



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Oliver Lopato

**ISEJUHTIVATE SÕIDUKITE KASUTAMISE
VÕIMALUSTEST TARTU LINNA ÜHISTRANSPOORDIS**

**THE POSSIBILITIES OF USING AUTONOMOUS VEHICLES
IN THE PUBLIC TRANSPORTATION OF THE CITY OF
TARTU**

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava
Tootmistehnika eriala

Juhendajad: dotsent Arne Küüt, *PhD*
Reet Paatsi, *MSc*

Tartu 2017

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Oliver Lopato		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Isejuhtivate sõidukite kasutamise võimalustest Tartu linna ühistranspordis			
Lehekülgi: 57	Jooniseid: 12	Tabeleid: 4	Lisaid: 3
Osakond: Põllumundus- ja tootmistehnika osakond Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika Juhendaja(d): dotsent Arne Küüt, <i>PhD</i> ; Reet Paatsi, <i>MSc</i> ; Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
<p>Eesti on loonud soodsad tingimused uute keskkonناسäästlike tehnoloogiate kasutuselevõtuks ühistranspordis. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on anda ülevaade ja analüüsida olemasolevat ühistranspordisüsteemi Tartus ning tuginedes olemasolevale informatsioonile tuua välja võimalikud lahendused sõitjateveo parendamiseks, arvestades keskkonناسäästlikkuse aspekti ning kasutades uusi tehnoloogilisi võimalusi, isejuhtivaid sõidukeid. Töös käsitletakse valdkonnaga seotud õigusakte, elektriautode arengut, ülevaadet Tartu linna ühistranspordi hetkeolukorrast, tulevikuvisioni seoses isejuhtivate sõidukite kasutamisega ning pakutakse uusi tehnilisi lahendusi ja vajalikke muudatusi Tartu linna sõitjateveo korraldamiseks. Sõitjateveo majanduslikku efektiivsuse hindamiseks on töös võrreldud nii elektri- kui ka sise põlemismootoriga autode läbisõidust tulenevaid hoolduskulusid ja auto maksumust. Töö autori poolt on välja pakutud isejuhtiva sõiduki testliin Tartus, kus oleks võimalik kokku hoida aasta jooksul vähemalt 190 000€. Selleks, et alustada isejuhtiva sõiduki testimist ning seejärel rakendada isejuhtivat sõidukit Tartu linnatranspordi osana, tuleks täiendavaks majandusliku efektiivsuse hindamiseks koguda muuhulgas andmed isejuhtiva sõiduki maksumuse ja hoolduskulude, keskmise energiatarve ning arendatava taristu maksumuse kohta.</p>			
Märksõnad: keskkonناسäästlik, liiklusohutus, uudne tehnoloogia, elektriauto			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Oliver Lopato		Speciality: Technics and technology	
Title: The possibilities of using autonomous vehicles in the public transportation of the city of Tartu			
Pages: 57	Figures: 12	Tables: 4	Appendixes: 3
Department: Department of Agricultural and Production Engineering Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering Supervisors: assistant professor Arne Küüt, <i>PhD</i> ; Reet Paatsi, <i>MSc</i> ; Place and date: Tartu 2017			
<p>Estonia has created favourable conditions for the application of new environmental technologies in public transport. The aim of this thesis is to provide an overview and analysis of the existing public transport system in Tartu and, based on the information available, to highlight possible solutions for improving passenger transport, considering the environmental aspect and the use of new technological possibilities and autonomous vehicles. This thesis addresses the legislation, the development of electric cars, public transport in the city of Tartu, overview of the current situation regarding the future vision of autonomous vehicle use, and offers new possibilities for technical solutions and the necessary changes in the passenger transport in Tartu. To assess the economic efficiency, a comparison between the maintenance cost (depending on the mileage) and the costs of the car for both electric and internal combustion engines is provided. The author has suggested a test line for autonomous vehicle in Tartu, where it would be possible to save at least 190,000 €. To start the autonomous vehicle testing and then to implement using of autonomous vehicle as part of the public transport, further data for assessment of the economic efficiency should be collected including details of the autonomous vehicle and maintenance costs, the average power consumption, and the cost of infrastructure.</p>			
Keywords: environmental, road safety, innovative technology, electric car			

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	2
ABSTRACT	3
SISSEJUHATUS	5
1. VALDKONNAGA SEOTUD ÕIGUSAKTID	7
2. ELEKTRIAUTODE AJALUGU	10
2.1. Tootmine ja areng maailmas	10
2.2. Elektriautode kasutamine Eestis	11
2.3. Seniste uuringute tulemused	14
2.3.1. Elektriautode kasutajate uuring 2013	14
2.3.2. Avaliku arvamuse uuring autonoomsete ja isejuhtivate sõidukite kohta	14
3. LIIKLUSOHUTUS	16
3.1. Ülevaade liiklusohutusest Eestis	16
3.2. Liiklusohutus isejuhtivate sõidukitega	18
4. ELEKTRIAUTO KASUTAMINE PRAKTIKAS	23
4.1. Elektriauto Nissan Leaf kirjeldus ja andmed	23
4.1.1. Nissan Leafi võrdlus sisepõlemismootoriga sõidukitega	25
5. ÜHISTRANSPORDI KORRALDUS	29
5.1. Ühistransport isejuhtiva sõidukiga Eestis	29
5.2. Hetkeolukord Tartu linna ühistranspordi korralduses	32
6. TARTU ÜHISTRANSPORDI TULEVIKUVISIOON ISEJUHTIVA SÕIDUKIGA....	34
6.1. Testliin isejuhtivate bussidega	35
6.2. Testliin isejuhtivate autodega	38
6.3. Isejuhtivate sõidukite kasutamisest Tartu ühistranspordis	41
KOKKUVÕTE	43
KASUTATUD KIRJANDUS	45
THE POSSIBILITIES OF USING AUTONOMOUS VEHICLES IN THE PUBLIC TRANSPORTATION OF THE CITY OF TARTU	51
Summary	51
LISAD	53
Lisa A. Autode tehnilised andmed	54
Lisa B. Sõidukite hooldusvälp	55
Lisa C. SAE International klassifikatsioon isejuhtimise tasemed	56
Lihtlitsents	57

SISSEJUHATUS

Eesti linnaliikluses osalev ühistransport on tänaseks muutunud keskkonnasõbralikumaks. Ilmselt pole olemas ühtegi linnakodanikku, kes ei sooviks hingata linnatänaval liikudes puhtamat õhku. Üha enam võetakse Eestis kasutusele näiteks maagaasibusse. SEBE AS on Tartu linnaliinidel kasutanud juba 2011. aastast maagaasibusse [1]. Säästes rahalisi vahendeid on see valik ennast õigustanud. Ka kitsam transpordisektor, sealhulgas taksoteenuse osutamine, on läinud tänapäevaga kaasa ja üha enam jõuab linnaliiklusesse elektriautosid. Elektriautode peamiseks eeliseks, jalakäija seisukohast, on puhtam õhk ning väiksem müratase. Keskkonnasõbralikuma ja uusi tehnoloogilisi lahendusi kasutava ühistranspordi arutelud on päevakajalised [2].

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on anda ülevaade ja analüüsida olemasolevat ühistranspordisüsteemi Tartus ning olemasoleva informatsiooni põhjal tuua välja võimalikud lahendused sõitjateveo parendamiseks, arvestades keskkonnasäästlikkuse aspekti ning kasutades uusi tehnoloogilisi võimalusi, isejuhtivaid sõidukeid.

Töö esimene osa sisaldab lühikest ülevaadet valdkonnaga seotud õigusaktidest, elektriautodest üldiselt ning nende tänasest arengust. Töö teine osa sisaldab ülevaadet liiklusohutust isejuhtivate sõidukite näitel; elektriauto kasutamist praktikas; majandusliku efektiivsuse arvutuslikku analüüsi (elektriauto ekspluateerimisest tingitud kulusid võrreldes sise põlemismootoriga sõidukite kuludega); Tartu linna ühistranspordi hetkeolukorda; Tartu ühistranspordi tulevikuvisioni seoses isejuhtivate sõidukite kasutamisega ning uute tehniliste lahenduste väljatöötamise võimalusi ja vajalikke muudatusi Tartu linna sõitjateveo korraldamiseks.

Töös esitatakse erinevate autorite seisukohti, muuhulgas käsitletakse erinevaid avalikke uuringuid ja ühistranspordiga seotud arengukava ning kasutatakse autotootjate ja -müüjate andmeid. Elektriautode taristu kohta on leitud infomaterjali Eesti elektromobiilsuse programm (ELMO) veebilehelt.

Käesoleva töö koostaja on teostatud nii elektri kui ka sise põlemismootoriga autode läbisõidust tuleneva hoolduskulude ja auto maksumuse võrdluse, milles elektriautoks on valitud Eestis enim levinud sõiduauto Nissan Leaf. Sise põlemismootoriga sõidukeid

esindavad erinevad levinumad automargid Eestis, mis on oma tehnilistelt omadustelt sarnased Nissan Leafile. Töö autori poolt välja pakutud testliinil Tartus on analüüsitud isejuhtivate sõidukite kasutusest tulenevaid eeliseid ja puudusi võrreldes hetkeolukorraga. Isejuhtivaks bussiks on valitud Ligier EZ10 ning isejuhtivaks autoks Tesla Model 3.

1. VALDKONNAGA SEOTUD ÕIGUSAKTID

Selles peatükis on lühidalt toodud sõitjateveo ja isesõitvate sõidukite kasutamisega seotud õigusaktid nii Eesti kui ka Euroopa Liidu tasandil.

7. aprillil 2017 jõustus Liiklusseaduse (LS) muudatus, mille § 78 sätestab tüübikinnituse, üksiksõiduki kinnituse ja kinnituse kehtivuse. Selle sätte kohaselt on vajalik taotleda isejuhitavale sõidukile üksiksõiduki kinnitust [3].

LS § 78 lõige 2 alusel on üksiksõiduki kinnitus menetlus, mille tulemusena pädev asutus tunnustab, et konkreetne mootorsõiduk või selle haagis vastab paragrahvi 78 lõike 5 alusel kehtestatud nõuetele [3].

LS § 78 lõige 5 täpsustab järgmist:

Tüübikinnituse ja üksiksõiduki kinnituse nõuded seatakse kaupade vaba liikumise, energiatõhususe, liiklusohutuse, keskkonnakaitse, tervisekaitse, identifitseerimise, teehoiu ja omavolilise kasutamise takistamise eesmärgil. Tüübikinnituse ja üksiksõiduki kinnituse menetlemise tingimused ja korra, nõuded sõidukile ning selle osale, süsteemile, varustusele ja eraldi seadmestikule, sõiduki remondi-, hooldus- ja tehnilisele teabele juurdepääsu tagamisele, toodangu tüübikinnitusele vastavuse tagamise nõuded ja korra, tüübikinnituse järelevalve nõuded ning tehnilise teenistuse määramise korra kehtestab valdkonna eest vastutav minister määrusega [3].

LS § 78 lõige 3 alusel on Eestis tüübikinnituse ja üksiksõiduki kinnituse ning nendega seonduvate toimingute tegemisel pädevaks asutuseks Maanteeamet [3].

Majandus- ja kommunikatsiooniministri 3. juuni 2011. a määrus nr 37 „Auto, mootorratta, mopeedi ja nende haagiste tüübikinnituse, üksiksõiduki kinnituse ja ümberehituse tingimused, nõuded ja korra” reguleerib teeliikluses osaleva auto, mootorratta, mopeedi ja nende haagiste ja sõiduki osade, seadmete, süsteemide ja varustuse tüübikinnitust [4].

Äripäev on 2. märtsil 2017. aastal artiklis „Tänasest võivad tänavatel liikuda isejuhtivad autod“ [5] kajastanud isejuhtivate autode testimisega seotud õigusi, tingimusi ning vajalikke toiminguid.

Alates tänasest on Eesti teedel ja tänavatel lubatud isejuhtivate autode testimine, tingimusel, et autol on juht, kes saab vajadusel kontrolli sõiduki üle endale võtta, teatas majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. Ilma inimese järelevalveta ei hakka sõidukid omapead tänaval liiklema veel niipea [5].

Maanteeameti tehnoosakonna juhataja Jürjo Vahtra sõnul teeb maanteeamet isejuhtivate sõidukite valdkonnas tihedat koostööd Euroopa teiste riikide ametitega. “Olukord on uus ja tuleb olla kindel, et nii auto mehhaanika kui tarkvara vastavad nõuetele. Testimine toimub maanteeameti järelevalve all ja peab olema ohutu,” lisan ta [5].

Testimisõigus avalikel Eesti teedel kehtib isejuhtivatele sõidukitele, mida Rahvusvahelise Autoinseneride Ühingu klassifikatsiooni järgi liigitatakse tasemele SAE 2 või SAE 3. Kõnealustel autodel peab olema kas sõidukis või kaugjuhtimise abil juht, kes sõiduki eest vastutab ning vajadusel kontrolli üle võtab. Ekspertühm jätkab tööd vastutuse, kindlustuse, privaatsuse, eetika ja muudel teemadel, et jõuda lahendusteni, mis võimaldavad tänavatele lubada ka kõrgema autonoomsusega sõidukid (SAE Internationali standardi J3016 tasemed 4 ja 5) [5].

Isejuhtiva tehnoloogia (nt auto) testimiseks Eestis tuleb esmalt läbida järgnevad sammud:

- 1. Tuleb taotleda sõiduki registreerimist ja taotleda sellele üksikkinnitust (LS § 78).*
- 2. Tuua sõiduk enne registreerimist maanteeametisse kontrolli, kus Maanteeameti meeskond (kuhu kuuluvad eksperdid liiklusohutuse, isejuhtiva tehnoloogia valdkonnast) testib sõidukit nii kinnisel alal kui ka liikluses. Testitakse, kuidas juht sõidukit manuaalselt kontrollib; kuidas tehnoloogia võimaldab juhil turvaliselt võtta kontrolli sõiduki autonoomselt režiimilt üle; ning sõiduki võimekust ise sõita.*

Üksikkinnitus kehtib siseriigiliselt, kuid täpsemad testimise tingimused ja kord kooskõlastatakse Maanteeametiga sõiduki registreerimisel [5].

Järgnevalt nimetatud õigusaktid kohalduvad just sõidukijuhile. Juhiga sõidukite ja sõitjateveo puhul on oluline järgida mitmete eriseaduste, muuhulgas Ühistranspordiseaduse (RT I, 24.03.2016, 4) [6], Töölepingu seaduse (RT I, 07.12.2016, 12) [7], Võlaõigusseaduse (RT I, 31.12.2016, 7) [8] ja teiste õigusaktide nõudeid, millel siin täpsemalt ei peatu.

Eestis sätestab Liiklusseaduse (LS) § 130 nõuded mootorsõidukijuhi töö-, sõidu- ja puhkeajale.

LS § 130 lõike 13 kohaselt sõitjate liiniveol, mille liini pikkus selle alg- ja lõpp-punkti vahel on kuni 50 kilomeetrit, ei tohi juhi ööpäevane sõiduaeg ületada üheksat tundi ja ööpäevane katkematu puhkeperiood olla lühem kui üheksa tundi [3].

Oluline on sõidukijuhi töö- ja puhkeaja korraldus. Euroopa Liidu tasandil reguleerivad valdkonda järgmised õigusaktid:

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EÜ) nr 561/2006, 15. märts 2006, mis käsitleb teatavate autovedusid käsitlevate sotsiaalõigusnormide ühtlustamist. Nimetatud määrusega kehtestatakse eeskirjad kauba- ja reisijateveoga hõivatud sõidukijuhtide sõiduaegade, vaheaegade ja puhkeperioodide kohta, et ühtlustada konkurentsitingimusi sisetranspordi liikide, eriti autoveosektori osas ning parandada töötingimusi ja liiklusohutust [9].

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2002/15/EÜ, 11. märts 2002, autovedude alase liikuva tegevusega hõivatud isikute tööaja korralduse kohta. Nimetatud direktiivi eesmärk on näha ette tööaja korraldusega seotud miinimumnõuded, et parandada autovedude alase liikuva tegevusega hõivatud isikute tervise ja ohutuse kaitset ning täiustada liiklusohutust ja lähendada konkurentsitingimusi [10].

Eestis 15. augustil 2016 Riigikantselei juurde loodud isejuhtivate sõidukite ekspertrühma ülesanne on välja töötada ettepanekud Eesti seadusandluse kohandamiseks ja vajaliku järelevalve korraldamiseks, et muuta võimalikuks isejuhtivate sõidukite kasutamine Eesti teedel ja tänavatel ning pakkuda lahendusi selleks, et Eesti oleks rahvusvahelistele ettevõtetele atraktiivne testkeskkond. Eesti näeb enda võimalusena ka isejuhtiva tehnoloogia kasutamist avalike teenuste osutamisel. Ekspertrühma ülesanne on ka valdkonna teavitustegevuste korraldamine. Ekspertrühma ülesannete täitmise tähtaeg on 2017. aasta november [11].

Eestis on isejuhtivate sõidukite testimiseks seadusandlus sisuliselt valmis ning on loodud ekspertrühm, kes igapäevaselt töötab selle nimel, et need sõidukid jõuaksid ka Eesti.

2. ELEKTRIAUTODE AJALUGU

2.1. Tootmine ja areng maailmas

Elektriauto leiutamise eelkäijaks oli šotlane Robert Anderson, kes leiutas 1830ndatel esimese lihtsa elektrilise kaariku, mille jõuallikaks oli mittelaetavad patareid. Mõned aastad hiljem, 1859, leiutas prantslane Gaston Planté laetava pliihappeaku ning Camille Faure arendas selle aku aastal 1881 tänasele tasemele. Esimene elektriauto ehitati leiutaja Thomas Parkeri poolt, aastal 1884, Londonis. 1891. aastal ehitati USA-s esimene elektriauto William Morrisoni poolt. Samal ajal ehitas ameeriklane Thomas Davenport elektrilise tänavaliikuri [12].

Sel ajal eelistati elektriautosid siseõlemismootoriga autodele, kuna viimased oli lärmakad, lõhnasid halvasti, tihtipeale ei olnud siseõlemismootoriga autod usaldusväärsed ning neid pidi käivitama vändaga, mis oli ohtlik ja põhjustas raskeid vigastusi. Samuti oli kütuse efektiivsus piinlikust tekitav [12].

1897. aastal ilmusid New York City tänavatele esimesed elektritaksod. Samal ajal alustas The Pope Manufacturing Company esimesena elektriautode tootmist Ameerikas. Uskudes, et tulevikus käivitab autosid elekter, alustas Thomas Alva Edison oma missiooni luua kauakestev ja võimas aku tarbesõidukitele. 1899. aastaks oli USA-s 12 tootjat, kes valmistasid elektriautosid. 1900. aastal USA-s toodetud autodest olid 28% elektriautod [12, 13].

Elektriautod muutusid taas aktuaalseks aastal 1966, mil USA Kongress tutvustas soovitusel kasutada elektriautosid, et vähendada õhusaastumist. Sel ajal tehtud küsitlus viitas, et 33 miljonit ameeriklast on huvitatud elektriautodest [13].

Aastatel 1997-2000 toodeti suurte autotootjate poolt elektriautosid (näiteks Ford Ranger maastur EV, Honda EV Plus, Nissan Altra EV, Toyota RAV4 EV), mis olid kättesaadavad peamiselt liisimiseks [13].

Tänaseks on turule jõudnud mitmeid elektriautosid ja hübriide. Lisaks Nissan Leafile ja Mitsubishi iMiEVile ka näiteks BMW i3 ja i8, Volkswagen e-Up, e-Golf, Opel Ampera, Tesla Model S, 3 ja X, Renault Zoe, Hyundai IONIQ [14].

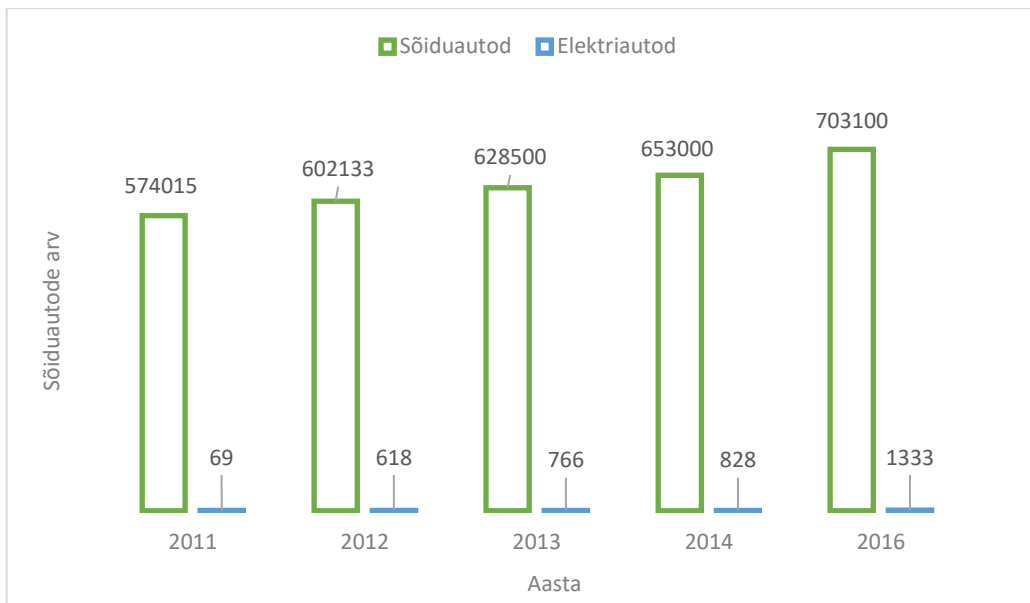
Kuigi elektriautosid arendavad tänapäeval paljud tootjad ning neid on arendatud juba üle 100 aasta, eelistatakse sellegipoolest eelistatakse siiani rohkem sise põlemismootoriga autosid. Enim tähelepanu pöörati elektriautodele ajal, mil oli maailmas energiakriis ning huvi keskkonna säästmiseks midagi ette võtta. Samas on üha enam hakatud rakendama riiklikke programme, et populariseerida elektriautode kasutust.

Tehnika areng on olnud väga kiire ja pea igapäevaselt lisandub teateid isejuhtivate elektriautode testimise alustamisest ning erinevate riikide praktilistest lahendustest. Majanduslik konkurents isejuhtivate sõidukite arendamiseks on tihe. Ka maailma kõige hinnalisem tehnoloogiaettevõtte, Apple, tahab disainida või rajada isejuhtivate sõiduki tehnoloogiat ning on saanud loa isejuhtivate sõidukite testimiseks Californias [15]. Samsung oli esimene elektroonikaettevõtte, kes sai riikliku heaks kiidu testida juhita autot Lõuna-Korea teedel [16]. Saksamaal peab isejuhtival sõidukil testimisel olema juht ja nn *black box*, kuhu salvestatakse andmeid, mida saab liiklusõnnetuse korral analüüsida ning hinnata, kas tegu oli juhi või autotootja programmi veaga. Vastavalt sellele, kohaldatakse erinevalt ka vastutust [17].

2.2. Elektriautode kasutamine Eestis

Esimene Eestis registreeritud elektriauto oli ümber ehitatud GAZ 20 baasil, mis registreeriti Maanteeametis aastal 2006 [18]. Elektriautosid osteti Eestisse suuremal hulgal aastal 2011.

Joonisel 2.1 on toodud välja Statistikaameti andmed, kus on näidatud 31.12.2011 seisuga Eestis registreeritud sõiduautode arvu, mis on 574 015 sõiduautot, millest 69 sõidukit on elektriautod. Viie aastaga on sõidukite arv kasvanud 703 100 sõiduautoni, millest 1333 sõidukit on elektriautod. Kuna 2015. aasta kohta andmed puuduvad, siis elektriautode üldarv Eestis jäi tabelist välja [19].



Joonis 2.1 Elektriautode arv võrreldes Eestis registreeritud sõiduautodest [19].

Elektriautode populariseerimiseks loodi Eesti elektromobiilsuseprogramm ELMO, lühirenditeenus ELMO Rent ja kiirlaadimisvõrgustik. Kuni 2014. aastani toetas Eesti Vabariik elektriautode ostmist SA KredEX vahendusel. See populariseeris märgatavalt elektriautode soetamist. Tänapäevaks on see projekt lõpetatud ning loodud suurema huvi tekitamiseks Eesti elektromobiilsuse programm ELMO, mis on nii Eesti Valitsuse kui ka Mitsubishi Corporationi koostöö energiatõhusate ning keskkonnasäästlike elektriautode ja laetavate hübriidide kasutuselevõtu toetamise programm. Programmi viivad ellu Majandus- ja Kommunikatsiooniministerium, Sotsiaalministerium ja SA KredEx [20].

Huvi elektriautode vastu Eestis on aidanud märgatavalt suurendada ka lühirenditeenus ELMO Rent, mis loodi 2013. aastal Tallinnas ja Tartus. Sellise tegevuse eesmärgiks on populariseerida elektriautode kasutamist ning pakkuda võimalust proovida kasutada elektriautot. Eestis on kasutuses kokku 12 rendipunkti, pakutakse 31 autot, millest 22 on Nissan Leafi ning 9 on Mitsubishi i-Mievi [20].

Üks olulisimaid eeldusi elektriautode kasutamiseks on võimalus laadida akusid. Elektriautode kasutajatele piisava liikumisvabaduse tagamiseks on paigaldatud elektriautode kiirlaadijaid üle Eesti:

- 1) kaetud on kõik peamised kõrge liiklustihedusega maanteed;
- 2) kiirlaadimisjaamade omavaheline distant on 40-60 kilomeetrit;
- 3) paigutamisel peeti silmas seda, et need asuksid populaarsetes huvipunktides, näiteks bensiinijaamad, kohvikud, kauplused;
- 4) linnades on kiirlaadimispunktid paigutatud sinna, kus inimesed igapäevaselt sagedamini liiguvad, näiteks ostukeskuste, posti- või pangahoonete juurde [21].

Joonisel 2.2 on väljatoodud Eesti Vabariigi piires paigaldatud kiirlaadimispunktide asukohad. Kiirlaadijaid on Eestis kokku 167, neist 102 asub linnades ja 65 maanteede ääres. Suurematest linnadest on Tallinnas 29, Tartus 11, Pärnus 5 ja Narvas 2 kiirlaadijat [21].



Joonis 2.2 Kiirlaadijate asukohad Eesti Vabariigis [21]

Alates 2011. aastast on Eestis elektriautode kasutuselevõtt muutunud väga populaarseks. 2016. aasta seisuga on Eestis registreeritud 1333 elektriautot, millest 416 on Nissan Leaf.

2.3. Seniste uuringute tulemused

2.3.1. Elektriautode kasutajate uuring 2013

Käesoleva töö koostaja andmetel teostati viimane uuring elektrisõidukite kasutamise kohta Eestis aastal 2013 AS KredEx tellimusel. Uuringu raames küsitleti 2013. aasta aprillis ja mais 441 elektriauto kasutajat, kelle seas oli nii juriidilisi- kui ka eraisikuid. Nimetatud uuringu eesmärk oli saada tagasisidet elektriautode kasutamise, sellega seonduvate probleemide ning elektriautode kasutamise tingimuste edasise parandamise kohta. Uuringust selgus levinuim automark juriidiliste elektriautode kasutajate seas, milleks oli Mitsubishi. Mitsubishi kasutavad kohalikud omavalitsused, ministeeriumid ja äriühingute töötajad. Eraisikute seas oli levinuim automark Nissan [22].

Uuringus osalenute vastustest selgus, et peamiselt laetakse elektriauto akusid tavapistikust ja öösiti. Kiirloomispunktide levikuga oldi üldiselt rahul, kuid neid kasutatakse peamise laadimiskohana vähe [22].

Elektriauto juures hinnati kõige enam head juhitavust ning manööverdamisvõimet. Rahulolu näidati üles ka elektriauto mootori vaikse töö ning hea kiirenduse juures [22].

Kõige vähem meeldib kasutajatele elektriauto väike sõiduulatus ning akude mahtuvus. Samuti ei oldud rahul sellega, et talvel on sõiduki salong külm ning selle soojendamine vähendab märgatavalt auto sõiduulatust. Need murekohad moodustasid ka uuringu tulemuste põhjal üldise elektriautode probleemi [22].

Elektriautode kasutajate arvates sobib auto kokkuvõttes hästi linnasõiduks, asulasiseseks sõiduks ning lühikeste vahemaade läbimiseks ja ametisõitudeks [22].

2.3.2. Avaliku arvamuse uuring autonoomsete ja isejuhtivate sõidukite kohta

Avaliku arvamuse uuringu, autonoomsete ja isejuhtivate sõidukite kohta Ameerika Ühendriikides, Suurbritannias ja Austraalias, raames küsitleti kolme, peamiselt inglise keelt kõnelevate riikide – Ameerika Ühendriikide, Suurbritannia ja Austraalia inimestelt arvamust

isejuhtivate sõidukite tehnoloogia kohta. Uuringu analüüsis kasutati 1533 inimeselt saadud vastuseid, kes olid vähemalt 18-aastased [23].

Uuringu tulemustest selgus, et 66% kõigist vastanutest oli eelnevalt kuulnud isejuhtivatest sõidukitest. 56,8% vastanutest olid positiivselt meelestatud antud teema suhtes ning avaldasid ka arvamust, et isejuhtivate sõidukite kasutuselevõtuga väheneb nii liiklusõnnetuste arv kui ka liikluse ülekoormatus, lüheneb sõiduaeg ning väheneb õhusaastatus. Lisaks toodi positiivsena välja ka väiksem kütusekulu ning väiksemad liikluskindlustuse maksed [23].

87,9% kõigist vastanutest olid mingil määral mures isejuhtiva sõidukiga sõitmise pärast. USAs toodi peamise põhjusena õiguslik vastutus. Kes on liiklusõnnetuse toimumisel süüdi? Muretseti ka andmete privaatsuse pärast, kas need on kellegi teise poolt käideldavad. Kuidas isejuhtiv sõiduk tuleb liikluses toime võrreldes inimese poolt juhitud autoga? Samuti tunti muret, kuidas halva ilmaga juhita sõiduk toime tuleb. Oldi ka arvamusel, et inimene suudab sõidukit ikkagi paremini juhtida [23].

Uuringus küsiti inimestelt ka tekkiva vaba aja kasutuse kohta. 41% vastanutest jälgiks siiski teed ja oleks valmis häda olukorras sekkuma. 15% küsitletutest loeks raamatut või kirjutaks ja räägiks sõidu ajal sõpradega [23].

Enamik vastanutest omab soovi kunagi antud tehnoloogiat kasutada enda sõidukis. Kuid kui küsiti, kas ollakse valmis ka sellise tehnoloogia eest rohkem maksma, oli enamik vastuseid siiski eitavad [23].

Valdavalt ollakse nii elektriautodega kui isejuhtivate sõidukitega rahul ning soovitakse neid tulevikus kindlasti kasutada. Eesti uuringu kohaselt sobivad elektriautod väga hästi linna sõitudeks. Ameerika Ühendriikides, Austraalias ja Suurbritannias ollakse valmis kunagi omama isejuhtivat sõidukit, kui see ei maksaks nii palju.

3. LIIKLUSOHUTUS

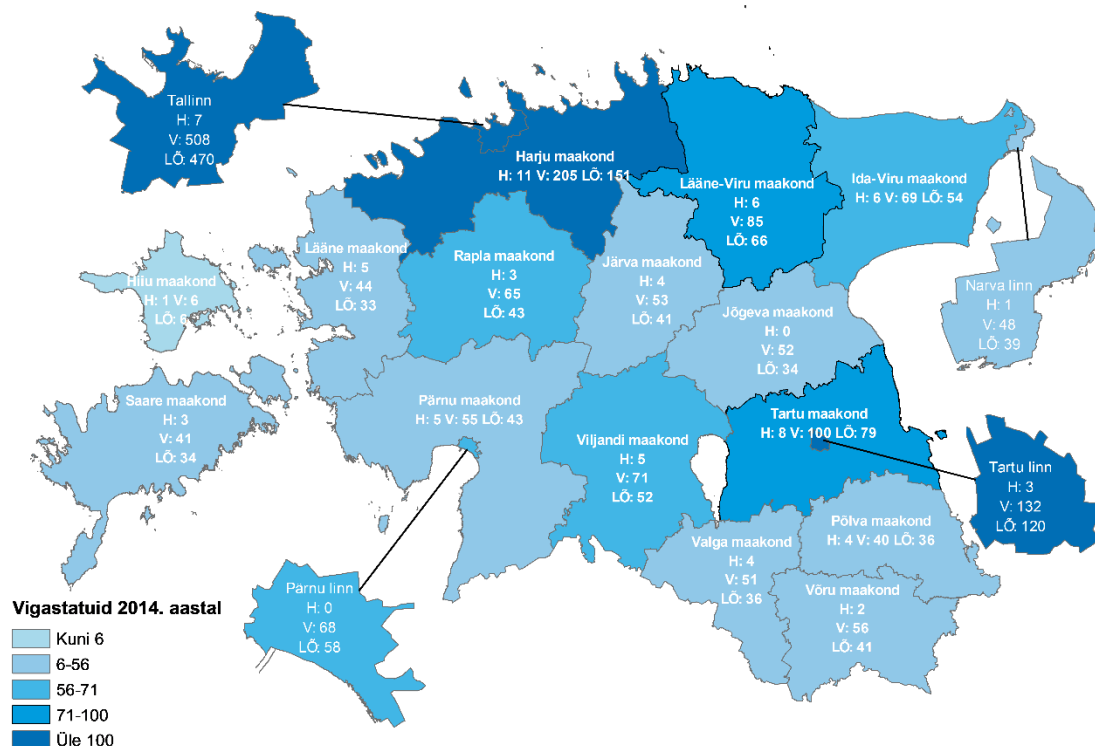
3.1. Ülevaade liiklusohutusest Eestis

2015. aastal Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) poolt avaldatud liiklusohutuse raporti *Global status report on road safety 2015* andmetel sureb maailmas 1,2 miljonit inimest aastas tänu liiklusõnnetustele, muutes liiklusvigastused üheks juhtivaks surmapõhjuseks maailmas [24].

Liiklusõnnetused põhjustavad palju tõsiseid vigastusi, tekitades suuri kannatusi ohvritele ja nende perekondadele. Liikluses saadud rasketel vigastustel on ka suur mõju ühiskonnale tervikuna. Paljude selliste vigastuste (millest levinuimad on pea- ja ajutraumad) tagajärjeks on eluaegne puue või suured muutused ohvri elus. Suur on ka majanduslik kulu – hinnanguliselt 2% ELi SKPst igal aastal [25].

Eestis on liikluses hukkunute arv viimaste aastate jooksul pidevalt langenud. Euroopa Komisjoni 2016. aastal avaldatud statistika andmetel oli 1991. aastal liiklussurmade arv Eestis 313 ning 2015. aastal 51 [26].

Joonisel 3.1 on välja toodud 2014. aasta vigastatute ja hukkunutega liiklusõnnetused maakondades ja suurlinnades. Enamik õnnetusi toimub kohaliku omavalitsusüksuse teel linnaliikluses. Kohaliku omavalitsus üksuse teel juhtus 2014. aastal 818 liiklusõnnetust, milles sai surma 20 ja vigastada 869 inimest, nendest õnnetustest 84% juhtus Tallinnas, Tartus, Pärnus ja Narvas, milles sai surma 55% (11) ja vigastada 87% (765) inimest [27].



Joonis 3.1 Vigastatute ja hukkunutega liiklusõnnetused 2014. aastal linnades ja maakondades [27]

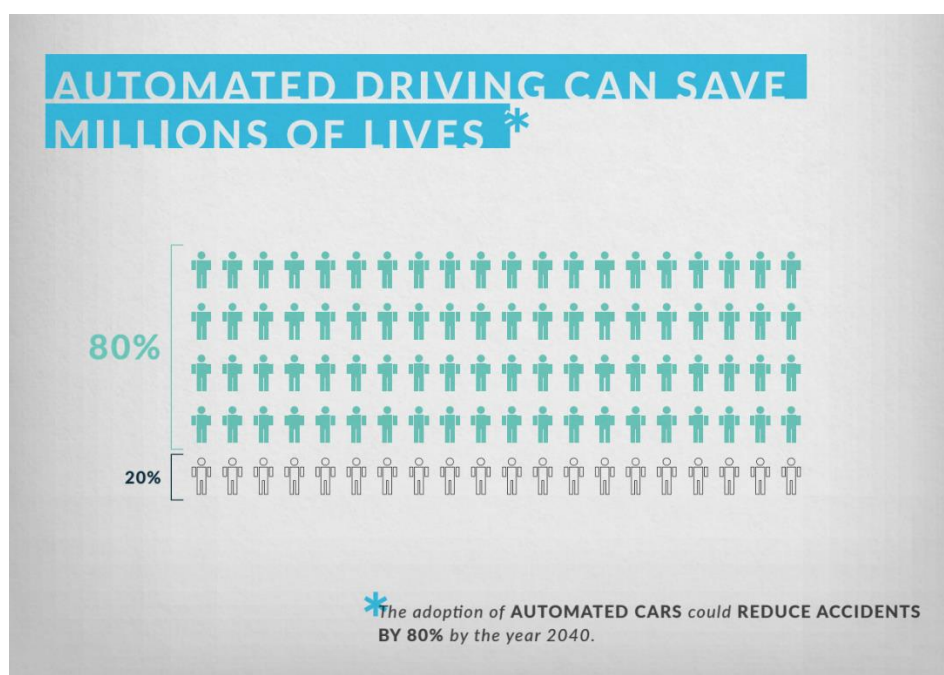
2017. aasta veebruaris kinnitas Eesti Vabariigi Valitsus liiklusohutusprogrammi aastateks 2016-2025. Liiklusohutusprogrammi eesmärgiks on raskete vigastatute ja liiklussurmade vähendamine. Programm näeb ette, et aastateks 2023-2025 ei hukuks liikluses keskmiselt üle 40 inimese ning raskesti vigastatute arv ei ületaks keskmiselt 330 inimest aastas. Eesmärkide saavutamiseks keskendutakse kolmele peamisele valdkonnale: liiklejatele, ohutule liikluskeskkonnale ning täisautomaatsete sõidukite kasutuselevõtule [27].

Transpordisüsteem on üks keerulistemadest ja ohtlikematest süsteemidest, mille inimene on loonud. Liiklusohutuse tagamine algab ruumi- ja maakasutuse planeerimisest. Liiklussüsteemis on liiklusõnnetused vältimatud. Liiklussüsteemi tuleb muuta, et liiklejad eksiksid võimalikult vähe ning eksimuse korral oleksid sellega kaasnevad kahjud võimalikud väikesed [27].

3.2. Liiklusohutus isejuhtivate sõidukitega

Automatiseeritud juhtimistehnoloogiad ennetavad juba praegu kokkupõrkeid ja surmasid maanteedel. *Electronic Stability Control (ESC)*, *Automated Emergency Braking (AEB)*, *Intelligent Speed Assistance (ISA)*, *Lane keeping system* on tänapäeval üha tavalisemad juhiabisüsteemid. Kõik need süsteemid kasutavad tehnoloogiat, et kompenseerida inimese poolt tehtud vigu, võttes teatud situatsioonides juhi üle osalise kontrolli. Isejuhtivatel sõidukitel on suur teoreetiline eelis liiklusohutuses. Isejuhtivad sõidukid ei joo ja juhi ega ole häiritud telefonikõnedest, *Facebooki* postitustest või lastest tagaistmel. Isejuhtivad sõidukid on programmeeritud sõitma lubatud kiirusel ja pööravad tähelepanu ümbritsevale keskkonnale 360 kraadi ulatuses miljon korda sekundis [28]. WHO andmetel satuvad juhid, kes kasutavad sõidu ajal mobiiltelefoni, 4 korda suurema tõenäosusega liiklusõnnetusse. Mobiiltelefoni kasutamine sõidu ajal aeglustab inimese reaktsioonikiirust, mitte ainult reaktsiooniaega pidurdamiseks vaid ka valgufooridele reageerimiseks, muudab õiges sõidureas püsimise ning õige vahemaa hoidmise raskendatuks [29].

Joonisel 3.2 on väljatoodud *Continentali* poolt loodud programmi sõnum – isejuhtivad autod suudavad päästa miljoneid inimesi. Isejuhtivate autode kasutusele võtuga väheneks 80% liiklusõnnetusi aastaks 2040 [30].



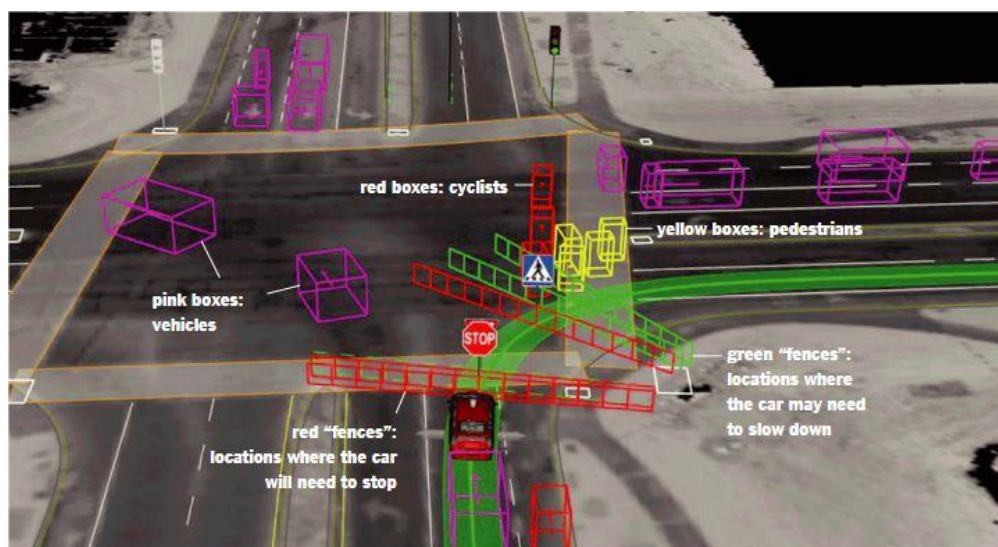
Joonis 3.2 Isejuhtivad sõidukid suudavad säästa miljoneid inimesi [31]

Sõidukipõhiseid intelligentseid ohutussüsteeme kutsutakse sageli ühiselt *eSafety*-süsteemideks. Need on sõidukites paiknevad elektroonilised seadmed, mille eesmärk on aidata juhil ohtusid vältida, näiteks aktiveerides piduri, kui auto on mõnele objektile liiga lähedal või ohusignaalid, kui sõiduk väljub oma sõidureast [32].

Autode jaoks on olemas palju eri tüüpi elektroonilisi ohutussüsteeme ning pidevalt töötatakse välja uusi. Nende hulka kuuluvad näiteks kokkupõrke vältimise ja pidurdusabi süsteemid ning sõidureast kõrvalekaldumise hoiatussüsteemid [32].

Olenemata tootjast on isejuhtival sõidukil vaja saada ümbritseva kohta informatsiooni, tavasituatsioonis on see inimese nägemise abil saadav informatsioon. Kaamerad, radarid, LIDAR (laserskaneermise seade) ja teised tehnilised seadmed võimaldavad inimese nägemisega võrreldes veel paremat ülevaadet ümberringi toimuvast. Tänu GPS-seadme abile on isejuhtival sõidukil olemas täpne informatsioon oma paiknemisest [33, 34, 35]. Samas kui, isejuhtiv auto on hetkel osav tuvastama teisi autosid ja jalakäijaid, kujutavad jalgrattad endast keerulisemat tuvastamisprobleemi, kuna nad on väiksema massiga, kiired ja heterogeensed [36].

Joonisel 3.3 on näidatud, milliseid andmeid isejuhtiva sõiduki andurid koguvad. Ta liigitab objekte suuruse ja kiiruse järgi, vastavalt jalakäijateks, jalgratturiteks või teisteks autodeks ning objektideks, sõltuvalt nende käitumisest [37].

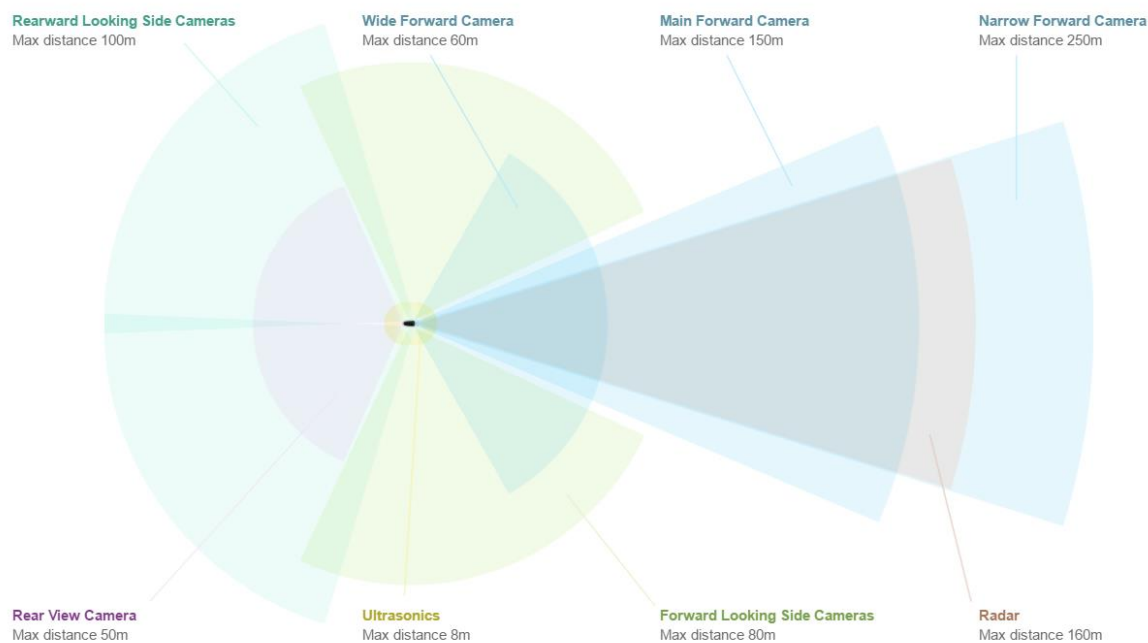


Joonis 3.3 Mida näeb isejuhtiv sõiduk [37]

Autotootja Tesla on oma autopiloodi tarbeks näiteks auto külge monteerinud erinevaid andureid, et ta suudaks ise liigelda või aidata juhti ohutult liigelda. Auto on varustatud 8 kaameraga, mis tagab 360 kraadise nähtavuse ümber auto 250 meetri ulatuses. 12 ultraheliandurit võimaldab avastada erinevaid objekte. Täiustatud ette suunatud radar on võimeline parandama nähtavust läbi tugeva vihma, udu ja isegi läbi eesoleva auto [38].

3 kaamerat on paigaldatud esiklaasi taha, mis parandavad nähtavust autost eespool ning on fokuseeritud kaugematele objektidele. Auto mõlemal küljel on üks 90 kraadine kaamera, mis tuvastavad maanteel autosid teistel sõiduradadel ning tagavad ohutuse juhul, kui vaateväli on piiratud. Mõlemal küljel on ka tahapoole vaatavad kaamerad, mis tuvastavad pimedaid nurki ja aitavad ohutult vahetada sõidurida ning liituda liiklusvooluga. Tahavaatekaamera ei ole ainult tagurdamiseks, vaid aitab ka autol ennast ise parkida [38].

Joonisel 3.4 on kujutatud erinevaid andureid, mis iseloomustavad võrdlevalt erinevate andurite tööd ning nende tööulatust autopiloodi kasutamisel [38].

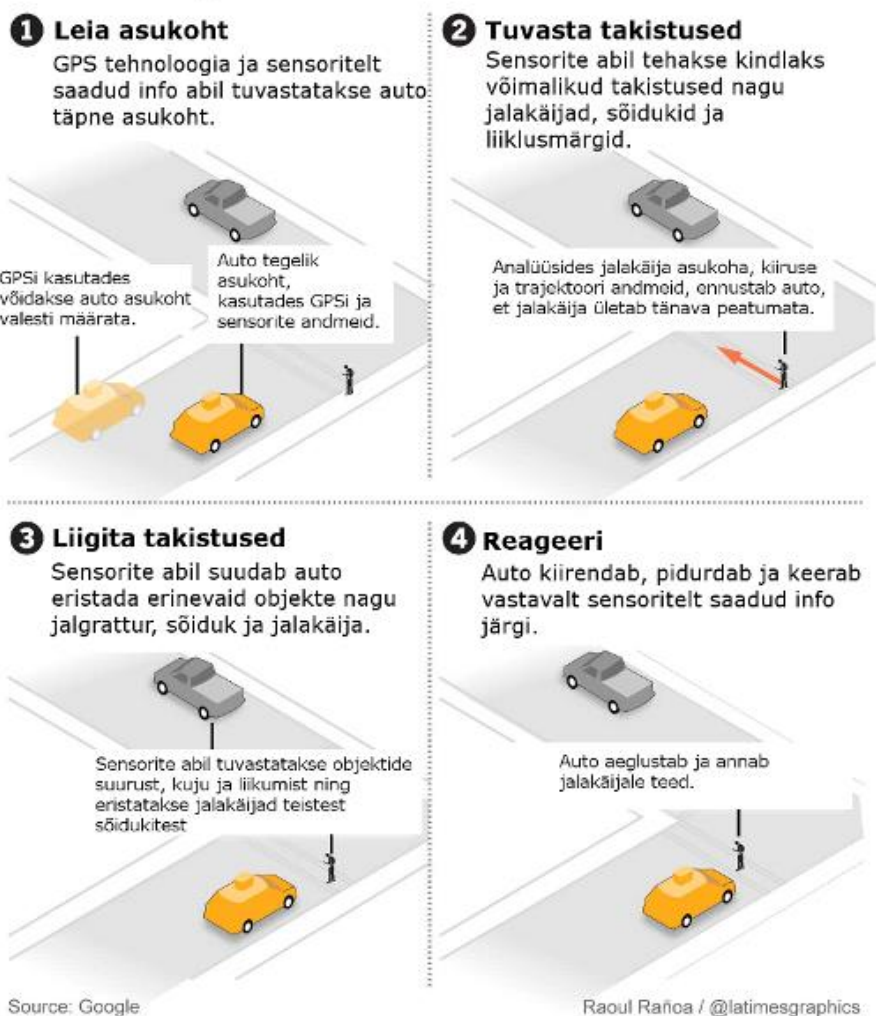


Joonis 3.4 Tesla autopiloodi tööks vajalikud andurid [38]

Autotootja Tesla kodulehe andmetel viib autopiloot liiklusohutuse kaks korda paremaks kui lihtsalt keskmine autojuht ise võimeline oleks. Autopiloot on loodud juhtima lühikesi ja pikki vahemaid, mis ei vaja autojuhi sekkumist sõiduks, kuid juht peab autos olemas olema [38].

Joonis 3.5 annab ülevaate sellest, kuidas on Google'i auto (nüüdsest Waymo) käitub, kui teele satuvad erinevad takistused, näiteks sõidukid, jalakäijad ja jalgratturid.

Kuidas Google'i auto töötab?



Joonis 3.5 Kuidas Google'i auto töötab [39]

Isejuhtivate sõidukite levikuga seotud võimalikud positiivsed muutused:

- 1) liiklusseisakute vähenemine – automaatse süsteemi reaktsioon on võrreldes inimesega kiirem;
- 2) reisijad on vabastatud sõiduki juhtimiskohustusest;

- 3) sujuvam sõit – isejuhtiv sõiduk ei tee järske manöövreid;
- 4) väheneb vajadus liikluspolitsei ja liikluskindlustuse järele;
- 5) keskkonnasõbralikum – isejuhtivad sõidukid on elektrilised;
- 6) väiksem linnamüra [34].

Isejuhtivate sõidukite kasutuselevõtuga kaasnevad ka võimalikud negatiivsed aspektid:

- 1) tarkvaras võib esineda vigu;
- 2) kasvab küberrünnakute oht;
- 3) privaatsuse vähenemine – auto asukohta on võimalik alati tuvastada;
- 4) eetilised väärtushinnangute küsimused: kui õnnetuse korral on valida, kas sõita vastu kiviseina või sõita otsa mitmele jalakäijale, siis millise valiku teeb auto [34].

Isejuhtivad sõidukid aitavad minu hinnangul väga palju kaasa sellele, et meil oleks vähem liiklusõnnetusi. Inimene ise ei näe ja suuda vastu võtta nii kiiresti ja samaaegselt suurt hulka informatsiooni, võrreldes erinevate anduritega isejuhtivatel autodel. Isejuhtivate sõidukite kasutuselevõtuga kaasnevad nii positiivsed kui ka negatiivsed aspektid, kuid üldiselt oleks see suur samm edasi ohutu liikluse suunas.

4. ELEKTRIAUTO KASUTAMINE PRAKTIKAS

Euroopa Liit ja Eesti on võtnud pikaajaliseks strateegiliseks suunaks taastuenergia osakaalu tõstmise transpordis – eesmärk on aastaks 2020 kasutada transpordis 10% ulatuses taastuvkütuseid. Selle saavutamiseks määratakse kohustus segada vedelate kütuste hulka 5–7% biokütuseid, viiakse ühistransport üle taastuvale energiale ja transpordis hakatakse kasutama alternatiivseid taastuvaid energiaallikaid. Elektrisõidukid on just selline valdkond, mille kasutuselevõttu ja arendamist on enamik teisi Euroopa riike ja linnu juba mõnda aega soosinud ja toetanud. Ühelt poolt aitavad elektrisõidukid saavutada puhtamat elukeskkonda ja teiselt poolt on tegemist ka kiirelt areneva ärivaldkonnaga [40].

Elektriautode kasutamine taksoteenusel on praktikas rakendatud Tartu linna näitel ligi 5 aastat. Elektritakso visiooniks ja missiooniks on muuta linna õhk inimestele puhtamaks ning muuta linn vaiksemaks [41]. Väik Takso on võtnud ülesandeks pakkuda klientidele meeldivat sõiduelamust ja omada keskkonnasõbralikku autoparki [42]. Sõidukiteks kasutatakse Eestis enim levinud elektriautot Nissan Leafi.

4.1. Elektriauto Nissan Leaf kirjeldus ja andmed

Elektriauto Nissan Leaf tootmist alustati 2010. aastal. Aasta hiljem valiti Nissan Euroopas Aasta Autoks 2011. Nimi Leaf on akronüüm: *Leading Environmentally-friendly Affordable Family car* (juhtiv keskkonnasõbralik taskukohane pereauto) [43].

2012. aastal alustati Nissan Leafi müüki Eestis. Nissan Leaf on viiekseline luukpära, suuruselt konkureerib Nissan Leaf Volkswagen Golfi, Toyota Aurise, Honda Civicu ning paljude teiste väikeklassi pereautodega [43].

Joonisel 4.1 on kujutatud põhilised Nissan Leafi komponendid ning viited nende asukohale.



Joonis 4.1 Nissan Leafi põhikomponendid [44]

Auto eesosas asub laadimispesa, inventer ja muundur ning nii nagu ka sise põlemismootoriga sõidukitel, asub esiosas ka elektrimootor ja reduktor. Liitiumioonaku ja laadija asuvad auto põhjas istmete all.

Nissan Leaf tehnilised andmed on esitatud tabelis 4.1.

Tabel 4.1 Nissan Leafi tehnilised andmed [14]

Näitaja	Tehnilised andmed
1. Mootor	AC sünkroonmootor 80 kW, 280 N·m
2. Veoskeem	esivedu
3. Aku	Li-ion 24 kW·h
4. Maksimaalne kiirus	145 km/h
6. Sõiduulatus	Kuni 175 km
7. Pikkus	4445 mm
8. Laius	1770 mm
9. Kõrgus	1550 mm
10. Teljevahe	2700 mm
11. Keskmine elektrikulu	15 kW·h/100km
12. Laadimisaeg	12 h (10A), 8 h (16A), kiirlaadimine 80% 30 min

Nissan Leafil on 192 õhkjahutusega liitium-ioonakut, mille kogumahtuvuseks on 24 kW·h. Tootja hinnangul suudab aku 10 aastaga säilitada 70-80% aku mahtuvusest. Akude eluiga mõjutavad mitmed erinevad tegurid, näiteks kui tihedalt kasutatakse kiirlaadijat, missuguses kliimas akusid kasutatakse ning millise sõidustiiliga on juht. Tänu nendele teguritele ei pruugi aku nii hästi vastu pidada, kui eeldatakse. Juhul kui kasutatakse tihti kiirlaadijat, soovitab autotooja Nissan akude kasutusea pikendamiseks vältida aku laaditavust üle 70-80% taseme. Samuti ei tohiks kauemaks kui 14 päevaks auto seisma jätta, juhul kui akud on peaaegu tühjad [45].

Iga juhi liigutus võib tuua olulise muutuse auto sõiduulatuses: lülitades näiteks soojenduse sisse kahaneb kohe sõiduulatus mitmekümne kilomeetri võrra, samasugune situatsioon avaldub ka siis, kui natukenegi kiiremini sõita [46].

Nissani nagu ka kõigi teiste elektriautode eripäraks on käiguvahetuse puudumine, mis muudab linnasõidu mugavaks. Tootja lubab, et akud säilitavad oma mahtuvusest 10 aasta jooksul 70-80%. Kuigi Nissani ostuhind on kõrge, siis peale 200 000 km läbimist on ta peaaegu võrdne võrdluses olnud sisepõlemismootoriga sõidukitega. Eeskätt tänu sellele, et Nissani ülalpidamiskulud on märkimisväärselt madalamad.

4.1.1. Nissan Leafi võrdlus sisepõlemismootoriga sõidukitega

Järgnevalt on kirjeldatud elektriauto Nissan Leafi alghinda ja hoolduskulusid võrreldes sarnaste väikeklassi kuuluvate sisepõlemismootoriga sõidukitega. Nissan Leafi alghind algab 33 600 € juures ning tippvarustust omava versiooni alghind algab 42 180 € juures. Alati on võimalik lisaks juurde soetada lisavarustust [47]. Kuni 2014. aastani toetati riiklikult koostöös KredExiga elektriauto ostu 18 000 euroga. Täna nimetatud toetust enam ei pakuta, mille tõttu elektriauto hind on kallis.

Eestis varasemalt koostatud analüüsi andmetel kasutatakse Nissan Leafi hooldusel erinevaid lepinguid, mille alusel sõlmitakse hooldusleping kas kolmeks, neljaks või viieks aastaks. Hooldused toimuvad kas korra aastas või 30 000 km täitumisel, olenevalt sellest, milline tingimus varem täitub. Hooldus kolmeks aastaks maksab 330 €, neljaks aastaks 410 € ja viieks aastaks 470 € [43].

Eeldusel, et leping sõlmitakse viieks aastaks, siis keskmiseks hoolduse tasuks aastas kujuneb

$$k = \frac{l}{m} = \frac{470}{5} = 94, \quad (4.1)$$

kus k on aasta keskmine hoolduskulu 5 aastase perioodi jooksul €;

l – hoolduse maksumus viieks aastaks €;

m – 5 aastat.

Nissan Leafi keskmine aastane hoolduskulu on 94 € (4.1). Võrdluseks Nissan Leafile on esitatud sise põlemismootoriga autode Toyota Auris, Hyundai i30, Volkswagen Golf hooldusvälbad ja -tasud ning auto alghinnad. Nimetatud sõidukite hooldusvälbad jäävad 20-30 000 km vahele või üks kord aastas, sõltuvalt läbisõidust. Igal teisel hooldusel teostatakse põhjalikum ja kulukam hooldus. Olenevalt sõidukist, vahetatakse 100-150 000 km läbimise järel mootori hammasrihm või mootori abiseadmete rihmad ning rullikud. Hoolduse hinnad sõltuvad sellest, mida täpselt teostati, väiksemamahulised hooldused jäävad 100-200 € vahele ning suuremad hooldused 300-400 € vahele.

Lisaks eksploateerimishinnale on erinevuseks elektriautode ja autobensiini kasutataval sõidukitel kütusekulu. Tabelis 4.2 on välja toodud käesoleva töö koostaja poolt kogutud võrdlusandmed erinevate sõidukite kohta, arvestades nii kütuse kulu kui ka kütuse hinda [43]. Kütuse ja elektrienergia hind on võetud seisuga 23.04.2017. Autobensiini liiter Terminali tanklates maksis 1,165 € liiter [48]. Eesti Energia üldteenuse hinnakirja järgi on 2017 aasta märtsikuu öise elektritarbimise tariifi hind 0,0388 €/kW·h (3.1) kohta ja päevase elektritarbimise tariifi hind 0,0457 €/kW·h [49]. Eeldusel, et laadimine toimub ööpäevaringselt, kujuneks ööpäeva 1 kW·h keskmiseks hinnaks 0,0423 €. Seega kui akut laetaks ööpäevaringselt, kasutades ööpäeva keskmist hinda, siis oleks kulu 100 km läbimiseks

$$X_{kulu} = X_{energiatariif} \cdot X_{keskmine\ kulu} = 0,0423 \cdot 15 = 0,635, \quad (4.2)$$

kus X_{kulu} on keskmise elektritarbimise kulu eurodes 100 kilomeetrile €/100 km;

$X_{energiatariif}$ – ööpäevaringse elektritarbimise tariifi keskmine hind €/kW·h;

$X_{keskmine\ kulu}$ – keskmine kütuse kulu kW·h/100 km.

Päevasel ajal laadides oleks 100 km läbimise hinnaks vastavalt 0,69 € ning ainult öisel ajal laadides 0,58 €. Ööpäevase elektri hinna alusel arvatud 100 km läbimise keskmiseks hinnaks on 0,64 € (4.2).

Tabel 4.2 Kütusekulu maksumus elektri- ja sise põlemismootoriga autodel [43]

Auto mark	Kütus	Keskmise kütusekulu		Maksumus €		
		$\frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{100 \text{ km}}$	$\frac{\text{l}}{100 \text{ km}}$	1 kW·h	1 l	100 km
1. Nissan Leaf	elekter	15	-	0,0423	-	0,64
2. Toyota Auris	bensiin	-	6,0	-	1,165	6,99
3. Hyundai i30	bensiin	-	5,0	-	1,165	5,83
4. VW Golf	bensiin	-	5,6	-	1,165	6,53

Võrdluseks elektriautole on toodud kolme sise põlemismootoriga sõiduki andmed, mille kütuseks on autobensiin. Arvestatud on autobensiini E95 hinnaga Terminali tanklas, milleks oli 1,165 € liitri kohta. Sise põlemismootoriga sõidukite 100 km hind on leitud järgmise valemiga

$$x = B_k \cdot x_{kütus}, \quad (4.3)$$

kus x on 100 kilomeetri maksumus €;

B_k – auto keskmise kütusekulu l/100 km;

$x_{kütus}$ – autobensiini E95 maksumus €/l.

Tabelis toodud sise põlemismootoriga sõidukite keskmiseks kütusekuluks 100 kilomeetrile on 5,53 liitrit. Sellest tulenevalt on 100 km hind 6,44 € (4.3), mis on 7 korda suurem kui elektriautol.

Lisaks odavamale sõidukilomeetrile on elektriautol kasutusest tulenevaid eeliseid veelgi:

- 1) auto on keskkonnasõbralik – ei tekitata õhku heitgaase;
- 2) sõidumüra salongis 68-72 db [46];
- 3) väiksem sõidu- ja energiakulu;
- 4) elektrimootor on töökindel;
- 5) pidurdamisega laetakse akusid;
- 6) lisasoodustused (parkimissoodustus Tallinnas, Tartu, Pärnus) [50].

Tabel 4.3 Kulud sõidukitele 5-aasta jooksul

Auto mark	Ostuhind, €	Hoolduskulu 5 aastal kokku, €	1 kilomeetri hind, €	Kulu sõidukile 200 000 km läbimisel, €
1. Nissan Leaf	33 600	470	0,0064	35 350
2. Toyota Auris	17 740	3569	0,0699	35 289
3. Hyundai i30	15 990	1658	0,0583	29 308
4. Volkswagen Golf	18 685	1672	0,0653	33 417

Tabelis 4.3 on väljatoodud sõidukite kulu pärast 200 000 km läbimist, mis on arvutatud antud valemiga

$$a = b_{km} \cdot c_{läbi} + d_{aasta} + e_{auto}, \quad (4.4)$$

kus a on auto ja kütuse kulu pärast 200 000 km läbimist €;

- b_{km} – 1 kilomeetri hind €;
- $c_{läbi}$ – 200 000 kilomeetrit km;
- d_{aasta} – 5 aasta hoolduskulu kokku €;
- e_{auto} – auto ostuhind €.

Võttes arvesse nii sõidukite ostuhinda kui ka hoolduskulusid ning kütusekulu 200 000 km läbimiseks (4.4). Kütuse ja elektrienergia hinnad on aluseks võetud 23.04.17 seisuga (vt ptk 4.2.2 tabel 4.2).

Võrdluse tulemustest selgub, et Nissan Leafi maksumus jääb ka peale 200 000 km läbimist teistest kõrgemaks, kuid ülalpidamiskulud on võrreldes sisepelemismootoritega sõidukitega märkimisväärselt madalamad.

5. ÜHISTRANSPORDI KORRALDUS

5.1. Ühistransport isejuhtiva sõidukiga Eestis

2017. aastal Tallinnas toimunud seminaril „Isejuhtivate autode ajastu – isejuhtiv ühiskond“ esitleti plaani, mille kohaselt peaks Eesti saama isejuhtivate autode arendamiseks parimaks paigaks maailmas. Eesti seadusandlus toetab juba praegu isejuhtivate sõidukite testimist. Näiteks Eestis saaks isejuhtivaid sõidukeid katsetada ühistranspordi või sotsiaalteenuseid pakkudes[51]. 7. märtsil 2017 Riigikogu kodulehel avaldatud Eesti Reformierakonna fraktsiooni teates, kutsus Taavi Rõivas ja Kalle Palling isesõitvate autode arendajaid Eestisse [52]. *Eesti eelisteks on seadusloome kiirus ja paindlikkus, 5G rakendamine Telia ja Ericssoni poolt 2018. aastal. Tugev akadeemiline ja küberkaitse kompetents ning igapäeva praktika, samuti üleriigiline elektriautode laadimisvõrk – leiame, et see on väga tugev väärtuspakkumine. Me soovime, et rahvusvahelised isejuhtivate autode tootjad tuleksid Eestisse oma tehnoloogiat arendama, aga ka reaalseid teenuseid katsetama, ütles riigikogu aseesimees Taavi Rõivas. Eestil on kõik eeldused saada isejuhtivate autode arendamiseks parimaks paigaks maailmas ja seetõttu oleme valmis lubama tehnoloogia katsetamist avalikel teedel. See on suur konkurentsieelis võrreldes enamike riikidega, kus isejuhtivate autodega saab sõita vaid selleks ette nähtud ja suletud alal, lausus Palling.* Taavi Rõivas ja Kalle Palling saatsid üleskutse Daimler'i, Tesla, Uberi, Volvo ja Waymo (endine Google Car) juhtkondadele [52].

Isejuhtivate sõidukite kasutuselevõtuks on paljud riigid ettevalmistusi teinud. Riigikantselei ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt tööd alustanud ekspertrühma hinnangul on Eestil mitmeid eeliseid:

- 1) hea oskusteave küberkaitse valdkonnas, et arendada isejuhtivate autode turvalisust;
- 2) keerulised ilmastikutingimused sensorite testimiseks;
- 3) üleriigiline elektriautode laadimistaristu;
- 4) väike riik nii territooriumilt kui ka avaliku sektori mõttes;
- 5) hulk innovatiivseid kohalikke ettevõtteid (Cleveron, Taxify, Omniva);
- 6) tugev akadeemiline kompetents;

- 7) riigipoolne kaasfinantseering testaladesse;
- 8) üleüldiselt suur vastuvõtlikkus tehnoloogiale ühiskonnas [51].

Tallinnas alustab 2017. aasta juulist sõitmist vähemalt kaks isejuhtivat bussi. Buss hakkab sõitma mööda kindlaid bussiliine. Igas isesõitvas väikebussis hakkab olema juht ehk saatja, kellel on võimalus võtta ohuolukorras bussi juhtimine üle [53].

USA autoinseneride institutsioon on loonud *SAE - the Society of Automotive Engineers - International* klassifikatsiooni automatiseeritud autode kohta. Lisas C on joonisel on välja toodud isejuhtivate sõidukite *SAE* viis taset, kui palju auto end ise juhtida suudab:

- 1) 0. – tase näitab seda, et automatiseerimine puudub ning kõik toimingud teeb juht;
- 2) 1. – tase sisaldab juhiabi süsteemi, kus auto suudab üle võtta kiiruse või rooli kontrollimise, kuid muud toimingud otsustab juht;
- 3) 2. – tase omab süsteemi, kus auto saab kontrollida korraga näiteks nii rooli kui ka kiirust eeldusel, et autojuht täidab kõik muud toimingud;
- 4) 3. – tasemel võib auto teha kõik sõiduks vajalikud toimingud eeldusel, et juht on koheselt võimeline reageerima, mis tähendab, et inimene peab pidevalt valvel olema;
- 5) 4. – tasemel auto suudab teha kõik võimalikud toimingud sõiduks ning juht ei pea olema valmis sekkuma, näiteks maanteeõit, kuid juht peab siiski autos olemas olema;
- 6) 5. – tasemel võib auto ennast kõikides olukordades ise juhtida ning autos ei pea olema juhti [51, 54].

Tallinnas kasutatakse isejuhtivateks bussidena EZ10, mis on toodetud väga kergeid autosid tootva Prantsuse tootja poolt Ligier. Ligier loodi 1971 aastal. Ligier on üks suurim Euroopa mikroautode tootja ning 2008. aastast alates on müünud elektrisõidukeid [55].

Joonisel 5.1 on kujutatud Ligieri poolt toodetud EZ10. Ligier EZ10 suudab transportida kuni 12 inimest korraga – 6 istumiskohta ja 6 seisukohta ning samuti suudab transportida ka liikumispuudega reisijaid. Liikuril pole rooli, millega teda juhtida, ei ees ega ka taga. EZ10 suudab ennast sisuliselt koha peal ümber keerata [55].



Joonis 5.1 Ligier EZ10 [55]

Tabel 5.1 Ligier EZ10 tehnilised andmed [55]

Näitaja	Tehnilised andmed
1. Mahutavus	12 inimest (6 istumis- ja 6 seisukohta)
2. Maksimaalne kiirus	40 km/h
3. Mootor	AC sünkroonmootor
4. Akude kestvus	kuni 14 tundi
5. Aku	Liitiumioon (LiFEP04)
6. Pikkus	3928 mm
7. Kõrgus	2750 mm
8. Laius	1986 mm
9. Täismass	2750 kg

Tabelis 5.1 on toodud välja Ligier EZ10 tehnilised andmed. Sellise väikeste mõõtudega isejuhtiva bussi mahutavus on 12 inimest, mis on märkimisväärne.

Eestis on välja töötatud transpordi arengukava aastateks 2014-2020. Transpordi arengukava 2014-2020 näeb muutusi liikumises ja transpordis aastal 2020 näiteks transpordi negatiivsete

keskkonnamõjude (kasvuhoonegaaside heitkogused, müra, lämmastiku, väävl, tahkete osakeste) kasvu aeglustumist. Samuti loodetakse, et liiklus muutub oluliselt ohutumaks [56].

Arengukava üheks meetmeks on intelligentsete transpordisüsteemide arendamine. Meetme kujundamise põhimõtteks on kasutada võimalikult kaasaegset info- ja kommunikatsioonitehnoloogiat (IKT), mis ei suurendaks kasutajate kulusid. Intelligentse transpordisüsteem (ITS) on süsteem, kus IKT rakendamisega muudetakse transpordi korraldust või teenust (taristu, sõiduk, liiklus) mugavamaks, efektiivsemaks, ohutumaks või säästlikumaks. Tehnoloogia arendamisega pikemas perspektiivis on võimalik muuta liikuvuse süsteemi, näiteks juhita sõidukite kasutuselevõtmise kaudu. Meetme raames viiakse läbi mitmeid tegevusi, muuhulgas töötatakse välja isesõitvate/autonoomsete sõidukite ohutut kasutuselevõttu soosiv regulatsioon, vastavad koosvõime ja turvalisuse standardid ning järelevalve põhimõtted [56].

5.2. Hetkeolukord Tartu linna ühistranspordi korralduses

Tartu eesmärk on pakkuda keskkonnasõbralikku liikumiskeskonda, mis arvestab kõiki liikumisviise. Eriti soositakse kergliikluse ja ühistranspordi kasutamist [44]. Tartu linna ühistranspordis on hetkel kasutusel kaks peamist transpordiliiki – buss ja takso.

Käesolevas töö käsitlen transpordiliigina isejuhtivat bussi- ja autot, seda seetõttu, et nii aja kui ka informatsiooni puuduse tõttu pole taksonduse kohta piisavalt materjali millele tugineda.

Tartu linn oli esimene Eestis, kes sai 2011. aastal viis keskkonnasõbralikku surugaasibussi, mis teenindavad regulaarliine. Tartu linnal on siht suurendada linnaliinidel gaasibusside osakaalu. Esialgu kasutatakse bussides kütusena maagaasi [1, 58].

2011. aasta alguses tulid Tartu linna liinidele bussifirma SEBE uued punased linnaliinibussid. Tartus on 2017. aastal 25 bussiliini [40], mille marsruudi kogupikkuseks on 491 kilomeetrit [58]. Täna on Tartu linnaliikluses igapäevaselt kasutuses 52 linnaliinibussi [40], kokku on neid busse 67. Kuna Tartu püüdleb puhta ja inimsõbraliku elukeskkonna poole, siis lisaks viiele keskkonnasõbralikule gaasibussile, lisandus 2016. aasta detsembrist

veel kolm. Õige pea suureneb gaasibusside arv Tartus juba 62-ni ja nii on alates 2019. aastast kõik Tartu linnaliine teenindavad bussid moodsad ja keskkonda säästvad gaasibussid [40].

Kui biogaasi tootmine suureneb ning hakatakse seda autokütuseks töötlemata, planeeritakse võtta kütusena kasutusele biogaas kui taastuvenergiaallikas. Biometaan on keskkonnasõbralik ja seda saab toota kohalikust toorainest. Toetades kohalikku tootjat saavutatakse sellega sõltumatus maailmahindadest. [58].

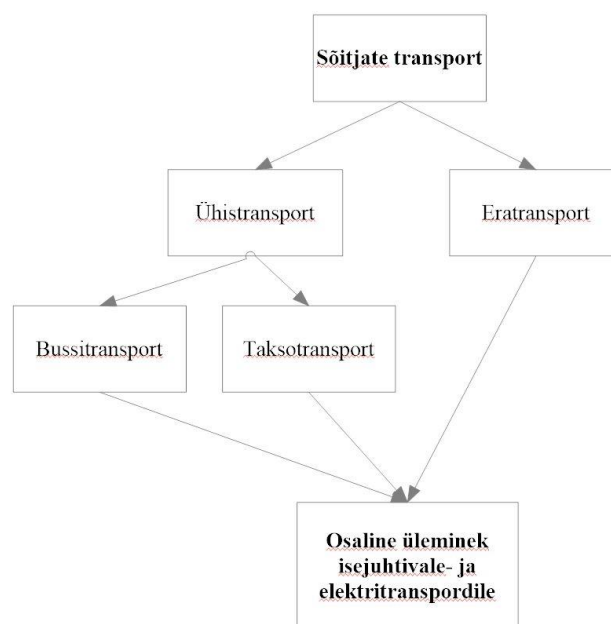
Eesti on loonud sobiva keskkonna isejuhtivate sõidukite testimiseks, nüüd oleks siia vaja tootjaid, kes saaksid enda sõidukid Eesti kliimas proovile panna. Tartu on heaks eeskujuks Eestis teistele suurtele linnadele oma keskkonnasäästliku ühistranspordiga, isejuhtiva sõiduki kasutuselevõtuga suurendataks keskkonnasäästlikust veelgi.

6. TARTU ÜHISTRANSPORDI TULEVIKUVISIOON ISEJUHTIVA SÕIDUKIGA

Tartu linn korraldas 10. mail 2017 visioonikonverentsi „Tartu ühistransport 2030“, kus muuhulgas käsitleti ühe teemana juhita busside linnatänavatele toomise võimalust [59].

11. mail avaldatud Tartu Postimehe artiklis „Tartu ihkab juhita busse“ mainiti uuenduslikku mõtet katsetada Tartu pärisliikluses ilma juhita sõitvaid busse. Üheks testimispiirkonna variandiks toodi välja Roosi tänav, mis ühendab Tartu kesklinna Eesti Rahva Muuseumiga (ERM). Roosi tänav pakuti testimiseks välja seetõttu, et see on muust liiklusest suhteliselt eraldatud. Peamiseks probleemiks, miks testimisega Tartus ei alustatud, oli isejuhtivale bussile oma sõiduraja eraldamine, milleks Roosi tänaval ei olnud piisavalt ruumi. Nimetatud artikli andmetel ei maksaks Tartule proovisõiduk midagi. Teemakohaseid arutelusid jätkatakse ning Tartu on uuteks testimisvõimalusteks avatud [60].

Joonisel 6.1 on välja toodud plokk skeem sõitjate transpordi tulevikusvisioonist Tartu linnas.



Joonis 6.1. Sõitjate transpordi plokk skeem

Olemasoleva informatsiooni põhjal on Tartu linnas isejuhtival bussil tulevikku. Tallinnas 2017. aasta juulis kasutusele võetav isejuhtiv buss Ligier EZ10 sobiks testimiseks ning kasutamiseks ka Tartus. Lisaks eelnevalt väljapakutud testimispiirkonnale Tartus Roosi tänaval, võiks testida isejuhtivaid busse suure liiklustihedusega Lõunakeskuse ja kesklinna vahelisel lõigul Riia tänaval. Kuna Riia tänav on ruumikas, siis sinna oleks võimalik kavandada vajadusel ka eraldi sõidurea isejuhtivale bussile. Samuti muudaks isejuhtiv buss liini keskkonnasäästlikumaks, sest hetkel on nimetatud lõigul kasutusel diiselmootoriga linnaliinibussid.

Hetkel on sellel ekspressliinil 2 bussi, mis veavad inimesi Ringtee tänavalt Väike-Turu tänavale mööda Riia tänavat. Tulenevalt Ligier EZ10 tehnilistest andmetes (vt. peatükk 5.1 tabel 5.1), on isejuhtiva sõiduki sõidukiirus madalam ning reisijate mahutavus väiksem kui olemasoleval liinil sõitvatel bussidel. Sellest järeldub, et juhul kui liini teenindaksid isejuhtivad sõidukid, oleks vaja liinile rohkem sõidukeid, näiteks kahe asemel neli isejuhtivat bussi.

Kuna Riia tänav on kuni kesklinnani sisuliselt üks pikk sirge, siis oleks see hea platvorm, millest alustada edaspidist tehnoloogiaalast arengut. Tänu isejuhtiva sõiduki tööpõhimõtetele, paneks see proovile kõik sõidukile ohutuks liiklemiseks lisatud andurid.

6.1. Testliin isejuhtivate bussidega

Alljärgnev olemasoleva ühistranspordi liini kuluanalüüs, kasutades isejuhtivaid busse Ligier EZ10, põhineb osaliselt hüpoteetiliselt andmetel. Nii keskmine kütusekulu kui ka igakuine kulutus bussiteenusele on töö autori poolt empiirilisel valitud.

Ringtee ja Väike-Turu vaheline lõik on ca 5 km pikkune. Hetkel käimasoleva ekspressliini sõiduplaani järgi tehakse päevas 16 edasi-tagasi reisi [61]. Järelikult sõidetakse päevas

$$S_p = s_r \cdot b = (5 \cdot 2) \cdot 16 = 160, \quad (6.1)$$

kus S_p on reise toimumisel läbitud kilometraaž km;

s_r – ühe reisi pikkus km;

b – reise arv päevas.

Praegune sõiduplaan toimib igapäevaselt ning kui ühes päevas sõidetakse 160 km (6.1), siis ühe kuuga, eeldades, et kuus on 30 päeva, sõidetakse läbi

$$S_k = S_p \cdot p_k = 160 \cdot 30 = 4800, \quad (6.2)$$

kus S_k on ühe kuu jooksul läbitud kilometraaž km;

S_p – reise toimimisel läbitud kilometraaž km;

p_k – päevade arv kuus.

Eeldan, et bussi keskmine kütusekulu linnas on umbes 40 l/100 km. Kuna kuus sõidetakse 4800 km (6.2), siis kulutatakse kütust igakuiselt

$$D_{\text{kütuse kogus}} = \frac{x \cdot S_k}{100} = \frac{40 \cdot 4800}{100} = 1920, \quad (6.3)$$

kus $D_{\text{kütuse kogus}}$ on keskmiselt kuus kulutatud diislikütus kogus l;

x – eeldatud linnaliinibussi keskmine kütuse kulu linnas l/100 km;

S_k – ühe kuu jooksul läbitud kilometraaž km.

Kui kuus kulutatakse 1920 liitrit diislikütust (6.3), siis 11.05.17 Terminali tanklates müüdava diislikütuse liitri hinna järgi, milleks oli 1,109 € liiter, oleks 1920 liitri maksumus 2129,3 €. Seda juhul, kui teenindaval ettevõttel ja kütusemüüjal ei ole omavahel sõlmitud soodsamat lepingut. Lisaks kütusele kaasnevad ka busside ekspluateerimisest tulenevad kulud. Kui suured on busside hoolduskulud, täpselt teada ei ole, sest enamasti on liiniteenindajal ja hooldust pakkuval ettevõttel sõlmitud kokkulepe, mille maksumus võib erinevate vedajate vahel suuresti erineda.

22. mail 2012 avaldatud Tartu Postimehe artikli „Oma buss aitab keskustel ostlejaid juurde võita“ põhjal kasutab Lõunakeskuse ekspresliini umbes 500-1000 inimest päevas, mis teeb keskmiselt 47 reisijat ühe sõidu kohta [62].

Käesoleva töö autori andmetel on tänaseks sõitjate arv ühe sõidu kohta Lõunakeskuse ekspresliinil kahanenud keskmiselt 20-30 reisija peale, mis teeb päevas keskmiselt 400 reisijat (6.4). Reisijate arv on leitud järgmise valemiga

$$f = \frac{(g \cdot b) + (h \cdot b)}{2}, \quad (6.4)$$

kus f on sõitjate arv ühe sõidu kohta Lõunakeskuse ekspresliinil reisija;

- g – keskmiselt 20 reisijat ühe sõidu kohta;
- h – keskmiselt 30 reisijat ühe sõidu kohta;
- b – reise arv päevas.

Ajal, mil artikkel avaldati (2012) teenindas seda liini OÜ Automen. Bussiteenuse ostmisele kulutati toona umbes 6400 € kuus [62]. Tänapäevaks on teenindaja vahetunud ning ka liinile teine buss juurde lisandunud.

Juhul, kui tänapäevaks on see summa kasvanud näiteks 8000 euroni, siis igakuine kulutus bussiteenusele oleks 16 000 € ning sellest tulenevalt aastane kulu oleks

$$g_{\text{aastane kulu}} = h \cdot i = 12 \cdot 16\,000 = 192\,000, \quad (6.5)$$

kus $g_{\text{aastane kulu}}$ on aastas kulutatud summa liini ostmiseks €;

- h – 12 kuud;
- i – ühe kuu liini teenindamise kulu €.

Aastane kulu on 192 000 € (6.5).

Juhul, kui isejuhtiva sõiduki soetus- ja hoolduskulud oleksid testperioodil kaetud näiteks tootja poolt, hoiaks eelneva hüpoteetilise arvutuse põhjal Lõunakeskus kokku nii kütusekulu kui ka busside hoolduskulude arvelt. Lõunakeskuse kanda jääks siiski elektrisõiduki laadimisest tulenev kulu.

6.2. Testliin isejuhtivate autodega

Võrdluseks isejuhtivale bussile EZ10, pidades silmas tulevikku ja tehnika arengut, on võimalik Tartus Lõunakeskuse ja kesklinna liini vahel sõitma panna näiteks ka isejuhtivad autod.

Käesoleva töö autori poolt on selleks valitud Tesla Model 3, mis peaks müügile jõudma 2017. aasta jooksul. Tänu sellele puuduvad, 23. mai 2017 seisuga, tehnilised andmed. Teada on ainult see, et auto hind algab 35 000 USD, mis eurodesse ümber arvutatuna, 24.05.17 seisuga, on 31 115 €. Sõiduulatus on pakutud Tesla poolt 345 km ning auto mahutab 5 reisijat [63, 64, 65].

Joonisel 6.2 on näidatud, milline Tesla Model 3 välja näeb.



Joonis 6.2 Tesla Model 3 [66]

Töö autori poolt oli välja pakutud Lõunakeskuse ja kesklinna vahelisel lõigul teenindamiseks 4 Ligier EZ10 isejuhtivat sõidukit. Vajaliku autode arvu leiame järgnevalt

$$a_{auto} = \frac{a_{buss} \cdot f_{buss}}{f_{auto}}, \quad (6.6)$$

kus a_{auto} on vajalik autode arv;

a_{buss} – Ligier EZ10 arv liinil;

- f_{buss} – ühe bussi Ligier EZ10 reisijate arv;
 f_{auto} – ühe sõiduauto reisijate arv.

Arvutuslikult oleks vaja 9,6 sõidukit (6.6). Et sellist mahtu tagada nagu isejuhtiva bussiga, oleks neid autosid vaja kokku 10. Järelikult autode kogu maksumus oleks

$$A_{kogu} = \frac{a_{buss} \cdot f_{buss}}{f_{auto}} \cdot a_{maksumus} = \frac{4 \cdot 12}{5} \cdot 31\,115 \approx 311\,150, \quad (6.7)$$

kus A_{kogu} on vajaliku autopargi maksumus €;

- a_{buss} – Ligier EZ10 arv liinil;
 f_{buss} – ühe bussi Ligier EZ10 reisijate arv;
 f_{auto} – ühe sõiduauto reisijate arv;
 $a_{maksumus}$ – ühe auto maksumus €.

Lõunakeskuse ja kesklinna vahelisele liinile oleks vaja teenindama panna 10 autot, et tagada samasugune maht nagu EZ10 teenindades. Autopargi maksumuseks kujuneks 311 150 € (6.7). Lisaks autopargi soetamisele oleks vaja ka taristut, et neid autosid laadida ja ka hooldada. Antud töös neid kulutusi ei arvestata.

Praegu teenindatakse Lõunakeskuse ja kesklinna vahelist liini iga 30 minuti tagant, mis teeb 2 bussi tunni jooksul. Isejuhtivate sõidukitega oleks võimalik viia liini teenindamine tihedamaks ning sujuvamaks kui see on praegu. Isejuhtiva bussi kasutusele võtuga saaks liini 2 korda tihedamaks, sest

$$t_{buss} = \frac{t}{b_{arv}} = \frac{60}{4} = 15, \quad (6.8)$$

kus t_{buss} on ajavahemik iga järgneva bussi vahel min;

- t – üks täistund min;
 b_{arv} – busside arv.

Praegust sõidugraafikut teenindab kaks bussi, Lõunakeskusest on väljumine iga 30 minuti tagant, siis isejuhtiva bussiga muutuks liin kaks korda tihedamaks ehk iga 15 minuti järel (6.8) oleks väljumine Lõunakeskusest.

Võttes kasutusele isejuhtivad autod, muutuks liin 5 korda tihedamaks, mis tähendab, et

$$t_{auto} = \frac{t}{a_{arv}} = \frac{60}{10} = 6, \quad (6.9)$$

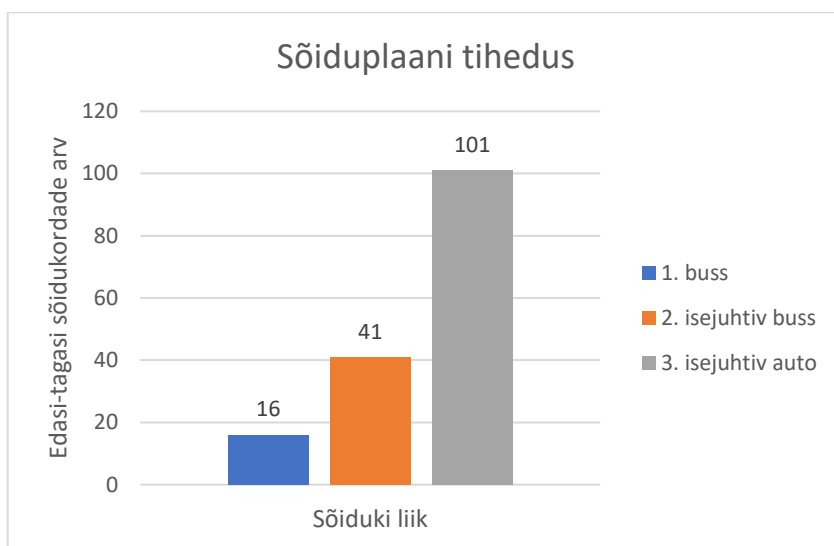
kus t_{buss} on ajavahemik iga järgneva auto vahel min;

t – üks täistund min;

a_{arv} – autode arv.

Väljumised toimuksid Lõunakeskusest iga 6 minuti tagant (6.9).

Joonisel 6.3 on välja toodud praeguse sõiduplaani tihedus, mitu korda päevas sõidab hetkel liinil opereeriv buss edasi-tagasi ning kuidas oleks võimalik kasutada isejuhtivaid sõidukeid.



Joonis 6.3 Sõiduplaani tihedus

Hetkel liinil olev buss sõidab 16 korda edasi-tagasi. Isejuhtiva bussiga saab päevas 41 korda edasi-tagasi ning isejuhtiva autoga 101 korda sõita.

6.3. Isejuhtivate sõidukite kasutamisest Tartu ühistranspordis

Hetkel peab seadusandlusest tulenevalt olema kaudselt või sõidukis juht, kes vajadusel saaks sõitu sekkuda. EZ10 puhul oleks neid hetkel vaja neli, Tesladega küündib see arv kümneni. Juhul, kui testimised on edukad ning taristu ning muud tehnilised lahendused on tingimustele vastavad, vaadatakse kindlasti üle ka juhi olemasolu nõue. Kui juht ei ole sõidukis enam nõutav, on see Teslade puhul kokkuhoiukoht.

Tänu isejuhtivatele sõidukitele muutuks Lõunakeskuse ja kesklinna vahelise testiliini sõiduplaan isejuhtiva bussiga teenindades 2 korda tihedamaks ning isejuhtiva autoga 5 korda tihedamaks. Kuna inimesed ei tule korraga bussipeatusesse, vaid erinevatel aegadel. Tänu tihedamale sõiduplaanile hoiaks see ära tühje sõite ning aitaks inimestel aega kokku hoida.

Praegusel hetkel oleks eelnevat analüüsi arvestades majanduslikust aspektist mõistlik kasutada isejuhtivat bussi Ligier EZ10, millega kaasneb vähem tööjõukulusid, samuti ei kaasne täiendavaid kulusi EZ10 soetamiseks, eeldusel, et need testperioodiks antakse tasuta, Teslade kasutamisega kaasnevad lisaks soetamiskulud ning nende kasutamine suurendaks oluliselt liiklustihedust Riia tänaval.

Täiendav kokkuvõtte tekiks tulevikus juhul, kui isejuhtiva sõiduki jaoks poleks vaja juhti, kes kaudselt või bussis kohal olles ning ohuolukorras juhtimise üle võtaks. Sellisel juhul väheneks ka personalikulud. Lisaks väheneks isejuhtiva transpordivahendite kasutusega linnamüra ning suureneks liiklusohutus.

Isejuhtiva bussi kasutuselevõtmiseks on vaja arendada hetkel Tartus olemasolevat taristut. Näiteks isejuhtiva sõiduki jaoks eraldatud sõidurea loomine, mida oleks võimalik testperioodil kasutada. Üheks suurimaks ülesandeks on linnal teekatte märgistuse korrashoid nii suvel kui ka talvel. Märgistus peab isejuhtiva sõiduki jaoks olema loetav. Eestimaa kliima paneb proovile ka isejuhtiva sõiduki kõik sõiduks vajalikud andurid ja radarid. Isejuhtivat sõidukit on samuti võimalik panna suhtlema valgusfooridega, andes sõidukile signaali, mis tuli parasjagu fooris põleb.

Isejuhtivate sõidukite kasutuselevõtt Tartus aitaks suure sammu edasi transpordi arengukavas välja toodud eesmärkide täitmisele nii keskkonnasõbralikuma kui ka ohutuma liikluse suunas. Tartu linna külastatavus turismi eesmärgil võib samuti tõusta, kuna inimesi huvitab uudne tehnoloogia ning Ligieri EZ10 või Tesla Model 3 kasutuselevõtt oleks selleks väga hea näide. Seda kõike võiks toetada linnapoolne avalikkusele suunatud

teavituskampaania isejuhtivate sõidukite ohutusest, keskkonnasäästlikkusest ning lihtsasti selgitatud tööpõhimõtetest.

KOKKUVÕTE

Eesti on loonud soodsad tingimused uute tehnoloogiate kasutuselevõtuks ühistranspordis. Vastavalt vajadusele on muudetud ka valdkonna õigusakte. Nii juhiga kui ka juhtida sõidukite ja sõitjateveo puhul on oluline järgida mitmete õigusaktide nõudeid. 2017. aastast on Eesti teedel ja tänavatel lubatud isejuhtivate sõidukite testimine tingimusel, et kõnealustel sõidukitel on sõidukis või kaugjuhtimise abil juht, kes sõiduki eest vastutab ning vajadusel kontrolli üle võtab.

Kuigi elektriautosid on toodetud juba üle 150 aasta, eelistatakse siiani rohkem sise põlemismootoriga autosid. Enim tähelepanu pöörati elektriautodele ajal, mil maailmas oli energiakriis. Keskkonna säästmise aspekt on oluline ka tänapäeval, mistõttu otsitakse jätkuvalt võimalikke lahendusi ning võetakse kasutusele uusi tehnoloogiaid erinevates tootmisvaldkondades. Euroopa Liit ja Eesti on võtnud pikaajaliseks strateegiliseks suunaks taastuvenergia osakaalu tõstmise transpordis. Negatiivsete keskkonnamõjude aeglustamise eesmärgil on elektriautode kasutamist rakendatud riiklikes programmides. Elektriautode populariseerimiseks loodi Eesti elektromobiilsuse programm ELMO, lühirenditeenus ELMO Rent ja kiirlaadimisvõrgustik, mis annab kasutajatele piisava liikumisvabaduse üle Eesti. 2016. aasta seisuga oli Eestis registreeritud 1333 elektriautot, millest 416 automargist on Nissan Leaf.

Eestis on liiklusohutus viimasel aastakümnel juba oluliselt paranenud ning liiklussurmade arv vähenenud. Eesti Vabariigi Valitsus kinnitas liiklusohutusprogrammi aastateks 2016-2025, mille eesmärk on vähendada liiklussurmade arv 40 inimeseni ning raskesti vigastatute arv keskmiselt 330 inimeseni aastas. Erinevatel hinnangutel väheneb isejuhtivate sõidukite kasutuselevõtuga liiklussurmade arv.

Tartu linna eesmärk on pakkuda keskkonnasõbralikku liikumiskeskonda. 10. mail 2017. aastal toimus visioonikonverents „Tartu ühistransport 2030“, kus arutati muuhulgas isejuhtivate busside kasutamist.

Selleks, et hinnata sõitjateveo majanduslikku efektiivsust, on töös võrreldud nii elektri- kui ka sise põlemismootoriga autode läbisõidust tulenevalt hoolduskulusid ja auto maksumust. Võrdluses kasutati elektriautona Nissan Leafi ning kolme tehniliste andmete poolest sarnase sise põlemismootoriga autode andmeid. Võrdluse tulemusena selgus, et Nissan Leafi lõplik maksumus peale 200 000 km läbimist on üsna sarnane Toyota Aurisega, kuid Volkswagen Golfi ja Hyundai i30ga võrreldes oli elektriauto maksumus märkimisväärselt suurem. Ülalpidamiskulud on Nissan Leafil väiksemad kõikidest teistest võrdluses olnud sõidukitest. Võrreldes sise põlemismootoritega sõidukitega on elektriauto eeliseks keskkonnasõbralikkus ning väiksem müratase.

Töö autori poolt välja pakutud isejuhtiva sõiduki testliinil, mis kulgeb mööda ühe suurima liiklustihedusega tänavat Tartus, oleks võimalik isejuhtiva bussiga aasta jooksul kokku hoida vähemalt 190 000 € eeldusel, et testperioodiks isejuhtivate busside soetamise kulusid ei kaasne. Isejuhtivate sõidukitega suudaks hetkel kehtivat sõidugraafikut kuni 5 korda tihedamaks muuta. Juhul, kui isejuhtiva sõiduki testi tulemused on positiivsed, peaks jätkama isejuhtiva sõiduki iseärasusest tuleneva taristu arendamist, sealhulgas teekattemärgistuse aastaringset hooldust ning foorisüsteemi ühildamist isejuhtiva sõidukiga.

Isejuhtivate sõidukite kasutuselevõtt aitaks kaasa Eesti transpordi arengukavas välja toodud eesmärkide täitmisele nii keskkonnasõbralikumana kui ka ohutuma liikluse suunas.

Selleks, et alustada isejuhtiva sõiduki testimist ning seejärel rakendada isejuhtivat sõidukit Tartu linnatranspordi osana, tuleb täiendavaks majandusliku efektiivsuse hindamiseks koguda muuhulgas täpsed andmed erinevate osapoolte seniste kulude, isejuhtiva sõiduki maksumuse ja hoolduskulude, keskmise energiatarve (sõltuvalt liini iseärasustest) ning arendatava taristu maksumuse kohta. Lisaks peab täpsem eelanalüüs sisaldama avaliku arvamuse uuringut Tartu linnaelanike seas isejuhtiva sõiduki kasutamise kohta linnatranspordis ja täiendavat õigusruumi analüüsi ning vajadusel õigusaktide muudatuste panekuid juhita sõidukite kasutuselevõtuks.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Saar, J.** (17.02.2011). Tartu gaasibussid jõudsid Eestisse. [e-ajakiri]
<http://tartu.postimees.ee/389780/tartu-gaasibussid-joudsid-eestisse> (11.05.17)
2. **Zakharenko, R.** (2016). Self-driving cars will change cities. – *Regional Science and Urban Economics*. Vol. 61, pp. 26–37.
3. Liiklusseadus. (vastu võetud 17.06.2010, jõustunud 28.03.2017). – *Riigi Teataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/128032017008> (11.05.17)
4. Auto, mootorratta, mopeedi ja nende haagiste tüübikinnituse üksiksõiduki kinnituse ja ümberehituse tingimused, nõuded ja kord. (vastu võetud 03.06.2011, jõustunud 03.08.2015). – *Riigi Teataja*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/131072015008?leiaKehtiv> (11.05.17)
5. Tänašest võivad tänavatel liikuda isejuhtivad autod. (02.03.17). [e-ajakiri].
<http://www.aripaev.ee/uudised/2017/03/02/tanasest-voivad-tanavatel-liikuda-isejuhtivad-autod> (11.05.17)
6. Ühistranspordiseadus. (vastu võetud 18.02.2015, jõustunud 01.04.2016). – *Riigi Teataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/124032016004?leiaKehtiv> (11.05.17)
7. Töölepingu seadus. (vastu võetud 17.12.2008, jõustunud 08.05.2017). – *Riigi Teataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/107122016012?leiaKehtiv> (11.05.17)
8. Võlaõigusseadus. (vastu võetud 26.09.2001, jõustunud 10.01.17). – *Riigi Teataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/961235?leiaKehtiv> (11.05.17)
9. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EÜ) nr 561/2006. (15.03.2006). 2017.
Kättesaadav: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2006R0561:20060501:ET:PDF>
(11.05.17)

10. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2002/15/EÜ. (11.03.2002). 2017. Kättesaadav: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0015&from=ET> (11.05.17)
11. Ekspertrühmad. – *Riigikantselei*. Kättesaadav: <https://riigikantselei.ee/et/ekspertruhmad> (17.05.17)
12. **Fuller, J.** (2009). The First Electric Car. Kättesaadav: <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/hybrid-technology/history-of-electric-cars1.htm> (11.05.17)
13. Timeline: History of the Electric Car. 2009. Kättesaadav: <http://www.pbs.org/now/shows/223/electric-car-timeline.html> (11.05.17)
14. Elektriautod. – *Elektriautode infoportaal*. Kättesaadav: <http://elektriautod.ee/> (11.05.17)
15. **Goel, V.** (14.04.17). Apple Gets Permit to Test Self-Driving Cars in California. [e-ajakiri] Kättesaadav: https://www.nytimes.com/2017/04/14/technology/apple-self-driving-car-permit.html?_r=1 (17.05.17)
16. **Pham, S.** (02.05.17). Samsung just got approval to start testing a self-driving car. [e-ajakiri] Kättesaadav: <http://money.cnn.com/2017/05/02/technology/samsung-driverless-car-test-drive/> (17.05.17)
17. **Moon, M.** (12.05.17). Germany legalizes self-driving car tests. [on-line] Kättesaadav: <https://www.engadget.com/2017/05/12/germany-self-driving-car-test-laws/> (17.05.17)
18. **Ojala, T.** (06.02.12007). Särtsakas vanake. Kättesaadav: <http://www.tehnikamaailm.ee/sartsakas-vanake/> (11.05.17)
19. Eestis registreeritud sõidukid aastaarvude järgi. (andmed uuendatud 31.12.2016). – *Eesti Statistika andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (11.05.17)
20. Rent. – *ELMO*. Kättesaadav: <http://elmo.ee/rent/> (11.05.17)
21. Kiirllaadimine. – *ELMO*. 2017. Kättesaadav: <http://elmo.ee/kiirllaadimine/> (11.05.17)

22. Elektriautode kasutajate uuring 2013. (2017). Tallinn: Elektromobiilsus programm (ELMO). http://elmo.ee/public/Elektriautode_kasutamise_uuring_ELMO2013.pdf (11.05.17)
23. A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the U.S., the U.K. and Australia 2014. (2017). Michigan: The University of Michigan Transportation Research Institute.
<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/108384/103024.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (11.05.17)
24. Global status report on road safety 2015. (2017). World Health Organization.
http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/ (11.05.17)
25. Risked vigastused liikluses. – *Euroopa Komisjon*. Kättesaadav:
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/topics/serious_injuries_et (11.05.17)
26. Road safety evolution in EU. – *European Commission*. Kättesaadav:
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/observatory/historical_e_vol_popul.pdf (11.05.17)
27. Liiklusohutusprogramm 2016-2025. – *Maanteeamet*. Kättesaadav:
<https://www.mnt.ee/et/liikleja/liiklusohutusprogramm-2016-2025> (11.05.17)
28. Prioritising the Safety Potential of Automated Driving in Europe. (2016). – *European Transport Safety Council*. Kättesaadav: http://etsc.eu/wp-content/uploads/2016_automated_driving_briefing_final.pdf (11.05.17)
29. Road traffic injuries (2017). World Health Organization. Kättesaadav:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/> (17.05.17)
30. Mission statement. – *2025AD*. Kättesaadav: <https://www.2025ad.com/mission/welcome-to-2025ad/mission-statement/> (11.05.17)
31. Zero accidents: Infographic. – *2025AD*. Kättesaadav:
<https://www.2025ad.com/mission/goals/zero-accidents-infographic/?type=0%253Ftype%253D7777%27A%253D0> (11.05.17)

32. eSafety. – *Euroopa Komisjon*. Kättesaadav: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/topics/vehicles/esafety_et (11.05.17)
33. **Kirsimäe, P.** (11.2010). LIDAR andmetest. Kättesaadav: http://www.nlib.ee/html/yritus/gis/2010/docs/13.20_Kirsimae.pdf (11.05.17)
34. Programmeerimisest maalähedaselt. – *Tartu Ülikool*. Kättesaadav: <https://courses.cs.ut.ee/2017/progmaa/spring/Main/PARTIIISilmaring> (11.05.17)
35. **Diels, C., Bos, J.E.** (2016). Self-driving carsickness. – *Applied Ergonomics*. Vol. 53, pp. 374–382.
36. **Fairley, P.** (31.01.17). The Self-Driving Car’s Bicycle Problem. [on-line] <http://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/the-selfdriving-cars-bicycle-problem> (17.05.17)
37. **Gates, G., Granville, K., Markoff, J., Russell, K., Singhvi, A.** (16.05.17). When Cars Drive Themselves. [e-ajakiri] <https://www.nytimes.com/interactive/2016/12/14/technology/how-self-driving-cars-work.html> (17.05.17)
38. Autopilot. – *Tesla*. Kättesaadav: https://www.tesla.com/en_EU/autopilot (11.05.17)
39. **Rañoa, R.** (28.05.2014). The car that Drives itself. – *lanow*. [e-ajakiri] <http://www.latimes.com/local/lanow/la-sci-g-google-self-driving-car-20140528-htmlstory.html> (11.05.17)
40. Säästev Tartu. – *Tartu Linnavalitsus*. Kättesaadav: <https://www.tartu.ee/et/saastev-tartu#transport> (11.05.17)
41. Visioon ja missioon. – *Elektritakso*. Kättesaadav: <http://elektritakso.ee/index.html#one> (11.05.17)
42. Südameasi. – *Välktakso*. Kättesaadav: <http://www.valktakso.ee/> (11.05.17)
43. **Reigo, J.** (2014). Elektri- ja sise põlemismootoriga autode efektiivsusnäitajate võrdlev analüüs. (Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli tehnikainstituut. Tartu.

44. Nissan Leaf põhikomponendid. 2017. Kättesaadav: <http://www.wiringdiagrams21.com/wp-content/uploads/2011/12/nissanLEAFwiringdiagram.jpg> (11.05.17)
45. **Loveday, E. B** (14.06.2010). Nissan pegs Leaf range between 47 and 138 miles, individual results may vary. [on-line] <http://www.autoblog.com/2010/06/14/nissan-pegs-leaf-range-between-47-and-138-miles-individual-resu/> (11.05.17)
46. **Pipar, M.** (26.09.2012). Elektriautode test – Elektriautod joonele! – *Autoleht*, lk 18–25.
47. Leaf jaemüügi hinnakiri. – *Nissan*. Kättesaadav: <https://www.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/ee/brochures/pricelist/leaf-jeamuggi-hinnakiri.pdf> (11.05.17)
48. Kütusehind. – *Terminal*. Kättesaadav: <http://www.terminaloil.ee/> (11.05.17)
49. Elektriturg. – *Eesti Energia*. Kättesaadav: <https://www.energia.ee/elekter/elektriturg> (11.05.17)
50. Elektriauto. – *ELMO*. Kättesaadav: <http://elmo.ee/elektriauto/> (11.05.17)
51. **Lõugas, H.** (02.03.2017). Eesti avab oma teed isejuhtivatele autodele. – *Uudis*. [e-ajakiri] <https://geenius.ee/uudis/eesti-avab-oma-teed-isejuhtivatele-autodele/> (11.05.17)
52. Rõivas ja Palling kutsuvad isesõitvate autode arendajad Eestisse. (2017). – *Riigikogu*. Kättesaadav: https://m.riigikogu.ee/fraktsioonide-teated/eesti-reformierakonna-fraktsioon/roivas-ja-palling-kutsuvad-isesoitvate-autode-arendajad-eestisse/?fdx_switcher=true (17.05.17)
53. **Liive, R.** (28.11.2016). Tallinnas hakkavad järgmisel aastal ringi liikuma isesõitvad bussid. – *Uudis*. [e-ajakiri] <https://geenius.ee/uudis/tallinnas-hakkavad-jargmisel-aastal-ringi-liikuma-isesoitvad-bussid/> (11.05.17)
54. The levels of automation. – *2025AD*. Kättesaadav: <https://www.2025ad.com/technology/the-levels-of-automation/> (11.05.17)
55. Mobility solution. – *Easymile*. Kättesaadav: <http://easymile.com/mobility-solution/> (11.05.17)

56. Transpordi arengukava 2014-2020. – *Maanteeamet*. Kättesaadav: https://www.mnt.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/arengukava1.pdf (11.05.17)
57. Transport ja liiklus. – *Tartu Linnavalitsus*. Kättesaadav: <http://www.tartu.ee/et/valdkonnakategooriad/transport-ja-liiklus> (11.05.17)
58. Tartu linnaliinide info. – *Tartu Linnavalitsus*. Kättesaadav: <https://www.tartu.ee/et/bussiliiklus> (11.05.17)
59. Visioonikonverents „Tartu ühistransport 2030“. – *Tartu Linnavalitsus*. Kättesaadav: <http://www.tartu.ee/et/uudised/tartu-arutab-visioonikonverentsil-uhistranspordi-tulevikku> (11.05.17)
60. **Saar, J.** (11.05.2017). Tartu ihkab juhita busse. [e-ajakiri] <http://tartu.postimees.ee/4108279/tartu-ihkab-juhita-busse> (11.05.17)
61. Lõunakeskuse ekspressi bussiajad. – *Lõunakeskus*. Kättesaadav: <https://astri.ee/lounakeskuse-ekspress/lounakeskuse-ekspressi-bussiajad/> (11.05.17)
62. **Kruuse, K.** (22.05.2012). Oma buss aitab keskustel ostlejaid juurde võita. [e-ajakiri] <http://tartu.postimees.ee/850524/oma-buss-aitab-keskustel-ostlejaid-juurde-voita> (11.05.17)
63. **Piir, R.** (21.05.2017). Seitse elektriautot, mis võivad aastaks 2020 olla taskukohased. [e-ajakiri] <http://tehnika.postimees.ee/4118239/seitse-elektriautot-mis-voivad-aastaks-2020-olla-taskukohased> (23.05.17)
64. Model 3. – *Tesla*. Kättesaadav: https://www.tesla.com/en_EU/model3?redirect=no (24.05.17)
65. USDEUR:CUR. – *Bloomberg*. Kättesaadav: <https://www.bloomberg.com/quote/USDEUR:CUR> (24.05.17)
66. Tesla Model 3. – *Elektriautod*. Kättesaadav: <http://elektriautod.ee/elektriautod/tesla-model-3/> (24.05.17)

THE POSSIBILITIES OF USING AUTONOMOUS VEHICLES IN THE PUBLIC TRANSPORTATION OF THE CITY OF TARTU

Summary

Estonia has created favourable conditions for the application of new environmental technologies in public transport. In 2017, Estonia allowed the testing of autonomous vehicles on roads and streets, with an additional condition that there should be a driver in the autonomous vehicle or a remote pilot who is able to take over the control of the vehicle if needed.

Although electric cars have been produced for more than 150 years, internal combustion engine cars are still preferred. The most attention was paid to electric cars when the world was in energy crisis. From the environmental aspect, it is important to continue searching for new possible solutions and to introduce new technologies in various fields of production. The European Union and Estonia have taken a long-term strategic objective of increasing the share of renewable energy in transport. For slowing down the negative environmental impacts, the use of electric cars in the national programs is implemented. In order to popularize electric cars in Estonia, the electromobility program ELMO (the ELMO short-term rental service and recharging network) was established, providing electric car users with sufficient freedom of movement in Estonia. In 2016, there were 1,333 registered electric cars in Estonia, 416 out of which were Nissan Leaf.

Over the past decade, road safety has already improved significantly and the number of fatalities has decreased in Estonia. The government of Estonia approved a road safety program for the years 2016-2025, which aims to decrease the number of fatalities to 40 and the average number of seriously injured people to 330 people a year. According to various estimates, the use of autonomous vehicles reduces the number of fatalities in traffic accidents.

Tartu aims to offer environmentally-friendly mobility. In May 2017, the conference "Tartu Public Transport in 2030" was held, which discussed among other things also the use of autonomous vehicles in public transport.

To assess the economic efficiency, a comparison between the maintenance cost (depending on the mileage) and the cost of the car for both electric and internal combustion engines was conducted. For comparison, the author used an electric car Nissan Leaf and three internal combustion engine vehicles with similar technical data. The comparison showed that the final cost of Nissan Leaf after the completion of 200,000 km is quite similar to Toyota Auris, but the cost of Volkswagen Golf and Hyundai i30 compared to the cost of the electric car was significantly lower. Nissan Leaf's maintenance costs are lower in comparison with any other vehicle that was in the test, but the price of car is much higher than the others. Compared to internal combustion engines in vehicles, the electric car has the advantage of being environmentally friendly and having lower noise levels.

The author suggested autonomous vehicle test route in Tartu which saves at least 190,000 euros per year, without including the cost of the autonomous vehicle. By using autonomous vehicles, bus frequency could be increased up to 5 times compared to the current timetable. If the autonomous vehicle test results are positive, the development of infrastructure, including year-round maintenance of road markings and traffic light systems to reconcile autonomous vehicle, should be continued.

In order to start using autonomous vehicles as a part of public transport, further data for the assessment of the economic efficiency should be collected, including details of the cost of the autonomous vehicle and its maintenance, the average power consumption, and the cost of infrastructure. This preliminary analysis should also include a more accurate analysis of public opinion on autonomous vehicle use in urban transport among the residents of the city of Tartu and, if necessary, introducing additional legislative amendments for using autonomous vehicles, without driver, in Estonia.

The introduction of autonomous vehicles to our transport system would contribute to achieving the objectives set in the Estonian transport development plan, both in connection to getting a safer and also more environmentally friendly traffic.

LISAD

Lisa A. Autode tehnilised andmed

Tabel A.1 Autode tehnilised andmed

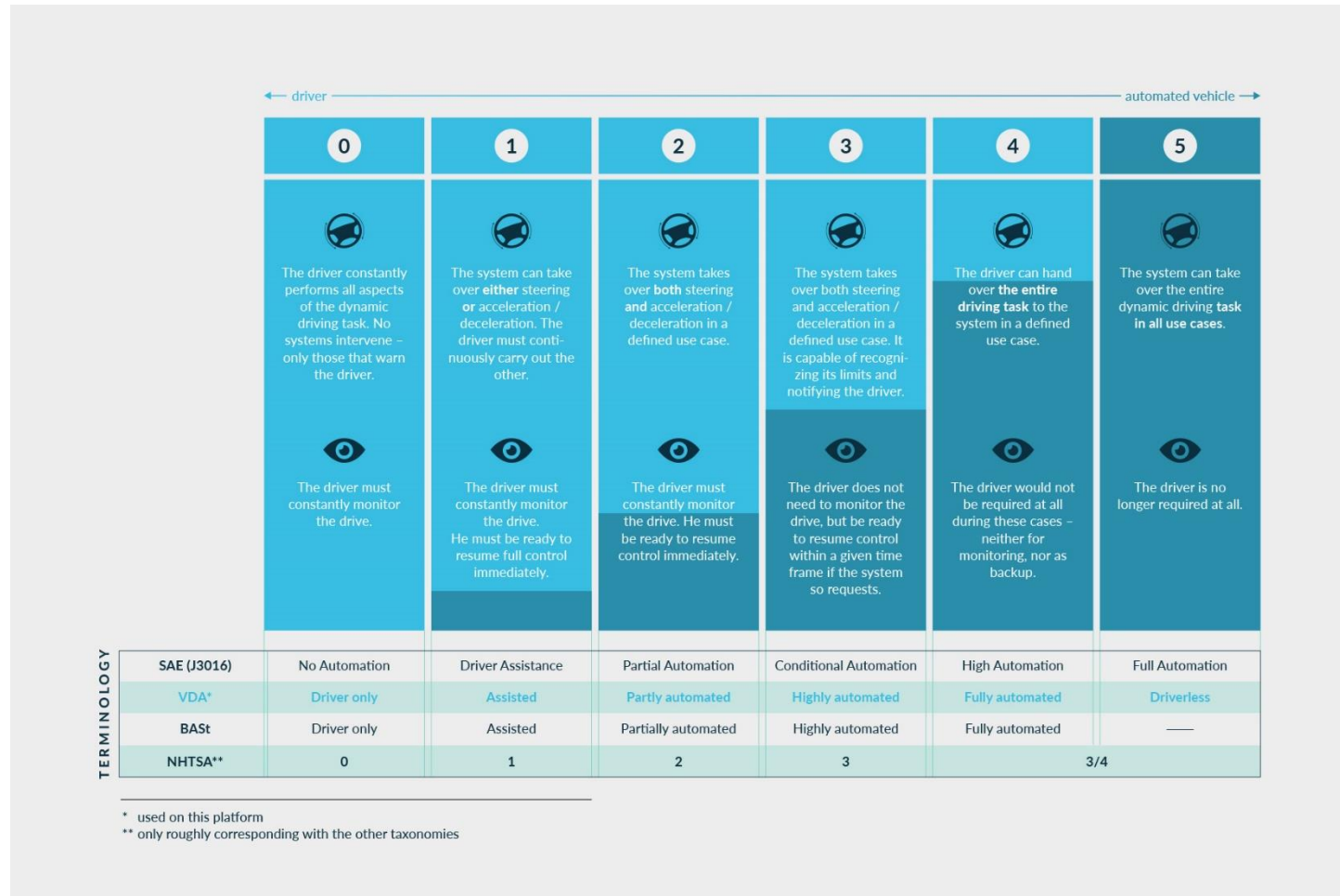
Auto mark	Kütus	Ostuhind €	Tehnilised näitajad						Kütuse kulu		
			mootorimaht	käigukast	võimsus	max CO2	max kiirus	kiirendus	linn	maantee	keskmine
			cm ³	tüüp	kW	g/km	km/h	0-100 km/h	l/100 km	l/100 km	l/100 km
1. Nissan Leaf	elekter	33 600	-	automaat	80	0	145	11,5	0	0	0
2. Toyota Auris	bensiin	17 740	1598	manuaal	97	140	200	10,0	7,9	5,0	6,0
3. Hyundai i30	bensiin	15 990	1591	manuaal	99	123	195	9,9	6,4	4,3	5,0
4. VW Golf	bensiin	18 685	1395	manuaal	92	120	204	9,1	6,7	4,4	5,6

Lisa B. Sõidukite hooldusvälp

Tabel B.1 Sõidukite hooldusvälbad

Auto mark	Hooldusvälp tuhat km																					Kokku	
	3	15	25	30	45	50	60	75	90	100	105	120	125	135	140	150	165	175	180	195	200	210	€
1. Nissan Leaf				94			94		94			94			94								470
2. Toyota Auris	132	165		264	186		295	193	348		193	295		193		295	193		378	193		264	3569
3. Hyundai i30				158			309		158			389				158			328			158	1658
4. VW Golf			125			260		133		275			139			289		147			304		1672

Lisa C. SAE International klassifikatsioon isejuhtimise tasemed



Joonis C.1 SAE International klassifikatsioon isejuhtimise 5 taset

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)