



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

# **Elektriautode teoreetiline potentsiaal Eestis ning elektriautodele ülemineku sotsiaalmajanduslik mõju.**

**Elektroenergeetika õppekava**

**Energiasüsteemide õppetool**

**Magistritöö**

Õppetooli juhataja

Jako Kilter

Juhendaja

Hardi Koduvere

Lõpetaja

Jekaterina Fomina

**Tallinn 2016**

# **Autorideklaratsioon**

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks elektroenergeetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) \_\_\_\_\_

# Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Jekaterina Fomina	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> ELEKTRIAUTODE TEOREETILINE POTENTSIAAL EESTIS NING ELEKTRIAUTODELE ÜLEMINEKU SOTSIAALMAJANDUSLIK MÕJU.	
<i>Kuupäev:</i> 27.05.2016	67 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool <i>Teaduskond:</i> Energeetikateaduskond <i>Instituut:</i> Elektroenergeetika instituut <i>Õppetool:</i> Kõrgepingetehnika õppetool	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Hardi Koduvere	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Käesoleva uurimistöo eesmärgiks on uurida elektriautode potentsiaali Eestis ning hinnata elektriautodele ülemineku sotsiaalmajandusliku mõju nii riigile kui ka tavatarbijale. Lõputöö annab ülevaate elektriautode tehnilistest näitajatest ning juhtimissüsteemidest. Samuti kirjeldatakse elektriautode laadimisjaamade mõju elektrisüsteemile. Lisaks antakse ülevaade elektriautode prognoositavatest hindadest, akude tuleviku võimaliku võimsustest ning elektriautode statistikast üle maailma. Edasi hinnatakse elektrisõidukite potentsiaali Eestis. Uuritakse elektriautode parameetrite sobivus Eesti elanikele: sõidukaugus, eluiga. Uuritakse laadimisjaamade kättesaadavus nii Eestis kui ka lähimates välisriikides. Kirjeldatakse meetmed elektritranspordi arendamiseks Eestis. Samuti võrreldakse rakendatud meetmed teiste riikide kogemusega elektritranspordi arendamisel. Lõpuks hinnatakse tavatarbija elektriauto valdamise kulusid võrreldes bensiinauto valdamise kuludega. Nende andmete alusel määratakse võimaliku toetuse suurus elektriauto soetamiseks. Lisaks uuritakse elektriautode majandusliku mõju riigile. Kuna elektriauto sõidukaugus ühtib Eesti inimeste sõiduharjumustega, võiks ta sise põlemismootoriga autot asendada, tingimustel, et riik kompenseerib valdamise seotud kulude vahe ning tugevam maksustamise poliitikaga mõjutab tarbijate valikut. Kuid tänapäeval elektriautode arendus ei ole kasulik riigile, kuna riigi kulutused ületavad elektriautode arendamisest saadud kasumit.	
<i>Märksõnad:</i> elektriauto, elektriautode potentsiaal, elektriautode majanduslik mõju, elektriauto kulud, maksutulud	

# Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Jekaterina Fomina	<i>Kind of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> THE THEORETICAL POTENTIAL OF ELECTRIC VEHICLES FOR ESTONIA AND SOCIO-ECONOMIC IMPACT OF TRANSITION TO ELECTRIC VEHICLE.	
<i>Date:</i> 27.05.2016	67 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>Faculty:</i> Faculty of Power Engineering <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering <i>Chair:</i> High Voltage Engineering	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Hardi Koduvere	
<i>Abstract:</i> The target of the research is to analyze the potential of electric cars in Estonia and evaluate the socio-economic impact of the transfer to electric cars to the country and consumers. The research paper gives an overview of the technical parameters of electric cars and control systems as well as the impact of charging stations to the electrical system. Additionally prognoses of electric car prices, future potential capacity of the batteries and the global statistics is given. Further on the potential of electric cars in Estonia is evaluated. An analyzes is made about how electric car parameters meet Estonians expectations on distance and life-time as well as how well charging stations are reachable in Estonia and its neighbour countries. The methods to develop electrical transportation sector in Estonia are described as well as the practiced methods compared to other countries experience in the sector development. In the end an evaluation is made about the total cost of owning an electric car by a consumer and compared it with a fuel drive car ownership cost. Based on that data the rate of potential purchasing subsidy is defined. Additionally the economic impact to the country of electric cars is analysed. As the distance of electric car meets Estonians needs it could replace cars with internal combustion engine if the government would compensate the difference of ownership cost and influence consumers choice making process through tax policy. Currently the development of electric cars is not favoured by country as the needed input exceed the benefit the development would bring.	
<i>Key words:</i> electric car, potential of electric cars, economical impact of electric cars, elektri car costs, tax profits	

# Sisukord

<b>Lõputöö ülesanne.....</b>	<b>6</b>
<b>Eessõna .....</b>	<b>8</b>
<b>Sissejuhatus.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Elektriautode ülevaade .....</b>	<b>13</b>
1.1 Elektriautode tehnilised näitajad.....	13
1.2 Elektriautode mõju elektrisüsteemile.....	19
1.3 Keskkonna mõju.....	21
1.4 Elektriautode hind.....	21
1.5 Akude tulevik.....	23
1.6 Elektriautod maailmas.....	23
<b>2 Elektriautode potentsiaal Eestis.....</b>	<b>26</b>
2.1 Mõju koormustasakaalule jaotusvõrgus.....	26
2.2 Elektriauto sobivus Eesti elenikele .....	27
2.3 Meetmed elektritranspordi arendamisel Eestis .....	34
2.4 Riikide kogemus elektriautode arendamisel .....	36
2.5 Tarbijate tagasiside .....	37
<b>3 Elektriautode sotsiaalmajanduslik mõju .....</b>	<b>39</b>
3.1 Tulud-kulud tarbijale .....	39
3.2 Tulud-kulud riigile .....	52
<b>Lõputöö kokkuvõte .....</b>	<b>58</b>

# Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	<b>Elektriautode teoreetiline potentsiaal Eestis ning elektriautodele ülemineku sotsiaalmajanduslik mõju.</b>
Üliõpilane:	<b>Jekaterina Fomina, 144157</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Hardi Koduvere</b>
Õppetool:	<b>Energiasüsteemide õppetool</b>
Õppetooli juhataja:	<b>Jako Kilter</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>27.05.2016.a</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppetooli juhataja (allkiri)

## Teema põhjendus:

Vastavalt ENMAK 2030+ aruandele on viimase 15 aasta jooksul transpordisektoris energia ja kütuste tarbimine suurenenud üle 33 % ning ligi 90 % kütuste tarbimisest ja tarbimise kasvust pärineb autotranspordist. Autotranspordis on ligi 60 % energia tarbimisest põhjustatud sõiduautokasutusest. Viimase 10 aasta jooksul on Eestis sõiduautode kasutus suurenenud ligi 50 %. Sellega kasvavad ka kasvuhoonegaaside heitkogused. Antud olukord sunnib otsima uusi alternatiive sisepõlemismootoriga transpordile. Üks nendest on elektriauto. Kuid nende laialdase kasutuselevõttuga seotud sotsiaalmajanduslikke mõjusid on veel vaja uurida.

## Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida kui suur on potentsiaal elektriautodel Eestis ning elektriautodele ülemineku tulude ja kulude hinnang nii riigile kui ka tavatarbijale.

## Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Mis on praegune olukord elektriautode valdkonnas Eestis?

Kui suur potentsiaal on elektriautodel Eestis?

Kuidas elektriauto sobib eesti elanikele oma parameetritega?

Millised meetmed on suunatud elektriautode arenemisele Eestis ning kui tõhusad need on?

Kuidas teiste riikide kogemus võib aidata meid elektriautode arendamisel?

Millised on elektriautodele üle mineku tulud ja kulud riigi ning tavatarbija jaoks?

### **Lähteandmed:**

Statistika andmed

Valmis uuringud ja analüüsid, nt ENMAK raames

Artiklid

Käsiraamatud

Internet

# Eessõna

Lõputöö teema pakkus välja doktorant Hardi Koduvere, kes on ühtlasi käesoleva lõputöö juhendaja.

Töö enamik materjale on leitud iseseisvalt online andmebaasidest. Töö koostamise jooksul oli uuriti teadusartikleid, transpordisektoriga seotud uuringuid, analüüsi ja statistika andmeid.

Autor soovib tänada perekonda mõistva suhtumise eest ning lõputöö juhendajat osutud abi eest.

Jekaterina Fomina

Astangu 60-64, Tallinn

f\_katja@mail.ru

+37253321246



# Sissejuhatus

Tänapäeval on bensiin- ja diislimootoritega autodel peamine roll transpordisektoris. Kuid keskkonnakaitse ja energiasäästu nõuete kasvuga, suureneb ka huvi elektriliste sõidukite järele, mis on energia- ja keskkonnasõbralikud. Samuti mõistetakse, et nafta lõppeb varem või hiljem. See on peamine põhjus, miks inimkond otsib alternatiivenergiaallikaid sõidukitele.

Energiatarbimist transpordisektoris saab vähendada vähendades sõidukite arvu liikluses või parandada energiatõhusust autode kasutamisel. Tehnoloogilised uuendused võivad aidata arendada säästva transpordi süsteeme läbi parandatud sõidukite mootorite, materjalide kasutamise või läbi uuendusliku disaini. Transpordisektori elektrifitseerimisel on oluline jälgida, et energiakasutus selles valdkonnas oleks energiatõhus. Enamik riike on asunud tugevalt toetama kütusekulu vähendamist ja elektriautode- ja hübriidide kasutamist. Riikide eesmärk on vähendada sõidutranspordi energiakulu läbi parema juhtimise ning suunama maanteetranspordi asemel kasutama laeva- ja rongitransporti, vaatamata sellele, et autod on muutunud aina tõhusamaks. Energiatõhususe elluviimiseks tuleb tarbijaid suunata tegema valikuid, mis sunniksid loobumast fossiilkütustel põhineva transpordisüsteemidest. Euroopa Liidu Energia tegevuskava aastani 2050 eesmärk järgi on vähendada CO<sub>2</sub> heitkoguseid Euroopa Liikmesriikides 50 % võrra 2050. aastaks võrreldes 2005. aasta tasemega. Rahvusvahelise Energiaagentuuri stsenaariumite järgi soodustab transpordi üldkoguse vähendamine CO<sub>2</sub> heitkoguseid 30 % võrra aastaks 2050 võrreldes 2005. aasta tasemega. Lisaks planeeritakse, et elektriautod moodustavad 10 % kõikidest ostetud autodest 2040. aastal ning aastaks 2050 elektriautode müük saavutab 50 miljonit autot aastas, mis on veerand kogu autode müügist aastas. [1] [2] [3]

Erinevad statistikaandmed näitavad, et Eesti inimesed kasutavad autosid väga palju. Vaatamata sellele, et igal aastal kütuse hinnad, aktsiisid ja maksud, mis on seotud transpordiga, kasvavad, ei kavatse Eesti elanikud loobuda mugavusest sõita autoga. Vastavalt ENMAK 2030+ aruandele viimase 16 aasta jooksul on transpordisektoris energia ja kütuste tarbimine suurenenud üle 33 % ning ligi 90 % kütuste tarbimisest ja tarbimise kasvust pärineb autotranspordist. Autotranspordis on ligi 60 % energiatarbimisest põhjustatud sõiduautokasutusest. Viimase 10 aasta jooksul on Eestis sõiduautode kasutus suurenenud ligi 50 % ning ühistranspordi kasutajate hulk vähenenud. Sellega kasvavad ka kasvuhooonegaaside heitkogused. Eurostati andmed näitavad, et 2013. aastal oli Eestis 1000 elaniku kohta 478 sõiduautot. See tähendab, et peaaegu igal teisel elanikul on auto. Samuti Eesti sõiduautod

toodavad 67 % kasvuhuonegaaside heitkogusest. Sest uued ebaökonoomsed E-G energiaklassiga autod Eestis moodustavad 51 %, mis ei erine oma kütusekuluga 20 vanadest autodest. Lisaks eelistavad tööl käia autoga 2014. aastal 53 % hõivatutest. Euroopa riikidest on meiega võrreldavad ainult Luksemburg, Leedu, Itaalia ja Malta, kus oli registreeritud 2013. aastal üle 600 sõiduauto 1000 elaniku kohta. Ning kõige vähem kasutavad autosid Rumeenias, kus 1000 elaniku kohta oli registreeritud vaid 235 sõiduautot. Eesti uuringu andmetel kasutas 2014. aastal 15–74 aastasest töötavatest inimestest tööle minemiseks ühistransporti 23 %, jalgsi liikumist 17 % ning jalgratast 3 %. Ühistranspordiga, jalgrattaga või jala töөлkäijate osatähtsus kokku on kümne aastaga on kahanenud – 58 % 2004. aastal 42 % 2014. aastal. Kui 2004. aastal kasutas tööl käimiseks autot 38 % tööga hõivatud elanikest, siis aasta-aastalt on auto eelistajate arv kasvanud ja 2014. aastal ulatus nende osatähtsus 53 %. [4] [5]

Samuti on ühistransport ka mitte kõige populaarsem liikumisviis Eestis. Perioodil 2004-2014.aastal on ühistranspordi kasutamine vähenenud 29 %-st 23 %. 2014. aastal kasutas tööl käimiseks autot 67 % mehi ja 38 % naisi, mida on nii meeste kui naiste puhul 14 % enam kui 2004. aastal. Ühistranspordiga, jalgrattaga või jala käis tööl 27 % mehi ja 59 % naisi, mida on nii meeste kui naiste puhul 15 % vähem kui 2004. aastal. Võrreldes teiste Euroopa riikidega kasutatakse Eestis ühistransporti tööl käimiseks rohkem kui mujal. Linnade uuringu järgi kasutati 2011. aastal ühistransporti tööl käimiseks kümnes vaadeldavas riigis enim Eestis ja Bulgaarias – kummaski riigis kasutas ühistransporti tööle jõudmiseks 24 % tööga hõivatud inimestest. Jalgrattaga tehti tööle minemiseks sõite enim Hollandis (26%) ning jalgsi eelistati tööl käia enim Bulgaarias (22 %), Eestis (20 %) ja Rootsis (18 %). Autot või mootorratast eelistati enim Prantsusmaal, Iirimaal, Portugalis ja Belgias, kus tehti 68–71 % sõitudest just nende transpordivahenditega. [6] [7]

Eesti pikaajalise energiamajanduse arengukavas 2030+ (ENMAK 2030+) mittesekkuva stsenaariumi järgi näidatakse, et kui olulisi transpordinõudlust muutvaid poliitikaid ei rakendata, tulevikus inimesed hakkavad sõitma rohkem ning sellega tohutult kasvavad ka heitkogused. Eeldatakse, et aastaks 2030 suureneb energiatarbimist transpordisektoris 60 % võrra, CO<sub>2</sub> emissioonid kasvavad 37 % võrra, fossiilkütuste tarbimine suureneb 46 % võrra.

Eesti katsub parandada olukorda oma transpordisektoris ning ENMAK'is 2030+ on määratud eesmärgid transpordisektoris olukorda parandamiseks:

1. Muuta energiakasutust transpordisektoris säästlikumaks ning vähendada selle sõltuvust majanduse seisundist

2. Parandada Eesti ettevõtete konkurentsivõimet, vähendades kulutusi transpordikütustele ning parandada Eesti kaubandusbilanssi kohalike kütuste tootmine abil
3. Suurendada transpordi energiatõhusust ja keskkonnahoidlikkust
4. Suurendada elanike teadlikust energiatõhususe transpordisektori suhtes
5. Luua nutika maksukeskkonda, mis toob kaasa sõidukipargi energiatõhususe suurenemist
6. Suurendada ühistranspordi kasutust ning kergliikluse osakaalu [4]

Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030 SA Säästva Eesti Instituut koos Kami OÜ'ga on töötanud välja „Transpordi ja liikuvuse stsenaariumid“, kus on pakutud konkreetsed meetmed transpordisektori statistika parandamiseks, mis on suunatud vähendama aastaks 2030 CO<sub>2</sub> emissioone 36 % võrra ja fossiilkütuste kasutamist 28 % võrreldes 2012. aasta tasemega. Kusjuures teadmispõhise stsenaariumi järgi elektritarbimine suureneb üle 2000 TJ aastaks 2050, mis on 14 % kogu transpordi energiatarbimisest aastas. [8]

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida kui suur on potentsiaal elektriautodel Eestis ning elektriautodele ülemineku tulude ja kulude hinnang nii riigile kui ka tavatarbijale. Kusjuures magistritöös vaadeldakse vaid puhtaid elektriautole, mis liiguvad elektrimootori jõul, mille toiteallikaks on aku.

Antud töö esimene osa annab põhjaliku ülevaade elektriautode tehnilistest näitajatest. Siin räägitakse elektriautode iseärasusest ning kuidas see erineb oma parameetritega sisepõlemismooriga ning hübriid autodest. Siit saab teada, kuidas on korraldatud süsteem, mis juhib energia tarbimist elektriautos ning sellest, kuidas elektriautod mõjuvad elektrisüsteemile üldiselt. Lisaks kirjeldatakse elektriautode keskkonnamõju ning antakse ülevaade elektriautode hinna sõltuvusest aku maksumusest. Samuti räägitakse akude tulevikust ning esitatakse statistika andmed elektriautode arvust maailmas.

Magistritöö teises osas räägitakse elektriautode potentsiaalset Eestis. Analüüsitakse kuidas elektriautod sobivad kasutajatele oma tehniliste näitajatega nagu sõidukaugus ja eluiga. Antud analüüs on läbi viidud põhinedes Eesti ning teiste riikide elanike sõiduharjumustes. Samuti uuritakse, kuidas on arenenud laadimisjaamade võrk Eestis ning lähimates riikides. Lisaks uuritakse, kuidas elektriautod sobivad Eesti jaotusvõrgule võimsuse juurdekasvamisel, mis on tingitud akude laadimisest. Räägitakse Eestis rakendatud meetmetest elektritranspordi arendamisel ning meetmeid võrreldakse teiste riikide arendamise poliitikaga.

Lõpuks nimetatakse parameetreid, mis avaldavad sotsiaalmajandusliku mõju riigile ja elektriauto kasutajale. Määratakse olemasolevate elektriautode mõju jaotusvõrgule. Piiritletakse elektriauto valdamise kulude maksumus: ostuhind, laadimisjaama hind, liikluskindlustus, hoolduskulud, tehnoulevaatus, kütus, maksud. Tavatarbija elektriauto kulud võrreldakse sisepelemismootoriga auto kuludega. Samuti määratakse võimalik riigi toetuse suurus, mis võimaldaks kompenseerida elektri- ja sisepelemismootoriga auto valdamise kulude vahe ning motiveeriks otma elektrisõidukit. Antakse ülevaade planeeritavatest maksudest, mis on suunatud vähendama energiatarbimist transpordisektoris ning suurendama elektritranspordi osakaalu. Majandusliku mõju riigile hinnatakse lähtuvalt prognoositud elektriautode tulevasest kogusest.

# 1 Elektriautode ülevaade

Elektriauto on auto, mis kasutab edasiliikumiseks elektrienergiat. Peamised erinevused võrreldes sise põlemismootoriga varustatud autoga seisneb selles, et mehaanilist energiat muundatakse elektrienergiast, mitte soojusenergiast. Tulenevalt tehnoloogia arenemisest on elektriautode teema tõsiselt päevakorras.

Antud peatükis antakse ülevaade elektriautode tehnilistest näitajatest. Lisaks kirjeldatakse juhtimissüsteem, mis korraldab energiatarbimist elektriautos ning elektriautode mõju elektrisüsteemile üldiselt. Lisaks kirjeldatakse elektriautode keskkonnamõju ning uuritakse elektriauto hinna sõltuvusest aku maksumusest. Samuti räägitakse akude tulevikust ning esitatakse statistika andmed elektriautode arvust maailmas.

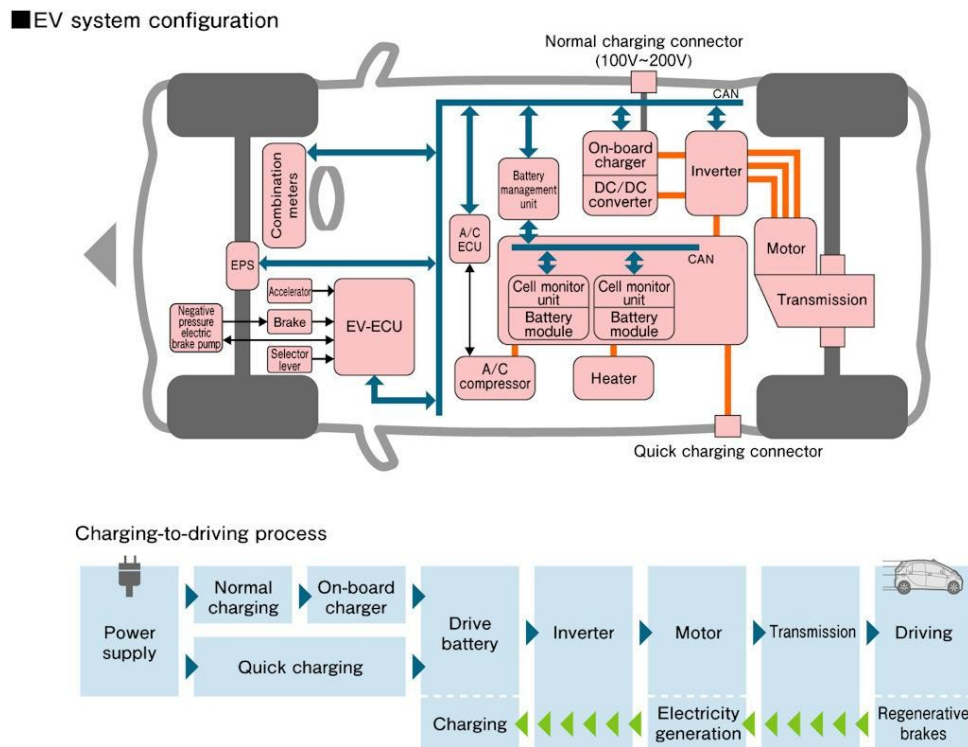
## 1.1 Elektriautode tehnilised näitajad

Praeguseks on kõige perspektiivikamaks asendajaks sise põlemismootoritega autodele elektriauto. Tehnoloogia areng ei seisa paigal ning iga päev elektriautode kogus suureneb. Samal ajal märkimisväärsed uuendatud mootorid, uued töötlemisseadmed energia salvestamisel ja kontrolltehnoloogia, pakuvad uusi võimalusi elektriauto edasiarendamisele. Ning see, et juhtivate autotootjate tootmismahitudesse on ilmunud elektrisõidukid, tõestab, et elektriautodel on tulevik. Kaasaegsed elektriautod sisaldavad rikkalikult uuendatud tehnilisi ideid.

Sise põlemismootor omab maksimaalset efektiivsust, maksimaalset võimsust ja maksimaalset pöördemomenti piiratud pöörlemiskiiruse vahemikus. See tähendab, et sise põlemismootoriga auto vajab keerulist, kulukat ja rasket mitme etapilist käigukasti ja käiguvahetusesüsteemi. Samal ajal elektrimootoril võib olla kõrge kasuteguriga, suure võimsusega ja suure pöördemomendiga üle suure pöörlemiskiiruse vahemiku. Sellest tingituna ei vaja elektrimootor eraldiseisvat mitmeastmelist käigukasti ja sidurit. Elektrimootoreid on võimalik ühendada otse ratastele ning selle tõttu pole vaja konstrueerida keerukaid ülekandesüsteeme. Kuna pidevalt toimub elektrimootorite ja jõuelektronika areng, siis on loota, et antud tehnoloogia areneb veelgi.

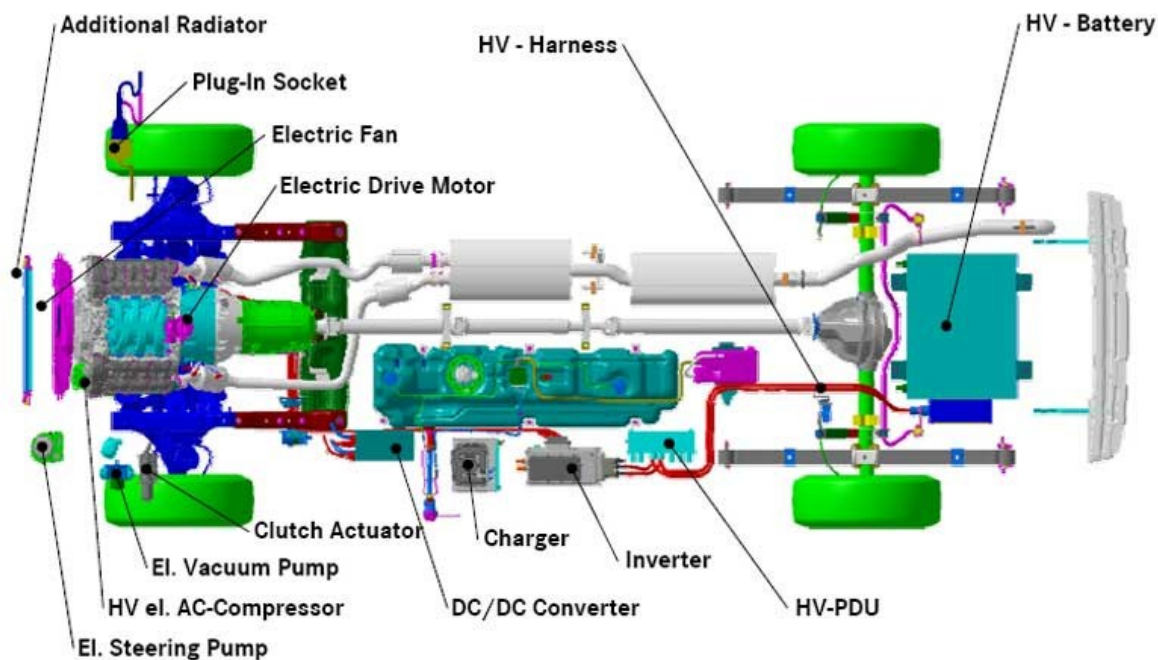
Tänapäeval võib eristada vähemalt nelja sorti elektriautosid. Esiteks on ühe või mitme elektrimootori jõul liitium-ioon akuga auto - see on puhas elektriauto nullemissiooniga. Siia kuuluvad näiteks sellised populaarsed Eestis müüdavad mudelid nagu Mitsubishi i-Miev,

Nissan Leaf, Tesla Model S. Elektriauto skeem on järgmine (Joonis 1.1): aku on ühendatud voolujuhtide abil jõuallikaga ning see omakorda läbi juhtsüsteemide ning võlli kannab energia üle ratastele. Tehnilised parameetrid sellist liiki seadmel sõltuvad akupatarei parameetritest. Auto võimalik läbisõit on otseses seoses sõltuv akudest ja auto kaalust, mida suurem on kaal, seda väiksem saab olla võimalik läbisõit. Antud sõltuvus on elektriautol suurem kui tavalisel sise põlemismootoriga autol. [9] [10]



**Joonis 1.1. Elektriauto süsteemi konfiguratsioon. [11]**

Teine elektriautotüüp sisaldab koos elektrimootoriga sise põlemismootorit - nn hübriidid (Joonis 1.2), näiteks mudelid Toyota Prius, Toyota Yaris, Volkswagen XL1 ja BMW i3. Vaatamata sellele, et hübriidid kasutavad vedelkütuseid, loetakse nad elektriautodeks ning võimaldavad kütust kokku hoida. Hübriid hoiab kütust kokku, kuna sise põlemismootor pideva optimaalse pöörlemiskiirusega, millal tema efektiivsus on kõige suurem. Tehniliseks iseärasuseks saab välja tuua selle, et läbipääsupiirand ei ole nii ranges sõltuvuses auto massiga, ning seda on võimalik suurendada vedelkütuse tankimisega nagu tavalise sise põlemismootoriga auto puhul. Veel üks elektriautode klass, mis koos elektrimootoriga kasutavad jõuallika vesiniku kütuseelementidega, on näiteks Honda FCX ja Toyota Mirai. [9]



*Joonis 1.2. Hübridauto süsteemi konfiguratsioon. [12]*

Viimane elektriautode klass on päikesepaneelide elektriautod. Eksisteerib palju elektriautode prototüüpe, kus jõuallikaks on päike, kuid kuna selle kasutegur ei ole eriti suur, siis need ei ole eriti levinud. [9]

### 1.1.1 Elektriauto sõidu ulatus ehk aku jõudlus

Kui kaugemale suudab elektriauto sõita sõltub peamiselt aku tüübist. Tänapäeval elektriautodes kasutatakse liitium-ioon tüüpi akusid.

Elektriautode mahtuvust mõõdetakse kWh nagu ka elektrit tavatarbijatele. Nimelt need samad kWh on bensiini liitrid tavalise sisepõlemismootoriga auto mõistes. Kahjuks ei ole võimalik võrrelda täislaetud akut bensiinipaagiga. Täis laetud aku on mingi potentsiaal mida ei ole võimalik terviklукult ära tarbida. Selleks, et säilitada aku efektiivsust ning võimalikult säilitada pikka eluiga, siis süsteemid, mis juhivad selle laadimist ei võimalda kundagi teda laadida 100 %, sest akul ei võimaldada kunagi täiesti tühjaks saada.

Aku kasutatav maht tavaliselt ei ühti kasutatava täislaetud mahuga ning tavaliselt erinevus on nende vahel suur. Juhtseadmete stabiilsus ja kontroll on väga oluline ning harilikult töötab elektriauto aku ainult 60-70 % mahuga, mis on antud seadme passis. Ei tasu ülemäära arvestada antud mahuga, näiteks, Nissan Leaf, mille mahuks on antud 24 kWh või Tesla Roadster's mahuga 54 kWh, ei saa te kunagi seda 100 % kasutada. Antud suurused on pigem

informatiivsed ja annavad ostjale ettekujutuse ja võrdlusmomendi. Mida suurem on antud maht seda suurem on auto potentsiaal. [13]

Peamine teaduslik mõte luua kaasaegne liitium-ioon aku tulid käibele 1980. aastal, kui John Goodenough ja tema meeskond avaldas ajakirjas *Journal of Materials Research Bulletin*. Ta näitas, et katood materjali, üks olulisemaid komponente liitiumioonakudele, saab kasutada komposiit oksiid liitiumi /  $\text{LiCoO}_2$ . Kasutades sellist materjali koostises liitium-ioon akudes on võimalik salvestada palju rohkem energiat kaaluühiku kohta kui teiste tuntud akudel tol ajal, näiteks salvestatud energia massiühiku kohta tuntud pliiakude on 4-5 korda madalam kui Li süsteemid-ioon. [14]

Aastal 1991 esitles Sony esimest tänapäeva akut, mis on viimase kahekümne aasta jooksul teinud kiire kasvu tööstuses, mis kasutavad liitium-ioon akusid. Milleks on peamiselt kaasaskantavad elektroonikaseadmed - sülearvutid, nutitelefonid ja erinevaid telefonid. Selles turusegmendis toimub pidev kasv, kuid tehnoloogia areng on aeglane harudes, kus patareisid on vaja tööstusvoolu saamiseks- laevad, allveelaevad, sest akumaterjalidel on liiga madal takistus. [14]

Hiljem, 1997, John Goodenough meeskond avastas uue ühendi, mida võiks kasutada liitiumioonakudele kui katoodi. See materjal põhineb liitium raud fosfaadil,  $\text{LiFePO}_4$ , mis erinevalt  $\text{LiCoO}_2$ , ei sisalda mürgiseid elemente ja on ohutu. Siiski on sellel väga madal elektroonilise juhtivus, mis on vastuvõetamatu, sest ioonid ei saa liikuda liiga kiiresti. [14]

Järgmine arend toimus aastatel 2005-2006, teadlased *Massachusetts Institute of Technology* on näidanud, et kui natuke muuta materjali. Täpsemalt on vaja metall viia nanomõõtudesse ning katta see süsinikukihiga.

Akude vastupidavus on suurem kui liikuda ühtlasema kiirusega. Pidev pidurdamine ja kiirendamine vähendab oluliselt võimaliku läbisõidu võimalust. Selle probleemi lahendamiseks kasutatakse kondensaatorite süsteemi, mis vähendavad elektritarbimist võimsuse muutumisele. [15]

Tänapäeval suurima aku läbisõiduga on Tesla, mis kasutab erinevat tüüpi katoodimaterjalidena liitium komposiitmaterjalide okside, niklit, koobaltit ja alumiiniumit. See materjal on kõrgema energiatihedusega võrreldes  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , mis võimaldab saavutada suuremat mahtuvust kuni 85 kWh, pakkudes läbisõiduks rohkem kui 400 km. Viimastel aastatel on teadlased teinud suuri edusamme, mis võib oluliselt parandada liitium-ioon akusid.



Näiteks, liitium-hapniku patareid, mille on välja töötanud IBM või teadlased Lõuna-California Ülikoolis. [16]

### **1.1.2 Juhtimissüsteem**

Üldiselt saab elektriautole liigitada kahte kategooriasse vastavalt nende liikumistüübile: kaudselt juhitud tüüp ja otsejuhitud tüüp. Esimesel neist tavaliselt käitakse elektrimootori abil läbi käigukasti ja diferentsiaali, ja viimasel jõuülekanne on suunatud otse ratastele. Võrreldes kaudse ülekandega võimaldab otsese ülekandega elektriauto saavutada suuremat kasuteguri ja omab suurema kontrolli paindlikkust, sest juhtivad rattad võivad vähendada energiakadu läbi edastamise ja käigukasti. Seega antud tüüp on muutunud soositavamaks tööstus- ja akadeemiliste ringkondades.

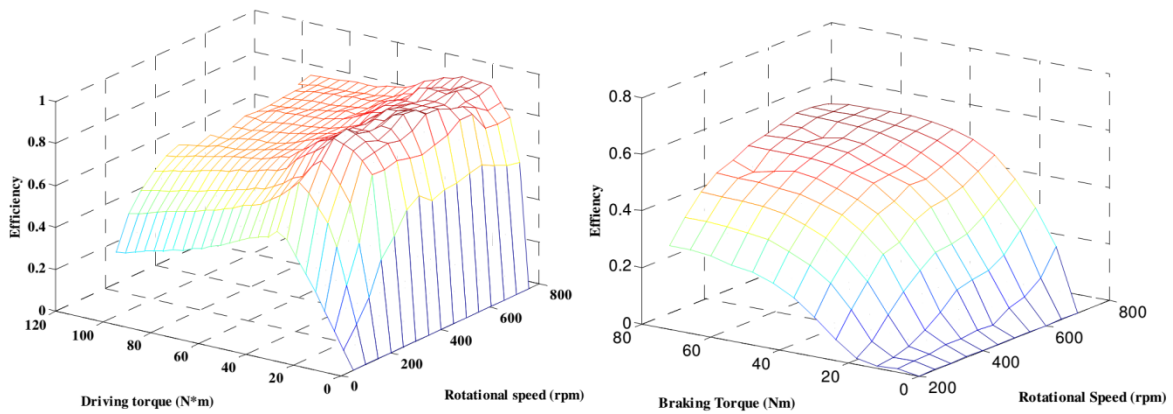
Uuringud on oluliselt tõestanud otseülekandega elektriauto arengu õigsust. Energia juhtimise strateegia on oluline aspekt elektriautos. Energia juhtimise strateegia võimaldab tõhusalt kasutada aku elektrienergiat, mis omakorda võimaldab pikendada sõiduki läbisõitu. Näiteks see on väga tähtis elektriautole, kui tuleb maksimeerida reisi kaugust tõhusamalt pöördemomendi jaotamise arvelt, et jõuda sihtpunkti või laadimisjaama enne kui aku tühjaks ammendub või jõuab madalama piirini. Vaatamata sellele, et uuringute põhjal on kõige sobivamakse juhtimissüsteemiks elektriautos otsene ülekanne, ei pruugi see sobida kõikidele sõidukitüüpidele. Eranditena peaks välja tooma erisõidukid, mis liiguvad erinevatel maastikel. [17]

### **1.1.3 GIS/GPS süsteemi kasutamine energiatarbimise juhtimiseks**

Ühelt poolt reisi energiatarbimine sõltub teekatete seisundist A lähtepunkti ja B sihtpunkti vahel, mis on kättesaadavad sõiduki pardal geoinfosüsteemi (GIS) ja globaalse positsioneerimissüsteemi süsteemi (GPS) abil. Kuigi GIS/GPS süsteem, mis põhineb maastiku ülevaatomisel. Energia juhtimise strateegiaga projekteerimisel on arvestatud hübriidautode jaoks. Teiselt poolt, energia tarbimine sõltub ka sõiduki liikumiskiirusest reisi ajal. Seega on mõistlik leida optimaalse sõidukiiruse põhinedes maastiku eelvaatomisel, et vähendada energia tarbimist ning seega maksimeerida elektriauto teekonna pikkust.

Et vähendada energiatarbimist või maksimeerida teekonna pikkust on elektrisõidukil kolm peamist tegurit. Esimene neist on efektiivselt kasutada kahe rattaveoga mootori võimalust rekuperatiivpidurdusel, nagu näidatud tõhususe kaardil (Joonis 1.3). Vasakpoolsel graafikul on näidatud pöördemoment ja efektiivsus kiirendamisel ning parempoolsel joonisel

pidurdamisel. Teine aspekt, et tagastada kineetilist energiat nii palju kui võimalik läbi rekuperatiivpidurduse süsteemi. Kolmas aspekt seisneb selles, et efektiivselt uurida ja analüüsida maastiku ja asukoha infot, et mõistlikult reguleerida kiirust parandades rekuperatiivpidurdamisel energia taastamist ja kahe rattalise mootorsõiduki tööefektiivsust. [17]



**Joonis 1.3. Kahe rattaveoga elektriauto pöör- ja pidurdusmomenti kasuteguri kaardid. [17]**

Elektriauto kasutuse ajal sõiduki kiirus on oluline tegur energia optimeerimiseks. Varasemates elektrisõidukite energia juhtimisstrateegiate uuringutes, sõiduki kiirus üldiselt defineeritakse konstantseks väärtuseks või ettemääratud antud tsükliks. Kuid ükski konstantne kiirus ega antud tsükkel ei saa anda energiakulu usaldusväärset analüüsi erinevate maastiku korral. Selleks, et usaldusväärset määrata sõidureisi pikkust kasutatakse nn dünaamilise programmeerimise (DP) meetodit, mis võimaldab tõhusalt jaotada mootori pöördemomenti rataste vahel ja valida optimaalse sõidukiiruse arvestades maastiku olukorraga. [17]

Reaalsuses DP meetodit kasutatakse selleks, et suurem pöördemoment jaotatakse esirattade vahel, kuna esirattade mootori kasutegur on kõrgem tagamise ratta mootorist. Kui maastiku kalle on liiga järsk, pidev kiirusetaset ei ole võimalik säilitada vaid ees mootorite abil, sest raskusjõu komponent on liiga suur, sel juhul tagant-rattamootorid püüavad aidata eesmootoritele pöördemomenti jaotusel. Tulemuseks pöördemomenti jaotuse DP meetod abil on see, et mootorid töötavad optimaalsel tööpunktil mootori kasuteguri kaardil nii maastiku kui ka sõidukiiruse arvestades. Samuti rekuperatiivpidurduse ajal pöördemomenti jaotuse DP meetodi abil võimaldab mootoritele tõhusamalt töötada ja jäädvustada rohkem energiat. [17]

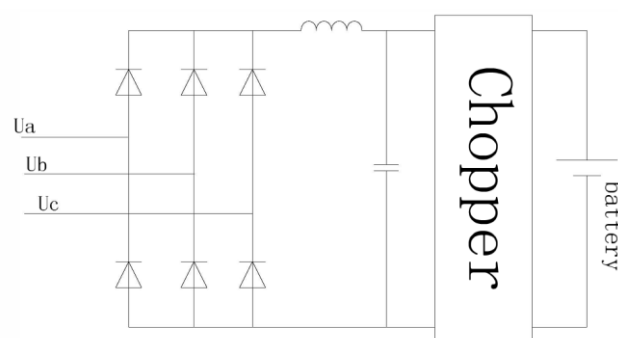
## 1.2 Elektriautode mõju elektrisüsteemile

Paljud riigid maailmas pööravad tähelepanu kesskonnaprobleemidele. Seega elektriautot vaadeldakse nagu transport, mis kasutab „puhta“ elektrit fossiilkütuste asemel. Et areneda selles suunas ning pakkuda elektriautotööstusele tugevamat alust arendustegevusele, siis paljudes riikides on juba loodud laadimisjaamu. On arusaadav, et laiaulatuslik elektriautode kasutamine mõjutab elektrisüsteemi ning toob kaasa uusi tehnilisi probleeme, nagu koormuse kasv, laadimise ebaregulaarsus, elektrienergia kvaliteedi muutumine ja teisi küsimisi, mis tuleb tehnikutel veel uurida.

Elektriauto laadija tööpõhimõtte on väga lihtne. See muundab vahelduvvoolu alalisvooluks ja edastab selle auto akule. Kuid laadimisjaama struktuur on keeruline. See koosneb elektroonilisest seadmest, sealhulgas AC/DC inverterist ja DC/DC muundurist, samuti kõrgsageduslikust trafost ning kasutab teatud kontrolli meetodeid laadija funktsioone realiseerimiseks. Elektriautode laadijate arengus on kolm tüüpi laadijaid: alaldi ilma kontrollita ja katkestajaga, alaldi ilma kontrollita ja DC/DC muunduriga ning alaldi pulsilaiusmodulatsiooniga ja DC/DC konvertoriga. [18]

### 1.2.1 Alaldi ilma kontrollita ja katkestajata

See laadimisseade on varasem toodetud laadimisjaam (Joonis 1.4). Mittelineaarsed elektroonilised seadmed vähema kontroll meetodiga annavad võrku palju harmoonilist voolu, mis genereerib paaritu harmoonikuid, mis mõjutab elektrienergia kvaliteedi jaotusvõrgus. Seega selline laadimisseadme ei ole lubatud ühendada võrku. [18]

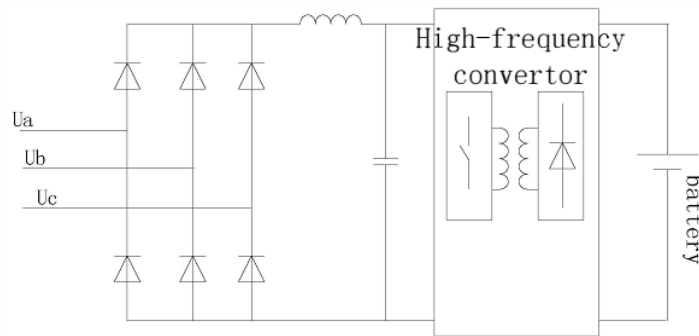


*Joonis 1.4. Alaldi ilma kontrollita ja katkestajata. [18]*

### 1.2.2 Alaldi ilma kontrollita ja DC/DC muunduriga

Antud laadimisseade on põhimõtteliselt muudetud esimene tüübi laadija. Siin on katkestaja asendatud kõrgsagedusliku trafoga (Joonis 1.5), mis isoleerib kõrgeid sagedusi, tõhusalt

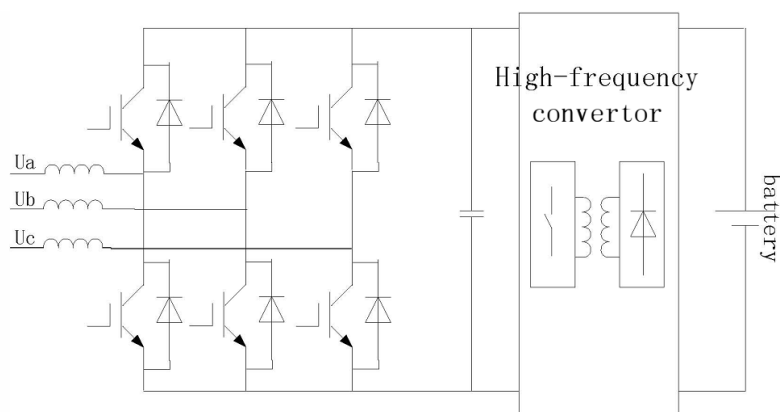
väheneb pulsatsiooniga alalispinge laine ning parandab laadimise kvaliteedi. Kuid mittelineaarne alaldusseade toodab palju harmoonikuid võrku ning tõuseb voolu THD ehk voolu moonutuse tegur liiga kõrgeks, nii et see ei vasta nõuetele ja ei saa võrku ühendatud. [18]



**Joonis 1.5. Alaldi ilma kontrollita ja DC/DC muunduriga. [18]**

### 1.2.3 Alaldi pulsilaiusmodulatsiooniga ja DC / DC konverteriga

Alaldi pulsilaiusmodulatsiooniga kujutab endast uut alaldi tüüpi, mis on ilmunud koos mikroarvuti juhtimistehnoloogia arenguga ning kasutatakse kontrollitud elektriseadmetes alaldi ülesande täitmiseks. Kasutades teatud kontrolli meetodeid ning impulsviisi simuleerib ta vahelduvpinge muutuse reeglit. Seega vähendab ta harmoonikute arvu võrgus, parandab võimsusteguri ning muunduri kasuteguri. [18]



**Joonis 1.6. Kolmas tüüpi laadija skeem. [18]**

Antud laadimisseade kasutab pulsilaiusmodulatsiooniga alaldi tehnoloogiat, et vähendada mõju võrgule ja kasutab kõrge sagedusega DC / DC muunduri vähendades pulsatsiooniga alalispinge lainet. Laadimisseade arvestab võimsuse kvaliteediga nii võrgus kui ka

alalisvoolul, sellel on head dünaamilised omadused ja kõrge kasutegur, mis võimaldab seda kasutada elektriautode tööstuses. Laadimise juhtimiseks on seadmele lisatud mikroarvuti, kuid sellest tingituna tõuseb laadija hind. [18]

Elektrisõidukid kujutavad endast uut tüüpi koormust jaotusvõrgus. Ning elektriautode suuremastaabiline integreerimine võrku avaldab teatud mõju jaotusvõrgule. Seega on kõige tähtsam mõista laadimise koormuse karakteristikuid ja leida tõhusaid lahendusi elektrisüsteemile.

### **1.3 Keskkonna mõju.**

Elektriautode aku tootmiseks kulub teatud kogus liitiumi, mille varud maakeral on üsna suures koguses. Lõuna-Ameerikas ja Hiinas, on aine, mida enamasti kaevandatud otse pinnasel tohutu soolajärvede kaldal. Lisaks taaskasutades liitium-ioon akusid on võimalik taastada 90% esialgsest mahust. Arvatakse, et ka ilma taaskasutuseta, säilib sama tarbimise tempos reservi ainult USA-s 75 aastaks. Aga ainult veerand maailma varudest selle metallile asub USA-s. Akus olevad kemikaalid on keskkonnale ohtlikud ja neid ei tohi niisama utiliseerida. Tavapärase autode 99% akusid saab ringlusse võtta teistkordselt. Uues patareis on juba olemas väärtuslikke metalle, mis paneb kaaluma nende ümbertöötlemist. On olemas spetsiaalsed programmid, mis kasutavad selliseid patareisid energia salvestamiseks pärast nende mahavõtmist autolt. Teine probleem on patareide koostises, sest need sisaldavad raskemetalle, happeid, leelist, mis langevad vette ja pinnasesse, põhjustades märkimisväärset kahju keskkonnale. Samuti peaks arvestama, et elektroonikaseadmete tootmine vajab erinevaid materjale, mis ei ole sageli kõige "rohelisem". On isegi seisukohal, et elektriautotööstus võib olla veelgi kahjulikum kui traditsiooniline autotööstus, tänu mahu suurenemisele elektrienergia tootmises, kuid seal on nii, et võetakse arvesse ainult tootmist. [19]

### **1.4 Elektriautode hind**

Tänapäeval kõige suuremaks takistuseks elektriautode edasiliikumiseks turul on tema hind ning komponentide tootmine, eriti aku. Valmis liitium-ioon aku hind kilovatt-tunni kohta moodustab vahemikus 500-650 \$ ja seega moodustab see suure osa sõiduki maksumus sõltuvalt aku suuruselt. Tänapäeval on toodetud akusid, mille maksumus on 145 \$/kWh kuid nende töökindlus on liiga väike, et hetkel oleks võimalik nendega arvestada. Näiteks Nissan LEAF 24 kWh aku, mis maksab umbes 12000 \$, mis moodustab umbes kolmandiku sõiduki

jaemüügi hinnast. Samamoodi Ford kasutab akut, mis maksab 12000-15000 \$ ning seda kasutatakse elektriauto mudelis Focus Electric, kui samal ajal tema bensiinanaloog Focus ise maksab umbes 22000 \$. Samal ajal tema hübriidversioon võib olla isegi kallim, mis on tingitud kuludest topelt jõuallikatele. [20]

Chevrolet Volt kasutab vaid 16 kWh akut, kuid selle ostuhind on peaaegu 5000 \$ suurem kui LEAF suures osas tänu oma hübriidtehnoloogiale. Enamik elektriautosid jääb kallimaks lähiaja perspektiivis kui nende bensiinil sõidetavad ekvivalendid isegi koos ostu toetustega, mida pakutakse paljudes riikides. [21]

Ilmselt 2020 aastaks saab elektriautode kümnendiks. Liitium-ioon akutootmiskulud on juba langenud 65 % võrra alates 2010 aastast saavutades hinna 350 \$/kWh. Oodatakse, et akude kulud veel langevad ja aastaks 2030 saavutavad hinna 120 \$/kWh. Sellest tingituna prognoositakse, et järgmiste aastate jooksul muutuvad elektriautode hinnad konkurentsivõimelisteks sise põlemismootoritega autodele. Selle järelduseni on tulnud Bloomberg New Energy Finance (BNEF) eksperdid, viidates elektriauto turuanalüüsile. Aastaks 2040 elektriautode müük jõuab 41 miljoni tükini, mis moodustab 35 % uutest sõiduautode müügist. [21]

Praegune elektriautode turg suurel määral sõltub entusiastidest, kes proovivad uut tehnoloogiat praktiliselt ja püüavad vähendada kulusid. Samuti toetavad valitsuselt abi stimuleerides ja toetades elektriautode müüki. Kuigi 1,3 miljonit elektriautosid on nüüdseks müüdud üle maailma, eriti 2015.aasta jooksul näitas turg tugevat kasvu, kuid siiski praegu antud hetkel moodustab elektriautode osakaal vähem kui 1% müüdud sõidukitest. [20]

Selleks, et saada selge ettekujutus kulustruktuurist, mis on seotud elektriautodega, tuleb ka arvestada aku vahetamise kuludega. Tulevikus, tänu uutele tehnoloogiatele, aku hind langeb, kuid hetkel aku hind on veel suur. On selge see, et lühiajalises perspektiivis elektriautode hind sõltub mõlemast stiimulist: toetused ja maksusoodustused valitsuse poolt ning tarbija valmisolek maksta rohkem, et seda hinnavahet täita. Lähimal ajal oodatakse aku hindade langust mastaabisäästu tulemusena aastaks 2020. Kuid pikaajalina langus tuleb tehnoloogia arengust, mis võimaldab hinda vähendada aastaks 2025. Kuid siia tuleb lisada ka aku paigaldustööde maksumuse, mis moodustavad kuni 20 % aku maksumusest. [22] [23]

## 1.5 Akude tulevik

Elektrisõiduki aku täidab sama ülesannet nagu kütusepaak tavapärasel sõidukil. Kuigi paak mahutab energiat sõitmiseks 600-700 km enne täitmist, siis praeguse põlvkonna akud võimaldavad sõita 100-300 km. Läbitavat vahemaad saab akudel suurendada sama moodi nagu ka bensiini paagi puhul muutes selle füüsilisi mõõtmeid, kuid see suurendab auto massi, mis sõiduauto puhul on oluline suurus. Et suurendada läbisõiduvõimalust sama aku mahu ja mõõtmete juures tuleb suurendada energiatõhusust. *USA Advanced Battery Consortium* (USABC) loodi, et arendada välja järgmise põlvkonna akusid. USABC hõlmavad kolme suure USA autotootjat, tööstusvool *Research Institute*, aku tootjaid ja Ameerika Ühendriikide Energeetikaministeeriumit. [24]

Eelmisel aastal Phinergy ja Alcoa teatas alumiinium-õhk akust, mis võiks anda elektriautole potentsiaalseks läbisõiduks 1609 km, kuid oleks vaja teostada peatusi vee tankimiseks iga 450 km tagant. Phinergy ja Alcoa alumiiniumi-õhk aku süsteem kasutab energiat, mis vabaneb läbi reaktsioon alumiiniumi ja vee hapnikuga, et toota elektrit, kasutades hõbe-katalüsaatori ja unikaalne struktuur, mis võimaldab hapniku raku samas keeldub sisenemise problemaatiline CO<sub>2</sub> molekulid. Kuid probleem on sellest, et akuplaate ei ole võimalik laadida vaid need tuleb välja vahetada. Üks plaat võimaldab liikuda umbes 32 km. [25]

### Graphene autoakud

Tulevikus on võimalik potentsiaalselt kasutusele võtta ka uusi tehnoloogiaid akude ehitamiseks. Üks uuematest tehnoloogiatest akude arendamisel on *Graphene* aku. Tänapäeval on välja töötanud tehnoloogia näidis, mida nimetatakse *Grabat*, mis võimaldaks elektriautol sõita kuni 900 km ühe laadimisega. *Graphenano* väitel on võimalik akud täis laadida ainult mõne minutiga. Tühjakslaadimine toimub 33 korda kiiremini kui liitium-ioon. Vooluhulk on oluline autode puhul, kuna kui sooviks on saada suurt energia hulka, siis see peab liikuma kiiresti. *2.3V Grabat* võimsus on tohtu umbes 1000 Wh/kg, kui võrrelda seda liitium-iooniga, milleks on 180 Wh/kg. Kuid antud tehnoloogia liitium-iion akust kõrgem hind ei võimalda tema masstootmist. [26]

## 1.6 Elektriautod maailmas

2012. aastal üle maailma oli 180000 elektriautot, mis on 0,02 % sõiduautode kogust ning 1900 kiirilaadimisjaama. Kõige rohkem on elektriautosid USA-s, kus 2012. aastal oli registreeritud üle 71000 (38 % maailma elektriautode arvust) elektrisõidukit ning

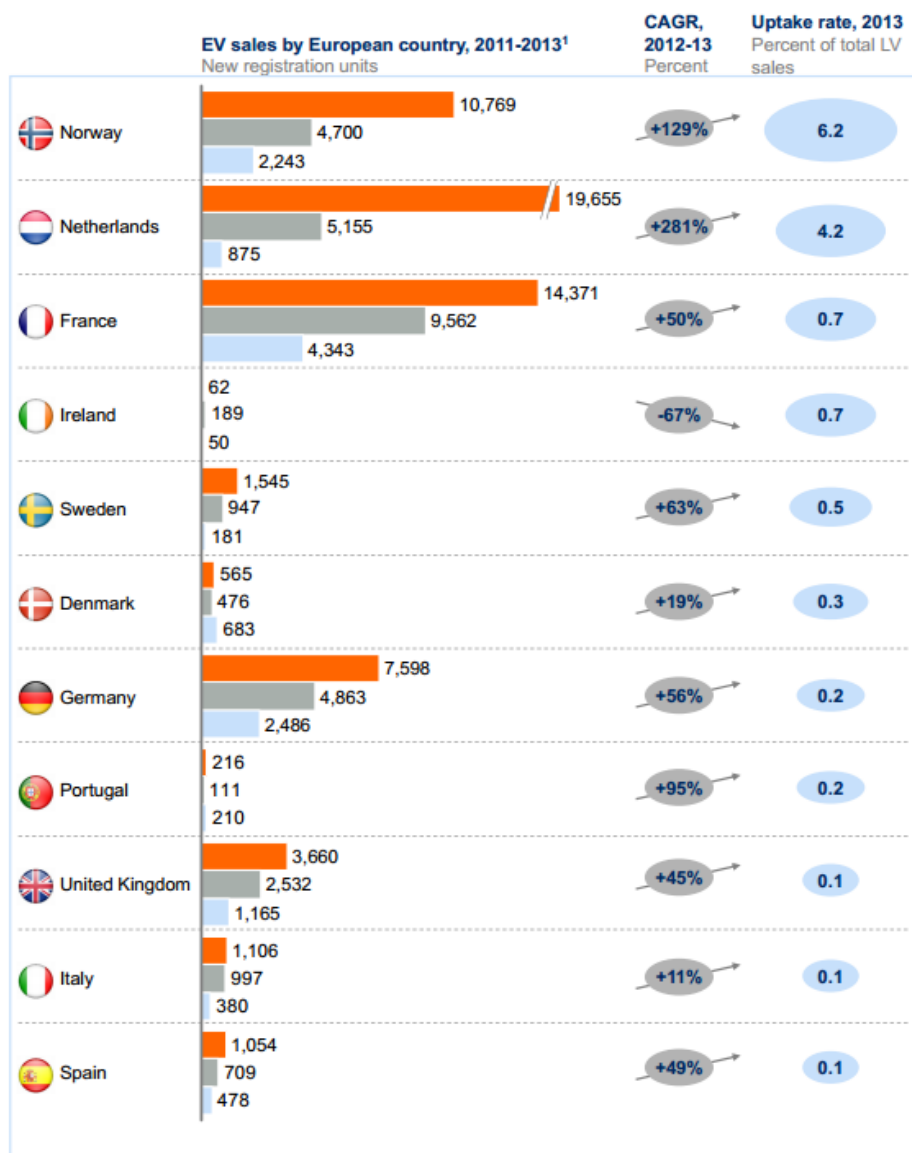
15000 laadimisjaama. Ameerika Ühendriikide järel on Jaapan, kus oli registreeritud 44000 (24 %) elektriautot ja 5000 laadimisjaama. 2012. aastal oli kõige rohkem elektriautosid registreeritud Euroopa riikidest Prantsusmaal 20000 (11 %) ühikut ja 2000 laadimisjaama. Teine koht elektriautode koguses on Ühendkuningriigil – üle 8000 (4,4 %) ja üle 2000 laadimisjaama. Järgmiseks Holland ja Saksamaa, kus oli registreeritud vastavalt üle 6000 (3,6 %) elektriautot ja 3000 laadimisjaama ning üle 5000 (3 %) elektriautot ja 2000 laadimisjaama. [21]

2013. aastal liidriteks elektrisõidukite müügis Euroopas on Norra, Holland, Prantsusmaa ja Saksamaa (Joonis 1.7), kus elektriautode müük moodustab vastavalt 6,2 %, 4,2 %, 0,7 % ja 0,2 % kogu uue autode müügist. [22]

2016. aastal USA on juhtiv riik elektriautode turul umbes 450 tuhande kergete elektriautoga. Hiina on teisel kohal umbes 300000 elektriautot on müüdud alates 2011. aastast. Edasi järgneb Jaapan umbes 150000 elektriautot on müüdud alates 2009. aastast. Peaaegu 475000 elektrisõidukit on registreeritud Euroopas. Hollandis tänaseks päevaks on registreeritud üle 100000 ühiku, järgneb Holland, kus üle 92,6 tuhande ühiku registreeritud ja Prantsusmaa üle 74 tuhande ühiku registreeritud. [27] [28] [29]

Norra on kõige suurema elektriautode arvuga riik ühe elaniku kohta, kus 2014. aastal oli 100 sõiduauto kohta registreeritud 1 elektriauto. Vaatamata oma kiire kasvule elektriautod moodustavad vaid 0,1 % ühest miljardist autodest maailma teedel 2015. aasta lõpuks. [30] [31]





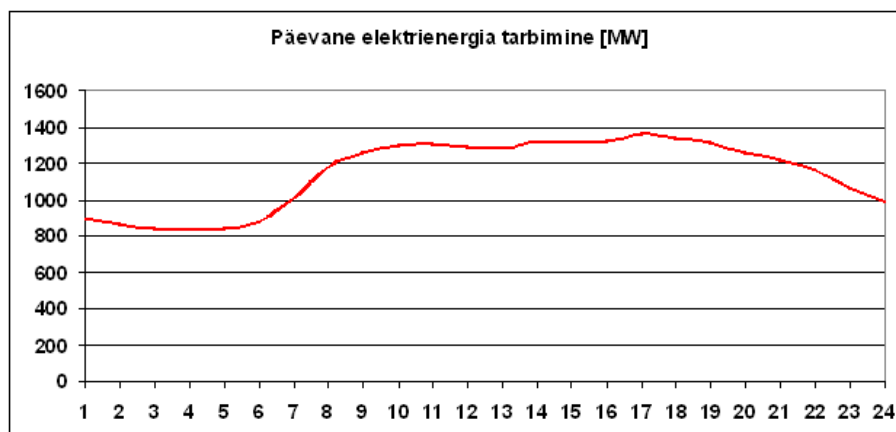
*Joonis 1.7. Elektriautode müük Euroopas 2011-2013. aastal. [22]*

## 2 Elektriautode potentsiaal Eestis

Pole saladus, et avalik huvi elektriautode vastu kasvab pidevalt. Kuid oluliseks piduris elektriauto kasutuselevõtuna on tema kõrge hind, piiratud läbisõit ja laadimisvõimaluste piirangud. Siiski on mõned uuringud, mis näitavad, et elektriauto kulud on madalamad, võrreldes sise põlemismootori sõidukitega, mis võiksid kompenseerida elektriauto ostuhinna piirkondades, kus kütusekulu on suhteliselt kõrge. Selles peatükis vaadeldakse neid faktoreid, mis suurendavad elektriauto nõudlust turul ning optimeeritud riikliku poliitikat, mis toetab turu kasvu, nagu ostu toetused ja laadimise infrastruktuuri investeeringuid.

### 2.1 Mõju koormustasakaalule jaotusvõrgus

Tavaliselt linna elektrienergia tarbimisgraafik näeb välja nagu näidatud joonisel (Joonis 2.1), kus tarbimise „tipp tund“ ilmub päeva jooksul ja öösel koormus tunduvalt väheneb. Selleks, et suurendada jaotusvõrgu julgeolekut ning tasakaalustada koormamise kiirust, rakendatakse elektrienergia tariifide süsteeme, kus päeval elekter maksab rohkem, kui öösel. Kuid elektriautod kasutatakse päeval ning laaditakse öösel. Antud asjaolu võiks tunduvalt tasakaalustada jaotusvõrgu koormusjaotust, seega parandades jaotusvõrgu karakteristikuid ning vähendades eksploatatsioonikulusid. Kusjuures sel juhul kasumi teenivad nii tavatarbijad kui ka elektrisüsteem.



Joonis 2.1. Päevane elektrienergiatarbimine [32]

Transpordisektori elektrienergia tarbe kasv sõltub eelkõige kasutatava tehnoloogiate hinnast ja riigi majanduslikust olukorrast, st missuguseks osutub elektrisõidukite kasutuselevõtu majanduslik potentsiaal on raske hinnata. Tulevikus on oodata tarbimise kasvu eelkõige seoses elektriautode ning muu elektritranspodi seadmete laialdasema kasutuselevõetuga.

Umbkaudsetel hinnangutel suurendab Eestis 100 000 elektriauto kasutuselevõtmine sisemaist elektritarvet 5–6 % võrra. Hetkel on Eestis kasutusel ca 850 000 sõidukit, optimistlikumatel hinnangutel võib elektriautode arv kujuneda 2020. aastaks ca 80 000-ni, suurendades summaarset elektritarvet 4–5 % ehk ca 450 GWh võrra aastas. [33]

Kiirlaadimistaristu hajutatud rajamisega väheneb risk, et autosid hakatakse üheaegselt laadima tipukoormustundidel, ning hajutatud laadimise puhul avaldab see võrgule tunduvalt väiksemat mõju. Omaette probleem on autoakude kiirlaadimise tagamine, kuna näiteks ühe 35 kWh aku täislaadimiseks 10 minuti jooksul on vaja võrgust võtta võimsust 210 kW. 400 V madalpingevõrgus tähendaks see faasivoolu 303 A, tavalise majapidamise maksimaalne faasivool on aga suurusjärgus 25 A. Kiirlaadimise võimaluste tagamise eelduseks on uuendatud madalpingevõrk või eriotstarbeliste kohalike võimsusallikatega laadimisjaamade rajamine, millest viimast kasutatakse ka Eesti kiirlaadimistaristu rajamisel. [33]

Autode laadimise koormuse ja kiirlaadimise probleemi üheks alternatiiviks peetakse *SmartGrid* rakendamist autode laadimise ajastamiseks, milles tühjad akud vahetatakse täislaetud akude vastu ilma et autojuht peaks autost väljuma. Ülalöeldut silmas pidades on tõenäoline, et 2020. aastani väljendub elektritranspordi kasutuselevõtt eeskätt suuremate linnade koormuse kasvamist, eriti just kodumajapidamistes. Mõju elektrihinnale sõltub peamiselt elektrisõidukite arvust ning sellega seotud laadimistaristu rajamisse ja elektrivõrgu tugevdamisse tehtavate investeeringute suurusest. [33]

## **2.2 Elektriauto sobivus Eesti elenikele**

### **2.2.1 Sõidukaugus**

Kõige suurem mure elektriauto potentsiaalsel ostjal tuleneb sellest, et kui palju ebamugavusi võib tekkida piiratud aku võimekusest. Elektriauto tootjad lubavad keskmiselt 130-250 km sõiduulatust. See sobib näiteks igapäevaseks liikumiseks, sõitmaks marsruudil kodu-töö-pood-sportisaal-kodu. Nagu näitab 2006.aastal viidud uuring, et eesti inimesed sõidavad keskmiselt sõltumata soost, vanusest ja sõidu eesmärgist mitte rohkem kui 60 km päevas (Tabel 2.1, Tabel 2.3, Tabel 2.2 ). Seega linnades on kiirlaadimispunktid organiseeritud sellistes punktides kus inimesed nii kui nii liiguvad ja veedavad aega, näiteks ostukeskustes, bensiinjaamades ja pangakontorites. Suuremates linnades on kiirlaadijate arv jagatud järgmiselt Tallinnas 29, Tartus 11, Pärnus viis ja Narvas kaks kiirlaadijat. [6]

**Tabel 2.1. Sõiduautode kasutamine sõiduki täitumise järgi. [6]**

TS545: SÕIDUAUTODE KASUTAMINE --- Näitaja, Sõiduki täitumus ning Aasta			
	2004	2005	2006
<b>Sõiduautode sõitjakäive, tuhat sõitjakilomeetrit</b>			
Kokku	7 813 236	9 928 816	9 946 241
Juht	4 501 366	4 684 191	5 259 453
Juht kaassõitjatega	3 311 870	5 244 625	4 686 788
<b>Sõiduauto keskmine läbisõit päevas, kilomeetrit</b>			
Kokku	54.9	57.2	53.8
Juht	55.0	45.1	45.0
Juht kaassõitjatega	54.9	66.2	62.8
<b>Sõiduautode läbisõit aastas, tuhat sõiduk-kilomeetrit</b>			
Kokku	4 501 366	4 684 191	5 259 453
Juht	..	..	..
Juht kaassõitjatega	..	..	..

**Tabel 2.2. Sõiduautode kasutamine sõidu eesmärgi järgi. [6]**

TS546: SÕIDUAUTODE KASUTAMINE --- Näitaja, Sõidu eesmärk ning Aasta			
	2004	2005	2006
<b>Sõiduautode sõitjakäive, tuhat sõitjakilomeetrit</b>			
Kokku	7 813 236	9 928 816	9 946 241
Töö	5 447 258	5 153 601	4 943 033
Vaba aja sisustamine	3 940 728	5 849 032	7 219 806
Muu eesmärk	1 632 929	2 240 717	881 841
<b>Sõiduauto keskmine läbisõit päevas, kilomeetrit</b>			
Kokku	54.9	57.2	53.8
Töö	60.2	53.6	55.5
Vaba aja sisustamine	51.3	63.5	57.9
Muu eesmärk	56.5	51.4	49.4
<b>Märkus:</b> Ühel isikul võib olla päeva jooksul mitu sõidueesmärki.			

**Tabel 2.3. Sõiduki keskmine läbisõit päevas. [6]**

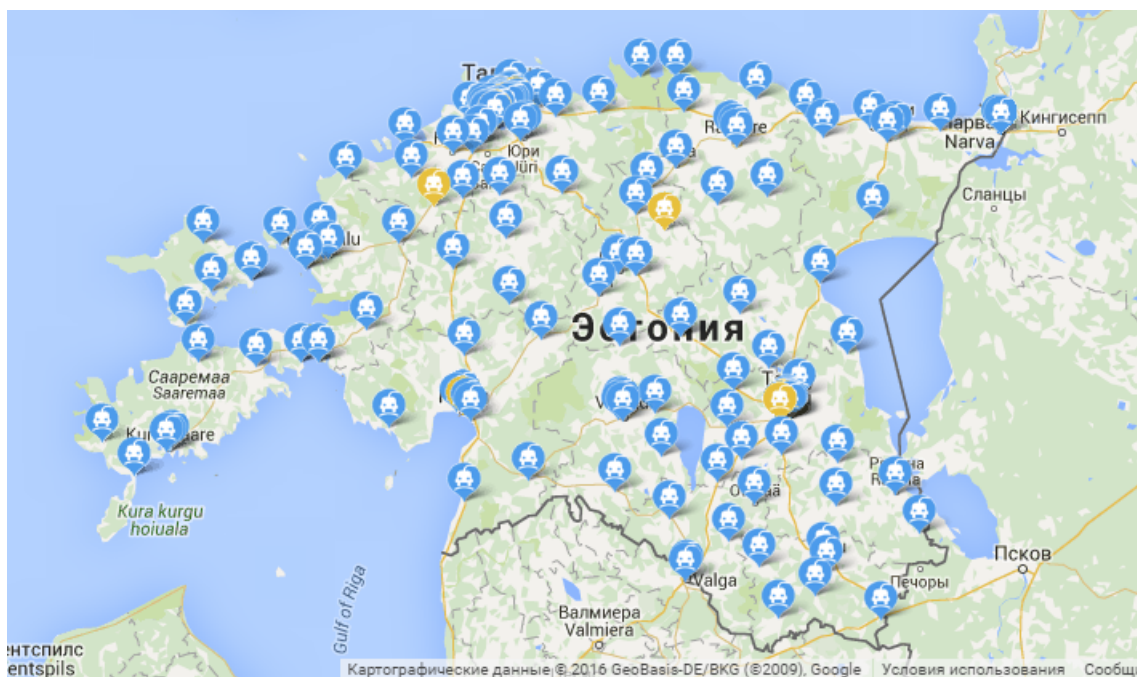
TS547: SÕIDUAUTO KESKMINE LÄBISÕIT PÄEVAS --- Juhi sugu/vanus ning Aasta			
	2004	2005	2006
Kokku	54.9	57.2	53.8
Mees	59.9	62.8	55.5
Naine	44.3	46.9	50.0
15-24-aastane	43.5	..	51.3
25-49-aastane	62.7	59.6	55.9
50-74-aastane	40.0	44.9	49.3
<b>Märkus:</b> Möötüühik: kilomeetrit			

Kiirlaadijad, mis on paigaldatud üle Eesti on nutikad laadijad. Elektriauto ise annab laadijale käsu, mis võimsusel autot laadida ja millal peab laadimine lõppema. Seega auto kaitseb oma akut ülelaadimise eest. Lisaks on see kaitse ka aku kuumenemise ja elektrilekke eest. Kui kiiresti aku laetakse sõltub paljudest teguritest, kuid eriti aku suurusest ja laadimise sügavusest. Vähemas sõltuvuses on aku laadimise aeg ilmastikuoludest. Kaasaegsed kiirlaadijad võimaldavad 20-40 minuti jooksul aku laadida kuni 80 %. [34]

Samuti kogu maailmas elektriauto võiks rahuldada suurema hulka tarbijate vajadusi oma läbisõiduga. Nagu näitavad uuringud, et üle maailma keskmise inimese läbisõit päevas jääb aku mahtuvuse piiridesse. Näiteks Ühendkuningriigis 97 % autoomanikku sõidavad hinnanguliselt vähem kui 80 km. Euroopas 50 % sõidavad vähem kui 10 km ja 80 % vähem kui 25 km päevas. Ameerika Ühendriikide umbes 60 % sõidukitest sõidavad alla 50 km päevas, ja umbes 85 % alla 100 km. [2]

Teiselt poolt tekib küsimus mis teha kui inimene tahab sõita üle Eesti. Siis Eesti kiirlaadijate kaardilt (Joonis 2.2) näeme, et laadijate struktuur on Eestis arenenud piisavalt hästi, mis võimaldab elektriautode kasutajatel vabalt liikuda ühest punktist teisse muretsemata, et kuski reisil aku saab tühjaks ning seda ei ole võimalik laadida.

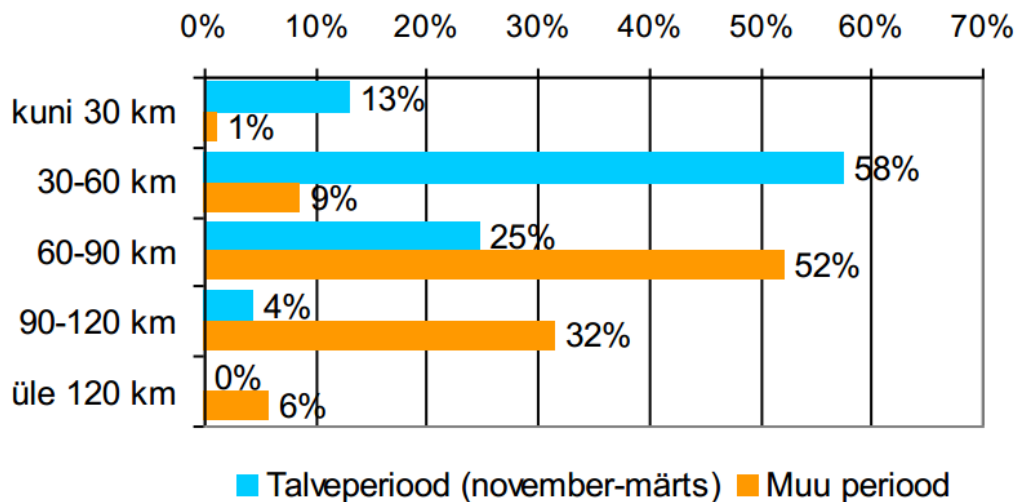
Kuid sellisel juhul ainuke ebamugavus võib tekkida sellest, et kiirlaadimisjaamade omavaheline distants on 40-60 km. See tähendab, et planeerides üle Eesti reisi autojuht peab enam vähem planeerima oma teekonna. Näiteks kui sõita Tallinnast Võrumaale sõiduulatus on umbes 300 km. Kui sõita autoga kus tootja lubab maksimaalse sõiduulatuse 160 km, kuid see näitaja väheneb kiiruse muutmisel, kliimaseadmete ning pardaelektronika seadmete kasutamisel. Lisaks talveperioodil teede olukord on halvenenud sademetega ning autos kindlasti kasutatakse küteseadet. Seega võib antud näitaja väheneda mitu korda ja laadimiseks peab peatuma kaks-kolm korda. Kogu Eestis on kiirlaadijaid 167 ning paiknevad 65 maanteedes ääres. Kiirlaadimisjaamade paigutamise on arvestatud käidavate asukohtadega nagu näiteks bensiinjaamad, kohvikud, kauplused, kus inimene võib aja veeta nii kaua ootab laadimist. [34]



**Joonis 2.2. Kiirlaadijate kaart Eestis 2016.aasta [34]**

Elektriautode omanikud võivad märgata, et talveperioodil efektiivne kilometraaž ei ületa 30-60 km ja muul perioodil 60-90 km täis laetud akuga (Joonis 2.3). Vastavalt joonisel (Joonis 2.3) toodud admetel on talveperioodil 58 % kasutaja arvates efektiivseks läbitavaks vahemaaks 30-60 kilomeetrit. Vaid 4% arvab, et efektiivne kilometraaž on 90-120 kilomeetrit ja üle selle ei paku keegi. Muul perioodil on kõige tüüpilisem 52% efektiivne kilometraaž 60-90 kilomeetrit, vaid 10% arvab, et see võiks olla vähem ning 38% arvab, et täislaetud akudega on efektiivne kilometraaž üle 90 kilomeetri. Raske reisida elektriautoga välismaale. Kui näiteks inimene planeerib reisi elektriautoga Euroopasse, kõigepealt hakkab ta otsima, kus võib akut laadida. Näiteks 2015.aasta alguses on Lätis registreeritud 11 kiirlaadimisjaama. Kuus neist asub Riias, ning üks Sigulda, Gulbene, Tervete ja Talsu piirkonnas. Tähendab Eestisse kõige lähim Lätis asuv laadija asub Gulbene või Sigulda linnas, mis omakorda asub näiteks Valga linnast, kus võib viimati Eestist välja sõites aku täis laadida, umbes 100 km kaugusel. Siguldas aku laadides võib edasi sõita näiteks Riiasse umbes 50 km. Riias kasutades ühte üheteistkümnest laadijatest võib edasi liikuda Tervetesse või Talsusse, mis asuvad vastavalt 70 ja 100 km kaugusel. Kuid aastaks 2022 planeeritakse kogu Lätis luua laadimisjaamade võrk, ehitades 235 uut laadimisjaama. Infrastruktuuri luuakse kahetasandiliseks- riiklik ja piirkondlik tasand. Esimene tasand puudutab Euroopa transpordivõrgu teedel, millest 60 laadimisjaama on üles ehitatud 30 km eraldatava

vahekaugusega. Teine tasand on seotud piirkondlike teedega, mis ühendatakse Euroopa transpordivõrguga. Kokku ehitatakse 175 laadimisjaama mitte rohkem kui 50 km vahekaugusega. [35] [36]



*Joonis 2.3. Efektiivne kilometraaž täis laetud akuga. [37]*

Sarnane olukord on ka Leedus. Tänapäevaks on ainult viis kiir- ja umbes kaks kümnendiku tavalaadijaid, mis asuvad Leedu territooriumil. Põhiline kiirlaadijate arv on koondunud suurtesse linnadesse nagu Vilnius ja Klaipeda ning üksikud laadimisjaamad kaootiliselt laialipillatud riigi territooriumil, mis ei võimalda tänapäeval reisida mugavalt. Paremat laadijate võrku on samuti planeeritud arendada aastaks 2020. Selleks aastaks planeeritakse ühtlaselt jaotada kogu riigi territooriumil kuni 72 kiirlaadijat. Sel viisil luuakse mugav laadimispunktide võrgustik, mis võimaldab kergesti jõuda kuni mis tahes laadimisjaamani kogu Leedu territooriumil. Edasise arengu käigus tuleks need paigaldada igas linnas või suuremas asulas. [38]

Samuti tänapäeval kogu Poola territooriumil asub vähem kui 10 kiirlaadijat, mis võimaldab reisida vaid teatud piirkonnal korralikult planeerides oma marsruuti. Ning Soomes on umbes kaks kümnendiku kiirlaadijat, mis koondatud Helsingi piirkonda. [39] [40]

## 2.2.2 Eluiga

Tänapäeval elektriauto aku hind moodustab umbes kolmandiku kogu sõiduki maksumusest. Seega edaspidi loeme elektriauto eluiga võrdseks aku elueaga, kuna aku vahetamine muutub mõttetuks oma kõrge hinna tõttu.

Eestis on väga arenenud kasutatud sõidukite turg. Statistika näitab (Tabel 2.4), et suurema osa (80 %) sõidukite turul moodustavad üle viie aasta vanad autod ning sõiduautode keskmine vanus Eestis on 14 aastat, mis on kaks korda kõrgem Euroopa autode vanusest 7-8 aastat. On arusaadav, et mida vanem auto seda odavam on tema hind. Siin kohe tekkitab küsimus kui võimeline elektriauto konkureerida kasutatud sõidukite turul sisepõlemismootoriga autodega? Kas elektriauto on üldse kasutuskõlbulik 20 aastat vanana nagu näiteks 20 % Eesti sõidukest? [10] [41]

**Tabel 2.4. Liiklusregistris seisuga 29.02.2016 aasta arvel olevad sõiduautod [10]**

Sõiduki vanus aastates	Registreerimise aasta	Autode kogus
0-5	2011-2016	104251
6-10	2006-2010	134649
11-15	2001-2005	135773
16-20	1996-2000	111349
21-25	1991-1995	58912
26-30	1986-1990	15300
31-40	1976-1985	6006
üle 40	1918-1975	2392

Aku eluiga on defineeritud nagu täis- ja tühjaks laadimise tsüklite arv, mida on võimalik saada kuni aku mahtuvus jõuab 80 %-ni oma algsest mahtuvusest. Li-ion aku mahtuvuse kahenemine erineb sõltuvalt aku tehnoloogiast ja töötingimustest. Samuti mahtuvuse kadu on tugevam peale normaalse etapi läbimist ja eriti aku eluea lõpus. Teoreetiliselt selline süsteem peaks töötama igavesti, kuid tsüklid ja töötamine kõrgemal temperatuuril vähendab aku eluiga. Sõltuvalt tühjaks laadimise sügavusest (*DoD - Depth of Discharge*) akueluiga võib ulatuda DoD 20 % juures kuni 2000 tsüklini ja DoD 40 % juures kuni 1000 tsüklini. [42]

Kuid ei ole võimalik täpselt hinnata aku eluiga lugedes akulaadimise tsüklite arvu. Sest selleks ei ole selgelt määratud standardeid ning mahtuvuse sügavus võib muutuda sõltuvalt juhtimise stiilist ja temperatuuri tingimustest. Temperatuur režiim liitium-polümeer ja liitiumioon akud mõjutab nende võimet: võime väheneb, kui laadimine on külmas või kuumus. Täis- ja tühjaks laadimine mõjutab halvasti aku omadust. Ka aku elutsüklit mõjutab tema



tühjenemise sügavusest enne järgmist laadimist ja laadimise voolu ülem määr tootja reguleeritud voolust. Samuti ka see on väga tundlik pingete eest. Kiirelaadimise puhul aku kuumeneb mis omakorda tõstab tema sisetakistust ja see laguneb kiiremini. Li-ion aku tuleb kasutada pidevalt, sest mahtuvuse sügavus kaob ka pikaaja seisakul. [43]

Tabelis (Tabel 2.5) võib vaadata Li-ion aku täis-/tühjaks laadimise tsüklite arvu erinevatel DoD tasemetel, enne kui aku mahtuvus langeb kuni 70 %. Kõik teised muutujad nagu pinge, temperatuur ja koormusvool on arvestatud vaikimisi nagu konstantsed parameetrid.

**Tabel 2.5. Aku täis-/tühjaks laadimise tsüklite arv sõltuvalt DoD'st [43]**

Depth of discharge	Discharge cycles
100% DoD	300 – 500
50% DoD	1,200 – 1,500
25% DoD	2,000 – 2,500
10% DoD	3,750 – 4,700

Läbi viidud katsed Li-ion akudega sõltuvalt sõidustiilist näitavad, et uus aku võib kesta kuni 3,8 aastat kuni saavutab oma 80% mahtuvuse piiri mis vastab 1394 laadimistsüklile äkilise sõidustiili domineerimisel, mille juures DoD jõuab 80 %-ni. Keskmise sõidustiili juures kui DoD näitaja põhiliselt ei ületa oma 40 % väärtust aku eluiga võib pikendada kuni 11,6 aastani mis vastab 4257 laadimistsüklile. Teistel admetel on aga pakutud, et kui uus aku igapäevaselt kasutatakse sõitmaks väikese kaugusele rahuliku sõidustiilis, mis puhul aku tühjaks laadimine jõuab vaid 20 protsendini, võib aku kesta kuni 29 aastani, mis vastab 10832 laadimistsüklini. [42]

Eelnevast järeldatakse, et kui kasutada elektriautot rahulikus ökonoomses sõidustiilis, aeglaselt kiirendada ning sujuvalt pidurdada, ummikuid ning kaugemate reiside vältides, talvel ja suvel vaid hädavajalikult kasutades kliimaseadmeid ning teist pardaelektronikaseadmeid, et põhiliselt aku tühjaks laadimine ei ületaks 40 %, võib elektriauto elu pikendada kuni kümne aastani. Kuid kui aku saab tühjaks 20 % piirini, aku mahtuvus hakkab ammenduma kiiremini, mis viib läbisõidu vähenemisele ning nõuab aku vahetust. Mis omakorda tõstab kasutatud auto hinda kuni uue sisepõlemismootoriga auto hinnani. Ise elektriautode tootjad annavad akudele viiest kuni kaheksa aastani garantiid või läbisõidu alusel 10000 kuni 160000 km. Selle garantiiga tootja lubab, et garantiiaja jooksul aku laadimistase ei lange teatud piiri alla. Kui garantiiaja läbimisel, aku laadimistase ei rahulda enam kasutajat, peab ta ise seda vahetama.

## 2.3 Meetmed elektritranspordi arendamisel Eestis

Eesti sõlmis 2011. aastal Mitsubishi Corporationiga lepingu 10 miljoni AAU (*Assigned Amount Unit*) ulatuses saastekvoodi müügiks, et algatada Eesti elektromobiilsus programm (ELMO). Programmi raha on võimaldanud Sotsiaalministeeriumil soetada 507 Mitsubishi iMiev elektriautot, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumil välja töötada toetuskeem eraisikutele ja juriidilistele isikutele elektriautode ostu teostamiseks ning ehitada üle riigi laadimisjaamade võrku. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi initsiatiivil koostöös Sihtasutusega KredEx oli algatatud Eestis määruse nr. 69 alusel alates elektriautode ostutoetus programm, mille eesmärgiks on vähendada saastekoormust ja suurendada taastuvenergia kasutamist Eesti transpordisektoris elektriautode laiema kasutuselevõtu abil. Arendusprogrammi raames toetati elektriauto soetamist ning ühe elektriauto laadija ostmist ja sellega seotud paigaldustöid. Vaatamata sellele, et elektriautode ostjate huvi ELMO programmi raames oli suur, 2014. aastal lõpetas KredEx uute taotluse vastuvõtu vahendite lõppemise tõttu. Statistika andmed näitavad (Tabel 2.6), et elektriautode ostutoetus on end väga hästi õigustanud. Nii 1221 elektriautode hulgast registreeritud 2015.aasta lõpus Eestis on pool soetud ostutoetuse abil. [10] [44] [45] [34]

**Tabel 2.6. Elektriautode toetuste statistika [34]**

	taotlusi	eraldamise otsuseid
2011	17	9
III kv/kvartal	11	4
IV kv/ kvartal	6	5
2012	92	75
I kv/ kvartal	3	0
II kv/ kvartal	23	21
III kv/ kvartal	46	38
IV kv/ kvartal	20	16
2013	187	158
I kv/ kvartal	23	22
II kv/ kvartal	53	48
III kv/ kvartal	37	33
IV kv/ kvartal	74	55
2014	499	415
I kv/ kvartal	105	96
II kv/ kvartal	137	133
III kv/ kvartal	257	186
<b>kokku</b>	<b>795</b>	<b>657</b>

Ostutoetuse lõppemisega on lõppenud ka elektriautode ostukasv Eestis. 2015.aasta jooksul oli Eestis ostetud vaid 34 elektriautot, mis on 90% vähem kui 2014.aastal. Samal ajal Euroopa Liidus elektriautode müügi kasv kestab. Näiteks möödunud aastal kasvas kõigi uute sõiduautode müük Euroopa Liidus 9,3 % võrra ning elektriautode müük 108,8 % võrra. Selle languse põhjus ilmselt peitub selles, et elektriauto eestlasele on liiga kallis lõbu, kaks korda kallim kui sama suurusjärgu sise põlemismootoriga sõiduauto. Kui siia veel lisada probleeme aku laadimisega, jääb arusaamatuks, miks inimene peab eelistama sise põlemismootoriga auto asemel kallimat elektriautot. Ning inimesele kes ei ole teadlane ja ei näe oma silmaga CO2 mõju keskkonnale, on raske tõestada vastupidist. [46]

Eesti energiamajanduse arengukavas aastani 2030 on kirjas pandud mõned meetmed, mis on vaid kaudselt suunatud elektritranspordi arendamisele. Üks nendest on näiteks kütuseaktsiisi tõstmine ja maksustamispõhimõtete muutmine. Antud meede kavatses tõsta kütuseaktsiisi 15 % võrra reaalhinnast. [8]

Teiseks võimaluseks on pakutud kilomeetripõhine teekasutustasud. See on sarnane läbisõidupõhiste teekasutustasule, mis juba rakendatud paljudes Euroopa riikides, näiteks Poolas, Slovakkias ning Saksamaal on kõige suurem maksustatava teedevõrk. Antud maksu rakendamisel lähtuvad riigid veoautode puhul peamiselt emissiooniklassist ja/või telgede arvust. [8] [41]

Kolmandaks meedeks on ummikumaks, mis on kasutusel Rootsis, Itaalias ja Suurbritannias. Antud maksu loogikas on see, et vähendada liiklustihedust piirkondades, kus on liiga suur liikluskoormus eriti tipp tundidel. Ummikumaksu arvel ei teosta infrastruktuuri töid, nagu silla ja tunnelite ehitustööd. [41]

Lisaks elektriautodel on tasuta parkimisõigus Tallinnas kesklinna tsoonis tasulise parklades. Õiguse saamiseks peab autoomanik esitama vastava taotluse Transpordiametile. [47]

Üldiselt Eestis kehtivaid transpordimakse ei saa nimetada kekkonnasõbralikuks, sest sõidumaksud ei arvesta sõiduki vanust, kasutava kütuseliiki ning heitme kogust. Tänapäeval Eestis puudub täpne "roheline poliitika" transpordisektoris, mis saaks joont alla tõmmata CO2 toodetavate ja keskkonnasõbralike sõidukite vahel, nagu see tehtud Euroopas. CO2 maksustamine on nüüd hästi tuntud üle kogu Euroopa Liidu. Euroopa Liidus 20 liikmesriigis praegu kehtivad mingid CO2 registreerimise ja/või omandiõiguse sõiduautode maksud. Need maksud toetavad järgmistes riikides: Austria, Belgia, Küpros, Saksamaa, Taani, Soome, Prantsusmaa, Kreeka, Horvaatia, Iirimaa, Läti, Luksemburg, Malta, Madalmaad, Portugal,

Rumeenia, Sloveenia, Hispaania, Rootsi ja Ühendkuningriik. Kuid kuna Euroopa Liidus puudub ühine CO2 sõidukite maksustamine, iga riik ise valib kuidas ta stimuleerib oma sõidukite omanikku keskkonnasõbralikuks. [48]

## **2.4 Riikide kogemus elektriautode arendamisel**

### **Saksamaa**

Liidukantsler Angela Merkel teatas oma eesmärgist tuua 1 miljon elektriautot Saksa teedel. Elektriautod on ebasoodsas olukorras, sest nende hind võib olla koguni kahekordne tavalisest autost. 2013. aasta juunis Saksa seadusandjad kiitsid heaks seaduse, mis vabastab elektriautod maksus, mis kehtestatakse selle isiklikul kasutamisel. 2014. aasta augustis, et föderaalvalitsus teatas oma plaani tutvustada mitterahalisi stiimuleid elektriautode kasutamiseks. Omavalitsustele on antud õigused anda privileege elektriautode kasutajatele. Näiteks lubada elektriautodel liikuda bussirajadel, parkida sõidukeid tasuta ning hoida parkimiskohti kiirlaadijate juures. [49]

Auto isiklik kasutamine firmas vaadeldakse Saksamaal nagu maksustatav tulu ning määratakse fikseeritud kuumaksu järgi 1 % auto bruttohinnast. Nii on elektriauto ebasoodsas olukorras võrreldes sise põlemismootoriga autoga, sest tema hind võib olla kaks korda suurem. Seega 2013. aasta juunis Saksamaa seadusandjate poolt oli heaks kiidetud seadus, mis lõpetas maksupuudujääki firmadele elektriautode suhtes. Seadus 1. jaanuarist 2013 lubab erakasutajatele kompenseerida 500 € aku ühiku kohta, mis väljendatakse kilovatt-tundides (kWh). Maksimaalselt võib kompenseerida 10000 €, mis vastab 20 kWh akule. [49]

Kuid vastavalt Saksa *National Platform for Electric Mobility* aruandele liigub Saksamaa teedel vaid umbes 24 000 elektriautot. Sellest tingituna on valitsus välja pakkunud uusi stiimuleid elektriautode hulga suurendamiseks. Üheks meetmeks on 5000 € ostutoetus. Seisuga veebruar 2016 Saksa valitsuse tegi ettepaneku 40 % auto maksumusest ostul. [49]

### **Holland**

Hollandi valitsuse on seadnud eesmärgi 200 000 sõidukite aastal 2020 ja 1 miljoni sõidukini 2025. aastal. Selle teostamiseks on Hollandis valitsuse kehtestatud täieliku vabastusega registreerimistasust ja teemaksust, mis on kokkuhoid umbes 5324 € eest sõiduauto omanikud nelja aasta jooksulja 19,000 € ettevõtete omanikule viie aasta jooksul. Muud sõidukid sealhulgas elektrilised hübriidautod on vabastatud ka maksust, kui need tekitavad vähem kui 95 g / km diiselmootoriga sõidukite või vähem kui 110 g / km bensiinimootoriga sõidukitel.

Elektriautode omanikel on võimalik soetada spetsiaalne parkimiskohta, kui tavasõiduki omanik võib enda parkimiskohta oodata kuni 10 aastat. Tasuta laadimine on ka pakutud avalikes parkimiskohtades. Kõigi nende maksusoodustustega on saavutatud olukord, et elektriauto ülalpidamiskulud on võrdes sisepelemismootori sõidukiga. [50]

### **Norra**

Norra seadnud eesmärgiks jõuda 50 000 saastevaba sõidukiks aastaks 2018. Kõik elektriautod on vabastatud Norras kõik ühekordsetest sõiduki tasudest, sealhulgas maksud, mis on väga kõrge tavalised autod ja 25% käibemaksu ostu puhul. Elektriautod on vabastatud ka igaaastase tee maks, kõik avalikud parklad on tasuta samuti on võimalik kasutada bussi sõidurada. Tänu kõikidele nendel stiimulitele on 50 000 elektriauto eesmärk arvatavasti saavutati juba 20. aprillil 2015 enam kui kaks aastat varem kui oodati. [51]

### **Prantsusmaa**

Kuni 31. juuli 2012 anti Prantsusmaal kuni € 5000 ostusoodustust uue auto soetamisel, kui CO2 emissiooniga jääb alla 60 gr / km. 1. augustil 2012. valitsus suurendas boonust elektriautode ostmiseks kuni 7000 € kuid ülempiir on 30% sõiduki hinnast koos käibemaksuga. Hind sisaldab patareid ja liisingumakseid, mistõttu elektriautod, mis vajavad uut akut liisingulepingu jooksul saavad boonusest soodustust. [52]

## **2.5 Tarbijate tagasiside**

Tarbijate vastuvõtlikkusest elektriautode vastu sõltub antud tehnoloogia edu või ebaedu. Hindamismeetodeid, mis aitavad ennustada aku maksumust. Elektriauto müük sõltub põhjalikest teadmistest tarbijate vajaduste kohta. Tarbija valmisolekut muutusteks reisimisharjumuste muutmiseks ja aktsepteerima erinevaid sõidukeid ehk sõidurežiimi on oluline valdkond, mis valmistab ebakindlust. Müüja peab teadma potentsiaalse ostja kohta, millistesse sihtrühmadesse ta kuulub. Selline teave (vähemalt avalikes allikates) puudub või on ebapiisav kõige suurematel elektriautode turgudel. Selleks, et tõhusalt mõista tarbijate vajadusi ja käitumist, tööstus peab vastama küsimustele, nagu näiteks järgmised:

- Demograafiline olukord turul (näiteks vanemad kliendid arenenud riikides versus noorem arengumaade tarbijatele)?
- Millised on auto tüübid, mida kliendid ostavad (näiteks väiksemate linnade sõidukid)?
- Kui oluline on multi-auto perele (nt elektriauto teise auton)? Mitu autot on perekonnas?

- Kas elektrisõidukite madal läbisõiduvõimalus mõjutab klienti? (Piiratud läbisõiduvõimalused võivad raskendada sõita elektriautoga vajaliku sihtkohta.)
- Kuidas jaotuvad sõidud (nt km päevas) eri liiki tarbijatele, erinevates kohtades? Kuidas see jaotus mõju elektrienergia nõudluse ja õli või CO<sub>2</sub> vähendamisele?
- Kui palju ja milliseid tarbijaid on valmis maksma lisatasu elektriauto eest?
- Koguda paremaid andmeid, eri turgude ja tarbijate käitumist kohta, kasutada mõõdikuid
- Aktiivselt kasutada tarbijate tagasisidet elektriautode arendamisel
- Arendada ja reklaamida elektriauto kasutamise potentsiaale, et tarbijatel oleks selgelt mõistetav selle kasu.
- Tuua hea tagasiside süsteemid mis võimaldaksid võimalikult vara saada toote kohta tagasisidet. [2]

Elektriautode kasutajate uuring Eestis näitab, et põhimõtteliselt elektriauto potentsiaalsed ostjad Eestis saavad aru elektriauto erinevust ja puudustest võrreldes sise põlemismootoriga autost. Nii on elektriautoga rahul 73 % kasutajatest. Nendest suurem osa on neid, kes kasutavad elektriautoeraviisilisteks vajadusteks ja kodust tööle ning töölt koju sõiduks. Elektriauto varustustasega on rahul 85 % kasutajatest. Lisaks kasutajad märgivad, et elektriauto on väike ja kompaktne ja hea kiirendusega, juhitavusega ning manööverdamisvõimega, mis sobib hästi linna tingimustes. Põhilisteks puudusteks nimetavad kasutajad püsikiirusehoidja puudumist, sest ühtlase kiiruse hoidmine suurendaks kilometraaži. Samuti väljendavad kasutajad rahulolematust kütteseadme ning auto soojenduse kohta. Mõned sooviksid suurema mahuga, vastupidavamaid akusid, peeglite-, klaasisoojendust, tagavararatast, välis- ja sisetemperatuuri näidikut. [37]

## 3 Elektriautode sotsiaalmajanduslik mõju

Tänapäeval elektritransport on hea alternatiiv sise põlemismootoriga transpordi asemel keskkonnaprobleemide lahendamiseks. Kuid sageli elektrisõiduki ostukulud on üks piirangutest, mis takistab selle alternatiivi kasutuselevõtu. Samal ajal selleks, et määrata tegeliku elektriautode konkurentsivõimet, tuleb määrata kõik kulud, mis on seotud selle transpordi kogu valdamise perioodi jooksul ning võrrelda neid sise põlemismootori auto kuludega. Piiratud läbisõiduga elektriautol palju eeliseid võrreldes bensiin- ja diisel autoga. Näiteks sage kiirendamise ja pidurdamise olukorra energiatarve elektriautol on efektiivsem võrreldes sise põlemismootoriga sõidukiga. Samuti null-heitkogused mängivad pearolli kliimamõjus linnas. Lisaks madalatele töökuludele on oluline eelis võrreldes tavaliste sõidukitega, mis võib üle kaaluda elektriauto suure ostuhinna. Seega enne valiku tegemist ühe või teise auto kasuks peab kõiki kulusid arvestama, mis on seotud autoga, mitte ainult ostuhinnaga.

### 3.1 Tulud-kulud tarbijale

#### 3.1.1 Mõju toite kvaliteedile.

Mõju toite kvaliteedile peale elektriautode elektrivõrku ühendamise sõltub kolmest faktorist: pingelang, harmoonikud ja tasakaalustamata voolud. Pingemoonutus ilmub elektriauto laadimisprotsessi ajal, harmoonilised voolud, mis tekivad laadimisel võivad kahjustada jaotustrafot, kaitseseadmeid ning kaableid. Elektriautode laadimispunktides kolmefaasilise koormamise tase määramiseks kasutatakse voolu negatiiv- ja positiiv järjestuse suhet. Seejärel kui üheaegselt võrku ühendatakse suur hulk elektriautosid laadimiseks ilmuvad faaside moonutused. Seega laadimiskoormused peavad olema mõistlikult jaotud.

Elektritranspordi kasutamine targas võrgus on oluline uuringute suund, mis võimaldab paremini ära kasutada elektriautode sotsiaalmajandusliku mõju.

Koos tehnoloogia- ja filtrite arenguga hakkavad elektriautode laadimisjaamad vähem mõju avaldama jaotusvõrgule. Seevastu, teatud uuringud näitavad, et kui elektrisõidukit saab vaadelda energia salvestamise objektina. Näiteks elektriautode abil võib reguleerida sagedust ja koormusgraafikut, parandades jaotusvõrgu usaldusväärsust, toimimist ja nii edasi. Kuid juhtimissüsteemi loomine vajab palju aega, et uurida kõiki aspekte. Elektritranspordi ressursi kasutamine on oluline teadusuuringute suund aastateks. [18]

### 3.1.2 Majanduslik mõju jaotusvõrgule.

Jaotusvõrgu kuludeks on peamiselt võrgukaod, seadmete eluiga ja nii edasi. Peamisteks mõjufaktoriteks on jaotusvõrgu pinge suurus, vooluharmonikud ning jaotamise meetodid. Elektritranspordi võrku ühendamine toob kaasa harmoonilist voolu, mis omakorda suurendab liini voolu ja kadusid. Samuti on elektritransport sisendreaktiivenergia allikas, mis suureneb toitetrafo pinget. Nii töötab jaotustrafo pikaajaliselt ületades oma nimiparameetreid, mis vähendab tema eluiga. Kuna laadimisjaam kujutab endast elektroonilist toiteseadmed, siis elektritranspordi ühendamine võrgu suurendab mittelinearseid koormusi jaotusvõrgus, mis kahjustab normaalse jaotusvõrgu tööd. Seega elektritranspordi massilisel ühendamisel vajab jaotusvõrk ka lisameetmeid ja seadmeid, mis võimaldavad parandada ülekande kvaliteedi ja tagada jaotusvõrgu normaalset tööd. [18]

Elektriautod suures mahus võivad põhjustada suuri probleeme olemasolevas elektrisüsteemis tekitades kesk- ja madalpingevõrgus ülekoormusi. Seega tuleb välja selgitada kitsaskohad jaotusvõrgus, uurida elektriauto integratsiooni mõju pingereguleerimisele, trafo elueale ning harmoonikute tasemele. Ikkagi kõik kulud seotud jaotusvõrgu reorganiseerimisega lähevad riigi arvelt.

Jaotusvõrgu ülekoormus sõltub mitmetest parameetritest, nagu võrgu topoloogiast, elektriauto tungimise tasemest, elektrisõidukite jaotamisest jaotusvõrgus ning elektriauto laadimise stsenaariumitest. Võrgule avaldab see mõju, kuna elektriautode lülitumine võrku mõjutab koormusvajaduse kõveraid.

Seega tuleb arvestada sellega, et kasvab koormus elektriautode arvu suurenemisel. Näiteks Eestis elektrielektriautod on peaaegu ühtlaselt jaotanud linnades ja külades vastavalt 51 % ja 49 %. Nendest suurem osa 17 % on Tallinnas, 10 % Harjumaal, 9 % Pärnumaal, 8 % Viljandimaal, 7 % igal ühel Tartus, Lääne-Viirumaal, Põlvamaal. Samuti 21 % kasutajatest kasutavad oma elektriautot igapäevaselt ning 42 % peaaegu igapäevaselt. Lisaks ainult 4 % omanikest laadivad oma akusid kiirlaadimis punktides, ülejäänud 13 % laevad kodus tavapistikust ning suurem osa tarbijatest 78 % laevad töökohal tavapistikust. Seega uuringud näitavad, et ainult 13 % elektriauto kasutajatest laevad oma akusid kohtades, kus võrgule lisatav koormus on arvestatud. Kuid suurem osa 78 % elektriautodest laetakse kohtades, kus lisatud koormus võib esile kutsuda võrgu häireid. [37]



**Tabel 3.1. Populaarsed elektriautod Eestis. [10] [53]**

Auto	Kogus	Ühe aku mahtuvus (kWh)	Kogu mahtuvus (kWh)
BMW I3	6	22	132
Mitsubishi i-Miev	549	16	8784
Nissan Leaf	390	24	9360
Tesla Model S	43	60	2580
Volkswagen e-UP	40	60	2400
Renaul Zoe	16	22	352
Volkswagen e-Golf	7	26	182
MIA	20	8	160
Nissan E-NV200	16	24	384
Tazzari Citysport	10	15	150
Micro-Vett Fiorino	11	30	330
Kokku (MWh)			24,8

Statistika andmetel (Tabel 3.1) Eestis olemasolevad elektriautode aku mahtuvused moodustavad 24,8 MWh. Kui auto omanikud laevad akud täismahus igapäevaselt, siis tarbivad elektriautode akud umbes 8760 MWh elektrienergiat aastas, mis moodustab näiteks 65 % Aseriaru tuulepargi aastatoodangust 2011.aastas. [54]

Elektriautode mõju jaotusvõrgule ja kulude analüüs võib teostada järgmiselt:

1. Arvutada elektriautode nõudlust vastavalt sõidu andmetele, hinnata koormuste suurused elektriautode spetsifikatsiooni järgi, määrata reaalselt laadimise võimalusi ning stsenaariume.
2. Arvutada rahvastiku nõudlust, kasutades nõudluse tüüpe ning tüüpilisi nõudluse profiile ja aasta elektritarbimist.
3. Pöörata tähelepanu koormusprofiilile 10 / 0,4 kV alajaamas

4. Teostada võimsusvoogude uuringut 10 kV võrgus vastavalt nõudluse profiilile ja valitud võrgu mudelile

5. Määrata ülekoormatud võrgu elemendid

6. Kasutada infot elektrivõrgu komponentide hindadest, et määrata asenduskulud [55]

Elektriautode nõudlus Euroopas võib kasvada 2020-2025.aastatel kolmest kuni kümne protsendini kõigist uuena ostetud autodest, mis toob kaasa transporditurule 450 000'st kuni 1 500 000'ni ühikut uut elektriautot. Suurel määral kasvamise protsent sõltub sellest, kui edukalt teostatakse arengu ülesandeid ja nõudeid, samuti sellest, kui edukalt arenevad tehnoloogiad ning kui kiiresti tarbijad võtavad vastu muutusi elektriautode maailmas. Elering AS hinnangul võiks elektriautode arv saavutada 2020. aastaks 80 000 sõidukit, mis suurendaks summaarset elektritarvet 4-5 % ehk 450 GWh võrra aastas. [56] [33]

### 3.1.3 Elektriauto valdamise kulud tavatarbijale

Edasi vaadeldakse kõiki kulusid, mis on seotud elektriauto kasutamisega: liiklusmaksud, aku, hooldus, auto ülevaatus, kindlustus, kütus (elekter), ostukulud.

Sõiduki omandamine ja eksploatatsioon on seotud kuludega, mis tekivad eri ajahetkedel. Et oleks võimalik võrrelda neid muutuvaid kulusid kogukuludega kasutatakse diskonteeritud nüüdisväärtuse meetodikat. Seega, iga hinnaväärtuse võib lisada ühele hinnanaõtjale, et kirjeldada ühe kogukulu alternatiivi. Sel juhul kogumaksumus on defineeritud osturist teooriaga, mis on suunatud tegeliku ostukulude määramiseks konkreetsetel toodetel või teenustel konkreetsele tarbijale. Antud mõiste annab võimaluse määrata vara summaarset diskonteeritud valdamise-, töö- ja hooldusmaksumust piiratud aja jooksul.

Tuleviku ühekordse kulu jooksva maksumuse arvestamiseks kasutatakse järgmist valemit (3.1) [57]:

$$PV = A_t \times \frac{1}{(1+I)^t} \quad (3.1)$$

kus

$PV$  – praegune kulude väärtus

$A_t$  – ühekordsete kulude summa  $t$  aja jooksul

$I$  – tegelik diskontomäär

$t$  – aeg (aastates)

Üldiselt kogukulused võib arvutada kolmes etapis:

1. Perioodiliste kulude analüüs;
2. Ühekordse nüüdisväärtuse ja jksva kulude arvutamine;
3. Nüüdisväärtuse maksumuse jagamine kilomeetriteks sõiduki kogu eluea jooksul, et saada kulu kilomeetri kohta.

Tuleviku ühekordse kulu nüüdisväärtuse maksumuse võib jagada kolmeks muutujaks: valdamise kuludeks, ajavahemik, mille jooksul need kulud on tekitatud (auto eluiga) ning diskontomäär tuleviku kulude arvestamiseks.

Reaalne diskontomäär on tulumäär, mis näitab tulevast rahavood nüüdisväärtuses ning põhineb pikaajalise intressimääral ning arvestab inflatsiooniga. Seega reaalse diskontomäära arvutamiseks kasutame keskmise pakutava pikaajalise intressimäära Eestis 2,75% ning inflatsioonimäära 2 %, nii saame 0,75% reaalse diskontomäära. [58] [59] [60]

Arvutustes vaadeldakse elektriauto ja sisepõlemismootoriga auto sama margi ning sarnaste parameetritega. Elektriauto näidisautoks valitakse ühe populaarsematest Eestis elektrisõidukitest Nissan Leaf 30 kWh akuga ning võrreldakse seda Nissan Pulsar'iga (Tabel 3.2).

**Tabel 3.2. Nissan Pulsar ja Nissan Leaf näitajad [61]**

	Nissan Leaf	Nissan Pulsar
Kütus	elekter	bensiin
Võimsus (kW)	80	85
Tippkiirus (km/h)	144	190
Kiirendus 0-100 km/h (s)	11,5	10,7
Kütusekulu linnas	19,5 (kWh/100km)	6,3 (l/100 km)
Kütusekulu maanteel	13 (kWh/100km)	4,3 (l/100 km)
CO <sub>2</sub> emissioon (g/km)	0	117
Ostuhind (€)	38470	15290

Kuna Eestis elektriautode turg on veel liiga noor elektriautode reaalse eluue statistika koostamiseks, määratakse elektriauto elueaks aku garantii aega, mis on kaheksa aastat või 160000 km 30 kWh aku puhul. Seda väärtust kasutatakse perioodiliste kulude (nagu kindlustus ja tehnoülevaatus) määramiseks. Samuti oletatakse, et näidisautod ei ületa kaheksa aasta jooksul 160000 km läbisõidu piiri, mis vastab 55 km päevase läbisõidule ning Eesti elanike sõiduharjumustele.

Edasi vaadeldakse kõiki kulusid, mis on seotud elektriauto kasutamisega: liikluskulud, hooldus, auto ülevaatus, kindlustus, kütus ja ostukulud.

### 3.1.4 Elektriauto esialgne ostuhind ja jääkväärtus

Elektriauto ostuhind on oluliselt suurem sarnase sisepelemismootoriga sõiduki hinnast. See on peamiselt tingitud kallimast akust ning mastaabisäästu puudumisest. Tootmiskulusid võib vähendada, kui toodangu näitajad suurenevad 10 tuhandest kuni 500 tuhandeni elektriautoaastas. Kuid näiteks *plug-in* hübriiauto hind on kallim puhta elektriauto hinnast, sest antud lahendus ühendab endas nii sisepelemismootori kui ka elektriauto akut. [62]

Kõik sõidukid odavnevad aja jooksul. Väärtuse langus ilmneb kõige intensiivsemalt esimestel aastatel. Sõiduki jääkväärtus sõltub mitte ainult kasutatavast kütusest ja transmissiooni tüübist, kuid ka kaubamärgist, läbisõidust, sõiduki klassist. Tänapäeval arutada elektriauto jääkväärtust on kahemõtteline ülesanne, sest elektriautod on liiga noor kaup transpordi turul. Tulenevalt „*How expensive are electric vehicles?*,” artiklist saab väita, et (Tabel 3.3) puhtad elektrisõidukid (BEV) odavnevad aasta jooksul kõige kiiremini, kaotades 28 % oma esialgsest hinnast. Edasi järgnevad *plug-in* hübriidid (PHEV), mis odavnevad 22,7 % aasta jooksul. Kõige vähem odavnevad hübriidid (HEV), bensiin- (*Petrol*) ja diiselmootoriga (*Diesel*) autod, kaotades aastas vastavalt 16,6 %, 15,5 % ja 17,3 % oma ostuhinnast. [62]

**Tabel 3.3. Sõidukite jääkväärtused [62]**

Vehicle technology	Annual depreciation rate
Petrol	0.845
Diesel	0.827
HEV	0.834
BEV	0.720
PHEV	0.773

Kuna autoril puuduvad andmed elektriauto reaalse jääkväärtuse arvutamiseks, näidisautode jääkväärsuse leidmiseks määratakse keskmine jääkväärtus, mida kasutatakse Eesti pankades

kasutusrendi puhul viie aastase autoliisingu jääkväärtuse leidmiseks, mis moodustab 20% auto esialgsest ostuhinnast. Nii oletatakse, et näidisautod Nissan Pulsar ja Nissan Leaf kaotavad kasutaja jooksul vähemalt 80% oma ostuhinnast. [63]

Vaadeldes kasutatud elektriautode hindu Eestis, on võimalik näha (Tabel 3.4), et müügihind võib minna 10...60% odavamaks võrreldes esialgsest ostuhinnast. Admete kogumiseks on analüüsitud kasutatud autodemüügikulutusi ning võetud arvesse võimalikult sarnased sõidukid. Tabelist (Tabel 3.4) on näha, et kasutatud elektriautosid on turul suhteliselt vähe ning sellest tingituna võivad hinnad kõvasti kõikuda. Turu suurusest tingituna sõltub ka auto väärtuse vähenemise suurus. Kuna pakkumisi on vähe, siis autoomanikud määravad hinna tunde järgi ning see võib erineda auto tegelikust väärtusest.

**Tabel 3.4. Uute ning kasutatud elektriautode statistika [64]**

	Mootori võimsus, kW	Kogus	Läbisõit, km	Esmane reg.	Kasutatud auto keskmine hind, eur	Uue auto keskmine hind, eur
Mitsubishi i-MiEV	35	3	26000-42000	2011-2012	10900	30000
Renault Zoe	43	1	24 600	2014	19900	23250
Renault Zoe	65	1	17 512	2014	17700	
Nissan LEAF	80	15	9300-62000	2012-2015	20000	38190
Volkswagen Golf	85	1	3900	2015	34610	38197
Tesla Model S	270	1	27000	2014	73000	124000
Tesla Model	350	1	11680	2014	82500	

Samuti kasutatud elektriautod on 30...60 % kallimad võrreldes sise põlemismootoriga analoogidest (Tabel 3.5).

**Tabel 3.5. Kasutatud bensiinsõidukite statistika [64]**

	Mootori võimsus, kW	Läbisõit, km	Esmane reg.	Keskmine hind, eur
<b>Ford Fiesta</b>	44	34 000	2012	7700
<b>Renault Captur</b>	66	21 000	2014	12000
<b>Nissan Pulsar</b>	85	36 000	2014	14600
<b>Volkswagen Golf</b>	90	6100	2015	20300
<b>Mercedes-Benz CLA</b>	115	13 000	2014	55000

### 3.1.5 Aku

Kuna arvutuste perioodiks on valitud aku garantiiäeg, siis aku vahetus- ning hooldus kulused kalkulatsioonides ei arvesta. Kuid aku laadimiseks kodus on vajalik aku laadimisseade. Nissan Leaf'i laadimiseks sobib Ensto Chago laadija, mis maksab 1490 €. [65]

### 3.1.6 Liikluskindlustus

Eesti liikluskindlustus on kohustuslik kindlustus. Liikluskindlustuse hind arvutatakse keerulise valemi abil, mis arvestab erinevate teguritega. Liikluskindlustus näiteks sõltub sõiduki margist ja mudelist, tehnilistest näitajatest nagu mootori võimsusest, kere tüübist ja värvist, kütuse tüübist. Mida väiksem on sõiduki registrimass ja mootori võimsus, seda väiksem on kindlustusmaks. Samuti ka jälgitakse kui statistiliselt konkreetse sõidukimargiga kahjusid põhjustatakse rohkem, siis selle margi liikluskindlustus on ka kõrgem. Lisaks sõltub see sõiduki otstarbest. Näiteks taksod ja õppesõidukid koormatakse kõrgemate maksetega. liikluskindlustuse makset mõjutab ka omaniku vanus, tema elukoht ja kahjuajalugu. Kuna suurema liiklustihedusega piirkondades on risk liiklusõnnetusse sattuda kõrgem, siis kindlustusmaks on sel juhul ka kõrgem. Kui autoomanikul on väga väike kindlustusajalugu või puudub üldse, siis on kindlustusmaks ka kõrgem. [66] [67]

Näidisautode puhul on kindlustusmaksed järgmised: Nissan Pulsar – 29,08 €; Nissan Leaf 42,42 €.

### **3.1.7 Hoolduskulud**

Hoolduskulude hulka kuuluvad suured ja väikesed hooldused. Nad on erinevad sise põlemismootoriga- ja elektriautol. Kuna elektriautol puudub sise põlemismootor, seega ka sellel on vähem liikuvaid osi, puudub vajadus õli ja filtrite vahetamist. Selle tulemusena on poole väiksemad hoolduskulud võrreldes sise põlemismootori autoga. [68]

Hoolduskulud sõltuvad sõiduki tüübist ja aastasest läbisõidust. Hoolduskulud hõlmavad kõiki väikesi ja suursi kulusid auto eluea jooksul. Need kulud on vajalikud, et hoida sõidukit sõidukorras. Nende hulka kuuluvad nii õli kui ka pidurite vahetused jne. Tavaliselt väiksemad hooldused teostatakse pärast 10000 kilomeetri läbimist ning suurhooldust pärast 30000 km. Hoolduse hind laetakse tabelisse ja on spetsiifiline iga mudeli kohta eeldatakse, et elektriauto hoolduskulud moodustavad 65 % tavasõidukite kuludest. [62]

Näidisautode hoolduseks tuleb sõlmida hooldusleping, mis maksab Pulsar'ile 1040 € ja Leaf'le 560 €. Samuti ostetakse lisa garantii ning sõlmitakse hooldusleping, mis pikendatakse kuni viie aastani/ 100000 km ja maksab Pulsar'le 858 € ja Leaf'le 846 €.

Uuringud näitavad, et sise põlemismootoriga 4-20 aastaste autode keskmine hoolduskulu on 495 € aastas ning elektriautode kulusid on 236 € aastas. Seega kulutakse näidisautodele kolme aasta jooksul Pulsar'ile 1485 € ja Leaf'ile 708 €. [8] [69]

Hoolduskuludeks ka kuulub rehvivahetus. Uuemad rehvid tuleb vahetada iga 50000 – 80000 kilomeetri pärast. Nissan Pulsariga on varustuses kaks komplekti rehve, siis kaheksa aasta jooksul tuleb osta veel ühe komplekti, mis maksab 342,36 € + rehvivahetus 36 €. Elektriautole tuleb lisaks osta kaks komplekti rehve ning kaks korda neid vahetada, mis maksab vastavalt 684,72 € ja 72 €. Kuna hooajalised rehvivahetused on võrdsed, siis neid arvutuste tegemisel ei arvestata. [70] [71]

### **3.1.8 Tehnoülevaatus**

Igale sõidukile Eestis peab olema läbi viidud tehniline kontroll. Esimesel kolmel aastal kulusid ei oodata. Pärast seda perioodi, tuleb autot kontrollida kord 24-kuulise perioodi jooksul kuni auto on saavutanud oma kümne aastase vanuse. Peale seda tuleb tehnilist kontrolli läbi viia kord aastas. Maksumus sellise kontrolli ulatub 40 € sise põlemismootoriga auto puhul ja 30 € elektriauto puhul. Nii kaheksa aasta jooksul tehnoülevaatused moodustavad 120 € Leaf'i kohta ja 160 € Pulsari kohta. [72] [73]

### 3.1.9 Kütus

Laadimise juures on kaks samaväärset ja olulist asja: maksumus ja kulutatud aeg. Aeg sõltub otseselt aku mahtuvusest ning sellest, millise pingega on võimalik teda laadida. Laadimise maksumus sõltub millisel ajal ja kus toimub aku laadimine.

Euroopas ja USA-s kasutatakse tavaliselt elektriauto laadimiseks omaenda kodu madalpinge võrgu. Standardne laadimiskaabel sellisele pingele tuleb tavaliselt autoga kaasa. Sellise väikse pingega laadimine võib võtta kuni 20 h. Muidugi sooviksid elektriauto omanikud laadida autot kõrgema pingega, mille puhul toimuks laadimine kiiremini. Tavaliselt toimub elektriauto laadimine öösel, kui elektrienergia hind on madalam. Näiteks, Chevrolet Volt on varustatud spetsiaalse programmiga, mis võimaldab valida, millal laadimine võiks toimuda. [13]

Kahjuks ei saa unustada, et laadimine toob endaga kaasa ka kaudseid kulusid. Laadimise ajal osa elektrist kulub näiteks auto aku soojuseks ning selle tõttu rakendub jahutus, mis omakorda kasutab elektrienergiat. Sellest tingituna laadimise efektiivsus langeb ning laadimine võtab rohkem elektrit.

Näiteks, kui laadimisel kulus elektrienergiat 12 kWh, siis ainult 10 kWh sellest läks akude laadimiseks. Tavalised moodustavad kaod akude laadimisel 15-20 %. Paljud autotootjad ei näita ära kaonumbreid, kuid kahjuks kajastuvad need ikkagi elektriarvetel. [13]

Põhiline säästuvõimalus on auto laadimine öisel ajal, kui elektrienergia hind on madalam. Osad autotootjad on sellest lähtuvalt lisanud laadimisaja juhtumise võimaluse oma auto varustuse. Sõltuvalt asukohast saab autot panna laadima, kui tarbimine on kogu elektrivõrgus madal. [13]

Nissan Leaf'i müüjad lubavad täislaaditud 30 kWh-se aku sõiduulatuses kuni 154 km õhutemperatuuril -10 °C, sisselülitatud kliimaseadmega ning keskmise kiirusel 24 km/h. Mahupakettiga võib oma aku laadida kuu jooksul 30 € eest 150 kWh mahus. Tähendab selle laadimispakettiga makstakse 0,2 €/kWh ning keskmine elektrikulu on 19,5 kWh/100 km, mis maksab 3,9 €/100 km. Sisepõlemismootoriga autol kulub 100 km läbimiseks keskmiselt 6,3 liitrit (uematel vähem, vanematel aga rohkem) ehk 6,867 € (1,049 €/l). Siit näeme, et elektriautoga võib kokku hoida umbes 3 € iga 100 km kohta. Nii kaheksa aasta jooksul läbisõidul 160000 km kulutakse Leaf'i kohta 6240 € ja Pulsar'i kohta 10987,0 €. Kuid kui laadida elektriautot kodus öötariifil, mis maksab 0,0463 €/kWh, siis kaheksa aasta jooksul läbisõidul 160000 km kulutakse 31200 kWh elektrienergiat, mis maksab vaid 1444,56 € [34] [61] [74] [75]



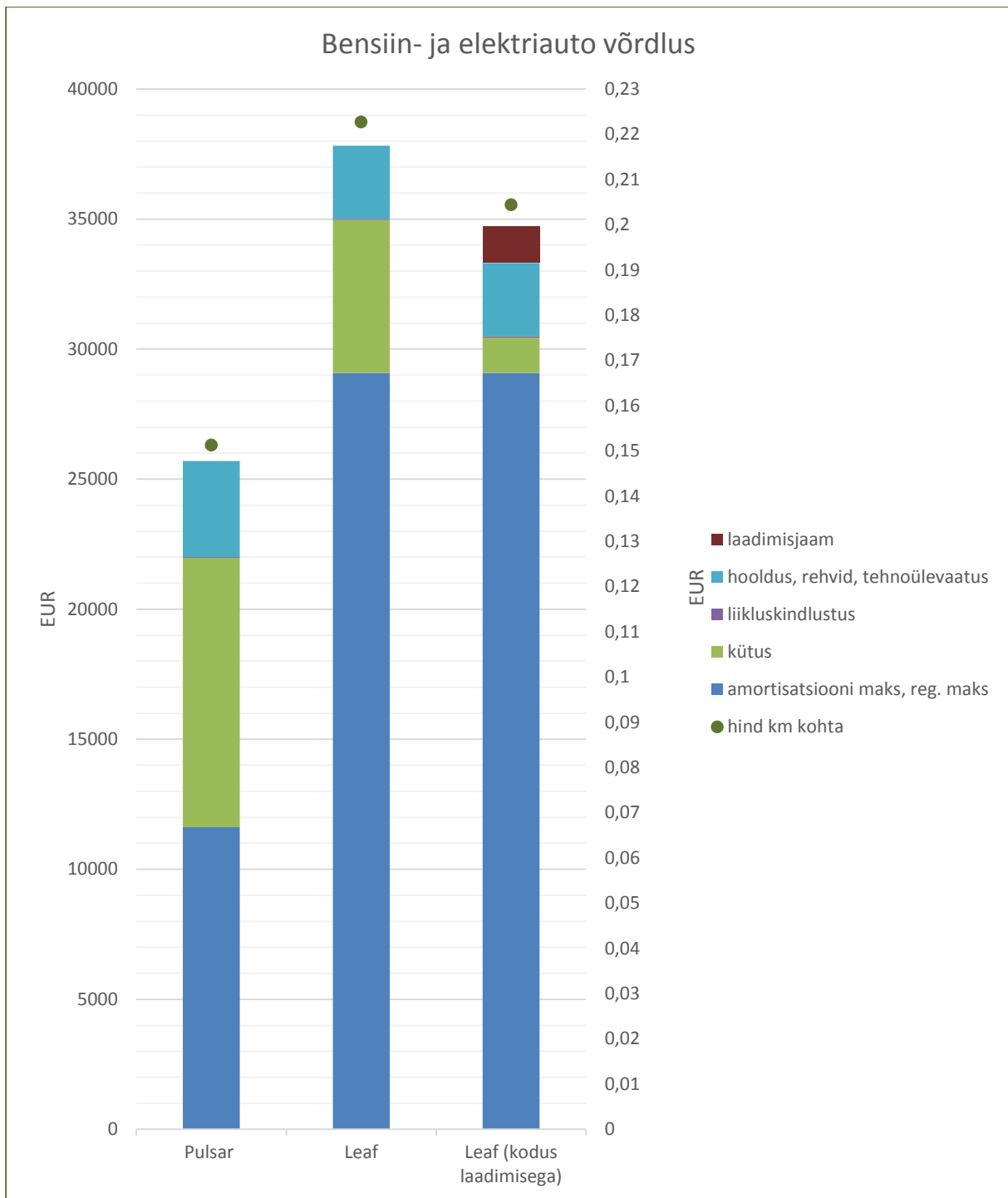
### 3.1.10 Maksud

Eestis registreerimismaks on ühekordne riigilõiv, mis makstakse vaid sõiduki registreerimisel 130 € või sõiduki omaniku vahetamisel 61 € ning ei sõltu sõiduki parameetritest. [10]

Näitlikkuseks koondatakse kõik arvutatud andmed tabelisse (Tabel 3.6) ning võrreldakse tulemusi.

*Tabel 3.6. Nissan Pulsar ja Nissan Leaf kulutuse näitajad.*

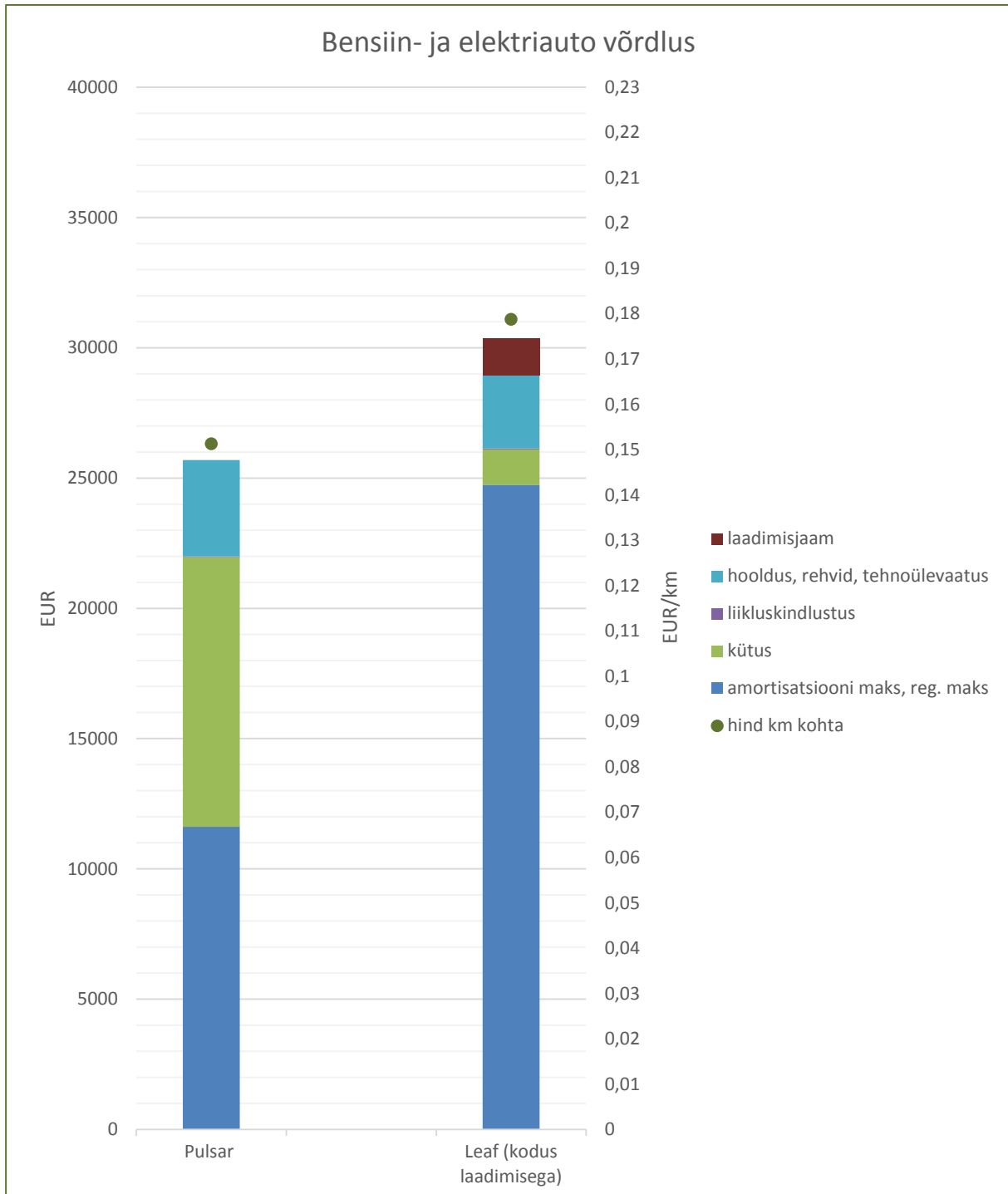
	Pulsar	Leaf	Leaf (kodus laadimisega)
ostu hind	15290	38470	38470
registratsiooni maks	130	130	130
kütus	10987	6240	1444
liikluskindlustus	29,08	42,42	42,42
hooldus	3383	2114	2114
rehvid	378,36	756,72	756,72
tenoülevaatus	160	120	120
laadimisjaam	0	0	1490
kokku	28595,96	46498,86	41981,15
hind km kohta	0,189734	0,30852	0,278545



**Joonis 3.1. Näidisautode valdamise kulud.**

Vasak y-telg (Joonis 3.1) näitab valdamise diskonteeritud kogukulu (€) ja paremal y-teljel on näidatud diskonteeritud kulu kilomeetri kohta (€ / km). Erinevus bensiin- ja elektriauto vahel on selge: tänapäeva elektriauto amortisatsioon ületab kogu bensiinauto valdamise hinda. Bensiinmootoriga autode kulud ulatuvad 0,15 € / km ja elektriauto kulu 0,22 € / km. Võidab

elektriauto kodus laadimisega, mille diskonteeritud hind kilomeetri kohta moodustab 0,20 €. Kulud kütuse elektrisõidukil on tunduvalt väiksemad võrreldes sise põlemismootoriga : elektriauto – 15,5%; elektriauto kodus laadimisega 4%; bensiinauto 40% kogu valdamise hinnast.



**Joonis 3.2. Näidisautode valdamise kulud, prognoos aastaks 2030.**

Graafikust (Joonis 3.1) on näha, et valdamise kulud bensiin ja elektriauto kodulaadimisega moodustavad 9018 €. Kui eeldada, et tulevikus aastaks 2030 prognoositav akude 30%-ne hindalangus juhtub, mis kaasa toob elektriauto hinnalangust 10-15% võrra ostuhinnast, antud vahe väheneb veel kuni 4670 € (Joonis 3.2). Eesti pikaajalise energiamajanduse arengukavas 2030+ planeeritakse investeerida energiasäästlike autodesse 0,5-3 mln € aastas. Nii kompenseerides 5000 € auto ostul on võimalik Eesti sõidupargi suurendada kuni 600 elektrisõiduki võrra aastas. Mis teeb umbes 3 % kõikidest uutest registreeritud sõiduautodest aastas. [20] [10]

Lisaks elektriauto tasuvusaaja leidmisel selgub, et võrreldes bensiini autoga ning arvestades riigi toetusega, on elektriauto tasuvusaeg moodustab umbes 17 aastat. Kuna elektrisõiduki elueaks antud arvutustel on aku eluiga kaheksa aasta, siis elektriauto soetamine ei ole kasulik raha investeering, sest oma eluea jooksul ei ole temaga võimalik saavutada kasumlikus. [76]

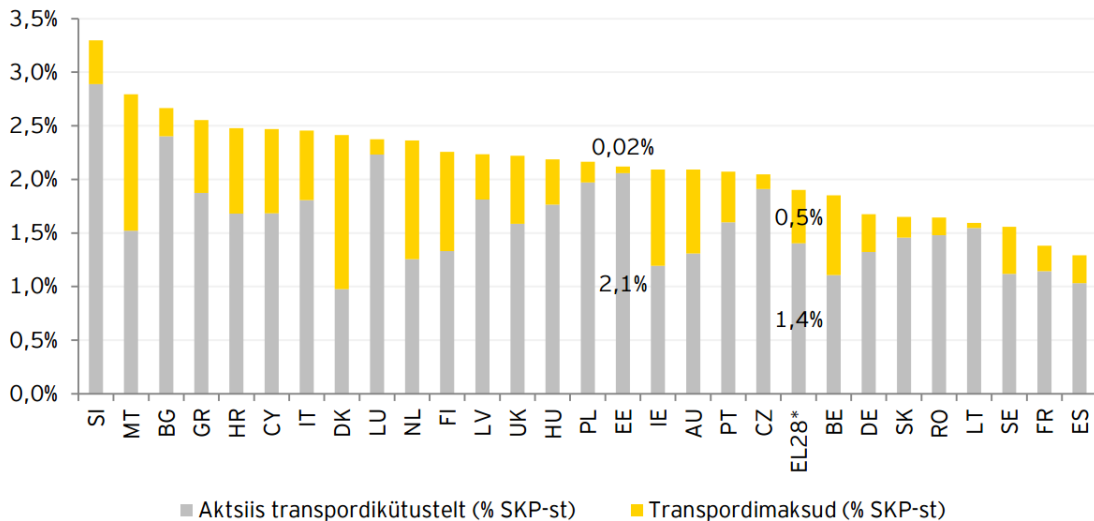
## **3.2 Tulud-kulud riigile**

Elektriautodel on ebatõenäoline saada populaarseks järgmise viie kuni kümne aasta jooksul ilma tugeva poliitilise toetuseta. Iga riik on huvitatud elektri- ja hübriidautode kasutuselevõtust. Kuid selle realiseerimiseks on vaja teha kindlaks turu olukord, et plani realiseerimine oleks võimalik. Valitsused peavad koordineerima ja käivitama laadimise infrastruktuuri rajamist ja kindlustama üleminekut süsinikuvaba põlvkonnale. Riiklikud ja kohalikud omavalitsused, autotööstus, elektrijaamad, asjaomased valitsusvälised organisatsioonid ja teadlased peavad pidevalt suhtlema, koostööd tegema ja koordineerima oma jõupingutusi. Edukat elektriautode turuletoomist saad mõõta kasumiläve punktiga. See tähendab, et tarbija peab nägema kasu elektriauto kasutamisest võrreldes sise põlemismootori autoga. Tähtsad on sellised punktid nagu sõidukiga läbitud vahemik, tankimise võimalused ja keskkonnamõjud. Kui antud osakaalud on paika pandud, siis sellest lähtuvalt saad leida kasumipunkt, kui tarbijad soovivad üle minna elektrisõidukite kasutamisele.

### **3.2.1 Maksud**

Tugev maksustamise poliitika võimaldaks riigile tõmmata märgatava joont sise põlemismootoritega ja keskkonnasõbraliku transpordi vahel ning saada kasumit elektritranspordi arendamiseks. Tänapäeval ei eksisteeri Eestis ühtegi maksu, mis selgelt rõhutaks vahet bensiin- ja elektriautode vahel ning sunniks tarbijat pöörama oma tähelepanu elektrisõidukite poole. Lisaks säästva transpordi aruanne näitab, et Eesti transpordi

negatiivsete mõjude kulud ühiskonnale moodustavad 447 mln € aastas, siia kuuluvad liiklusõnnetused, õhusaaste, müra ja kliimamuutusega seotud kulud ehk transpordiga seotud kulud. Korralik transpordisektori maksupoliitika võimaldab transpordiga seotud kulud sisse nõuda sõiduomanike taskust. Kuid tänapäeval on Eesti transpordimaksud moodustavad 0,1 % SKP-st, mis on Euroopa maksudest madalaimad (EL-i keskmine 0,5 %) (Joonis 3.3). [41]



**Joonis 3.3. Transpordimaksud Euroopa Liidus 2012.aastal. [41]**

Rootsis, Soomes, Taanis, Saksamaal, Portugalis Lätis, Slovakkias ja Iirimaal registreerimis- või aastamaksu suuruse aluseks on CO2 emissioonide kogus, sõiduki mootori maht, kütuse liik või mootori võimsus. Nii on minimaalne aastamaks Rootsis, Saksamaal ja Lätis, moodustab vastavalt 60 €, 50 € ja 57 € (Tabel 3.7). Teistes riikides antud summa on suurem ja moodustab kuni 200 € aastas. [41]

Tarbija valikute mõjutamiseks ja ökonoomsemate sõidupargi kujundamiseks aastaks 2030 on Eestis planeeritud rakendada energiaklassipõhise sõiduauto registreerimis- ja aastamaks. Maksutuluks planeeritakse antud maksudelt 150 mln €/aasta. [8]

**Tabel 3.7. Registreerimis- ja aastamaksud Euroopa riikides. [41]**

Riik	Maksustamise alused			Maksu suurus näidissõiduki (Škoda Octavia)* kohta aastas, €
	Enne	Registreerimise kuupäev	Alates	
Rootsi	Mass (kg)	1.01.2006	CO <sub>2</sub> -emissioon (g/km) Kütuse liik (bensiin, diisel)	60
Soome	CO <sub>2</sub> -emissioon (g/km) Mass (kg) (kui puudub CO <sub>2</sub> -emissiooni info) Veojõud (muu kütus kui bensiin)			102
Taani	Mass (kg) Kütuse liik (bensiin, diisel)	1.06.1997	Kütusekulu (l/km) Kütuse liik (bensiin, diisel)	160
Saksamaa	Emissiooniklass Kütuse liik	1.07.2009	Mootori töömaht (cm <sup>3</sup> ) Kütuse liik (bensiin, diisel)	50
Portugal	Mootori töömaht (cm <sup>3</sup> ) (bensiooni- ja diiselmootorid) Mootori kogupinge (V) (elektrimootor) Esmase reg. aasta (a)	1.07.2007	Mootori töömaht (cm <sup>3</sup> ) CO <sub>2</sub> -emissioon (g/km) Esmase reg. aasta (a) Kütuse liik (bensiin, diisel)	131
Läti	Mass (kg)	1.01.2005	Mass (kg) Mootori töömaht (cm <sup>3</sup> ) Mootori võimsus (kW)	57
Slovakkia	Mootori töömaht (cm <sup>3</sup> ) - rakendub ainult ärilistel eesmärkidel kasutatavatele sõidukitele			n/a*
Iirimaa	Mootori töömaht (cm <sup>3</sup> ) CO <sub>2</sub> -emissioon (g/km) (esmaselt vahemikus 01.01.-30.06.2008 registreeritud sõidukitele, kui emissioonipõhine maks soodsam)	1.07.2008	CO <sub>2</sub> -emissioon (g/km)	200

**Tabel 3.8. Kilomeetripõhine teekasutustasus Euroopa riikides. [41]**

Riik	Rakendusobjekt	Maksustamise alused	Maksumäär	Maksustatava teedevõrgu pikkus (km)
Saksamaa	Veoa autod alates 12 t*	Emissiooniklass Telgede arv	0,125-0,214 €/km	14 000
Portugal	Sõidua autod, mootorrattad, kaubikud veoa autod, sh raskeveokid, bussid, autorongid	Sõiduki kõrgus Telgede arv	1-110 € (läbitud teekond)	1500
Poola	Sõidukid alates 3,5 t: <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Traktorid, millel on (semi-) treiler ja kogukaal on üle 3,5 t</li> <li>▶ Veoa autod, mis kaaluvad rohkem kui 3,5 t</li> <li>▶ Bussid, millel on rohkem kui 9 istet</li> <li>▶ Järelhaagisega sõidua autod, millel kombineeritud kogukaal on rohkem kui 3,5 t</li> </ul> Mikrobusid, millel on vähem kui 9 istet ja kaal on üle 3,5 t	Emissiooniklass (avaliku sektori vastutusalas olevad teelõigud)	0,039-0,129 €/km	1565 (2653)**
	Sõidukid alla 3,5 t (kahel teelõigul): mootorrattad, sõidua autod, kaubikud (mille lubatud kogukaal on vähem kui 3,5 t) ja mikrobusid (vähem kui 9 reisijat (sh juht) ja kogukaal vähem kui 3,5 t)	Sõiduki kategooria (avaliku sektori vastutusalas olevad teelõigud)	0,01 (mootorrattad) €/km 0,02 (sõidua autod kuni 1,5 t) €/km	
	Kõik sõidukid	Sõiduki klass*** (eraoperaatorite vastutusalas olevad teelõigud)	0,04-1,60 €/km või 1,2-6,4 €/lâbisõit	
Slovakkia	Sõidukid ja autorongid alates 3,5 t	Emissiooniklass Telgede arv	0,020-0,243 €/km	2047
Iirimaa	Mootorrattad, sõidua autod, bussid, komertssõidukid, veoa autod	Sõiduki kategooria	1-7,10 €/lâbisõit (teelõik)	ca 800

Kilomeetripõhised teekasutustasud arvutatakse Saksamaal, Portugalis, Poolas, Slovakkias ja Iirimaa vastavalt emissiooni klassidele, telgede arvule ja sõiduki kategooriale (Tabel 3.8). Kõige tagasihoidlikud maksud on Poolas ja Slovakkias, mis moodustavad 0,02-0,243 € kilomeetri kohta ja kõigesuuremad on Saksamaal 0,125 – 0,214 €/km. [41]

Ajapõhiste teekasutustasud arvutatakse Rootsis, Taanis, Lätis, Leedus ja Slovakkias emissiooniklassi, telgede arvu või sõiduki kategooria alusel (Tabel 3.9). Antud maksud põhiliselt on suunatud veosõidukite koormamiseks. Kõige suurem aastamaks moodustab Rootsis 6819-14094 € ja kõige väiksem on Slovakkias 50 €. [41]

**Tabel 3.9. Ajapõhiste teekasutustasu. [41]**

Riik	Rakendusobjekt	Maksustamise alused	Maksumäär (€)				Rakendusala
			Päev	Nädal	Kuu	Aasta	
Rootsi	Kõik välismaised sõidukid al 12 t	Emissiooniklass	72	181-372	681-1409	6819-14 094	Määratud maanteed
	Kõik kohalikud sõidukid al 12 t	Telgede arv	-	-	-	929-1210	Kogu teedevõrk
Taani	Veoad autod al 12 t	Emissiooniklass Telgede arv	6	16-33	60-124	602-1245	Kogu teedevõrk
Läti	Veoad autod 3,5-12 t	Emissiooniklass	8	20	40	400 või 484	Määratud maanteed
	Veoad autod al 12 t	Emissiooniklass Telgede arv	8-11	21-46	43-92	427-925	
Leedu	Kaubikud Veoad autod (alates 3,5 tonni) Bussid alates 8 istekohta Eriotstarbelised maanteesõidukid	Sõiduki kategooria Emissiooniklass	6-11	14-52	28-107	304-1071	Määratud maanteed
Slovakkia	Sõidukid alla 3,5 t	Ühtne määr	n/a	10 (10 päeva)	14	50	Määratud maanteed

Kui kütuseaktsiisi laekuvad tulud hakkavad vähenema on Eestis aastaks 2025-2030 planeeritud rakendada kilomeetripõhised teekasutustasud, mille maksutulu on 200 – 250 mln €/aasta. [8]

Ummikumaksude abil on võimalik vähendada liikluskoormust mitmetes linnades, seda eriti tipptundidel. Londoni ummikumaksu sisseviimine maksis 206,22 mln € ja süsteemi igaaastane kulu on 61,86 mln €. Liiklussageduse langemise tulemusena vähenesid emissioonid tunduvalt. Aastatel 2003–2013 koguti maksutulu üle 1,37 mld €. Stockholmis vähenes aastatel 2006–2011 autoliiklus südalinnas 20 % ja CO<sub>2</sub>-emissioon 14 % ning ühistranspordi kasutus kasvas 4,5 %. London ja Stockholm on oluliselt suuremad kui Eesti linnad, aga ummikumaksu rakendamiseks ei piisa ainult skaalade võrdlusest. [77] [78]

Paralleelselt koos kilomeetripõhiste tasudega on planeeritud Eestis rakendada Tallinna kesklinna ummikumaks, mille maksutulu planeeritakse 70 – 75 mln €/aasta. [8]

Lisaks eeldatakse, et kütuseaktsiisi tõstmine 15 % võrra toob kaasa 2-3 % kütusetarbimise vähendamist ning lisandub riigivarasse 70 mln €/aasta aktsiisitulu. [8]

Kõik rakendatud meetmed võimaldavad Eestis jätkata energiasäästlike sõidukite soetamise kampaaniat. Toetuse kulused kaetakse teistest sõiduautode seotud maksutuludest ja moodustavad 0,5 – 3 mln € aastas. [8]

### **3.2.2 Näidisautode mõju riigile**

Stiimulite edukus sõltub sellest, palju on kasutajad nõus maksuma elektriautode kasutamise eest. Kui saavutada selline olukord, et tarbijad lähevad üle elektriautodele, siis sellest on võimalik riigil saada kasu fossiilkütuste niinimetatud maksutagastuse näol. Kui tarbijad eelistavad elektrisõidukeid, siis riigil jääb üle CO<sub>2</sub> kvoote, mida on võimalik edasi müüa teistele riikidele. See võib tasakaalustada kulutusi, mida tehakse tehnoloogia arendamiseks. Kuid teiselt poolt riik kaotab potentsiaalse kütuseaktsiisi tulu, mis Eestis moodustab peaaegu pool vedelkütuse hinnast. Kuna elektriautode akud nõuavad laadimist, kaotatud kütuseaktsiisi tulu võib osaliselt täieneda elektriaktsiisi arvelt. Samuti CO<sub>2</sub> heitkoguste langus viib keskkonnakahjude vähenemisele.

Edaspidi vaadeldakse, mis mõju avaldavad riigile 600 elektriautod. Arvutuslikud andmed on koondatud tabelisse (Tabel 3.10).

Euroopa Keskkonnaagentuur avaldas uuringu, kust selgub, et 2014.aastal uute autode CO<sub>2</sub> keskmine emissioon oli Eestis kõige kõrgem 141 g/km. Sõiduautode keskmine läbisõit aastas moodustab 13723 km. Kui riigil õnnestub toetada kuni 600 elektriautot soetamist aastas, see võimaldab kokku hoida 1,935 t CO<sub>2</sub> emissioone aastas ühe auto kohta ja kokku 1161 t CO<sub>2</sub> emissioone aastas. Keskmine CO<sub>2</sub> hind viimasel aastal oli 6,5 €/t CO<sub>2</sub>. [79] [80] [81]

Elektriautode arvu suurendamine viib ka vedelkütuste tarbimise vähenemisele ning põhjustab tulu kaotust kütuse aktsiisi arvelt. Statistika andmetel on Eestis autode keskmine vedelkütuse kulu kaheksa liitrit saja kilomeetri kohta ja keskmine läbisõit 13723 km. Nii teatud elektriautode juurdekasv võimaldab kokku hoida kuni 658704 liitrit kütust aastas. Planeeritud kütuseaktsiisi maks aastal 2016 on 0,59 € liitri kohta. Tähendab kaob riik 387738 € kasumit aktsiisi arvelt. [80] [82]



Kuid kütuseaktsiisi kaotust võib kompenseerida elektriaktsiisi arvelt, kuna elektriautode akud nõuavad laadimist. Elektrinäidisauto Nissan Leaf'i keskmine läbisõit täisakuga on 154 km ja sõiduautode aastane läbisõit Eestis on 13723 km. Nii tarbivad 600 elektriautot 1604 MWh elektrienergiat aastas akude laadimiseks. [61] [82]

Samuti CO<sub>2</sub> emissioonidega avaldatakse ka keskkonnakahju looduslikele elupaikadele, veele, pinnasele ja inimtervisele. Eesti transpordi negatiivsete mõjude kulud ühiskonnale on arvestuslikult kokku 447 mln € aastas. Erinevates allikates CO<sub>2</sub> keskkonnakahju hinnatakse 9...50 €/t, mis võimaldab riigile kokku hoida 10449...58050 € aastas CO<sub>2</sub> heitmekoguste vähendamisel 1161 t võrra aastas. [83] [41]

**Tabel 3.10. Elektriautode majanduslik mõju riigile.**

	Aasta kokkuhoid	% aasta kulust
CO <sub>2</sub> emissioon	7546,5 €	0,08 %
Kütuseaktsiis	-387738 €	-0,55 %
Elektriaktsiis	7169 €	0,02 %
Keskkonnakahju	58050 €	0,013 %

Lähtuvalt tabelist (Tabel 3.10), et positiivne mõju elektriautode arendamisel on riigile tunduvalt väiksem kui kütuseaktsiisi kaotus. Mis näitab, et riigile tuleb aktsiisitulu kadu täiendada teiste sõiduautode seotud maksude arvelt, et tasakaalustada tulude-kulude bilanssi.

Tänu erinevate maksudele ja toetusmeetmetele ENMAK 2030+ eeldab üliekonoomsete sõidupargi osakaalu suurendamist kuni 7 %, mis oleks 35000 elektrisõidukit. Seega väheneb ka vedelkütuste nõudlus 30000 ühiku võrra. Seega väheneb riiki imporditud naftasaaduste kogus ning sellest tingituna väheneb ka kaubavahetuse puudujääk, mis võib kaudselt mõjutada majanduskasvu ja riigi sisemajanduse koguprodukti. [8]

## Lõputöö kokkuvõte

Kahtlemata elektriautod oma tehnilises varustusega omavad palju eeliseid võrreldes sisepõlemismootori autodega. See on kõrgem mootori kasutegur, keskkonnasõbralikus ja vähem müra, tehnilise konstruktsiooni lihtsus, mis vabastab käikude vahetamisest, sujuv kiirendus ja liikumine, pidurdamise võimalus elektrimootoriga, lihtne tehniline hooldus ja madal tule- ja plahvatusoht avarii olukorras.

elektriautol on ka puudused. Nendeks on piiratud sõidukaugus ja elektriauto kõrge ostuhind, mis on tingitud aku parameetritest. Kuid uuringud elektritranspordi valdkonnas ei seisa paigal ja on jõudnud selle piirile, et tehnilise edasiarenemisel võimaldab pakkuda odavama hinnaga veelgi edasiarenenud kaupa. Lähiajal on väljatöötamisel uued keemilised ühendused, mis võimaldavad tulevikus pakkuda sellist akut, mille võimsus tagab veelgi pikema läbisõitu kui sisepõlemismootoriga autol ning olulisemalt madala hinnaga.

Piiramatu sõidukauguse asemel on olemas keerukaid pardajuhtimissüsteeme, mis võimaldavad optimaalselt kasutada aku võimsust ning õigesti arvutada elektriauto teekonna pikkust. Kasutades geoinfosüsteemi ja globaalse positsioneerimissüsteemi antud juhtimissüsteem tegeleb maastiku ülevaatamisega, et määrab teekatete seisundit. Samuti võimaldab tõhusalt jaotada mootori pöördemomenti rataste vahel, et pakkuda optimaalset sõidukiirust.

Veel üheks lahutamata elektriauto osaks on aku laadimisjaam. Elektrisõiduki laadimisjaam ei ole see seade mis lihtsalt ühendab elektriauto akut kokku toitepunktiga, see on seade, mis ühendab akut kokku terve jaotusvõrguga, seega mõjutab tema tööd. Elektriautode laadijad on läbinud pika teekonna kaasaegse laadimisjaamani. Tänapäeval laadimisjaamad kujutavad endast keeruka mikroarvuti juhtimistehnoloogiaga seadet, mis võimaldab vähendada mõju võrgule, vähendada harmoonikute arvu ja parandada võimsustegurit.

Eesti elektriautode laadimisjaamade süsteem on arenenud piisavalt. Eestis on kõige arenenum kiirlaadijate võrgustik maailmas, mis võimaldab elektriauto omanikul vabalt reisida riigi piirides. Mida kahjuks ei saa öelda lähiriikide kohta. Balti riigid vaid alustavad oma programmi kiirlaadimisjaamade arendamisel. Võimalik on reisida Eesti piiridest välja, kuid sel juhul tuleb korralikult planeerida oma marsruuti ning arvestada sellega, et aku laadimisaeg Eestist väljas võib pikeneda kiirlaadimisjaama puudumise tõttu.

Lisaks arenenud kiirlaadimisjaamade võrgustikule võiks elektriautod huvi pakkuda Eesti elanikele selle pärast, et tema sõidukaugus ühtib inimeste sõiduharjumustega. Nagu näitavad uuringud nii Eesti kui ka teiste riikide üle maailma keskmine läbisõit päevas jääb elektriautode sõidukauguse piiridesse. Siin tuleb märkida, et elektriautot tänapäeval ei saa vaadelda sise põlemismootoriga auto positsioonist, võrrelda sarnaste parameetritega. Sest piiratud läbisõit ongi elektriauto erisus sise põlemismootoriga autost, mida on vaja arvesse võtta sõidukit valides.

Samuti võib elektriauto eluiga takistada nõudluse suurenemist Eestis. Eesti sõidupargi keskmine vanus on 14 aastat, mis on kaks korda vanem kui Euroopas. Seega elektriautod ei suuda konkureerida Eesti kasutatud autode turul. Kuna akul on piiratud laadimistsükli arv ning peale seda kui aku võimsus jõuab oma 80 % piirini, loetakse aku kõlbmatuks. On meetmed, mis võimaldavad aku eluiga pikendada, näiteks rahulik sõidustiil, aeglane kiirendus ja vaikne pidurdus ning perioodiline aku laadimine. Kuid ükski tootja ei saa nimetada täpse retsepti aku eluea pikendamiseks.

Riik on huvitatud ka sõidupargi keskkonnasõbralikkuses. Selleks rakendatakse erivaid meetmeid elektritranspordi ostuhuvi tõstmiseks elanike poolt. Eestis on väga edukalt läbi viidud toetuse programm, mis võimaldas elektriautode hulka mitme aasta jooksul tunduvalt suurendada. Kuid nagu näitab statistika, soetamise toetuste lõppemisega on lõppenud ka elektriautode nõudluse kasv. Antud olukord näitab, et elektriautode kõrge hind on olulisemaks aspektis sõiduki valimisel Eesti elanikel ning inimesed ei näe vajadusi maksta rohkem elektriauto eest, ainult selleks, et parandada riigis keskkonna probleeme.

Eesti maksupoliitika ei erista sise põlemismootoriga autot oma kõrge heitkogustega ja keskkonnasõbraliku elektriautot. Range maksupoliitika võimaldaks muuta tarbijate teadlikust elektritranspordi suhtes. Sest elanike jaoks on elektriauto vaid moodne tendents ning elektriauto omanik on inimene kes on valmis maksta rohkem, et jälgida viimaseid moodsaid uudisasju. Jäljendades teisi edukamaid riike nagu Saksamaa, Prantsusmaa, Holland ja Norra, planeeritakse Eestis rakendada neid maksumeetmeid, mis juba ammu töötavad teistes riikides elektritranspordi arenemise kasuks. Antud riikides rakendatakse ka rahalisi meetmeid, nagu ostu toetused, mis suunavad tarbijaid ostma rohkem elektriautosid. Antud olukord näitab, et edukas elektritranspordi arendamine ei ole võimalik ilma tugeva maksupoliitikaga ja soetamistoetuse üheaegse koostööta.

Kahtlemata elektriautode suur juurdekasv avaldab tugevat mõju nii tarbijale kui ka riigile. Kuna elektriautode akud nõuavad laadimist tähendab see lisa tarbimisvõimsuste lisamine jaotusvõrku. Kuigi tänapäeval laadimisjaamad vastavad Euroopa Liidus teatud standartidele, igak juhul elektriauto laadimisprotsessis võivad ilmutada pingemoonutus ja harmoonilised voolud võivad kahjustada jaotustrafosid, kaitseseadmeid ning kaableid. Kuna jaotusvõrgu kulud arvestatakse tavatarbijate arvelt, siis tulevikus võib viia see võrgutasu tõusuni.

On selge, et praegu peamiseks takistuseks elektriautode arendamisel on soetamise hind. Kallima ostuhinna arvelt lõpp tarbimise hind elektriautol on palju kallim, kui sise põlemismootoriga autol, vaatamata sellele, et hooldus- ja kütusekulud on elektriautol tunduvalt odavamad. Teiseks probleemiks võib nimetada ka maksude puudus, millega võib koormata ainult sise põlemismootoriga autosid. Antud olukord viib selleni, et elektriautode potentsiaalsed kasutajad Eestis ei näe tänapäeval vahet elektriautode ja sise põlemismootoriga autode vahel. Maksud võiksid mõjutada tarbijate valikut.

Teadlaste prognooside järgi lähimas tulevikus on oodata elektriautode akude hinnalangust, mis teeb elektriauto odavnemiseks. Sellest tingituna elektriauto valdamise kulud veelgi lähenevad sise põlemismootoriga auto kuludeni. Kui tulevikus riik hakkab koormama bensiin- ja diiselaautosid energiaklassipõhise ja CO<sub>2</sub> heitmekoguste järgi, kulude distants elektri- ja bensiinauto vahel väheneb veel. Antud vähendamine võimaldab riigile eraldada väiksema toetuse elektriauto soetamiseks, mis moodustab vaid 15 % elektriauto ostuhinnast. Kuid kuna elektriauto arvutuslik tasuvusaeg moodustab 17 aastat, ei saa seda lugeda kasulikuks raha investeeringuks tarbija seisukohast.

Elektriautode soetamiseks toetuse rahad on planeeritud tagasi teenida koormates sise põlemismootoriga autosid järgmiste maksudega: energiaklassipõhine sõiduauto registreerimis- ja aastamaks, ummikumaks, kilomeetripõhine teekasutustasu ning kütuseaktsiis. Käesolevas töös tehtud analüüs näitab, et elektriautode arendamine ei ole kasulik riigile, kuna riigi investeeringud on tunduvalt suuremad, kui saadud tulud. Elektriautode arvu kasvul on riigil võimalik hoida kokku CO<sub>2</sub> emissioonide kvootide arvelt, saada kasumit elektriaktsiisit ja vähendada keskkonnamõjusid. Kuid kokkuhoiu summa moodustab vaid 2,4 % riigi investeeringutest elektriautode toetamiseks. Lisaks elektriautode arvu suurendamisel, kaotab riik ka potentsiaalse kütuseaktsiisi tulu, mis moodustab 12 % toetuste summast, kuid teiselt poolt veedelkütuse nõudluse langemisega, väheneb kaubavahetuse puudujääk, mis võib kaudselt mõjutada majanduskasvu. Antud olukord

tuleneb sellest, et Eestis on kütuseaktsiis põhiliseks transpordisektori aktsiisiks, millest riik ei saa loobuda, kuna kütuseaktsiisi arvelt katab riik muud kulud, mis ei ole otsest seotud elektritranspordiga.

Tuleb lisada, et tänapäeval Eestis põhiliseks elektrienergia tootmisallikaks on põlevkivi. Seega tekib suletud ring: asendades sise põlemismootoriga transpordi elektriautodega, vähendavad õhku paisutava heitmegaasid, kuid teiselt poolt suurenevad elektrienergiatarbimist, mida toodetakse Eestis põlevkivist. Eestis paisatakse õhku 1 kWh elektri tootmisel umbes 1,18 kg CO<sub>2</sub>. Kuid uuemate sise põlemismootoriga autode keskmine CO<sub>2</sub> heitkogus Eestis on 170 g/km. Siin tekib olukord, kus elektriauto saastab õhku kaks korda rohkem, kui bensiin auto. Seepärast efektiivne elektritranspordi arendamine Eestis on võimalik ainult sel juhul kui Eesti toodab elektrit alternatiivsetest energiaallikatest, vastasel juhul on mõttetu rääkida CO<sub>2</sub> kvootide kokkuhoiust elektritranspordi arvelt. [5]

## Kasutatud kirjandus

- [1] W. E. Council, „World Energy Scenarios. Composing energy futures to 2050,“ 2013.
- [2] International Energy Agency, „Technology Roadmap. Electric and plug-in hybrid electric vehicles,“ 2011.
- [3] IEA, „World Energy Outlook 2015,“ 2015.
- [4] „Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030,“ 2015.
- [5] E. K. Koda, „SÄÄSTVA TRANSPORDI RAPORT,“ 2010.
- [6] Eesti statistikaamet, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.stat.ee/>.
- [7] „EUROSTAT,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>.
- [8] *ENMAK 2030+Transpordi ja liikuvuse stsenaariumid*, Juuni 2014.
- [9] Elektriautode infoportaal, „Elektriautod,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://elektriautod.ee>.
- [10] Maanteeamet, „Maanteeamet,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.mnt.ee>.
- [11] Hinnavaatlus. [Võrgumaterjal]. Available: [www.foorum.hinnavaatlus.ee](http://www.foorum.hinnavaatlus.ee).
- [12] „The Auto Channel,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.theautochannel.com/news/2008/05/12/086616.html>.
- [13] P. Reed, „Electric Car Battery Basics: Capacity, Charging and Range,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.edmunds.com/car-technology/electric-car-battery-basics-capacity-charging-and-range.html>.
- [14] „The Draper Prize for Engineering,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.draperprize.org/news.php>.
- [15] „The MIT Energy Initiative,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://mitei.mit.edu/>.
- [16] EPA, „United States Environmental Protection Agency,“ [Võrgumaterjal]. Available:

<https://www3.epa.gov/>.

- [17] Xiaodong Li, Yan Chen, Junmin Wang, „In-Wheel Motor Electric Ground Vehicle Energy Management,“ %1 *2012 American Control Conference*, 2012.
- [18] Z. Zhebo, „ANALYSIS OF ELECTRIC VEHICLES' IMPACT TO THE ELECTRIC GRID,“ *China Interntional Conference on Electricity Distribution (CICED 2012)*, 2012 .
- [19] Clean Technica, „The Electric Vehicle Battery “Can And Should Be Recycled”,“ 2015. [Vörgumaterjal]. Available: <http://cleantechnica.com/2015/07/23/electric-vehicle-battery-can-recycled/>.
- [20] J. MacDonald, „ELECTRIC VEHICLES TO BE 35% OF GLOBAL NEW CAR SALES BY 2040,“ *Bloomberg New Energy Finance*, 2016.
- [21] „Global EV outlook,“ 2013.
- [22] McKinsey&Company, „Elektric Vehicle Report,“ 2014.
- [23] „Inside EV's,“ 2014. [Vörgumaterjal]. Available: <http://insideevs.com/breaking-nissan-prices-leaf-battery-replacement-5499-new-packs-heat-durable/>.
- [24] IDAHO NATIONAL LABORATORY, „Electric Vehicle Batteries,“ 2011.
- [25] „Electric test car with aluminum-air battery takes to the track,“ 2014. [Vörgumaterjal]. Available: <http://www.gizmag.com/aluminium-air-battery-could-extend-ev-range-by-1000-km/32454/>.
- [26] „Future batteries, coming soon: charge in seconds, last months and power over the air,“ 2014. [Vörgumaterjal]. Available: <http://www.pocket-lint.com/news/130380-future-batteries-coming-soon-charge-in-seconds-last-months-and-power-over-the-air>.
- [27] „Norway Is Fourth Country To Register 100,000 Plug-in Cars,“ 2016. [Vörgumaterjal]. Available: <http://www.hybridcars.com/norway-is-fourth-country-to-register-100000-plug-in-cars/>.
- [28] „Cijfers elektrisch vervoer,“ [Vörgumaterjal]. Available: <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu->

innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers.

- [29] „Top Six Plug-in Vehicle Adopting Countries – 2015,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.hybridcars.com/top-six-plug-in-vehicle-adopting-countries-2015/>.
- [30] „Norway Is a Model for Encouraging Electric Car Sales,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.nytimes.com/2015/10/17/business/international/norway-is-global-model-for-encouraging-sales-of-electric-cars.html?\\_r=1](http://www.nytimes.com/2015/10/17/business/international/norway-is-global-model-for-encouraging-sales-of-electric-cars.html?_r=1).
- [31] „Here’s How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/?cmpid=yhoo.headline>.
- [32] Energeetika teaduskond, „Energiamoodul,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.ttu.ee/public/e/energeetikateaduskond/Instituudid/elektroenergeetika\\_instituut/moodul/index.html](http://www.ttu.ee/public/e/energeetikateaduskond/Instituudid/elektroenergeetika_instituut/moodul/index.html).
- [33] Elering, „Varustuskindluse aruanne 2012.,“ 2012.
- [34] „Elmo,“ [Võrgumaterjal]. Available: [www.elmo.ee](http://www.elmo.ee).
- [35] Läti uudiste agentuur, „LETA,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.leta.lv/>.
- [36] „Plug Share,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.plugshare.com/>.
- [37] OÜ Faktum & Aroco, „Elektriautode kasutajate uuring,“ 2013.
- [38] D. ANDRIUKAITIS, „Investigation of Prospects for Electric Vehicle Development in,“ 2014.
- [39] „EV-Charging,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://ev-charging.com>.
- [40] „Charge Map,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://chargemap.com>.
- [41] „Transpordimaksude rakendamise võimalused Eestis,“ 2015.
- [42] Georgios Doukas, Pavol Bauer, Jos van der Burgt, „Battery Operation Cycle Management for Electric Vehicles with Battery Switching Technology,“ 2014.
- [43] I. Buchmann, „Battery University,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available:



- <http://batteryuniversity.com/>.
- [44] „KredEx,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://kredex.ee/>.
- [45] Riigi Teataja, „Rohelise investeerimisskeemi „Elektriautode toetus” kasutamise tingimused ja kord,“ Vastu võetud 12.07.2011 nr 69. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee>.
- [46] AMTEL, „Autode Müügi- ja Teenindustevõtete Eesti Liidu,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.amtel.ee/>.
- [47] Tallinn.ee, „CO2 heitevaba auto (elektriauto) parkimistasu maksuvabastus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tallinn.ee/Teenus-CO2-heitevaba-auto-elektriauto-parkimistasu-maksuvabastus>.
- [48] European Automobile Manufactures Association, „ACEA,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.acea.be/>.
- [49] „REUTERS,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.reuters.com/>.
- [50] Tilburg University. Department of Economics., „The potential of electric vehicles amongst Dutch lease drivers,“ 2011.
- [51] Pacific Institute for Climate Solutions, „Norway’s electric vehicle revolution: Lessons for British Columbia,“ 2015.
- [52] ABC Aroco, „50,000 Electric Vehicles: France Commits to Infrastructure & Production,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://abccarbon.com/50000-electric-vehicles-france-commits-to-infrastructure-production/>.
- [53] „Elektriauto,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.elektriauto.ee/>.
- [54] „Tuuleenergia Assotsiatsioon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/>.
- [55] Qiuwei Wu, Lin Cheng, Ulysse Pineau, Arne Hejde Nielsen, Jacob Ostergaard, „Impact and Cost Evaluation of Electric Vehicle Integration on Medium Voltage Distribution Networks,“ 2013.
- [56] Policy Department Economic and Scientific, „Challenges for a European market for

- electric vehicles,” 2010.
- [57] T. Mearig, N. Coffee, M. Morgan, Life Cycle Cost Analysis Handbook, 1999.
- [58] „IN Bank,” 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.inbank.ee/>.
- [59] E. Pank, „PROGNOOS AASTATEKS 2015–2017,” 2015.
- [60] Audiitorkogu juhendmaterjal, „Diskonteeritud rahavoogude hindamise meetodil koostatud kinnisvarainvesteeringu õiglase väärtuse hindamisakti auditeerimine,” 2013.
- [61] Nissan, „KUI KAUGELE MA SIIS SÕITA SAAN?,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.nissan.ee/EE/et/vehicle/electric-vehicles/leaf/charging-and-battery/range.html>.
- [62] Kenneth Lebeau, Philippe Lebeau, Cathy Macharis, Joeri Van Mierlo, „How expensive are electric vehicles?,” 2013.
- [63] DNB, „Tingimused,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dnb.ee/liisingutingimused>.
- [64] AS Sanoma Baltics, „AUTO24,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.auto24.ee/>.
- [65] Ensto, „Chago Price List,” 2015.
- [66] „Kinlustus EST,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kindlustusest.ee/>.
- [67] Ärileht, „Seltid: auto kindlustushind ei sõltu margist,” 2014.
- [68] Brian A. Davis, Miguel A. Figliozzi, „A methodology to evaluate the competitiveness of electric delivery trucks. Transportation Research Part E,” 2013.
- [69] „TRACCS 2014. Transport data collection supporting the quantitative analysis of measures relating to,” 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <http://traccs.emisia.com/>.
- [70] Carfox, „Rehvihetuse ABC – Kõik mida peaksid teadma rehvidest,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://carfox.ee/blog/rehvihetuse-abc/>.
- [71] Rehviliider. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rehviliider.ee>.
- [72] „Sõiduki tehnõlevaatuse eeskirja kehtestamine,” 2016. [Võrgumaterjal]. Available:

- <https://www.riigiteataja.ee>.
- [73] OÜ PROFDIAGNOSTIK, „Tehnoulevaatus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tehnoulevaatus.ee>.
- [74] Olerex, „Kütuse hind,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.olerex.ee/k%C3%BCtuse-hind>.
- [75] „VKG Elektrivõrgud,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.vkgev.ee/est/elektrimuuk/avatud-turu-paketid>.
- [76] Investeeringute tasuvasaja hindamine, [Võrgumaterjal]. Available: [http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS/EKON\\_S/EKON\\_NEDV/METHOD/UP/frame/3.htm](http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS/EKON_S/EKON_NEDV/METHOD/UP/frame/3.htm).
- [77] Centre for Transport Studies, „The Stockholm congestion charges – five years on. Effects, acceptability and lessons learnt,“ 2012.
- [78] „Travel in London. Report 5,“ 2012.
- [79] European Environment Agency, „New cars’ CO2 emissions well below Europe’s 2015 target,“ 2015.
- [80] TTÜ. Teedeinstituut, „AUTOPARGI LÄBISÕIT EESTIS 2010.aastal,“ 2011.
- [81] The European Energy Exchange, „EEX,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/spot-market/european-emission-allowances#!/2016/05/24>.
- [82] Keskkonnaministeerium, „Kliimapoliitika põhialused aastani 2050. Transpordi valdkonna mõjude hindamine vaheseisuga 1.04.2016,“ 2016.
- [83] SA SÄÄSTVA EESTI INSTITUUT, „Eesti õhusaaste väliskulude arvutamise võimalused ExternE metoodika ja EcoSenseWeb abil,“ 2008.