



Joni Toivanen

Johtosarjan suunnittelu ja toteutus

Ford Escort mk2

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

10.5.2021

Tiivistelmä

Tekijä: Joni Toivanen
Otsikko: Johtosarjan suunnittelu ja toteutus
Sivumäärä: 50 sivua + 3 liitettä
Aika: 10.5.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine: Autosähkötekniikka
Ohjaajat: Lehtori Pasi Kovanen

Insinööriyön tavoitteena on Ford Escortin johtosarjan suunnittelu ja valmistus. Insinööriyön aloitushetkellä ajoneuvon alkuperäisestä johtosarjasta oli jäljellä vain osia ja ajoneuvon muut komponentit oli purettu pois. Suunnitteluvaiheessa valittiin johtimien materiaali ympäristön vaatimusten mukaisesti ja määritettiin johtimien mitoituksen perusasiat.

Johtosarjan suunnittelua varten insinööriyössä selvitettiin, miten johtosarja suunnitellaan, pakataan ja valmistetaan siten, että se korvaa täydellisesti vanhan ja mahdollistaa ajoneuvon toimimisen tieliikennelakien mukaisesti. Sähköjärjestelmän suunnittelun tavoitteena oli, että johtosarjasta saataisiin huomattavasti kevyempi ja nykyaikaisempi. Johtosarjan suunnittelussa keskityttiin valitsemaan oikeat johtimien poikkipinta-alat, materiaalit, sulakkeet, huomioon ottaen johtimen ympäristöstä aiheutuvan lämmönvaihtelun ja johtimien läpikulkevan virran mukaan. Lisäksi koko johtosarja suojattiin olosuhteiden mukaisesti.

Insinööriyön tavoitteet saavutettiin. Johtosarja saatiin toteutettua ja suunniteltua sekä kytkentäkaavio ja johtimien reititys tehtyä. Johtosarjasta tuli modernimpi ja huomattavasti kevyempi.

Avainsanat: johdon mitoitus, johtosarja, suojaus, suunnittelu

Abstract

Author: Joni Toivanen
Title: Designing and Implementing a Wiring Harness
Number of Pages: 50 pages + 3 appendices
Date: 10 May 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive engineering
Professional Major: Automotive Electronic Engineering
Instructors: Pasi Kovanen, Senior Lecturer

The aim of this thesis was to design and manufacture a wiring harness for Ford Escort. At the beginning of the thesis work only parts of the original wiring harness of the vehicle were left and the other components of the vehicle had been dismantled. During the design phase, the material of the conductors was considered in accordance with the requirements of the environment, and the basics of dimensioning the conductors were also considered.

For the design of the wiring harness, it was necessary to find out how a wiring harness is designed, packaged and manufactured in such a way that it completely replaces an old wiring harness and enables the vehicle to operate in accordance with road traffic laws. The electrical system was designed to make the wiring harness much lighter and more modern. The design of the wiring harness focused on selecting the correct conductor cross-sections, materials, fuses, taking into account the thermal variation caused by the environment and the current flow through the conductors. In addition, the entire wiring harness was protected considering its conditions in its environment.

The aims of the thesis were achieved. The wiring harness was implemented and planned, as well as the wiring diagram and wiring routing were completed. The wiring harness became more modern and it is considerably lighter.

Keywords: cable sizing, wiring harness, cable protection, design

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	2
2	Sähkötekniikan perusteet	3
2.1	Potentiaali ja jännite	3
2.2	Virta ja sähköteho	5
2.3	Resistanssi ja resistiivisyys	6
2.4	Jännitehäviö	8
3	Johtimen mitoitus	9
4	Johtimet	12
5	Maadoitus	13
6	Sulakkeet ja releet	14
6.1	Sulakkeet	14
6.2	Sulakkeen sulamisaika	15
6.3	Sulakkeen mitoitus	16
6.4	Releet	17
6.5	Vilkkurele	18
7	Kytkimet	19
7.1	Päävirta-katkaisin	19
7.2	Ohjauspaneeli	20
7.3	Käynnistin painike	21
8	Johdinliitokset	22
8.1	Sähköliitin	22
8.2	Ruuviliitos	24
8.3	Eristetyt tinakutisteholkit	25
8.4	Esieristetyt johdinpäätteet	26
8.5	Eristämättömät lattaliittimet	26

9	Johtosarjan reititys ja mekaaninen suojaus	27
9.1	Hankaus- ja kosketussuojaus	27
9.1.1	Sähköteippi	28
9.1.2	Kutistesuojatut liitokset	28
9.2	Johtosarjan läpiviennit ja johtimen suojaus	29
9.3	Johtosarjan kiinnitys	30
9.4	Johtosarjakiinnikeiden valmistus	31
10	Johtosarjan reititys ja valmistus	33
11	KytKentäkaavion tekeminen	36
12	Yhteenveto	37
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. KytKentäkaavio	
	Liite 2. KytKentäkaaviomerkinntät standardin DIN72552 mukaan	
	Liite 3. Johdinpinta-alat, värit, pinnit ja pituudet	

Lyhenteet

CAD:	Tietokoneavusteinen suunnittelu.
EMC:	Electromagnetic compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus.
FIA:	Fédération Internationale de l'Automobile, kansainvälinen autourheiluliitto.
PLA:	Polylaktidi, 3D-tulostuksessa usein käytettävä muovi.
PVC:	Polyvinyylikloridi, muovityyppi.
STL:	Tiedostopääte, joka on käytössä 3D-tulostuksessa.
USB:	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi.
Ω :	Ohmi, resistanssin mittayksikkö.

1 Johdanto

Insinööriyön aiheeksi valittiin Ford Escortin johtosarjan suunnittelu ja valmistus. Insinööriyön aloitushetkellä ajoneuvon alkuperäisestä johtosarjasta oli jäljellä vain osia ja ajoneuvon muut komponentit oli purettu pois (kuva 1). Johtosarjan suunnittelua varten insinööriyössä lähdettiin tutkimaan, miten johtosarja suunnitellaan, pakataan ja valmistetaan siten, että se korvaa täydellisesti vanhan ja mahdollistaa ajoneuvon toimimisen tieliikennelakien mukaisesti.



Kuva 1. Ford Escort mk2:n alkuperäinen johtosarja.

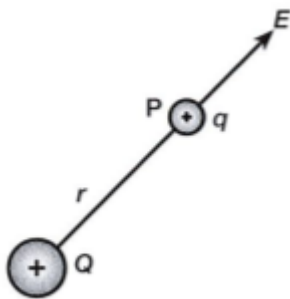
Sähköjä lähdettiin suunnittelemaan siten, että johtosarjasta saataisiin huomattavasti kevyempi ja nykyaikaisempi. Kaikkien toimilaitteiden ohjaus tapahtuisi pelkästään kahden näppäinpaneelin kautta ja käynnistys tapahtuisi napista. Suunnittelussa täytyi hyödyntää vanhoja Escortin kytkentäkaavioita, joiden avulla uuden johtosarjan suunnittelu helpottui. Uuden johtosarjan suunnittelussa tulee

huomioida jokainen ajoneuvon sähkönkuluttaja, niiden sijainti ajoneuvossa sekä kuluttajien maadoitustapa. Johtosarjan valmistamisen ja suojaamisen jälkeen uusien kuluttajien lisääminen valmiiseen johtosarjaan on työlästä ja vaatii usein suojausten purkamisen. Alkuperäisestä johtosarjasta ei voinut sen iän ja kunnon takia hyödyntää mitään. Uusi johtosarja suunniteltiin täysin puhtaalta pöydältä hyödyntäen apuna alkuperäistä kytkentäkaaviota.

2 Sähkötekniikan perusteet

2.1 Potentiaali ja jännite

Pistemäinen varaus $+Q$ aiheuttaa sähkökentän pisteessä P , jonka etäisyys varauksesta Q on r . Kun sähkökentän vaikutusalueen sisäpuolelle tuodaan pieni positiivinen varaus $+q$, vaikuttaa siihen voima F (kuva 2).



Kuva 2. $+Q$ varauksen aiheuttama sähkökenttä pisteessä P (Tarkka ym. 2002: 11).

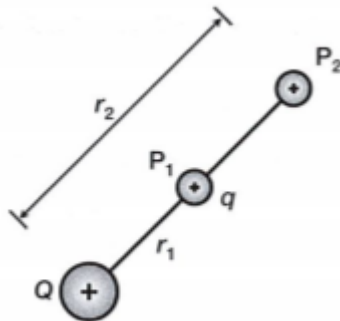
Kun varaus q siirtyy pisteestä P äärettömyyteen, jossa $F = 0$ ja $E = 0$, voidaan todeta, että voiman F tekemä työ on W_p . Tämän perusteella varauksella q on sähkökentässä tilaansa perustuva potentiaalienergia W_p , joka on tässä tapauksessa vapautuva energia, kun q on oletukseltaan positiivinen. Varauksen q

äärettömyydestä pisteeseen P on pitänyt tehdä vastaava työ W_p , koska varaukselta q on liikutettu siihen vastustavaan F voimaa vastaan.

Pisteen P potentiaali V on varauksen q potentiaalienergia varausyksikköä kohti. (Tarkka ym. 2002: 11.)

$$V = \frac{W_p}{q} \qquad [V] = 1 \frac{J}{C} = 1 V$$

Aivan alussa tilanne on analogien gravitaatiokentän kanssa, jonka nollassa on maanpinta. Kappaleella, jolla on massa m, on potentiaalienergia $W_p = mgh$, jossa h on kappaleen korkeus maanpinnasta. Kun kappale pudotetaan, muuttuu potentiaalienergia pudotessa liike-energiaksi. Samalla tavalla varauksen q liikkuessa sähkökentässä pisteestä P_1 pisteeseen P_2 täytyy tehdä työ W_p , joka on sama kuin pisteiden P_1 ja P_2 potentiaalienergioiden erotus (kuva 3).



Kuva 3. Varauksen q siirtyminen sähkökentässä pisteestä P_1 pisteeseen P_2 , jolloin joudutaan tekemään työ ΔW_p (Tarkka ym. 2002: 12).

Jännitteeksi kutsutaan kahden pisteen välistä potentiaaliero. Käytännön tasolla annetaan toisen pisteen potentiaalille arvo nolla (maadoitus). (Tarkka ym. 2002: 12.)

Suljetussa virtapiirissä lähdejännitteiden summa on yhtä suuri kuin jännitehäviöiden summa. Tätä kutsutaan Kirchoffin 2. laiksi. (Koivisto ym. 2012: 25; Electrical voltage 2020.)

2.2 Virta ja sähköteho

Metallisessa johtimessa, jonka päät ovat potentiaaleissa V_1 ja V_2 ($V_1 > V_2$), vaikuttaa jännite U . Johtimessa vaikuttaa sähkökenttä E vapaisiin elektroneihin voimalla $F = q_e \cdot E$, jonka suunta on vastakkainen sähkökentän suunnalle, koska elektronin varaus q_e on negatiivinen. F voiman vaikutuksesta elektronit lähtevät liikkeelle, joten johtimessa kulkee sähkövirta I .

$$I = \frac{Q}{t}$$

Sähkövirta I tarkoittaa johtimen poikkileikkauksen A_j kautta kulkevaa varausta Q aikayksikössä. Sähkövirran kulkusuunnaksi on sovittu korkeammasta potentiaalista matalampaan, vaikka elektronit negatiivisina liikkuvatkin vastakkaiseen suuntaan. Suljetussa virtapiirissä lähtevien virtojen summa on yhtä suuri kuin yhteen pisteeseen tulevien virtojen summa, joka tunnetaan Kirchoffin ensimmäisenä lakina. Virran yksikkönä käytetään yleisesti ampeeria [A]. (Koivisto ym. 2012: 25; Electric current and the theory of electricity 2021; Tarkka ym. 2002: 13.)

Sähköteho on nopeutta, jolla työ tehdään sähköpiirissä. Toisin sanoen sähköteho määritellään energiansiirtonopeudeksi. Kun virta kulkee vastuksen läpi, muuttuu sähköenergia lämmöksi. Tässä tilanteessa syntyvä hukkalämpö edustaa menetetyt sähkötehon määrää. Teho on jännitteen ja sähkövirran tulo eli $P = UI$. Tehon yksikkö on watti [W]. (What is Electrical Power: watts 2018; Electric Power 2018.)

2.3 Resistanssi ja resistiivisyys

Tutkitaan johdinta, jonka molempiin päihin vaikuttaa jännite U . Tämän seurauksena johtimeen aiheutuu virta I . Johtimen resistanssi eli vastus R määritellään seuraavalla tavalla:

$$R = \frac{U}{I}$$

R = resistanssi, jonka yksikkö saadaan yhtälöstä

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = 1 \frac{V}{A} = 1\Omega$$

Johtimen resistanssi on riippuvainen johtimen poikkipinta-alasta, lämpötilasta, pituudesta ja materiaalista. Johtimelle poikkipinta-ala A , jolle pituus = l , pätee

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{1}$$

l = johtimen pituus

A = johtimen poikkipinta-ala

ρ = resistiivisyys

Johdinmateriaalien resistiivisyys täytyy ilmoittaa yksikössä $\mu\Omega\text{m}$. Johtimen poikkipinta-ala A neliömillimetreinä ja pituus l metreinä. Silloin tuloksena saadaan johtimen resistanssi R ohmeina.

Johtimen resistanssi on riippuvainen lämpötilasta T . Resisttiivisyystaulukon arvot annetaan lämpötilassa $20\text{ }^\circ\text{C}$, joten voidaan tarvittaessa laskea resistanssiarvo R toisissa lämpötiloissa, jos tunnetaan lämpötilakerroin α .

$$R(T) = R_{293} (1 + \alpha \Delta T)$$

R_{293} = resistanssi lämpötilassa $T_{293} = 293 \text{ K}$ (20°C)

α = lämpötilakerroin

ΔT = lämpötilaero $T - T_{293}$

$R(T)$ = resistanssi lämpötilassa T

Vastusmateriaalit ovat usein metalliseoksia, joihin metallin resistiivisyyttä on kasvatettu keinotekoisesti lisäämällä siihen toisia metalleja. (Tarkka ym. 2002: 14.)

Aineiden sähkönjohto-ominaisuudet ovat riippuvaisia niiden resistiivisyydestä eli toisin sanoen niiden ominaisresistanssista, jonka arvoja näkyy taulukossa 1. Taulukkoon on kerätty erilaisia johdinaineita sekä materiaaleja, kuten meltorautaa, lyijyä ja hiiliä. Sinkkiä, tinaa ja messinkiä käytetään liittimien pinnoitusmateriaaleina ja näistä messinkiä ja fosforipronssia ydinaineina. Kaikki taulukossa mainitut aineet kasvattavat resistanssia lämpötilan noustessa paitsi hiili. (Koivisto ym. 2012: 26.)

Taulukko 1. Resisttiivisyydet $\mu\Omega\text{m}$ lämpötilassa 20°C (Koivisto ym. 2012: 27).

Hopea Ag		0,0165
Kupari Cu		0,0175
Alumiini Al		0,0286
Sinkki Zn		0,06
Messinki		0,067
Tina Sn		0,114
Meltorauta		0,14 - 0,16
Teräs		0,18
Lyijy Pb		0,207
Valurauta		0,6 - 1,6
Hiili C		10 - 200

2.4 Jännitehäviö

Jännitehäviöön vaikuttaa johtimessa kulkeva virta, johtavan materiaalin ominaisresistanssi, johtimen poikkipinta-ala ja johtimen pituus. Jännitehäviö lasketaan seuraavalla kaavalla Ohmin lain mukaan. (Understanding voltage drop 2016.)

$$U = R I$$

(2)

U = jännite

R = resistanssi

I = virta

Taulukosta 2 voidaan todeta seuraavilla kaavoilla 1 ja 2 materiaalin vaikutus johtimen resistanssiin ja jännitehäviöön.

Taulukko 2. Jännitehäviöt ja resistanssin toteaminen resistiivisyydellä 20 °C:n olosuhteissa.

Aine	Resistiivisyys (ρ)	Johtimen poikkipinta-ala (mm ²)	Johtimen pituus (m)	Virta (A)	Resistanssi (Ω)	Jännitehäviö (V)
Hopea Ag	0,0165	1,5	100	1	1,1	1,1
Kupari Cu	0,0175	1,5	100	1	1,16	1,16
Alumiini Al	0,0286	1,5	100	1	1,9	1,9
Sinkki Zn	0,06	1,5	100	1	4	4
Messinki	0,067	1,5	100	1	4,46	4,46
Tina Sn	0,114	1,5	100	1	7,6	7,6
melttorauta	0,14 - 0,16	1,5	100	1	10	10
Teräs	0,18	1,5	100	1	12	12
Lyijy Pb	0,207	1,5	100	1	13,8	13,8
Valurauta	0,6 - 1,6	1,5	100	1	60	60
Hiili C	10 - 200	1,5	100	1	666	666

3 Johtimen mitoitus

Johtimen poikkipinta-aloja määriteltessä tulee huomioida kuluttajan tehonkäyttö, johtimen pituus sekä sallittu jännitehäviö. Ohmin lakia hyödyntäen voimme kirjoittaa kuluttajan virrankäytön kaavan 3 mukaan, kun tunnemme sen tehonkulutuksen. Nimellisjännitteenä työssä käytetty 14,4:ää voltia.

$$P = U * I \rightarrow I = \frac{P}{U} \quad (3)$$

P = teho

U = jännite

I = virta

Tämän jälkeen lasketaan johtimen poikkipinta-ala alla olevalla kaavalla 4. Kaavaan täytyy muuttaa johdinaineen resistiivisyys taulukosta 1 muotoon $\Omega mm^2/m$ jotta laskukaava toimii oikein (Bosch Automotive Handbook 2003: 976).

$$A = \frac{I * p * l}{U_{VI}} \quad (4)$$

A = johtimen poikkipinta-ala (mm^2)

I = syöttövirta (A)

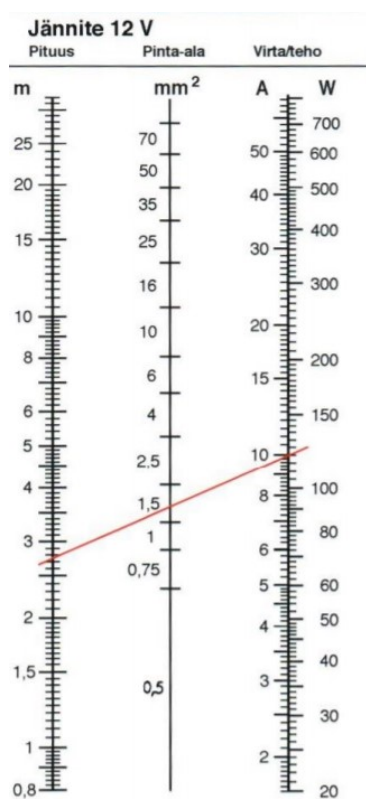
p = johdinaineen resistiivisyys ($\Omega mm^2/m$)

l = johtimenpituus (m)

U_{VI} = sallittu jännitehäviö (V)

Näistä laskettu arvo pyöristetään lähimpään seuraavaan standardipoikkipinta-alaan, jonka mukaan valitaan oikea johdin.

Toinen tapa, jolla johtimen poikkipinta-ala saadaan määritettyä, on graafinen menetelmä, joka on huomattavasti nopeampi kuin laskennallinen ja sillä päästään lähes samaan lopputulokseen kuin laskennallisella menetelmällä (kuva 4). Työssä on johtimien poikkipinta-alat määritelty pääasiassa laskemalla kaavan 4 avulla, mutta graafista menetelmää on käytetty johtimien poikkipinta-alan ja las- kutoimitusten varmistamiseksi.



Kuva 4. Johtimen valinta nomogrammista 12 voltin jännitteellä (Sven Larsson 2007: 41).

Virrankesto

Virrankeston arvo on korkein arvo, jonka johdin pystyy jatkuvasti kuljettamaan ylittämättä oman eristeen lämmönkesto (taulukko 3). Johtimen poikkipinta-ala vaikuttaa ensisijaisesti virrankesto, kuten myös eristeen paksuus, johtimen materiaali ja ominaisresistanssi. Johtimen asennus paikalla voi olla suuri merkitys sen lämpenemiseen. Johtimen pituus vaikuttaa resistanssin kasvamiseen, sen seurauksena tehohäviön kasvamiseen ja sitä kautta johtimen lämpötilan kasvamiseen. Työssä on hyödynnetty myös taulukkoa 3 johtimien poikkipinta-alojen valitsemisessa ja johtimien enimmäisvirtojen määrittelyssä. (12 volt wiring tech gauge to amps 2017.)

Taulukko 3. Ajoneuvon kupariset sähköjohtimet PVC-eristyksellä (Nieminen 1994: 436).

Nimellis- poikki- pinta-ala	Vastusmet- riä kohti 20 °C:ssa	Johdin lan- gan halkai- sija (max)	Johtimen halkaisija (max)	Sallittu virta	
				jatkuvassa käytössä, 25 °C:ssa	50 °C:ssa
mm ²	10 ⁻³ Ω/m	mm	mm	A	A
0,5	37,1	1	2,3	7,5	5
0,75	24,7	1,2	2,5	16	10,6
1	18,5	1,4	2,7	20	13,3
1,5	12,7	1,6	3	25	16,6
2,5	7,6	2,1	3,7	34	22,6
4	4,71	2,7	4,5	45	30
6	3,14	3,4	5,2	57	38
10	1,82	4,3	6,6	78	52
16	1,16	6	8,1	104	69
25	0,743	7,5	10,2	137	91
35	0,527	8,8	11,5	168	112
50	0,368	10,3	13,2	210	140
70	0,259	12	15,5	260	173
95	0,196	14,7	18	310	206
120	0,152	16,5	19,8	340	226

4 Johtimet

Johdinta valittaessa on otettava huomioon, että se kestää tärinää ja taivutusta. Johtimen kuorimateriaalilla on vaikutusta läpilyöntikestävyyteen, taipuisuuteen, lämmönkestoon, kemikaalien keston ja palokuormaan. Säikeistettyä ajoneuvojohdinta käytetään sen mekaanisen keston takia. Johtimen päällä on eriste, jonka paksuus valitaan johtimen käyttöjännitealueen ja johdinmateriaalin mukaan. ISO6722-standardissa määritetään 12 voltin ajoneuvojohtimien johtimen poikkipinta-alat, sekä mekaaniset vaatimukset ja eristemateriaalin paksuus. Tarjolla on suhteellisen paljon erikokoisia poikkipinta-alaltaan olevia autonjohtimia, joilla käyttötarpeet katetaan. Yleisesti johtimet ovat käyttötarkoituksen perusteella jaettu kolmeen ryhmään, sytytysjohtimet $1,5\text{mm}^2$, käynnistysjohtimet $16\text{mm}^2 - 120\text{mm}^2$ ja merkki- valojohtimet $0,5\text{mm}^2 - 10\text{mm}^2$. Johtimia on useita erivärisiä, jotta virtapiirit erotettaisiin toisistaan korjaustoimenpiteissä. Lisäksi johtimia on monivärisiä tai raidallisia sekä numeroituja, jolloin johtimien määrä on lähes rajaton. (Koivisto ym. 2012; 147; International standard 2006.)

Materiaali

Johtimien päällinen tai eristemateriaali on yleisesti PVC:tä, joka on yleinen auto-teollisuudessa käytetty eristemateriaali. Johtimen pintamateriaalia valitessa on otettava huomioon olosuhteet, joihin johdin sijoitetaan: tarvitseeko sen kestää kemikaaleja, lämmönvaihtelua tai mekaanista rasitusta. Johtimia on myös saatavilla siten, että johdinsäikeet on tinattu tai hopeoitu. Tällaisia johtimia voidaan käyttää esimerkiksi märissä ympäristöissä, joissa johtimen ja liittimen kontaktipinnan hapettuminen on ongelmana.

PVC-johdin on suhteellisen halpa ja helppokäyttöinen materiaali, jota voidaan käyttää erilaisissa sovelluksissa. Riippuen johtimesta käyttölämpötila-alue on $-55\text{ °C} - 105\text{ °C}$, ja materiaali kestää tulta, kosteutta ja hankausta. Se kestää myös bensiiniä, otsonia, happoja ja liuottimia. PVC:tä ei tule käyttää, jos tarvitaan joustavuutta matalissa lämpötiloissa. Insinööriyössä käsiteltävän

johtosarjan materiaaliksi valittiin PVC-johdin. Se sopii lämpötila-, kemikaali- ja mekaanisen kuormankeston puolesta käyttötarkoitukseen. (Cable and Wire Insulation Materials 2021.)

Käyttölaitteelle liian pienellä johdinpinta-alalla varustettu johdin aiheuttaa liian suuren jännitehäviön, joka alentaa virrankuluttajan tehoa ja huonontaa tämän toimivuutta. Liian ohuessa johtimessa kehittyy virtaan nähden aivan liikaa lämpöä, mikä voi aiheuttaa johtimen eristeen lämpenemistä tai jopa sen palamista. Liian suurella pinta-alalla varustettua johdinta on hankala taivutella, se on painava ja kalliimpi sekä vaatii enemmän tilaa kuin tilanteeseen valittu oikeankokoinen johdin. (Larsson 2007: 41.)

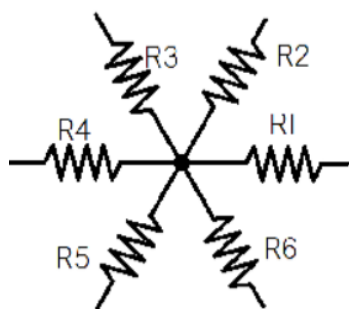
5 Maadoitus

Ajoneuvot ovat ns. yksijohdinjärjestelmiä. Tämä tarkoittaa sitä, että virrankuluttajilla on syöttöjohdin ja paluujohtimena toimii ajoneuvon runko, minkä takia akun miinus johdin on kiinnitetty runkoon. Puutteellinen maadoitus estää virrankulun toimilaitteelta takaisin paluujohtimeen ja aiheuttaa muun muassa jännitehäviöitä ja EMC-ongelmia kuten maasilmukoita.

Johtosarjan suunnittelussa maadoitusten ja maadoitusarkkitehtuurin suunnittelu on tärkeää, koska ilman maadoitusta toimilaitteet eivät toimi oikealla tavalla. Maadoitustapana käytetään tähtimaadoitusta (kuva 5), joka oikein toteutettuna ehkäisee maadoitussilmukoiden syntymistä. Komponentin runko voi myös toimia maadoituksena. Tällöin kyseisen komponentin ja ajoneuvon rungon välille on varmistettava toimiva liitos. (How to Use a Star Point for Analog Ground 2017; Classic car automotive electrical systems 2017; painless performance products 2020.)

Moottorin lohko on maadoitettu ajoneuvon runkoon ns. maadoituspunoksella, joka on monisäikeinen tinattua kuparia oleva johdin. Kuvassa 5 on maadoituspunoskaapeli. Työssä hyödynnettiin mahdollisimman paljon vanhoja

maadoituspisteitä sekä lisättiin uusia maadoituksia toimilaitteiden toiminnan varmistamiseksi. Uudet maadoitukset sijoituivat lähelle sähköpääkeskusta (kuva 31).



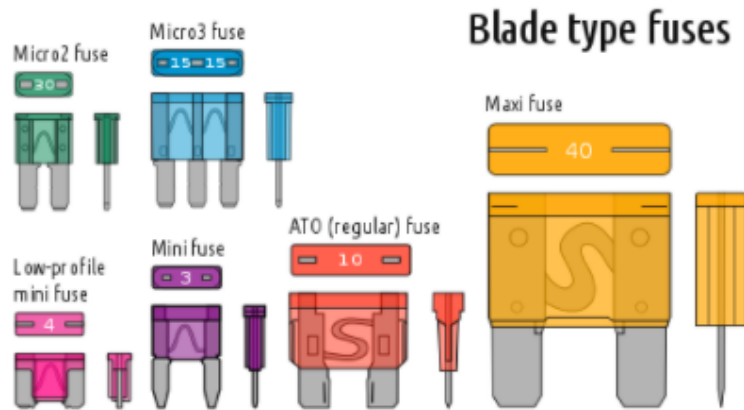
Kuva 5. Tähtimaadoitusmalli sekä tinapäällysteinen kiedottu maadoituskaapeli (How to Use a Star Point for Analog Ground 2017; Starttijohdot ja maajohdot 2021).

6 Sulakkeet ja releet

6.1 Sulakkeet

Sulakkeen tehtävänä on olla virtapiirin heikoin lenkki ja sulaa poikki ylikuormitustilanteessa. Näin vältetään suurien virtojen eteneminen virtapiirissä. Sulake turvaa piirin johtimet, virtakytkimet ja muut komponentit. Jos virtapiirissä ei ole sulaketta on ylikuormitustilanteessa riskinä komponentin rikkoutuminen, johtimen sulaminen tai johtosarjan syttyminen tuleen. Sulakkeita on olemassa erilaisia ja eri käyttötarkoituksiin soveltuvia. Esimerkiksi lämpösulakkeet katkaisevat piirin lämmitessään ja sulkevat piirin jäähtyttyään. On olemassa myös muunlaisia sulakkeita, kuten posliinisulake, lasiputkisulake, levysulake ja lattasulake. Tässä projektissa alkuperäiset sulakkeet ovat posliinisulakkeita, mutta ne korvattiin nykyaikaisemmilla lattasulakkeilla. Sopivankokoisen sulakkeen valinta tehtiin toimilaitteen suurimman kuormitusvirran mukaan. Apuna laskussa hyödynnettiin taulukon 4 arvoja. Varoke palaa poikki, kun sen nimellisvirta ylittyy. Lattasulakkeita on olemassa kuutta eri kokoa, micro2, micro3, matala profiili,

mini- normaali- ja maksikoko. Henkilöautoissa käytetään yleisesti lähes kaikkia edellä mainittuja sulakkeita (kuva 6). (Larsson 2007: 42.)



Kuva 6. Erikokoisia lattasulakkeita (Fuse and Types of Fuses 2014).

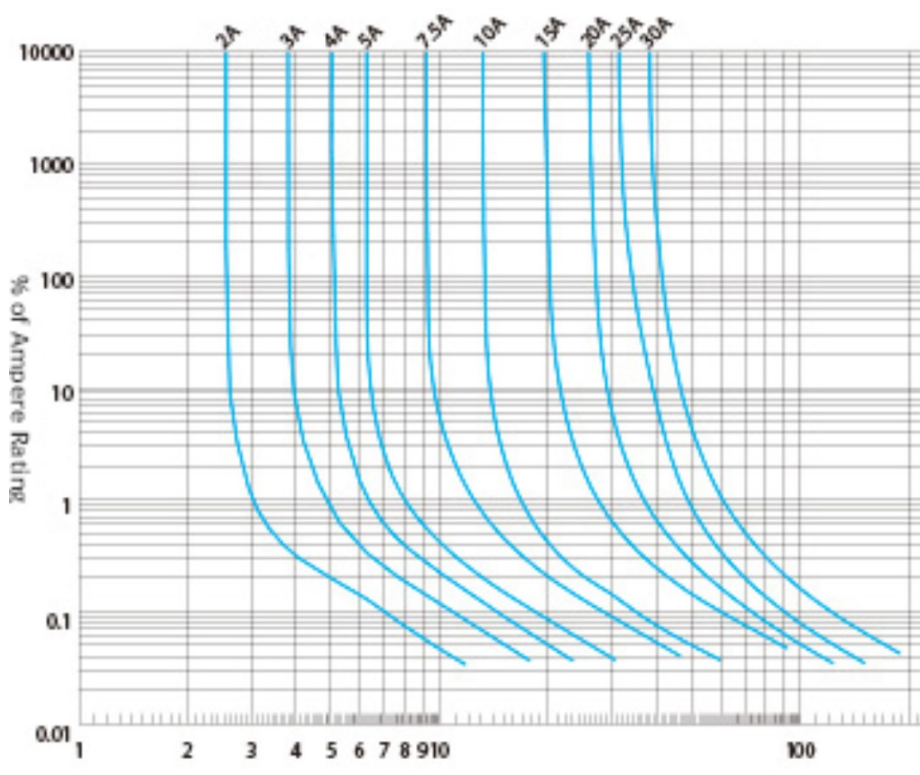
Taulukko 34. Toimilaitteiden energiankulutus.

Toimilaite	Energiankulutus
Vilkut	42 W
Mittaristonvalot	22 W
Lyhyet ajovalot	110 W
Pitkät ajovalot	210 W
Äänimerkki	2 W
Puhallin	140 W
Tuuletin	260 W
Jarruvalot	45 W
Seisontavalot	30 W
Sytytys	40 W
Tuulilasin pyyhkimet	80 W
Tuulilasin pesuri	10 W

6.2 Sulakkeen sulamisaika

Jokaiselle sulakkeelle on olemassa sulamisaika, joka on määritetty ISO 8820-3-standardin mukaan. Kuvasta 7 pystytään näkemään sulakkeen sulamisaika virran mukaan. Yläpuolella näkyy sulakkeiden nimellisvirrat. Pystyakselilla on

sulakkeen sulamiseen vaadittu aika ja vaaka-akselilla on virta ampeereina
(Temperature rises in fuses 2016.)



Kuva 7. Sulakkeen sulamiskäyrästä (Temperature rises in fuses 2016).

Sulakkeet sijoitetaan koottuna yhteen paikkaan ja sijoitettu sulakerasiaan. Vianhaku helpottuu huomattavasti, kun kaikki sulakkeet ovat yhdessä paikassa. Sulakerasian lähelle on asennettu myös ylivirtasuojaimet ja releet.

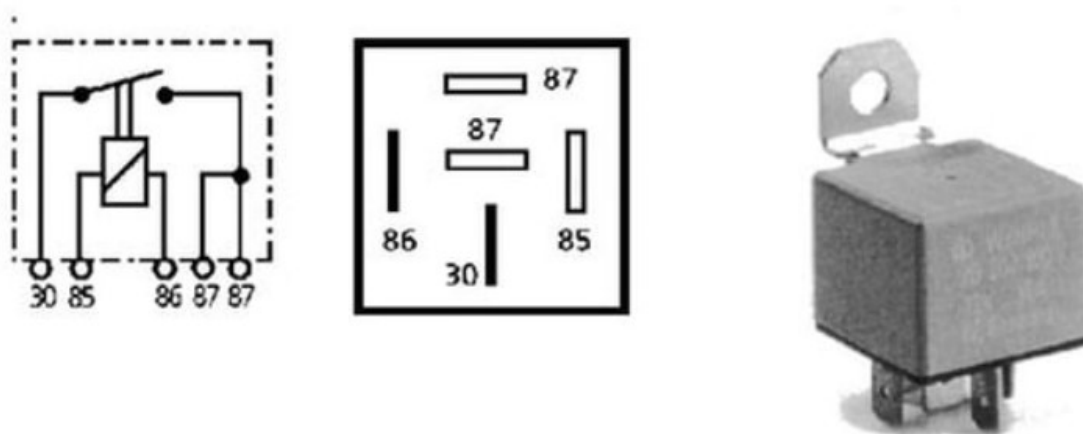
6.3 Sulakkeen mitoitus

Sulakkeen kokoa määrittäessä tulee selvittää laitteen nimellisteho. Koon laske-
miseksi tarvitsee tietää toimilaitteen ottama energia, jotta pystyy laskemaan toi-
milaitteen nimellisvirran kaavalla 3. Nimellisjännitteenä työssä käytetty 14,4:ää
volttia.

Toimilaitteen lasketun nimellisvirran perusteella valitaan laitteelle sopiva sulake, joka on nimellisvirta-arvoltaan yhtä suuri kuin laitteen laskettu nimellisvirta tai sitä suurempi. Työhön valikoitui DIN 72581 -varokkeet. Toimilaitteille valittiin 10 - 20 ampeerin sulakkeet laskutulosten mukaan.

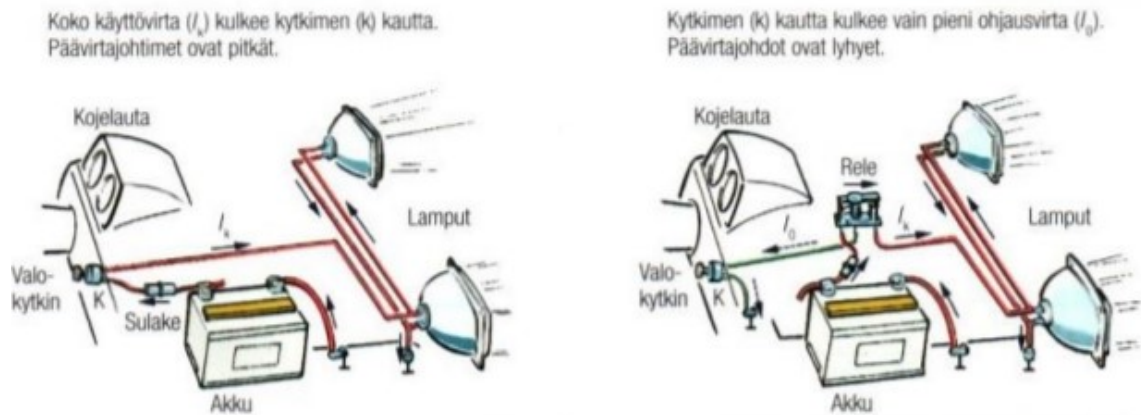
6.4 Releet

Releen toimintatapa perustuu siihen, että pienellä ohjausvirralla suljetaan tai aukaistaan suurvirtakätkiparia, joka kytkee tai katkaisee sähkölaitteelle menevän päävirran. Toiminnalliset releet pystytään jaottelemaan kolmeen eri ryhmään sulkimiin, aukaisimiin ja vaihtimiin. Tämän lisäksi rakenteelliset releet voivat antaa myös jaksollisia pulsseja sähkölaitteille. Kuvassa 8 on esitetty sulkijareleen rakenne.



Kuva 8. Sulkijarele ja sen piirrosmerkintä (Koivisto ym. 2012: 174).

Henkilöautossa releille tyypillinen käyttökohde on suuntavaloille ja ajovalojen kytkemiseen. Releen hyöty tulee siitä, että suuremman virran tarvitsevia toimilaitteita pystytään ohjaamaan pienillä ohjausjännitteillä. Kuvassa 9 on esitetty ajovalojen kytkentä.



Kuva 9. Releen käytön merkitys ajovaloissa (Nieminen 1994: 450).

6.5 Vilkkurele

Perinteisen vilkkureleen sisään on rakennettu kaksi erikokoista suurvirtakärkiparia ja lämpövastus. Releen sisällä oleva lämpövastus ohjaa kärkiä koskettamaan toisiaan ja vilkkuja palamaan. Sisään rakennetun lämpövastuksen lämmetessä kärkipari avautuu ja osuu toiseen kärkipariin ohjatakseen virran valoille. Samaan aikaan lämpövastukselta loppuu jännite. Vastuksen viilennettyään kytkentä kytkee jännitteen uudelleen päälle. Tämä tapahtuu nopeudella 1–2 kertaa sekunnissa, minkä ansiosta vilkut vilkkuvat tietyllä taajuudella. Vilkun polttimot on kytketty systeemin rinnalle. (The MGA With An Attitude turn signal flasher unit et104 2002.)

Toimilaitteille, kuten tuulettimelle, puhallinmoottorille, tuulilasinyyhkijän moottorille, lyhyille- ja pitkille ajovaloille, valikoitui 4-napaiset, 12 voltin ja 40 ampeerin normaalikokoiset releet (kuva 10). Kytkentä tapahtui kaikille samalla tavalla: syöttö navalta 30, napa 85 maadoitus, napa 86 ohjausjännite ja napa 87 ohjausjännite toimilaitteelle. Vilkuille releiksi valikoitui elektroniset 2-pinniset, 12 voltin ja 180 W:n releet (kuva 10). Releen kytkentä toteutui seuraavalla tavalla: X-navan kautta menee ohjausjännite, L-navalta lähti joko vasemman tai oikean puolen vilkuille ohjausjännite. Rele maadoittaa itsensä runkoon omasta kiinnikkeestä. Normaalisti vilkkureleitä tarvittaisiin yksi, mutta vilkkujen toteutus tapahtui ohjauspaneelin kautta. Molemmille ohjauspaneelin näppäimelle täytyi

tieliikennekatsastusta varten olla oma vilkkurele, jotta molemman puolen vilkut saisi kytkettyä yhtä aikaa päälle toimittamaan hätävilkkujen virkaa.



Kuva 10. Toimilaitteiden 4-napainen rele ja vilkkujen 2-napainen rele (Koivisto ym. 2012: 174).

7 Kytkimet

Ajoneuvoissa käytetään monenlaisia virtakytkimiä, jotka pystytään jaottelemaan myös sähköisiin toimintoihin, kuten sulkimet, aukaisimet ja vaihtimet. Sulkimet sulkevat virtapiirin, niin että virta pystyy liikkumaan esimerkiksi valoille. Aukaisimet katkaisevat piirissä olevan virrankulun ja vaihtimella voidaan vaihdella virran kulkua eri piirien välillä.

7.1 Päävirta-katkaisin

Päävirtakatkaisimena toimii 6-napainen päävirtakytkin, joka kestää jatkuvaa virtaa 100 ampeeria ja hetkellistä virtaa 500 ampeeria (kuva 11). Päävirtakatkaisijaa käytetään moottorin tai muiden toimilaitteiden nopeaan pysäyttämiseen taturma- tai vaaratilanteessa. Katkaisimen täytyy olla vikaturvallinen, ja sillä täytyy olla FIA-luokitus. Päävirtakytkin lukittuu ”päälle”-asentoon, kun sitä kääntää 90 astetta kiinni päin, ja kytketty ”kiinni”, kun kytkintä käännetään

vastapäivään 90 astetta. Projektissa käytetty päävirtakytkin on kytketty niin, että toiseen napaan toiseen napaan on kytketty suora jännitteensyöttö navalta 30 ja toiseen kaikkien toimilaitteiden virtajohtimet. (Homologations 2020.)



Kuva 11. FIA:n hyväksymä 6-napainen päävirtakatkaisin (Päävirtakytkin ja veto-vaijerit 2020).

7.2 Ohjauspaneeli

Projektissa kaikkien toimilaitteiden ohjaus tapahtuu kahden ohjauspaneelin kautta, jossa kummassakin on kuusi painonäppäintä (kuva 12). Paneelilla saatiin painonsäästöä, ja se mahdollistaa poistamaan rattiakselilta entiset ”kytkentäviikset” sekä niiden johdotukset. Ohjauspaneelin näppäintä painamalla lähtee käsky micro USB:n kautta ohjauspaneelin omalle ohjainlaitteelle (kuva 12). Ohjausrasia siis lähettää toimilaitteelle ohjausjännitteen. Ohjauspaneelin painikkeet ovat ON/OFF-tyyppisiä, mutta hetkellisen toiminnan saa päälle, kun pitää valittua painiketta ja taustavalon painiketta yhtä aikaa painettuna viiden sekunnin ajan. Kun näppäimen merkkivalo alkaa vilkkua, voi painamisen lopettaa ja näppäimestä tulee pelkkä painonäppäin. Tämä toiminto on hyvä esimerkiksi äänimerkille.



Kuva 12. Ohjauspaneeli ja ohjainlaite (Kosketuspaneeli 2020).

7.3 Käynnistin painike

Virtalukko ja avain poistettiin kokonaan. Tilalle tuli käynnistinpainike (kuva 13). Painike on 3-napainen, johon kytkeytyy navat - 31, + 30 ja 50. Näppäintä painaessa painikkeeseen syttyy valo ja käynnistinmoottorille menee ohjausvirta pyörittäen moottoria. Kun painaminen lopetetaan, palautuu näppäin alkuperäiseen tilaansa. Tätä kutsutaan nimellä palautuva painonäppäin. Käynnistimen solenoidi ottaa vetovirtaa 25 ampeeria ja pitovirtaa 10 ampeeria. Painike kestää maksimissaan 50 ampeeria ja on suunniteltu 12 V käyttöjännitteelle. (Let's talk about startet solenoids 1998.)



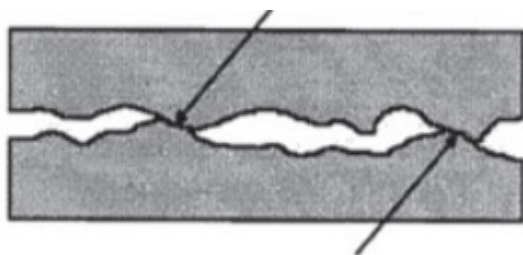
Kuva 13. Käynnistinpainike (Käynnistinpainike 2020).

8 Johdinliitokset

Sähköliitännöiden tavoite on mahdollistaa virran kulku johtimesta toiseen. Tämän tavoitteen tulos on, että sähköliitännässä on mahdollisimman matala resistanssinen liitos. Toiseksi liitännän täytyy olla korroosionkestävä, ja sen täytyy kestää myös ulkopuoliset värähtelyt, koska nämä heikentävät liitosta ajan myötä.

8.1 Sähköliitin

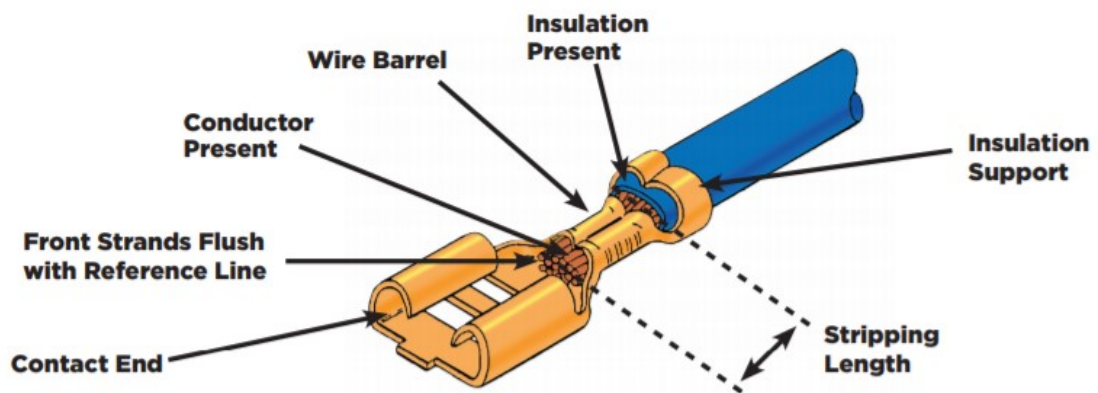
Kahta kosketuspintaa ei voida koskaan saada sovitettua täydellisesti leikkaustasolla, sillä jokainen pinta muistuttaa todella karkeaa maastoa, jossa on leikkaukshuippuja. Kun kaksi pintaa laitetaan yhteen, pintojen leikkaukset sopivat satunnaisesti toisiinsa (kuva 14). Näin ollen liitoksen kontaktipinta-ala muodostuu leikkauspinnan huipuista. Liitosta tehtäessä on erityisen tärkeää, että liitospinnat ovat puhtaat, liitoksissa ei saa olla korroosiota, eikä liitos saa jäädä löysälle. (Connector theory and application 2018.)



Kuva 14. Liitoksen kontaktipinta lähietäisyydeltä (Connector theory and application 2018).

Nykyisissä normaalin kokoluokan henkilöautoissa on useita satoja liittimiä. Liitoksille on erilaisia vaatimuksia asennuskohteen mukaan. Vaatimuksina on tehonkesto, ympäristöolosuhteet, kustannukset, värähtelykesto sekä eristysvastus.

Liitosta tehtäessä on valittava oikean poikkipinnan liitin johtimen poikkipinnalle. Johtimen eristettä on kuorittava oikea määrä liitinvalmistajan ohjeiden mukaan. Oikeaoppinen puristusliitos tehdään sille tarkoitettulla työkalulla ja oikeankokoisilla puristusleuoilla. Näin taataan liitokselle pisin mahdollinen käyttöikä. Johdineristeen päälle puristettu liitin poistaa rasiituksen johdinsäikeistä tehden vedonpoiston johtimelle. Insulation barrell estää vetorasituksen voimasta katkeavan johdon lisäksi sen taipumista varsinaisesta crimp barrell, joka johtaa johtimen murtumiseen pidemmän päälle (kuva 15).



Kuva 15. Liittimen liitoskohta (Ampsela automotive 2016).

Työhön valikoitui 250-sarjan Faston-liittimet niiden ominaisuuksien ja poikkipinta-alan ansiosta. Liittimille on saatavilla tarkat tiedot liitinvalmistajalta niiden ominaisuuksista: maksimivirta, lämpötila-alue, ympäristöominaisuudet, jännitehäviö, kontaktivastus, maksimijännite, eristysvastus sekä liittimen kiinnitys- ja irrotusominaisuudet.

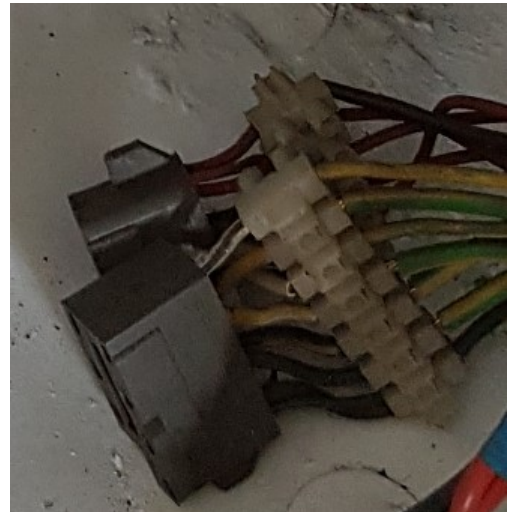
Johtimien liittämiseksi toisiinsa tai sähkölaitteisiin on määritetty seuraavanlaisia vaatimuksia: Liitos ei saa päästä aiheuttamaan jännitehäviöitä, ja se täytyy suojata todella hyvin hapettumista vastaan. Hyvä tapa tähän on eristää liitos tiiviiseen koteloon. Johdinliitos ei saa päästä aiheuttamaan oikosulun vaaraa. Liitoksen avaamisen pitäisi olla mahdollista ilman työkaluja. Näitä vaatimuksia ei kuitenkaan aina voida toteuttaa. Syynä voi olla lämpötila, ahtaat tilat tai ympärillä

olevien rakenteiden vuoksi. (Koivisto ym. 2012: 149; Wiring Harnesses 2014: 1181-1184; 250 series miniature Faston receptacle 2021; Ampsela amutomotive 2016.)

8.2 Ruuviliitos

Ruuviliitoksia käytetään kohteissa, jonka kautta kuljetetaan suuria sähkövirtoja. Esimerkiksi ajoneuvon akkuun tai käynnistimeen liittyvät johtimet ovat yleisesti ruuviliitoksella yhdistetty (kuva 16). Ruuviliitoksen parhaimpiin ominaisuuksiin kuuluu hyvin suuri kosketuspinta-ala ja sen nopea avattavuus. Sen huonoihin ominaisuuksiin kuuluu löystymismahdollisuus sekä taipumus hapettumiselle. Alkuperäisessä johtosarjassa käytettyjä talosähköpuolen liittimiä ei uuteen johtosarjaan luonnollisesti asennettu (kuva 16).

Nämä liitokset sopivat vain kuiviin tiloihin tai sisäisiin kytkentöihin herkän hapettuvuutensa takia. (Koivisto ym. 2012: 150.)



Kuva 16. Käynnistinmoottorin ruuviliitos sekä työssä olleet entiset ruuviliitokset.

8.3 Eristetyt tinakutisteholkit

Tinaliitos on resistiivisyystaulukon perusteella sähköjohteena hyvä. Sillä pystytään saavuttamaan matala sulamispiste, ja sen pehmeiden ansiosta liitoksessa iso kosketuspinta-ala. Sulanut tina yhdistää johtimien säikeet toisiinsa kiinteiksi muodostaen samalla suojaavan kerroksen liitoksen päälle.

Tinaliitoksen heikkouksiin kuuluu sen hankala irrotettavuus ja hankala liitettävyyys sekä suurimpana heikkoutena sen murtumakohdan sijoittuminen tinauksen viereen. Tinaa käytetään edelleen muiden liitostapojen yhteydessä tiivistys- ja päällysteaineena.

Kuvassa 17 esitetty erilaisia tinakutisteholkkeja, joita työssä käytettiin. Holkeissa on käytetty hyväksi tinaa sekä kutistuvaa ja sulavaa eristettä. Tällä tavalla syntyy liitos, joka kestää värinää, lämpötilanvaihtelua ja kosteutta. Tinaliitosta lämmittäessä tina sulaa ja kiinnittää johtimessa olevat johtimet toisiinsa. Samalla kuori kutistuu ja sulaa tiivistäen liitoksen. (Koivisto ym. 2012: 149–150.)



Kuva 17. Erikokoisia eristettyjä tinakutisteholkkeja.

8.4 Esieristetyt johdinpäätteet

Esieristettyjä johdinpäätteitä tuotetaan monia eri kokoja ja lukuisille erilaisille liitoksille (kuva 18). Eristeen suojakuoren väri ilmoittaa, minkä paksuiselle johtimelle liitin on suunniteltu.

Punainen liitin on johtimelle, jonka poikkipinta-ala on $0,25\text{mm}^2 - 1,6\text{mm}^2$, sininen liitin on johtimelle, joka on $1,0\text{mm}^2 - 2,6\text{mm}^2$, keltainen liitin on johtimelle $2,7\text{mm}^2 - 6,6\text{mm}^2$. Valmistajan mukaan voivat liittimien raja arvot jonkin verran vaihdella, mutta väritunnukset ovat samat. (Koivisto ym. 2012: 151.)



Kuva 18. Työssä käytettyjä eristettyjä liittimiä.

8.5 Eristämättömät lattaliittimet

Eristämättömätkin liittimet (kuva 19) kiinnitetään eristettyjen tavoin omilla pihdeilläään puristaen tiukasti johtimen, sekä eristeen. Eristeeseen kiinnittämisen syynä on poistaa vetorasitus kyseisestä liitännästä. Näitä päätteitä on yleisesti kahta tyyppiä, rengas- tai lattaliittimiä. Rengasliittimien käyttö on lähinnä tarkoitettu monijohtimisten hallintalaitteistojen tai johdinkimppujen liittämiseen. Rengasliittimet ja 6,3 mm:n lattaliittimet voisivat käydä, vaikka ajovaloihin tai polttoainepumppuun. Työssä käytettiin eristämättömiä lattaliittimiä releiden pohjissa. Latta- ja rengasliittimiä on eri kokoja eri johdin- ja virrankäyttöalueille. (Koivisto ym. 2012: 153.)



Kuva 19. Työssä käytetty eristämätönliitin.

9 Johtosarjan reititys ja mekaaninen suojaus

Liitokset ja johtimet on hyvä suojata monestakin syystä. Kosteuden pääsy liittimiin on estettävä korroosion takia ja siitä aiheutuvien jännitehäviöiden takia. Oikosulkuvaaran takia on estettävä johtimien hankaaminen, johtimien kosketus runkoon sekä johtimen liikkuminen. Liikkuminen pitää estää riittävillä kiinnityksillä ja korroosion mahdollisuus tiivisteillä. (Koivisto ym. 2012: 155.)

9.1 Hankaus- ja kosketussuojaus

Kaikki jännitteiset ajoneuvon osat tulisi suojata eristävällä materiaalilla siten, että niiden ei ole mahdollista päästä koskettamaan toisiaan tai synnyttämään oikosulun vaaraa. Eristäminen on erityisen tärkeintä niissä liittimissä, joissa on virtaa auton ollessa pois päältä, eli niissä, jotka ovat yhteydessä auton akkuun. Johtimen hankautuminen ja liikkuminen olisi syytä estää. Tärkeänä tämä on sellaisissa paikoissa, joissa johtimet kulkevat auton korirakenteiden lävitse, esimerkiksi johdinta laittaessa rintapellin läpi moottoritilaan. Johdinten hankautumista voidaan estää niputtamalla niitä toisiinsa tai sitomalla muihin sopiviin paikkoihin. Korin läpiviennit suojataan läpivientikumeilla (kuva 22). Hankautumiset

pyritään estämään ylimääräisellä pehmustemateriaalilla tai suojakuorella. (Koi-visto ym. 2012; 155.)

9.1.1 Sähköteippi

Sähköteippiä tai toiselta nimeltään eristysteippiä käytetään eristämään sähköjohtoja tai muita sähköä johtavia materiaaleja. Teippiä voidaan valmistaa muoveista, mutta vinyyli on suosituin, koska se on hyvin venyvä. Vinyyli antaa pitkäaikaisen suojan kohteelle. Työssä käytettiin kangasteippiä (kuva 20), sillä jos joutuu purkamaan tai muuttamaan jotain, on huomattavasti helpompi purkaa johtosarja kangasteipistä kuin edellä mainitusta vinyyliteipistä. Autoteollisuuteen on kehitetty Tesa 51006 -sarjan teippi, joka on suunniteltu johtosarjojen päällystämiseen erityisesti moottoritallassa. Se johtuu sen hyvästä lämpötilankestosta ($-40\text{ °C} - 105\text{ °C}$) ja muista ominaisuuksista, kuten hankautumisen ja kemikaalien kesto, ikääntymisen kesto, repeytymättömyys, joustavuus ja sileys. (Wire harnessing 2020; Tesa 51006 2020.)



Kuva 20. Työssä käytetty sähköteippi.

9.1.2 Kutistesuojatut liitokset

Kutistesuojaputken tehtävä on suojata johtosarjaa kosteudelta, pölyltä kemikaaleilta, lämmöltä ja hankautumiselta. Kutistesuojaputki on joustavaa, ja sillä on hyvä suojata liitokset ja johtimet. Liitoksien suojauksessa käytetään liimaa sisältävää kutistesuojaputkea. Kutistesuojaputken sisäinen liima tarjoaa liittimille ja

johtimille pöly- ja vesitiiveyden. Suojaputken täytyy toimia lämpimissä ja kylmissä olosuhteissa. (Koivisto ym. 2012: 156.)

Kutistesuojatuissa liitoksissa kutistetaan lämmön avulla kutistesuoja joko liittimen tai liitoksen päälle (kuva 21). Työssä käytettiin liimakutisteputkia johdinliitoksien päälle eristäen liitoskohta.



Kuva 21. Työssä käytettyjä liimakutisteputkia.

9.2 Johtosarjan läpiviennit ja johtimen suojaus

Johtosarjat joudutaan usein viemään palkiston tai peltiseinämien lävitse. Tällöin on ongelmana läpiviennin terävät reunat, jotka voivat aiheuttaa eristeen kulumisen hankautumalla ja aiheuttaa johtimeen oikosulun. Tämän takia täytyy johtosarja suojata oikeanlaisilla läpivientisuojuilla. Läpivientikumi (kuva 22) estää samalla veden, lian ja muidenkin epäpuhtauksien pääsyn sisäpuolelle. Kumisia läpivientikumeja on saatavilla erikokoisina ja mallisina. Johtimet suojattiin hankautumiselta päällystämällä johdin nailonsukalla (kuva 22).



Kuva 22. Työssä käytettyjä nailonsukkia ja läpivientikumeja.

9.3 Johtosarjan kiinnitys

Johtosarja on kiinnitettävä tukevasti auton runkoon, jotta johtimet eivät hankautuisi ajoneuvoissa esiintyvän värinän takia. Tämä estää myös johtosarjan hankautumisesta johtuvia ääniä auton runkoa vasten. Johtosarjan kiinnitykseen on olemassa monia erilaisia materiaaleja, kuten metallisia tai muovisia kiinnikkeitä, joissa on reikä tai liimapinta kiinnitystä varten. (Nieminen, Simo 1994: 447.)

Johtosarjan kiinnitykseen valikoitui liimattavat muoviset nippusideankkurit (kuva 23). Niiden liimattavan kiinnityksen ansiosta vältetään turhilta rei'iltä. Kiinnityspaikkoja ei aloittaessa mietitty vaan ne katsottiin asennuksen yhteydessä, koska liimattavat kiinnikkeet ovat helppo ja nopea asentaa. Näin saadaan johtosarja ohjattua kiinnittimien tukemana käyttökohteeseen.



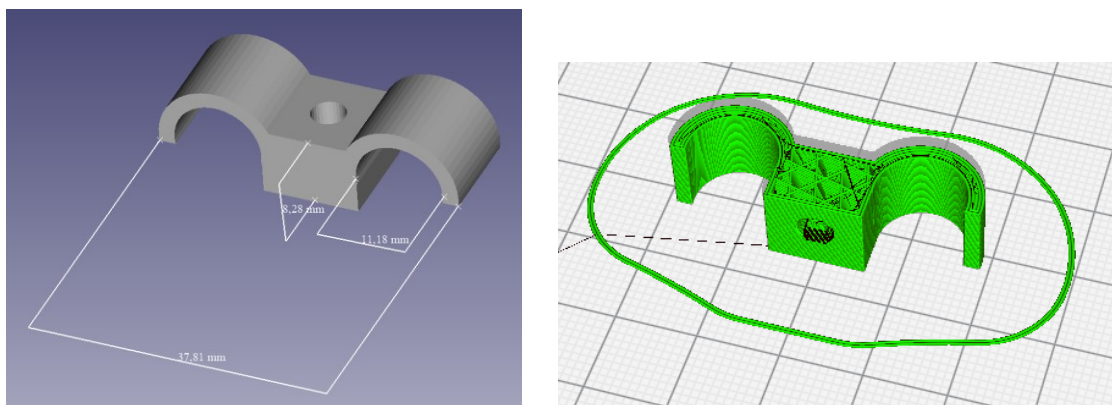
Kuva 23. Työssä käytettyjä nippusideankkureita.

9.4 Johtosarjakiinnikkeiden valmistus

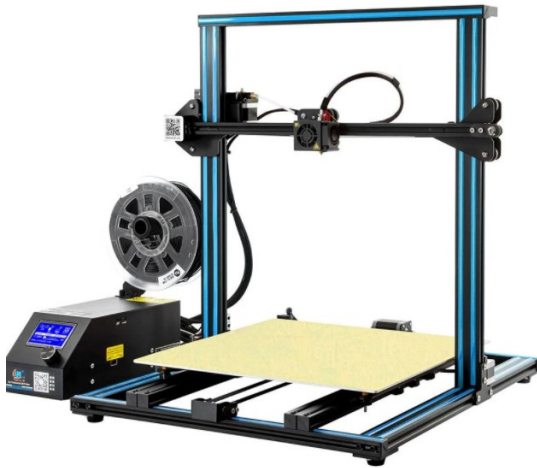
Työssä pystyttiin hyödyntämään myös 3D-tulostusta. Tulostimen avulla luotiin projektiin sopivia spesifisen kokoisia kiinnikkeitä. Suunnittelu aloitettiin määrittelemällä johtosarjan paksuus kiinnityskohdassa. Kiinnikkeistä luotiin aluksi käsin yksinkertainen mittapiirros, jonka avulla aloitettiin 3D-mallin suunnittelu. Mallin-
 nusohjelmana käytössä oli verkosta ladattava FreeCAD-ohjelmisto. Kuvassa 24 johdinpidikkeen ensimmäinen revisio. Mallinnettu kiinnike täytyi viedä tulostimen käyttämään ohjelmistoon eli Curaan.

Koska 3D-tulostin ei suoraan ymmärrä STL-tiedostoa, joutuu sen vielä muuttamaan Cura-ohjelmalla tulostimelle sopivaan muotoon. Cura on myös verkosta ladattava ohjelma. Curassa määritetään tulostettavalle kappaleelle kaikki tulostukseen tarvittavat tiedot, esimerkiksi kuinka monta prosenttia kappaletta täytetään sekä tarvitseeko kappale erikseen tulostustukia. Asetuksien jälkeen pystyy tarkistamaan, kuinka tulostin tulostaisi kappaleen (kuva 24). Lopuksi, kun asetukset on saatu paikoilleen, tallennetaan tiedosto. Ohjelmisto osaa automaattisesti laatia tiedostoon tulostusradat eli G-koodit tulostimelle. Tulostimena käytössä oli Creality CR-10-S4 -malli (kuva 25). Tulostimen tulostusalue on suuri 400 mm x 400 mm x 400 mm:n alue, johon tulostetaan haluttu esine. Kyseisen kiinnikkeen tulostukseen aikaa kuluu 20 minuuttia, ja materiaalia on 0,74 metriä

sekä PLA-muovia vajaa 2 grammaa. Toisenlaisilla tulostusasetuksilla pystyy lyhentämään tulostusaikaa. Materiaalina käytössä oli PLA-muovia, joka on kuluuskestävää, jota on helppo tulostaa. PLA-muovi tulee kilon rullana, joten sitä ei kulu kovinkaan paljoa per kiinnike. Lasille suihkutetaan lämpenemistilanteessa tartuntaliimaa, niin että sulaa muovi tarttuisi paremmin lasin pintaan. Kun lasi ja suutin ovat lämmenneet määrättyyn lämpötilaansa, alkaa tulostin pursottamaan 0,2 mm:n paksuista sulaa muovia lasin päälle muodostaen kerros kerrokselta haluttua kappaletta. Muovi jähmettyy todella nopeasti suuttimesta ulos tultuaan. Pidikkeen lopputulos on kuvassa 26.



Kuva 24. FreeCAD-mallinnos johdinpidikkeestä ja tulostimen liikeratojen loppu-tarkistus Curassa.



Kuva 25. Creality CR-10-S4 3D-tulostin (3D-cadsolutions 2021).



Kuva 26. Valmis pidike.

10 Johtosarjan reititys ja valmistus

Johtosarjan valmistus alkoi komponenttien hankinnalla suunnittelussa tehdyn osalistauksen myötä. Listaukseen kuuluu erinäisiä liittimiä, erivärisiä ja -paksuisia johtimia, erikokoisia kutisteputkia, eri läpivientejä yms. (kuva 27). Koko johtosarjan valmistus alkoi nolasta, sillä vanhasta johtosarjasta ei voinut hyödyntää mitään sen kuluneisuuden tähden (kuva 28).



Kuva [2327](#). Erilaisia tarvittavia materiaaleja.



Kuva [2428](#). Vanha johtosarja purettuna.

Komponenttilistauksen jälkeen johtimien reitityksiä mallinnettiin jokaiselle toimilaitteelle. Reititykset pyrittiin tekemään mukailien vanhan johtosarjan reititystä (kuva 29).

Akulle, käynnistinmoottorille ja päävirtakatkaisimelle valittiin 70mm^2 :n paksuiset kaapelit. Rele ohjatuille toimilaitteille valittiin taulukon 3 mukaan $1\text{mm}^2 - 2,5\text{mm}^2$:n pinta-alaiset johtimet. Ennen johtimien suunnittelua päätettiin, mihin kohtaan autonkorissa kiinnitetään releet, sulakkeet, maadoitukset ja muut ohjauspaneelit. Johtosarjan koekytkentä ja testaus täytyi tehdä ennen lopullista koonpanoa. Jos johtosarjasta löytyy jokin vika, niin sen korjaaminen on testausvaiheessa huomattavasti helpompaa kuin valmiista suojatusta tuotteesta. Koekäytössä löytyi latauksen merkkivalon toiminnasta ongelma, joka korjattiin muuttamalla mittariston kytkentää. Koekäytön jälkeen johtosarja purettiin ajoneuvosta ja aloitettiin suojamateriaalien kiinnitys. Haarapisteiden merkinnän jälkeen johtosarja suojataan luvussa 9 määritellyillä suojamateriaaleilla. Haaroituksen ja suojausten avulla johtosarjan ulkoasusta tulee erittäin siisti ja sen kestävyys paranee huomattavasti. Kuvassa 30 on levitetty lattialle valmiiksi eristetty johtosarja, jossa näkyy johtojen haaroitukset ja liittimet.



Kuva [2529](#). Johtosarjan johtimien pituuksien määrittelyä kokeellisesti.



Kuva [2630](#). Valmis johtosarja ennen asennusta.

11 KytKentäkaavion tekeminen

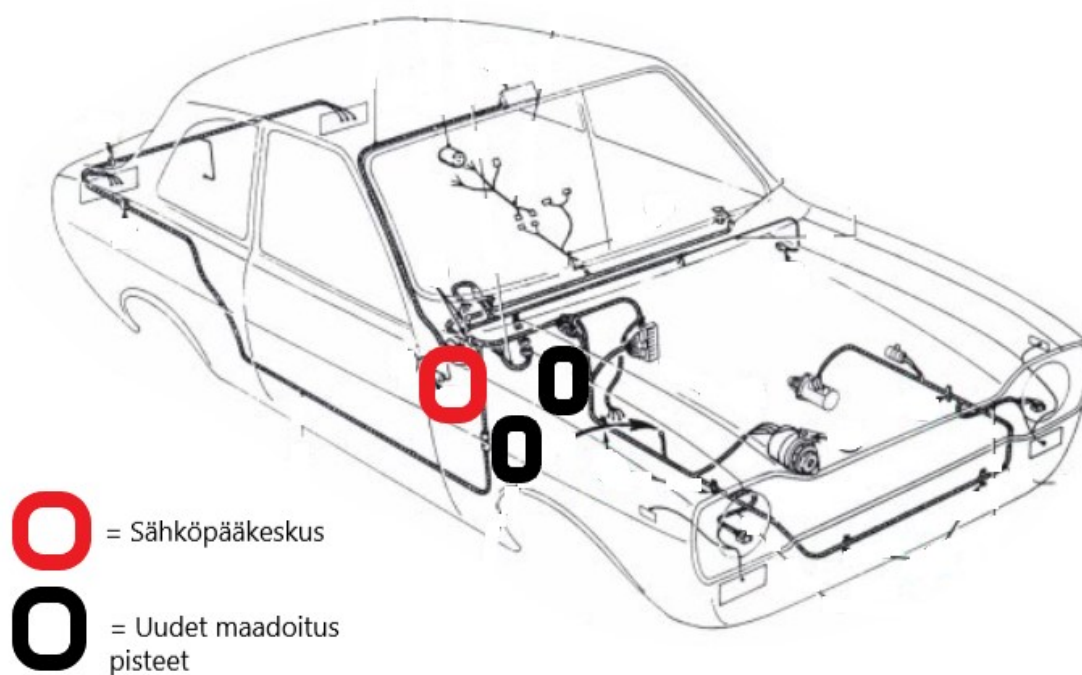
Perusosien piirrosmerkit virtapiirissä

KytKentäkaaviota laadittaessa hyödynnetään standardien DIN72552 sekä IEC60617 mukaisia merkintöjä ja piirrosmerkkejä, jotka ovat yleisesti ajoneuvoalalla sekä muilla sähkösuunnittelualoilla käytössä. Tämä helpottaa käyttämään sekä lukemaan ja ymmärtämään virtapiirikaavioita, koska samat merkinnät tai numeroinnit tarkoittavat samaa kaaviosta riippumatta. DIN72552-standardissa on määritetty virtapiirikaavion merkinnät numeroin ja IEC60617 standardissa on määritetty virtapiirikaavion piirrosmerkinnät. Yleisesti virtapiiri muodostuu peräkkäin eli sarjaan kytketyistä sähkölaitteista. Virtapiiri koostuu vähintään kolmesta seuraavasta osasta: sähkölähteestä, kuormittajasta ja johtimista. Virtapiiriin voi kuulua katkaisija, releitä tai ohjainlaitteita, joilla kuluttajien päälläpois-toiminnallisuutta ohjataan. (Koivisto ym. 2012: 23; DIN 72552 Standardisation definition guide 2014; IEC-60617 Symbol preview 2018.)

Virtapiirikaavion (liite 1) toteutusohjelmaksi valikoitui EdrawMax, joka on verkosta ladattava sähkökaavio-ohjelmisto. Kyseisellä ohjelmalla pystyy tekemään selkeän sähkökytkentäkaavion, josta tulee hyvin esille johtimien reititykset ja

toimilaitteet. Piirustuksessa näkyy johtimien paksuudet, värit ja liitoskohdat. Lisäksi nämä toteutettu myös liitteessä kolme. Ohjelma on todella selkeä ja helpokäyttöinen.

Nykyisen johtosarjan reititys valikoitui kulkemaan alkuperäisen johtosarjan reitin mukaan (kuva 31).



Kuva [2734](#). Johtosarjan reititys, sähköpääkeskus ja maadoituspisteet (It's about the car 2021).

12 Yhteenveto

Tavoitteena oli valmistaa ja suunnitella nykyaikainen johtosarja. Edellä mainitut tavoitteet saavutettiin työn aikana. KytKentäkaaviota voisi jalostaa vieläkin pidemmälle virallisella johtosarjansuunnitteluohjelmistolla. Itse työ onnistui hyvin muutamaa pientä virhettä lukuun ottamatta. Nämä virheet olivat väärin tehty kytKentä mittariston latauksen merkkivalolle ja pituuden mitoituksvirhe puolalle menevälle virtajohtimelle. Puolan virtajohtimien korjattiin pidemmäksi ja latauksen

merkkivalon johdot kytkettiin eri tavalla. Hyvä puoli virheessä oli se, että täytyi itse selvittää, mistä vika johtui. Latauksen merkkivalo paloi koko ajan, vaikka auto olikin käynnissä ja latasi normaalisti. Laturilta uupui tieto merkkivalolle, milloin valo voi sammua.

Mikäli haluaisi vielä kevyemmän ja paremman johtosarjan, niin se täytyisi valmistaa hyödyntäen väylätekniikkaa. Edellinen johtosarja painoi 8,5 kg ja nykyinen 4 kg, joten painonsäästöä tuli 47 %, joka on todella paljon. Kaikkien toimilaitteiden ja valojen ohjaus toimii kahden paneelin kautta. Auton käynnistys tapahtuu painonäppäintä painamalla, ja kaikki virrat on kytketty päävirta katkaisimen kautta.

Ajoneuvoon löytyisi valmiita johtosarjoja, mutta niiden hinnat ovat 3000–5000 e riippuen siitä, kuinka paljon toimilaitteita on. Väylällä varustettu johtosarja maksaa 8000 e. Tämän johtosarjan kaikki johtimet, liittimet, eristeet ynnä muut materiaalit maksoivat runsaat 500 euroa. Sähkösarja on huomattavasti halvempi tehdä itse, jos on tietotaitoa ja työkalut. Työtunteina aikaa kului yli 140 tuntia ja sen lisäksi tarvittiin suunnittelua ja mitoitusta. Työtä pitkitti johtojen kokoaikainen mallaaminen paikalleen, koska valmiita pituuksia ei ollut olemassa.

Auton sähköt toimivat ja ovat siististi niputettu kiinni. Ensi kerralla on helpompi lähteä tekemään vastaavaa, jos edessä on samankaltainen projekti.

Lähteet

12 volt wiring tech gauge to amps. 2017. Verkkoaineisto. Offroaders. <<http://www.offroaders.com/technical/>>. Luettu 10.2.2021.

250 series miniature Faston receptacle. 2021. Verkkoaineisto. TE connectivity. <https://www.te.com/global-en/products/terminals-splices/quick-disconnects/250-series-mini-faston-receptacle.html?tab=pgp-story>>. Luettu 30.3.2021

Ampsela automotive. 2016. Verkkoaineisto. TE connectivity. <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7F114-16016%7FM%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_SS_114-16016_M.pdf%7F770678-1>. Luettu 30.3.2021.

Automotive electrics. 2003 6th edition. Plochingen: Robert Bosch GmbH.

Cable and Wire Insulation Materials. 2021. Verkkoaineisto. Allied Wire & Cable, Inc. <<https://www.awcwire.com/insulation-materials>>. Luettu 15.2.2021.

Classic car automotive electrical systems. 2017. Verkkoaineisto. Secondchancegarage. <<http://www.secondchancegarage.com/public/98.cfm>>. Luettu 17.2.2021.

Connector theory and application. 2018. Verkkoaineisto. Connector theory. < https://hubbellcdn.com/ohwassets/HCE/burndy/PDFs/connector-theory_20180411.pdf>. Luettu 20.2.2021.

3Dcadsolutions. 2021. Verkkoaineisto. An-cadsolutions. <<https://www.an-cadsolutions.fi/tuote/creality-cr-10-s4-3d-tulostin/>>. Luettu 17.3.2021.

Dietsche, Karl-Heinz & Klingebiel, Maria. 2007. Bosch Automotive Handbook. 7th edition. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.

DIN 72552 Standardisation definition guide 2014. Verkkoaineisto. Arc-components.com < <https://www.arc-components.com/blog/din-72552-standardisation-definition-guide.html>>. Luettu 22.3.2021.

Electric current and the theory of electricity. 2021. Verkkoaineisto. Electrical 4 u. <<https://www.electrical4u.com/electric-current-and-theory-of-electricity/>>. Luettu 22.3.2021.

Electric Power. 2018. Verkkoaineisto. Circuit globe. <<https://circuitglobe.com/electric-power.html>>. Luettu 24.2.2021.

Electrical voltage. 2020. Verkkoaineisto. Electronics tutorial. <https://www.electronics-tutorials.ws/dccircuits/dcp_1.html>. Luettu 24.3.2021.

Fuse and Types of Fuses. 2014. Verkkoaineisto. Electricaltechnology. <<https://www.electricaltechnology.org/2014/11/fuse-types-of-fuses.html>>. Luettu 26.3.2021.

Homologations 2020. FIA. Verkkoaineisto. <<https://www.fia.com/homologations>>. Luettu 29.3.2021

How to Use a Star Point for Analog Ground. 2017. Verkkoaineisto. Altium designer21. <<https://resources.altium.com/p/how-to-use-a-star-point-for-analog-ground-digital-ground-connection>>. Luettu 9.11.2020.

IEC-60617 Symbol preview. 2018. Verkkoaineisto. Autodesk. <<https://knowledge.autodesk.com/support/autocad-electrical/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/AutoCAD-Electrical/files/GUID-7871E6EF-24D5-467E-9B74-321FEDC9DFDA-hm.html>>. Luettu 24.3.2021.

International standard. 2006. Verkkoaineisto. International standard. <<https://www.sis.se/api/document/preview/907765/>>. Luettu 20.3.2021.

It's about the car. 2021. Verkkoaineisto. Escortrs. <<https://www.escortrs.co.uk/febloom.html>>. Luettu 23.3.2021.

Koivisto, Juha-Pekka; Mikkolainen, Pekka & Rantala, Jouko. 2012 Autotekniikka 5. Helsinki: Otava.

Kosketuspaneeli. 2020. Verkkoaineisto. Biltema. <<https://www.biltema.fi/veneily/veneiden-sahkojarjestelma/katkaisinpaneelit/kosketuspaneeli-2000043693>>. Luettu 15.3.2021.

Käynnistinpainike. 2020. Verkkoaineisto. Biltema. <<https://www.biltema.fi/autoilu---mp/sahkojarjestelma/virrankatkaisijat/kaynnistyspainike-2000022306>>. Luettu 15.3.2021.

Larsson, Sven. 2006. Autosähkö. Iisalmi: IS-vet.

Let's talk about startet solenoids. 1998. Verkkoaineisto. Aero electric connection. <<http://www.aeroelectric.com/articles/strctr.pdf>>. Luettu 29.3.2021.

Nieminen, Simo. 1994. Auton sähkötekniikka. Helsinki: WSOY.

Painless performance products. 2020. Verkkoaineisto. painless performance products. <<https://www.painlessperformance.com/Manuals/10201.pdf>>. Luettu 25.2.2021.

Päävirtakytkin ja vetovaijeri. 2021. Verkkoaineisto. Björkmotorsport. <http://www.bjorkmotorsport.fi/OrigamiDEAL/index.php?page=product_info&id=31273&cid=1234&path=0,896,923,1234&lang=>>. Luettu 16.3.2021.

Starttijohdot ja maajohdot. 2021. Verkkoaineisto. Motonet. <<https://www.motonet.fi/fi/tuote/481807/Valimajohto-55cm.>>>. Luettu 17.3.2021.

Tarkka, Pertti; Määttänen Kari & Hietalahti, Lauri. 2002. Piirianalyysi 1. Helsinki: Edita.

Temperature rises in fuses. 2016. Verkkoaineisto. PEC. <<https://www.pecj.co.jp/en/fuse/outline/p3.html>>. Luettu 29.3.2021

Tesa 51006. 2020. Verkkoaineisto. Tesa. <<https://www.tesa.com/fi-fi/teollisuus/tesa-51006.html>>. Luettu 14.4.2021.

The MGA With An Attitude turn signal flasher unit et104. 2003. Verkkoaineisto. The MGA With An Attitude. <<http://mgaguru.com/mgtech/electric/et104.htm>>. Luettu 10.11.2020.

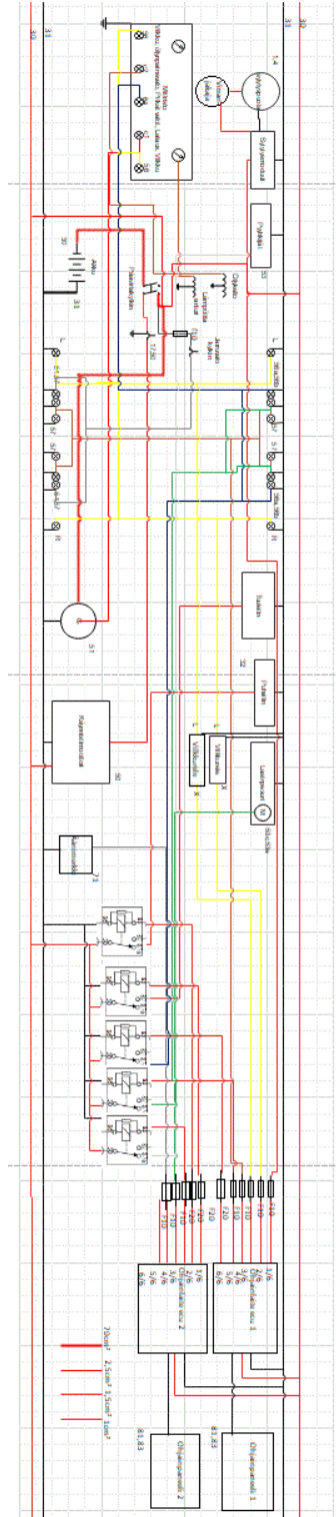
Understanding voltage drop. 2016. Verkkoaineisto. 1000bulbs. <<https://blog.1000bulbs.com/home/understanding-voltage-drop>>. Luettu 19.4.2021

What is Electrical Power: watts. 2018. Verkkoaineisto. Electronicsnotes. <https://www.electronics-notes.com/articles/basic_concepts/power/what-is-electrical-power-basics-tutorial.php>. Luettu 15.11.2020.

Wire harnessing. 2020. Verkkoaineisto. Tesa. <<https://www.tesa.com/en/industry/automotive/applications/wire-harnessing>>. Luettu 29.3.2021

Wiring Harnesses. 2014. Boch Automotive handbook. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.

Kytentäkaavio



DIN72552 Standardin mukaiset merkinnät

Virranjakaja

- 1 Sytytyskela, virranjakaja, matalajännite
- 4 Sytytyskela, virranjakaja, korkeajännite
- 17 Käynnistys
- 50 Käynnistimen ohjaus

Akku

- 15 Akun+, virtalukon kautta
- 30 Suoraan akun +:lta
- 31 Paluu akun -:lle tai suoraan maahan

Vilkkuvalot

- 49 = X Vilkkurele sisäänmeno
- 49a = L Vilkkurele ulostulo
- L Vilkkuvalot vasemmalla
- R Vilkkuvalot oikealla
- 51 Tasajännite tasasuuntaajalla
- 64 Latauksen merkkivalo

Valot

- 54 Jarruvalo
- 55 Sumuvalo
- 56 Päävalo
- 56a Kaukovalo ja sen merkkivalo
- 56b Lähivalo
- 57 Seisontavalo
- 58 Ääri-, taka-, tunnuskilpi- ja mittaristovalot

Lasinpyyhin ja -pesin

- 53 Lasinpyyhkimen moottori + sisään
- 53c Tuulilasipesimen pumppu

Hälytysääni

71 Äänimerkki sisään

Kytkimet

81 Kytkin, sisäänmeno

83 Moniasentokytkin, sisäänmeno

Rele

84 Sisäänmeno, ohjaus ja kärjet

84a Ulostulo, ohjaus

84b Ulostulo, releen kärjet

85 Releen käämi ulos, ohjaus -/maa

86 Releen käämi sisään, ohjaus +

86a Käämin alkupää tai 1. käämi

86b Käämin väliulostulo tai 2. käämi

87 Sisään (aukaisija/vaihtaja)

Johdin pinta-alat, värit, pinnit ja pituudet

Toimilaite	Johdin pinta-ala (mm ²)	Väri	Pinni nro.	Pituudet (m)	Sulake (A)
Lyhyet ajovalot (56b)	1,5	Vihreä	5 (ecu1)	3	20
Pitkät ajovalot (56a)	1,5	Sininen	6 (ecu1)	3	20
Vilkku (L)	1	Keltainen	2 (ecu1)	8	10
Vilkku (R)	1	Keltainen	3 (ecu1)	7	10
Tuuletin	2,5	Punainen	1 (ecu2)	2	20
Puhallin (32)	1,5	Punainen	2 (ecu2)	1	20
Jarruvalo (54)	1	Harmaa		6	10
Seisontavalot (57)	1	Ruskea	4 (ecu1)	8	10
Sytytysmoduuli	1	Punainen	1 (ecu1)	2	10
Mittaristo (58)	1	Sininen		1,5	10
Öljykello	1	Ruskea		1,5	
Lämpötila-anturi	1	Ruskea		1,5	
Pyyhkijät (53)	1,5	Valkea	3 (ecu2)	0,8	20
Laturi (51)	70	Punainen		1	
Lasinpesin (53e,53c)	1	Vihreä	5 (ecu2)	1,5	10
Käynnistin heräte (50)	1	Punainen		1	
Päävirtakytkin	70	Punainen		3	
Äänimerkki (71)	1	Harmaa	4 (ecu2)	2	10
Maa (31)	1	Musta		0,3	
Käynnistin painike (17)	1,5	Punainen		1,5	
Virranjakaja (1,4)	1	Punainen		2	
Vilkun merkkivalo (L,R)	1	Keltainen		2	
Pitkien merkkivalo (56a)	1	Sininen		2	
Latauksen merkkivalo	1	Punainen		2	
Painonäppäimet	0,2	Musta USB		0,5	
Jarrukytkin	1	Harmaa		1	
Akku (30)	70	Punainen		3	
Rele (30)	1,5	Punainen		0,4	
Rele (85)	1,5	Musta		0,4	
Rele (86)	1,5	Punainen		0,4	
Rele (87) Puhallin	1,5	Punainen		0,4	
Rele (87) Pitkät ajovalot	1,5	Sininen		3	
Rele (87) Lyhyet ajovalot	1,5	Vihreä		3	
Rele (87) Tuuletin	2,5	Punainen		2	
Rele (87) Pyyhkijät	1,5	Valkea		0,8	
Rele Vilkku (L,R)	1	Keltainen		0,4	
Akku (31)	70	Musta		0,3	
Öljynpaine merkkivalo	1	Ruskea		1,5	
Käynnistinmoottori	70	Punainen		1	