

Kalle Ahola

## **JOHTOSARJOJEN RAKENNE- JA MATERIAALIVALINNAT**

# **JOHTOSARJOJEN RAKENNE- JA MATERIAALIVALINNAT**

Kalle Ahola  
Opinnäytetyö  
Syksy 2019  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, auto- ja kuljetustekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Kalle Ahola  
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Johtosarjojen rakenne- ja mitoitusperusteet  
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Wiring harness construction and dimensioning basics  
Työn ohjaaja: Perttu Niskanen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2019  
Sivumäärä: 41 + 1 liite

---

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin johtosarjojen rakenne- ja materiaalivalintoihin kilpa-auton johtosarjarakenteessa. Työn tavoitteena oli löytää vaativissa ympäristössä toimivat materiaalit ja rakenne. Tavoitteisiin kuului myös laatia ohjekirjana toimiva materiaali, joka auttaa johtosarjan rakentamisessa. Suunnittelutyössä käytiin läpi johtojen mitoituksen perusasiat ja materiaalivalinnat ympäristön vaatimusten mukaisesti.

Työssä hyödynnettiin aikaisempaa kokemusta johtosarjojen valmistuksesta. Ohjekirjassa otettiin huomioon parannuksen kohteet rakenteessa kuten johtimien itsekeskeinen kääriminen ja vedonpoiston lisääminen. Valmistuksessa käytettävät menetelmät käytiin läpi, jotta materiaalit eivät menetä ominaisuuksiaan valmistuksen yhteydessä. Työtä suoritettiin yhtäaikaisesti valmistamalla johtosarjoja ja soveltaen materiaalista opittua tietoa. Työssä keskityttiin valitsemaan oikeat materiaalit ja määrittämään johtimien poikkipinta-ala tarkasti, ottaen huomioon johtimen läpi kulkevan virran sekä ympäristön aiheuttama lämmön nousu.

Työn tuloksena saavutettiin johtosarjan valmistuksesta monipuolinen ohjekirja, jonka pohjalta voidaan valmistaa korkeatasoinen, toimiva ja kestävä johtosarja asiakkaan tarpeisiin. Työtä voidaan soveltaa myös muille aloille kuin pelkästään kilpa-ajoneuvojen johtosarjojen valmistukseen.

---

Asiasanat: johtosarja, kilpa-ajoneuvo, johtosarjan rakenne, concentric twisting

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical engineering, Automotive engineering

---

Author: Kalle Ahola

Title of thesis: Wiring harness construction and dimensioning basics

Supervisor: Perttu Niskanen

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2019

Pages: 41 + 1 appendix

---

Based on the need of the customer this thesis was made as an instruction guide to manufacture wiring harnesses that can withstand harsh environments of a race car. Objective was to find construction techniques and materials that will withstand and make harnesses more reliable. This thesis will cover the basics of calculating dimensioning of wires and material choices according to environmental needs.

Skills and knowledge of manufacturing wiring harnesses were taken into consideration when creating this thesis and possible areas in need of improvement were sorted out. Wiring harnesses and construction techniques were applied while manufacturing harnesses to test out the information gathered in this thesis. Calculating cross – sectional area of a wire was taken into consideration. Heat from the surrounding elements and current passing through the wire influences the heat created in the wire, which in turn affects wire size selection and the harness design.

This thesis gives a good understanding of race car wiring harness design and construction and acts as a guidebook. From the information of this thesis the customer can produce a functional, durable, high quality wiring harness for their needs. This thesis can be used also for other purposes than just race car wiring harnesses.

---

Keywords: wiring harness, concentric twisting, motorsport

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää Sepen Ralliautoilu ja Elämys Oy:ta ja johtaja Pertti Tapojärveä mielenkiintoisen opinnäytetyön mahdollistamisesta. Työ opetti uusia asioita niin teoriassa kuin käytännössäkin ja tarjosi haasteita uusilla osa-alueilla. Haluan myös kiittää sisällön ohjaajaa lehtori Perttu Niskasta.

Oulussa 1.12.2019

Kalle Ahola

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 SÄHKÖTEKNIIKAN PERUSTEITA	10
2.1 Sähkövirta	10
2.2 Jännite	10
2.3 Resistanssi	10
2.4 Tärkeimmät yhtälöt johtosarjasuunnittelussa	10
2.5 Laskuesimerkkejä	11
3 HÄIRIÖNSUOJAUS JA HÄIRIÖNPOISTO JOHTOSARJASSA	15
3.1 Kierretty parikaapeli	15
3.2 Suojatut kaapelit	16
3.3 Komponenttien sijoitus ja maadoitus	18
4 MATERIAALIT JOHTOSARJASSA	20
4.1 Johtimet	20
4.2 Kutistesuojaputket ja tiivistäminen	21
4.2.1 Raychem DR-25	21
4.2.2 Raychem SCL	22
4.2.3 Raychem RT-375	23
4.2.4 Raychem System 25 -kutistemuodot	23
4.2.5 Kaksoiskomponenttiliimat ja suojaus	24
4.3 Liittimet ja kontaktit	26
4.3.1 Deutsch DT	26
4.3.2 Deutsch Autosport	27
5 JOHTOSARJAN RAKENNE	28
5.1 Concentric twist	28
5.2 Kutistesuojaus ja asennus	30
5.2.1 Raychem DR25 -kutistesuojauksen asentaminen	31

5.2.2 Liittimien tiivistys ja kutistemuotojen asennus	31
5.3 Service loop	32
5.4 Liitokset johtosarjassa	34
5.4.1 Splice	35
5.4.2 Solder sleeve	36
5.5 Johtosarjan testaus	36
6 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	39
LIITTEET	
Liite 1 ResinTech RT125 tekninen tuote-esite	

## SANASTO

AWG	American Wire Gauge, amerikkalaisten käyttämä yksikkö johtimen poikkipinta-alan ilmaisemiseen
CMA	Circular Mill Area, Circular mil, pinta-alan yksikkö, vastaa ympyrän pinta-alaa, joka on yksi tuhannesosa tuumasta, vastaava yksikkö on mm <sup>2</sup>
EMI	Electro Magnetic Interference, sähkömagneettinen häiriö
ETFE	etyleeni-tetrafluorieteeni- polymeeri
FEP	perfluorieteenipropeni
juotossukka	solder sleeve, käytetään esimerkiksi suojatun kaapelin maadoituksen liittämiseen
kutistemuoto	kutistuvasta materiaalista valmistettu tuote, kutistuu tiettyyn muotoon, kutistemuotoja käytetään esimerkiksi liittimien suojauksessa
krymppäys	suomennos sanasta crimping, sanaa käytetään johtimissa käytettävistä puristusliitoksissa
MIL-STD, MIL-SPEC	United States Military Standard, Yhdysvaltojen armeijan asettama standardi
IP Ingress Protection	kertoo, kuinka hyvin erilaiset sähkölaitteet ovat suojattuja esineiltä, pölyltä ja vedeltä
PFA	perfluorialkoksimuovi
splice	johto johtoon liitos, jossa useampi johdin liitetään yhteen johtimeen, splice liitoksia käytetään esimerkiksi anturilähtöjen jakamiseen johtosarjassa



# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö sai alkunsa asiakkaan tarpeesta uusille moottorinohjausjärjestelmille ja johtosarjojen valmistukselle kilpa-ajoneuvoihin. Ajoneuvoihin suunnitellaan ajoneuvokohtainen johtosarja työstä saatujen laskenta-, materiaali- ja rakennevalintojen perusteella.

Työssä tutkitaan kilpa-ajoneuvojen ympäristöön sopivia materiaalivalintoja ja johtosarjan rakennetta, joilla voidaan taata toimintavarmuus haastavissakin ympäristöissä. Työssä käydään läpi myös johtosarjan suunnittelussa tarvittavat tärkeimmät mitoitusperusteet, joiden avulla voidaan varmistaa johtosarjan toiminta eri olosuhteissa. Rakenneosiossa tutkitaan eri komponenttien sijoitusta johtosarjassa ja johtosarjan ladontatekniikoita ja niiden saavuttamia hyötyjä. Materiaaliosiossa keskitytään valitsemaan johtosarjaan soveltuvat materiaalit, joiden tulee olla pölyn, veden, lämmön ja värinän kestäviä. Tavoite on pystyä valmistamaan johtosarjoja, joissa hyödynnetään työstä saatua tietoa ohjeena johtosarjan valmistuksessa.

## 2 SÄHKÖTEKNIIKAN PERUSTEITA

### 2.1 Sähkövirta

Kun johteesta tehdyn esineen päät yhdistetään virtalähteen napoihin, muodostuu johteen päiden välille jännite-ero ja johteeseen sähkökenttä. Johteessa on runsaasti vapaita tai helposti johtavuusvyöstä irtoavia elektroneja. Vapaana oleva elektroni alkaa liikkua sähkökentän suuntaa vastaan eli kohti virtalähteen positiivista napaa. Tätä elektronien liikettä sanotaan sähkövirraksi. Sähkövirtapiirissä yhteen pisteeseen tulevien virtojen summa on yhtä suuri kuin siitä lähtevien virtojen summa. Tämä tunnetaan Kirchhoffin 1:senä lakina. (1, s. 11.)

### 2.2 Jännite

Kun varauksen sisältämä sähkömäärä siirretään sähkökentän pisteestä toiseen, pitää tehdä työtä. Varauksen siirtämiseksi tehty työ varastoituu potentiaalienergiana eli sähköpotentiaalina, jota nimitetään jännitteeksi. Suljetussa virtapiirissä on jännitehäviöiden summa yhtä suuri kuin lähdejännitteiden summa. Tämä tunnetaan Kirchhoffin 2:sena lakina. (1, s. 8.)

### 2.3 Resistanssi

Kaikki aineet eivät johda yhtä hyvin sähkövirtaa. Aineen kykyä vastustaa tasavirran kulkua sanotaan resistanssiksi. Resistanssin tunnus on  $R$  ja yksikkö ohmi. Resistanssia esiintyy kaikissa virtapiirien osissa. Johtimillakin on resistanssi, josta yleensä on pelkkää haittaa. Lämpötilan nousu joko laskee tai nostaa resistanssia eri komponenteissa. (1, s. 14.)

### 2.4 Tärkeimmät yhtälöt johtosarjasuunnittelussa

Metallijohtimessa on kahden pisteen välinen jännite ( $U$ ) pisteiden välisen resistanssin ( $R$ ) ja johtimen läpi menevän virran ( $I$ ) tulo. Ohmin laki on sähkövirtapiirien peruslaki, johon sähkötekniset laskut suurelta osin perustuvat. (1, s. 20.)

Ohmin laki voidaan kirjoittaa yhtälön muotoon (kaava 1) (1, s. 21).

$$U = RI$$

KAAVA 1

$U$  = jännite

$R$  = resistanssi

$I$  = sähkövirta

Sähkökojeiden, kuten lamppujen, moottoreiden ja generaattoreiden suorituskyky ilmoitetaan sähkötehona. Sähköteho on virran ja jännitteen tulo. Sähköteho lasketaan kaavalla 2. (1, s. 22.)

$$P = UI$$

KAAVA 2

$P$  = sähköteho

Soveltamalla kaavaa 1 saadaan seuraavat yhtälöt, joilla voidaan määrittää sähköteho. Kaavat 3 ja 4 helpottavat sähkötehon määrittämistä, jos yksi muuttujista ei ole tiedossa. (1, s. 22.)

$$P = \frac{U^2}{R}$$

KAAVA 3

$$P = R * I^2$$

KAAVA 4

Kun tiedetään virtapiirin osan esimerkiksi johtimen pituus, poikkipinta-ala sekä raaka-aineen resistiivisyys, voidaan osan kokonaisresistanssi määrittää laske-  
malla. Kokonaisresistanssi lasketaan kaavalla 5. (1, s. 15.)

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

KAAVA 5

$l$  = pituus

$A$  = poikkipinta-ala

$\rho$  = ominaisvastus

## 2.5 Laskuesimerkkejä

Johtosarjaa suunniteltaessa tulee tietää eri komponenttien virrankulutus, esimerkiksi kuinka komponentit toimivat ja miten niitä ohjataan. Lasketaan esimerkkilasku ruiskutussuuttimien ohjauksesta. Useasti suuttimille tuodaan yksi virran-syöttöjohdin, josta johtimet jaetaan eri suuttimille sopivassa kohdassa johtosar-

jaa. Imusarjasuihkutteisissa moottoreissa käytetään sähkömagneettisia suuttimia. Solenoidin käämiä ohjataan katkomalla maadoitusta moottorinohjauksen välityksellä.

Ruiskutussuuttimien mitoitus moottorille sopivaksi tulee ottaa huomioon. Suuttimien suurin turvallinen käyttöaste on 85–90 %. Käyttöaste tarkoittaa sitä, kuinka kauan suutin on auki ja kiinni, käyttöasteen ollessa 85 % suutin on auki 85 % ajasta ja kiinni 15 %. Suuttimen solenoidin resistanssi voidaan mitata yleismittarilla. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös kaikki väliliitokset ja niiden aiheuttama resistanssi esimerkiksi käytettäessä liitintä tulipellin läpiviennissä.

Ruiskutussuuttimien vaatima virta määritetään laskemalla, kun tiedetään ruiskutussuuttimien sisäinen resistanssi. Esimerkitapauksessa suuttimia on yhteensä neljä ja jokaisen suuttimen resistanssi on sama 8,5 ohmia. Lähdejännite on 13,6 V. Ruiskutussuuttimien maksimi käyttöasteen oletetaan olevan 82 %. Kaavalla 6 saadaan laskettua suuttimien keskimääräinen virrankulutus.

$$I = \left(\frac{U}{R}\right) * dc * x = \left(\frac{13,6V}{8,5\Omega}\right) * 0,82 * 4 = 5,44 A \quad \text{KAAVA 6}$$

$dc$  = käyttöaste

$x$  = ruiskutussuuttimien määrä

Kun tiedetään virransyöttöjohtimen pituus virranjakopisteeseen ja johtosarjan sisältämien liitosten aiheuttama resistanssi voidaan laskea jännitehäviö. Virransyöttöjohtimessa käytetään yhtä DTM-liitintä krympättävillä koon 20 pinneillä, jolloin kontaktin jännitehäviö on 100 mV. Autosport-liittimen koon 20 kontaktin jännitehäviö on 10 mV. Suutinliittimen jännitehäviö on 100 mV. Virransyöttöjohtimen pituus on 1 880 mm, johtimena käytetään M22759/32-22-johdinta. Johtimen resistanssi on 0,052  $\Omega$  /m. (2.)

Johtimen jännitehäviö lasketaan käyttämällä kaavaa 7. Samalla kaavalla saataisiin määritettyä myös kontaktien jännitehäviöt, jos niitä ei ole määritetty valmistajan dokumenteissa.

$$U_1 = R_1 * I = \left(\frac{0,052\Omega}{m} * 1,88m\right) * 5,44A = 0,53V \quad \text{KAAVA 7}$$

$U_1$  = jännite

$R_1$  = resistanssi

$I$  = suuttimien vaatima sähkövirta

Soveltamalla Kirchhoffin 2:sta lakia saadaan laskettua virtalähteen sisäinen vastus (kaava 8) (1, s. 25).

$$R_i = \frac{E - (U_1 + U_2 + U_3 + U_4)}{I} = 2,363 \Omega \quad \text{KAAVA 8}$$

$E$  = Lähdejännite

$I$  = ruiskutussuuttimien vaatima virta

$U_1$  = johtimen jännitehäviö

$U_2$  = DTM-liittimen jännitehäviö

$U_3$  = Autosport-liittimen jännitehäviö

$U_4$  = suutinliittimen jännitehäviö

Käyttäen Kirchhoffin 2:sta lakia todetaan jännitehäviöiden summan olevan yhtä suuri kuin lähdejännitteiden summa (kaava 9) (1, s. 25).

$$E = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_i = 0,53 V + 0,1 V + 0,01 V + 0,1 V + 12,85 V = 13,6 V \quad \text{KAAVA 9}$$

$U_i$  = virtalähteen jännitehäviö

Jännitehäviöistä voidaan laskea prosentuaalinen jännitehäviö. Jännitehäviölle on tiettyjä suosituksia, yleisesti käytössä on maksimissaan 5 %:n jännitehäviö 14 voltin järjestelmissä. Esimerkkilaskun jännitehäviö on laskettu kaavalla 10.

$$U_p = \frac{(U_1 + U_2 + U_3 + U_4)}{E} = \frac{0,741}{13,6} = 5,45 \% \quad \text{KAAVA 10}$$

Prosentuaalinen jännitehäviö ylittää 5 %:n jännitehäviörajan. Ylitys on pieni eikä ruiskutussuuttimien käyttöaste ole 82 % koko aikaa. On tärkeää ottaa huomioon myös johtimen lämpeneminen kuormituksen alaisena. Taulukossa 1 on esitettyinä lämpötilan nousu eri johdinkoolle ja johtimen maksimipituus. Arvot ovat johtimille vapaassa ilmassa, johtimen ollessa johtonipussa ja kutistesuojaputken sisällä lämmön nousu on todennäköisesti suurempi, koska lämmön haihtuminen on heikompa. Toiset johtimet voivat mahdollisesti nostaa johtimen lämpötilaa ja ulkois-

ten lämmönlähteiden tuottama lämpötila tulee ottaa huomioon. Esimerkiksi imu-sarjan lämpötila voi yltää +120 °C:n lämpötilaan. Yhteenlasketun lämpötilan ylit-täessä johtimelle määritetyn maksimilämpötilan alkaa johtimen eriste sulaa, mikä voi johtaa oikosulkuun.

TAULUKKO 1. Virran vaikutus johtimen lämpötilaan (3)

M22759/16/32 johdin: Max 5% VDC jännitehäviö/lämpötilan nousu						
Johdinkoko	Johdinkoko	Resistanssi	35°C Nousu		10°C Nousu	
AWG	mm <sup>2</sup>	Ω/m	Ampeerit	Max pituus [m]	Ampeerit	Max pituus [m]
2	33,6	0,00051	100	13,4	54	25,3
4	21,2	0,00082	72	11,9	40	21,3
6	13,3	0,00130	54	10,1	30	18,0
8	8,4	0,00206	40	8,5	20	16,8
10	5,3	0,00328	30	7,0	15	14,3
12	3,3	0,00522	20	6,7	12,5	10,7
14	2,1	0,00830	15	5,5	10	8,5
16	1,3	0,01316	12,5	4,3	7	7,6
18	0,8	0,02096	10	3,4	5	6,7
20	0,5	0,03346	7	3,0	4	5,2
22	0,3	0,05282	5	2,1	3	4,6

### 3 HÄIRIÖNSUOJAUS JA HÄIRIÖNPOISTO JOHTOSARJASSA

Johtosarjan tehtävä on viestien ja ohjausten välittäminen eri toimilaitteiden ja komponenttien välillä. Johtosarjassa voi aiheutua häiriötä sisäisesti tai ulkoisten häiriötekijöiden aiheuttamana. EMI eli elektromagneettinen häiriö on prosessi, jossa häiriötä aiheuttava elektromagneettinen energia välittyy laitteelta toiselle. EMI voi välittyä säteilemällä tai johtamalla. Tässä osiossa keskitytään elektromagneettisen energian ehkäisemiseen ja poistamiseen johtosarjassa. Johtosarja voi toimia välittäjänä häiriösignaaleille. Johtimen eriste suojaa kaapelia mekaanisesti mutta sähkömagneettinen energia läpäisee eristeen. Johtimet voivat välittää tai johtaa häiriötä toisille laitteille tai toimia antennina ja säteillä häiriötä. (4.)

Elektromagneettinen häiriö voi vääristää kriittisiä mittaus- ja ohjaussignaaleja, joka voi johtaa toimimattomuuteen laitteissa. Esimerkiksi moottorinohjauksessa tärkein tieto, eli moottorin kierroslukutieto, on altis häiriöille signaalissa. Jotta häiriötä voi esiintyä, tarvitaan kolme elementtiä: signaalin häiriötä tuottava häiriölähde, vastaanottava laite, johon häiriö vaikuttaa, ja yhdistävä kanava välittäjän ja vastaanottajan välillä. Elektromagneettisessa yhteensopivuudessa minimoidaan, uudelleenohjataan tai eliminoidaan yksi näistä elementeistä. Johtosarjasuunnittelussa yleensä pyritään vähentämään EMI häiriötä niin pienelle tasolle, että siitä ei ole enää haittaa. (5.)

#### 3.1 Kierretty parikaapeli

Kierretty parikaapeli on yksi tehokkaimmista ja halvimmista metodeista elektromagneettisen indusoidun häiriön vähentämiseen. Johtojen kiertäminen pakottaa johtimet lähelle toisiaan, vähentämällä silmukka-alaa ja näin indusoitunutta jännitettä. Kierretyn parikaapelin tehokkuus on suoraan verrannollinen kierrosten määrään. CAN-väylän johtimet tulee kiertää keskenään. Samassa johtosarjanipussa kulkevien eri väylien johtojen tulisi sisältää eri määrä kiertoja metriä kohti, jolloin vältytään ristikeskustelulta. Parikaapeli rakenne ei kuitenkaan eristä muiden johtimien tai häiriöiden vaikutusta. M22759/32-johdin on saatavilla valmiina parikaapelina, parikaapelin valmistaminen itse on helppoa porakoneen avulla. Kuvassa 1 on porakoneella kierretty parikaapeli. (5.)



*KUVA 1. Kierretty parikaapeli*

### **3.2 Suojatut kaapelit**

Suojattuja kaapeleita on erilaisia, jotka tarjoavat eri suojausmäärän elektromagneettista häiriötä vastaan. Esimerkiksi Ethernet-kaapeleissa on yleensä vähintään ohut alumiinifolio johtimien ympärillä ja folion päällä eriste. Alumiinifolio peittää johtimet kokonaan. Foliokerros on ohut, minkä takia sen kanssa on vaikea työskennellä, etenkin liittimiä asentaessa. Niin kutsuttua suojamaa-johdinta käytetään folion liittämiseen ja maadoittamiseen. Kuvassa 2 Volvon alkuperäisen induktiivisen kampiakselin asentotunnistimen eriste on poistettu johdon ympäriltä. Kuvasta voidaan havaita kaapelissa käytettävän foliosuojausta. Suojatut kaapelit tulee aina maadoittaa. Maadoitus johtaa häiriöt maahan. Maadoituksen tulee omata hyvä johtavuus, häiriöiden poistaminen on tehokkaampaa mitä matalampi resistanssi on. Suojatut kaapelit tulee maadoittaa vain toisesta päästä kaapelia, näin vältetään häiriötä aiheuttavilta maadoitussilmukoilta. (4.)





*KUVA 2. Volvon valmistaman induktiivisen anturin häiriösuojaus*

Korkealaatuisissa motorsport-johtosarjoissa käytetään suojattua kaapelia, jossa suojana käytetään kudottua tinapäälysteistä kuparia. Suojan alla kulkevat johtimet ovat punottu. Kuvassa 3 on neljällä 22AWG-johtimella ja kudotulla suojalla oleva kaapeli. Kaapelin ulkohalkaisija on 4 mm. Punos tarjoaa hyvin johtavan reitin häiriöiden ja melun maadoitukseen ja sen liittäminen on helppoa esimerkiksi juotossukalla.



*KUVA 3. M27500-22SB4T23-johtimen rakenne*

Punos peittää noin 70-95 % johtimista, Punoksen tiheyden mukaan. Punoksella on suurempi tilavuus ja parempi johtavuus kuin alumiinifoliolla. Punos on tehokkaampi suoja, lisää kuitenkin kaapelin kokoa ja on kalliimpi. Pelkkä alumiinifolio ei sovellu kilpa-ajoneuvon käyttöympäristöön, koska jatkuva johtimen joustaminen voi aiheuttaa murtumia foliossa. Moottorin johtosarjassa suojattujen kaapeleiden sisällä kulkee esimerkiksi moottorin kierroslukutieto kampiakselin asentotunnistimelta, moottorin asematieto nokka-akselin asentotunnistimelta ja naktusantureiden signaali. Nämä komponentit vaativat hyvän ja puhtaan signaalin ilman häiriöitä. (4.)

### **3.3 Komponenttien sijoitus ja maadoitus**

Johtosarjan reitityksellä, rakenteella ja komponenttien sijoituksella voidaan vaikuttaa johtosarjassa ja laitteissa esiintyviin häiriöihin. Johtosarja kannattaa aina viedä niin kaukaa sytytyspuolista, sytytysjohdoista ja korkeajännitelähteistä kuten sähkömoottoreista. Johtosarjaa ei kannata viedä lähelle laturia, korkeavirtaisia kaapeleita, eikä se saisi olla lähellä antennejä. Esimerkiksi telemetria antennien sijoitus tulee miettiä tarkkaan. Johtosarjan pituudella on myös vaikutus esiinty-

neeseen häiriön määrään. Sähkömagneettisten päästöjen taso sekä niille altistuminen ovat suoraan riippuvaisia virtasilmukan pinta-alasta. Parikaapelit ja johtosarjan itsekeskeinen kääriminen pienentävät virtasilmukoiden pinta-alaa. (6.)

Maadoituksella on oma vaikutuksensa laitteissa ja johtosarjassa esiintyneisiin häiriöihin. Huono tai väärin muodostettu maadoitus voi johtaa maadoitussilmukoihin, jotka aiheuttavat häiriötä signaaliin virtapiirin sisälle ja mahdollisesti ympärille. Esimerkiksi analogisten ja digitaalisten piirien tulee jakaa sama maadoituspiste toimiakseen kunnolla. Jos analogiset ja digitaaliset piirit maadoitetaan eri pisteissä voi syntyä maadoitussilmukoita, jotka toimivat antennina luoden elektromagneettista häiriötä. Huono tai väärin sijoitettu maadoitus aiheuttaa anturoinnissa jännite-eroja, jotka aiheuttavat epätarkkoja mittaustuloksia. Antureiden tulisi aina käyttää samaa maadoituspistettä kuin sen toimilaitteenkin. Kilpa-ajoneuvoissa suositetaan tähtimaadoitusta, eli maadoitukseen käytetään yhtä pistettä. Usein kilpa-ajoneuvossa on kaksi tähtimaadoitusta, yksi ajoneuvon etuosassa ja toinen takaosassa. Tähtimaadoituksen käyttäminen on vaikeampaa ja kallista, minkä vuoksi sitä ei käytetä useasti normaaleissa ajoneuvoissa. (5.)

## 4 MATERIAALIT JOHTOSARJASSA

Johtosarjan valmistuksessa tärkeimmät huomioon otettavat seikat ovat (7, s. 1180)

- johtimien poikkipinta-alan määrittäminen
- materiaalivalinnat
- sopivien liittimien valinta
- johtojen reititys ottaen huomioon vallitseva lämpötila, kosteus, moottorin aiheuttamat värinät, kiihtyvyyt ja sähkömagneettinen häiriö
- valmistusprosessissa käytetyt menetelmät ja lämpötilat.

Kilpa-auton johtosarjan suojauksessa käytettävillä materiaaleilla tulisi olla hyvät ominaisuudet suojaukseen lämpöä, kulutusta, kemikaaleja ja tunkeutumista vastaan. Johtimien materiaaleilla on oltava vastaavat ominaisuudet.

### 4.1 Johtimet

Johtimien materiaalin valinnassa vallitsee suurilta osin lämpötilan kesto, johtimen ulkohalkaisija, virrankesto sekä johtimen säikeiden määrä. Johtimen säikeillä ja niiden punomisella johtimeen saadaan lisäominaisuutena erinomainen joustavuus.

Spec55 -johdin on eristetty verkkosidostetulla ETFE:llä. Eristeellä saavutetaan suhteellisen korkea lämmönkesto, joustavuus, erinomainen raapaisukestävyys ja läpilyöntiominaisuudet. ETFE on huomattavasti kestävämpi kuin FEP tai PFA-polymeerimuovit. (8.)

Johtimen säikeet ovat päällystetty tinalla tai hopealla. Hopeapäällystyksellä saavutetaan suurempi lämmön kesto sekä parempi johtavuus. Tinan sähkönjohtavuus on 15 % suurempi kuin kuparin ja hopean johtavuus on 106 % suurempi kuin kuparilla. Tinapäällysteinen johto kestää 150 °C:n jatkuvan lämpötilan, hopealla ylletään 200 °C:n jatkuvaan lämmönkesto. Hopeapäällysteinen johto on kalliimpaa suhteessa tinapäällysteiseen, ominaisuuksiensa puolesta sitä käytetään erityisesti moottorin johtosarjoissa. Yleisimmät kilpa-ajoneuvoissa käytetyt johdintyyppit ovat Raychem Spec 55 sekä Spec 44. Molemmista johdintyypeistä

on eri variaatioita, jotka ovat suunniteltu eri ympäristöihin. Eniten käytetty johdintyyppi on Raychem 55A0111, joka tunnetaan myös armeijan standardilla M22759/32. Johtimen säikeet ovat punottu, säikeiden punominen lisää johtimen joustavuutta. Monet muutkin valmistajat valmistavat myös kyseisiin standardeihin valmistettua johdinta. Saatavuuden vuoksi monet käyttävät Raychem tuotteita (9.)

Johtimen käsittelyominaisuudet valmistusvaiheessa helpottavat valmistusta. Johdin säilyttää hyvin muotonsa esimerkiksi vedonpoistosilmukan valmistuksessa. Haittapuolena johtimen erinomaisella eristeellä on sen vaatimat erikoiskoorintapihdit, jotka on varustettu tarkkuusterillä eri johtokoolle.

## **4.2 Kutistesuojaputket ja tiivistäminen**

Kutistesuojaputken tehtävä on suojata johtosarjaa lämmöltä, kemikaaleilta, kosteudelta, pölyltä, partikkeleilta ja hankautumiselta. Kutistesuojaputken tulisi olla joustavaa, tällaisella kutistesuojalla suojataan kaikki johtosarjan pidemmät vedot toimilaitteiden välillä. Haaroituskohdissa ja liittimien suojauksessa käytetään yleisesti liimalla varustettua kutistesuojaputkea tai kutistemuotoputkea sekä epoksi-pohjaista liimaa. Liima tarjoaa johtimille sekä kontakteille vedonpoistoa jossain määrin. Käytettäessä liimallista kutistesuojaputkea tai kutistemuotoa epoksiliiman kanssa haaroituskohdissa sekä liittimien juuressa saavutetaan vesi- ja pölytiivis johtosarja. Suojaputken tulisi toimia kylmässä ja lämpimässä ympäristössä. Johtosarjoissa käytetään myös läpinäkyviä kutistesuojaputkia, joilla suojataan yleensä johtosarjamerkinnet. Kirkkaan suojaputken tulee kestää kemikaaleja, hankausta ja lämpöä, jotta johtosarjamerkinnet pysyvät selkeinä ja luettavina.

### **4.2.1 Raychem DR-25**

Raychem DR-25 on suosituin motorsport-johtosarjojen suojaputki, jota kuluu eniten johtosarjan valmistuksessa. DR-25 tai sitä vastaavalla elastomeerisellä suojaputkella suojataan kaikki liittimien ja haaroituskohtien väliset alueet. Suojaputken ominaisuuksiin lukeutuvat palosuoja, 2:1 kutistuminen, erinäisten kemikaa-

lien kesto, toimintalämpötila  $-75...+150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja raapaisun kesto. Kutistuksen jälkeen suojaputki säilyttää joustavuuden. Se on hyväksytty suojausmateriaaliksi armeijan ja ilmailualan käyttökohteisiin, sekä soveltuu hyvin motorsport-johtosarjojen vaatimuksiin. (10.)

#### 4.2.2 Raychem SCL

Raychem SCL on puolijäykkä kapselointiaineella vuorattu kutistesuojaputki. Rakenne on kaksiosainen. Käyttölämpötila on  $-55...+110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ulkokuori on verkko-sidostettua polyolefiiniä. Sisäkuori on sulavaa polyolefiiniä, joka virtaa kutisteen sisällä täyttäen epätasaisuudet. 3:1 kutistussuhde mahdollistaa helposti liittimien takapään tiivistämisen. Kuvassa 4 on esimerkki liittimien takaosan tiivistämisestä. Kutisteen ollessa vielä lämmin voidaan nipistämällä toinen pää sulkea kokonaan tai muodostaa useampi lähtö erillisille johtimille. SCL:n käyttämistä suositellaan myös splice liitosten suojaukseen. Vaihtoehtoinen kapseloitu kutistesuojaputki SCL:lle on Raychem ATUM, joka on saatavilla myös kutistussuhteella 4:1. (11.)



*KUVA 4. Liittimien takaosan tiivistäminen Raychem SCL -kutisteella*

### 4.2.3 Raychem RT-375

Raychem RT-375 on kirkas läpinäkyvä kutistesuojaputki, jota käytetään johtosarjamerkintöjen suojauksessa. Valmistettu fluoropolymeeristä. Suojaa merkintöjä vaikeissa olosuhteissa säilyttäen selkeän läpinäkyvyyden. 2:1 kutistussuhde. Kestää kemikaaleja ja omaa korkean kestävyuden liekkejä vastaan. Käyttölämpötila on  $-55...+150$  °C. RT-375 on noin 40 prosenttia ohutseinäisempi kuin useimmat polyolefiini valmisteiset suojaputket. Kuvan 4 johtosarjamerkinnät on suojattu RT-375-kutisteella. (12.)

### 4.2.4 Raychem System 25 -kutistemuodot

Kutistemuodot on valmistettu tiettyihin mittoihin ja ne soveltuvat eri kokoisten liittimien ja haaroituskohtien tiivistämiseen. Raychem system 25 -kutistemuotoja on saatavilla monessa eri muodossa ja koossa. Soveltuu erinomaisesti liittimien taakosan suojaukseen ja haaroituskohtien tiivistykseen. Käytetään yhdessä ResinTech RT125 -epoksiliiman kanssa. Jokaiselle muodolle on entuudestaan määritetyt mitat, joihin kutistemuodot kutistuvat. Kutistemuotoja on saatavilla myös liimalla varustettuna.

Useimmille liittimille löytyy valmistajan dokumenteista sopivat kutistemuodot. Kuvassa 5 on Autosport- ja D38999-liittimet suojattuna 90 asteen kutistemuodolla. System 25-kutistemuoto on puolijäykkä elastomeerinen muovausyhdiste, joka on suunniteltu tarjoamaan erinomaisen suorituskyvyn vaikeissa olosuhteissa. Ideaalinen ajoneuvoihin, joissa pitkäaikainen altistuminen korkeille lämpötiloille sekä kuumille nesteille on mahdollista. Käyttölämpötila on  $-75...+150$  °C. Hellermann Tyton valmistaa myös kutistemuotoja samoilla mitoilla. (13.)

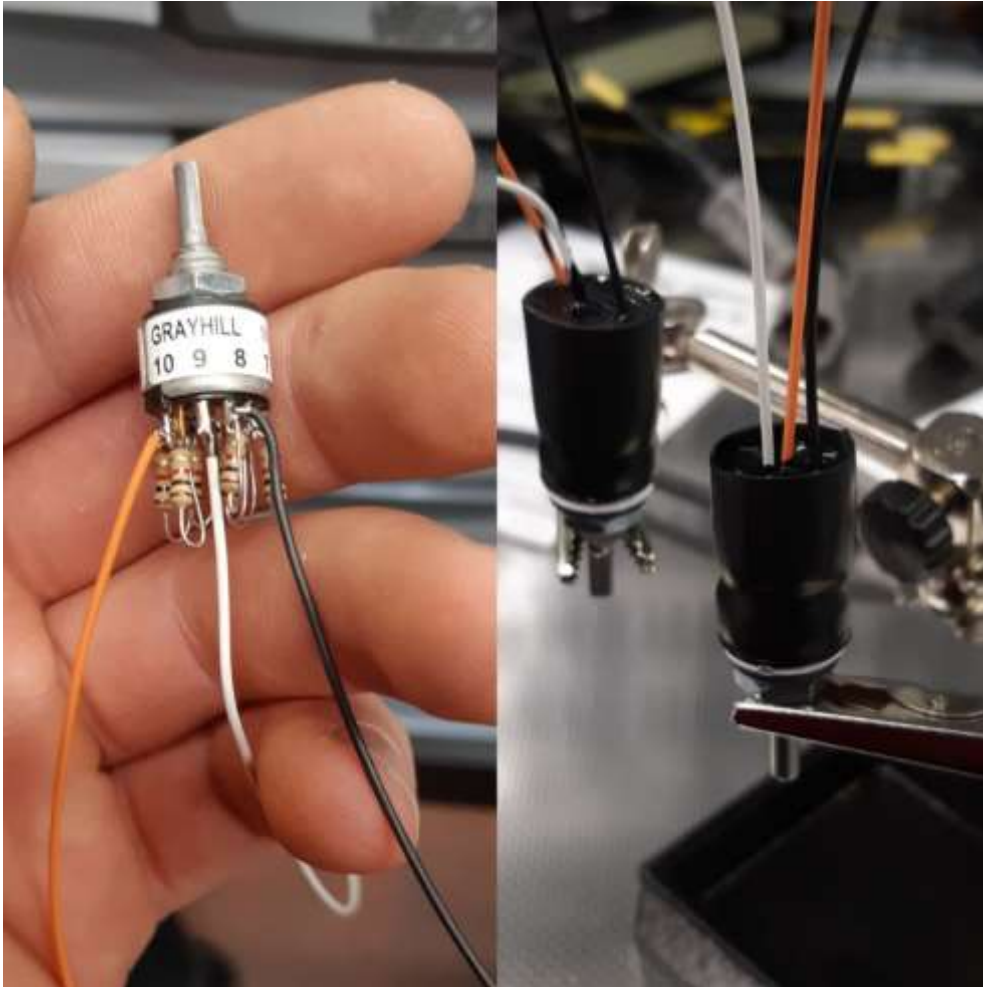


*KUVA 5. Liittimet suojattuna kutistemuodoilla*

#### **4.2.5 Kaksoiskomponenttiliimat ja suojaus**

Kaksoiskomponenttiliimoja käytetään liittimien ja kutistemuotojen tiivistämiseen. Liimoja käytetään myös komponenttien valamiseen, jolloin liitokset suojataan kosketukselta, kosteudelta, iskuilta ja tärinältä. Esimerkkinä katkaisija, jonka liitokset ovat juotettavia. Kuvassa 6 on kiertokytkin, joka täytyy suojata ympäristöltä. Raychem SCL -kutisteputkea on käytetty muodostamaan kuppi valamista varten.





*KUVA 6. Kiertokytkimen ja sen komponenttien suojaus RT125-epoksilla*

Kaksoiskomponenttiliimoista yleisimmät ovat ResinTech RT125 ja HellermannTyton V9500. RT125:n käyttölämpötila on  $-75\dots+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tarjoaa erinomaisen joustavuuden ja kestävyuden kemikaaleja ja nesteitä vastaan. Toimii metalleille, lasille, puulle, kumille ja muoveille. RT125-epoksiliiman koostumus asennusvaiheessa muistuttaa hunajaa, joten sen käsittely on vaikeaa. Helpon liiman asennus onnistuu lääkeruiskulla. Liiman kuivumisaika käsittelykuivaksi  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa on 24 tuntia. Tiivistettäessä kutistemuotoja tai johtosarjan haarituskohtia on johtosarja viisainta kiinnittää roikkumaan, jolloin liimaaminen on helpompaa. (Liite 1.)

### 4.3 Liittimet ja kontaktit

Kilpa-ajoneuvojen johtosarjojen liittimien tulee luotettavia ja selviytyä vaihtelevissa olosuhteissa. Liittimien tulee olla helposti irrotettavissa ja liitettävissä takaisin johtosarjaan sekä omata kompakti koko. Liittimille on määriteltävä asennussykli määrä, joka on otettava huomioon liittimen valinnassa. Liittimissä on tärkeää huomioida kontaktien virrankesto. Liittimien tulee tarjota hyvä suoja myös ulkoisia olosuhteita vastaan, jottei johtosarjaan pääse kosteutta tai epäpuhtauksia.

Deutsch DT -sarjan liittimet ovat suosituimpia liittimiä johtosarjoissa. DT-sarjan liittimet ovat osoittaneet toimivuutensa vaikeissa ympäristöissä edulliseen hintaan. Deutsch DTM -sarjan liittimelle luvataan IP68-luokitus, sekä IP6K9K-luokitus kun käytetään kutistesuojaputkea tai kotelointia liittimen perässä. E007-modifikaatio DTM-liittimissä on tarkoitettu kutisteputkelle, jolloin saavutetaan IP6K9K-luokitus. IP68-luokituksen mukaan tuote on pölytiivis sekä upottamisen veteen jatkuvaksi ajaksi. IP6K9K-luokituksen erona on korkeapainesuihkun kesto. (14.)

Deutsch Autosport -sarjan liittimet ovat mukautettu ilmailualalla suosituista D38999-liittimistä. Ne ovat kooltaan kompakteja, luotettavia, keveitä, kestäviä ja helposti irrotettavissa ja liitettävissä. Osa liitinmalleista on suunniteltu erityisesti rallikäyttöön, liittimet ovat irrotettavissa esimerkiksi hanskat kädessä. Liittimiä on saatavilla eri lukituskombinaatiolla, jolloin liitintä ei voi liittää väärään komponenttiin. Autosport-liittimiä käytetään ammattimaisissa johtosarjoissa. Liittimet vaativat erikoistyökalut kontaktien kryptäämiseen. Autosport -liittimet ovat varmoja ja kestäviä liittimiä. Haittapuolena on niiden hinta.

#### 4.3.1 Deutsch DT

Deutsch DT -sarjaan kuuluvat DT-, DTM- ja DTP-liittimet ovat suosittuja ajoneuvojen johtosarjoissa. Liittimiä on saatavilla eri variaatioina, kuten linja-, laippa- ja piirilevyasenteisena. Liittimissä on 2-12 kontaktia. Käyttölämpötila on  $-55...+125$  °C. Liittimille luvattujen liitoskertojen määrä on 100. Liitinrungot on valmistettu lasitäytteisestä polymeeristä, jolla on erinomainen kesto kemikaaleja ja pirstalo-

tumista vastaan. DT-sarjan liittimien tiivisteet on valmistettu silikonikumista. Liittimien pinneillä on kaksoislukitus. Liitinrungoissa oleva väkänen lukitsee kontaktin paikalleen sen ollessa tarpeeksi syvällä. Lopuksi liittimeen asennetaan kiilalukko, joka estää kontaktien liikkumisen ja lukitsee kontaktit oikeille paikoille. (15.)

DT-sarjan liittimille on useita eri materiaaleilla olevia kontakteja. Suosituimmat ovat nikkeli, tina sekä kultapäälysteiset kontaktit. Taulukosta 2 selviää eri mallien tärkeimmät tiedot. Kontakteja on saatavilla kahtena eri mallina, avoin ja kiinteä. Kontaktien välinen suurin ero on niissä tapahtuva jännitehäviö. Kiinteässä kontaktissa jännitehäviö on 60 mV ja avoimissa 100 mV. (15.)

*TAULUKKO 1. DT -sarjan liittimien eroavaisuudet (15.)*

	<b>Virrankesto</b>	<b>Johdinkoko [AWG]</b>	<b>Johdinkoko mm<sup>2</sup></b>	<b>Kontaktimäärä</b>
<b>DTM</b>	7,5	(14 - 22)	0,35 - 2,50	2, 3, 4, 6, 8, 12
<b>DT</b>	13	(14 - 20)	0,5 - 2,50	2, 3, 4, 6, 8, 12
<b>DTP</b>	25	(10 - 12)	2,00 - 6,00	2, 4

#### **4.3.2 Deutsch Autosport**

Deutsch Autosport liitin sarjaan lukeutuu suuri määrä erilaisiin käyttötarkoituksiin soveltuvia liittimiä. AS-sarjan liittimet ovat kehitetty yksinomaan autourheilumarkkinoille. Liittimet ovat muokattu armeijan MIL-DTL-38999-sarjan liittimistä sopivaksi, säästäten painoa ja tilaa. Liittimet on suunniteltu kestämaan ääriolosuhteissa tärinää, kemikaaleja, kulutusta ja lämpöä. AS-sarjan liittimistä löytyy vaihtoehdot kaikkiin ympäristöihin ajoneuvossa, esimerkiksi polttoainetankkeihin soveltuvat liittimet. Liittimiä on saatavilla eri variaatioina, kuten linja-, laippa- ja piirilevyasenteisena. (16.)

Runko ja kytkentärengas on valmistettu korkealujuusalumiinista ja pinnoitettu mustalla johtavalla sinkki päälysteellä. Kontaktit ovat kullalla pinnoitettu. Kontaktin jännitehäviö on maksimissaan 3~5 mV. Eriste on valmistettu kestopuovista ja johtimien tiivisteet fluorinoidusta silikonista. (16.)

## 5 JOHTOSARJAN RAKENNE

Kilpa-auton johtosarjan rakenne ja siinä käytetyt tekniikat ja menetelmät ovat sovellettu eri tekniikan aloilta. Yksi puhutuimmista tekniikoista on itsekeskeinen kääriminen (Concentric twist, Contra wind, Hand lay). Liittimissä käytetään vedonpoistoja (Service loop). Vedonpoistot edesauttavat tarvittavia korjauksia ja muutoksia. Vedonpoisto vähentää liittimen kontakteihin kohdistuvaa räsitystä. Johtosarjaniput suojataan kutistesuojaputkella. Johtosarjasta tehdään vedenpitävä suojaamalla haaroituskohdat sekä liittimet kutistesuojalla joka sisältää liimaa tai kutistemuodoilla ja epoksiliimalla. Kilpa-auton johtosarjan rakenteen suurimmat tavoitteet ovat joustavuus, kestävyys, kevyt konstruktio, pieni halkaisija, toimivuus, komponenttien huollettavuus.

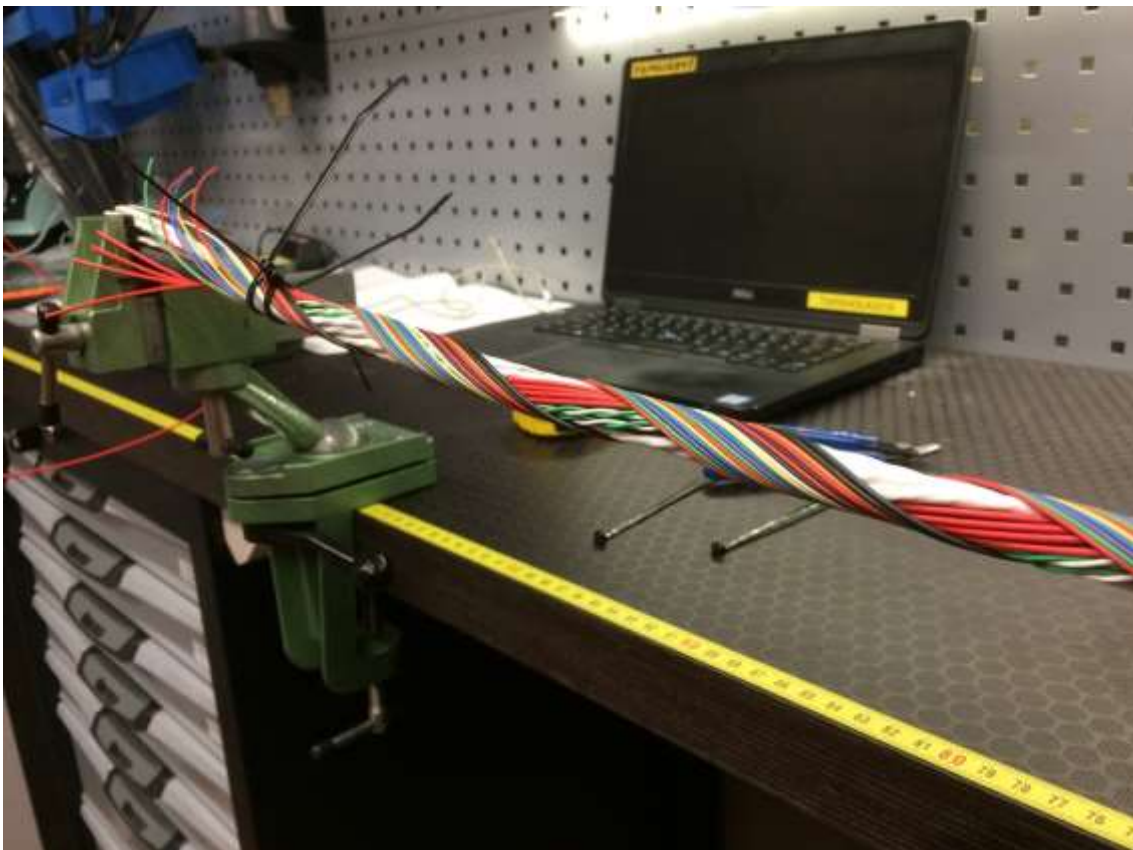
### 5.1 Concentric twist

Itsekeskeisesti käärityn johtosarjarakenteen valmistaminen on käsityötä, joka vaatii opetteluja, kokemusta ja suunnittelua. Konstruktiolla tavoitellaan pienempää johtosarjan kokonaishalkaisijaa ja joustavuutta. Konstruktio tarjoaa myös vähennettyä sähkömagneettista häiriötä (EMI). Rakenteen haittapuoli on johtojen 7 – 20 % lisämitta, joka lisää painoa. Ulommat kerrokset ovat pidempiä, jonka vuoksi johtosarjan ytimeen sijoitetaan halkaisijaltaan suurimmat ja painavimmat johtimet. Rakenteen ansiosta kaikki johtimet kokevat yhtä paljon räsitystä, vaikka johtosarjaa taivutettaisiin.

Rakenteen keskustan muodostaa ydin (Core), jonka ympärille rakennetaan kerroksia (Layer). Jokainen kerros kulkee eri suuntaan suhteessa ytimeen suhteessa kellonaikaan. Ytimen voi muodostaa yksi tai useampi johto, normaalisti ytimessä kulkee suojatut kaapelit, joiden nimellishalkaisija on suurempi kuin normaali johdoilla. Kerrokset voivat sisältää eri kokoisia johtoja. Johtojen jakoväli tulee pysyä tasaisena koko kerroksen pituuden ajan. Jakoväli on yleensä 8 – 16 kertaa kerroksen halkaisijan verran, harjoituksen ja ajan myötä se tulee automaattisesti. Jakoväli vaikuttaa johtosarjan joustamiseen. (17.)

Rakenteen muodostamisessa on tärkeää ottaa huomioon missä järjestyksessä johtoja lähdetään punomaan. Tavallisesti ytimessä ja ensimmäisessä kerroksessa kulkevat johdot kulkevat kauimmas johtosarjassa. Tämä helpottaa siirtymäkohtien muodostamista.

Johtojen määrät kerroksissa vaihtelevat ja ne kasvavat aina kerrosten myötä. Yhden 22 AWG -johtimen ympärille menee kuusi 22 AWG -johdinta ja sitä seuraavaan kerrokseen 12. Johtimia lisätään aina kuusi jokaiseen kerrokseen (17.). Tämä tekniikka on kuitenkin harvemmin käytettävissä koska johtosarja sisältää usein eri kokoisia johtoja, jolloin kerrosten johtimien määrä ei ole säännöllinen. Kuvan 7 rakenteessa ytimenä toimii yksi Ethernet-johdin, jonka halkaisija on suurempi kuin millään muulla johtimella. Ensimmäisessä kerroksessa on punotut CAN-väylän johdot ja suojatut anturointi johtimet sekä halkaisijaltaan suurimmat virransyöttö johtimet.



*KUVA 7. Moottorinohjaimen johtosarjan ytimen rakenne*

Joissakin tapauksissa käytetään täytejohtoja (Filler wire), joilla saavutetaan tasaiset kerrokset. Täytejohtojen käyttäminen kuitenkin lisää johtosarjan painoa eikä sillä ole suurta vaikutusta rakenteeseen.

Valmistuksen ehdoton vaatimus on kaksi ruuvipenkkiä, joiden väliin ydin voidaan varmistaa. Valmistuksessa on myös kätevää olla nippusiteitä ja teippiä, joilla eri kerrokset voidaan pitää paikoillaan väliaikaisesti. Kerrokset tulee tarkastaa visuaalisesti. Kerroksessa ei saa olla johtimia, jotka ylittävät toisensa. Jakovälin tulee olla tasainen, jakoväli ei saa olla liian tiheä tai väljä. (17.)

Kerrokset voidaan tarvittaessa tukea sitomalla ne esimerkiksi kevlarista valmistetulla nauhalla. Kuvassa 8 on uloin kerros sidottu kevlar-nauhalla. Kevlar-nauha on suosituin, koska se ei näy kutistesuojaputken alta. Sitominen tulee aina suorittaa vastakkaiseen suuntaan suhteessa edelliseen kerrokseen. Nauhan voi kiinnittää päistään joko solmimalla tai teipillä. (17.)



*KUVA 8. Valmiiksi punottu johtosarja sidottuna kevlar-nauhalla*

## **5.2 Kutistesuojaus ja asennus**

Johtosarjan kutistesuojauksessa ensimmäisenä suoritetaan DR25-suojaus. DR25-kutistesuoja vedetään johtimien päälle ennen liittimiä ja muita kutisteita. Kutistus on helpoin ja nopein suorittaa esimerkiksi uunissa. Erillisten sukkien kutistaminen kuumailmapuhaltimella on hyvin hidasta, varsinkin jos johtosarjassa

on useampi haaroituskohta ja erillisiä johdinnippuja on useita. Kutistaminen uudessa soveltuu, silloin kun johtosarjan kaikki materiaalit ovat luokiteltu kutistesuojauksen vaatimaan lämpötilaan. Johtosarjan valmistuksessa viimeisenä suoritetaan kutistemuotojen ja liittimien tiivistys, joka mahdollistaa johtosarjan testausten ja muutosten tekemisen liittimiin, jos johtosarjassa ilmenee jokin ongelma testauksessa.

### **5.2.1 Raychem DR25 -kutistesuojauksen asentaminen**

Raychem DR25 -kutistesuojaputken kutistussuhde on 2:1. Johdon tai johtimien päälle tulisi asentaa suurin mahdollinen putki, joka kutistuu tiiviisti johdon tai johtimien päälle. DR25-kutistesuojaputki on rakenteeltaan joustava, jolloin sen asentaminen pitempien johtosarjavetojen päälle voi olla haastavaa käytettäessä pienintä 1/8 tuuman kokoa. Helpoin tapa saada johtimet pitkän sukan sisään on krympätä tai kiinnittää johtimet esimerkiksi teipillä hitsauslankaan tai vastaavaan ja vetää johtimet sukan lävitse. DR25-kutistesuojaputken minimi kutistumislämpötila on 150 °C. (10.)

Ennen DR25-kutistesuojaputken asennusta tulee kaikki liimalla varustetut teipit poistaa johtosarjasta, jonka päälle kutistesuoja asennetaan. Kutistesuoja tulee leikata suorassa pituussuuntaan nähden, terävät sakset tai esimerkiksi paperileikkuri metalliterillä soveltuu tehtävään erinomaisesti. Pituussuuntainen kutistuminen tulee ottaa huomioon, Raychem on määritellyt DR25-kutistesuojaputkelle maksimi pituussuuntaisen kutistumisen. Kutistaminen tulisi aina aloittaa toisesta päästä kutistettavaa suojaputkea, edeten mahdollisesta haaroituskohdasta johtimien päätepisteeseen. Ohjetta noudattamalla vältetään mahdollisilta ilmakupliilta kutistesuojaputkessa. (18.)

### **5.2.2 Liittimien tiivistys ja kutistemuotojen asennus**

Valmistaessa täysin vesitiivis johtosarja täytyy tiettyjä liittimiä muokata, jos niitä ei ole saatavilla huulella johon kutistesuoja on mahdollista kutistaa. Liittimen ja johtosarjan kutisteen pintaa tulee karhentaa hiomapaperilla, jolloin se parantaa liiman tartuntapintaa. Kutistemuodot ja kutistesuojaputki kannattaa muistaa pu-

jottaa johtosarjan yli ennen liittimen asennusta, ellei niiden asennus ole mahdollista enää liittimen asennuksen jälkeen. Käytettäessä liimallista sukkaa tai kutistemuotoa epoksiliiman kanssa on johtimien päälle suositeltavaa asentaa Kapton-teippi, joka estää johtimien tarttumisen liimaan sekä suojaa johtimia korkeilta lämpötiloilta kutistettaessa. (19.)

Kutistusvaiheessa käytetään kuumailmapuhallinta pienellä suuttimella, jolloin lämpö on helpompi kohdistaa oikeaan kohtaan. Kutistemuotojen ja liimallisten kutistesuojaputkien asennuslämpötila on yleensä suurempi kuin 150 °C. Lämmitäessä kutistemuotoa tulee lämpöä jakaa tasaistesti liikuttamalla suutinta tasaisesti. Kutistemuodon molempiin päihin laitetaan epoksiliimaa, liiman laittaminen onnistuu helpoiten lääkeruiskua käyttämällä. Kutistettaessa kutistemuotoa siihen on mahdollista muodostaa molempiin päihin ”kupit”, joihin epoksiliima laitetaan ennen viimeistä kutistamista. Kutistemuotojen valmistajien asennusohjeissa liima levitetään kutistemuodon ja liittimen päälle ennen kutistusvaihetta. Valmistajan metodilla kutistemuodon asentaminen on sotkuisaa.

### **5.3 Service loop**

Huoltosilmikoiden käyttö on alkanut Mil-Spec- ja Autosport-pyöröliittimistä. Tarkoitus on lisätä vedonpoisto liittimen kontakteille sekä jättää ylimääräistä johtoa korjaus tarkoitukseen. Toimenpide ei ole tullut ilmailualalta vaan armeijan ja moottoriurheilun kehityksestä. Huoltosilmukoita käytetään johdinkoolle 16 AWG – 26 AWG. Työhön vaadittava työkalu on hyvin yksinkertainen. Siihen riittää 3 mm halkaisijalla oleva tanko tai tikku. Kuvassa 9 on esimerkki käytettävästä työkalusta. (20.)





*KUVA 9. Huoltosilmukoiden valmistukseen käytettävä työkalu*

Pyöröliittimissä on suositeltavaa aloittaa liittimen keskeltä ja työskennellä ulospäin, jos liittimen kontaktijärjestys kulkee kellonajan mukaisesti. Kontaktijärjestyksen ollessa riveissä työskennellään rivi kerrallaan. Silmukat tulisi asettaa limitäin toisiinsa nähden ja silmukoiden tulisi olla käännettynä sisäänpäin, jolloin jotosarjan kokonaishalkaisija ei kasva. Huoltosilmukat voi tehdä ennen tai jälkeen kontaktien asettamista liittimeen. Huoltosilmukoiden valmistuksessa kontaktien ollessa asennettuna tulee johtimiin jättää riittävästi ylimääräistä löysää. Kuvassa 10 on 55-pinninen Deutsch Autosport -liitin huoltosilmukoituna. (20.)

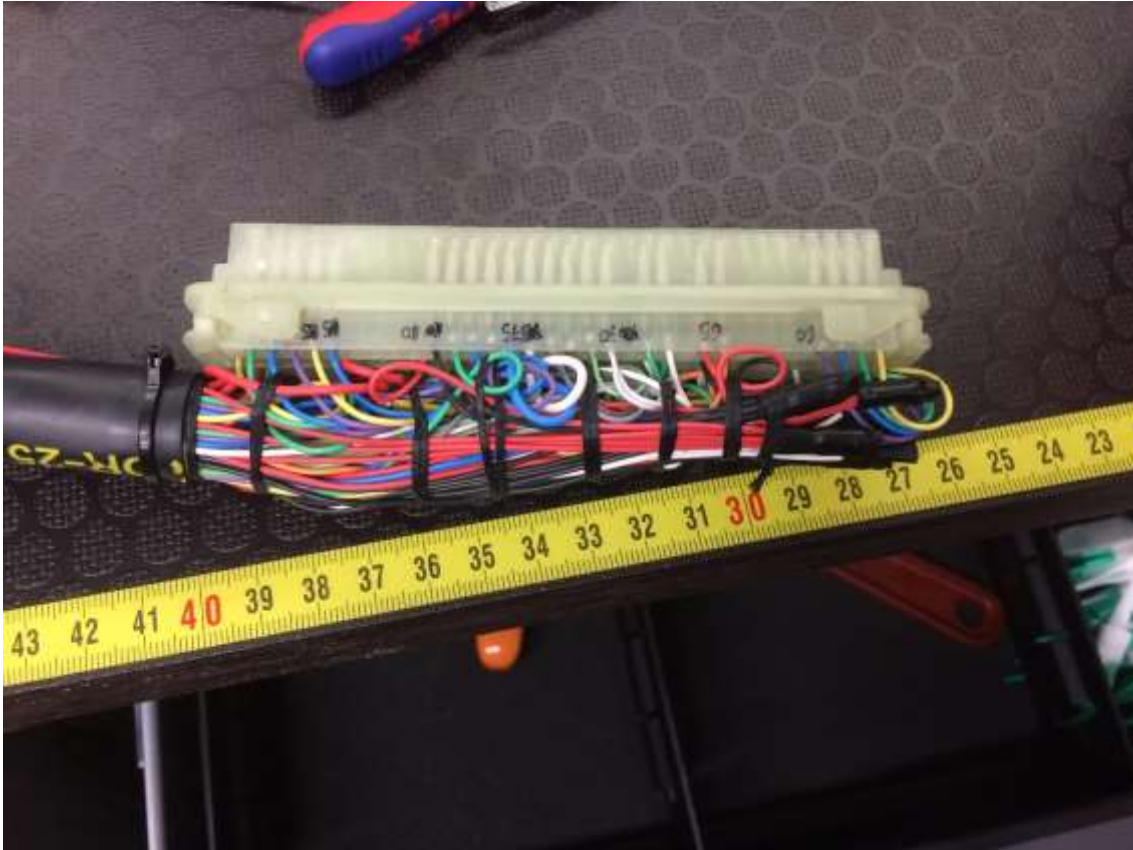


*KUVA 10. 55-pinninen Deutsch Autosport -liitin varustettuna huoltosilmukoilla*

Autosport-liittimen huoltosilmukointi on joissain määrin helpompaa verrattuna esimerkiksi D38999-sarjan liittimeen. Autosport-liittimessä kutistemuotoputken adapteri on samaa rakennetta liittimen kanssa. D38999-sarjan liittimessä adapteri on erillinen osa ja huoltosilmukointi on sen vuoksi hieman ahtaampaa. Yli 55-kontaktisen liittimen huoltosilmukointi vaatii jo enemmän suunnittelua, varsinkin jos liittimen juureen tuodaan useampi liitoskohta, joka jakaantuu useammaksi johtimeksi sekä suojattujen kaapeleiden maadoitukset huomioon ottaen.

#### **5.4 Liitokset johtosarjassa**

Johtojen liitokset (Splice), eli johto – johtoon -liitokset ovat yleisiä johtosarjassa. Niitä käytetään laajalti esimerkiksi moottorinohjaimen antureiden virran ulostuloissa. Useasti anturilähtöjä on esimerkiksi vain yksi 5 V ja yksi 12 V, jolloin johtoon tehdään liitos, jolla se jaetaan useammaksi lähdöksi. Samaa tekniikkaa käytetään esimerkiksi pyöröliittimissä, jolloin kontaktipaikkoja ei mene hukkaan. Antureiden vaatima virta on usein 50 – 100 mA. Liitokset kannattaa sijoittaa sellaisiin kohtiin, joissa niihin ei kohdistu ylimääräistä rasitusta ja niihin olisi suhteellisen helppo päästä käsiksi. Liitoksien dokumentointi on tärkeää huollettavuuden ja korjausten kannalta. Kuvassa 11 on anturilähtöjen splice-liitos sijoitettu moottorinohjaimen liittimen juureen.



*KUVA 11. Splice-liitokset sijoitettuna moottorinohjaimen liittimeen*

#### **5.4.1 Splice**

Liitoksia on kahta eri tyyppiä. Rinnakkainen (Parallel) -liitos sekä linjaliitos (In-line). Rinnakkaisliitokset ovat suositumpia kilpa-autojen johtosarjoissa, se tarjoaa enemmän vedonpoistoa liitokseen ja näin lisää varmuutta. Rinnakkaisliitos on helppo sijoittaa liittimen juureen eikä se vie paljoa tilaa. Kuvassa 12 on havaittavissa, kuinka vähän tilaa liitos tarvitsee. Liitoksissa tulee ottaa huomioon liitokselle määritetty CMA/mm<sup>2</sup> -arvo. Johtimen säikeen koon ja määrän perusteella pystytään laskemaan CMA/mm<sup>2</sup>. Valmistajan dokumenteissa on mainittu kunkin liitoksen CMA/mm<sup>2</sup> minimi ja maksimi arvo, liitoksen varmistamiseksi. Liitokset suojataan normaalisti Raychem ES tai SCL -kutisteella.



*KUVA 12. D609-05 rinnakkaisliitos, jossa seitsemän 22 AWG johdinta*

#### **5.4.2 Solder sleeve**

Suojatun kaapelin maadoitus on helpointa suorittaa juotossukalla (Solder sleeve). Juotossukan käytössä tulee kuitenkin ottaa huomioon, että johtimet ovat luokiteltu vähintään 150 °C:n jatkuvaan lämmönkestoon riippuen käytettävästä juotossukasta. Yleisimpien Raychem S02 -juotossukkien lämpötila vaatimus on 150 °C. TE Connectivity on laatinut tarkat ohjeet juotossukkien asennukseen. (21.)

Tuodessa useampi suojattu kaapeli esimerkiksi Autosport-liittimen läpi on suoja-  
maadoitukset viisainta ketjuttaa toisiinsa ja tuoda läpi vain yhden kontaktin  
kautta. Juotossukkien sijoittaminen kannattaa tehdä portaittain, jottei johtosarjan  
halkaisija kasva.

#### **5.5 Johtosarjan testaus**

Ennen johtosarjan asennusta kohteeseen on hyvä varmistaa johtosarjan toimi-  
vuus. Formula 1 ja WRC-ajoneuvojen johtosarjat testataan ”hipot” testauksella,  
joka on lyhenne sanoista high potential (korkeajännite). Menetelmässä johtimien  
välille, joissa ei tulisi olla yhteyttä välitetään korkeajännite. Virtaa seurataan testin  
aikana, jos virtaa vuotaa johtimien välillä testi ei ole hyväksytty. Virran määrä jolle

johtimet ja kontaktit altistetaan, on hyvin pieni noin 3-5mA. Testillä saadaan selville, onko esimerkiksi johtimen eristeessä litistymä. Testaus menetelmä on todella tarkka. Yksi laitevalmistajista on Cirris. (22.)

Halvin metodi testaukseen on tehdä jatkuvuustesti esimerkiksi yleismittarilla. Jatkuvuustestauksella mitataan, kuinka helposti virta kulkee pisteestä toiseen. Testillä on helppo todeta kaikkien johtimien oikea paikoitus liittimissä ja varmistaa kontaktien välinen yhteys. Testaaminen on hyvin hidasta kontaktimäärän kasvaessa korkeaksi.

Toinen helppo tapa testata johtosarjan toimivuus on testata johtosarja pöydällä ulkoisen virtalähteen kanssa. Johtosarjaan liitetään esimerkiksi moottorinohjainlaite ja muut oheislaitteet kuten anturit. Eri laitteiden kommunikaatio ja antureiden kalibrointi on helppo suorittaa ja testata tässä vaiheessa. Astetta edistyneemmän testin voi tehdä simulaattorilla, millä voidaan simuloida moottorin toimintaa. Kuvassa 13 on kaikki ajoneuvon johtosarjat yhdistettynä toimilaitteisiin ja niiden toiminta testataan ennen asennusta.



*KUVA 13. Johtosarjojen testaus ennen asennusta*

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli johtosarjojen rakenne- ja mitoitusperusteet. Lähtökoh-  
tana oli luoda materiaali, jota voidaan käyttää ohjekirjana johtosarjojen valmistuk-  
sessa kilpa-autoihin. Kilpa-ajoneuvon johtosarja altistuu äärimmäisille olosuh-  
teille. Johtosarja on yksi ajoneuvon peruskomponenteista, joka pitää ajoneuvon  
liikkeellä. Johtosarjan tehtävä on huolehtia tiedonsiirrosta eri komponenttien vä-  
lillä. Materiaali- ja rakennevalinnoilla voidaan vaikuttaa johtosarjan toimintavar-  
muuteen. Huolellisella suunnittelulla ja peruslaskutoimituksilla voidaan valita oi-  
kean kokoiset johtimet eri komponenteille ongelmilta välttymiseksi.

Johtosarjojen valmistus vie paljon aikaa. Työssä esitetty materiaali tuo toivotta-  
vasti esille oikeaoppisesti valmistettavaan johtosarjaan käytettävän ajan ja antaa  
ymmärryksen myös maallikoille, johtosarjan sisällöstä. Johtosarjan valmistus al-  
kaa suunnitteluvaiheesta, jolloin dokumentoidaan vaadittavat johtosarjan valmis-  
tusvaatimukset. Suunnitteluvaiheessa mitoitetaan johtimet ja dokumentoidaan  
kaikki johtosarjan liitokset. Tarkka suunnittelutyö takaa myös tarkan kustannus-  
arvion käytetyistä materiaaleista. Suunnittelutyön jälkeen alkaa rakentaminen,  
joka on huomattavasti helpompaa, kun suunnittelu on suoritettu huolella. Raken-  
tamiseen käytetty aika on yksittäisvalmistuksessa yleensä vähäisempi kuin suun-  
nitteluun käytetty aika.

Työ toteutettiin valmistaen johtosarjoja ja testaamalla materiaalista saaman tie-  
don perusteella eri rakenteita ja tekniikoita käytännössä. Ohjekirjan ominaisuudet  
työ täyttää hyvin, ja se antaa selkeän ymmärryksen johtosarjan valmistajalle, mil-  
laisia materiaaleja, rakenteita ja laskennallisia toimituksia valmistuksessa tulee  
ottaa huomioon. Johtosarjan materiaalien ja toteutustavan valinnassa myös kus-  
tannukset vaikuttavat voimakkaasti, mikäli valmistetaan kaupallisia johtosarjoja.

Opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena, koska tilaaja oli tyytyväinen loppu-  
tulokseen. Tavoitteet saavutettiin teoriassa ja käytännössä. Johtosarjojen valmis-  
tus ja testaaminen jatkuu asiakkaan kanssa tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

1. Juhala, Matti – Lehtinen, Arto – Suominen, Matti – Tammi, Kari 2005. Moottorialan sähköoppi, kahdeksas painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.
2. DTM Series connector system. 27.11.2018. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7F108-151010%7FB%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_SS\\_108-151010\\_B.pdf%7FDTM04-2P](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7F108-151010%7FB%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_SS_108-151010_B.pdf%7FDTM04-2P). Hakupäivä 23.4.2019.
3. Wire size selection. Bob Nuckolls. 14.1.1999. Aero Electric Connection. Saatavissa: <http://www.aeroelectric.com/articles/wiresize.pdf>. Hakupäivä 23.4.2019.
4. Understanding shielded cable. Alpha Wire. Saatavissa: <https://www.mouser.com/pdfdocs/alphawire-Understanding-Shielded-Cable.pdf>. Hakupäivä 22.10.2019.
5. Protecting Signal Lines Against Electromagnetic Interference. Dataforth. Saatavissa: <https://www.dataforth.com/protecting-signal-lines-against-electromagnetic-interference.aspx>. Hakupäivä 23.10.2019.
6. Automotive EMI shielding. 16.4.2010. EE Times. Saatavissa: [https://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1272969](https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1272969). Hakupäivä 27.10.2019.
7. Bosch Automotive Handbook 9th edition. 2014. Germany: Robert Bosch GmbH.
8. Ethylene and TFE. Holscot Fluoroplastics. Saatavissa: <https://holscot.com/glossary/etfe/#>. Hakupäivä 11.4.2019.
9. Spec 55 High performance wire and cable. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=1654025\\_Sec9\\_SPEC55&DocType=CS&DocLang=EN](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=1654025_Sec9_SPEC55&DocType=CS&DocLang=EN). Hakupäivä 6.4.2019.

10. DR25 Heat shrinkable tubing. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Catalog+Section%7F1654025\\_Sec3\\_DR-25%7F0313%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_CS\\_1654025\\_Sec3\\_DR-25\\_0313.pdf%7F5039324007](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Catalog+Section%7F1654025_Sec3_DR-25%7F0313%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_CS_1654025_Sec3_DR-25_0313.pdf%7F5039324007). Hakupäivä 9.5.2019.
11. SCL Raychem tubing products. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Catalog+Section%7FSCL\\_9-1773447-9%7F0811%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_CS\\_SCL\\_9-1773447-9\\_0811\\_SCL\\_9-1773447-9\\_0811.pdf%7F5500022012](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Catalog+Section%7FSCL_9-1773447-9%7F0811%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_CS_SCL_9-1773447-9_0811_SCL_9-1773447-9_0811.pdf%7F5500022012). Hakupäivä 9.5.2019.
12. RT-375 Raychem tubing products. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Catalog+Section%7FRT-375\\_9-1773447-9%7F0811%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_CS\\_RT-375\\_9-1773447-9\\_0811\\_RT-375\\_9-1773447-9\\_0811.pdf%7F7534074007](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Catalog+Section%7FRT-375_9-1773447-9%7F0811%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_CS_RT-375_9-1773447-9_0811_RT-375_9-1773447-9_0811.pdf%7F7534074007). Hakupäivä 9.5.2019.
13. Molded parts. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=5-1654025-5\\_sec4\\_MlddPrts&DocType=CS&DocLang=English](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=5-1654025-5_sec4_MlddPrts&DocType=CS&DocLang=English). Hakupäivä 9.5.2019.
14. DTM Series connector system. 27.11.2018. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7F108-151010%7FB%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_SS\\_108-151010\\_B.pdf%7FDTM04-2P](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7F108-151010%7FB%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_SS_108-151010_B.pdf%7FDTM04-2P). Hakupäivä 23.4.2019.
15. Deutsch DT Connectors. 2019. TE Connectivity. Saatavissa: <https://www.te.com/usa-en/products/connectors/automotive-connectors/intersection/deutsch-dt-series-connectors.html?tab=pgp-story>. Hakupäivä 18.8.2019.



16. Deutsch Autosport technical manual 4<sup>th</sup> edition. 08/2018. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=1-1773721-9\\_as\\_technical&DocType=DS&DocLang=EN](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=1-1773721-9_as_technical&DocType=DS&DocLang=EN). Hakupäivä 18.8.2019.
17. Hand cable laying, Revision 6. 6.6.2011. TE Connectivity. Saatavissa: <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=ELE-3COP-256&DocType=SS&DocLang=EN>. Hakupäivä 13.4.2019.
18. Installation and recovery of heat shrinkable tubing, revision 7. 30.4.2013. TE Connectivity. Saatavissa: <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=ELE-3COP-551&DocType=SS&DocLang=EN>. Hakupäivä 11.9.2019.
19. Preparation of cable jackets for the installation of adhesive lined tubing, revision 5. 7.6.2011. TE Connectivity. Saatavissa: <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=ELE-3COP-610&DocType=SS&DocLang=EN>. Hakupäivä 11.9.2019.
20. Service looping requirements, revision 8. 6.6.2011. TE Connectivity. Saatavissa: <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=ELE-3COP-301&DocType=SS&DocLang=EN>. Hakupäivä 13.4.2019.
21. Installation procedure for standard soldersleeve shield terminators, revision J1. 5.4.2019. TE Connectivity. Saatavissa: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7FRCPS-100-70%7FJ1%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_SS\\_RCPS-100-70\\_J1.pdf%7F665143-000](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Specification+Or+Standard%7FRCPS-100-70%7FJ1%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_SS_RCPS-100-70_J1.pdf%7F665143-000). Hakupäivä 13.4.2019.
22. Testing cables with high voltage. 2018. Cirris Systems. Saatavissa: <https://www.cirris.com/learning-center/testing-guidelines/high-voltage/31-testing-cables-with-high-voltage>. Hakupäivä 11.9.2019.

Products. ResinTech. Saatavissa: <http://www.resintech.co.uk/products.htm>. Hakupäivä 11.9.2019

ResinTech

Technical Data Sheet

RT125

# RT125

## Flexible High Performance Epoxy Adhesive



Registered for 1991/11

**Description**

RT125 is the industry standard adhesive for high performance cable harness assemblies.

**Benefits**

- Excellent flexibility giving high shear and peel strengths
- Outstanding chemical and fluid resistance
- Will operate up to 150°C
- Will also bond metals, glass, wood, rubbers and many plastics
- Supplied in DuoSyringe for easy application
- Standard size is 50ml, with associated mixing nozzles and dispenser guns

**Typical Properties**

**Curing**

Work life at 23°C:	90 minutes
Time to handling at 23°C:	24 hours
Time to full cure at 23°C:	7 days
Time to full cure at 85°C:	2 hours

**Typical Performance (measurements at 23°C)**

Lap Shear (Al / Al)	20 MPa
Peel Strength (XLPE/XLPE)	370 N / 25mm
Peel Strength after Thermal Shock (4hrs@215°C)	370 N / 25mm
Dynamic Shear (Backshell/boot/cable. Shell size 22)	520 N
Solvent resistance	
(De-icing fluid, Petrol, Lubricating oil, Hydraulic fluid)	Excellent
Operating Temperature	-75°C to +150°C

Shelf life: 18 months from manufacture.

**Colour**

Black

**Related Products**

- The ShieldFast® Range
- RT183 electrically conductive epoxy adhesive

Issue 7 - August 2014  
ResinTech Limited warrants only that its products meet the specifications stated herein. Typical properties where stated are to be considered as representative of the current production and should not be treated as specifications. Where the information presented is believed to be true and reliable, users are advised to conduct sufficient testing to ensure the suitability of any product for its intended use. ResinTech Limited does not accept any responsibility for loss or damage that may result from reliance on the information.

**ResinTech Limited**  
 Horcott Industrial Estate, Fairford, Gloucestershire, GL7 4BX, United Kingdom  
 t: +44 (0)1285 712755 f: +44 (0)1285 712999 e: [technical@resintech.co.uk](mailto:technical@resintech.co.uk) w: [www.resintech.co.uk](http://www.resintech.co.uk)