestades. Antud juhul tegi autor ettepaneku lahendada probleem uue kokkupõrke kaitsesüsteemi paigaldamisega.

Komponentide valikul võrreldi ja analüüsiti erinevaid andureid, mis on võimelised tuvastama kraana teel olevaid takistusi. Käesolevas töös pakutakse välja 2 süsteemi, millel on sarnane tööpõhimõte, kuid erinev viis takistuste tuvastamiseks. Oli kirjeldatud mõlema süsteemi eeliseid ja puuduseid ning võrreldud nende potentsiaali. Selle võrdluse põhjal otsustati ühendada need kaks süsteemi üheks, et kõrvaldada süsteemide puudused, mis on alternatiivse süsteemi eelised. Seetõttu ultraheliandurit võib reageerida lumile ja vihmale, kuid lõplüliti süsteemile ei mõjuta samad keskkonnamõjud. Seega suudab süsteem isegi tugeva vihma korral takistust tuvastada ja seega aidata kokkupõrget vältida.

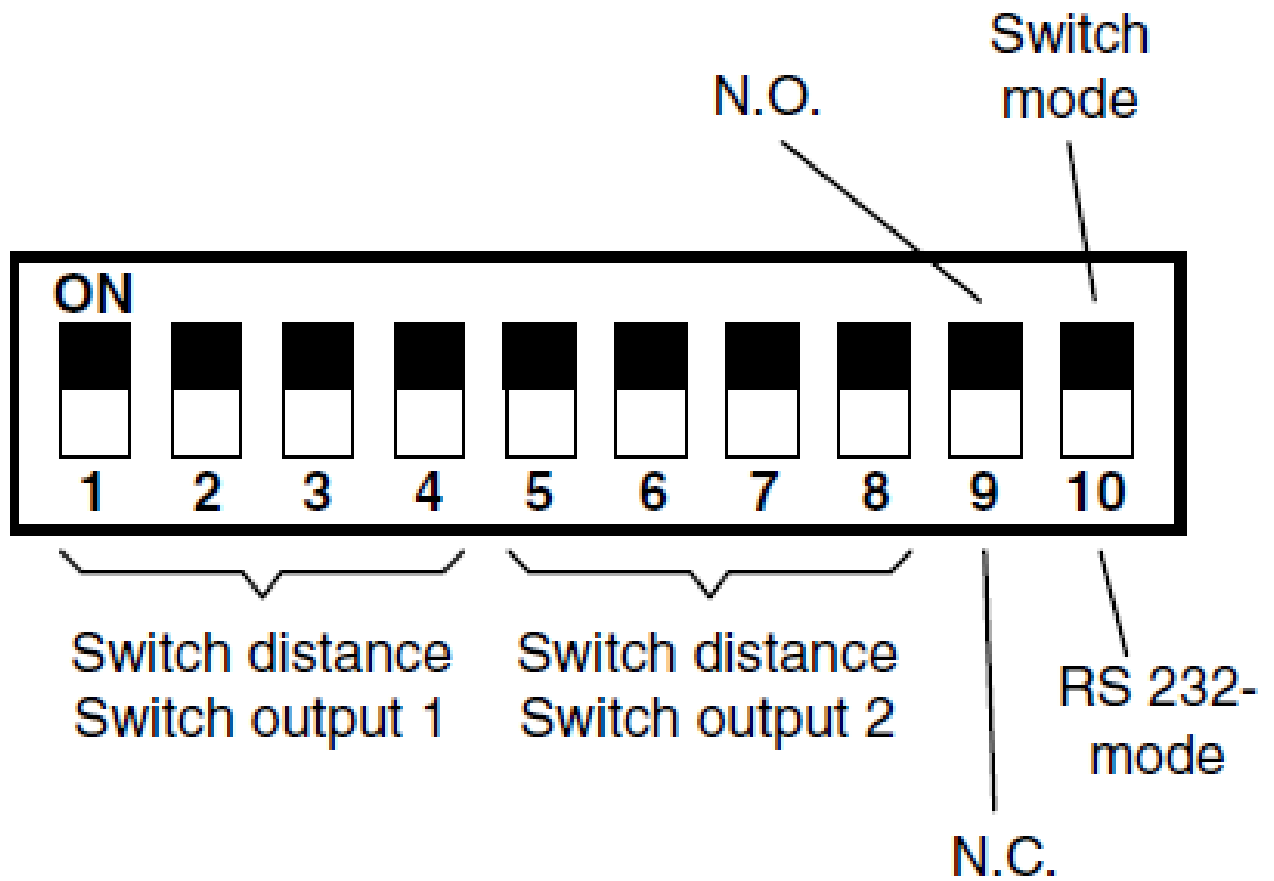
Lisaks pakutud lahenduste võrdlemisele autor viis läbi analüüsi, mis aitas tuvastada ja parandada süsteemide vigu. Autor joonistas programmeerimisloogika ja juhtmestiku skeemi. Töö lõpus viib autor läbi jõuanalüüs, mis aitab arvutada maksimaalse massi mida kronstein suudab kanda. Seda kronsteini peale paigaldatakse andurid. Teoreetilisele analüüsile põhinedes võib autor väita, et tema poolt selles lõputöös välja pakutud süsteem peaks oluliselt vähendama kokkupõrgete arvu, suurendades seeläbi ettevõtte tootlikkust.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] V. S.A., „The global transport and logistics system: main areas of development,” *Regional economy and management: electronic scientific journal*, kd. 2, nr 46, 2016.
- [2] Kalmar Industries Oy Ab, OPERATOR'S MANUAL; RUBBER TYRED GANTRY CRANE, Finland, 2007.
- [3] T. Club, „TT Talk - Crane Safety - towards a baseline standard,” 25 11 2009. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ttclub.com/news-and-resources/news/tt-talk/2009/tt-talk-crane-safety-towards-a-baseline-standard/>. [Kasutatud 12 05 2023].
- [4] „Cargo and Crane Accidents in the Maritime Industry,” Maritime Injury Center, 20 04 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.maritimeinjurycenter.com/accidents-and-injuries/cargo-and-crane/>. [Kasutatud 12 05 2023].
- [5] U. Marketing, „Collision and crane collapse at Port of Kaohsiung,” 03 06 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://unioceanlines.com/collision-and-crane-collapse-at-port-of-kaohsiung/>. [Kasutatud 12 05 2023].
- [6] „Is radar really the better ultrasonic?,” Pulsar Measurement, 30 03 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://pulsarmeasurement.com/blog/post/is-radar-really-the-better-ultrasonic>. [Kasutatud 12 05 2023].
- [7] MaxBotix, „Ultrasonic Sensors vs. LiDAR: Which One Should You Use?,” 20 04 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://maxbotix.com/blogs/blog/ultrasonic-sensors-vs-lidar-which-one-should-you-use>. [Kasutatud 12 05 2023].
- [8] Eesti standardimis- ja akrediteerimiskeskus, „EVS-EN IEC 62061:2021; Masinate ohutus. Ohutusega seotud juhtimissüsteemide funktsionaalne ohutus,” 03 08 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-iec-62061-2021>. [Kasutatud 13 05 2023].
- [9] Pepperl+Fuchs Group, Ultrasonic sensor UC6000-FP-E6-R2-P5, Germany: Pepperl+Fuchs, 2009.
- [10] HIGHLY, LIMIT SWITCH Specifications.
- [11] OMRON Corporation, Two-circuit Limit Switch, Tokyo, 2013.
- [12] E. Csanyi, „Two Basic Methods Used For Braking a Motor (DC Injection and Dinamic),” Electrical Engineering Portal, 2016.
- [13] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, „EVS-EN 61082-1:2015; Preparation of documents used in electrotechnology - Part 1: Rules,” 04 03 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-61082-1-2015>. [Kasutatud 13 05 2023].

LISAD

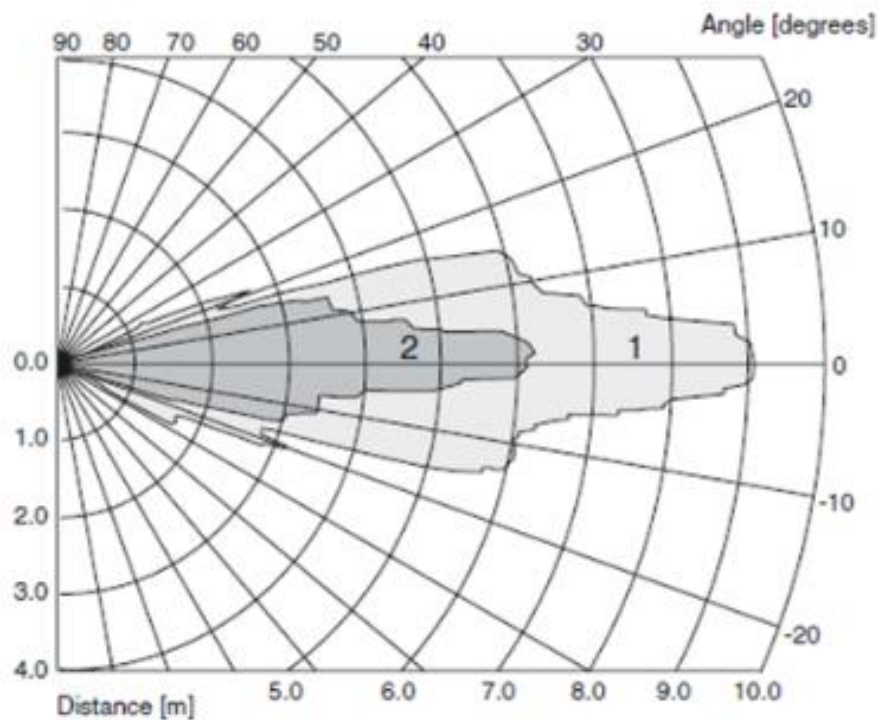
DIP Switches in Terminal Compartment



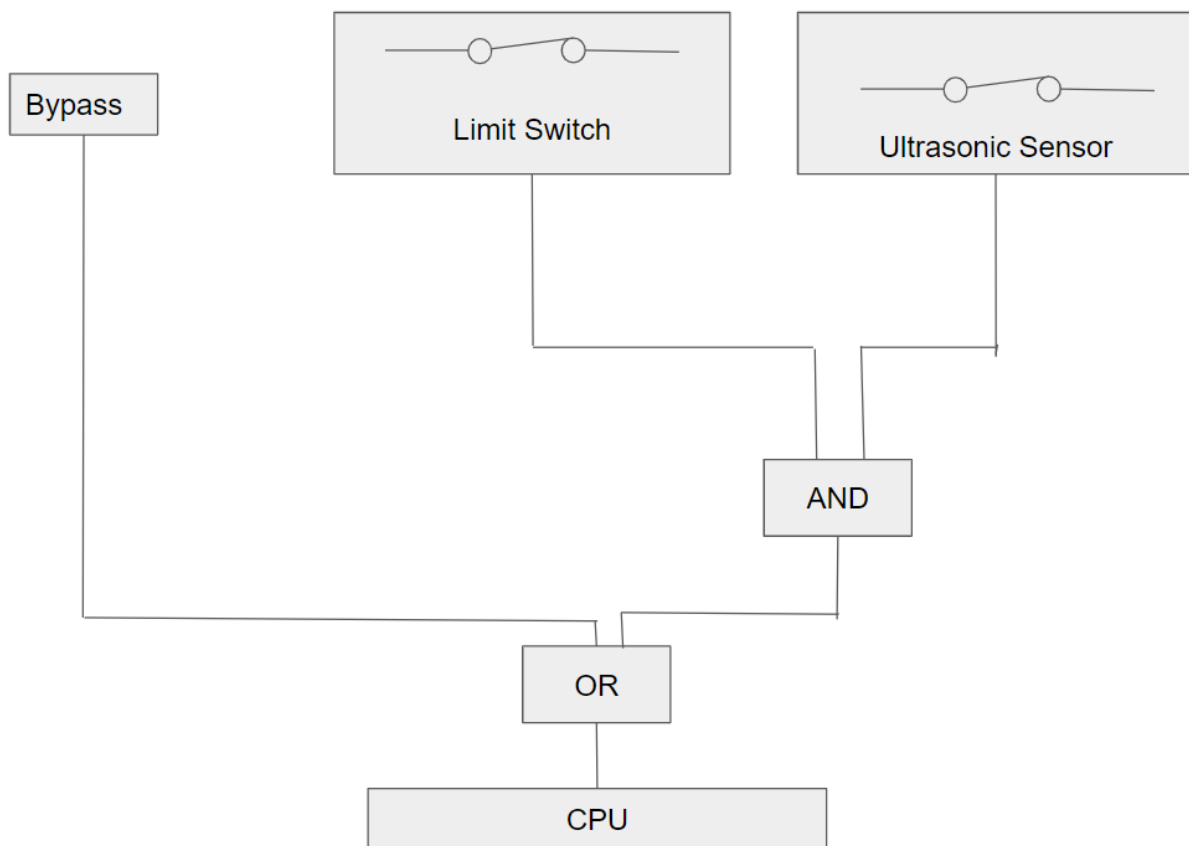
Lisa 1.2 DIP-lülite 1-4 ja 5-8 kombinatsioonid. 1 – On, 0 – OFF. [9]

Switch 1 2 3 4	NDE [mm]	Switch 5 6 7 8	FDE [mm]
0 0 0 0	800	0 0 0 0	950
0 0 0 1	1100	0 0 0 1	1250
0 0 1 0	1400	0 0 1 0	1550
0 0 1 1	1700	0 0 1 1	1850
0 1 0 0	2000	0 1 0 0	2150
0 1 0 1	2300	0 1 0 1	2450
0 1 1 0	2600	0 1 1 0	2750
0 1 1 1	2900	0 1 1 1	3050
1 0 0 0	3200	1 0 0 0	3350
1 0 0 1	3500	1 0 0 1	3650
1 0 1 0	3800	1 0 1 0	4000
1 0 1 1	4200	1 0 1 1	4400
1 1 0 0	4600	1 1 0 0	4800
1 1 0 1	5000	1 1 0 1	5200
1 1 1 0	5400	1 1 1 0	5600
1 1 1 1	5800	1 1 1 1	6000

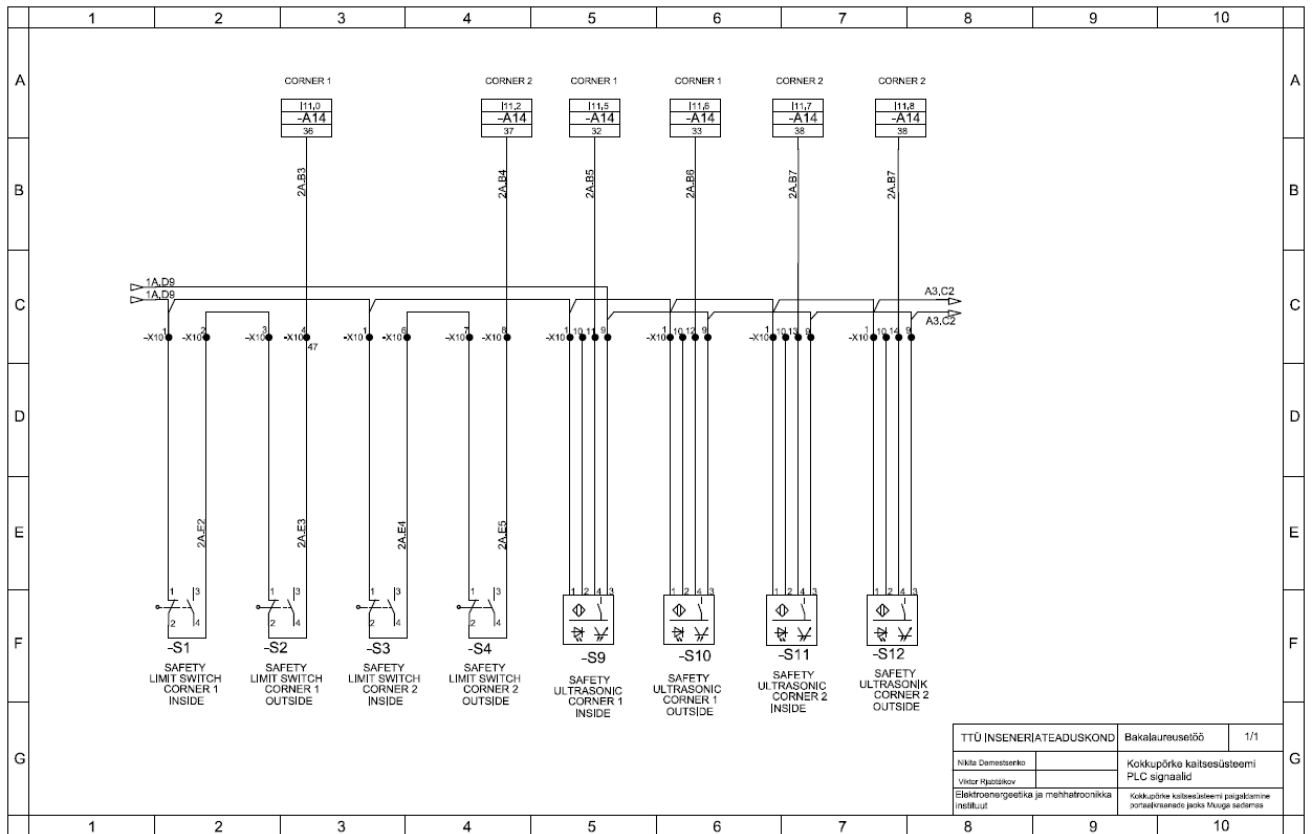
Lisa 1.3 anduri tööpiirkonnad töörežiimidel NDE ja FDE



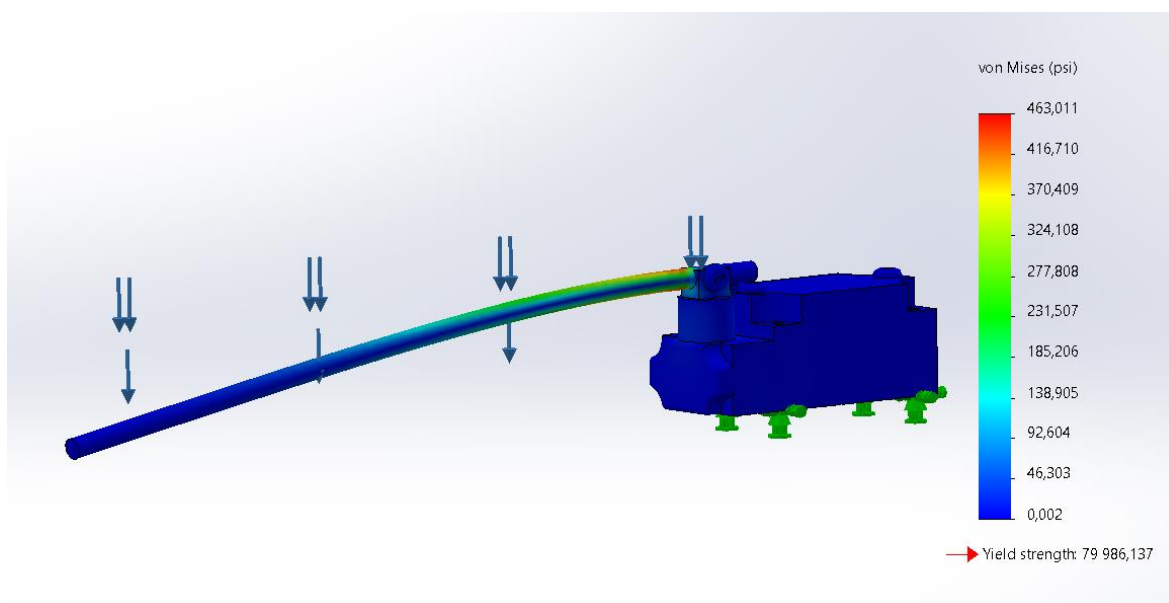
Lisa 2.1 Süsteemi programmeerimisloogika plokkskeem



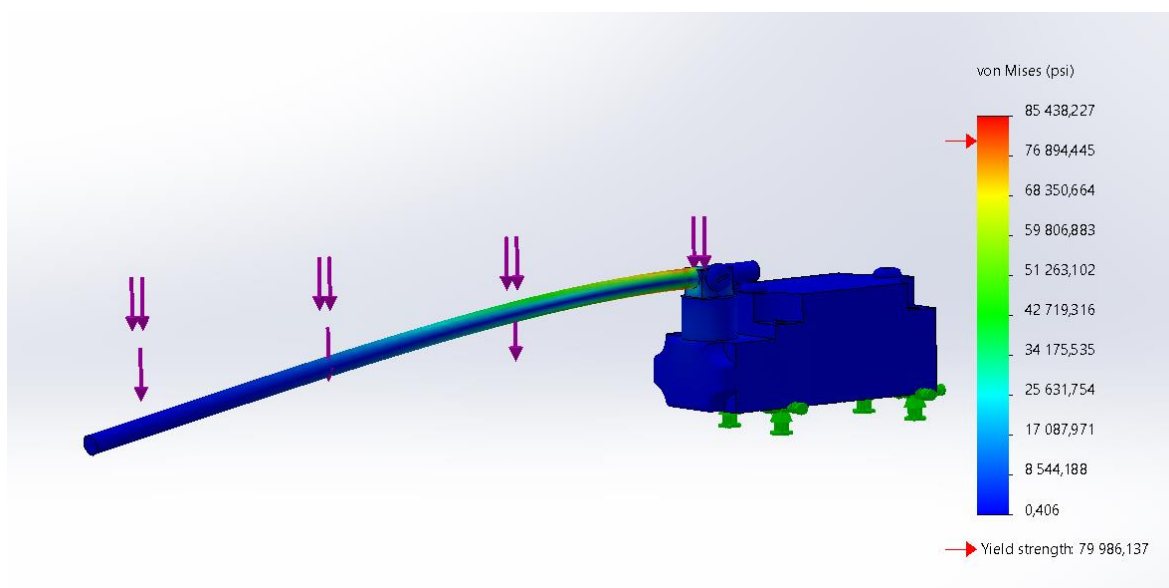
Lisa 2.2 esimese ja teise nurgakomplekti elektriskeem.



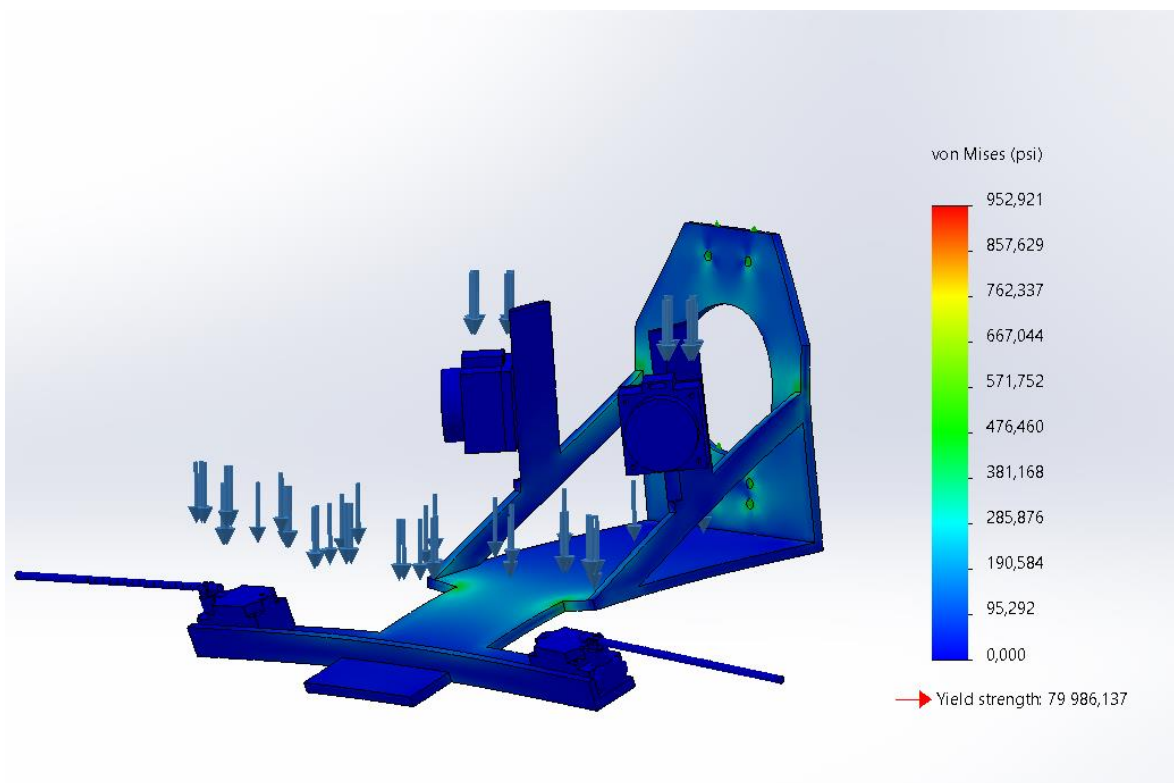
Lisa 3.1 Jõuanalüüs. Koormus vardale 100 g, (materjal Teras)



Lisa 3.2 Jõuanalüüs. Koormus vardale 20 kg (materjal Teras)



Lisa 3.3 Jõuanalüüs. Koormus konstruktsioonile 776 g (materjal Teras)



Lisa 3.4 Jõuanalüüs. Koormus konstruktsioonile 70 kg (materjal Teras)

