



Martin Borovik

ELEKTRIAUTO AKU LAADIMINE PUKSEERIMISE KÄIGUS LÄBI REGENEREERIVA PIDURDUSSÜSTEEMI

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Elektritehnika õppekava

Juhendaja: Kristo Vaher ja Mari Suurväli

Tallinn 2021

Mina, Martin Borovik tõendan/tõendame, et lõputöö on minu/meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja (nimi, allkiri) Kristo Vaher, (digillkirjastatud)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Martin Borovik

(*autori nimi*)

sünnikuupäev: 21.03.1998 annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Elektriauto aku laadimine pukseerimise käigus läbi regenereeriva pidurdussüsteemi

(*lõputöö pealkiri*)

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas 11.05.2021 (digillkirjastatud)

(*kuupäev*)

(*autori allkiri*)

SISUKORD

LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS.....	6
1. Laadimisprotsessi mõjutavad Tegurid	8
1.1. Aku mahtuvus.....	8
2. Elektriautod	12
2.1. Elektriauto tüübid	12
2.2. Elektriauto energiakulu ja võimalik vahemaa läbimine	14
2.3. Elektriautode laadimistaristu	16
2.4. Elektriautode kogus ja populaarsus Eestis.....	17
2.5. Laadimispunktide ja elektrisõidukite suhe	18
2.6. Laadimise viisid.....	19
2.7. Uued võimalused elektriauto aku laadimiseks	20
3. Elektriautode Smart Charger süsteem	21
3.1. Pukseerimiseks ühendatav tross	21
3.2. Pukseerimise seadused ja nõuded.....	22
3.3. Elektriauto regeneratiiv pidurdus süsteem	23
3.4. Elektrilisse süsteemi superkondensaatori lisamine.....	25
3.5. Kahesuunalise alalisvoolu töörežiimi muundur	25
3.6. Joon- ja nurkkiiruse vaheline seos.....	28
3.7. Pukseerimine Tesla Model 3 katse	29
3.8. Regeneratiivse pidurdus süsteemi teised valdkonnad	31
3.9. Rakenduse Smarter Charge kasutamine	32
4. LOODAV ETTEVÕTE.....	33
4.1. Teenuse kirjeldus.....	33
4.2. Olemasolevad ressursid	34
4.3. Vajalikud investeeringud	34

4.4.	Ettevõtte käivitamise tegevuskava.....	34
5.	SIHTTURUANALÜÜS	35
5.1.	Turuanalüüs	35
5.2.	Kliendiprofiil	35
5.3.	SWOT-analüüs	36
5.4.	Riskianalüüs.....	37
5.5.	Nutitelefoni rakendus Smarter Charge	37
5.6.	Konkurentide kirjeldus	38
5.7.	Konkurentide laadimispunkti hind	38
6.	STRATEEGILINE PLAAN.....	39
6.1.	Hinnakujunduse alused ja müügihind.....	39
6.2.	Põhiprotsessid.....	40
6.3.	Turundusstrateegia.....	40
6.4.	Turundus-ja müügieesmärgid	41
	KOKKUVÕTE.....	42
	Resümee	43
	Lisad	48
	Lisa 2. Riskianalüüs.....	50
	Lisa 1. Eesti populaarseimad elektriautod, kogused ja akumahtuvused aastal 2021.	48
	Lisa 2. Riskianalüüs	50
	Lisa 3. Elektrilist blokk skeem	52
	Lisa 4. Elektriauto lihtsustatud blokk skeem	53
	Lisa 5. Lihtsustatud kahemootoriline blokk skeem	54

LÜHENDID

Ah – Ampertunnid

A – Amper

kWh – Kilovatt - tund

km/h – Kilomeeter tunnis

PMSM – (Permanent Magnet Synchronous Motor) - Püsिमagnetiga sünkroonmootorid

BLDC – (Brushless direct current electric motor) - Harjadeta alalisvoolumootor

BEV – (Battery electrical vehicle) - Elektriauto akutoitega

HEV – (Hybrid electrical vehicle) - Elektriauto hübriid

PHEV – (Plug in hybrid electrical vehicle) - Elektriauto pistikhübriid

FCEV – (Fuel cell Electric vehicle) - Elektriauto kütuselemendiga

RWD - (Rear-wheel drive) - Tagavedu

AMTEL - Autode müügi- ja teenindusettevõtete Eesti Liit

AC – (Alternating current) – Vahelduvvoolu

DC – (Direct current) - Alalisvool

kN – Kilonewton

kg - Mass kilogrammides

SISSEJUHATUS

Tänu tehnoloogia arengule muutub keskkond üha mugavamaks ja annab inimestele rohkem võimalusi. Palju avaldatud kirjandusest ja teaduslikes artiklites on nähtavale tulnud uuringuid, mis keskenduvad peamiselt taastuvenergia tehnoloogiale. Kõigile on selge, et maavarasid ei ole meil lõpmatuseni, peame kuidagi oma eluviise muutma. Bensiinimootorist põhjustatud õhusaaste vähendamiseks on paljudes riikides olnud suund propageerida elektrisõidukite väljatöötamist. Varem olid elektrisõidukid piiratud mootorsõiduki juhtimise tehnoloogias ja ebapiisava akutoitega, nii et sellised sõidukid ei saanud biokütust kasutavatega võrrelda. Elektrisõidukite lühike tööulatus oli üks elektriautode halvemaid külgi, kasutajate laialdase heakskiidu saavutamiseks ja peamiseks turuosaliseks saamisel.

Vanemad teadlased nagu Galileo, Newton ja Bernoulli uurisid loodusmaailma ja mõistsid, et on olemas teatud reeglid, mida alati järgitakse. Lõpuks hakati seda nimetama termodünaamika seadusteks. Energiasäästu seaduse kohaselt ei saa energiat luua ega hävitada, pigem saab seda teisendada või teisaldada ainult ühest vormist teise. Maailm vajab uut arengut või meetodeid ja tehnoloogiat, mis säästab energia raisku minemast. Uus areng aku osas on märkimisväärne süsteem, elektrimootori efektiivsuses on muutnud elektrisõidukid paremaks ja tõhus alternatiiv, eriti lühikese reisi jaoks.

Püsimagnetiga sünkroonmootorid (PMSM) või harjavaba alalisvoolumootor (BLDC) masinad kipuvad olema tulevane eelistatum valik taastuvenergia tootjatena mehaanilise energia muundamisega süsteemides. PMSM-i kasutatakse laialdaselt veojõumootorina elektrisõidukites, millel on suure võimsustiheduse ja kõrge kasuteguriga eelised. Selle eelise põhjal valis autor selles lõputöös PMSM mudeliga elektriautod.

Kui astute bensiini- või diiselauto piduripedaalile, surub hüdrauliline vedelik piduriklotse vastu iga ratta vastu piduriketaid. Saadud hõõrdumine töötab auto aeglustamiseks, tekitades soojust ja kuludes selle käigus ketaste vastu klotsidel olevat materjali. Väga suur hulk energiat kulus mehaanilistele piduritele, kus kineetiline energia hajus hõõrdumise tõttu kuumuses. Pidur on seade, mis peab vastu liikumisele, neelates liikumisest saadaolevat energiat süsteemi. Seda kasutatakse liikuva sõiduki peatamiseks või aeglaseks muutmiseks. Peatumiseks pidurdamiseks või lihtsalt veeretes allamäge ei vaja mootor voolu. Täpselt sellistes situatsioonides võime käsitleda mootorit generaatorina ning tabada protsessis, mida nimetatakse regeneratiivpidurduseks. Regeneratiivpidurdusmeetod võib parandada aku valikut ja saavutada parem kütusekulu, vähendades samal ajal heitgaase. Allamäge

jäävatel teelõikudel on elektri jõul töötavate sõidukitele omane mootorpidurdus, mis tekitab mootoris aeglustavaid jõude alla sõitva sõiduki suhtes ja on võimelis kasutama regeeneratiivset pidurdus süsteemi. Kui soovite koguda võimalikult palju kaotatud energiat, võite selle seada maksimaalsele tasemele või kui vihkate auto pidurdamise tunnet, võite selle välja lülitada. Enamasti süttivad auto pidurituled, kui auto aeglustub kiiresti, isegi kui te ei puuduta isegi piduripedaali.

Lõputöös loob autor ainulaadse ja inovaatilise aku laadimise võimaluse läbi pukseerimise, kus elektriauto kasutab regeneratiivset pidurdust. Alternatiiv lahenduste väljapakkumine on alati üks suurimaid mugavusi, mida kliendile on võimalik pakkuda. Süsteem koosneb rakendusest, milles on navigatsioon ja klientide võrgustik, mis võimaldab pakkuda parimat lahendust. Igal moodsamal elektriautol on tänapäeval regeneratiivne pidurdussüsteem, mis annabki võimaluse seda teostada.

1. LAADIMISPROTSESSI MÕJUTAVAD TEGURID

Laadimisprotsessi pikkust võivad mõjutada järgmised tegurid:

1. Aku laadimise kiirus sõltub aku suurusest ehk mahtuvusest.
2. Elektrivõrgust saadav võimsus, kui kiire laadijaga laetakse.
3. Laadimisjaama võimsuse kadudest.
4. Tavaliselt saab akut laadida maksimaalse kiirusega kuni 80% täitumiseni, peale seda hakkab laadimisjaam vähendama laadimiskiirust. Iga aku laadimise karakteristik võib olla erinev.
5. Aku laadimise kiirust mõjutab nii väliskeskkonna temperatuur kui ka akude enda temperatuur.

1.1. Aku mahtuvus

Igal aku peamiseks tunnuseks on mahtuvus, mis iseloomustab kondensaatori võimet salvestada elektrilaengut. Mahtuvus määrab kui palju energiat aku võimaldab salvestada. Iga akut iseloomustab aku nimepingeline ja mahtuvus, mis määrab ka laadimisvoolu, hoolimata aku tüübist. Peamiselt elektrimootor võib olla elektrisõiduki tõukejõuks, on aku selle virtuaalne süda. Elektrisõidukites kasutatakse erineva disainiga liitiumioonakuid, mis on sarnased mobiiltelefonides ja sülearvutites kasutatutele, ainult palju suuremas mahus. Liitiumioonakudel on suur energiatihedus. Elektriauto aku mahutavus väljendatakse kilovatt-tundides, mida lühendatakse kui kWh. Suurema mahtuvusega aku valimine on nagu suurema bensiini paagiga auto ostmine, et saaksite veel mitu kilomeetrit sõita, enne kui vajate laadimist.

Kuid tegelikult pange tähele, et elektriauto akude tööpõhimõtte tõttu pole meil kunagi juurdepääsu täieliku aku mahtuvusele. Selle põhjuseks on asjaolu, et auto juhtimissüsteem takistab aku 100-protsendilist täislaadimist või 100-protsendilist tühjenemist, et säilitada selle efektiivsus ja pikendada aku kasutamist. [10]

Aku mahtuvus ja vastupidavus

Aku vastupidavuse vähenemine, tähendab aku mahtuvuse vähenemist. Aku kasutamise tulemusel aku mahtuvus aja jooksul väheneb. Iga aku on disainitud pööratavaks kasutamiseks, see tähendab seda saab nii täis kui tühjaks laadida, kuid iga täis- või tühjakslaadimise käigus on kaod. [13].

Tegelikult kõikidel elektrisõidukite akude vastupidavus aja jooksul väheneb mingil määral ja kaotavad algse võime täielikult täis laadida. Organisatsiooni Plug In America andmetel kaotab keskmine Tesla Model S iga läbitud 10 000 miili kohta vaid 2,3 miili kaugust. Tesla ise teatab, et kontrollitud testimisel säilitasid akud pärast stimuleeritud 500 000 miili läbimist 80 protsenti oma vahemikust. Lühema ulatusega elektrisõidukid võivad seevastu veelgi halveneda, kuna akude maht kipub aja jooksul kiiremini vähenema. [10]

Kahjuks aku mahtuvus väheneb iga tsükliga, kas tühjenemise ja täislaadimise käigus. Kuid sobivate töötingimuste ja õige kasutamisega on võimalik aku eluiga pikendada.

Aku laadimistsüklid ja laadimisparameetrid

„Aktiivse degradeerumise kiirust mõjutab nii laadimistsüklite arv, laadimistsüklite alg- ja lõpp-punkt kui ka laadimiskiirus. Mida suurem on laadimistsüklite arv, nende ulatus ning täis- või tühjaks laadimise kiirus, seda kiiremini aku kulub.“ [13]. Tabelis 1. on välja toodud tüüpilise liitium-ioon aku laadimisparameetrid ja laadimistsüklid enne mahtuvuse vähenemist 85%-ni, kui jätta laadimiskiirus alati samasuguseks.

Tabel 1. Laadimiseparametrid ja laadimistsüklid enne mahtuvuse vähendamist 85%-ni [13].

Laadimiseparametrid	Laadimistsüklid enne mahtuvuse vähendamist 85%-ni
100% - 25%	2,010
100% - 40%	2,800
100% - 50%	2,800
85% - 25%	4,500
75% - 25%	7,100
75% - 45%	10,000
75% - 65%	12,000

Tabelist (Tabel 1) näeb, et väiksemate laadimisulatusete kasutamine, eriti tsükli keskel on aku eluea seisukohast hea mõjuga ning on võimeline rohkem laadimistsükleid taluma. Aku kulumine on kiirem, kui laadimistsükli täitvuse määr on lähemal 100% või 0% alg- või lõpp-punktile. Sellepärast enamused autotootjaid soovivad alustada aku laadimist enne, kui aku mahtuvuse täituvus langeb 10-20%-ni ligidale ning vaheldada kiiremat ja aeglasemat laadimist. [13]

Aku madalatel ja kõrgematel temperatuuridel laadimine

Tänapäevased kõrgtehnoloogia akud on mõeldud tööks väga laias temperatuurivahemikus. Akude laadimistemperatuur on piiratud, kuid tühjendada saab suurtes temperatuurivahemikes. (Tabel 2) on välja toodud akude laadimistemperatuuride ja tühjendamistemperatuuride vahemikud.

Tabel 2. Akude laadimistemperatuurid ja tühjendamistemperatuurid [15]

Aku tüüp	Laadimistemperatuur	Tühjendamistemperatuur
Li-Ion	0°C - 45°C	-20°C - 60°C
NiCd, NiMH	0°C - 45°C	-20°C - 60°C
Pliiakud	-20°C - 50°C	-20°C - 50°C

Kõige turvalisem ja parem laadimisvahemik on 15 - 45°C vahel. Auto aku vajaliku temperatuuri tagab sõiduki jahutussüsteem, milleks võib olla õhkjahutussüsteem mudelil Kia ja Nissan Leafil. Vedelikjahutust kasutatakse BMW, Hynday ja Tesla elektiautodel. Üldiselt akude kasutamine temperatuuril kuni 45°C ei lõhu akut, kuid see vähendab akude eluiga. Külma temperatuur vähendab akude energia salvestusvõimet, aga ka nende suutlikkust loovutada või võtta vastu elektrilaenguid. [15]

Aku laadimiskiirus

C-määr kasutatakse aku laadimis- ja tühjendusvoolu skaalamiseks. Teatud mahu korral on C-määr ühik, mis näitab millisel voolul aku on laetud ja tühjendatakse, et saavutada kindlaksmääratud võimsus [4]. Praegu on olemas neli aku laadimiskiiruse režiimi, kirjeldused on toodud (Tabel 3.)

Tabel 3. Aku C- määr ja laadimiskiiruse karakteristikud [14]

Laadimiskiirus	Laadimisaeg	Aku C-määr	Keskkonna temperatuur
Väga kiire	12 - 60 min.	1 - 5C	10°C - 45°C
Kiire	1h	>1C	10°C - 45°C
Pool - kiire	2 - 5h	0,2 - 0,5C	10°C - 45°C
Aeglane	10h	0,05 - 0,1C	0°C - 45°C

Aku maht on salvestatud energia hulk ja C-määr on aku laadimise- ja tühjendamise protsess. Mis vastab konkreetsele temperatuurile, laadimis- ja tühjenemisvoolu väärtusele ning laadimis- või tühjenemis ajale. Näiteks aku, mille mahutavus on 10Ah ja C-määr on 0,1C tähendab, et täielikult laetud aku peaks kümne tunni jooksul andma 10 A. Tühjenemisel aga C-määr 0,5C tähendab, et ta peaks andma 5A kahe tunni jooksul. [9] Kui aku tühjendamisel on suurem C-määr mõõt on kaod ka suuremad, mis mõjutavad laadimisaegu ja see omakorda vähendab energiahulga kättesaadavust akust [14]. Kiirlaadijat kasutades on võimalus laadida autot suuremate vooludega, mis vähendab aja kulu. Kuid selline laadimine kahjustab elektriauto akut. Kõige optimaalsem oleks valida akudele laadimiskiirust vahemikus 0,2C–0,5C.

2. ELEKTRIAUTOD

2.1. Elektriauto tüübid

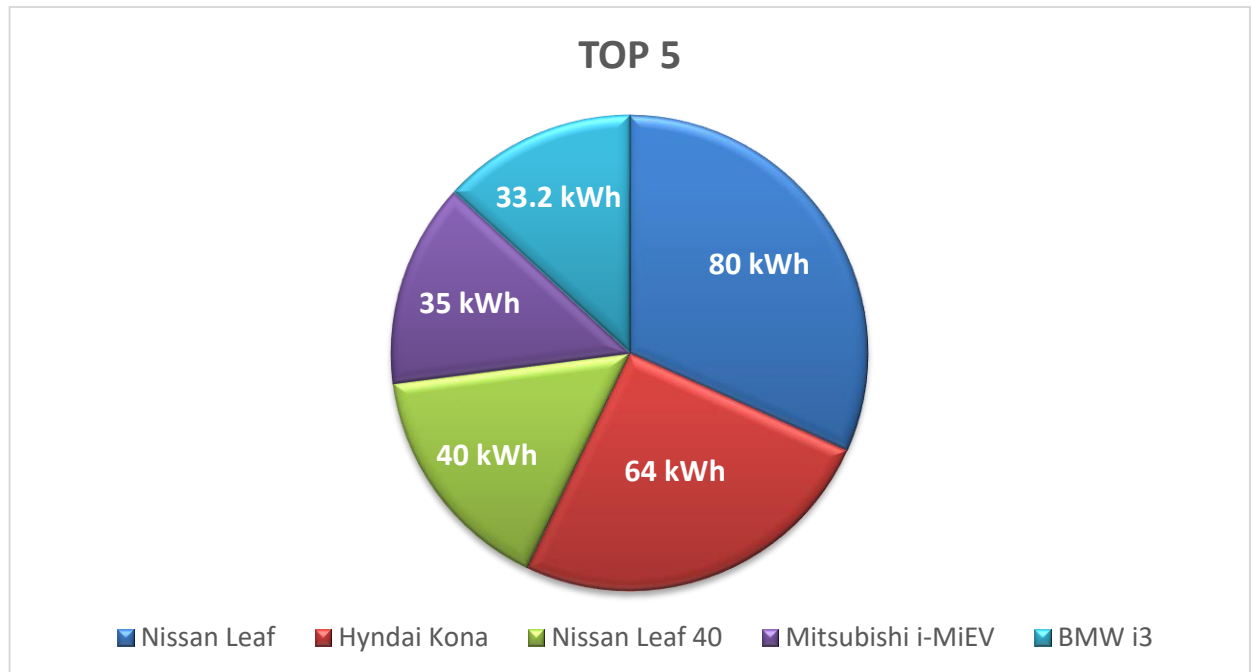
Tänapäeva elektrilised autod muutuvad järjest populaarsemaks ja väga kiiresti arenevevaks transpordivahendiks. Elektriauto on liikur sõiduk, mis liigub tänu elektrile. Elektriauto peamiseks tunnusteks on aku ja elektrimootor. Enamasti elektriajamiga auto mis paneb auto liiukuma, kuulub elektrissõiduki tüübi hulka.

Elektriautosid võib jagada järgmisteks:

1. Elektriauto akutoitega (**BEV** - battery electrical vehicle), auto liigub ainult elektrimootori abil. Auto akut on vaja laadida elektritoite allikas, kuid autol on ka regeneratiivne pidurdus süsteem, mis salvestab elektrit akusse [7].
2. Elektriauto hübriid (**HEV** – hybrid electrical vehicle), autol on liikumiseks kaks mootorit, peamiseks liikumiseks kasutatakse sisepõlemismootorit ning väiksemateks vahemaadeks elektrimootorit. Auto akut laetakse sisepõlemismootoriga ja regeneratiivse pidurdus süsteemiga [4].
3. Elektriauto pistikhübriid (**PHEV** – plug in hybrid electrical vehicle), auto mis kasutab liikumiseks kaks mootorit, peamiseks mootoriks on elektrimootor ja varuks on sisepõlemismootor. Auto akut on vaja laadida elektritoite allikast, kuid mõnel on ka regeneratiivne pidurdus süsteem, mis salvestab elektrit akusse [6].
4. Elektriauto kütuselemendiga (**FCEV** – fuel cell Electric vehicle), auto liigub elektrienergiaga, kuid elektrit on saadud vesinikust. Aku salvestab regeneratiivpidurdusel tekkivat energiat ja annab elektrimootorile lisavõimsust [5].

Bakalauruse lõputöös käsitletakse eel pool toodud esi kolme tüüpi elektrisõidukeid, kuna nendes on kasutusel **PMSM** – (Permanent Magnet Synchronous Motor) elektrimootorid, mis on võimelised talitlema ka generaatorina ning salvestada energiat läbi regeneratiivse pidurdussüsteemi.

Maanteeameti 2021. aprilli sõiduautode statistika alusel välja toodud elektriautode hetkeseis Eestis tabel täiendavate andmetega on esitatud lisana (*Lisa 1*). Võetud on populaarsemad eestis registris olevate elektrisõidukid, nende aku mahtuvused moodustavad kokku 92.8 MWh.

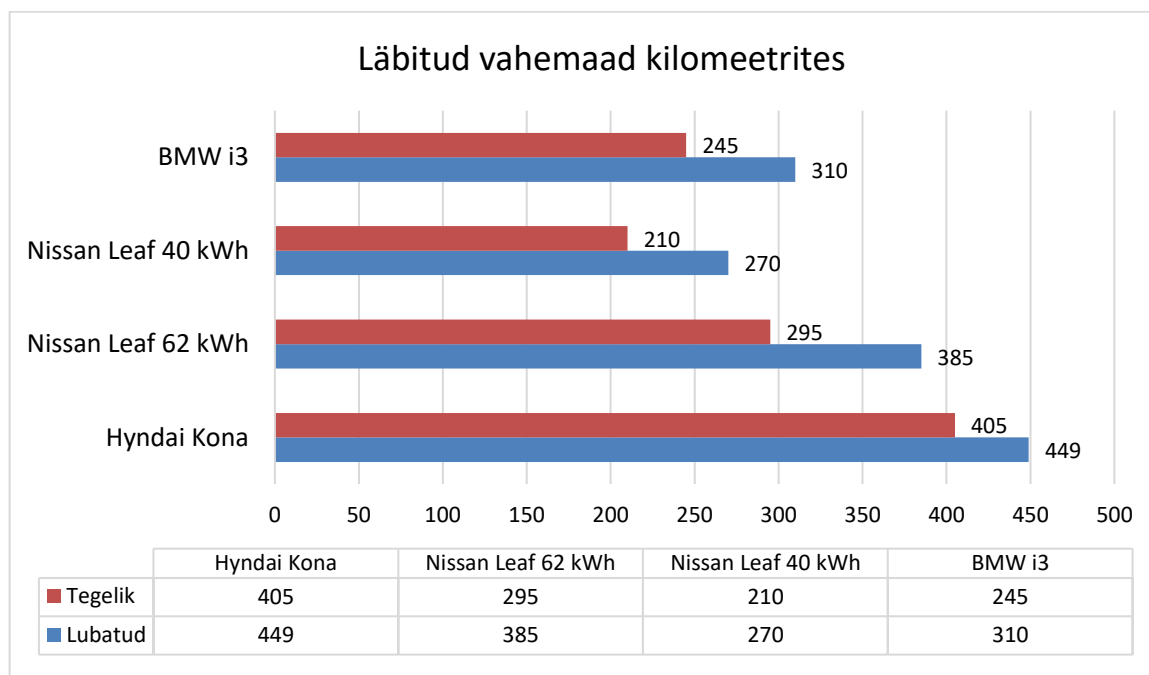


Joonis 1. Esi viie populaarseima elektriauto hulka kuuluvad autod ja nende akude mahtuvused.

Kõige enim kasutatud elektrisõidukid, mis kuuluvad populaarsuselt esi viie sisse (Joonis 1.), nende kaalutud keskmine aku mahtuvus on 50.44 kWh. Jooniselt näeb ära, et inimesed on rohkem huvitatud suurema aku mahtuvusega autodest, kuid jäävad suuruselt 50 kWh hulka.

2.2. Elektriauto energiakulu ja võimalik vahemaa läbimine

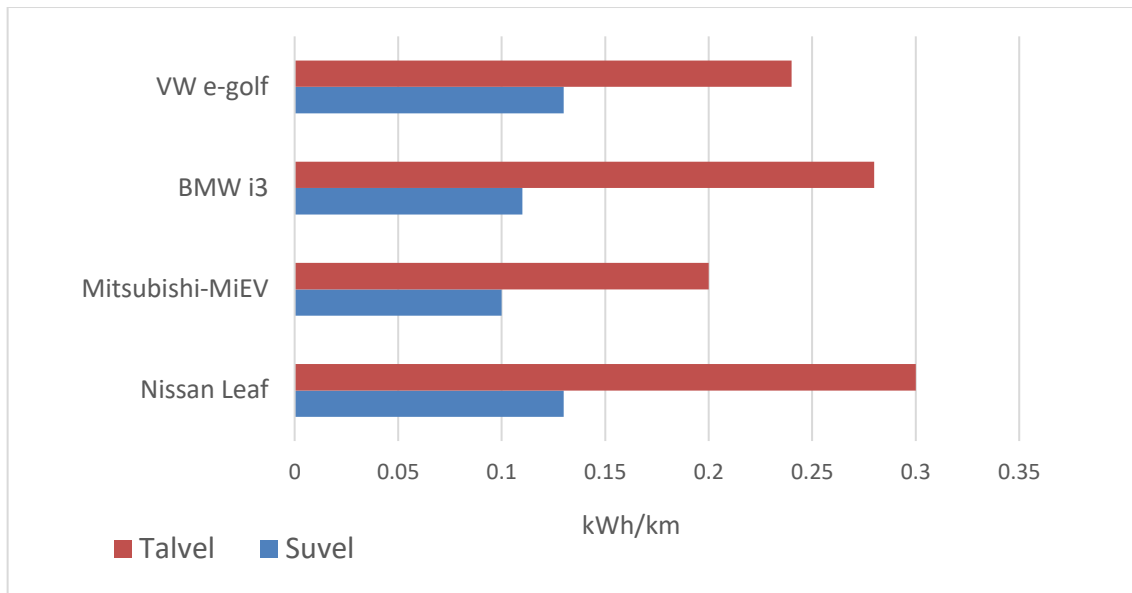
Nii nagu sisepõlemismootoriga autol sõltub kütuse kulu ilmastikust, temperatuurist, teeoludest, sõidukiirusest, sõidustiilist ja rehvirõhust, on samadest teguritest mõjutatud ka elektriauto elektrikulu. Tavapärased ökonoomsust soodustavad tegurid ja sõiduvõtted on abiks ühe laadimisega pikema sõiduulatus saavutamisel. Elektriautode sõiduulatus erineb kindlasti talve ja suve perioodil. Joonisel (Joonis 1). Selgus, et enim kasutatud elektrisõidukite kaalutud keskmine aku mahtuvus on 50 kWh. Sellise elektriauto sõiduulatus on kuni 300 km.



Joonis 2. Elektriauto läbitud vahemaad talve tingimustes.

Joonisel võrreldakse katsete tulemusel läbitud vahemaid, mis olid lubatud ja tegelikused. Kõige parima tulemuse teiste hulgas sai Hyundai Kona, mis lubatud vahemaa 449 km asemel sõitis 405 km. Kiirused olid testi ajal 60-110 km/h. Sõideti erinevates tingimustes, nii linnas kui ka ületati üks mäekuru. Sellise katse idee oli sõita aku täiesti tühjaks ja võrrelda lubatud tulemusi tegelikkusega, mida näeme (Joonis 2). [11].

Elektriautoga sõites keskmiselt kulutakse 0,19 – 0,22 kWh energiat ühe kilomeetri kohta. Keskmine energiakulu linnas - 14,9 kWh/100km. Keskmine energiakulu maanteel - 20,4 kWh/100km. Joonisel on välja toodud kõige populaarsemad elektriautode elektritarbimised kilomeetri kohta nii suvel kui talvel.



Joonis 3. Elektriauto energiakulu kilomeetri kohta [38]

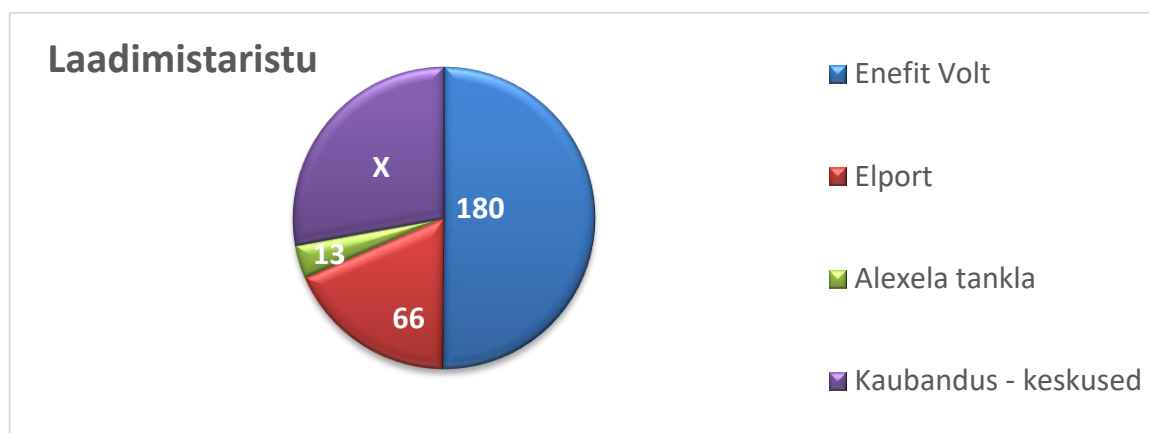
Joonisel (Joonis 3.) on märgata, et suveperioodil väiksem energiakulu, kui telveperioodil. Seega suvel on võimalik läbida sama aku mahtuvusega pikem vahemaa. Talvisel perioodil kasutatakse soojendust, ventilatsiooni ja istmesoojendusi, mis tähendab suuremat energiakulu. Kes sõidavad elektriautoga külmas kliimas, peavad arvestama kuni 25% kadudega, kuna võimsust kulub ka salongi soojendamisele.

2.3. Elektriautode laadimistaristu

Elektriauto laadimistaristu paigaldamise nõuded hakkavad kehtima kõikidele nendele hoonetele, mida on kavandatud teenindama enam kui kümme parkimiskohta. Neid tuleb järgida uute rajatavate hoonete ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete puhul, juba olemasolevate hoonete parklaid kohe ümber ehitama ei pea.

Uute mitteelamute puhul tuleb juhtmetaristuga varustada vähemalt viiendik parkimiskohtadest ning paigaldada tuleb vähemalt üks laadimispunkt. Uute elamute puhul tuleb aga kõik parkimiskohad varustada juhtmetaristuga, et tagada parkimiskohtade omanikele võimalus tulevikus paigaldada hõlpsalt elektriauto laadimispunkt.

Olulisel rekonstrueerimisel kehtivad sama reeglid, mis uute hoonete püstitamisel, aga taristu tuleb paigaldada juhul, kui rekonstrueerimine hõlmab ka parklat või hoone/parkla elektrisüsteemi. Juba olemasolevatele mitteelamutele, mida pole plaanis renoveerida, on määratud üleminekuaeg. Kui hoone teenindamiseks on ette nähtud rohkem kui 20 parkimiskohta, peavad olema varustatud vähemalt ühe laadimispunktiga 2025. aasta alguseks. [12] Laadimistaristu paigaldamist reguleerib ehitusseadustik ning selle täitmist hakkavad jälgima kohalikud omavalitsused ehituslubade menetlemisel [25].



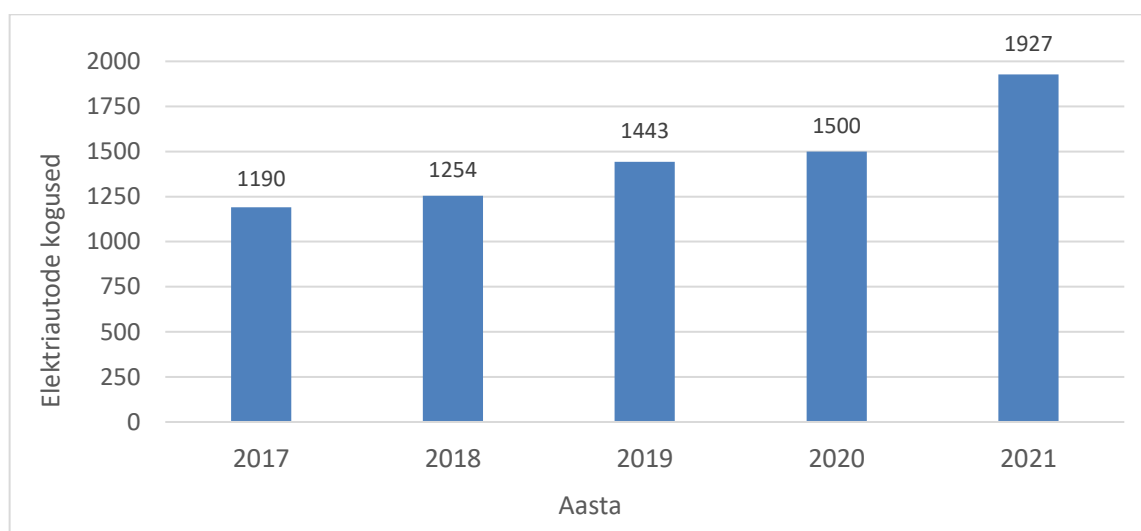
Joonis 4. Laadimistaristu Eesti piirkonnas

Eesti suurimasse elektriautode kiirlaadimisvõrku Enefit Volt kuulub ligi 180 laadijat [7]. Elporil on seejuures 66-laadijat [2]. Alexela pakub 13 laadimisvõimalust Eestis [16]. Teised avaliku laadimise võimalused asuvad kaubandus keskustes ja meelelahutus keskuste parklates. Kindlasti paljudel on soetatud laadimis võimalus kodus või eraparklates, kuhu teistele puudub ligipääs.

2.4. Elektriautode kogus ja populaarsus Eestis

Ektromobiilsus on endiselt parim lahendus transpordi Euroopa rohelise kokkuleppe kliima ja tööstuslike ambitsioonide saavutamiseks. See ökosüsteem on Euroopa majanduse jaoks ülioluline taaskäivitamine.

Elektrisõidukitel on oluline tähtsus puhtale energiale üleminekul ning nende laiem kasutuselevõtt tagab puhtama õhu. Et inimesed langetaksid autot soetades aina enam otsuseid elektriautode kasuks, tuleb üle Eesti rajatavate hoonete juurde luua ka sobiv taristu, et neid oleks võimalikult mugav kasutada. Laadimisjaamade tihedust on vaja täiendada, et soodustada elektriautodele üleminekut ja kasutuselevõttu riigis. Tänu laadimisjaamade laiendustega, kasvuga ning saadavusega kasvab ka elektrisõidukite arv Euroopas.



Joonis 5. Elektriautode arv Eestis aastatel 2017-2021.

Joonisel (Joonis 5) on näha elektriautode sumaarne kogus aastate kaupa. AMTEL'i andmetel moodustasid elektriautod 2020. aasta uute autode müüginumbritest juba 3.5 % ning trend kasvab iga kuuga. Esialgsete hinnangute kohaselt on Eestis aasta lõpuks ligi 2 000 elektriautot, kui vahepeal poleks tekkinud koroonakriisi, oleks see number ilmselt veelgi suurem. Esialgsetel hinnangutel Eestis on juba aastal 2025 üle 10 000 ja aastal 2030 üle 50 000 elektriauto. [17]

Maanteeameti statistika andmete järgi 2021 aastal oli Eestis registreeritud kokku 909 735 sõiduauto, siinkohal elektriautode osakaal moodustab vaid 21%. Aastal 2020. käivitati Eestis uus toetus programm, kus maksti elektriliste sõidukite ostmisel 5000 eurot. [18]

2.5. Laadimispunktide ja elektrisõidukite suhe

Direktiivi (AFID) alusel soovitab Euroopa Liit liikmesriikidel tagada avalike laadimispunktide ja elektriautode suhet 10 autot ühe laadimispunkti kohta [20].

Vaatame ja arvutame Eestis olevate laadimispunktide ja elektrisõidukite suhet:

$$X = \frac{n_{EV}}{n_{LP}} \quad (1)$$

Kus X – on elektrisõidukite arv ühe laadija kohta;

n_{EV} – elektrisõidukite arv ;

n_{LP} – avalike laadimispunktide arv.

$$\frac{n_{EV}}{n_{LP}} = \frac{1927}{259} \approx 7,4$$

Vastavalt valemile 1 saame tulemuse, et Eestis aastal 2021 on elektrisõidukite ja laadimispunktide suhe 1:7. See tähendab, et ühe avaliku laadimispunkti kohta on ettenähtud ligikaudu seitse elektriautot. Kusjuures mõned laadimispunktid võimaldavad laadida kahte elektrisõidukit korraga.

2.6. Laadimise viisid

Elektriauto laadimiseks on tänapäeval olemas kaks peamist laadimisviisi:

1. juhtmega laadimine;
2. juhtmevaba laadimine.

Juhtmevaba laadimisviise võib kohata mahtuvuslikul meetodil, induktsoonmeetodil ja laadimist dünaamilisel meetodil. Juhtmega laadijad on enamasti kodulaadijad või avalikud laadimisjaamad. Elektriautode laadimise aeg sõltub laadijate võimsusest. Mida võimsam laadija seda vähem aega kulub elektriauto laadimiseks. Ultra-kiired laadijad on kõige võimsamad laadijad turul. Kindlasti hakkame tulevikus ühe enam kohtama juhtmevaba laadimist, kuna tehnoloogia areneb ja laadimine muutub mugavamaks. Selles töös, ei kajastu mahtuvuslikul meetodil laadimist. Laadimine toimub enamasti läbi teatud laadimiskaabli, läbi elektrilise pistikupesa ja laadimisjaama.

Vahelduvvoolu (AC) või alalisvoolu (DC) laadijad

Elektriautot võib laadida nii DC kui AC vooluga. Selleks kasutatakse erinevaid laadijate tüüpe. Paljudes laadimisjaamade punktides on olemas nii DC kui AC laadispistikud, olenevalt millise kiirusega klient soovib akut laadida. Elektrivõrgust võib saada ainult vahelduvvool (AC), kuid elektriauto aku laadimiseks on vajalik alalisvool (DC), aga Vahelduvvoolu alalisvooluks muundamine toimub kas elektriautos või laadimispunktis AC-DC muunduris.

Laadimisaja teave

Laadimise tüübid		City-tüüp	Cruise-tüüp
AC laadimine		Võtab umbes 4 tundi 30 minutit toatemperatuuril (Võib laadida 100% -ni)	Võtab umbes 7 tundi toatemperatuuril (Võib laadida 100% -ni)
DC laadimine	100kW-taseme laadija	Võtab umbes 54 minutit toatemperatuuril 80% laadimisel. (Võib laadida 100% -ni)	Võtab umbes 54 minutit toatemperatuuril 80% laadimisel. (Võib laadida 100% -ni)
	50kW-taseme laadija	Võtab umbes 57 minutit toatemperatuuril 80% laadimisel. (Võib laadida 100% -ni)	Võtab umbes 75 minutit toatemperatuuril 80% laadimisel. (Võib laadida 100% -ni)
Tilklaadija (230V)		Võtab umbes 18 tundi toatemperatuuril (Võib laadida 100% -ni)	Võtab umbes 29 tundi toatemperatuuril (Võib laadida 100% -ni)

* Sõltuvalt kõrgepinge aku seisukorrast ja vastupidavusest, laadija spetsifikatsioonidest ning õhutemperatuurist võib kõrgepingeaku laadimiseks vajalik aeg erineda.

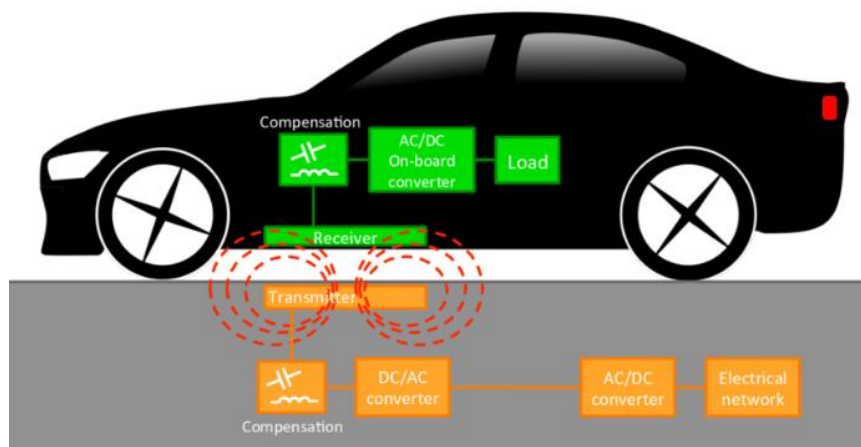
Joonis 6. Alalisvoolu ja vahelduvvoolu laadimise tüübid ja nende ligikaudsed laadimise ajad [23]

2.7. Uued võimalused elektriauto aku laadimiseks

Lisaks tavalisele võimalusele nagu aeglane laadimine ja kiirlaadimine, kus elektriauto laadimine toimub spetsiaalse kaabliga, kus laadija on ühendatud pistikusse. Maailmas on olemas erinevad uusi projekte, mis kasutavad teisi tehnoloogilisi lahendusi ja lubavad laadida elektriautosid erineval moel. Paljudes riikides on isegi keelatud laadida teisiti või elektriauto kasutusjuhendi manuaalis on keelustatud.

Võib kohata aku vahetusel põhinevat laadimist, kus aku saab lihtsalt vahetatud. See toimub lepingu alusel, kus tühi aku vahetatakse täis laetud aku vastu välja. Kindlasti võib esineda selline olukord, kus laadimispunktides laadimise kasutamine on odavam, kui aku vabetaamine, kuna mugavus maksab. Aku hooldus ja laadimine jääb laadimispunkti vastutuseks. Üheks suureks probleemiks võib osutuda see, et kõik akud ei ole standartsed, elektriautode tootjad kasutavad erinevaid akude mahtuvusi.

Teine võimalus on elektriauto laadimine juhtmevaba tehnoloogiaga mis töötab elektromagnetilise induktiooni põhimõttel (Joonis 7). Kus üks mähis on asetatud elektriauto põhja alla ja teine mähis on laadimispunkti pinna katte all. Selle protsessi suureks puudoseks on väike energia hulk, mis on võimalik laadija poolt elektriautole üle anda. Laadimise algus hakkab siis kui elektriauto pargitakse laadimisplatsile ning lõpeb aku täis laadimisel.



Joonis 7. võib näha elektriauto juhtmevaba tehnoloogiat. Kus juhtmevaba energia ülekanne toimub läbi kahe mähise ja läbi õhu magnetilise sidestuse [34].

3. ELEKTRIAUTODE SMART CHARGER SÜSTEEM

3.1. Pukseerimiseks ühendatav tross

Veetavas autos peab olema juht, kes juhib ja pidurdab. Elektriautot võib pukseerida ainult kõval pinnal ja lühikest vahemaad. Samuti peavad kõik vajalikud tarvikud olema töökorras, milleks on rattad, sillad, jõuülekanne, rool ja pidurid. Kinnitage veoköis või veotross tugevalt puksiirkonksu külge. Kiirendage või aeglustage aeglaselt ja järk-järgult, säilitades samal ajal juhtimiseks vajaliku puksiirköie pinget. Vastasel juhul võivad pukseerimiskonksud ja sõiduk viga saada. Kontrollige enne pukseerimist, kas puksiirkonks on terve. Tuleb vältida järske tõmbeid ning autot tuleks vedada võimalikult sujuvalt. Et puksiirkonks ei saaks viga, ärge laske autot tõmmata külgsuunas ega kõrgemalt või madalamalt. Autot tuleks vedada võimalikult otse [23].

Nähtavuse huvides tähistage selle keskoht valge või punase riidetükiga, mis oleks selgesti nähtav. Sõitke ettevaatlikult, hoides veoköit alati pingul. Autos peab pukseerimisel roolimiseks ja pidurdamiseks olema juht.



Joonis 8. Veotross ja selle sisemine ehitus [22]

Veotrossi painduvaks pikkuseks võib olla kuni kaheksa meetrit, võetud on maksimaalne lubatud pikkus, et vältida ees sõitva heitgaaside sisenemist elektriautosse. Sellise veotrossi (Joonis 8) ühe meetri pikkuse kaaluks on 0,6 kg. Trossi sisemine ehitus ehk konstruktsioon koosneb ühest paksemast trossis, mis asetseb keskel ning ümber selle on varustatud toeks kuus trossi. Purunemiskoormus ulatub kuni 65 kN ja murdetugevuseks on 9910 kg. Andmed pärinevad kataloogist [21], [22].

Puksiirkonks ja veoaas

Paljudel auto mudelitel on olemas nii auto ees, kui auto taga veoaas. Millega on võimalik autot pukseerida. Veoaas on enamasti eemaldatav ja asub auto pagaasi ruumis. Avage pagasiluuk ja võtke puksiirikonks tööriistakomplektist välja. Eemaldage puksiirkonksu ava kate ja keerake puksiirkonks avasse päripäeva. Peale kasutamist keerake aas uuesti välja (vastupäeva) ja pange ava kate tagasi, et mustus ei satuks keerme vahele.



Joonis 9. Elektriauto veoaasa asukoht ees ja taga [23].

3.2. Pukseerimise seadused ja nõuded

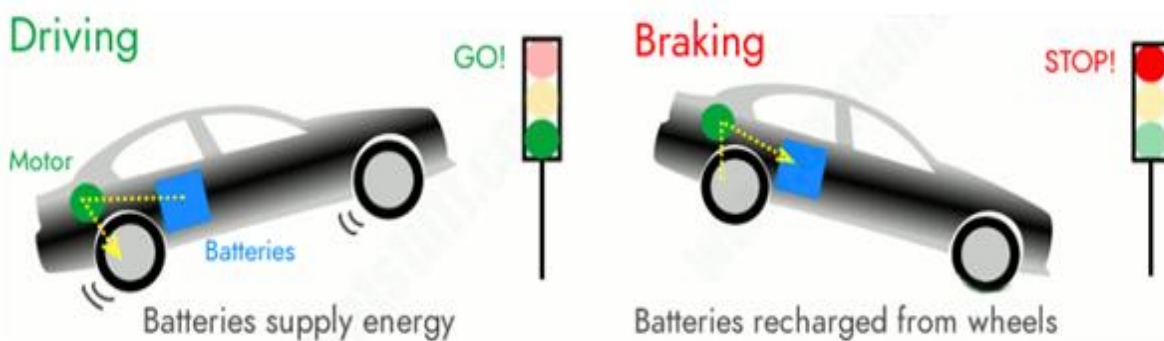
Seadusest tulenevad nõuded rohkem kui ühte autot korraga ei tohi vedada. Tagumise auto ülesanne on hoida torss kogu aeg pingul. Kui see hakkab lõdvaks minema, vajutada õrnalt pidurit, kuniks köis on jälle pingul. Niimoodi väldid jõnksatusi, sest esimene auto ei näe köit ning sõidab oma tempos. Näiteks ristmikule seisma jäädes peaks ideaalis köis olema pingul.

„Pukseerimine on mootorsõidukiga teise mootorsõiduki, autorongi või masinrongi järelvedamine. Suurim lubatud sõidukiirus on pukseerimisel 50 kilomeetrit tunnis. Pukseeritava sõiduki roolis tohib olla vaid selle kategooria sõiduki juhtimisõigusega juht. Painduv ühenduslüli peab jätma sõidukite vahemaaks viis kuni kaheksa meetrit ja selle keskosa peab olema selgesti nähtavalt tähistatud. Jäik ühenduslüli ei tohi olla pikem kui viis meetrit. Ketid kasutamine pukseerimiseks on keelatud. Pukseeritaval mootorsõidukil, autorongil või masinrongil peavad igal ajal põlema ohutuled. Ohutulede puudumisel, või kui need ei tööta, peab pukseeritavale mootorsõidukile, autorongile või masinrongile olema nähtavale kohale paigaldatud ohukolmnurk. Sõitjaid tohib olla pukseeritava mootorsõiduki juhikabiinis ja pukseeritavas sõiduautos ainult juhul, kui pukseeritava sõiduki roolis on juht“ [24].

3.3. Elektriauto regeneratiiv pidurdus süsteem

Teadlased nagu Galileo, Newton ja Bernoulli uurisid loodusmaailma ja mõistsid, et on olemas teatud reeglid, mida alati järgitakse. Lõpuks hakati seda nimetama termodünaamika seadusteks. Energiasäästu seaduse kohaselt ei saa energiat luua ega hävitada, pigem saab seda teisendada või teisaldada ainult ühest vormist teise.

Regeneratiivpidurdusega hübriid- ja elektriautodes kasutatakse selleks, et energiat salvestada sõiduki akudesse. Regeneratiivse pidurisüsteemiga sõidukiga sõites vajab elektrimootor rataste pööramiseks akult voolu, luues elektrimootori abil liikumiseks vajaliku energia. Gaasi pedaalilt maha tõstes või pidurite rakendamisel lülitub protsess aga regeneratiivsesse režiimi. Nüüd kineetiline energia, mida algselt kasutati sõiduki liikumiseks, paneb rattad elektrimootorit pöörlema, nüüd suudab elektrimootor talitleda generaator talitluses. Elektri tarbimise asemel hakkab BMSM seda tootma, kasutades sõiduki kineetilist energiat. Seejärel salvestatakse elektrienergia kõrgepinge akusse, kus seda kasutatakse uuesti sõiduki liikumapanemiseks. Regeneratiivpidurdusega on võimetus ka aeglustada, samamoodi nagu käituvad hüdraulilised pidurid hõõrdumisega. [26] Generaatorid on puhas tehnoloogia, mis võimaldab meil muuta mehaaniline energia elektrienergiaks. Hämmastavalt on kaubanduslikult ehitatud elektrisõidukites kasutatavad vahelduvvoolumootorid mis on võimelised töötama generaator talitlusel.



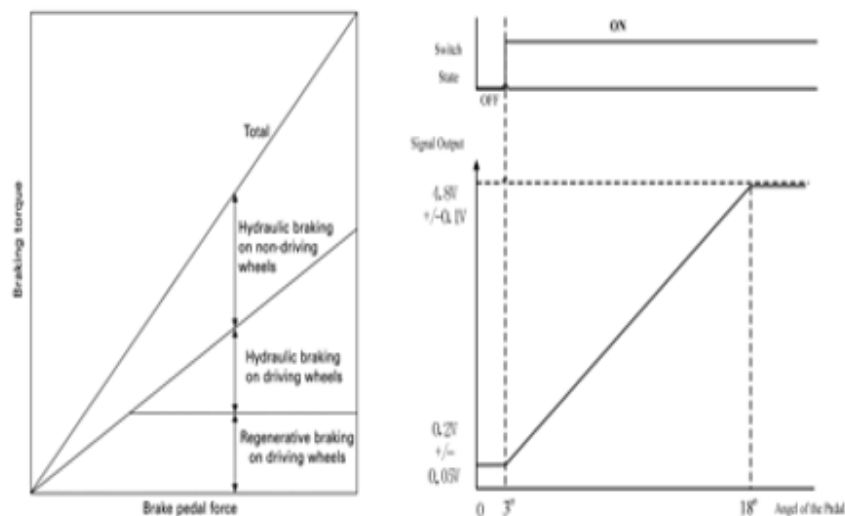
Joonis 10. Regeneratiivne pidurdussüsteem [27]

Joonisel (Joonis 10) vasakpoolsel pildil elektriauto alustab sõitmist rohelise fooriga ja vajab selleks akust voolu, et elektrimootor saaks rattad liikuma panna. Sama mõiste käib ka märke tõustes, kus auto vaja rohkem voolu, et ülesse saada. Paremal pildil võib näha, kuidas elektriauto võtab hoogu maha, kuna valgusfooris süttis punane tuli. Juht kas vabastas gaasi pedaalilt või vajutas pidurit. Enam ei ole vaja akust voolu, nüüd kineetiline energia liigutab rattaid, mis omakorda paneb pöörlema mootori, mis toimib generaator režiimis ja toodab elektrit.

Hüdrauliline pidur

Üldiselt on elektriajamid varustatud lisaks regeneratiivsele pidurdussüsteemile ka hüdrauliliste piduritega. Kui regenereeriv pidurdusmoment on ebapiisav, et pakkuda sama aeglustumiskiirust kui tavalistes sõidukites, rakendatakse hüdraulilist pidurdusmomenti.

Hüdraulise piduri eesmärk on pakkuda juhile sama pidurdustunne nagu tavaliste sõidukite puhul, säilitades maksimaalse regeneratiivse pidurduse. Väikese piduripedaali jõu korral rakendatakse veoratastele ainult regeneratiivset pidurdusmomenti ja see on proportsionaalne pedaali vajutamisejõuga. Elektriautod on enamasti esiveolised, taga rattad mis pole vedavad, nende pidurdusmoment sõltub alati hüdraulilisest pidurdamisest. Kui pedaali jõud ületab teatud piiri, rakendatakse veoratastele maksimaalset regeneratiivset pidurdusmomenti ja soovitud pidurdusmomendi lisamiseks rakendatakse samal ajal veoratastele hüdraulilist pidurdusmomenti. Samal ajal hoitakse kineetilise energia täielikuks taastamiseks maksimaalset regeneratiivset pidurdusmomenti.



Joonis 11. Piduripedaali rakendamiseks kasutatav jõud ja kaldenurk [30]

Oleneb signaali väljundist, näiteks kui pedaali nurk on vahemikus 0° kuni 3° , on selle väljundpinge suletud 0,2 V-ni, kui piduripedaalinurk on vahemikus 5° 18° -ni, siis vastav väljundpinge suureneb 0,2-lt 4,8 V-ni, väljundpinge on selles alas, kus ei vajata äkilis pidurdust. Kui pidurdusnurk on üle 18° , mis tähendab, et juht soovib hädapidurdamist, töötab sel hetkel dünaamiline pidurisüsteem, näeme seda parempoolisel joonisel (Joonis 11).

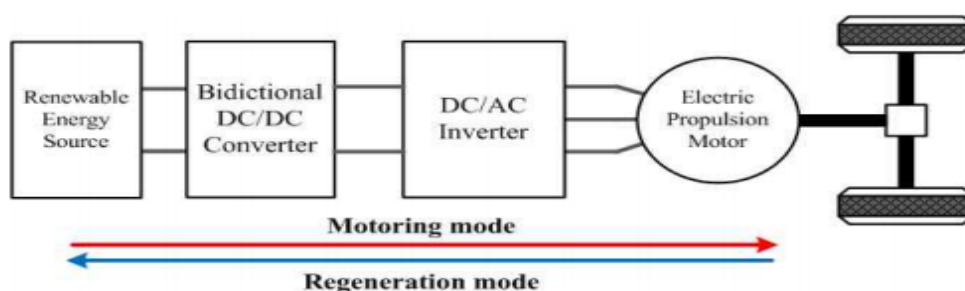
3.4. Elektrilisse süsteemi superkondensaatori lisamine

Pidurdamise ajal peame sõiduki kiiruse hetkega peatama või vähendama. Seetõttu on sel hetkel pidurdamine lühikest aega. Patareidel on laadimisaja piir, me ei saa korraga rohkem energiat välja lasta, sest see rikub akusid. Peale selle vähendab aku sagedane laadimine ja tühjendamine ka aku eluiga. Nende vältimiseks lisame süsteemi kondensaatoripanga või ultrakondensaatorid. Ultra kondensaatorid või superkondensaatorid võivad tühjeneda ja laadida paljude tsüklite jooksul ilma jõudluse halvenemiseta, mis aitab aku eluiga pikendada. Ultrakondensaatoril on kiire reageerimine, mis aitab regeneratiivse pidurdamise ajal tõhusalt hõivata energia piike ja tõusu.

Ultra kondensaatori valimise põhjus on see, et see suudab salvestada 20 korda rohkem energiat kui elektrolüütikondensaatorid. Kiirenduse ajal võimaldab võimendustoiming kondensaatoril tühjeneda kuni läviväärtuseni. Aeglustuse ajal laseb regenereeriv buck-töö kondensaatoril laadida. Salvestades taaskasutatud energia akusse, võib see aidata laiendada sõiduki ulatust ja toetada ka järsku kiirendust võimendusahela abil.

3.5. Kahesuunalise alalisvoolu töörežiimi muundur

Kahesuunalist muundurit kasutatakse sisendpinge suurendamiseks vajalikule pingele. Muutuv sisendpinge lülitab kahesuunalise alalisvoolu-alalisvoolu muunduri võimendusrežiimi. Lisaks kasutatakse regeneratiivset purustussüsteemi, mis kasutab aku laadimiseks pidurdamisel välja töötatud mootori tagumist elektrimootor jõudu.

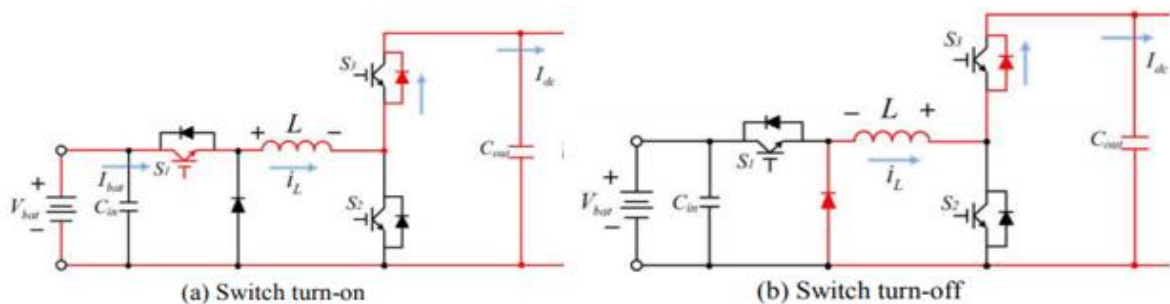


Joonis 12. Kahesuunaline alalis-alalisvoolu muundur, kasutakse elektrilist sõiduki süsteemis [38]

Pooltäis silla tüüpi DC-DC muunduril on kolm töörežiimid: Buck-režiimi töö, boost-režiim ja regeneratiivse režiim.

1. Buck-režiimi töö

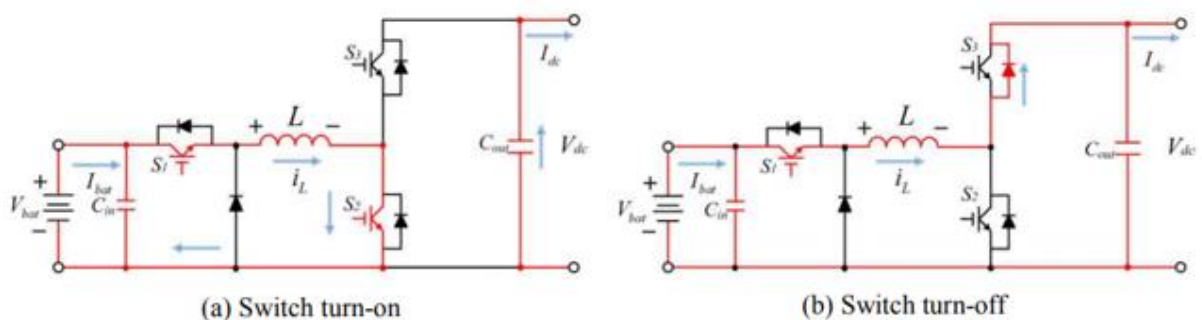
Joonisel (Joonis 13) on näidatud kahe-suunalise DC-DC muunduri buck-mode töö. Buck-muunduri topoloogia toimib selliselt, et lüliti S1 on kas sisse või välja lülitatud. Selles režiimis, S3 on alati sisse lülitatud ja S2 on alati väljas asendis. [38]



Joonis 13. Buck-režiimi töö vastavalt sellele, kas lüliti on sisse või välja lülitatud [38]

2. Boost – režiim töö.

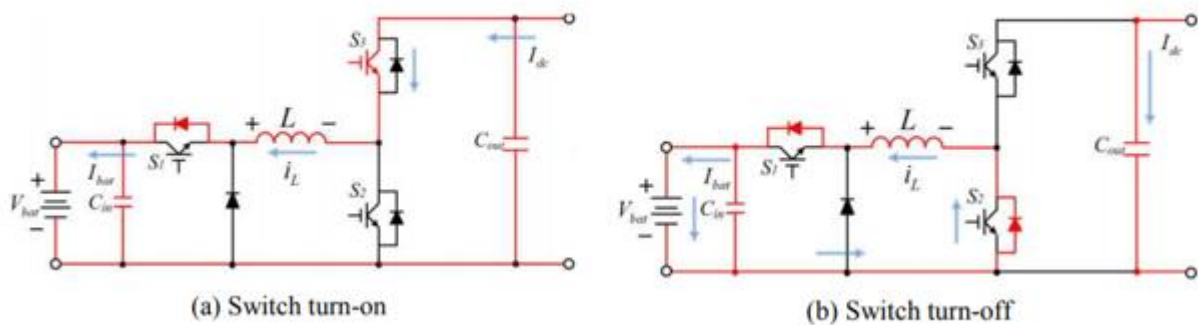
Joonisel (Joonis 14) on näha võimendusrežiimi toimimist. Nagu on näidatud, võimendusrežiimi tööd mõjutab S2 lüliti. Lüliti S1 peaks selles režiimis olema alati sisse lülitatud ja S3 sõltub S2 asendist. Kui S3 lüliti on väljas siis S2 lüliti peab olema sees. [38]



Joonis 14. Boost-režiimi töö vastavalt sellele, kas lüliti on sisse või välja lülitatud. [38]

3. Regenerative buck – režiimi töö.

Joonisel (Joonis 15) näha regeneratiivse režiimi toimimist kus regenereeriv vool voolab aku juurde läbi S_3 lüliti operatsiooni. Regeneratiivne töö sarnaneb buck – režiimi muunduri operatsioonile, kui S_3 töötükel pikeneb, suureneb ka regeneratiivse energia juurdevool. [38]



Joonis 15. Regeneratiivne Buck-režiimi töö vastavalt kas lüliti on sisse või välja lülitatud [38]

Elektrisõiduki alalisvoolumootori juhtimiseks on loodud buck - boosti muundurahel. Disain koosneb IGBT buck-boost muundurist, bucki küljel olevast akupaketist ja boosti küljel asuvast kondensaatorist. Põhiakul on mootori koormus ühendatud. Disain aitab alalisvoolumootori efektiivsust parandada, kasutades kahesuunalist buki võimenduse muundurit koos aku ja kondensaatoriga. See annab mootorile energiat kiirendamise ajal ja hõlbustab ka energia regenereerimist pidurdamisel või aeglustamisel. Alalisvoolu muunduri jaoks on mitmeid võimalusi nagu boost, bucki muundur, isoleeritud ja isoleerimata poolsilla buck - boosti muundur ja täis silla muundur. Eelistatud on isoleeritud muundurid, kuna need ei sisalda trafosid ja suurendavad seeläbi süsteemi üldist tõhusust ning vähendavad süsteemi suurus ja kaal. Praeguses töös on regulaator kavandatud ja simuleeritud nii töörežiimide jaoks kui Buck-režiim ja Boost-režiim. [39]

Mootori käivitamise ajal on rootoris indutseeritud elektrimootor jõud maksimaalne. Kui mootor hakkab pöörlema, väheneb indutseeritud elektromagnetväli libisemise funktsioonina. Kui rootori kiirus saavutab sünkroonse kiiruse, on indutseeritud elektrimootor jõud null. Siinkohal, kui proovime rootorit pöörata sellest kiirusest kõrgemale, indutseeritakse elektrimootor jõudu. Sellisel juhul varustab mootor vooluvõrku või toiteallikaga aktiivtoite

3.6. Joon- ja nurkkiiruse vaheline seos

Kui kiiruse valem on $v = \frac{s}{t}$

periood $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$

Ühe täispöörde tegemiseks läbib teepikkuse $s = 2\pi r$

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{\frac{2\pi}{\omega}} = \omega r$$

Nurkkiiruse valem $\omega = 2\pi f$ - $f = \frac{\omega}{2\pi}$

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$n = \frac{60f}{P} = \frac{60\omega}{2\pi P} = \frac{60v}{r2\pi P}$$

Nurkkiiruse vähendamisega saab saavutada suurema pöördemomendi veetava võlli suhtes. Seadmed mis vastupidi suurendavad nurkkiirust on kiirendid ehk multiplikaatorid.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} < 1$$

Multiplikaatorid esinevad kujul: ω sisend $<$ ω väljund

„Kui mootor kiirendab sõidukit, suureneb sellega seotud kineetiline energia kiiruse ruuduna. Liikumise ajal jõuab sõiduk puhata, kui kineetiline energia muutub nulliks. Kui rakendame elektrisõidukil pidureid, töötab mootori kontrolleri nii, et mootor puhkaks või vähendaks selle kiirust. See hõlmab mootori pöördemomendi pööramist pöörlemissuunda. Selle protsessi käigus tekitab veoteljega ühendatud mootori-rootor mootoris elektromagnetvälja. Kui genereeritud elektromagnetväli on suurem kui kondensaatoripanga pinge, voolab võimsus mootorilt panka. Seega salvestatakse taastatud energia akusse või kondensaatoripanka“ [40].

3.7. Pukseerimine Tesla Model 3 katse

Julge Tesla Model 3 omanik tegi oma elektriautoga huvitava katse, laadides selle läbi regeneratiivpidurduse, pukseerides elektriautot Fordiga ümbruskonnas. Testi tegi ta pärast uue tarkvara väljailumust, versiooniks oli 9 tarkvarauuendus, mille tulemuseks oli mudeli 3 RWD võimsam regeneratiivpidurdus.

Kasutades puksiirautona Ford C-Maxi, vedasid nad mudelit Teslat 16km ja energiakulu rakendus näitas -1025 Wh / miili. Enne katset näitas rakendus keskmiselt 268 Wh / miili, mis on Model 3 puhul mõnevõrra normaalne [41].



Joonis 16. Peale 1.6 km pukseerimist ja regeneerival pidurdusel saadud energia.

Peale seda eemaldati puksiir ja Tesla Model 3 sõitis regenereeritud energia kulul umbes 19-35km/h ja läbis 16km pikkuse vahemaa, peale mida tal oli veel regenereeritud energiat üle.



Joonis 17. Tesla Model 3 sõitis regenereeritud energial ja läbis 16km.

Ford C-Max pukseeris Tesla Model 3 autot kiirusega 30km/h ligikaudu 1.6km. Sellega nad saavutasid -1025 Wh /miili kohta. Peale seda eemaldati puksiir ja Tesla Model 3 sõitis regenereeritud energia kulul umbes 19-35km/h ja läbis 16km pikkuse vahemaa, peale mida oli veel regenereeritud energiat üle. Ülejäänud energiakuluga sõitis Tesla omanik kodupoole ja suutis läbida 20.6km regenereeritud energia kulul. [41]

Kui autoga sõita alla 8 km/h ei tekita märkimisväärset elektritootmist. Kuid üle 8 km/h ja Drive'is ületate auto käsitsi endiselt raskusjõu ületava jõuga, samal ajal kui see üritab pidevalt kompenseerida ja aeglustada. See ei pruugi lisakütust kompenseerida ja võib aku sisse panna rohkem energiat, kui suudab vastu võtta. See on seotud riskiga. Kahjustuste oht ja garantii rikkumise oht. [41]

Kokkuvõtteks pukseerimisel saadud regeneratiivne energia on märkimisväärne, kuid kindlasti on vastuolus kasutusjuhendiga. Manuaalis on selgelt välja toodud juhised autot pukseerida ainult pukseerimisrežiimis (transpordirežiim), mis seab auto neutraalseks.

3.8. Regeneratiivse pidurdus süsteemi teised valdkonnad

Püsimagnetiga sünkroonmootorid (PMSM) või harjavaba alalisvoolumootor (BLDC) masinad kipuvad olema tulevane eelistatum valik taastuenergia tootjatena mehaanilise energia muundamisega süsteemid. PMSM-mootor tekitab magnetvoogu püsimagnetite abil rootoris, mida juhivad staatorid, rakendades sünkroonne pöörlemisvälja.

Regeneratiivse pidurdamise kontseptsiooni saab kasutada mitte ainult elektris mootorsõidukites, aga ka järgmises rakenduses: Rasked ja kerged tööstuslikud robotirakendused, tööstuslikud tõstukid, kraanade peale- ja mahalaadimine, elektrirongid, rasked ja kerged sorteerimismasinad. Töötleva tööstuse mitmesugused protsessiseadmed, mis läbivad sagedasi kiirendus- ja aeglustustsükleid.

3.9. Rakenduse Smarter Charge kasutamine

Tänapäeval meeldib inimestele mugavus ja lihtsus. Enamik inimesi on tänapäeva arenguga harjunud ja üritavad nutikast maailmast osa võtta. Smarter Charge rakendus sarnaneb teiste navigatsiooni rakendustele. Enamasti on mõeldud neile, kes teavad kuhu nende marsruut suundub. Näitkes kaubaautod, neil on teade nende läbitav teekond. Kui nad alustavad sõiduga, sisestavad nad oma algus-punkti ja lõpp-punkti. Nüüd kui elektriauto soovib enda akut laadida, sisestab ta sarnaselt oma algus punkti ja lõpp-punkti. Rakendus pakub välja kõik saadaolevad abistajad, kes on samal teekonnal. Kui tema valitud teekonnale satub mõni auto, kes on nõus teda pukseerima. Pakub rakendus talle välja erinevad variandid. Rakendus filtreerib kõige sobilikumad variandid välja. Pukseerija ei tohiks elektriauto asukohast väga kaugel asuda. Elektriauto omanikul on vaid valida, kes talle kõige rohkem sobib. Elektriauto juht peab kohe välja valima endale sobiva pukseerija, siis kaubaauto juht on teadlik järgmistest tegevustest.

- a) Kas tal on vaja kiirust vähendada, teatud aja pärast saaks toimuda pukseerimine.
- b) Kaubaauto jääb tee äärde seisma teatud ajaks. Toimub sarnaselt taksomeetrile hinna juurde kasv.

Teenuse hind sõltub peale haakumist regeneratiivsel pidurdusüsteemi kaudu saadud kWh energi kulul. Kui oled kasutanud rakenduse süsteemi. Siis peale 10-dat korda, firma saadab rakenduse kontole boonuseks 7 Euro suuruse summa, mida saab järgmisel korral kasutada.

Varem pidi kokku leppima, kuidas kaks autot omavahel suhtlevad (vilgutamine, käemärgid, raadiosaatjad). Rakenduse kasutamine teeb selle kergemaks ja võid anda pukseerijale infot, millal soovid lõpetada.

4. LOODAV ETTEVÕTE

Ettevõtteks saab olema väike ettevõtte Smarter Charg OÜ. Kus hakkab töötama kuni 6 inimest. Meil on olemas kontor aadressiga Tuha 3.

Meie paneme põhilist rõhku sellele, et elektriautod saaksid kindlamalt ja kauem teel püsida. Selleks me toome elektriauto laadimise haakemehanismi turule.

- Missioon: luua haake süsteem elektriautodele, mis aitab elektriautodel kauem teel püsida ja soodustab elektriautosid rohkem turule tooma.
- Visioon: luua alternatiiv lahendusi elektriauto akude vastupidamiseks.

Tänapäeval on ressurss piiratud ja me ei saa lõpmatuseni kasuada bensiini ega diisli. Kütused saastavad keskkonda. Meie firma austab keskkonna puhtust ja ressursside säilimist. Selleks me soovime, et inimesed kasutaksid rohkem elektriautosi.

4.1. Teenuse kirjeldus

Pikkadel marsuutidel on kallimate elektriautode aku vastupidavus parimatel juhtudel 300km ja selleks, et suurendada aku vastupidavust on tulnud idee luua haakesüsteem. Elektriauto ühendatakse pukseerijaga. Samal ajal, kui veoauto sõidab saab pukseeritav elektriauto ilma energiat kasutamata järele liikuda. Lisaks sellele saab elektriauto tänu regeneratiivsele pidurdus süsteemile elektriauto akut laadida.

Meie pakume sõidupealt elektriautode laadimisteenust läbi Smarter Charge rakenduse. Selleks, et lahendada erinevate sihtkohtade segadust saab kasutada rakendust, et hoiduda probleemist, juhul kui auto ei sõida sinna, kus laadijal on vaja. Oletame, et laadija tahab kasutada maanteel elektriauto laadimise teenust ja leiab rakenduse vastava pukseerija, kelle sihtkoht on sama ja kui tahetakse teenust tarbida käib kõik see tegevus nutiseadme kaudu. Kõik sõidua autod, kes on nõus võtma elektriauto laadimis tellimusi vastu, saavad ka endale natuke tulu elektriauto vedamise eest.

4.2. Olemasolevad ressursid

Meil on olemas järgnevad ressursid:

- Algkapitali sissemakse 12 000€
- 3 liikmeline juhtkond inseneri algteadmistega
- Raamatupidaja
- Üüripinna leping

4.3. Vajalikud investeeringud

Ressursid mida me vajame ettevõttes:

- a) Tööjõud
- b) Toetused
- c) Hoone

Meil on vajalik osa olemas ettevõtte alustamiseks, kuid esmalt meil on vaja lisa raha. Ettevõttega alustamiseks me paneme oma raha sissemaksiks ja võtame lisaks laenu, et ettevõtte saaks tööga alustada.

Antud laenuga me investeerime järgnevatesse:

- a) Tööjõud: arendajad, insenerid, spetsialistid, raamatupidaja.
- b) Büroohoone personalidele: 217 m² - Tuha 3
- c) Rakenduse loomine, arendamine.
- d) Laenu tagasi maksmine ja tulu teenimine

4.4. Ettevõtte käivitamise tegevuskava

- Registeerime Smarter Charge OÜ - 01.02.2022
- Rendime büroohoone (Tuha 3) - 02.01.2022
- Rakenduse algne prototüübi loomine - 20.01.2022
- Tööliste värbamine – lisame kuulutused - 01.02.2022
- Rakenduse sidumine, teise tuntud rakendusega - 14.02.2022
- Rakenduse arendamine - 20.03.2022

5. SIHTTURUANALÜÜS

5.1. Turuanalüüs

Viisime läbi turuanalüüsiva küsitluse Facebookis, mis hõlmas 30. inimest, kellele me tutvustasime oma toodet. Küsitluses osalejate seas oli 10 elektriauto omanikku ja 20 tavakasutajat, kes omasid biokütusel liikurit või on soetamas autot. Selle küsitluse tulemused tõime välja all olevas tabelis (Tabel 4).

Tabel 4 Facebooki keskkonnas läbi viidud küsitlused.

Küsimused	Jah	ei	Muu
Kas te omate elektriautot ?	10	20	
Kas tulevikus tahaksite soetada endale ökonoomse elektriauto ?	10	8	2
Kas kasutaksite meie teenust ?	19	4	7
Kas sooviksite, et rakendus oleks tasuta?	21	4	5
Kas oleksite rahul hinna 0.25 € kWh ?	26	4	
Kui kasutaksite teenust, kas kasutaksite seda vähemalt 5 korda kuus?	22	8	

5.2. Kliendiprofiil

Meie peamiseks klientideks on elektriautode omanikud kes tahavad läbi meie rakenduse laadimisteenust osta. Klient kasutab laadimisteenust läbi rakenduse ja saab sinna raha peale laadida. Kaudseks kliendirühmadeks on pukseerijad, kes osutavad teenust, kuid samas nad saavad selle eest tulu, kuna nad kasutavad meie võrgustiku, mille kaudu pakutakse teenuseid. Nad on kaudselt seotud organisatsioonis tehtava tööga või selle osaga.

Ühinedes rakendusega teenindame rakenduse kasutajaid, kes soovivad kasutada elektriautode laadimisteenust. Teenindame ka sõiduki omanikke kes saavad liikluses suhelda tänu rakendusele. Laadimisteenuse kasutamiseks peavad sõidukid ja elektriautod omama rakendust.

5.3. SWOT-analüüs

SWOT analüüsiga me toome välja ettevõtte Smarter Charge OÜ tugevused, nõrkused, võimalused ja ohud.

Meie ettevõtte tugevused

- Konkureerimisoskused
- Töökindel juhtimissüsteem
- Kiire/lihtne laadimislahendus
- Ökoloogiline ja keskkonnasõbralik
- Inseneri tehniline mõtlemine
- Rakenduse arenemise võimalus, tutvused rakenduste loomise platvormil.

Meie ettevõtte nõrkused

- Praktiliste kogemuste puudus
- Vähene tuntus turul
- Nõrgad turunduse võtted

Meie ettevõtte võimalused

- Uus lähenemisviis elektriautode laadimisele
- Turu laienemine lisaks balti riikidele ka teistesse riikidesse

Meie ettevõtte ohud

- Hind peab olema võrdväärne konkurentide laadimise hinnaga
- Kogenud spetsialiste on raske leida
- Rakendusega seotud probleemid

Klientidele maksame ka boonust, mida rohkem meie kliendid rakendusest tellivad laadimisteenust, siis iga teatud arv laadimistega saavad kontole raha tagasi millega kliendid saavad hiljem tellida sedavõrd laadimis teenust soodsamalt.

5.4. Riskianalüüs

Riskianalüüsis on välja toodud võimalikud riskid, nende maandamise võimalused ning võimalik kahju ettevõtte ja klientidele, mis on toodud välja Tabel 5. Tabel täiendavate andmetega on esitatud lisana (Lisa 2). Riskianalüüs on tegevus, millega selgitatakse välja ja hinnatakse ohutegureid, mis võivad seada ohtu kliente. Oluline on avastada erinevaid ohustavad tegurid enne kui need kahjustavad kedagi ning mõelda ka ohtude likvideerimisele ja lahendustele. Riskianalüüsi osaks on teha ettepanekud iga ohuteguri neutraliseerimiseks. Riskianalüüsi alusel saab määrata siseriske ja välisriske ehk mis on need ohud, mida me ei saa otseselt likvideerida, kuid mida me peame pidevalt tähelepanu all hoidma.

5.5. Nutitelefonide rakendus Smarter Charge

Meie kliendid hakkavad laadimis teenust tellima läbi nutitelefonide rakenduse nimega Smarter Charge. Rakendus on väga kerge sisuga aplikatsioon, sarnase ehitusega rakendusi on kasutanud väga paljud autojuhted, mis on hakanud Eestis koguma populaarsust.

Smart Charger on nutitelefonidele ja tahvelarvutitele mõeldud GPS-navigatsioonirakendus. Rakendus on tasuta ja põhiosa infot sisestavad rakenduse kasutajad. Liikumismarsuut on nähtav teistele, millega elektriautod leiavad endale lähima laadimisteenuse.

Waze loojatega plaanime teha läbirääkimisi, et nemad võtaksid oma aplikatsiooni kasutusse meie lisateenuse. Lisateenuseks on see, et elektriautod näeksid läbi äpi kus asuvad laadimis teenust pakuvad tee peal sõitvad sõidukid. Tellides läbi aplikatsiooni tarbija maksab lisaks meile, kui pakkujale lepingu kohaselt väikse osa rahast ja sealt läheb osa Wazei rakenduse omajal.

5.6. Konkurentide kirjeldus

Konkurentsi uuringu raames võrdlesime sarnaseid teenuseid pakkuvaid ettevõtteid, kuna päris sama teenust keegi ei paku. Peale konkurentide analüüsi leidsime, et sellist teenust nagu me soovime pakkuda hetkel keegi Eestis osuta. Võime väita, et tegu on kaudsete konkurentidega, sest nemad pakuvad linnas kohapeal laadimist ja meie pakume maanteel laadimist sõidupeal. Meie põhilised konkurendid on need, kes omavad elektriautode laadimispunkte. Meie konkurentide asukohad on üle maailma linnades sees, kui ka maanteel. Meie eelis on see, et meie pakume laadimispunktide asemel sõidu ajal laadimist.

Kuna sellist ideed pole veel kusagil rakendatud, siis näeme ka võimalust süsteemi patenteerida, mis vähendab turul konkurentide kasvu.

Meie peamised Eesti konkurendid on järgnevad:

- Enefit VOLT
- ELMO
- Eleport
- Alexela

5.7. Konkurentide laadimispunkti hind

Selleks, et meie saaksime konkurentidega konkureerida, peame me arvestama nende laadimisteenuste hindadega. Konkurentide laadimisteenuste hinnad on järgnevad:

- Enefit Volt/ELMO- hind 0,22€ kWh-0,35€ kWh
- Eleport/Alexela- hind 0,25€ Kwh-0,35€ kWh

Meie laadimise hind mille eest klient hakkab maksma on ligilähedane konkurentide hinnale. Samas peame arvestama kui kliendil tekib probleem maanteel, siis ta on nõus rohkem raha välja käima. Kui tulevikus meie tulud on juba plussis, siis me üritame hinda alandada madalamaks kui 0,25€ kWh.

6. STRATEEGILINE PLAAN

Elektriautodega on tänapäeval üks probleem, nende akud kipuvad kiirelt tühjaks saama. Seoses selle probleemiga inimesed hetkel ei taha elektriautosi omada. Me oleme arvestanud sellega, et elektriautod on hea tuleviku investeering. Antud probleemi likvideerimisega ja julgestada inimesi ostma elektriautosi, selleks me tahamegi antud süsteemi luua ja sellega müüa sõidupeal laadimisteenust.

Elektriautode populaarsus kasvab tulevikus. Elektriautod on ökonoomsed ja hoiavad kokku ressursse, kuid nende akud saavad kiiresti tühjaks. Elektriauto omanike kasvuga, hakkavad tekkima laadimispunktides järjekorrad. Meie toome välja lahenduse, et elektriauto omanik ja tavaomanik teeksid koostööd selleks, et elektriauto saaks laetud maanteel. Esmalt peab meie rakendus olema mõlema telefonis paigaldatud, et saaks maanteel laadimisteenust hakata kasutama.

6.1. Hinnakujunduse alused ja müügihind

Turutrend liigub juba praegu ja tuleviku suunda, kus elektriautode kasutamine saab olema tavapärane. Selleks näeme ka ette, et kõik seadmed ja rakendused, mis teevad elektriautode sõidukogemust paremaks, saavad olema suures nõudluses. Müügihinna sisse arvestasime tööjõukulud, ajakulud (rakenduse loomiseks ja võimalikud kõrvalekalded arneduse käigus) , mille lõpphinnaks kujunes 13 500€ terve rakenduse eest.

Teenuse pakkumisel on olemas laadimise baashind 0,25€ kWh. Teenuse lõpp hind kujuneb sellest, kui palju energiat on regeneratiivel pidurdus süsteemilt saadud. Keskmiselt laetakse elektriautole 50kWh. Laadimise hinnast 60% läheb pukseerijale, 4% läheb waze omanikule ja ülejäänud 36% läheb meie pank.

Tabel 6. Hindade tabel

Toode/teenus	Hind
Rakenduse loomine	13 500€
Rakenduse allalaadimine	15€
Smarter Charger rakenduse teenus	0,22€ kWh - 0,35€ kWh

6.2. Põhiprotsessid

Regeneratiivne pidurdus süsteem on hea alternatiiv elektriautode laadimiseks, kuna puudub vajadus peatuda laadimispunkti juures. Elektriautot on võimalik laadida sõidupealt, mis on keskkonnasõbralik nii meile kui ka meie ühiskonnale. Meie süsteem pikendab elektriauto pikamaasõitu ja teel püsimist, ning vähendab järjekori linnade laadimisplatsidel.

Rakenduse kasutamise protsess on kiire ja efektiivne. Nutiseadme kasutamine on mugav ja kerge. Praegusteks tõsisteks konkurentideks on Eleport ja Enefit VOLT ja kõik muud, kes pakuvad elektriautode aku kiirlaadimisteenuseid, mis võib ka tulevikus meie süsteemi hinda raskesti mõjutada.

6.3. Turundusstrateegia

Tänapäeva turunduses rõhutatakse järjest rohkem just pikaajaliste kliendisuhete loomise ja arendamise olulisust, sest pikaajalised suhted klientidega tagavad ettevõtte jätkusuutlikkuse ja pikaajase turul püsimise. Sellepärast loodamegi luua suhteid elektriauto tootmise firmadega nagu Tesla, Audi, Nissan, Volkswagen, KIA. Selleks, et nad arendaksid regeneratiivse pidurdussüsteemi tarkvara rakendust, et seda oleks tulevikus turvaline kasutada.

Analüüsime tarbijavajadusi, et meie rakenduse sisu vastaks tarbija vajadustele ja ei tekiks probleeme selle kasutamisel. Teostame turu segmenteerimist, et suudaksime oma süsteemi eristada ja efektiivselt turule tuua. Turundusvõimaluste hindamine läbi reklaamiteenuste ja visuaalsete näidete kasutusest, et tarbijad oleksid meie tootest ahvatletud. Konkurentsianalüüsi teeme selleks, et meie teenuse hind oleks turukohane ja et süsteem erineks oma konkurentidest.

6.4. Turundus-ja müügieesmärgid

Tabel 7. Turunduse ja reklaamide võimalused ja soovitud tulemused

Müügitoetusmeetod	Tulemusindikaator	Soovitud tulemus
Domeeni lehekülg	Esimesed rakenduse ostjad	10 allalaadimist nädalas
Reklaam facebookis	Ettevõtte Facebooki konto päevane külastus reklaamikampaania perioodil	30 külastust päevas
Reklaam raadios	Raadio kanalis tutvustus meie ettevõttest	100 kuulajat päevas
Reklaam suurtes autode kaubanduskeskustes	Autofirmades kohapeal reklaamine regeneratiivse süsteemi tarkvara uuendusest	100 uut klienti
Logo disainimine	Ettevõtte samastamine logo kaudu, tekitab klientides huvi	10 klienti kuus
Waze applikatsioon	Teenuse kliendibaasi suurendamine	60 klienti nädalas

Tabelis (Tabel 7) on välja toodud võimalikud reklaamimis meetodid, mis suurendaksid süsteemi tuntust turul. Läbi erinevate võtete on võimalik kliente meelitada ja suunitlema neid kasutama alternatiivseid lahendusi. Tähtis on siinkohal kliendile selgeks teha temapoolne kasulikkus.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös analüüsiti efektiivse regeneratiiv pidurisüsteemi rakendamist, mis põhineb üldisel pool täissilla inverteriga PMSM-i jaoks. Regeneratiivne pidurdamine on viis, kuidas võtta auto aeglustamise käigus raisatud energia ja kasutada seda auto akude laadimiseks. Tavalisel autol raiskab pidurdamine lihtsalt energiat, kuid regeneratiivse pidurdamise korral on võimalik osa energiat taaskasutada.

Probleemiks aku sagedane laadimine ja tühjendamine vähendab aku eluiga. Nende vältimiseks lisame süsteemi superkondensaatori, kuna nad võivad tühjeneda ja laadida paljude tsüklite jooksul ilma jõudluse halvenemiseta, mis aitab aku eluiga pikendada. Ultra kondensaatori valimise põhjus on see, et see suudab salvestada 20 korda rohkem energiat kui elektrolüüt-kondensaatorid. Kiirenduse ajal võimaldab võimendustoiming kondensaatoril tühjeneda kuni läviväärtuseni. Aeglustuse ajal laseb regenereeriv regenereeriv buck-töö kondensaatoril laadida. Salvestades taaskasutatud energia akusse, aidab see laiendada sõiduki ulatust ja toetada ka järsku kiirendust võimendusahela abil.

Regeneratiivne pidurdust saab hõlpsasti reguleerida pidurdusjõu tugevusega, reguleerides gaasipedaali asendit. Lisaks regeneratiivsele pidurdusele, peamiseks abiks on dünaamilised pidurid, kui auto vajab äkilist pidurdust. Pukseerides elektriautot on võimalik regenereedida märkimisväärset energiat. Kavandatav meetod sobib eriti suuremate kaubaautode jaoks, kuna need on ettenähtud suurtemate raskuste vedamiseks. Meie pakutud süsteem lahendaks probleemi, saavutades parem kütusekulu, vähendades samal ajal heitgaase heitkogused. Taastuvatel pidurdustel on hea potentsiaal sõiduulatuse laiendamiseks.

Mõned muud piirangud regenereerimise terminid on aku laetuse seisund ja regenereerimisvõime elektrimootorite ja generaatorite konfiguratsioonis. Aku tööea pikendamiseks on soovitatav akut mitte üle laadida ega alla laadida. Seega aegadel, kui aku laetuse olek on maksimaalsel piiril, regenereerimine pole võimalik. Siinkohal peab tähele panema, et pukseerimisel on see aga võimalik ning väga suur oht akule. Sellepärast kasutusjuhendi manuaalis on selgelt välja toodud, et pukseerida ei tohi veetava silla maapinnal asetsetult, vaid peab olema treileril.

Kasutades pukseerimisel regeneratiivse pidurdamise strateegiat oleks huvitav tänapäeva elektri- ja hübriidtootjatele, kes soovivad müüki kiirendada, kuna hind on vaid natuke kõrgem, kui tavalistel sõidukitel. Küsitluses selgus, et paljud kliendid oleksid sellisest süsteemist huvitatud. Elektriauto insenerid peaksid uuendama tarkvarasid ja muutma sellise protsessi ohutumaks.

RESÜMEE

In this dissertation, the implementation of an efficient regenerative braking system based on the general side of a half full bridge inverter for PMSM and was analyzed. Regenerative braking is a way to take the energy wasted in decelerating a car and use it to charge the car's batteries. In a normal car, braking is a waste of energy but with regenerative braking, some energy can be reused.

Frequent charging and discharging of the battery will reduce battery life. To avoid these, we add a supercapacitor to the system, as they can discharge and charge over many cycles without degrading performance, which helps extend battery life. The reason for choosing an ultra capacitor is that it can store 20 times more energy than electrolytic capacitors. During acceleration, the gain operation allows the capacitor to discharge to a threshold value. During deceleration, the regenerative buck lets the capacitor charge. By storing the reused energy in the battery, it helps to expand the range of the vehicle and also support abrupt acceleration by means of a boost circuit.

Regenerative braking can be easily adjusted with the strength of the braking force by adjusting the position of the accelerator pedal. In addition to regenerative braking, the main help is dynamic braking when the car needs sudden braking. By towing an electric car, significant energy can be regenerated. The proposed method is particularly suitable for larger commercial vehicles, as they are designed to carry heavier weights. Our proposed system would solve the problem by achieving better fuel consumption while reducing emissions. Renewable braking has good potential for widening range.

Some other limitations of regeneration terms are battery charge status and regenerability in the configuration of electric motors and generators. To prolong battery life, it is recommended that you do not overcharge or charge the battery. Therefore, regeneration is not possible at times when the battery charge is at its maximum limit. It should be noted here that this is possible when towing and poses a very high risk to the battery. Therefore, it is clearly stated in the operating instructions that the towing axle car must not be towed on the ground but must be on the trailer.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] T. Sikk, „Pakasega langeb elektriauto aku võimsus 40 %“, *ACCELERISTA*, 22 Veebruar 2019.
- [2] „Kõige modernsem laadimisvõrk Eestis“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://eleport.ee/network/>. [Kasutatud 20 Aprill 2021].
- [3] „Key Components of a Hybrid Electric Car“, The AFDC, [Võrgumaterjal]. Available: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>. [Kasutatud 14 Aprill 2021].
- [4] „Key Components of a Hydrogen Fuel Cell Electric Car“, The AFDC, [Võrgumaterjal]. Available: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>. [Kasutatud 14 Aprill 2021].
- [5] „Key Components of a Plug-In Hybrid Electric Car“, The AFDC, [Võrgumaterjal]. Available: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>. [Kasutatud 14 Aprill 2021].
- [6] „Key Components of an All-Electric Car“, The AFDC, [Võrgumaterjal]. Available: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>. [Kasutatud 14 Aprill 2021].
- [7] „Laadijad kõikjal üle Eesti“, Enefit VOLT, [Võrgumaterjal]. Available: <https://enefitvolt.com/elektriauto-avalik-laadimine>. [Kasutatud 20 Aprill 2021].
- [8] „Sõidukite statistika“, Maantee amet, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mnt.ee/et/ametist/statistika/soidukite-statistika>. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [9] A. Zeng, „Principle and definitions“, ALL IN ONE Battery Tehnology, 8 November 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.ainbattery.com/principle-and-definitions.html>. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [10] J. Gorzelany, „Electric Vehicle Battery Basics“, Motorsport Network, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.myelectric.com/research/ev-101/electric-vehicle-battery-basics>. [Kasutatud 16 Aprill 2021].

- [11 T. Tähepõld, „Suur elektriautode talvise sõiduulatus test,“ Geenius Meedia OÜ, 19 Märts 2020.
] [Võrgumaterjal]. Available: <https://auto.geenius.ee/rubriik/elektriautod/suur-elektriautode-talvise-soiduulatus-test-kus-osalet-20-autot/>. [Kasutatud 4 Aprill 2021].
- [12 „Uutele hoonetele peab paigaldama elektriautode laadimistaristu,“ Majandus ja
] kommunikatsiooniministeerium, 23 Veebruar 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mkm.ee/et/uudised/uutele-hoonetele-peab-paigaldama-elektriautode-laadimistaristu>. [Kasutatud 29 Aprill 2021].
- [13 „Kogu tõde elektriauto akudest ja sellest, kuidas nende kulumine muret ei valmista,“ Enefit VOLT,
] 9 Detsember 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://enefitvolt.com/uudised/Kogu-tode-elektriauto-akudest-ja-sellest-kuidas-nende-kulumine-muret-ei-valmista>. [Kasutatud 4 Aprill 2021].
- [14 I. Buchmann, „Battery University,“ Cadex Electronics, 3 Oktoober 2017. [Võrgumaterjal].
] Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate. [Kasutatud 15 Märts 2021].
- [15 I. Buchmann, „Battery University,“ Cadex Electronics, November 2020. [Võrgumaterjal].
] Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_at_high_and_low_temperatures. [Kasutatud 17 Märts 2021].
- [16 „Alexela panustab elektriautode laadimistaristu arengusse,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.alexela.ee/et/kutus/elektrilaadimine-autodele>. [Kasutatud 20 Aprill 2021].
- [17 S. Argos, „kogu tõde ajast, kulust ja laadimise tulevikust,“ AS SEB Pank, 11 November 2020.
] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.seb.ee/foorum/auto/elektriauto-laadimine-kogu-tode-ajast-kulust-ja-laadimise-tulevikust>. [Kasutatud 21 Aprill 2021].
- [18 „KIK avab taas elektriliste sõidukite ostutoetuse taotlusvooru,“ Keskkonn investeringute keskus,
] 10 November 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://kik.ee/et/artikkel/kik-avab-taas-elektriliste-soidukite-ostutoetuse-taotlusvooru>. [Kasutatud 21 Aprill 2021].
- [19 „Charging station on Estonia,“ Electromaps, [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.electromaps.com/en/charging-stations/estonia>. [Kasutatud 20 Aprill 2021].

- [20 „Hoonete ajakohastamise kohta,“ Euroopa komisjon, 21 Juuni 2019. [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019H1019&from=EN>.
[Kasutatud 29 Aprill 2021].
- [21 „Tööriista market,“ Isojoen konehalli OY, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/tross-14-mm-9910-kg-1-jm>. [Kasutatud 23 Aprill 2021].
- [22 D. Hansen, „Steel wire,“ Greenline Fishing Gear, [Võrgumaterjal]. Available:
] <http://www.greenlinefishinggear.com/ropes-chains-lines/steel-wire/steel-wire-rope-6-x-24-7-fc>.
[Kasutatud 23 Aprill 2021].
- [23 „Kia manual,“ Kia MOTORS Corporation, [Võrgumaterjal]. Available:
] https://cdn.modera.org/original/i/kia-baltic/Manuals/EE/KIA_Niro_2020_EST_web.pdf.
[Kasutatud 1 Mai 2021].
- [24 „Liiklusseadus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130032021003>.
] [Kasutatud 1 Mai 2021].
- [25 „Ehitusseadustiku ja teiste seaduste muutmise seadus,“ 1 Juuli 2020. [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.riigiteataja.ee/akt/130062020009>. [Kasutatud 28 Aprill 2021].
- [26 „Regenerative braking explained,“ Delphi Tehnology, [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.delphiautoparts.com/usa/en-US/article/regenerative-braking-explained>. [Kasutatud 1
Mai 2021].
- [27 C. Woodford, „Regenerative brakes,“ Explainthatstuff, [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.explainthatstuff.com/how-regenerative-brakes-work.html>. [Kasutatud 2 Mai 2021].
- [28 J. Willie, „Putting Electricity Where The Rubber Meets the Road,“ 1 Juuli 2007. [Võrgumaterjal].
] Available: <https://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/putting-electricity-where-the-rubber-meets-the-road>. [Kasutatud 1 Mai 2021].
- [29 R. Folkson, Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental
] Performance, University London: Electric Vehicles, 2014, p. 784.

- [30 „Regenerative Braking,“ ScienceDirect, [Vörgumaterjal]. Available:
] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/regenerative-braking>. [Kasutatud 2 Mai 2021].
- [31 „Electric Car under the Hood,“ How car works, [Vörgumaterjal]. Available:
] <https://www.newkidscar.com/electric-car/electric-car-under-the-hood/>. [Kasutatud 3 Mai 2021].
- [32 Y. Chen, „Efficiency Optimization and Control Strategy of Regenerative Braking System with
] Dual Motor,“ Energy Storage Systems for Electric Vehicles, 6 Veebruar 2020. [Vörgumaterjal].
Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/3/711/htm>. [Kasutatud 3 Mai 2021].
- [33 C. Lv, „Structure of the regenerative and hydraulic blended braking system,“ ResearchGate,
] [Vörgumaterjal]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Overall-structure-of-the-regenerative-and-hydraulic-blended-braking-system_fig1_268389110. [Kasutatud 3 Mai 2021].
- [34 „Block diagram of an IPT system for electric vehicles,“ ResearchGate, [Vörgumaterjal].
] Available: https://www.researchgate.net/figure/General-block-diagram-of-an-IPT-system-for-electric-vehicles_fig1_308929434. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [35 F. Lambert, „Tesla Model 3 owner gets about 10 miles of range with regen by towing the car over
] 1 mile,“ Electroc, 9 November 2018. [Vörgumaterjal]. Available:
<https://electrek.co/2018/11/09/tesla-model-3-regen-tow-charging/>. [Kasutatud 3 Mai 2021].
- [36 U. Thommangada, „Regenerative braking using buckboost converter,“ Department of Electronics
] and Communication Engineering, Mai 2014. [Vörgumaterjal]. Available:
https://www.academia.edu/29133227/REGENERATIVE_BRAKING_USING_BUCKBOOST_CONVERTER. [Kasutatud 3 Mai 2021].
- [37 J. S. T. B. N. V. S. Sørensen Åse Lekang, Smart EV charging systems for Zero Emission
] Neighbourhoods.- Zen Report. No. 5, SINTEF akademisk forlag, 2018, p. 72.
- [38 Chung-Yuen Won, Tae-Hoon Kim, Jung-Hyo Lee, „Design and Control Methods of Bidirectional
] DC-DC Converter,“ *J Electr Eng Technol*, 2014.

LISAD

Lisa 1. Eesti populaarseimad elektriautod, kogused ja akumahtuvused aastal 2021.

Auto	Kogus, tk	Ühe aku mahtuvus, kWh	Kogu mahtuvus kokku, kWh
Nissan Leaf	307	80	24 560
Nissan Leaf 30	59	30	1 770
Nissan Leaf 40	125	40	5 000
Nissan Leaf 62kW	42	62	2 604
Nissan e-NV200	34	24	816
Mitsubishi i-MiEV	511	35	17 885
Tesla Model X	31	75	2 325
Tesla Model S	82	85	6 970
Tesla Model 3	85	54	4 590
Jaguar I-pace	13	90	1 170
Honda E	17	35.5	603.5
Hyundai Kona	69	64	4 416
Renault ZOE	54	52	2808
Micro-Vett Fiorino	13	30	390
Mersedez EQC	12	80	960
BMW i3	69	33.2	2 290.8
BMW i3s	18	33.2	597.6
Porsche Taycan 4S	33	79.2	2613.6
Porsche Turbo	9	93.4	840.6
Peugeot e-208	24	50	1 200
Peugeot 2008	18	46.2	813.6
Kia Soul EV	8	64	512
Kia Nitro	10	64	640
Skoda Citigo	12	36.8	441.6

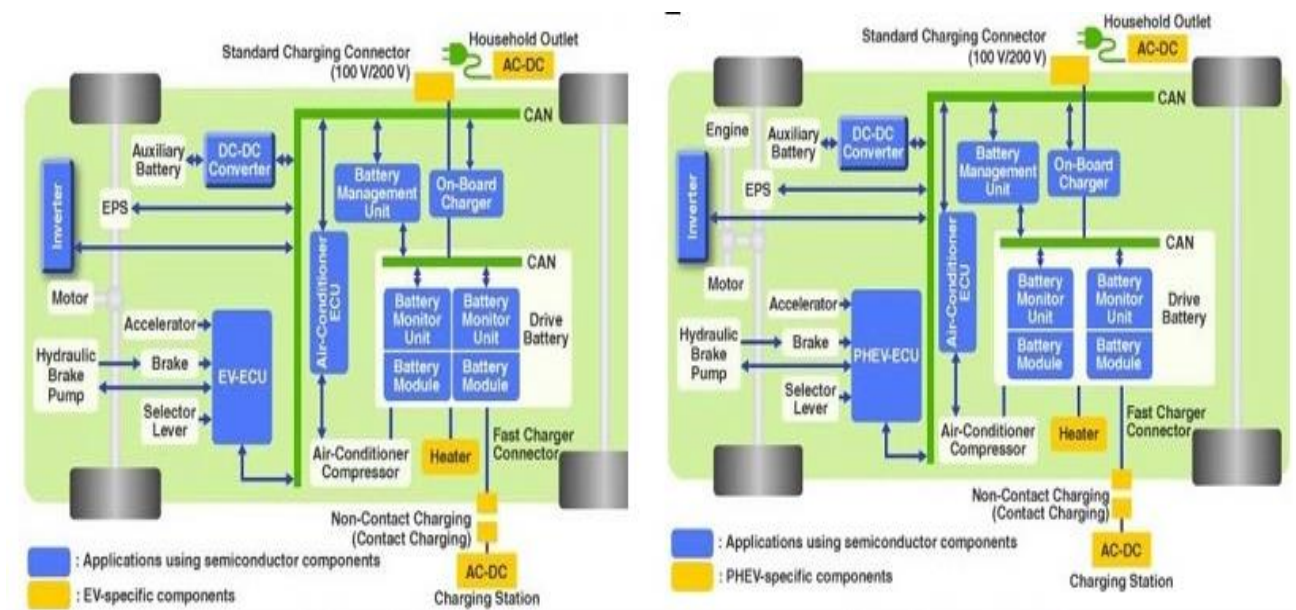
Auto	Kogus, tk	Ühe aku mahtuvus, kWh	Kogu mahtuvus kokku, kWh
Audi Etron	18	95	1 710
Audi e-tron 50	17	64.7	1 099.9
Volkswagen e-UP	54	32.3	1 744.2
Volkswagen Golf	12	35.8	429.6
Volkswagen id.3 pro	18	58	1 044

Lisa 2. Riskianalüüs

Risk	Mõju	Tõenäosus	Riski mõju	Maandamise vahendid
Sisemised riskid				
Rakenduse probleemid	Töötajate ajaresursi kulu/klientide rahulolematus	1	2	Rakenduse hooldamine spetsialisti poolt/garantii.
Rakenduse turvalisus, sissemurdmine	Kliendi rahulolematus, valed arvestused.	1	3	Turvanõuete suurendamine.
Suurendab avariiteket	Liiga pikk maantee kolonn, möödasõidu raskused	5	3	Ohutuled peavad põlevad, mis näitab, et autoga pole kõik korras.
Nõudlus on niivõrd suur, et andmebaas jookseb kokku	Lisatöö, andmebaasi arendamine	3	5	Arendamise vajadus. Kasutajate arvu suurendamine.
Turu teadmatus	Lisakulu meile	2	5	Reklaamimine.
Õnnetusjuhtumid	Lisakulud meile	2	4	Tööohutuse koolitus.
Rakenduse arendamise aeglustus	Töö seisak, lisakulud meile	2	4	Tööjõu kvaliteedi kontroll.
Juhtkonna puhkus	Tööseisaku võimalus	2	3	Juhtkonna tööorganiseerimise jaotus

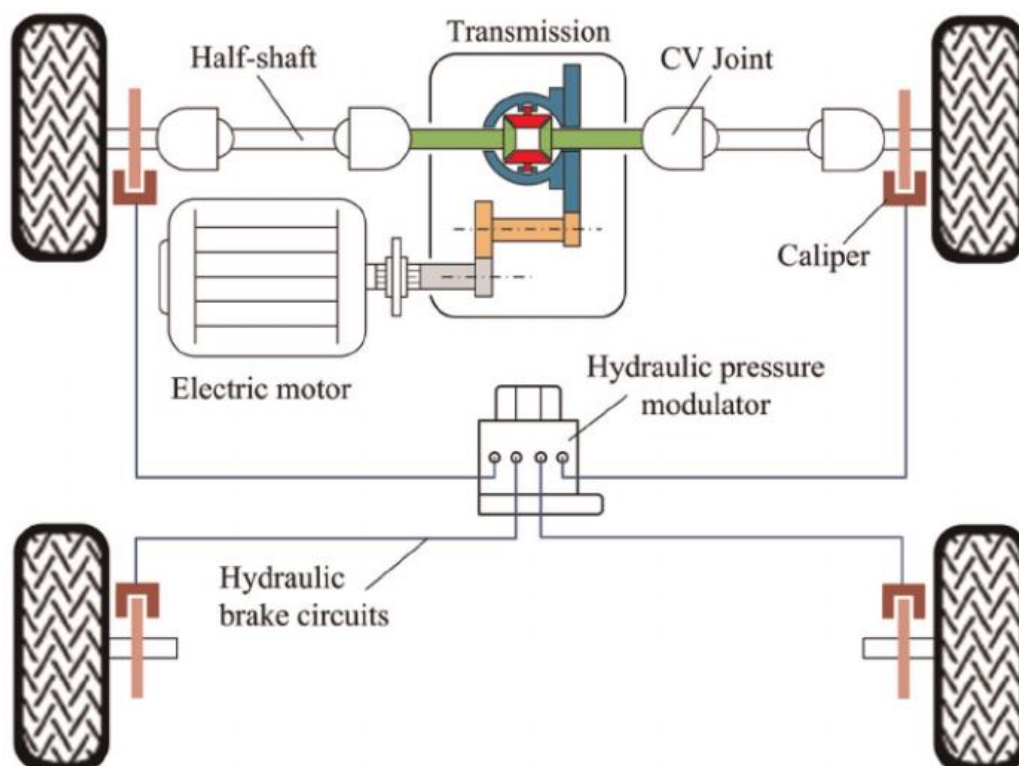
Risk	Mõju	Tõenäosus	Riski mõju	Maandamise vahendid
Välisriigid ei luba meie süsteemiga nende turule tulla	Laienemise piirangud	1	5	Välisriikidele tutvustus ja koostöö
Välised riskid				
Pank ei anna meile laenu äri alustuseks	Äri avamine viibib või jääb ellu viimata	2	5	Kasutame enne laenu taotlemist finantsnõustamist
Konkurendid hakkavad odavamalt teenust pakkuma	Kaotame kliente	2	1	Jälgime pidevalt konkurentide plaane. Vastavalt nende hinnale määrame ka enda hinna

Lisa 3. Elektrilist blokk skeem



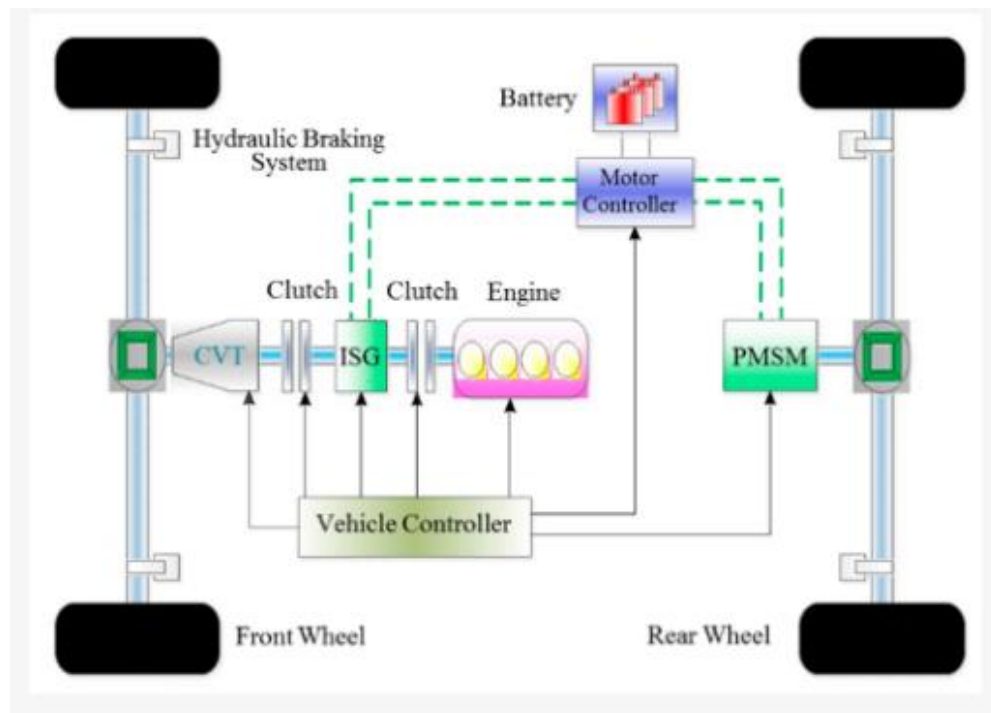
Joonis 18. Vasak pilt illustreerib elektriauto elektrilist blokk skeemi ja parem hübriidauto oma [33].

Lisa 4. Elektriauto lihtsustatud blokk skeem



Joonis 19. Elektriauto lihtsustatud blokk skeem [35].

Lisa 5. Lihtsustatud kahemootoriline blokk skeem



Joonis 20. Lihtsustatud kahemootoriline blokk skeem [34].