



INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**MEHHAISEERITUD TEENINDUSUKSE
INTEGREERIMINE ISEAUTOLE**
THE INTEGRATION OF A MECHANIZED SERVICE
DOOR FOR THE ISEAUTO

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Hagar Nakkurt

Üliõpilaskood: 185216EAAB

Juhendaja: Kristjan Pütsep, lektor

Tallinn 2022

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, Hagar Nakkurt

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
MEHHANISEERITUD TEENINDUSUKSE INTEGRERIMINE ISEAUTOLE,

mille juhendaja on Kristjan Pütsep,

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.

_____ (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 loomingu 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: Hagar Nakkurt

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Mehhaniseeritud teenindusukse integreerimine iseAutole

Kuupäev:
17.05.2022

48 lk (*lõputöö lehekülgede arv koos lisadega*)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja: lektor Kristjan Pütsep

Töö konsultant: insener Andres Petritšenko

Sisu kirjeldus:

Töö kirjeldab iseAutole mehhaniseeritud teenindusukse süsteemi integreerimist. Mehhanism ning selle jõuallikas valitakse levinud lahenduste seast analüüsis nende sobivust iseAuto uuele mudelile. Lisaks antakse lühiülevaade ukse juhtimisloogikast, komponentidest ja iseAuto projektist.

Märksõnad: autonoomne, sõiduk, ukse süsteem, mehhaniseeritud, nõuded.

ABSTRACT

Author: Hagar Nakkurt

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: The integration of a mechanised service door for the iseAuto

Date: 17.05.2022

48 pages (the number of thesis pages including appendices)

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor of the thesis: Lector Kristjan Pütsep

Consultant: engineer Andres Petritšenko

Abstract:

The thesis explains the integration of a mechanised door for the iseAuto. The system and the power source are being chosen from widely used solutions by analysing their suitability for the iseAuto. In addition a short overview of the iseAuto project, operating logic and the components of the door system are given.

Keywords: autonomous, vehicle, door system, mechanised, law.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Mehhaniseeritud teenindusukse integreerimine iseAutole**

Lõputöö teema inglise keeles: **The integration of a mechanised service door for the iseAuto**

Üliõpilane: **Hagar Nakkurt, 185216EAAB**

Eriala: **Mehhatroonika**

Lõputöö liik: **bakalaureusetöö**

Lõputöö juhendaja: **Kristjan Pütsep**

Lõputöö kaasjuhendaja: **Andres Petritšenko**
(ettevõtte, amet ja kontakt) **TalTech, insener**

Lõputöö ülesande kehtivusaeg:

Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.2022**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Antud uurimistöö eesmärk on integreerida TalTechi uude, valmimisel olevasse iseAutosse mehhaniseeritud teenindusukse süsteem ning kirjeldada selle juhtimisloogikat ja komponente .

Töö kirjutamise hetkel on iseAuto uus versioon valmistamisel ning kuna tegemist on vana versiooni suhtes parendatud mudeliga, on eesmärk ka ukseüsteemi valikul senistest kogemustest õppida ning teha kaalutletud otsus uue süsteemi osas. Minu poolne panus annab võimaluse valida vastavalt seadusest tulenevatele nõuetele ning iseAuto parameetritele sobiv ukseüsteem.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärk on analüüsides välja selgitada olemasolevatest ukse süsteemidest ning nende jõuallikatest sobivaim ning kirjeldada selle integreerimist iseAutosse. Võrrelda erinevate valmis süsteemide mehaanilisi parameetreid ning nende sobivust iseAutos kasutamiseks.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Erinevate olemasolevate süsteemide välja selgitamine
2. Süsteemide analüüs, võrdlus ja sobivus iseAutosse
3. Süsteemis kasutatavate andurite ja juhtimisloogika kirjeldus ning panus ukse süsteemi toimimiseks.

4. Lähteandmed

1. Nõuded ja eesmärgid uuele süsteemile – professor Raivo Sell, Tallinna Tehnikaülikool
2. IseAuto antud ülesande lahenduseks olulised parameetrid ja geometria
3. Olemasolevate süsteemide mehhaanilised parameetrid
4. Seadusest tulenevad nõuded M2-B kategooria sõiduki teenindusuksele

5. Uurimismeetodid

1. Olemasolevate süsteemide analüüs
2. Seadustest tulenevad nõuded
3. Küsitlused ettevõtetele, kes Eestis sobivaid lahendusi pakuvad
4. Autonoomsete sõidukite uurimisgrupi liikmete kogemuste kogumine

6. Graafiline osa

1. Antud töö raames oluliste osade joonised iseAutost
2. Tabel võrreldavatest süsteemidest ning nende omadustest
3. Joonis ja/või pilt valitud süsteemidest
4. Graafiline osa läheb peamiselt töö lisasse.

7. Töö struktuur

1. AUTONOOMSE SÕIDUKI ISEAUTO TEENINDUSUKS

1.1 Nõuded süsteemile

1.2 Tähelepanekud lähtudes Navya ja IA1 autonoomsetest sõidukitest

2. UKSESÜSTEEMID

2.1 Levinumate ukse süsteemide jõuallikate tööpõhimõtete kirjeldus

2.2 Valikus olevate mehhanismide tööpõhimõtete kirjeldus

2.3 Erinevate jõuallikate ning mehhanismide tööpõhimõtete võrdlus

4. PAKUTAVATE TOODETE KIRJELDUS, ANALÜÜS NING VALIKU PÕHJENDUS

- 3.1 Süsteemide sobivus iseAutosse ning vastavus esitatud nõuetele
- 3.2 Masats 028a ukseüsteemi vastavus esitatud nõuetele
- 5. SÜSTEEMI JUHTIMISLOOGIKA, KOMPONENDID ELEKTRISKEEM

8. Kasutatud kirjanduse allikad

- 1. P. Kulu, E. Hendre. (2015). Mehaanikainseneri käsiraamat
- 2. Aleksander Klauson, Jaan Metsaveer, Priit Põdra, Uusi Raukas. (2017). Tugevusõpetus: õpik kõrgkoolidele
- 3. Mootorsõiduki ja selle haagise tehnoseisundile ja varustusele esitatavad nõuded. (2011). Vaadatud 28.10.2021. <https://www.riigiteataja.ee/akt/116062011008>
- 4. <https://iseauto.taltech.ee/tehniline/>
- 5. Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Euroopa Majanduskomisjoni (UNECE) eeskiri nr 107: ühtsed sätted, mis käsitlevad M2- ja M3-kategooria sõidukite tüübikinnitust seoses nimetatud sõidukite üldehitusega [2018/237]

9. Lõputöö konsultandid

- 1. Heiko Pikner – Süsteemi kui terviku kirjeldus ja juhtimise põhimõtted
- 2. Andres Petritšenko – Mehhaaniliste parameetrite võrdlused
- 3. Ehsan Malayjerdi – Praeguse iseAuto ukseüsteemi probleemide kaardistamine

10. Töö etapid ja ajakava

- 1. Lähteandmete kogumine (15.12.2021)
- 2. Olemasolevate süsteemide leidmine (15.03.2022)
- 3. Süsteemide võrdlus (17.03.2022)
- 4. Teoreetilise osa ja kokkuvõtte kirjutamine (31.03.2022)
- 5. Töö üle vaatamine, muudatuste, paranduste ja täiustuste tegemine (10.04.2022)
- 6. Juhendajale läbilugemiseks saatmine (12.04.2022)
- 7. Paranduste sisseviimine (20.04.2022)
- 8. Töö lõplik versioon valmis (31.04.2022)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	10
Lühendite ja tähiste loetelu	11
SISSEJUHATUS	12
1. AUTONOOMSE SÕIDUKI ISEAUTO TEENINDUSUKS	13
1.1 Nõuded süsteemile	13
1.2 Tähelepanekud lähtudes Navya ja IA1 autonoomsetest sõidukitest	18
2. UKSESÜSTEEMID	22
2.1 Levinumate uksesteemide jõuallikate tööpõhimõtete kirjeldus	23
2.2 Valikus olevate mehhanismide tööpõhimõtete kirjeldus	25
2.3 Erinevate jõuallikate ning mehhanismide tööpõhimõtete võrdlus ning sobivus IA2- te	28
3. PAKUTAVATE TOODETE KIRJELDUS, ANALÜÜS NING VALIKU PÕHJENDUS ...	32
3.1 Süsteemide sobivus iseAutosse ning vastavus esitatud nõuetele	37
3.2 Masats 028a uksesteemi vastavus esitatud nõuetele	38
4. SÜSTEEMI JUHTIMISLOOGIKA, KOMPONENDID ELEKTRISKEEM	40
KOKKUVÕTE	42
ABSTRACT	43
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	44
LISAD	46

EESSÕNA

Lõputöö koostati Eestis, professor Raivo Selli poolt püstitatud ülesande alusel. Andmetega abistasid doktorant-nooremteadur Heiko Pikner, insener Andres Petritšenko ning doktorant-nooremteadur Ehsan Malayjerdi. Andmed koguti online kataloogidest ning iseAutot puudutav autonoomsete sõidukite uurimisgrupi liikmetelt.

Lühendite ja tähiste loetelu

IA1/2 – iseAuto versioon 1/2
ROS – Robot Operating System
ECU – electronic control unit
CAN – controller area network
Lidar – light detection and ranging
ABS - anti-lock brake system
MCP – master control programm

SISSEJUHATUS

Sõidukite areng viimase kümnendi jooksul on olnud väga kiire. Üha rohkem on maailmas elektriautosid [1] ning arenenud on ka erinevad juhiabisüsteemid, sealhulgas autonoomne sõidurežiim [2]. Isesõitvate sõidukite üks paljudest kasutusvaldkondadest on ühistranspordivahendina inimeste teenindamine. Kui eemaldada ühistranspordist sõiduki juht, peab sõiduk muuhulgas ise aru saama, millal ja kuidas sõiduki teenindusust kasutada. Selle uurimistöö eesmärk on integreerida Tallinna Tehnikaülikooli uude, valmivasse iseAutosse (edaspidi IA2) mehhaniseeritud teenindusukse süsteem ning kirjeldada selle komponente ja juhtimisloogikat.

Autori isiklikust kogemusest ilmneb, et kuna autonoomsed sõidukid on reisijate jaoks veel uus tehnoloogia, siis sageli esineb segadust sõiduki käitumise kohta. Arvatakse, et mehitamata sõiduk käitub tavasõidukiga võrreldes erinevalt või ettearvamatult. Sellest tulenevalt peaks autonoomsete teenindussõidukite arendamisel pöörama tähelepanu inimeste harjumuspärasele käitumisele ning sõidukite juhtimisloogika tuleks üles ehitada sellest lähtuvalt. Sõiduk peab olema justkui bussijuht, kes tagab reisijaid teenindades nende informeerituse ja turvalisuse igas olukorras.

Töö kirjutamise hetkel iseAuto uut mudelit (IA2) valmistatakse ning kuna tegemist on olemasoleva mudeli (edaspidi IA1) suhtes parendatud mudeliga, on eesmärk ka ukseüsteemi valikul senistest kogemustest lähtudes teha analüüsitud otsus uue süsteemi osas.

Uue süsteemi integreerimine koosneb neljast etapist. Need on järgmised:

1. uue süsteemi vajaduste kaardistamine,
2. võimalike lahenduste kirjeldamine ja võrdlemine,
3. valitud toote kirjeldamine ja sobivuse analüüs,
4. süsteemi juhtimisloogika ja komponentide kirjeldamine.

1. AUTONOOMSE SÕIDUKI ISEAUTO TEENINDUSUKS

IseAuto on Tallinna Tehnikaülikooli autonoomsete sõidukite uurimisgrupi projekt, mille eesmärk on arendada autonoomsete sõidukite vallas kompetentsi ning anda tudengitele praktiline kogemus. IseAuto on täiselektriline autonoomne sõiduk, mis kasutab navigeerimiseks lidareid ning tele-opereerimiseks kaameraid. Bussi juhtimisalgoritm on üles ehitatud The Robot Operating System-i (ROS) ja Autoware baasil (Lisa 4) [3]. IA1-s on ukseüsteem lahendatud pöörleval juhtpostil põhineva mehhanismiga. Autonoomses režiimis avatakse ja suletakse uks peatuses automaatselt ning vajadusel saab reisija kasutada ukse avamiseks vastavat lülitit, samuti on ukse avamise võimalus operaatoril juhtpuldi või tele-opereerimise puhul eemalt arvuti abil [4].

Autonoomsete sõidukite puhul on teenindusüksed tavaliselt täisautomaatsed või poolautomaatsed. Täisautomaatse lahenduse puhul avaneb ja sulgub uks automaatselt vastavalt juhtimisloogikale, st selle avamiseks pole reisijal vaja nupule vajutada ega ust füüsiliselt liigutada. Poolautomaatse lahenduse puhul avaneb uks, kui reisija või sõiduki operaator vastavale lülitile vajutab. Samuti on alati võimalik uksi avada ja sulgeda operaatori juhtpuldil. Lisaks vajab autonoomse sõiduki ukseüsteem sensoreid, mis tuvastavad, kui inimene on ukse ees või kui keegi on juba ukse vahele jäänud. Iseauto puhul on seda probleemi püütud lahendada lidariga, kuid alternatiiv oleks kasutada näiteks kaameraid või optilisi andureid.

1.1 Nõuded süsteemile

Järgnevalt on kirjeldatud seadusest ning IA2 disainist tulenevad nõuded, millele uus ukseüsteem muuhulgas vastama peab. Kuna iseAutot saab kasutada manuaalses ja autonoomses režiimis, tuleb käsitleda ust automaatse ukseks. Kusjuures kui tegemist on tele-opereerimisega juhtkeskusest, peab olema tagatud nõutavate märgutulede ja -helide olemasolu, nagu see oleks sõidukijuhi kohal sõidukis sees. IA2 valmistatakse M2-B kategooria sõidukina ning sellest lähtuvalt on välja toodud sõiduki teenindusüksel rakenduvad eeskirjast [5] tulenevad nõuded, mis puudutavad tüübikinnituse saamist. Välja on toodud vaid iseAutot puudutavad ning teenindusust käsitlevad nõuded. Järgnevas nimekirjas on eristatud üldnõuded ning mehhaniseeritud ja automatiseeritud ukse nõuded. Lisatud on ka ukse sulgemisel tekkiva takistuse jõu arvutamise kirjeldus.

1. Ukseava laius peab olema üksikukse puhul vähemalt 650 mm või kahe poolega ukse puhul 1200 mm.

2. Kõiki teenindusuksi peab saama seisva sõiduki korral (aga mitte tingimata sõidu ajal) kergesti avada nii seest- kui ka väljastpoolt. Uks võib siiski väljastpoolt lukustatav olla, kui seda saab alati seestpoolt avada.
3. Teenindusukse siseküljel ei tohi olla seadmeid, mis kataksid sõiduki sees olevad astmed, kui uks on suletud. See ei välista, et suletud ukse korral on trepisüvendis ukse juhtimismehhanism ja muud ukse siseküljele kinnitatud seadmed, mis ei moodusta põranda pikendust, millel sõitjad võivad seista. See mehhanism ja need seadmed ei tohi olla sõitjatele ohtlikud.
4. Sõiduki sissepoole avanevad ukсед ja nende mehhanism konstrueeritakse nii, et nende liikumine normaalsete kasutustingimuste korral ei saa vigastada sõitjaid. Vajadusel paigaldatakse sobivad kaitsevad seadmed.
5. Teenindusukse avatud asend ei tohi takistada nõutava väljapääsu kasutamist või juurdepääsu sellele.
6. Õise lukustussüsteemi olemasolu korral kehtivad alljärgnevad nõuded:
 - 6.1. Lukustussüsteem lülitub automaatselt välja, kui süütelüliti on sisselülitatud asendis või juhile antakse hoiatus selle kohta, et ühe või mitme ukse õine lukustussüsteem on aktiveeritud, kui süütelüliti on sisselülitatud asendis. Üht signaali võib kasutada ka mitme ukse tarbeks.

Mehhaniseeritud teenindusüks

7. Elektrisüsteemi töökorras olekust sõltumata peab mehhaniseeritud teenindusüks saama sõiduki seisu ajal või liikumiskiirusel alla 3 km/h avariolukorras avada seestpoolt ja lukustamata ust ka väljastpoolt seadmete abil, mis:
 - 7.1. ei sõltu muudest ukse avamise seadmetest;
 - 7.2. on uksele lähenedes ja ukse ees seistes selgelt näha ja hästi äratuntavad; kui seadmed on paigaldatud lisaks tavalisele avamisevadmele, siis peavad need olema selgelt tähistatud kasutamiseks avariolukorras;
 - 7.3. võivad aktiveerida sõidu alustamist takistava seadme;
 - 7.4. võivad olla kaitstud lihtsalt eemaldatava või purustatava seadmega, mis võimaldab juurdepääsu hädaolukorras kasutatavale seadmele; hädaolukorras kasutatava seadme kasutamine või kaitsevadmete eemaldamine peab olema juhile kuuldav ja nähtav, ning sõiduki sees asuvate juhtseadiste korral on need

välja lülitatud, kui sõiduk liigub kiirusega üle 3 km/h. Seda nõuet võib kohaldada väljaspool sõidukit asuvate juhtseadiste suhtes.

8. Mehhaniseeritud teenindusüksed peavad aktiveerima märgutule, mis hoiatab juhti, kui mõni uks ei ole täielikult sulgunud, ja on normaalses juhtimisasendis istuvale juhile selgesti nähtav igasuguse välisvalgustuse korral. See märgutuli peab süttima alati siis, kui ukse jäik konstruktsioon on täiesti avatud seisus ja täiesti suletud seisust 30 mm kaugusel asuva punkti vahel.
9. Seadmed, millega juht saab mehhaniseeritud ust avada ja sulgeda, peavad olema konstrueeritud nii, et juht saab ukse liikumissuunda selle avanemisel ja sulgumisel igal ajal vastupidiseks muuta.
10. Mehhaniseeritud teenindusüste konstruktsioon ja juhtimissüsteem peavad tagama, et sulguvad ukse ei vigastaks sõitjaid ja et sõitjad ei saaks jääda ukse vahele kinni.
 - 10.1. See nõue loetakse täidetuks, kui on täidetud mõlemad järgmised tingimused:
 - 10.1.1. Esiteks, kui sulguvatele ustele avaldub vastujõud, mis ei ületa 150 N, avaneb uks automaatselt taas täies ulatuses ja jääb seni avatuks, kuni rakendatakse sulgemisseadis, välja arvatud juhul, kui tegemist on automaatsete teenindusustega. Jõu tippväärtus võib lühiajaliselt ületada 150 N, eeldusel et see ei ületa 300 N.
 - 10.1.2. Teiseks, kui sõitja ranne või sõrmed jäävad ukse vahele, avaneb uks automaatselt täies ulatuses ning jääb avatuks seni, kuni rakendatakse sulgemisseadis, välja arvatud juhul, kui tegemist on automaatse teenindusüksusega või kui sõitja saab randme või sõrmed ukse vahelt end vigastamata hõlpsalt välja tõmmata.
11. Kui mehhaniseeritud teenindusüks jääb suletuks ainult ukse pideva elektrivarustuse korral, peab uste elektrivarustuse katkemisest juhile märku andma visuaalne hoiatusseade.
12. Kui on olemas sõidu alustamist takistav seade, peab see mõjuma ainult kiirustel alla 5 km/h ja olema suurematel kiirustel väljalülitunud.
13. Kui sõidukil puudub sõidu alustamist takistav seade, peab seisva sõiduki liikuma hakkamisel, kui mõni mehhaniseeritud teenindusüks ei ole täielikult sulgunud, aktiveerima juhile kuuldav helisignaali.

Automatiseeritud teenindusüks

14. Avamisseadmete kasutamisest peab andma märku indikaator sõiduki sees ja kui ust avatakse väljastpoolt, ka väljaspool sõidukit; indikaator (näiteks valgustusega surunupp, valgustusega tingmärk) peab asuma vastaval ukse või selle läheduses.
15. Kui juht on avamisseadmed käivitanud, peavad sõitjad saama teenindusüksis avada seestpoolt, vajutades näiteks surunupule või läbides valguskiir-tõkise ja väljastpoolt (välja arvatud ainult väljumiseks ettenähtud uste korral), vajutades valgustatud surunuppu, vajutades surunuppu valgustatud tingmärgi all või muu sarnase asjakohase juhisega varustatud seadme abil.
16. Kui mõni automaatne teenindusüks on avanenud, peab see teatud aja pärast uuesti automaatselt sulguma. Kui mõni sõitja selle aja jooksul sõidukisse siseneb või väljub, tagatakse ohutusseadme (näiteks põrandakontakti, valguskiir-tõkise või ühesuunalise värava) abil selle ajavahemiku piisav pikendamine.
17. Kui sõitja siseneb sõidukisse või väljub sellest ukse sulgumise ajal, peab sulgumisprotsess automaatselt katkema ja uks avatud asendisse tagasi pöörduma.
18. Juhil peab olema võimalik uste automaatset sulgumist spetsiaalse juhtseadise abil takistada. Ka sõitjad peavad spetsiaalsele surunupule vajutades saama takistada ukse sulgumist.
19. Ukse automaatse sulgumise takistamisest peab juhile märku andma näiteks märgutuli.
20. Juht peab igal juhul saama automaatset sulgumist taaskäivitada.

Mehhaniseeritud uste sulgemisjõud

Järvnevalt on kirjeldatud eeskirjas [5] ukse sulgemisel ukse poolt takistusele avalduva jõu arvutuskäik.

Mehhaniseeritud ukse sulgemine on dünaamiline protsess. Kui liikuv uks põrkub takistusega, tekib dünaamiline reaktsioonijõud, mis ajaliselt sõltub mitmest tegurist (näiteks ukse mass, kiirendus, mõõtmised).

Sulgemis- või reaktsioonijõud $F(t)$ on ajafunktsioon, mida mõõdetakse ukse välisserval. Jõu tippväärtus F_S on sulgemisjõu suurim väärtus. Kasulik jõud F_E on sulgemis- või reaktsioonijõu keskmine väärtus, mis on seotud impulsi kestusega:

$$F_E = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt \quad (1.1)$$

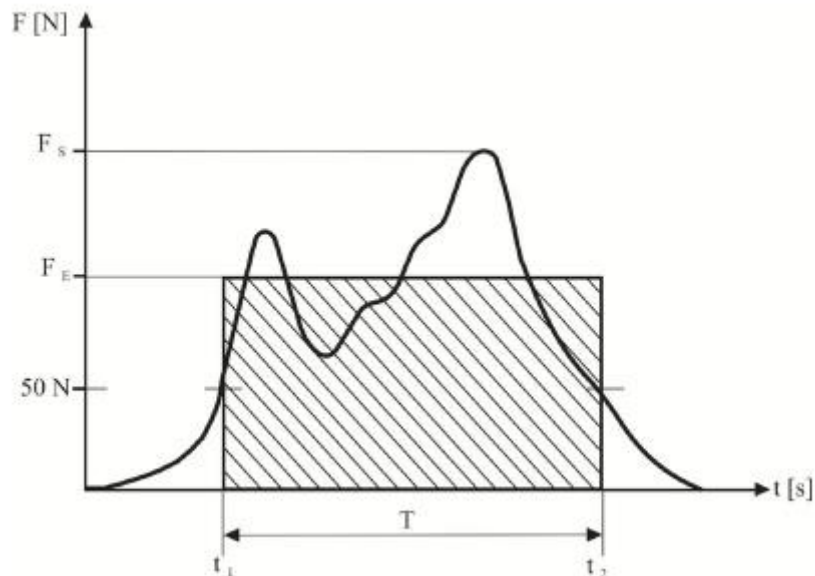
Valem 1. Reaktsioonijõu keskmine väärtus. [5]

T – impulsi kestvus, ajavahemik t_1 ja t_2 vahel: $T = t_2 - t_1$

t_1 - tundlikkuslavi, mil sulgemis- või reaktsioonijõud ületab 50 N;

t_2 - väljalülitushetk, mil sulgemis- või reaktsioonijõud langeb alla 50 N.

Eespool esitatud parameetrite suhe on näitena kujutatud (Joonis 1.1).



Joonis 1.1. Takistusest tekkinud uksele mõjuva jõu ja aja suhe

Kinnikiilumis- ehk keskmine reaktsioonijõud FC on samas mõõtepunktis korduvalt mõõdetud kasulike jõudude aritmeetiline keskmine:

$$FC = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (F_E)_i}{n} \quad (1.2)$$

Valem 1.2. Keskmine reaktsioonijõud FC [5]

n – mõõtmiste arv

Ülesande püstitaja esitatud muud nõuded

21. Uksed peavad sobima iseAuto ukseavasse, mille laius on 1200 mm ja kõrgus 1650 mm ning kumerused ja muu geomeetria määratletakse vastavalt valmistatavatele kerepaneelidele. Uksed (raam ja klaasid) peavad vastama Eestis kehtivatele tüübikinnituse nõuetele, mis on esitatud eeskirjas [5].
22. Iseauto reisijate veoks mõeldud ala võrdlemisi väikeste kabariitide (seisupind ca 2 m²) ning äärmise uksepoolse istme ja ukseava väikse vahe tõttu tuleks eelistada süsteemi, mis vähendab nimetatud ala minimaalselt, kui selle kasutamine pole just muudel põhjustel ebaotstarbekas.
23. Tuleb veenduda süsteemi vastupidavuses Eesti kliimale, eriti keskendudes talvistele oludele.
24. Bussi ukse või selle mehhanismil peab olema võimalus ukse väljastpoolt lukustamiseks, juhuks kui bussi transporditakse puksiiriga või tekib muu vajadus takistada ligipääs bussi, näiteks kui buss on pargitud ja parasjagu reisijaid ei teeninda.

1.2 Tähelepanekud lähtudes Navya ja IA1 autonoomsetest sõidukitest

Järgnevalt on kirjeldatud töö autori isiklikud tähelepanekud lähtudes kogemusest, mis on saadud autonoomsete sõidukite uurimisgrupis töötades ning iseAutot ja Navya autonoomset sõidukit opereerides. Tähelepanekud kattuvad kohati seadusest tulenevate nõuetega, kuid ilmestamaks nende tõsidust, jäeti need siiski loetelusse. IA1 probleemkohtade tuvastamisega abistas doktorant-nooremteadur Ehsan Malayjerdi.

Kui buss sõidab, siis peaks ukseüliti olema deaktiveeritud, et vältida nii tahtlikult kui ka tahtmatult ukse avanemist sõidu ajal nii autonoomses kui ka manuaalses sõidurežiimis. Manuaalses, n-ö operaatori režiimis võiks olla ukseüliti väljalülitamine eraldi funktsioon operaatori juhtpuldil või sõiduki juhtseadmes. See võimaldaks reisijate veol lihtsat turvalisuse tagamist. Bussi kiirust on võimalik jälgida näiteks ABS andurite või mootori võlli pöörlemiskiiruse jälgimise abil.

Bussis asuvat hädaabinuppu vajutades peaks buss seiskuma ja uksed automaatselt avanema, et ohuolukorras oleks reisijate turvalisus tagatud. Sarnaselt peaks süsteem toimima bussis asuvate suitsu- või leegiandurite aktiveerumise korral.

Kui kasutatakse masinnägemist, tuvastamaks reisijatele potentsiaalselt ohtlikke olukordi, näiteks kaklus või bussis nähtaval olev torke- või tulirelv, tuleks samuti kaaluda bussi seiskumist ning uste automaatset avanemist, et reisijatel oleks võimalik bussist lahkuda. Alternatiivne lahendus on sõiduki operaatori automaatne teavitamine tähelepanu vajavast olukorrast, misjärel operaator saab vajadusel ukсед avada.

Kui midagi satub bussi ukse ette, kui bussi uks avaneb või sulgub, peaks olema võimalus selle tuvastamiseks. Takistuseks võib olla näiteks inimene või mehaaniline viga ukseüsteemis. Takistusi on võimalik tuvastada paigutades ukseüsteemi mootori toiteklemmidele voolumõõtja või ukse servale jõuanduri, mis on ühendatud uksekontrolleriga. Seeläbi on uksekontrolleril võimalik kohe ukse mootor peatada ja vajadusel vastupidises suunas liikuma panna. Lisaks peab kindlasti süsteemis olema kaitse, mis liigse voolu korral ukse töö peataks ning väldiks kahju tekkimist süsteemis asuvatele elektroonikakomponentidele. Lisaks madalama taseme anduritele võib kasutada kõrgemal tasemel jälgitavaid andureid, näiteks lidareid, millega on samuti võimalik jälgida ukseavas ja selle ümbruses toimuvat. Oluline on, et reisijate turvalisusele orienteeritud olukorras ei kasutataks ainult masinnägemisel baseeruvat lahendust. Lisaks eelnimetatule on võimalik kasutada näiteks valguskiirel põhinevaid andureid. Kindlasti tuleb silmas pidada, et võimalusel võiks uksekontroller kuulata otse andureid.

Bussil peaks olema võimalus ukse lukustamiseks mehaaniliselt ja ka elektrooniline lukk, mida on võimalik aktiveerida näiteks sõidu ajaks või olukorraks, kui mehaaniline lukustamine pole hädavajalik. Autonoomsetes sõidukites kasutatakse väga võimekaid arvuteid ja muud kallist elektroonikat, seega on ukse lukustamine või välise avamise takistamine vajalik. Näiteks Navya isesõitval bussil on see lahendatud nii, et kui buss on välja lülitatud, siis uste avamise lülitid ei tööta ning uksi pole ka jõuga võimalik avada tänu jätkuvalt pingestatunud uksemootoritele. Lisaks võib kaaluda lahendust, mille puhul sõiduki ukse juures asub raadiosagedustuvastus(RFID)-moodul, mille abil on võimalik end tuvastada ning bussi siseneda vaid näiteks bussi operaatoril või ühistranspordikaardi omanikel.

Hädaolukorraks peaks ukse kõrval nähtaval kohal ja vastavalt markeeritud olema mehaaniline lüliti, millega on võimalik ukсед pinge alt vabastada. Selle lüliti liigutamine peaks katkestama vooluahela või laskma süsteemist välja suruõhu, misjärel on võimalik üksikul reisijal uksi käsitsi kergesti avada. Oluline on, et tegemist oleks mehaanilise süsteemiga, mitte lülitiga, mille kasutamise tagajärjel vooluring katkestatakse, sest kui bussis puudub õnnetuse korral elekter, peab säilima võimalus bussist lahkuda.

Võimaluse ja disaini poolt aktsepteeritavuse korral võiks bussi välisküljele liikuvate topeltuste puhul välimine ukseüliti asuda bussi uste küljes nähtaval kohal ja kõrgusel ning kasutajate jaoks harjumuspärastes toonides (roheline) ja tähistusega (ukse tingmärk). Kahe ukse puhul ei saa paigutada uste sisemist lüliti ukse külge ega välimist lüliti ukseava sobivasse lähedusse, sest uste avanedes jääks see ukse taha. Vältida tuleks ka nupu paigaldamist ukseavast eemale, see võib reisijate jaoks olla ebamugav ning segadust tekitav. Paigutades välimise nupu ukse külge ning sisemise ukse kõrvale, on kindel, et kasutajad vajutavad õiget nupu ning kogu teenindus on mugavam.

IA1-l asub uksemootor pöranda all, millele ligipääsemiseks tuleb eemaldada kogu pörandapaneel. See omakorda nõuab seinapaneelide eemaldamist. Seega on tegemist tülika ja aeganõudva tegevusega. Seetõttu võiks ligipääs uksemootorile, süsteemi mehaanilistele osadele ja sensorikale olla võimalikult lihtne, et vältida pikka hooldusaega.

IA1-l on ukse asendi kohta tagasiside saamiseks kasutusel lõpulülid. Lüliteid manipuleeritakse jäigalt mootorivõlli külge kinnitatud kronsteiniga. Esimese lõpulüliti aktiveerudes mootori töö aeglustub ning teise aktiveerudes ukse liigutamine lõpetatakse. Samuti kasutatakse lõpulüliteid, et tuvastada ukse asend (suletud või avatud). Kuna selle süsteemi puhul tõstetakse ust, kui see hakkab lõppfaasi jõudma, on oluline, et mootori kontroller teaks, millal uks sulguma hakkab, et mootori tööd aeglustada. Ukse tõstmiseks või langetamiseks kasutatakse keermestatud mootorivõlli, mille otsas on juhtlatt, mis piisava keerlemise puhul tõusma või langema hakkab. Selle lahenduse puhul jääb puudu tagasisidest ukse asendi kohta, kui uks pole täielikult sulgunud või täielikult avanenud. See võib tekitada probleeme, kui ukse tööd häiritakse keset liikumist, misjärel uksekontroller ei tea ukse asendit ning seda liigutama hakates võib ust liialt sulgeda või avada. Lahendus oleks näiteks enkooder, mis talub sõiduki vibratsioone ja tolmust keskkonda. Sellega oleks võimalik piisavalt täpselt jälgida ukse olekut ja asendit igal ajal. Säilitada tuleks lõpulülid avatud ja suletud asendite registreerimiseks. Lisaks lülititele ja asendi anduritele tuleks ka programmikoodiga piirata aega, kui kaua mootor töötab (H. Pikner, vestlus, 13.05.2022).

IA1 puhul on olnud probleeme kallaku peal ukse sulgemise või avamisega. See probleem on kergesti lahendatav, pöörates tähelepanu süsteemimootori ning mehhanismi valimisel selle võimsusele ja ülekandele ning võrreldes seda ukse raskusest tuleneva jõuga, mis tekib näiteks 10-kraadisel kallakul asuva sõiduki ukse liigutamisega kallakule vastupidises suunas. [6]

IA1-s kasutusel olev keerleva juhtlatiga süsteem on hea, kuid sellel on mehaaniliselt nõrk koht, mis vajab lahendamist. Nimelt on pöörlev latt kinnitatud pöranda alla mootori

külge ning ülemine pool seina külge laagriga kronsteini abil. Kronsteini- ja lativaheline ühenduskoht on sedavõrd nõrk, et süsteemi tõrkumisel, kui ust liigselt kinni või lahti keerata, paindub see läbi, ning uks vajub viltu ega sulgu enam õigesti. Selle probleemi vältimiseks võiks kasutusele võtta süsteemi, mille juhtlatt ulatab bussi põrandast laeni. See võimaldaks jäigemat konstruktsiooni ning kirjeldatud probleemi vältimist. Samas tuleb silmas pidada, et see probleem on tekkinud süsteemi väärkasutamise tõttu. Nimetatud komponent on märgitud rohelise ringiga (Joonis 1.2).



Joonis 1.2. Iseauto ukse süsteemi läbipaindunud detail (Erakogu).

Lisaks ukse avamise nupule võiks autonoomselt sõitvas sõidukis võimalusel olla nõudepeatuse jaoks vastav nupp. Selle nupu eesmärk on mitte uste avamine, vaid see, et kui reisija soovib peatust järgmises bussipeatuses, saab ta sellest märku anda. Kui bussil pole ettenähtud peatusi või nende vahemaa on väga suur, on võimalus süsteem üles ehitada nii, et nupu vajutamisel valib buss peatumiseks optimaalse koha ning reisija saab väljuda. Seda nuppu võib sõidu ajal asendada ka ukse avamise lüliti.

2. UKSESÜSTEEMID

Selle töö raames võrreldakse kolme erinevat lahendusmeetodit, kolme erineva tööpõhimõttega süsteemi ja kolme erinevat jõuallikat. Lahendusmeetodid on kirjeldatud järgnevalt.

1. Süsteem ise valmis ehitada. See variant on kallis ning kõige ajakulukam, samuti ei pakuks selle töökindlus konkurentsi juba valmis arendatud ja täiustatud süsteemidele. Selle projekti puhul on aeg määrava tähtsusega, seega seda lahendust ei valita.

2. Integreerida mõne masstootmises oleva auto uksesteem IA2-le. Selline lahendus pole otstarbekas, sest kui kasutada mõne auto uksesteemi teisiti, kui see orginaalis mõeldud oli, ei saa kindel olla süsteemi kõigi osade töökindluses. Samuti vajaks see tänapäeva sõidukite turvasüsteemide tõttu palju tööd tarkvaraga. Sarnaselt eelmise lahendusmeetodiga, on tegemist ise süsteemi ülesehitamisega. Sellise lahendusena kaaluti Mercedes Sprinteri T55 [7] lisavarustuse nime kandvat elektroonilist liugukse mehhanismi.

3. Kasutada vastavalt IA2 parameetritele ja nõuetele valmis tehtud komplekti. See lahendus on kõige parem, sest võimalik on välja valida selline süsteem, mis sobib kõige ideaalsemalt ning mille parameetrid vastavad esitatud nõuetele. Samuti saab sellise lahendusega vältida olukorda, kus tuleks süsteemi osi kasutada nii, nagu need valmistamisel mõeldud polnud. Selle töö raames kirjeldatakse selle lahendusmeetodi integreerimist.

Tabel 2.1. Lahendusmeetodite otstarbekuse hindamine

	Hind	Aeg	Töökindlus	Sobivus/disain	Punktid kokku
Lahendus 1	2	3	2	1	8
Lahendus 2	1	2	2	2	7
Lahendus 3	3	1	1	1	6

1-hea, 2-keskmine, 3-halb. Arvestus 4-12 punkti, madalaim punktiskoor viitab otstarbekaimale lahendusele

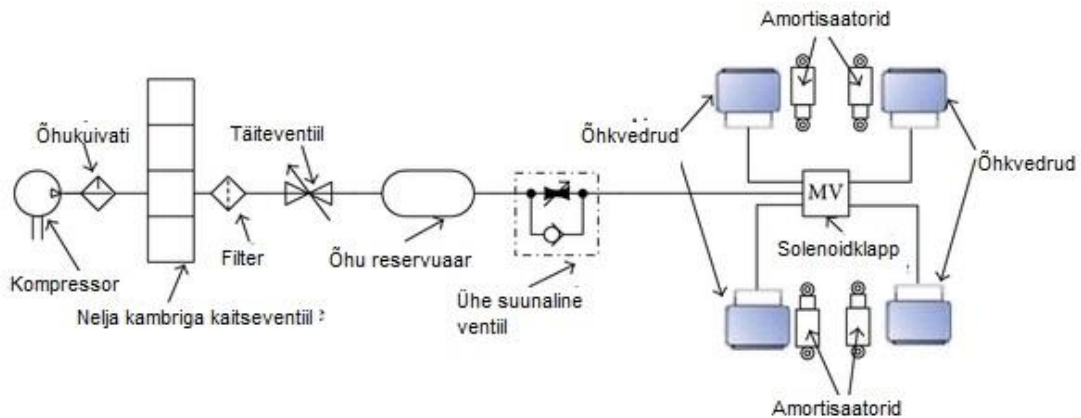
2.1 Levinumate ukseüsteemide jõuallikate tööpõhimõtete kirjeldus

Valmis lahenduste puhul jagunevad IA2-te sobivad levinud süsteemid kolme gruppi. Pöörleva latiga süsteemid nagu IA1-s (Joonis 1.2), liuguksed või voldikuksed on selles töös võrreldavad mehhanismid. Üldjuhul on süsteemide jõuallikas elektrimootor, pneumaatika või hüdraulika.

Elektrilises süsteemis liigutatakse sõiduki uksi elektrimootoriga, mida juhitakse kontrolleri abil. Controller saab sisendid anduritelt ning näiteks *Controller Area Network* (CAN) võrgus olevatelt teistelt controlleritelt. Üldjuhul on tegemist 12V või 24V süsteemiga. Tänapäeval on uutes sõidukites levinud harjadeta elektrimootorid, sest need nõuavad vähem hooldust ning on seetõttu töökindlamad (H. Pikner, vestlus, 13.05.2022).

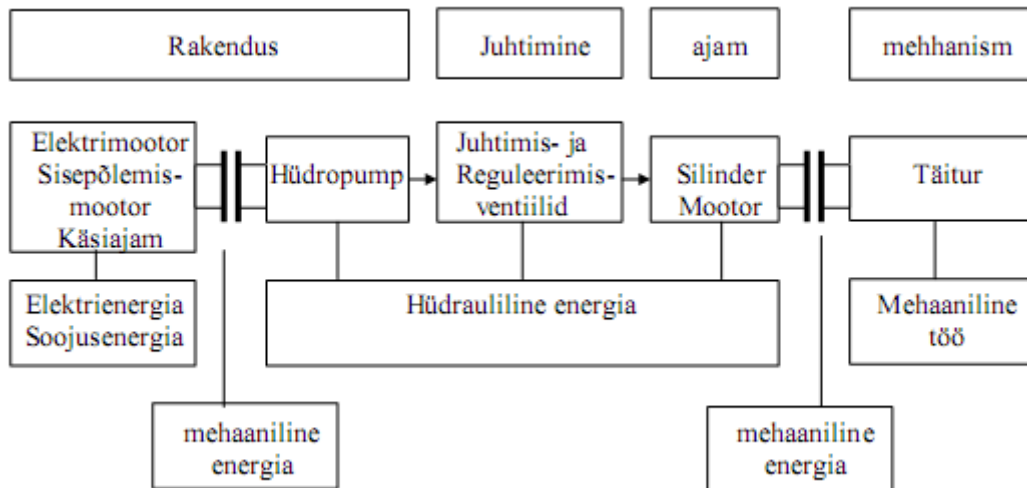
Pneumaatilises süsteemis kasutatakse uste liigutamiseks suruõhku. Selline süsteem koosneb juhtimissüsteemist, kompressorist ja reservuaarist, kus tekkinud rõhu all gaasi hoitakse, ning pneumaatilistest silindritest, mida gaasi abil liigutatakse. Muuhulgas on süsteemis kõrgsurvevoolikud, ventiilid, andurid, õhukuivatid jm [8]. Osade sõidukite puhul on tänu muudele õhuga toimivatele komponentidele suruõhk juba olemas. Näiteks kasutatakse õhkpidureid või vedrustuses õhkpatju. Sellistes sõidukites on pneumaatilise ukseüsteemi kasutamine loogiline valik.

Rõhu all gaasi kasutamine on problemaatiline keeruka sünkroniseerimise tõttu, kui kasutatakse mitme silindriga süsteemi. Kui kasutatakse näiteks kahte ust ning seetõttu ka kahte silindrit, peaksid need töötama sama kiirelt ning samal ajal, mida on praktiliselt keeruline saavutada ilma täiendavate sünkroonimismehhanismideta (A. Petritšenko, vestlus, 06.04.2022). Samuti on sellise süsteemi hooldus keerukam ning takistuse tõttu uksele avalduva jõu mõõtmine nõuab lisaseadmete paigaldamist.



Joonis 2.1. Sõiduki õhkvedrustuse süsteemi komponendid [9]

Hüdraulilise süsteemi puhul kasutatakse täiturite liigutamiseks rõhu all olevat vedelikku [8] ning tööpõhimõte sarnaneb pneumaatilise süsteemiga. Hüdraulilised süsteemid on üldiselt mõeldud raskemate objektide liigutamiseks, mistõttu võrdlemisi kerge ukse puhul võivad mõjutama hakata eelnevalt mainitud sünkroniseerimine ning rõhu tekitamisel tekkivad pulsatsioonid (A. Petritšenko, vestlus, 06.04.2022). Samuti tuleb tähele panna seda, et õli viskoossus talvel ja suvel kõigub suurtes piirides, mistõttu mõjutab see suuresti ukse tööd. Seda seetõttu, et talvel, kui välisõhu temperatuur on madalam, on õli paksem ning takistus selle liikumisele suurem [10]. Talvel oleks vaja õlipaagis olevat õli soojendada, vahetada see väiksema viskoossusega õli vastu või kasutada väga spetsiifilisi õlisid mille viskoossus temperatuuri tõttu liialt ei muutu (A. Petritšenko, vestlus, 17.05.2022). Sarnaselt pneumaatilisele süsteemile on takistusele avalduva jõu mõõtmine keerukam kui elektrilises süsteemis. Samuti nagu pneumaatiline süsteem, vajab ka see rohkem komponente, nende seadistamist ning regulaarset hooldust. Hüdrauliline süsteem sisaldab: paak töövedeliku jaoks, pump koos pumba ajamiga, süsteemi kaitseadmed (väldivad ülekoormuse ja süsteemi iseenesliku tühjenemise, pumba mootori seiskumisel kaitseklapp, vastuklapp), reguleerimisseadmed kolvi liikumiskiiruse ja süsteemis toimiva rõhu reguleerimiseks (drossel, rõhu regulaator), juhtimisseadmed silindri juhtimiseks (jaotur), hüdrocilinder mehaanilise energia saamiseks ning süsteemi abiseadmed (filter, torustik) [10]. Nimetatud komponendid on kirjeldatud (Joonis 4).



Joonis 2.2. Hüdraulilise süsteemi ülesehitus ning energia kulgemine selles [8]

2.2 Valikus olevate mehhanismide tööpõhimõtete kirjeldus

Pöörleva juhtlatiga süsteemi puhul pöörleb näiteks elektrimootori võlli külge kinnitatud latt, mille külge on jäigalt kinnitatud kronsteinid, mis ühendavad latti ja ust. Kronsteinid on ukse raami külge kinnitatud laagrite abil, näiteks kuulliigenditega. Lisaks on ukse ja sõiduki raami vahel kuulliigenditega kinnitatud juhtvarras, mille eesmärk on ukse avamisel ust bussiga paralleelsena hoida. Ukse kõrgust reguleeritakse IA1 puhul juhtlati külge kinnitatud kronsteinide tõstmise või langetamise abil. Ukse- ja sõidukivahelist paralleelsust saab reguleerida nimetatud varda abil. See süsteem on levinud ühistranspordibussides.



Joonis 2.3. Pöörleva postiga ukseüsteem iseAutos (Erakogu).

Voldikukse süsteem on kahest osast koosnev, kuid hingede abil ühendatud ühtselt liikuv uks, mis avamisel volditakse keskelt ning liigutatakse ukseava ühte serva, jäädes ukseavaga risti. Variant on ka kasutada kahte erinevas suunas liikuvat ust. Sellel juhul on ülejäänud tööpõhimõtte sama, kuid ukсед pole keskelt ühendatud ja liiguvad avanemisel ukseava erinevatele külgedele. Uste all või üleval paikneb juhtsiin, mööda mida ukсед liiguvad. Uksi liigutatakse tavaliselt ukse ülemises osas paikneva täituri abil. Seda süsteemi võib näha näiteks Tallinnas sõitvatel trammidel (Joonis 2.4).



Joonis 2.4. Voldikuksed trammil [11]

Liugustega süsteemi puhul liigutatakse uksi mööda siine, mis asuvad bussi kere välisseinal ning juhivad ukse avanedes bussi välisküljele. Levinumad lahendused hõlmavad endas täiturit, mille külge on kinnitatud hammasratas või rihmarullik. Uks on jäigalt kinnitatud hammasrihma või keti külge, mis omakorda on ühendatud täituri külge kinnitatud hammasratta või rihmarulliku külge [12]. Täituri külge kinnitatud hammasratta pööreldes hakkab rihm või kett liikuma ning sellega liigutatakse ka ust. Liugused on kasutusel näiteks Eestis sõitvates rongides.



Joonis 2.5. Liugused Elroni rongil [13]

2.3 Erinevate jõuallikate ning mehhanismide tööpõhimõtete võrdlus ning sobivus IA2-te

Jõuallikate võrdluses lähtutakse komponentide hulgast ja mahust, nõuete täitmisest ning paigalduse ja hoolduse keerukusest.

Elektriliste süsteemide puhul on komponentide arv ning maht ruumala poolest väike. Vaja läheb mootorit, lüliteid ja andureid. Kui mõni tootja pakub 12V süsteemi, ei ole iseAuto puhul vaja vaheldit. Elektriliselt juhitavate süsteemide puhul on ukse ette sattuva takistuse tuvastamine uksemootori poolt tarbitava voolu jälgimisega lihtne, mistõttu on enamike nõuete täitmine elektrilise süsteemi puhul mugavam. Elektrilist süsteemi on lihtne paigaldada tänu komponentide vähesusele ning iseAuto uurimisgrupi pädevusele selles valdkonnas.

Pneumaatilise süsteemi puhul on komponentidega keerulisem see, et iseAuto põranda all on suure aku, mootorite ja juhtelektroonika tõttu vähe ruumi. Seetõttu on surugaasil toimiva süsteemi suurematele osadele – näiteks kompressorile, paagile ja voolikutele – koha leidmine raskendatud ja raami külge kinnituste disainimine lisaajakulu. Pneumaatilise süsteemi puhul tuleks takistuse tuvastamiseks kasutada lisaandureid, sest voolu tarbimist pole võimalik mõõta. Komponentide arvukusest, süsteemi üldisest tööpõhimõttest ja karakteristikutest tulenevalt on ülesseadmine keerukam ja ajakulukam kui elektrilise lahenduse puhul. Samuti vajavad osad komponendid aegajalt rohkem kalibreerimist ja hooldust kui elektrisüsteemis.

Hüdraulilise süsteemi puhul on komponente mõnevõrra vähem, kuid siiski on seda mahult rohkem kui elektrilise süsteemi puhul. Suurt rolli mängib õli viskoossusest tulenev mõju süsteemi tööle ning seetõttu vajab see lisahooldust või -kulutusi süsteemi ülesehitusel. Hüdraulilise süsteemi miinus on samuti takistuse tuvastamise keerukus. Võimalik oleks tuvastada takistus paigaldades lisaandureid, kuid see oleks lisakulu. Hoolduskeerukus on võrreldav pneumaatilise süsteemiga.

Tabel 2.2. Jõuallikate otstarbekuse hindamine

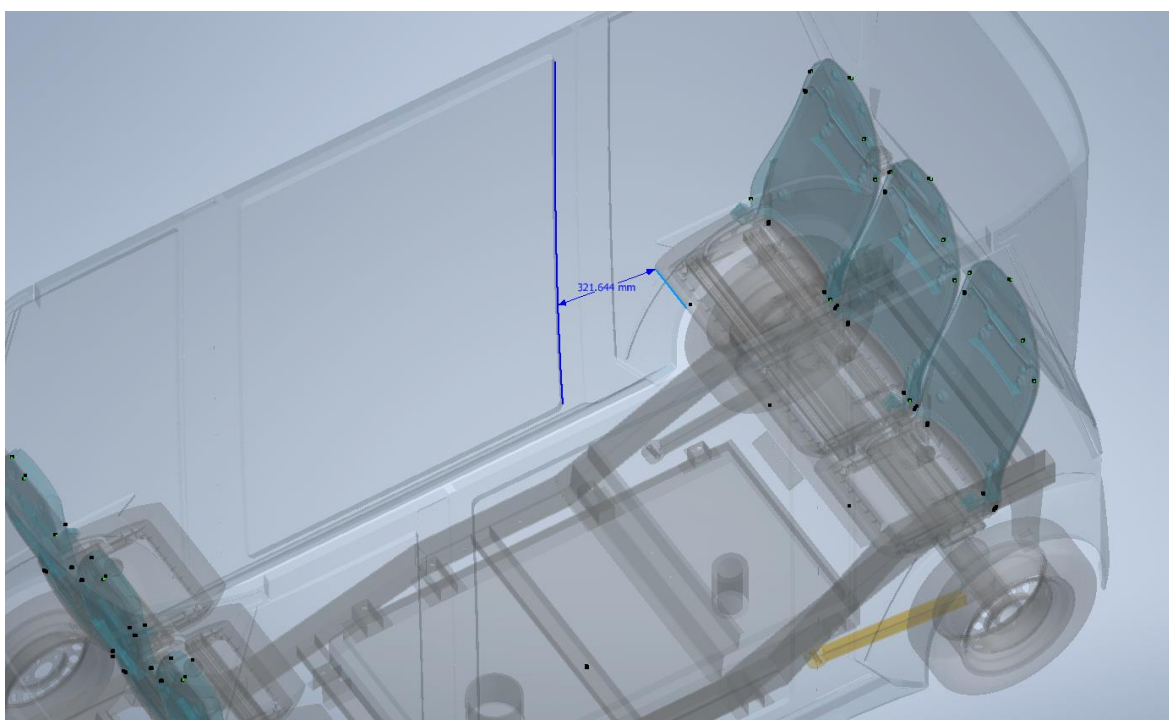
	Komponendid	Nõuete täitmine	Paigaldus ja hooldus	Punktid kokku
Elekter	1	1	1	3
Pneumaatika	3	2	2	7
Hüdraulika	2	2	2	6

1-hea, 2-keskmine, 3-halb. Arvestus 3-12 punkti, madalaim punktiskoor viitab otstarbekaimale lahendusele

Mehhanismide tööpõhimõtete võrdluses on aluseks komponentide maht, üldine disain, paigalduse ja reguleerimise keerukus. Lähtutakse sellest, et võimalusel ukse paigaldavad ja hilisema hoolduse teevad uurimisgrupi liikmed.

Keerleva juhtlatiga süsteemi disaini eelis on võrdlemisi lihtne ülesehitus ning mehhanismi komponentide vähene hulk. Olenevalt disainist võivad ust ja latti ühendavad detailid olla suured ning hõivata ruumi bussi sees. Seda süsteemi on üsna kerge paigaldada, kuna ei pea arvestama bussi kere või põranda sees paiknevate osadega. IA1-s paiknevat süsteemi saab reguleerida väga mitmest punktist ning mitmes suunas, mis on hea, sest see võimaldab sõiduki ehitusel või ukse paigaldusel tekkinud ebatäpsustest hoolimata ukse korrapärast paigaldust ning täpset kasutamist.

Voldikukсел on rohkem komponente, seega ka rohkem võimalikke paigaldusel ja kasutusel tekkivaid probleeme. Disaini negatiivne omadus on see, et ukсед liiguvad avanedes bussi sisse, ukseava küljele. See võtab ära ruumi bussi sees (bussi sisemine laius ca 1300 mm, uste laius ca 600 mm), mis pole aktsepteeritav. Lisaks ruumikaole jäävad ukse taha äärmised uksepooldsed istmed ning ka sisemine ukseüliti, kui need on paigutatud bussi seinale ukse kõrvale. Ukseava planeeritav kaugus istmetest on ca 320 mm (Joonis 2.6). Istme laius on 420 mm, seega jääks avatud asendis voldikukse puhul ukse poolt varjatuks terve äärmine iste ning pool keskmisest istmest. Samuti võib istmele niivõrd lähedale avanev uks olla ohuks reisijatele. Paigaldus ja reguleerimine on keerukam kui eelnevalt kirjeldatud süsteemil, sest korruga tuleb jälgida uste mitmes suunas liikumist ning komponente, mida reguleerida, ja õigesti paigaldada on rohkem.



Joonis 2.6. iseAuto v3 istme kaugus ukseavast (Erakogu)

Liugukse komponentide arv jääb nimetatud süsteemide keskele, kuid klassikalise süsteemi disain ei soosi selle kasutuselevõttu seina külge kinnituvate juhtsiinide, mida mööda uks liigub, tõttu. Kuna iseAuto on võrdlemisi kitsas ja selle esimesse ja tagumisse poole peab mahutama 3 kõrvuti asetsevat istet, jääb seina paksus liialt kitsaks juhtsiinile süvise tegemiseks ning sobiva raami paigaldamiseks. Bussi alumises osas on seal paikneva akupaki tõttu samuti liiga vähe ruumi ajami paigutamiseks. Küll aga on oluline, et liugukse eelis on vähene ruumikadu bussi sees tänu ukseavas asuvate detailide puudumisele ukse avatud olekus.

Tabel 2.3. Mehhanismide võrdlus

	Komponentide maht	Disain	Paigaldus ja hooldus	Punktid kokku
Keerlev juhtlatt	1	2	1	4
Voldikuks	2	3	2	7
Liuguks	2	1	2	5

1-hea, 2-keskmine, 3-halb. Arvestus 3-12 punkti, madalaim punktiskoor viitab otstarbekaimale lahendusele

Tabelitest 2.1–2.3 selgub, et IA2 puhul on otstarbekaim valida ukseüsteemide tootjate välja töötatud lahendus, mis kohandatakse vastavalt iseAuto parameetritele. Otstarbekas oleks kasutada elektrilist, keerleval juhtlattel või liugustel põhinevat süsteemi. Valides nimetatud süsteemid, on aja kokkuhoid, nõuetele vastavus ja toote kvaliteet antud võrdluses parimad ning toote kasutus ja hooldus võimalikult kerge.

3. PAKUTAVATE TOODETE KIRJELDUS, ANALÜÜS NING VALIKU PÕHJENDUS

Nendest järeldustest lähtudes kirjeldatakse järgnevalt sobiva toote valimist, selle omadusi ning puudujääke, kui neid esineb. Valikus on kaks erineva tootja süsteemi, mille sobivust IA2-e võrreldakse.

Esimene toode on ettevõtte MASATS S.A. liuguks mudelinimega 028a (Joonis 3.1). Nimetatud lahenduses on kasutusel liugukse ja pöörleva latiga süsteemi elemente, mis on hea, sest sellisel juhul ei ole vaja bussi välisküljele paigaldada juhtsiine. Ukse alumine pool on kinnitatud laagritel kronsteini abil lati külge, mis aitab uste toetada altpoolt ning täidab juhtsiini rolli. Kronstein on märgitud roheliselt ning juhtsiin siniselt (Lisa 1). Ukse ülemisel poolel on keti abil juhtsiinil liikuvad kronsteinid, mis on jäigalt ühendatud uste külge. Kett märgitud roheliselt ning kronstein oranžilt (Lisa 2). Selle süsteemi positiivsed omadused on pea olematu ruumikadu bussis sees (Joonis 3.3) ning võimalus kinnitada ajam ukseava kohale (Joonis 3.2), mitte pöranda alla. Latid, mis asuvad bussi sees, ukseava ääres, ei ole keerlevad, mis lähtuvalt reisijate ohutusest on eelis võrreldes klassikaliste pöörlevate juhlatidega süsteemidega. Tootjalt on võimalik tellida vastavalt IA2 parameetritele sobiv terviklahendus. See tähendab, et pakutakse nõuetele vastavaid uksi, mehhanismi, ajamit, kontrollereid, lüliteid ja andureid.

Tegemist on elektrilise 12V süsteemiga. Võimalus on takistust tuvastada nii voolu tarbimise jälgimise kui ka spetsiaalse jõuanduri abil, mis asub ukse servas, tihendi sees. Samuti on standardlahenduses olemas mehaaniline kang ohuolukorras uste avamiseks. Võimalus on kasutada Masats CAN Master Control Program (MCP) süsteemi ukse juhtimisega seotud andmesideks ning kontrolleritevaheliseks suhtluseks. Uksekontroller toetab valguskiirsensorite kasutamist, kuid neid tootja ei paku. Lisaks pakub tootja ukse ja seina külge paigaldatavaid nuppe (lüliteid) uste avamiseks-sulgemiseks, lukustit ukse suletud asendisse fikseerimiseks, hädaabi mehhanismi ukse avamiseks ning lisaandurit, mis tuvastab, kui uks pole täielikult suletud (A. Habermeyer, vestlus, 16.05.2022). Komponentide ühendus ning kasutatavad pistikud on välja toodud (Lisa 3)

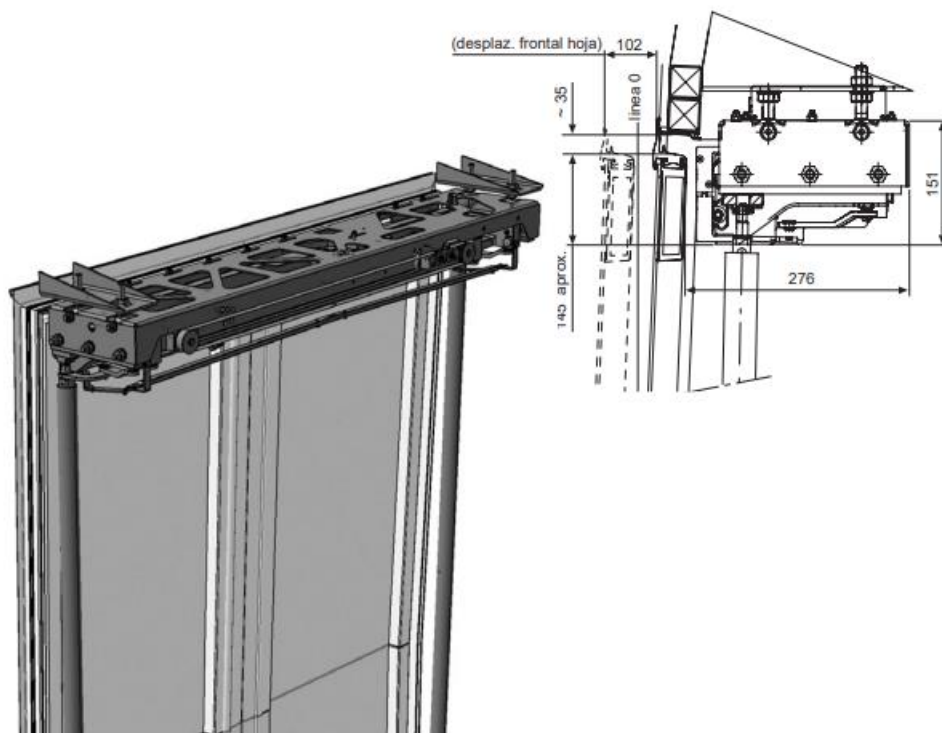
Tehnilised andmed (A. Habermeyer, vestlus, 16.05.2022):

1. Mehhanismi kogukaal: 32 kg
2. Ukse avanemise aeg: 2,5 s
3. Avanedes voolu maksimaalne/nominaal tarbimine: 14 A/4 A

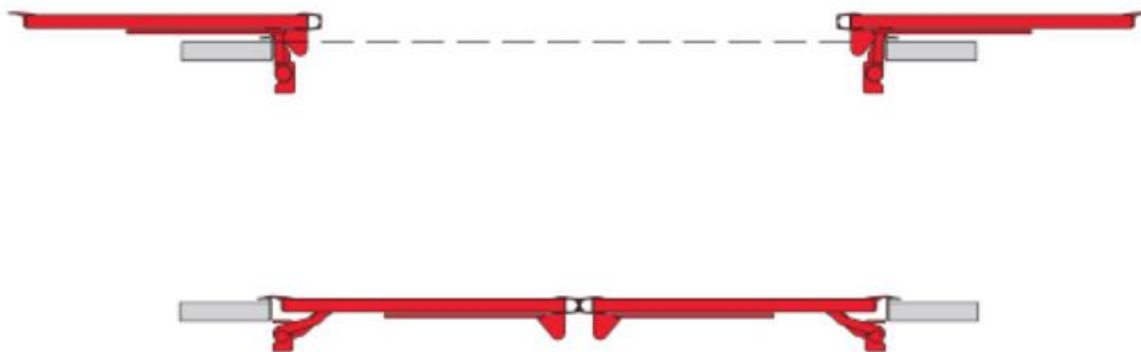
4. Sulgemise aeg 3,1 s
5. Sulgemisel voolu maksimaalne/nominaal tarbimine: 16,5 A/3 A
6. Töötemperatuur: -30 °C kuni +70 °C
7. Nominaalpinge: 12 V ± 20%
8. Ukseava maksimaalne laius: 1350 mm
9. Ustevaheline distant avatud uste puhul: 1200 mm



Joonis 3.1. Minibussi külge paigaldatud Masats 028a liuguks [14]



Joonis 3.2. Masats 028a liugukse põhikomponendid [14]

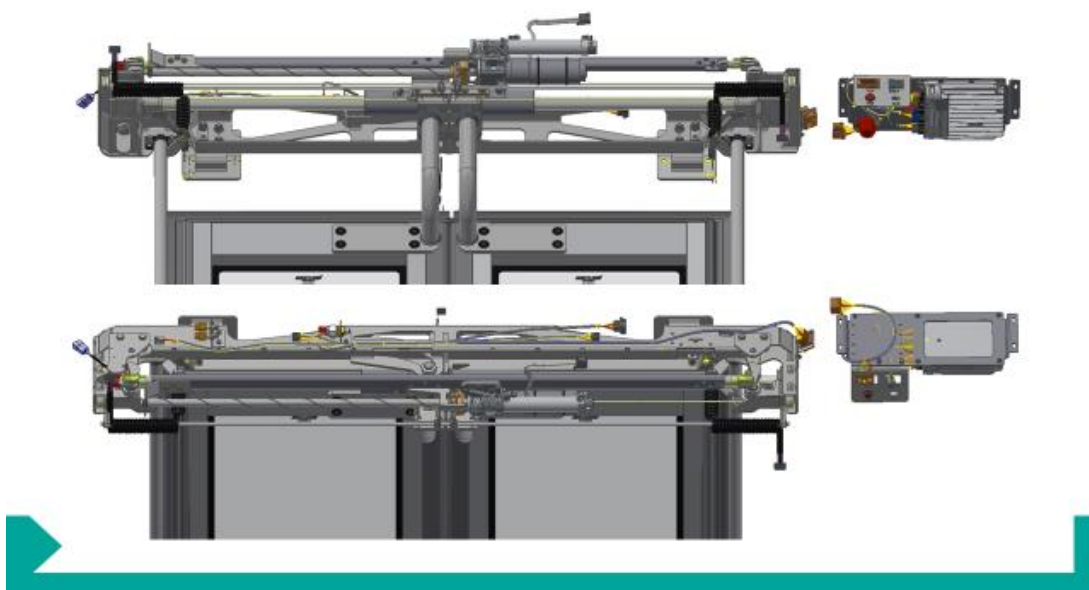


Joonis 3.3. Masats 028a uste suletud ja avatud asend pealtvaates [14]

Teiseks valikuks on Ventura Systemsi liuguks (Joonis 3.5), milles on samuti kasutusel pöörleva latiga süsteemi osi. See variant võtab bussis ukseava kohal rohkem ruumi ning on keerukama disainiga (Joonis 3.4), mistõttu pole selle projekti puhul tegemist hea variandiga. Lisaks keerulisele paigaldusele on hiljem hooldus ja reguleerimine keerulisemad ning tõenäoliselt tuleb see lasta teha toote maaletoojal Busparts OÜ-l või Ventura Systemsil.

Tehnilised andmed: [15]

1. Toide: elekter või pneumaatika
2. Üksik- või topeltuste võimalus
3. Ukseava laius: 860–1350 mm
4. Avamise/sulgemise aeg: 3/4 s
5. Kiirustele kuni 100 km/h
6. Ukseklaaside tüübid: standartsed, isoleeritud, soojendatavad



Joonis 3.4. Ventura Systems liugukse mehhanismi ja ajami põhikomponendid (E. Zirk - Busparts Eesti OÜ, vestlus, 21.04.2022)



Joonis 3.5. Ventura Systems topelt liugused tervikuna. [15]

3.1 Süsteemide sobivus iseAutosse ning vastavus esitatud nõuetele

Füüsilise sobivuse puhul hinnatakse toote mahust tulenevat sobivust IA2-e. Hoolduse ja paigaldusega on silmas peetud nende lihtsust ning võimalust iseAuto tiimi liikmetel seda ise teha. Nõuetele vastavust hinnatakse tulenevalt alapeatükis 1.1 esitatud nõuete täitmiseks sobivate komponentide olemasolust.

Masatsi süsteemi eelis on väiksemad mõõtmed, mistõttu on seda võimalik paigaldada ukse kohale, lae alla. Ukse küljes pole konstruktsioone, mis hõivaksid ruumi bussis sees. Kuna enamus mehhanismist ja ajam asuvad piltlikult kasti sees, on paigaldus kergem, sest paigaldada tuleb vähem detaile. Hoolduse puhul on nimetatud kast halb, sest see piirab ligipääsu ajamile. Nõuete täitmine on täpsemalt kirjeldatud alapeatükis 3.2.

Ventura Systemsi puhul on mehhanismi mõõde suur probleem, mistõttu on selle paigaldamine ukseava kohale raskendatud. Kuna tootel on palju detaile, mille kuju sõltub bussi ukseavaümbruse geomeetriast, eeldab toote tellimine tootja arvates eelnevalt ca 300 h inseneride tööd, sh 3D-modelleerimist. Detailide arvukusest tulenevalt on paigaldus ning hooldus ajakulukam ja keerukam kui Masatsi süsteemi puhul. Samuti pole tõenäoline, et süsteemi paigaldaks või hooldaks iseAuto tiim. Nõuete täitmist ei olnud võimalik täiemahuliselt hinnata, kuid teada on, et uks vastab Euroopas kehtivatele standarditele ning sobib ukseava laiuse poolest iseAutosse.

Tabel 3.1. Toodete sobivuse hindamine

Tootja/mudel	Füüsiline sobivus	Hooldus/paigaldus	Nõuetele vastavus	Punktid kokku
Masats 028a	1	2	1	4
Ventura Systems	2	3	Teadmata	>5

1-hea, 2-keskmine, 3-halb. Arvestus 4-12 punkti, madalaim punktiskoor viitab otstarbekaimale lahendusele

Vähesed tootjad on motiveeritud tegelema väikeste tellimustega, mis kajastus ka selle töö puhul. See osutus valiku tegemisel määravaks. Eelneva analüüsi ning tootjatega suhtuluse põhjal osutus valituks Masatsi ukseüsteem.

3.2 Masats 028a ukseüsteemi vastavus esitatud nõuetele

Järgnevalt (Tabel 3.2) on välja toodud komponendid, mis täidavad alapeatükis 1.1 esitatud nõudeid. Nõude lahtris olevad numbrid tähistavad nimetatud alapeatükis nõude järjekorranumbrit. Kommentaarides esitatud väidete aluseks on nimetatud ukseüsteemi andmeleht [14] ja vestlus (A. Habermeyer, vestlus, 12.05.2022) tootjaga.

Tabel 3.2. Masats 028a komponentide olemasolu esitatud nõuete tätmiseks

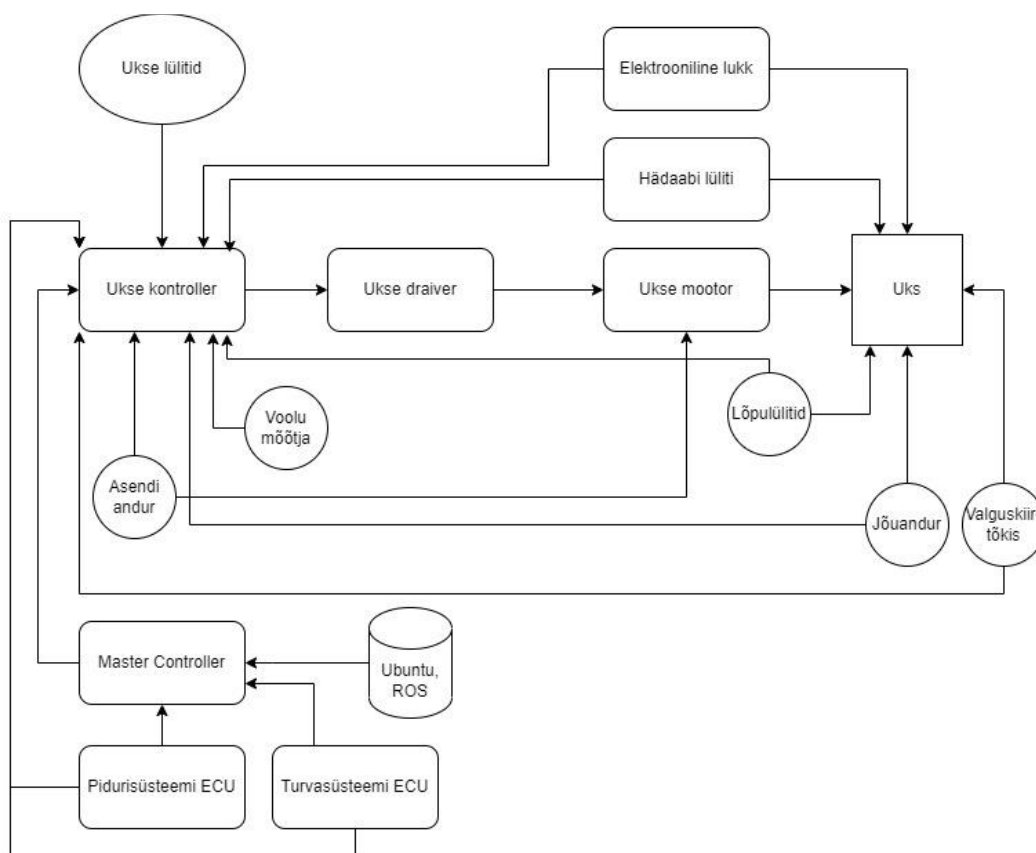
Nõue	Täidetud?	Kommentaar
1	Jah	Ukseava maksimaalne laius kuni 1350 mm.
2	Jah	Lüliti ukse küljes, mehhaaniline kang ukse kõrval.
3	Jah	Süsteemil puuduvad klassikalised kronsteinid ukse siseküljel.
4	Jah	Ukseava kõrval olevad postid ei pöörle, vähendab ohtu reisijatele.
5	Jah	Ukse avamise ja sulgemise lülitid paiknevad ukse küljes ning ukse kõrval.
6-6.1	Jah	ECU-I on sisend süüte jaoks.
7-7.4	Jah	Tootja pakub mehaanilisi lüliteid, mis vabastavad mootori pinge alt ning mille kasutamist on võimalik tagasisidestada ukseüsteemi ECU-le.
8	Jah	Olemas on andur, millega tuvastatakse ukse avatud asendit. Märkutuli paigaldatakse kontrollruumi.
9.	Jah	Füüsiline ehitus ei takista seda ning muu sõltub juhtimisloogika ülesehitusest, seega on kergesti implementeeritav.
10.	Jah	Takistust on võimalik tuvastada jõuanduri ja voolu tarbimise mõõtmisega.
11.	Jah	Süsteemi mehaanilisest ehitusest tulenevalt ei jää uks suletuks vaid elektrivarustuse olemasolu korral.

Tabel 3.2. Masats 028a komponentide olemasolu esitatud nõuete tätmiseks järg

12-13.	Jah	Ukse avatud olekut on andurite abil võimalik tuvastada.
14.	Jah	Lülititel LED-valgustus.
15.	Jah	ECU võimaldab CAN-i kuulamist ning seeläbi ukسلülititega manipuleerimist.
16.	Jah	ECU võimaldab valguskiir-tõkise ühendust.
17.	Jah	ECU võimaldab valguskiir-tõkise ühendust, seega juhtimisalgorütmiga tehtav.
18.	Jah	Ukselülitile vajutades bussis või juhtpuldil on võimalik ukсед sulgemise asemel avada.
19.	Jah	Võimalik lahendada juhtimiskeskusesse paigaldatava märgutule abil.
20-22.		Ei sõltu ukSESüsteemist.
23.	Jah	Süsteemi geomeetria pannakse paika eeltöö käigus. Uksed ja mehhanism valmistatakse vastavalt riigis, kus sõiduk asub, kehtivatele nõuetele.
24.	Jah	Ei ole bussi sisse ulatuvaid suuremõõtmelisi komponente.
25.	Jah	Tootja sõnul peab süsteem vastu temperatuuridele kuni -30 °C.
26.	Jah	Lukustusmehhanism on olemas, süüte asendi sisend ECU-l olemas.

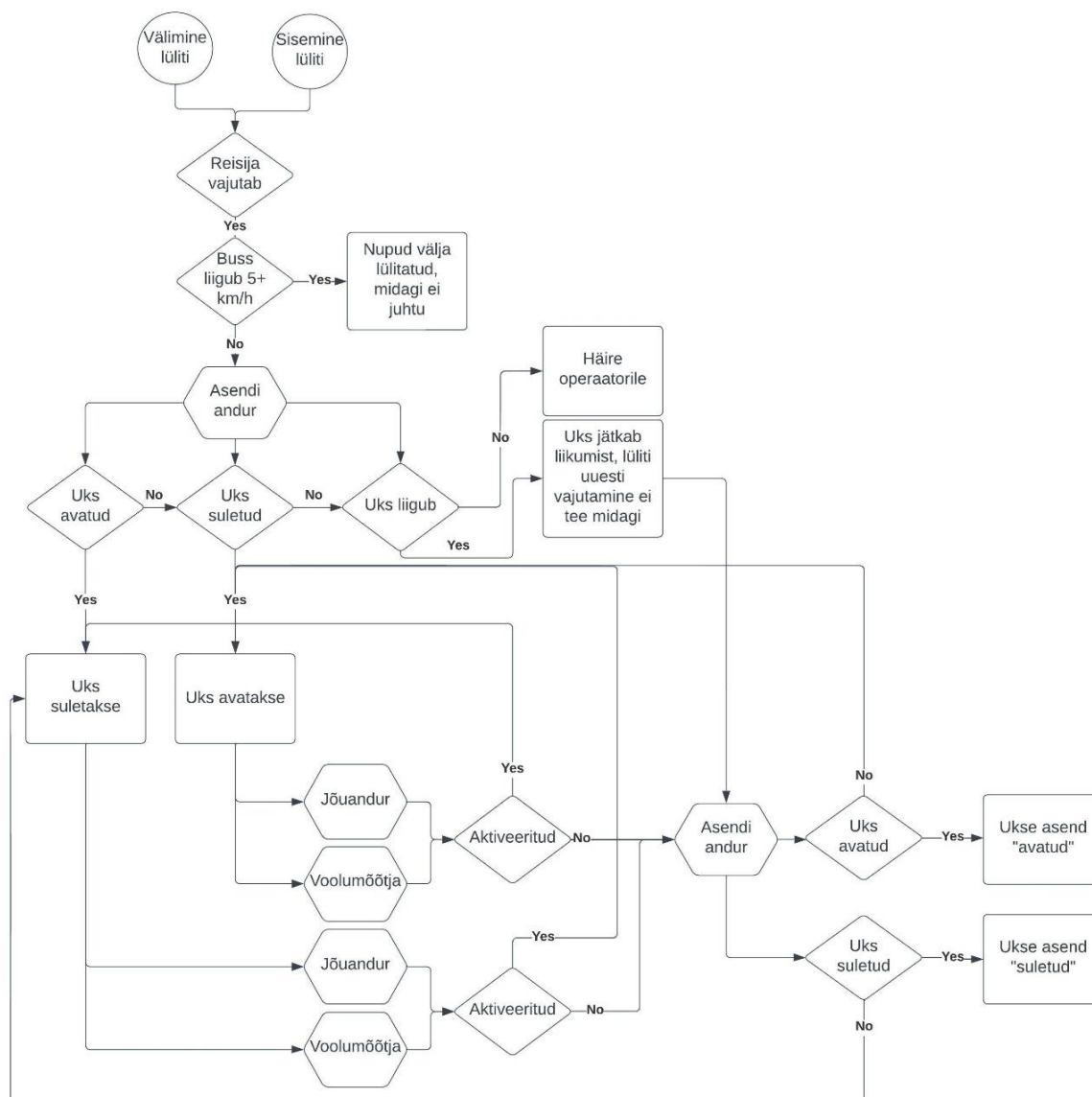
4. SÜSTEEMI JUHTIMISLOOGIKA, KOMPONENDID ELEKTRISKEEM

IA2 ukseüsteemi juhib elektrooniline juhtmoodul (ECU), mis kuulab CAN võrku ning saab selle kaudu peakontrollerilt (*master controller*) ning teistelt kontrolleritelt infot. Ukseüsteemi ECU juhib saadud signaalide põhjal ukse *driver*-it, millega juhitakse uksemootori tööd[3]. Uksekontroller jälgib ka lõpulüliteid, millest saadakse signaal, kui uks on sulgemise või avanemise lõppfaasis, sel juhul aeglustatakse mootori tööd ning alates signaali saamise hetkest töötab mootor veel vastavalt seadistatud aja, kuni uks on täielikult sulgunud või avanenud. Lisaks piirab kontroller ka mootori voolu, juhul, kui ukse liigutamisel tekib takistus. CAN-ist eraldi on on ukse avamise ja sulgemise nupud, mis on samuti ECU-ga ühendatud. Kui uks on avatud või suletud, kajastatakse CAN-i kaudu seda olekut. Ukse kohal asuv lidar on ühendatud võrgujaoturisse ja sealt arvutisse, kus seda ROS-i abil jälgitakse. Arvuti on ethernetiga ühendatud peakontrolleriga. Bussi liikumiskiirust jälgitakse ABS-andurite abil. Anduritest saadud info edastatakse läbi pidurisüsteemi ECU CAN-võrku (H. Pikner, vestlus, 13.05.2022). IseAuto riistvara arhidektuur on kirjeldatud (Lisa 4) ning IA2 ukseüsteemiga seonduv riistvara on täpsemalt kirjeldatud (Joonis 4.1).



Joonis 4.1. IA2 ukse riistvara

Näitlikult kirjeldatud iseAuto ukse tööloogika, kui sõidetakse manuaalses režiimis ning reisija või operaator vajutab ukse avamiseks vastavat lülitit (Joonis 4.2). See skeem pole aluseks programmi koostamisele, vaid kirjeldab üldiselt juhtimisloogikat. Kui sõidetakse autonoomseses režiimis, avatakse ust vastavalt programmile siis, kui iseAuto on jõudnud bussipeatusesse. Sel juhul toimib süsteem sarnaselt, kuid programm saab alguse plokist "Reisija vajutab" ning selle asemel on "Buss on peatuses". Lisaks tekib plokk, millega kontrollitakse, kui kaua uks on peatuses avatud olnud. Kui ettenähtud aeg on möödunud, kontrollitakse uuesti ukse asendit ning alustatakse ukse sulgemist. Loogika on selle puhul sama, mis peatusesse jõudes ukse avamisel: kontrollitakse asendit, jõu- ja voolutugevuseandureid jne.



Joonis 4.2. IseAuto ukسلülite töö loogikaskeemi näide manuaalses režiimis

KOKKUVÕTE

Sõidukite ja juhiabi süsteemide kiire arengu tõttu tekib liiklusesse üha rohkem autonoomseid sõidukeid. Nende arendamisel on eriti praeguses faasis oluline keskenduda reisijate harjumuspärasele käitumisele, et üleminekuperiood oleks võimalikult kasutajasõbralik.

Tallinna Tehnikaülikooli autonoomsete sõidukite uurimisgrupi projektiga iseAuto luuakse iseAuto vanast mudelist (IA1) uut parendatud versiooni(IA2), mille üheks osaks on ka läbimõeldud ning kasutajasõbralik uksesteem. Muuhulgas peab see vastama Euroopas kehtivatele M2-B kategooria sõiduki tüübikinnituse nõuetele, et sellega oleks võimalik avalikus liikluses sõita ja reisijaid teenindada.

Selles töös kirjeldatakse mehhaniseeritud ning seeläbi ka automatiseeritud uksesteemi integreerimist IA2-le. Seda tehakse valides sobiv lahendusmeetod, võrreldes erinevaid jõuallikaid ja analüüvides turul olevaid levinuimaid teenindussõidukite uksemehhanisme. Lisaks kirjeldatakse seadusest tulenevaid nõudeid ja juhtimisloogikat, süsteemi ülesehitust ning komponente.

Lahendusmeetodite puhul võrreldi ise süsteemi ehitamist, Mercedes Sprinteri elektrilise liugukse mehhanismi integreerimist ning vastavalt iseauto parameetritele terviklahenduse sisse ostmist. Valituks osutus terviklahenduse sisse ostmine.

Jõuallikate võrdluses hinnati elektrilise, pneumaatilise ja hüdrauilise süsteemi sobivust IA2-e ning otsustati elektrilise süsteemi kasuks.

Uksemehhanismide valimisse kuulusid pöörleva juhtlatiga, liuguksel ja voldikuksel põhinevad mehhanismid. Otstarbekuse hindamisel osutusid sisuliselt võrdseks pöörleva juhtlatiga ja liuguksel põhinevad mehhanismid.

Võrreldi Masatsi ning Ventura Systemsi pakutavaid liuguksi. Mõlemal on kasutatud liuguste ning pöörleval juhtlatil põhinevate mehhanismide osi, mis teevad need ruumikasutuse poolest väga efektiivseks. Valituks osutus Masats-i 028a liugukse mudel. Tulevikus võiks lisaks keskenduda nõuetele, mis pole otseselt seotud uksesteemi ülesehitusega, vaid pigem ukse ja ülejäänud sõiduki sümbioosiga (kaugused istmetest, avariiväljapääs, käsipuude asukohad, valgustus jne) ning reisijate harjumuspärase käitumisega. Selle töö fookuses oli süsteemile kehtivate nõuete väljaselgitamine ning nendest tulenevate sobivate lahenduste leidmine, mistõttu jäi täpsemalt kirjeldamata uksesteemi elektriskeem, sh komponentidevahelised ühendused.

ABSTRACT

Because of the fast development of vehicles and driver assistance systems, the amount of autonomous vehicles on the streets is rising. Due to the current transitioning phase, it's important to focus on the habits of passengers when developing the operating algorithm of the vehicle.

The Tallinn Technology University's autonomous vehicle research group's project called iseAuto is being renewed and a new improved model is being made. An important part of the new model is the vehicle's door system, which also needs improvements. In addition, it needs to meet the European regulations of M2-B category vehicle, to be approved and allowed to operate on the streets.

The thesis explains the integration of an automated service door for the iseAuto. It's being done by selecting the rational solution method, power source and mechanism for the service door. In addition, the law regarding the door mechanism, operating algorithm and the components of the new system are being described.

For the solution method, building the system by the iseAuto team, integrating Mercedes Sprinter electric door system and ordering a ready-made kit were analyzed. The ready-made kit turned out to be selected. For the power source, electric, pneumatic and hydraulic systems were compared and electric was chosen. The mechanism was chosen from plunge doors, folding doors and sliding doors. The plunge and sliding doors turned out to be equally good options for the iseAuto.

Masats and Ventura Systems sliding service door systems were compared. Both of them have plunge and sliding door components, which make them a good choice due to the lack of space for the passengers inside the iseAuto. The Masats 028a system was selected.

In the future, the focus could be more about the overall parameters regarding the service door and the vehicle as a whole system (the distance from the doors to the seats, emergency exit, locations of handrails, lighting etc) and the habits of passengers when using public transportation. The focus of this thesis was to identify the main rules regarding the service door of an M2-B category vehicle and to choose a system that's suitable for that application. Due to that, the electrical scheme with connections between components were not thoroughly described.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] M. Kane (2022, Aprill). Global Plug-In Electric Car Sales Doubled In February 2022. Kasutatud 25. 04. 2022. [Võrgumaterjal] Saadaval: [https://insideevs.com/news/578241/global-plugin-car-sales-february2022/#:~:text=Global%20Plug%2DIn%20Electric%20Car%20Sales%20%E2%80%93%20February%202022&text=Plug%2Din%20car%20sales%3A,year\)%20and%20roughly%209%25%20share](https://insideevs.com/news/578241/global-plugin-car-sales-february2022/#:~:text=Global%20Plug%2DIn%20Electric%20Car%20Sales%20%E2%80%93%20February%202022&text=Plug%2Din%20car%20sales%3A,year)%20and%20roughly%209%25%20share)
- [2] A. Podhurst (2021, Aprill). What's teleoperation got to do with it? The connection between remote driving and autonomous vehicles. Kasutatud 25. 04. 2022. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://driveu.auto/blog/the-complete-guide-to-av-teleoperation/>
- [3] „ISEAUTO v1” (2022). [Võrgumaterjal]. Kasutatud: 02.04.2022. Saadaval: <https://iseauto.taltech.ee/tehniline/>
- [4] J. D'ALLEGRO (2022, Mai.) How Google's Self-Driving Car Will Change Everything. Kasutatud 8. 05. 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.investopedia.com/articles/investing/052014/how-googles-selfdriving-car-will-change-everything.asp#toc-basic-technology-already-in-use>
- [5] Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Euroopa Majanduskomisjoni (UNECE) eeskiri nr 107: ühtsed sätted, mis käsitlevad M2- ja M3-kategooria sõidukite tüübikinnitust seoses nimetatud sõidukite üldehitusega [2018/237]. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 08. 04. 2022. Saadaval: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX%3A42018X0237&qid=1649590245570&fbclid=IwAR2cQTXpAIg5iSqXdHxHpkmWSnznmkzCeGyEzABVkvQ4b5qGpjIc1FxzSr8>
- [6] U. Demir , "Design and Prototyping of Powered Sliding Door for Light Commercial Vehicles", International Journal of Automotive Science And Technology, vol. 5, no. 2, pp. 106-115, Jun. 2021, doi:10.30939/ijastech..871619
- [7] „Sprinter kaubik hinnakiri,” (01.07.2020). [Võrgumaterjal]. Kasutatud: 11.03.2022. Saadaval: <https://www.mercedes-benz.ee/vans/content/dam/vans/estonia/hinnakirjad/2020%2008%20Sprinter%20kaubik%20hinnakiri.pdf>
- [8] „Pneumaatika ja hüdraulika alused”. [Võrgumaterjal]. Kasutatud: 30.04.2022. Saadaval: https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/pneumaatika_ja_hudraulika_alused/?KURS_USE_TEEMAD__PNEUMAATIKA.
- [9] X. Xu, L. Chen, L. Sun ja X. Sun, „Dynamic Ride Height Adjusting Controller of ECAS Vehicle with Random Road Disturbances,” vol. 2013, pp. 1-9. Jaanuar 2013. doi:10.1155/2013/439515
- [10] R.Soots, *Hüdraulika ja hüdroseadmed*, Tallinn, Harjumaa: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2009.
- [11] BNS, „Tallinn kingib vana trammi selle kasutamiseks parima idee pakkujale,” Postimees. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.postimees.ee/4220667/tallinn-kingib-vana-trammi-selle-kasutamiseks-parima-idee-pakkujale>

[12] A. KÖSE, Y. IŞIK, „An Investigation of Working Principles and Developing Mechanical Systems of Passenger Doors of Commercial Vehicles,” Mech. Eng., vol. 6, no. 1, pp. 1-6. Märts 2019. doi: 10.14445/23488360/IJME-V6I3P101

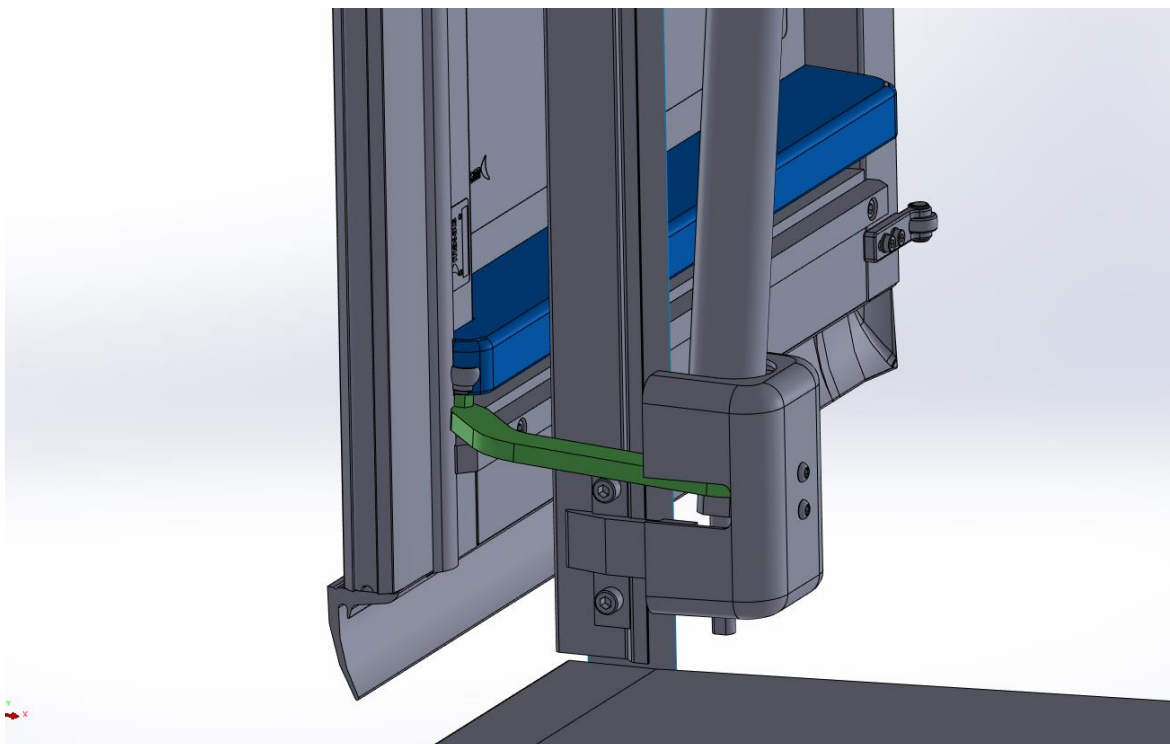
[13] M. Haav, „Elron lubab Viljandi ja Tallinna vahele pikemaid ronge,” Postimees. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sakala.postimees.ee/7249224/elron-lubab-viljandi-ja-tallinna-vahele-pikemaid-ronge>

[14] MASATS S.A., „028a Sliding plug door,” Barcelona, Hispaania. Kasutatud: 05.05.2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.masats.es/en-uk/028a-sliding-plug-door/>

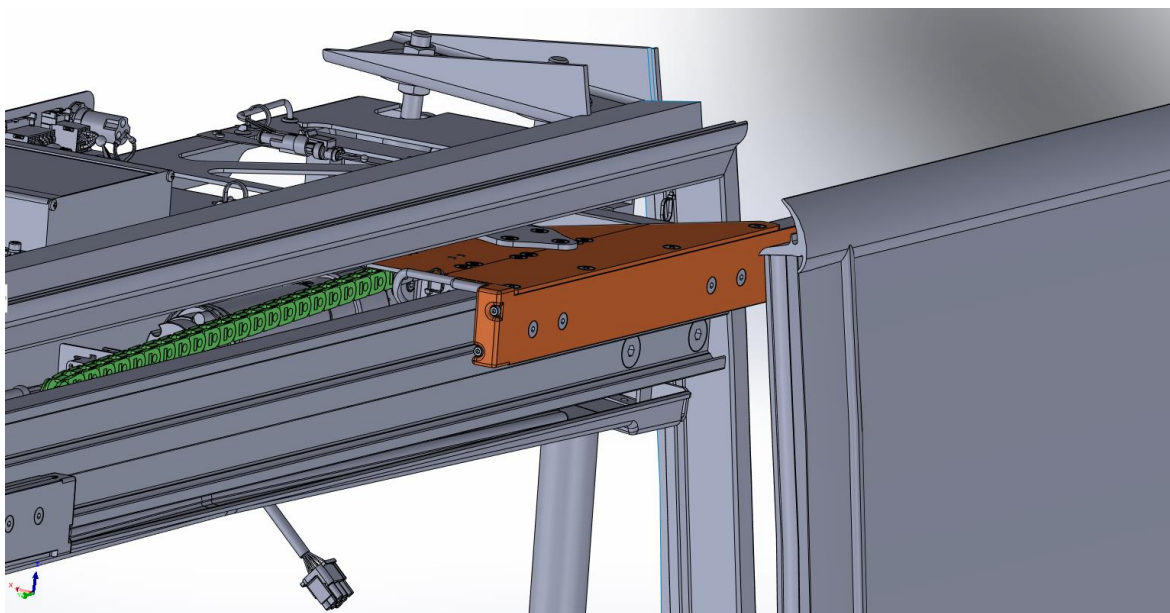
[15] - Ventura Systems CV, „Plug Sliding Door,” Bolsward, Holland. Kasutatud: 05.05.2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.venturasystems.com/plug-sliding-door/>

LISAD

Lisa 1. Masats 028a liugukse almine osa.

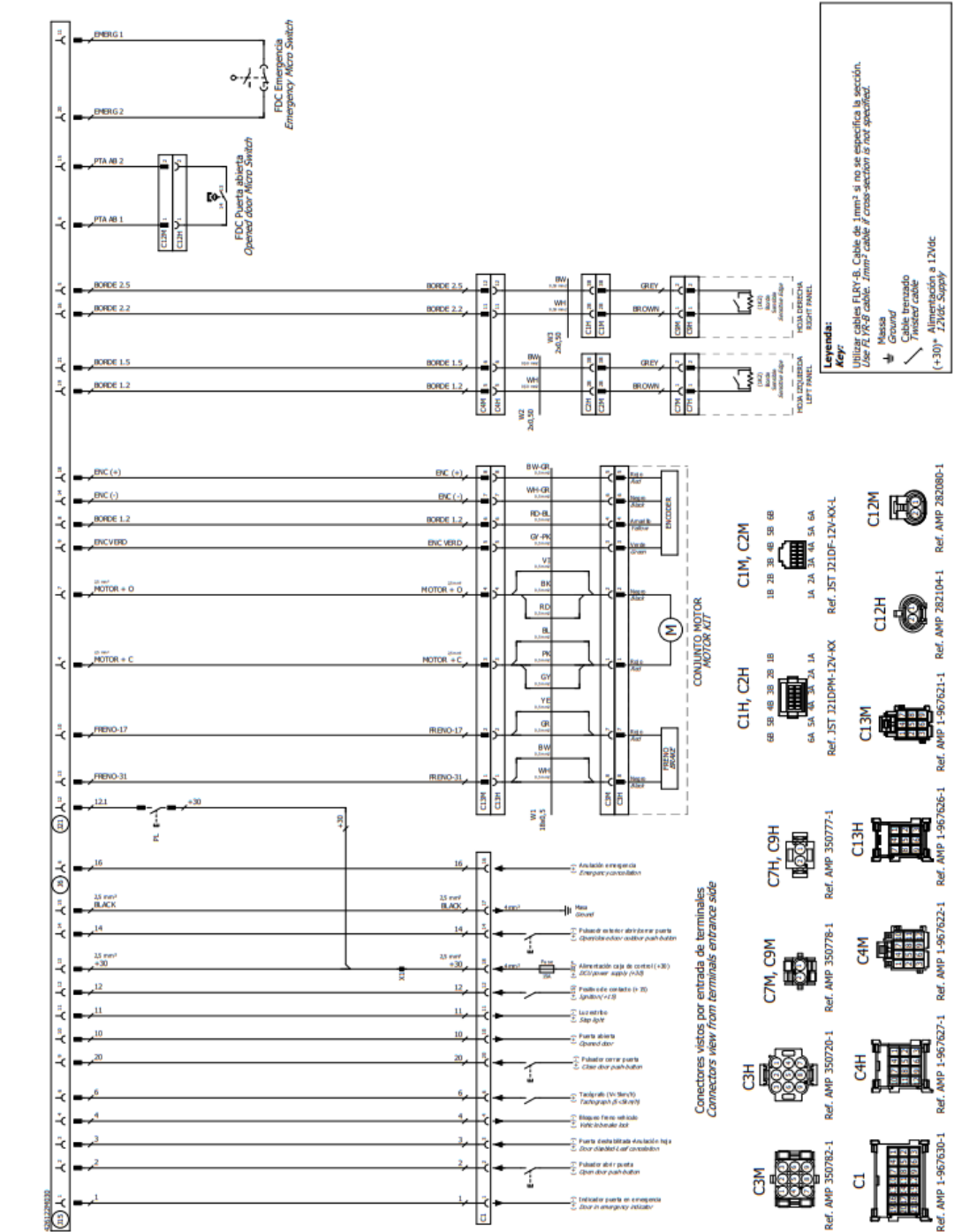


Lisa 2. Masats 028a liugukse ülemine osa.



Lisa 3. Masats 028a liugukse riistvara ühenduse skeem. [A. Habermeyer, vestlus, 12.05.2022]

ESQUEMA CONEXIONES
PUERTA 028A
028A DOOR CONNECTION DIAGRAM



Lisa 4. Väljavõte iseAuto riistvara arhitektuurist. [3]

