



Vertti Honkanen

Modernin johtosarjan suunnittelu ja valmistus 1970-luvun autoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

19.5.2025

Tiivistelmä

| | |
|-----------------------|---|
| Tekijä: | Vertti Honkanen |
| Otsikko: | Modernin johtosarjan suunnittelu ja valmistus 1970-luvun autoon |
| Sivumäärä: | 52 sivua + 4 liitettä |
| Aika: | 20.5.2025 |
| Tutkinto: | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma: | Ajoneuvotekniikka |
| Ammatillinen pääaine: | Autosähkötekniikka |
| Ohjaajat: | Lehtori Pasi Kovanen |

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin modernien henkilöautojen sähköjärjestelmiä ja johtosarjoja. Tutkittujen tietojen perusteella suunniteltiin ja valmistettiin modernien menetelmien mukainen uusi johtosarja vuonna 1973 valmistettuun harrasteautoon.

Työn aikana tutkittiin työn kohteena olevan vuonna 1973 Chrysler-konsernin valmistaman Dodge Dartin lisäksi kahta Volkswagen-konsernin 2010- ja 2020-luvulla valmistamaa henkilöautoa. Uusia autoja käytettiin lähtökohteena modernin autosähkösuunnittelun ymmärtämiseksi.

Tehtyjen analyysien pohjalta suunniteltiin uusi johtosarja valikoiden uudet komponentit ottaen huomioon auton moottoritilan olosuhteet, modernien autojen valinnat ja tulevaisuuden muokattavuus.

Työn tuloksena saavutettu suunnittelutyö, dokumentointi ja johtosarja tarjoavat hyvän lähtökohdan vanhan henkilöauton moottoritilan johtosarjan ja sähköjärjestelmän modernisoinnin suunnitteluun ja uuden johtosarjan yksilölliseen valmistukseen.

Avainsanat: johtosarja, autosähkötekniikka, modernisointi, johtosarjasuunnittelu, moottorin johtosarja

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Vertti Honkanen
Title: Designing and Manufacturing a Modern Wiring Harness for a 1970s Vehicle
Number of Pages: 52 pages + 4 appendices
Date: 20 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Electrical Engineering
Supervisor: Pasi Kovanen, Senior Lecturer

This bachelor's thesis researched the electrical and wiring harness design of modern passenger vehicles and used the information provided to design and assemble a new wiring harness for a 1970s American passenger vehicle that is being restored for enthusiast use.

The vehicle that is the subject of this thesis is a Dodge Dart, manufactured by the Chrysler Corporation in 1973. In addition to the main subject of this thesis, a further two vehicles' electrical systems and wiring harnesses, manufactured by Volkswagen AG, were analyzed to provide information on modern wiring harness design.

These analyses were used as a baseline in designing a new wiring harness, choosing new components, and manufacturing the new wiring harness. In addition to the information provided by the analyses, the general conditions of a passenger vehicle's engine bay were also considered.

The reached result of this thesis provides a detailed overview into wiring harness design, documentation, and a practical approach to implementing these design advancements in an individualized wiring harness project.

Keywords: Automotive electrical engineering, wiring harness, engine bay harness, modernization

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Alkuperäisen johtosarjan analyysi | 1 |
| 2.1 | Sulakkeet | 2 |
| 2.1.1 | Fusible links | 2 |
| 2.1.2 | Lasiputkisulakkeet | 3 |
| 2.2 | Virran kytkentä | 3 |
| 2.3 | Liittimet | 4 |
| 2.4 | Johtosarjan suojaus | 6 |
| 2.5 | Johtimien eristeet | 8 |
| 2.6 | Johtosarjan tukipisteet | 8 |
| 3 | Modernit johtosarjat | 9 |
| 3.1 | Volkswagen ID.5 Pro | 9 |
| 3.1.1 | Suojaus | 10 |
| 3.1.2 | Tuenta | 11 |
| 3.1.3 | Liittimet | 12 |
| 3.2 | Volkswagen Golf Plus | 13 |
| 4 | Uuden johtosarjan suunnittelu | 14 |
| 4.1 | Virrankulutuksien ja poikki-pinta-alojen laskeminen | 15 |
| 4.2 | Johdon valinta | 17 |
| 4.3 | Virranjako ja kytkentä | 19 |
| 4.4 | Maadoitus | 21 |
| 4.5 | Ohjainlatteiden sijoitus | 22 |
| 4.6 | Liittimet | 23 |
| 4.6.1 | Deutsch DT-sarjan liittimet | 24 |
| 4.6.2 | Deutsch DTP-sarja | 24 |
| 4.6.3 | Valmistajan omat liittimet ja muut liittimet | 25 |
| 4.7 | Johtosarjan suojaus | 26 |
| 4.8 | Johtosarjan tukeminen | 27 |
| 4.9 | Dokumentointi | 28 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5 | Johtosarjan valmistaminen | 28 |
| 5.1 | Rakennusalusta | 29 |
| 5.2 | Käytettävät työkalut | 30 |
| 5.3 | Johtojen mittaus, leikkaus ja kuorinta | 32 |
| 5.4 | Liittimien puristaminen ja kokoaminen | 32 |
| 5.5 | Muutokset auton alkuperäisiin komponentteihin | 41 |
| 5.6 | Johtosarjan testaus | 42 |
| 5.7 | Johtosarjan niputus, suojaus ja tukeminen | 43 |
| 5.8 | Valmis johtosarja | 47 |
| 6 | Yhteenveto | 48 |
| | Lähteet | 50 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1: Alkuperäiset läpivientiliittimet | |
| | Liite 2: Virrankulutukset | |
| | Liite 3: Raychem Spec55 | |
| | Liite 4: KytKentäkaaviot | |

Lyhenteet

AWG: *American Wire Gauge*. Yhdysvalloissa käytettävä mittayksikkö johtimen poikkipinta-alalle

DIN: *Deutsches Institut für Normung*. Saksalainen standardisoimisjärjestö

ETFE: Eteenitetetrafluorieteeni.

ISO: *International standards organization*. Kansainvälinen standardisoimisjärjestö

PA: Polyamidi.

PVC: Polyvinyylidikloridi.

SAE: *Society of Automotive Engineers*. Yhdysvaltalainen standardisoimisjärjestö

TXL: Ristisilloitettu polyeteeni.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa uusi osittainen johtosarja 70-luvun amerikkalaisvalmisteiseen harrasteautoon. Autossa olevan alkuperäisen johtosarjan suunnittelua vertaillaan moderniin ajoneuvojohtosarja-suunnitteluun analysoimalla 2010- ja 2020-luvulla valmistettujen henkilöautojen moottoritalan johtosarjoja. Uusista johtosarjoista näemme esimerkkejä, kuinka modernissa tehtaassa tuotetussa johtosarjassa on valittu liittimet, johtimien koot, tuentapistet ja johtosarjan suojaus. Alkuperäisen johtosarjan ja modernien henkilöautojen analysoinnin jälkeen suunnitellaan uusi johtosarja uudempien suunnitteluperiaatteiden ja autosähkötekniikan teorian mukaisesti. Uudessa johtosarjassa tullaan käyttämään moderneja liittimiä, johtoja ja suojausmenetelmiä.

Uudessa johtosarjassa tullaan myös tekemään muutoksia auton alkuperäisiin sähköjärjestelmän komponentteihin lisäämällä moderni relekeskus ja vaihtamalla alkuperäisten laitteiden liittimiä moderneihin liitinmalleihin. Uusien liittimien tarkoituksena on parantaa auton luotettavuutta, paloturvallisuutta ja tehokkuutta.

2 Alkuperäisen johtosarjan analyysi

Opinnäytetyössä käsiteltävä ajoneuvo on vuonna 1973 valmistettu amerikkalaisvalmisteinen Dodge Dart. Auton sähköjärjestelmän perustana on vielä tehtaalla valmistettu, 52-vuotias johtosarja. Johtosarjan ikä on tuottanut ongelmia auton luotettavuudessa, sillä monien alkuperäisten johtimien eristeet ovat halkeilleet iän seurauksena, eikä auton alkuperäisissä liittimissä ole modernien liittimien kaltaisia sääsuojauskeinoja. Tehdasvalmisteisessa johtosarjassa ei myöskään ole käytetty montaa relettä, vaan vaihtoehtoisesti suuriakin virtoja hallitaan suoraan kytkimillä, mikä johtaa paikoittain huomattaviin jännitehäviöihin, tulipaloriskeihin ja suuriin johdinpoikkipinta-aloihin. Johtosarjaan on myös tehty useita muutoksia erilaisten restaurointiyrityksien johdattamana, mikä

vaikeuttaa korjauksia. Uuden johtosarjan tarkoituksena on myös ratkaista yllä mainitut ongelmat.

2.1 Sulakkeet

1970-luvulla valmistetuissa sähköjärjestelmissä turvana oikosuluille ei käytetty montaa perinteistä sulaketta. Koko ajoneuvon sähköjärjestelmää suojaa 6 kappaletta lasiputkisulakkeita. Perinteisien sulakkeiden sijaan johtosarjassa on käytetty pienempiä johdonpaloja, jotka rikkoutuvat virtapiirin ylikuormittumisen johdosta sulakkeen tavoin. Tällaiset ratkaisut tunnetaan nimellä *fusible link*.

2.1.1 Fusible links

Nämä pienemmät johdot valmistetaan käyttämällä johdossa neljä amerikkalaista johdon poikkipinta-alaa, eli AWG:ta pienempää johtoa lyhyessä palassa johtovettoa [Fusible Link FAQs]. Näitä sulakkeina käytettäviä johtoja käsittelee tarkemmin SAE-standardi J156, joka on julkaistu helmikuussa 1970. Standardin mukainen testimenetelmä on yhdistää standardin mukainen täysi auton akku johtosulakkeen välillä, minkä jälkeen johdon tulisi sulaa ja katketa 10 sekunnissa, eikä tästä johtuvan mahdollisen tulen pitäisi kestää yli 5 sekuntia [SAE J156_197002 1970]. SAE J156-standardin vaatimuksia voidaan verrata nykyaikaisissa autoissa käytettäviin standardin ISO 8820-3 käsittelemiin laajasti käytössä oleviin lattasulakkeisiin. ISO-8022-3-standardin mukaisen testin mukaan tyypin C-lattasulakkeen tulisi katketa maksimissaan 0,1 sekunnin jälkeen, kun sen läpi johdetaan kuusinkertainen virta sulakkeen nimellisvirtaan nähden [ISO 8820-3:2010].

2.1.2 Lasiputkisulakkeet

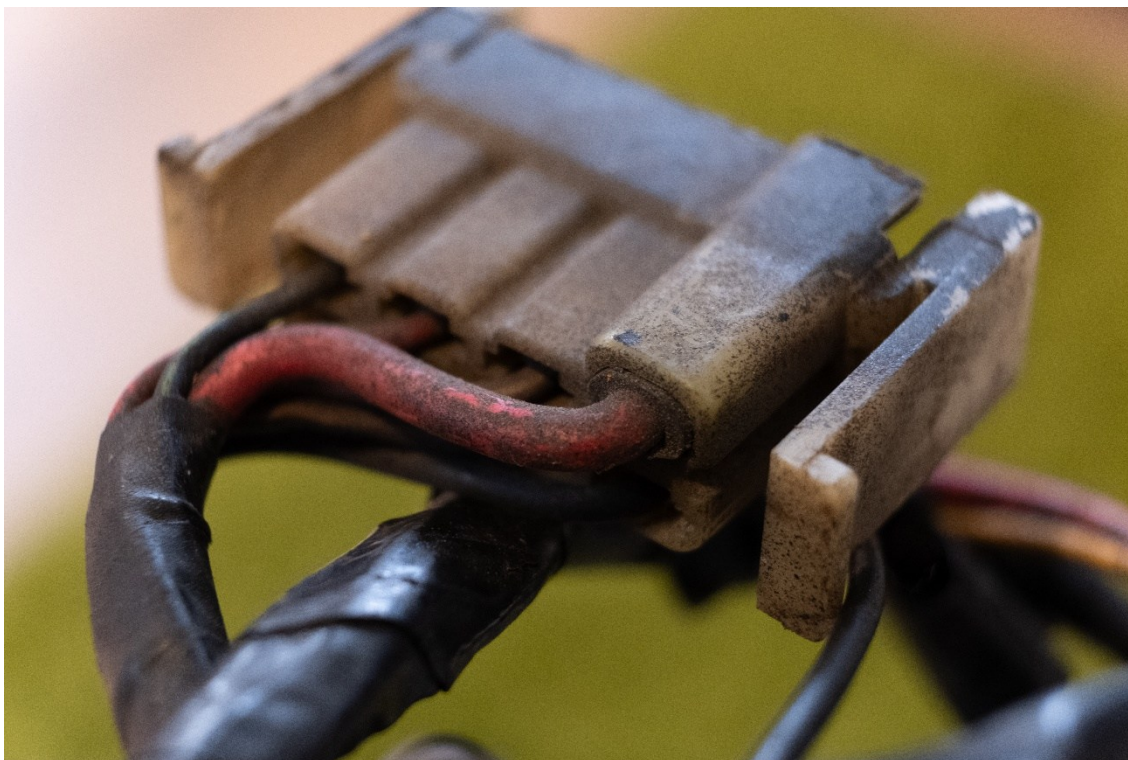
Autossa olevat kuusi lasiputkisulaketta toimivat turvalaitteina monelle sähkölaitteelle samaan aikaan. Auton sulakerasia on auton sisätilassa, mikä tarkoittaa, että moottoritilasta sisätilaan menevät läpimenot ovat sulakkeilta suojaamattomia. Verrattaessa modernin auton virranhallintaan ja turvalaitteisiin yhdelle sulakkeelle on annettu useampi suojeltava virtapiiri, minkä vuoksi sulakkeiden nimellisvirrat on myös suunniteltu korkeiksi. Korkeiden virtojen vuoksi vahingot ja epäluotettavuus ylikuumentumisen vuoksi ovat yleisiä auton alkuperäisessä sähköjärjestelmässä. Auton uuden johtosarjan yhteydessä konetilaan tullaan asentamaan sähkökeskus, mikä lisää autossa olevien sulakkeiden määrän kahdeksanteentoista. Tämä sallii sulakkeiden kytkennän lähemmäksi auton akkua, mikä lyhentää matkaa, jolloin johdin on täysin sulakesuojaamaton.

2.2 Virran kytkentä

2020-luvulla valmistetussa henkilöautossa on harvinaista löytää sähköinen käyttölaite, jossa piirin virta kulkee suoraan käyttökytkimen kautta. Sen sijaan käyttökytkimet ovat yhteydessä ohjainlaitteeseen, jolta pyydetään käyttölaitteen kytkemistä. Jos ohjelmoidut ehdot ja mahdollinen tieto antureilta ovat hyväksytyt, käyttölaite aktivoidaan pääteastetta ohjaamalla tai relekytkennällä. Työssä käsiteltävässä 1970-luvun amerikkalaisvalmisteisessa sähköjärjestelmässä monien käyttölaitteiden kytkennät ovat suoritettu suoraan kytkimillä, ilman releitä tai muita mahdollisia ohjainlaitteita. Käyttölaitteiden kytkentä ilman releitä tai muuta kytkentälaitetta aiheuttaa monia negatiivisia vaikutuksia sähköjärjestelmän kustannuksissa, kestävyudessa ja turvallisuudessa.

Suoraan ohjatuissa käyttölaitteissa sähköjärjestelmä vaatii suurempia poikkipinta-aloja johtimissa, kytkimiä ja liittimiä, jotka pystyvät kytkemään suurempia nimellisvirtoja, mikä nostaa kustannuksia (Kuva 1). Suuremmat nimellisvirrat aiheuttavat myös valokaaria kytkimissä, mikä voi jättää kytkentäpintoihin hiiltymää. Hiiltyneet alueet nostavat vastusta kytkimessä, mikä aiheuttaa lämmön nousua. Sama tilanne on mahdollinen myös kytkentä- tai jatkospisteissä, joissa

mahdollinen hapettuminen, huono puristus tai liittimen pinnien sopivuus voi aiheuttaa ylimääräistä vastusta. Edellä mainitut tilanteet ylimääräisistä vastuksista ovat myös mahdollisia moderneissa sähköjärjestelmissä, mutta uudet virranhallintajärjestelmät ehkäisevät vaaratilanteita. Modernien rele- tai puolijohdinkyt-kentöjen ohjausvirrat ovat pieniä, mikä vähentää korkeavirtaisten johtovetojen pituutta.

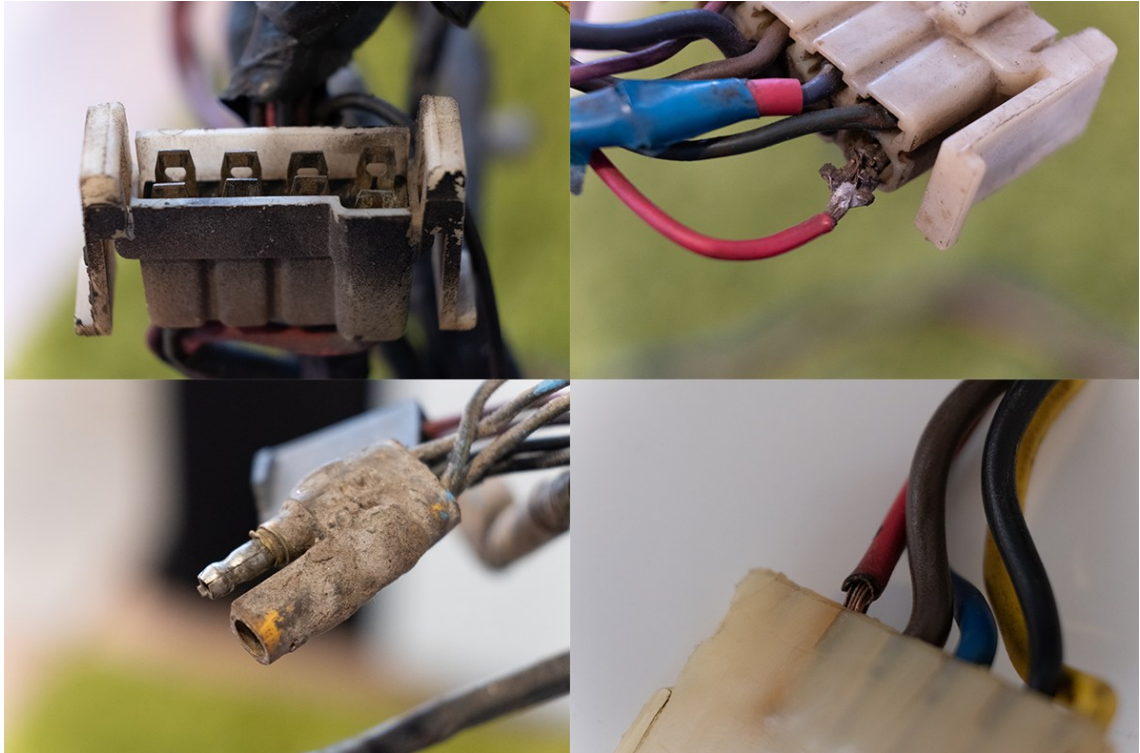


Kuva 1. Suuret poikkipinta-alat tehtaan läpivientiliittimessä.

2.3 Liittimet

Liitinteknologia on kehittynyt huomattavasti viime vuosikymmenien aikana. Työssä käsiteltävässä 1970-luvun johtosarjassa liittimistä puuttuu useita ominaisuuksia, joita moderneissa 2000-luvulla käytössä olevista liittimistä löytyy. Miltei kaikista liittimistä johtosarjassa puuttuvat lukitusominaisuudet, vesi- ja pölytiivisyydet ja vedonpoisto-ominaisuudet. Puutteelliset suojaominaisuudet liittimissä ovat johtaneet johtosarjan käyttöaikana korroosiovaurioihin ja muuhun yleiseen epäluotettavuuteen sähköjärjestelmässä (Kuva 2). Liittimien

lukitusominaisuuksien puuttuminen esiintyy esimerkiksi moottorin jäähdytinteen lämpötila-anturin kytkennässä, joka on anturin kierteille päälle painettava ”hattu”, jossa ei ole mitään lukitusmekanismia tai tiivistettä. Lukitusominaisuuksien puuttuminen voi aiheuttaa tässä tapauksessa kuljettajalle tärkeän tiedon saamisen epäluotettavuuden. Toisena kriittisempänä esimerkkinä on auton syytysjärjestelmälle elintärkeä induktiivinen nopeusanturi, jonka liittimellä ei myöskään ole minkäänlaista lukitusmekanismia eikä liitin ole huollettavissa. 1970-luvulla suunnitellut liittimet ovat myös monessa tapauksessa auton valmistajan, eli Chrysler-konsernin, itse suunnittelema, minkä vuoksi varaosia tai liittimien rakentamiseen tarvittavien työkalujen saatavuus on erittäin haastavaa. Suuremmissa virrankuluttajissa, esimerkiksi käynnistinmoottorin releessä tai generaattorin latauskytkennässä, autossa käytetään ruuvattavia kytkentäpisteitä, mikä tarjoaa liitokselle hyvän puristusvoiman, mutta kytkentäpisteiltä puuttuu silti suojaus kosteudelta ja siten korroosiolta. Useassa tapauksessa johtosarjassa käytettäviä liittimiä, jotka eivät ole suoraan käyttölaitteessa kiinni, ei ole myöskään tuettu erikseen johtosarjassa mitenkään, mikä aiheuttaa erityisesti vaaran liittimen avautumiselle lukitusmekanismien puuttuessa. Kun mahdollista, uudessa johtosarjassa tullaan käsittelemään ja korjaamaan puutteet liittimissä valitsemalla tilalle moderneja liittimiä, joiden suunnittelussa on harkittu edellä mainittuja ongelmakohtia.



Kuva 2. Auton alkuperäisten liittimien kunto.

2.4 Johtosarjan suojaus

Auton alkuperäisessä johtosarjassa johtokimppua on suojattu pääsääntöisesti vinyylipohjaisesta muovista valmistetulla johtosarjasukalla. Johtosarjan suoja on asetettu johtokimppun päälle kuvan mukaisesti ilman teippiä tai muuta mahdollista tiivistysmenetelmää, joka sallii tiepölyn, kosteuden, tai muun lian pääsyn johtokimppun yksittäisten johtojen väliin. Valmistajan valitsema suojausmenetelmä tarjoaa johtosarjalle eniten suojaa hankaukselta ja roiskeilta. Johtosarjassa ei ole mitään erityistä suojaa lämmölle, taitumiselle tai vedolle (Kuva 3).



Kuva 3. Alkuperäisen johtosarjan suojasukka.

Suurimpana ongelmana vanhan johtosarjan suojausmenetelmässä 52 vuoden toimintavuoden jälkeen on materiaalin iän aiheuttama heikkous. Johtosarjan päällä oleva suoja on yleisesti kuivunut ja usein halkeillut, mikä on johtanut moniin korjausyrityksiin. Tehdasasenteinen johtosarjasuoja on myös asennettu johtosarjan valmistusvaiheessa, mikä on johtanut siihen, että auton sähkökorjauksen suorittamiseksi suoja on useassa tapauksessa leikattava pois, eikä alkuperäistä suojausta pysty enää asentamaan uudelleen. Tämän vuoksi korjauksien jälkeen johtosarja on usein jäänyt kokonaan ilman suojausta, mikä ei ole parantanut sähköjärjestelmän luotettavuutta. Suojauksen puuttuminen on johtosarjan käyttöiän aikana todennäköisesti aiheuttanut ennenaikaista kulumaa johtojen eristeissä, jotka ovat altistuneet enemmän lämmölle, tärinälle ja epäpuhtauksille

2.5 Johtimien eristeet

Alkuperäisissä johdoissa käytettävää tarkkaa eristemateriaalia ei ole helppo saada selville, mutta siinä esiintyy laajalti samoja iän aiheuttamia ongelmia kuin johtosarjan suojauksessa käytetyssä vinyylipohjaisessa muovisukassa. Johtimien eristeen kovettumisen vuoksi auton alkuperäinen johtosarja on erityisen altis tärinästä aiheutuvalle eristevauriolle, sillä johdot eivät kestä taittumista yhtä hyvin kuin uusi ja taipuisa eristemateriaali. Kovettumista ovat luultavasti nopeuttaneet iän lisäksi puutteellisen johtosarjasuojauksen aiheuttamat lämpö- ja jäädytysyöklit.

Auton johtosarjan eristeissä on useita pisteitä, joissa eriste on jo halkeillut vanhan iän vuoksi paljastaen alta johdinmateriaalin, joka pääsee koskettamaan vapaasti toista johdinta, auton koria tai kärsimään hapettumisvauriota kosteuden vuoksi. Epäluotettavuus ei kuitenkaan ole ainoa haitta johtosarjan huonossa kunnossa, vaan paljaat johtimet aiheuttavat helposti kipinöitä tai mahdollisen oikosulun auton koria tai toista johtoa vasten. Hyväkuntoiset eristemateriaalit ovat siis auton sähköjärjestelmän kannalta elintärkeitä tulipalovaaran välttämiseksi.

2.6 Johtosarjan tukipisteet

Johtosarjaa on tuettu käsiteltävän auton konetilassa harvasti. Tukia on pääasiassa lähellä liikkuvia tai hyvin kuumia osia: esimerkiksi sytytystulppien korkeajännitejohtimet ovat tuettuna, jotta ne eivät kosketa auton pakosarjaa ja lämpötila-anturin johdot ovat tuettu, jotta ne eivät takerru kaasuttimen vivustoon. Johtosarjan tuennassa ei kuitenkaan ole otettu huomioon moottorin käynnistä aiheutuvaa tärinää. Tärinä aiheuttaa pitkällä aikavälillä vahinkoa niin johtojen eristeissä kuin itse johtimissakin. Johtosarjan tuenta konetilassa on toteutettu metallisilla pidikkeillä, jotka eivät rajoita johtojen liikettä kokonaan, vaan enemmän rajoittavat johtosarjan suuria liikkeitä (Kuva 4).



Kuva 4. Auton alkuperäisiä metallisia johtosarjakiinnikkeitä.

3 Modernit johtosarjat

Ennen uuden konetilan johtosarjan suunnittelua ja rakentamista analysoidaan 2010- ja 2020-luvulla valmistettujen henkilöautojen johtosarjoja, liittimiä, suojausta, tukipisteitä ja virranhallintaratkaisuja. Modernien henkilöautojen johtosarjojen analyysissä havainnoituja ratkaisuja hyödynnetään työssä valmistettavaan johtosarjaan. Analysoitavana ovat vuoden 2022 Volkswagen ID.5 Pro -sähköauton niin sanotun konetilan johtosarja ja 2012 Volkswagen Golf Plus -henkilöauton polttomoottorin johtosarja. Analysoinnissa pystyy näkemään käytännössä, kuinka johtosarjasuunnittelu on muuttunut henkilöautoissa viimeisien 50 vuoden aikana.

3.1 Volkswagen ID.5 Pro

Vaikka analysoitava johtosarja on peräisin täyssähköautosta, jossa ei ole polttomoottorin kaltaista värinää, voidaan sitä silti käyttää vertailukohteena. Täyssähköauton etutila on polttomoottoriauton moottoritalan tavoin märkä tila, eli se altistuu ulkoympäristön kosteudelle tiepölylle ja lämpötilavaihteluille. Sähköauton

voimansiirto voi myös altistaa johtosarjan samoille haasteille kuin polttomoottori, pois lukien polttoaineen, kuuman öljyn ja pakokaasujen hyvin kuumat lämpötilat. Johtosarjaan suunniteltuja suojausmenetelmiä, käytettyjä liittimiä ja tuentapisteitä pystytään käyttämään apuna uuden johtosarjan suunnittelussa. ID.5 edustaa vertailussa uusinta mahdollista henkilöautoteollisuuden johtosarjasuunnitelua.

3.1.1 Suojaus

ID.5:n johtosarjan suojauksen pohjana toimii kangaspintainen teippi (Kuva 5). Teippiä on kääritty johtosarjan ympärille eri tavoin riippuen sen sijainnista. Kosteudelle alttiimmilla alueilla teippiä on kääritty johtosarjan ympäri useampi kierros verrattuna alueisiin, joissa johtosarja on muiden rakenteiden suojassa. Suojatummilla alueilla teippiä ei tarvitse kosteuden ja lian ehkäisemiseksi yhtä paljon, joten sitä on vähennetty kustannussyistä. Teipin lisäksi johtosarjan suojana on myös paikoin taipuisaa muoviputkea, jota on käytetty konetilassa alueilla, joissa terävät reunat uhkaavat johtosarjaa hankautumisella.



Kuva 5. ID.5 -johtosarjan kangasteippisuojaus.

3.1.2 Tuenta

Johtosarjaa ID.5:n etutilassa on tuettu moniin ympärillä oleviin rakenteisiin. Kiinnitys rakenteesta johtosarjaan on pääasiassa toteutettu kolmella erilaisella ratkaisulla: muoviseen reunaan tarttuvalla kynnellä, reikään painettavalla muovikiinnikkeellä tai kierteiden päälle painettavalla muovikiinnikkeellä. Näiden tukimenetelmien etuna on niiden mukautuvuus ja suunnittelun helppous. Erinäisiin muovisiin koteloihin tai metallisiin tukirakenteisiin on kustannuksien kannalta halpaa lisätä reikiä tai reunoja, joihin johtosarjan kiinnikkeitä pystyy lisäämään. Haittana näissä tukimenetelmissä on tuennan asennusmäärien mahdollisuudet. Jos johtosarjaa on tarve korjata, tai siirtää asennustöiden ajaksi, muoviset johtosarjan kiinnikkeet ovat useassa tapauksessa kertakäyttöisiä ja tuennan irrotus vaatii kiinnikkeiden uusinnan. Tarkastellessa johtosarjaa tuentapisteet on usein suunniteltu välimatkoille, joissa ilman tuentaa johtosarja pääsisi liikkumaan useita senttimetrejä tärinän tai ilmavirran aiheuttamana. Varsinaisten asennettujen tukimenetelmien lisäksi johtosarjaa on tuettu myös siinä sijaitsevilla liittimillä.

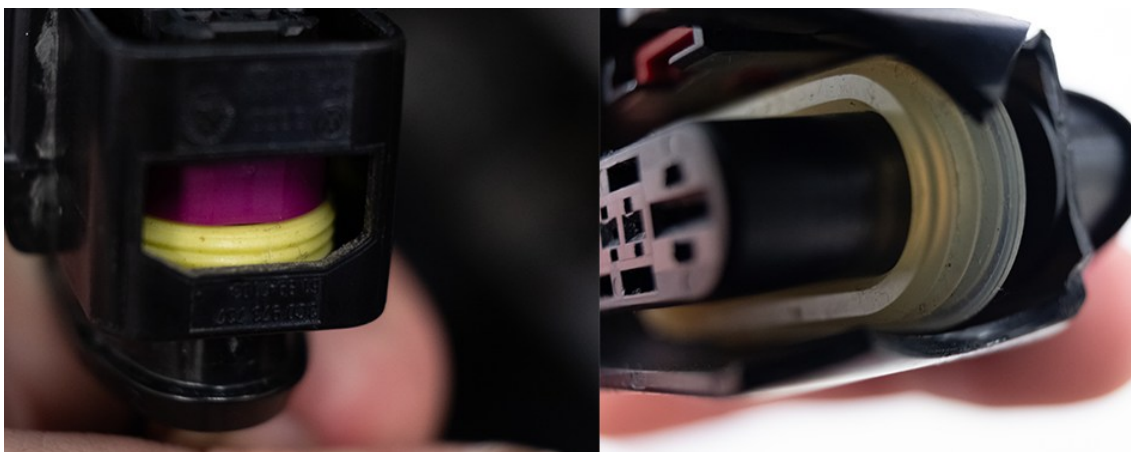
Liittimien rakenteisiin kuuluu useassa tapauksessa myös kiinnike, jonka vastakappale on suunniteltu lähellä sijaitsevaan muovikoteloon tai korirakenteeseen.



Kuva 6. ID.5:n johtosarjan tukikiinnikkeitä.

3.1.3 Liittimet

ID.5:n konetilassa käytettävät liittimet ovat huomattavasti erilaisia verrattuna yli 50 vuotta vanhoihin Dodge Dartin liittimiin. Liittimissä näkyy kuvan 7 mukaiset säältä, pölyltä ja muulta liialta suojaava kumitiivisteet liittimen välissä. Itse liitoksen lisäksi myös liittimen takapuolella on tiivisteet, jotka suojaavat liittimen pinnestä. Tiivisteiden lisäksi liittimissä on myös erilaisia lukitusmekanismeja. Lukitusmekanismeja on moniasteisia: salpoja, jotka aukeavat painamalla ja salpoja, joissa on avattava lukitus ennen kuin salpaa pystyy painamaan. Liittimissä on myös edellä mainitut kiinnikkeet johtosarjan tukemista varten. Itse liitinkoteloiden lukitusmekanismien lisäksi liittimien pinneissä on puristus johtimen lisäksi myös eristeessä, joka suojaa liittimen pinniä vedolta ja johdinta taipumiselta varsinaisen puristuspisteen jälkeen.



Kuva 7. ID.5- ja Golf Plus -liittimien kumitiivisteitä.

Suurimpana erona uudemmissa liittimissä on niiden huollettavuus. Valmistaja Volkswagen myy varaosana miltei jokaiseen auton johtosarjassa sijaitsevaan liittimeen yksittäisiä pinnejä, tiivisteitä ja liitinkoteloita mahdollisia johtosarjakorjauksia varten. Liittimen pinnit vapautuvat erinäisillä sisäisillä lukitusmekanismeilla, jonka jälkeen liittimen pystyy rakentamaan uudelleen osittain tai kokonaan.

3.2 Volkswagen Golf Plus

Seuraava analysoitava johtosarja on vuosimallin 2012 Volkswagen Golf Plus -polttomootorin johtosarja. ID.5:een verrattuna Golfin johtosarjasuunnittelussa on huomioitu myös polttomootorista aiheutuva värinä, liikkuminen ja lämpö. Mootorin värinä ja liike ovat vaikuttaneet johtosarjaa tutkittaessa johtojen tukemiseen, lämpö on vaikuttanut enimmäkseen johtosarjan suojaukseen.

Golfin johtosarjassa on monia samoja elementtejä kuin aiemmin analysoidussa ID.5:ssa, mutta johtosarjaan on rakennettu muovisia tukielementtejä (Kuva 8) alueille, jossa johtosarja joutuu ylittämään välejä auton korirakenteesta polttomootorin päälle. Tukielementit ovat tarpeen johtosarjan suojelemiseksi korin ja moottorin väliseltä liikkeeltä. Muoviset tuet on kiinnitetty autossa muihin rakenteisiin, esimerkiksi käynnistysakun tukeen.

Muuten johtosarjan tuet olivat samoja, esimerkiksi muoviin painettavia kynsiä, pultin kannan päälle painettavia tukia ja liittimissä olevia kiinnikepisteitä.



Kuva 8. Johtosarjan muoviset tukirakenteet.

Johtosarjaa on suojattu myös muovisten tukirakenteiden lisäksi suurimmaksi osaksi samoilla tavoilla kuin ID.5:n johtosarjoja. Suojausvalintana käytetään enimmäkseen kangaspohjaista teippiä ja kovasta muovista valmistettuja erikoisrakenteita korin ja sähkömoottorin välillä. Polttomoottorin vuoksi johtosarjassa on myös paikoitellen lämmöltä suojaavaa peitettä johtosarjan päällä.

4 Uuden johtosarjan suunnittelu

Uudessa johtosarjassa käytettävät komponentit valitaan auton alkuperäisen johtosarjan puutteiden ehkäisemiseksi käyttämällä valinnoissa hyödyksi uusimpien autojen johtosarjojen analyysistä ja ottamalla huomioon auton moottorin tilan

yleiset olosuhteet. Huomiota kiinnitetään auton alkuperäisen johtosarjan puutteisiin tiiveydessä, liittimien ominaisuuksissa ja virtojen kytkennässä.

4.1 Virrankulutuksien ja poikkipinta-alojen laskeminen

Sovelioiden liittimien, johtimien ja suojauksen valitseminen seuraavissa luvuissa edellyttää ensin auton eri käyttölaitteiden virrankulutuksien laskemista. Auton valmistajan tuottamissa korjausohjeissa on listattu alkuperäisessä johtosarjassa käytettävien johtojen poikkipinta-alat. Voidaan tarkistaa, ovatko valmistajan valinnat teoreettisesti järkeviä laskemalla esimerkkinä eri käyttölaitteiden nimelliset poikkipinta-alat. Nimellinen poikkipinta-ala voidaan laskea seuraavalla kaavalla (Kaava 1) [Adler, Bazlen & Robert Bosch GmbH 1978, 562–563]:

$$q = I * \rho * \frac{l}{U_{VI}}$$

(1)

Jossa:

q = nimellinen poikkipinta-ala

I = virranvoimakkuus

l = johdon pituus

ρ = Boschin ilmoittama kaavaan sovitettu johtimen resistiivisyys 0,0185 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

U_{VI} = sallittu jännitehäviö eristetyssä johtimessa.

Sallittu jännitehäviö laskukaavaan valitaan käyttökohteen perusteella: ohjauslaitteen virransyötössä käytetään sallittua jännitehäviötä 0,1 V, kun taas auton ajovalojen polttimoilla laskennassa käytettävä sallittu jännitehäviö on 0,3 V [Adler, Bazlen & Robert Bosch GmbH 1978, 562–563].

Taulukossa 1 esitetään esimerkkejä eri käyttölaitteiden virrankulutuksien ja niellisten poikkipinta-alojen laskemisesta verrattuna auton alkuperäisen johtosarjan johtimien poikkipinta-aloihin:

Taulukko 1. Esimerkkejä alkuperäisistä poikkipinta-aloista verrattuna laskettuun.

| Laite | Teho (W) | Virta (A) | Pituus (M) | Jännitehäviö (V) | Poikkipinta-ala (mm ²) | Alkuperäinen poikkipinta-ala |
|---------------------------------------|----------|-----------|------------|------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Ajovalo | 55 | 5 | 3 | 0,3 | 0,85 | 1 |
| Tuulilasinpesimen pumppu | 12 | 4 | 1,5 | 0,3 | 0,20 | 0,5 |
| Sytytyksen ohjaus ja latauksen heräte | 62 | 5,2 | 2 | 0,1 | 1,91 | 2,5 |
| Laturin päävirta | 360 | 30 | 2,5 | 0,3 | 4,63 | 4 |

Laskennasta nähdään, että auton alkuperäisten johtojen mitoitus on useimmissa tapauksissa looginen, mutta erityisesti latauksen päävirran johdon mitoitus jää alimittaiseksi, mikä on muissakin samalla suunnitellulla varustetuissa autoissa aiheuttanut vahinkoa läpivientiliittimissä ylikuumentumisen seurauksena.

Työn suunnittelemista varten johtimien mitoitukset on laskettu Liitteessä 2, jonka jälkeen on valittu useimmissa tapauksissa lasketusta seuraava johtokoko työtä varten saatavilla olevista johdinkoista. Poikkeuksena mitoituksessa otetaan kuitenkin huomioon, että hyvin pienissä virrankuluttajissa, kuten releiden aktivointikäänin syötöissä ja antureiden johtimissa, laskettu mitoitus on erittäin pieni. Pienissä mitoituksissa työssä käytetään minimikokoa $0,5 \text{ mm}^2$, sillä se on pienin uusissa läpiviennissä käytettävissä liittimissä käytettävä koko ja pienemmissä johtokoissa johdon mekaaninen kestävyys ei välttämättä ole riittävä moottoritilan haastaviin olosuhteisiin.

4.2 Johdon valinta

Autoteollisuudessa käytettävä johdinmateriaali on miltei aina kupari, joka tarjoaa erinomaisen ominaisvastuksen verrattuna toiseen mahdolliseen johdinmateriaaliin, alumiiniin. Kuparin resistiivisyys on $1,678 * 10^{-8} \Omega m$ ja alumiinin $2,655 * 10^{-8} \Omega m$, eli alumiinilla on noin 60 % kuparin sähköisestä johtavuudesta. Matalampi johtavuus edellyttäisi johtosarjan suunnittelussa suurempien johtimien käyttöä, mikä nostaisi johtosarjan ja liittimien kokoa. [3 Things About Aluminum Wire Applied to Automobiles 2023.] Kuparin korkeampi lämmönjohtavuus alumiiniin verrattuna auttaa myös ajoneuvoissa johtosarjan passiivisessa jäähdytyksessä. Alumiinin eduksi johtosarjakäytössä jää sen halvempi kustannus ja huomattavasti pienempi paino kupariin verrattuna. Kupari on monien etujensa puolesta valikoitunut teollisuuden suosikiksi, minkä vuoksi autoille suunnatut eri johtotuotteet käyttävät kuparia johdinmateriaalinaan.

Kuten aiemmissa luvuissa analysoitiin, varsinkin polttomoottoriautojen konetilojen johtosarjojen pitää kestää käyttökohteissaan huomattavan paljon värinää ja taivutuksia. Näiden vaatimuksien vuoksi autoissa käytettävä kuparijohto on

miltei aina monisäikeistä yksisäikeisen johdon sijaan, joka kestää vain rajallista taivutusta ja on altis värinän aiheuttamalle vahingolle.

Johdinmateriaalin valitsemisen jälkeen valikoitiin eristemateriaali. Johtojen eristemateriaalissa autoteollisuudessa ja harrastekäytössä on enemmän vaihtoehtoja kuin itse johtimen materiaalissa. Edullisin ja yleisin markkinoilla tarjottava vaihtoehto on PVC-pohjainen eriste. PVC toimii hyvin eristimenä ja kestää hyvin ajoneuvossa esiintyviä kemikaaleja, mutta ajoneuvokäytössä tietyt PVC:n rajoitukset tekevät siitä epäoptimaalisen varsinkin moottoritilan haastaviin olosuhteisiin. PVC:n toimiva lämpötilaväli on $-25^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$ [What Is Polyvinyl Chloride (PVC) Wire Insulation?], joka ei usein riitä polttomoottorin ympärillä oleviin lämpötiloihin, jotka voivat helposti saavuttaa 90°C lämpötilan. PVC:n alarajan lämpötilarajoitukset tekevät siitä eristemateriaalivalintana huonon erityisesti Suomen kylmässä ilmastossa, sillä matalissa lämpötiloissa PVC kovettuu, tehden siitä alttiimman värinälle, halkeamiselle ja rasittaen samalla johtosarjan liittimiä.

Yleisistä johtoeristeistä seuraavat vaihtoehdot ovat ristosilloitetut muoviyhdisteet, joista esimerkkejä ovat XLPE-yhdisteet ja fluoripohjaiset muoviyhdisteet, joiden valmistusprosessi tarjoaa eristeelle vahvemman mekaanisen kestävyuden, kemikaalinkestävyyden ja lämpötilavaihtelun kestävyuden. Yleisiä vaativimmissa käyttökohteissa esiintyviä johtoeristeyhdisteitä ovat XLPE-pohjainen TXL ja fluoripohjainen ETFE. [Types of electrical cable and wire insulation. 2024.] TXL on PVC:tä huomattavasti ohuempaa eristemateriaalina, mikä pienentää johtosarjan kokoa ja painoa vähentäen samalla tukipisteiden tarvetta. TXL:n lämmönkestävyys, $-51^{\circ}\text{C} - 125^{\circ}\text{C}$, tekee siitä myös käyttökelpoisen vaihtoehdon moottoritilan olosuhteisiin, myös Suomen ilmastossa. Fluoripohjainen ETFE tarjoaa TXL:stä vielä korkeamman lämmönkestävyyden, $-65^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ ja mekaanisen lujuuden, minkä vuoksi ETFE-pohjaista eristettä käytetään hyvin haastavissa olosuhteissa, kuten ilmailu- ja avaruustekniikan käyttökohteissa [Raychem SPEC 44 and SPEC 55 Cable].

Vaihtoehtojen tutkimisen jälkeen työssä sopiviksi johtovaihtoehdoiksi todettiin monisäikeinen kuparijohto TXL- tai ETFE-eristeellä. Markkinoilla TXL-pohjaisia

autokäyttöön tarkoitettavia johtotuotteita ei ole jälkimarkkinoilla helposti saatavilla, minkä vuoksi käytettäväksi johdoksi valittiin TE Connectivityn valmistama Spec55-sarja. Spec55-johdot ovat monisäikeistä kuparijohtoa, joka on eristetty ETFE-pohjaisella eristeellä, jonka tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 3.

4.3 Virranjako ja kytkentä

Suurimpana muutoksena sähköjärjestelmään lisätään kuuden releen ja sulakkeen relerasia, joka muuttaa autossa ajovalojen ja muiden virrankytken piirejä. Uuden relerasian lisäksi modernisointi tapahtuu uusilla johdoilla, liittimillä, tukimenetelmillä ja suojauksella. Modernisointeja tehdään sähköjärjestelmässä, kun se on kustannuksellisesti mahdollista toteuttaa, minkä vuoksi joitain käyttölaitteita, kuten tuulilasinpyyhkijänmoottoria ei ole uusittu modernimpaan vaihtoehtoon.

Vanhassa sähköjärjestelmässä virranjakopisteiden suunnittelussa on tehty huomattavia kompromisseja, minkä vuoksi virranjakopisteinä käytetään paikkoja, joissa suurempia virtamääriä on tarvittu muutenkin. Esimerkkinä tästä toimii sytytysjärjestelmän ballastivastus, jota on käytetty virranjakopisteinä generaattorin herätteelle.

Uudessa johtosarjassa käytetään kuuden releen ja sulakkeen kytkentärasiaa (Kuva 9), johon siirretään suuria virrankuluttajia suoraan kytkentälaitteilta. Releille tullaan siirtämään lyhyiden ja pitkien ajovalojen kytkentä sekä sytytyksen ohjauksen ja sytytyspuolan virta. Edellä mainittujen laitteiden virran kytkennän siirtämisen lisäksi auton alkuperäinen käynnistimen rele korvataan uudella releellä relekeskuksessa. Edellä mainitut laitteet tullaan suojamaan moderneilla lattasulakkeilla. Suurempien virtojen kytkennän siirtäminen pois auton virtalukolta ja valokytkimeltä vähentää auton paloriskejä ja lisää kytkentälaitteiden luotettavuutta.

Kytkentärasiaan jää kolme relettä ja sulaketta vapaaksi, mikä mahdollistaa lisäasennukset tulevaisuudessa.



Kuva 9. Johtosarjaan lisättävä relekotelo.

RelerAsian lisäksi johtosarjaan asennetaan myös virranjakopiste (Kuva 10), josta jaetaan akun positiivinen akkukaapeli käynnistinmoottorille, laturille ja muille virransyötöille. Virranjakopiste on Mercedes-Benz-varaosa 652 546 00 41, joka on valmistettu PA 6.6 GF30-lasikuituseostetusta polyamidimuovista, jonka lasikuitupitoisuus on 30 %. Lasikuitu vahvistaa muovin rakennetta ja tekee siitä mekaanisesti erittäin kestävä. Muoviseos kestää myös hetkellisesti jopa 170 °C lämmön, ja sen käyttölämpötila on 110 °C. [PA 6.6 GF30]. Nämä ominaisuudet tekevät siitä sopivan käytettäväksi moottoritilassa.



Kuva 10. Johtosarjaan lisätty virranjakopiste.

Uudessa johtosarjassa tullaan myös jättämään pois tehdasasenteinen latausmittari, joka vaatii kaiken latausvirran kierron auton tulipellin läpiviennin kautta. Tällä vältetään pitkiä suurivirtaisia johtovetoja auton läpiviennin molempiin suuntiin, jotka luovat liiallisen kustannuksen ja tulipalovaaran virtamittarin tarjoamaan hyötyyn verrattuna.

4.4 Maadoitus

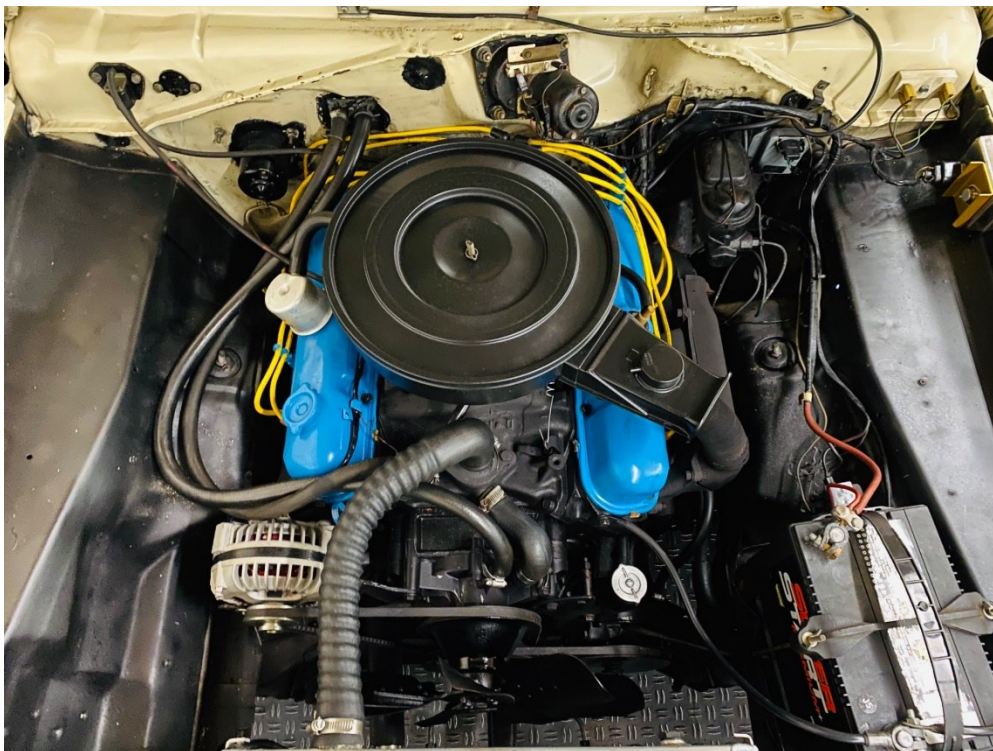
Autossa olevat sähkölaitteet maadoittavat kahta eri kautta, moottorista ja korista. Anturit ja monet moottorin sähkölaitteet, kuten käynnistinmoottori, maadoittavat itsensä auton moottorin tai vaihteiston kautta, kun taas monet käyttölaitteet ja ohjainlaitteet, kuten ajo- ja suuntavalot, maadoittavat auton korin kautta.

Koska korkean virrankulutuksen laitteet on maadoitettu auton moottorin kautta ja sähköjärjestelmän herkemmat komponentit, kuten sytytyksen ohjainlaite ja uusi relekeskus, on maadoitettu auton korin kautta, liitetään akun maadoitus ensin moottoriin ja moottorista koriin. Tämä ehkäisee mahdollisen vikatilanteen, jossa akun maadoitus olisi kytketty koriin sekä moottoriin ja huono maadoituskontakti moottoriin. Tämä voi saada aikaan esimerkiksi käynnistinmoottorin maadoittumisen korin tai sähkölaitteiden kautta, jonka suuret paluuvirrat voivat vahingoittaa sähkö- tai käyttölaitteita. [Proper Grounding Techniques for Wire-In ECUs 2024.]

Uuteen johtosarjaan rakennetaan uudet päämaadoituskaapelit akulta auton moottoriin ja auton moottorista koriin. Laitteita varten johtosarjaan rakennetaan kaksi koriin maadoitettavaa rengasliitintä auton ajovalopolttimoiden ja releiden maadoitusta varten. Muut auton käyttölaitteet maadoittavat itsensä metallikoteloidensa kautta auton koriin.

4.5 Ohjainlatteiden sijoitus

Auton alkuperäisessä sähköjärjestelmässä ohjainlaitteet on sijoitettu valmiiksi jo parhaimpaan mahdolliseen paikkaan, eli konetilan vasemmalle puolelle, loka-suojan päälle, lähelle tulipellin läpivientiliittimiä (Kuva 11). Tämä paikka suojaa ohjainlaitteita parhaiten kosteudelta, moottorin kovalta lämmöltä ja tiepölyltä ollessaan myös lähellä niiden ohjaamia käyttölaitteita. Uudessa johtosarjassa suunnitellaan ohjainlaitteiden olevan samalla paikalla kuin alkuperäisessäkin sähköjärjestelmässä.



Kuva 11. Vastaavan auton alkuperäiskuntoinen moottoritila [1973 Dodge Dart 318 V8 2015].

4.6 Liittimet

Uudessa johtosarjassa tullaan käyttämään uusia moderneja liittimiä aina kun se on mahdollista, mutta auton alkuperäisiin käyttölaitteisiin sopivia alkuperäismallisia liittimiä käytetään tarpeen vaatiessa, esimerkiksi pyyhkijän moottorissa ja automaattivaihteistossa.

Liittimen valinta tehtiin aiempien johtosarjojen analyysien pohjalta. Moderneja sähköliittimiä moottoritilan ankaraan ympäristöön on saatavilla monelta eri valmistajalta. Ominaisuuksien perusteella uudessa johtosarjassa valittiin uudet liittimet TE Connectivityn valmistamista Deutsch-liitinvalikoimasta. Deutsch-liittimissä yhdistyvät miltei kaikki analysoidun Volkswagen ID.5:n johtosarjan liittimien edut verrattuna auton alkuperäisten liittimiin. Deutsch-liittimissä on kaksiasteinen lukitus liitinpinneille ja liitinkotelossa on muovinen lukitussalpa, joka lukittuu vastakappaleeseen. (Kuva 12.) Liittimessä on myös tiiviste, joka estää pölyn, veden, ja muun lian pääsyn liittimeen. Deutsch-sarjan liittimiä on tarjolla eri

malleja eri virtavaatimuksia varten. Työhön valittiin DT- ja DTP-sarjan liittimiä niiden tarjoamien ominaisuuksien vuoksi. DT- ja DTP-liittimet tulevat työssä korvaamaan auton alkuperäiset läpivientiliittimet.

4.6.1 Deutsch DT-sarjan liittimet

Liittimien kotelo on valmistettu kestävämpään lämpötiloissa -55°C ja 125°C välillä, jonka vuoksi ne sopivat lämpötilakestävyytensä vuoksi moottoritilan haastaviin olosuhteisiin. Lämpötilakestävyden lisäksi liittimien kotelot saavuttavat myös DIN 40050 -standardin mukaisesti pölyn- ja vedenkestoluokituksen IP68. Liittimien valmistaja on myös testannut DT-sarjan liittimien kotelot yleisimpiä autossa esiintyviä kemikaaleja, kuten esimerkiksi bensiiniä, jäähdytysnestettä ja jarrunestettä, vastaan. DT-sarjan liittimet on luokiteltu kestävämpään $1\text{--}2\text{ mm}^2$ poikkipinta-aisella johtimella 13 ampeerin virran per liittimikotelo. Virrankestoluokitukseltaan DT-sarja tulee siten riittämään työssä miltei kaikkien virtapiirien kytkentään. [DEUTSCH DT Connectors.]



Kuva 12. Koottuja Deutsch DT-liittimiä.

4.6.2 Deutsch DTP-sarja

Saman valmistajan DTP-sarja liittimiä, viitaten P-kirjaimella tehoon, on tarkoitettu turvallisesti kestävämpiin suurempia virtamääriä. DTP-sarjan liittimet kestävät 4—6 mm² poikkipinta-alaisella johtimella 25 ampeerin virran, joka riittää kattamaan tämän työn korkeatehoisemmatkin kytkennät. DTP-sarjan liittimissä ovat samat lämmön-, pölyn- ja vedenkestävyysominaisuudet kuin DT-sarjan liittimissä. [DEUTSCH DTP Connectors FAQs.]

4.6.3 Valmistajan omat liittimet ja muut liittimet

Kaikkia auton alkuperäisiä ohjainlaitteita ja antureita ei pysty työn laajuuden puitteissa modernisoimaan malleiksi, missä olisi uudet liittimet. Tämä edellyttää auton alkuperäisten liittimien käyttöä seuraavissa kohteissa:

- Kärjettömän sytytyksen ohjainlaite
- Laturin säädin
- Äänitorvet
- Jäähdytinnesteen lämpötila-anturi
- Tuulilasin pyyhkijänmoottori
- Käynnistinmoottorin rele
- Automaattivaihteiston peruutusvaloanturi
- Ajo- ja suuntavalot.

Työssä käytettävät alkuperäismalliset liittimet ovat kaikki uusia varaosia, sillä auton alkuperäiset liittimien kumi- ja muoviosat ovat kärsineet ikääntymisen aiheuttamista vaurioista. Aikaisemman analyysin mukaan useassa alkuperäisessä liittimessä ei ole korjausmahdollisuutta, vaan varaosana valmistetuissa liittimissä on valmiina asennetut johdot, mikä edellyttää jatkoksen tekoa uuteen johtosarjaan. Ajovalojen liittimiksi valittiin tarvikemalliset keraamisella sisustalla varustetut liittimet, jotka kestävät paremmin halogeenipolttimon korkeita lämpötiloja.

Deutsch-sarjan liittimien ja auton alkuperäisten liittimien lisäksi uudessa johtosarjassa tullaan käyttämään puristettavia rengasliittimiä, lattaliittimiä ja Volkswagen-konsernin käyttämää sähköliitintä uudessa öljynpainekeytkimessä.

4.7 Johtosarjan suojaus

1970-luvun ajoneuvosuunnittelu työssä käsiteltävässä autossa vaikuttaa johtosarjan suunniteluun muutenkin kuin auton alkuperäisen sähköjärjestelmän osalta. Auton moottoritilassa ei ole pohjamuoveja tai tuulenohjaimia, jotka pitäisivät vettä ja muita epäpuhtauksia poissa auton moottoritilasta. Tilan suojauksen puutteen vuoksi johtosarjan suojaus on elintärkeää uuden johtosarjan suunnittelussa.

Johtosarjassa käytettävät puristettavat jatkosliittimet ja rengasliittimen puristusosat suojataan TE Connectivityn valmistamalla Raychem SCL -kutistesukalla, jonka sisällä on sulava liima. Liima tarjoaa liitokselle suojan vedeltä, pölyltä ja muilta epäpuhtauksilta. Tiivistyksen lisäksi kutisteen sisällä oleva liima tarjoaa liitokselle vedonpoistoa suojaten liitosta mekaaniselta rasitukselta. Raychem SCL kutistuu suhteella 3:1 vähintään 125 °C lämpötilassa. [SCL Heat Shrink Tubing.]

Aiempien analyysien perusteella yleisin autovalmistajien käyttämä johtosuojausmenetelmä ajoneuvon moottoritilan johtosarjan niputuksessa on kangaspohjainen teippi. Käytettävän suojausteipin ominaisuuksien tulee olla lähellä myös

valittujen johtojen eristeen ominaisuuksia. Teippivalmistaja tesa® tarjoaa useita vaihtoehtoja ajoneuvokäyttöön, joista tesan tuotenumero 51006 sopisi työssä käytettävän ajoneuvon moottoritilan olosuhteisiin erinomaisesti. 51006-teippi on PET-pohjainen kangaspintainen teippi, joka kestää ajoneuvoissa esiintyviä kemikaaleja ja mekaanista rasitusta. Sen lämpötilakestävyys on matalampi, -40°C – 150°C [tesa® 51006] kuin käytettävän Spec55-johdon eriste, mutta se on riittävä moottoritilassa esiintyviin lämpötiloihin. Teipin etuna suojauksessa on myös johtosarjan korjattavuuden säilyminen, sillä teippiä pystyy avaamaan ja lisäämään johtosarjan keskelle, toisin kuin johtosarjaan, joka on niputettu täysin kumisella suojasukalla, kuten valmistajan alkuperäisessä johtosarjassa.

Johtosarjassa käytetään myös kovaa muoviputkea suojarakenteena vaihteiston peruutusvalon / turvakytkimen johdotuksessa, sillä tämä osio johtosarjasta altistuu erittäin haastaville olosuhteille ajoneuvon alla, missä johdotus voi altistua suorien vesiroiskeiden lisäksi jopa kiveniskuille tai tiesuolalle. Kovan muoviputken molemmat päät suojattiin liimakutisteella auttaen siten myös vedenkestävyyttä

4.8 Johtosarjan tukeminen

Aiemmin analysoiduissa moderneissa johtosarjoissa yleinen tukimenetelmä oli yleisellä nimellä tunnettu 'jouluukuusi', eli muovinen reikään painettava tukikiinnike, jonka saa tarvittaessa irrotettua. Näitä tukipisteitä lisätään johtosarjaan nippusiteillä, joissa on tukikiinnike valmiina. Nippusidemalliset kiinnikkeet valittiin teipattavien sijasta, sillä ne ovat helpompi uusia. Johtosarjassa käytettäville Deutsch-liittimille asennetaan myös tukia esimerkiksi moottorin rakenteisiin. Lisättävien johtosarjatukien lisäksi autossa on olemassa myös muutamia tehtaan alkuperäisiä tukia, mihin johtosarjanipun pystyy kiinnittämään. Tehtaan johtosarjatukia löytyy venttiilien suojakopasta, tulipelistä ja lukkopelistä

4.9 Dokumentointi

Virrankäytön ja eri liittimien dokumentoinnin apuna käytettiin auton alkuperäistä kytkentäkaaviota, jotka ovat valmistajan korjausoppaassa. Ennen johtosarjan valmistusta uuden auton kytkentäkaaviot luonnosteltiin paperilla ja KiCAD-ohjelmalla, joka on tarkoitettu elektroniikan harrastekäyttöön. Kun valmis kytkentäkaavio oli luonnosteltu, uudet johtosarjakuvat piirrettiin ammattikäyttöön tarkoitettavalla Zuken E³ -ohjelmalla. Työssä tuotettava dokumentointi koostuu kahdesta osasta, johtosarjapiirroksesta ja kytkentäkaaviosta.

Kytkenäkaaviossa näkyvät johtosarjassa käytetyt johtimet, niiden poikkipinta-alojen mitoitus ja värit. Johtosarjapiirroksessa näkyvät kuvat käytettävistä liittimistä ja käytännölliset mitat johtosarjan valmistusta varten. Johtosarjan dokumentointi on elintärkeää osana johtosarjan suunnittelua, diagnosointia, tai mahdollista laajentamista varten. Kytkentäkaaviot ja johtosarjapiirros löytyvät liitteestä 4.

Kytkenäkaavioiden ja johtosarjapiirroksen lisäksi johtosarjan suunnittelemista varten tehtiin myös Excel-taulukot, jotka löytyvät liitteistä 1 ja 2, eri käyttölaitteiden virrankulutuksista ja auton alkuperäisistä läpivientiliittimistä. Molemmissa Excel-taulukoissa käytettiin apuna autossa käsiteltävän mallin Chrysler-konsernin korjausoppaita.

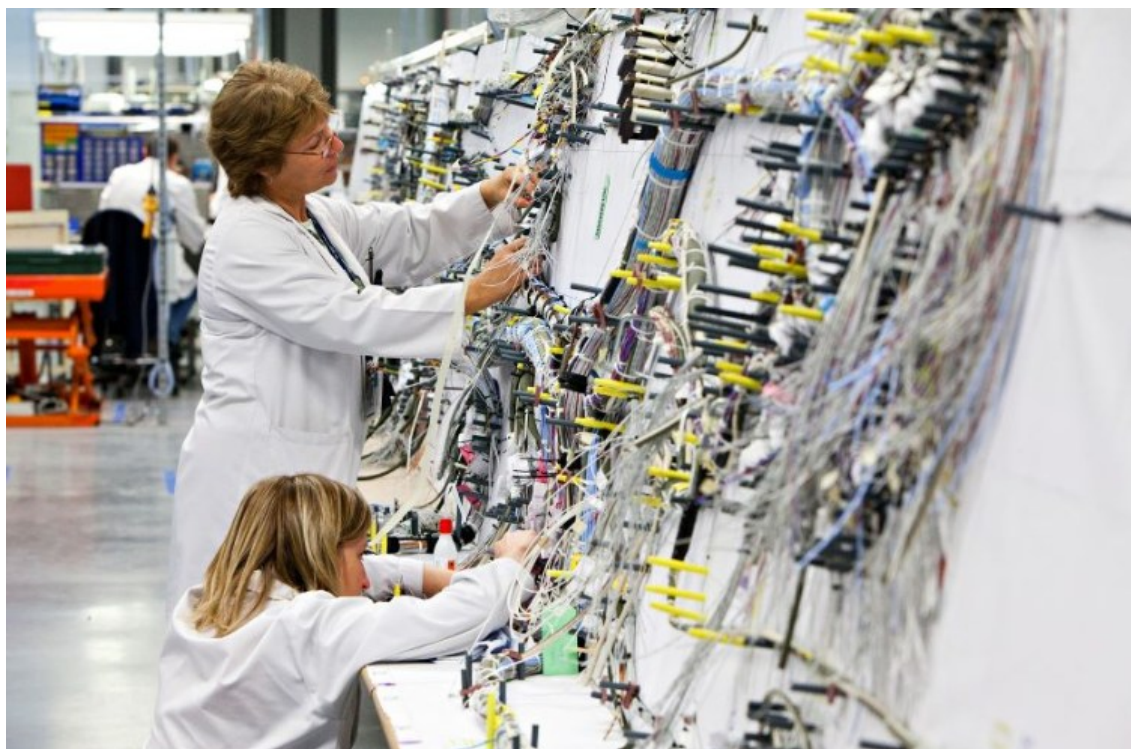
5 Johtosarjan valmistaminen

Johtosarjan valmistuksessa otettiin mallia modernissa autoteollisuudessa käytettävistä menetelmistä muokaten niitä henkilökohtaiseen käyttöön. Autoteollisuudessa johtosarjojen suunnittelu perustuu CAD-malleihin johtosarjoista ja niiden sovituksesta autoihin, mutta johtosarjojen rakentaminen on edelleen pitkälti käsityötä luottaen kuitenkin toistuvissa askelissa, kuten johtojen kuorinnassa ja liittimien puristamisessa, automaatioon tasaisen laadun varmistamiseksi.

Valmistuksessa käytettiin tämän mallin mukaisesti työkaluja ja menetelmiä, mikä mahdollisti parhaan mahdollisen toistuvuuden johtosarjan kaikissa työvaiheissa.

5.1 Rakennusalusta

Ajoneuvoteollisuudessa johtosarjat kootaan usein tietylle johtosarjamallille rakennetulla kiinnityslevyllä, jossa johtosarjan johtimet sijoitetaan imitoiden johtosarjan reititystä lopullisessa käyttökohteessaan (Kuva 13) [Trommnau, Kühnle, Siegert, Inderka & Bauernhansl 2019: 389].



Kuva 13. Tehtaalla valmistettavan johtosarjan rakennusalusta [Wiring Harness Manufacturers Face Three Big Challenges in 2022 2022].

Työssä rakennettu johtosarja rakennettiin puusta valmistetulle levyille (Kuva 14), joka mitoitettiin vastaamaan työssä käsiteltävän auton konetilaa. Puulevyyn merkittiin karkeasti auton moottorin paikka, jonka ympärille johtosarja rakennettiin. Levyn koko auttaa johtojen mittaamisessa ja asettelussa, sillä levyllä johdot voidaan sijoittaa samalle paikalle kuin ajoneuvon konetilassa.

Johdot kiinnitettiin rakennusalustaan metallipannoilla ja useamman johdon asettamisen jälkeen johdot niputettiin väliaikaisesti nippusiteillä. Johtosarja rakennettiin kokonaan rakennusalustalla, jonka jälkeen se testattiin alustalla ennen suojauksen asennusta.



Kuva 14. Rakennusalusta, johon on piirretty moottorin karkea muoto.

5.2 Käytettävät työkalut

Johtosarjan valmistamiseen käytettiin useita eri puristustyökaluja, kuorintapih-tejä ja muita työkaluja. Työkalut valikoitiin mahdollisimman toistettavan tuloksen vuoksi.

Pienemmällä poikkipinta-alalla varustettujen johtojen leikkaukseen käytettiin tarkkuussivuleikkureita, kun taas akkukaapeleiden suuren poikkipinta-alan leikkauksessa käytettiin suurempaan leikkausvoimaan kykeneviä hohtimia. Kuorinnassa työkalujen valinta tuotti haasteita työssä valikoidun Spec55-johdon eristeen vahvuuden vuoksi. Kuorinnan toistettavuuden vuoksi johtojen kuorintaan valittiin automaattikuorintapihtejä, joissa johdon kuorintapituus on asetettavissa pihteihin. Kuorintapihdeiksi valikoituivat vaatimuksien mukaan Rennsteig 707 001 -kuorintapihdit ja Cocraft-automattikuorintapihdit (Kuva 15).



Kuva 15. Työssä käytetyt automaattiset johdonkuorintapihdit.

Liittimien puristamisessa työkalujen vaatimuksena oli kuorimisen tapaan työväiheen toistettavuus, minkä vuoksi liittimien puristamisessa käytettävät pihdit ovat joko edellä mainittuja räikkämallisia puristinpihtejä tai puristinpihtejä, jotka lopettavat puristamisen oikean puristusvoiman saavuttamisen jälkeen. Johtosarjan valmistamisen aikana käytettiin yhteensä viisiä eri puristinpihtejä.

Akkukaapeleiden liitoksissa käytettiin pyöreitä putkikaapelikenkiä, joiden puristusvaatimuksia kuvaa standardi DIN 48083-4 [DIN 48083-4:1985]. Standardin kuvaaman kuusikulmaisen puristusmuodon saavuttamiseksi johtosarjassa valmistetuissa korkean poikkipinta-alan kaapeleissa käytettiin Klauke K05 -puristuspihtejä, jotka on suunniteltu puristamaan putkikaapelikenkä standardin mukaisesti [DIN compression cable lug or tubular cable lug].

Deutsch DT- ja DTP-sarjan liittimissä käytettiin räikkämallisia nelileukaisia puristinpihtejä, jotka tekevät Deutsch-liitinpinniin yhteensä kahdeksan puristusta yhdellä pihlien käyttökerralla.

Johtotyökalujen lisäksi johtosarjan valmistuksessa käytettiin kuumailmapuhallinta Raychem SCL -kutisteen kuumentamiseksi eri liitoksien tekemisen jälkeen. Johtosarjan niputuksessa ja kiinnityksessä edellä mainittuun puiseen rakennus- alustaan käytettiin LVI-käyttöön tarkoitettua metallipantaa ja nippusiteitä.

5.3 Johtojen mittaus, leikkaus ja kuorinta

Johdot asetettiin rakennus- alustalle piirretyn moottorimallin mukaisesti kuten ne olisivat auton moottoritilassa ottaen huomioon syvyyserot ajoneuvoon asentaessa. Johtojen asettamisen jälkeen ne leikattiin oikeaan pituuteen, jättäen n. 5—10 % lisämarginaalin lisäämällä johtoa. Leikkauksen jälkeen kaikkien johtojen päät kuorittiin edellä mainituilla automaattikuorintapihdeillä. Johtojen päästä kuorittiin noin 4 mm liitinpinnien tai putkikaapelikenkien asennusta varten johtoa kuorittiin noin 10 mm. Oikea kuorintamäärä on tärkeää, sillä liian vähän paljasta johdinta voi jättää eristemateriaalia kontaktin puristus- alueelle ja johtaa siten johdinsäikeiden katkeamiseen. Liian paljon kuorittua johdin- materiaalia voi altistaa liittimen ylimääräiselle mekaaniselle rasitukselle ja siten johtimen murtumiselle.

5.4 Liittimien puristaminen ja kokoaminen

Autoteollisuudessa yleisin tapa liittää johtoja liittimen pinneihin, tai johtoja toisiinsa, on puristaminen, eli krimppaus. Liittimien puristamista käytetään tinalla

juottamisen sijasta liitoksien tekemisessä, sillä se ei vaadi lämpöä, eikä liitoksen kestävyys ole siten sidottu liitoksen tekemiseen käytetyn tina sulamislämpötilaan. Juotetut liitokset ovat myös alttiita autoissa esiintyviin haastaviin ympäristöihin, erityisesti värinälle. Puristusliitokset ovat myös huomattavasti nopeampia toteuttaa teollisuusympäristössä, eivätkä ne vaadi toista materiaalia, eli tinaa, liitoksen tekemiseen, mikä on tärkeä kustannustekijä autoteollisuuden suuressa mittakaavassa.

Liittimien puristaminen on auton sähköjärjestelmän luotettavuuden kannalta mahdollisesti tärkein vaihe, minkä vuoksi teollisuudessa liittimien puristus tapahtuu automatisoiduilla ja kalibroituilla koneilla, jotka varmistavat liitoksen oikean puristusvoiman (Kuva 16).



Kuva 16. Wezag UP 65, teollisuuskäyttöön tarkoitettu liitinpuristusasema [Hydraulic crimping machine WDT UP 65].

Jotta työssä valmistetun johtosarjan liittimet puristuivat oikealla puristusvoimalla ja tämä oli toistettavissa kaikkien liitoksien ja liittimien suhteen, miltei kaikkien

johtosarjassa käytettyjen liittimien puristaminen tehtiin tämän vuoksi räikkämallisilla puristuspihdeillä, jotka lopettivat puristamisen vasta kun liittimeen on asetettu oikea puristusvoima mekaanisesti ja sähköisesti varman liitoksen saavuttamiseksi. Kuvassa 17 on esitetty esimerkki ns. manuaalisista ja räikkämallisista puristuspihdeistä.



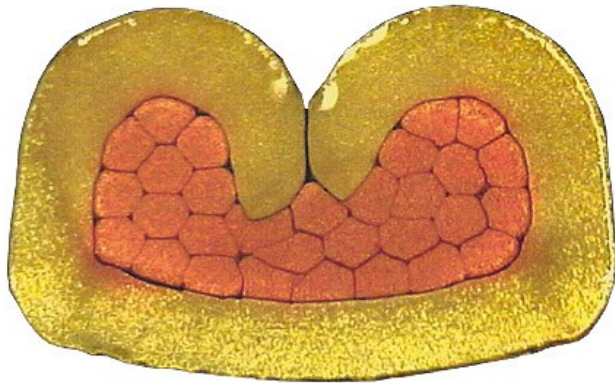
Kuva 17. Manuaaliset ja räikkämalliset pihdit.

Työssä esiintyvistä liittimistä löytyy yhteensä neljää erilaista puristusprofiilia:

- B-profiili
- 6-kulmainen puristusprofiili
- Nelikulmainen puristusprofiili

- U-pisteprofiili.

B-profiilin puristusprofiilia käytetään kaikissa työssä käytettävissä lattaliittimissä, sulakerasian liittimissä, ajovalojen liittimissä ja Volkswagen-liittimessä. B-profiilin liittimissä on erittäin tärkeää asetella johto oikein ja varmistaa johtimen säikeiden tasainen ja varma puristus kummallekin puolelle liittimen puristuspintoja. (Kuva 18). Puristamisen jälkeen puristuksen mekaanista vahvuutta kokeiltiin käsin vetämällä ennen liittimen asennusta koteloon (Kuva 19).



Kuva 18. Poikkileikkaus onnistuneesta B-profiilin liitinpuristuksesta [Forms of Crimping].



Kuva 19. HS-03B-puristinpihtien leuat ja oikein puristunut B-profiilin liitin.

6-kulmaista puristusprofiilia (Kuva 20) käytettiin akun ja käynnistimen suuremman poikkipinta-alan kaapeleissa. Klauke K05 -puristuspihdeissä valittiin oikeat leuat tarvittavan johtokoon mukaan, jonka jälkeen liitintä puristettiin pihtien koko liikematkan loppuun asti, joka varmistaa vahvan liitoksen. Putkiliittimeen tehtiin kaksi puristusta, jonka jälkeen liitos suojattiin liimasisustaisella kutisteella (Kuva 21).



Kuva 20. Kuusikulmaisen puristuksen poikkileikkaus [Forms of Crimping].



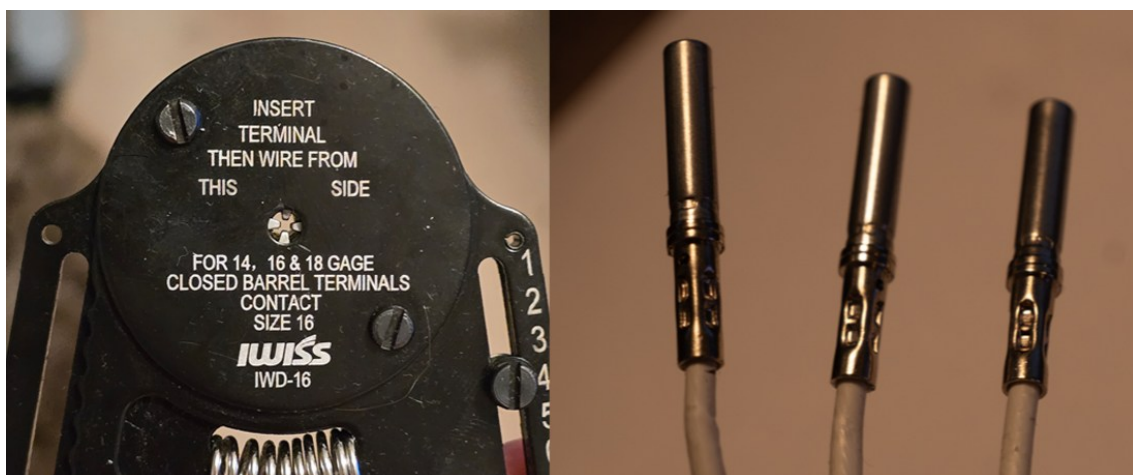
Kuva 21. Klauke K05-puristuspihtien leuat ja niiden muodostama puristus ennen suojausta.

Deutsch-liittimien DT- ja DTP-sarjan liittimissä valittiin käytettäväksi putkimalliset pinnit, jotka puristettiin edellä mainituilla nelileukaisilla puristinpihdeillä (Kuva 22 ja Kuva 23), minkä jälkeen puristuksen onnistuminen varmistettiin käsin vetämällä. Puristuksen jälkeen liitinpinni asetettiin oikealle paikalleen liitinkoteloon. Kun kaikki liitinpinnit olivat asetettu liitinkoteloon ja niiden lukittuminen oli varmistettu vetämällä, voitiin liittimen pinnien lukituskappale asettaa paikoilleen, joka loi Deutsch-liittimen kaksiasteisen lukituksen.



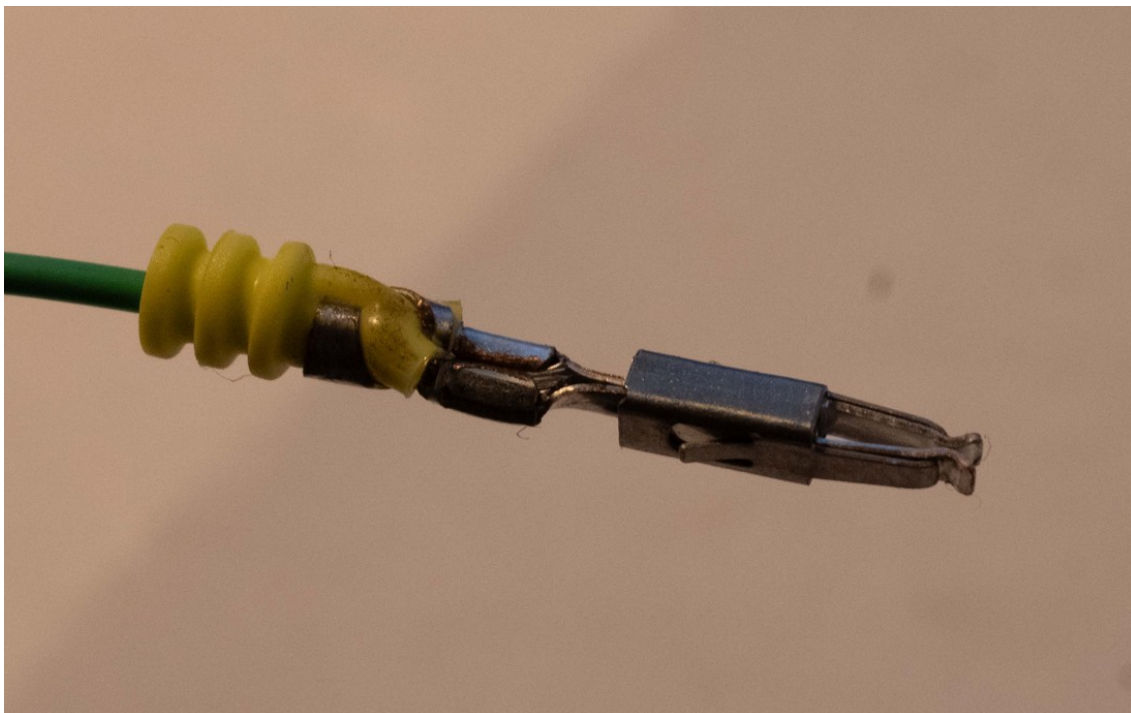
Indenter Crimp Cross
Section Across Axis

Kuva 22. Putkimallisen Deutsch-pinnin poikkileikkaus puristettuna [Deutsch Contacts Technical Data].



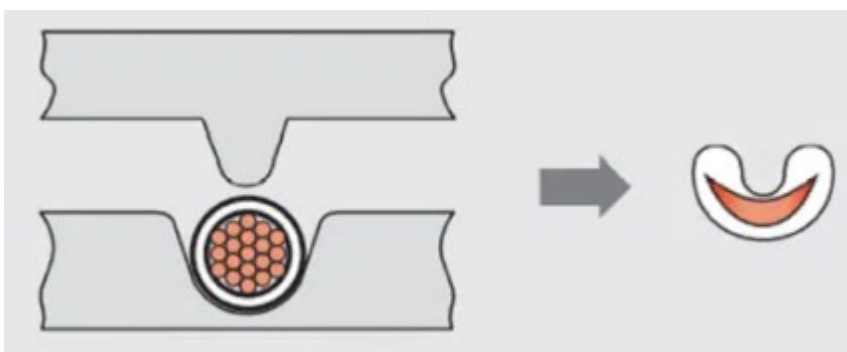
Kuva 23. Nelileukaisen Deutsch DT-puristimen leuat ja puristettuja DT-pinnejä.

Volkswagen-liittimen 1J0 973 881 puristamisprosessi oli pitkälti samanlainen kuin muiden B-profiilin liittimien puristaminen, mutta tärkeänä osana liittimen suojausta on tiiviste, joka puristetaan liittimen ulompaan osaan samalla, kun johto puristetaan pinniin (Kuva 24). Puristuksen jälkeen pinni voidaan asettaa liittimeen ja liittimen sisäinen lukitussalpa sulkea, mikä tekee myös Volkswagen-liittimeen kaksiaasteisen lukituksen liittimen pinneille.

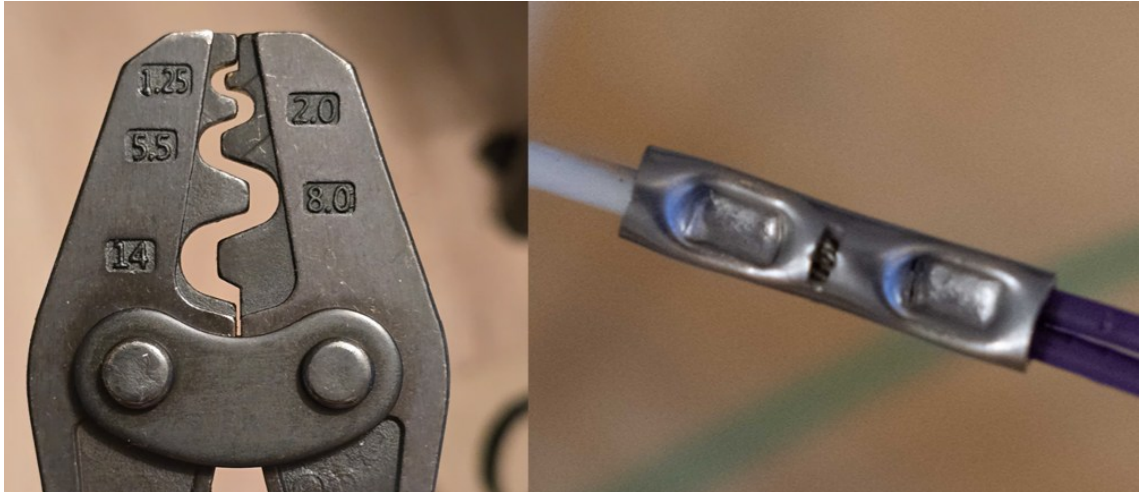


Kuva 24. Volkswagen-liittimen tiiviste.

Johtosarjassa käytettävien jatkosliittimien ja rengasliittimien puristus tapahtui U-pisteprofiilin (Kuva 25) räikkäpuristinpihdeillä (Kuva 26). Liittimen puristamisen jälkeen liitoksen mekaaninen vahvuus testattiin käsin vetämällä, jonka jälkeen liitoskohta suojattiin liimalla varustetulle kutisteella.

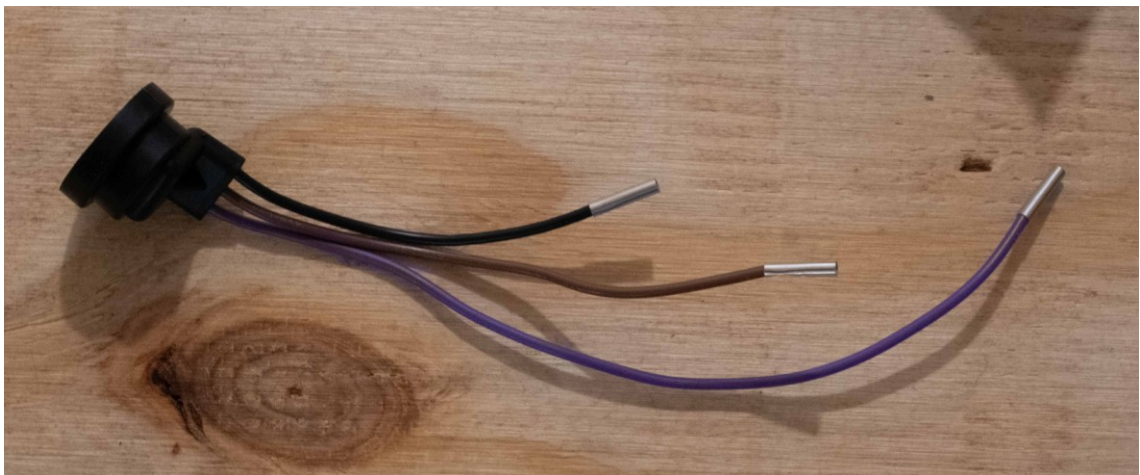


Kuva 25. Eristämättömän liittimen U-mallinen puristusprofiili [Crimped Connections 2023].



Kuva 26. Eristämättömien liittimien puristinpihdit ja valmis jatkosliitos ennen suojausta.

Tapauksissa, joissa käytettiin auton alkuperäisiä liittimiä, jotka edellyttivät monen jatkosliittimen käyttöä johtosarjaan yhdistämisessä, jatkokset asetettiin limittäin (Kuva 27), jotta yksi johtosarjan osa ei olisi muita paksumpi tai jäykempi. Yksittäinen jäykkä kohta keskellä johtosarjassa voi altistaa liitoksen helpommin värinä- tai taivutusvaurioille.



Kuva 27. Jatkosliittimien asennus limittäin.

5.5 Muutokset auton alkuperäisiin komponentteihin

Työssä käsiteltävän auton alkuperäisen sähköjärjestelmän puutteita lievitettiin myös vaihtamalla auton alkuperäisiin komponentteihin moderneja liittimiä tai vaihtamalla auton alkuperäisiä komponentteja kokonaan. Näistä kolme esimerkiksi on:

- Pysäköintivalojen/vilkun polttimon kanta
- Sytytyksen jakajan pyörimisanturi
- Öljynpainekeytkin.

Pysäköintivalon liitos on auton etumaskin takana, joten se on alttiina kosteudelle ja pölylle, mikä näkyy alkuperäisissä pinneissä (Kuva 28). Alkuperäisen liittimen tilalle vaihdettiin Deutsch DT-sarjan liitin.



Kuva 28. Esimerkki auton alkuperäisen valokannan liitinpinnistä.

Sytytyksen jakajan pyörimisanturin syöttämä signaali on auton moottorin käymiselle tarpeellinen ja siten liittimen varmatoimivuus on tärkeää, joten uuden anturin alkuperäismallisen liittimen tilalle vaihdettiin Deutsch DT -liitin. Tämä tarkoittaa, että tulevaisuudessa jos anturi tarvitsee uusia, liitin tarvitsee myös vaihtaa.

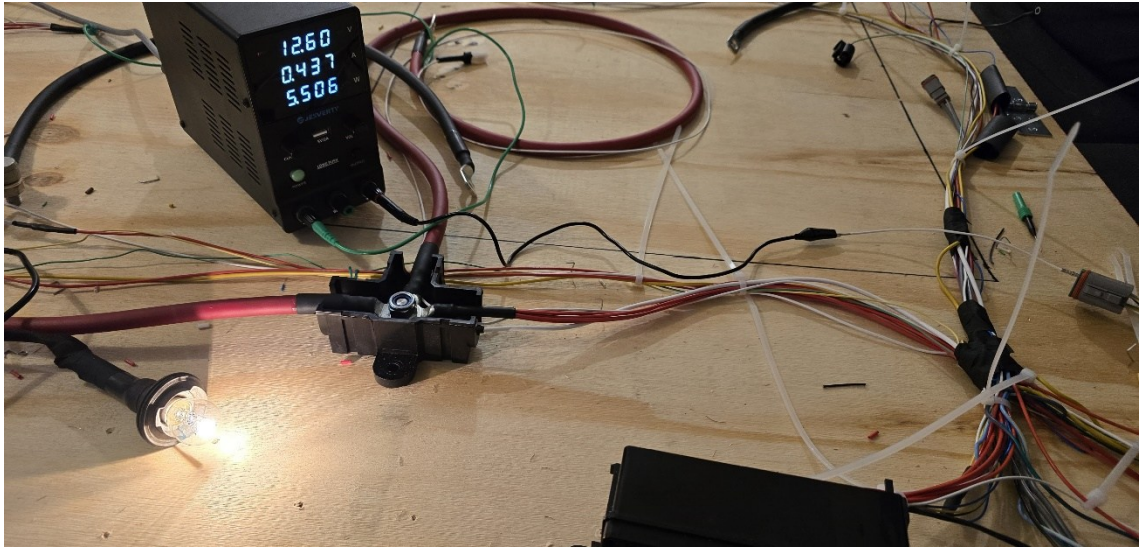
Auton alkuperäinen öljynpainekeytkin korvattiin Volkswagen-varaosalla 036919081D, joka kytkee vikavalon 0,5 barin paineessa auton alkuperäisen 0,3 barin sijasta. Korkeampi minimipaine varoittaa auton käyttäjää mahdollisesta öljynpaineongelmasta aikaisemmin kuin alkuperäinen anturi. Uudessa öljynpainekeytkimessä on myös moderni liitin, jossa on tiiviste ja lukitusmekanismi.

5.6 Johtosarjan testaus

Autoteollisuudessa valmiit johtosarjat testataan testiasemilla, jotka kokeilevat kaikkia johtosarjan eri pinnejä nopeasti ja ilmoittavat mahdollisista tuotannossa tapahtuneista virheistä [Trommnau, Kühnle, Siegert, Inderka & Bauernhansl 2019: 389]. Yksilöllisessä valmistuksessa johtosarjan testaus hoidetaan yksitellen testaten jokainen johto erikseen. Työssä valmistettu johtosarja testattiin kuormittamalla jokainen johto asianomaisella kuormalla. Kuormittaminen tarjoaa paremman testaustuloksen kuin esimerkiksi yleismittarin jatkuvuustestauksella testattu kytkentä, sillä kytkentä voi mittauksessa näyttää täydelliseltä, mutta olla silti kyvytön tukemaan sille tarkoitetun käyttölaitteen kuormaa, esimerkiksi epäonnistuneen liittipuristuksen tai kuorinnan aikana tapahtuneen säieaurion seurauksena.

Kuormittamistestaukseen valittiin eritehoisia polttimoita, sillä ajoneuvopolttimoita löytyy monella eri teholuokituksella ja niiden toimivuus on helposti havaittavissa (Kuva 29). Valojen testaukseen käytettiin niille tarkoitettuja polttimoita ja esimerkiksi äänitorven johdotuksen testaukseen käytettiin 55 W ajovalopolttimoa, jonka teholuokitus on lähellä auton omaa äänitorvea. Matalavirtaisen piirien, kuten antureiden ja releiden herätteiden, johdotuksien testaukseen käytettiin 5 W polttimoa. Polttimoille annettiin virtaa auton uusista läpivientiliittimistä laboratoriovirtalähdettä käyttäen Deutsch DT -pinnistä valmistetulla testijohdolla, jotta

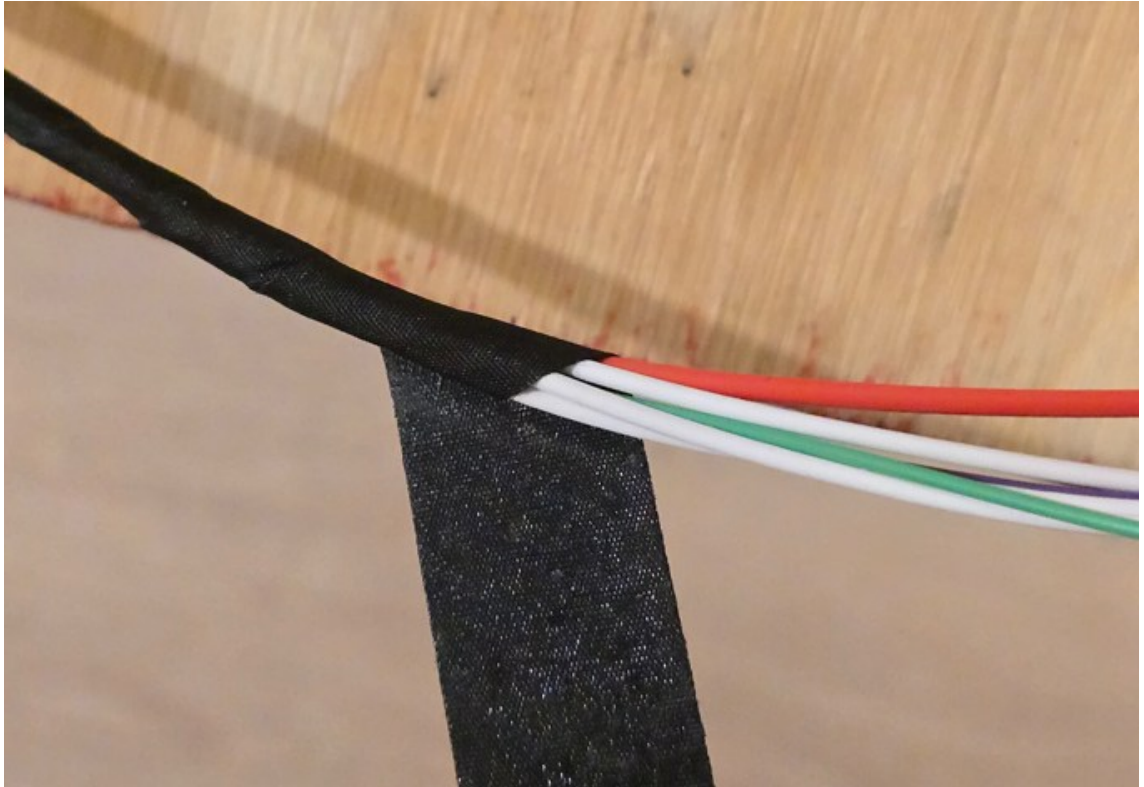
liittimen vastakappale ei vaurioitu epäsopivasta liittimestä. Johtosarjan testauksessa varmistettiin myös uuden relekeskuksen kaikkien releiden toiminta ja niiden kyky kytkeä käyttölaite. Ainoat johdot, joita ei pystytty testaamaan niille sopivilla virroilla olivat latauksen, käynnistinmoottorin ja akun päävirtakaapeleiden johdot. Nämäkin johdot kuitenkin testattiin 115 W kuormalla.



Kuva 29. Johtosarjan kuormitustestausta ennen suojauksen asennusta.

5.7 Johtosarjan niputus, suojaus ja tukeminen

Johtosarjan testauksen jälkeen johdot niputettiin yhteen käyttämällä nippusiteitä ja muovipeitteistä metallilankaa. Liittimet suojattiin liimalla varustetulle kutistesukalla aina kun mahdollista. Kutistesukka tarjoaa suojaa muuten suojaamattomille liittimille, kuten johtosarjassa esiintyville monille lattaliittimille, joiden muovikotelossa ei ole tiivistettä kosteuden tai pölyn ehkäisylle. Niputuksen jälkeen johtosarja suojattiin edellä mainitulla tesa 51006 -teipillä. Teippi käärittiin johtosarjan ympärille peittäen edellisen kerroksen puolittain jokaisella seuraavalla kierroksella (Kuva 30).



Kuva 30. Kangasteipin asennus tiiviisti.

Teipin lisäksi johtosarjan yksi osa, vaihteiston anturin johdotus suojattiin kovalla muoviputkella, sillä se voi altistua erittäin haastavalle ympäristölle auton alla. Suuria 25 mm² kaapeleita ei teipattu, sillä käytetty akkukaapeli on jo suojattu kaksikerroksisella eristeellä, jonka sisempi väri on valkoinen, jotta mahdolliset vahingot kaapeliin on helposti havaittavissa (Kuva 31).



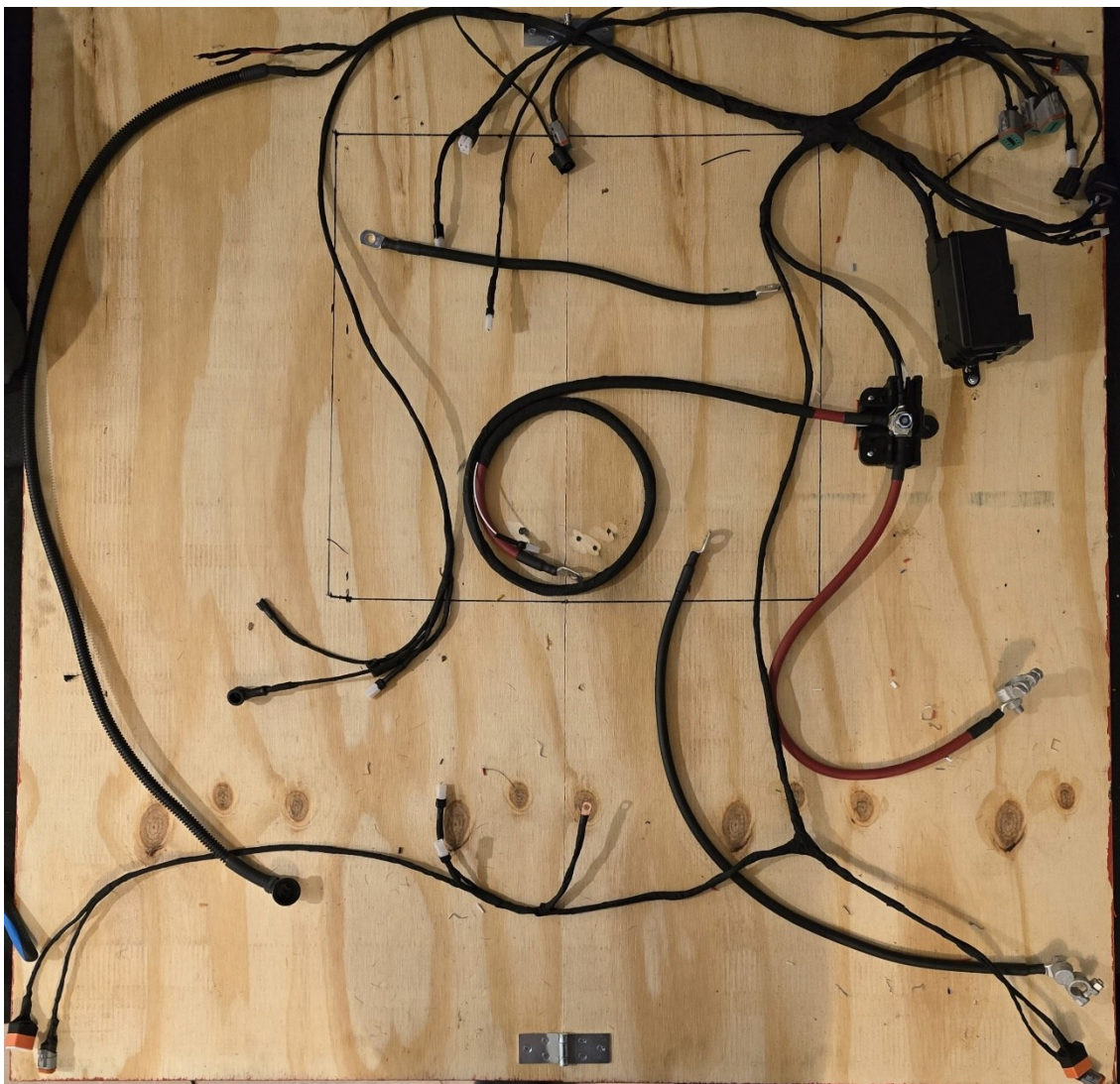
Kuva 31. 25 mm² akkukaapelin kaksikerroksinen eriste.

Johtosarjan tukemiseen käytettiin Volkswagen-varaosana 3W0 971 838 saatavaa nippusidekiinnikettä (Kuva 32), jossa on reikään painettava muovikiinnike. Kiinnike on valmistettu polyamidiyhdiste 46:sta, joka tunnetaan yleisesti nylonina. Nylonilla on vahva mekaaninen kestävyys ja korkea sulamislämpötila [Mitä on polyamidi (PA6, PA66, PA46 ja PA12)?] Volkswagenin tietojen mukaan kyseisen nippusidekiinnikkeen lämpötilatoiminta-alue on -40—150 °C, joten se on sopiva moottoritilan olosuhteisiin [ETKA Parts Information. Versio 8.8]. Nippusideteen mallinen johtosarjatuki sallii helpon asennuksen autoon poraamalla reiän auton koriin. Nippusidemalliset kiinnikkeet on helppo asentaa johtosarjaan jälkeenpäin ja niiden rikkoutuessa irrotuksessa ne on helppo vaihtaa uusiin.



Kuva 32. Volkswagen 3W0 971 838-johtisarjakiinnikkeen asennettava muovinnasta.

5.8 Valmis johtosarja



Kuva 33. Valmis johtosarja rakennusallustalla.

Työn tuloksena saavutettiin moderneja suunnittelumenetelmiä käyttäen valmistettu täysin uusi moottoritilan johtosarja, joka korjasi monia auton alkuperäisessä johtosarjassa olevia puutteita nykyaikaisilla ratkaisulla.

Uudessa johtosarjassa valikoitiin materiaalit ottaen huomioon auton moottoritilan haastavat olosuhteet ja ottaen samalla mallia modernin ajoneuvoteollisuuden käytännöistä. Valikoidut materiaalit ovat lämmön- ja kemikaalinkestäviä, kaikki työssä käytetyt materiaalit vastaavat tai ylittävät tämänhetkessä

autoteollisuudessa käytettävien materiaalien ominaisuudet, poissulkien auton alkuperäiset liittimet, joita ei pystynyt työn laajuuden ja kustannuksien puitteissa vaihtamaan modernimpaan vaihtoehtoon.

Ajoneuvon tehdasrakenteista sähköjärjestelmää muutettiin myös kustannustehokkaammaksi ja paloturvallisemmaksi lisäämällä moottoritilaan relekeskus, joka siirsi suurien virtojen kytkennän rasiuksia pois auton kytkimiltä ja virtalukolta, samalla välttämällä suurien virtojen läpiviennin auton tulipellin läpi, vähentäen tulipaloriskejä ja tarvetta pitkille suurien poikkipinta-alojen johdoille, joka vähensi johtosarjan kokoa, painoa ja kustannuksia.

Uuden johtosarjan suojaus- ja tukimenetelmät valikoitiin huomioiden mahdollisuudet muutoksille tulevaisuudessa.

6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa uusi ja moderni-soitu johtosarja 1970-luvun harrasteautoon, jonka alkuperäinen johtosarja oli erittäin huonokuntoinen ja siten saavuttanut 52 vuoden jälkeen käyttöikänsä pään.

Ennen uuden johtosarjan suunnittelua auton alkuperäisen johtosarjan puutteita analysoitiin tutkimalla 1970-luvun suunnittelua modernin autosähkösuunnittelun näkökulmasta. Alkuperäisen johtosarjan analysoimisen jälkeen analysoitiin myös kahden modernimman auton, vuosina 2022 ja 2012 valmistettujen henkilöautojen, johtosarjoja, liittimiä ja johtosarjasuunnittelua. Analysoinnin aikana opittu tieto auttoi ymmärtämään, että johtosarjatekniikan kehityksiä on tullut autoissa jo käytössä olevien menetelmien integroinnista johtosarjoihin ja uusista kehityksistä. Esimerkkinä jo 1970-luvulla käytettävistä menetelmistä, kuten jäähdytys- ja voiteluajajärjestelmien kumitiivisteistä, tuli yleisiä myös liittimien tiivistämisessä ympäristön haitoilta. Myös kehityksiä, jotka eivät olisi olleet mahdollisia auton valmistusaikakautena löytyi monia, esimerkiksi analysoidun Volkswagen ID.5:n virrankytkentä, joka toimii pääosin puolijohdeohjauksella.

Puolijohteet olivat 1970-luvulla vielä harvoin autoteollisuuden käytössä suurien kustannuksien vuoksi, mutta modernien tuotantoketjujen ja teknologisen kehityksen myötä puolijohteiden kustannukset ovat pudonneet.

Uuden johtosarjan suunnittelemista varten tehdyn dokumentoinnin aikana opeltiin myös käyttämään ammattikäyttöön tarkoitettua johtosarjasuunnitteluohjelmaa, jonka käyttö opetti kytkentäkaavioiden ja johtosarjapiirroksen suunnittelua. Zuken E³ -ohjelmiston laaja ominaisuusvalikoima tuotti haasteita sen käytön opimisessa, mutta työn tuloksena tuotettiin helposti ymmärrettävät kytkentäkaaviot ja rakennuksessa käytettävä johtosarjapiirros.

Työn aikana haasteita tuotti aihealueen laajuus, ja siten työn rajaaminen sopivalle alueelle oli tärkeää. Rajaamista piti erityisesti harjoittaa johtosarja-analyysojen jälkeen tehdyissä komponenttivalinnoissa, sillä markkinoiden tarjonta ajoneuvojen sähkötarvikkeille on hyvin monipuolinen.

Suunnittelun osalta työn aihealuetta olisi voinut laajentaa kattamaan enemmän käyttölaitteita, mikä olisi sallinut modernien liittimien käytön useammassa kohteessa. Toinen mahdollinen laajennuskohde olisi ollut auton sisätila, jonka modernisointi olisi sallinut myös läpiviennin yhtenäisemmän toteutuksen.

Työn tuloksena valmistettu johtosarja toimi oppimismahdollisuutena niin modernin autoteollisuuden suunnittelu- ja valmistusperiaatteisiin, kuten ammattimaiseen dokumentointiin ja johtosarjan rakennusalustaan. Käytännössä työn aikana tuli myös opittua johtosarjan käsin valmistusta, kuten monien eri liittimien kokoamista, johtojen mitoittamista, komponenttien valikointia.

Tämä opinnäytetyö oli opettavainen itselle erittäin kiinnostavalla aihealueella, ja työssä opitut asiat toimivat hyvänä tiedonlähteenä seuraavissa autosähköprojekteissa.

Lähteet

1973 Dodge Dart 318 V8. 2015. Verkkoaineisto. North Shore Classics. <<https://www.nsclassics.com/used-vehicle-1973-dodge-dart-clean-original-condition-318-v8-engine-see-video-c-4746/>> Luettu 20.5.2025.

3 Things About Aluminum Wire Applied to Automobiles. 2023. Verkkoaineisto. Chongqing CHAL Precision Aluminium Co. Ltd.. <<https://www.chaluminium.com/3-things-about-aluminum-wire-applied-to-automobiles>> Luettu 19.5.2025.

Adler, Bazlen & Robert Bosch GmbH 1978. Bosch Automotive handbook. Stuttgart: Robert-Bosch-GmbH ; Düsseldorf.

Crimped Connections. 2023. Verkkoaineisto. Inter-connection. <<https://interconnection.eu/crimped-connections/>> Luettu 19.5.2025.

Deutsch Contacts Technical Data. Verkkoaineisto. Brown & Miller Racing Solutions. <https://bmrswired.com/deutsch_contacts_tech_data.html> Luettu 10.5.2025.

DEUTSCH DT Connectors. Verkkoaineisto. TE Connectivity. <<https://www.te.com/en/products/connectors/automotive-connectors/intersection/deutsch-dt-series-connectors.html>> Luettu 19.5.2025.

DEUTSCH DTP Connectors FAQs. Verkkoaineisto. TE Connectivity. <<https://www.te.com/en/faqs/deutsch-dtp-connectors.html>> Luettu 14.5.2025.

DIN 48083-4:1985-04. 1985. Dimensions of the hexagon compression type.

DIN compression cable lug or tubular cable lug. Verkkoaineisto. Gustav Klauke GmbH. <<https://www.klauke.com/vn/en/din-compression-cable-lug-or-tubular-cable-lug>> Luettu 19.5.2025.

ETKA Parts Information. Versio 8.8. Volkswagen AG.

Forms of Crimping. Verkkoaineisto. Rennsteig Werkzeuge GmbH. <<https://www.rennsteig.us/service/general-info/32-forms-of-crimping>> Luettu 15.5.2025.

Fusible Link FAQs. Verkkoaineisto. White Products. <<https://whiteproducts.com/fusible-faqs.php>> Luettu 20.5.2025.

Hydraulic crimping machine WDT UP 65. Verkkoaineisto. Wezag GmbH & Co. <<https://www.wezag.de/en/maschine/crimping-machine-wdt-up65/>> Luettu 19.5.2025.

ISO 8820-3:2010. 2010. Road vehicles -- Fuse links.

Mitä on polyamidi (PA6, PA66, PA46 ja PA12)? Verkkoaineisto. High Performance Polymer. <<https://korkeansuorituskyvynpolymeerisuomi.com/pages/what-is-polyamide-pa6-pa66-pa46-and-pa12>> Luettu 26.5.2025.

PA 6.6 GF30. Verkkoaineisto. Aikolon Oy. <<https://www.aikolon.fi/tuotteet/tekni-set-muovit/pa-6.6-gf30>> Luettu 19.5.2025.

Proper Grounding Techniques for Wire-In ECUs. 2024. Verkkoaineisto. Motorsport Electronics. <<https://motorsport-electronics.co.uk/proper-grounding-techniques-for-wire-in-ecus/>> Luettu 20.5.2025.

Raychem SPEC 44 and SPEC 55 Cable. Verkkoaineisto. TE Connectivity. <<https://www.te.com/en/products/wire-cable/hook-up-wire.html>> Luettu 10.5.2025.

SAE J156_197002. 1970. Fusible links.

SCL Heat Shrink Tubing. Verkkoaineisto. TE Connectivity. <<https://www.te.com/en/products/heat-shrink-tubing/dual-wall-tubing/intersection/scl-heat-shrink-tubing.html>> Luettu 10.5.2025.

tesa® 51006. Verkkoaineisto. tesa®. <<https://www.tesa.com/fi-fi/teollisuus/tesa-51006.html>> Luettu 5.5.2025.

Trommnau, Jerome, Kühnle, Jens, Siegert, Jörg, Inderka, Robert & Bauernhansl, Thomas 2019. Overview of the State of the Art in the Production Process of Automotive Wire Harnesses, Current Research and Future Trends. Procedia CIRP. 81, 387–392. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.067>.

Types of electrical cable and wire insulation. 2024. Verkkoaineisto. Transfer Multisort Elektronik. <<https://www.tme.eu/en/news/library-articles/page/60828/types-of-electrical-cable-and-wire-insulation/>> Luettu 19.5.2025.

What Is Polyvinyl Chloride (PVC) Wire Insulation? Verkkoaineisto. Kris-Tech Wire. <<https://www.kristechwire.com/insulation-polyvinyl-chloride-pvc/>> Luettu 19.5.2025.

Wiring Harness Manufacturers Face Three Big Challenges in 2022. 2022. Verkkoaineisto. Assembly Magazine.

<<https://www.assemblymag.com/articles/96864-wiring-harness-manufacturers-face-three-big-challenges-in-2022>> Luettu 19.5.2025.

Auton alkuperäiset läpivientiliittimet

| Bulkhead-liittimet | | | | Pinni | AWG | mm2 | Väri | Käyttökohde |
|--------------------|---|---|---|-------|-----|------------|------|-------------------------------------|
| A | B | C | D | A | - | - | - | - |
| H | G | F | E | B | - | - | - | - |
| J | K | L | M | C | - | - | - | - |
| R | Q | P | N | D | 18 | 1 br | | Tuulilasin pesunesteen pumppu |
| S | T | U | V | E | 18 | 1 BR | | Tuulilasinpyyhkijän moottori |
| Z | Y | X | W | F | 18 | 1 R | | Tuulilasinpyyhkijän moottori |
| | | | | G | 18 | 1 DGN | | Tuulilasinpyyhkijän moottori |
| | | | | H | 18 | 1 DBL | | Tuulilasinpyyhkijän moottori |
| | | | | J | 16 | 1.5 DBL | | Laturimittarilta palaava virta |
| | | | | K | 20 | 0.5 GY | | Öljynpaineanturi |
| | | | | L | 18 | 1 DGN-R | | Äänitorvi |
| | | | | M | 20 | 0.5 BK | | Jarruvikavallo |
| | | | | N | 16 | 1.5 DBL | | Sytytysohjaimen ja latausheräte |
| | | | | P | 12 | 4 BK | | Laturi |
| | | | | Q | 14 | 2.5 BR | | Puolan virransyöttö käynnistyksessä |
| | | | | R | 20 | 0.5 V | | Jäähdytinnesteen lämpöanturi |
| | | | | S | 18 | 1 BK/LTGRN | | Vasen vilkku |
| | | | | T | 16 | 1.5 DGN/R | | Startti |
| | | | | U | 18 | 1 BK/Y | | Parkit/Marker |
| | | | | V | 18 | 1 BK/T | | Oikea vilkku |
| | | | | W | 18 | 1 BK | | Virransyöttö pakkivalolle |
| | | | | X | 18 | 1 V | | Lyhyet |
| | | | | Y | 18 | 1 R | | Pitkät |
| | | | | Z | 14 | 2.5 DGN | | Pakkivalo |

Raychem Spec55

Raychem

- Resistant to electrical arc tracking in wet or dry conditions
- Single or dual wall constructions
- Small size, ultra light weight
- Exceptional chemical resistance

Spec 55
Wire and cable

Spec 55 wire is insulated with modified radiation cross-linked ETFE polymer. It has a temperature rating of -65°C to 200°C continuous, and combines the easy handling of a flexible wire with excellent scrape abrasion and cut-through characteristics.

The dual wall airframe construction of Spec 55 wire is currently used on numerous aircraft programmes. It has

a 0.25 mm total wall thickness and a contrasting core colour to act as a damage indicator. Chosen for its balance of properties, Spec 55 wire has outstanding resistance to chemicals and solvents, excellent electrical arc track resistance, and is not susceptible to UV and moisture degradation. Single wall equipment wire constructions are available in 0.10 mm and 0.15 mm wall

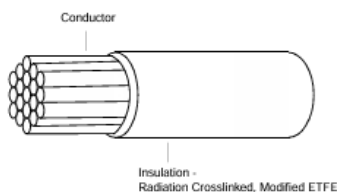
thicknesses for use inside black boxes where flexibility and solder-iron resistance make it a wire which is very easy to reliably install.

Both single and dual wall insulated wires are available in twisted pairs, triples, etc., and as screened and jacketed cables.

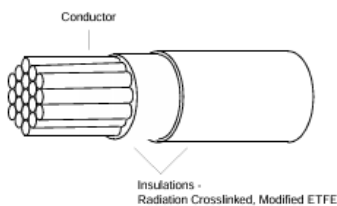
Specifications/Approvals

| |
|---|
| MIL-W-22759/32-35 and /41 to /46 and MIL-C-27500 (Cables) |
| Def Stan. 61-12 Part 33 |
| VG95218 Part 20, Type D; Part 21, Type A; Part 22, Type A; Part 23, Type A, Part 1001 and Part 1002 |
| VDE 9426, 9427, 9428 |
| British Standard G233 |
| Civil Aviation Authority Accessory Approval E11749 |
| Boeing BMS 13-48 |
| Airbus ABS 0820 to 0826 |
| Underwriters Laboratory Style 3467 |
| NASA preferred product list |
| European Space Agency 3901/011 and 3901/012 |
| Raychem Specification 55 |

Spec 55 Insulation system - Single wall



Spec 55 Insulation system - Dual wall



Spec 55

Physical characteristics

Size and weight

Spec 55 wire provides one of the most comprehensive wiring product ranges for aerospace users, with a wide choice of conductor sizes and insulation wall thicknesses. The dual wall airframe wire has an insulation wall thickness of 0.25 mm for robustness in unprotected harnesses and has excellent wire to wire abrasion properties. The equipment wire has a 0.15 mm wall

thickness for use inside equipment and protected harnesses. For high density interconnect wiring, the 450 volt 55M041X series of equipment wire has a nominal 0.1 mm wall and provides considerable weight and size savings over other comparable wires.

Handling

The excellent flexibility and low resilience makes Spec 55 the ideal wire

to install, both in new aircraft and equipment and for maintenance purposes. The wire is easily stripped with conventional tooling. The insulation is readily marked by hot stamp, ink jet or laser, and can be potted without pre-etching.

For full descriptions of the appropriate tools see separate wire handling guide.

Typical properties

| | |
|---|--|
| Temperature rating (Tin plated conductor) | -65°C to +150°C |
| (Silver or nickel plated conductor) | -65°C to +200°C |
| Thermal endurance | 200°C, 10000 h |
| Scrape abrasion (BSG 233) | >100 cycles at 150°C |
| Flexing endurance (Boeing BSS 7324) | >1000 cycles |
| Voltage rating | 600 V |
| Tensile strength + core elongation | (Airframe wire only) 35 N/mm ² , 125% |
| Tensile strength + total elongation | (All primary wire) 35 N/mm ² , 75% |
| Notch propagation BSG 230 0.05 mm notch | Pass |
| Solder iron resistance (370°C, 1 minute) | Pass |
| Solderability - Tin plated copper conductor BSG 233 conditions | <0.8 secs to wet |
| Shrinkage | <1% |
| Long term water resistance | Will not hydrolyse |
| Permittivity 1 KHz (ASTM D150) | 2.7 |
| Dissipation factor (ASTM D150) | 0.001 |

Environmental performance

Temperature rating

Spec 55 wire and cable is rated for continuous operation from -65°C to +200°C and for short periods at temperatures as high as 400°C.

Mechanical performance

Radiation crosslinking of the Spec 55 insulation significantly improves the following mechanical characteristics; scrape (sharp edges), cross wire abrasion, cut-through resistance and creep resistance.

Solder iron/Overload resistance

Radiation crosslinking ensures that the insulation does not melt at high temperature. As a result Spec 55 wire is resistant to hot solder irons and current overloads which would melt most thermoplastic insulations.

Chemical resistance

Spec 55 is unaffected by all commonly used chemicals, eg. fuels, hydraulic fluids, defluxing agents, cleaners, coolants and de-icers. It also shows excellent resistance to weathering (UV, ozone, pollutants, water).

Space wire

Spec 55 is available in special versions suitable for use in outer space meeting both ESA and NASA requirements for outgassing.

Flammability





Special additives increase the flame retardance of Spec 55 compared to unirradiated ETFE so that it meets the latest high performance tests, eg. BSG 230 vertical test FAR 25.

Electrical arc tracking resistance

Spec 55 insulation demonstrates a total resistance to arc tracking under both wet and dry conditions at aircraft system voltages.

Spec 55

Spec 55 wire & cable: Standard constructions, sizes, strandings, diameters and weights

| Conductor | Primary wire | Twisted pair | Screened & jacketed | |
|---|---|--|---|------|
| | | | Single | Pair |
|  |  |  |  | |

55M - Metric conductor: Equipment/Interconnect wires & cables

| Size | Stranding (mm) | 55M011X | | 55M012X | | 55M111X | | 55M112X | |
|------|----------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| | | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) |
| 26 | 19/0.10 | 0.81 | 2.10 | 1.62 | 4.32 | 1.52 | 6.84 | 2.46 | 11.34 |
| 24 | 19/0.12 | 0.94 | 2.97 | 1.87 | 6.11 | 1.65 | 7.84 | 2.72 | 13.82 |
| 22 | 19/0.15 | 1.09 | 4.20 | 2.18 | 8.64 | 1.78 | 10.33 | 3.02 | 17.70 |
| 20 | 19/0.20 | 1.29 | 6.50 | 2.59 | 13.38 | 1.93 | 13.40 | 3.43 | 23.81 |
| 18 | 19/0.25 | 1.55 | 9.78 | 3.09 | 20.20 | 2.32 | 17.86 | 3.94 | 32.63 |
| 16 | 19/0.30 | 1.75 | 13.67 | 3.50 | 28.20 | 2.43 | 21.73 | 4.30 | 39.72 |
| 14 | 37/0.25 | 2.18 | 19.60 | 4.36 | 40.50 | 2.83 | 29.86 | 5.21 | 56.00 |
| 12 | 37/0.32 | 2.64 | 30.03 | 5.28 | 61.77 | 3.48 | 42.42 | 6.13 | 80.91 |

55M - Metric conductor: Airframe wires & cables

| Size | Stranding (mm) | 55M081X | | 55M082X | | 55M111X | | 55M112X | |
|------|----------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| | | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) |
| 26 | 19/0.10 | - | - | 1.99 | 5.29 | 1.52 | 6.84 | 2.46 | 11.34 |
| 24 | 19/0.12 | - | - | 2.28 | 6.30 | 1.65 | 7.84 | 2.72 | 13.82 |
| 22 | 19/0.15 | 1.29 | 4.77 | 2.59 | 10.08 | 1.78 | 10.33 | 3.02 | 17.80 |
| 20 | 19/0.20 | 1.50 | 6.99 | 3.00 | 14.40 | 1.93 | 13.40 | 3.43 | 23.81 |
| 18 | 19/0.25 | 1.78 | 10.73 | 3.55 | 22.76 | 2.32 | 17.86 | 3.94 | 32.63 |
| 16 | 19/0.30 | 2.02 | 15.26 | 3.96 | 31.44 | 2.43 | 21.73 | 4.30 | 39.72 |
| 14 | 37/0.25 | 2.33 | 21.00 | 4.83 | 43.22 | 2.83 | 30.46 | 5.21 | 56.90 |
| 12 | 37/0.32 | 2.84 | 30.50 | 5.69 | 61.24 | 3.48 | 42.42 | 6.13 | 80.91 |
| 10 | 37/0.40 | 3.45 | 47.06 | 6.80 | 96.94 | - | - | - | - |

55M - Metric conductor: Light weight equipment wires and cables

| Size | Stranding (mm) | 55M041X | | 55M042X | | 55M141X | | 55M142X | |
|------|----------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| | | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) | OD (mm) | Weight (g/m) |
| 32 | 7/0.08 | 0.46 | 0.60 | 0.92 | 1.24 | - | - | - | - |
| 30 | 7/0.10 | 0.53 | 0.90 | 1.06 | 1.85 | 1.18 | 3.61 | 1.75 | 5.51 |
| 28 | 7/0.13 | 0.61 | 1.23 | 1.22 | 2.54 | 1.26 | 4.12 | 1.87 | 6.72 |
| 26 | 19/0.10 | 0.71 | 1.92 | 1.42 | 3.96 | 1.35 | 4.92 | 2.07 | 8.93 |
| 24 | 19/0.13 | 0.84 | 2.84 | 1.68 | 5.86 | 1.49 | 6.50 | 2.33 | 11.54 |

X = 1 - Tin plated copper.

4 - Silver plated high strength copper alloy.

Recommended for size 24 and smaller in airframe applications.

Extra light weight constructions

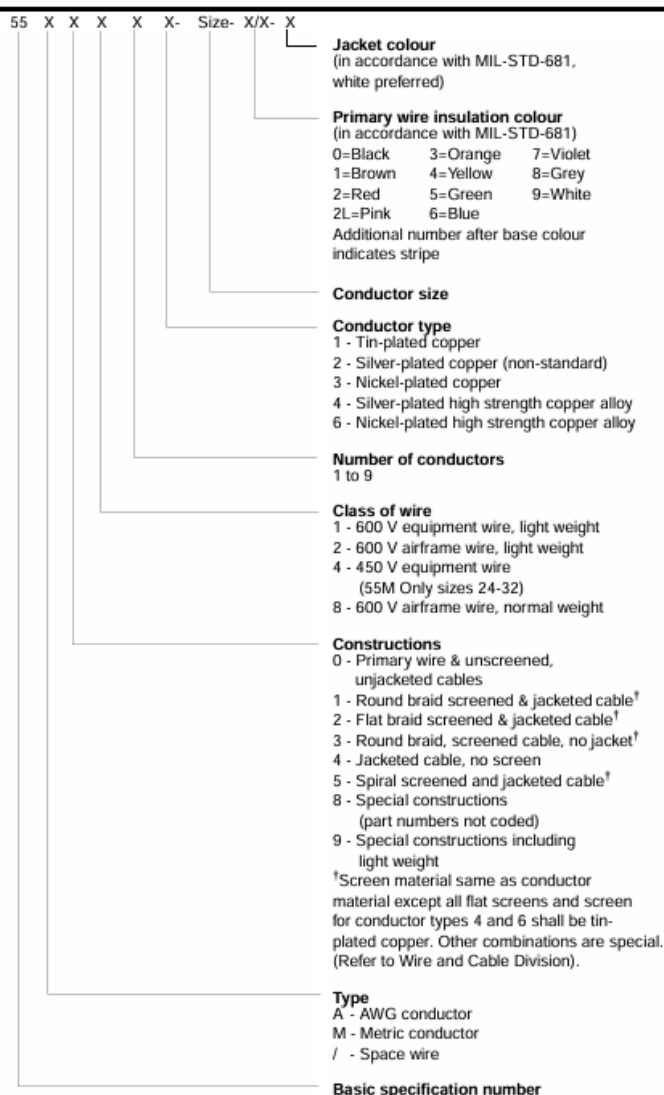
For applications where weight is critical, light weight tight tolerance conductors and insulations are available. These are manufactured using statistical process

control methods and achieve weights that are equal or lighter than the equivalent polyimide/PTFE constructions.

Contact Wire & Cable Division for further details.

Spec 55

Part numbering system



Typical ordering example

3 conductors, red, yellow, blue, 600 volt equipment wire with overall round braid, 20 AWG tinned conductor and white jacket: total part number is 55M1131-20-2/4/6-9.

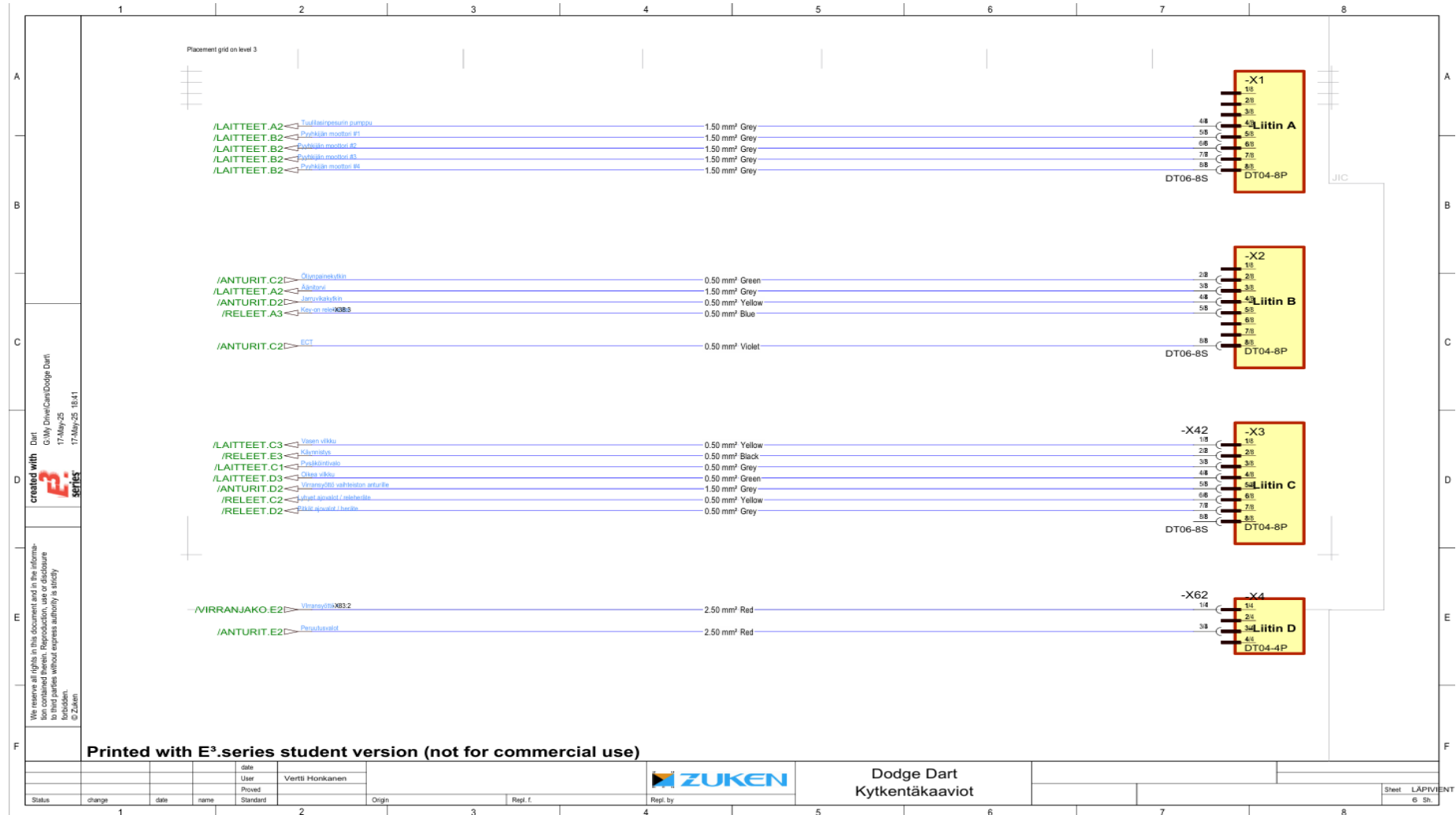
Ordering information

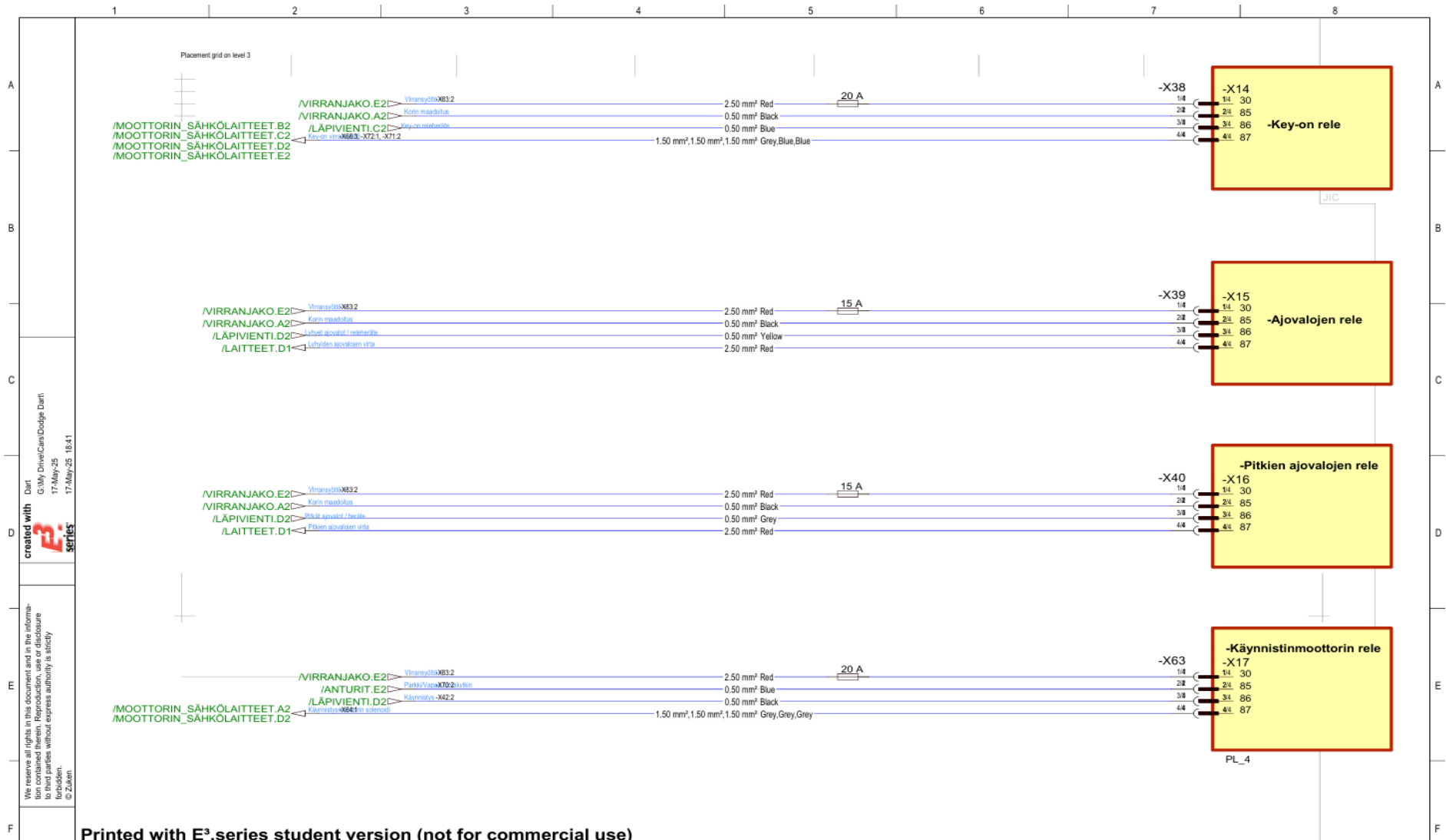
The standard equipment wires (55M011X etc) are held as stock items between 26 and 20 gauge in a range of colours. Commonly used cables manufactured from these wires, such as screened twisted pairs and triples are also held in stock. The light weight equipment wire (55M041X etc) is also held in a range of colours. The dual-wall airframe wire is held as a stock item with white insulation in 24-16 gauge and 8-0 gauge for power wire. Other constructions and certain designed cables are available on request.

Raychem and Spec 55 are trademarks of Raychem Corporation.

All of the above information, including illustrations, is believed to be reliable. Users, however, should independently evaluate the suitability of each product for their application. Raychem makes no warranties as to the accuracy or completeness of the information and disclaims any liability regarding its use. Raychem's only obligations are those in the Standard Terms and Conditions of Sale for this product and in no case will Raychem be liable for any incidental, indirect or consequential damages arising from the sale, resale, use or misuse of the product. Raychem Specifications are subject to change without notice. In addition Raychem reserves the right to make changes in materials or processing, without notification to the Buyer, which do not affect compliance with any applicable specification.

Kytentäkaaviot



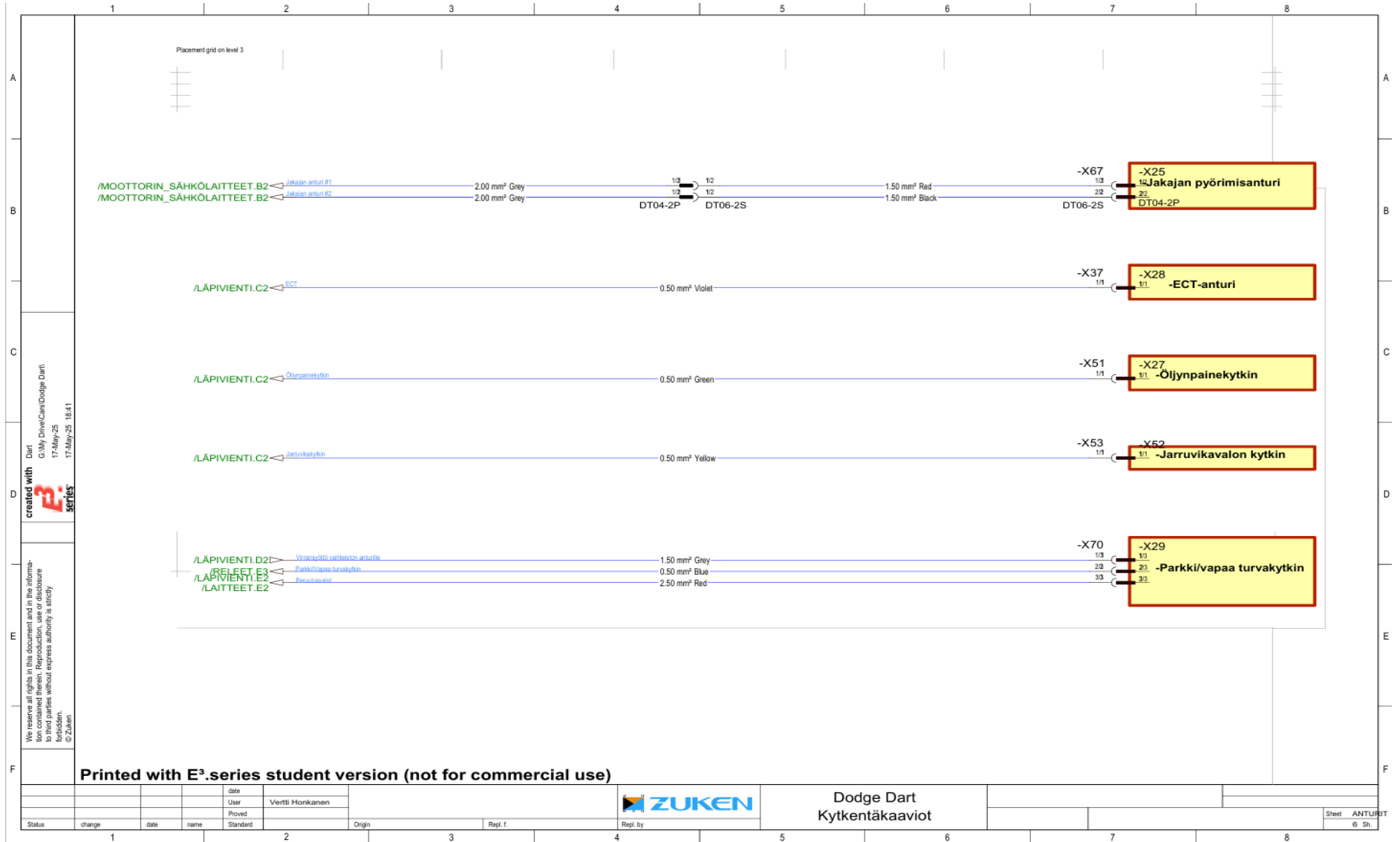


created with
E³.series
 Dart
 C:\My Drive\Cars\Dodge Dart
 17.May.25
 17.May.25 18:41

We reserve all rights in the documents and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.
 © Zuken

Printed with E³.series student version (not for commercial use)

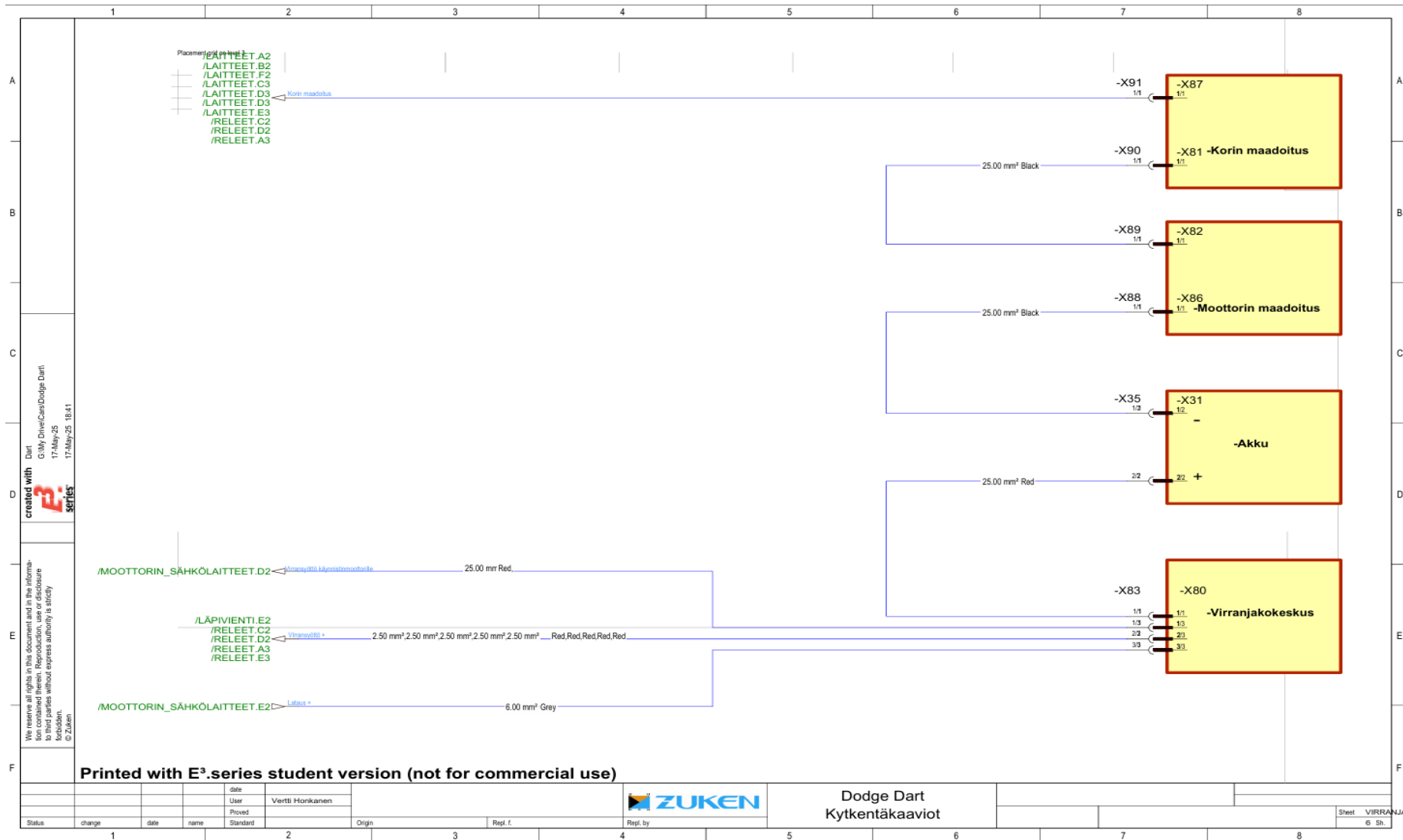
| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|-----------------|------|----------|--------|------------|----------|-----------------|--|-------|--|--------|---|
| User | | Veritt Honkanen | | ZUKEN | | Dodge Dart | | Kytkentäkaaviot | | Sheet | | RELEET | |
| Status | change | date | name | Standard | Origin | Repl. f. | Repl. by | | | 6 Sh. | | | |
| 1 | | | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | 7 |



Printed with E³.series student version (not for commercial use)

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|------|------|----------|--------|----------|----------|-------------------------------|----------------|
| Status | change | date | name | Standard | Origin | Repl. f. | Repl. by | Dodge Dart Kytkentäkaaviot | Sheet 6 Sh. |
| | | | | | | | | | ANTURIT |





created with
E³
 SERIES

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly prohibited.
 © ZUKEN

Printed with E³.series student version (not for commercial use)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|------|------|-----------------|--------|----------|----------|------------|--|----------------|--|-------|-----|------------|--|
| Date | | User | | Vertti Honkanen | | ZUKEN | | Dodge Dart | | Kytentäkaaviot | | Sheet | | VIRRANJAKO | |
| Status | change | date | name | Standard | Origin | Repl. f. | Repl. by | | | | | 6 | Sh. | | |
| 1 | | | | | 2 | | | 3 | | | | 4 | | | |

