

Miika Kallio

# Polttomoottoriauton sähköistäminen

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Syksy 2024



**KAMK • University  
of Applied Sciences**

## Tiivistelmä

**Tekijä:** Miika Kallio

**Työn nimi:** Polttomoottoriauton sähköistäminen

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), konetekniikka

**Asiasanat:** sähkökonversio, sähköauto, lainsäädäntö, sähkö- ja hybridauton historia

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda opas polttomoottoriauton sähköistämiseksi. Tässä työssä käytiin läpi sähkökonversioon liittyvää lainsäädäntöä sekä listattiin erilaisia sähkökonversion vaihtoehtoja. Työssä myös selvitettiin sähkö- ja hybridautojen historiaa, jotta lukijan olisi helppo ymmärtää, mitä toteutustavoiksi luetellut vaihtoehdot tarkoittavat. Tavoitteena oli myös luoda oppaan pohjalta konversiosuunnitelma vanhaan maastoautoon, jota voitaisi käyttää apuna konversion suunnittelemisessa.

Työssä keskityttiin konversion kannattavuuteen pääasiassa taloudellisesta näkökulmasta. Konversion ympäristövaikutuksiakin kuitenkin sivuttiin yhteenvedon yhteydessä.

Tässä opinnäytetyössä tiivistettiin sähkö- ja hybridauton historiaa, jonka yhteydessä selvitettiin, millä erilaisilla moottorikonfiguraatioilla hybridautoja on valmistettu. Tämän jälkeen käytiin läpi sähköautokonversioon liittyvää lainsäädäntöä esimerkkien avulla. Tässä työssä tutkittiin erilaisia konversiovaihtoehtoja ja niiden kannattavuutta yleisellä tasolla. Konversiovaihteista tehtiin yhteenveto, jossa selvitettiin, missä skenaarioissa kannattaa käyttää mitään toteutustapaa. Lisäksi työssä on lyhyt opas, jossa pyritään auttamaan esimerkkien avulla auton ja konversiovaihtoehdon valintaa. Työssä myös tehtiin sähkökonversiosuunnitelma vanhalle maastoautolle, jossa pohdittiin projektia ja sen ongelmakohtia sekä sen toteuttamisen kannattavuutta.

Työn tuloksena syntyi opas, jonka avulla lukija voi hahmotella sähköautokonversion kannattavuutta sekä valita konversiolle soveltuvan toteutustavan. Esitellyssä konversiosuunnitelmassa todettiin projekti kannattamattomaksi kyseiseen autoon matalan kantavuuden sekä arvon vuoksi. Loppuyhteenvedon yhteydessä tiivistettiin sähköautokonversion hyötyjä ja haittoja sekä esiteltiin projektiin mahdollisesti paremmin soveltuvaa autoa.

## **Abstract**

**Author:** Miika Kallio

**Title of the Publication** Electrification of Internal Combustion Car

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

**Keywords:** EV-conversion, electric vehicle, legislation, history of electric- and hybrid vehicles

The aim of this thesis was to create a guide for car electrification. In this thesis the legislation is examined, which affects car electrification. Electric or hybrid conversion options are listed and the history of the vehicles researched. In addition, a plan for conversion of an old 4x4 was designed, which could be used as an aid in planning of an electrification project. The focus of this thesis was in the financial viability although environmental impact was mentioned in the summary.

In the thesis all major engine configurations used by hybrid vehicles were listed. The legislation which affects car electrification was summarized by examples. The electric conversion methods and the viability were reviewed. A Summary of methods was written to clarify a scenario for each conversion method. In addition, a compact guide supports to choose the conversion method and the car. A plan was realized for conversion of the old 4x4 for analyzing project's problems and viability.

As a result, a guide was designed to sketch viability of electric conversion and choose the right conversion method for it. In the presented conversion plan of 4x4, the project was stated to be unviable because of high costs and low carrying capacity of the car. In summary, the advantages and disadvantages of the car electric conversions were listed and more suitable car for conversion was introduced.

## Sisällys

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Johdanto .....                                      | 1  |
| 2     | Täyssähköauton historiaa .....                      | 2  |
| 2.1   | Alkuajat.....                                       | 2  |
| 2.2   | 1970-luvun energiakriisi .....                      | 2  |
| 2.3   | Uusi yritys 1990-luvulla .....                      | 5  |
| 2.4   | Nyky aika .....                                     | 6  |
| 3     | Hybridiauton historiaa .....                        | 7  |
| 3.1   | Rinnakkaishybridi .....                             | 7  |
| 3.2   | Ladattava hybridi tai pistokehybridi eli PHEV ..... | 8  |
| 3.3   | Sarjahybridi.....                                   | 10 |
| 3.4   | Kevythybridi eli MHEV .....                         | 10 |
| 4     | Lainsäädäntö.....                                   | 11 |
| 4.1   | Teho.....   | 11 |
| 4.2   | Jousitus .....                                      | 12 |
| 4.3   | EMC-mittaukset.....                                 | 13 |
| 4.4   | Paino.....  | 13 |
| 4.5   | Kiinnikkeet .....                                   | 14 |
| 5     | Sähkökonversion toteutusvaihtoehdot .....           | 15 |
| 5.1   | Täyssähkö eli BEV .....                             | 15 |
| 5.1.1 | Moottorin korvaaminen sähkömoottorilla .....        | 15 |
| 5.1.2 | Akselit sähkömoottorilla .....                      | 15 |
| 5.2   | Hybridi .....                                       | 16 |
| 5.2.1 | Rinnakkaishybridi.....                              | 16 |
| 5.2.2 | Ladattava hybridi eli PHEV .....                    | 16 |
| 5.2.3 | Sarjahybridi .....                                  | 17 |
| 5.2.4 | Kevythybridi eli MHEV .....                         | 17 |
| 5.3   | Yhteenveto .....                                    | 17 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 6   | Auton valinta .....                      | 19 |
| 7   | Konversioprojekti .....                  | 21 |
| 7.1 | Toteutustavan valinta.....               | 21 |
| 7.2 | Komponenttien valinnat hintoineen .....  | 22 |
| 7.3 | Moottori .....                           | 25 |
| 7.4 | Akkupaketti .....                        | 26 |
| 7.5 | Projektin yhteenveto.....                | 30 |
| 8   | Yhteenveto .....                         | 31 |
| 8.1 | Taloudelliset hyödyt ja haitat.....      | 31 |
| 8.2 | Ekologiset hyödyt ja haitat .....        | 31 |
| 8.3 | Projektiin soveltuvan auton valinta..... | 31 |
|     | Lähteet .....                            | 33 |

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on polttomoottoriauton sähköistäminen. Idea tämän opinnäytetyön tekemiseen tuli, kun aloin pohtimaan oman maastoauton sopivuutta sähköautokonversioon. Idean kiinnostavuuden ytimessä on polttoainekulujen vähentäminen, mutta myös tehon lisäys ja ympäristötekijät vaikuttavat asiaan.

Tämän työn tavoitteena on tuottaa ohje, jota kuka tahansa voi käyttää apuna polttomoottoriauton sähkökonversion kannattavuuden pohdintaan sekä auton ja toteutustavan valintaan. Tämän työn ytimessä on projektin taloudellinen kannattavuus, mutta myös sähkö- ja hybridautojen historiaa löytyy, jotta lukijan on helpompi hahmottaa etenkin hybridautojen eroavaisuuksia ja niiden vaikutuksia sähkökonversioon.

Tässä työssä tiivistän sähköautojen ja hybridien historiaa, jonka yhteydessä esittelen erilaisia hybriditoteutuksia. Lisäksi käyn läpi polttomoottoriauton sähkökonversioon liittyviä lainsäädännöllisiä asioita ja listaan mahdollisia sähkökonversion toteutusvaihtoehtoja. Historiaan liittyvää asiaa löytyy parista ensimmäisestä kappaleista, joiden jälkeen tulee lainsäädännöllistä asiaa, jonka avulla teen selvityksen eri toteutusvaihtoehdoista. Niiden jälkeen tutkitaan vähän projektiin sopivan auton valintaa ja lopuksi esittelen omaan autooni pohjautuvaa suunnitelmaa.

## 2 Täyssähköauton historiaa

Tässä luvussa käydään läpi sähköauton historiaa aina 1800-luvun lopulta nykyaikaan. Sähköauton suosio on noussut sykleissä, joten jaan tämän luvun alalukuihin aikakausien mukaan.

### 2.1 Alkuajat

Ensimmäiset sähköautot kehitettiin jo 1800-luvulla. Alkuperäisesti sähköauto oli yksi kolmesta auton toimintavaihtoehdosta. Tuolloin vaihtoehdot olivat polttomoottori, höyrymoottori ja sähkö. Polttomoottorin ongelmana oli käyttöön soveltuvien polttoaineiden heikko saatavuus ja hinta. Höyrymoottorin heikkous oli sen pitkä valmistelu-aika, sillä liikkeellelähtö saattoi tarvita jopa tunnin lämmityksen ennen kuin auto oli käyttövalmis. [1.]

Lopulta bensiinimoottori voitti sähköauton bensiinin saatavuuden parannuttua, sillä sähköauton akun kantama oli liian heikko. Sähköauton akun kantama oli vain noin 50 kilometriä ja huippunopeuskin noin 30 kilometriä tunnissa. Lisäksi myös ratkaisevana oli hinta, sillä polttomoottoriauton hinnan laskettua vuoteen 1912 mennessä polttomoottoriauto oli jo yli puolet edullisempi. Samana vuonna kehitettiin myös starttimoottori, joka poisti polttomoottorin käynnistämiseen liittyvän vaaran poistaen viimeisen esteen polttomoottorin yleistymiselle. [1.]

### 2.2 1970-luvun energiakriisi

1970-luvun aikana nähtiin yksittäisiä pienten valmistajien sähköautoja. Esimerkiksi Floridalainen Citicar tai Electric Vehicle Associatesin valmistamat AMC Pacer -pohjaiset konversiot.

Citicaria valmistettiin vuosina 1974–82 (kuva 1). Autossa oli alun perin 3,5 hevosvoimainen moottori, myöhemmissä vuosimalleissa 6,5 hevosvoimainen. Alkuperäisellä voimansiirrolla huippunopeus oli noin 45 kilometriä tunnissa ja akun kantama 56 kilometriä. [2.]



*Kuva 1. CitiCar [2.]*

AMC Pacerin sähkökonversioita valmistettiin yli 100 kappaletta vuonna 1978 (kuvat 2 ja 3). Auton huippunopeus on noin 90 kilometriä tunnissa ja kantama latauksella 48–80 kilometriä. Auto kiihtyy 0–48 km/h alle 12 sekunnissa. Auton voimanlähteenä toimii 15 kilowatin tehoinen ilmajäähdytteinen sähkömoottori. Akustona autossa on kaksikymmentä kuusivoltista akkua asennettuna sarjaan. Akuston jännite on siis 120 voltia. Autoa pystyy lataamaan sekä 110 voltin että 220 voltin jännitteellä. Autoa myytiin sekä automaatti että manuaalivaihteistolla. Autoon oli saatavilla myös bensakäyttöinen sisätilanlämmitin, jolloin auto voitaisiin luokitella myös hybridiksi. [3.]



*Kuva 2. AMC Pacer EV, [3.]*



*Kuva 3. Vuonna 1978 konvertoidun AMC Pacerin konehuone, kuvattuna American Motors Owners Associationin tapahtumassa vuonna 2015. [4.]*

### 2.3 Uusi yritys 1990-luvulla

Sähköautot kokivat ensimmäisen paluun 1990-luvulla Kalifornian osavaltion California Air Resource Board eli CARBin ansiosta. Heidän tavoitteenaan oli ohjata kuluttajia matalapäästöisimpiin ajoneuvoihin, lopullisena tavoitteenaan siirtyä kokonaan päästöttömiin autoihin, kuten sähköautoihin. [5.]

CARBin linjauksen myötä useat autovalmistajat kehittivät sähköautoja myyntiin. Isoista valmistajista sähköauton toivat myyntiin 90-luvulla esimerkiksi Chrysler, Ford, GM, Honda, Nissan ja Toyota (kuva 4). Akkuteknologiana oli valmistajasta riippuen lyijy-, erilaiset nikkelipohjaiset tai Nissanilla litiumakku. [6.]

Kyseisiä valmistajia kuitenkin syytettiin mallien tahallisen huonoista myynneistä. Malleja ei markkinoitu juuri mitenkään, millä valmistajat yrittivät luoda kuvan asiakkaiden mielenkiinnon puutteesta. Kaikki valmistajat myivät sähkömallejaan ainoastaan liisaamalla, ilman lunastusvaihtoehtoa. Ainoastaan Toyota myi autonsa eteenpäin liisauksen loputtua ja muut autot tuhottiin. Asiasta järjestettiin mielenosoituksiakin [5.] ja autovalmistajien ja CARBin välisten syytösten jäljiltä sekä Chrysler, Toyota sekä osa GM-liikkeistä haastoivat CARBin oikeuteen. [7.]



Kuva 4. Toyota RAV4 EV Mk.I, kuvattuna Washington Car Showssa vuonna 2012. [8.]

## 2.4 Nykyaika

Lopulta sähköautot tekivät läpimurron 2010-luvulla. Edelleen käynnissä oleva sähköautojen yleistyminen alkoi Tesla Roadsterista, Lotus Eliseen pohjautuvasta sähköurheiluautoista, joka näytti sekä kuluttajille, että suurille autovalmistajille, että litiumakkuteknologia on jo riittävällä tasolla sähköautoja varten, vaikka asiantuntijat uskoivat sen tapahtuvan vasta kymmenen vuotta myöhemmin. GM:n silloisen varapuheenjohtaja Bob Lutzin sanoin: "Kaikki General Motorsin nerot sanoivat, että litiumioniteknologia on 10 vuoden päässä, ja Toyota oli kanssamme samaa mieltä, ja sitten tulee Tesla. Joten sanoin: "Miten joku pieni Kalifornialainen startup, jota johtavat kaverit, jotka eivät tiedä mitään autoliiketoiminnasta, voivat toteuttaa sen, mutta me emme?" [9.]

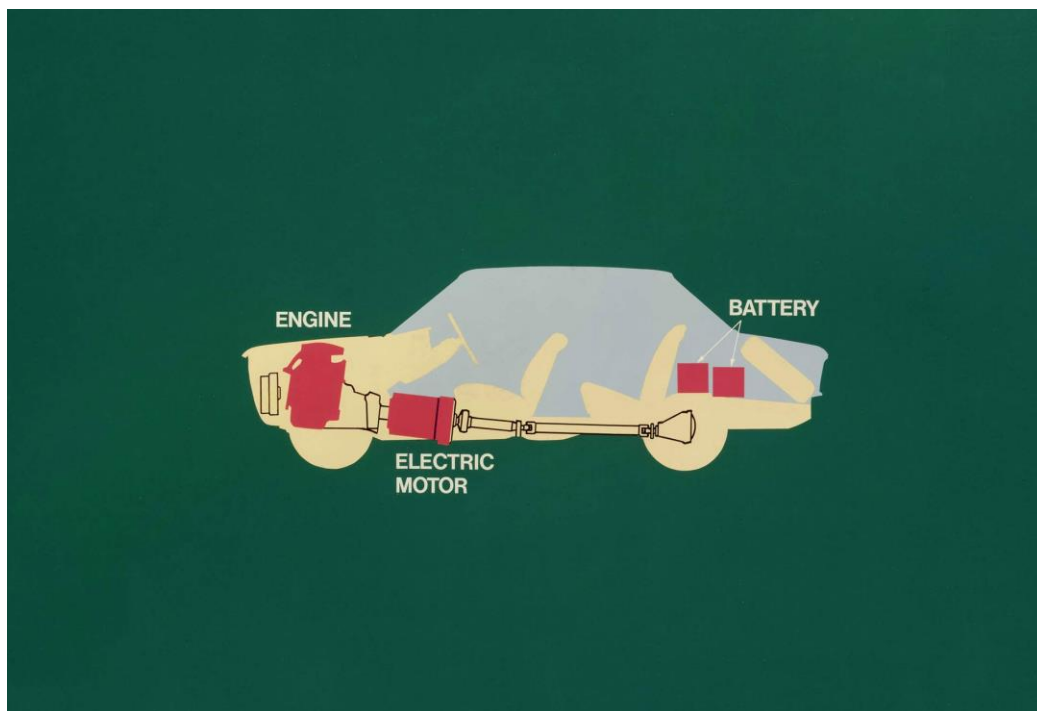
### 3 Hybridiauton historiaa

Tässä luvussa kerron hybridiautojen historiaa aina 1970-luvun lopulta nykyaikaan. Alalukuina tässä luvussa on hybridiauton historia jaettuna erilaisiin hybridiluokkiin.

#### 3.1 Rinnakkaishybridi

Varhaiset hybridiautot ovat yleensä itselataavia. Itselataavalla hybridillä pyritään laskemaan polttoaineenkulutusta taltioimalla moottorijarrutuksen energia akkuihin. Täyshybridi voi liikkua pelkän sähkön voimalla kaupunkiolosuhteissa, mutta maantieajossa auto liikkuu pitkälti polttomoottorin voimalla. [10.]

Isoista autovalmistajista ensimmäisenä tähän luokkaan kuuluvan prototyyppi oli Fiatin vuonna 1979 valmistama Fiat 131 Ibrido (kuvat 5 ja 6) [11]. Muita varhaisia rinnakkaishybridiprototyypppejä ovat Alfa Romeon vuonna 1988 valmistama Alfa 33 Hybrid ja Audin vuonna 1989 valmistama Audi Duo.



Kuva 5. Fiat 131 Ibridon voimansiirtojärjestelmä [11.]



*Kuva 6. Fiat 131 Ibridan 250 ampeerin akusto [11.]*

Ensimmäisen massatuotantohybridin valmisti kuitenkin Toyota, auton Toyota Prius vuonna 1997. Toisena valmistajana markkinoille tuli Honda vuonna 1999 mallina Honda Insight. [12.]

### 3.2 Ladattava hybridi tai pistokehybridi eli PHEV

Ladattava hybridi tarkoittaa autoa, jota voidaan ajaa joko bensiinin tai pistokkeesta ladatun sähkön voimalla. Yleensä auton akulla pääsee yksistään 30–80 kilometriä, jonka jälkeen matkaa voi jatkaa polttomoottorin avulla. Polttomoottoria ja sähköä voi usein käyttää myös yhtä aikaa, jolloin auto on tehokkaampi ja kulkee vähemmällä polttoaineella. [13.]

Audi valmisti ensimmäisenä autovalmistajana prototyypin ladattavasta hybridistä. Auto esiteltiin Geneva Motor Showssa vuonna 1990 ja se pohjautui Audi 100 Avanttiin. [14.]

Ensimmäisenä myytiin ladattavan hybridin toi Audi vuonna 1998. Auton pohjautui Audi A4:een ja sitä myytiin 60 kappaletta nimellä Audi Duo plug-in hybrid (kuva 7). Auton myynti oli kuitenkin heikkoa, sillä se maksoi yli puolet enemmän kuin tavallinen Audi A4. [14.]



*Kuva 7. Vuosina 1998–99 valmistettu Audi Duo plug-in hybrid. [14.]*

Ensimmäinen laajasti myyty ladattavan hybridin valmisti Chevrolet vuonna 2010. Automallina Chevrolet Volt (kuva 8), jota myytiin vuoteen 2019 saakka. Muita merkittäviä varhaisia pistokehybridimalleja on Toyota Prius PHEV [15], Volvo V60 Plug-in Hybrid [16] ja Mitsubishi Outlander PHEV [17].



*Kuva 8. Chevrolet Volt vuosimallia 2011. Tuli myöhemmin myyntiin myös Euroopassa nimellä Opel Ampera. [18.]*

### 3.3 Sarjahybridi

Sarjahybridillä tarkoitetaan autoa, joka lataa auton ajoakkaa polttomoottorin avulla ja autoa liikutetaan pelkästään tai pääasiassa sähkömoottorilla [19]. Edellisessä kappaleessa mainituista autoista esimerkiksi Chevrolet Volt toimii akun loputtua sarjahybriditilassa [20].

Merkittävin sarjahybridien valmistaja on Nissan. Nissanin nykyisessä mallistossa myymä E-Power järjestelmässä ei ole latauspistoketta, mutta polttomoottori ei ole lainkaan yhteydessä renkasiin. Auto liikkuu pelkästään sähkömoottorien voimalla ja polttomoottorilla ladataan 1,85 kilowattituntista akustoa. [21.]

### 3.4 Kevythybridi eli MHEV

Kevythybridissä pääasiallisena voimanlähteenä toimii polttomoottori ja sen apuna toimii pieni sähkömoottori. Sähkömoottori on kytketty polttomoottoriin hihnalla usein korvaten alkuperäisen laturin ja käynnistinmoottorin. Järjestelmä on usein 48 voltainen ja se lataa akkua DC-DC konverterin avulla. Laturin korvaava moottori jarruttaa moottoria moottorijarrutuksen aikana ja kiihdyttää kiihdytyksissä lisäten huipputehoa ja vähentäen kulutusta. [22; 23; 24.]

Ensimmäisenä valmistajana kevythybridin toi markkinoille GM, automallina Saturn Aura [22]. Esimerkkejä viimevuosina myydyistä kevythybrideistä on Ford Puma mHEV [23] ja Volvo V60 B3 MHEV [24].

## 4 Lainsäädäntö

Tässä luvussa luettelen sähkökonversiossa huomioon otettavia seikkoja lainsäädännölliseltä kannalta.

### 4.1 Teho

Nykyisessä lainsäädännössä auton teho saa nousta alla olevan listauksen mukaan. [25, s. 16.]

- 1) vertailuajoneuvolla suhteen ollessa yli 20 kilogrammaa /kW, saa se pienentyä muutetulla ajoneuvolla arvoon 12 kilogrammaa/kW;
- 2) vertailuajoneuvolla suhteen ollessa enintään 20 kilogrammaa/kW, saa se pienentyä muutetulla ajoneuvolla arvoon 10 kilogrammaa/kW;
- 3) vertailuajoneuvolla suhteen ollessa enintään 15 kilogrammaa/kW, saa se pienentyä muutetulla ajoneuvolla arvoon 7 kilogrammaa/kW;
- 4) vertailuajoneuvolla suhteen ollessa enintään 10 kilogrammaa/kW, saa se pienentyä muutetulla ajoneuvolla arvoon 5 kilogrammaa/kW;
- 5) vertailuajoneuvolla suhteen ollessa enintään 5 kilogrammaa/kW, saa se pienentyä muutetulla ajoneuvolla arvoon 4 kilogrammaa/kW.

Vertailumootorilla tarkoitetaan vertailuajoneuvoon valmistusvaiheessa asennettua moottoria. Vertailuajoneuvona voidaan käyttää samalla markkina-alueella valmistettua samaan mallisarjaan tai mallisukupolven kuuluvaa ajoneuvoa. [25, s. 4, 6.]

Eli esimerkiksi jos muunneltava automalli on Nissan Terrano, jota on myyty 3.0 litraisella bensiinimootorilla (148 hevosvoimaa) sekä 2.7 litraisella dieselmootorilla (100 hevosvoimaa) [26],

vertailumoottorina voidaan käyttää korkeampitehoista mallia, kunhan auton jarrut vastaavat tehokkainta mallia.

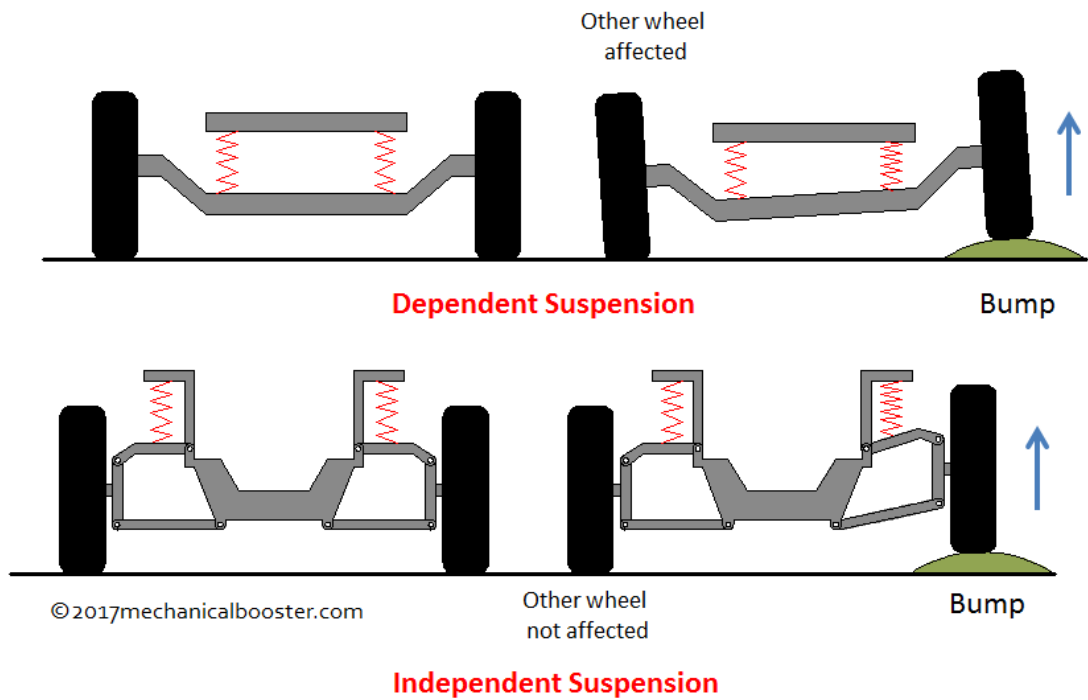
Tässä esimerkissä vertailumoottorina voidaan käyttää 148 hevosvoimaista eli 110 kilowattista bensiinimoottoria. Auton kokonaismassa on 2300 kiloa [26]. Auton alkuperäinen paino-teho-suhde on 20,9 kg/kW. Tällöin auton paino-teho-suhde saa parantua korkeintaan lukuun 12 kg/kW. Autossa saa olla muutosten jälkeen korkeintaan 192 kilowattia eli 257 hevosvoimaa.

Jos muutossarja ei ole tehdasvalmisteinen ja kyseiseen automalliin tarkoitettu, tulee muutokselle hankkia tehomittaustodistus. Myös jarrut ja jousitus pitää muuttaa mallisarjan tehokkaimman mallin mukaiseksi, jos teho nousee yli 20 prosenttia alkuperäisestä. [25, s. 15–16.]

#### 4.2 Jousitus

Ajoneuvon jousitustyyppin muutos (kuva 9) on sallittua vain tehdastekoisella muutossarjalla, jossa korkeintaan kiinnikkeet ovat omatekoiset. Kuitenkin erillisjousituksen vaihtaminen jäykkään akseliin on yleensä kielletty, sillä sen tulkitaan olevan heikennys jousituksen toimintaan ja turvallisuuteen. [25, s. 18.]

Poikkeuksena ovat kuitenkin automallit, jota on myyty sekä jäykällä etuakselilla että erillisjousitetulla etuakselilla. Näihin kuuluu esimerkiksi tietyn vuosimallin Toyota Hiluxit. Tämänkaltaiseen autoon voit vaihtaa alkuperäisen erillisjousituksen tilalle jäykän akselin. Tässä on kuitenkin huomioitava, että jos jäykän akselin kanssa autoa ei ole myyty mallisarjan tehokkaimmalla moottorilla, saa teho olla korkeintaan 20 prosenttia korkeampi kuin tehokkaimman jäykän akselin kanssa myydyssä moottorissa. [25, s. 15–16.]



Kuva 9. Erillisjousituksen ja jäykän akselin erot.

#### 4.3 EMC-mittaukset

EMC-mittaus on pakollinen EY-tyyppihyväksytyissä autoissa, eli vuonna 1998 tai sen jälkeen käytöön otetuissa autoissa. Toisen tulkinnan perusteella EMC-mittaus koskee jo kaikkia vuonna 1993 tai sen jälkeen käytöön otettuja autoja. Kyseessä on katsastuskonttorista riippuva tulkintaeroavaisuus. [28, s. 16–17.]

EMC-mittauksessa varmistetaan, jotta auto sietää, eikä myöskään tuota sähkömagneettisia häiriötä ja sen kotelointi ja johdotukset ovat riittävän laadukkaita. Jos mittaus vaaditaan, se voidaan suorittaa n. 5000 €:n hintaan. [28, s. 16–17.]

#### 4.4 Paino

Ajoneuvon tietoihin merkattu kokonaismassa ei saa ylittyä. Auton omamassa tarkoittaa ajoneuvon painoa tavanomaisten varusteiden kanssa. ”Omamassaan luetaan jäähdytysneste, öljyt, 90

prosenttia polttoaineesta, 100 prosenttia muista nesteistä kuin jätevesistä, työkalut, vararengas ja kuljettaja...”. Kokonaismassa tarkoittaa korkeinta sallittua painoa. Kokonaismassaa laskettaessa omamassaan lisätään 75 kg per matkustaja. [29, 25 d §.]

Otetaan esimerkiksi vuosimallin 1999 Volkswagen Golf. 2.0 litraisella bensiinimoottorilla auton alkuperäinen omamassa on 1285 kiloa ja kokonaismassa 1810 kiloa [26]. Koska autossa on paikat kuljettajan lisäksi neljälle matkustajalle, sen paino saa lisääntyä korkeintaan 225 kiloa.

#### 4.5 Kiinnikkeet

Moottorin kiinnityspisteistä on tehtävä selvitys, miten kyseiseen kiinnitystapaan on päädytty ja kuinka se on toteutettu. Selvitys voidaan tehdä joko sanallisesti tai esimerkiksi 3D-mallin avulla. [25 s. 18.]

## 5 Sähkökonversion toteutusvaihtoehdot

Tässä luvussa listaan erilaisia sähkökonversion toteutusvaihtoehtoja, hyvine ja huonoine puoli-  
neen.

### 5.1 Täyssähkö eli BEV

Täyssähköisessä tehtävä paljon ylimääräistä työtä, sillä useimmiten auton lisälaitteet toimivat polttomoottorin voimalla. Vanhemmissa polttomoottoriautoissa ilmastoinnin kompressori sekä ohjaustehostin toimivat yleensä hihnavetoisesti polttomoottorilla. Lämmitys toimii polttomoottorin hukkaenergialla sekä jarrutehostin polttomoottorin alipaineella. Kaikille näille pitää löytää korvaava energialähde, jos polttomoottori poistetaan.

#### 5.1.1 Moottorin korvaaminen sähkömoottorilla

Polttomoottorin korvaaminen yhdellä sähkömoottorilla vaatii paljon suunnittelutyötä, mutta on kuitenkin valmisakseleita halvempi toteuttaa, sillä moottoriksi käy tavallinen sähkömoottori. Myös tällaiseen projektiin tarkoitettuja moottoreita kontrollereineen on myynnissä [31]. Tässä vaihtoehdossa on huomioitava voimansiirron kestävyys. Väännön ja voiman lisäys tulee tehdä harkitusti, jotta alkuperäinen voimansiirto kestää.

#### 5.1.2 Akselit sähkömoottorilla

Tässä vaihtoehdossa käytetään erilliset sähkömoottoreita etu- ja taka-akseleilla. Tämä voidaan toteuttamalla esimerkiksi vaihtamalla autoon Teslan akselit. Tässä vaihtoehdossa huomioitava akselityypin vaihtoon liittyvät lainsäädännölliset rajoitteet.

Lisäksi on huomioitava myös tehoraja, sillä usein konversioissa käytettyjen Teslan moottorien suuren tehomäärän vuoksi, suurimmassa osassa autoista tehorajat ylittyvät reilusti. Tällöin tehoa on rajattava joko ohjelmallisesti tai on valittava pienempitehoiset moottorit.

## 5.2 Hybridi

Hybridissä lisälaitteiden korvaus sähkötoimisilla ei ole välttämätöntä. Usein hybridikäyttöisin autoihin kuitenkin halutaan mahdollisuus ajaa pelkällä sähköllä, jolloin sähkötoimiset lisälaitteet ovat pakolliset. [13.]

### 5.2.1 Rinnakkaishybridi

Tämä konversiovaihtoehto voi auttaa keskikulutuksessa, sillä kaupunkiolosuhteissa saadaan palautettua moottorijarrutuksessa energiaa akustoon, jolla voidaan liikuttaa autoa. Maantieajossa polttoainesäästöt ovat kuitenkin minimaaliset ja usein kulutus jopa kasvaa lisääntyneen massan vuoksi. Konversiona rinnakkaishybridin kannattavuus riippuu pitkälti kuljettajan ajoprofiilista kuten uutenakin ostettavassa. Jos ajo on pääasiassa kaupunkipitoista, voi rinnakkaishybridi säästää rahaa, mutta maantieajossa hyöty on minimaalinen [19].

### 5.2.2 Ladattava hybridi eli PHEV

Mielestäni tämä on hybridivaihtoehdoista mielenkiintoisin. Tämän vaihtoehdon kanssa lisälaitteet korvataan usein sähköisillä, jotta pystytään ajamaan myös pelkän sähkömoottorin voimalla. Joissain tapauksissa kylmissä olosuhteissa polttomoottori pakotetaan päälle esimerkiksi lämmityksen vuoksi, mutta myös ympäri vuoden pelkällä sähköllä ajettavia ladattavia hybridejä on olemassa. [13.]

### 5.2.3 Sarjahybridi

Sarjahybridi on sähkökonversiona kohtuuttoman kallis hyötyn nähden. Sen kannattavuus perustuu auton valmistusvaiheessa tehtyihin säästöihin voimansiirrossa, jotka konvertoitavasta autosta jo löytyvät. Sarjahybridissä veto tulee toteuttaa akselin yhteydessä olevilla sähkömoottoreilla, sillä alkuperäinen moottori jää moottoritilaan toimimaan generaattorina.

### 5.2.4 Kevythybridi eli MHEV

Mielestäni tämän vaihtoehdon hyöty on lähinnä markkinoinnillinen. Muuttamalla autot kevythybrideiksi, autovalmistaja voi markkinoida myyvänsä pelkästään sähköisiä ajoneuvoja. Kevythybridillä saadaan hiukan lisätehoa, mutta taloudellinen säästö on vähäinen. Pitkän matkan ajossa polttoainesäästö on merkityksetön, mutta kaupunkiajossa se voi tuoda vähäisen hyödyn. Suurin hyöty on pieni lisäteho täydellä kaasun kiihdytyksissä.

## 5.3 Yhteenveto

Hybridin ja täyssähköön välillä valitessa tulee huomioida myös polttomoottorin poiston aiheuttamat lisäkulut. Etenkin lämmitys kuluttaa paljon energiaa, mikä heikentää merkittävästi akuston kantamaa. Ohjaustehostimen vaihdossa on huomioitava myös lainsäädäntö, sillä ohjauslaitteisiin liittyvistä muutoksista on esitettävä selvitys omavalmisteisten kiinnikkeiden lujuudesta ja hitsauksesta.

Sähkökonversiona näkisin hybridivaihtoehdoista kannattavimpina ladattavan hybridin ja varauksin kevythybridin. Täyssähköisistä molemmat vaihtoehdot ovat autosta riippuen toteutuskelpoiset.

Kevythybridijärjestelmän voi lisätä lähes mihin tahansa autoon, sillä käytännössä kyseessä on isompi laturi, käynnistysmoottori ja akku. Ladattava hybridi on mielestäni sopivin etuvetoiseen

autoon, joka muunnetaan nelivetoiseksi korvaamalla alkuperäinen taka-akseli esimerkiksi Teslan taka-akselilla.

Täyssähkövaihtoehdoista polttomoottorin korvaaminen sähkömoottorilla on todennäköisesti edullisempi vaihtoehto, etenkin jos autosta halutaan nelivetoinen. Tässä vaihtoehdossa kuitenkin tulee huomioida alkuperäisen voimansiirron kestävyys sekä sen aiheuttamat voimansiirtohäviöt. Todennäköisesti helpoin ja luotettavin vaihtoehto on valmisakselien käyttäminen, joille löytyy ohjeistusta internetistä valmiiksi. Tässä vaihtoehdossa myös moottoritilaan jää todennäköisesti enemmän tilaa, johon voidaan sijoittaa akkukennoja.

## 6 Auton valinta

Tässä luvussa teen yhteenvedon, mitä tulee huomioida sähköautokonversioon sopivan auton valinnassa.

Jos autosta halutaan korkeatehoinen, tulee projektiin valita riittävän tehokas auto, jotta teho ei nouse liikaa alkuperäiseen nähden. Jos autoksi valitaan esimerkiksi 90-luvun Toyota Corolla E100 (125 kW, 1160 kg eli paino–teho-suhde 9,28 kg/kW), valmiin konversion tehoksi saa tulla korkeintaan 232 kW (1160 kg / 5 kg/kW). [26.]



Kuva 10. Toyota Corolla E100, Jirapat Chroenkeskijin kuvaamana [26.]

On myös huomioitava, onko auto manuaali- vai automaattivaihteinen. Jos autosta tehdään täys-sähkö, tällä ei ole juurikaan merkitystä, sillä silloin on yleensä järkevintä ohittaa alkuperäinen

vaihdelaatikko ja kytkin. Hybridin tapauksessa alkuperäinen voimansiirto kuitenkin jää paikoilleen. Jos sähkömoottori halutaan kytkeä rinnakkain polttomoottorin kanssa pyörittämään samoja renkaita, kannattaa valita ahioksi automaattivaihteinen auto. Manuaalivaihteisen auton kytkin hajoaa todennäköisemmin sähkömoottorin lisätehon myötä, kuin automaattivaihteisto. Kuitenkin jos hybridissä halutaan lisätä sähkömoottori eri akselille kuin polttomoottori, niin asialla ei ole sen suhteen merkitystä. Jos autoa halutaan ajaa pelkän sähkövoimin, on se helpompi toteuttaa manuaalivaihteisessa autossa, sillä automaattivaihteiston voitelu toimii usein erillisellä öljypumpulla, joka pyörii polttomoottorin voimalla. Tämä voidaan tarvittaessa toki ohittaa vaihtamalla pumppu sähkötoimiseen.

Autovalmistajat yleensä valitsevat hybrideihin automaattivaihteiston, mutta esimerkiksi Ford on myynyt Ford Pumaa kevythybridinä manuaalivaihteiston kanssa [23].

Kuitenkin tärkeimpänä on huomioitava käytettävän auton paino. Kuten lainsäädäntöä käsittelevässä osiossa kerrotaan, auton omapaino +75 kg per matkustaja, ei saa ylittää auton kokonaismassaa. Tässä kappaleessa esimerkkinä käytetyn E100 Toyota Corollan enimmäispaino on autodata.netin mukaan 1555 kiloa [6]. Auton alkuperäisen painon ollessa 1005 kiloa eli neljän matkustajan kanssa painoksi lasketaan 1305 kiloa, omapaino saa kasvaa alkuperäiseen verrattuna vain 250 kiloa. Vaihdelaatikon kanssa Toyotan 4A-GZE moottori painaa n. 220 kiloa, jolloin uusi sähkömoottori ja akusto saavat painaa 470 kiloa. Pelkästään Nissan Leafin 40 kilowattitunnin akku painaa noin 260 kiloa [32]. Tämän lisäksi autoon pitäisi saada painorajan puitteissa vielä mahtumaan sähkömoottori sekä uudet sähkötoimiset lisälaitteet, kuten jarrutehostin, ohjaustehostin ja ilmastoinnin kompressori.

On myös huomioitava akuston viemä tila. Useissa erityisesti varhaisemmissa tehdasvalmisteisissa hybridi- ja sähköautoissa akusto pienentää tavaratilaa ja takajalkatilaa merkittävästi. Esimerkiksi 2015 vuosimallin Volvo V60 hybridin tavaratila on 125 litraa dieselversiota pienempi (305 vs. 430 litraa), sen korkeamman peräkontin pohjan vuoksi [26]. Myös useassa sähköiseksi suunnitellussa autossa takajalkatilan lattia on epätavallisen korkealla, jotta lattian alle jää riittävästi tilaa akustoa varten.

## 7 Konversioprojekti

Tässä luvussa suunnittelen sähkökonversion vuosimallin 1991 Nissan Terranoa. Kyseessä on erillisrunkoinen maasturi, jolle on tehty kattavia ruostekorjauksia. Autoon on tehty myös 30 millimetrin korin korotus, jonka luoman lisätilan motivoimana aloin pohtimaan tämän opinnäytetyön aiheena olevaa polttomoottoriauton konvertointia sähköiseksi. Auton omamassa on 1930 kiloa ja kokonaismassa 2300 kiloa.



*Kuva 11. Kuva suunnitelman kohteena olevasta autosta 3.8.2023*

### 7.1 Toteutustavan valinta

Valitun auton toteutustavaksi valitsin ladattavan hybridin. Tarkoituksena oli suunnitella hiukan poikkeava rakenne ja irrottaa jakolaatikon ja taka-akselin välinen kardaani ja laittaa tilalle sähkö-

moottori. Tällöin polttomoottorin teho menee kokonaan etuakselille ja taka-akselille tulee pelkästään sähkömoottorin teho. Valitsin tämän vaihtoehdon toteutuksen helppouden vuoksi, sillä silloin alkuperäisiin lisälaitteisiin ei tarvitse koskea. Myös auton lämmitys toimii dieselmoottorilla kuten ennenkin. Jos talvipakkasilla tyhjäkäynnillä ei auton lämmitysteho riitä, voidaan tyhjäkäyntiä nostaa, sillä ohjaamossa on tyhjäkäynnin säätövipu.

Tässä huolena on etuakselin tehonkesto, sillä sitä ei ole suunniteltu kestämään polttomoottorin kaikkea tehoa, sillä autossa on vaihtoehtona ajaa joko taka- tai nelivedolla. Totesin kuitenkin alkuperäisen polttomoottorin olevan niin matalatehoinen, ettei ongelmia todennäköisesti pitäisi tulla. Onhan alkuperäisessä moottorissa kuitenkin vain 100 hevosvoimaa.

Haasteena tässä vaihtoehdossa on akuston sijoittaminen. Jos autosta olisi poistettu polttomoottori, olisi akusto voitu sijoittaa polttoainesäiliön tilalle sekä tarvittaessa myös moottoritilaan. Nyt kun nämä jäävät alkuperäiseen muotoonsa, pitää akustolle keksiä muu sijainti. Onneksi kyseinen auto on käyttövoimaveron takia muutettu kaksipaikkaiseksi, joten akusto voidaan sijoitella alkuperäisen akuston tilalle. Siihen sijoitettuna myös painopiste on varsin matalalla sekä lähellä auton keskipistettä.

Lisäksi on huomioitava suurin sallittu kokonaismassa. Alkuperäiskunnossa auto on painanut 1930 kiloa. Auton suurimman kokonaismassan ollessa 2300 kiloa, saa yhden matkustajan kanssa siihen lisätä korkeintaan 295 kiloa.

## 7.2 Komponenttien valinnat hintoineen

- Seuraavat komponentit Pistokehybridi.fi:stä
- Käytetty Nissan Leafin 40 kilowattitunnin akku, 6200 €
- Akkulaturiksi Ilmajäähdytteinen 3,3 kilowatin laturi, 1103,60 € (kuva 12)
- Balansseriksi käytetty Nissan Leafin 96S Li-ion Cell BMS, 607,60 € (kuva 13)
- TYPE 2 -latausportti, 95 € (kuva 14)

Yhteensä hintaa Pistokehynridi.fi osille 8006,20 € [33.]



Kuva 12. 3,3 kilowatin laturi [33.]



Kuva 13. Nissan Leafin BMS [34.]



Kuva 14. TYPE 2 -latausportti [10.]

Moottori ja moottorinohjauspaketiksi esimerkiksi EV European HyPer 9 SRIPM Integrated System (kuva 15), hintaa tälle toimituskuluineen ja veroineen 7405,20 €. Moottorilla on mittaa 35,5 senttimetriä ja sen halkaisija on 22 senttimetriä. Painoa sillä on 35,5 kiloa. [31.]



Kuva 15. Hyper9 -moottori, kontrolleri ja johtosarja [31.]

Kokonaishinta sähkökomponenteille 15 411,40 €

### 7.3 Moottori

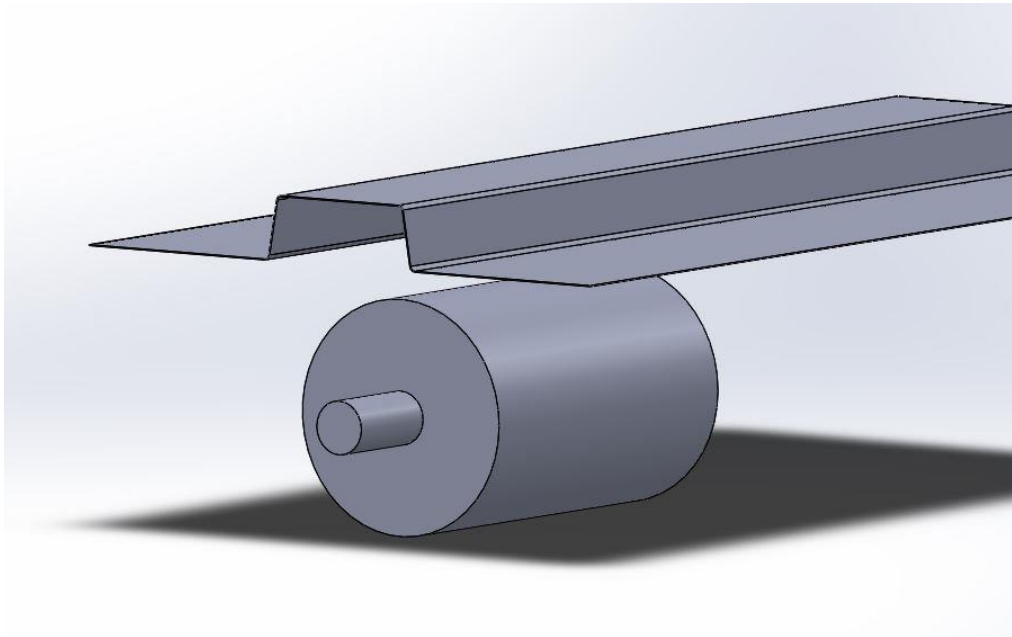
Auton alkuperäinen kardaani on noin 100 senttimetriä pitkä (kuva 16). Uuden moottorin ollessa 35,5 senttimetriä pitkä, sille riittää noin 60 senttinen kardaani. Sopiva kardaani joko etsitään toisesta automallista tai teetetään osaavassa koneistamossa. Auton rungon jakolaatikon takapuolella olevaa poikittaispalkkia muokataan, jotta sähkömoottorille saadaan tilaa ja sille saadaan kiinnityspaikat.



Kuva 16. Kuvassa samanmallisen auton runko. Kuvankaappaus YouTubesta. [35, 7.18–7.21.]

Kardaenin etäisyys keskikohdasta lattiaan, on vaihdelaatikon päässä 15 senttimetriä ja puolivälissä 22 senttimetriä. Kardaenin syvennys on 16 senttimetriä leveä ja 6 senttimetriä syvä. Koska kardaani on uuden moottorin kanssa entistä lyhyempi, sen vaihdelaatikon pään tulee olla alempana kuin ennen, jotta kardaenin kulma pysyy samana.

50 senttimetrin matkalla kardaani laskee 7 senttimetriä. Jos moottori asennetaan 40 senttimetriä lähemmäs tasauspyörästä kuin ennen, sen keskikohdan tulee olla noin 21 senttimetrin päässä lattiasta. (kuva 17)



*Kuva 17. Mallinnus moottorista, verrattuna auton lattiaan, kun kardaanin kulma pidetään nykyisellään*

Moottoria ohjataan moottorin mukana tulevalla kontrollerilla. Kontrolleriin kytketään kaasun ja jarrupolkimelle tulevat potentiometrit. Kontrolleriin säädetään sopivat raja-arvot, joiden mukaisesti potentiometrit ohjaavat moottorin kiihdytystä ja moottorijarrutusta. Moottorijarrun vahvuudelle voidaan lisätä erillinen säätökatkaisija, josta moottorijarrutus voidaan määrittellä sopivalle tasolle ajo-olosuhteisiin nähden. [8.]

Valitulle sähkömoottorille on luvattu tehoksi 120 hevosvoimaa eli 88 kilowattia [8]. Yhdistettynä alkuperäisen dieselmoottorin 100 hevosvoimaan eli 74 kilowattiin, kokonaistehoksi tulisi 220 hevosvoimaa eli 162 kilowattia. Kokonaismassaltaan 2300 kiloa painavana auton, suurin sallittu tehomäärä on 257 hevosvoimaa eli 192 kilowattia.

#### 7.4 Akkupaketti

Akkupakettina suunnittelin käytettäväksi käytettyä Nissan Leafin akkupakettia. Leafin akkupaketteja on helposti saatavilla sekä ne on suunniteltu käytettäväksi ilman nestejäähdytystä, mikä vähentää tarvittavia komponentteja.

Nissan Leafin 40 kilowattitunnin akussa on 48 moduulia. Moduulin koko on 222 mm \* 300 mm \* 34 mm. Akkumoduulit puretaan alkuperäisestä kotelosta ja niille suunnitellaan uusi, paremmin käytössä olevan tilan hyödyntävä kotelo. Yksittäinen akkumoduuli painaa 4,35 kiloa, eli akkupaketin moduulit painavat yhteensä 208 kiloa. Alkuperäisen kuoren ja elektroniikan kanssa akku painaa 260 kiloa. [32.] (kuva 18)

Painorajan kanssa tulee olemaan erittäin tiukkaa. Alkuperäisessä muodossaan akku on painanut 260 kiloa ja valittu sähkömoottori painaa 35,5 kiloa. Omamassan ollessa 1930 kiloa, jää autolle kantavuutta vain 74,5 kiloa, jolloin tulisi luopua viimeisestäkkin matkustajan penkistä.



*Kuva 18. Nissan Leafin akkupaketti [33.]*

Tila, johon akkupaketin kotelo suunnitellaan, on mitoitettu autoon sopivalle vararengalle (kuva 19). Autoon suunniteltujen renkaiden koko on 33x10.5r15. Rengas on siis kooltaan 33 tuumaa halkaisijaltaan ja 10,5 tuumaa leveydeltään. Senttimetreinä rengas on silloin halkaisijaltaan hiukan alle 84 cm ja noin 26,5 cm leveydeltään. Korkeussuunnassa tilaa on peräkontin lattiaan nähden 10,5 senttimetriä, mutta nykyiselläänkin vararengas tulee 16 senttimetriä peräkontin lattian

yläpuolelle, joten siitä on mahdollista joustaa. Lisäksi peräkonttiin tulee 25 millimetrin pehmuste sekä kumimatto, jotka korottavat peräkontin pohjaa nykyisestä.

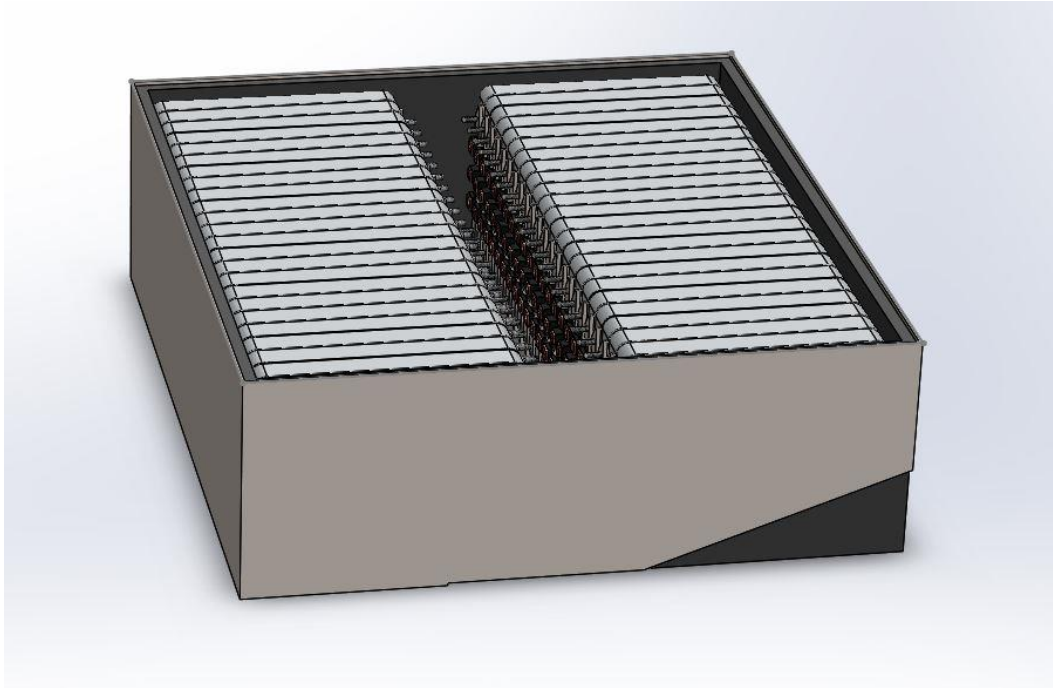


*Kuva 19. Vararenkaan paikkaa, johon akkupaketti sijoitettaisiin 22.11.2024*

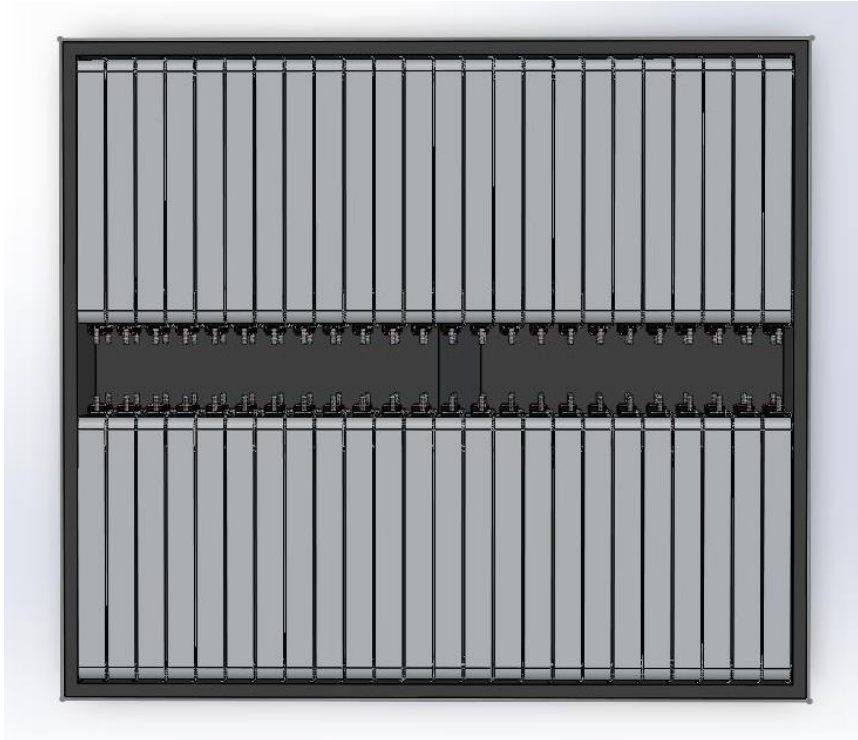
Edellä mainitut seikat huomioiden akkumoduulit mahtuvat rinnakkain kahteen riviin. Suunniteltu akkukotelo hitsataan kiinteäksi osaksi auton koria ja akkupaketti kasataan suoraan autoon. Näin tehden, akun kasaus on huomattavasti vaikeampaa tilan ahtauden vuoksi, mutta vältytään yli 200 kiloisen akkupaketin siirtelyltä sekä säästetään akkupaketin painossa, sillä akkupaketin sijoituspaikassa on jo nykyisellään riittävän vahva pohja.

Akkukotelo on suunniteltu 3 millimetrin paksusta teräksestä ja ylimääräinen tila sivuilla on täytetty muovilevyllä. Teräsosat hitsataan olemassa olevaan teräsrakenteeseen, minkä jälkeen lisätään muovilevyt ja akkukennot (kuvat 20 ja 21). Kuvista puuttuu vielä teräslevy kanneksi sekä

paksu muovilevy, joka täyttää akun ja kannen välisen tilan. Akkujen elektroniikka sijoitetaan akkupaketin ulkopuolelle, entiseen takapenkin jalkatilaan. Akuston johdot johdetaan ulos pohjassa olevan reiän kautta, joka johtaa entiseen jalkatilaan.



*Kuva 20. Solidworks-mallinnus akkupaketista, akkukennojen malli GrabCadistä.*



*Kuva 21. Toinen kuva samasta mallinnuksesta*

## 7.5 Projektin yhteenveto

Pinnallisella tasolla projektia tutkiessa, on vaikea saada projektista taloudellisesti kannattava. Pelkästään sähkökomponenteille kertyy hintaa yli 15 000 euroa ja aihion ollessa alle 1000 euron arvoinen, ei projektia tällaisenaan kannata toteuttaa.

Auton omamassa on 1930 kiloa. Siihen kun lisätään akuston paino 260 kiloa, moottorin paino 35,5 kiloa ja matkustajan paino 75 kiloa

## 8 Yhteenveto

Lopuksi vielä yhteenvetoa sähkökonversion hyödyistä, haitoista sekä kannattavuudesta.

### 8.1 Taloudelliset hyödyt ja haitat

Sähköautokonversiolla pyritään saavuttamaan taloudellisia hyötyjä. Vastaavasti kuin talon lämmityksen vaihdossa öljystä lämpöpumppuun, tällä pyritään suuren kertainvestoinnin avulla saamaan nykyisestä autosta edullisemmän käyttää, heikentämättä sen käyttöominaisuuksia merkittävästi.

Sähkökonversio kuitenkin edellyttää suurimmassa osassa tapauksista suuria hankintakuluja. Useimmiten auto, johon tämänkaltaista mittavaa muutostyötä kannattaisi harkita, ei ole riittävän arvokas, jotta se olisi taloudellisesti kannattava. Lisäksi myös uudempien autojen vaatima kallis EMC-mittaus heikentää kannattavuutta merkittävästi.

### 8.2 Ekologiset hyödyt ja haitat

Sähkökonversio voi tuoda hyötyjä myös ympäristölle, sillä sähköautokonversioihin käytetään usein käytettyjä sähköauton osia, jolloin vanhojen komponenttien elinikää saadaan pidennettyä, alkuperäisen auton käyttöiän päätyttyä. Samalla myös saadaan vähennettyä vanhan, todennäköisesti runsaasti polttoainetta kuluttavan polttomoottoriauton kulutusta.

### 8.3 Projektiin soveltuvan auton valinta

Projekti voisi olla kannattava, jos muunnettava auto olisi arvokkaampi, mutta kuitenkin riittävän vanha, jottei uudempien automallien mukana tuomat rajoitteet vaikeuta projektia liikaa. Vuosimalliksi kannattaa valita mieluiten 90-luvun alkupuolinen tai vanhempi.

Projektiin soveltuva auto voisi olla esimerkiksi Toyota Land Cruiser J80. Valmistusaika kyseiselle mallille on 1989–1998 ja hyväkuntoisen yksilön arvo on edelleen helposti yli 10 000 euroa. Yksilön valinnassa on kuitenkin huomioitava EMC-mittauksiin vaadittava ikäraja, jolloin voisi olla kannattava valita vanhemman pään auto. Kyseisen automallin 4,2 litrainen dieselmoottori kuitenkin kuluttaa polttoainetta merkittävästi, jolloin sähköistämällä voitaisi saada säästöjä. Tehtaan antama kulutuslukema autolle on 11,6 litraa sadalla kilometrillä. Auton omamassa on 2336 kiloa ja kokonaismassa 2960 kiloa. [26.]

Tällöin 20 000 km vuosittaisella ajomäärällä saadaan 1,80 €:n litraa kohden maksavalla dieselillä 4166 euron polttoainekustannukset. Jos auton konvertoidaan ladattavaksi hybridiksi, hybridijärjestelmän ahkeralla käytöllä saadaan varovaisesti arvioituna, laskettua dieselin kulutus noin 5 litraan sataa kilometriä kohden ja sähkön kulutus noin 15 kilowattituntiin sataa kilometriä kohden. Tällöin vuosittainen käyttökustannus laskee 0,15 €/kWh maksavalla sähköllä 2250 €:n. Näillä luvuilla noin 15 000 €:a maksava sähköistysprojekti maksaisi itsensä takaisin 7,8 vuodessa. Aika on edelleen pitkä, mutta pidemmän päälle kannattava.

## Lähteet

1. The History of the Electric Car. U.S. Department of Energy [Internet]. 15.09.2014 [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>
2. The CitiCar. [Internet]. [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://www.makesthatdidntmakeit.com/sebringvanguard>
3. The Electric Pacer. [Internet]. [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla <http://amcpacer.com/stories/electric-pacer.asp>
4. Ziemnowicz C. AMC EVA Pacer electric wagon at 2015 AMO meet. [Internet]. 25.07.2015 [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1978\\_AMC\\_EVA\\_Pacer\\_electric\\_wagon\\_at\\_2015\\_AMO\\_meet-1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1978_AMC_EVA_Pacer_electric_wagon_at_2015_AMO_meet-1.jpg)
5. Paine C. Who Killed The Electric Car? [dokumenttielokuva]. 2006. Saatavilla: Apple TV+
6. The Nissan Altra EV - Nissan Launching Electric Minivan. Motortrend. [Internet]. 02.12.1997 [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://www.motortrend.com/news/the-nissan-altra-ev/>
7. California's Clean Cars Program Under Attack. [Internet]. 13.02.2003 [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://www.nrdc.org/press-releases/californias-clean-cars-program-under-attack>
8. Duran Ortiz M. Toyota RAV4 EV first generation exhibited at the 2012 Washington Auto Show (District of Columbia). [Internet]. 01.02.2012 [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toyota\\_RAV4\\_EV\\_WAS\\_2012\\_0759.JPG?uselang=fi](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toyota_RAV4_EV_WAS_2012_0759.JPG?uselang=fi)
9. Friend T. Plugged in. [Internet]. 17.08.2009 [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://www.newyorker.com/magazine/2009/08/24/plugged-in>
10. Voelcker J. What's the Difference between a Parallel and a Series Hybrid, and Does It Matter to Buyers? Car and Driver. [Internet]. 08.01.2024 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla:

<https://www.caranddriver.com/features/a46275944/series-hybrid-vs-parallel-hybrid-explained/>

11. Gnepo Kla G. Fiat 131 ibrida: un'occasione mancata. [Internet]. 15.01.2020 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://ruoteclassiche.quattroruote.it/ fiat-131-ibrida-unoc-casione-mancata/>
12. Lake M. HOW IT WORKS; A Tale of 2 Engines: How Hybrid Cars Tame Emissions. The New York Times [Internet]. 08.11.2001 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.ny-times.com/2001/11/08/technology/how-it-works-a-tale-of-2-engines-how-hybrid-cars-tame-emissions.html?scp=1&sq=hybrid%20Toyota%20Prius%201997%20Honda%20In-sight%201999&st=cse>
13. Voelcker J. What Is a Plug-In Hybrid? How Does It Work? Car and Driver. [Internet]. 25.10.2023 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.caranddriver.com/featu-res/a45483659/plug-in-hybrid-car-what-it-is-how-it-works-explainer/>
14. Harrison T. Audi built a plug-in hybrid in 1989. [Internet]. 13.05.2020 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.topgear.com/car-news/electric/audi-built-plug-hybrid-1989>
15. Cole J. October 2012 Plug-In Electric Vehicle Sales Report Card. InsideEVs. [Internet]. 01.11.2012 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://insideevs.com/news/316909/octo-ber-2012-plug-in-electric-vehicle-sales-report-card/>
16. Volvo Cars adds R-Design version of V60 diesel Plug-in Hybrid. Green Car Congress. [In-ternet]. 24.04.2014 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.greencarcong-ress.com/2014/04/20140424-volvo.html>
17. Mitsubishi Outlander PHEV top seller. AID [Internet]. 17.12.2013 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <http://www.eagleaid.com/AID-Newsletter-preorder-1323i-Mitsubishi-Outlan-der-PHEV-top-seller.htm>
18. 2011 Chevrolet Volt photographed in USA. [Internet]. 05.05.2011 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2011\\_Chevrolet\\_Volt --NHTSA\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2011_Chevrolet_Volt_-_NHTSA_1.jpg)

19. Voelcker J. What's the Difference between a Parallel and a Series Hybrid, and Does It Matter to Buyers? Car and Driver. [Internet]. 08.01.2024 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.caranddriver.com/features/a46275944/series-hybrid-vs-parallel-hybrid-explained/>
20. Webster L. The Volt's Hybrid Drive System. Popular Mechanics. [Internet]. 12.10.2010 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.popularmechanics.com/cars/hybrid-electric/a6179/chevy-volt-hybrid-drive-system/>
21. Duff M. Nissan E-Power Recalls Old Fashioned Hybrid Technology. Autoweek. [Internet]. 05.04.2022 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.autoweek.com/news/a39576223/nissan-e-power-series-hybrid-technology/>
22. In the Near Future, Most Cars Will Have a Hybrid Setup. Here's How the Simplest Versions Work. Car and Driver. [Internet]. 13.09.2018 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.caranddriver.com/features/a23118375/mild-hybrid-cars-how-it-works/>
23. Koeajo: Ford Puma 1.0 EcoBoost mHEV Powershift – kaivattu automaattitäydennys. Moottori. [Internet]. 20.07.2022 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://moottori.fi/koeajo/koeajo-ford-puma-1-0-ecoboost-mhev-powershift-kaivattu-automaaattitaydennys/>
24. Yläne K. Koeajossa uudella vaihteistolla varustettu kevythybridi Volvo V60 B3 MHEV – mutta paljonko se kuluttaa? Iltasanomat. [Internet]. 16.04.2022 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://www.is.fi/autot/art-2000008730708.html>
25. Traficom in määräys "Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen". Annettu 1.3.2021. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/454001/46612>
26. Autojen teknisiä tietoja ja kuvia. Auto-Data.net. [Internet] [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://www.auto-data.net>
27. How Suspension System Works in Automobile? [Internet]. [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://mechanicalbooster.com/2017/12/suspension-system.html>

28. Laaki H. Polttomoottoriauton muuntaminen sähköautoksi. [Yliopiston erikoistyö]. Aalto University; 2018. [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: [https://acris.aalto.fi/ws/portal-files/portal/26119239/Polttomoottoriauton\\_muuntaminen\\_s\\_hk\\_autoksi.pdf](https://acris.aalto.fi/ws/portal-files/portal/26119239/Polttomoottoriauton_muuntaminen_s_hk_autoksi.pdf)
29. Liikenneministeriön asetus ajoneuvojen rakenteesta ja varusteista annetun asetuksen muuttamisesta. Annettu 11.07.1997. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970671>
30. Meng S. What Does EV Mean in Hybrid Cars? [Internet]. 25.04.2024 [viitattu 10.12.2024]. Saatavilla: <https://store.autelenergy.com/blogs/blog/what-does-ev-mean-in-hybrid-cars>
31. Sähkökonversio-osien myyjä. EV Europe [Internet] [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://eveurope.eu>
32. Sähkökonversio-osien myyjä. VIVNE [Internet]. [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://vivnews.com>
33. Sähkökonversio-osien myyjä. Pistokeyhybridi. [Internet] [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://pistokeyhybridi.fi>
34. [miko81]. Hi guys. I was looking but cant finde it. I have take apart my Nissan Leaf battery pack and inside is BMS unit that looks like this. [Foorumikommentti]. diyelectriccar.com. 02.01.2016. [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://www.diyelectric-car.com/threads/nissan-leaf-bms.167626/>
35. Pounding Rox Truck Shop. Is the WD21 Nissan Pathfinder a Drift Truck in Disguise? (2018) [video]. YouTube. 24.8.2018 [viitattu 02.12.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=QUVfBbj3v80>