

Hakaniemi Pyry
Viertola Jarmo

Rengaskitkan mittausajoneuvo

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

29.11.2018

Tekijä(t)	Pyry Hakaniemi Jarmo Viertola
Otsikko	Rengaskitkan mittausajoneuvo
Sivumäärä Aika	69 sivua + 2 liitettä 29.11.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Suunnitteluajoneuvotekniikka Sähköajoneuvotekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Pasi Oikarinen Lehtori Pasi Kovanen
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena on laatia konseptisuunnittelu rengaskitkan mittausajoneuvosta. Työssä luotiin konseptisuunnittelu täysin uudelta testiajoneuvosta tilaajalle. Testiajoneuvon vaatimuksena on, että se on täysin sähkövoimakäyttöinen ja toiselta testatavalta takarenkailta on pystyttävä mittaamaan pysty- ja pituussuuntaisia voimia, joita siihen kohdistuu. Työn tilaaja tarvitsee testiajoneuvoa auton talvirenkaiden testaamiseen ja tuotekehitykseen.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla Yhdysvalloissa Ride Solutions Inc:n jo aiemmin rakentamaan testiajoneuvoon, joka on täysin polttomoottorikäyttöinen. Lähtötietoina toimi F1805-standardi, joka on määritetty yhden yksilöllisen renkaan voimien mittaamiseen suoralla linjalla ja radalla, joka on lumi- tai jääpintainen. Energian tarvelaskelmien perusteella valittiin täyssähkökäyttöiselle voimansiirrolle toteutuskelpoinen konseptivaihtoehto. Valitun täyssähkökäytön perusteella koottiin sähköjärjestelmästä toteutuskelpoinen kokonaisuus.</p> <p>Tavoitteet saavutettiin, ja tuloksena syntyi toteutuskelpoinen konseptisuunnitelma, joka on mahdollista toteuttaa tässä opinnäytetyössä esitetyllä tavalla. Avoimeksi jäi huurteenpoisto eli lämmitysjärjestelmä, 12 V:n akku ja korkeajänniteakusto. Kyseisistä komponenteista ei saatu sitovaa tarjousta tarjouskyselyistä huolimatta tämän insinööriyön aikana.</p> <p>Testiajoneuvoa on mahdollista kehittää nykytekniikan kehityksen myötä ja lisärahoituksella.</p>	
Avainsanat	Rengas, testiajoneuvo, sähköajoneuvo

Author(s)	Pyry Hakaniemi Jarmo Viertola
Title	Tyre Friction Measurement Vehicle
Number of Pages	69 pages + 2 appendices
Date	29 November 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Pasi Oikarinen, Lecturer Pasi Kovanen, Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to make concept design from a tyre measurement vehicle. The aim of this thesis was to create a concept design for a completely new type of a test vehicle, which was commissioned outside of Metropolia organization. The requirements for the test vehicle was that it is fully electric and the other testable rear tyre must be able to measure the vertical and longitudinal forces to which it is subjected. The commissioner needs the testing vehicle for winter tyres testing and product development.</p> <p>The work was started by researching a test vehicle that was previously built by Ride Solutions Inc. which was fully powered by an internal combustion engine. Information was based on the F1805 standard, which is a standard set for measuring the forces of a single tyre on a straight line which is snow or ice-covered. On the basis of energy demand calculations, the most feasible concept option was chosen for a fully electric power transmission. Based on the full electric usage, a complete set of electrical systems were assembled.</p> <p>The goals were reached, and as a result an implementable concept was designed which is possible to be constructed as this thesis informs. Defrosting, also known as heating system, 12 V and a high voltage battery remained for settlement. A quotation was not received during the making of this thesis for the previously mentioned components; even though requests were sent.</p> <p>The test vehicle is possible to be further developed with technology improvements and additional funding.</p>	
Keywords	Tyre, testing vehicle, electric vehicle

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Projektin lähtökohdat	2
2.1	Kitkanmittausstandardi	2
2.2	Ajoneuvon perustiedot	2
3	Konseptivaihtoehdot	3
3.1	Täyssähkökäyttö 1	3
3.2	Täyssähkökäyttö 2	4
3.3	Täyssähkökäyttö 3	4
3.4	Täyssähkökäyttö 4	6
3.5	Täyssähkökäyttö 5	6
3.6	Puolisähkökäyttö 1	7
3.7	Puolisähkökäyttö 2	7
3.8	Konseptin valinta	8
4	Energian tarvelaskelmat	8
4.1	Ilmanvastus	8
4.2	Nousuvastus	9
4.3	Vierintävastus	9
4.4	Täyssähkökäyttö 1	10
4.4.1	Ajomootorin tehontarve testinopeudella	10
4.4.2	Ajomootorin vääntömomentin tarve testinopeudella	11
4.4.3	Pyörivien osien hitausmomentit	11
4.4.4	Renkaiden hitausmomentti	11
4.4.5	Vanteiden hitausmomentti	12
4.4.6	Jarrurumpujen hitausmomentti	12
4.4.7	Jarrulevyjen hitausmomentti	13
4.4.8	Vetoakseleiden hitausmomentti	13
4.4.9	Hitausmomentit yhteensä	14
4.4.10	Pyörivien osien hitauskerroin	14
4.4.11	Kiihdytysvastus	15
4.4.12	Kiihdytyksen tehontarve ajomootorilla	15

4.4.13	Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihdytettäessä	15
4.4.14	Testirenkaan kehittämä maksimikitkavoima	16
4.4.15	Testimoottorin vääntömomentin tarve	16
4.4.16	Testimoottorin tehontarve	17
4.4.17	Ajomoottorin energiankulutus vuorokaudessa	17
4.4.18	Kiihdytysenergia ajomoottorilla	18
4.4.19	Ajomoottorin kokonaisenergian tarvelaskelma	18
4.4.20	Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa	19
4.4.21	Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa	19
4.4.22	Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 1:n energian tarvelaskelmista	19
4.5	Täyssähkökäyttö 2	20
4.5.1	Ajomoottorin vääntömomentin tarve testinopeudella	20
4.5.2	Ajomoottorin tehontarve testinopeudella	21
4.5.3	Ajomoottorin teho ja vääntömomentti vetopyörästä	21
4.5.4	Tasauspyörästäjen hitausmomentti	21
4.5.5	Pienien vetopyörien hitausmomentti	22
4.5.6	Takakardaanin hitausmomentti	22
4.5.7	Etukardaanin hitausmomentti	23
4.5.8	Pyöriäjen osien hitauskerroin	23
4.5.9	Kiihdytysvastus kiihtyvyydellä 1 ms ²	24
4.5.10	Kiihdytysvastus kiihtyvyydellä 0,5 ms ²	24
4.5.11	Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihtyvyydellä 1 ms ²	24
4.5.12	Ajomoottorin tehon tarve kiihtyvyydellä 1 ms ²	25
4.5.13	Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihtyvyydellä 0,5 ms ²	25
4.5.14	Ajomoottorin tehon tarve kiihtyvyydellä 0,5 ms ²	25
4.5.15	Testimoottorin vääntömomentin tarve perän välityksellä	26
4.5.16	Testimoottorin tehon tarve perän välityksellä	26
4.5.17	Ajomoottorin energian kulutus vuorokaudessa	27
4.5.18	Kiihdytysenergia ajomoottorilla	27
4.5.19	Ajomoottorin kokonaisenergian tarvelaskelma	27
4.5.20	Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa	27
4.5.21	Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa	28
4.5.22	Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 2 energian tarvelaskelmista	28
4.6	Täyssähkökäyttö 3	28
4.6.1	Testimoottorin vääntömomentti	29
4.6.2	Testimoottorin teho	29
4.6.3	Ajomoottorin kokonaisenergian tarvelaskelma	30
4.6.4	Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa	30
4.6.5	Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa	30

4.6.6	Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 3. energian tarvelaskelmista	30
4.7	Täyssähkökäyttö 4	31
4.7.1	Ajomoottorin vääntömomentin tarve testinopeudella	31
4.7.2	Ajomoottorin tehontarve testinopeudella	31
4.7.3	Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihtyvyydellä 1 ms ²	32
4.7.4	Tehon tarve kiihtyvyydellä 1 ms ²	32
4.7.5	Ajomoottorin energian kulutus vuorokaudessa	32
4.7.6	Kiihdytysenergia ajomoottorilla	33
4.7.7	Ajomoottorin kokonaisenergian tarvelaskelma	33
4.7.8	Testimoottorin energian kulutus vuorokaudessa	33
4.7.9	Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa	33
4.7.10	Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 4 energian tarvelaskelmista	34
4.8	Täyssähkökäyttö 5	34
4.8.1	Testimoottorin vääntömomentin tarve	34
4.8.2	Testimoottorin tehontarve	34
4.8.3	Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa	35
4.8.4	Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 5 energian tarvelaskelmista	35
4.9	Yhteenveto täyssähkökäytöistä	35
5	Ajoneuvon mittaus ja 3D-skannaus	36
5.1	Ajoneuvon mittaus	36
5.2	Ajoneuvon 3D-skannaus	37
6	Mekaniikkasuunnittelu	38
6.1	Voimansiirron toteutustavat	38
6.2	Voima-anturointi	39
6.2.1	Voima-anturin sijoitustapa 1	39
6.2.2	Voima-anturin sijoitustapa 2	40
6.2.3	Voima-anturin sijoitus tapa 3	41
6.3	Ilmajousitus	42
6.4	Sähköhydrauliset tunkit	44
7	Sähkösuunnittelu	45
7.1	Sähköjärjestelmän konsepti	45
7.2	Suunnittelu	46
7.3	Kokoonpano	46
8	Sähköjärjestelmä	47

8.1	12 V:n järjestelmä	47
8.1.1	12 V:n järjestelmän tehontarpeen määrittely	48
8.2	400 V:n järjestelmä	48
8.3	Ohjausjärjestelmän elektroniikka	49
8.4	Komponentit	49
8.4.1	Korkeajänniteakuston laturi	50
8.4.2	DC/DC-muunnin	52
8.4.3	Invertterit	54
8.4.4	Ajomoottori ja testimoottori	56
8.4.5	Lämmitysjärjestelmän vaihtoehdot	58
8.4.6	12 V:n järjestelmän akku	59
8.5	Pakkaussuunnittelu	59
8.5.1	Testimoottori ja ajomoottori	60
8.5.2	Korkeajännitelaturi, DC/DC-muunnin ja invertterit	60
9	Akusto	61
9.1	Akkukemiat	61
9.2	Kapasiteetin määrittely	63
9.3	Energiatasapainon määrittely	63
9.3.1	Pieni akku	63
9.3.2	Suuri akku	64
10	Lataus	64
10.1	Lataustavat	65
10.2	Latausstandardit	65
11	Yhteenveto ja päätelmät	66
	Lähteet	68
	Liitteet	
	Liite 1. 12 V Järjestelmän kulutus taulukko	
	Liite 2. Osaluettelo / BOM	

Lyhenteet

NMC	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide battery. Litiumnikkelimanganeesikobalttioksideakku.
LFP	Lithium Iron Phosphate battery. Litiumrautafosfaattiakku
LTO	Lithium Titanate battery. Litiumtitanaattiakku.
LiPo	Lithium Polymer Battery. Litiumpolymeeriakku.

1 Johdanto

Metropolia Ammattikorkeakoulun ja insinööriopiskelijoiden on tarkoituksena laatia yhteistyössä tilaajan kanssa konseptisuunnittelu ja mahdollisesti rakentaa talvirenkaiden testi-käyttöön soveltuva kitkanmittausajoneuvo. Ajoneuvosta olisi tarkoitus rakentaa täysin sähkövoimakäyttöinen. Ajoneuvo toteutetaan F1805-testausstandardin mukaan, joka on määritetty yhden yksilöllisen renkaan voimien mittaamiseen suoralla linjalla ja se on lumi- tai jääpintainen.

Insinööriyössä laaditaan konseptisuunnittelu rengaskitkan mittausajoneuvosta. Tavoitteena on rakentaa täysin sähkövoimakäyttöinen ajoneuvo talvirenkaiden testaukseen lumisilla ja jäisillä tienpinnoilla. Ajoneuvo rakennetaan Toyota Hilux 4wd -lava-autosta. Auto toteutetaan täysin valmiiksi määritellyn testaus standardin vaatimusten mukaan ja ne täyttäväksi. Ajoneuvon on tarkoitus helpottaa tarkempien tuloksien saatavuutta renkaaseen kohdistuvista pitkittäis- ja pystysuuntaisista voimista (N). Näiden perusteella tuloksia pystytään analysoimaan tarkemmin ja vertailemaan eri käyttökohteisiin.

Tämän insinööriyön aiheena on tehdä selvitystyö polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon muuttamisesta täysin sähkökäyttöiseksi rengaskitkan mittausajoneuvoksi. Tarkoituksena on tehdä valmis konseptisuunnitelma ajoneuvon rakenteen toteutuksesta ja laskea kustannusarvio ajoneuvon muutostöistä.

2 Projektin lähtökohdat

2.1 Kitkanmittausstandardi

Projektin lähtökohtana on Yhdysvaltalainen ASTM Internationalin määrittämä F1805 – 16 -standardi. Testiajoneuvolla ajetaan tasaisella jääpolanne testiradalla tasaista testi-nopeutta 8 km/h ja yhdellä testattavalla pyörällä pitää pystyä saamaan aikaiseksi 300 %:n luisto. Testattavalta pyörältä mitataan siihen kohdistuvia pitkittäis- ja pystysuuntaisia voimia. (1)

2.2 Ajoneuvon perustiedot

Tässä projektissa valittiin tutkittavaksi rengaskitkan mittausajoneuvoaihioksi Toyota Hilux 4wd -mallisarjan 2005–2015 ajoneuvo (kuva 1). Tarkoituksena on muuttaa poltto-moottorikäyttöinen ajoneuvo sähkökäyttöiseksi rengaskitkan mittausajoneuvoksi.



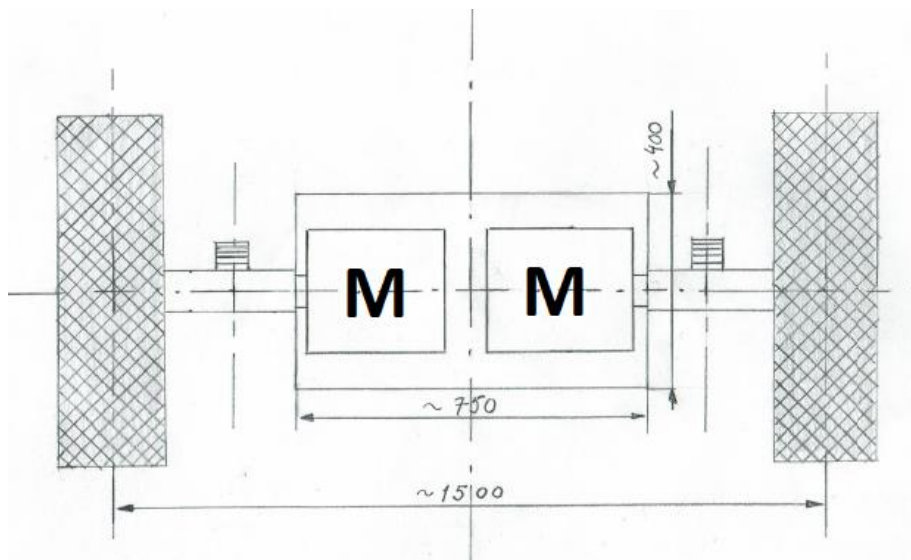
Kuva 1. Toyota Hilux 4wd -lava-auto (2).

3 Konseptivaihtoehdot

Tässä luvussa esitellään erilaisia konseptivaihtoehtoja. Muunnettaessa valmis polttomoottorikäyttöinen lava-auto renkaiden ominaisuuksien mittausajoneuvoksi on toteutusvaihtoehtoja voimansiirron järjestämiseksi useita. Täyssähkökäyttöiseksi muutettaessa ajoneuvosta poistetaan polttomoottori, jolloin ajoneuvoa on helppo käyttää jopa sisätiloissa ja se on täten myös ympäristöystävällinen. Jos täyssähkökäyttöisyys osoittautuu mahdottomaksi toteuttaa, niin mietitään, miten polttomoottoria voitaisiin hyödyntää voimansiirtoratkaisuissa. Koska lähtökohdanna on nelivetoinen ajoneuvo, niin etu- ja taka-akselin voimansiirto olisi mahdollista eriyttää sähkölle ja polttomoottorille. Seuraavaksi paneudutaan tarkemmin erilaisten voimansiirtoratkaisuiden toteutuksiin ja ominaisuuksiin.

3.1 Täyssähkökäyttö 1

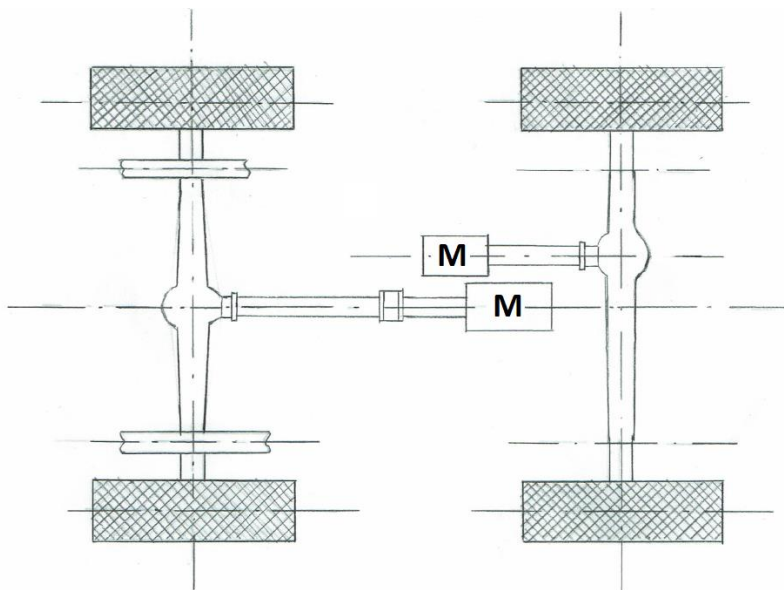
Ajoneuvosta poistetaan moottori, vaihteisto jakovaihteistoinen, polttoainesäiliö ja lava. Taka-akselia muutetaan siten, että vetopyörästä poistetaan kokonaisuudessaan, sekä takakardaani poistetaan. Muutettuun taka-akseliin asennetaan kaksi sähkömoottoria, jotka käyttävät muokattuja vetoakseleita suoraan niiden päistä. Toisella sähkömoottorilla saadaan tasainen ajonopeus ja toisella sähkömoottorilla pyritetään mittavaa rengasta testin aikana (kuva 2).



Kuva 2. Muutetun taka-akseliston rakenneperiaate.

3.2 Täyssähkökäyttö 2

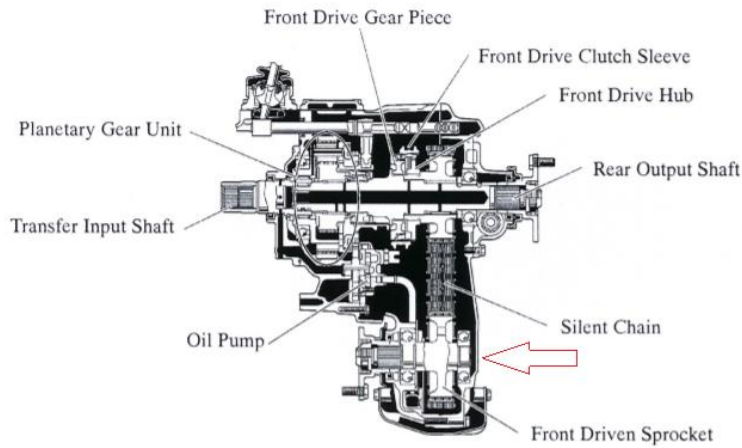
Ajoneuvosta poistetaan polttomoottori, vaihteisto jakovaihteistoinen, polttoainesäiliö ja lava. Etuakselistoa käytetään tasaisen 8 km/h -testinopeuden aikaansaamiseksi. Etuve- don sähkömoottori liitetään etukardaaniakselin laippaan poistetun jakovaihteiston koh- dalta. Taka-akselistoa käytetään renkaan kitkan mittaukseen, pyörän luistattamiseen. Taka-akseliston sähkömoottori liitetään takakardaaniakselin päähän poistetun vaihteis- ton paikalle (kuva 3). Sähkömoottorilla käytetään testattavaa pyörää perän välityksellä. Taka-akselin tasauspyörästä muutetaan siten, että sähkömoottori voi käyttää vain tes- tattavaa pyörää toisen pyörän pyöriessä vapaasti.



Kuva 3. Suorasähkökäyttö vetopyörästä välityksellä.

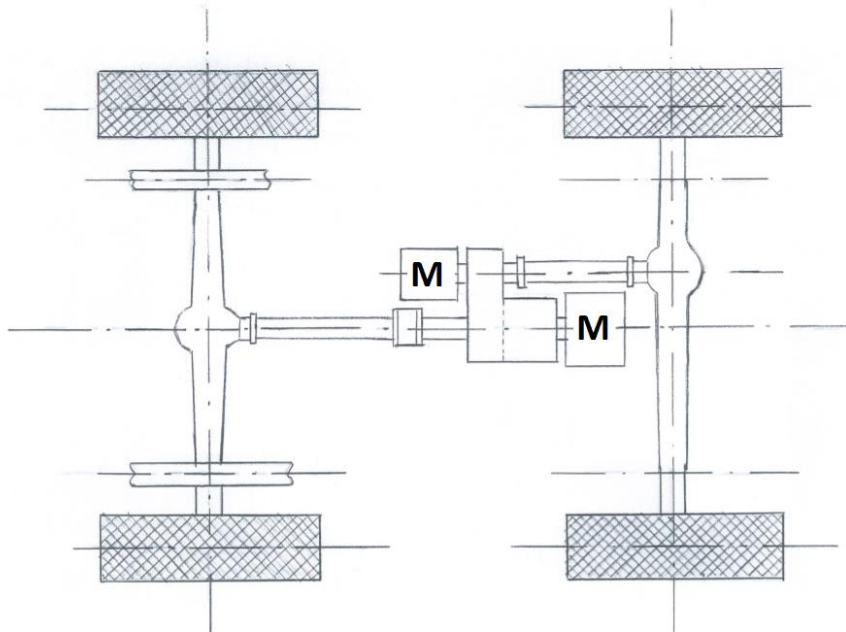
3.3 Täyssähkökäyttö 3

Ajoneuvosta poistetaan polttomoottori, polttoainesäiliö ja lava. Etuakselistoa käytetään tasaisen 8 km/h -testinopeuden aikaansaamiseksi. Jakovaihteistosta poistetaan etuve- don voimansiirtoketju. Jakovaihteistoon rakennetaan etuve- don käyttöakseli siten, että akseli tulee jakovaihteiston lävitse etukardaaniin käyttölinjaan. Sähkömoottori asenne- taan jakovaihteiston taakse tuotuun uuteen käyttöakselin liitántään. Uuden käyttöakselin läpiviennille täytyy rakentaa öljytiivistys jakovaihteiston taakse, koska takakansi läviste- tään akselin asennuksessa (kuva 4).



Kuva 4. Jakovaihteiston uuden käyttöakselin läpiviennin kohta (2).

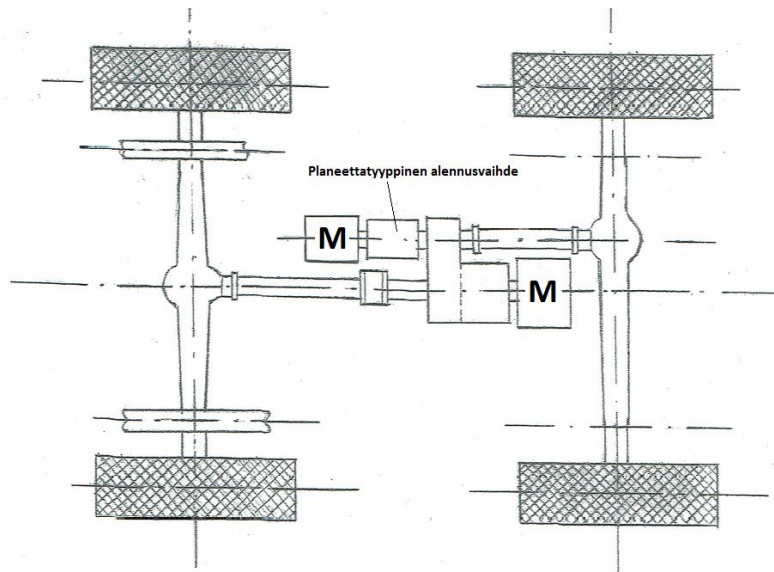
Taka-akselistoa käytetään renkaan kitkan mittaukseen, pyörän luistattamiseen. Poistetun polttomoottorin tilalle asennetaan sähkömoottori, joka liitetään vaihteiston kytkinakseliin (kuva 5). Vaihteiston välityssuhteilla voidaan kasvattaa moottorin vääntömomenttia testattavalle pyörälle. Taka-akselin tasauspyörästä muutetaan siten, että voima välittyy vain testattavalle pyörälle toisen takapyörän pyöriessä vapaasti.



Kuva 5. Suorasähkökäyttö vaihteiston, jakovaihteiston ja vetopyörästäjen välityksellä.

3.4 Täyssähkökäyttö 4

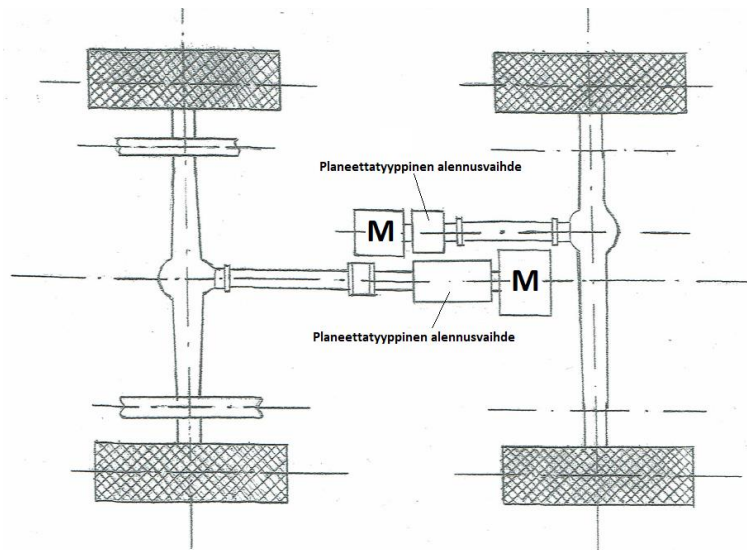
Rakenneperiaate on sama kuin edellä esitellyssä täyssähkökäyttö 3:ssa, paitsi etuvedon sähkömoottorin jälkeen on asennettu planeettatyypinen alennusvaihde (kuva 6). Tällä ratkaisulla pienennetään sähkömoottorin momentin tarvetta. Planeettatyypinen alennusvaihde on suunniteltu teollisuuden käyttöön, joten sen sovittaminen ajoneuvokäyttöön voi olla hiukan hankalaa.



Kuva 6. Suorasähkökäyttö kuten edellinen, mutta lisäksi planeettatyypinen alennusvaihde etuvedolle.

3.5 Täyssähkökäyttö 5

Ajoneuvosta poistetaan polttomoottori, vaihteisto jakovaihteistoinen, polttoainesäiliö ja lava. Etuvedon sähkömoottorille on oma planeettatyypinen alennusvaihde. Takavedolle on oma tehokkaampi sähkömoottori ja planeettatyypinen alennusvaihde (kuva 7). Nämä planeettavaihteet ovat myöskin teollisuuskäyttöön suunniteltuja, joten asentaminen vaatii paljon muutostöitä. Planeettavaihteen hyötysuhde on jopa 98 %.



Kuva 7. Suorasähkökäyttö, jossa molemmille sähkömoottoreille on planeettatyyppinen alennusvaihte.

3.6 Puolisähkökäyttö 1

Taka-akseli muutettu samalla tavalla kuin vaihtoehdossa 1, paitsi asennetaan vain mittavalle pyörälle sähkömoottorikäyttö. Yhtä sähkömoottoria varten on tässä vaihtoehdossa tilaa muunnetussa taka-akselissa enemmän. Ajoneuvoa ajetaan etuvedolla tasaisella testinopeudella polttomoottorikäyttöisesti. Hidas 8 km/h -testinopeus saadaan tarvittaessa käyttämällä nelivedon hidasta-aluetta.

3.7 Puolisähkökäyttö 2

Tasainen 8 km/h -testinopeus saadaan aikaiseksi etuvedolla polttomoottorikäyttöisesti, kuten vaihtoehdossa 4. Takakardaani poistetaan ja asennetaan sähkömoottori, joka käyttää taka-akselia vetopyörästön kautta kardaaniin laipasta. Sähkömoottorilla käytetään testattavaa pyörää perän välityksellä. Taka-akselin tasauspyörästöä muutetaan siten, että sähkömoottori voi käyttää vain testattavaa pyörää toisen pyörän pyöriessä vapaasti.

3.8 Konseptin valinta

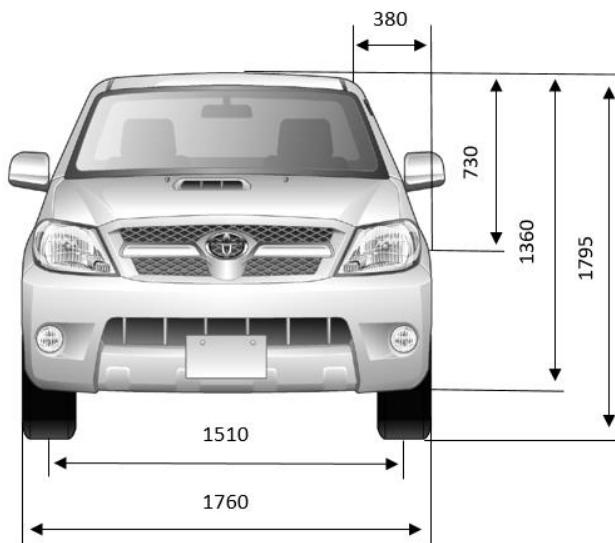
Kokouksessa 1.3.2018 päädyttiin ensimmäiseksi tutkimaan vaihtoehtoa täyssähkökäyttö 1, koska tämä vaihtoehto olisi täysin sähkökäyttöinen ja ajoneuvo olisi takavetoinen rennaskitkan mittausstandardin suosituksen mukaisesti. Energialaskelmissa tutkitaan tämän vaihtoehdon mukaisesti sähkömoottorien tehontarvetta ja vääntömomenttia.

4 Energian tarvelaskelmat

Sähkökäyttöiseksi muutettavan ajoneuvon energiantarve täytyy selvittää, jotta voidaan valita riittävä akuston kapasiteetti. Sähkömoottoreiden tehon- ja vääntömomentin tarve täytyy selvittää ajoneuvon liikettä vastustavien voimien avulla. Näitä liikettä vastustavia voimia ovat: ilmanvastus, vierintävastus, nousuvastus ja kiihdytysvastus. Kiihdytysvastuksen laskemista varten täytyy selvittää pyörivien osien hitausmomentit ja hitauskerroin.

4.1 Ilmanvastus

Ilmanvastus on riippuvainen ajoneuvon otsapinta-alasta (kuva 8), ilman tiheydestä, ajosuuntaisesta korin ilmanvastuskertoimesta, sekä ajonopeudesta. Ilmanvastus lasketaan kaavalla 1.



Kuva 8. Toyota Hilux otsapinta-alan kuvanto (2).

$$F_i = \frac{\rho}{2} * c * A * v^2 \quad (1)$$

ρ on ilman tiheys

c on korin ilmanvastuskerroin

A on ajoneuvon etukuvannon pinta-ala

v on ajoneuvon nopeus

$$F_i = \frac{1,2 \frac{kg}{m^3}}{2} * 0,5 * 2,12 m^2 * 2,22^2 \frac{m^2}{s^2}$$

$$F_i = 3,1 \frac{kgm}{s^2} = 3,1 N$$

4.2 Nousuvastus

Ajoneuvon rengastestit tehdään tasaisella alustalla, joten nousuvastusta ei tarvitse huomioida.

4.3 Vierintävastus

Ajoneuvon vierintävastus riippuu renkaan ja ajoradan muodonmuutoksista johtuvista vastuksista, sekä pyörän laakereiden kitkavastuksista. Vierintävastus määritellään usein vierintävastuskertoimen f ja ajoneuvon painovoiman perusteella.

Taulukko 1. Vierintävastuskertoimia eri tien pinnoille (4, s. 22).

Tie	f
asfaltti	0,010 - 0,018
betoni	0,008 - 0,015
lumi 50 mm	0,025
lumi 100 mm	0,037
hiekkä	0,015 - 0,300
junan pyörä-kisko -kontakti	0,001 - 0,002

Vierintävastus lasketaan kaavalla 2.

$$F_r = f * m * g \quad (2)$$

f on vierintävastuskerroin

m on ajoneuvon massa

g on maanvetovoimakiinnoisyys

$$F_r = 0,037 * 2660 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_r = 965,5 \text{ N}$$

4.4 Täyssähkökäyttö 1

4.4.1 Ajomoottorin tehontarve testinopeudella

Ajoneuvon 8 km/h testinopeus määräytyy kitkanmittaus standardin F1805 – 16 mukaan.

Ajomoottorin tehontarve lasketaan kaavalla 3.

$$P = (F_i + F_r) * v \quad (3)$$

F_i on ajoneuvon ilmanvastus

F_r on ajoneuvon vierinvastus

v on ajoneuvon nopeus

$$P = (3,1 \text{ N} + 965,5 \text{ N}) * 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 2130,9 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 2,13 \text{ kW}$$

4.4.2 Ajomoottorin vääntömomentin tarve testinopeudella

Ajomoottorin vääntömomentin tarve testinopeudella lasketaan kaavalla 4.

$$M = (F_i + F_r) * R_d \quad (4)$$

F_i on ajoneuvon ilmanvastus

F_r on ajoneuvon vierinvastus

R_d on renkaan vierinsäde

$$M = (3,1 \text{ N} + 965,5 \text{ N}) * 0,365 \text{ m}$$

$$M = 354 \text{ Nm}$$

4.4.3 Pyörivien osien hitausmomentit

Ajoneuvoa kiihdytettäessä testinopeuteen tarvitaan voimaa ajoneuvon massan kiihdyttämiseen, sekä pyörivien osien kulmanopeuden lisäämiseen. Pyörivien osien hitausvaikutuksen laskemista varten on ensin laskettava pyörivien osien hitausmomentit. Hitausmomentti laskemissa käytettyjen pyörivien osien massat on punnittu ja säteet mitattu vastaavan ajoneuvon irto-osista.

4.4.4 Renkaiden hitausmomentti

Laskelmassa on käytetty 255 / 70 R15 kokoisen renkaan tietoja. Renkaiden hitausmomentti lasketaan kaavalla 5.

$$J_r = \frac{m}{2} (R_1^2 + R_2^2) * 4 \quad (5)$$

m on renkaan massa

R_1 on renkaan ulompi säde

R_2 on renkaan sisempi säde

4 on renkaiden lukumäärä

$$J_r = \frac{14,5 \text{ kg}}{2} (0,37^2 \text{ m}^2 + 0,21^2 \text{ m}^2) * 4$$

$$J_r = 5,25 \text{ kgm}^2$$

4.4.5 Vanteiden hitausmomentti

Laskelmassa on käytetty 15":n alumiinivanteen keskimääräistä massaa. Vanteiden hitausmomentti lasketaan kaavalla 6.

$$J_v = \frac{m}{2} (R_1^2 + R_2^2) * 4 \quad (6)$$

m on vanteen massa

R_1 on vanteen ulompi säde

R_2 on vanteen sisempi säde

4 on vanteiden lukumäärä

$$J_v = \frac{11 \text{ kg}}{2} (0,21^2 \text{ m}^2 + 0,18^2 \text{ m}^2) * 4$$

$$J_v = 1,04 \text{ kgm}^2$$

4.4.6 Jarrurumpujen hitausmomentti

Jarrurumpujen hitausmomentti lasketaan kaavalla 7.

$$J_{\text{rumpu}} = \frac{m}{2} (R_1^2 + R_2^2) * 2 \quad (7)$$

m on jarrurummun massa

R_1 on jarrurummun ulompi säde

R_2 on jarrurummun sisempi säde

2 on jarrurumpujen lukumäärä

$$J_{\text{rumpu}} = \frac{9,2 \text{ kg}}{2} (0,16^2 \text{ m}^2 + 0,145^2 \text{ m}^2) * 2$$

$$J_{rumpu} = 0,43 \text{ kgm}^2$$

4.4.7 Jarrulevyjen hitausmomentti

Jarrulevyjen hitausmomentti lasketaan kaavalla 8.

$$J_{levy} = \frac{m}{2} R^2 * 2 \quad (8)$$

m on jarrulevyn massa

R on jarrulevyn säde

2 on jarrulevyjen lukumäärä

$$J_{levy} = \frac{7,7 \text{ kg}}{2} 0,15^2 \text{ m}^2 * 2$$

$$J_{levy} = 0,17 \text{ kgm}^2$$

4.4.8 Vetoakseleiden hitausmomentti

Vetoakseleiden hitausmomentti lasketaan kaavalla 9.

$$J_{vetari} = \frac{m}{2} R^2 * 4 \quad (9)$$

m on vetoakselin massa

R on vetoakselin ulompi säde

4 on vetoakseleiden lukumäärä

$$J_{vetari} = \frac{7,9 \text{ kg}}{2} 0,017^2 \text{ m}^2 * 4$$

$$J_{vetari} = 0,01 \text{ kgm}^2$$

4.4.9 Hitausmomentit yhteensä

Hitausmomentit yhteensä lasketaan kaavalla 10.

$$J = J_r + J_v + J_{rumpu} + J_{levy} + J_{vetari} \quad (10)$$

J_r on renkaiden hitausmomentti

J_v on vanteiden hitausmomentti

J_{rumpu} on jarrurumpujen hitausmomentti

J_{levy} on jarrulevyjen hitausmomentti

J_{vetari} on vetoakseleiden hitausmomentti

$$J = 5,25 \text{ kgm}^2 + 1,04 \text{ kgm}^2 + 0,43 \text{ kgm}^2 + 0,17 \text{ kgm}^2 + 0,01 \text{ kgm}^2$$

$$J = 6,90 \text{ kgm}^2$$

4.4.10 Pyörivien osien hitauskerroin

Pyörivien osien hitauskerroin ψ ilmoittaa, kuinka monikertainen auton massan tulisi olla, että se edustaisi yhtä suurta hitautta kuin auton todellinen massa ja pyörivät osat yhteensä. (3, s. 36.) Pyörivien osien hitauskerroin lasketaan kaavalla 11.

$$\psi = 1 + \frac{J}{m \cdot R_d^2} \quad (11)$$

J on hitausmomentit yhteensä

m on ajoneuvon massa

R_d on renkaan vierinsäde

$$\psi = 1 + \frac{6,90 \text{ kgm}^2}{2660 \text{ kg} \cdot 0,365^2 \text{ m}^2}$$

$$\psi = 1,02$$

4.4.11 Kiihdytysvastus

Kiihdytysvastus lasketaan kaavalla 12.

$$F_a = \psi * m * a \quad (12)$$

ψ on pyörivien osien hitauskerroin

m on ajoneuvon massa

a on ajoneuvon oletettu kiihtyvyys 8 km/h testinopeuteen

$$F_a = 1,02 * 2660 \text{ kg} * 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_a = 2713 \text{ N}$$

4.4.12 Kiihdytyksen tehontarve ajomoottorilla

Kiihdytyksen tehontarve lasketaan kaavalla 13.

$$P_a = F_a * v \quad (13)$$

F_a on kiihdytysvastus

v on ajoneuvon nopeus

$$P_a = 2713 \text{ N} * 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_a = 6023 \text{ W} = 6 \text{ kW}$$

4.4.13 Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihdytettäessä

Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihdytettäessä lasketaan kaavalla 14.

$$M = F_a * R_d \quad (14)$$

F_a on ajoneuvon kiihdytysvastus

R_d on renkaan vierinsäde

$$M = 2713 \text{ N} * 0,365 \text{ m}$$

$$M = 990 \text{ Nm}$$

4.4.14 Testirenkaan kehittämä maksimikitkavoima

Renkaan ja tienpinnan välisestä kitkakertoimesta riippuu, kuinka paljon voimaa rengas pystyy välittämään tiehen. Seuraavassa taulukossa on tutkimustietoa erilaisista kitkaker-
toimen arvoista erilaisilla tienpinnoilla.

Taulukko 2. Mahdollisia kitkakertoimen arvoja eri tien pinnoille (4, s. 43.)

Tien pinta	Maksimikitkakerroin [μ]
Asfaltti	0,6 - 1,3
Märkä asfaltti	0,4 - 0,9
Lumi	0,1 - 0,6
Jää	0,05 - 0,5

Testirenkaan kehittämä maksimikitkavoima lasketaan kaavalla 15.

$$F_{\mu} = \mu * m * g \quad (15)$$

μ on lumipolanteen kitkakerroin

m on maksimi testauskulmapaino

g on maan vetovoimakiihtyvyyys

$$F_{\mu} = 0,6 * 851 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\mu} = 5009 \text{ N}$$

4.4.15 Testimoottorin vääntömomentin tarve

Testimoottorin vääntömomentin tarve, jotta pyörällä saadaan aikaiseksi luisto, lasketaan kaavalla 16.

$$M = F_{\mu} * R_d \quad (16)$$

F_{μ} on testirenkaan kehittämä maksimi kitkavoima

R_d on renkaan vierinsäde

$$M = 5009 \text{ N} * 0,365 \text{ m}$$

$$M = 1828 \text{ Nm}$$

4.4.16 Testimoottorin tehontarve

Testimoottorin tehontarve lasketaan kaavalla 17.

$$P = F_{\mu} * v * 3 \quad (17)$$

F_{μ} on testirenkaan kehittämä maksimi kitkavoima

v on ajoneuvon testinopeus

3 on luistokerroin

$$P = 5009 \text{ N} * 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 3$$

$$P = 33360 \text{ W} = 33 \text{ kW}$$

4.4.17 Ajomoottorin energiankulutus vuorokaudessa

Ajomoottorin energian kulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 18.

$$E_{vrk} = \frac{s}{v} * P \quad (18)$$

s on ajomatka vuorokaudessa

v on ajoneuvon testinopeus

P on ajomoottorin tehontarve testinopeudella

$$E_{vrk} = \frac{100 \text{ km}}{8 \text{ km/h}} * 2,13 \text{ kW}$$

$$E_{vrk} = 26,6 \text{ kWh}$$

4.4.18 Kiihdytysenergia ajomoottorilla

Kiihdytysenergia ajomoottorilla lasketaan kaavalla 19.

$$E_k = n * k * t * P \quad (19)$$

n on renkaiden lukumäärä

k on kiihdytysten määrä

t on kiihdytysaika

P on ajomoottorin tehontarve kiihdytyksessä

$$E_k = 20 \text{ kpl} * 16 \text{ kpl} * 2,22 \text{ s} * 6 \text{ kW}$$

$$E_k = 4263 \text{ kW s} = 1,2 \text{ kWh}$$

4.4.19 Ajomoottorin kokonaisenergian tarvelaskelma

Ajomoottorin kokonaisenergian tarve lasketaan kaavalla 20.

$$E_A = E_{vrk} + E_k \quad (20)$$

E_{vrk} on ajomoottorin energian kulutus vuorokaudessa

E_k on kiihdytysenergia ajomoottorilla

$$E_A = 26,6 \text{ kWh} + 1,2 \text{ kWh}$$

$$E_A = 27,8 \text{ kWh}$$

4.4.20 Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa

Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 21.

$$E_t = n * k * t * P \quad (21)$$

n on renkaiden lukumäärä

k on kiihdytysten määrä

t on kiihdytysaika

P on testimoottorin tehontarve

$$E_t = 20 \text{ kpl} * 16 \text{ kpl} * 3 \text{ s} * 33 \text{ kW}$$

$$E_t = 31680 \text{ kW s} = 8,8 \text{ kWh}$$

4.4.21 Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa

Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 22.

$$E_{kok} = E_A + E_t \quad (22)$$

E_A on ajomoottorin kokonaisenergian tarve

E_t on testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa

$$E_{kok} = 28 \text{ kWh} + 8,8 \text{ kWh}$$

$$E_{kok} = 36,8 \text{ kWh}$$

4.4.22 Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 1:n energian tarvelaskelmista

Suoralla sähkökäytöllä sähkömoottorit käyttävät vetoakseleita suoraan niiden päistä.

Laskelmissa ajoneuvon massana on käytetty ajoneuvon kokonaispainoa 2660 kg.

Ajomootorin vääntömomentin tarve tasaisella 8 km/h -testinopeudella on 354 Nm. Ajomootorin tehontarve tasaisella 8km/h -testinopeudella on 2,13 kW.

Ajomootorin vääntömomentti, jos kiihdytetään 1 m/s^2 kiihtyvyydellä, on 995 Nm. Ajomootorin vääntömomentti, jos kiihdytetään $0,5 \text{ m/s}^2$ kiihtyvyydellä on 495 Nm.

Ajomootorin tehontarve, jos kiihdytetään 1 m/s^2 kiihtyvyydellä, on 6 kW. Ajomootorin tehontarve, jos kiihdytetään $0,5 \text{ m/s}^2$ kiihtyvyydellä, on 3 kW.

Testimootorilla tarvittava vääntömomentti, jotta pyörä saadaan sutimaan suurimmalla kulmapainolla 851 kg, on 1828 Nm. Testimootorin tehontarve suditettaessa kolminkertaisella testinopeudella on 33 kW.

Sähkämootorien vääntömomentin tarve suorakytkennällä vetoakseleiden päistä on liian suuri, joten seuraavaksi tutkitaan konseptivaihtoehtoa täyssähkökäyttöä 2.

4.5 Täyssähkökäyttö 2

Tutkitaan vääntömomentin ja tehon tarvetta, kun akselistot vetopyörästäineen on paikoillaan. Vetopyörästäjen välityssuhde on 3,909, ja vetopyörästäön hyötysuhde on 0,9.

4.5.1 Ajomootorin vääntömomentin tarve testinopeudella

Ajomootorin vääntömomentin tarve testinopeudella lasketaan kaavalla 23.

$$M = (F_i + F_r) * \frac{R_d}{I_0 * \eta_v} \quad (23)$$

F_i on ajoneuvon ilmanvastus

F_r on ajoneuvon vierinvastus

R_d on renkaan vierintäsäde

I_0 on vetopyörästäön välityssuhde

η_v on vetopyörästäön hyötysuhde

$$M = (3,1 \text{ N} + 965,5 \text{ N}) * \frac{0,365 \text{ m}}{3,909 * 0,9}$$

$$M = 100,5 Nm$$

4.5.2 Ajomoottorin tehontarve testinopeudella

Ajomoottorin tehontarve testinopeudella lasketaan kaavalla 24.

$$P = (F_i + F_r) * \frac{v}{\eta_v} \quad (24)$$

F_i on ajoneuvon ilmanvastus

F_r on ajoneuvon vierinvastus

v on ajoneuvon testinopeus

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

$$P = (3,1 N + 965,5 N) * \frac{2,22 \frac{m}{s}}{0,9}$$

$$P = 2389 W = 2,4 kW$$

4.5.3 Ajomoottorin teho ja vääntömomentti vetopyörästöllä

Edellä laskettuihin pyörivien osien hitausmomenteihin täytyy lisätä kardaanin nopeudella pyörivien osien hitausmomentit.

4.5.4 Tasauspyörästöjen hitausmomentti

Tasauspyörästöjen hitausmomentti lasketaan kaavalla 25.

$$J_{tp} = \frac{m}{2} * R^2 * 2 \quad (25)$$

m on tasauspyörästön massa

R on tasauspyörästön säde

2 on tasauspyörästöjen määrä

$$J_{tp} = \frac{12 \text{ kg}}{2} * 0,11^2 \text{ m}^2 * 2$$

$$J_{tp} = 0,145 \text{ kgm}^2$$

4.5.5 Pienien vetopyörien hitausmomentti

Pienien vetopyörien hitausmomentti lasketaan kaavalla 26.

$$J_{vp} = \frac{m}{2} * R^2 * 2 \quad (26)$$

m on pienien vetopyörien massa

R on pienien vetopyörien säde

2 on vetopyörien määrä

$$J_{vp} = \frac{1,6 \text{ kg}}{2} * 0,018^2 \text{ m}^2 * 2$$

$$J_{vp} = 0,0005 \text{ kgm}^2$$

4.5.6 Takakardaanin hitausmomentti

Takakardaanin hitausmomentti lasketaan kaavalla 27.

$$J_{tk} = \frac{m}{2} * (R_1^2 + R_2^2) \quad (27)$$

m on takakardaanin massa

R_1 on takakardaanin ulompi säde

R_2 on takakardaanin sisempi säde

$$J_{tk} = \frac{9,5 \text{ kg}}{2} * (0,038^2 \text{ m}^2 + 0,035^2 \text{ m}^2)$$

$$J_{tk} = 0,0127 \text{ kgm}^2$$

4.5.7 Etukardanin hitausmomentti

Etukardanin hitausmomentti lasketaan kaavalla 28.

$$J_{ek} = \frac{m}{2} * (R_1^2 + R_2^2) \quad (28)$$

m on etukardanin massa

R_1 on etukardanin ulompi säde

R_2 on etukardanin sisempi säde

$$J_{ek} = \frac{4,5 \text{ kg}}{2} * (0,034^2 \text{ m}^2 + 0,032^2 \text{ m}^2)$$

$$J_{ek} = 0,0049 \text{ kgm}^2$$

4.5.8 Pyörivien osien hitauskerroin

Pyörivien osien hitauskerroin lasketaan kaavalla 29.

$$\psi = 1 + \frac{J_p + I_0^2 * J_k}{m * R_d^2} \quad (29)$$

J_p on pyörien nopeudella pyörivien osien hitausmomentti

I_0 on vetopyörästön välityssuhde

J_k on kardanin nopeudella pyörivien osien hitausmomentti

m on ajoneuvon massa

R_d on renkaan vierintäsäde

$$\psi = 1 + \frac{7,045 \text{ kgm}^2 + (3,909^2 * 0,0181 \text{ kgm}^2)}{2660 \text{ kg} * 0,365^2 \text{ m}^2}$$

$$\psi = 1,021$$

4.5.9 Kiihdytysvastus kiihtyvyydellä $1 \frac{m}{s^2}$

Kiihdytysvastus lasketaan kaavalla 30.

$$F_a = \psi * m * a \quad (30)$$

ψ on pyörivien osien hitauskerroin

m on ajoneuvon massa

a on ajoneuvon kiihtyvyys

$$F_a = 1,021 * 2660 \text{ kg} * 1 \frac{m}{s^2}$$

$$F_a = 2716 \text{ N}$$

4.5.10 Kiihdytysvastus kiihtyvyydellä $0,5 \frac{m}{s^2}$

Kiihdytysvastus lasketaan kaavalla 30.

$$F_a = 1,021 * 2660 \text{ kg} * 0,5 \frac{m}{s^2}$$

$$F_a = 1358 \text{ N}$$

4.5.11 Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihtyvyydellä $1 \frac{m}{s^2}$

Vääntömomentin tarveajomoottorilla kiihtyvyydellä $1 \frac{m}{s^2}$ lasketaan kaavalla 31.

$$M = \frac{F_a * R_d}{I_0 * \eta_v} \quad (31)$$

F_a on ajoneuvon kiihdytysvastus

R_d on renkaan vierintäsäde

I_0 on vetopyörästön välityssuhde

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

$$M = \frac{2716 \text{ N} \cdot 0,365 \text{ m}}{3,909 \cdot 0,9}$$

$$M = 282 \text{ Nm}$$

4.5.12 Ajomoottorin tehon tarve kiihtyvyydellä $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Ajomoottorin tehon tarve kiihtyvyydellä $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ lasketaan kaavalla 32.

$$P_a = \frac{F_a \cdot v}{\eta_v} \quad (32)$$

F_a on ajoneuvon kiihdytysvastus

v on ajoneuvon testinopeus

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

$$P_a = \frac{2716 \text{ N} \cdot 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,9}$$

$$P_a = 6699 \text{ W} = 6,7 \text{ kW}$$

4.5.13 Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihtyvyydellä $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihtyvyydellä $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ lasketaan kaavalla 31.

$$M = \frac{1358 \text{ N} \cdot 0,365}{3,909 \cdot 0,9}$$

$$M = 141 \text{ Nm}$$

4.5.14 Ajomoottorin tehon tarve kiihtyvyydellä $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Ajomoottorin tehon tarve kiihtyvyydellä $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ lasketaan kaavalla 32.

$$P_a = \frac{1358 \text{ N} * 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,9}$$

$$P_a = 3349,5 \text{ W} = 3,35 \text{ kW}$$

4.5.15 Testimoottorin vääntömomentin tarve perän välityksellä

Testimoottorin vääntömomentin tarve perän välityksellä lasketaan kaavalla 33.

$$M = \frac{F_\mu * R_d}{I_0 * \eta_v} \quad (33)$$

F_μ on testirenkaan kehittämä maksimi kitkavoima

R_d on renkaan vierintäsäde

I_0 on vetopyörästön välityssuhde

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

$$M = \frac{5009 \text{ N} * 0,365 \text{ m}}{3,909 * 0,9}$$

$$M = 519 \text{ Nm}$$

4.5.16 Testimoottorin tehon tarve perän välityksellä

Testimoottorin tehon tarve perän välityksellä lasketaan kaavalla 34.

$$P = \frac{F_\mu * v}{\eta_v} * 3 \quad (34)$$

F_μ on testirenkaan kehittämä maksimi kitkavoima

v on ajoneuvon testinopeus

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

3 on kolminkertainen testinopeus

$$P = \frac{5009 \text{ N} * 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,9} * 3$$

$$P = 37 \text{ kW}$$

4.5.17 Ajomoottorin energian kulutus vuorokaudessa

Ajomoottorin energian kulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 18.

$$E_{vrk} = \frac{100 \text{ km}}{8 \text{ km/h}} * 2,4 \text{ kW}$$

$$E_{vrk} = 30 \text{ kWh}$$

4.5.18 Kiihdytysenergia ajomoottorilla

Kiihdytysenergia ajomoottorilla lasketaan kaavalla 19.

$$E_k = 20 \text{ kpl} * 16 \text{ kpl} * 2,22 \text{ s} * 6,7 \text{ kW}$$

$$E_k = 4760 \text{ kW s} = 1,3 \text{ kWh}$$

4.5.19 Ajomoottorin kokonaisenergian tarvelaskelma

Ajomoottorin kokonaisenergian tarve lasketaan kaavalla 20.

$$E_A = 30 \text{ kWh} + 1,3 \text{ kWh}$$

$$E_A = 31,3 \text{ kWh}$$

4.5.20 Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa

Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 21.

$$E_t = 20 \text{ kpl} * 16 \text{ kpl} * 3 \text{ s} * 37 \text{ kW}$$

$$E_t = 35520 \text{ kW s} = 9,9 \text{ kWh}$$

4.5.21 Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa

Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 22.

$$E_{kok} = 31,3 \text{ kWh} + 9,9 \text{ kWh}$$

$$E_{kok} = 41,2 \text{ kWh}$$

4.5.22 Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 2 energian tarvelaskelmista

Ajomootorin maksimi vääntömomentin tarve on 282 Nm kiihtyvyydellä 1 m/s^2 , ja kiihtyvyydellä $0,5 \text{ m/s}^2$ se olisi 141 Nm.

Testimootorin maksimivääntömomentin tarve on 519 Nm. Varsinkin testimootorin vääntömomentin tarve on vieläkin liian suuri. Seuraavaksi tarkastellaan konseptivaihtoehtoa täyssähkökäyttö 3.

4.6 Täyssähkökäyttö 3

Testimootorin vääntömomentin tarve täyssähkökäytöllä 2, jossa alennusvaihteena akseliston vetopyörästä on vieläkin liian suuri sähkömootorikäytölle. Tutkitaan vääntömomentin ja tehon tarvetta, kun akselistot vetopyörästäineen, sekä vaihteisto on paikoillaan. Vetopyörästäjen välityssuhde on 3,909 ja vaihteiston 1. vaihteen välityssuhde on 4,313. Voimansiirron hyötysuhteeksi arvioidaan 0,85. Ajomootorin tehon tarve ja vääntömomentti ovat samat kuin täyssähkökäyttö 2:lla.

4.6.1 Testimoottorin vääntömomentti

Testimoottorin vääntömomentin tarve perän ja vaihteiston 1. vaihteen välityksellä lasketaan kaavalla 35.

$$M = \frac{F_{\mu} * R_d}{I_0 * I_{v1} * \eta_v} \quad (35)$$

F_{μ} on testirenkaan kehittämä maksimikitkavoima

R_d on renkaan vierintäsäde

I_0 on vetopyörästön välityssuhde

I_{v1} on vaihteiston 1.vaihteen välityssuhde

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

$$M = \frac{5009 \text{ N} * 0,365 \text{ m}}{3,909 * 4,313 * 0,85}$$

$$M = 128 \text{ Nm}$$

4.6.2 Testimoottorin teho

Testimoottorin tehontarve perän ja vaihteiston 1. vaihteen välityksellä lasketaan kaavalla 36.

$$P = \frac{F_{\mu} * v}{\eta_v} * 3 \quad (36)$$

F_{μ} on testirenkaan kehittämä maksimikitkavoima

v on ajoneuvon testinopeus

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

3 on kolminkertainen testinopeus

$$P = \frac{5009 \text{ N} * 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,85} * 3$$

$$P = 39247 \text{ W} = 39 \text{ kW}$$

4.6.3 Ajomoottorin kokonaisenergian tarvelaskelma

Ajomoottorin kokonaisenergian tarve on sama kuin täyssähkökäyttö 2. ollen 31,3 kWh.

4.6.4 Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa

Testimoottorin energiankulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 21.

$$E_t = 20 \text{ kpl} * 16 \text{ kpl} * 3 \text{ s} * 39 \text{ kW}$$

$$E_t = 37440 \text{ kW s} = 10,4 \text{ kWh}$$

4.6.5 Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa

Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 22.

$$E_{kok} = 31,3 \text{ kWh} + 10,4 \text{ kWh}$$

$$E_{kok} = 41,7 \text{ kWh}$$

4.6.6 Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 3. energian tarvelaskelmista

Testimoottorin vääntömomentin tarve asettuu kohtuulliselle tasolle käytettäessä ajoneuvon omaa vaihteistoa alennusvaihteena.

Ajomoottorin vääntömomentin tarve on vieläkin kohtuullisen suuri pieni tehoiselle sähkömoottorille. Seuraavaksi tarkastellaan konseptivaihtoehtoa täyssähkökäyttö 4.

4.7 Täyssähkökäyttö 4

Tässä voimansiirron rakenneratkaisussa asennetaan sähkömoottorin ja jakovaihteiston väliin planeettatyypinen alennusvaihde. Tarkoituksena on vielä pienentää ajomoottorin vääntömomentin tarvetta. Planeettavaihteeksi on valittu teollisuusvaihde PG101, jonka välityssuhde on 4,29 ja voimansiirron kokonaishyötysuhteeksi arvioidaan 0,85. (5, s. 72.) Testimoottorin teho- ja vääntömomenttiarvot ovat samat kuin täyssähkökäyttö 3. versiossa.

4.7.1 Ajomoottorin vääntömomentin tarve testinopeudella

Ajomoottorin vääntömomentin tarve lasketaan kaavalla 37.

$$M = (F_i + F_r) * \frac{R_d}{I_0 * I_{pl} * \eta_v} \quad (37)$$

F_i on ajoneuvon ilmanvastus

F_r on ajoneuvon vierinvastus

R_d on renkaan vierintäsäde

I_0 on vetopyörästäön välityssuhde

I_{pl} on planeettavaihteen välityssuhde

η_v on vetopyörästäön hyötysuhde

$$M = (3,1 \text{ N} + 965,5 \text{ N}) * \frac{0,365 \text{ m}}{3,909 * 4,29 * 0,85}$$

$$M = 24,8 \text{ Nm}$$

4.7.2 Ajomoottorin tehontarve testinopeudella

Ajomoottorin tehontarve lasketaan kaavalla 24.

$$P = (3,1 \text{ N} + 965,5 \text{ N}) * \frac{2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,85}$$

$$P = 2530 \text{ W} = 2,5 \text{ kW}$$

4.7.3 Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihtyvyydellä $1 \frac{m}{s^2}$

Vääntömomentin tarve ajomoottorilla kiihtyvyydellä $1 \frac{m}{s^2}$ lasketaan kaavalla 38.

$$M = \frac{F_a * R_d}{I_0 * I_{pl} * \eta_v} \quad (38)$$

F_a on ajoneuvon kiihdytysvastus

R_d on renkaan vierintäsäde

I_0 on vetopyörästön välityssuhde

I_{pl} on planeettavaihteen välityssuhde

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

$$M = \frac{2716 \text{ N} * 0,365 \text{ m}}{3,909 * 4,29 * 0,85}$$

$$M = 69,5 \text{ Nm}$$

4.7.4 Tehon tarve kiihtyvyydellä $1 \frac{m}{s^2}$

Tehon tarve kiihtyvyydellä $1 \frac{m}{s^2}$ lasketaan kaavalla 32.

$$P_a = \frac{2716 \text{ N} * 2,22 \frac{m}{s}}{0,85}$$

$$P_a = 7094 \text{ W} = 7,1 \text{ kW}$$

4.7.5 Ajomoottorin energian kulutus vuorokaudessa

Ajomoottorin energian kulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 18.

$$E_{vrk} = \frac{100 \text{ km}}{8 \text{ km/h}} * 2,5 \text{ kW}$$

$$E_{vrk} = 31,3 \text{ kWh}$$

4.7.6 Kiihdytysenergia ajomootorilla

Kiihdytysenergia ajomootorilla lasketaan kaavalla 19.

$$E_k = 20 \text{ kpl} * 16 \text{ kpl} * 2,22 \text{ s} * 7,1 \text{ kW}$$

$$E_k = 5044 \text{ kW s} = 1,4 \text{ kWh}$$

4.7.7 Ajomootorin kokonaisenergian tarvelaskelma

Ajomootorin kokonaisenergian tarve lasketaan kaavalla 20.

$$E_A = 31,3 \text{ kWh} + 1,4 \text{ kWh}$$

$$E_A = 32,7 \text{ kWh}$$

4.7.8 Testimootorin energian kulutus vuorokaudessa

Testimootorin energian kulutus vuorokaudessa on sama kuin täyssähkökäyttö 3. versiossa ollen 10,4 kWh.

4.7.9 Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa

Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 22.

$$E_{kok} = 32,7 \text{ kWh} + 10,4 \text{ kWh}$$

$$E_{kok} = 43,1 \text{ kWh}$$

4.7.10 Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 4 energian tarvelaskelmista

Sähkömoottoreiden vääntömomentin tarpeet ovat kohtuullisen siedettävällä tasolla. Viimeiseksi tarkastellaan konseptivaihtoehtoa täyssähkökäyttö 5.

4.8 Täyssähkökäyttö 5

Tässä versiossa ajoneuvon vaihteisto jakovaihteistoineen korvataan kahdella erillisellä planeettatyypisellä alennusvaihteella. Ajomoottorin alennusvaihte on sama kuin versiossa täyssähkökäyttö 4. Testimoottorin alennusvaihteeksi valitaan planeettavaihte PG 701, jonka välityssuhde on 4,43 ja voimansiirron arvioitu kokonaishyötysuhde on 0,85. (5, s. 104.) Ajomoottorin osalta teho-, vääntömomentti- ja energian tarvearvot ovat samat kuin täyssähkökäyttö 4. versiossa.

4.8.1 Testimoottorin vääntömomentin tarve

Testimoottorin vääntömomentin tarve lasketaan kaavalla 39.

$$M = \frac{F_{\mu} * R_d}{I_0 * I_{pl} * \eta_v} \quad (39)$$

F_{μ} on testirenkaan kehittämä maksimi kitkavoima

R_d on renkaan vierintäsäde

I_0 on vetopyörästön välityssuhde

I_{pl} on planeettavaihteen välityssuhde

η_v on vetopyörästön hyötysuhde

$$M = \frac{5009 \text{ N} * 0,365 \text{ m}}{3,909 * 4,43 * 0,85}$$

$$M = 124 \text{ Nm}$$

4.8.2 Testimoottorin tehontarve

Testimoottorin tehontarve lasketaan kaavalla 36.

$$P = \frac{5009 \text{ N} * 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,85} * 3$$

$$P = 39247 \text{ W} = 39 \text{ kW}$$

4.8.3 Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa

Kokonaisenergian kulutus vuorokaudessa lasketaan kaavalla 22.

$$E_{kok} = 32,7 \text{ kWh} + 10,4 \text{ kWh}$$

$$E_{kok} = 43,1 \text{ kWh}$$

4.8.4 Johtopäätöksiä täyssähkökäyttö 5 energian tarvelaskelmista

Sähkösäätömoottoreiden vääntömomentin tarpeet ovat kohtuullisen siedettävällä tasolla. Planeettavaihteiden välityssuhdetta on helppo muuttaa tarpeen mukaan.

4.9 Yhteenveto täyssähkökäytöistä

Taulukkoon 3 on koottu kaikkien täyssähkökäyttöjen sähkömoottoreiden tehon- ja vääntömomentin tarpeet sekä kokonaisenergian tarpeet vuorokaudessa. Taulukosta 3 voidaan todeta, että toteutuskelpoisin voimansiirtoratkaisu olisi täyssähkökäyttö 5.

Taulukko 3. Täyssähkökäyttöjen yhteenveto.

	Käyttö 1	Käyttö 2	Käyttö 3	Käyttö 4	Käyttö 5
Ajomootorin jatkuva teho	2,13 kW	2,4 kW	2,4 kW	2,5 kW	2,5 kW
Ajomootorin kiihdytysteho $a = 1 \text{ m/s}^2$	6,0 kW	6,7 kW	6,7 kW	7,1 kW	7,1 kW
Ajomootorin vääntömomentti jatkuva	354 Nm	101 Nm	101 Nm	25 Nm	25 Nm
Ajomootorin vääntömomentti kiihdytys $a = 1 \text{ m/s}^2$	990 Nm	282 Nm	282 Nm	70 Nm	70 Nm
Testimoottorin teho	33 kW	37 kW	39 kW	39 kW	39 kW
Testimoottorin maksimivääntömomentti	1828 Nm	519 Nm	128 Nm	128 Nm	124 Nm
Sähkösäätömoottoreiden energian tarve vuorokaudessa	36,8 kWh	41,2 kWh	41,7 kWh	43,1 kWh	43,1 kWh

5 Ajoneuvon mittaus ja 3D-skannaus

5.1 Ajoneuvon mittaus

Projektissa vastaavanlainen käytettävä Toyota Hilux 4wd -lava-auto haettiin Vantaan Kamuxilta tiistaina 20.3.2018 Metropolian Kalevankadun autolaboratorioon tutustumista ja perusmittauksia varten (kuva 9). Ajoneuvosta mitattiin kulmapainot Intercomp merkisillä vaailla (kuva 10). Ajoneuvon alustasta kirjattiin muutamia perusmittoja ja pohdittiin voima-anturoinnin asennusta ajoneuvon taka-akselin ja lehtijousipakan väliin. Samalla mitattiin myös moottoritilan, ohjaamon takaosan ja lavan fyysiset mitat komponenttien sijoittelun suunnittelua varten.



Kuva 9. Mitattava Toyota Hilux -lava-auto.



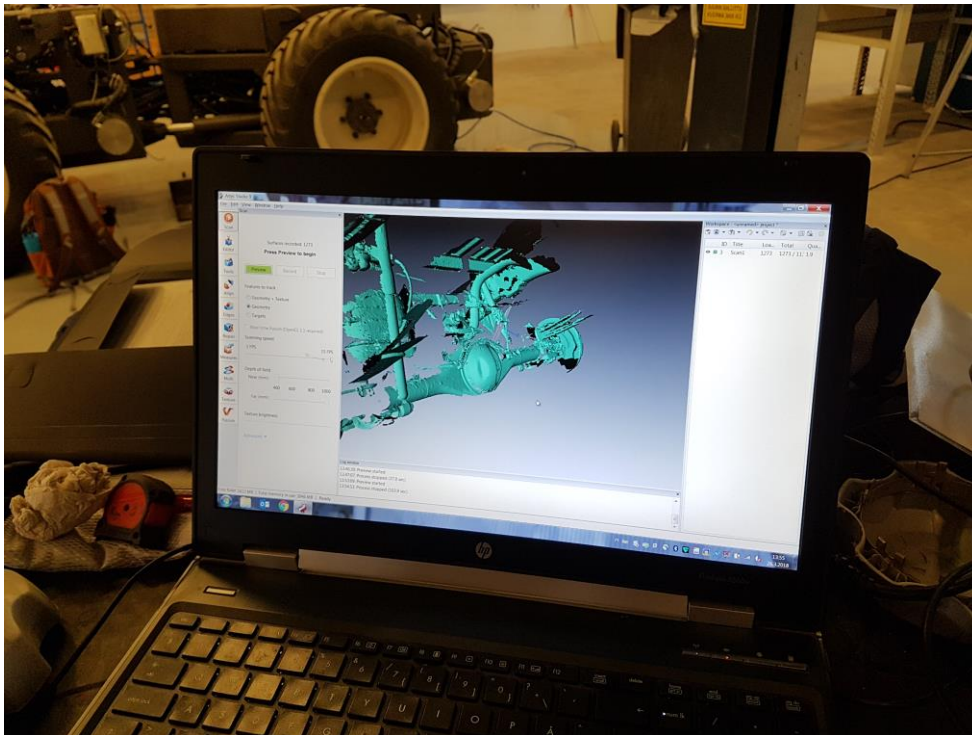
Kuva 10. Kulmapainojen punnitus Intercomp-vaailla.

5.2 Ajoneuvon 3D-skannaus

Toyota Hilux 4wd -lava-auto haettiin uudelleen Vantaan Kamuxilta maanantaina 26.3.2018 ajoneuvon 3D-skannausta varten. Ajoneuvoa 3D-skannattiin pakkaussuunnittelua varten, jotta komponenttien sijoittelua ja kiinnitystä olisi mahdollista esittää 3D-mallinnusohjelmalla (kuva 11). Skannauksen aikana tietotekniikka aiheutti kovia haasteita. Skannatessa suurta kokonaisuutta laite hukkasi välillä alkupisteen ja alkoi piirtää kuvaa päällekkäin ja epämääräisesti (kuva 12). Tämän seurauksena sijoittelua 3D-mallintamalla ei pystytty tekemään ja tulokset toimivat suuntaa antavina. Fyysiset mittaukset olivat näin tärkeämpiä, ja ajoneuvon suunnittelussa ne toimivat perustana.



Kuva 11. Toyota Hiluxin taka-akselin 3D-skannaus.



Kuva 12. Toyota Hiluxin taka-akseliston 3D-skannaus kuvanto tietokoneella.

6 Mekaniikkasuunnittelu

6.1 Voimansiirron toteutustavat

Konseptivaihtoehtoa täyssähkökäyttö 1:tä varten tehdyt sähkömoottorin tehon- ja vääntömomentintarvelaskelmat osoittavat, että vääntömomentin tarve suorassa sähkökäytössä suoraan vetoakseleiden päistä ei voida toteuttaa liian suurien vääntömomenttien johdosta. Sähkömoottoreiden kokoluokka kasvaa liian suureksi, ja ne eivät tästä syystä mahdu muutetun taka-akseliston tarvitsemaan tilaan.

Voimansiirron toteutuksen kannalta näyttäisivät vaihtoehdot täyssähkökäyttö 4 ja täyssähkökäyttö 5 kaikkein toteutuskelpoisimmilta. Sähkömoottoreiden ja alennusvaihteiden keskinäinen sovittaminen toisiinsa on tehtävä sen jälkeen, kun varmistuu, mikä konseptivaihtoehdoista halutaan toteuttaa.

6.2 Voima-anturointi

Testirenkaan voimienmittausanturina on tarkoituksena käyttää ME-Meßsystemen valmistamaa 3-akselista voimamittausanturia KD160 +-20 kN (kuva 13). Teknisten tietojen mukaan anturin normaali käyttölämpötila-alue on -10°C – 50 °C, mutta anturi on testattu toimivaksi ainakin -25 °C:n lämpötilassa. Anturit asennetaan todennäköisesti molemmille puolille tarkemman mittaustuloksen aikaansaamiseksi.



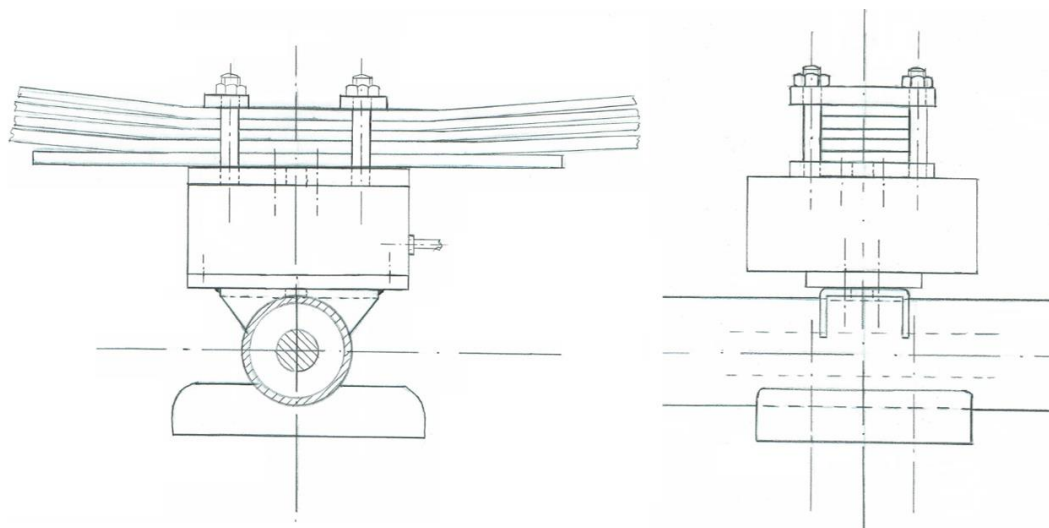
Kuva 13. KD160 +-20 kN:n voimamittausanturi ME-Meßsysteme (7).

6.2.1 Voima-anturin sijoitustapa 1

Voima-anturi on tarkoitettu sijoittamaan testattavan pyörän läheisyyteen. Sopiva anturin sijoituspaikka on lehtijousen ja akselin välissä (kuva 14). Anturin kiinnitystä varten akselissa olevaan lehtijousen kiinnitys laippaan hitsataan teräslevy, johon anturi pultataan neljällä kuusiokoloruuvilla. Anturin alle tulevassa kiinnitysleipässä on keskitystappi vastaten irrotetun lehtijousipakan keskinaulaa. Kiinnityslevyissä on myös tarkat 8 mm:n keskitystreivät, jotka vastaavat anturin vastaavia reikiä, joihin tulee tiukat 8 mm:n keskitystapit.

Lehtijousipakan alapuolelle tuleva kiinnityslevy kiinnitetään anturin keskellä olevaan mitauselementtiin neljällä uppokantaisilla kuusiokoloruuvilla. Kiinnityslevyissä on myös kaksi 8 mm:n keskitystreikää, joihin tulee tiukat 8 mm:n keskitystapit vastaten anturin keskitystreikiä. Jousipakan keskityснаulaa varten on kiinnityslevyissä vastaava reikä. Kiinnityslevy kiinnitetään jousipakkaan henkselipulttien kohdalta muutetulla pulttiliitosella.

Tässä mitta-anturin kiinnitystavassa on haittapuolena, että se nostaa korikorkeutta lähes 100 mm. Myöskin toisen puolen jousipakan ja akselin väliin on asennettava vastaavan korkuinen korotuspala.



Kuva 14. Havainnekuva voima-anturin sijoituksesta jousipakan ja akselin väliin.

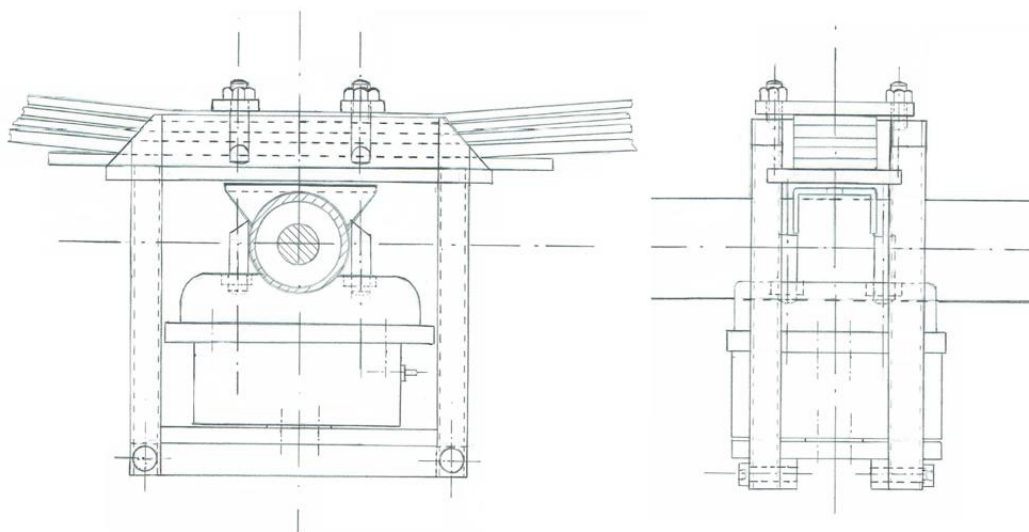
6.2.2 Voima-anturin sijoitustapa 2

Anturin kiinnitysratkaisussa 2 anturi asennetaan taka-akselin alapuolelle (kuva 15). Anturi tulee ylösalaisin verrattuna asennustapaan 1. Anturi kiinnitetään kuusiokoloruuveilla asennuslevyyn, joka hitsataan kiinni jousipakan U-ruuvien kiinnityslevyyn. Kiinnityslevy hitsataan akseliin kiinni ja varmistetaan ruuviliitoksilla jousipakan U-ruuvien paikalta. Ruuvit hitsataan akseliin kiinni. Mutterien kiristystä varten anturin asennuslevyyn tehdään sopivat reiät kiristystä varten.

Jousipakan painovoima ohjataan neljällä painintangolla anturin alla olevaan paininlevyyn, joka kiinnitetään anturin keskelle neljällä kuusiokoloruuvilla. Painintangot tehdään neliömäisestä rakenneputkesta riittävän sivuttaisjäykkyyden saavuttamiseksi. Painintangot hitsataan yläpäästään kiinni jousipakan keskelle rakennettuun teräskoteloon, joka kiinnitetään ruuveilla poistettujen U-ruuvien kohdalta. Kotelon päälle tulee poikittaiset le-

vyt, jotka painavat jousipakan koteloon tiukasti. Kotelon pohjalevyssä on jousen keskinäistä vastaava reikä keskitystä varten. Tässä anturin kiinnitystavassa anturielementtiin tulee vetovoima auton painovoiman vaikutuksesta.

Etuna tällä asennustavalla on se, että jousipakan korkeus nousee vain noin 15 mm, joten samanpaksuinen levy on asennettava myös toisen jousipakan alle. Heikkoutena tällä asennustavalla on vaikeampi anturikiinnityksen kohdistus, koska akselin alapuolella oleva jousipakan kiinnityslevyn alapinta ei ole suora, vaatien täten oikaisua.



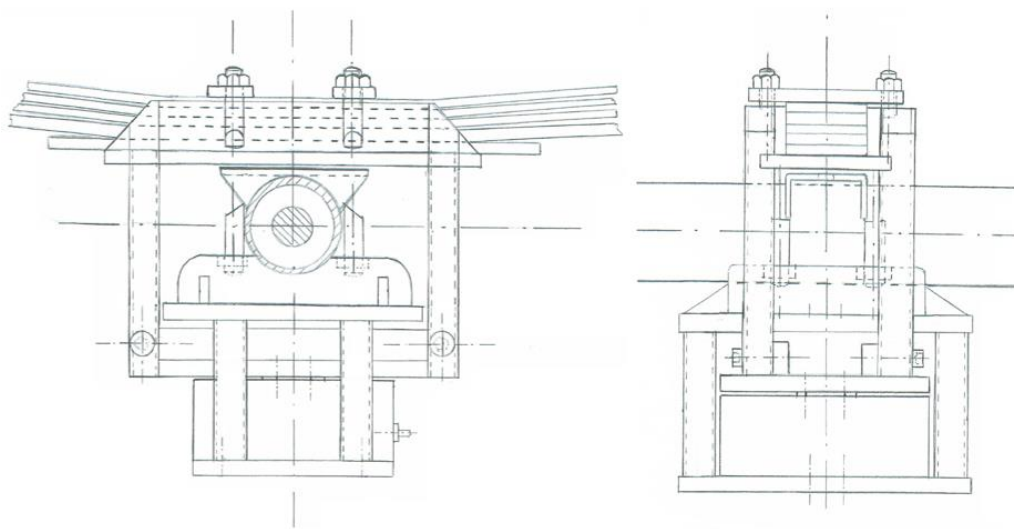
Kuva 15. Havainnekuva voima-anturin sijoituksesta ylösalaisin taka-akselin alapuolelle.

6.2.3 Voima-anturin sijoitus tapa 3

Tässä asennustavassa jousipakan kiinnitys on samanlainen kuin kiinnitystavassa 2. Voima-anturi asennetaan siten, että jousipakan kautta tuleva auton painovoima puristaa voima-anturia kuten asennustavassa 1. Voima-anturi on akselin alapuolella ns. kehtorakenteessa (kuva 16).

Anturi kiinnitetään kehdon pohjalevyyn kuusiokoloruuveilla. Pohjalevyn sivuilta lähtevät vetotangot ovat vastaavanlaiset kuin jousipakalta lähtevät painin tangot. Kehtorakenteen yläpinnan muodostaa ylälevy, johon hitsataan vetotangot kiinni. Anturin kehtorakenne hitsataan kiinni ylälevystä akselin alla olevaan jousipakan kiinnityslevyyn kuten asennustavassa 2.

Tämä asennustapa on varsin monimutkainen, mutta anturin asemointi on hiukan helpompi kuin asennustavassa 2.



Kuva 16. Havainnekuva voima-anturin sijoituksesta taka-akselin alapuolelle kehtorakenteeseen.

6.3 Ilmajousitus

Ajoneuvoon on tarkoitus asentaa taka-akselille ilmajousitus lehtijousituksen avuksi (kuva 17). Ilmajousituksen tarkoituksena on pitää takapään korikorkeus vakiona, kun renkastransmissiivissä kulmapainoja muutellaan. Ilmajousitus asennetaan siten että ilmapalkeet tulevat lehtijousipakan ja korin väliin. Asennuksen yhteydessä on jousipakan ja korin välissä olevat pohjaan lyöntikumit poistettava.



Kuva 17. Ilmajousipalkeet.

Pieni kokoinen sähkökompressori asennetaan ajoneuvon moottoritilaan sopivaan paikkaan (kuva 18).



Kuva 18. Sähkötoiminen paineilmakompressori.

Ilmajousituksen ohjauskeskus, jossa on kummallekin palkeelle oma painemittari ja paineensäätö sijoitetaan ohjaamoon sopivalle paikalle (kuva 19).



Kuva 19. Ilmajousituksen ohjauskeskus.

6.4 Sähköhydrauliset tunkit

Renkaiden vaihdon helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi ajoneuvoon asennetaan sähköhydraulinen tunkkijärjestelmä (Kuva 20). Neljä sähköhydraulista tunkkia asennetaan ajoneuvon runkorakenteeseen, jotta pyörät voidaan nostaa ilmaan renkaiden vaihtoa varten. Sähköhydraulinen koneikko asennetaan ajoneuvon moottoritilaan sopivaan tilaan. Sähköhydraulista tunkkijärjestelmää ohjataan kauko-ohjaimella. Sähköhydrauliset tunkit valmistaa E&P Hydraulics, ja toimittajana on Suomen Vaunuosa Oy.



Kuva 20. Sähköhydrauliset tunkit.

7 Sähkösuunnittelu

Projektin sähkösuunnittelun perustana pidettiin sitä, että ajoneuvo olisi täysin sähkövoimakäyttöinen. Tarkoituksena kuitenkin käyttää mahdollisimman paljon ajoneuvossa jo olevasta alkuperäisestä sähköjärjestelmästä hyväksi. Täysin sähkökäyttöisen voimansiirron suunnittelu jo valmiiksi polttomoottorillisen voimansiirron tilalle loi tiettyjä haasteita komponenttien valinnan, sijoittelun ja yhteen sovittamisen suhteen.

Ajoneuvon sähkösuunnittelu tähtäsi kuitenkin siihen, että auto rakennetaan täysin testi-käyttöön eivätkä kaikki liikenteessä tarvittavat apujärjestelmät, joita autossa on valmiiksi varusteltuna, ole välttämättä tarpeellisia. Tavoitteena lisäksi testiradalle tarvittaessa siirtävän matkan kulkeminen autolla olevan käyttäjäystävällistä.

7.1 Sähköjärjestelmän konsepti

Laitteistoarkkitehtuuri määräytyi tilaajan ja toimeenpanija organisaation välisissä palaverissa standardin asettamien määräysten ja asiakkaan toivomuksia noudattaen. Komponenttien valinta perustui suurimmilta osin vaatimusmäärittelyvaiheessa ilmenneiden, komponenteilta tarvittaviin ominaisuuksiin. Lisäksi merkittävät vaikuttavat tekijät olivat täyssähkökäyttöjen energian-, vääntömomenti- ja tehontarvelaskelmien tulokset (taulukko 3, s. 35).

Konseptisuunnittelussa huomioitiin ajoneuvon ja sen ympärille rakentuvan kokonaisuuden käyttötarkoitus, käyttöikä, käyttöympäristö ja käyttäjäystävällisyys. Toimintalämpötila-alue tulee olemaan laaja. Varastointilämpötilaksi on määritelty -40 °C ja käyttölämpötilaksi -23 °C astetta. Toivottu käyttöikä on 10–20 vuotta. Konseptisuunnitelma pystyttiin tämän jälkeen suunnittelemaan vaaditulla tavalla, kun kaikkien osa-alueiden vaatimukset tiedettiin.

Toteutus kelpoisimmaksi valitulla täyssähkökäytöllä, jota tässä työssä käsitellään, luo tietyt vaatimukset myös sähköjärjestelmän konseptille. Ajomoottorilta ja testimoottorilta vaaditaan tiettyä jatkuvaa- ja kiihdytystehoa. Nämä ominaisuudet vaikuttavat siihen, että testiajoneuvolla pystytään saavuttamaan vaadittu testinopeus riittävän nopeasti ja ylläpitämään se käytön aikana. Lisäksi sähkömoottoreilta tarvitaan korkeaa vääntömoment-

tia. Testimoottoria täytyy voida kiihdyttää testaustilanteessa nopeampaan kierrosnopeuteen kuin ajomoottoria, siten että testirenkaalta voidaan mitata niitä fysikaalisia suureita, mitä on sovittu. Oleellista on myös sähkömoottoreiden teho, jotta ne soveltuvat kyseiseen käyttöön ja kestävät niiltä vaaditut rasitukset eivätkä mene tällöin vikatilaan tai hajoa. (Taulukko 3, s. 35.)

7.2 Suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin siten, että päätettiin, kuinka eri osa-alueet jakautuvat mekaniikka- ja sähkösuunnittelun osalta. Näin saatiin työtaakkaa rajattua tasaisemmaksi projektiorganisaation kesken. Suunnittelussa oli kuitenkin molempien osa-alueiden osalta oleellista edetä yhtä aikaa ja yhteistyössä, sillä moni asia mekaniikka- ja sähkösuunnittelussa olivat riippuvaisia toisistaan. Eri täyssähkökäyttö- ja voimansiirtovaihtoehtojen vuoksi täytyi olla mahdollisimman avarakatseinen myös mahdollisille eri toteutustavoille, sillä saatavilla olevat komponentit ja niiden kustannukset vaikuttivat siihen, miten testiajoneuvo on järkevää ja kustannustehokasta toteuttaa.

Suunnittelun edetessä testiajoneuvon määrittely tarkentui. Pääasiassa vuoden 2018 ensimmäinen vuosineljännes kului mekaniikkasuunnittelun tutkimuksiin. Kuluvana aikana projektiorganisaation kesken järjestettiin projektipalavereja kahden tai kolmen viikon välein. Niissä käsiteltiin testiajoneuvon vaatimusmäärittelyä sekä eri täyssähkökäyttöjen toteutustapoja, etuja ja haasteita. Samalla testiajoneuvon tekniset ominaisuudet tarkentuivat. Tilaaja kertoi mitä he testiajoneuvolta vaativat ja toivoivat. Kaikkea ei kuitenkaan pystytty toteuttamaan jo pelkästään teknisten ratkaisujen rajoittaessa joitain osa-alueita. Opiskelijoiden tehtävänä oli selvittää, olivatko ratkaisut toteuttavissa ja miten. Haasteita oli paljon, koska vastaavaa testilaitetta ei tällä hetkellä ole tiedossa koko projektiorganisaatiolla muuta kuin polttomoottorikäyttöisenä.

7.3 Kokoonpano

Kokoonpanon muodostuminen määräytyi sen perusteella, että mitä ominaisuuksia testiajoneuvossa toivottiin ja vaadittiin olevan ja standardin vaatimuksien ja tilaajan asettamien reunaehtojen mukaisesti.

Pääasiassa tarkoitus oli löytää laitevalmistaja, joka pystyisi toimittamaan mahdollisimman monta heidän tuotevalikoimassaan olevaa komponenttia. 400 V:n järjestelmän komponenttien, kuten esimerkiksi invertterien ja sähkömoottorien yhdistelmä olisi hyvä hankkia samalta valmistajalta, jotta niiden yhteensovittaminen olisi mahdollisimman vaivatonta. Silloin niiden konfiguroinnissa voidaan pyytää apua suoraan toimittajalta. Tällä pystytään varmistamaan, että komponentit olisivat mahdollisimman yhteensopivia keskenään ja näistä saataisiin käyttötilanteessa mahdollisimman suuri hyöty. Saman valmistajan komponenttien käyttö vaikuttaa positiivisesti varaosien saatavuuteen tulevaisuudesta ja testiajoneuvon toivotun pitkän käyttöiän turvaamiseen.

8 Sähköjärjestelmä

Sähköjärjestelmän suunnittelussa tuli pohtia ja selvittää tavoitteiden sekä vaatimusten asettamien määräysten mukaan, kuinka sähköjärjestelmä kokonaisuutena voidaan toteuttaa. 12 V:n ja 400 V:n järjestelmän konstruktio täytyi aluksi suunnitella erillisinä, määrittäen, mitä kumpikin tarvitsee. Tämän jälkeen voitiin aloittaa niiden määrittäminen erillisinä kokonaisuuksina sekä sovittaminen yhteen ja päättää, minkälaisia komponentteja ne tarvitsevat.

8.1 12 V:n järjestelmä

Sähköajoneuvoissa on yleensä käytössä kaksi erijännitteellistä järjestelmää ja akustoa: 12 V:n järjestelmä lisälaitteille kuten ajovaloille, tuulilasinpesimelle, äänimerkille ja tarvittavalle nopeustieto signaalille sekä 400 V järjestelmä, jolla on oma akusto voimansiirron ja sen tarvitsemien komponenttien käyttöön. DC/DC-muuntimella pystytään hyödyntämään 400 V:n järjestelmän akustoa lataamalla 12 V:n järjestelmän akkua, ja silloin sen varaus ei pääse käytön aikana liian alhaiseksi. Tämän tyyppisellä latausjärjestelmällä saadaan pidettyä 12 V:n akun jännitetaso riittävänä. Silloin pystytään takaamaan ajoneuvon käynnistäminen kaikissa tarpeellisissa olosuhteissa. (12)

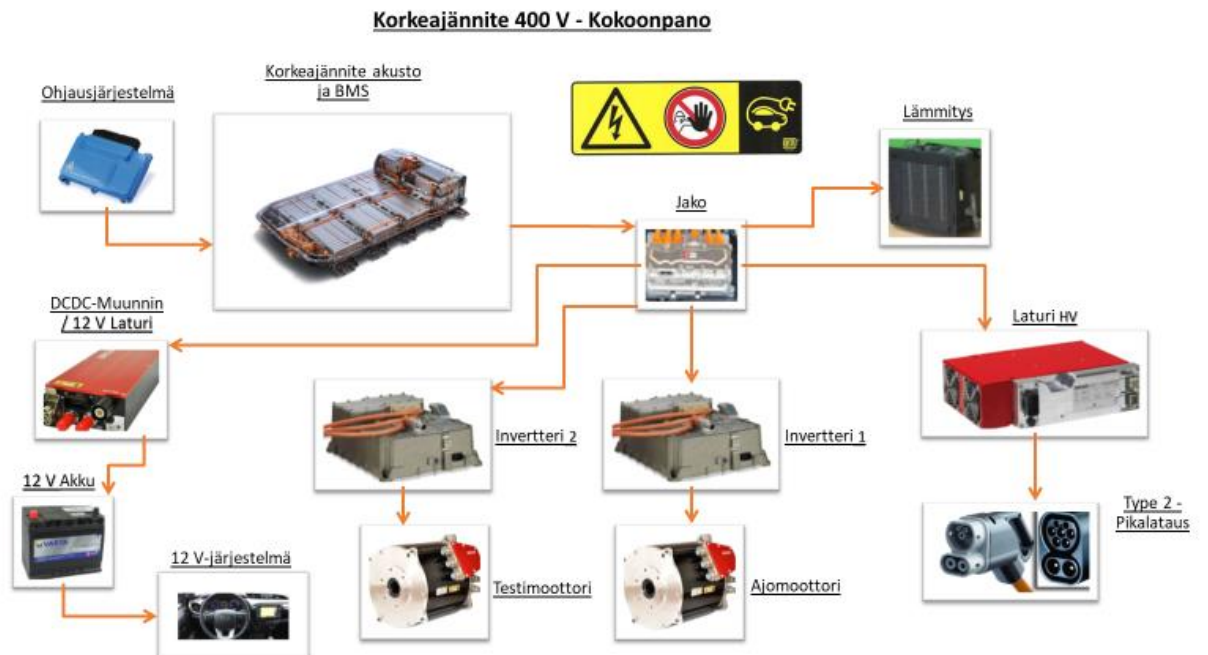
8.1.1 12 V:n järjestelmän tehontarpeen määrittely

12 V:n järjestelmän suunnittelussa lähdettiin siitä, että määriteltiin ensin, mitkä ajoneuvon alkuperäiset apujärjestelmät ovat tarpeellisia myös testiajoneuvossa ja mitkä voidaan jättää pois. Näiden selvittyä pystyttiin määrittämään apulaitteiden ja järjestelmien tehontarve ja arvioimaan niiden kuluttamaa energiaa yhden kahdeksan tunnin mittaisen testipäivän aikana. (Liite 1)

Liitteen 1 taulukossa on listattu tässä työssä tarpeelliseksi katsotut toimilaitteet. Kuitenkin rakennusvaiheessa itse projektin toteuttaja voi halutessaan päättää mitä ajoneuvoon tulee. Nämä kulutuksien määritykset toimivat lähtötietoina 12 V:n järjestelmän suunnittelulle ja mahdolliselle toteutukselle. 12 V järjestelmän energian kulutukseksi on arvioitu kokonaisuudessaan noin 1,5 kW:a yhtä tuntia kohden niiden ollessa käytössä koko ajan mikä on harvinaista.

8.2 400 V:n järjestelmä

Kuvaan 21 on koottu koko 400 V:n järjestelmän kokoonpanoon kuuluvat komponentit. Tämä kokoonpanokuva auttaa ymmärtämään kokoonpanon konstruktion rakenteen.



Kuva 21. Korkeajännitejärjestelmän kokoonpano.

8.3 Ohjausjärjestelmän elektroniikka

Ohjausjärjestelmän tarkoitus on kontrolloida ajomoottoreiden pyörimisnopeuden, vääntömomentin ja yleisen suorituskyvyn aktiivista säätötapahtumaa. Ohjainjärjestelmä tarkkailee ja suorittaa sille annettuja ohjausparametreja. Se on myös mahdollista ohjelmoida rajoittamaan kuluvan virran määrää mahdollisten vikatilanteiden ja ongelmien välttämiseksi käytön aikana. (12)

Ohjausjärjestelmän elektroniikasta puhuttaessa voidaan käyttää myös lyhyemmin nimitystä moottorinohjainyksikkö. Laitteen on tarkoitus ohjata ja kontrolloida ajoneuvon toimilaitteita sekä korkeajännitejärjestelmän ohjainlaitteita ja komponentteja.

Ohjausjärjestelmän elektroniikkaa koskevat tarjouspyynnöt lähetettiin kolmelle eri toimitajalle. Ensimmäisenä toimitettiin Elektrobitt Finlandille, josta myöhemmin selvisi Metropolian Ammattikorkeakoulun tekniikan alan projektiorganisaation kautta, että yritys ei enää toimita ohjausjärjestelmiä ajoneuvokäyttöön. Toinen vaihtoehto oli Epec Oy. Metropolialla on kokemusta tästä valmistajasta jo ennestään. Lisäksi kyseinen yritys on kotimainen toimija, mikä helpottaa kommunikointia ja mahdollista avunsaantia, jos järjestelmä toteutetaan sen tuotteilla. Yritykseltä oli saatavissa suuntaa-antavia toimitusaikoja ja kustannuksia, joita voitiin hyödyntää tehdessä kustannuslaskelmaa ja esittelyä tilaajalle. Kolmas toimittaja oli TTTech Automotivelta. Toimitusaikaa ja hintaa ei kuitenkaan saatu, ja tarjous saapui liian myöhään, koska esittely konseptista tilaajalle oli jo toimitettu sen päättämiseksi, rakennetaanko testiajoneuvoa vai ei.

8.4 Komponentit

Tässä luvussa tarkastellaan sähköjärjestelmän pääkomponentteja, joiden avulla testiajoneuvo voidaan toteuttaa. Näiden valinta perustui ennalta tehtyihin energiantarvelaskelmien tuloksiin. Silloin tiedettiin ja pystyttiin arvioimaan kaikki komponenttien vaadittavat tekniset vaatimukset (taulukko 3, s. 35.).

Tarjouskyselyt näistä komponenteista lähetettiin kolmelle eri valmistajalle: Siemens AG, BRUSA Elektronik AG ja TM4. Tarjouskyselyt lähetettiin pariin otteeseen uudelleen muokattuina, koska vastauksia ei tullut. Lopuksi keskusteluyhteys saatiin avattua kahden toi-

mittajan kanssa. Tästä huolimatta vain yhden toimittajan kanssa päästiin haluttuun lopputulokseen. Yritys jolta saatiin komponenttien hintatietoja ja toimitusaikoja oli BRUSA Elektronik AG. Sen vuoksi tässä konseptisuunnittelussa käsitellään ainoastaan yhden laitevalmistajan komponentteja.

8.4.1 Korkeajänniteakuston laturi

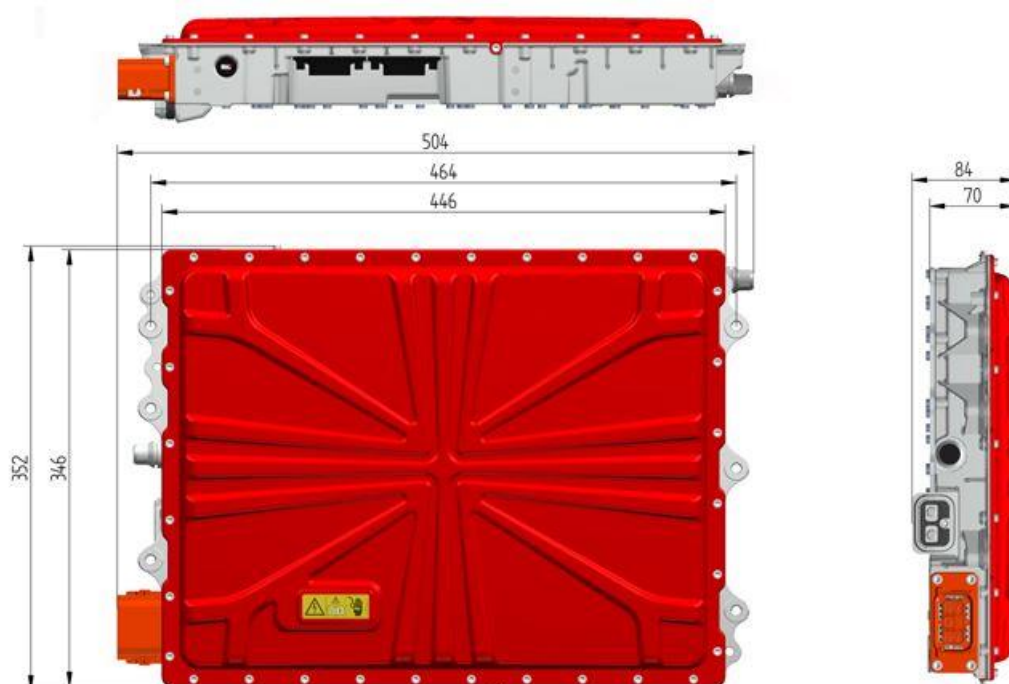
Brusan valmistama 400 V:n ja 22 kW:n laturi (kuva 22). On kooltaan kompakti ja painoltaan kevyt, mikä helpottaa sen sijoitusta. Lisäksi se on yksi tehokkaimmista komponenteista omassa kategoriassaan.

Se on galvaanisesti eristetty sähköturvallisuuden edellyttämin vaatimuksin. Laitteen kokoonpanossa käytetty elektroniikka mahdollistaa sen hiljaisen ja tehokkaan toiminnan. Virransyöttö tapahtuu AC-sisäänmenosta eri tehotasojen sekä tarkan säätötehokertoimen korjauksen kanssa. Tarvittaessa suurempaa tehoa NLG6-sarjan laturi voidaan liittää toisen kanssa rinnan latauksen toiminnan tehostamiseksi. (8)

NLG664 latausteho on tässä työssä todettu riittäväksi konseptisuunnittelussa käytettävien komponenttien kanssa (taulukko 4).



Kuva 22. 400 V:n NLG664-laturi (8).



Kuva 23. NLG664-laturin mitat (8).

Taulukko 4. NLG664-laturin tekniset tiedot (8).

Technical data

Input voltage range single-phase	200-250 V
Input voltage range three-phase	360-440 V
Max. input current three-phase (per Phase)	32 A
Input frequency (+/- 1 %)	45...65 Hz
Output voltage at three-phase input	310-430 V
Max. charging current	60 A
Efficiency three-phase	94 %
Weight	12.0 kg

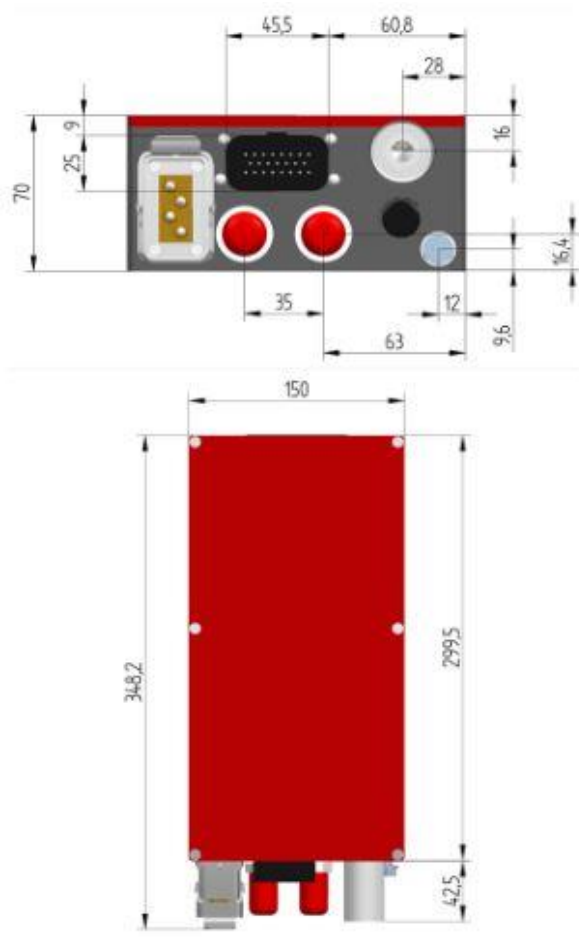
8.4.2 DC/DC-muunnin

Brusan BSC624 – 12 V (kuva 24) on kaksisuuntainen DC/DC-muunnin, jonka galvaaninen erotus on suurjännite- ja pienjännitepiirin välillä. Se sopii erityisen hyvin käytettäväksi sähkö-, hybridi- ja polttokennoajoneuvoissa. Laitetta voi käyttää myös Buck-tilassa, jolloin 12 V:n järjestelmään on mahdollista toimittaa korkeajännitepuolelta sen käyttöön lisävirtaa. Kaksisuuntaisuuden ja monipuolisten kokoonpanovaihtoehtojen ansiosta valmistaja lupaa tälle tuotteelle laajaa sovellusaluetta käyttökohteesta riippuen. (9)

DC/DC-muuntimelta vaaditaan riittävää jatkuvaa tehokapasiteettia ja virransyöttökykyä sekä lisäksi sitä, että pystytään ylittämään 12 V:n järjestelmän maksimitehontarve. Kyseinen komponentti valittiin tähän konseptisuunnitelmaan sen teknisten tietojen perusteella, kun pystyttiin toteamaan se käyttökelpoiseksi vaihtoehdoksi. (Taulukko 5)



Kuva 24. BSC624 -DC/DC-muunnin (9).



Kuva 25. BSC624-DC/DC-muuntimen mitat (9).

Taulukko 5. BSC624-DC/DC-muuntimen tekniset tiedot (9).

Technical data

Voltage range HV	220-450 V
Nominal voltage LV	14.0 V
Voltage range LV	8-16 V
Continuous current LV	200 A
Max. current LV	250 A
Continuous power buck mode	2.8 kW
Max. power buck mode	3.5 kW
Efficiency	94.4 %
Ambient temperature range in operation	-40 to +85 °C
Cooling system	Liquid cooled
IP-protection	IP65
Weight	4.8 kg

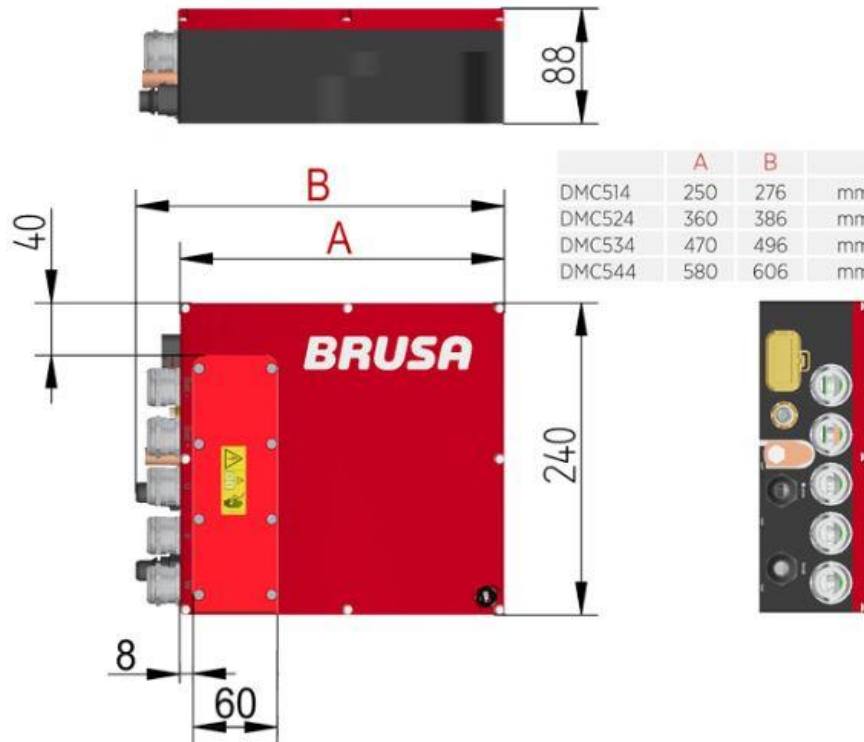
8.4.3 Invertterit

Brusan DMC534-tajuusmuuttaja (kuva 26) on universaali invertteri, jota voidaan käyttää erilaisten kolmivaihemootoreiden ohjaamiseen. Valmistaja ilmoittaa sen olevan teknisesti ratkaisultaan hyvin EMC-yhteensopiva. EMC-käyttäytyminen tarkoittaa sähkömagneettista yhteensopivuutta. Se kuvaa laitteen kykyä toimia siinä ympäristössä, mihin se on tarkoitettu häiritsemättä muita laitteita ja ympäristöä. Silloin se ei myös näin häiriinny muista laitteista ja ympäristöstä aiheutuvista häiriöistä (17). Se kuitenkin rajoittaa sen käyttömahdollisuuden enintään 2 kHz:n moottoritaajuuksilla varustettuihin sovelluksiin. Tuote on kompakti kooltaan, kevyt ja helppo asentaa, joten se on yhteensopiva mahdollisen monessa laitesovelluksessa. (10)

Inverttereiltä vaaditaan yhtenäistä soveltuvuutta muiden komponenttien kanssa. Oleellisimpana asiaan vaikutti niiden jatkuva antoteho sähkömoottoreiden tehontarvetta vastaavaksi. Teknisten tietojen avulla voitiin todeta tämä markkinoilla saatavilla oleva komponentti tähän projektiin sopivaksi (taulukko 6).



Kuva 26. DMC534-invertteri (10).



Kuva 27. DMC534-invertterin mitat (10).

Taulukko 6. DMC534-invertterin tekniset tiedot (10).

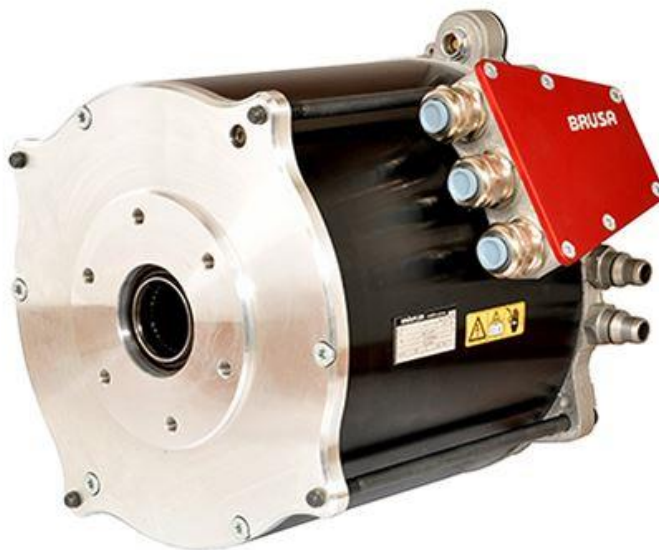
Technical data

Max. power	157 kW
Continuous power	118 kW
Periodic cycle with max. current 30 s 100 %, 90 s 50 %	450 A
Continuous RMS current (I ACcont)	337 A
Range HV - input voltage for operation	120 - 450 V
Min. HV - input voltage for full current output	200 V
Ambient temperature range for operation	-40 to +85 °C
Efficiency	97 %
Weight	12.5 kg

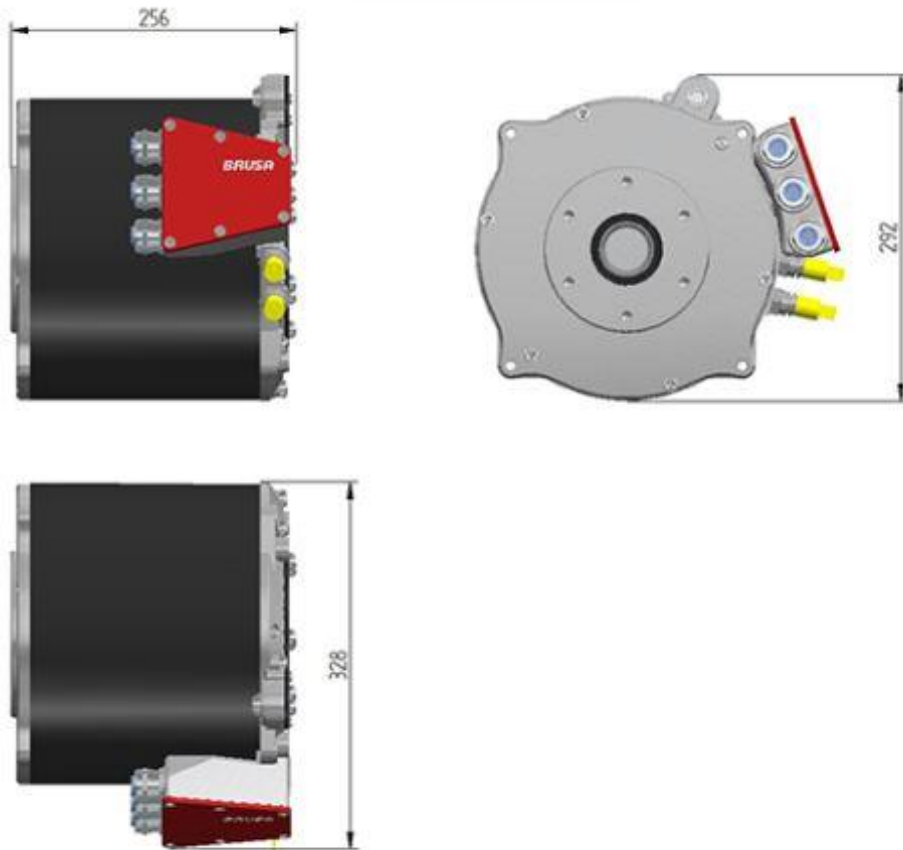
8.4.4 Ajomoottori ja testimoottori

Brusan HSM1-sarjan sähkömoottorit tarjoavat korkean ja jatkuvan käynnistysmomentin (kuva 28). Alkaen 4000 kierroksesta minuutissa moottori pystyy tuottamaan jatkuvan suorituskyvyn aina maksiminopeuteen saakka. Se soveltuu erinomaisesti sähköajoneuvoihin, jotta saavutetaan suuri käynnistyskiihtyvyys ja korkeat huippunopeudet jopa ilman vaihteistoa. (11)

Sähkömoottoreiden kokonaisenergian tarpeeksi vuorokaudessa on arvioitu 43,1 kWh. Tämä täytyy ottaa huomioon 400 V:n järjestelmän akuston kokonaiskapasiteettia suunniteltaessa. Sähkömoottorit on valittu konseptisuunnittelussa toteutuskelpoisimmaksi vaihtoehdoksi päädytyn täyssähkökäyttö numero 5:n mukaan. Niiden jatkuvateho on silloin riittävä määritellyssä käyttötilanteessa. (Taulukko 3, s. 35; taulukko 7.)



Kuva 28. HSM1-6.17.12-sähkömoottori (11).



Kuva 29. HSM1-6.17.12-sähkömoottorin mitat (11).



Kuva 30. HSM1-6.17.12-sähkömoottorin teho- ja vääntömomentti (11).

Taulukko 7. HSM1-6.17.12-sähkömoottorin tekniset tiedot (11).

With inverter DMC534 at 400 VDC	
Nominal speed	3'600 rpm
S1 - torque	130 Nm
Max. torque (at max. inverter current)	320 Nm
Contiuous power	70 kW
Max. power	120 kW
Max. speed	12'000 rpm
Efficiency	95 %
Weight	51.5 kg

8.4.5 Lämmitysjärjestelmän vaihtoehdot

Lämmitysjärjestelmä ei varsinaisesti ole testiajoneuvon konseptisuunnittelun oleellisin järjestelmä, mutta projektialavereissa sovittiin, että ajoneuvo on varustettava tällaisella. Tilaajan vaatimus oli, että autossa on huurteenpoisto sitä tarvittaessa. Sillä auton käyttölämpötila on erittäin laaja ja pääasiassa koko ajan pakkasen puolella -23–40 °C. Täysin sähkövoima käyttöisen lämmitysjärjestelmän selvittäminen oli kuitenkin haastavaa. Tarjouskysely tähän liittyen lähetettiin Eberspächer Finlandille, jonka toimittaja Suomessa on Wihuri Oy Tekninen Kauppa. Yrityksen kanssa keskusteluyhteyttä ei valitettavasti saatu avattua.

12 V:n järjestelmä

12 V:n järjestelmään on saatavilla perinteisiä henkilöautokäyttöön soveltuvia sisätilanlämmittin puhaltimia. Niitä on saatavilla monilla eri tehokkuuksilla käyttötarpeesta riippuen. Ne ovat kooltaan pienikokoisia ja painoltaan kevyitä, mikä helpottaa niiden sijoitusta. Yleensä niissä on myös säädettävä puhallusnopeus tarpeen mukaan, jolloin huurretta pystyttäisiin poistamaan tarvittaessa myös nopeammin. Täysin sähkökäyttöistä lämmitintä käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon myös sen virrankulutus. Tämä kuluttaa käytössä ollessaan myös ajoneuvon akuston kokonaiskapasiteettia ja lyhentää testiajoneuvon toimintamatkaa.

Polttoainekäyttöinen lisälämmitin

Jälkimarkkinoilla löytyy kyseiseen käyttöön myös polttoainekäyttöisiä lisälämmittimiä. Tämä tarvitsee toimiakseen myös ohjausjännitteen ja -virran, mutta kuluttaa huomattavasti vähemmän korkeajänniteakuston kapasiteettia kuin sähkökäyttöinen lämmitin. Saatavilla on sekä bensiini- ja dieselukäyttöisiä lisälämmittimiä. Diesel on kuitenkin edullisempi käyttökustannukseltaan, koska tämä fossiilinen, polttoaine on yleensä halvempaa. Lisälämmitin tarvitsee erillisen polttoainesäiliön, mikä ei tue täysin tämän konseptisuunnittelun päämäärää sähkövoimakäyttöisenä testiajoneuvona.

8.4.6 12 V:n järjestelmän akku

Tämän järjestelmän ohjainakuksi päätettiin valita kapasiteetiltaan varmasti riittävä valmis tuote markkinoilta. Se kuitenkin selviää ja voidaan päättää vasta auton varsinaisessa rakennusvaiheessa, kun on täysin tiedossa, mitä komponentteja käytetään ja mitkä ovat niiden tekniset tiedot. Tämän projektin suuntaa antavana arviona todettiin tarpeellisen kapasiteetin olevan noin 75-120 ampeerituntia. 12 V:n akku on sähköajoneuvon toiminnalle tärkeä komponentti, sillä ilman ohjausjärjestelmän käyttöjännitettä ajoneuvoa ei voi käynnistää. Satunnaisissa tapauksissa on esiintynyt saatavilla olevissa hybridi- ja sähköajoneuvoissa ongelmana, että 12 V:n akun kapasiteetin varauksen päästessä liian alhaiseksi, se voi aiheuttaa vikatilaa, jossa tarvitaan huoltotoimenpiteitä.

Luvussa mainitun DC/DC-muuntimen tarkoitus on muuntaa ajoakustolta varattua korkeajännitteistä sähköenergiaa sopivaksi pienempään 12 V:n järjestelmän akkuun. Tällöin se ei tarvitse erillistä omaa laturia, mikä on sähköajoneuvoille tyypillinen konstruktio myös normaaliliikenteessä olevilla henkilöautoilla.

8.5 Pakkaussuunnittelu

Pakkaussuunnittelussa pohdittiin, miten eri komponentit olisi mahdollisesti hyvä sijoittaa testiajoneuvossa. Tähän oleellisesti vaikuttavat komponenttien koko ja paino. Lisäksi oikeanlaisen painonjakautuman saavuttamiseksi pohdittiin, mihin voitaisiin sijoittaa painavat komponentit ja mihin kevyet. Ylimääräisen tilan ollessa kuitenkin hyvin rajallista vaihtoehtoja oli vähän.

8.5.1 Testimoottori ja ajomoottori

Toteutuskelpoisimmaksi vaihtoehdoksi tässä konseptisuunnittelussa valittiin täyssähkökäyttö viisi, joka on esitelty luvussa 4.9. Sähkömoottorit sijoitetaan konsepti vaihtoehdossa viisi esitellyn rakenteen mukaan (kuva 7).

8.5.2 Korkeajännitelaturi, DC/DC-muunnin ja invertterit

Tässä luvussa käsitellään otsikon komponenttien mahdollista sijoitusta.



Kuva 31. Hiluxin ohjaamon takaosa.

Korkeajännitekomponenttien sijoittelu suunniteltiin sijoitettavaksi auton ohjaamon takaosaan penkkien taakse. Vaihtoehtona on sijoittaa, nämä komponentit ajoneuvon hytin takaseinän välittömään läheisyyteen kuljetuslavalle. Rakennusvaiheessa näille suunnitellaan niille parhaiten soveltuvat kiinnitykset ja tarvittavat suojaukset koteloiin.

9 Akusto

Auton alkuperäinen moottori ja vaihteisto painavat yhteensä noin 320 kg. Korkeajänniteakusto suunniteltiin sijoitettavaksi kokonaisuudessaan moottoritilaan näiden tilalle, kun ne on poistettu ajoneuvosta. Edellä mainittujen painosta vähennettäessä asennettävien komponenttien yhteispaino ja painon jakautuminen huomioiden jäi akuston painokapasiteetiksi maksimissaan 200 kg. Akuston sijoittaminen auton etuosaan on tässä tapauksessa luonnollisin vaihtoehto, jotta painopiste olisi mahdollisimman edessä. Testaustilanteessa tämä helpottaa kulmapainojen muuttamista ja mahdollistaa mahdollisimman monen eri rengaskoon testaamisen.

Akustosta lähetettiin tarjouskysely, kolmelle valmistajalle: Lithium Energy Japan, Panasonic Corporation ja Kokam. Yhteydenotot ja keskusteluyhteyden avaaminen toimittajien kanssa tuottivat heikosti tulosta. Uudelleen lähetetyillä ja muokatuilla tarjouskyselyillä eri toimittajille ei edellä mainittujen toimittajien kanssa valitettavasti keskusteluyhteyttä saatu avattua. Lopuksi Metropolia Ammattikorkeakoulun omia kontakteja hyödyntäen saatiin yhteys suomalaiseseen Valmet Automotiveen, mutta sekään ei tuottanut toivottua tulosta. Akuston perustiedot toimitettiin kyseisen yrityksen yhteyshenkilölle, mutta muiden isompien tuotantoprojektien mennessä yksittäisen edelle ei kuitenkaan onnistuttu saamaan sitovaa tarjousta.

9.1 Akkukemiat

Akkukemioita on saatavilla markkinoilla jo monia erilaisia. Näiden käytössä oleellisinta on niiden käyttöturvallisuus ja hallinta. Esimerkiksi avoimen rakenteen akkuja ladattaessa kemiallisten reaktioiden myötä niistä vapautuu ilmaan purkauskaasuja, jotka ovat erittäin räjähdysherkkiä yhdisteitä.

Akkukemioiden ja niiden erot ominaisuuksissa ovat moninaisia. Niillä on eri energiatiheys, -paino ja -tilavuus. Nämä ovat suoraan verrannaisia niiden suorituskykyyn käyttökohteesta riippuen. Akkukemiat poikkeavat toisistaan myös hinnaltaan, elinkaareltaan ja turvallisuudeltaan.

Käytännössä akku on sähkökemiallinen energiavarasto, joka koostuu kahden elektrodin yhdistelmästä. Nämä on yleensä erotettu separaattorilla. Elektrodit on upotettu elektrolyyttiin, jotka yleisesti ovat nestemäisessä tai geelimäisessä muodossa. (13)

Akut voidaan jakaa eri luokkiin käytetyn elektrodimateriaalin mukaan. Esimerkiksi happoakussa elektrodit ovat lyijyä ja lipeäakussa ne voivat olla nikkeliä, rautaa, kadmiumia tai jotain metallihybridi seosta.

Akkukemian perusteella akut voidaan jakaa myös seuraavasti:

- litiumioniakut (NMC, LFP, LTO, LiPo)
- nikkeli-metallihydridiakku (NiMH)
- nikkeli-kadmiumakku (NiCd)
- lyijyakut (huoltovapaat, AGM-akut ja geeliakut).

Akuissa yleinen ongelma on niiden paino. Auton painon kasvaessa akun painon vuoksi ne joutuvat luovuttamaan enemmän energiaa tarvittavaan liikkumiseen ja silloin niiden suorituskyky laskee nopeammin. (13; 14)

Tässä konseptisuunnittelussa pohdittiin alustavasti parhaiten sopivaksi akkukemiaksi litium-titanaattia ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Sillä on todella laaja käyttölämpötila alue -30 - 55 °C, joka soveltuisi tähän käyttötarkoitukseen erinomaisesti. Sen hyötysuhde ja lataamisominaisuus on parempi muihin hiilipohjaisiin akkukemioihin verrattuna. Akun syklinen käyttöikä on lisäksi todella pitkä > 3000 – 7000 sykliä. Kyseiset akut ovat myös erittäin vakaita käytössä ja turvallisia. Taustatutkimukset ovat osoittaneet, että sitä voidaan ladata paljon nopeammin kuin toisia litiumioniakkuja. Nämä ovat myös osoittaneet edustavansa niin sanottua ”vihreää elinkaarta” ja ovat myös ympäristöystävällisiä. Litium-titanaattiakku on ideaalinen vaihtoehto korkealuokkaisiin ja pitkää käyttöikää vaativiin sovelluksiin. Tämä akkukemia on kuitenkin nykyään vielä suhteellisen haasteellinen. Se on yksi kalleimmista ja vaikein markkinoilla saatavilla olevista ja painoltaan painavammista akkukemioista. Sen täyttä soveltuvuutta projektiin on konseptisuunnitteluhetkellä vaikea arvioida. (16)

9.2 Kapasiteetin määrittely

Kapasiteetin määrittelyssä käytettiin viitteellisiä ja arvioituja arvoja, koska mitään vertailukohdetta tällaiselle testiajoneuvolle ei ole tällä hetkellä saatavilla. Toimintasäteen vaatimukseksi on arvioitu noin kymmenen testiajtoa per testattava rengas. Tästä kertyy matkana pituutta noin neljä kilometriä yhdellä renkaalla. Renkaanvaihtoja päivässä olisi noin 20 kertaa. Ajoneuvon testinopeus on 8 km/h. Polanne on pehmeällä reunalla, joka vastustaa vähemmän. Lopulliseksi arvioksi muodostui testiajoneuvolla ajoa 50 kilometriä päivässä. Voisi tarve olla kuitenkin 100 kilometriä päivässä, joka on arvioituna ns. pahin skenaario. Käyttöäksi tässä konseptisuunnittelussa lähdettiin siitä, että ajoneuvon käyttöikä on 10-20 vuotta.

9.3 Energiatasapainon määrittely

Täysin sähkökäyttöisessä testiajoneuvossa arvioitu mahdollinen energiankulutus on merkittävä akuston kapasiteetin kannalta. Ajomatkan ollessa 100 km päivässä ja energian tarpeen ollessa 220 Wh per kilometri muodostuu kokonaiskuormitukseksi tarvittavalle ajolle noin 22 kWh. Käytettäessä toimilaitteita ja sähkökäyttöistä lämmitintä, joiden energiantarve on noin 3 kWh ollessaan koko ajan päällä muodostuu sen kokonaiskulutukseksi kahdeksan tunnin työpäivän aikana noin 24 kWh. Kun nämä kaikki lasketaan yhteen, muodostuu kokonaisenergiantarpeeksi pyöristettynä ylöspäin noin 50 kWh. (19; 20)

9.3.1 Pieni akku

Käytettäessä lämmitykseen jotain muuta vaihtoehtoa kuin sähkökäyttöistä riittäisi korkeajänniteakuston kapasiteetiksi pienempi akku. Tällöin testiajoneuvon kokonaispainokin saadaan kevyemmäksi. Tämä vaikuttaa positiivisesti taas kokonaistoiminta matkaan, sillä kevyemmän auton liikkumiseen tarvitaan myös vähemmän energiaa ja akuston varustaso laskee hitaammin. Pienemmän akun latausta on myös mahdollista suorittaa helpommin ja useammin, niin kuin edellä jo todettiin, jos autoa ladattaisiin myös lyhyimmillä ja pidemmillä tauoilla myös testipäivän aikana. Kustannuksiltaan se olisi myös oletettavasti huomattavasti edullisempi konstruktionkin ollessa pienempi.

9.3.2 Suuri akku

Jos korkeajänniteakusto olisi suurempi pystyttäisiin saavuttamaan tavoite, että testiajoneuvo olisi täysin sähkövoimakäyttöinen. Tämä on toki kustannuksiltaan korkeampi toteuttaa. Se lisää myös auton painoa, joka lisää sen liikkumiseen tarvittavan energian tarvetta. Suuremman akuston lataaminen on myös enemmän aikaa vievää, koska sen lämmittämiseen menee enemmän aikaa, jotta se ottaa virtaa paremmin vastaan. Järkevin lataustapa olisikin silloin ladata aina yön yli ja testiajoneuvon ollessa poissa ajosta. Silloin säästytään mahdollisilta haittatekijöiltä, joita voi kiireiseinä työpäivänä aiheutua.

10 Lataus

Akuston latausta varten jälkimarkkinoilla on jo nyt erilaisia vaihtoehtoja. Sähköautojen yleistyessä myös henkilöautokannassa ja päästönormien tiukentuessa on laitevalmistajien ollut pakko reagoida tähän pysyäkseen kehityksessä mukana ja kilpailukykyisinä. On myös laadittu erilaiset latauspistokestandardit, joiden eri lataustavoille on vaatimukset saatava täytettyä ennen tuotteen saattamista asiakastason myyntiin ja käyttöön. (18)

Alkuperäisenä suunnitelmana oli, että akustoa ladattaisiin yön aikana, kun ajoneuvo ei ole käytössä, ja työpäivän ruokatauon aikana, kun sillä ei ajeta. Konseptisuunnittelun edetessä alettiin kuitenkin pohtia vaihtoehtoa, että autoa ladattaisiinkin myös lyhyempien taukojen ja testirenkaan vaihdon aikana.

Lähtötiedot Test Worldilta Ivalosta saatiin kahdesta yrityksellä jo olevasta latauslaitteesta. Ne ovat CHADeMO 50 kW ja CCS 100kW. Aikataulun kiristymisen myötä tämän insinööriyön aikana lataukseen ei valitettavasti päästy perehtymään tarkemmin korkeajänniteakuston ollessa vielä valitsematta. Tässä luvussa yleisesti erilaisia lataustapoja ja latausstandardeja.

10.1 Lataustavat

Yleisimmiten käytössä ja markkinoilla nykyään on neljä erilaista lataustapaa eli ns. modea.

Mode 1 on niin sanottu hidas lataustapa. Siinä ei ole käytössä erillisiä latauksen valvontalaitteita. Lataus tapahtuu tavallisen vikavirrallisen sukopistorasian kautta. Mode 1:tä käytetään yleensä vain pienkoneissa ja esimerkiksi mopoautojen latauksessa.

Mode 2:si -lataustapaa käytetään myös tavallisen talosähkösukopistorasian kautta. Latauskaapelissa on tällöin siihen kiinteästi sijoitettu toimintaa aktiivisesti valvova suoja-laite. Tämä on suunniteltu sähköajoneuvon tilapäiseen lataukseen, kun latausasemaa ei ole käytettävissä.

Mode 3 -tyypin lataus tapahtuu erillisestä lataamiseen suunnitellusta asemasta. Tällöin ladattava auto ja latausasema kommunikoivat latauskaapelin kautta. Tämän avulla latausteho pystytään säätämään käytössä olevien sähkökytkentöjen mukaisesti. Samalla voidaan olla täysin varmoja auton kytkennästä oikein latausasemaan.

Mode 4 on niin sanottu tehollataus, jossa käytetään suuritehoista tasasähköä. Lataustapaa käytetään nykyään esimerkiksi palveluasemilla ja muissa paikoissa, joissa tarvitaan nopeaa latausta. Latauskaapeli on yleensä integroitu kiinteästi latausasemaan, jotta se kestää suuria virtoja ja pysyy lukittuna latauksen aikana. (15)

10.2 Latausstandardit

Latausasemat voivat esimerkiksi olla varustettuja seuraavaksi mainittujen standardien mukaisesti. Näihin pystytään myös sijoittamaan vaihtovirtalataukselle sopiva sukopistorasia varsinaisen lataustavan lisäksi. (18)

CCS, Combined Charging System (Combo) on käytössä oleva lataustapa, jossa yhdistyy tyyppiin 2 pikalataus yhteen pistokyttimeen. CCS -latauksessa yhdistetään yksi- ja kolmi-vaiheinen vaihtovirta- ja tasavirtalataus autoon. Lisäksi julkisille paikoille löytyy käyttöön sopiva erikoisnopea tasavirtalataus. Tämä lataustapa on hallitseva järjestelmä Euroopassa ja USA:ssa.

CHAdEMO -lataustapa on tasavirta käyttöön perustuva japanilainen latausstandardi, jota käyttävät mm. Mitsubishi, Nissan ja Toyota, sekä näiden kumppanit Peugeot iON ja Citroën C-Zero.

Chameleon -lataustapa on poikkeava edellisistä ratkaisuista ja se on Renault'n käyttämä järjestelmä. Järjestelmässä muunnin on sijoitettu autoon ja autoa voidaanakin ladata vaihtovirralla ja maksimissaan 43 kW:n teholla. Latausasemat ovat tässä järjestelmässä vaihtoehtoisia ratkaisuja edullisempia. (15)

11 Yhteenveto ja päätelmät

Insinööriyössä tehtiin toteutuskelpoinen konseptisuunnittelu rengaskitkan mittausajoneuvosta. Toyota Hilux 4wd -mallisarjan 2005–2015 ajoneuvosta tehtiin perusteelliset energian tarve- ja kulutuslaskelmat, joiden avulla pystyttiin määrittämään sähköjärjestelmän komponenttien vaatimukset. Laskelmien perusteella tutkittiin erilaisia voimansiirto-ratkaisuja ja niiden mahdollisuutta toteuttaa.

Konseptisuunnittelu testausajoneuvosta ja muutos polttomoottorikäyttöisestä täysin sähkövoimakäyttöiseksi oli todella haastavaa. Erityisen paljon haasteita koitui ajoneuvon painorajoitusten ja komponenttien valinnan suhteen. Eri voimansiirto ratkaisuja jouduttiin rajaamaan pois, koska komponenttien vaatimukset olivat suhteellisen kovat, minkä seurauksena komponenttien paino, koko ja sijoitus eivät olleet mahdollisia tietyissä tapauksissa.

Mekaniikkasuunnittelun alussa selvitettiin ensin ajoneuvon liikettä vastustavat voimat, joiden avulla saatiin loppuun laskettua tarvittavat välityssuhteet planeettatyypisille alennusvaihteille. Alennusvaihteiden valinta oli varsin haastavaa, koska vääntömomentin tarve varsinkin testikäytössä olisi suuri. Testaustilanteessa tapahtuva voimien mittaaminen ja mitta-antureiden sijoitustapa pyrittiin selvittämään erilaisilla vaihtoehdoilla. Taka-akselille

tuleva lisäilmajousitus oli helppo valita, koska kyseiseen ajoneuvomalliin on saatavana valmis asennuspaketti.

Mekaniikkasuunnittelussa onnistuttiin löytämään tarvittavat rakenneratkaisut, kun eri vaihtoehdot käytiin läpi. Tällainen suunnitteluprojekti oli varsin mielenkiintoinen, koska siinä päästiin soveltamaan teoriaopintoja käytännön ajoneuvoprojektiin.

Sähkösuunnittelussa edettiin siten, että ensin 12 V:n järjestelmän määrytykset tehtiin ja valittiin toimilaitteet, jotka testiajoneuvossa ovat tarpeellisia. 400 V:n järjestelmän kokonpanosuunnittelussa päästiin käytännössä etenemään kunnolla siinä vaiheessa, kun toteutuskelpoisin voimansiirtoratkaisu oli valittu.

Kokemusta koulutuksen ajalta tällaisesta konseptisuunnittelusta oli vähän, joten tämä oli ainoa laatuaan. Haastavinta oli saada komponenteista tarjouksia tämänlaiseen yksittäisprojektiin. Täysin sähkökäyttöisen ajoneuvon voimansiirron komponenteista suurin osa saatiin valittua: DC/DC-muunnin, korkeajännitelaturi, invertterit ja sähkömoottorit. Avoi-meksi jäivät korkeajänniteakusto, huurteenpoisto eli lämmitysjärjestelmä ja 12 V:n akku teknisen määrittelyn ollessa vielä työn alla tämän insinööriyön aikana.

Kokonaisuudessaan tämä konseptisuunnittelu on samalla myös erittäin opettavainen. Sen avulla kokonaisuuskuvan hahmottaminen ja projektin alusta loppuun vieminen eri-osa-alueilla antoivat hyvän laajan pohjan vastaavalle työlle tulevaisuudessa. Asioita on syytä tarkastella mahdollisimman monesta eri näkökulmasta, eikä mitään vaihtoehtoa kannata rajata pois liian aikaisin. Oleellista on myös tehdä päätöksiä silloin, kun on tarpeellista eikä pyörittää samoja asioita pöydällä liian pitkään.

Testiajoneuvoa voidaan kehittää samalla, kun nykytekniikka kehittyy. Tämä vaatii myös lisäinvestointia, sillä uudet komponentit ovat yleensä kustannuksiltaan kalliimpia. Jois-sain tapauksissa ne voivat olla edullisempia valmistuskustannuksien laskiessa.

Lähteet

1. F1805 Standard. ASTM International. Test Method for Single Wheel Driving Traction in a Straight Line on Snow and Ice-Covered Surfaces.
2. Toyota Hilux autoesite. Toyota Auto Finland. Verkkodokumentti. <Toyota_Hilux_autoesite_022008_tcm-3018-276190.pdf>. Luettu 15.3.2018.
3. Laine, Olavi. 1979. Autotekniikka 1. ajo-ominaisuudet. Tampere: Oy Sonator AB.
4. Tuononen, Ari & Koisaari, Tapio. 2010. Ajoneuvojen dynamiikka. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy.
5. Planeettavaihteet. Verkkodokumentti. Konaflex. <<http://www.konaflex.fi/wp-content/uploads/som-planeeta-pg-pga.pdf>> Luettu 10.4.2018.
6. Suvanto, Kari. 2012. Tekniikan fysiikka 1. Helsinki: Edita Publishing Oy.
7. Force Sensors. Verkkodokumentti. ME-Meßsysteme. <<https://www.me-systeme.de/shop/en/sensors/force-sensors/k3d/k3d160/k3d160-2kn4>> Luettu 10.4.2018.
8. Charger - 400 V. Verkkodokumentti. Brusa. <<http://www.brusa.biz/en/products/charger/charger-400-v/nlg664.html>>. Luettu 3.5.2018.
9. DC/DC Converter. Verkkodokumentti. Brusa. <<http://www.brusa.biz/en/products/dcdc-converter/hv1v-400-v/bsc624.html>>. Luettu 3.5.2018.
10. Controller - 400 V. Verkkodokumentti. Brusa. <<http://www.brusa.biz/en/products/drive/controller-400-v/dmc534.html>>. Luettu 3.5.2018.
11. Motor - 400 V. Verkkodokumentti. Brusa. <<http://www.brusa.biz/en/products/drive/motor-400-v/hsm1-61712.html>>. Luettu 6.5.2018.
12. Saarinen, Lasse. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47133/Saarinen_Lasse.pdf>. Luettu 15.10.2018.
13. Battery University. Introduction. Verkkodokumentti. <https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_002_introduction>. Luettu 18.10.2018.
14. Niemi, Miro. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110056/Niemi_Miro.pdf>. Luettu 19.10.2018.

15. Latausasemat. Garo. Verkkodokumentti. <https://www.garo.fi/fileadmin/garofi/Kataloger/AU/Latausasemat_05-13.pdf>. Luettu 19.10.2018.
16. Batteryspace. LTO Batteries. Verkkodokumentti. <<https://www.batteryspace.com/Lithium-Titanate-Battery.aspx>>. Luettu 20.10.2018.
17. Sorri, Eero. SESKO. EMC-Standardit. Verkkodokumentti. <<https://www.kamk.fi/loader.aspx?id=10f06ed9-3ddf-4bcc-a120-168495dad941>>. Luettu 25.10.2018.
18. International Electrotechnical Commission. IEC 61851-1 Standard. 2017. Electric vehicle conductive charging system - Part 1.
19. Sähköautoilu. 2017. Verkkodokumentti <<https://sahkoautoilu.fi/2017/10/27/miten-pitkalle-teslalla-paasee/>>. Luettu 30.10.2018.
20. Pistoia, Gianfranco. Elsevier. 2010. Electric and Hybrid Vehicles: Power Sources, Models, Sustainability, Infrastructure and the Market.

12 V Järjestelmän kulutus taulukko

x Alla olevat 12V-järjestelmän tiedot on otettu 2005-2006 vuoden Toyota Hilux Service Manual:n sulakekaaviosta ja näiden perusteella arvioitu niiden tehon tarvetta ja käyttöä prosentteina(%). Arviot ovat prosentteina kuvitellun päivän aikaisen käyttöön kuluvan ajan mukaan.							
Matalajännite, LV	12 V	Virta A (MAX)	Kuluttajat lkm	Teho W	Käyttö %	Kulutus W	Kommentit
Ilmajouset		23	2	552	12 %	66	Kulutus arvio 66W, jos jousia käytetään esimerkiksi yhteensä 1h päivässä.
Sähköhydrauliset tunkit		67	1	800	12 %	96	Kulutus arvio 96W. (Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää manuaalisesti täytettävää painesäiliötä.)
Mittaristo		0,38	1	4,56	100 %	5	Kulutus arvio 5W. Näytön kirkkauden ollessa säädetty maksimiin 100%.
Ajovalot		20	2	480	50 %	240	Kulutus arvio 240W, kun ajovalot ovat pääasiassa aktiivisesti käytössä.
Penkinlämmitin/lämmittimet	PTC NO.1	50	1	600	40 %	240	Kulutus arvio 240W, kun penkinlämmitin on aina tarvittaessa käytössä.
Lämmityspuhallin	PTC NO.2	30	1	360	65 %	234	Kulutus arvio 234W, kun puhallus on päällä ja ilman lämpötila säädetty korkeaksi.
ABS	NO.1	40	1	480	5 %	24	Kulutus arvio 24W, koska abs-jarrujen toiminta erittäin vähäistä.
	NO.2	30	1	360	5 %	18	Kulutus arvio 18W, koska abs-jarrujen toiminta erittäin vähäistä.
Sähkölasit		30	1	360	10 %	36	Kulutus arvio 36W. Sähkölasien käyttö päivän aikana vain harvoin ja vähän.
Takalasinlämmitin		20	1	240	40 %	96	Kulutus arvio 96W, kun takalasinlämmitin on aina tarvittaessa käytössä.
Tuulilasin pyyhkijät ja pesulaite		20	1	240	10 %	24	Kulutus arvio 24W. Tuulilasinpesuria käytettäessä vain harvoin.
Suuntaviilkut ja hätäviilkut		15	1	180	5 %	9	Kulutus arvio 9W, koska käyttö erittäin harvinaista
Äänimerkki		10	1	120	1 %	1,2	Kulutus arvio 1,2W, koska käyttö erittäin harvinaista.
Keskuslukitus, Kauko-ohjaus		25	1	300	5 %	15	Kulutus arvio 15W, koska käyttö erittäin vähäistä.
KIERTOESIPUMPPU, JOHNSON PUMP 10-24502-03		1,17	2	28,0	100 %	28	Kulutus arvio 28W, kun lämmitysjärjestelmä on varustettu kahdella kiertovesipumpulla ja ne ovat käytössä koko ajan.
ECU / Ohjaus sulakkeet							
Sähköpeilit	(ACC)	7,5	1	90	5 %	4,5	Kulutus arvio 4,5W, koska ohjauksen tarve erittäin vähäistä.
Keskuslukitus ja sisävalot	(DOME)	7,5	1	90	5 %	4,5	Kulutus arvio 4,5W, koska ohjauksen tarve erittäin vähäistä.
Ajovalot	(ECU-B)	7,5	1	90	25 %	22,5	Kulutus arvio 22,5W, koska ajovalojen ohjaus pääasiassa aktiivinen.
ABS, keskuslukitus ja takavalo	(MET)	7,5	1	90	30 %	27	Kulutus arvio 27W, koska takavalojen ohjaus pääasiassa aktiivinen, mutta ABS-jarrujen ja keskuslukituksen ohjaus harvinaista.
4WD, ABS, takavalot, PTC-H, takalasinlämmitys, vilkut ja äänimerkki	(ECU-IG&GAUGE)	10	1	120	60 %	72	Kulutus arvio 72W, koska takavalot ja takalasinlämmitys käytössä koko ajan, mutta 4WD, ABS, vilkkujen ja äänimerkin käyttö vähäistä.
ABS ja jarruvalo	(STOP)	10	1	120	10 %	12	Kulutus arvio 12W, koska ohjauksen tarve ajoittaista ja vähäistä.
PTC-H ja takavalo	(TAIL)	10	1	120	50 %	60	Kulutus arvio 60W, koska ohjaus pääasiassa koko ajan aktiivinen.
Tupakansytytin	(CIG)	15	1	180	5 %	9	Kulutus arvio 9W, koska ohjauksen tarve erittäin vähäistä ollessaan poissa käytöstä.
Power Outlet	(PWR OUT)	15	1	180	5 %	9	Kulutus arvio 9W, koska ohjauksen tarve erittäin vähäistä.
Muu laitteisto:							
2 x Kannettava tietokone ja laturi		7,5	2	180	100 %	180	Kulutus arvio 180W, koska oletetaan että tiedunkeruulaitteistoa käytetään kokoajan
BMS ja hybridiohjaimet ym.			1	200	100 %	200	Kulutus arvio 200W. Laitteiden ollessa kokoajan aktiivisesti päällä.
				12V kuluttajat yhteensä:		1732 W	
				Virta:		120 A & 14,4V	

Osaluettelo / BOM

<u>BOM</u>						
<u>Osa</u>	<u>Järjestelmä</u>	<u>Tyyppi</u>	<u>Pvm.</u>	<u>Toimittaja</u>	<u>Määrä</u>	<u>Paino g</u>
Mittaristo	12V	Tiedonanto	14.3.2018	MoTec.fi	1	N/A
Ilmajouset	12V	Tasonsäätö	23.2.2018	Suomen maasto- autotarvike Ky	1.sarja	N/A
Kompressorisarja	12V	Tasonsäätö	23.2.2018	Suomen maasto- autotarvike Ky	1	N/A
	*Ilmajouset					
Sähköhydrauliset- tunkit	12V	Tasonsäätö	19.3.2018	Suomen Vaunuosa Oy	1	N/A
Voima-anturi	12V	Anturointi	19.3.2018	ME-Meßsysteme GmbH	2	8350
DC/DC-Muunnin	400V	Muunnin	25.4.2018	BRUSA Elektronik AG	1	4800
Sähkömoottori	400V	Moottori	25.4.2018	BRUSA Elektronik AG	2	51500
Invertteri	400V	Invertteri	25.4.2018	BRUSA Elektronik AG	2	12500
HV-Laturi	400V	Laturi	25.4.2018	BRUSA Elektronik AG	1	12000
Planeettapyörästö	Voimansiirto	Alennusvaihde	3.5.2018	Konaflex Oy (Comer Industries)	1	18000
Planeettapeyörästö	Voimansiirto	Alennusvaihde	3.5.2018	Konaflex Oy (Comer Industries)	1	67000
Ohjaujärjestelmä	12V/400V	N/A	17.5.2018	EPEC Oy	1	N/A
Sähkötarvikkeet	400V	N/A	15.5.2018	N/A	1	N/A
Sähkötarvikkeet	12V	N/A	15.5.2018	N/A	1	N/A
Akku	12V ja 400V		18.5.2018	TBD	1	TBD
<u>Ajoneuvo</u>						
Auto	Testilaite	N/A	12.5.2018	Hilux 4wd vm. 2005-2015		N/A