



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut



Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

**V2G-SÜSTEEMI TULEVIKU PERSPEKTIIVID JA
POTENSIAAL ENERGIASÜSTEEMIS**

**V2G FUTURE POTENTIAL AND PERSPECTIVES IN THE
ENERGY SYSTEM**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Rauno Põldmaa
Üliõpilaskood: 153785AAHM

Juhendaja: Karl Kull

Tallinn 2018



Autorideklaratsioon

Deklareerin, et olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

(allkiri)

Töö vastab magistritööle esitavatele nõuetele.

“.....” 201.....

Juhendaja:

(allkiri)

Kaitsmisele lubatud

“.....” 201.....

Kaitsmiskomisjoni esimees:

(nimi ja allkiri)

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Rauno Põldmaa	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> V2G-SÜSTEEMI TULEVIKU PERSPEKTIIVID JA POTENSIAAL ENERGIASÜSTEEMIS	
<i>Kuupäev:</i> 25.05.2018	<i>Lk 61</i>
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja:</i> doktorant-nooremteadur Karl Kull	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Käesoleva magistritöö eesmärk on anda ülevaade V2G – tehnoloogiast, selle võimalikust mõjust ja kasutuspotentsiaalid Eesti tiheasustuses asuvale võrgule. Magistritöö esimeses osas tehakse ülevaade autoturu hetkeseisust, täpsemalt elektriautode hetkeseisust Eestis ja mujal ning antakse ülevaade Eestis energiamajanduse arengukava suundatest transpordi sektoris. Teises osas antakse põhjalik ülevaade elektriautodest, räägitakse nende iseärasustest ning antakse ülevaade akude tehnoloogiatest ja tulevikust. Lisaks antakse teada, kuidas elektriautod mõjutavad elektrisüsteemi ja keskkonda. Samuti antakse ülevaade elektriautode laadimissüsteemidest kaasaarvatud kahe-suunalistest laadijatest – V2G tehnoloogiast. Töö kolmandas osas hinnatakse Eestis autopargi tulevikku, luuakse elektriautode turustenaariumid ning potentsiaalne autode jaotus maakonna keskuste vahel. Selle tulemusena hinnatakse V2G - tehnoloogia potentsiaali.	
<i>Märksõnad:</i> elektriauto, autost võrku, V2G, ENMAK 2030, aku	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Rauno Põldmaa	<i>Type of the work:</i> Master's Thesis
<i>Title:</i> V2G FUTURE POTENTIAL AND PERSPECTIVES IN THE ENERGY SYSTEM	
<i>Date:</i> 25.05.2018	<i>61 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor of the work:</i> early researcher Karl Kull	
<i>Abstract:</i> The purpose of this Master's thesis is to provide an overview of V2G technology, its potential impact and potential use in the densely populated Estonia's network. First part of the thesis deals with the state of automobile market, in particular the state of electric cars in Estonia and elsewhere, and gives an overview of the directions of the Estonian Energy Development Plan 2030 in the transport sector. The second part provides a comprehensive overview of electric vehicles, their features, battery technology and future growth. The paper also explores the level of impact electric vehicles have on the electrical system and the environment. In addition, the thesis gives an overview of the powertrain charging systems including two-way chargers - V2G technology. The third part of the paper assesses the future of Estonia's car fleet, market scenarios for electric cars and the potential car distribution among county centers. As a result, the potential of V2G technology will be assessed.	
<i>Keywords:</i> V2G, electric vehicle, ENMAK 2030, battery	

Sisukord

Autorideklaratsioon	2
Lõputöö kokkuvõte	3
Summary of the Diploma Work	4
Sisukord	5
Lõputöö ülesanne	7
Teema põhjendus	8
Töö eesmärk.....	8
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu.....	8
Lähteandmed.....	9
Eessõna	10
Sissejuhatus	11
1. Autokoosseisu hetkeseis	13
1.1. Maailm	13
1.2. Eesti.....	14
2. ENMAK 2030	16
2.1. Eesti energiamajanduse arengukava	16
2.2. Energiakasutus transpordisektoris.....	16
2.3. Arengumajanduse eesmärgid transpordisektoris.....	18
3. Elektriautode ülevaade	19
3.1. Elektriauto.....	19
3.1.1. Hübriidautod.....	19
3.1.2. Kütuseelemendiga auto	20
3.1.3. Akupatareiga autod.....	21
3.2. Energiasalvestussüsteem.....	22
3.3. Laadijad.....	25
3.3.1. Kodulaadijad – aeglased laadimispunktid	27
3.3.2. Kiirlaadijad.....	28
3.3.3. Eesti laadimisvõrgustik – ELMO	30
3.4. Elektriautode mõju elektrisüsteemile.....	30
3.4.1. Elektriautode laadimisest tingitud tarbimisvõimsuse kasv.....	30
3.4.2. Elektriautode põhjustatav pingete asümmeetria	32
3.4.3. Harmoonikud.....	32
3.4.4. Võrguseadmete ülekoormus	32
3.5. Mõju keskkonnale.....	33
4. V2G – Autost võrku	35
4.2 V2G potentsiaalne arhitektuur	38

4.1.	V2G väljakutsed.....	39
4.2.	V2G süsteemi hetkeseis	40
4.2.1.	V2G Autotootjad.....	40
4.2.2.	Olemasolevad V2G süsteemid.....	41
5.	Elektriauto turutsenaariumid Eestis	42
5.1.	Eesti autopargi tulevik	42
5.2.	Elektriauto turutsenaariumid	43
5.3.	Elektriautode potentsiaalne jaotus maakondade vahel.....	45
6.	Energiasalvestus mahu hetkeseis	46
6.1.	Elektriautode akumahtuvuse trend.....	47
7.	V2G potentsiaal Eestis	48
7.1.	Potentsiaalne akumahtuvus	48
7.2.	Potentsiaalne võimsus.....	49
	Kokkuvõte	51
	Kirjandus	54
	Lisad	60
L.1.	Elmo kiirlaadimis statistika aastatel 2016 kuni 2018 märts.	61
L.2.	50kW V2G tehnoloogia laadija spetsifikatsioon	62

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:

**„V2G-SÜSTEEMI TULEVIKU PERSPEKTIIVID JA
POTENTSIAAL ENERGIASÜSTEEMIS“**

Üliõpilane:

Rauno Põldmaa

Eriala:

Hajaenergeetika

Lõputöö liik:

Magistritöö

Lõputöö juhendaja:

Karl Kull

Lõputöö esitamise tähtaeg:

25.05.2018

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Instituudi direktor (allkiri)

Teema põhjendus

Elektrisõidukite populaarsuse suurenemine kujutab endast nii võimalusi kui ka ohtu olemasolevatele elektrisüsteemidele tänu elektrisõiduki laadimisest tuleneva lisakoormuse tekitamisele elektrisüsteemis. Koormuse ühtlustamiseks võib kasutada V2G-süsteemi, milles sõiduk või transpordivahend, näiteks elektriauto või hübriidauto, on integreeritud jaotusvõrgu elektrisalvestiks. Lisaks koormusgraafiku ühtlustamisele on süsteemi abil elektrivõrkudele mitmesuguseid teenuseid. Auto omanikule võimaldab tehnoloogia rahalist kasumit ja kokkuhoidu. Antud töö annab ülevaate tehnoloogiast ja selle mõjudest.

Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on anda ülevaade V2G – tehnoloogiast, selle kasutuspotentsiaalidest ja võimalikust mõjust Eesti tiheasustuses asuvale võrgule.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu

- V2G süsteemi sisuline kirjeldus
- V2G süsteemi mõju energiasüsteemile
- V2G potentsiaal Eestis lähtuvalt elektriautode turust seisust täna ja tulevikus

Lähteandmed

Töö koostamisel on kasutatud Eesti Majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi, Maailma Energeetika Nõukogu, Bloombergi, ning teiste tunnustatud energeetika ja transpordi väljaannete andmebaase, raporteid ning artikleid. Statistika andmete leidimisel kasutati maanteeameti ja Eesti statistika kodulehti.

Eessõna

Magistritöö teema „V2G – süsteemi tuleviku perspektiivid ja potentsiaal energiasüsteemis“ pakkus välja nooremteadur-doktorant Karl Kull, kes ühtlasi on käesoleva lõputöö juhendaja.

Käesolevaga soovib autor tänada oma juhendajat, kes on andnud vajaliku informiooni ning osutanud abi töö valmimisel.

Rauno Põldmaa

Sinika 6, Tallinn

+372 511 7747

Sissejuhatus

Maaailm on silmitsi mitmete energiaprobleemidega. Fossiilkütus on olnud peamine valitsev energiaallikas transpordi ja elektritööstuse sekotris. Lisaks sellele, et fossiilkütus on taastumatu energiaallikas, eraldub aine põletusel atmosfääri erinevaid saasteaineid nagu süsinik- ja lämmastikoksiidid, vääveldioksiid, vesinikuosakesed. Tulenevalt kelle populatsiooni suurenemisest ja üha suurenevast energikasutusest on heitgaaside kogused saavutanud taseme, mis mõjutab globaalselt õhtutemperatuuri ja kliimat. Jätkusuutlik lahendus nendele probleemidele on energia säästmine ja tõhusam kasutamine ning, kus vähegi võimalik, fossiilkütuste asendamine taastuvenergiaallikatega.

Transpordi sektor põhjustab ligi veerandi Euroopa Liidu (EL) kasvuhoonegaaside koguheitest, olles teisel kohal energeetika sektori järel. Sektori kasvuhoonegaaside heitest 2/3 pärineb maanteetranspordist. Tekitatud kasvuhoonegaaside heitkogus on tihedalt seotud mootorisõidukite kütusekuluga, mis omakorda sõltub sõiduki läbisõidust ja automudeli keskmisest CO₂ heitest. Euroopa Parlamendi direktiivi ja euroopa transpordi arengukava kohaselt on liikmeriikide eesmärk saavutada transpordikütuste puhul taastuvate energiaallikate 10% suurune turuosa aastaks 2020. [1] [2]

Üks võimalus on transpordivahendites alternatiivkütusena kasutada elektrit. Elektriauto on nullheitel sõiduk, kuna see ei tekita sisepõlemismootoriga seotud saastet, lisaks on elektriautol märksa väiksemad ülalpidamiskulud. Siiski auto laadimine fossiilkütusel põhineva elektriga mõjutab keskkonda, kuna enamik elektrit toodetakse fossiilkütuste põlemisel. Eestis ostetavates uutest masinatest on ligikaudu 1,4% kas elektrit tarbivad või hübriidid. Elektriauto kõige kalleim komponent on aku ning seetõttu on elektriauto hind kallim kui sisepõlemismootoriga auto. Siiski muutvad elektriautod järjest soodsamaks, seda peamiselt tänu akude odavnemisele. Elektriautodes kasutusel olevad Liitium-ioon akude hinnad on teinud viimaste aastatega läbi suure languse ning jätkavad odavnemist. Rahvusvahelise Energiaagentuuri andmetel on alates 2009. aastast aku hinnad langenud neljakordselt ning energia tihedus kasvanud kuuekordselt.

Sõltumata kõrgest hinnast tõuseb inimeste huvi elektriauto vastu järjest rohkem. 2016. aastal tegi elektriautode turg maailma mastaabis müügirekordi: registreeriti üle 750 tuhande elektrisõiduki. Suurem osa müügist toimus Ida-aasias, Euroopa Liidus ulatus elektriautode

müügiarv 300 tuhandeni. Euroopa riikidest on Norra üks suurimatest elektrisõidukite tarbijatest maailmas. Üks kolmandik uute sõidukite turuosast moodustavad elektriautod, Norra on seadnud eesmärgi saavutada 2025. aastaks olukord, kus 100% uutest autodest, oleksid null heitkogusega .[3]

Järjest kasvav elektriautode kasutuselevõtt paneb elektrivõrgud suurema surve alla. Näiteks ühe elektriauto laadimine võrdub suurusjärgus ühe keskmise majapidamise elektritarbimisega. Võrgu ehitusel ei ole sellega arvestatud, elektriautode laadimisel on suure võimsusega koormus on võrgus pidevalt ja pikaajaliselt. Suurema hulga elektriautode korral kujuneb võrku selliselt hulga suurem kogukoormus, mis põhjustab negatiivset mõju elektrivõrgule ja selle talitlusele. Üheks väljapakutud viisiks nende väljakutsetega toimetulemiseks on V2G - süsteem, mis läbi kahe-suunalise laadija saab elektrivõrgule pakkuda tuge ja annab võimaluse auto omanikul osaleda energiaturul.

Käesoleva töö eesmärk on uurida kui suur on elektriautode V2G potentsiaal Eestis tulevikus. Lähtudes erinevatest mudelitest ja prognoosidest loob autor erinevad elektriautode turustsenaariumid aastani 2050. Lisaks antakse hinnang Eesti autopargi üldisele kasvule.

Töö esimene osa annab ülevaate autoturu hetkeseisust, räägitakse täpsemalt elektriautode turu osakaalust Eestis ja mujal. Antakse ülevaade Energiamaajanduse arengukava 2030 suundatest transpordi sektoris.

Teises osas antakse põhjalik ülevaade elektriautodest, räägitakse selle iseärasustest ning antakse ülevaade akude tehnoloogist ja tulevikust. Lisaks saab teada, kuidas elektriautod mõjutavad elektrisüsteemi ja keskkonda. Samuti saab ülevaate elektriautode laadimissüsteemidest, kaasaarvatud kahe-suunalistest laadijatest – V2G tehnoloogia.

Töö kolmandas osas hinnatakse Eesti autopargi tulevikku, luuakse elektriautode turustsenaariumid ning potentsiaalne jaotus maakonna keskuste vahel. Selle tulemusena hinnatakse V2G - tehnoloogia potentsiaali.

1. Autokoosseisu hetkeseis

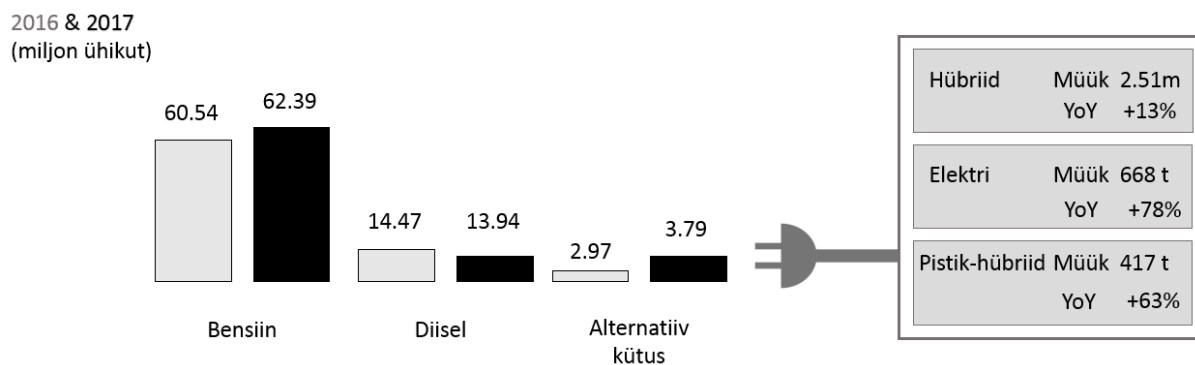
1.1. Maailm

Elektrisõidukid löid 2017. aastal müügirekordi, kogumaailmas registreeriti enam kui 750 tuhat uut sõidukit. Kõige suurema osa elektriauto turul moodustas Hiina, kus registreeriti 336 tuhat uut autot. Elektriliste autode müügi maht oli Hiinas kaks korda suurem kui Ameerika Ühendriikides, kus uute elektriautode registreeringud tõusid 160 tuhande ühikuni. Euroopa riikides müüdi 2017. aastal 307 tuhat elektriautot, 39% rohkem kui 2016. aastal. Enamus Euroopa elektriautode müükidest registreeriti kuues riigis: Norra, Ühendkuningriigid, Prantsusmaa, Saksamaa, Holland ja Rootsi. Norra moodustas 40% kogu Euroopa elektrisõidukiturust. Saksa turg kahekordistas 2017. aastal elektriautode müüki (Tabel 1.1).[4] [5]

Tabel 1.1 Elektriautode müük 2016 ja 2017 aastal [4]

Riik	Autode müük 2016. a	Autode müük 2017. a	Muutus, %
Austria	5068	7154	41%
Belgia	8984	14299	59%
Bulgaaria	13	106	715%
Tšehhi	200	307	54%
Taani	1920	1342	-30%
Soome	1430	3055	114%
Prantsusmaa	29194	36835	26%
Saksamaa	25214	54617	117%
Kreeka	43	199	363%
Ungari	343	1192	248%
Iirimaa	690	948	37%
Itaalia	2819	4827	71%
Läti	40	56	40%
Leedu	64	52	-19%
Holland	22939	11079	-52%
Poola	569	1069	88%
Portugal	1845	4082	121%
Rumeenia	74	188	154%
Slovakkia	59	209	254%
Slovenia	198	456	130%
Hispaania	3654	7476	105%
Rootsi	13260	19678	48%
Ühendkuningriigid	37102	47298	27%
Norra	44908	62313	39%
Sveits	6403	8391	31%

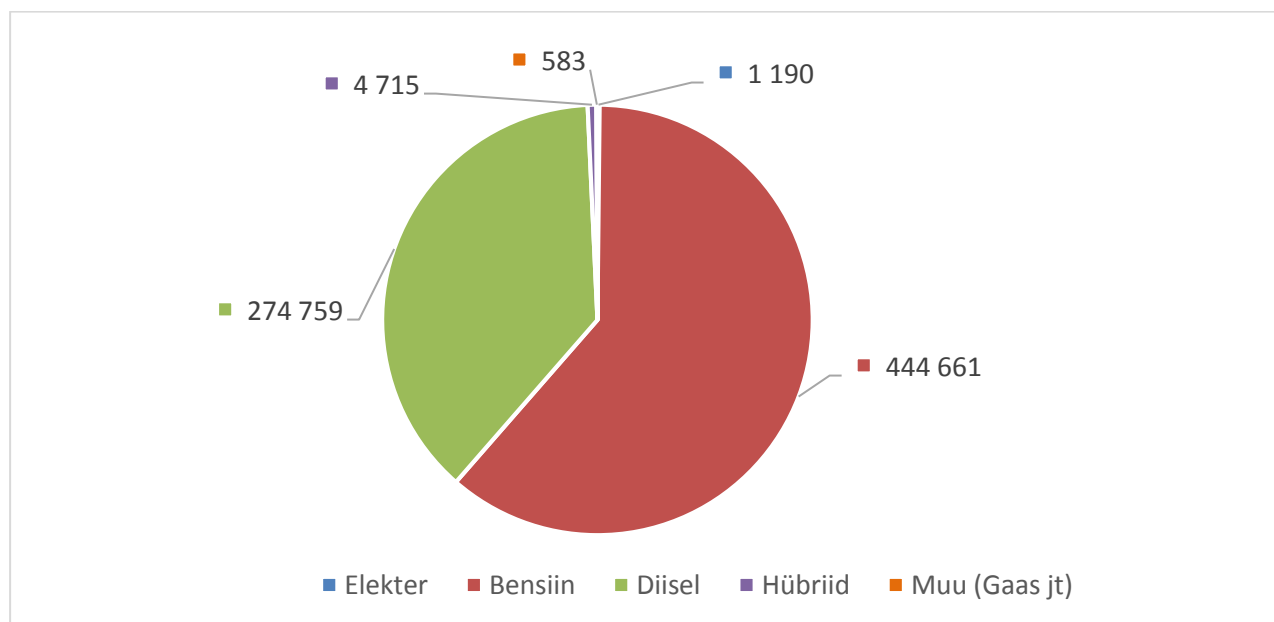
2017. aastal müüdi ülemaailmselt kokku enam kui 86 miljonit autot ning autoturg kasvas 2,4%, alternatiivkütusel sõitvaid autosid müüdi 3,8 miljonit ning nende turg kasvas 27,6% (joonis 1.2).[6]



Joonis 1.2 Ülemaailmne autode müük kütuseliikide kaupa 2016-17.aastal [6]

1.2. Eesti

Maanteeameti kodulehel oleva liiklusregistri statistika andmetel oli 2017. aasta lõpu seisuga Eestis arvel 725 944 sõiduautot. Nendest sõiduautodest 0,17% moodustasid elektri baasil toimetavad autod (joonis 2.2).[7]



Joonis 1.3 Eesti autokoosseis 2017.aastal [7]

Eesti elektriautopargi koosseisu on tublisti mõjutanud aastail 2012-2014 saadaolevad mudelid, sest sellel ajavahemikul sai elektriautot osta Kredexi toetusega. Alates 2015. aastast on elektriautode müük oluliselt langenud (Tabel 1.2).[7]

Tabel 1.2 Uute elektriautode registreerimine väljalaskeaasta alusel [7]

Aasta	Sõidukite arv, (tk)
2013	141
2014	379
2015	40
2016	37
2017	42

2. ENMAK 2030

2.1. Eesti energiamajanduse arengukava

2017. aastal kiideti Eesti Valitsuse poolt heaks Energiamaajanduse arengukava 2030 (ENMAK). Praegune energiamajanduse arengukava kehtib aastani 2020, kuid investeeringud energeetikasse vajavad pikemaajalist planeerimist. Kuigi uus kava paneb paika suuna aastani 2030, annab see sihte kuni 2050. aastani. [8]

ENMAK 2030 kirjeldab Eesti energiapoliitika eesmärke aastani 2030, energiamajanduse visiooni aastani 2050, ENMAK 2030 üld- ja alameesmärke ning meetmeid nende eesmärkide saavutamiseks.[8]

Eesti energiapoliitika üld-eesmärk on tagada tarbijatele turupõhise hinna ning kättesaadavusega energiavarustus ja see eesmärk on kooskõlas Euroopa Liidu pikaajaliste energia- ja kliimapoliitika eesmärkidega. Eesmärgi täitmiseks valib ENMAK 2030 sektorite kaupa kõige optimaalsemad lahendused üldeesmärgi saavutamiseks ja samas panustab Eesti majanduskliima ja keskkonnaseisundi parendamisse ning Eesti pikaajalise konkurentsivõime kasvu.[8]

2.2. Energiakasutus transpordisektoris

Maanteetransport ja kütuste tarbimine transpordisektoris on kasvanud samas tempos majandusega, mistõttu on Eesti majandus üks Euroopa transpordimahukamaid ja kütusekulukamaid[9]

Viimase 16 aasta jooksul on transpordisektoris energia ja kütuste tarbimine suurenenud enam kui 33%, ainult majanduslanguse aastatel 2008-2009 vähenes kütuste tarbimine mõnevõrra. Ligikaudu 90% kütusest tarbitakse maanteetranspordi sektoris.[8]

Kütuste tarbimise kasv on toimunud eriti kiiresti diislikütusel töötavate transpordivahenditega - sõiduautode, kaubikute ja veoautode - kasutamise kasvu tõttu. Kütuste tarbimine transpordis sõltub kõige rohkem transpordi liigist ja kaubaveo liigist, transpordinõudlusest, sõidukite

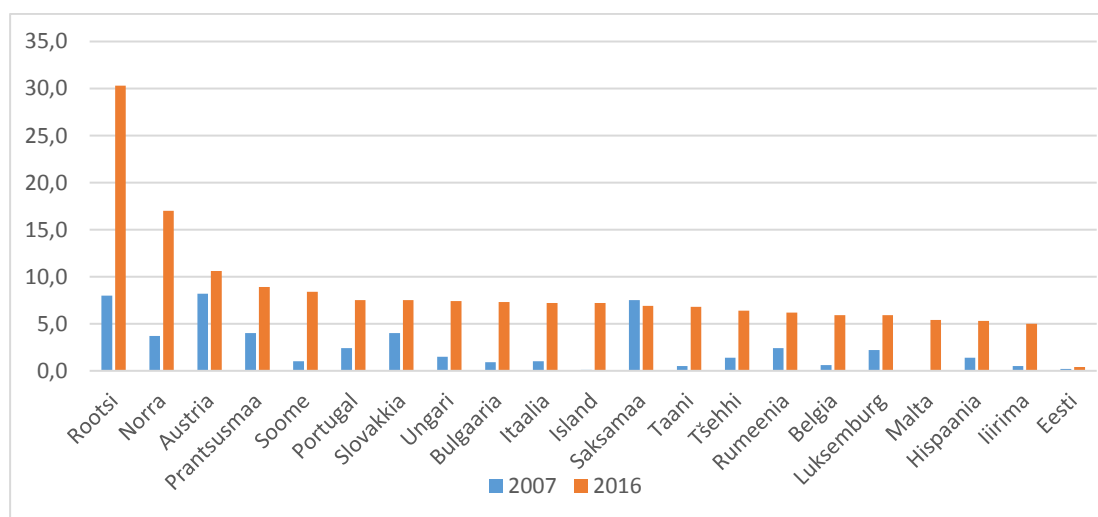
energiatarbest ning kasutatavatest energiaallikatest. Viimase 10 aasta jooksul on Eestis sõiduaudote kasutus suurenenud ligi 50% ning ühistranspordi kasutajate hulk vähenenud.[9]

Eesti impordib kogu transpordis kasutatava bensiini ja diislikütuse. Statistikaameti andmete alusel kasutati 2016. a kütust transpordi vajadusteks järgnevalt:

- diislikütus – 647 tuh t
- autobensiin – 252 tuh t

2016. aastal oli Euroopa liidu liikmesriikide taastuvate energiaallikate keskmine osakaal transpordikütustes 7,1 % ehk 3,7 korda suurem kui 2007. aastal (3,1 %).

Euroopa liidu liikmesriikide seas varieerus taastuvenergia suhteline osakaal transpordikütustes suurtest näitajatest nagu 24,0 % Rootsis ja 22,0 % Soomes (ainsa liikmesriigina registreeriti kahekohaline osakaal 2016. aastal veel Austrias, 11,4 %) kuni väikeste näitajateni nagu 2,0 % Kreekas ja Eestis (joonis 2.1).[10]



Joonis 1.1 Taastuvenergia osakaal transpordisektoris, 2007 ja 2016 (%) [10]

Mõnes ELi liikmesriigis täheldati taastuvenergia kasutamisel transpordikütusena kiiret kasvu. Iirimaa ja Luksemburgis kasvas taastuvate energiaallikate osakaal 0,1 %-lt 2005. aastal - kuni 6,5%ni 2015. aastal, samas kui Soomes kasvas näitaja samal ajavahemikul 0,9 %-lt 22,0 %ni. Ajavahemikus 2005–2016 kasvas taastuvate energiaallikate osakaal transpordikütuses rohkem kui kümme korda Taanis, Portugalis, Kreekas ja Madalmaades.

2.3. Arengumajanduse eesmärgid transpordisektoris

EL taastuvenergia direktiiviga 2009/28/EÜ on Eestile pandud kohustus, et Eesti peab 2020. aastaks saavutama taastuvenergia osakaaluks transpordisektoris 10% selles sektoris tarbitud vedelkütuse kogusest. Varasemate meetmete rakendamisega pole selle eesmärgini jõutud. Eesmärgi saavutamiseks tuleb kasutada optimaalset kombinatsiooni mitmetest meetmetest - biokütuste tarnimise kohustuse juurutamine vedelkütuse turul, biometaan kasutuselevõtu soodustamine sõidukites, kõrge taastuvenergia sisaldusega biokütuste kasutamine transpordis jne.[8]

Saavutamaks 10%-ne taastuvenergia osakaal transpordisektoris on ENMAK 2030 kavandatud järgmised meetmed:

- meede 2.1 „Alternatiivsete kütuste kasutuselevõtu suurendamine transpordis“,
- meede 2.2 „Motoriseeritud individuaaltranspordi nõudluse vähendamine“,
- meede 2.3 „Tõhus sõidukipark“.

Arengukava näeb ette, et ökonoomsete (energiaklass A-C) sõidukite osakaal uute sõidukite soetamisel aastaks 2030 peab olema suurem kui 50%. Transpordi nõudluse vähendamise eesmärk on säästlikuma liikumisviisi eelistamine. Soovitakse vähendada linnades autokasutuse osakaalu, parandades kõndimise, rattaga sõitmise ja ühistranspordi kasutamise võimalusi, muuhulgas läbi erinevate liikumisviiside parema ühendamise.[8]

3. Elektriautode ülevaade

3.1. Elektriauto

Elektriauto on sõiduk, mis kasutab edasiliikumiseks elektrienergiat. Erinevalt tavalistest sõidukitest, mis kasutavad bensiini või diiselajamiga mootorit, muundavad elektriautod energiat akudest või kütuseelemendist mehaaniliseks energiaks.[11]

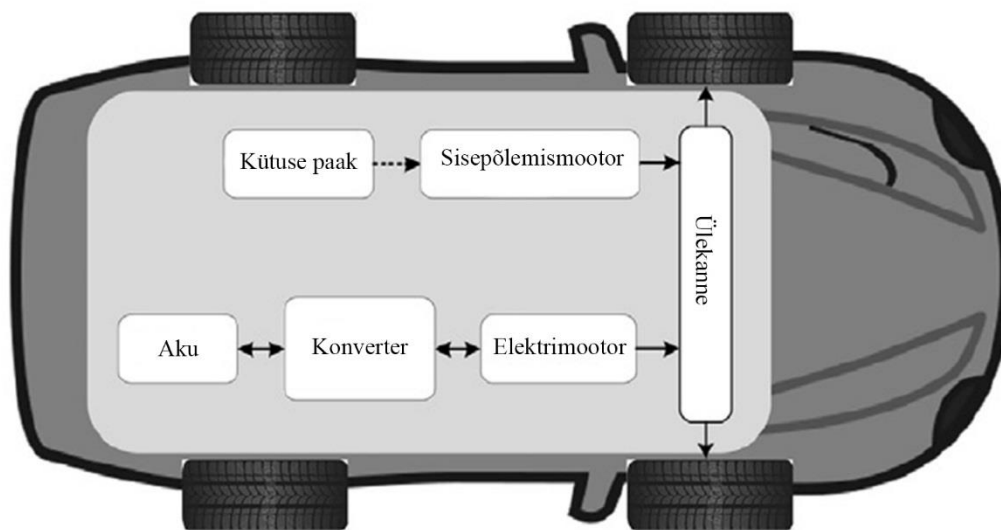
Elektrisõidukeid on tänapäeval nelja liiki:

1. hübriid- ja pistikhübriid autod,
2. akupatareiga,
3. kütuseelemendiga,
4. päikesepatareiga.

Sõltumata sellest, milline on elektrimootri energiaallikast, kasutatakse elektriauto ajamis sarnast skeemi. Energiaallikast saadud alalisvool muudetakse soovitud sagedusega kolmefaasiliseks vaheluvvooluks vaheldi ehk inverteri abil. Inverter toidab kolmefaasilist vahelduvvoolumootorit. Selline muundamine võimaldab mootoris kõige lihtsamal viisil saada pöörlevat liikumist ja suurt pöördemomenti. Muunduri poolt muundatud voolu sagedusest sõltub mootori kiirus. Paigaltliikumist alustatakse nullsagedusest ja suurendatakse seda järkjärgult.

3.1.1. Hübriidautod

Hübriidautode hulgas on nii bensiini-, diisel- kui ka elektrimootoriga autosid. Hübriidsõiduk töötab kombineeritult elektri- ja bensiinimootoriga. Elektrimootor töötab peamiselt madalatel kiirustel ning akusid laetakse auto pidurdamisel. Aku laadimiseks pole vajadust ega ka võimalik autot elektrivõrku ühendada. Pistikhübriidautod töötavad nagu hübriidautod kombineeritult elektri ja bensiinimootoriga, kuid erinevus seisneb selles, et pistikhübriidi - nagu nimest juba näha - on võimalik laadida ka kodustes tingimustes või kiirlaadijates. Paralleel jõuülekande hübriidauto skeem on toodud joonisel 3.1. Tüüpiliselt on hübriidauto kõrgepinge-aku mahtuvus suhteliselt väike – näiteks Kia Niro puhul 1,56 kWh, mis võimaldab linnakiirusel parimatel tingimustel sõita elektrijõul 3-4 km, aga samas on aku ka oluliselt väiksem ja kergem, kui seda on näiteks elektriautol - mis omakorda muudab auto kergemaks.[11] [12]



Joonis 2.1 Paralleel jõuülekandega hübriidauto skeem [13]

3.1.2. Kütuseelemendiga auto

Kütuseelemendiga auto kuulub sisuliselt hübriidmootoriga autode hulka ja kasutab jõuallikana koos elektrimootoriga vesinik - kütuseelemente. Vesinik kütuseelementide tehnoloogiat kasutav auto omab palju eelised elektri- ja sisepõlemismootoritega sõidukite ees:

- 1) vesinik ei lõpe maailmas otsa - rohkuselt on vesinik Maal kolmas element;
- 2) auto vesinikkütusega tankimine võtab sama vähe aega kui bensiinipaagi täitmine (umbes 5 minutit),
- 3) ühe paagitäiega kütusega saab läbida 594 kilomeetrit,
- 4) lisaks saab kütuseelemendist eralduvat soojust kasutada salongi kütmiseks.[14]

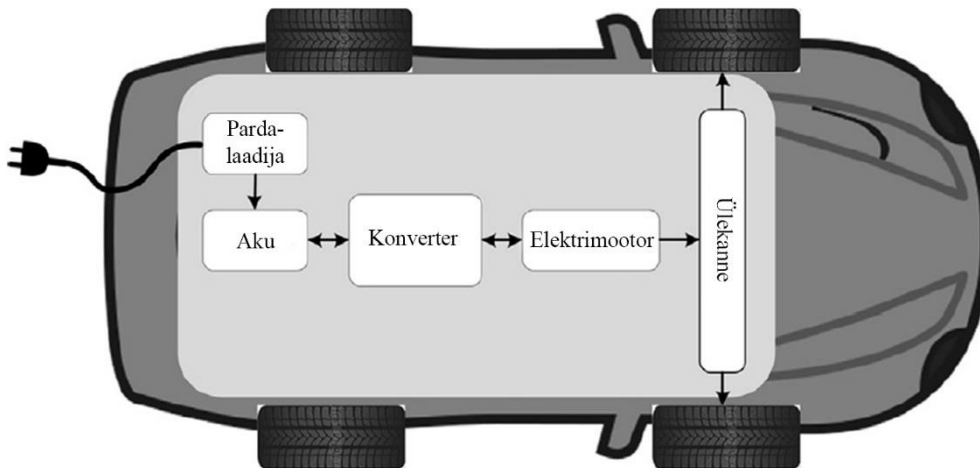
Kütuseelemendi tehnoloogial on ka puudusi:

- 1) kütuseelemendi tehnoloogial põhinevate automarkide hinnad on kõrged. Näiteks autotootja Toyota mudel Mirai autot on võimalik soetada 58 tuhande euro eest,
- 2) laadimise infrastruktuur on puudulik,
- 3) suured energiakaod alates vesiniku kokkupressimisest kuni kütuseelementide madala efektiivsuseni. Ainult 24% vesiniku tootmiseks kulutatud energiast läheb autokütusena

asja ette. Akutoitega elektriautodel ja elektrihübriididel kasutatakse efektiivselt 69% energiast.[14] [15] [16]

3.1.3. Akupatareiga autod

Kõige energiasäästlikumaks variandiks peetakse elektriautot. Elektrisõiduk kasutab sõiduki liikumisel ainult elektrimootori jõudu ja kaasas olevat elektrienergiamahtu (joonis 3.2). Siin genereeritakse pidurdamisel ning mäest alla sõitmisel kineetilist energiat aku täitmiseks, kuid peamiselt kasutatakse siiski vooluvõrgust akude laadimisel saadud energiat. Kuna elektriautodel on täis-elektriline jõuallikas, sõltub selle läbisõidu vahemaa täielikult aku mahtuvusest. [11]

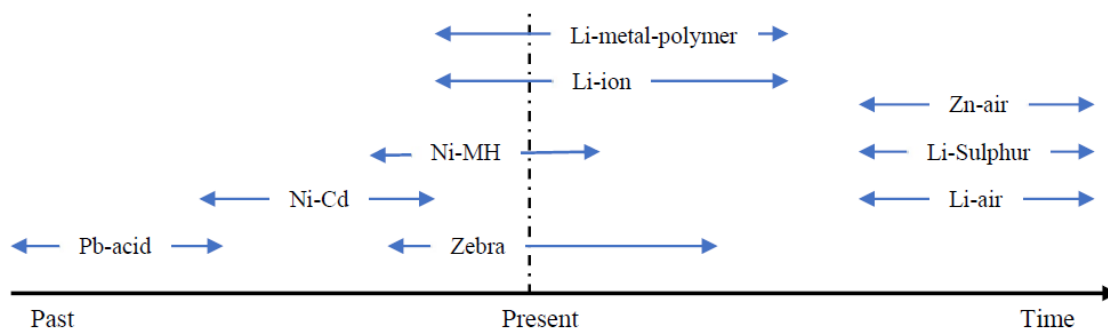


Joonis 3.2 Tüüpiline elektriauto jõuülekanne lihtskeem [13]

3.2. Energiasalvestussüsteem

Elektriauto põhikomponent on energia salvestussüsteem ehk aku. Bensiini- ja diiselmootoriga võrreldes on elektriautodel suurem ja mahukam aku. Aku on elektriauto ainus energiaallikas ja ühtlasi ka sõiduki kõige väärtuslikum komponent. Akude tehnoloogial on mitmed piirangud, mis on olnud suureks takistuseks elektriautode laiemas rakendamises transpordisektoris. Maksumus, kiirendus ja vahemaa – need on spetsifikatsioonid, mis sõltuvad otseselt või kaudselt elektriauto aku tehnoloogiast.[17]

Energiatihedus ja aku maht mõjutavad enim elektriauto kiirendust ja vahemaa pikkust või kiirendamiseks kuluva teekonna pikkust. Peamine tegur, mis mõjutab sõiduki teekonna ulatust, on elektriakude madal energiatihedus. Lisaks mängib olulist rolli ka akupaki komplekti volüümi suurus, sest sõidukites on akudele ette nähtud ruum piiratud. Seetõttu, kasutades sama ruumi suurema võimsusega akupakkide jaoks, on märkimisväärne edasimineku elektriakude tehnoloogias. Akude kasutamise tehnoloogial on mitmeid piiranguid, sest tehnoloogia on alles varajases arengujärgus, on potentsiaali areneda madalama hinna, kompaktsema suuruse ja kõrgema energiateguri poole.[13] [18]



Joonis 3.3 Aku tehnoloogiate arengu ajaskaala (ingl. k *past* – minevik, ingl. k *present* – olevik) [18]

Aku ehituses ja kasutamise tehnoloogias on viimaste aastakümnete jooksul toimunud suuri arenguid. Akud on saavutanud suurema energia tiheduse ja kõrgema võimsustiheduse. Lisaks sellele on tänapäeva akud ohutumad ja vastupidavamad. Joonisel 3.3 on kujutatud aku väljaarendamist ajaskaalal.

Algne elektriautodes kasutatav aku tehnoloogia oli pliiaku. Pliiaku on kõige vanemad tüüpi elektriaku, mille leiutas 1859. aastal prantsuse füüsik G. Plante. Pliiakud on rasked ning suure

massi tõttu on pliiakudel madal energiatihedus. Üks sagedasemaid pliiakude kasutusalasid on sisepõlemismootoriga autode käivitamiseks vajaliku energia salvestamine ja starteri abil auto käivitamine.[19]

Hiljem asendati pliiaku nikkel-metallhüdriidaku (NiMH-aku) baasil põhinevate akudega. NiMH-aku mahutavus on kaks kuni kolm korda suurem kui niisama suurel NiCd-akul ja energiatihedus on võrreldav liitiumioonaku omaga. NiMH-aku puuduseks on kiire isetühjenemine: ka kasutamata väheneb aku laeng kuni 1% päevas. Viimasel kümnendil kasutatakse enamik elektriautosid jõuallikana NiMH-akul põhinevat tehnoloogiat. Nikkel-metallhüdriid pole ainus materjal, millest akusid ehitada – on muid ja aku kaalu ning energiamahutavuse suhtelt hoopis efektiivsemaid materjale. Paljutootavaim nendest on liitium.[20]

Esimest liitiumakut tutvustas M. S. Whittingham Binghamtoni ülikoolist 1970. aastal. Liitiumaku katood koosneb titaaniumsulfiidist ja anood metalsest liitiumist. Esimeste liitiumakudega, mis sisaldasid metallet liitiumit, kaasnesid ohutusprobleemid. Ohutusprobleemide vältimiseks hakati välja töötama akusid, mis kasutaksid metallet liitiumi asemel materjale, mis sisaldaksid liitium-ioone. [20] [21]

Murrang toimus 1991. aastal kui Sony lõi esimesena müüki liitium-ioonaku. Sony liitiumakut võib nimetada tänapäeva akuks, mis on viimase kahekümne aasta jooksul loonud eelduse tööstuse kiireks arenguks. Liitium-ioonakud on tänaseks haaranud 50% kogu portatiivsete seadmete turust – näiteks sülearvutid ja telefonid jne. Liitium-ioon akude energiatihedus on umbes kaks korda suurem kui NiMH-akudel ning sama energiamahutavuse juures on see pliiakust 4–10 korda kergem. See tähendab, et vastavalt vähem kaaluks sellise akuga elektriauto – ning kuna kergema auto liigutamine nõuab vähem energiat, on liitiumakuga auto „tankimisarved” kokkuvõttes väiksemad. [19] [13] [22]

Tänu kõrgele erienergiale, võimsusele ja vähesele keskkonnamõjule on liitiumakud tänapäeva maailmas enim kasutatavad akud elektrisõidukites. Näiteks kasutatakse liitium-ioon akupakke Nissan Leafis, Mitsuhishi i-MiEV, Tesla Model S ja Chevrolet Volt. Eestis levinud Nissan Leafi aku mahtuvus on 24 kWh ja selle sõiduulatus ~124 km. Tuntud ameerika automargi Tesla Model S sõiduulatus, aku mahtuvus 100 kWh, küündib 510 kilomeetrit.

Eksperimenteerimise faasis on ka mitmeid uue põlvkonna aku tehnoloogiad, mis tulevikus elektriautodes tõenäoliselt kasutust leiavad. Need on liitium-väävel (Li-S), tsink-õhk (Zn-õhk) ja liitium-õhk (Li-õhk) akud. Liitium-räniaku võib teoreetiliselt saavutada energiatiheduse 650 Wh/kg kohta. Üks liitiumräni aku probleem on vähene laadimistsüklite arv (umbes 300 tsüklit) ning aku ebastabiilsus kõrgetel temperatuuridel.

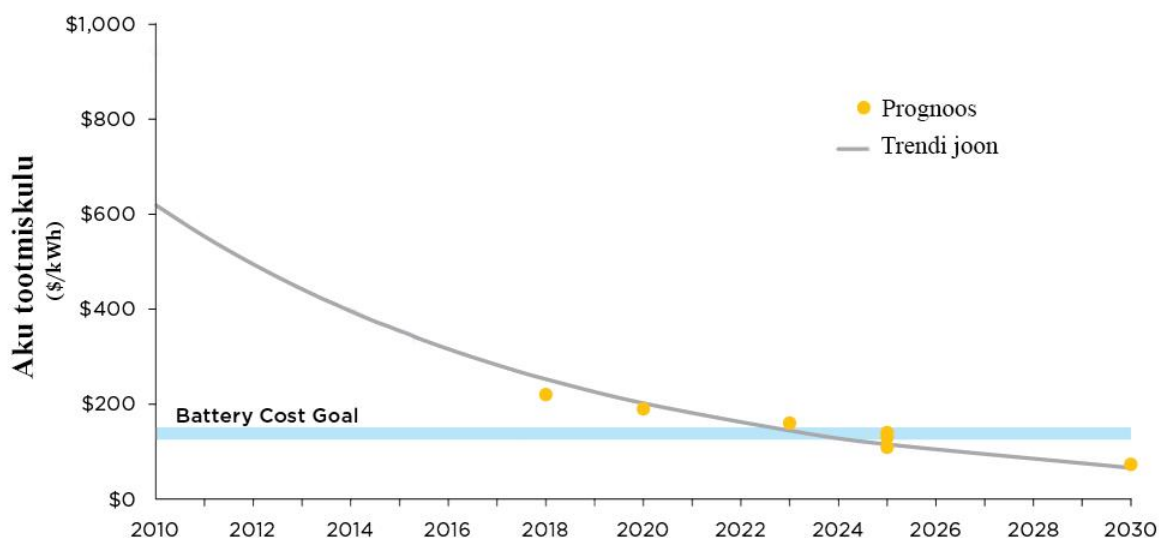
Liitium-õhkaku võib teoreetiliselt saavutada energiatiheduse 2000 Wh/kg, mis sarnaneb tavalise sisepelemismootori sõidukiga. Li-õhkakus kasutatakse anoodina liitiummetalli ja katoodina õhku. Teadlased usuvad tehnoloogia puhul energiasalvestusvõimalusi, mis on 5-10 korda suuremad kui Li-ion-akudel, kuid arvatakse, et tehnoloogia võib turule alles tulla ühe kuni kahekümne aasta pärast. Tabelis 3.1 on välja toodud mõningad elektriautode aku tüübid ja nende parameetrid. [23]

Tabel 3.1 Elektriauto aku tüübid ja nende omadused [13]

Aku tüüp	Nominaal pinge (V)	Energia tihedus (Wh/kg)	Erivõimsus (W/kg)	Isetühjenemise kiirus (% kuu jooksul)	Tsükli iga	Hind aku mahtuvuse kohta (\$/kWh)
Pliiaku	2,0	35	180	<5	1000	60
NiCd-aku	1,2	50-80	200	10	200	250-300
NiMH-aku	1,2	70-95	200-300	20	<3000	200-250
Liitium-ioon	3,6	200-400	200-430	<5	2000	150
Tsink-õhk	1,65	1400	80-140	<5	200	90-120
Liitium-õhk	2,9	1520-2000	-	<5	100	-
Liitium-räni	2,5	350-650	-	8 kuni 15	300	100-150

3.2.1 Aku hind

Nii nagu mõõdetakse kasutatud elektri hulka tavatarbijatele, nii mõõdetakse elektriautode mahtuvust energiaühikuga kilovatt-tund (kWh). Kui 2010. aastal tulid turule esimesed elektriautod, maksid nende akupakid hinnanguliselt 1000 USA dollarit kilovatt-tunni kohta (kWh). Täna maksab Tesla mudel 3 aku 190 dollarit kWh kohta ja General Motorsi 2017 Chevrolet Bolt aku hind on hinnanguliselt umbes 205 USD / kWh. 8-aastaga on kilovatt-tunni hind langenud enam kui 70% (joonis 3.4). [24]



Joonis 3.4 Aku tootmiskulu \$/kWh-i kohta [24]

Prognoositakse, et elektrisõidukid maksavad sama palju või isegi vähem kui bensiinimootoriga sõidukid ajal, mil akupakkide hind jõuab vahemikku 125 kuni 150 dollarit kWh kohta. Analüütikud on prognoosinud, et eelpool mainitud hinnatasemeni jõutakse 2020. aastal. Lisaks on prognoositud, et liitium-ioonakude hind langeb kuni \$ 73 / kWh aastaks 2030. [24]

3.3. Laadijad

Elektriautod vajavad regulaarset laadimist samamoodi nagu tavaautod tankimist. Nii nagu bensiinijaamas saab valida erinevate autokütuste vahel, on ka erinevaid võimalusi elektriauto laadimiseks. Akude mahtuvuse tõttu tuleb neid laadida tihedamini kui sise põlemismootoriga autosid tankida. Elektriautode puhul on üks suuremaid eeliseid see, et „tankimiseks“ ei pea sõitma tanklasse, vaid auto saab jätta laadima pea igale poole (koju, tööle, parklasse jne), kus

on olemas elektriühendus. Aku laadimisel tuleb arvesse võtta seda, et energia, mis salvestatakse akusse, peab sinna jõudma läbi elektrivõrgu ning läbi laadimisliidese.[25] [26]

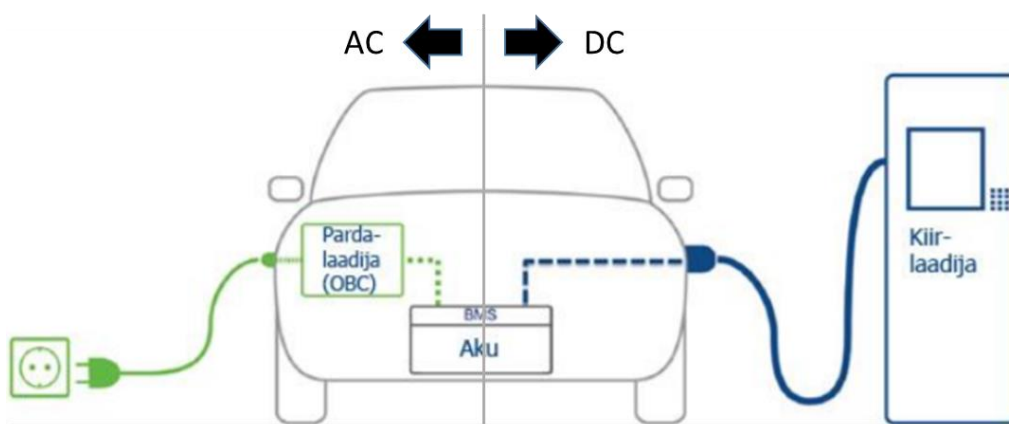
Laadides tavalisest seinapistikust võib laadimisaeg olla liiga pikk, isegi kuni mitukümmed tundi. Et autot saaks öö jooksul või tööl oleku ajal täis laadida on olemas eraldi laadimisjaamad, mis võimaldavad (olenevalt laadija võimsusest) aku täis laadida 30 minutist kuni 8 tunniga.

Laadimispunkte võib liigitada kolme rühma :

1. Kiirlaadimisüksused (*ingl. k Rapid charging units*) 43, 50, või 120kW,
2. Kiirlaadimispunktid (*ingl. k Fast charging points*) 7 kuni 22kW,
3. Aeglased laadimispunktid (*ingl. k Slow charging points*) kuni 3kW.[27]

Elektrisõidukite laadimise tehnoloogiad on kaks (joonis 3.5):

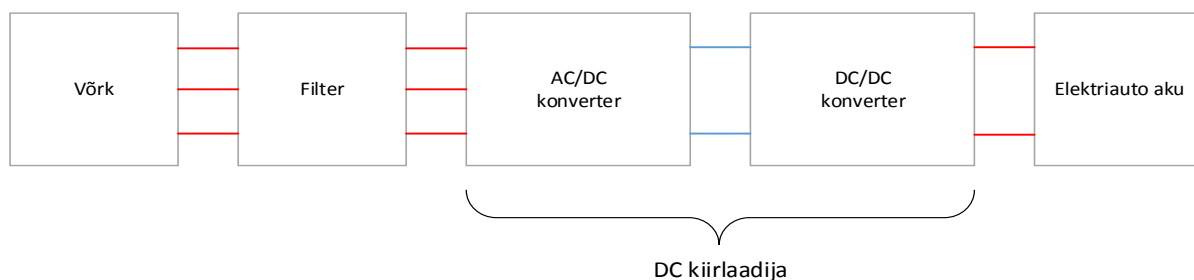
1. vahelduvoolu laadimine (AC),
2. alalisvoolu laadimine (DC),



Joonis 3.5. Vahelduvvoolu ja alalisvoolu laadimise ühenduste põhimõtteskeem [28]

Esimesel juhul laetakse elektriautot ühefaasilise vahelduvvooluga, mis muudetakse akude laadimiseks alalisvooluks elektrisõiduki siseselt, kasutades selleks elektriauto pardalaadijat (OBC – On Board Charger). AC-süsteemi alla kuuluvad 3 kuni 22 kW võimsusega laadijad. Teisel juhul laetakse elektrisõiduki akusid kolmefaasilise alalisvooluga, kasutades pardavälist laadimisaset (nn kiir-laadija). Mõlema laadimismooduse võimaldamiseks peab elektrisõidukil olema eraldi nii vahelduvvooluga kui ka alalisvooluga laadimise pistikupesad. Laadimisprotsessi iseloomu määrab akude juhtimissüsteem ehk BMS (Battery Management

System). DC-laadimissüsteemi korral toidetakse akut otse, ilma pardalaadijata. Alalisvoolu süsteemi kasutavad avalikud kiirlaadimis üksused, mis on võimsusega 43kW kuni 120kW. Üldine DC laadija plokkskeem on välja toodud joonisel 3.6. [28]



Joonis 3.6 Näide üldisest DC kiirlaadimisjaama plokkskeemist [18]

3.3.1. Kodulaadijad – aeglased laadimispunktid

Üldine trend elektriautode laadimiseks on kodus laadimine - umbes 95% elektriauto laadimisest toimub kodus kasutades tava-elektrivõrku. Koduses majapidamises olev „europistik“ sobib kuni 16 A voolu jaoks ning pinge selles on 230 V. Antud ühendusega on võimalik saavutada laadimisvõimsus kuni 3,5 kW mis tähendab 10 korda pikemat laadimisaega. Sellise ühenduse korral kantakse 5 tunni jooksul üle 17,5 kWh energiat. Ohutuse ja tüüpilise elektrivõrguga arvestamisel on paljudel autodel laadimisvool piiratud näiteks alla 10 A. 10 A voolu korral on maksimaalne laadimisvõimsus 2,3 kW ning 17,5 kWh laadimiseks kulub juba 7,5 tundi, ehk siis terve öö. Joonisel 3.7 on välja toodud enamlevinud aeglased laadimispistiku tüübid.[29] [30]



Joonis 3.7 Enimlevinud aeglased laadimispistiku tüübid [27]

Enamasti ühendavad autoomanikud auto elektrivõrku laadima õhtul koheselt pärast koju jõudmist. Elektriauto laadimisvõimsus on suhteliselt suur ning võrreldav kogu majas kasutatavate elektritarbijate koguvõimsusega. Ühe auto laadimist võib koormuse mõistes pidada vastavaks uue tarbija koormusele. Majaomaniku jaoks võib see tähendada eramu liitumiskilbis peakaitsme vahetust. Näiteks 15 A laadimisvoolu korral ei tohiks 16 A peakaitsme puhul olla samale faasile ühendatud ühtegi muud tarbijat. 25 A peakaitsegi võib osutada ebapiisavaks, kui samas faasis on näiteks pesumasin/kuivati/keedukann. Valjalik on arvestada, et ainuüksi laadijast ei piisa, vaid ka autol peab olema peal piisavalt võimas pardalaadija, et see suudaks laadimisvoolu “vastu võtta”. Nissan Leafil on näiteks kas 3,3 kW või 6,6 kW pardalaadija, olenevalt mudelist. Teslal on standardvarustuses 11 kW ja lisana võimalik osta 22 kW pardalaadija. Lisaks sellele vajab elektriauto laadimiseks vastavat kaablit, mis on sobilik pideva suure vooluga tarbimiseks. Elektriauto laadimiseks valmistumine võib tähendada teatavat väikest investeeringut.[29]

3.3.2. Kiirlaadijad

Kiirlaadijad, nagu nimigi ütleb, laevad auto täis kiiresti. Tavaline laadimisaeg neis laadijates kestab 15 minutit kuni 1 tund. Kiire laadimissüsteemi puhul saab eristada kahte konfiguratsiooni, olenevalt elektrivoolu suunast, kas võrgust sõiduki akusse või vastupidi.

Esimene konfiguratsioon on tuntud kui ühesuunaline kiirlaadija (*ingl. k unidirectional*). Selline konfiguratsioon võimaldab laadijal juhtida voolu elektrivõrgust elektriauto akusse. Selle konfiguratsiooni eelis on see, et laadimine ei vähenda aku kasutusiga oluliselt, sest tsüklite arv on piiratud. Tehnoloogia puuduseks on see, et ühesuunaline laadija ei saa osaleda V2G süsteemides, see tähendab, et vool ei saa liikuda akust võrku. [31]

Kahesuunaline (*ingl. k bidirectional*) laadija võimaldab elektrienergial liikuda mõlemas suunas. Kahesuunaline laadija töötab kahes režiimis: laadimine ja tühjendamine. See on kasulik V2G süsteemide rakenduses ja elektriautode laiema leviku korral. [31]

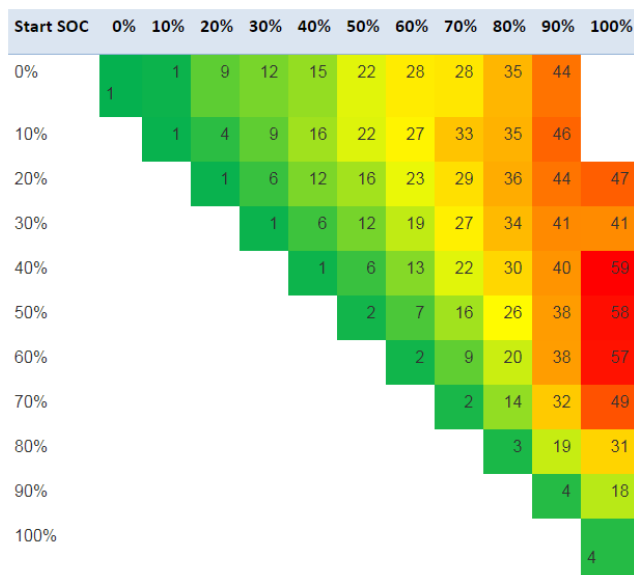
Kiirlaadimisjaamad sobivad hästi näiteks tanklatesse või kiirsõögikohtadesse. Tuntuimad laadimistüübid on CHAdeMo, CCS ja Tesla Type 2 (joonis 3.8). CHAdeMo laadimisstandardi kasutavad Jaapani autod, nagu Nissan Leaf, Mitsubisi i-MiEV, PHEV, Kia Soul jt. Kiirlaadimisstandardit toetava organisatsiooni CHAdeMO andmete kohaselt on 2018. a

märtsi seisuga maailmas paigaldatud enam kui 18 000 kiirlaadijat. CCSiga ühilduvate mudelite hulka kuuluvad BMW i3, VW e-Golf ja Hyundai Ioniq. [32]



Joonis 3.8 Kiirlaadimisjaama pistikutüübid [27]

Kiirlaadimine on kiire, kuid täpne laadimisaeg sõltub väga palju sellest, kui palju on eelnevalt akus elektrit ning kui suur mahtuvus on elektriauto akul. Vähem mängivad rolli ilmastikuolud. Kiirlaadimise kiirus muutub laadimisprotsessi jooksul - mida enam akud täituvad, seda aeglasemalt laetakse, et vältida akude kuumenemist. Joonisel 3.9 on välja toodud aku laadimiskiirused sõltuvalt aku energijäägist. Joonise vasakul veerus on aku täituvus laadimise alguses ja ülareas laetuse tase lõpus. Ruudustikes on keskmised laadimisajad minutites. [33]



Joonis 3.9 Aku laadimiskiirus sõltuvalt aku energijäägist (ingl. k SOC – state of charge). Joonise vasakul veerus on aku täituvus laadimise alguses (%) ja ülareas laetuse tase lõpus. Ruudustikes on keskmised laadimisajad minutites [33]

3.3.3. Eesti laadimisvõrgustik – ELMO

Vabariigi Valitsus sõlmis 2011. aasta märtsis Mitsubishi Corporationiga lepingu 10 miljoni AAU ulatuses saastekvoodi müügiks, et alata Eesti elektromobiilsuse programm. Sotsiaalministeeriumi poolt võeti näidiskasutusse 507 Mitsubishi iMiev elektriauto, toetuskeemi alusel toetati 657 elektriauto ja laetava pistikhübriidi soetamist ja aastaks 2013 rajati kogu riiki kattev elektriautode laadimistaristu. Eesti elektriautode laadimisvõrgustik on rajatud CHAdeMo standardi järgi. Kiirlaadijatest paikneb 102 linnades ja 65 maantee ääres, kokku 167 laadijat. Suurematest linnadest on Tallinnas 29, Tartus 11, Pärnus 5 ja Narvas 2 kiirlaadijat. [33]

Elmo kiirlaadimise statistika alusel on 2017. aasta Eesti kiirlaadimisvõrgus laetud autosid enam kui 130 tuhat korda ning energiat kanti üle ligikaudu 1461 MWh. Ühe laadimissessiooni kestvus on keskmiselt 21 minutit (lisa 1). [33]

3.4. Elektriautode mõju elektrisüsteemile

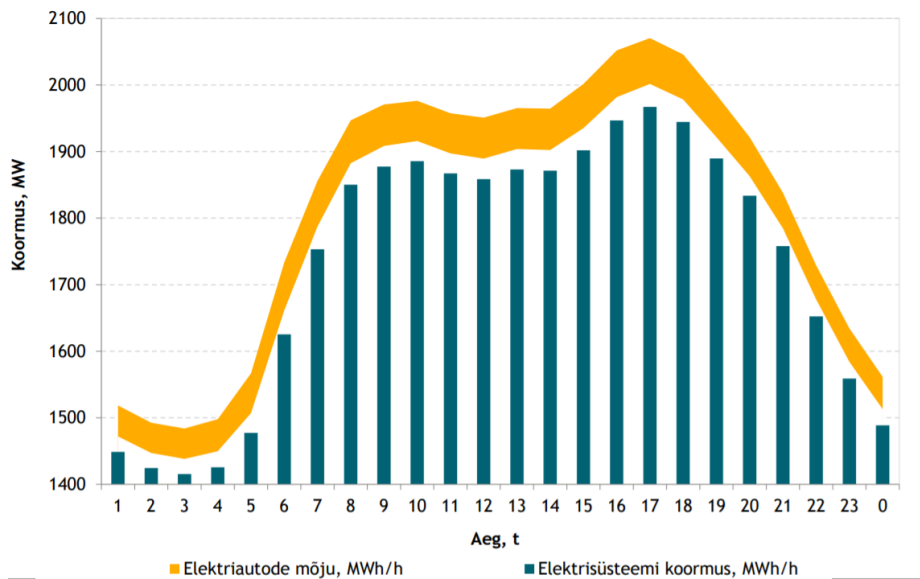
Lisaks mitmetele eelistele, mida elektriauto areng võimaldab, on ka muresid mida laialdasem elektriautode levik tulevikus elektrivõrgule tekitab. Massiline elektrisõidukite integreerimine elektrisüsteemi võrku aku laadimiseks võib endaga kaasa tuua negatiivset mõju elektrivõrgule ja selle talitlusele. Näiteks kõrgemate harmoonikute teke, kadude suurenemine, pingete asümmeetria, võimsuse nõudluse suurenemine ja seadmete ülekoormus.

3.4.1. Elektriautode laadimisest tingitud tarbimisvõimsuse kasv

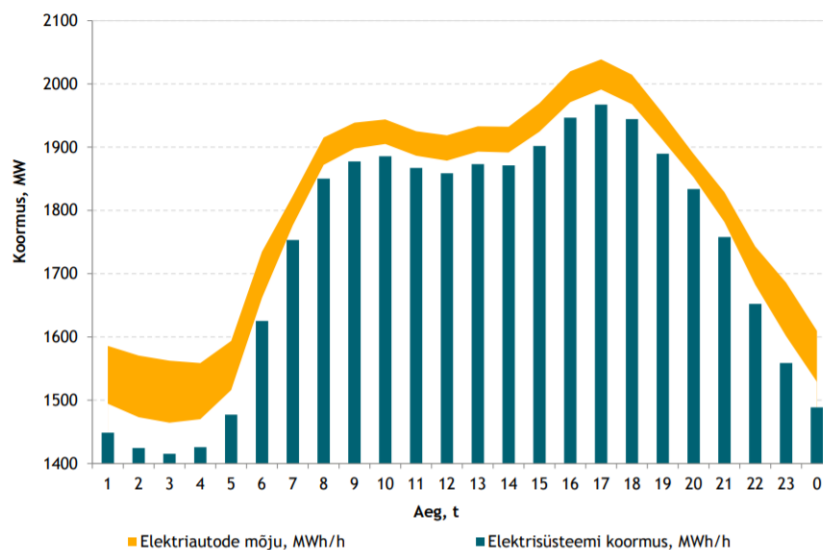
Elektriautode integreerimine elektrijaotusvõrku lisab elektrivõrgule täiendavat koormust. Kui elektriauto on laadimiseks ühendatud võrku, tähendab see elektritootjale lisanõudlust, mida on vaja tarbijale pakkuda. Kuna elektriautosid võivad omanikud laadida igal ajal, olenevalt vajadusest, võib tekkida potentsiaalne oht tipukoormuse tundide suurenemisele.

2013. aasta alguses läbi viidud Eleringi uurimistöö käigus modelleeriti elektriautode võimalikku mõju elektrisüsteemile talvise tipukoormuse ajal aastal 2030. Mudelis kasutati maanteeameti prognoose, eeldati, et elektriautode osakaal sõiduautode kogu osakaalust Eestis võib jääda vahemikku 10-30% ehk 70 000 kuni 210 000 autot. Modelleeriti kahte

laadimiskäitumist. Esimesel juhul eeldati, et laadimist juhitakse targalt ning vastavalt elektrituruhinnale (enamasti öösiti). Targa laadimise korral on tipukoormusperioodidel süsteemi koormus 30-75 MW. Koormus suureneb veelgi öösiti ning seepärast on ka elektriautode lisandumisel juhitud laadimisega elektrisüsteemi koormust siluv efekt. Päevane täiendav elektrienergia tarbimise nõudlus suureneb tipuaegadel 2–5%. Teisel juhul eeldati, et laadimist ei juhita ning kõik hakkavad laadima sisuliselt kohe, kui auto õhtul auto ära pargivad. Juhul kui laadimist ei juhita, võib tipukoormuse tundidel koormus suureneda 40–100 MW. [34]



Joonis 3.10 Elektriautode juhuliku laadimise mõju koormuskõverale [34]



Joonis 4.11 Elektriautode juhitud laadimise mõju koormuskõverale [34]

3.4.2. Elektriautode põhjustatav pingete asümmeetria

Pinge asümmeetria on mitmefaasilise võrgu seisund, mille puhul faasipingete efektiivväärtused või faasidevahelised nihkenurgad pole võrdsed. Kuigi suur osa elektriautode laadimisest toimub ühefaasiliste laadijatega, siis arvestades suurt autode hulka jaguneksid kolmefaasilises süsteemis koormused võrdselt faaside vahel. Elektriauto laadimine erineb teistest ühefaasiliste tarbijate kasutamisest keskmisest pikema kestvuse ja suurema üheaegsusteguri poolest. See loob omakorda võimaluse, kus teatud hetkedel on tarbimine ühes faasis siiski märgatavalt suurem. Selline voolude erinevus võib tingida pingete asümmeetria jaotustrafos ning ka märgatavad voolud neutraaljuhhis. Pinge asümmeetria on oluline elektrikvaliteedi näitaja, mille suuremahuline esinemine jäik-maandatud elektrisüsteemides põhjustab pöörlevatele seadmetele (mootor ja generaator) kahjustusi.[28] [35]

3.4.3. Harmoonikud

Enamasti eeldatakse, et elektrivõrgu pinge ja vool on siinuselise lainekujuga. Tihti esineb ka moonutatud kujuga perioodilist lainet. Moonutused on seletatavad kõrgemate harmoonikutega, mida põhjustavad mittelineaarsed elektritarvitid. Harmoonikute probleem on tõusnud esile jõuelektroonikal põhinevate seadmete leviku tõttu. Elektriauto laadija kasutab jõuelektroonikat oma laadimisoperatsiooni jaoks, mis võib toitevõrgule kaasa tuua energiakvaliteedi probleeme nagu kõrgemad harmoonikud. Elektrivõrgu kõrgemad harmoonikud põhjustavad elektrivõrgus isolatsioonmaterjalide kiiremat vananemist ning mõjutavad elektrivõrgust toite saavaid elektriseadmeid, tuues pikemas perspektiivis kaasa suuri majanduslikke kahjusid. Kuna häiring pärineb kõrgemalt pingest, on harmoonikutest oluliselt mõjutatud just jaotusvõrgu kaabelliinid ja trafod. [28] [35]

3.4.4. Võrguseadmete ülekoormus

Elektriautode massiline laadimine elektrivõrgust nõuab tohutut võimsust elektritootmisjaamadelt. Võrgu komponendid ei pruugi olla kavandatud uute täiendavate elektriauto-laadijate teenendamiseks, seega võib see põhjustada elektritaristu komponentide ülekoormuse. Võrgukomponentide, näiteks trafo ja kaabli, ülekoormamine võib põhjustada laiema elektriautode sõidukite kastuselevõtu piirangu.

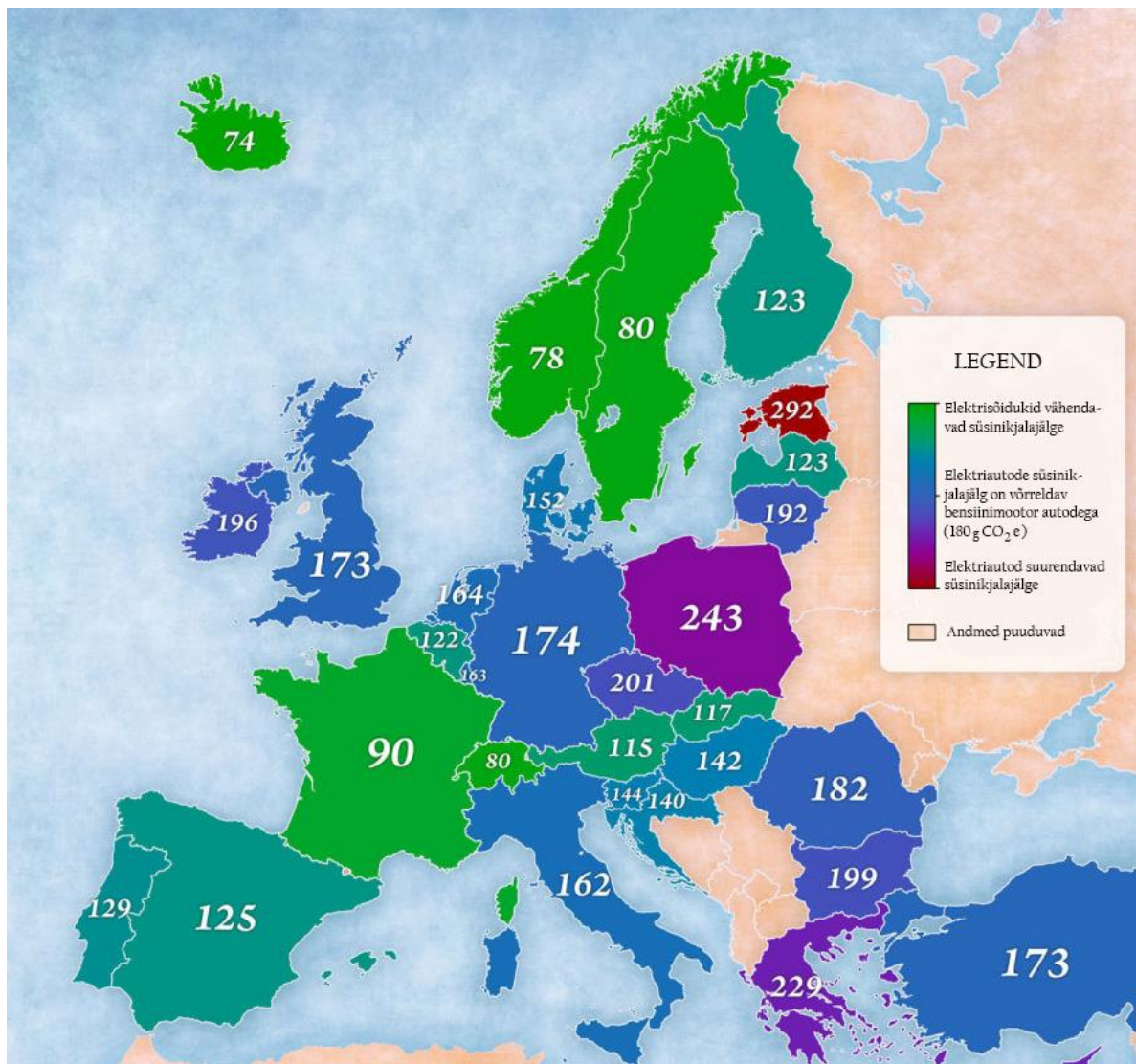
3.5. Mõju keskkonnale

Elektriautosid kutsutakse kui saastevabasid autosid – need ei paiska välja CO₂-gaasi ega tervisele kahjulikku lämmastikoksiidi. Lisaks sellele ei tekita elektrisõidukid müra. Siiski ei saa täielikult väita, et elektriauto on keskkonnasäästlikum kui sise põlemismootoriga sõiduk.

Esimene probleem seisneb liitiumioonakude tootmises. Liitiumioon akude tootmine on üsnagi energia ja materjalimahukas, nende tootmisega kaasnevad heitkogused on suuremad kui tavapäraste akude tootmise puhul. 134 kilomeetri ulatusega keskmise suurusega elektriauto tootmine eraldab umbes 15 protsenti rohkem heitmeid kui samaväärse bensiinimootoriga auto tootmine. Suuremate pikemadistantsiliste sõidukite korral, mis läbivad täislaetud akuga rohkem kui 400 kilomeetrit, võib tootmisheide olla isegi 68 protsenti suurem. [36]

Patareide tootmine on väga energiamahukas protsess. Kuid peamine põhjus, miks elektrisõidukite CO₂-jalajälg võib olla märkimisväärne, on viis, kuidas elektrienergiat toodetakse. Elektrienergia tootmise heitetegur sõltub vastavalt elektrijaama tüübist (energiaallikana kasutatakse kas kivisütt, maagaasi, tuumaenergiat, hüdroenergiat, tuuleenergiat jne). Erinevates riikides toodetakse elektrienergiat erinevatest energiaallikatest, mistõttu elektriautode poolt tekitatud kasvuhoonegaaside heitkogused sõltuvad olenevalt riigist. Energeetika ja kliimamuutuste konsultant Damien Linhart on oma artiklis joonistanud kaardi, kus on välja toodud elektriauto poolt ühe kilomeetrit läbimisel põhjustatud süsinikdioksiidi heitkogused (gCO₂e/km) riigiti (joonis 3.12).

Artikkel jagab Euroopa riigid nelja kategooriasse: esiteks rohelist värvi maad, milles kasutatakse peamiselt taastuvenergiat (näiteks Island ja Norra, kus elektriautod sõidavad hüdroelektrijaamades toodetud energiaga). Teiseks riigid, milles asuvad tuumajaamad (Prantsusmaa, Slovakkia ja Ungari puhul saadakse vastavalt 77%, 57% ja 54% energiast just neist) ja tänu millele on elektriautode jälg keskkonnale pisut väiksem. Kolmandaks riigid nagu Saksamaa, kus peamine osa elektrist toodetakse eeskätt maagaasist. Neis riikides elektriauto tekitatav süsiniku jalajälg enamvähem võrdne diisel- või bensiinikütusega sõitva auto omaga. Neljandasse kategooriasse lahterdatakse kaardil riigid, milles suurem osa elektrienergiat toodetakse kivisöest või põlevkivist – näiteks tumelilla Poola ja punane Eesti. Artikli andmetel tekitab elektriauto Eestis 60% enam süsihappegaasiemissioone kui bensiini või diisliga sõitev masin. [37]



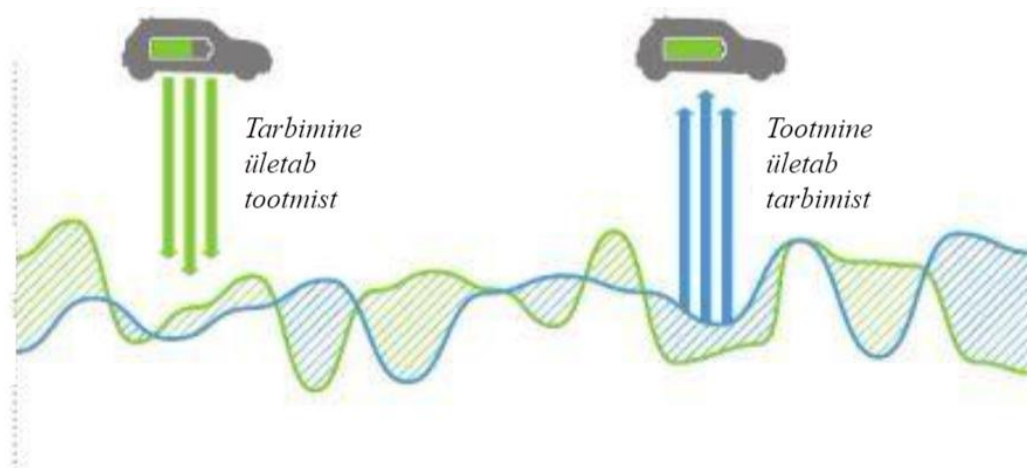
Joonis 3.12 Ühel kilomeetri läbimisel põhjustatud süsinikdioksiidi heitkogused (gCO₂e/km) riigiti [37]

Täielikult ei saa antud artikliga nõustuda, sest Eesti elektrisüsteem osaleb energiaturul Nord Pool Spot, kus erinevate riikide (Taani, Norra, Eesti, Soome, Läti, Leedu, Suurbritannia, Saksamaa ja Rootsi) elektritootjad konkureerivad omavahel turuhinna põhiselt. Seega võib elektriauto tankimise allikaks osutada ka Skandinaaviast pärit hüdroenergia või tuuleenergia. Seetõttu oleksid kaardi andmed tõesed vaid juhul, kui elektriautod sõidaksid kõikjal Euroopas rangelt vaid selle elektrienergia abiga, mis nende kodumaal on toodetud. [38]

4. V2G – Autost võrku

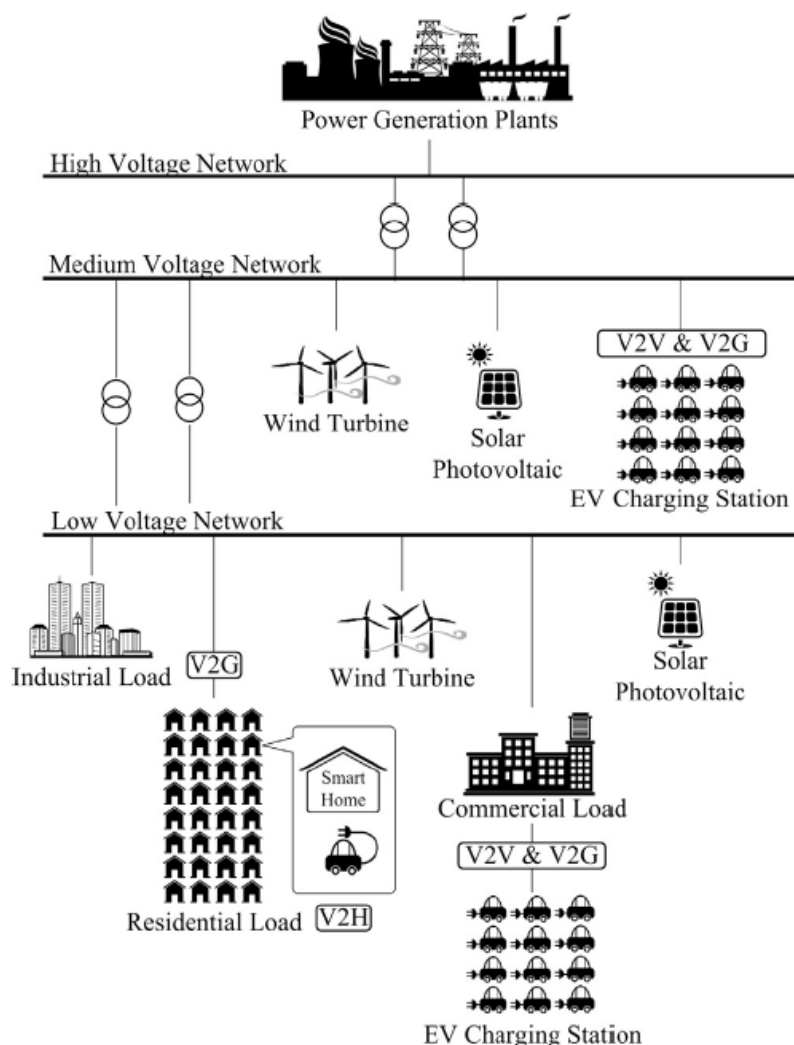
Elektrisõidukite kasutuselevõtu soov on vähendada keskkonnamõjusid ja saavutada energiasõltumatus. Nagu eespool on mainitud, pakuvad elektrisõidukid mitmeid eeliseid võrreldes traditsiooniliste sisepõlemismootoritega sõidukitega. Arusaadavalt pakub elektrisõidukite massiline kasutuselevõtt ka väljakutseid, nagu massiline reguleerimata laadimine, võimsuskoormuse kasv ja elektrienergia kvaliteedi muutumine. Üheks väljapakutud viisiks nende probleemide lahendamiseks on V2G süsteem – autost võrku (*ingl. k vehicle-to-grid*)

Spetsiaalselt konstrueeritud kahe-suunaliste laadijate kaudu on sõiduk või muu transpordivahend, näiteks elektriauto või hübriidauto, integreeritud jaotusvõrgu elektrisalvestiks. V2G-süsteemi abil muudame elektrisõidukid - nii kodus kui ka tööl – elektrienergia mikrotootjateks. Sõidukiomanikud osalevad sisuliselt kahe-suunalises energiakauplemises, kellelt võrguettevõtja fikseeritud või oksjonihinnaga energiat saaks osta. Lisaks sellele võimaldab meetod elektriijaama koormusgraafiku ühtlustamist (öösel), suurendades tarbimist kui koormus on väike ja toetada elektriijaama tipukoormuste ajal (hommikul ja päeval). Samuti aitab see siluda taastuvenergiaallikate mitteühtlast energiatootmist ja vajadusel tootmistippude ajal toodetud energia akudesse salvestada (joonis 4.1).[17] [39]



Joonis 4.1 V2G koormusühtlustus (sinine joon – tootmine, roheline joon – tarbimine)[40]

V2G – süsteemi võib liigitada ka mitmeks erinevaks tüübiks sõltuvalt tööviisist. Näiteks sõiduki-kodu (V2H), sõiduki-sõiduki (V2V), sõiduki-ehituse (V2B) ja sõiduki-võrgu (V2G) vahel. Kõik need süsteemi tüübid kasutavad elektriauto aku võimsust toitevõrgu toetamiseks. V2H-s korral kasutatakse akut elektrienergia salvestina, salvestades päikeseenergia ülemäärase võimsuse. Samuti on võimalik akust saadavat energiat kasutada hoone elektritarbijate elektriga varustamiseks. V2V tehnoloogia võimaldab energia jagamist elektriautod vahel. Kõigi eelpool nimetatute hulgas omab V2G - süsteem kõige rohkem võimalusi, toetades võrgu võimsusbilanssi ja stabiliseerides jaotusvõrgu võimsuse nõudlust (joonis 4.2).[17]



Joonis 4.2. V2H, V2V ja V2G - tehnoloogia raamistik taastuvenergia hajutatud tootmisel
[17]

Vaatamata V2G kahe-suunalise süsteemi eelistele, nõuab see ka mitmeid nutikaid strateegilisi lahendusi. Võrgupõhiselt vaadatuna, nagu varasemalt mainitud, et elektriautod moodustavad

omapoolse lisakoormuse võrgule. Seetõttu on elektriautode laadimiskava kavandamine hädavajalik, et hajutada koormus selliselt, et see ei lisaks elektrivõrkudele tiputundide ajal lisakoormust ja samas vähendaks negatiivset mõju võrgule. Elektriautode laadimine olema nõuab strateegilist kontrolli, et saada kasu V2G tehnoloogia teenustest nagu tipukoormuse silumine ja koormus ühtlustamine.[18] [41]

V2G-kontrolli rakendamisel on kaks peamist meetodit. Esimest meetodit nimetatakse tsentraliseeritud kontrolliks. Tsentraliseeritud juhitavas regioonis saadaval olevate elektriautode kollektiivne energia on kavandatud / kontrollitud, et neid laadida ja tühjendada sõltuvalt elektrivõrkude nõudlusest. Teine meetod on hajutatud juhtimissüsteem. Hajutatud juhtimissüsteemis töötavad elektriautode omanikud oma vastavalt oma profiilile, tahtmisele ja nõudmisele. Mõlemal meetodi on omad plussid ja miinused. [18]

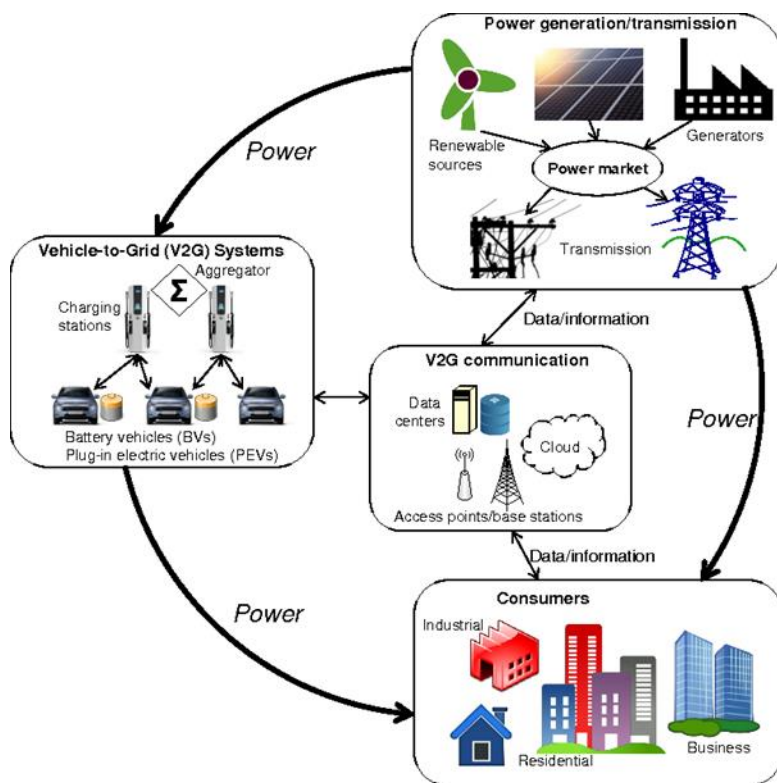
Korrapärase kontrolli ja juhtimise abil saab V2G tehnoloogia elektrivõrkudele mitmesuguseid teenuseid vastutasuks elektrile, mida auto laadimiseks kasutab. Mõningad teenused, mida V2G tehnoloogial ühendatud elektriautod saavad elektrivõrkudele pakkuda on järgmised.

1. Pöörlev- ehk kuumreserv: kuum reserv on elektrijaamade võimsuse suurendamiseks täiendav võimsus, mis tarnitakse elektrivõrku vajaduse korral. V2G – süsteemi saab kasutada kuum reservi teenusena, kus elektrivõrguga ühendatud elektrisõidukile salvestatud energiat kasutatakse täiendava tootmisvõimsusena katkestuse kompenseerimiseks. Tootmisüksustel on alati varu tootmisvõimsus katkestuse või vea korral, kuid V2G-tehnoloogia võib toetada tõrgete korral võrgu taastumist ja minimeerida varu tootmisvõimsust.[13]
2. Tippkoormuse silumine ja koormuse ühtlustamine: tihtipeale esineb tööstuse, kaubanduse ja elamu jaotusvõrkude koormustel esineb lühiajaline tipuvõimsus. Energiatõhususe, majandusliku kasu, elektrivõrkude ülekoormamise ja võrgu vananemise vältimiseks jaoks on vajalik ühtlustada ja siluda tipukoormust. V2G tehnoloogia pakub võimalust kasutada elektriautot kui salvestit, mis järgib tarbimiskõverat. Kui tarbimine ületab tootmist siis akudesse salvestatud energiat saab anda elektrivõrku ning kui tootmine ületab tarbimist, siis salvestatakse energiat akudesse. Sellest tulenevalt muutub suurte baaselektri genereerimise seadmetekasutuskõver ühtlasemaks ning tippude kompenseerimiseks mõeldud jaamu saab kasutada baaskoormusjaamadena. [13] [42]

3. Pinge reguleerimine: pinge kvaliteet on oluline tegur, mida on vajalik reguleerida elektrivõrgu korrapäraseks töökindlaks toimimiseks. V2G tehnoloogia abil saab pingereguleerimist ja võimsuse korrigeerimist läbi viia tänu elektriautode kahesuunalistele laadijatele. [13] [43]
4. Harmoonikud: tänapäeval on elektrivõrkudega ühendatud mitmeid mittelineaarseid elektritarviteid. Viimasel ajal on harmoonikute probleem tõusnud esile jõuelektroonikal põhinevate seadmete leviku tõttu. Samuti on elektriauto laadijad täiendav mittelineaarne koormus, mis sisendab harmoonikuid elektrivõrku. Elektriautode laadijate asjakohase juhtimisega saab laadijaid kasutada aktiivse filtrina, et välja filtreerida EV-laadijate ja muude võrguga ühendatud mittelineaarsed koormused. [13] [35]
5. Taastuvate energiaallikate toetus: taastuvate energiaallikate elektrivõrguga integreerimine on piiratud olemasolevate energia salvestussüsteemide tõttu. Juhul kui taastuvad energiaallikad genereerivad rohkem energiat, kui on nõudlus ja pole võimalik salvestada, siis ülejääv energia hulk on raisatud. V2G abil saab elektriautosid kasutada salvestina siis, kui taastuvate energiaallikate poolt on tekkinud energia ülejääk ja samamoodi kasutada reservtoiteallikana olukorras, kui taastuvenergiaallikas elektrit piisavalt ei tooda. Kuna V2G lahendab energia salvestamise probleemi, on võimalik üha enam taastuvenergia ressursse integreerida elektrisüsteemi, vähendades keskkonda ähvardavaid ohte ja saavutades säästvama energiasüsteemi. [13]

4.2 V2G potentsiaalne arhitektuur

Joonisel 4.3 on kujutatud võimalik V2G-süsteemi üldine potentsiaalne tarkvõrgu arhitektuur koos elektritootmise / ülekande, elektritarbijate ja elektriautod kasutajate vaheliste koostoimega. Energiasüsteemi hulka kuuluvad generaatorid, taastuvad energiaallikad ja võrk edastamiseks. Süsteemid varustavad energiat nii tarbijatele (nt elamud, tööstus, äri) kui ka V2G süsteemidele. V2G süsteemid koosnevad energiavõrku ühendatud elektriautodest, mis on võrguga ühendatud avalike ja erasektori laadimisjaamade ja agregaatide kaudu. Agregaat on vahendaja, mis kontrollib ja optimeerib energiavoogu elektrivõrgu ja V2G süsteemide vahel. V2G süsteem toimib nii energiasalvestisena kui ka tarbijana. V2G kommunikatsioon pakub elektrisüsteemide, elektritarbijate ja V2G-süsteemide vahelist teavet ning koosneb sideinfrastruktuurist (nt traadita võrgud) ja töötlemisrajatistest. [44]



Joonis 4.3 V2G-süsteemi potentsiaalne tarkvõrgu arhitektuur koos elektritootmise / ülekande, elektritarbijate ja elektriautokasutajate vaheliste koostoimetega [44]

Selleks, et aku laadimine ja tühjendamine prognoositavamaks muuta on autoomanikel võimalik sõlmida pikaajaline leping V2G operaatoriga. Näiteks võib operaator pakkuda aku hooldusteenust vastutasuks nendele elektriauto kasutajatele, kes nõustuvad aku laadimisel ja tühjenemisel täitma V2G nõudeid. Sellise lähenemise abil rakendatakse täis- ja tühjaklaadimise tsentraliseeritud kontrolli. [44]

4.1. V2G väljakutsed

V2G tehnoloogial on ka mitmeid puudusi, mis tehnoloogia suhtes skeptilisust põhjustavad. Mõningad takistused ja tõkked: aku degradeerumine, investeeringute maksumus, energiakadu, autotööstuse ja naftatööstuse vastupidavus ning tarbijate heakskiit.

Üks peamine probleem on akude kasutustsüklite piirang. V2G rakendus suurendab laadimistsüklite arvu, mis omakorda vähendab aku eluiga ja auto maksimaalne läbisõit väheneb kiiremini. Aku degradeerumine sõltub väljatõmmatavast energiahulgast ja kiirusest. Oluline on energia mahalaadimise sügavus ja tsüklite sagedus. 2016 aasta läbi viidud uuringus simuleeriti

100 elektriauto aku võimsuse kadu, täites erinevaid abiteenuseid 10 aasta jooksul. Äärmuslikel juhtudel pakkusid kõik elektriauto valitud võrguteenust igapäevaselt, sellisel juhul 10 aasta jooksul kaotab auto aku 50% oma koguvõimsusest. Laadimisaja ja energiavoogude intelligentne juhtimine ja optimeerimine tagavad aku minimaalse täiendava degradeerumise. [45] [46]

Li-ioonaku on parim praegune kandidaat V2G jaoks, neil on pikk tsükliiga, suhteliselt kõrge energiatihedus ja efektiivsus. Akude areng viimastel kümnenditel on olnud kiire, tehtud on suuri edusamme. Lähitulevikus võib akude jõudlus jõuda punkti, kus aku eluea vähenemine ei ole enam probleem.

Teine probleem on V2G infrastruktuuri puudulikkus. Kahesuunaline laadija on V2G tehnoloogia rakendamiseks vajalik ja seda tüüpi laadijaid on veel vähelevinud. Valdkond on veel üsna uus ja arenemisjärgus, keerukas infrastruktuur vajab nõuetekohast planeerimist ja suuri investeeringuid. [45]

4.2. V2G süsteemi hetkeseis

4.2.1. V2G Autotootjad

V2G on üsna uudne tehnoloogia, kuid igal aastal leidub üha rohkem autotootjaid, kes soovivad ära kasutada tehnoloogia potentsiaali. Enim V2G tehnoloogiat toetavaid autosid toodetakse Nissani ja Mitsubishi korporatsioonides. Siinkohal on välja toodud mõned mudelid ja ettevõtted, mis pakuvad V2G rakenduse võimalust:

- Nissan Leaf,
- Ford F-Series,
- Tesla,
- Mitsubishi,
- BMW,
- Audi,
- Honda.

Samuti on Tesla ja Audi teatnud, et tulevikus on oodata V2G tehnoloogia valmidusega põhinevat mudeliseeriat. BMW plaanib aastaks 2020 jõuda elektriautode masstootmiseni, pakkudes 12 erinevat mudelit, mitmed neist peaksid toetama V2G tehnoloogiat. Renault

kavatseb pakkuda 20 elektriautode mudelit aastaks 2022. Prantsuse autotootja lõi 2018. aasta alguses arendusprojekti, kus Portugalis väiksel saarel viiakse läbi pilootprojekt elektrienergia üleminekute hõlbustamiseks. Volkswagen investeerib 84 miljardit dollarit akude tehnoloogia ja elektriautode arendamisse ning eeldab, et aastaks 2030 on nende toodetud 300 mudelit elektriautod. [47] [48]

4.2.2. Olemasolevad V2G süsteemid

2018. aasta veebruari seisuga on Euroopas teadaolevalt kaheksateist käimasolevat või lõpetatud V2G. Esimene V2G võrguga ühendamise projekt nägi ilmavalgust 2016.aastal, kui Nissan, rahvusvaheline energiakontsern ENEL, Mitsubishi Motors ja Taani Tehnikaülikool alustasid koostööd, mille tulemusena on valminud pilootlahendus Taanis. Kasutatudes ENEL V2G kahesuunalisi laadijaid on võrguga ühendatud kümme Nissan eNV200 sõidukit. Pilootprojekt lõpeb 2018. aasta juulis. [49]

Esimene teadaolev avalik V2G tehnoloogial põhinev laadija avati 2017. aastal septembris Soomes Helsingis. Laadija paigaldus toimus koostöös Soome võrguhaldja Heleni, Nissani ja laadijatootjatega Virta. Laadimispunkt on osa Euroopa liidu mySmartLife projektist. Projekti peamine uurimis-, katse- ja tootearendusplatvorm on Suvilahti piirkond, mis hõlmab päikeseelektrijaama, elektrivarustust ja kahesuunalist laadimispunkti. Esialgselt toetab laadimispunkt ainult automargi Nissan elektrisõidukeid. [50] [51]

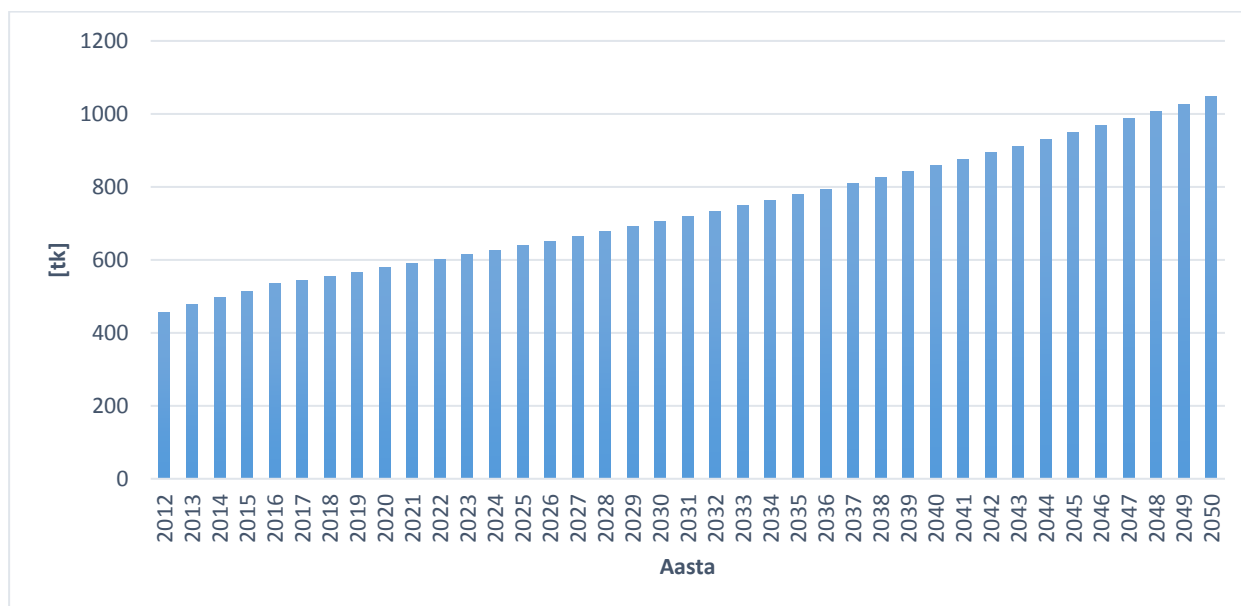
5. Elektriauto turutsenaariumid Eestis

5.1. Eesti autopargi tulevik

Lähtude Eurostati 2012. aasta andmetest oli Eestis iga tuhande elaniku kohta 456 autot. 2016. aastal oli Eesti vastav näitaja juba 534. 2013 aasta varustuskindluse aruandes on maanteeameti tellitud prognooside kohaselt aastaks 2030 autode arv Eestis 1000 elaniku kohta 520. 2016 aastal oli sõiduautode arv juba 534. Seega täideti ettearvatav maanteeameti prognoos 24 aastat varem. Viimase 6 aasta jooksul on eurostati andmete kohaselt keskmine autode arv 1000 elaniku kohta tõusnud 4 % aastas. Automüügile on hoo andnud majanduse tugev jätkuv kasv. Nii euroala kui ka ELi riikide majandus kasvas 2017. aastal hinnanguliselt 2,4%, mis on viimase aastakümne kiireim kasv. Autoturu kasv on viimased paar aastat olnud 10% juures ning 2017. aasta veelgi suurem tõus näitab, et inimeste võimalused muutuvad üha paremaks. [52] [53] [54]

Lisaks peab arvestama asjaolu, et eesti autopargi keskmine vanus on 15 aastat, mis on Euroopa liidus üks kõrgemaid näitajaid (Euroopa Liidu keskmine aga 10,7 aastat). Suurima osakaaluga Eesti autopargis on 2005.–2009. väljalaskeaasta sõidukid, neid on ligi 160 000. Järgnevad aastatel 2000–2004 väljalastud autod, mida on ca 129 000. Kolmanda grupi moodustavad 2010.–2014. aasta autod, mida on 106 000. Kõige uuemaid autosid ehk viimase kolme aasta jooksul toodetuid on Eesti autopargis ligi 64 000. [55]

Sõltuvalt majanduskasvust ja autopargi vanusest on tendents jätkuvale autopargi tõusule. Arvestades jätkuvat majanduskasvu ja autopargi uuenemist lähtub autor seisukohast, et vahemikus 2018 kuni 2050 toimub autopargi tõus – 2% aastas. 2030. aastaks on sellisel juhul Eesti teedel liiklemas ~928 tuhat sõidukit. 21. sajandi keskpaigaks jõuab autode arv ~1047 ühikuni 1000 elaniku kohta ehk rohkem kui üks auto ühe elaniku kohta (joonis 5.1).



Joonis 5.1 Sõiduautode arv 1000 elaniku kohta Eestis

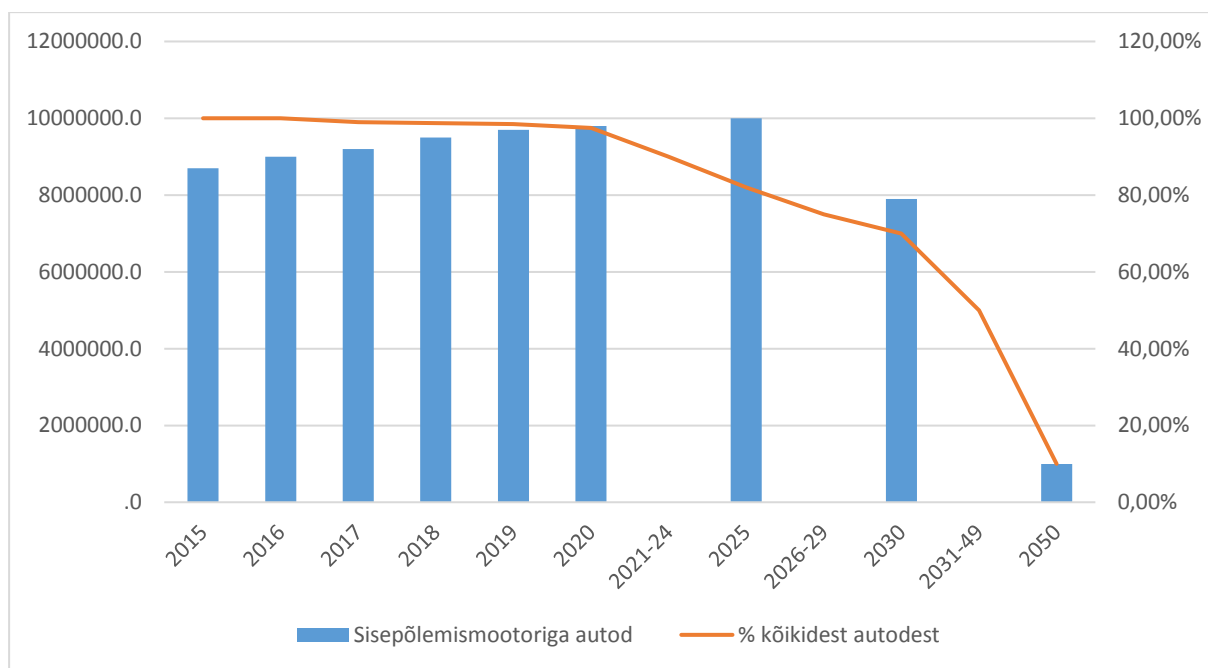
5.2. Elektriauto turustsenaariumid

Tuginedes erinevatele allikatele ja mudelitele loob magistritöö autor antud uurimustöös neli erinevat Eest elektriauto turustsenaariumit ajavahemikuks 2017 kuni 2050 aastani.

- 1. stsenaarium: stsenaarium, mis lähtub Maanteeameti prognoosist. Prognoosist lähtuvalt arvestatakse, et Eesti elanikkonna suurus kasvab, seega võib sõiduautode arv aastaks 2030 jõuda 681 000-ni. Elektriautode osakaal sõiduautode kogu osakaalust Eestis võib jääda vahemikku 10-30% ehk 70 000 kuni 210 000 autot.[34]
- 2. stsenaarium põhineb analüütikute simulatsioonil, mis on kujundatud erinevate mudelite abil. Bank of America Merrill Lynchi prognooside kohaselt langeb sise põlemismootoriga autode osakaal 99%-lt 10%-le aastaks 2050 (joonis 5.2). Lisaks eeldab stsenaarium järgmisel kümnendil tehnoloogilist läbimurret aku tehnoloogias, mis toob kaasa elektriautode hinna vähendamise ja seega ka turu kiire kasvu alates 2020. aastast. [56] [57]
- 3. stsenaariumi kohaselt saavad elektriautod suhteliselt väikse osa autopargist. Siin jäävad sise põlemistehnoloogial põhinevad sõidukid oluliseks ka pikemas perspektiivis. Suuremat läbimurret alternatiivkütuste tehnoloogias ei toimu. Sise põlemismootoriga autode tehnoloogia laialdasemale kasutamisele aitab kaasa oluliselt paranenud

kütuskulu näitaja – turule tulevad uued kütusetõhusamad automudelid. Autor kasutab Eesti viimaste aastate elektrisõidukite müüginumbreid – 34 elektriautot aastas.

- 4.stsenaarium: stsenaarium põhineb Põhjamaade Ministrite Nõukogu poolt koostatud „Balti energiatehnoloogia stsenaariumid 2018“ uuringul. Uuringu kohaselt peaks aastaks 2030. eesti kogu autopargist elektriautode osakaal olema 10 %. Mudeli prognoosi kohaselt aastaks 2050. peaks elektriautode osakaal olema 70%. [58]



Joonis 5.2 Sisepõlemismootoriga autode osakaalu langus aastaks 2050. [57]

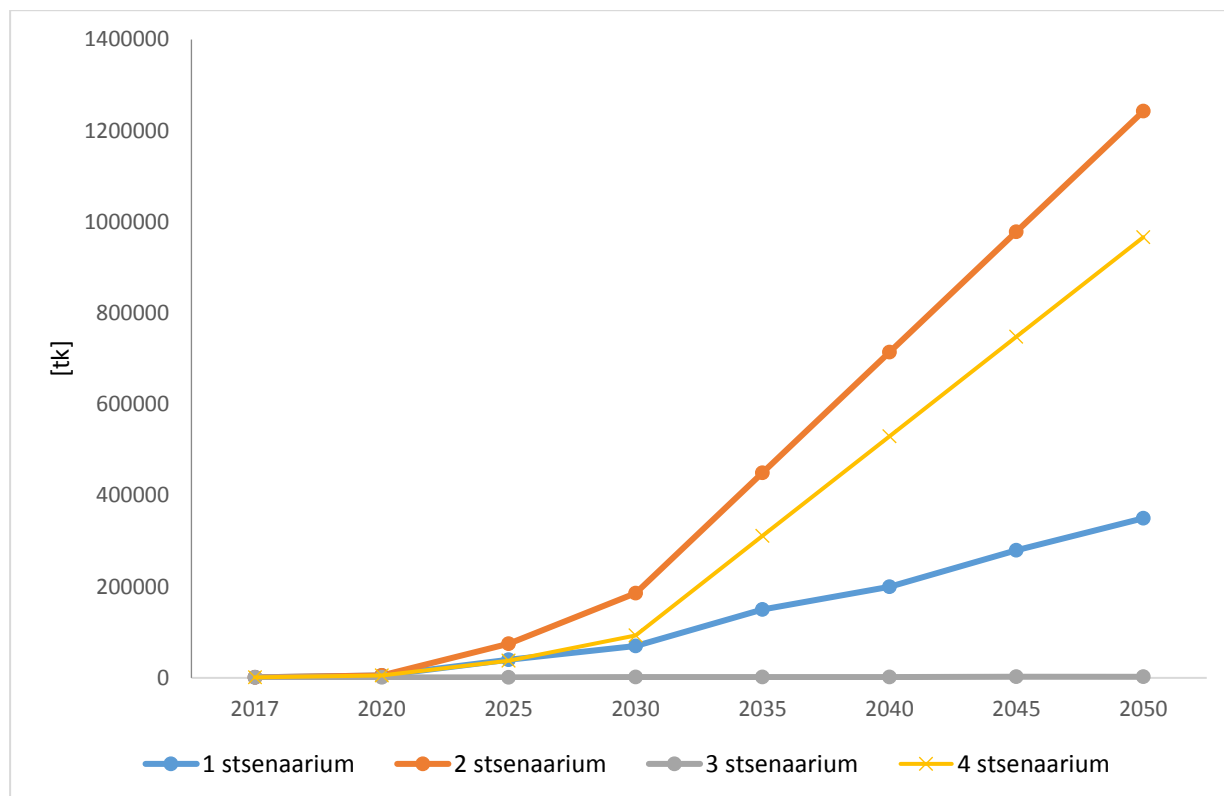
Joonisel 5.3 on välja toodud ennustatv turustsenaarium. Esimese stsenaariumi loomisel võttis magistritöö autor Maanteeameti prognoosi miinimum näitajad. Arvestati, et 2030. aastaks on turul 70 000 elektrisõidukit. Aastaks 2050. jõuab elektrilise sõidukipargi suurus 350 tuhandeni.

Teise stsenaariumi loomisel lähtus magistritöö autor seisukohast, et aastaks 2050. on Eestis elektriautode osakaal autopargist 90%. Arvestades, et aastaks 2050. on 1000 elaniku kohta 1047 autot, siis muutusteta rahvaarvu (2018. aasta 1. jaanuaril oli Eesti rahvaarv 1 318 700) korral liikleb teedel ~1,25 miljonit elektrisõidukit. [59]

Kolmanda stsenaariumi loomisel kasutati Eesti viimaste aastate elektriautode müügitrendi – 34 autot aastas. Mudeli kohaselt liikleb 2050. aastal teedel 2278 elektrisõidukit.

Neljanda stsenaariumi loomisel lähtuti, et aastaks 2030. Eesti kogu autopargist elektriautode osakaal olema 10 %. Arvestades, et Eestis on 2030. aastal 1000 elaniku kohta 704 sõidukit siis

elektribaasil liikleb tänavail ~93 tuhat sõidukit. Mudeli prognoosi kohaselt aastaks 2050. peaks elektrisõidukeid olema ~966 tuhat.



Joonis 5.3 Elektriauto turustenaariumid 2017-2050

5.3. Elektriautode potentsiaalne jaotus maakondade vahel

2013 aasta elektriautode kasutajate uuringu kohaselt on Eestis linnades ja küldes elektriautod peaaegu ühtlaselt jaotanud, vastavalt 51 % ja 49 %. Nendest suurem osa 17 % on Tallinnas, 10 % Harjumaal, 9 % Pärnumaal, 8 % Viljandimaal, 7 % Tartus, Lääne-Viirumaal, Põlvamaal. [60]

Majandusfoorum prognoosib, et aastaks 2050 elab ligikaudu 70% maailma rahvastikust linnades. Mudeli lihtsustusena ei võeta arvesse rahva sisemist rännet. Lähtume 2013. aasta uuringu tulemist ja vastandme selle tulevikuga, 2017 kuni 2050 on elektriautode jaotus maakondade vahel samasugune nagu oli aastal 2013. Lisaks arvestatakse, et elektrautod ühendatakse võrku maakonna pealinnadesse.

6. Energiasalvestus mahu hetkeseis

Tabelis 6.1 on Maanteeameti 2018. märtsi sõiduautode statistika alusel välja toodud elektriautode hetkeseis Eestis. Olemasolevate elektriautode aku mahtuvused moodustavad kokku 28,2 MWh. Statistika andmeid kasutades arvutati akumahtuvuse kaalutud keskmine Eestis, milleks on 23,6 kWh. 2015. aasta lõpus oli akumahtuvuse kaalutud keskmine 22,4 kWh, 2016. aastal 22,97 kWh ja 2017. aastal 23,4 kWh. [7]

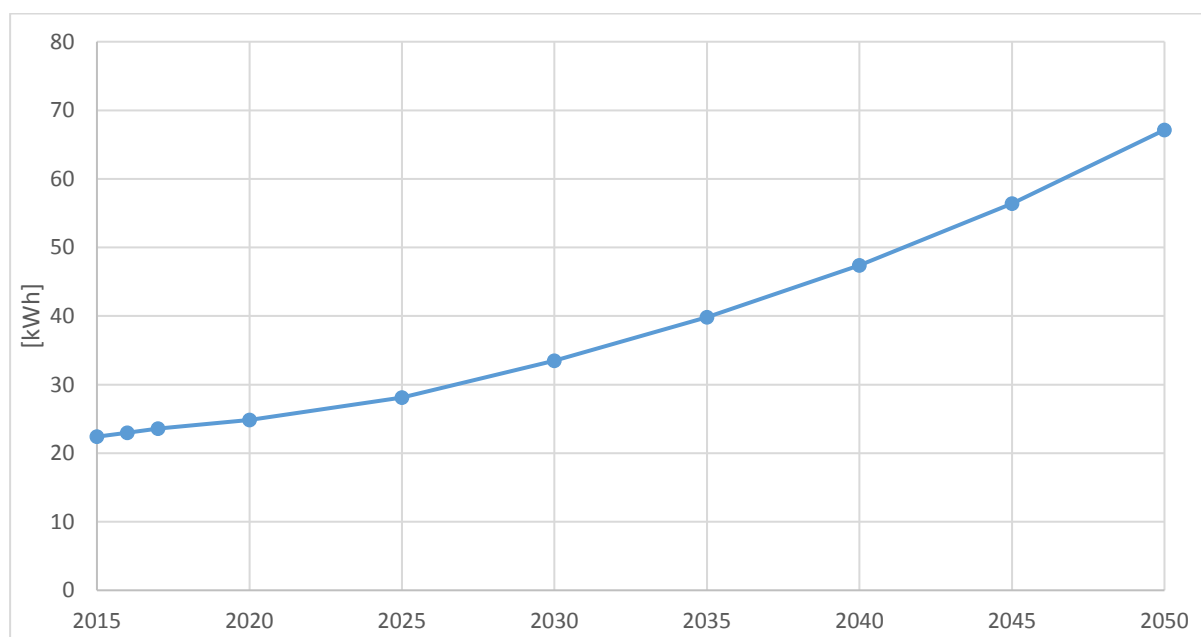
Tabel 6.1 Elektriautode kogused ja nende akumahtuvused Eestis aastal 2018 [7]

Auto	Kogus	Ühe aku mahtuvus (kWh)	Kogu mahtuvus (kWh)
Mitsubishi i-MiEV	546	16	8736
Nissan Leaf 90kW	8	40	320
Nissan Leaf 2	31	30	930
Nissan Leaf 80kW	396	24	9504
Nissan E-NV200	13	24	312
Tesla Model S	57	60	3420
Tesla Model X	10	75	750
Volkswagen e-UP	40	60	2400
MIA EV	20	8	160
Renault ZOE	17	22	374
Micro-Vett Fiorino Elettrico	10	30	300
Tazzari Citysport EMI	10	15	150
BMW i3	12	22	264
Volkswagen Golf EV	6	26	156
Kia Soul EV	6	31	186
Citroen C Zero	3	14,5	43,5
Hyundai Ioniq EV	3	28	84
Peugeot iON	1	16	16
Easymile EZ10	2	8	16
Fiat 500 EV	2	24	48
Kokku			28,2 MWh
		Kaalutud keskmine	23,6 kWh

6.1. Elektriautode akumahtuvuse trend

Liitiumaku rakke toodetakse üha suurenevates kogustes, lisaks jätkatakse nende arenadmist teadusuuringute näol, mille tulemusena muutuvad need odavamaks ja energiasäästlikumaks. Tänu tehnoloogia arengutele elektrisõidukitel olevad akud mahutavad üha rohkem kilovatt-tundi (kWh) energiat ja seetõttu saavutavad pikema sõidu vahemaa, muutes autod inimestele üha praktilisemaks. Suurima akumahtuvusega autotootja on Tesla, 2018. aasta Tesla X S100D aku mahutav 100kWh energiat. [61]

Elektriautode akumahtvuse trendi ennustamiseks kasutatakse viimase 3 aasta keskmise akumahtvuse tõusu. Statistikaandmete kohaselt on vahemikus 2015 kuni 2017 autopargi akumahtvuse kaalutud keskmine tõusnud 2,3% aastas. Joonisel 6.1 on kujutatud akumahtvuse potentsiaalne trend. Autor lähtub seisukohast, et vahemikus 2018 kuni 2050 tõuseb aasta jooksul akumahtvuse 2,3%. Sellisel juhul on 2030-ndaks aastaks akumahtvuse kaalutud keskmine ~33,5kWh. Aastaks 2050. võiks keskmine elektriutode akumahtuvus jõuda ~67kWh-ni.



Joonis 6.1 Eesti elektriautode potentsiaalne akumahtvuse trend 2015 kuni 2050

7. V2G potentsiaal Eestis

7.1. Potentsiaalne akumahtuvus

Kasutades keskmist akumahtuvuse trendi ja elektriautode võimalike stsenaariumeid leidis magistritöö autor elektriautode aku mahtuvuse ja autode kasvu stsenaariumite korrutise tulemina potentsiaalse autopargi akumahtuvuse.

Lähtudes esimesest elektriautode võimalikust arengustsenaariumst, kus kasutati Maanteeameti prognoosi, on aastaks 2030. elektriautode akude elektrienergia salvestus maht 2,28 GWh. Aastaks 2050. jõuab see arv 22,8 GWh-ni. Teise stsenaariumi korral tõuseb aastaks 2030. autode akumaht 6,05 GWh-ni. 2050. aastaks on elektriautode akumaht 81,11 GWh. Kolmanda stsenaariumi käivitumisel on 2030. aastal elektriautode akumahtuvus 0,05 GWh ja 2050 aastal 0,15 GWh. Neljanda stsenaariumi korral küündib 2030. aastal mahtuvus 3,02 GWh ja sajandi keskpaigaks 63,08 GWh-ni. Potentsiaalne akumahtuvus aastani 2050. on välja toodud tabelis 7.1.

Tabel 7.1 Potentsiaalne elektriautode akumahtuvus aastani 2050

Aasta	Aku mahtuvus, kWh	1.stsenaarium, GWh	2.stsenaarium, GWh	3.stsenaarium, GWh	4.stsenaarium, GWh
2017	23,4	0,03	0,03	0,03	0,03
2020	24,5	0,12	0,12	0,03	0,12
2025	27,4	1,09	2,05	0,04	1,03
2030	32,5	2,28	6,05	0,05	3,02
2035	38,7	5,81	17,43	0,07	12,06
2040	46,1	9,22	32,92	0,09	24,41
2045	54,9	15,36	53,67	0,12	41,03
2050	65,3	22,85	81,11	0,15	63,08

Energiamajanduse arengukava kohaselt on prognoositav elektrienergia tarbimine (koos ülekande ja võrgukadudega) 2030 aastal tänaste trendide jätkumise puhul tasemel 10 TWh aastas. Kui elektriautosid laetakse igapäevaselt, siis näiteks teise stsenaariumi korral moodustaks aastal 2030. elektriautode aku laadimisele vajaminev elektrienergia tarbimine kogu tarbimisest 22 % ehk 2,2 TWh.[8]

Lähtudes 2013 aasta elektriautode kasutajate uuringu poolt koostatud jaotusest, vastandame akumahtuvuse tulemused elektriautode jaotusega Eestis aastatel 2030 ja 2050 (tabel 7.2).

Tabel 7.2 Potentsiaalne energiasalvestus maht linnade kaupa aastatel 2030 ja 2050.

	Elektriautode osakaal Eestis, [%]	1.stsenaarium [GW]		2.stsenaarium [GW]		3.stsenaarium [GW]		4.stsenaarium [GW]	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
		Rapla	2%	0,05	0,46	0,12	1,62	0,00	0,00
Kärdla	2%	0,05	0,46	0,12	1,62	0,00	0,00	0,06	1,26
Jõgeva	2%	0,05	0,46	0,12	1,62	0,00	0,00	0,06	1,26
Haapsalu	3%	0,07	0,69	0,18	2,43	0,00	0,00	0,09	1,89
Võru	3%	0,07	0,69	0,18	2,43	0,00	0,00	0,09	1,89
Järvamaa	4%	0,09	0,91	0,24	3,24	0,00	0,01	0,12	2,52
Valga	4%	0,09	0,91	0,24	3,24	0,00	0,01	0,12	2,52
Kuressaare	5%	0,11	1,14	0,30	4,06	0,00	0,01	0,15	3,15
Jõhvi	5%	0,11	1,14	0,30	4,06	0,00	0,01	0,15	3,15
Rakvere	7%	0,16	1,60	0,42	5,68	0,00	0,01	0,21	4,42
Põlva	7%	0,16	1,60	0,42	5,68	0,00	0,01	0,21	4,42
Viljandi	8%	0,18	1,83	0,48	6,49	0,00	0,01	0,24	5,05
Pärnu	9%	0,21	2,06	0,54	7,30	0,00	0,01	0,27	5,68
Tartu	12%	0,27	2,74	0,73	9,73	0,01	0,02	0,36	7,57
Tallinn	27%	0,62	6,17	1,63	21,90	0,01	0,04	0,82	17,03

7.2. Potentsiaalne võimsus

Eeldades, et kõik autod on tulevikus võrguga ühendatud, kasutades 50kW Heliox V2G laadijat efektiivsusega 97% ning elektriautode tehnoloogia arengustsenaariumeid, leiame elektriautode potentsiaalse maksimumvõimsuse (lisa 2). [62]

Esimese stsenaarium korral on 2030. aastal võrgu võimsus 3,4 GW ja 2050. aastal vastavalt arvutustele 17 GW. Teise stsenaariumi korral on 2030. aastal 9 GW ja sajandi keskpaigas 60 GW. Kolmas stsenaarium näeb ette, et aastal 2030 on 0,06 GW võimsust ja aastal 2050 0,11 GW. Neljanda stsenaariumi korral jõuab 2050. aastaks võrguvõimsus 46,7 GW-ni ja 4,5GW aastaks 2030 (tabel 7.3).

Tabelis 7.4 on välja toodud elektriutude potentsiaalne maksimaalne võimsuse jagunemine linnade kaupa.

Tabel 7.3 Elektriautode Potentsiaalne maksimaalne võimsus 2017-2050

Aasta	1.stsenaarium, GW	2.stsenaarium, GW	3.stsenaarium, GW	4.stsenaarium, GW
2017	0,06	0,06	0,06	0,06
2020	0,24	0,24	0,06	0,24
2025	1,94	3,64	0,07	1,82
2030	3,40	9,01	0,08	4,50
2035	7,28	21,83	0,09	15,10
2040	9,70	34,64	0,09	25,69
2045	13,58	47,45	0,10	36,28
2050	16,98	60,27	0,11	46,87

Tabel 7.4 Elektriautode potentsiaalne maksimaalne võimsuse jagunemine linnade kaupa

	Elektriautode osakaal Eestis [%]	1.stsenaarium [GW]		2.stsenaarium [GW]		3.stsenaarium [GW]		4.stsenaarium [GW]	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
		Rapla	2%	0,07	0,34	0,18	1,21	0,00	0,00
Kärdla	2%	0,07	0,34	0,18	1,21	0,00	0,00	0,00	0,94
Jõgeva	2%	0,07	0,34	0,18	1,21	0,00	0,00	0,00	0,94
Haapsalu	3%	0,10	0,51	0,27	1,81	0,00	0,00	0,00	1,41
Võru	3%	0,10	0,51	0,27	1,81	0,00	0,00	0,00	1,41
Järvamaa	4%	0,14	0,68	0,36	2,41	0,00	0,00	0,00	1,87
Valga	4%	0,14	0,68	0,36	2,41	0,00	0,00	0,00	1,87
Kuressaare	5%	0,17	0,85	0,45	3,01	0,00	0,01	0,00	2,34
Jõhvi	5%	0,17	0,85	0,45	3,01	0,00	0,01	0,00	2,34
Rakvere	7%	0,24	1,19	0,63	4,22	0,01	0,01	0,00	3,28
Põlva	7%	0,24	1,19	0,63	4,22	0,01	0,01	0,00	3,28
Viljandi	8%	0,27	1,36	0,72	4,82	0,01	0,01	0,00	3,75
Pärnu	9%	0,31	1,53	0,81	5,42	0,01	0,01	0,01	4,22
Tartu	12%	0,41	2,04	1,08	7,23	0,01	0,01	0,01	5,62
Tallinn	27%	0,92	4,58	2,43	16,27	0,02	0,03	0,02	12,66

Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö eesmärk oli anda ülevaade V2G – tehnoloogiast, selle kasutuspotentsiaalidest ja võimalikust mõjust Eesti tiheasustuses asuvale võrgule.

Kasvuhoonegaaside heitkoguste ja saasteainetega seotud mured seoses transpordis kasutuseleoleval laialdase fossiilkütuste kasutusega nõuab alternatiivse tehnoloogia mõjuvõimu, et tulla toime nende kahjulike keskkonnamõjude leevendamiseks. Tulenevalt Euroopa Liidu direktiivist ja arengukavast on liikmeriikide eesmärk saavutada transpordikütuste puhul taastuvate energiaallikate 10% suurune turuosa. Eestis on maanteetransport ja kütuste tarbimine kasvanud samas tempos majandusega. Seega on just maanteetranspordi keskkonnamõjude vähendamises suurim potentsiaal Euroopa ühise kliimapoliitika eesmärkide täitmiseks ning negatiivse mõju vähendamiseks inimeste tervisele ja looduskeskkonnale. Elektrilised sõidukid võiksid olla nende eesmärkide paljutõotav lahendus.

Elektriauto on vanem kui sise põlemismootoriga auto, kuid sajanditaguste teadmiste ja tehnoloogiate tõttu said eelisarengu otto- ja diiselmootorid. Tänapäeva elektriauto on mitmeid kordi arenenium kui varasemad autod ning auto omab mitmeid eeliseid sise põlemismootoriga auto ees. Lisaks keskkonnasõbralikkusele on elektriautol väiksem eneriakulu ja energia maksumus, lihtne mootori ülesehitus kõrge kasuteguriga ja hea kiirendus. Lisaks positiivsete külgedele omab tehnoloogia ka puuduseid, elektriauto sõiduulatus ja hind on põhilised argumendid, miks eelistatakse veel sise põlemismootoriga autot. Akude kiire arengu ja hinna langusega võivad elektriautode hinnad võrdsustuda juba lähitulevikus ning sõita saab järjest pikemaid distantse. [63]

Laadimisvõrgustiku areng ja laiem elektriautode kasutuselevõtt paneb elektrisüsteemid surve alla. Elektriautode akude laadimisest tulenev lisavõimsus lisab elektrivõrgule täiendavat koormust. Sellest tulenevalt võib laadimisprotsess võrgus põhjustada pingemoonutusid ehk harmoonikuid, mis kahjustavad kaableid ja muid elektriseadmeid. Elektriautode poolt võrgule tekitatavaid probleeme on võimalik leevendada kasutades V2G – süsteemi.

V2G kontseptsiooni üks eesmärk on parandada võrgu tehnilist toimivust sellistes valdkondades nagu tõhusus, stabiilsus, usaldusväärsus ja tootmine. V2G-võimelised sõidukid pakuvad reaktiivvõimsuse tuge, aktiivvõimsuse reguleerimist, harmoonilist filtreerimist, tipukoormuse silumist ja koormuse tasakaalustamist. Samuti pakuvad nad taastuvatele energiaallikatele,

sealhulgas tuule- ja päikeseenergiale võimalikku energia varundamist. Süsteem võimaldab võrgule pakkuda tugiteenuseid, näiteks pinge reguleerimist ning täiendavat võimsusreservi. Lisaks vähendavad kasulikke tegevuskulusid ja võimaldab auto omanikel tulu teenida. Teadlased hindavad potentsiaalset netotulu V2G-lt 90-4000\$ aastas ühe sõiduki kohta. V2G kasutuselevõtu takistuste hulka kuuluvad aku mahtuvuse degradeerumine, sõidukite ja võrgu vahelise suhtluse vajadus, infrastruktuuri muutuse vajadus ning tehnilised takistused. [45]

Magistritöö uurimuskulikus osas selgitati esmalt välja Eesti elektriautode osakaal turul. Eelnevalt elektriautode osakaalu arvutamiseks võrdles töö autor eelnevalt võimaliku autopargi trendi aastani 2050. Seejärel, tuginedes erinevatele allikatele ja mudelitele lõi töö autor neli elektriauto turustsenaariumit. Esimese stsenaariumi korral kasutati Maanteeameti prognoosi, sellisel juhul jõuab Eesti elanikkonna elektriautode osakaal aastaks 2050 350 tuhandeni. Teise stsenaarium korral lähtuti seisukorrast, et aastaks 2050 on elektriautode osakaal 90% kogu autoturu osakaalus, sellisel juhul liikleb Eesti teedel 1,25 miljonit elektrisõidukit. Kolmanda stsenaariumi korral jätkub viimaste aastate müügitrend, aastaks 2050 liikleb teedel 2278 elektrisõidukit. Neljas stsenaarium näeb ette, et Eesti teedel on liiklemas 21 sajandi keskpaigas liikleb 70% elektriautosid kogu autopargist, sellisel juhul on eestis ~ 966 tuhat elektriautot.

Seejärel leidis autor akumahtvuse trendi kasutades viimaste aastate Eesti akumahtvuse tõusu trendi, 2050. aastaks keskmine elektriautode akumahtuvus tõusta 67 kWh-ni. Kasutades elektriautode turustsenaariumeid ja elektriautode akumahtvuse trendi leiti V2G potentsiaalne maksimaalne energiasalvestusmaht. Võttes arvesse 50 kW V2G laadija parameetreid leiti potentsiaalne maksimaalne elektriautode võimsus.

Arvestades tänast Eesti elektriauto turuseisu ning tehnoloogia arengut, peab autor Eesti mõistes kõige realsemaks turuosakaaluks uurimustöö esimest stsenaariumit – 2030. aastaks 70 tuhat ja aastaks 2050. 350 tuhat elektriautot. Kindlasti annaks lähitulevikus tugeva hüppe autode ostutoetuse tagasitulek või mõni muu soodustus. Näiteks Norras oli kuni aastani 2017 elektriautod vabastatud registreerimismaksudest, mis teistel autodel on väga kõrged. Lisaks saavad elektriautode omanikud Norras tasuta parkida, tasuta autot laadida, kasutada liiklemiseks bussiradasid. Tänu riigipoolsetele teotustele on Norras elektriautode osakaal oluliselt tõusnud, mistõttu näevad ettevõtted laadijates ärivõimalusi ning on hakatud ise investeerima laadijate paigaldamisse. [65]

Juhul kui Tallinnas 2050. aastal oleks 1/3 elektriautodest ühendatud V2G laadijate abil võrku, oleks elektrienergia salvestusmahtu esimese stsenaariumi korral ~0,3 GWh. Antud stsenaariumi korral saavada autot pakkuda potentsiaalset võimsust võrgule 1,5 GW, mis on peaaegu võrdväärne Eesti Energia elektrijaamade võimsusega, mis täna tipuhetkedel annavad võrku 1570 MW võimsust. Teise stsenaariumi korral elektriautod pakuvad elektriautode võrgule kapasiteeti, mis tagaks nii Läti kui Eesti energia vajaduse.

Tulemustest lähtudes, usub autor, et V2G tehnoloogia leiab kasutust tuleviku energiasüsteemides. Pidev toimuv tehnoloogiline areng ja elektriauto liikumine massiturule, annab põhjuse kasutada tänavatel liikuvate sõidukite potentsiaalset positiivset mõju eneriasüsteemile. Autor usub, et tulevikus ei vaadata elektriautosid enam kui transpordivahendina, mis aitavad liikuda punktist A punkti B-le – vaid elektrienergia tarbimise, jagamise ja genereerimise osaks.

On alust arvata, et tulevikus V2G - tehnoloogia kasumlikkus võrgule julgustab valitsusel pakkuma subsidiidume laadimistaristu omanikele laadimisinfrastruktuuri laiendamiseks, arendamiseks ja hooldamiseks. Täna toetab Suurbritannia valitsus kahtekümment ühte V2G tehnoloogia arendamist 30 miljoni naelaga. Tulenevalt sellest valmib koos Nissaniga esimene suurem V2G laadimisjaamade võrgustik, mis pakub üle suubritannia 1000 autole V2G tehnoloogia võimalust. [64]

Antud lõputööd on võimalik edasi arendada, uurida V2G tehnoloogia kokkuhoidu majanduslikust aspektist, arvestades selle positiivset mõju võrgule kui ka elektriauto omanikule. Lisaks on võimalus uurida täpsemalt tehnoloogia negatiivset mõju elektriauto akule.

Kirjandus

- [1] „Kasvuhoonegaasid ja mootorsõiduk“, *Maanteeamet*, 06-sept-2016. [Online]. Available at: <https://www.mnt.ee/et/soiduk/kutusekulu-teatmik/kasvuhoonegaasid-ja-mootorsoiduk>. [Vaadatud: 12 mai 2018].
- [2] „Taastuvenergia | Euroopa Liidu infolehed | Euroopa Parlament“. [Online]. Available at: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/et/displayFtu.html?ftuId=FTU_2.4.9.html. [Vaadatud: 12 mai 2018].
- [3] A. Vaughan, „Norway leads way on electric cars: ‘it’s part of a green taxation shift’“, *The Guardian*, 2017.
- [4] „2017 (Full Year) Europe: Electric and Hybrid Car Sales per EU and EFTA Country“, *Car Sales Statistics*, 01-veebr-2018. [Online]. Available at: <https://www.best-selling-cars.com/europe/2017-full-year-europe-electric-hybrid-vehicle-sales-per-eu-efta-country/>. [Vaadatud: 6 märts 2018].
- [5] „Global EV Outlook 2017“ 2017.
- [6] „Global car sales analysis 2017 - carsalesbase.com“. [Online]. Available at: <http://carsalesbase.com/global-car-sales-2017/>. [Vaadatud: 6 märts 2018].
- [7] „Sõidukite statistika“, *Maanteeamet*, 21-juuni-2016. [Online]. Available at: <https://www.mnt.ee/et/ametist/statistika/soidukite-statistika>. [Vaadatud: 7 märts 2018].
- [8] „Energiamajanduse arengukava aastani 2030“. [Online]. Available at: https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf.
- [9] „Energiatarbimine transpordis 2010-2014 – Energiatalgud“. [Online]. Available at: https://energiatalgud.ee/index.php/Energiatarbimine_transpordis_2010-2014?menu-6. [Vaadatud: 7 märts 2018].
- [10] „Eurostat - Data Explorer“. [Online]. Available at: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_335a&lang=en. [Vaadatud: 7 märts 2018].

- [11] Kudres, „Kia hybrid“, *Kia hybrid*. [Online]. Available at: <http://hybrid.ee/>. [Vaadatud: 7 märts 2018].
- [12] „What Are Electric Cars?“, *Union of Concerned Scientists*. [Online]. Available at: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/what-are-electric-cars>. [Vaadatud: 7 märts 2018].
- [13] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, ja N. Mithulananthan, „A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, sept 2015.
- [14] „Vesinikuauto saab juba osta, aga tankimas tuleb käia Soomes - SAHTEL - Eesti Päevaleht“. [Online]. Available at: <http://digileht.epl.delfi.ee/sahTEL/vesinikuauto-saab-juba-osta-aga-tankimas-tuleb-kaia-soomes?id=68958937>. [Vaadatud: 7 märts 2018].
- [15] J. C. August 25 ja 2015, „Pros and Cons of Hydrogen Fuel Cell Vehicles“, *HybridCars.com*, 25-aug-2015. [Online]. Available at: <http://www.hybridcars.com/pros-and-cons-of-hydrogen-fuel-cell-vehicles/>. [Vaadatud: 8 märts 2018].
- [16] „How a Hydrogen Fuel Cell Vehicle Works“, *HyGen Industries*. [Online]. Available at: <https://www.hygen.com/how-a-hydrogen-fuel-cell-vehicle-works/>. [Vaadatud: 23 märts 2018].
- [17] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, ja N. Mithulananthan, „A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects“, *Renew. Sustain. Energy Rev.* sept 2015.
- [18] M. Tahir, „Electric vehicles and vehicle-to-grid technology. How utilities can play a role“, 2017.
- [19] A. Rosin, S. Link, H. Hõimoja, ja I. Drovtar, *Energiasalvestid- ja salvestustehnoloogiad*. Elering AS, 2015.
- [20] „History of batteries: their invention and development“. [Online]. Available at: <http://www.allaboutbatteries.com/history-of-batteries.html>. [Vaadatud: 23 märts 2018].
- [21] „History of Lithium Ion Batteries“. [Online]. Available at: <http://ezinearticles.com/?History-of-Lithium-Ion-Batteries&id=3965011>. [Vaadatud: 24 märts 2018].

- [22] I. AD, „Liitium: energiatuleviku võti?“, *Tehnikamaailm*, 08-sept-2011. [Online]. Available at: <https://www.tehnikamaailm.ee/liitium-energiatuleviku-voti/>. [Vaadatud: 24 märts 2018].
- [23] „Battery University“. [Online]. Available at: http://batteryuniversity.com/learn/archive/weird_and_wonderful_batteries. [Vaadatud: 24 märts 2018].
- [24] „Accelerating US Leadership in Electric Vehicles (2017)“, *Union of Concerned Scientists*. [Online]. Available at: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/accelerating-us-leadership-electric-vehicles-2017>. [Vaadatud: 24 märts 2018].
- [25] „Elektriauto laadimine – Elektritransport“. [Online]. Available at: <http://elektritransport.ee/elektriauto-laadimine/>. [Vaadatud: 24 märts 2018].
- [26] „Valida on tava-, poolkiire ja kiirlaadimise vahel“, *Director Meedia*, 04-nov-2011. .
- [27] C. Lilly, „Charging connectors - Electric car charging speeds“, *Zap-Map*. [Online]. Available at: <https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>. [Vaadatud: 24 märts 2018].
- [28] „Elektertranspordi mõjud elektrisüsteemile“. Elering AS.
- [29] „Uurisime pisut elektriauto laadimist“, *Skeemipesa*, 2013 .
- [30] „Electric Car Charging 101“. [Online]. Available at: <https://evobsession.com/electric-car-charging-101-types-of-charging-apps-more/>. [Vaadatud: 24 märts 2018].
- [31] J. Chanegowda, V. K. Pathipati, ja S. S. Williamson, „Comprehensive review and comparison of DC fast charging converter topologies: Improving electric vehicle plug-to-wheels efficiency“, *2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2015.
- [32] „Chademo Association – EV Fast Charging Organisation“. [Online]. Available at: <https://www.chademo.com/>. [Vaadatud: 3 aprill 2018].
- [33] „Eesti elektromobiilsuse programm“. [Online]. Available at: <http://elmo.ee/>. [Vaadatud: 3 aprill 2018].
- [34] „Eesti elektrisüsteemi varustuskindluse aruanne 2013“. Elering AS, 2013.

- [35] R. Teemets, „Elektri Kvaliteet“. [Online]. Available at: http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAV3340/EIVar_7._Elektri_kvaliteet.Konspekt2014kevad.pdf.
- [36] „Cleaner Cars from Cradle to Grave (2015)“, *Union of Concerned Scientists*. [Online]. Available at: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/life-cycle-ev-emissions>. [Vaadatud: 12 aprill 2018].
- [37] „Where in Europe is electric car a good idea?“ [Online]. Available at: <https://jakubmarian.com/where-in-europe-is-electric-car-a-good-idea/>. [Vaadatud: 12 aprill 2018].
- [38] „Kas tõesti? Selle kaardi järgi on Eestis elektriauto keskkonnale sise põlemismootorist kahjulikum“, *Forte*, 1478548501. [Online]. Available at: <http://www.delfi.ee/a/76187645>. [Vaadatud: 12 aprill 2018].
- [39] M. Yilmaz ja P. T. Krein, „Review of benefits and challenges of vehicle-to-grid technology“, *2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2012
- [40] A. Rosin, „Elektrivarustuse visioon loeng“. [Online]. Available at: https://www.ttu.ee/public/e/energeetikateaduskond/Instituudid/elektrotehnika_instituut/smartgrid/Elektrivarustuse_visioone_suurloeng.pdf.
- [41] Y. Zhou ja X. Li, „Vehicle to grid technology: A review“, *2015 34th Chinese Control Conference (CCC)*, 2015, lk 9031–9036.
- [42] „Power To Gas, Ülevaade momendi tehnoloogilistest võimalustest ja mõningatest lahendustest“. Tartu Ülikool, Keemia Instituut, 2015.
- [43] „Reaktiivvõimsus kompenseerimine Eesti elektrisüsteemis“. Tallinna Tehnikaülikool, 2017.
- [44] D. T. Hoang, P. Wang, D. Niyato, ja E. Hossain, „Charging and Discharging of Plug-In Electric Vehicles (PEVs) in Vehicle-to-Grid (V2G) Systems: A Cyber Insurance-Based Model“, *IEEE Access*, kd 5, lk 732–754, 2017.
- [45] M. Yilmaz ja P. T. Krein, „Review of benefits and challenges of vehicle-to-grid technology“, *2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2012.

- [46] „Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid services - ScienceDirect“. [Online]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775316313052>. [Vaadatud: 23 aprill 2018].
- [47] „The Latest in Vehicle to Grid (V2G) Charging“, *FleetCarma*, 25-okt-2017. [Online]. Available at: <https://www.fleetcarma.com/latest-vehicle-grid-v2g-charging/>. [Vaadatud: 23 aprill 2018].
- [48] „Renault is trying to create a ‘smart electric island’ with electric vehicles, V2G, and energy storage | Electrek“. [Online]. Available at: <https://electrek.co/2018/02/21/renault-smart-electric-island-electric-vehicles-v2g-energy-storage/>. [Vaadatud: 23 aprill 2018].
- [49] „V2G Projects in Europe“. 2018.
- [50] „Europe’s first public vehicle-to-grid charge point to open in Finland“, <http://www.businessgreen.com>, 22-sept-2017. [Online]. Available at: <https://www.businessgreen.com/bg/news/3017830/europes-first-public-vehicle-to-grid-charge-point-to-open-in-finland>. [Vaadatud: 23 aprill 2018].
- [51] Virta, „Public bidirectional EV charging point installed to Finland“. [Online]. Available at: <http://www.virta.global/news/the-first-public-bidirectional-ev-charging-point-to-finland>. [Vaadatud: 23 aprill 2018].
- [52] „Sõiduautode arv 1000 elaniku kohta - Eesti Statistika“. [Online]. Available at: <https://www.stat.ee/34300>. [Vaadatud: 23 aprill 2018].
- [53] „Passenger cars per 1 000 inhabitants - Eurostat“. [Online]. Available at: http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/ROAD_EQS_CARHAB. [Vaadatud: 2 mai 2018].
- [54] H. TOMINGAS, „Euroopas ja Eestis jätkub tugev majanduskasv“, *Eesti - European Commission*, 07-veebr-2018. [Online]. Available at: https://ec.europa.eu/estonia/news/20180207_majandusprognoos_et. [Vaadatud: 2 mai 2018].
- [55] „AMTEL: Eesti on Euroopas autode prügikastiks“, *Majandus*. [Online]. Available at: <https://majandus24.postimees.ee/4384273/amtel-est-i-on-euroopas-autode-prugikastiks>. [Vaadatud: 2 mai 2018].

- [56] „The death of the gas-powered car, in one chart - MarketWatch“. [Online]. Available at: <https://www.marketwatch.com/story/the-death-of-the-gas-powered-car-in-one-chart-2017-10-17>. [Vaadatud: 2 mai 2018].
- [57] „Mis juhtub, kui elektriautode hinnad hakkavad langema? - Artiklid - Uudised - LHV finantsportaal“. [Online]. Available at: <https://fp.lhv.ee/news/5207199?locale=et>. [Vaadatud: 2 mai 2018].
- [58] T. J. Lindroos *et al.*, *Baltic Energy Technology Scenarios 2018*. Nordisk Ministerråd, 2018.
- [59] „2018 - Eesti Statistika“. [Online]. Available at: <https://www.stat.ee/12808>. [Vaadatud: 2 mai 2018].
- [60] „Elektriautode kasutamise uuring“. ELMO, 2013.
- [61] „7 Electric Cars With The Biggest Batteries“. [Online]. Available at: <https://insideevs.com/seven-electric-cars-biggest-batteries/>. [Vaadatud: 8 mai 2018].
- [62] „Homepage artikkel“. [Online]. Available at: <https://www.heliox.nl/>. [Vaadatud: 8 mai 2018].
- [63] „Matti Liiske: tere tulemast, elektriauto!“, *Majandus*. [Online]. Available at: <https://majandus24.postimees.ee/401540/matti-liiske-tere-tulemast-elektriauto>. [Vaadatud: 8 mai 2018].
- [64] C. Lilly, „New V2G project to reward EV drivers“, *Zap-Map*, 2018. Available at: <https://www.zap-map.com/new-v2g-project-to-reward-ev-drivers/>.
- [65] „Miks ostetakse Norras nii palju elektriautosid, meil aga mitte?“, *Whatcar*, Available at: <http://www.whatcar.ee/uudiste-artiklid/4786/miks-ostetakse-norras-nii-palju-elektriautosid-meil-aga-mitte>

Lisad

1. L.1. Elmo kiirlaadimis statistika aastatel 2016 kuni 2018 märts
2. L.2. 50kW V2G tehnoloogia laadija spetsifikatsioon

L.1. Elmo kiirlaadimis statistika aastatel 2016 kuni 2018 märts.

aasta		kuu selaadimiskordi	kWh
2016	january`16	13 160	126 487
	february	10 728	104 663
	march	11 782	110 816
	april	10 546	97 791
	may	10 457	96 754
	june	11 225	107 386
	july	12 484	118 876
	august	11 882	107 985
	september	11 221	99 265
	october	12 815	118 758
	november	12 988	123 491
	december	13 418	130 001
2017	january`17	12 642	124 768
	february	11 790	120 062
	march	11 434	122 799
	april	11 892	131 601
	may	9 779	105 961
	june	9 792	107 787
	july	9 280	106 093
	august	9 509	109 393
	september	9 454	107 584
	october	11 691	134 709
	november	11 555	134 876
	december	13 303	155 894
2018	january`18	12 216	142 352
	february	12 480	144 194
	march	12 569	142 784

L.2. Heliox 50kW V2G tehnoloogia laadija spetsifikatsioon

heliox

Depot Charger Fast DC 50 kW

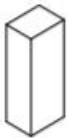


Charge any CCS compatible bus with up to 50 kW. With Heliox' Power Curve Technology the bus at the depot is 67% charged faster, whilst performing at industry's highest efficiency 97%. A fast and high-efficiency solution for single vehicles or small fleet.

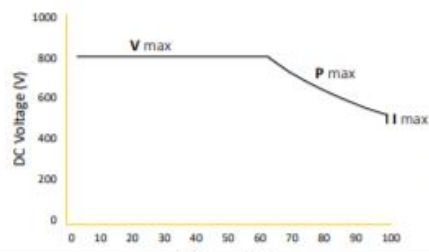
Industry highest component reliability and system redundancy keeps your fleets' battery charged at all times. Charger systems are prepared for the future with V2G and Smart Grid functionality and connect with CCS-plug and alternatively with pantograph according to ISO 15118 / DIN70121 / IEC 61851. This secures all vehicle manufacturer compatibility.

Dimensions

H: 2000 mm
W: 600 mm
D: 800 mm



Power Curve



Specifications

General

Environment operating
Temperature
Charging standard
Compliance and safety
Output DC voltage range
Rated DC output power
Rated DC output current

Charger

Indoor/Outdoor
-20 to 40 °C (optional to -30 °C)
IEC61851-1/23/24 /
DIN 70121 / ISO15118
CE / EN 55011 / IEC61000-6-2
460 - 800 V
50 kW
100 A, bidirectional

Input connections

Input power rating;
full load / idle
Input AC line-line voltage
range

3P + PE (4G25)

54 kVA / 50 VA

400 V +/-10%

Input AC phase current;
maximum / fused

78 / 80 A, inrush current limited

Power factor

> 0.99

Rated power efficiency

> 96%

Dielectric withstand

3000 V RMS

Network connection

GPRS / 3G modem / OCPP /
OSCP

Protection

IP54 / IK10