

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Maarika Oidekivi

**MASINA KAVATSUSE VÄLJENDAMINE JA  
TÕLGENDAMINE**

Magistritöö (30 EAP)

Arvutitehnika ja robotika eriala

Juhendaja: Karl Kruusamäe

Tartu 2020

# Abstrakt/Abstract

## Masina kavatsuse väljendamine ja tõlgendamine

Robotite ning inimeste ruumi jagamiseks ning koostöö jaoks on vajalik omavaheline suhtlus. Roboti ja inimese vahelises suhtluses on tähtis nii masinapoolne inimese mõistmine kui ka see, et inimene mõistaks roboti poolt edastatud. Selleks on vaja, et robot suudaks end inimesele arusaadaval viisil selgeks teha.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uurida erinevaid võimalusi roboti kavatsuse väljendamiseks ning selle raames koostati kirjanduse kokkuvõtte erinevatest juba välja pakutud kavatsuse väljendamine variantidest, viidi läbi küsitlus Eesti inimeste seas, et analüüsida nende arusaamist masina kavatsusest ning loodi masina mudel, mida visualiseeriti simulatsioonikeskkonnas.

Küsimustikust selgus, et Eesti inimesed ei pruugi masina poolt edastatavaid emotsioone mõista, kui kasutatakse ainult roboti silmi. Samuti selgus, et ilma eelnevate teadmisteta ei olnud inimesed võimelised sõidukite kavatsusi ära tundma, kui kasutuses olid LED-ribad või -ekraanid, projektsioonide puhul said inimesed sõiduki kavatsusest aru.

**CERCS:** T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering

**Märksõnad:** Automatiseerimine, robotika, tööstusrobotika, kavatus, autonoomsed sõidukid

## Communicating and interpreting machine intent

For humans and robots to share space and cooperate, it is necessary to communicate with each other. In the communication between a human and a robot it is important for the machine to understand the human and also for the human to understand the information transmitted by the robot. This requires, that the robot would be able to make itself clear to humans in an understandable way.

The aim of this thesis was to evaluate different approaches to communicate the intent of a machine. During the master's thesis, an overview of various options already proposed to express intent was given, a survey was conducted among Estonian people to analyze their

understanding of machine intent and a model of an autonomous car capable of communicating intent was proposed and visualised in a simulator.

The survey revealed that Estonians may not understand the emotions of a machine if only robot's eyes are used. It was also found that without prior knowledge, people were not able to understand vehicle intent when LED strips and displays were used, people recognized the intent when projections were used.

**CERCS:** T125 Automation, robotics, control engineering

**Keywords:** Automation, robotics, industrial robotics, intent, autonomous vehicles

# Sisukord

<b>ABSTRAKT/ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>JOONISTE LOETELU</b> .....	<b>6</b>
<b>TABELITE LOETELU</b> .....	<b>8</b>
<b>SISSEJUHATUS</b> .....	<b>9</b>
<b>1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE</b> .....	<b>11</b>
1.1 SUHTLUS JA EMOTSIOONID.....	11
1.2 ROBOTITE KAVATSUS .....	12
1.2.1 Varasemad uuringud.....	13
1.3 AUTONOOMSED SÕIDUKID .....	17
1.3.1 Autonoomse sõiduki kavatsus .....	17
1.3.2 LED-ekraanid.....	19
1.3.3 LED-ribad.....	21
1.3.4 Silmad.....	22
1.3.5 Meetodid inimeste autonoomse sõiduki kavatsuse mõistmise hindamiseks .....	23
<b>2 METOODIKA</b> .....	<b>25</b>
2.1 KÜSIMUSTIK .....	25
<b>3 TULEMUSED</b> .....	<b>28</b>
3.1 EMOTSIOONIDE HINDAMINE .....	28
3.2 AUTONOOMSETE SÕIDUKITE KAVATSUSE EDASTAMISE HINDAMINE .....	31
<b>4 MUDEL MASINA KAVATSUSE VÄLJENDAMISEKS NING SIMULATSIOON</b> .....	<b>34</b>
4.1 MUDEL MASINA KAVATSUSE VÄLJENDAMISEKS .....	34
4.2 SIMULATSIOON.....	36
<b>5 ARUTELU</b> .....	<b>38</b>
<b>KOKKUVÕTE</b> .....	<b>40</b>

<b>TÄNUAVALDUSED .....</b>	<b>41</b>
<b>VIITED .....</b>	<b>42</b>
<b>LISAD .....</b>	<b>47</b>
<i>Lisa 1</i> .....	47
<b>LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS .....</b>	<b>48</b>

# Jooniste loetelu

<b>Joonis 1.</b> <i>Baxter robot</i> [14] .....	13
<b>Joonis 2.</b> <i>Leonardo</i> [15].....	14
<b>Joonis 3.</b> <i>Andersen jt katse: (a) katse ülesehitus, (b) projitseeritud töökäsk</i> [12] .....	15
<b>Joonis 4.</b> <i>Aubert jt katse ülesehitus</i> [16].....	16
<b>Joonis 5.</b> <i>Matthews jt poolt kasutatud süsteem</i> [25].....	19
<b>Joonis 6.</b> <i>Holländer jt katses kasutatud kontseptsioonid: (a) naerataav auto, (b) foori värvid, (c) robot</i> [26] .....	20
<b>Joonis 7.</b> <i>Razmi Rad jt kontseptsioon</i> [22].....	21
<b>Joonis 8.</b> <i>Habibovic jt kontseptsioon</i> [23] .....	22
<b>Joonis 9.</b> <i>Chang jt silmadega auto</i> [29].....	23
<b>Joonis 10.</b> <i>Wizard-of-Oz meetodid: (a) autoistmeks rietatud autojuht</i> [19], <i>(b) võltsrool</i> [30] .....	24
<b>Joonis 11.</b> <i>Emotsioonid: kurbus (a) Cozmo</i> [32], <i>(b) Baxter</i> [33], <i>(c) Zenbo</i> [34] ja <i>(d) Tapia</i> [35].....	26
<b>Joonis 12.</b> <i>Mercedes-Benz'i isesõitev auto</i> [36].....	27
<b>Joonis 13.</b> <i>Fordi isesõitev auto</i> [37].....	27
<b>Joonis 14.</b> <i>Robot 1, Cozmo emotsioonid</i> .....	28
<b>Joonis 15.</b> <i>Robot 2, Baxter emotsioonid</i> .....	29
<b>Joonis 16.</b> <i>Robot 3, Zenbo emotsioonid</i> .....	30
<b>Joonis 17.</b> <i>Robot 4, Tapia emotsioonid</i> .....	31
<b>Joonis 18.</b> <i>Autonoomsed sõidukid, olukord 1</i> .....	32

<b>Joonis 19.</b> <i>Autonoomsed sõidukid, olukord 2</i> .....	33
<b>Joonis 20.</b> <i>Sõiduk annab jalakäijale teed</i> .....	37
<b>Joonis 21.</b> <i>Sõiduk alustab liikumist</i> .....	37
<b>Joonis 22.</b> <i>Sõiduk autonoomses režiimis</i> .....	37

# Tabelite loetelu

**Tabel 1.** *Küsimustikus kasutatud emotsioonid* ..... 25

**Tabel 2.** *Mudelis kasutatavad sõidurežiimid* ..... 36

# Sissejuhatus

Inimestevahelises suhtluses mängivad tavaliselt rolli mitmed erinevad aspektid. Enda oleku ning emotsioonide selgestegemine on mitmekihiline protsess: kasutatakse sõnu, hääletooni, kehakeelt, näoilmeid jne. Inimese ning roboti vahelises suhtluses on tähtis nii masinapoolne inimese mõistmine kui ka see, et inimene mõistaks roboti poolt väljendatut. Selleks on aga vaja, et robot suudaks selle inimesele arusaadaval viisil selgeks teha.

Robotite ja inimeste vahelist kommunikatsiooni on vaja näiteks sotsiaalselt interaktiivsete robotite puhul, mille eesmärk on abistada või sotsiaalset tuge pakkuda. Samuti on koostöö vajadus tekkinud erinevates tootmisettevõtetes, kus liinidel töötavad robotid on hetkel enamasti veel turvalisuse kaalutlustel inimtöolistest eraldatud. Kui robotid suudaksid enda käike ja olekut piisavalt hästi väljendada, oleks võimalik robotitega tööruumi ning -ülesannete jagamine. Lisaks on autonoomsete sõidukite liiklusesse toomise püüdlustega tekkinud ka teine suurem liik masinaid, mis peavad turvalisuse ning kiire liiklusvoo tagamiseks enda kavatsust kaasliiklejatele väljendama.

Green jt on välja toonud, et inimese ja roboti vaheliseks koostööks on vaja kolme liiki kommunikatsioonikanaleid: audiopõhine, keskkonnapõhine ja visuaalne kanal. Sotsiaalne robot peaks olema võimeline mõistma audio sisendit ning väljendama end läbi kõne. Visuaalne kanal peaks aitama robotil mõista ja interpreteerida inimese poolt antud vihjeid ning väljendada ennast mitteverbaalsete vihjete abil, mida inimene mõistab. Läbi keskkonnapõhise kanali peaks robot mõistma objekte ning nende asetust ruumis, samuti peaks robot olema ise võimeline objekte manipuleerima. Inimese ja roboti koostööks on vaja, et inimene mõistaks, millega robot tegeleb, et vältida kokkupõrkeid ning kahju robotikasüsteemidele. [1]

Antud suhtluskanalite kasutusel peab silmas pidama, et iga viis ei sobi igat tüüpi robotiga. Näiteks inimesesarnaste humanoidroboti puhul on sobiv kasutada kõiki meetodeid, mida inimesed omavahelisel suhtlusel igapäevaselt kasutavad, tööstusrobotite puhul ei pruugi aga lärmaka keskkonna tõttu häälest kasu olla või autonoomsete sõidukite korral võib liiga paljude erinevate vahendite kasutamine kaasliiklejaid häirida ning seeläbi õnnetusi põhjustada.

Kuigi robotite kavatsuse väljendamise kõige tähtsam põhjus on turvalisus, on robotite puhul tähtis ka inimese usalduse võitmine. Näiteks ei pruugi inimene autonoomse sõiduki puhul ka

siis tee peale astuda, kui ta selle poolt edastatavaid märke 100% mõistab või sotsiaalse roboti teenuseid kasutada, kuna ta tunneb hirmu uue, tema jaoks võõra tehnoloogia vastu.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida erinevaid võimalusi roboti kavatsuse väljendamiseks ning välja töötada roboti mudel, mis suudab enda kavatsusi ümbritsevatele inimestele selgeks teha.

Magistritöö raames koostatakse kirjanduse kokkuvõtte erinevatest juba välja pakutud kavatsuse väljendamise variantidest, viiakse läbi küsitlus Eesti inimeste seas, et analüüsida nende arusaamist masina kavatsusest ning töötati välja tehniline mudel masina kavatsuse väljendamiseks, mida visualiseeriti simulatsioonikeskkonnas.

# 1 Kirjanduse ülevaade

## 1.1 Suhtlus ja emotsioonid

Inimesed kasutavad omavahelises suhtluses sotsiaalseid vihjeid ning sotsiaalseid signaale. Sotsiaalseid vihjeid saab defineerida kui bioloogiliselt ja füüsiliselt määratletud omadusi, mis jäävad vaatlejale silma, kuna need võivad edastada kasulikku teavet. Sotsiaalsed signaalid on tõlgendused eelmainitud vihjetest. Näiteks on sotsiaalsed vihjed naeratus, peanoogutus või kätepositsioon ning sotsiaalsed signaalid nõustumine või empaatia. [2] Emotsiooni mõistmine on võime järelda teise inimese emotsionaalset seisundit akustiliste ning visuaalsete omaduste põhjal nagu näoilme või hääled [3]. Brothersi sõnul on teise inimese kavatsuse mõistmiseks vaja teada tema emotsionaalset seisundit, kehahoiakut ning liikumise suunda [4]. Ka Mier jt poolt läbi viidud uuring tõi välja, et emotsioonide ning kavatsuse mõistmine on tihedalt seotud [3].

Emotsioonide klassifitseerimisel on kõige laialdasemalt tuntud 1970ndatel aastatel Ameerika psühholoog Paul Ekmani välja toodud 6 põhiemotsiooniga emotsioonimudel. Tema sõnul on emotsioonideks, mida peaksid ühtmoodi tõlgendama kõik inimesed, olenemata nende kultuurist või rahvusest järgmised: rõõm, kurbus, viha, hirm, vastikus ja üllatus [5]. Samas on teistest uuringutest leitud, et inimesed mõistavad samast kultuurist päris inimeste näoilmeid paremini kui teistest kultuuriruumidest pärit inimeste näoilmeid ning kogemus mängib emotsiooni määramisel rolli [6].

Emotsioonide väljendamiseks digitaalseid kanaleid pidi kasutatakse tihti emotikone, mis on lihtsaks viisiks näiteks arvutisuhtlusel tekstile emotsiooni lisamisel. Kuna nende kasutamine on populaarne inimeste seas, kes omavad arvutit ja internetti, on võimalik, et nendest arusaamine on inimgruppide järgi erinev. Emotikonidest arusaamise erinevustele viitab ka Yuki jt poolt läbi viidud uuring, millest selgus, et idast pärit inimesed lähtuvad emotikonide ja emotsioonide mõistmisel rohkem silma kujust, samal ajal kui lääne inimesed on tundlikumad suu kuju muutustele [7].

Takahashi jt poolt 2017. aastal läbi viidud uuringust ilmnes, et erinevatest kultuuriruumidest (Kamerun, Jaapan ja Tansaania) pärit inimesed mõistsid inimemotsioone üheselt, ent digitaalsete sümbolite tõlgendamisel tekkis neil erinevusi. Näiteks mõistsid Jaapanist pärit

katsealused emotikone sama hästi kui inimemotsioone, samal ajal kui Kamerunist ning Tansaaniast pärit katsealused emotikonide tähendust ei mõistnud. Samuti tõid uuringu läbiviijad välja, et Kamerunist ning Tansaaniast pärit inimeste puhul ei leitud emotikonide mõistmises erinevusi linnast pärit inimeste vahel, kes varasemalt Facebooki kasutanud olid ning emotikonidega seeläbi varem kokku puutunud olid, ning mujalt pärit inimeste vahel. [8]

2018. aastal viidi läbi uuring, mis uuris seost emotikonidest aru saamise ja nende kasutamise vahel [9]. Uuringust osalejad grupeeriti emotikonide mõistmise järgi (inimesed, kes mõistavad emotikone hästi ning inimesed, kes mõistavad emotikone halvemini) ning seejärel uuriti neilt küsimustiku vahendusel, kui palju nad emotikone igapäevaselt kasutavad ning mis vahendeid nad nende kasutamiseks tarvitavad. Küsimustikust selgus, et emotikonidest aru saamine ning nende kasutamine varasemas elus on tugevalt seotud. Katsealused, kes kasutasid emotikone tihti ning tegid seda nutitelefonide ning arvutite vahendusel, said emotikonidest paremini aru kui katsealused, kes neid varem kasutanud polnud. [9]

## **1.2 Robotite kavatsus**

Roboti kavatsuse edastamise üks kõige tähtsamaid väljakutseid on roboti oleku näitamine, seda eriti olukorras, kus robot on hõivatud „mõtlemisega“. On loogiline, et robot seisab paigal, kui ta tegeleb trajektooride arvutamisega või liikumise planeerimisega, ent roboti järsk üleminek täielikult peatunud olekust tegutsevale olekule võib inimesi ehmatada või nende lähedalolu korras ka inimeste jaoks ohtlikuks kujuneda.[10]

Breazeal jt tõid välja, et robotid saavad oma kavatsuse väljendamiseks kasutada kahte liiki mitteverbaalset suhtlust: ilmutatud ning ilmutamata [11]. Ilmutatud kujul suheldes saab robot jagada mingit spetsiifilist infokildu, näiteks noogutada või viidata objektile. Ilmutamata kujul ei edastata infot tahtlikult, vaid see kaasneb mingi kindla käitumisega, näiteks enne kindla objekti võtmist selle poole pilgu pööramine. Ilmutamata kommunikatsiooni positiivsetest pooltest toodi välja, et see muudab roboti inimese jaoks mõistetavamaks ning etteaimatavamaks. Samuti leiti, et seeläbi muutub ülesannete täitmine efektiivsemaks, kuna inimene saab tänu roboti poolt edastatud vihjetele oma käitumist muuta ning selle roboti käitumise järgi sättida [11]

Roboti kavatsuse väljendamist on eriti vaja tööstussektoris, kus on laialdaselt kasutusel tootmisliinidel töötavad robotid, mis teevad kindlaid ülesandeid ning mis on turvalisuse kaalutlustel töölistest eraldatud. Väiksemate tootmisettevõtete puhul oleksid vajalikud aga paindlikumad tootmisliinid, mis hõlmaksid endas intelligentseid roboteid, mis ei teostaks ainult väikeseid korduvaid ülesandeid, vaid suudaksid täita ka erinevaid keerulisemaid käske. Antud keskkonda sobivad inimesega koostööd tegevad robotid ei peaks inimesest füüsiliselt eraldatud olema, vaid saaksid tööruumi jagada [12]. Robotite kavatsust nähtavaks tehes oleks võimalik suurendada inimese võimet robotitega koostööd teha ning seeläbi igapäevaseid tööülesandeid koordineerida.[10]

### 1.2.1 Varasemad uuringud

Tööstusliinidel kasutatav robot on näiteks Rethink Roboticsi poolt loodud Baxter (Joonis 1) [13], mis on disainitud nii, et see suudaks inimestega koostööd teha ilma täiendavaid turvameetmeid vajamata. Baxter kasutab oma inimkaastöölisega suhtlemisel kehaliigutusi ning ekraanil kuvatavaid näoilmeid. Näiteks annab Baxter peale uue töökäsu õppimist noogutamisega märku, et ta on sellest aru saanud või kuvab segaduses näo, kui ta millestki aru ei saa. Näitamaks, et Baxter hetkel tööülesannet täidab, kuvab ta keskendunud näoilme ning kavatsuse väljendamiseks suunab ta pilgu objekti poole, millega ta tegelema hakkab või suunas, kuhu ta objekti asetab.[13]



Joonis 1. *Baxter robot* [14]

Brezeal jt on oma uuringutes kasutanud robotit nimega Leonardo [15]. Leonardo on disainitud elulähedase loomuga, et ta jätaks inimestele positiivse kuvandi. Ta noogutab peaga, et kinnitust anda ning raputab sellega, et eitust väljendada, kehitab segaduses pilguga õlgu, kui ta vajab täpsustusi ning vaatab objekti poole, mida talle mainitakse, et teada anda, et ta on selle ära identifitseerinud. Et väljendada, et inimese kord tegutseda on, loob Leonardo inimesega silmkontakti ning tõstab oma kulme. Kui inimene räägib, vaatab robot tähelepanelikult tema poole ja kergitab oma kõrvu, et inimene mõistaks, et teda kuulatakse.[15]



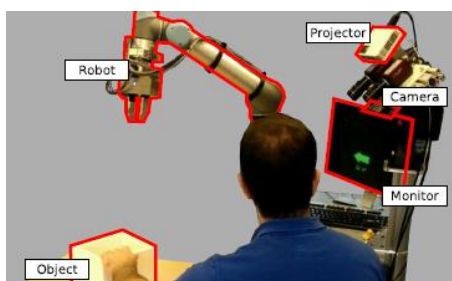
**Joonis 2.** *Leonardo* [15]

2005. aastal viisid Brezeal jt Leonardot kasutades läbi uuringu, et välja selgitada, kas ilmutatud suhtlusest piisab selleks, et inimene roboti kavatsusest täielikult aru saaks või on lisaks vaja ka ilmutamata kujul suhtlust [11]. Selleks viidi läbi harjutused, kus robot ning inimene koos ülesandeid täitma pidid. Ainult ilmutatud kujul suhtluse puhul vastas robot otsestele inimese küsimustele peanoogutuste ja -raputustega, roboti pilk ei andnud inimesele vihjeid selle kohta, kas ta on inimesele keskendunud või ei. Roboti otsesele käitumisele eelnes objekti poole vaatamine. Juhul, kus oli kaasatud lisaks ilmutamata kujul suhtlus, kasutati ka roboti näoilmeid (näiteks segadustunde näitamiseks küsiv näoilme) ning robot muutis enne tegevust kehahoiakut, pilgutas silmi ning muutis pilgu suunda. Läbiviidud katsetest selgus, et roboti ning inimese koostööl tekkis vigu vähem olukorras, kus olid kaasatud mõlemad suhtlusviisid (ainult ilmutatud suhtlust kasutades oli vigu umbes 2 korda rohkem). Autorid pakkusid välja, et tulemuse võis põhjustada see, et inimesed said ilmutamata vihjetest piisavalt palju infot roboti oleku kohta ning suutsid aru saada, millal potentsiaalselt viga tekkima hakkas ning selle juba enne tekkimist parandada. [11]

Andersen jt pakkusid välja, et tööstuses kasutatavad robotid võiksid enda kavatsuse väljendamiseks info tööpinnale projitseerida [12]. Projitseerimise kaudu saaks inimesele esitada roboti oleku, käitumisjuhised või info poolelioleva ülesande kohta. Et kindlaks teha, kas antud meetod tõhus on, viidi läbi kasutajauuring, kus:

- info projitseeriti,
- info edastati monitori kaudu,
- info anti inimesele ette teksti kujul enne katse algust.[12]

Iga katsealune pidi koostöös robotiga täitma 3 ülesannet, mis koosnesid 15 alaülesandest (Joonis 3a). Projitseerimise korral kuvati info ülesande lahendamiseks katseobjekti projektoripoolsetele külgedele. Infot uuendati objekti keeramise ajal (Joonis 3b). Et katsealusele teada anda, et ülesanne on täidetud, projitseeriti objektile linnuke. Teisel juhul oli info kuvatud roboti külge ühendatud monitorile ning ülesande jaoks vajalikud alad olid laua peale numbritega märgitud. Teksti kasutades oli terve ülesanne kirja pandud nummerdatud listina ning anti katsealusele kätte enne ülesandega alustamist. Ülesande jaoks vajalikud alad olid laua peal numbritega märgitud ning lehel olevad illustratsioonid andsid näpunäited selle kohta, kuidas katseobjekt keeratud olema peab. Kasutajauuringust selgus, et inimesed eelistasid välja pakutud lahendustest projektorit. Antud meetodit kasutades said kõik katsealused aru, mida nad ülesande täitmiseks tegema peavad. Monitori puhul oli mitmel katsealusel raskusi seostamaks ekraanil näidatud vihjeid objekti suunaga. Kuigi enamus katseisikutest mõtles lõpuks iseseisvalt välja, mida nad tegema peavad, tuli kolme neist assisteerida. Teksti puhul jäi katsealustel tagasisisest väheseks: mitmed neist küsisid abi, et teada saada, kas nad on ülesanded õigesti täitnud ning mõned neist lahendasid ülesande valesti. [12]



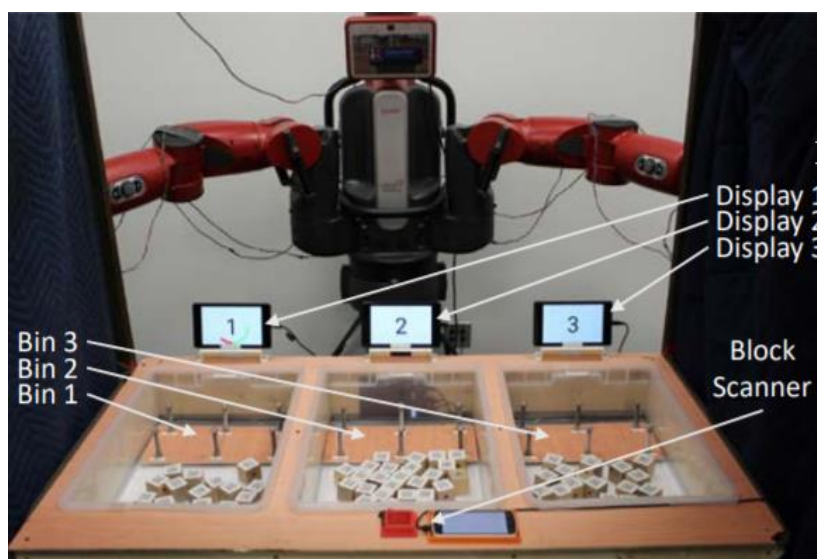
(a)



(b)

**Joonis 3.** Andersen jt katse: (a) katse ülesehitus, (b) projitseeritud töökäsk [12]

Aubert jt viisid läbi uuringu, mille eesmärgiks oli välja selgitada, kas roboti kavatsuse edastamine aitab inimesest meeskonnaliikme ning roboti vahel sujuvamalt tööülesandeid koordineerida ja kui aitab, siis milline meetod oleks kavatsuse edastamiseks parim. Uuringu läbi viimiseks kasutati robotit Baxter [13], millega katsealused pidid koos täitma lihtsaid montaažiülesandeid ning samal ajal vältima konflikte (konfliktiks peeti olukorda, kus robot ja inimene tegelevad samal aja sama koostalusega). Eksperimendi käigus (Joonis 4) hinnati kahte kavatsuse edastamise meetodit (liikumist ja ekraani) ning mängiti läbi neli olukorda: kavatsust ei edastata, kavatsust edastatakse ainult liikumisega, kavatsust edastatakse ainult ekraani kaudu ning kavatsust edastatakse nii liikumise kui ekraaniga. Liikumisega kavatsuse edastamiseks jagati roboti liikumine kolme faasi (karbi poole liikumine, karpi asetamine ning karbist eemaldumine), samuti ei alustanud robot kohe soovitud tegevusega vaid ootas enne veidi, et tema kaastööline mõistaks, mis objektiga ta tööd alustab. Ekraaniga kavatsuse edastamisel kasutati värvi muutvat progressiriba (värvideks olid roheline ja punane), mis loendas konfliktini jäävat aega ning andis konfliktist teada sellega, et riba muutus täielikult punaseks. Ekraani kõrval kasutati ka häälsignaale, mis andsid teada, millise karbi juurde robot liikumas on. Uuringust selgus, et kavatsuse edastamine muutis inimese ning roboti tööülesannete koordineerimise ning tööülesannete vahetamise kiiremaks, samas selgus, et ainult ühekülgselt kavatsuse edastamist kasutades võib infost inimese jaoks väheks jääda. Näiteks jäi ainult ekraani kasutamisel konfliktide arv samaks sellega, kui kavatsust üldse mitte näidata ning ainult liikumist kasutades ei paranenud tiimi sujuv tööülesannete koordineerimine. [16]



**Joonis 4.** *Aubert jt katse ülesehitus* [16]

## 1.3 Autonoomsed sõidukid

Seoses autonoomsete sõidukite peatse liiklusesse lisandumisega on muutumas aktuaalseks autojuhi ning jalakäija vahelisele mitteverbaalse suhtlusele alternatiivide otsimine selleks, et jalakäija saaks autonoomse sõiduki kavatsustest aru.

Turvaliseks teeületuseks on Liiklusseaduses välja toodud reeglid selleks, kuidas jalakäija teeületusel käituma peab ning millal tal eesõigus on [17]:

1. Reguleeritaval ristmikul või ülekäigurajal peab jalakäija sõidutee ületamisel juhinduma foorituledest, reguleeriija olemasolul aga tema märguannetest.
2. Reguleerimata ülekäigurajal peab jalakäija enne sõidutee ületamist hindama läheneva sõiduki kaugust ja kiirust, andma juhile võimaluse kiirust sujuvalt vähendada või seisma jääda ja veenduma, et juht on teda märganud ning sõidutee ületamine on ohutu.
3. Kui reguleerimata kohas sõiduteed ületav jalakäija on seisma jäänud sõidukile tee andmiseks, võib ta edasi minna alles siis, kui on veendunud ülemineku ohutuses.[17]

Erinevatest uuringutest on leitud, et jalakäija teeületusotsuseid mõjutavad mitmed tegurid. Näiteks võtab jalakäija oma teeületusotsuseid tehes arvesse seda, kui suur jalakäijate grupp on hetkel koos temaga teed ületamas (mida suurem on grupp, seda julgem on jalakäija ning seda suurema tõenäosusega ületab ta teed nii, et ta ei kontrolli ümbritsevat liiklust) või tema käitumist mõjutab see, kui läheduses on seaduseid eirav jalakäija, kuna ta võib vale käitumist imiteerima hakata [18]. Lisaks mõjutavad otsustamist jalakäija sugu, vanus, kiirus, varasemad kogemused jne [19].

2017. aastal tehtud uuringust selgus, et umbes 90% jalakäijatest vaatab enne sõidutee ületust läheneva sõiduki poole. Samuti leiti, et sõidutee ületamisel mängivad rolli ka näiteks autojuhi poolne vastureaktsioon, sõiduki kiirus ning kaugus ülekäigurajast jne. [20]

### 1.3.1 Autonoomse sõiduki kavatsus

Autonoomse sõiduki kavatsuse väljendamisel on kaks suunda: kavatsuse väljendamine ilmutatud kujul ning kavatsuse väljendamine ilmutamata kujul. Ilmutatud kujul kavatsuse edasi andmisel kasutatakse tavaliselt ekraane, tulesid ning projektoreid. Ilmutamata kujul annavad sõiduki kavatsusest märku näiteks sõiduki aeglustuv liikumine või mootori hääl. Kuigi

ilmutatud kujul kavatsust edasi andes on lisaks sõiduki liikumismustritele võimalik juurde anda lisainformatsiooni, on leitud, et sellel on omad miinused. Näiteks on valgusmustreid ja projektsioone ereda päikesega raske näha ning ekraanid võivad jalakäijate tähelepanu teistest tähtsatest ohumärkidest eemale suunata või inimestes segadust tekitada. [21]

Kavatsuse väljendamiseks kasutatava liidese disainimisel tuleks arvestada, et see oleks lihtne ja arusaadav ning inimesed suudaksid selle kiiresti omaks võtta. Mitmed uuringud on näidanud, et inimesed suhtuvad autonoomsetesse sõidukitesse skeptiliselt ning neil on raske selliseid sõidukeid usaldada isegi siis kui neile on eelnevalt masina funktsioone tutvustatud ning nad on masinaga mitmeid kordi kokku puutunud. Samas on uuringud ka näidanud, et peale tutvumist ning eelteadmiste kogumist on inimesed uuele tehnoloogiale vastuvõtlikumad ning ületavad suurema tõenäosusega teed olukorras, kus neid peab üle laskma autonoomne sõiduk. [22]

Habibovic jt on jalakäijate ning autonoomsete sõidukite vahelises suhtluses välja toonud järgmised vajadused [23]:

1. Jalakäija jaoks peab olema lihtsasti arusaadav, kas sõiduk on automaatses või manuaalses sõidurežiimis, kuna seeläbi säilib silmkontakti positiivne efekt manuaalselt juhitud sõiduki puhul ning välditakse võimalikke ohtlikke situatsioone, mis võivad tekkida autonoomsest sõidukist valesi välja loetud vihjete puhul (mis tekkisid, kuna jalakäija ei teadnud, et rooli taga ei ole autojuhti).
2. Jalakäijad peavad saama informatsiooni autonoomse sõiduki tulevaste käikude kohta, autonoomse sõiduki hetkeoleku näitamiseks ei ole vajadust, kuna selle on võimalik välja lugeda sõiduki liikumisest.
3. Jalakäijad peavad saama kätte piisavalt informatsiooni, et neil ei oleks vaja silmkontakti otsida.
4. Jalakäijad ei tohiks saada täpseid käsklusi selle kohta, millal ning kus teed ületada.
5. Jalakäija ning autonoomse sõiduki kohtumised peaksid olema rahulikud ning stressivabad.[23]

Hetkel enamtuntud ning -kasutatud meetodid autonoomse sõiduki kavatsuse väljendamiseks on LED-ekraanid (silmad, suu, tekst vms), valgusribad või projektorid [24].

### 1.3.2 LED-ekraanid

Matthews jt pakkusid välja süsteemi, mis kasutab LED-ekraani, mis kuvab jalakäijale kindla käskluse selle kohta, kuidas ta käituma peab (Joonis 5) [25]. Disaini puhul peeti oluliseks, et inimesed tunneksid ennast uue tehnoloogia juures mugavalt ning seetõttu hoiduti inimesesarnastest tunnustest ning üritati kasutada seda, millega inimene juba tuttav on. Et vältida segadust, hoiti kuvatavad tekstid selge ning lühikesena. Eksperimentidest selgus, et liides aitas potentsiaalselt ohtlikke olukordi 38% võrra paremini lahendada, samuti selgus, et inimeste mugavusaste sõiduki juures sõltus suuresti sellest, kui palju eelnevat informatsiooni nad sõiduki kohta omasid ning kui kaugel nad sõidukist asusid. [25]



**Joonis 5.** *Matthews jt poolt kasutatud süsteem* [25]

Holländer jt uurisid kolme erinevat LED ekraani kontseptsiooni, mis kõik kasutasid kahte režiimi: tavaolek ja jalakäijale tee andmine [26]. Esimeseks kasutati Semco naeratavat auto kontseptsiooni (Joonis 6a), mille iluvõre asukohale paigutati suud kujutav ekraan: tavaolekus oli suu kujuks horisontaalne kriips, kui süsteem kavatses jalakäija üle tee lasta, muutus joon naeratuseks. Teiseks ekraaniks kasutati varem Fridman jt [27] poolt tehtud uuringus parimaks tunnustatud kuvarit, mis kujutas rohelist mehikest, kui inimesed võisid liikuda ning kollast kätt, kui inimesed pidid ootama (Joonis 6b). Ka see ekraan oli paigutatud auto iluvõrele. Kolmandaks kontseptsiooniks oli autorite endi poolt välja mõeldud roboti kujutis, mis oli asetatud tuuleklaasile tavapärasele autojuhi kohale (Joonis 6c). Robot ei teinud midagi, kui sõiduk oli tavaolekus, kui sõiduk andis jalakäijale teed, viipas robot käega. 80% uuringus osalenutest nõustusid väitega, et väline displei suurendab nende turvatunnet ning on üldiselt kasulik.

Kolmest välja pakutud ekraanist peeti parimaks varianti, kus oli kujutatud kollane käsi/roheline mehike.



(a)



(b)



(c)

**Joonis 6.** Holländer jt katses kasutatud kontseptsioonid: (a) naerataav auto, (b) foori värvid, (c) robot [26]

Razmi Rad jt lõi kontseptsiooni, kus kasutati sõiduki kavatsuse edastamiseks kapoti alal kuvatavaid värve (Joonis 7) [22]. Esimesel juhul muutus kapotil olev liides jalakäijat märgates ning talle teed anda soovides kollaseks, teisel juhul märkis tee andmist roheline värv ning tee mitte andmist punane. Lisaks uuriti jalakäijate käitumisharjumuste seost sellega, kuidas nad

autonoomsete sõidukite juures käituvad. Selgus, et kahest väljapakutud värvilahendusest mõisteti enam varianti, kus olid kasutusel roheline ja punane värv, sel juhul tegi 55% jalakäijatest tegi oma teeületusotsuse õigesti. Käitumisharjumuste uuringust selgus, et jalakäijad, kes on varem liikluses korralikumate käitumismustritega, lasevad autonoomse sõiduki suurema tõenäosusega üle, kiirustama ja reegleid rikkuma harjunud liiklejad võivad samal ajal autonoomsete sõidukite ohutusmeetmeid ära kasutama hakata ning astuda teele ka siis kui nad seda teha ei tohiks. [22]



**Joonis 7.** *Razmi Rad jt kontseptsioon* [22]

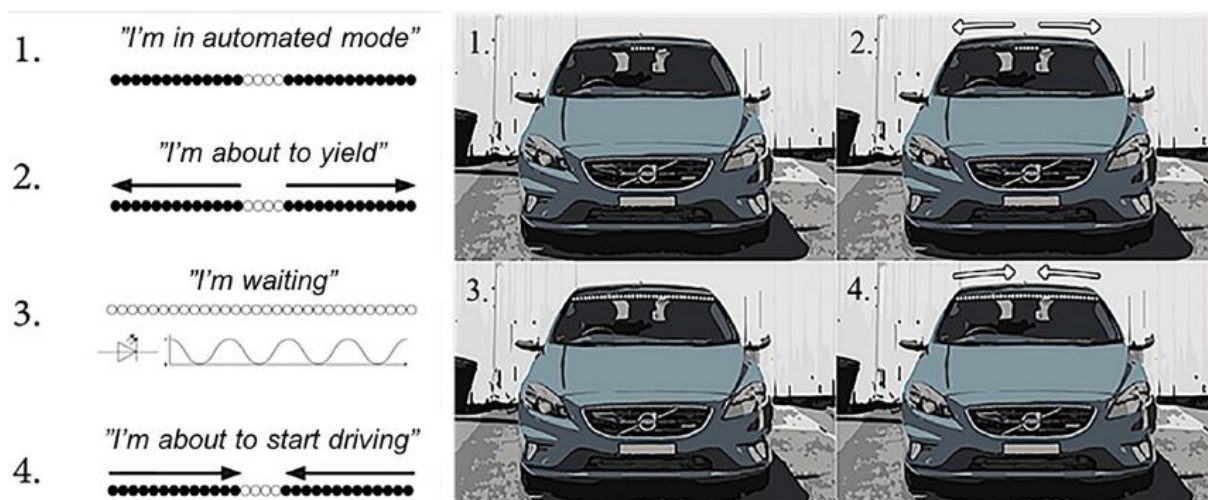
### 1.3.3 LED-ribad

Habibovic jt disainisid nelja režiimiga LED-riba (Joonis 8), mis näitab,

- kui sõiduk on automaatses režiimis,
- kui sõiduk annab jalakäijale teed,
- kui sõiduk on juba peatunud ning ootab,
- kui sõiduk alustab sõitu [23].

Jalakäijatele autonoomse sõiduki kavatsuse muudatusest anti teada LED-riba signaali ala ning sagedust muutes. Et vältida segadust juba liikluses olemasolevate signaalidega, ei kasutatud punast, rohelist, sinist ning merevaigu-kollast, ning otsustati sõnumite edastamiseks kasutada valget/kollakat tooni. LED-ribaga tehti üks eksperiment situatsioonis, kus katsealused pidid ületama sebrat ning teine eksperiment parkimismajas. Peale esimese eksperimendi tagasisidet otsustati LED ribalt eemaldada ootamisrežiim, kuna mitmed katsealused leidsid, et see tekitab segadust. Eksperimentidest selgus, et ilma eelneva selgitustööta suutsid vähesed katsealused

LED riba peal kujutatut ning auto kavatsusi kokku viia, ent peale selgitustööd leiti, et tegemist on lihtsasti mõistetavate signaalidega. [23]



**Joonis 8.** *Habibovic jt kontseptsioon* [23]

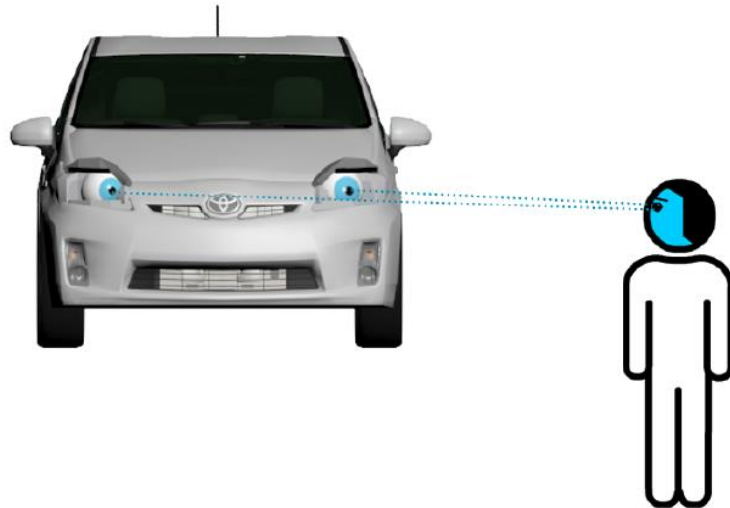
Benderius jt kasutasid enda LED-ribaga kasutajaliidese välja töötlemisel „näita, ära ütle“ printsiipi [28]. See tähendab, sõiduk näitab alati selgelt oma plaanitud tegevusi (ilma ühegi motivatsioonita). Näiteks, kui korraga tulevad sõiduteed ületama nii jalakäija kui ka jalgrattur, siis sõiduk näitab selgelt, et ta kavatseb peatuda ja oodata, aga ta ei näita, mis tõi esile antud informatsiooni kuvamise, kuna see võib kõrvalisi isikuid segadusse ajada. LED-riba funktsioonid olid järgmised:

- kauguse näitamine objektist (valgustatud ala laius muutub sõltuvalt objekti kaugusest),
- konfliktis olekust hoiatamine (LED riba ning tuled hakkavad vilkuma),
- suuna näitamine (valgustatud ala asukoht muutub sõltuvalt suunast). [28]

### 1.3.4 Silmad

Chang jt kasutasid jalakäija ja autonoomse sõiduki suhtluse väljendamiseks auto peal olevaid silmi (Joonis 9) [29]. Auto silmad vaatavad jalakäija poole, kui auto kavatseb peatuda ja jalakäija üle tee lasta, kui auto ei kavatse peatuda, vaatavad silmad otse ette. Silmade asukohaks valiti eelnevalt läbiviidud küsitluse põhjal auto esitulede piirkond. Virtuaalreaalsuses läbi viidud katsetest selgus, et juhul, kus katsealustele silmade olemasolu ning funktsioone ei selgitatud, tegi 66,6% katsealustest õige teeületusotsuse kiiremini kui ilma silmadeta sõiduki puhul ning juhul, kus katsealustel paluti auto silmadele tähelepanu pöörata, tegi 86,6% katsealustest õige teeületusotsuse kiiremini. Katsealustega läbi viidud intervjuudest selgus, et

silmad aitavad katsealustel aru saada, et sõiduk on neist teadlik ning silmad aitavad jalakäijal enne teeületust tehtud otsuses kinnitust saada, samas leiti, et silmad ei ole lihtsasti mõistetavad, kui jalakäijad neis esmakordselt näevad ning nendest ei ole võimalik kätte saada kogu otsuse tegemiseks vajaminevat informatsiooni (puudu jääb info kiiruse ning kauguse kohta).[29]



**Joonis 9.** *Chang jt silmadega auto* [29]

### **1.3.5 Meetodid inimeste autonoomse sõiduki kavatsuse mõistmise hindamiseks**

Erinevate autonoomsete sõidukite jaoks välja töötatud liideste testimiseks on enamasti kasutusel kas *Wizard-of-Oz* uuring või virtuaalreaalsuses läbiviidav simulatsioon.

*Wizard-of-Oz* on robotikas ning autotööstuses laialdaselt kasutusel olev meetod, et koguda informatsiooni kasutajatelt, kes arvavad, et nad suhtlevad täielikult automatiseeritud süsteemiga, ent tegelikult on süsteem inimoperaatori poolt hallatud [30].

Võrreldes täielikult automatiseeritud süsteemi testimisega on *Wizard-of-Oz* uuringu eeliseks see, et läbiviidav eksperiment on vähem piiratud, ohutum ning enamasti ka odavam [30].

Autonoomsete sõidukite testimisel on tavaliselt kasutatud kaks meetodit:

- sõidukijuht on riidetatud autoistmeks (Joonis 10a),
- kasutatav rool on installeeritud parema esiistme juurde ning autot juhitakse sealt (jalakäijale tundub tegu olevat tavalise vasakpoolse rooliga autoga) (Joonis 10b). [19]



(a)



(b)

**Joonis 10.** *Wizard-of-Oz meetodid: (a) autoistmeks riietatud autojuht [19], (b) võltsrool [30]*

Simulatsioonide puhul tuuakse plussidena välja seda, et võrreldes *Wizard-of-Oz* meetodiga on need paindlikumad ning odavamad. Virtuaalreaalsuses (VR) läbiviidavate simulatsioonide miinuseks on aga see, et kasutajatel võib virtuaalreaalsusest paha hakata, samuti tuleks üle 30 minutiliste katsete ajal osalistele lühikesed pausid organiseerida. Lisaks erineb virtuaalreaalsuses kuvatav päris reaalsusest ning tulemused võivad seeläbi kannatada. Näiteks võivad katsealused aru saada, et neil puudub oht isegi valesid otsuseid tehes ja seetõttu auto alla jäädes ning nii võivad nende virtuaalreaalsuses tehtud otsused erineda nendest, mida nad päris elus teeksid. [31]

## 2 Metoodika

### 2.1 Küsimustik

Uurimaks eestlaste arusaamist masina kavatsustest, viidi läbi küsimustik keskkonnas LimeSurvey. Küsimustiku keskmeks oli erinevate digitaalsete sümbolite esitamine küsimustikku täitvatele vabatahtlikele ning uurimine, kas inimesed saavad neid üheselt aru.

Küsimustikule vastas kokku 170 inimest vanuses 18 kuni 56. Uuringu kooskõlastas Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee (taotlus 299/T-27).

Küsimustik koosnes 39 küsimusest, mis jagunesid 3 ossa, millest 1. osa (26 küsimust) uuris inimeste arusaamist erinevatest masina emotsioonidest, 2. osa (8 küsimust) uuris arusaamist kavatsuse edastamisest ning 3. osa (5 küsimust) kogus vastajate kohta taustinformatsiooni. Kogu küsimustik on leitav käesoleva töö lisas 1.

Küsimustiku esimeses osas näidati vabatahtlikele erinevate robotite emotsioone (Tabel 1) (Joonis 11), millest vabatahtlikud pidid välja valima õige. Et kontrollida, kas inimesed üleüldiselt inimemotsioonidest aru saavad, olid küsimustiku alguses pildid Ekmani poolt kasutatud kuuest põhiemotsioonist [5].

**Tabel 1.** Küsimustikus kasutatud emotsioonid

	Inimene	Cozmo	Baxter	Zenbo	Tapia
Hirm	×	×			
Kurbus	×	×	×	×	×
Rõõm	×	×		×	×
Vastikus	×				
Viha	×	×			×
Üllatunud	×	×	×	×	
Neutraalne olek		×	×		×
Keskendunud			×		
Segadustunne			×	×	



(a)



(b)



(c)



(d)

**Joonis 11.** Emotsioonid: kurbus (a) *Cozmo* [32], (b) *Baxter* [33], (c) *Zenbo* [34] ja (d) *Tapia* [35]

Küsimustiku teises osas esitati vabatahtlikele kirjalikult olukord, kus nad kohtuvad sõidukiga, millel on peal LED-ekraan/LED-riba või mis projitseerib maha teatud kujundi ning nad pidid vastama, miks antud liides nende arvates sõidukile lisatud on. Kasutatud oli kahe kontseptsiooni GIF-e: Mercedes-Benz'i isesõitvat auto (Joonis 12) [36] ning Fordi isesõitvat auto (Joonis 13) [37]. Küsimustiku vastaja pidi ennast mõtlema olukorda, kus

- ta soovib ületada sõiduteed ning talle läheneb auto,
- ta soovib ületada sõiduteed ning ülekäigu raja ees on peatunud auto.



**Joonis 12.** *Mercedes-Benzi isesõitev auto* [36]

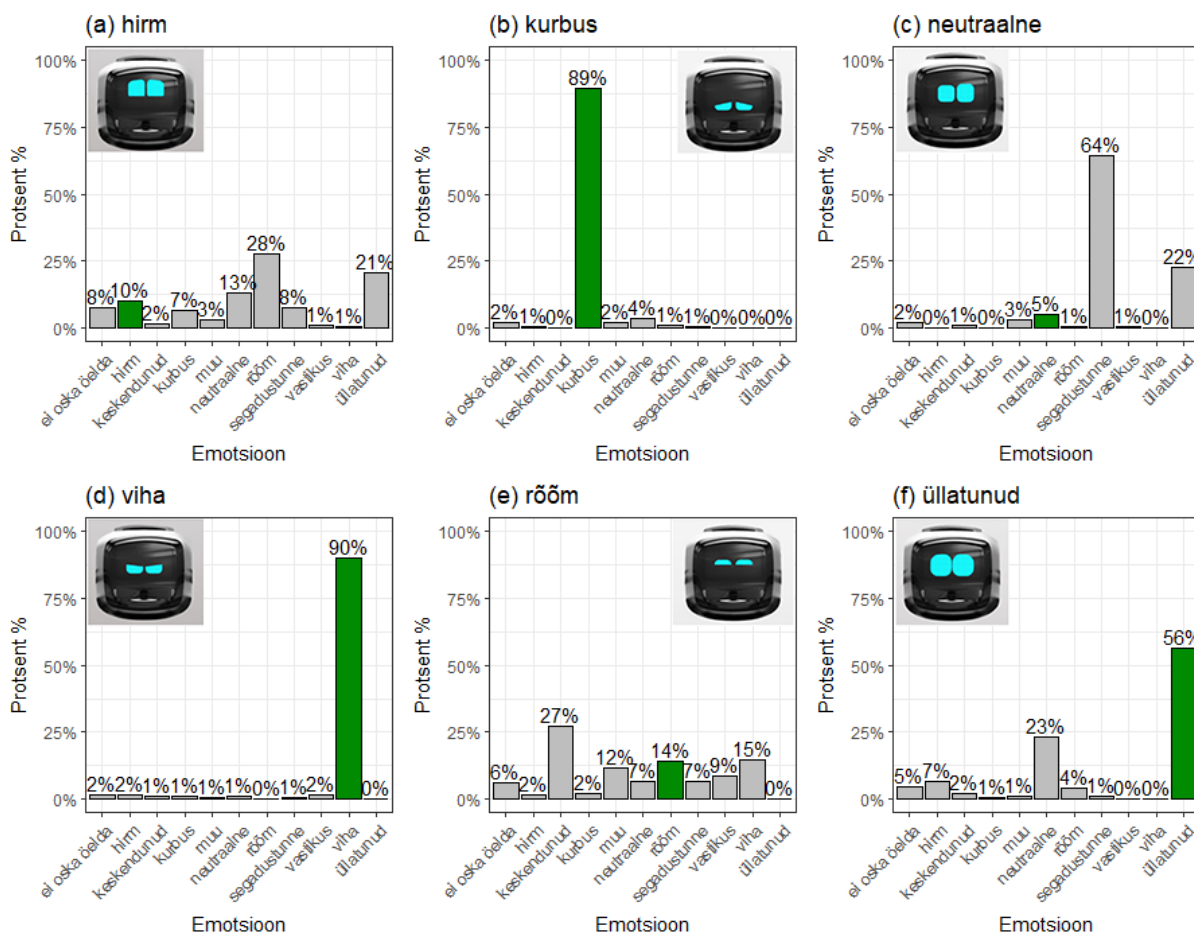


**Joonis 13.** *Fordi isesõitev auto* [37]

# 3 Tulemused

## 3.1 Emotsioonide hindamine

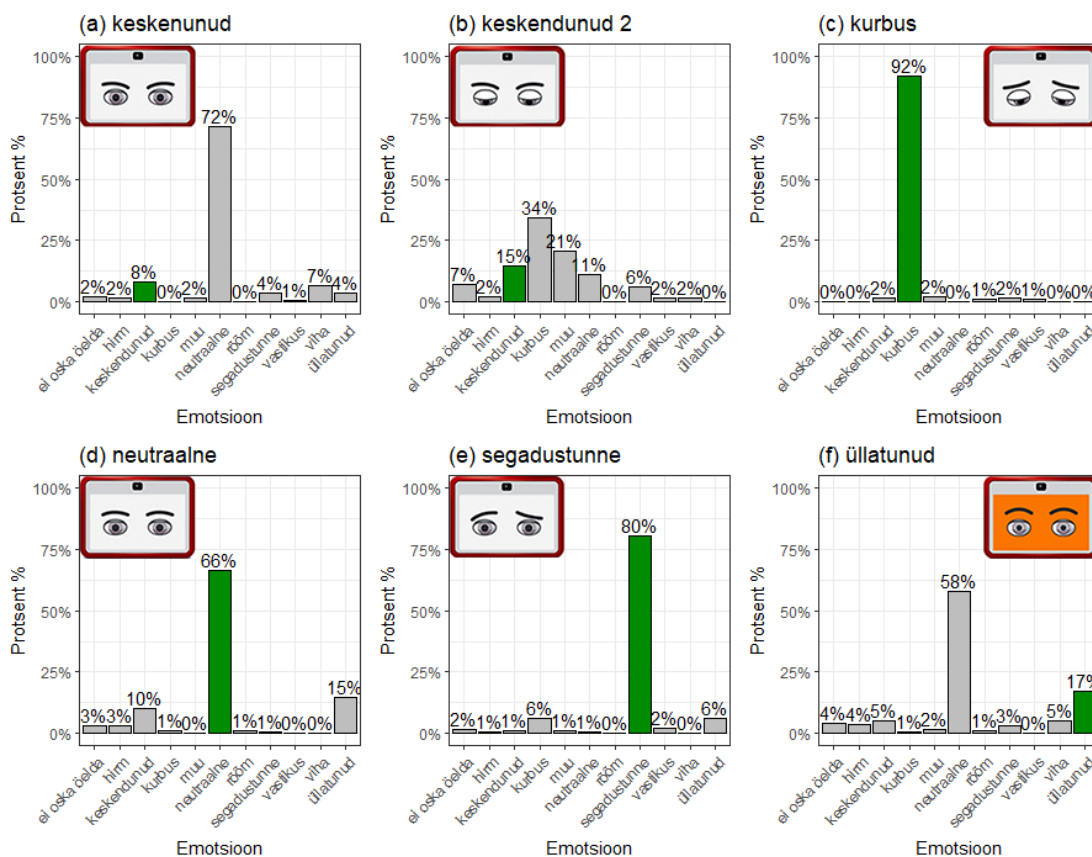
Küsimustiku kontrollküsimustest (inimemotsioonid), said aru enamus küsimustikule vastajatest: kõige vähem valisid vabatahtlikud õige vastuse hirmu korral (67%) ning kõige rohkem rõõmu korral (98%). Roboti 1 korral, milleks oli Cozmo [32], ei mõistnud inimesed hirmu (10%), neutraalset olekut (5%) ning rõõmu (14%). Hirmu asemel pakuti kõige enam rõõmu (28%), neutraalse oleku asemel segadustunnet (64%) ning rõõmu asemel keskendunud tunnet (27%). Kõige paremini said vabatahtlikud aru kurbusest (89%) ning vihast (90%), üllatunud olekust sai aru 56% vastajatest. (Joonis 14. Robot 1, Cozmo emotsioonid)



Joonis 14. Robot 1, Cozmo emotsioonid

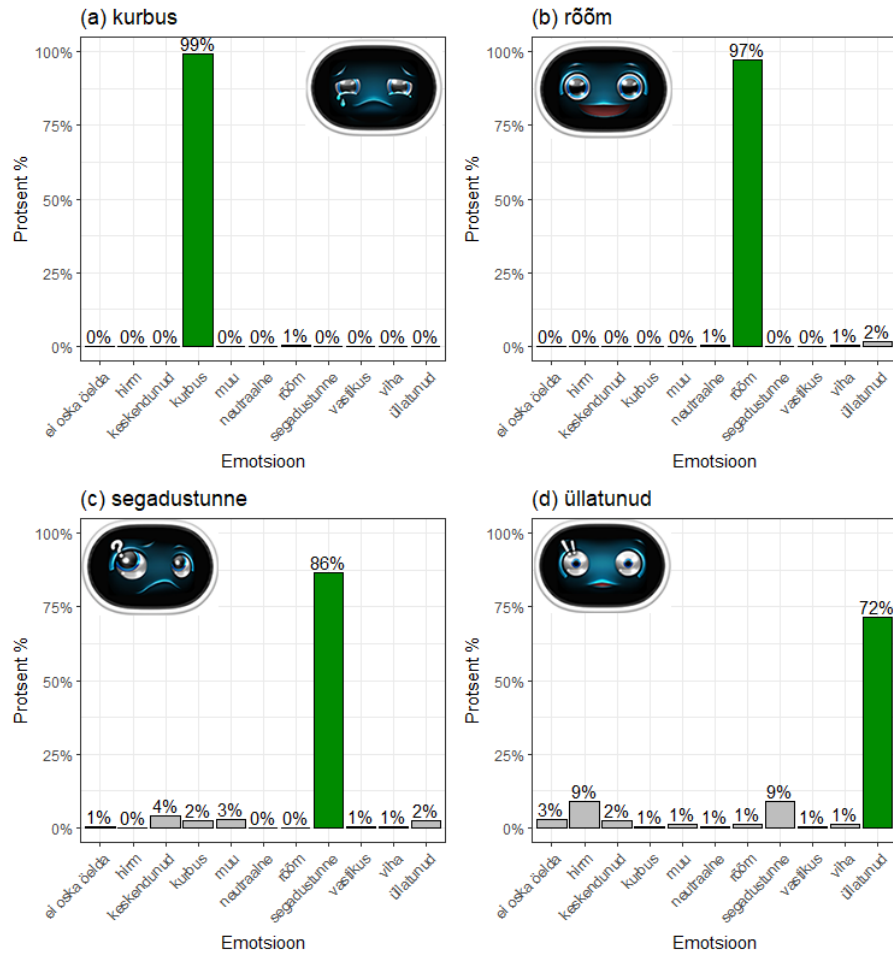
Robot 2 emotsioonideks oli valitud Baxter [13], mille puhul väljendasid emotsioone inimese silmakujule sarnased roboti silmad. Sel korral mõistsid vabatahtlikud kurbust (92%),

segadustunnet (80%) ning neutraalset olekut (66%), arusaamatuks jäid mõlemad olekud, mis väljendasid keskendustunnet (8% ja 15%), nende asemel pakuti esimesel juhul kõige enam neutraalset olekut (72%) ning teisel juhul kurbust (34%), samuti jäi arusaamatuks üllatustunne (17%), mille asemel pakuti kõige rohkem neutraalset olekut (58%). (Joonis 15)



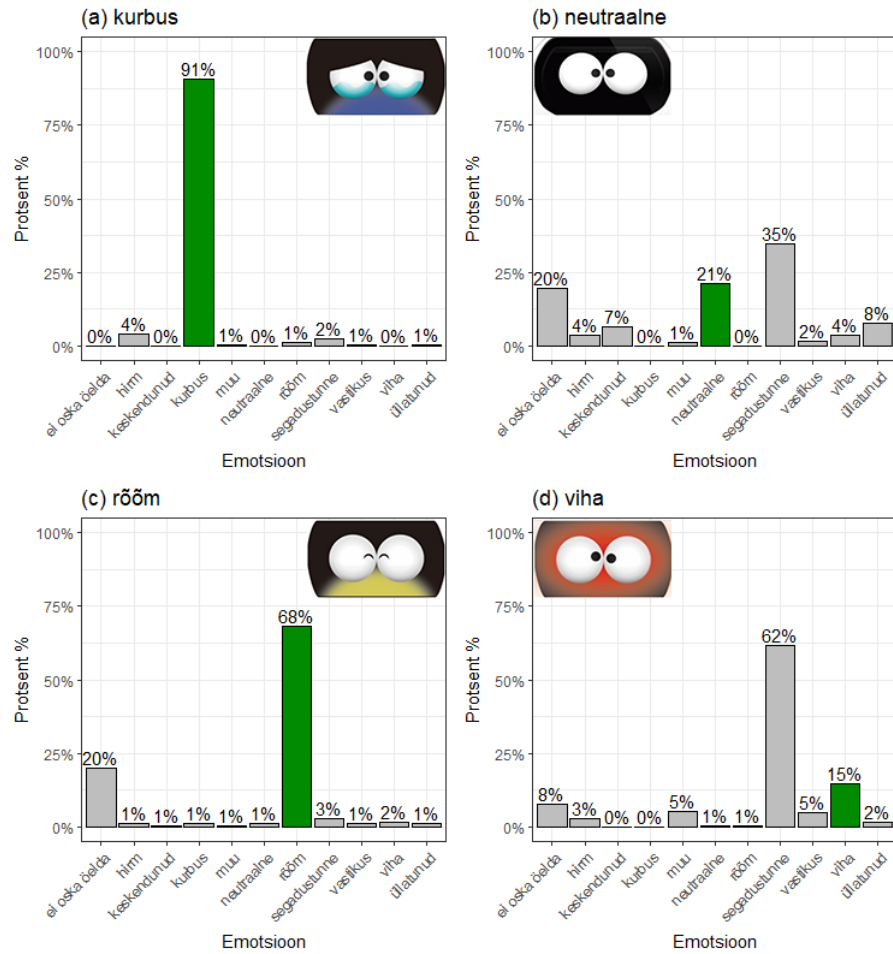
**Joonis 15.** Robot 2, Baxter emotsioonid

Kolmandaks robotiks kasutati Asus Zenbo (Joonis 11c) [34]. Antud roboti puhul kasutati lisaks silmadele emotsiooni väljendamiseks ka suud, samuti olid segadustunde ning üllatustunde puhul kasutusel üldiselt tuntud sümbolid (vastavalt küsimärk ning hüüumärk) (Joonis 16c,d). Vabatahtlikud mõistsid sel juhul kõiki nelja küsitud emotsiooni: kõige vähem saadi aru üllatustundest (72%) ning kõige rohkem kurbusest (99%). (Joonis 16)



**Joonis 16.** Robot 3, Zenbo emotsioonid

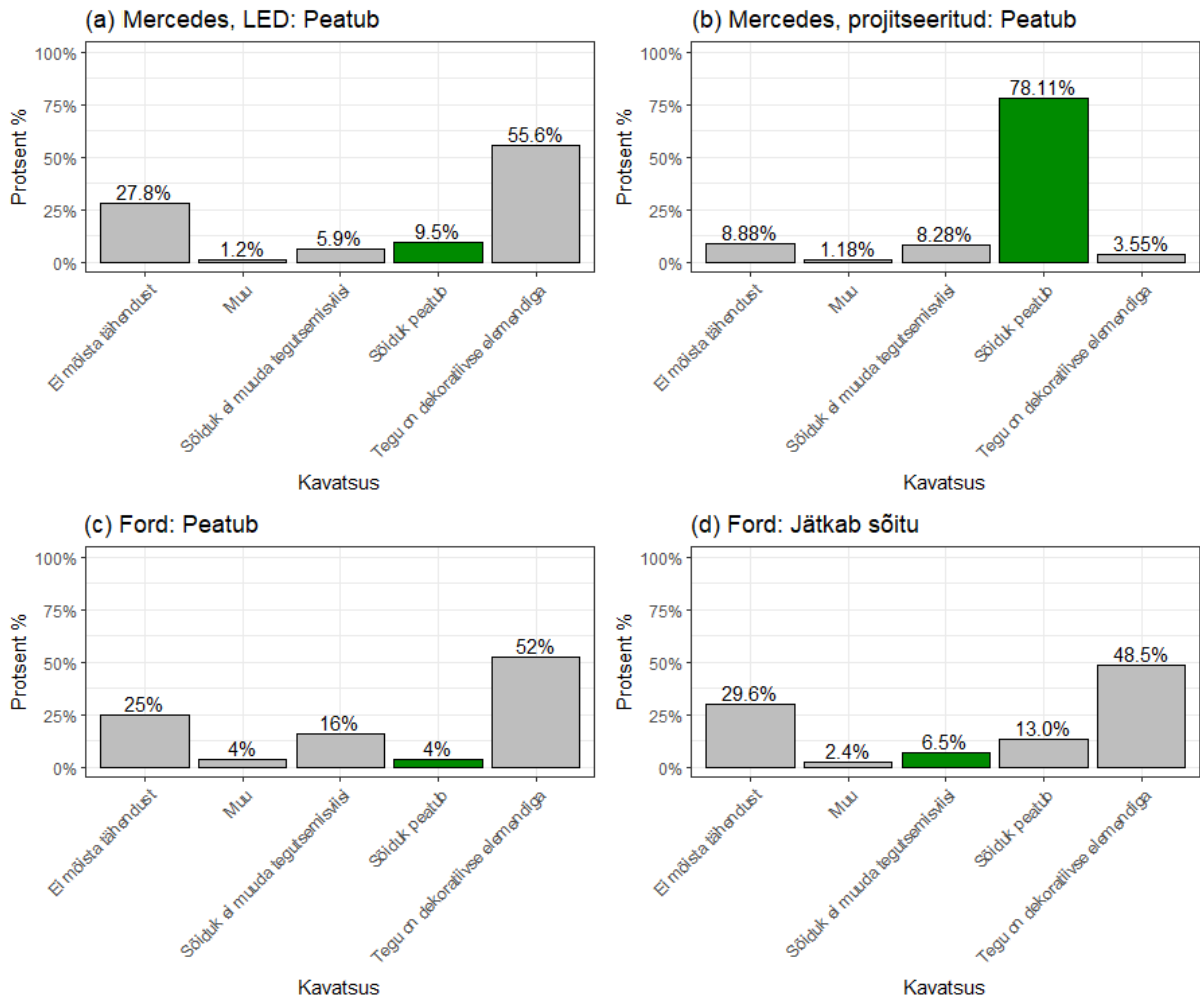
Neljandaks robotiks oli Tapia robot [35]. Tapia roboti puhul kasutati emotsioonide väljendamiseks silmi ning värvimuutuseid. Antud roboti puhul saadi kõige rohkem aru kurbusest (91%) ning mõisteti ka rõõmu (68%), arusaamatuks jäid viha (15%) ning neutraalne olek (21%), nende asemel pakuti mõlemal juhul kõige rohkem segadustunnet (vastavalt 62% ja 35%) . (Joonis 17)



Joonis 17. Robot 4, Tapia emotsioonid

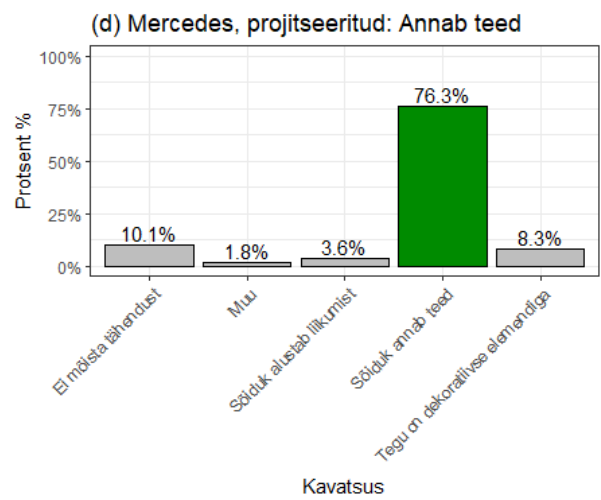
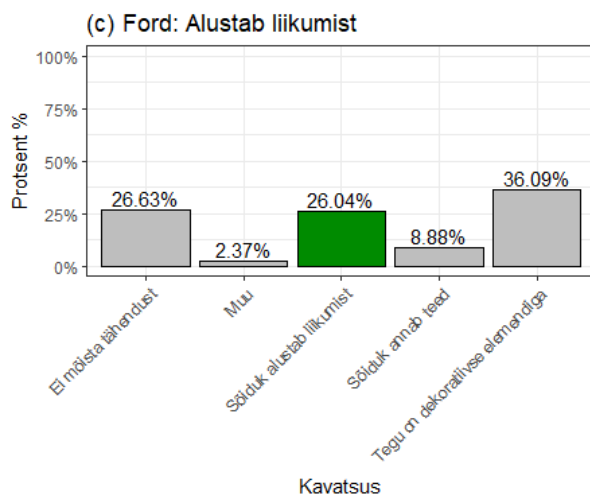
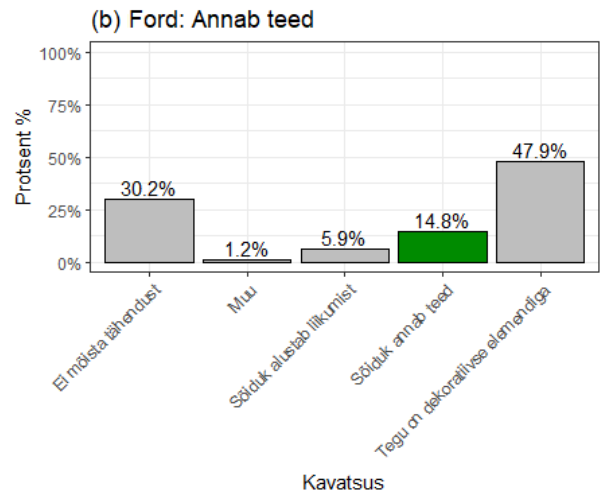
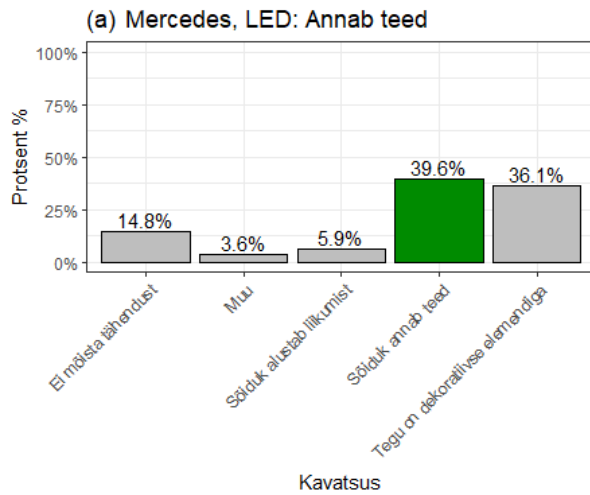
### 3.2 Autonoomsete sõidukite kavatsuse edastamise hindamine

Esimese olukorra puhul pidid vastajad ette kujutama, et nad soovivad ületada sõiduteed ning neile läheneb sõiduk, mis kuvab neile midagi. Esimeseks sõidukiks oli Mercedes-Benz, mille valgustabloo viitas, et sõiduk peatub. Tabloo tähenduse arvas õigesti kõigest 9,5% vastajatest, 27,8 % vastajatest leidis, et tegu võib olla informatsiooniga jalakäijale, kuid nad ei mõista selle tähendust ning 55,6% vastajatest leidis, et tegu on vaid dekoratiivse elemendiga. Samas olukorras, kui Mercedes-Benzi kavatsus oli tee peale projitseeritud, tundis peatumismärguande ära 78,1% vastajatest. Ka Fordi poolt LED-ribaga peatumismärguannet ei tundud enamuses inimesi ära, õigesti vastas kõigest 4% ning Fordi sõidujätkamismärguande tundis ära 6,5% vastanutest. Mõlemal puhul leidis kõige suurem hulk inimesi, et tegu on dekoratiivse elemendiga (vastavalt 52% ja 48,5%). (Joonis 18)



**Joonis 18. Autonoomsed sõidukid, olukord 1**

Teise olukorra puhul pidid vastajad ette kujutama, et nad soovivad ületada sõiduteed ning ülekäiguraja ees on peatunud auto, mis kuvab neile midagi. Esimesel juhul pidid vastajad ära arvama Mercedes-Benz'i valgustablooga teendamise märguande. Õigesti vastas 39,6% küsitletutest, 36,1% leidis, et tegu on dekoratiivse elemendiga. Mercedesi projitseeritud märguandest (sõiduk kuvas tee peale ülekäiguraja) sai aru 76,3% vastanutest. Fordi LED-ribaga teendamise märguandest sai aru 14,8% vastanutest, 47,9% leidis, et tegu on dekoratiivse elemendiga. Fordi liikumise alustamise märguandest sai aru 26% inimestest, sel puhul leidis 36,1% vastanutest, et tegu on dekoratiivse elemendiga. (Joonis 19)



**Joonis 19. Autonoomsed sõidukid, olukord 2**

# 4 Mudel masina kavatsuse väljendamiseks ning simulatsioon

## 4.1 Mudel masina kavatsuse väljendamiseks

Eelnevatest peatükkidest saadud teadmiste põhjal koostati mudel autonoomse sõiduki kavatsuse väljendamiseks.

Mudeli koostamisel peeti silmas järgnevat:

1. Jalakäija peab saama aru, kas sõiduk on autonoomses või manuaalses režiimis.
2. Jalakäija peab saama informatsiooni autonoomse sõiduki tulevaste käikude kohta.
3. Jalakäija peab saama piisavalt informatsiooni, et tal ei oleks vaja silmkontakti otsida.
4. Jalakäija ei tohi saada täpseid käsklusi selle kohta, millal ning kus teed ületada.
5. Kavatsuse edastamiseks kasutatav liides peab olema selline, et inimesed tunneksid ennast selle juures mugavalt.

Autonoomse sõiduki kavatsuse väljendamiseks pakuti välja liides, mis koosneb LED-ribast. LED-riba kasuks ning teiste meetodite kahjuks otsustati järgnevatel põhjustel:

1. Tekstist loobuti, et vältida olukorda, kus teisest rahvusest jalakäija ei mõista tablool kujutatut, kuna ta ei räägi kohalikku keelt.
2. Projektorist, mis oli küll eestlaste seas läbi viidud küsitluses kõige paremate tulemustega, loobuti, kuna antud juhul oli tegu kalli kontseptsioonlahendusega, millest arusaamine võib ereda päikselise ilmaga raskendatud olla.
3. Silmadest ning muudest inimestele iseloomulikest omadustest kasutamisest loobuti, et vältida olukorda, kus sõiduk muutub oma välimuse tõttu inimese jaoks eemaletõukavaks.
4. Erinevate värvide kasutamisest loobuti, et tagada, et liides oleks arusaadav ka värvipimedatele.
5. Kuigi Eesti inimeste seas läbi viidud küsitlusest selgus, et nad ei mõista ilma eelnevaid teadmisi omamata LED-riba signaalide tähendusi, on mitmest uuringust (nt [23]) välja tulnud, et peale selgitustöö tegemist ning erinevate LED-riba olekutega tutvumist mõistavad inimesed nende tähendusi ning leiavad, et antud meetodist on teeületusotsuse tegemisel kasu.







6. Uuringutest on järeldatud, et autonoomsete sõidukite kavatsuse väljendamiseks on vaja tulevikus ühtset liidesüsteemi ja standardiseerimist ning kuna LED-ribade kasutamine on üks populaarsemaid ning rohkem uuritud meetodeid, on see potentsiaalselt ühise süsteemi jaoks üks parimaid [23].

Välja pakutud liides koosnes kolmest erinevast sõiduki oleku näitamisest (Tabel 2):

- sõiduk annab teed,
- sõiduk alustab liikumist,
- sõiduk on autonoomses režiimis.

Sõiduki teeandmise märguande jaoks võeti aluseks küsimustikus kasutatud Mercedes-Benz'i LED-ekraaniga edastatud signaal. Tegu oli küsimustiku ainsa LED-ekraaniga edastatud märguandega, mille puhul enamus vastajatest õige sõiduki kavatsuse ära arvas (39,6%). Sõiduki liikumismärguande aluseks võeti küsimustikus kasutatud Fordi LED-riba signaal, mis oli õigesti vastanute osakaalu suhtes LED-ekraanide puhul teisel kohal (õigesti vastas 26% vabatahtlikest). Sõiduki autonoomses režiimis olekut näidati püsivalt põleva LED-ekraaniga, mis sarnaneb Fordi sõidurežiimi signaalile. Kolmandast liikuvast signaalist otsustati loobuda, et inimestel oleks lihtsam uute signaalidega harjuda ning neid meelde jätta (liiga paljude erinevate liikuvate signaalikombinatsioonide olemasolu võib inimestes segadust tekitada). Samuti häirib püsiv valgus sõiduki tavalisel liikumisel kaasautojuhte vähem ning ei tõmba nende tähelepanu liikluses toimuvast eemale.

**Tabel 2.** *Mudelis kasutatavad sõidurežiimid*

Kavatsus	Aluseks võetud lahendus	Lahendus väljapakutud mudelis
Annan teed	<p>Mercedes-Benz'i liikuv märguanne</p> 	
Alustan liikumist	<p>Fordi vilkuv märguanne</p> 	
Automaatne režiim	<p>Fordi püsiva valgusega sõidurežiimi signaal</p> 	

## 4.2 Simulatsioon

Sõiduki mudeli visualiseerimiseks kasutati LGSVL simulaatori versiooni 2020.03 [38]. LGSVL simulaator on populaarne vahend autonoomsete sõidukite tarkvara testimisel ja arendamisel ning oli seetõttu antud ülesande jaoks sobiv keskkond.

Simuleerimise esimeseks etapiks oli sõiduki mudeli loomine ning keskkonda importimine. Vajamineva mudeli aluseks võeti LGSVL-i dokumentatsioonis välja toodud näiteauto Jaguar

XE [39]. Näiteautole lisati programmi Blender abiga LED-ekraan ning animeeriti programmi Unity kaudu ekraani signaali liikumine.

Sõiduki liikumise simuleerimiseks kasutati LGSVL-i Python API-t [40], mille kaudu kuvati programmi põhikoosseisus olev kaart Shalun [41], varem keskkonda imporditud auto mudel ning jalakäija. LED-ekraani visualiseerimiseks mängiti läbi järgmised olukorrad:

- sõiduk annab teed (Joonis 20),
- sõiduk alustab liikumist (Joonis 21),
- sõiduk on autonoomses režiimis (Joonis 22).



**Joonis 20.** Sõiduk annab jalakäijale teed



**Joonis 21.** Sõiduk alustab liikumist



**Joonis 22.** Sõiduk autonoomses režiimis

## 5 Arutelu

Magistritöö käigus läbi viidud emotsioonide küsitlusest selgus, et inimesed mõistsid kõige paremini roboti Zenbo emotsioone (Joonis 16). Antud roboti puhul aitasid küsitluse täitjatel robotist aru saada nii kulmud, silmad, suu kui ka lisasümbolid ning tegemist oli ainsa robotiga, mille kõigist etteantud emotsioonidest inimesed aru said. Samas tuleb välja tuua, et Zenbo emotsioonide valikust puudusid mõne teise roboti puhul inimeste jaoks raskesti mõistetavaks osutunud neutraalne olek või keskendunud olek. Vaid silmakujumuutuseid ning silmade asetuse ja kulmude muutuseid kasutanud Cozmo ja Baxteri puhul arvasid inimesed ära 50% emotsioonidest ning kuigi Tapia kasutas lisaks silmadele ka värve, arvati ka tema puhul ainult 50% emotsioonidest õigesti. Selline tulemus võib kinnitada Yuki jt poolt välja pakutut, et kultuuriliste erinevuste tõttu tajuvad inimesed emotikone erinevalt ning lääne inimesed jälgivad emotsioonidest aru saamisel ka suu kuju muutuseid [7]. Seetõttu võis ka eestlaste puhul kõigest silmamuuatustest õige emotsiooni välja lugemisel väheks jääda.

Autonoomsete sõidukite kavatsuse uurimisest selgus, et Eesti inimesed ei mõistnud LED-ribade ning -tabloode tähendusi. Nii Fordi kui Mercedesi puhul arvasid vastanud kõige enam, et tegu on dekoratiivse elemendiga, mis ei oma nende jaoks tähendust või et tegu võib olla informatsiooniga jalakäijale, kuid nad ei mõista selle tähendust. Samas mõlemal korral kui Mercedes oma kavatsuse edastamiseks projektorit kasutas, arvasid inimesed sõiduki kavatsuse ära. Ilmselt aitasid sel puhul kaasa juba tuntud elemendid, näiteks oli ühe projektsiooni puhul kasutatud ülekäigurada.

Autonoomsete sõidukite kavatsuse uuringus oli omajagu aspekte, mida järgmisel korral teisiti teha võiks. Näiteks oleks kasulik teha küsitlus kaks korda: esimesel korral nii nagu antud magistritöö puhul (inimesed ei oma ette antud signaalide kohta mingeid eelteadmisi) ning teisel korral nii, et inimesi on enne signaalide kohta informeeritud. Samuti võiks küsimustikule lisaks kasutada kas simulaatorit või *Wizard-of-Oz* uuringut. Esimesel puhul saaksid inimesed paremini neile ette antud olukorrast aimu (küsitluses olnud käsk olukord endale ette kujutada, ei pruukinud vabatahtlike jaoks piisav olla). Teisel puhul tekiks neil ka reaalne ohutunnetus ning see paneks katsealused situatsiooni, millega nad päris elus autoga teel ristudes kokku puutuvad. Kuna inimeste liikluses tähelepanelikkus sõltub ka sellest, kas nad ise varem

autoroolis istunud on, võiks küsimustiku taustinfo sektsiooni lisada ka küsimuse vabatahtlike autojuhiloa omamise kohta.

Kuna autonoomsete sõidukite puhul on arutluses ka nende kasutamine sõidujagamisteenustes, tasuks tulevikus uurida ka sõiduki ja inimese interaktsiooni olukorras, kus inimene peab autonoomse sõidukiga suhtlema, et selle pardale pääseda. Näiteks, kuidas peaks käituma klient, et veenduda, et tegu on õige autoga situatsioonis, kus ta on tellinud endale autonoomsest sõidukist takso või kuhu ta peaks seisma, et sõiduk talle otse ei sõidaks või talle muul kujul ohtu ei kujutaks. Samuti, kuidas peaks takso kliendile teada andma, et ta just tema poole pöördub või et on ohutu taksosse siseneda.

# Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö käigus toodi välja kirjanduse ülevaade varem uuritud masina kavatsuse edastamise meetoditest.

Selgus, et mittemobiilsete robotite puhul kasutatakse roboti kavatsuse edastamiseks ning oleku näitamiseks nii emotsioone (nt segaduses olek või neutraalne olek) kui ka käeviipeid ning pilgumuutuseid. Autonoomsete sõidukite puhul on kõige enam kasutuses LED-ekraanid ning -ribad. Nii autonoomsete sõidukite kui mittemobiilsete robotite puhul tuli välja, et masinate poolt kavatsuse edastamine on nende läheduses viibivate inimeste jaoks oluline. Kavatsuse edastamine olukorras, kus robot ja inimene pidid koostööd tegema, kiirendas töö kulgu ning vähendas töös tekkinud vigu. Sõidukite kavatsuse edastamisel kasutatavad liidesed aga kiirendasid inimeste võimet teeületusotsuseid teha.

Uuringud tõid välja ka selle, et inimesed vajavad uute tehnoloogiate omaks võtmiseks tihti lisainformatsiooni ning selleks, et nad masina kavatsust mõistaksid võib olla vajalik eelnev tehnoloogiaga tutvumine.

Lõputöös läbi viidud emotsioonide küsimustikust selgus, et Eesti inimesed ei pruugi masina poolt edastatavaid emotsioone mõista, kui kasutatakse ainult roboti silmi. Lisaks võiks kasutada ka näiteks suud, kulmusid või muid inimeste jaoks tuttavaid sümboleid (näiteks hüüumärk). Autonoomsete sõidukite uuringust selgus, et ilma eelnevate teadmisteta ei olnud inimesed võimelised GIF-idel kujutatud sõidukite kavatsusi ära tundma, kui kasutuses olid LED-ribad või -ekraanid, projektsioonide puhul said inimesed sõiduki kavatsusest aru.

# Tänuavaldused

Autor tänab juhendajat Karl Kruusamäed suunamise, asjakohaste märkuste ning pühendatud aja eest. Autor tänab ka Bolt Technology OÜ-d ja Euroopa Sotsiaalfondi, kelle Nutika Spetsialiseerumise programmist kaasrahastatud projekti „Isejuhtivate sõidukite labori arendamine 4. taseme autonoomsuse tehnoloogia rakendusuringuteks" raames antud lõputöö tehtud on.

# Viited

- [1] S. A. Green, M. Billingham, X. Chen, and J. G. Chase, 'Human-Robot Collaboration: A Literature Review and Augmented Reality Approach in Design', *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 5, no. 1, p. 1, Mar. 2008, doi: 10.5772/5664.
- [2] J. P. Streater, P. Bockelman Morrow, and S. M. Fiore, 'Making things that understand people: the beginnings of an interdisciplinary approach for engineering computational social intelligence', in *56th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (October 22–26), Boston, MA, 2012*.
- [3] D. Mier *et al.*, 'The involvement of emotion recognition in affective theory of mind: Emotion recognition and affective ToM', *Psychophysiology*, p. no-no, Apr. 2010, doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01031.x.
- [4] L. Brothers, 'The social brain: a project for integrating primate behavior and neurophysiology in a new domain', *Foundations in social neuroscience*, vol. 367, p. 385, 2002.
- [5] P. Ekman, 'Basic Emotions', in *Handbook of Cognition and Emotion*, John Wiley & Sons, Ltd, 2005, pp. 45–60.
- [6] H. A. Elfenbein and N. Ambady, 'Is there an in-group advantage in emotion recognition?', 2002.
- [7] M. Yuki, W. W. Maddux, and T. Masuda, 'Are the windows to the soul the same in the East and West? Cultural differences in using the eyes and mouth as cues to recognize emotions in Japan and the United States', *Journal of Experimental Social Psychology*, vol. 43, no. 2, pp. 303–311, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.jesp.2006.02.004.
- [8] K. Takahashi, T. Oishi, and M. Shimada, 'Is ☺ Smiling? Cross-Cultural Study on Recognition of Emoticon's Emotion', *Journal of Cross-Cultural Psychology*, vol. 48, no. 10, pp. 1578–1586, Nov. 2017, doi: 10.1177/0022022117734372.
- [9] L. Liu, X. Liu, S. Cheng, and K. Li, 'Research on Relationship between the Comprehension and Usage of Emoticons', in *2018 International Joint Conference on*

*Information, Media and Engineering (ICIME)*, Osaka, Dec. 2018, pp. 55–60, doi: 10.1109/ICIME.2018.00021.

[10] L. Takayama, D. Dooley, and W. Ju, ‘Expressing thought: improving robot readability with animation principles’, in *Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction - HRI '11*, Lausanne, Switzerland, 2011, p. 69, doi: 10.1145/1957656.1957674.

[11] C. Breazeal, C. D. Kidd, A. L. Thomaz, G. Hoffman, and M. Berlin, ‘Effects of nonverbal communication on efficiency and robustness in human-robot teamwork’, in *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Edmonton, Alta., Canada, 2005, pp. 708–713, doi: 10.1109/IROS.2005.1545011.

[12] R. S. Andersen, O. Madsen, T. B. Moeslund, and H. B. Amor, ‘Projecting robot intentions into human environments’, in *2016 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, New York, NY, USA, Aug. 2016, pp. 294–301, doi: 10.1109/ROMAN.2016.7745145.

[13] C. Fitzgerald, ‘Developing baxter’, in *2013 IEEE Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA)*, Woburn, MA, USA, Apr. 2013, pp. 1–6, doi: 10.1109/TePRA.2013.6556344.

[14] ‘Here’s How Robots Could Help Save Jobs’, *Fortune*. <https://fortune.com/2016/06/14/how-robots-could-help-save-jobs/> (accessed May 12, 2020).

[15] C. Breazeal *et al.*, ‘Humanoid Robots as Cooperative Partners for People’, p. 41.

[16] M. C. Aubert, H. Bader, and K. Hauser, ‘Designing Multimodal Intent Communication Strategies for Conflict Avoidance in Industrial Human-Robot Teams’, in *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, Nanjing, Aug. 2018, pp. 1018–1025, doi: 10.1109/ROMAN.2018.8525557.

[17] ‘Liiklusseadus – Riigi Teataja’. <https://www.riigiteataja.ee/akt/117032011021> (accessed Apr. 23, 2020).

[18] M. Sucha, D. Dostal, and R. Risser, ‘Pedestrian-driver communication and decision strategies at marked crossings’, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 102, pp. 41–50, 2017.

- [19] A. Rasouli and J. K. Tsotsos, ‘Autonomous Vehicles That Interact With Pedestrians: A Survey of Theory and Practice’, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 900–918, Mar. 2020, doi: 10.1109/TITS.2019.2901817.
- [20] A. Rasouli, I. Kotseruba, and J. K. Tsotsos, ‘Agreeing to cross: How drivers and pedestrians communicate’, in *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Los Angeles, CA, USA, Jun. 2017, pp. 264–269, doi: 10.1109/IVS.2017.7995730.
- [21] D. Moore, R. Currano, G. E. Strack, and D. Sirkin, ‘The Case for Implicit External Human-Machine Interfaces for Autonomous Vehicles’, in *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '19*, Utrecht, Netherlands, 2019, pp. 295–307, doi: 10.1145/3342197.3345320.
- [22] S. Razmi Rad, G. Homem de Almeida Correia, and M. Hagenzieker, ‘Pedestrians’ road crossing behaviour in front of automated vehicles: Results from a pedestrian simulation experiment using agent-based modelling’, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 69, pp. 101–119, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.trf.2020.01.014.
- [23] A. Habibovic *et al.*, ‘Communicating Intent of Automated Vehicles to Pedestrians’, *Front. Psychol.*, vol. 9, p. 1336, Aug. 2018, doi: 10.3389/fpsyg.2018.01336.
- [24] N. Mirnig, N. Perterer, G. Stollnberger, and M. Tscheligi, ‘Three Strategies for Autonomous Car-to-Pedestrian Communication: A Survival Guide’, in *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, Vienna Austria, Mar. 2017, pp. 209–210, doi: 10.1145/3029798.3038402.
- [25] M. Matthews, G. Chowdhary, and E. Kieson, ‘Intent Communication between Autonomous Vehicles and Pedestrians’, *arXiv:1708.07123 [cs]*, Aug. 2017, Accessed: Apr. 08, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1708.07123>.
- [26] K. Holländer, A. Colley, C. Mai, J. Häkkinä, F. Alt, and B. Pfleging, ‘Investigating the Influence of External Car Displays on Pedestrians’ Crossing Behavior in Virtual Reality’, in *Proceedings of the 21st International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile*

*Devices and Services - MobileHCI '19*, Taipei, Taiwan, 2019, pp. 1–11, doi: 10.1145/3338286.3340138.

[27] L. Fridman, B. Mehler, L. Xia, Y. Yang, L. Y. Facusse, and B. Reimer, ‘To Walk or Not to Walk: Crowdsourced Assessment of External Vehicle-to-Pedestrian Displays’, *arXiv:1707.02698 [cs]*, Jul. 2017, Accessed: Apr. 23, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1707.02698>.

[28] O. Benderius, C. Berger, and V. Malmsten Lundgren, ‘The Best Rated Human–Machine Interface Design for Autonomous Vehicles in the 2016 Grand Cooperative Driving Challenge’, *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.*, vol. 19, no. 4, pp. 1302–1307, Apr. 2018, doi: 10.1109/TITS.2017.2749970.

[29] C.-M. Chang, K. Toda, D. Sakamoto, and T. Igarashi, ‘Eyes on a Car: an Interface Design for Communication between an Autonomous Car and a Pedestrian’, in *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '17*, Oldenburg, Germany, 2017, pp. 65–73, doi: 10.1145/3122986.3122989.

[30] B. K.-J. Mok, D. Sirkin, S. Sibi, D. B. Miller, and W. Ju, ‘Understanding Driver-Automated Vehicle Interactions Through Wizard of Oz Design Improvisation’, in *Proceedings of the 8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design: driving assessment 2015*, Salt Lake City, Utah, USA, 2015, pp. 380–386, doi: 10.17077/drivingassessment.1598.

[31] C.-M. Chang, K. Toda, D. Sakamoto, and T. Igarashi, ‘Eyes on a Car: an Interface Design for Communication between an Autonomous Car and a Pedestrian’, in *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '17*, Oldenburg, Germany, 2017, pp. 65–73, doi: 10.1145/3122986.3122989.

[32] ‘Cozmo | Meet Cozmo’, *Anki US*. [cozmo.html](http://cozmo.html) (accessed Apr. 30, 2020).

[33] ‘baxter-blog.jpg’, *Callaghan Innovation*. <https://www.callaghaninnovation.govt.nz/file/baxter-blogjpg> (accessed May 15, 2020).

- [34] ‘ASUS Zenbo - Your Smart Little Companion’, *Zenbo Global*. <https://zenbo.asus.com/> (accessed Apr. 30, 2020).
- [35] ‘Tapia | MJI | communication robot’. <https://mjirobotics.co.jp/en/> (accessed Apr. 30, 2020).
- [36] ‘The Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion.’ <https://www.mercedes-benz.com/en/innovation/autonomous/research-vehicle-f-015-luxury-in-motion/> (accessed Apr. 30, 2020).
- [37] ‘Ford, Virginia Tech Go Undercover to Develop Signals That Enable Autonomous Vehicles to Communicate with People | Ford of Europe | Ford Media Center’. <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2017/09/13/ford-virginia-tech-autonomous-vehicle-human-testing.html> (accessed Apr. 30, 2020).
- [38] L. Simulator, ‘LGSVL Simulator’, *An Autonomous Vehicle Simulator*. <https://www.lgsvlsimulator.com/> (accessed May 20, 2020).
- [39] *lgsvl/Jaguar2015XE*. LG Silicon Valley Lab, 2020.
- [40] ‘Python API Guide - LGSVL Simulator’. <https://www.lgsvlsimulator.com/docs/python-api/> (accessed May 20, 2020).
- [41] L. Simulator, ‘Shalun’, *LGSVL Simulator Content Store*. <https://content.lgsvlsimulator.com/maps/shalun/> (accessed May 20, 2020).

# Lisad

## Lisa 1. Lõputööga seotud failid

Lõputööga seotud failid on kättesaadavad aadressil:

[https://github.com/ut-ims-robotics/oidekivi\\_thesis\\_support\\_package](https://github.com/ut-ims-robotics/oidekivi_thesis_support_package)

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Maarika Oidekivi,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

**„Masina kavatsuse tõlgendamine“,**

mille juhendaja on Karl Kruusamäe,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Tartus, **20.05.2020**