



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ELEKTRIAUTO LISASEADMETE ENERGIATARBIMISE ANALÜÜS

ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS OF AUXILIARY SYSTEMS OF ELECTRIC CAR

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Artjom Giritš

Üliõpilaskood 185462EAAB

Juhendaja: Kristjan Pütsep, Lektor

Tallinn 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

_____ ,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on

_____ ,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Artjom Giritš

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Elektriauto lisaseadmete energiatarbimise analüüs

Kuupäev:
02.05.2021

48 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): lektor Kristjan Pütsep, Professor Anton Rassõlkin

Sisu kirjeldus:

Selle uurimistöö eesmärgiks on lisaseadmete energiatarbimise analüüs, mis oli teostatud olevate elektriautode baasil. Selle analüüsi peamiseks eesmärgiks on anda piisavalt uurimisinfot, mille alusel oleks võimalik valida sobiva mahtuvusega akupatareid, mida plaanitakse paigutada tuleviku Tallinna Tehnikaülikooli projekti elektriautosse.

Lõputöö annab ülevaadet valitud elektriautode tehnilistest näitajatest, autode lisaseadmete akutoidest ja DC/DC muunduri tähtsusest lisaseadmetele. Samuti võrreldakse valitud elektriautode varustust ja kirjeldatakse elektriautode lisaseadmete sõltuvust sellest. Lisaseadmeid eraldatakse võimsuse ja toide kaudu ning kirjeldatakse nende mõju kogu energiatarbimisele. Samuti kirjeldatakse iga lisaseadme võimsust ja nende sõltuvust erinevatest tingimusest ning võrreldakse autode kliimaseadme tehnoloogiate efektiivsust ja nende erinevusi. Võrreldakse DC/DC muundurite tehnilisi näitajaid erinevate tootjate baasil. Lõpus saadakse kõikide autode lisaseadmete loetelu ja lisaseadmete energiatarbimise võrdlustabeleid ning võrreldakse kogu energiatarbimist DC/DC muunduri maksimaalse väljundvõimsusega. Kokkuvõtteks, see analüüs annab ülevaadet elektriautode lisaseadmete võimsusest ja energiatarbimisest piiratud sõiduulatusel.

Märksõnad: elektriauto, lisaseadmed, elektriautode lisaseadmed, lisaseadmete võimsused, lisaseadmete energiatarbimine, lisaseadmete mõju sõiduulatusele, soojuspump, DC/DC muundur.

ABSTRACT

<i>Author:</i> Artjom Giritš	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Energy consumption analysis of auxiliary systems of electric car	
<i>Date:</i> 02.05.2021	48 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Lecturer Kristjan Pütsep, Professor Anton Rassõlkin	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>The aim of this research is to analyze the energy consumption of auxiliaries, which was performed based on the existing electric cars. The main purpose of this analysis is to provide sufficient research information on the basis of which it would be possible to select batteries of suitable capacity, which are planned to be placed in the electric car of the future Tallinn University of Technology project.</p> <p>The research provides an overview of the technical specifications of the selected electric cars, the battery power of the car auxiliaries and the importance of the DC/DC converter for the auxiliary systems. The equipment of the selected electric cars is also compared and the dependence of electric car accessories on it is described. Auxiliaries are separated by power and power supply and their effect on total energy consumption is described. It also describes the power of each auxiliary and its dependence on different conditions and compares the effectiveness of car air conditioning technologies and their differences. The technical characteristics of the DC/DC converters are compared on the basis of different manufacturers. Finally, a list of all car auxiliary systems and comparison tables of accessory energy consumption are obtained and the total energy consumption is compared with the maximum output power of the DC/DC converter. In conclusion, this analysis provides an overview of the power and energy consumption of electric car accessories over a limited range.</p>	
<i>Keywords:</i> electric car, auxiliaries, electric car auxiliaries, auxiliary systems power, auxiliary systems energy consumption, impact of auxiliaries on driving range, heat pump, DC/DC converter.	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektriauto lisaseadmete energiatarbimise analüüs
Lõputöö teema inglise keeles:	Energy consumption analysis of auxiliary systems of electric car
Üliõpilane:	Artjom Giritš, 185462EAAB
Eriala:	Elektroenergeetika ja mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Kristjan Pütsep
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	Anton Rassõlkin
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	23.06.2021
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18.05.2021

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Elektriauto lisaseadmete energiatarbimine on aktuaalne teema tänapäeval, sest elektriautode valdkond veel areneb ja vajab uurimist. Sellise teema panus on kõigepealt oluline moderniseerimiseks Tallinna Tehnikaülikooli elektriautot ja selle liitiumaku sobiva suuruse valimiseks. Kõige viimaste elektriautode mudelite hulgas on tõsiseks puuduseks aku, ehk selle võimalik tööaeg, mida annavad praegused liitiumakud. Aku suurus on väga oluline aspekt nii elektriauto ehituses kui ka moderniseerimises. Aku normaalse tööaja tagamiseks on vaja teada kõikide autoseadmete energiatarbimist. Sellise töö panuseks elektriautode valdkonna uurimiseks on analüüs, mis seletab milliseid komponente ja lisaseadmeid on parem valida kõige sobivamateks elektriauto ehituses, ehk milline on võimsus ja energiatarbimine erinevate autotootjate sama seadmete hulgas.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on analüüsida turul olevate elektriautode kasutatavaid lisaseadmeid ja saada sobivamate lisaseadmete nimekirja ja nende energiatarbimise väärtust tulevikuks kasutamiseks ülikooli elektriauto moderniseerimise projektis.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Valida 4 automudelit erinevatest tootjatest.

Valida kõigi lisaseadmete hulgast ainult vajalikke elektriauto projektis kasutamiseks.

Alustada analüüsima valitud lisaseadmete energiatarbimise väärtust võttes prioriteedile seadme kasutamise vajalikuse autos.

4. Lähteandmed

Plaanis on kasutada Internetis olevaid andmeid ja autotootjate poolt pakutud andmeid nagu auto tehniliste andmete raamat. Selle teema arenemiseks on plaanis otsida iga lisaseadme ja elemente energiatarbimise väärtust.

5. Uurimismeetodid

Et jõuda tulemusteni, on plaanis kasutada selliseid uurimismeetodeid nagu vaatlus ja kirjanduse analüüs. Vaatlustel tuleb kasutada allikaid, et valida sobivamaid autosid uurimiseks. Andmete analüüsiks tuleb kasutada Excelis olevaid tabelarvutusi ja valemeid.

6. Graafiline osa

Olulisemate jooniste osas võivad olla erinevaid tehnoloogiaid kasutatavad seadmed ja nende skeemid, et näidata millised on eelistatum kasutamiseks. Olulisemate tabelite osas võivad olla vajalike lisaseadmete loetelu elektriauto projektis kasutamiseks ja teise tabelina selliste seadmete energiatarbimise väärtuste loetelu.

7. Töö struktuur

1. Elektriautode lühiülevaade
 - 1.1. Sobilikkude elektriautode nimekiri
 - 1.2. Sobilikkude elektriautode tehniliste andmete ülevaade
2. Elektriautode lisaseadmed
 - 2.1. Valitud autode lisaseadmete loetelu

3. Lisaseadmete energiatarbimine

3.1. Erinevad tehnoloogiad ja nende eelised ning puudused

8. Kasutatud kirjanduse allikad

On plaanis kasutada peamiste kirjanduse allikateks autotootjate tehniliste andmete raamatuid, elektriautode liitiumaku teadusartikleid, elektriautode valdkonna arengukavasid.

9. Lõputöö konsultandid

Autoesinduste konsultandid.

10. Töö etapid ja ajakava

Elektriautode turu analüüsimiseks lähteandmete kogumine (15.11.2020)

Võimalikult sobivamate elektriautode nimekirja saamine (22.11.2020)

Sobivate elektriautode valik (20.11.2020)

Elektriautode lisaseadmete kohta kirjanduse läbitöötamine (13.12.2020)

Valitud autode lisaseadmete loetelu saamine (20.12.2020)

Lisaseadmete energiatarbimise lähteandmete kogumine valitud lisaseadmete hulgast erinevate mudelite järgi (03.01.2021)

Erinevate autode lisaseadmete energiakulu tarbimise arvutus ja otsing (31.01.2021)

Valitud autode lisaseadmete kohta teoreetilise osa kirjutamine (14.02.2021)

Mudelite lisaseadmete energiatarbimise tulemuste kirjeldamine tabelina (21.02.2021)

Kõige energiaefektiveimate lisaseadmete andmete töötlemine (07.03.2021)

Kõige sobivamate lisaseadmete energiatarbimise tulemuste kirjeldamine tabelina (14.03.2021)

Uuringu tulemuste kirjeldamine (31.03.2021)

Analüüsi järelduste kirjeldamine (31.03.2021)

Töö kokkuvõtte koostamine (04.04.2021)

Töö esimene versioon valmis (04.04.2021)

Juhendajale läbilugemiseks saatmine (04.04.2021)

Paranduste sisseviimine (25.04.2021)

Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (25.04.2021)

Töö lõplik versioon valmis (02.05.2021)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT.....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE.....	6
EESSÕNA.....	10
Lühendite ja tähiste loetelu	11
SISSEJUHATUS	12
1. Elektriautode lühiülevaade.....	13
1.1 Elektriautode tehniliste andmete ülevaade	13
2. Elektriautode lisaseadmed	15
2.1 Lisaseadmete akutoide	17
2.1.1 Elektriauto DC/DC muundur ja selle tähtsus lisaseadmetele	18
2.2 Lisaseadmete mõju koguenergia tarbimisele	21
3. Elektriautode lisaseadmete energiatarbimine	23
3.1 Lisaseadmete võimsused	23
3.2 Soojuspump ja A/C süsteem.....	29
3.3 Lisaseadmete energiatarbimine	35
KOKKUVÕTE.....	39
SUMMARY.....	42
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	45

EESSÕNA

Lõputöö teemat pakkusid Lektor Kristjan Pütsep ja Professor Anton Rassõlkin, kes on ühtlasi käesoleva lõputöö juhendaja ja kaasjuhendaja.

Enamik töö materjale oli leitud Interneti andmebaasidest. Töö koostamise jooksul uuriti elektriautode struktuuri ja lisaseadmetega seotud teadusartikleid ning elektriautode lisaseadmete energiatarbimisega seotud uuringuid, analüüsiti andmeid.

Autor soovib tänada perekonna liikmeid õigeaegse toetuse ja abi eest ning lõputöö juhendajaid osutud abi eest.

Lühendite ja tähiste loetelu

ECU – Electronic Control Units

APM – Auxiliary Power Module

PHEV – Plug-in hybrid electric vehicle

HVAC – Heating, ventilation, and air conditioning

WLTP – The Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure

NEDC – New European Driving Cycle

SISSEJUHATUS

Elektriautode turg iga aastaga ainult kasvab ja ei ole autotootjat, kes täna elektrisõidukite arendusega ei tegele. Aga elektriautode peamine probleem on nende toiteallikas. Suuremat osa akusse kogunenud energiat tuleb sõidukile kasutada töökejõuks. Kuna tavalises elektriautos on palju lisavarustust erinevate abisüsteemide funktsioneerimiseks, siis need on ka koormused, mida tuleb arvestada. Kuna akus kogunenud energia on kindlaks määratud ja piiratud, abisüsteemide ja neid toidevate lisaseadmete energiatarbimist tuleb täpselt teada. Võttes neid arvesse, on võimalik neid optimeerida või isegi vähendada, et suurendada sõiduki sõiduulatust.

Kuna Tallinna Tehnikaülikooli elektriauto, nagu kõik teised autod, peaks osalema liikluses, on standardid, millele auto peaks vastama. Mõned põhiseadmed on otseselt seotud selliste standarditega, nagu tuled, autosignaal ja ohutussüsteemid. Muud süsteemid on lisaseadmete grupis, need on: kõlarid, multimeedia süsteem, klaaside tõukurid, kliimaseade, erinevad kütte süsteemid ja juhi abisüsteemid. Kõik need kasutavad elektrienergiat ja vähendavad sõiduulatust.

Kõiki lisaseadmeid analüüsitakse selles töös, et saada auto lisaseadmete süsteemi kogutarbimist, mille alusel on võimalik valida sobiva mahtuvusega akupatареid, mida plaanitakse paigutada tuleviku Tallinna Tehnikaülikooli projekti elektriautosse.

Selle töö peamiseks eesmärgiks on analüüs, mis oli teostatud olevate elektriautode baasil. Võeti 4 elektriautot, mida saab täna osta, võrreldi nende varustust, lisaseadmete arvu ja energiatarbimist. See uurimus annab ülevaadet valitud elektriautode tehnilistest näitajatest, autode lisaseadmete akutoidest ja DC/DC muunduri tähtsusest lisaseadmetele. Samuti võrreldi valitud elektriautode varustust ja kirjeldati elektriautode lisaseadmete sõltuvust sellest. Lisaseadmeid eraldatakse võimsuse ja toide kaudu ning kirjeldatakse nende mõju kogu energiatarbimisele. Samuti kirjeldatakse iga lisaseadme võimsust ja nende sõltuvust erinevatest tingimusest ning võrreldakse autode kliimaseadme tehnoloogiate efektiivsust ja nende erinevusi. Võrreldakse DC/DC muundurite tehnilisi näitajaid erinevate tootjate baasil. Lõpus olid saadud kõikide autode lisaseadmete loetelu ja lisaseadmete energiatarbimise võrdlustabelid ning võrreldi kogu energiatarbimist DC/DC muunduri maksimaalse väljundvõimsusega.

1. Elektriautode lühiülevaade

Aku – elektrisõidukid, mida sageli nimetatakse täiselektrilisteks, on sõidukid, mille ainsaks jõuallikaks on aku. Nende peamine erinevus võrreldes sisepõlemismootoriga varustatud sõidukitega seisneb selles, et mehhaanilist energiat muundatakse elektrienergiast, mitte soojusenergiast. Aku – elektrisõidukeid laaditakse välistest toiteallikatest saadava elektri kaudu [1].

Antud peatükis antakse ülevaadet valitud elektriautode tehnilistest näitajatest, nende varustuse erinevustest ja tehnoloogilistest lahendustest.

1.1 Elektriautode tehniliste andmete ülevaade

Eesti Maanteeameti sõidukite statistika andmete baasil, registrisse lisandus 2020. aastal kõige rohkem Hyundai Kona elektriautosid (58 autot), teiseks läheb Nissan Leaf 56 autoga ja Renault Zoe 33 autoga. Neljandaks oli Porsche Taycan (32 autot) ja viiendaks Tesla Model 3 (20 autot) [2].

Selle töö alguses oli plaanitud võtta Eesti kõige populaarsemaid ja laialt kasutatavaid elektriautosid, millised on kirjeldatud üleval peatükil. Kuna auto Porsche Taycan on niivõrd kallis võrreldes teiste autodega, aga selle varustus ja aku pinged väga tõsiselt erinevad teiste autode andmetest, siis on keeruline neid võrrelda ja sellepärast oli otsustatud, et võetakse selle asemel autot BMW i3.

Lõpuks olid valitud lisaseadmete energiatarbimise analüüsiks järgmised autod: BMW i3s, Nissan Leaf e+, Hyundai Kona Electric, Tesla Model 3 Standard Range Plus RWD. Nende varustuse tase ja tehnilised näitajad on sarnased, sellepärast on mugav võrrelda nende lisaseadmete energiatarbimist. All on toodud autode tehniliste näitajate tabel (1.1).

Tabelist on näha, et elektriautodes tänapäeval kasutatakse liitium-ioon tüüpi akusid, kasutatavate akude pinged on keskmiselt võrdne $U_{aku} = 357 V$. Autode tootmisaastad on sarnased ka, iga autot saab täna uueks osta.

Tabel 1.1. Elektriautode tehnilised näitajad [3]

Näitajad	Ühikud	BMW i3s (120 Ah)	Nissan Leaf e+	Hyundai Kona Electric	Tesla Model 3 Standard Range Plus RWD
Tootmisaastad		2019 - täna	2019 - täna	2018 - täna	2019 - täna
Kaal	kg	1365	1680	1685	1611
Maksimaalne väljund	kW (hp)	135 (184)	160 (218)	150 (200)	211 (283)
Pöördemoment	Nm	270	340	395	420
Pinge	V	352	360	356	360
Aku mahtuvus	kWh	42,2	62	64	54,00
Aku tehnoloogia		Lithium-Ion	Lithium-Ion	Lithium-Ion	Lithium-Ion
Kiirendus	0 - 100 km/h	6,9	7,3	7,6	5,6
Sõidu ulatus (WLTP)	km	285	385	415	409
Elektritarbimine (kombineeritud)	kWh / 100km	14,6	20,6	15,4	15,5

Antud tabelise sõiduulatus oli arvatud ühtlustatud ülemaailmseks kergsõidukite katsetamise meetodiks (*WLTP*). *WLTP* võeti kasutusele aastas 2017. *WLTP* asendab eelmist katseprotsessi *NEDC* (uus Euroopa sõidutsükkel). *NEDC*-lt *WLTP*-le ülemineku käigus võidakse vahel näidata sõidukite tehnilistes andmetes kummagi süsteemi alusel saadud väärtusi. *WLTP* katsemeetod annab reaalsele oludele lähedamat elektriauto sõiduulatust kui *NEDC*. Saadud tulemused sarnanevad rohkem tulemustega, mida on võimalik näha igapäevases sõites [4].

2. Elektriautode lisaseadmed

Elektriline lisaseadme süsteem (*Electrical Auxiliary System*) on akronüüm, mida kasutatakse sõiduki seotud elektriliste komponentide kogumi kirjeldamiseks, mis suhtlevad peamiste autosüsteemide ja komponentidega, et toetada tema funktsionaalsust [5].

Elektrilised lisaseadmete süsteemid on ohutussüsteemidega seotud komponendid, mugavussüsteemid, valgustussüsteemid ja infosüsteemid, mis on väga olulised, et aidata põhisüsteemil toimida vastavalt spetsifikatsioonidele [5].

Tuginedes ingliskeelsetele allikatele, nimetatakse lisaseadmeid kui *auxiliary systems*. Eestikeelde tõlkides on need abisüsteemid, mis hõlmavad nii põhiseadmeid kui ka lisaseadmeid. Põhiseadmete grupis käsitletakse seadmeid ilma milleta ei saa sõiduk liikluses osaleda. Inglisekeelsetes allikates käsitletakse abisüsteemide kogumit kui valgustussüsteemi, mugavussüsteeme, kliimaseadmeid ja infosüsteeme. Aga eesti keeles ei saa neid kõike nimetada lisaseadmeteks, kuna näiteks ilma valgustussüsteemita ei saa sõiduk liikuda Eesti teedel. Sellepärast kõike seadmeid eraldatakse selles töös põhi- ja lisaseadmeteks, kuid uurimuse käigus nimetatakse neid kõike lisaseadmeteks, sest ei saa kogu lisaseadmete energiatarbimist käsitleda ja arvutada ilma põhiseadmeteta. All on toodud tabel (2.1), kus on kirjeldatud selleks analüüsiks valitud segmenteeritud lisaseadmed.

Tabelist on näha, et põhiseadmete hulgas on kõik valgustussüsteemis kasutatud tuled, ees ja taga klaasidepuhastid, roolivõimendi, armatuurlaud ja kõik ohutussüsteemid. Lisaseadmete hulgas on aga kõik ülejäänud seadmed, nagu kliimaseade koos ventilatsiooniga, istmete, tagaklaasi ja peeglite soojendused, elektrilised akende tõukurid koos elektrilise katuseluugiga, audiosüsteem koos multimeedia ekraaniga ja kõik juhi abisüsteemid. Plussidega on märgitud need lisaseadmed mis kuuluvad valitud autode varustusele.

Tabel 2.1. Elektriauto lisaseadmed

Liseseade	Tüüp	BMW i3	Nissan Leaf	Hyundai Kona	Tesla Model 3
Valgustus					
Päeva-, kaug- ja lähituled	Põhi	+	+	+	+
Pöördtuled					
Stop tuled					
Tagumised tuled					
Registrinumbri tuled					
Tagurpidi liikumise tuled					
Kliima ja soojendus					
Soojuspump, ventilatsioon	Lisa	+	+	+	+
Istmete soojendus		+	+	+	+
Tagaklaasi soojendus					
Peeglite soojendus					
Mugavus					
Klaasidepuhastid	Põhi	+	+	+	+
Elektrilised akende tõukurid	Lisa	+	+	+	+
Elektriline katuseluuk		+		+	+
Roolivõimendi	Põhi	+	+	+	+
Multimeedia					
Armatuurlaud	Põhi	+	+	+	+
Audiosüsteem	Lisa	+	+	+	+
Multimeedia ekraan					
Ohutus ja juhi abi					
ABS, ESP, SRS	Põhi	+	+	+	+
Sõidurea assistent	Lisa	+	+	+	+
Aktiivne püsikiiruse hoidja		+	+	+	+
Automaat kaugtuli		+	+	+	+
Automaat pidurdus		+	+	+	+
Pimeda koha hoiatus		+	+	+	+
Parkimise assistent		+	+	+	+
Kokkupõrke vältimise süsteem		+	+	+	+
Juhiabi esikaamera					+
Juhiabi esiradar					+
Autopiloot					+

2.1 Lisaseadmete akutoide

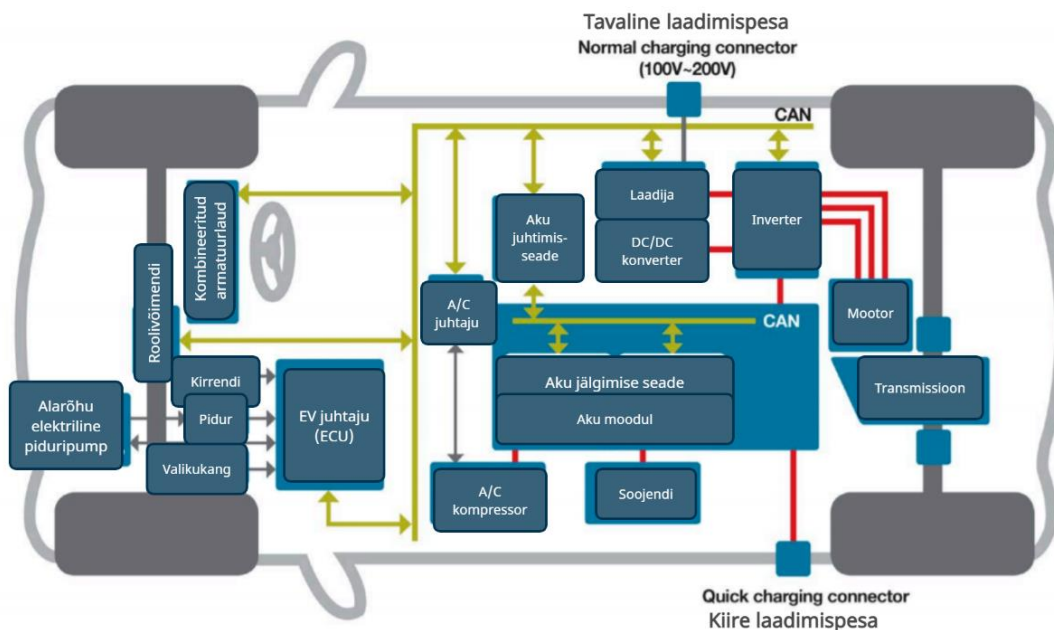
Tavaliselt elektrisõidukite elektrisüsteem töötab kahel erineval pingel, madalpinge süsteemis kasutatakse pingeks $U = 12\text{ V}$ ja kõrgepinge süsteemis $U = 400\text{ V}$, aga selline väärtus on ligikaudne ja sõltub sõiduki tootjast [6]. Kasutatakse süsteeme pingega nii $U = 200\text{ V}$ kui ka $U = 800\text{ V}$. Mida võimsam on elektrimootor autos, seda võimsama ja efektiivsema kõrgepinge süsteemi kasutatakse ning seda kiirem ja sportlikum on auto.

Kaks akut on vaja kõigepealt selleks, et vähendada sõiduki maksumust, 12 V akuga saab elektrisõidukites kasutada samu odavaid masstoodanguna toodetud komponente, mida kasutatakse tavalises autos [7]. Neid komponente saab võtta teistest mudelitest, isegi kui need kasutavad sise põlemismootoreid, sest komponentide eesmärk jääb samaks ja palju vahesid nendes ei ole.

Teiseks on ohutus. Akupakk, mis toidab elektriauto rattaid, salvestab palju energiat, mis võib olla väga ohtlik ja piisav selleks, et tekitada surmava šoki. Sellepärast, kui elektriauto on välja lülitatud, siis selle aku on elektriliselt isoleeritud ja see oleks võimatu teha ilma lisa akuta. Tulemusena saame süsteemi, kus aku lahtiühendamine ülejäänud auto kõrgepingesüsteemist minimeerib ohtlike elektririkete tekkimise võimalust. Kogu lahtiühendamise ja uuesti ühendamise protsessiga tegeleb relee, millele annab voolu 12 V aku [7].

Kõrgepinge elektrisüsteem koosneb akupakist, mida peamiselt kasutatakse sõiduki tõukejõuks, kõrgepinge kaablist, inverterist ja DC/DC muundurist [6].

Madalpingesüsteem koosneb elektrilistest koormustest, DC/DC muundurist ja 12 V akust, mis põhineb tavaliselt Lead - acid tehnoloogial. Madalpinge 12 V elektrisüsteem toidab kõike abisüsteeme, lisaseadmeid, elektroonilisi juhtseadmeid (*ECU*) ja kõrgepinge süsteemi juhtimiseks ning kaitsmiseks seadmeid [6]. Joonisel (2.1) on toodud elektriauto mõlemate süsteemide konfiguratsioon.



Joonis 2.1. Elektriauto süsteemi konfiguratsioon [8]

2.1.1 Elektriauto DC/DC muundur ja selle tähtsus lisaseadmetele

Valdav osa sisepõlemismootoriga sõidukitest oli kasutanud suhteliselt lihtsat arhitektuuri, kus 12 V aku toitis elektriseadmeid ja oli varustatud generaatoriga. Seega mitmed põhikomponendid nagu veepumbad, roolivõimendi, pumbad ja ventilaatorid on olnud rihmülekandega varustatud ja seetõttu ei vajanud elektrit [9].

Kuna elektrisõidukitele üleminekul lisaseadmete rihmülekandeks võimalusi ei ole, siis see tähendab, et tänapäevased elektrisõidukid asendavad elektromehhaanilisi seadmeid elektriajamitega. Selliste seadmete uued versioonid on isegi väiksemad, kergemad, töökindlamad ja hõlbustavad kasutamist. Allikas on võetud näitena kliimaseadme pump, mis pidevalt töötab rihmülekandega ja koormab sisepõlemismootorit. Elektrimootoriga juhitud pump teisel küljel töötab ainult vastavalt vajadusele [9].

Siiski paljud sõiduki pumbad ja mootorid vajavad suhteliselt suurt võimsust kilovattpiirkonnas, nagu on näha tabelis (2.2). Seetõttu ei sobi 12 V süsteem töötamiseks koos selliste seadmetega nagu soojendusega istmed. 12 V süsteemi suhteliselt madal pinge põhjustab suuri voolusid, mis vajavad märkimisväärset kaabeldust, mis on kallis, raske ja seda on keeruline läbi viia tänapäevaste sõidukite väikestes ruumides. Kaablite kaal ja suurte vooludega seotud kaod on negatiivne mõju sõiduki efektiivsusele [9].

Tabel 2.2. Energiatarbimine elektriauto süsteemide töötamiseks [9]

Komponent	Tippvõimsus, W
PTC (Positive Temperature Coefficient) soojendid	≤ 4000
Õhukonditsioneer kompressor	≤ 3500
Elektromehaaniline rulljuhtimine (ERC)	≤ 3000
Nutikas jahutuspump	≤ 400
Vedeliku pumbad	~ 200
Esiklaasi soojendus	≤ 700
Elektrohüdrauliline pidurisüsteem	≤ 900
Elektrooniline kompressor	≤ 3000 - 7000
Elektriline roolimine	≤ 2000

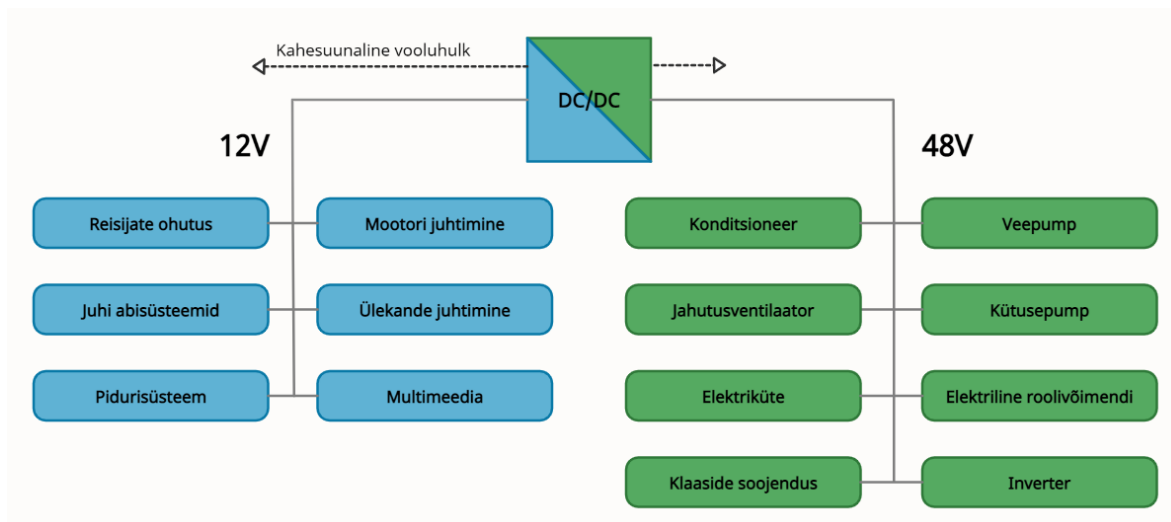
Selle probleemi lahendamiseks pistikhübrid – elektriautodes (*PHEV*) autotootjad kasutavad süsteemi pingega $U = 48\text{ V}$, kuna selle süsteemiga töötavate seadmete jaoks on vaja vähem voolu, saab kaabli suurust vähendada ja see kõik positiivselt mõjutab juhtmestiku maksumust ja sõiduki efektiivsust [9].

Teisel küljel on aga 12 V süsteem veel vajalik, kuna aastate jooksul selle süsteemisse oli palju raha investeeritud, seepärast 48 V süsteemid mõnedes pistikhübrid elektriautodes töötavad koos 12 V süsteemiga. Selle eesmärgiks on jääda muutumatuks olemasolevaid väikese energiatarbimisega süsteeme, nagu multimeedia, juhiabisüsteeme ja elektroonilisi juhtseadmeid [9].

Aku – elektriautodes pole vajadust kasutada 48 V akut, sest selle asemel on olemas suur kõrgepinge aku, mille pinge võib olla umbes $U = 200\text{ V} - 800\text{ V}$. Selleks, et oleks võimalik toita lisaseadmeid suurema vooluga võrreldes 12 V akuga, kasutatakse DC/DC muundurit.

Elektrotehnikas on DC/DC muundur elektriline vooluahel, mis muundab alalisvoolu allikat ühelt pingetasemelt teisele, ajutiselt salvestades siseenergiat ja seejärel vabastades energiat erineval pingel väljundisse. DC/DC muundurid võivad olla erinevaid tüüpe. Ühed saavad edastada toite ainult ühes suunas, sisendist väljundisse. Teised on kahesuunalised muundurid (*Bi – directional DC/DC converter*), mis saavad liikuda jõudu mõlemas suunas, mis on kasulik regeneratiivpidurduse kasutamisel elektriautodes [10].

Tüüpilises hübriidauto arhitektuuris on 12 V ja 48 V süsteemid seisvad suhteliselt eraldi ja on tavaliselt segmenteeritud niimoodi, et väiksema võimsusega seadmed on ühendatud 12 V poolele, aga suurema võimsusega seadmed on ühendatud 48 V süsteemiga (Joonis 2.2) [9].



Joonis 2.2. Hübriid – elektriauto seadmete jaotuse diagramm 12 V ja 48 V süsteemides [9]

Joonises on näha, et sellised süsteemid nagu multimeedia, juhi abisüsteemid ja ohutussüsteemid töötavad pingega $U = 12\text{ V}$. Sellistele süsteemidele nagu kliimaseade ja soojendused on vaja vähem voolu ja seepärast nad töötavad 48 V süsteemiga.

DC/DC muunduri võimsus erineb sõltudes sõiduki omadustest, nagu auto tippvõimsus ja pidev võimsus, maksimaalne pöördemoment, tippkiirus, kiirendusaeg ja kaal [10].

DC/DC muundur vähendab pingetaset pingest $U = 400\text{ V}$ kuni $U = 14\text{ V}$ pingeni, et toita madalpingeahelat. Umbes nii palju on vaja 12 V aku laadimiseks. Elektrisõiduki koormusi saab toita kahe jõuallikaga. Esimesena on muundur, mis annab madala pingega koormustele voolu, juhul kui sõiduk on töörežiimis. Teisena on 12 V aku, mis annab koormustele voolu, kui sõiduk seisab ning aku annab voolu arvutite ja kontrollerite sisse lülitamiseks enne käivitamist töörežiimis [6].

DC/DC muundur peab andma voolu kõikidele koormustele ja samal ajal laadima 12 V akut. Muundurit peetakse reguleeritud pingega pidevaks jõuallikaks, mida tuleb juhtida, et toita kõike koormusi. Siiski võivad ilmned suured mööduvad voolud, kus toiteallikaks on ka 12 V aku. Muunduri vool on alati suurem kui null, kuna see annab koormustele jõudu ühes suunas [6].

Tabelis (2.3) on näidatud tavalise DC/DC muunduri tehnilised andmed. Sealt on näha, et muunduril on sisendpinge $U = 400\text{ V}$ ja maksimaalne voolutugevus $A = 170\text{ A}$ pingel $U = 14,5\text{ V}$ juures. Nominaalpinge vahemik on $U = 10,6\text{ V}$ ja $U = 15,5\text{ V}$ [6]. Sellest tabelist on võimalik arvutada DC/DC muunduriga antavat võimsust. Selle väärtuseks sellel juhul on $P_{\text{muundur}} = 2465\text{ W}$. Teades DC/DC muunduri antavat võimsust on võimalik

arvutada kogu lisaseadmete töötamiseks kasutatavat võimsust ja edasi juba iga protsessi energiatarbimist.

Tabel 2.3. DC/DC muunduri tehnilised näitajad [6]

Suurus	Spetsifikatsioon
Sisendpinge	400 V
Nimiväljundpinge	10,6 V – 15,5 V
Maksimaalne väljundvool ($t > 0$)	170 A (14,5 V)
Maksimaalne väljundvool	250 A / 5 s, iga 1 min
Maksimaalne efektiivsus	93,5% (20 °C)
Maksimaalne väljundvõimsus	170 A x 14,5 V

2.2 Lisaseadmete mõju koguenergia tarbimisele

Aku kogunenud energia peamine eesmärk on elektrimootori toitmine ja elektriauto liikumine erinevates sõidutingimustes. Lisaks peab aku toitma ka abisüsteeme, mis tagavad ohutust ja mugavust. Selliste abisüsteemide toimimiseks kasutatakse lisaseadmeid [11].

Lisaseadmete energiatarve võib märgatavalt mõjutada kogu elektritarbimist. Seetõttu tuleb neid suurema täpsuse tagamiseks sõidukimudelisse lisada [12].

Reisi ajal konkreetse energia väärtus Wh/km või kWh/100km võib olla erinev. Sõltuvalt juhi oskustest ja vajadustest energiatarve võib olla kaks korda või suurem võrreldes seega, mis on märgitud tootjana elektriauto tehnilises kirjelduses [11]. Konkreetset energiatarbimist saab teoreetiliselt määrata jälgides võrrandit:

$$E_{100} = \frac{100}{3,6 \eta_M \eta_E} \left[(f_0 + 5 * 10^{-7} V^2)G + k_B S \frac{V^2}{13} \right] + E_{AS100}, \frac{kWh}{100km} \quad (2.1)$$

kus f_0 - veeretakistustegur madalal kiirusel,

V - auto kiirus, km/h,

G - auto kaal, kN,

k_B - aerodünaamilise takistuse koefitsient, kNs²/m⁴,

S - auto esiosa piirkond, m²,

η_M - transmissiooni efektiivsuse koefitsient,

η_E - elektrimootori ja jõuelektronika efektiivsuse koefitsient,

E_{AS100} - lisaseadmete spetsiifiline energiatarbimine, kWh/100km [11].

Lisaseadmetel on suur mõju elektriauto kogu energiatarbimisele, nagu on näha valemist. Sellepärast nende hindamine peab olema väga täpne, eriti kui on kasutuses seadmete maksimaalne võimsus, selleks et tagada kindlaksmääratud sõiduulatust [11].

Nagu oli varem kirjeldatud, DC/DC muundur toidab 12 V lisaakut kõrgepinge akust, mida kasutatakse sõiduki toiteks [13].

Selle ümberkujundamise käigus tekkivaid kadusid tuleb ka arvestada, sellega on viidud sisse koefitsient η_{DC} . Nüüd saab esitada lisaseadmete tarbimist järgmise valemiga:

$$E_{AS100} = \frac{1}{\eta_{DC}}(E_{CC} + E_L + E_{WCS} + E_{OS}), \frac{kWh}{100km} \quad (2.2)$$

Kus η_{DC} - kahe aku vahelise muunduri kasutegur,

E_{CC} - kliimaseade energiatarbimine,

E_L - valgustussüsteemi energiatarbimine,

E_{WCS} - klaaside puhastussüsteemi energiatarbimine,

E_{OS} - muude süsteemide, nagu SRS, ABS, ESP, elektriliste akende süsteem [11].

Kasutatud kirjanduse järgi lisaseadmete energiatarve sõltub mitmest tegurist, nagu ümbritsev temperatuur või päevaaeg. Kuid selles allikas lihtsuse huvides olid võetud kirjandusest välja keskmised väärtused, nagu on alltoodud tabelis (2.4). Tabel sisaldab peamisi elektriauto lisaseadmeid ja nende keskmist energiatarbimist [12].

Tabel 2.4. Tavalise elektriauto peamiste lisaseadmete keskmine energiatarbimine [12]

Lisaseadmed	Töörežiim	Võimsus, W
Kliimaseade	Pidev	500
Audiosüsteem	Pidev	35
Juhtimiskontroll	Pidev	150
Pea- ja tagatuled	Pidev	120
Parkimis-, pöörde- ja suunatud	Vahelduv	50
Signaal	Vahelduv	10
Roolivõimendi	Pidev	400
Elektrilised akende tõukurid	Vahelduv	80
Klaasi soojendus	Pidev	250
Klaasipuhastid	Pidev	40

3. Elektriautode lisaseadmete energiatarbimine

3.1 Lisaseadmete võimsused

Lisaseadmete arv elektriautodes sõltub kõigepealt auto varustusest. Selleks uurimuseks olid võetud autod, mille varustuse tase on piisavalt sarnane selleks, et nende lisaseadmete energiatarbimist võrrelda.

Nagu oli teises peatükis mainitud, selles töös käsitletakse lisaseadmeid nagu põhi- ja lisasüsteemide kogumit, kus põhiseadmete grupis on seadmed ilma milleta ei saa sõiduk liikluses osaleda, aga lisaseadmete grupis on seadmed, mis suhtlevad peamiste autosüsteemide ja komponentidega, et toetada sõiduki funktsionaalsust.

Lisaseadmete võimsuse otsingul oli esialgu proovitud võtta ühendust autode tootjatega nende Tallinna esinduste kaudu. Tuli välja, et see informatsioon ei saa olla avaldatud, sest see on iga tootja sisepoliitika rikkumine. Peaaegu iga tootja, kelle poole oli kiri saadetud, vastas niimoodi. Ainult Nissan ja Hyundai andsid nende autode tulede võimsusi, aga see info oli varem juba kättesaadav.

Sellel põhjusel lisaseadmete võimsuse otsimisel oli kasutatud mitu teist meetodit. Kõigepealt oli leitud kõikide autode varuosade ja seadmete kataloog, mille baasil olid leitud autode lisaseadmete tehase koodid. Koodide kaudu olid mõnede allikate baasil osaliselt leitud mitme lisaseadmete võimsused. Aga kõikide lisaseadmete võimsusi ei tulnud välja leida selle meetodiga. Sellepärast olid võetud autode elektriahelate kaitseseadmete diagrammid ja nende baasil olid välja arvutatud ülejäänud lisaseadmete võimsused. Alltoodud tabelis (3.1) on kõikide leitud lisaseadmete ligikaudsed võimsused iga auto juhul. Kriipsuga on märgitud need seadmed, mis puuduvad autos üldse, kas auto kere tüübi või varustuse tõttu.

Tabel 3.1. Autode peamiste lisaseadmete võimsused [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21]

Lisaseadmed	Tüüp	Lisaseadmete võimsused, [W]			
		BMW i3	Nissan Leaf	Hyundai Kona Electric	Tesla Model 3
Kliimaseade	Lisa	max 2500	max 5000	max 2500	max 3000
Siseruumi ventilatsioon	Lisa	max 500	max 380	max 500	max 700
Istmete soojendus	Lisa	max 200x2	max 150x2	max 200x2	max 150x4
Tagaklaasi soojendus	Lisa	600	250	500	370
Peeglite soojendus	Lisa	30x2	50x2	50x2	
Klaasipuhastid ees	Põhi	max 350	max 350	max 300	max 300
Klaasipuhasti taga	Põhi	50	50	100	-
Elektrilised akende tükurid	Lisa	150x4	200x4	300x4	300x4
Elektriline katuseluuk	Lisa	350	-	250	300
Armatuurlaud	Põhi	50	50	80	50
Audiosüsteem	Lisa	360	250	400	500
Multimeediasüsteem	Lisa	250	200	200	250
Ohutussüsteemid	Põhi	200	200	200	300
Juhi abisüsteemid	Lisa	200	350	200	750

Antud peatükis antakse ülevaadet iga lisaseadme võimsusest eraldi, leitud väärtuste baasil.

Elektriautode üheks suuremaks energiatarbijaks on auto valgustussüsteem. Selle energiatarve sõltub kahekümne neljatunnisest perioodist – kui reisi realiseeritakse päeval või öösel. Sõiduki tulede on pimedal ajal turvalisuse tagamiseks hädavajalikud ja pimedamatel talvekuudel tuleb neid aegsasti sisse lülitada. Energiatarve veel sõltub tulede kasutamise tingimustest ja sellest, kui kaua töötavad pirnid. Iga reis erineb teisest ja selles ongi tarbimise määramise keerulisus.

Alltoodud tabelis (3.2) on esitatud statistilise analüüsi andmed, kus oli eraldi määratud elektriauto tulede iga elemendi lugukaudne töötamisaeg 100 km jooksul ning tulede võimsused, sõltudes lampide tüüpidest. Analüüsiks olid võetud nii tavalised hõõglambid kui ka LED lambid. Saadud andmete kaudu saab võrrelda iga tüübi energia efektiivsust ja saada tulede ligikaudset kogutarbimist elektriautos, summeerides kõikide elementide tarbimist.

Tabel 3.2. Statistilised andmed valgustuse elementide kasutamisest [11]

Elemendid	Töötamisaeg, min/100km	Energiatarbimine tavaliste pirnidega, W	Energiatarbimine LED pirnidega, W
Päevatuled (DRL)	116,5	40x2	8x2
Kaugtuled	9,8*	60x2	34,4x2
Lähituled	97,6*	55x2	54x2
Vasak pöördtuli	5,8	21	6,9
Parem pöördtuli	4,6	21	6,9
Stop tuled	18,9	21x2	5,6x2
Tsentraalne stop tuli	18,9	21	3
Tagumised tuled	107,4	5x2	1,7x2
Registriumbri tuled	107,4	5x2	0,5x2
Tagurpidi liikumise tuled	0,9	21	5,2
* - ainult öisel ajal sõitmine			

Selleks, et arvutada lampide keskmist energiatarbimist 100 km jooksul, nende töötamisaeg minutites 100 kilomeetrile oli jagatud 60 minutitega, et saada töötamisaega tundides 100 kilomeetrile. Selle baasil olid pärast välja arvatud erinevate tulede energiatarbimised Wh/100km (Tabel 3.3).

Tabel 3.3. Arvutuste andmed valgustuse elementide kasutamisest

Elemendid	Töötamisaeg jagatud 60 minutitega, h/100km	Energiatarbimine tavaliste pirnidega, Wh/100km	Energiatarbimine LED pirnidega, Wh/100km
Päevatuled (DRL)	1,94	155,3	31,1
Kaugtuled	0,16*	19,6	11,2
Lähituled	1,63*	178,9	175,7
Vasak pöördtuli	0,10	2,0	0,7
Parem pöördtuli	0,08	1,6	0,5
Stop tuled	0,32	13,2	3,5
Tsentraalne stop tuli	0,32	6,6	0,9
Tagumised tuled	1,79	17,9	6,1
Registriumbri tuled	1,79	17,9	1,8
Tagurpidi liikumise tuled	0,02	0,3	0,1
Päeval reisimine	1,94	215	45
Öösel reisimine	1,63	413	232
* - ainult öisel ajal sõitmine			

Arvutused näitavad, et maksimaalne valgustussüsteemi energiatarbimine päeval reisimisel kasutades tavalisi hõõglampe on umbes $E_{hõõglamp} = 215 Wh/100km$. LED lampide kasutamine vähendab tarbimist umbes 4,7 korda ja selle energiatarbimine on $E_{LED} = 45 Wh/100km$.

Öisel ajal sõitmisel koos päevatuledega kasutatakse nii lähi- kui ka kaugtulesid, sellepärast kogu energiatarbimine suureneb umbes kaks korda hõõglampide juhul ja umbes viis korda LED lampide juhul. Uued väärtused on $E_{hõõglamp} = 413 Wh/100km$ ja $E_{LED} = 232 Wh/100km$.

Kaasaegsed LED tehnoloogiaga varustatud sõiduki tuled on 60 % keskmiselt efektiivsem võrreldes tavaliste pirnidega varustatud tuledega.

Veel üks suur energiatarbija elektriautos on soojenduse süsteem. Selle hulgas on istmete, tagaklaasi ja küljepeeglite soojendused. Need lisaseadmed mitte ainult lisavad mugavust auto kasutusse, aga veel tagavad ohutust teel, sest soojendusega tagaklaas ja küljepeeglid tagavad selget vaadet sügisel ja talvel. Nende tarbitav võimsus samuti sõltub kasutamise ajast, aga istmete soojenduse võimsus veel valitud kütte tasemest, millist on tavaliselt autos kolm.

Tehtud uurimuse ja leitud allikate järgi, valitud autodes istmete soojenduste võimsused kõige maksimaalsel kolmandal tasemel on keskmiselt $P_{iste} = 150 W - 200 W$ iga istme jaoks. Tesla Model 3 näiteks soojendab nii ees- kui ka tagaistmed, kus iga istme soojenduse elemendi võimsus on $P_{iste} = 150 W$.

Tagaklaasi soojenduse elemendi keskmine võimsus on võrdne $P_{klaas} = 420 W$, kuid analüüs näitas, et selle soojenduse võimsus märgatavalt erineb sõltudes auto tootjast. BMW i3 soojenduse elemendi võimsus on umbes $P_{klaas} = 600 W$, aga Nissan Leaf autos on ainult $P_{klaas} = 250 W$. Küljepeeglite soojenduse elementide võimsused on umbes $P_{peegel} = 15 W - 25 W$ iga peegli jaoks.

Uurimuse baasil võib öelda, et sõltudes seadistatud klaasipuhastite kiirusest, esiklaasi puhastite mootorite maksimaalsed võimsused on keskmiselt $P_{esiklaasi puhasti} = 300 W - 350 W$, aga tagaklaasi puhastamiseks on vaja tavaliselt $P_{tagaklaasi puhasti} = 50 W - 100 W$.

Leitud allikate järgi, valitud autodes elektrilisi aknaid juhivate servomootorite võimsused on keskmiselt $P_{akna tõukur} = 150 W - 300 W$ iga akna jaoks, aga neid kasutatakse ainult paar sekundit. Selline võimsuse erinevus võib olla seotud nii klaaside paksuse ja kaaluga kui ka erineva autotootja poolt paigaldatud mootorite valikuga.

Päikesekatuse avamiseks ja sulgemiseks on vaja $P_{\text{katuseluuk}} = 250 \text{ W} - 350 \text{ W}$, aga see lisaseade ei ole igas autos paigaldatud.

Multimeedia süsteemiga tarbitavaks võimsuseks oli võetud meelelahutussüsteemi puutetundliku ekraani tarbitav võimsus igas autos. Ekraanidega tarbitav energia sõltub kõigepealt ekraanide suuruselt. BMW i3 multimeedia süsteemi ekraan on 10,25" digonaalis. Tesla Model 3 ekraan on aga 15" diagonaalis ja Nissan Leaf ekraan on 8". Ekraani keskmine võimsus on $P_{\text{ekraan}} = 200 \text{ W} - 250 \text{ W}$.

Uurimuse baasil võib öelda, et armatuurlauaga tarbitav võimsus on keskmiselt $P_{\text{armatuurlaud}} = 50 \text{ W} - 80 \text{ W}$. See sõltub armatuurlaua tüübist, ehk sellest kas kasutatakse digitaalset armatuurlauda või analoog näitajaid.

Audiosüsteemi energiatarve sõltub autoks valitud helisüsteemi tootjast ja tootja poolt paigaldatud süsteemi võimsuse karakteristikust ning süsteemi kasutamise ajast. Keskmiselt on sisseehitatud süsteemide toiteallikas umbes $P_{\text{audiosüsteem}} = 375 \text{ W}$. Helisüsteemi kasutamise aeg varieerub suurtes piirides ja vastab juhi ja kaasreisija(te) vajadustele.

Tegelik energiatarbimine sõltub ka helitasemest. Mõned allikad annavad simulatsioonimudelites helisüsteemi keskmiseks toiteallikaks $P_{\text{audiosüsteem}} = 20 \text{ W}$ ja kasutavad suhet umbes 75 % reisi ajast [11].

Alltoodud tabelis (3.4) on kirjeldatud selleks uurimuseks valitud autode helisüsteemide võimsused.

Tabel 3.4. Erinevate tootjate helisüsteemi võimsused [22] [23] [24]

Auto	Helisüsteemi tootja	Kõlarite arv	Võimsus, W
BMW i3s	Harman Kardon	12+võimendi	360
Nissan Leaf e+	Bose	7+võimendi	250
Hyundai Kona Electric	Krell automotive	7+võimendi	400
Tesla Model 3	Tesla	7+võimendi	500

Kuna selleks uurimuseks oli võetud Tesla Model 3 varustusega Standart Range Plus, siis seal kasutatakse seitse kõlarit ja üht võimendit võimsusega $P_{\text{võimendi}} = 200 \text{ W}$ ning selle helisüsteemi kogu võimsus on umbes $P_{\text{helisüsteem}} = 500 \text{ W}$. Teise varustusega Tesla Model 3's nimetatud Long Range, kasutatakse 14 kõlarit, üks subwoofer ja üht võimendit võimsusega $P_{\text{võimendi}} = 560 \text{ W}$. Selle mudeli helisüsteemi kogu võimsus on umbes

$P_{\text{helisüsteem}} = 1250 \text{ W}$. Alltoodud tabelis (3.5) on kirjeldatud Tesla Model 3 helisüsteemi komponendid, nende impedants ja võimsus. Joonis (3.1) näitab Tesla Model 3 varustusega Long Range helisüsteemi kõlarite paigaldust salongis.

Tabel 3.5. Tesla Model 3 helisüsteemi komponendid [22]

Tüüp	Elemendi number	Kõlarite suurus	Impedants, ohm	Võimsus, W
Sub-Woofer	1109561-00-A	8" (200 mm)	2×40 ohm	160 W
Woofer	1079744-00-E	8" (200mm)	4 ohm	80 W
Full-range	1079742-00-A	4" (100 mm)	3 ohm	33 W
HD effects	1088459-00-B	2,5" (60 mm)	4 ohm	2 W
Tweeter, Active	1079741-00-A	1" (25 mm)	4 ohm	25 W
Tweeter, Passive	1098737-00-B	1" (25 mm)	4 ohm	25 W



Joonis 3.1. Tesla Model 3 Long Range helisüsteemi komponentide paigaldus [22]

Kaasaegsete autode juhid on harjunud kasutama palju mugavus- ja ohutusfunktsioone. Kõik need seadmed ja juhiabi funktsioonid tarbivad energiat ja koormavad akut. Kuigi aku säästmiseks juhid saavad hakkama ilma mugavus funktsioonideta, aga ohutus- ja juhiabi süsteemid peaksid siiski toimima ka madala laadimistasemega, seepärast nende tarbitavat energiat on vaja täpselt teada ja arvestada [25].

Peamised ohutussüsteemi rühma kuuluvad süsteemid on: passiivse ja aktiivse ohutuse süsteem (turvapadjad) – SRS; mitteleblokeeruv pidurisüsteem – ABS; veojõukontrollsüsteem – TC; dünaamiline stabiilsussüsteem – ESP; ukse akende ja katuse avamise ja sulgemise süsteemid. Selle rühma suurimad tarbijad on aktiivse ohutuse süsteemid, kuid energia väärtus sõltub sõidustiilist.

Peamised juhiabisüsteemi rühma kuuluvad süsteemid on: sõidurea assistent - *Lane assist*; aktiivne püsikiiruse hoidja - *Active cruise control*; kaugtuli automaat süsteem - *Auto High Beam*; parkimise assistent - *Park assist*; automaat pidurduse süsteem - *Brake assist*; pimedada koha hoiatus - *Blind - Spot Collision Warning*; kokkupõrke vältimise abisüsteem - *Forward Collision Avoidance Assist*; juhiabi esikaamera - *Driver Assist Forward Camera*; juhiabi esikaamera udu assistent - *Driver Assistance Forward Camera Defog*; juhiabi esiradar - *Driver Assist Forward Radar*.

Ohutus- ja juhiabisüsteemide energiatarbimist on raske täpselt määrata, sest nende kasutamine sõltub juhi sõidustiilist, teekonna tingimustest, reisi nägemata asjaoludest, kus näiteks võivad abiks olla kokkupõrke vältimise abisüsteemid, ning paljudest teistest faktoritest. Valitud autode ohutussüsteemide ligikaudne maksimaalne tarbitav võimsus on $P_{ohutussüsteemid} = 200\text{ W} - 300\text{ W}$, aga juhiabisüsteemide tarbitav võimsus on $P_{juhiabi süsteemid} = 200\text{ W} - 750\text{ W}$, sõltudes sellest, kui kallis on auto varustus ja kui palju abisüsteeme on autos olemas. Teslas on näiteks autopiloot, seepärast selle juhiabisüsteemide võimsus on kõige suurem ja võrdne $P_{juhiabi süsteemid} = 750\text{ W}$.

3.2 Soojuspump ja A/C süsteem

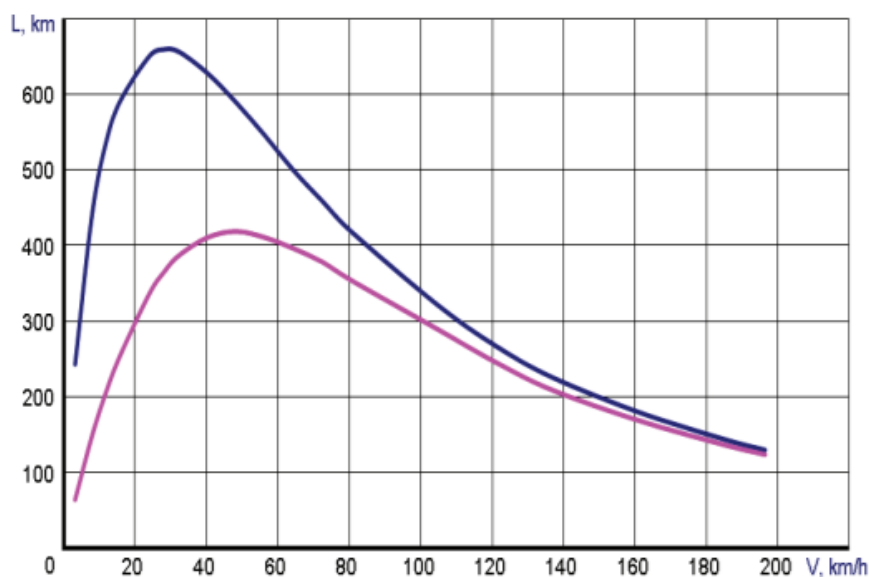
Kütteseadme süsteemi tavapärasel bensiinimootoriga sõidukis saab lihtsalt kasutada, kuna mootori jahutussüsteemist varustatud jahutusvedelik on lihtsasti saadav. Elektrisõidukitel ei ole seda soojusallikat ja seetõttu nad peavad tagama soojust lisaseadme küttesüsteemiga. Mõnes elektrisõidukis kasutatakse elektrilist takistuskuumutit, mis on sarnane tavalise fööniga, aga see nõuab elektrit. See energia peab tulema põhiakust koos vastava sõiduki sõiduulatuse vähenemisega. Sõltuvalt välistemperatuurist ja soovitud temperatuurist sõidukis, mõnede allikate järgi võib sõiduulatuse vähendamise ulatuda 35%-ni [13].

Alltoodud tabelis (3.6) on kirjeldatud, kui palju võimsust tarbib töötamiseks kliimaseadme süsteem auto salongis erinevate temperatuuri saavutamiseks. Selle tabeli baasil on näha, et mida madalam temperatuur salongis on saavutatud, seda rohkem võimsust kliimaseadmega on tarbitud.

Tabel 3.6. Kliimaseadme süsteemi töötamiseks vajalik võimsus [11]

Välise õhu temperatuur, °C	Salongi õhu temperatuur, °C	Vajalik võimsus, kW
43	21	1,5 - 2
43	25	1
43	29	0,5

Alltoodud joonisel (3.2) on graafik, mis kirjeldab auto sõiduulatuse muutuse sõltuvust kiirusest töötava kliimaseadmega ja välja lülitatud kliimaseadmega ühe aku laadimisel. Autona oli võetud Tesla Roadster elektriauto, aga töötava kliimaseadme võimsuseks 2 kW.



Joonis 3.2. Tesla Roadster elektriauto sõiduulatuse muutuse sõltuvus kiirusest [11]

Roosa värviga on märgitud sõiduulatus töötava kliimaseadmega;

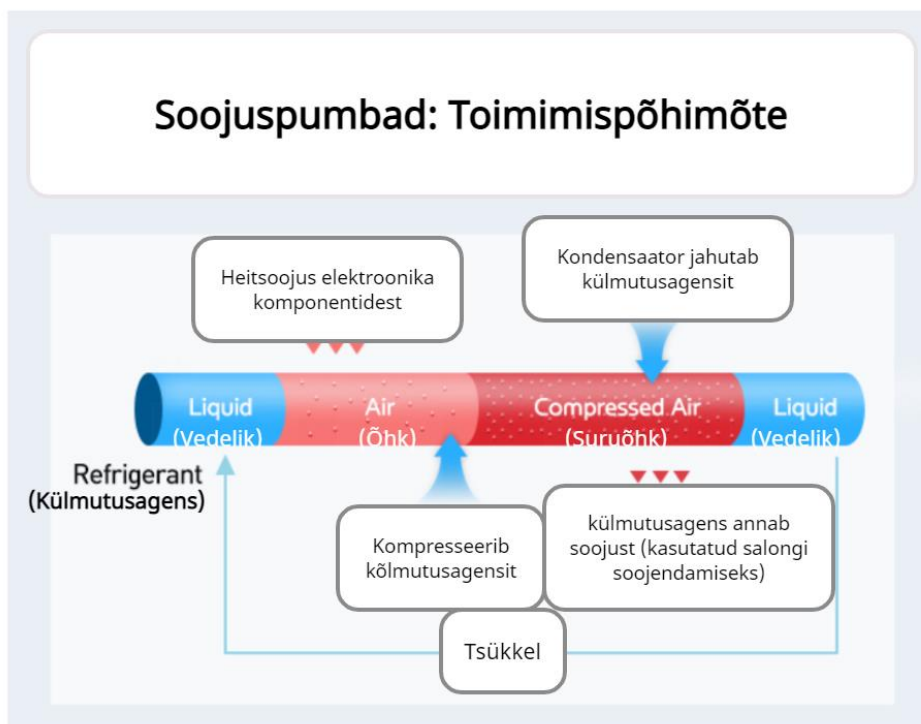
Sinise värviga on märgitud sõiduulatus välja lülitatud kliimaseadmega.

Graafikust on näha, et kiirusel 25 km/h on läbitud vahemaa väheneb umbes 2 korda kui töötab kliimaseade võimsusel $P_{kliimaseade} = 2 \text{ kW}$. Pärast 100 km/h saavutust, ühe aku laadimisel läbitud vahemaa erinevus sisse ja välja lülitatud kliimaseadmega on vähem kui 15 %. Selle baasil võib öelda, et ainult madalatel linna kiirustel on kõige suur mõju sõiduulatusele töötava kliimaseadmega.

Klassikalise HVAC (*Heating, ventilation, and air conditioning*) süsteemi asemel, mis kannab soojust salongi, elektriautode tootjad otsustasid paigaldada soojuspumpa, kuna selle efektiivsus on palju suurem, kui varem kasutatud süsteemil.

Soojuspump toimib tagurpidi kliimaseadmena, sest need pigem liigutavad soojust kui tekitavad seda. Kuna kliimaseade kasutab külmutusagensit soojuste hoidmiseks suletud piirkonnas ja jahutab seda enne viimist väljapoole, siis soojuspump on varustatud pöördklapiga, mis muudab külmutusagensi voolu vastupidiseks. Soojuspump hajutab külma õhu asemel soojust [26].

Alltoodud joonis (3.3) näitab tavalise soojuspumba süsteemi tööpõhimõtet autos Hyundai Kona Electric. Heitsoojus pärineb elektroonilistest komponentidest nagu mootor, OBC (*On board Charger*) ja EPCU (*Electric Power Control Unit*), kuid ainult see soojus pole piisavalt kuum, et jõuda temperatuurini $t = 40^{\circ}\text{C}$, mis on vajalik salongi soojendamiseks. Seepärast seda kasutatakse jahutatud külmutusagensi soojendamiseks. Selle süsteemi väljatöötamise tulemuseks on võimalik nii soojuspumba efektiivsuse tõsta, kui ka põhiakut jahutada [27].



Joonis 3.3. Hyundai Kona Electric soojuspumba tööpõhimõte [27]

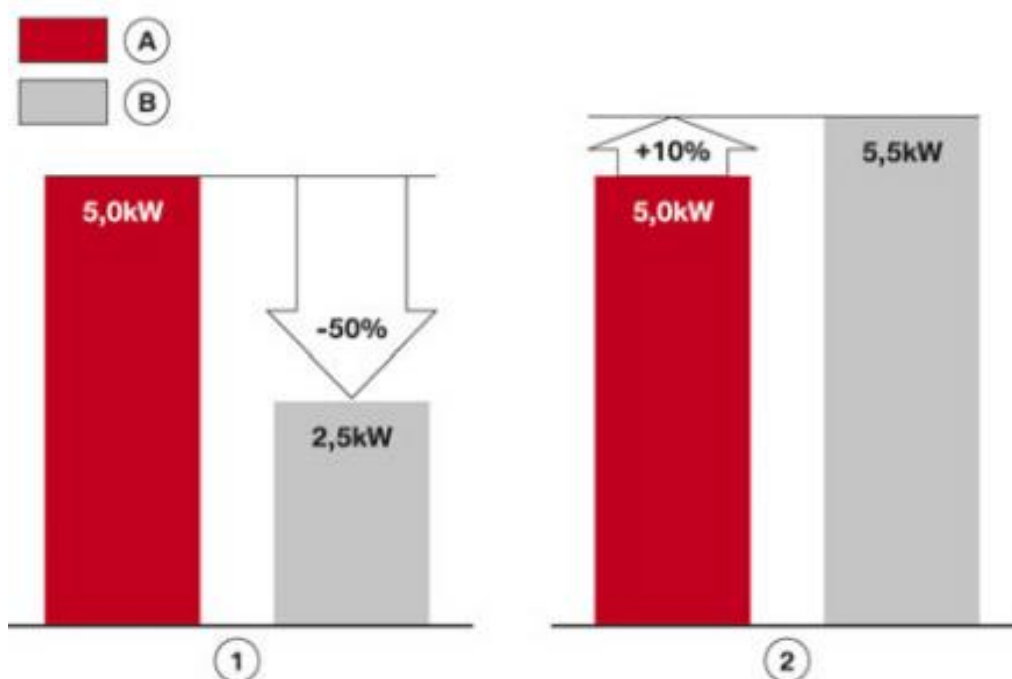
Selle süsteemi efektiivsuse kasv on paremini nähtud tegelikkude arvude abil – kompressor tekitab 1 kW soojust, aga tsükliga töötav külmutusagens võtab välistest allikatest veel 1,5 kW soojust. Seda soojust on piisav, et saadud elektri väikesest kogusest saada soojuspumba süsteemi tööle [27].

Soojuspumpadega varustatud automudelid tavaliselt kasutavad pööratavat seadet, et soojusenergiat sooja ilmaga salongist välja viia ja külma ilmaga soojusenergiat elektrikomponentidest või väljast salongi tuua [26].

2012. aasta Nissan Leaf oli esimene masstoodanguna valminud sõiduk maailmas, mis pakkus salongikütteseadet soojuspumba baasil. See süsteem on aidanud suurendada sõiduulatusel talvekuudel. Nüüd kõik BMW i3 elektrilised versioonid, Hyundai Ionic Electric, Hyundai Kona Electric ja Kia Soul EV pakuvad seda ning Jaguar I-Pace ja Audi E-tron lähevad koos soojuspumbasüsteemiga. Nii ka Toyota Prius hübriid ja enamus Volkswagen e-Golf versioone [27].

Tesla mudelid nüüd samuti kasutavad soojuspumba kliimaseadmeid, aga nende mudelites veel kasutatakse nii jõuelektroonika kui ka mootorite heitsoojust põhiaku soojendamiseks. See lubab nende soojuspumbale iga kasutatud 1 kW kohta toota 3 kW soojusenergiat, muutes seda väga efektiivseks ja suurendades sõiduulatusel [26]. Selle süsteemiga on praegu varustatud ainult Tesla Model 3 ja Model Y.

BMW i3 tavalise HVAC süsteemi kasutamise juhul tuleb kütteseadmele kasutada umbes 5,5 kW elektrienergiat 5 kW küttevõimsuse saamiseks takisti kadude tõttu. Soojuspumbaga varustatud süsteemile on vaja ainult 2,5 kW elektrienergiat selleks, et saavutada samat 5 kW võimsust (Joonis 3.4, Tabel 3.7) [28].



Joonis 3.4. BMW i3 soojuspumba efektiivsus võrreldes elektrikütte seadmega [28]

- 1 – Soojuspump kütterežiimis
- 2 – Elektrikütte seade kütterežiimis
- A – Kütteseadme väljundvõimsus
- B – Elektrienergia tarbimine

BMW i3 saab säästa kuni 3 kW elektrienergiat soojuspumba kasutamisel. Seda energiat saab seejärel kasutada sõiduki elektrimootori toite jaoks, suurendades seega sõiduulatust.

Tabel 3.7. BMW i3 soojuspumba süsteemi efektiivsus kütte - ja jahutus režiimides [28]

Kasutatud energia, kW	Kütte väljundvõimsus, kW	Jahutuse väljundvõimsus, kW
1	2	3
2,5	5	7,5

Soojuspumba kasutamine kõigis töörežiimides on mõttekas temperatuurivahemikus $t = -10^{\circ}\text{C}$ kuni $t = +40^{\circ}\text{C}$ [28].

Mitte kõik soojuspumba süsteemid on võrdsed. Korea keskkonnaministerium on alates aastast 2018 jälginud erinevate elektriautode talve sõiduulatuse andmeid ja joonisel (3.5) on toodud aasta 2020 andmed [27].

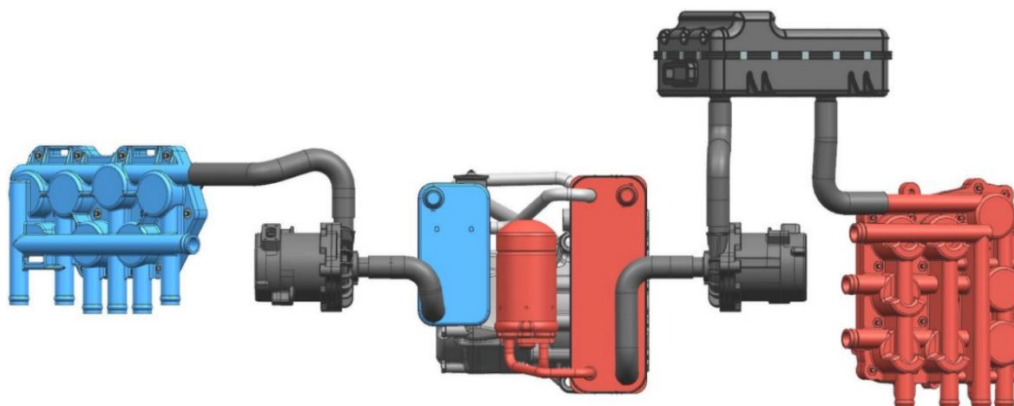


Joonis 3.5. Testitud autode sõiduulatuse erinevused sõltuvalt tingimustest [27]

Hyundai esimese põlvkonna soojuspumba süsteemiga varustatud Ionic Electric näitas, et selle sõiduulatus talve tingimustel on 76 % tavalisest sõiduulatuses soojades tingimustes. See väärtus on suurem kui 67 %, mis näitas Nissan Leaf ja 64 %, mis näitas BMW i3 (Joonis 3.5) [27].

Tarnija *Mahle* on üks paljudest ettevõtetest, kes põhjalikult vaatavad külma ilma probleemile. *Mahle ITS* sisaldab mitu erinevat komponenti ühes süsteemis, mis aitab soojendada ja jahutada nii salongi kui ka elektrisüsteeme. Jahuti ja kondensaator hõlmavad aurustusseadme ja kondensaatori funktsioone, samas kui nende vahel on soojuspaisuventiil ja süsteemi teises otsas elektriajami kompressor [29].

Eriline on see, et see on korralikult pakitud modulaarne süsteem, mida saab "kohandada tulevaste sõidukiarhitektuuridega", ütleb *Mahle*, ja see on ühtne alternatiiv sellele, mida tarnija näitas algselt 2017. aastal "tervikliku soojusjuhtimise" süsteemiks (Joonis 3.6) [29].



Joonis 3.6. Mahle integreeritud termosüsteem [29]

Salongi ventilatsioon kannab soojust reisijateni ja selle võimsus keskmisel tasemel on umbes $P_{\text{ventilatsioon}} = 170 \text{ W}$, aga maksimaalselt umbes $P_{\text{ventilatsioon}} = 380 \text{ W} - 700 \text{ W}$.

Sõltuvalt kasutatud kliimaseadmest, kas kasutatakse elektrilist kliimaseadet või soojuspumpa, kliimaseadme toiteallika maksimaalne võimsus võib mõnede automudelite puhul saavutada $P_{\text{kliimaseade}} = 3 \text{ kW} - 5 \text{ kW}$, seepärast seda tuleb arvestada.

3.3 Lisaseadmete energiatarbimine

DC/DC muundurite turul on üle 10 tootjat, aga all on loetletud 9 parimat neist, kes moodustasid 2018. aastal suuremat osa turust [30].

Parimad DC/DC muundurite tootjad:

- Delphi Plc
- Delta Electronics
- Valeo
- Toyota Industries
- LG Innotek
- Continental AG
- Denso Corporation
- HELLA GmbH & Co. KGaA
- Hyundai Mobis

Kuna see jõuelektronika komponent nõuab kõrget ekspertiisi taset ja tugevat tulemuste kontrolli, siis turutuleku tõkked on märkimisväärselt kõrged. Seega on meil ainult asutatud ettevõtted, kes tarnivad seda komponenti originaalseadmete tootjatele. Toyota Industries, Continental AG, Delta Electronics ja Valeo on juhtivad mängijad autotööstuse DC/DC muundurite turul kogu maailmas [30]. All on toodud mõnede tootjatega pakutavate DC/DC muundurite spetsifikatsioonid (Tabel 3.8).

Tabel 3.8. Elektriautode DC/DC muundurite spetsifikatsioonid [31] [32] [33] [34] [35]

Suurus	Delta Electronics	Continental AG	Delphi (BorgWarner)	LG Innotek	Hyundai Mobis
Sisendpinge	220V - 430V	220V - 450V	220V - 800V	200V - 450V	240V - 420V
Nimiväljundpinge	9V - 16V	8V - 16V	-	9V - 16V	-
Maksimaalne efektiivsus	>94%	-	>92%	>95%	>95%
Maksimaalne väljundvõimsus	1,8kW - 3,5kW	3,5kW	1,2kW - 7,2kW	1,5kW - 3,5kW	3,3kW - 6,6kW

Elektriautos aku pingega kuni $U = 400\text{ V}$ tavaliselt kasutatakse DC/DC muundurit võimsusega $P_{muundur} = 2000\text{ W}$ kuni $P_{muundur} = 3000\text{ W}$.

Selleks, et arvutada põhi- ja lisaseadmete minimaalset ja keskmist energiatarbimist, oli tehtud analüüs eeldatava sõidu baasil. Kõigepealt oli võetud distants 100 km ja selle distantsi jooksul töötavate lisaseadmete ligikaudsed töötamise ajad. Eeldatava sõidu

ajal oli võetud keskmine kiirus $V = 51,5 \text{ km/h}$, ja selle distantsi läbimiseks kulunud aeg 116,5 minutit või 1,94 tundi. Need väärtused on samad, nagu oli võetud valgustuse elementide võimsuse arvutuses (Tabel 3.2, Tabel 3.3). Teiseks olid välja arvatud selle aja jooksul töötavate lisaseadmetena tarbitud võimsused. Viimaseks need väärtused olid summeeritud ja oli saadud energiatarbimise üks keskmine väärtus watt - tundides. All on toodud eeldatava sõidu lisaseadmete energiatarbimise arvutus (Tabel 3.9, Tabel 3.10).

Tabel 3.9. Põhiseadmete energiatarbimise arvutus

Elemendid	Töötamisaeg, min/100km	Töötamisaeg jagatud 60 minutidega, h/100km	Nimivõimsus (1h), W	Energia-tarbimine Wh/100km
Valgustus (LED)	116,5	1,94	23,2	45
Armatuurlaud	116,5	1,94	50	97
Juhtimiskontroll	116,5	1,94	150	291
Roolivõimendi	116,5	1,94	400	776
Kokku	116,5	1,94	623,2	1209

Tabel 3.10. Lisaseadmete energiatarbimise arvutus

Elemendid	Töötamisaeg, min/100km	Töötamisaeg jagatud 60 minutidega, h/100km	Energia-tarbimine (1h), Wh	Energia-tarbimine Wh/100km
Valgustus (LED)	116,5	1,94	23,2	45
Kliimaseade	116,5	1,94	275	463
Siseruumi ventilatsioon	116,5	1,94	170	329,8
Armatuurlaud	116,5	1,94	50	97
Audiosüsteem	116,5	1,94	75	145,5
Multimeediasüsteem	116,5	1,94	100	194
Juhtimiskontroll	116,5	1,94	150	291
Roolivõimendi	116,5	1,94	400	776
Kokku	116,5	1,94	1243,2	2341,3

Selleks analüüsiks olid võetud järgmised tingimused.

Valgustussüsteemi energiatarbimise arvutuseks oli võetud päeval reisimine LED lampidega. See väärtus oli välja arvatud tabelis (3.3) ja on võrdne $E_{LED} = 45 \text{ Wh}/100\text{km}$.

Kliimaseadme nimivõimsuseks oli võetud $P_{kliimaseade} = 500 \text{ W}$, sest tabelist (3.6) on näha, et nelja kraadi õhutemperatuuri langemiseks soojuspump kasutab 500 W.

Eeldatava reisi ajal oli vaja õhutemperatuuri 24 kraadist langetada 20 kraadini. Selleks, et salongis temperatuuri nelja kraadi langetada, kliimaseade eeldatavasti nõuab 15 minutit, aga pärast nõutud temperatuuri saavutust, kliimaseade juba tarbib vähem võimsust. Selles analüüsis oli võetud $P_{kliimaseade} = 500 W$ esimeseks 15 minutiks ja $P_{kliimaseade} = 200 W$ ülejäänud ajaks. Tuleb välja, et 15 minuti jooksul oli tarbitud $E_{kliimaseade} = 125 Wh$ ja ülejäänud aja jooksul $E_{kliimaseade} = 338 Wh$, kokku on $E_{kliimaseade} = 463 Wh/100km$.

Siseruumi ventilatsiooni väärtuseks oli võetud keskmisel tasemel töötava süsteemi võimsus $P_{ventilatsioon} = 170 W$, mille tarbimine 100 km ulatusel on võrdne $E_{ventilatsioon} = 329,8 Wh/100km$.

Audiosüsteemi töötamisel oli võetud 20 % maksimaalsest võimsusest, mis tähendab, et süsteemi maksimaalsest helitugevusest oli kasutatud ainult 20 %. Analüüsiks võeti autode audiosüsteemide maksimaalse võimsuse keskmist väärtust, mis on võrdne $P_{audiosüsteem} = 375 W$, ja sellest kasutati 20 %. Nimivõimsuseks tuli välja $P_{helisüsteem} = 75 W$, aga energiatarbimiseks 100 km ulatusel tuli välja $E_{audiosüsteem} = 145,5 Wh/100km$.

Juhtimiskontrolli ja roolivõimendi võimsused olid võetud tabelist (2.4). Need koormused on pidevalt töötamisel ja nende väärtused on $E_{juhtimiskontroll} = 291 Wh/100km$ ja $E_{roolivõimendi} = 776 Wh/100km$.

Selle analüüsi tulemuseks lisaseadmete energiatarbimise summaarseks väärtuseks 100 km läbimisel oli saadud ligikaudselt $E_{kokku} = 1210 Wh/100km$ ainult põhiseadmete kasutamisel ja $E_{kokku} = 2340 Wh/100km$ nii põhi- kui ka lisaseadmete kasutamisel. Ühe tunni sõitmisel sama koormustega seadmete energiatarbimine tuli välja ligikaudselt $E_{kokku} = 620 Wh$ (põhiseadmete kasutamisel) ja $E_{kokku} = 1240 Wh$ (põhi- ja lisaseadmete kasutamisel).

Saadud väärtuste võrdlemisel tavalise DC/DC muunduriga võimsusega $P_{muundur} = 2500 W$ saame, et ainult põhiseadmetena tarbitud võimsus ühe tunni kestvusel on 26 % ($620/2375 * 100\% \approx 26,1\%$) maksimaalsest muunduri väljundvõimsusest ning põhi- ja lisaseadmetena tarbitud võimsus ühe tunni sõidu kestvusel on 52 % ($1240/2375 * 100\% \approx 52,2\%$) maksimaalsest muunduri väljundvõimsusest, võttes arvesse muunduri 95 % ($2500 W * 95\% = 2375 W$) efektiivsust.

100 km läbimisel muunduri maksimaalne väljundvõimsus võib juba olla $P_{muundur} = 4607 \text{ W}$, aga põhiseadmetena tarbitud võimsus on siin umbes 26 % ($1210/4607 * 100\% \approx 26,3\%$) ning lisaseadmetena tarbitud võimsus on siin umbes 51 % ($2340/4607 * 100\% \approx 50,8\%$), (Tabel 3.11).

Tabel 3.11. Analüüsi lõplikud tulemused

Tarbimise tüüp	Nimivõimsus (1h), W	Energiatarbimine Wh/100km
DC/DC muunduri maksimaalne võimsus	2375	4607
Lisaseadmete minimaalne energiatarbimine (ainult põhiseadmed)	620	1210
Lisaseadmete keskmine energiatarbimine	1240	2340

Nii põhi- kui ka lisaseadmetena tarbitud võimsuse väärtused protsentides näitavad, et eeldatava sõidu analüüsil välja arvatud lisaseadmete energiatarve on täiesti võimalik väärtus, aga see otseselt sõltub võetud tingimustest.

Alltoodud tabelis (3.12) kirjeldatakse segmenteeritud lisaseadmete energiatarbimist, mis olid välja arvatud võttes analüüsitud autode lisaseadmete energiatarbimise keskmisi väärtusi.

Tabel 3.12. Elektriauto lisaseadmete energiatarbimised

Valgustus	Kliima ja soojendus	Mugavus	Multimeedia	Ohutus ja juhi abi
LED (päeval) 23 Wh	Soojuspump, ventilatsioon 2500 – 5000 Wh	Klaasidepuhastid 350 – 450 Wh	Armatuurlaud 50 – 80 Wh	Ohutussüsteemid 200 – 300 Wh
LED (öösel) 120 Wh	Istmete soojendus 150 – 200 Wh	Elektrilised akende tõukurid 150 – 300 Wh	Audiosüsteem 375 Wh	Juhi abisüsteemid 200 – 750 Wh
Hõõglamp (päeval) 110 Wh	Tagaklaasi soojendus 420 Wh	Elektriline katuseluuk 250 – 300 Wh	Multimeedia 200 – 250 Wh	
Hõõglamp (öösel) 212 Wh	Peeglite soojendus 15 – 25 Wh	Roolivõimendi 400 Wh		

KOKKUVÕTE

Tänases autotööstuse valdkonnas lisaseadmete arv ainult kasvab iga uue mudeliga. Ja sellega kasvab ka tarbitav võimsus, mis läheb lisaseadmete toideks. Selle töö eesmärkideks oli uurida, kui palju energiat tarbivad lisaseadmed elektriautodes ja kuidas energiatarve sõltub erinevatest tingimustest ja auto varustusest.

Lisaseadmete võimsuse otsingul oli leitud kõikide autode varuosade ja seadmete kataloog, mille baasil olid leitud autode lisaseadmete tehase koodid. Koodide kaudu olid mõnede allikate baasil osaliselt leitud mitme lisaseadmete võimsused. Aga suurem osa lisaseadmete võimsusi oli võetud autode elektriahelate kaitseseadmete diagrammidest.

Uuriti 48 V süsteemi tööpõhimõtet ja vajadust hübriid – elektriautodes ning selgitati kuidas seda süsteemi vahetati aku – elektriautode tööstuses. Selgitati, et suuremad energiatarbijad saavad oma voolu otseselt DC/DC muundurist, aga kõik väiksemad energiatarbijad 12 V akust. DC/DC muunduri maksimaalne võimsus erineb sõltudes sõiduki omadustest. Erinevate allikate abil olid leitud DC/DC muundurite spetsifikatsioonid ja selle info baasil selgitati, et kõige tavalisema muunduri võimsus on $P_{muundur} = 2,5 kW - 3 kW$.

Selle analüüsi baasil selgus, et kaasaegsete autode lisaseadmed ja abisüsteemid on märkimisväärne osa kogu elektriauto energiatarbimisest. See väärtus võib mõnikord olla isegi üle 15 %.

Selles töös kasutatud kirjanduse ja nelja autode baasil tehtud uuringute järgi selgus, et lisaseadmete energiatarve sõltub paljudest teguritest. Nende hulgas on valgustuse süsteemiks valitud tehnoloogia. LED lampide kasutamine vähendab tarbimist umbes 4,7 korda võrreldes tavaliste hõõglampidega ja selle energiatarbimine elektriautos on umbes $E_{LED} = 45 Wh/100km$.

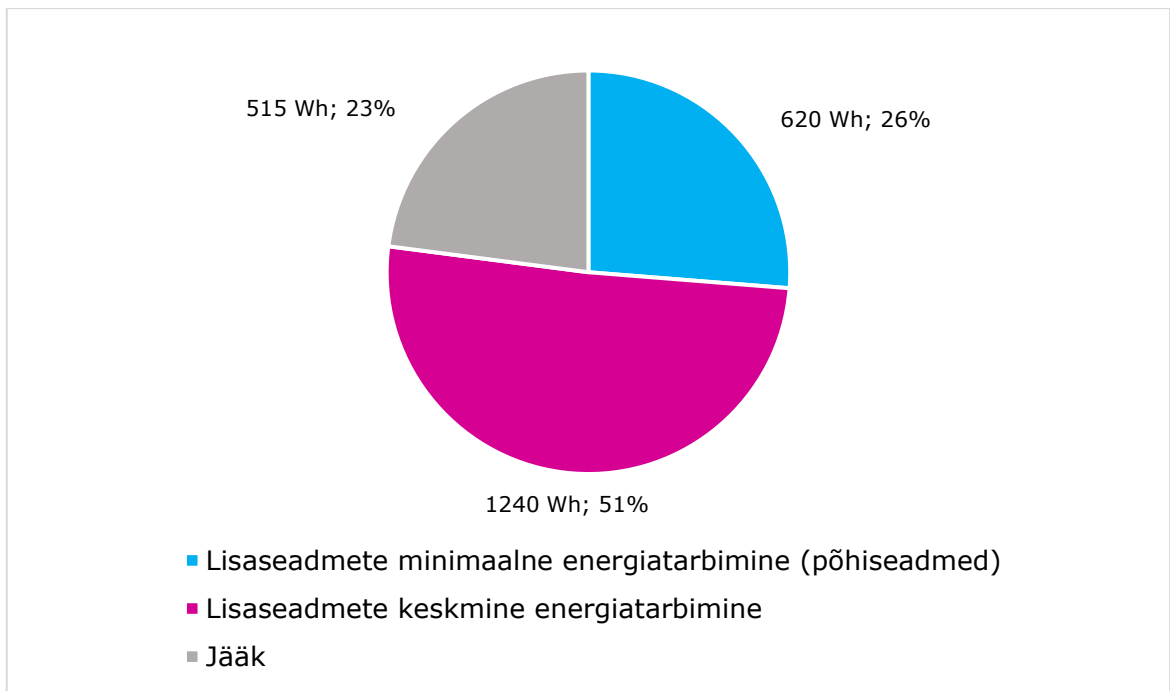
Kõige rohkem energiat tarbitav mõjur on ümbritsev temperatuur, see ongi teine ja kõige tähtsaim tegur elektriautode sõiduulatus suurendamiseks. Ümbritsevast temperatuurist sõltub auto kliimaseadme töö, mille energiatarve sõltub otseselt sellest, mitu kraadi tuleb auto salongi soojendada või jahutada. Kõikides autodes, mille baasil oli teostatud see analüüs, kliimaseadmeks on paigutatud soojuspump, mis võimaldab anda soojendamiseks ja jahutamiseks umbes 50 % - 70 % rohkem võimsust, kui on vaja tarbida selle võimsuse tootmiseks. Soojuspump võib maksimaalses režiimis tarbida

kuni 5 kWh energiat, aga tavaliselt see väärtus igapäevase sõidu piirides on umbes $E_{soojuspump} = 0,5 \text{ kWh} - 1,5 \text{ kWh}/100\text{km}$ suvel ja 1,5 – 3 korda rohkem talvel.

Veel üheks suureks energiatarbijaks elektriautos on istmete, tagaklaasi ja küljepeeglite soojendused. Need tarbivad keskmiselt $E_{iste} = 150 \text{ Wh} - 200 \text{ Wh}$, $E_{tagaklaas} = 420 \text{ Wh}$ ja $E_{peegel} = 15 \text{ Wh} - 25 \text{ Wh}$.

Teiste lisaseadmete energiatarbimised sõltuvad otseselt kasutamise vajadusest ja kasutustingimustest. Nende hulgas on klaasidepuhastid (keskmiselt tarbivad $E_{esiklaasi \text{ puhasti}} = 300 \text{ Wh} - 350 \text{ Wh}$ ja $E_{tagaklaasi \text{ puhasti}} = 50 \text{ Wh} - 100 \text{ Wh}$ tagaklaasi puhastamiseks), elektrilised akende tõukurid ja katuseluuk (tarbivad keskmiselt $E_{akna \text{ tõukur}} = 150 \text{ Wh} - 300 \text{ Wh}$ iga akna jaoks ja $E_{katuseluuk} = 250 \text{ Wh} - 350 \text{ Wh}$ katuseluugi avamiseks), multimeedia ja audiosüsteem (uuritud autode keskmine energiatarbimine on vastavalt $E_{multimeedia} = 100 \text{ Wh}$ multimeediale ja $E_{audiosüsteem} = 75 \text{ Wh}$ audiosüsteemile), ohutussüsteemid ja juhi abisüsteemid (tarbivad vastavalt $E_{ohutussüsteemid} = 200 \text{ Wh} - 300 \text{ Wh}$ ohutussüsteemi jaoks ja $E_{juhiabi \text{ süsteemid}} = 200 \text{ Wh} - 750 \text{ Wh}$ juhiabisüsteemide jaoks).

Kokkuvõtteks, see analüüs annab kõigepealt üldise pildi selle kohta, kui palju energiat vajavad lisaseadmed töötamiseks elektriautos. Eestis nelja kõige populaarsema elektriautode baasil oli leitud iga lisaseadme energiatarbimine ja arvutatud välja kogu põhi- ja lisaseadmete minimaalne ja keskmine energiatarbimine ühe tunni sõidu kestvusel ja 100 km läbimisel. Saadud tulemused on umbes 26 % (ainult põhiseadmete kasutamisel) ja 51 % (põhi- ja lisaseadmete kasutamisel) maksimaalsest muunduri väljundvõimsusest, võttes arvesse muunduri 95 % efektiivsustegurit. Selline tulemus on täiesti võimalik tegelikul testsõidul aga sõltub otseselt sõidu tingimustest. Joonisel (K1.1) on toodud selle töö lõplikud tulemused.



Joonis K1.1. Lõplikud tulemused

SUMMARY

In today's automotive industry, the number of accessories is only growing with each new model. And it also increases the consumed power needed to power the auxiliaries. The aims of this work were to investigate how much energy auxiliaries consume in electric cars and how energy consumption depends on different conditions and car equipment.

During the research of auxiliary systems power was found a catalog of all car parts and equipment, based on which were found the car auxiliary systems factory codes. With help of the factory codes, the capacities of several accessories were partially found on the basis of some sources. But most of the auxiliary capacities were taken from the car's electrical circuit protection diagrams.

The basic operation and need of 48 V systems in hybrid electric cars were studied and was explained how this system was replaced in the battery - electric car industry. It was found that larger energy consumers get their power directly from the DC/DC converter, but all smaller energy consumers get their power from the 12 V battery. The maximum power of the DC/DC converter varies depending on the vehicle characteristics. The specifications of the DC/DC converters were found using various sources, and based on this information, was clarified that the power of the most common converter is $P_{converter} = 2,5 kW - 3 kW$.

Based on this analysis, it was found that modern car auxiliaries and auxiliary systems are a significant part of the total energy consumption of an electric car. This value can sometimes even exceed 15 %.

Based on the literature used in this work and studies based on four cars, was found that the energy consumption of auxiliary systems depends on many factors. Among them is the technology chosen for the lighting system. The use of LED lamps reduces consumption by about 4,7 times compared to conventional lamps and its energy consumption in an electric car is about $E_{LED} = 45 Wh/100km$.

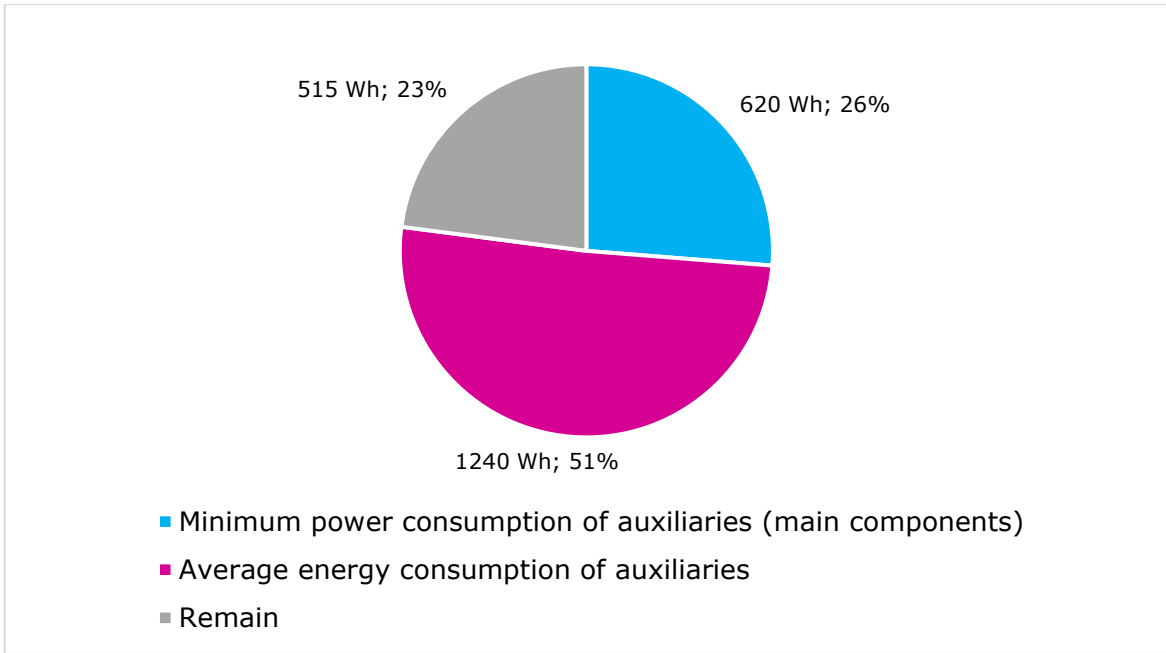
The most energy consuming factor is the ambient temperature, which is the second and most important factor in increasing the range of electric cars. The operation of the car's air conditioning system depends on the ambient temperature, the energy consumption of which depends directly on how many degrees the car's interior needs to be heated or

cooled. All the cars on which this analysis was based have a heat pump installed in the air conditioning system, which makes it possible to provide about 50 % - 70 % more power for heating and cooling than is needed to produce this capacity. The heat pump can consume up to 5 kWh of energy in the maximum mode, but usually this value in the range of daily driving is about $E_{heat\ pump} = 0,5\ kWh - 1,5\ kWh/100km$ in summer and 1,5 - 3 times more in winter.

Another major energy consumers in an electric car are the seat, rear window and side mirrors heatings. They consume an average of $E_{seat} = 150\ Wh - 200\ Wh$, $E_{rear\ window} = 420\ Wh$ ja $E_{mirror} = 15\ Wh - 25\ Wh$.

The energy consumption of other auxiliaries depends directly on the need and conditions of use. These include windscreen wipers (average consumption of $E_{front\ wipers} = 300\ Wh - 350\ Wh$ and $E_{rear\ wiper} = 50\ Wh - 100\ Wh$ for rear window cleaning), power windows and sunroof (average consumption of $E_{power\ window} = 150\ Wh - 300\ Wh$ for each window and $E_{sunroof} = 250\ Wh - 350\ Wh$ for opening the sunroof), multimedia and audio system (the average energy consumption of the cars studied is $E_{multimedia} = 100\ Wh$ for multimedia and $E_{audio\ system} = 75\ Wh$ for audio system), safety systems and driver assistance systems (consuming $E_{safety\ systems} = 200\ Wh - 300\ Wh$ for safety systems and $E_{driver\ assistance\ systems} = 200\ Wh - 750\ Wh$ for driver assistance systems).

In conclusion, this analysis first of all gives an overview of how much energy the auxiliaries need to work in an electric car. On the basis of the four most popular electric cars in Estonia, the energy consumption of each auxiliary was found and the minimum and average energy consumption of all auxiliaries during one hour of driving and 100 km was calculated. The results obtained are approximately 26 % (when using only the main auxiliaries) and 51 % (when using both auxiliaries) of the maximum output power of the converter, taking into account the 95% efficiency of the converter. This result is entirely possible during the actual test drive, but depends directly on the driving conditions. The final results of this research are shown on the drawing (K1.1).



Drawing K1.1. Final results

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] L. James, „Electromobility - Electric vehicle basics, how they work, and how they're powered“, *Power-and-beyond*, Feb. 04, 2021. [Võrgumaterjal]. https://www.power-and-beyond.com/electromobility--electric-vehicle-basics-how-they-work-and-how-theyre-powered-a-997269/?cmp=go-ta-art-trf-PuB_DSA-20200714&gclid=CjwKCAiA4rGCBhAQEiwAelVti3bJ-Sgn4nPwT8oL-q5FfuHY1QUQC2c9LQ2H4wYmD-0YiMda1bG7ShoCeM0QAvD_BwE (Kasutatud märts 13, 2021).
- [2] „Sõidukite statistika“, *Maanteeamet*, juuni 21, 2016. <https://www.mnt.ee/et/ametist/statistika/soidukite-statistika> (Kasutatud apr 18, 2021).
- [3] „EVS specifications - Electric vehicle specifications, electric car news, EV comparisons“. <https://www.evspecifications.com/> (Kasutatud märts 15, 2021).
- [4] „WLTP - Uus heitekatse meetod“, *Nissan*. <https://www.nissan.ee/wltp.html> (Kasutatud märts 15, 2021).
- [5] P. Fonseca, „Automotive Auxiliary Electrical Systems“. Kasutatud: veebruar 28, 2021. [Võrgumaterjal]. Available at: http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos%202009-10/SIAUT_Auxiliar_Electrical_Systems.pdf.
- [6] D. Cela, P. Alerman, „Study of a 12V Li-ion Battery Solution for Hybrid Vehicles“. Kasutatud: märts 06, 2021. [Võrgumaterjal]. Available at: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/255305/255305.pdf>.
- [7] J. Carey, „Do electric cars have 12V batteries?“, *EV Central*, okt 29, 2020. <https://evcentral.com.au/do-electric-cars-have-12v-batteries/> (Kasutatud märts 06, 2021).
- [8] „Power the Electric Vehicle Revolution with Digital Isolation“, *Arrow.com*, juuli 29, 2019. <https://www.arrow.com/en/research-and-events/videos/power-the-electric-vehicle-revolution-with-digital-isolation> (Kasutatud märts 17, 2021).
- [9] „Automotive DC-DC converters: Designing DC-DC converters for next generation electric vehicles“, *Avnet*, *Abacus*. <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/markets/automotive-and->

- transportation/automotive/power-train-and-ev-hc-phev-systems/designing-dc-dc-converters-for-next-generation-vehicles/ (Kasutatud märts 09, 2021).
- [10] M. Al Sakka, J. Van Mierlo ja H. Gualous, „DC/DC Converters for Electric Vehicles“, *IntechOpen*, sep 12, 2011. <https://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-modelling-and-simulations/dc-dc-converters-for-electric-vehicles> (Kasutatud märts 07, 2021).
- [11] I. Evtimov, R. Ivanov, ja M. Sapundjiev, „Energy consumption of auxiliary systems of electric cars“, *MATEC Web Conf.*, nov 07, 2017. <http://www.matec-conferences.org/10.1051/matecconf/201713306002> (Kasutatud veebruar 21, 2021).
- [12] I. Miri, A. Fotouhi, ja N. Ewin, „Electric vehicle energy consumption modelling and estimation—A case study“, *International Journal of Energy Research*, juuli 12, 2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.5700> (Kasutatud märts 05, 2021).
- [13] „EV Auxiliary Systems Impacts“. [Võrgumaterjal]. Available at: <http://74.121.199.247/sites/default/files/pdf/fsev/auxiliary.pdf> (Kasutatud: veebruar 24, 2021).
- [14] „ELCATS - Каталог автозапчастей для иномарок“. [Võrgumaterjal]. Available at: <http://www.elcats.ru/> (Kasutatud apr 19, 2021).
- [15] „Shop Genuine OEM BMW Parts and Accessories“, *getBMWparts*. <https://www.getbmwparts.com/> (Kasutatud märts 28, 2021).
- [16] „Nissan Leaf teardown (Part 2): main components disassembled“, *MarkLines Automotive Industry Portal*, sep 21, 2012. https://www.marklines.com/en/report_all/rep1104_201209#report_area_3 (Kasutatud märts 07, 2021).
- [17] „Original BMW Parts“. <https://teile.com.de/en> (Kasutatud märts 31, 2021).
- [18] „Fuse Box Diagram Tesla Model S (2013-2016)“. <https://fuse-box.info/tesla/tesla-model-s-2013-2016-fuses> (Kasutatud märts 31, 2021).

- [19] „Nissan Leaf (2011 - 2017) - fuse box diagram“, *Auto Genius*, aug 14, 2018. <https://www.autogenius.info/nissan-leaf-2011-2017-fuse-box-diagram/> (Kasutatud märts 31, 2021).
- [20] „Bmw I3 Fuse Box“. <https://hestiahelper.blogspot.com/2019/11/bmw-i3-fuse-box.html> (Kasutatud märts 31, 2021).
- [21] „Fuse Box Diagram Hyundai Kona EV (2019-..)“. <https://fuse-box.info/hyundai/hyundai-kona-ev-2019-fuses-and-relays> (Kasutatud märts 31, 2021).
- [22] „Audio Systems for the Model 3“, *TeslaTap*. <https://teslatap.com/articles/audio-systems-for-the-model-3/> (Kasutatud märts 31, 2021).
- [23] „Bose Introduces Energy Efficient Series Sound System in New All-Electric Nissan Leaf“, *AUTOMOTIVE RHYTHMS*. <https://www.automotiverhythms.com/bose-introduces-energy-efficient-series-sound-system-in-new-all-electric-nissan-leaf/> (Kasutatud märts 05, 2021).
- [24] „KRELL Automotive“. <https://www.krellautomotive.com/front/partnersDetail/3/24/EN> (Kasutatud apr 06, 2021).
- [25] „Electrical consumers in cars - how much power do they use?“, *batteryworld.varta-automotive*. [Vörgumaterjal]. Available at: <https://batteryworld.varta-automotive.com/en-gb/electrical-consumers-in-cars-how-much-power-do-they-use> (Kasutatud märts 28, 2021).
- [26] J. Klender, „Tesla’s Model 3 Heat Pump is a game changer compared to its old system“, *Teslarati*, det 03, 2020. <https://www.teslarati.com/tesla-model-3-heat-pump-test-video/> (Kasutatud apr 01, 2021).
- [27] „Hyundai/Kia’s EV Heat Pumps a Benchmark for Other Brands“, *Hyundai Newsroom*, juuli 13, 2020. <https://news.hyundaimotorgroup.com/Article/Hyundai-Kia-EV-Heat-Pumps-a-Benchmark-forOther-Brands> (Kasutatud märts 31, 2021).
- [28] „Technical training. Product information. BMW Service I01 Heating and A/C Systems“. Kasutatud: apr 01, 2021. [Vörgumaterjal]. Available at: https://www.leschroniquesdegoliath.com/wp-content/uploads/2018/01/Mercedes-08_I01-Heating-AC-SystemsGB.pdf.

- [29] B. Halvorson, „Can heat pumps solve cold-weather range loss for EVs?“, *GreenCar Reports*, aug 08, 2019. https://www.greencarreports.com/news/1124387_can-heat-pumps-solve-cold-weather-range-loss-for-evs (Kasutatud apr 01, 2021).
- [30] „Global Automotive DC-DC Converter Market 2019-2025“, *Mobility Foresights*. <https://mobilityforesights.com/product/automotive-dc-dc-converter-market/> (Kasutatud apr 20, 2021).
- [31] „Products - APM DCDC - Delta Group“. <https://www.deltaww.com/en-US/products/APM-DC-DC/ALL/> (Kasutatud apr 20, 2021).
- [32] „Vitesco Technologies - High Voltage DC/DC Converter – 4th Generation“. <https://vitesco-technologies.com/en/Home/Solutions/Products/High-Voltage-DC-DC-Converter-4th-Generation-en> (Kasutatud apr 20, 2021).
- [33] „High Voltage DC/DC Converters“, *Power Electronics BorgWarner*. <https://www.borgwarner.com/technologies/power-electronics#hvconverter> (Kasutatud apr 20, 2021).
- [34] „LG Innotek“. http://www.lginnotek.co.kr/en/itk_product/dc-dc-converter-for-automotive/ (Kasutatud apr 20, 2021).
- [35] „Products - Electrification - Power Converter“, *HYUNDAI MOBIS*. <https://en.mobis.co.kr/products/P0011/index.do> (Kasutatud apr 20, 2021).