



Aapo Väänänen

# Kilpa-auton korisähköjen suunnittelu ja valmistaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

21.5.2025

# Tiivistelmä

Tekijä: Aapo Väänänen  
Otsikko: Kilpa-auton korisähköjen suunnittelu ja valmistaminen  
Sivumäärä: 30 sivua + 2 liitettä  
Aika: 21.5.2025

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

---

Insinööriyössä suunniteltiin ja rakennettiin Opel Corsa A -kilpa-auton korisähköjärjestelmä F-ryhmän AKK:n lajisääntöjen mukaisesti. Työn tavoitteena oli toteuttaa yksinkertainen, luotettava ja helposti huollettava sähköjärjestelmä, joka palvelee kilpikäyttöön suunnitellun auton tarpeita. Käytettäväksi ohjauslaitteeksi valittiin Cartekin 16-kanavainen Power Distribution Module, joka mahdollistaa digitaalisesti ohjatun virtajakelun ilman perinteisiä sulakkeita ja releitä.

Työssä keskityttiin sähköjärjestelmän suunnitteluun, komponenttivalintoihin, johtimien mitoitukseen ja johtosarjan toteutukseen. Johtimien mitoitus suoritettiin virrankulutuksen, jännitehäviöiden ja johdinpituuksien perusteella sähkötekniikan standardien mukaisesti. Komponenttien valinnassa korostettiin keveyttä, kestävyyttä ja toimintavarmuutta kilpaolosuhteissa.

Lopputuloksena saatiin selkeä ja dokumentoitu sähköjärjestelmä, joka täyttää sekä tekniset että kilpailulliset vaatimukset. Johtosarja rakennettiin modulaarisesti, ja se on helposti huollettavissa ja muokattavissa auton jatkokehitystä varten. Moottorin kytkenät jätettiin työn ulkopuolelle, koska moottori ei ollut vielä asennettuna työn aikana.

Avainsanat: Kilpa-auto, korisähköt, johtosarja, PDM, Cartek

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Aapo Väänänen  
Title: Racing Car Wiring Harness Design and Manufacturing  
Number of Pages: 30 pages + 2 appendices  
Date: 21 May 2025

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

---

This thesis focuses on the design and construction of a body electrical system for a competition specification Opel Corsa A, built in compliance with the F-class regulations set by AKK Motorsport. The goal was to create a simple, reliable, and easily serviceable electrical system suitable for motorsport use. The system was implemented using a Cartek 16 Channel Power Distribution Module, which replaces traditional fuses and relays with a digital power distribution solution.

The work included the design of the electrical architecture, component selection, wire dimensioning, and harness construction. Wiring calculations were based on current draw, voltage drop, and conductor length, in accordance with electrical engineering standards. Components were selected for their light weight, durability, and reliability in racing conditions.

The result is a well-documented and reliable electrical system that meets technical and competitive requirements. The harness was built in a modular way, allowing for easy maintenance and future modifications. Engine bay connections were excluded from the scope due to the absence of the engine during the project.

Keywords: Race car, body electronics, wiring harness, PDM, Cartek

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suunnittelu ja komponenttivalinnat	1
2.1	Johtosarjan arkkitehtuuri	3
2.1.1	PDM:n sijoitus	4
2.1.2	Maadoitukset	5
2.1.3	Reititys ja kiinnitykset	6
2.1.4	Johtosarjan suojaus ja suojausmateriaalin valinta	7
2.1.5	Olemassa olevien liittimien käyttö	8
2.2	Poikkeukselliset kytkennät	9
2.2.1	Pyyhkijöiden moottori	9
2.2.2	Hätävilkut	10
2.3	Johtimien valinta ja mitoitus	10
2.3.1	Hi-Flex akkukytkenjäohdin	13
2.3.2	FLRY autokytkenjäohdin	14
3	Käytettävät komponentit	14
3.1	Cartek 16 Channel Power Distribution panel (Kuva 12)	15
3.1.1	Virta, kanavien käyttö	16
3.1.2	Tulot ja lähdöt	17
3.1.3	Liittimet	18
3.2	Cartek Battery Isolator XR (kit)	20
4	Ohjainpaneelin ohjelmointi	21
4.1	Vikavirta ja vikatilanteiden hallinta	23
5	Johtosarjan valmistaminen	24
6	Yhteenveto	27
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1: Kytkenjäkaaviot	

## Liite 2: Johtimien poikkipinta-alat

## Lyhenteet

AWG: *American Wire Gauge*. Amerikkalainen johtimien paksuuden mit-tayksikköjärjestelmä. Se ilmoittaa johdon halkaisijan ja sitä kautta sen virranjohtokyvyn. Pienempi AWG-luku tarkoittaa paksumpaa johtoa ja suurempi luku ohuempaa johtoa.

ECU: *Electronic Control Unit*. Ajoneuvon sähköinen ohjausyksikkö, joka ohjaa erilaisia toimintoja, esimerkiksi moottorin ohjainlaite.

PDM: *Power Distribution Module*. Virranjakeluyksikkö, joka ohjaa sähkövir-ran ajoneuvon sähköjärjestelmille ja komponenteille.

## 1 Johdanto

Moottoriurheilussa ajoneuvojen sähköjärjestelmien merkitys on kasvanut huomattavasti viime vuosikymmeninä. Vaikka perinteisesti korisähköt ovat muodostaneet vain pienen osan kilpa-auton kokonaisuudesta, nykyaikaisissa kilpa-ajoneuvoissa sähköjärjestelmiltä vaaditaan sekä luotettavuutta että muunneltavuutta. Sähköjärjestelmän toimivuus vaikuttaa paitsi turvallisuuteen myös auton suorituskykyyn ja huollettavuuteen kilpailutilanteessa.

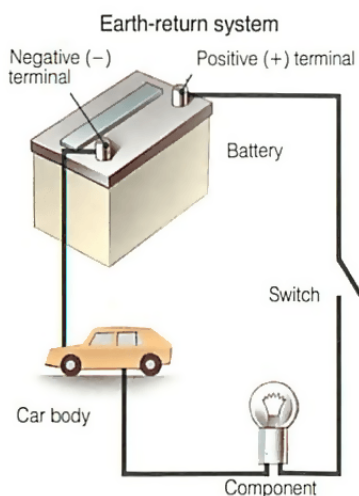
Tässä insinööriyössä suunnitellaan ja toteutetaan F-ryhmään kuuluvan Opel Corsa A -kilpa-auton korisähköjärjestelmä. Auto rakennetaan AKK:n lajisääntöjen mukaisesti, ja sähköjärjestelmän suunnittelussa otetaan huomioon sääntöjen edellyttämät vaatimukset muun muassa virransyötön ja päävirtakytkimen osalta. Työn tavoitteena on kehittää yksinkertainen, selkeä ja toimintavarma sähköjärjestelmä, joka palvelee kilpakäyttöön tarkoitettua ajoneuvoa tehokkaasti ja turvallisesti.

Sähköjärjestelmä toteutetaan Cartekin 16-kanavaisella Power Distribution Module -ohjainlaitteella, joka korvaa perinteiset sulake- ja relekytkennät nykyaikaisella digitaalisella virtajakelulla. Ohjainlaitteen käyttö mahdollistaa sähköjärjestelmän keventämisen sekä nopean vianhaun kilpailutilanteessa.

## 2 Suunnittelu ja komponenttivalinnat

Johtosarjaa alettiin suunnittelemaan ja rakentamaan tyhjään auton koriin, jossa on AKK:n hyväksymät turvakaaret. Työssä käytettiin yksijohdinjärjestelmää, joka on tyypillinen henkilöautoissa (kuva 1). Kyseisessä järjestelmässä jokaisella virrankuluttajalla on oma syöttöjohdin. Kaikki komponentit maadoitettiin auton runkoon, joka toimii paluuvirtajohtimena akulle. Ajoneuvon sähköjärjestelmän nimellisjännitteeksi valittiin 12 voltia. Tämä on tyypillisin henkilöajoneuvojen jännite. Johtimen poikkipinta-aloja laskettaessa käytettiin myös järjestelmän nimellisjännitettä. Todellinen käyttöjännite vaihteli hieman noin 14,2–14,7 voltin

välillä. Jännitevaihtelu johtuu ajoneuvon generaattorin jännitteensäätimestä, hetkellisestä kuormituksesta ja akun varaustilasta.



Kuva 1. Yksijohdinjärjestelmän toiminta [1].

Johtimet tulee mitoittaa oikein, jotta ne kestävät kuormittajien jatkuvan virrankulutuksen sekä vikavirtatilanteet. Johtimien poikkipinta-alaa voi kasvattaa suunnittelu vaiheessa ja vähentää sitten tarvetta, mutta se lisää ajoneuvon kokonaispainoa, sekä vaikeuttaa johtimien pakkausta taivutussäteiden kasvaessa. Sulamisvarmuuden kannalta johtimet tulisi mitoittaa alle 0,8 virrankestosta. Väärin mitoitettu johdin kasvattaa virtapiirin jännitehäviöitä ja aiheuttaa johtimessa lämpenemistä. Pahimmillaan lämpenemä voi johtaa sulamiseen ja oikosulkutilanteisiin johtimen kuorimateriaalin vahingoittuessa.

Toiminnallisesti kilpa-auton johtosarjat ja liittimet eivät eroa sarjatuotannossa olevien autojen johtosarjoista. Moottoriurheilussa käytettyjä komponentteja kuitenkin kehitetään kestävämpään suurempaa lämpötila- ja värähtelykestävyyttä. Paino pyritään minimoimaan jokaisesta komponentista. Tämän vuoksi kilpa-autoiluun tarkoitettujen komponenttien valmistusmäärät ovat pienempiä kuin sarjatuotannossa olevien autojen komponentit. Kilpa-autoihin tehdyt johtosarjat ovatkin yleensä mittatilauksesta tehtäviä, koska jokainen kilpa-auto on yksilö ja harvoin kahta samanlaista kilpa-autoa löytyy. Kilpa-autossa liittimien tulee olla varmatoimisia ja niiden tulee kestää irrottaminen sekä liittäminen useita kertoja.

Liittimien ylimenoresistanssin tulee myös olla pieni, jotta niissä ei tapahdu jännitehäviöitä. Laadukkaiden liittimien käyttö niissä kohteissa, joissa se on mahdollista, vähentää vikatilanteita ja sitä kautta ajoneuvon vikaherkkyttä. [2, s. 558.]

## 2.1 Johtosarjan arkkitehtuuri

Kilpa-autoista pyritään rakentamaan mahdollisimman yksinkertaisia, joten myös johtosarja pyritään rakentamaan näin. Johtosarja on oltava helposti korjattavissa. Kuluttajien määrä on myös pyritty minimoimaan sähkön kulutuksen ja vikatilanteiden vähentämisen vuoksi.

Auton korisähköt valmistettiin kokonaan ilman sulakkeita tai releitä (kuva 2). Autoon asennetaan Cartekin PDM-ohjainlaite, joka tunnistaa, mikäli johdin on ylikuormittumassa. Ohjainlaite seuraa jatkuvasti jokaisen kanavan kuormitusta ja antaa varoituksen, mikäli jossakin kanavassa on epätavallinen tila päällä. Jos jossakin kanavassa virta kasvaa liian suureksi, kytkeytyy kanava kokonaan pois päältä.

Autosta on purettu jo aikaisemmin pois vanhat alkuperäiset johtosarjat, sulakkeet ja releet. Uusi johtosarja rakennetaan mahdollisimman toimintavarmaksi, jottei ongelmia kilpailuissa tule. Myös johtosarjan tehohäviöt pyritään minimoimaan käyttämällä laadukkaita johtoja ja liittimiä.



Kuva 2. Sulakkeiden, releiden ja kytkinten korvaaminen. [3.]

### 2.1.1 PDM:n sijoitus

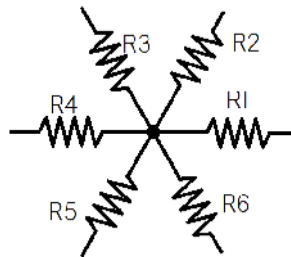
Cartekin PDM-ohjainlaite asennetaan helposti tavoiteltavaan paikkaan keskelle autoon kardanitunnelin päälle (kuva 3), jotta kuljettaja pystyy sitä käyttämään siirtymillä ja erikoiskokeilla. Normaalissa olosuhteissa kuljettajan ei tarvitse koskea ohjainlaitteeseen erikoiskokeilla, mutta muuttuvia tekijöitä voi tulla, jolloin kuljettajan täytyy saada muutettua jonkin kanavan asetusta nopeasti, esimerkiksi pyyhkijät on saatava laitettua päälle sateen alkaessa. Nämä kanavat, joita kuljettaja voi joutua käyttämään erikoiskokeen aikana, kytketään rinnakkain ohjauspyörään asennettaviin painonappeihin.



Kuva 3. Ohjainlaitteen sijainti.

### 2.1.2 Maadoitukset

Maadoitus on tärkeä osa johtosarjan suunnittelua, jotta sähköjärjestelmiin ei syntyisi maadoituksesta johtuvia häiriöitä. Korisähköille käytetään jo olemassa olevia maadoituspisteitä. Maadoituspisteet ovat etupenkkien takana lattialla, kojelaudan alla ja päävirtakatkaisimelle tehdään uusi maadoituspiste akun lähelle. Penkkien takana ja kojelaudan alla olevat maadoituspisteet on M8 koon hitsiruuvilla kiinnitetty ajoneuvon runkoon. Puhtaita metallipintoja halutaan välttää auton korissa, jotta auton runko ei hapettuisi, mutta maadoituspisteiden kohdalla täytyy varmistaa, että kontakti maadoitettaville toimilaitteille on mahdollisimman hyvä. Tällöin kiinnikkeen, kuten hitsiruuvin kierteiden tulee olla puhtaat ja maalittomat. Mahdollisimman monta sähkölaitetta pyritään maadoittamaan samaan pisteeseen, jotta galvaanisesti kytkeytyviä häiriöitä ei synny (kuva 4).



Kuva 4. Tähtimaadoituspiste [4].

Alle 5 mm<sup>2</sup> olevat johtimet liitetään maadoituspisteisiin rengasliittimillä ja kiinnitetään auton rungossa olevaan pulttiin mutterilla. Johdin puristetaan liittimeen Abiko-pihdeillä. Tätä suuremmat johtimet maadoitetaan putkikaapelikengillä (kuva 5).



Kuva 5. Rengasliitin ja putkikaapelikenkä. [5;6].

### 2.1.3 Reititys ja kiinnitykset

Johtosarja kiinnitetään autoon HellermanTyton polyamidista valmistetuilla johdinsideankkureilla (kuva 6), jotka liimataan auton sisälle. Nippusideankkurin kiinnitys tavaksi valittiin liima. Ajoneuvon koriin ei haluttu tehdä ylimääräisiä reikiä, joita olisi tullut, jos ne olisi kiinnittänyt poraruuveilla tai vetoniiteillä.



Kuva 6. Johdinsideankkuri

Johtosarja kiinnitetään johdinsideankkuriin HELLERMAN TYTON X-sarjan HIRHS-nippusiteillä. Nippuside on valmistettu polyamidista ja suunniteltu ahtaisiin käyttökohteisiin. Se kestää korkeita lämpötiloja -40–105 celsius asteen välillä ja vaativia olosuhteita. Nippusiteen malli on suora ja muovilukolla varustettu. Nippuside on UL94 HB -luokituksen mukainen ja halogeeni sekä silikoni vapaa.

Liimana käytettiin Wurthin yksi komponentti polyuretaani liima+tiivistemassaa, joka on suunniteltu kahden eri aineen liittämiseen toisiinsa. Massa on pysyvästi elastinen ja vaimentaa tärinää. Repäisykestävyys on DIN 53515 -standardin mukainen. Liimattava pinta puhdistetaan EC100 biopuhdistajalla, joka sopii erinomaaisesti maalatuille pinnoille puhdistukseen. Puhdistusainetta suositellaan käyttämään pinnoille ennen liimaamista. Puhdistusaineen tuotekuvauksen mukaan se ei ole terveydelle haitallista. [7.]

#### 2.1.4 Johtosarjan suojaus ja suojausmateriaalin valinta

Kaikki johtimet suojataan Wurthiltä löytyvällä punotulla suojasukalla (kuva 7), joka estää johtimiin kohdistuvan ulkopuolisen rasituksen ja hiertymät. Suojasukat eivät ole tiiviitä, joten mikäli johtosarja joutuu veden tai kosteuden altistukselle, pääsee se haihtumaan pois johtosarjasta. Suojasukka on valmistettu polyamidista, joka on halogeeni vapaata ja itsestään sammuvaa materiaalia UL-94-luokituksen mukaisesti.



Kuva 7. Punottu suojasukka. [8.]

### 2.1.5 Olemassa olevien liittimien käyttö

Autossa olevien kuluttajien alkuperäisiä liittimiä joudutaan käyttämään, koska kuluttajat pysyvät alkuperäisinä. Liittimien vaihto uusiin ei tämän projektin puitteissa ole kannattavaa. Alkuperäiset liittimet puretaan vanhasta johtosarjasta ja liitetään uuteen johtosarjaan. Alkuperäisiä liittimiä on vielä saatavilla, joten liittimien hajotessa on mahdollisuus uusien samanlainen liitin.

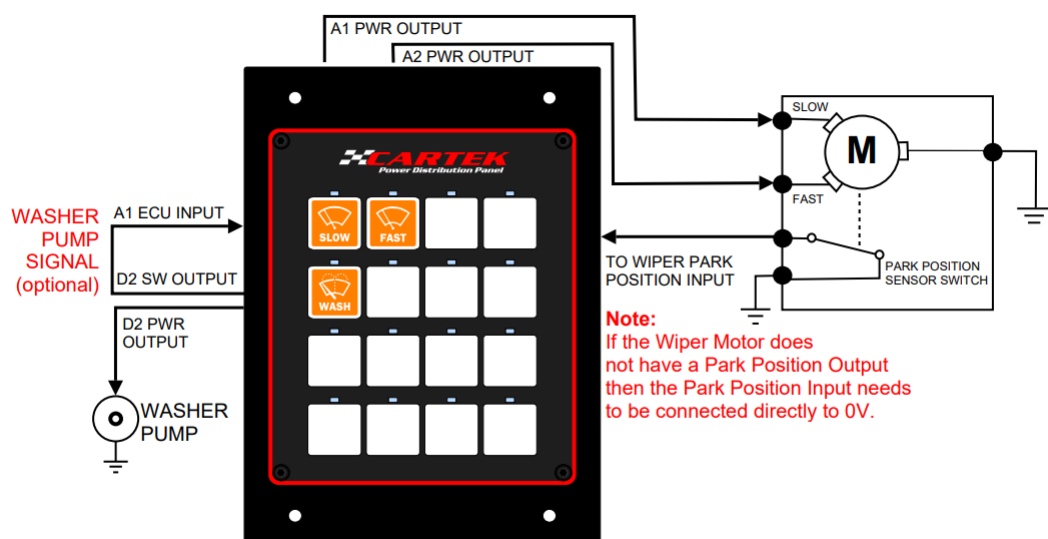
Poikkeuksena muista kuluttajista, etuajovalon liittimet vaihdetaan uusiin. Autossa on H4-kannan ajovalopolttimot. Liittimet korvataan uusilla niiden helpon saatavuuden ja toimintavarmuuden takaamiseksi. Liittimien uusinta on helppoa, koska liittimissä on valmiiksi johtimet, jotka liitetään johtosarjaan. Liittimenä käytetään Autolinen H4-lampunkanta liitintä, jossa johdot lähtevät taakse.

## 2.2 Poikkeukselliset kytkennät

### 2.2.1 Pyyhkijöiden moottori

Autossa ei ole takalasinpyyhkijää, joten vain tuulilasinpyyhkijät kytkettiin toimimaan. Ohjainlaite pystyy ohjaamaan yksi- tai kaksinopeuksista pyyhkijöiden moottoria, mutta työssä käytetään kaksinopeuksista moottoria. Pyyhkijöiden moottorille on tarkoitettu kanavat A1 ja A2, jotka ovat matalatehoinen moduuli. Matalatehoisen moduulin lähtövirta on 7,5 ampeeria, joka riittää pyyhkijöiden moottorilla.

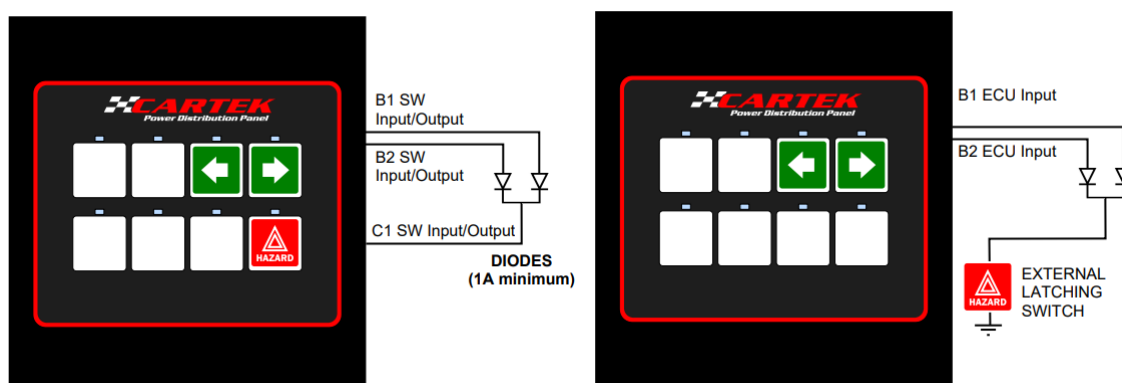
Lasinpesunesteen pumppu kytketään erilliseen kanavaan, joka voidaan kuitenkin kytkeä rinnan pyyhkijöille (kuva 8), jolloin lasinpesunestettä käyttäessä myös pyyhkijät lähtevät päälle. Matalatehoiselle moduulille asetetaan toiminto 8, joka mahdollistaa kahdella eri nopeudella toimivat pyyhkijät. Kun pesupumppu käynnistetään, kytkeytyy pyyhkijöiden hidas tila päälle, niin pitkäksi aikaa, kun painiketta painetaan, kanavan ollessa toiminnolla 3. Kanavan sammuttua kytkeytyy korkeamman nopeuden pyyhkijöiden kanava kahden sekunnin ajaksi, jotta tuulilasi saadaan puhtaaksi muutamalla pyyhkäisyllä.



Kuva 8. Pyyhkijöiden moottorin kytkentä [9, s. 13].

## 2.2.2 Hätävilkut

Hätävilkut kytketään normaalien vilkkujen rinnalle, jolloin kun hätävilkkujen katkaisinta painetaan, kytkeytyvät molempien vilkkujen kanavat. Hätävilkut voidaan laittaa ohjainlaitteeseen (kuva 9 vasemmalla) tai ulkoisella painikkeella (kuva 9 oikealla). Kummassakin tapauksessa, täytyy molempien vilkkujen kanaviin asentaa diodit, jotta hätävilkut kytkevät molempien vilkkujen kanavat päälle. Diodi estää normaaleja vilkkuja käyttäessä, häiriöt toisessa kanavassa. Jos ohjainlaitteen kanavaa käytetään hätävilkkujen ohjaamiseen, täytyy virta-asetukseksi laittaa 0 ampeeria. Mikäli kanavalle on asetettu 20/25/30 ampeeria, asetetaan saman moduulin viereinen kanava automaattisesti 0 ampeeriin, jolloin sitä voidaan käyttää hätävilkkuihin. Ulkoista kytkintä käytettäessä, tulee kytkimen lukkiutua sitä painettaessa. Ulkoinen kytkin on kytkettävä kuvan 9 oikean puolimmaisena kuvan tavalla.



Kuva 9. Hätävilkkujen kytkentä [9, s. 14].

## 2.3 Johtimien valinta ja mitoitus

Johtimen valinnassa on otettava huomioon sen kestävyys, mutta myös ulkopuoliset tekijät kuten värinä ja taivutus mahdollisuus. On otettava huomioon poikkipinta-ala sekä johtimen taivutussäde. Ympäristövaatimusten puolesta kemikaalien, lämpötilan sekä mekaanisten vaatimusten huomioiminen on tärkeää. Johtimen eriste eli kuorimateriaali vaikuttaa moneen asiaan johtimen valinnassa.

Kuorimateriaali vaikuttaa läpilyöntikestävyyteen, palokuormaan sekä lämpötila-alueeseen. Kuorimateriaalin paksuus vaikuttaa taivutussäteeseen.

Johtimesta saadaan mekaanisesti kestävä, kun yhdessä johtimessa on useita säikeitä, eikä vain yhtä, jolloin taivutuksessa tai rasituksessa johdin katkeaisi helposti. ISO6722-standardissa määritetään ajoneuvojohtimet 12 voltin järjestelmille. Standardissa on määritetty johtimen poikkipinta-alat, mekaaniset vaatimukset ja eristemateriaalin paksuus jokaiselle poikkipinta-alalle (kuva 10). Johtimia on lukuisia erilaisia, ja niiden ominaisuudet, mutta myös ulkonäkö on tarkkaan mietitty. Johtimet ovat eri värisiä, raidallisia tai numeroituja, jotta ne tunnistetaan johtosarjasta esimerkiksi ongelmatilanteissa, joissa yksi johdin joudutaan uusimaan. [2, s. 977.]

Johtimessa huippuvirta ei saisi ylittää varmuusvirran nimellisarvoa. Virrankesto on korkein arvo, jonka tietty johdin pystyy jatkuvassa käytössä kuljettamaan ylittämättä oman eristeen lämmönkesto. Suurin vaikuttava tekijä virrankesto on johtimen poikkipinta-ala, mutta myös eristeen paksuus. Johtimen materiaali ja ominaisresistanssi määrittävät osan virrankestoista. Varmuuslaskentaan ja johtimien valintaan vaikuttavat myös käytetyt liittimet ja johtimien asentaminen nippuun, jolloin lämpöä syntyy enemmän kuin yksittäisessä johtimessa. Johtimen lämpiämiseen vaikuttaa vahvasti asennuspaikka. Johtimen pituus vaikuttaa johtimen resistanssiin, joka vaikuttaa tehohäviön kasvamiseen ja sitä kautta johtimen lämpötilan kasvamiseen. [10.]

Johtimien valinnassa joudutaan aina tekemään kompromisseja, minkä vuoksi tarkka suunnittelu on tärkeitä. Työssä käytetään Wurth Oy:n valikoimasta löytyviä autojohtimia. Lajin säännöt sanovat johtimien ja niiden eristeiden olevan vapaat, eli käyttäjä saa itse valita mieleiset johtimet kilpa-autoonsa:

5.8.2. Releiden ja sulakkeiden lisääminen sähköpiireihin on sallittu kuten sähköjohtojen pidentäminen tai lisääminenkin. Sähköjohdot ja niiden eristeet ovat vapaat [11, s. 409].

Johtimien pinta-aloja määriteltessä tulee huomioida kuluttajan tehonkäyttö, johtimen pituus ja sallittu jännitehäviö. Ohmin lain mukaan voidaan määrittää kuluttajan virran käytön alla olevan kaavan mukaan, kun tunnetaan tehon kulutus  $P$ . Jännitteenä käytetään nimellisjännitettä 12V (kaava 1).

$$P = U \cdot I \rightarrow I = P \div U \quad (1)$$

$P$  = Teho (W)

$U$ =jännite (V)

$I$ =virta (A)

Tämän jälkeen lasketaan kaikki tarvittavat johtimien poikkipinta-alat alla olevalla kaavalla (kaava 2). Johtimen eli kuparin resistiivisyys täytyy muuttua muotoon  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ . Tämä ei ole kuparin oikea resistiivisyys, vaan vastaa ISO6722 ajo-neuvojohtimien resistanssia, joka esitelty Boschin autoteknisessä käsikirjassa. Johtimet pyöristetään lähimpänä suurempaan olevaan johtimeen (kuva 10). Sallittu jännitehäviö johtimessa on 2 %, eli noin 0,2V.

$$A = \frac{I \cdot Q \cdot L}{U_{vL}} \quad (2)$$

$A$ =Johtimen poikkipinta-ala ( $\text{mm}^2$ )

$I$ =Virta (A)

$Q$ =Ominaisvastus ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )

$L$ =Johtimen pituus (m)

$U_{vL}$ =Sallittu jännitehäviö eristetyssä johtimessa

### Taulukko 1.2. Ajoneuvojen kupariset sähköjohtimet

Yksilankaiset, tinaamattomat, PVC-eristyksellä, alennetulla seinämänpaksuudella. Tyyppi FLRY.

Nimellis-poikki-pinta-ala	Yksitt. lankojen lukumäärä (likim.) <sup>2)</sup>	Maksimi-vastus metriä kohti <sup>2)</sup> +20 °C	Johtimen maksimi-halkaisija <sup>2)</sup>	Eristyksen seinämän nim. vahvuus <sup>2)</sup>	Johtimen maksimi ulkohalk. <sup>2)</sup>
mm <sup>2</sup>		mΩ / m	mm	mm	mm
0,35	12	52	0,9	0,25	1,4
0,5	16	37,1	1	0,3	1,6
0,75	24	24,7	1,2	0,3	1,9
1	32	18,5	1,35	0,3	2,1
1,5	30	12,7	1,7	0,3	2,4
2,5	50	7,6	2,2	0,35	3,0
4	56	4,7	2,75	0,4	3,7
6	84	3,1	3,3	0,4	4,3

<sup>2)</sup> Normin DIN ISO 6722 osa 4 mukaan.

Kuva 10. Johtimien poikkipinta-alat [2, s. 977].

Käynnistimen johdotusta ei voi tehdä vakiintuneella tavalla sulamisvarmistetusti. Käynnistimen johdotus on kytkennässä erikoisasemassa, koska johtimen jännitehäviöllä kylmäkäynnistyksessä on huomattava vaikutus, kun taas normaalitilassa pystytään ennakoimaan huippu- ja kestovirta. [2, s. 977.]

Wurthin valikoimasta valikoitui kaksi eri johdinta: Hi-Flex-akkukytKentäjohdin ja FLRY-autokytKentäjohdin.

#### 2.3.1 Hi-Flex-akkukytKentäjohdin

Kuparinen Hi-Flex-akkukytKentäjohdin on paksumpi johdin verrattuna FLRY-johdtimeen, minkä vuoksi se sopii suurille virroille, esimerkiksi starttimoottorille. Poikkipinta-ala johtimessa on suurempi kuin FLRY-johtimessa. Johdin on mekaanisesti todella kestävä sekä taipuisaa, jonka vuoksi se sopii erinomaisesti ajoneuvoihin [12]. Johdin on happi vapaa (OFC, *oxygen free copper*) korkealaatuisin kuparijohdin, josta on jopa hopea poistettu epäpuhtautena. Happivaapaassa kuparissa on korkea sähkön- ja lämmönjohtavuus. [13.]

### 2.3.2 FLRY-autokytKentäjohdin

FLRY-autokytKentäjohdin on valmistettu standardin DIN/ISO 6722 mukaisesti. Johtimen eriste on ohuempi verrattuna FRY-johtimeen, mikä tekee siitä mekaanisesti heikomman. Ohuemman eristeen avulla saadaan kuitenkin johtimia enemmän pieneen tilaan. Tämä auttaa johtimien laittamisen pienemmän suojapunoksen sisään. Johtosarjan koon ollessa pienempi se on helpompi suunnitella ja asentaa kilpa-ajoneuvoon. Ohut eriste ei ole yhtä kestävää kuin esimerkiksi FRY-johtimissa käytetty eriste, mutta FLRY-johtimen taivutussäde on pienempi. Johtimiin kohdistuva rasitus pyritään minimoimaan kiinnittämällä ne auton runkoon kiinni kiinnikkeillä.

FLRY-johtimen nimellisjännite U<sub>0</sub>/U 50V/60V. Johtimen käyttölämpötila on -40°C - 105 °C. Auton sisällä olevat sähköt eivät joudu tämän lämpötila-alueen ulkopuolisille lämpötilan rasituksille. Kilpa-autoissa tulipalot ovat harvinaisia, mutta mahdollisia. Tulipalon riski täytyy ottaa huomioon autoa rakennettaessa. Käytettävä FLRY-johdin ei ole palamatonta, mutta paloa hidastavaa. [14.]

## 3 Käytettävät komponentit

Työssä käytetään Cartek Motorsport Electronicsin ohjainlaitteita korisähköjen valmistamiseen. Cartek on valmistanut elektroniikkalaitteita moottoriurheilualalle vuodesta 2002 saakka. Yrityksen ensimmäinen tuote oli elektroninen päävirtakatkaisin, jota käytetään myös kyseisessä työssä. Nykyään Cartek on tunnettu brändi ja merkittävä elektroniikka valmistaja ja myyjä moottoriurheilualalla. Tuotteita käytetään kaikilla moottoriurheilun tasoilla aina harrastajasta ammattilaiseen saakka. Tuotteita käytetään jopa MM-tasolla rallicrossissa ja GT-sarjoissa. Joistakin osista on tullut vakiovaruste kilpa-autoissa ja pakollisia joissakin sarjoissa. [15.]

### 3.1 Cartek 16 Channel Power Distribution panel

Cartekin 16-kanavainen koriohjainlaite (kuva 12) korvaa kaikki auton koriin liittyvät sulakkeet, releet ja kytkimet. Ohjainlaite mahdollistaa toiminnaltaan varmat korisähköt kilpa-autoon haastaviinkin olosuhteisiin. Tuotteen tarkoitus on säästää painoa ja varmistaa korisähköjen toiminta ilman ylimääräisiä johtimia sulakkeita ja releitä. Jokaisessa kanavassa on ylikuormitus ja oikosulkusuojaus. [17.]



Kuva 12. Cartekin 16-kanavainen koriohjainlaite [16].

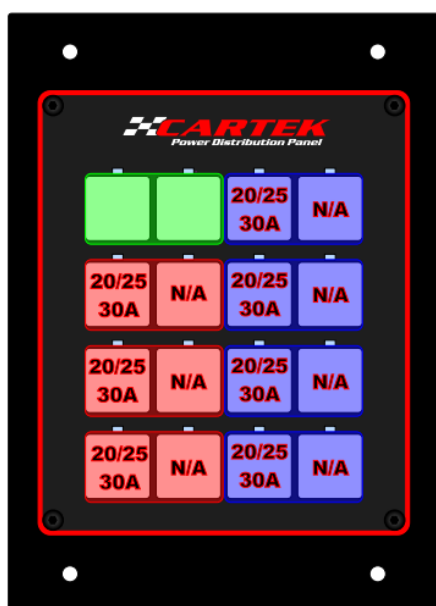
Ohjainlaite on suunniteltu kilpa-autoihin ralliin ja rata käyttöön, joissa on 6–12 voltin käyttöjännite. Ohjainpaneeli on täysin integroitu ratkaisu auton virranjake- luun, ja ohjainlaite ottaa käyttöjännitteen suoraan akulta ja jakaa virran auton kuluttajille. Kanavissa on 16 kytkin- ja 16 ECU-syöttöä, jotka mahdollistavat laajan hallinnan Ohjainlaitteen kaikkia 16 kanavaa ohjataan paneelin painikkeista

tai rinnakkain kytketyistä ulkoisista painikkeista. Kaikki 16 lähtöä on virtasuojat-  
tuja ja niille asetetaan kuudesta virta asetuksesta sopiva, joten turhia sulakkeita  
ja releitä ei tarvita ollenkaan. Kunkin kanavan toiminto voidaan valita kahdek-  
sasta eri toiminnosta.

16-kanavainen ohjainlaite painaa 600 grammaa ja on mitoiltaan 140 mm x 195  
mm x 59,2 mm. Käyttölämpötila on  $-10^{\circ}\text{C}$  -  $+85^{\circ}\text{C}$  astetta. Taustavaloissa on  
kaksi eri kirkkaus asetusta. Ohjainlaitteen edessä ja takana on tiivisteet, jotka  
suojaavat sen sisällä olevaa elektroniikkaa kosteudelta ja liialta. [3.]

### 3.1.1 Virta, kanavien käyttö

Valittavissa on useita eri virta-asetuksia, 0A, 5A, 10A ja 15A täysitehoisissa ka-  
navissa ja matalan virran kanavissa A1 ja A2 vain 0A tai 7,5A. Yhdistämällä  
kaksi kanavaa voidaan käyttää suurien virtojen, 20A, 25A tai 30A, asetuksia  
(kuva 13). Kun kaksi eri kanavaa yhdistetään, täytyy niiden olla saman moduu-  
lin kanavat, esimerkiksi B1 ja B2. Moduulin ollessa suuren virran asetuksella on  
napeista vain toinen käytettävissä, mutta toista nappia voidaan käyttää vain 0V  
kytkinlähtönä. Maksimivirrankesto jatkuvassa käytössä yhteensä on 160A.



Kuva 13. Suuren virran asetuksella moduulin toinen kanava asettuu automaattisesti 0 voltin tilaan [9, s. 18].

### 3.1.2 Tulot ja lähdöt

Ohjainlaitteessa on takana yksi M6-kokoinen kierrepultti, joka liitetään suoraan akun positiiviseen napaan. Kyseinen johdin täytyy laskea tarkkaan, jotta virran-kantokyky on riittävä, koska kaikkien ohjainlaitteen kautta toimivien kuluttajien virta kulkee kyseisen johtimen kautta. Virtajohto on kiinnitettävä ohjeen mukaan M6-pulttiin nyloc-mutterilla, joka kiristetään momenttiin 15Nm voimalla.

Jokaisella kanavalla on ulkoinen tulo ja lähtö kytkimille, jota voidaan käyttää joko kytkimen signaalin vastaanottamiseen tai lähettämiseen. Kytkimien tuloissa tulosignaalin on kytkeydyttävä nollaan volttiin vaikuttaakseen. Tämä tapahtuu, kun kyseisen kanavan nappia painetaan. Eli kanava aktivoituu, kun se maadoituu, mikä mahdollistaa kanavien ohjauksen etänä esimerkiksi ohjauspyörään asennetulla painikkeella. Lähdöt toimivat vastaavalla periaatteella, eli kun kanava maadoitetaan, se kytkeytyy päälle. Lähtöjä käytetään kuitenkin ohjaamaan muita kanavia, esimerkiksi hätävilkkujen kytkemiseen päälle. Ohjainlaitteessa on 3 maadoituspinniä, jotka valmistaja määrää kytkemään 20 AWG-johtimella, eli 0,58 mm<sup>2</sup>. ISO6722 standardin mukaan lähin johdinkoko on 0,50 mm<sup>2</sup>.

Valmistaja ohjeistaa käyttämään vähintään 0,50 mm<sup>2</sup> johtimia vaikka kuluttajat ovatkin pienivirtaisia. Kyseinen johdinkoko on pienin, jonka pystyy luotettavasti puristamaan liittimen sisälle. Pienempiä johtimia voi kuitenkin käyttää, kunhan johtimen ja liittimen puristus tehdään oikein. [9, s. 12.]

Ohjainlaitteessa on taustavalo nappeihin, joissa on kaksi kirkkaus asetusta, himmeä ja kirkas. Haluttu valaistus määritetään syöttämällä 12 voltin jännite joko yhteen, jolloin on himmeä, tai kahteen pinniin, jolloin on kirkas valaistus.

### 3.1.3 Liittimet

Cartekin 16-kanavaisen ohjainlaitteen takana on kaksi liittintä ja M6-pultti, joihin johtimet asennetaan. M6-pulttiin tulee virta sisään. Kuluttajien johtimet kytetään AMP 1-77623-1- (musta) ja AMP 1-776231-5- (sininen) liittimillä (kuva 14).



Kuva 14. AMP 1-77623-1 ja AMP 1-77623-5 liittimet ja puristusliittimet [18].

AMP-liittimillä ei ole teknisesti minkäänlaista eroavaisuutta toisiinsa, muuta kuin kotelon väri, joten liittimien tekniset tiedot koskevat kumpaakin liittintyyppiä (taulukko 1). Värillä saadaan varmistettua, että ohjainlaitteeseen kytketään oikea liitin oikeaan paikkaan. Johtimet puristetaan puristusliittimiin Hozan P-706-puristuspihdeillä.

Taulukko 1. Ampseal liittimet [19].

Liitin	AMP 1-776231 / AMP 776164-5
Kuoren väri	AMP 1-776231 sininen AMP 776164-5 musta

Tuotantosarja	AMPSEAL
Rivien lukumäärä	3
Napojen lukumäärä	35
Jako	0,157" (4,00 mm)
Riviväli	0,157" (4,00 mm)
Kontaktin tyyppi	Naaras
Kiinnitystyyppi	Salpalukko
Liittimen tyyppi	Pistotulppa
Asennustyyppi	Vapaasti riippuva (linja)
Tiivistysluokka	IP6K9K
Kontaktin terminointi	Puristin

Kontaktin muoto	Pyöreä
Kontaktin materiaali	Messinki
Kontaktin pintamateriaali	Kulta-palladiumilla
Eristyksen materiaali	Polybutyleenitereftalaatti (PBT)

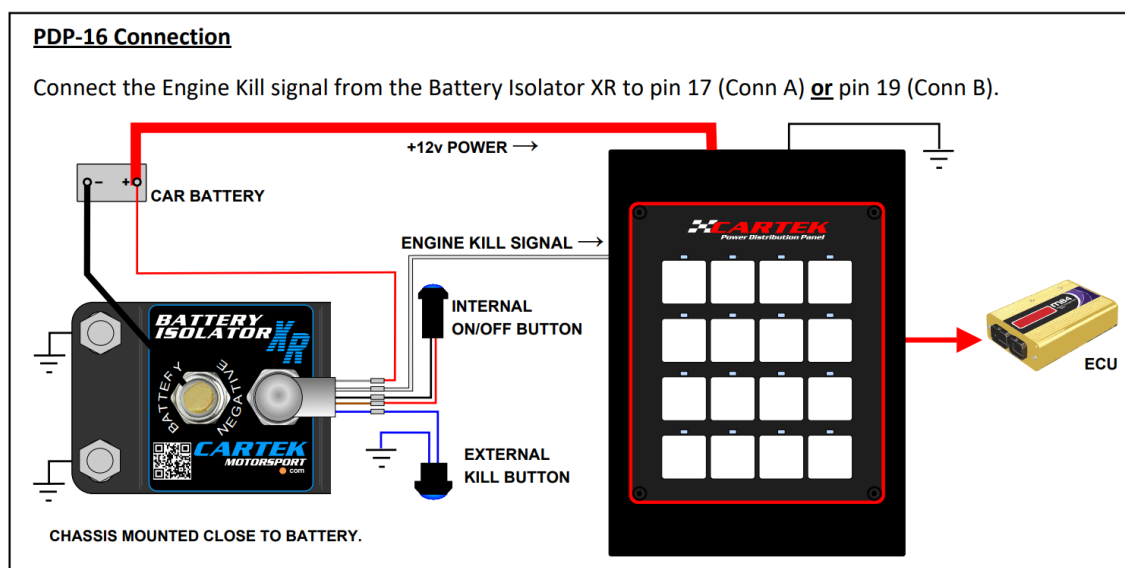
### 3.2 Cartek Battery Isolator XR (kit)

Korisähköjen yhteyteen rakennetaan auton päävirtakatkaisin, joka katkaisee autosta kaikki virrat ja sammuttaa moottorin. AKK:n sääntöjen mukaan päävirtakatkaisimen käytön on oltava mahdollista autossa oleville kuljettajille, sekä auton ulkopuolelta:

13. Päävirtakatkaisimesta on voitava sulkea kaikki virtapiirit (akku, laturi, valot, äänimerkinantolaite, sytytys, sähköiset valvontalaitteet jne), myös moottorin tulee sammua. Diesel-autoissa, joissa ei ole elektronista polttoainesyöttöä, tämän katkaisijan tulee sulkea moottorin ilmansaanti. Katkaisijan on oltava kipinättömästi toimiva ja sitä on voitava käyttää auton sisä- ja ulkopuolelta. Ulkopuolella katkaisin on sijoitettava umpiautoissa tuulilasitolpan alakulman läheisyyteen. Se tulee merkitä valkoreunaisella sinisellä kolmiolla, jonka kanta on vähintään 12 cm, ja jossa on punaisen salaman kuva. Umpiautoissa ulkopuolinen laukaisu on pakollinen. Päävirtakatkaisin on pakollinen kaikissa ryhmissä ja kilpailuissa. [20.]

Päävirtakatkaisimen täytyy kestää suuria virtoja, koska auton kaikki virrat kulkevat tämän kautta. Kyseinen päävirtakatkaisin kestävä hetkellisesti jopa 2000 ampeeria ja jatkuvassa käytössä 550–650 ampeeria. Päävirtakatkaisin asennetaan

mahdollisimman lähelle auton 12 voltin akkua, kahteen maadoituspisteeseen sen kiinnitys rei'istä. Päävirtakatkaisin kytketään auton akun positiiviseen ja negatiiviseen napaan. Katkaisimessa on myös lähtö auton sisälle menevälle päävirtakatkaisimen painikkeelle, sekä ulkopuolen painikkeelle (kuva 15).



Kuva 15. Päävirtakatkaisimen kytkentä [21].

## 4 Ohjainpaneelin ohjelmointi

Kyseisen korisähkö ohjainpaneelin suurena etuna on, ettei sitä tarvitse ohjelmoida tietokoneella ollenkaan, vaan käyttöönotto suoritetaan kokonaisuudessaan itse ohjainpaneelilla. Jokainen kuudestatoista kanavasta voidaan konfiguroida toimimaan yhdestä kahdeksasta valittavasta asetuksesta (Taulukko 2). Näillä kahdeksalla asetuksella saadaan paneelin kautta ohjattavat komponentit toimimaan käyttötarkoituksen mukaisesti.

Asetus 1: Kyseinen asetusta on oletuksena. Lähtö kytkeytyy päälle, kun paneelin nappia painaa kerran. Toiminto saadaan kytkettyä pois päältä uudelleen painamalla samaa nappia. Kyseisellä asetuksella on muisti, joka muistaa edellisen tilansa, vaikka virta olisi katkaistu välissä. Kun virta kytketään takaisin päälle, kanava palaa muistamaansa tilaan, oli se sitten päällä tai pois asennossa. Käyttäen tätä asetusta, sitä ei ole mahdollista yhdistää ECU:n tuloon.

Asetus 2: Asetus on vastaava kuin edellinen, mutta virran katkettua kanava palaa aina pois päältä -tilaan. Tällä asetuksella voidaan ohjata esimerkiksi polttoainepumppua.

Asetus 3: Kanavan lähtö kytkeytyy päälle vain, kun painike on painettuna. Tällä asetuksella ei voi ohjata DIN72552-standardin mukaista käynnistimen napaa 50.

Asetus 4: Kyseisessä asetuksessa on kolmenkymmenen sekunnin ajastin. Paneelin painiketta painettaessa, lähtö kytkeytyy päälle ja pysyy automaattisesti päällä kolmekymmentä sekuntia. Lähtö saadaan kytkettyä kuitenkin pois päältä uudelleen samaa painiketta painettaessa.

Asetus 5: Toimii vastaavalla tavalla kuin edellinen asetetus, mutta tässä ajastin on viisi minuuttia.

Asetus 6: Toimii vastaavalla tavalla kuin edellinen asetetus, mutta tässä ajastin on kymmenen minuuttia.

Asetus 7: Asetusta käytetään suuntavilkuissa. Painetaan etupaneelin painiketta kerran, niin liitetty lähtö vilkkuu. Uudelleen samaa painiketta painettaessa se kytkeytyy pois päältä. Jos molempia saman moduulin painikkeita painetaan samaan aikaan, kytkeytyvät molemman puolen suuntavilkut hätävilkuiksi. Toimintoa voidaan käyttää myös erillisellä hätävilku katkaisimella.

Asetus 8: Asetuksessa vuorottelevat yhden moduulin painikkeet. Jos molemmat saman moduulin painikkeet on kytketty toiminnolle 8, ne vuorottelevat painikkeita painettaessa. Kun painetaan ensimmäistä painiketta, yksi kanava kytkeytyy päälle. Toista saman moduulin painiketta painettaessa, ensimmäinen kanava kytkeytyy pois päältä ja toinen kanava kytkeytyy päälle ja päinvastoin. Toiminto kytketään pois päältä, painamalla aktiivisen kanavan painiketta vielä kerran. Asetusta voidaan käyttää esimerkiksi pyyhkijöiden nopeuden asetusten valintaan.

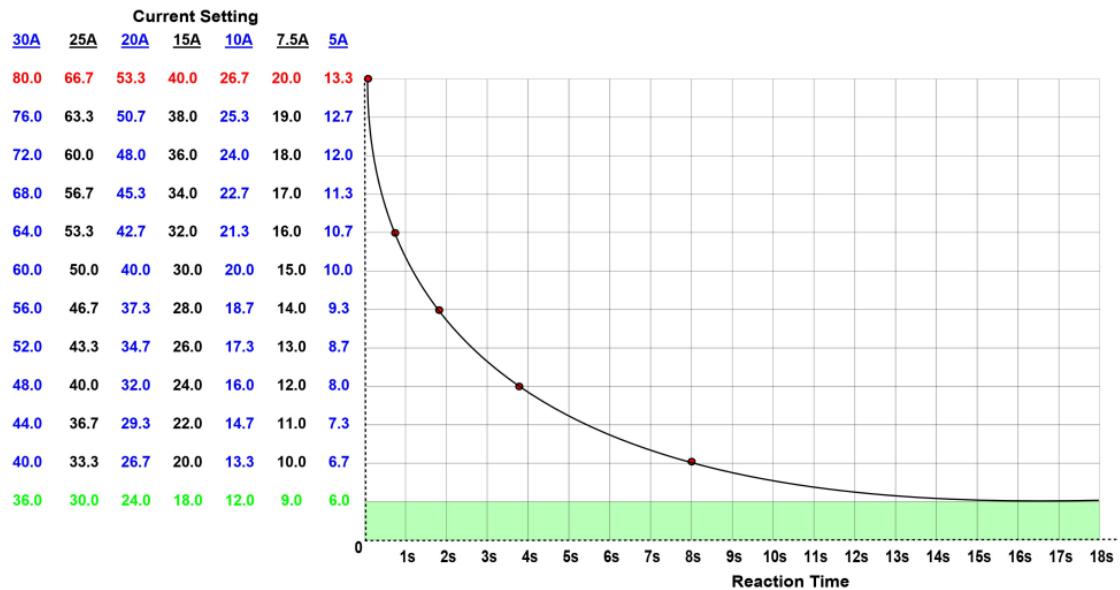
Taulukko 2. Kanavien asetus.

Kanava	Virta asetus	Toiminto	Asetus
A1	4/ 15A	Pyyhkijät hidas	8
A2	4/ 15A	Pyyhkijät nopea	8
B1	4/ 15A	Sytytys	1
B2	4/ 15A	Startti	3
C1	4/ 15A	Sisäpuhallin	1
C2	4/ 15A	Äänimerkki	3
D1	3/ 10A	Jarruvalot	3
D2	3/ 10A	Pissapoika	3
E1	3/ 10A	Oikea vilkku	7
E2	3/ 10A	Vasen vilkku	7
F1	4/ 15A	Polttoainepumppu	3
F2	4/ 15A	Flekti	2
G1		Lisävalo	2
G2		Lisävalo	2
H1	4/ 15A	Lähivalo	8
H2	4/ 15A	Kaukovalo	8

#### 4.1 Vikavirta ja vikatilanteiden hallinta

Kun ohjainpaneeli havaitsee oikosulun tai virran kulutuksessa kasvamisen jonkin rajan yli, kytkee se kyseisen kanavan pois päältä. Tämä toimii siis perinteisen sulakkeen tavoin, millä vältetään mahdollinen johtimien sulaminen tai tuleen syttyminen. Kanavan saa uudelleen käyttöön kytkemällä kanavan pois päältä ja takaisin päälle. Koko järjestelmän nollausta ei tarvitse tehdä. Kanavan katkaisemisen nopeus riippuu vian vakavuudesta. Jos jollakin kanavalla havaitaan liian suuri virran kulutus, alkaa kyseisen kanavan led-valo vilkkumaan aluksi nopeasti, jolla se kertoo havainneensa epänormaalin tilan. Vikatila syntyy, kun virta ylittää 15 prosenttia asetetusta maksimiarvosta. Jos maksimivirta ylittyy vain hieman lyhyeksi ajaksi, vikatila poistuu, ja led-valo lopettaa vilkkumasta, ja kanava pysyy päällä koko ajan. Jos kuitenkin virta kasvaa liian suureksi tai kulutus pysyy liian suurena liian pitkään, kanava sammuu ja led-valo ilmaisee vikatilan kaksoisvilkutuksella. Oikosulkutilanteessa kanava kytkeytyy heti pois päältä ja ilmaisee vikatilan kaksoisvilkutuksella. Esimerkiksi 15A-asetuksella, kanava kestää noin kahdeksan sekuntia 20 ampeerin virtaa, jonka jälkeen se sammuu

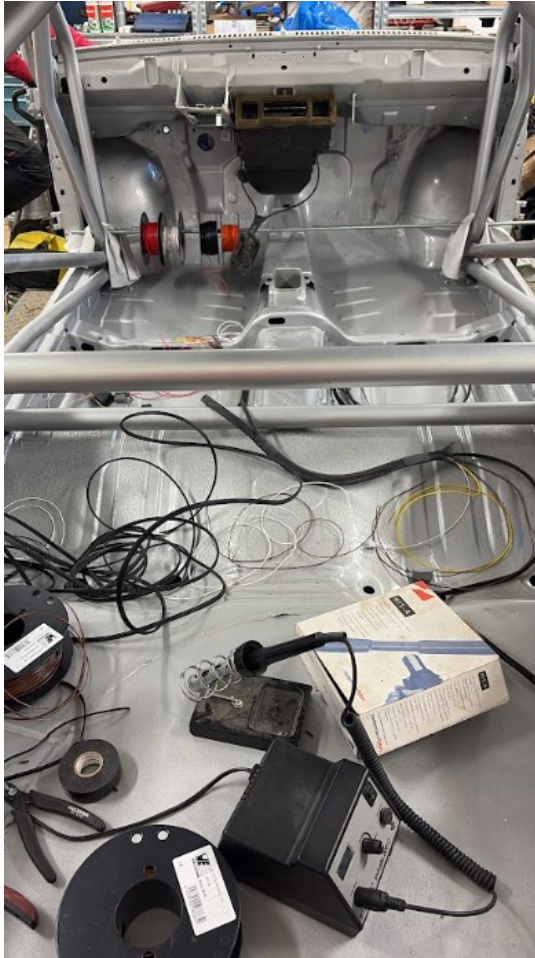
(kuva 16). Mitä suuremmaksi virta kasvaa, sitä nopeammin kanava kytkeytyy pois päältä. [9, s. 9.]



Kuva 16. Kanavan sammuminen liian suuren virran mukaan [9, s. 9].

## 5 Johtosarjan valmistaminen

Johtosarja rakennettiin tyhjään koriin (kuva 17), jossa on vain turvakaaret valmiina. Suunnittelu vaiheessa oli päätetty Cartekin ohjainlaitteen sijainti auton sisällä. Ohjainlaite laitetaan kardaanitunnelin päälle, penkkien väliin, jotta molemmat autossa istuvat ylettävät siihen. Johtimien tarvittava pituus ja kulkureitti oli mitattu suunnittelu vaiheessa, joten johtimet oli helppo tehdä oikean mittaisiksi. Johtimien pituus kuitenkin varmistettiin vielä, sovittamalla johtimet yksittäin auton sisälle.



Kuva 17. Johtosarjan rakennus alkaa.

Johtosarja aloitetaan rakentamalla takavaloille menevät johtimet. Takavaloissa käytetään alkuperäisiä liittimiä, joihin johtimet kytketään. Liittimet oli purettu aikaisemmin alkuperäisestä johtosarjasta ja liitetään nyt uuteen johtosarjaan. Autossa ei ole poikkeuksellisesti peruutusvaloa, mutta kaikki muut normaalit takavalot autosta löytyvät. Vilkku-, parkki- ja jarruvalot tehdään kaikille omat johtimet, jotka kulkevat ohjainlaitteelta taakse asti samassa johtosarjassa.

Samaan takaosan johtosarjaan tehtiin myös polttoainepumpun ja polttoainemittarin johtimet, koska polttoainepumppu sijaitsee auton takaosassa pohjassa, takapenkkien alla. Takavalot ja polttoainepumppu maadoitetaan takapenkkien kohdalla olevaan maadoituspisteeseen.

Auton taakse tulevaan johtosarjaan ei tule muita johtimia joten, johtosarja niputetaan punotun suojasukan sisälle sen ollessa valmiina. Johtosarja lähtee ohjainlaitteelta yhden suojasukan sisältä, josta se haarautuu kuluttajille ja maadoituspisteeseen.

Auton etuosaan rakennetaan muutama johtosarja, jottei liian pitkiä johtimia jouduta rakentamaan. Vasemmalle eteen tehdään johtosarja, jossa on vasemman puolen etuvalot, äänimerkki, moottorin jäähdyttimen puhallin, lasinpesunesteen pumppu. Oikealle eteen johtosarja, jossa on vain oikean puolen valot. Pyyhki-jöille tehdään kokonaan oma johtosarja, jossa on johtimet parkille sekä, hitaalle ja nopealle asennolle.

Ohjaustehostin ja kojelauta sovitettiin paikoilleen (kuva 18), jotta varmistettiin, ettei suunnitteluvaiheessa olla mietitty mitään, mikä ei ole mahdollista toteuttaa. Kojelautaan tulee kiinni sisäpuhaltimen säätörulla, jonka johtimien pituus tarkastettiin vielä. Auton ratti tulee vielä vaihtumaan tulevaisuudessa, mutta rattiin tulevat johtimet hahmoteltiin paikoilleen.



Kuva 18. Ohjaustehostin ja kojelauta sovitettuna paikoilleen.

Johtosarjan kytkeminen jää kesken moottoritilan osalta, koska autosta puuttuu moottori kokonaan, joten generaattorin ja starttimoottorin kytkentää ei vielä tehdä. Näiden johtimet ovat kuitenkin valmiiksi suunniteltu ja asennetaan autoon, kun tekniikka on saatu autoon laitettua. Aikaa kuluu vielä runsaasti muun auton rakentamisessa, jotta tekniikka on autossa paikoillaan, joten rajataan generaattorin ja starttimoottorin kytkentä työstä pois. Johtimet kuitenkin tehdään valmiiksi kyseisille kuluttajille, jotta nämä saadaan kytkettyä helposti, kun kaikki on autossa muuten valmiina. Auton etuosan johtosarjaa ei myöskään asenneta autoon vielä, koska auton etuosa joudutaan purkamaan vielä. Lisävaloja ei ole autoon vielä ostettu, joten niiden kytkeminen jää, myös myöhemmäksi.

## 6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa uusi, nykyaikainen korisähköjärjestelmä F-ryhmän Opel Corsa A -kilpa-autoon. Tavoitteena oli lisätä järjestelmän luotettavuutta, keventää johtosarjaa, parantaa vianetsintämahdollisuuksia ja mahdollistaa muunneltavuus tulevaisuuden tarpeita varten. Työssä kartoitettiin vanhan sähköjärjestelmän haasteet, suunniteltiin uusi korijohtosarja hyödyntäen Cartekin PDM-ohjainlaitetta sekä toteutettiin sähköjärjestelmä käytännössä, siltä osin kuin se oli tässä kohtaa mahdollista.

Työn aikana havaittiin, että perinteisistä sulakkeista ja releistä luopuminen mahdollistaa selkeämmän ja huoltovarmemman sähköjärjestelmän, erityisesti moottoriurheilun vaativissa olosuhteissa. Suunnitteluprosessin aikana arvioitiin kuorimituksia, johtimien mitoitusta, maadoituksia ja liittimien kestoa.

Ilman tätä työtä ei olisi saatu kattavaa dokumentaatiota kilpa-auton sähköjärjestelmän uudistamisesta Cartekin PDM-ohjainlaitetta hyödyntäen. Joitain yksityiskohtia, kuten järjestelmän pitkäaikaiskestävyys kilpailuolosuhteissa, jäi vielä seurannan ja testauksen varaan, mikä tarjoaa mahdollisuuden

jatkotutkimukselle. Tulevaisuudessa tutkimusta voisi jatkaa esimerkiksi järjestelmän laajentamisella muihin ajoneuvon toimintoihin.

Insinööriyöprosessin aikana opittiin laajasti sekä autosähkötekniikkaa että projektinhallintaa, etenkin suunnittelun, käytännön toteutuksen ja dokumentoinnin yhteensovittamista. Työn tuloksia voidaan hyödyntää suoraan kyseisessä kilpa-autossa, mutta ne toimivat myös mallina vastaavia järjestelmiä suunnitteleville.

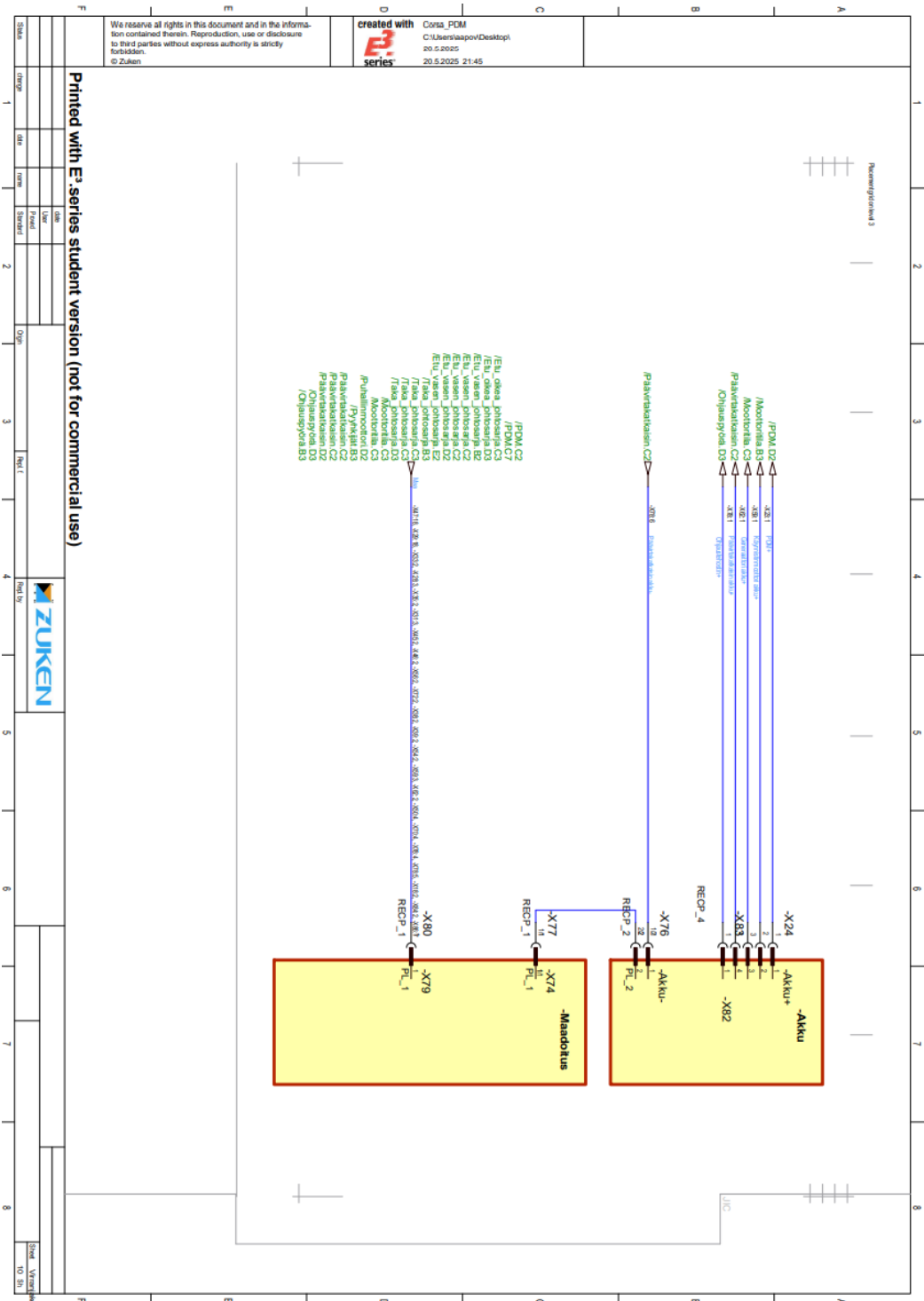
## Lähteet

- 1 How car electrical systems works. <<https://www.howacarworks.com/basics/how-car-electrical-systems-work>>. Luettu 14.1.2025.
- 2 Robert Bosch. 2002. Autoteknillinen taskukirja, 6.painos. Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- 3 The next generation of Power Distribution. 2024. Power Distribution Panel. Verkkoaineisto. <<https://www.cartekmotorsport.com/power-distribution-panel/>>. Luettu 18.11.2024.
- 4 Safety and Star grounding. Verkkoaineisto. <<https://www.loopslooth.com/Safety%20&%20Star%20Gnd.html>>. Luettu 28.4.2025.
- 5 Motonet. 2025. Abiko A1543R Rengasliitin 4,3 mm punainen 100kpl. Verkkoaineisto. <<https://www.motonet.fi/tuote/abiko-a1543r-rengasliitin-43mm-punainen-100kpl?product=48-7240>>. Luettu 28.4.2025.
- 6 Laadukas tinattu CU-putkikaapelikenkä ilman tarkastusikkunaa. 2025. CU- Putkikaapelikenkä. Verkkoaineisto. <[https://eshop.wurth.fi/Kategoriat/CU-putkikaapelikenkae-tarkastus-ikkunaton/31065506030604.cyid/3106.cgid/fi/FI/EUR/?pgid=QXj\\_KNZ3sBoYM52cj0GOG-BDp0000RAu6hSz4;sid=bHEL3znsU0o631HFx4qH1MnmAi5N9fHEIewOmmS.](https://eshop.wurth.fi/Kategoriat/CU-putkikaapelikenkae-tarkastus-ikkunaton/31065506030604.cyid/3106.cgid/fi/FI/EUR/?pgid=QXj_KNZ3sBoYM52cj0GOG-BDp0000RAu6hSz4;sid=bHEL3znsU0o631HFx4qH1MnmAi5N9fHEIewOmmS.)>. Luettu 10.5.2025.
- 7 Wurth. 2025. EC100 Biopuhdistaja. Verkkoaineisto. <<https://eshop.wurth.fi/Kategoriat/Pintapuhdistusaine-joka-ei-jaetae-jaeaemiae/31063007040629.cyid/3106.cgid/fi/FI/EUR/?CampaignName=SR007&VisibleSearchTerm=ec100>>. Luettu 10.5.2025.
- 8 Wurth. 2025. Punottu suojasukka. Verkkoaineisto. <<https://eshop.wurth.fi/Punottu-suojasukka-SUOJASUKKA-PUNOTTU-180-260MM-10M/0771470020.sku/fi/FI/EUR/>>. Luettu 10.5.2025.
- 9 Cartek Motorsports Electronics. 12.2.2019. Power Distribution Panel. Verkkoaineisto. <<https://www.cartekmotorsport.com/wp/wp-content/uploads/2023/01/CARTEK-POWER-DISTRIBUTION-PANEL-Instructions-4.pdf>>. Päivitetty 19.5.2025. Luettu 19.5.2025.
- 10 12 Volt Wiring: Wire Gauge to Amps. Verkkoaineisto. <<https://www.of-froaders.com/technical/12-volt-wiring-tech-gauge-to-amps/>>. Luettu 13.4.2025.

- 11 AKK-Motorsport ry. 2025. Auton tekniset määräykset ja kuljettajien ajo-varusteet liite J. Verkkoaineisto. <[https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1930/akk\\_16\\_tekniset\\_2025\\_25042025.pdf](https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1930/akk_16_tekniset_2025_25042025.pdf)>. Luettu 23.3.2025.
- 12 Eroaverkosta.com. Hi-Flex 16-50mm<sup>2</sup> yksinapainen asennuskaapeli. Verkkoaineisto. <<https://eroaverkosta.com/product/107/hi-flex-16-50mm-yksinapainen-asennuskaapeli>>. Luettu 8.2.2025.
- 13 Metalsupermarkets.com. 19.1.2022. What is Oxygen Free Copper?. Verkkoaineisto. <<https://www.metalsupermarkets.com/what-is-oxygen-free-copper/>>. Luettu 8.2.2025.
- 14 Elandcables.com. FLRY A Cable. Verkkoaineisto <<https://www.eland-cables.com/media/39786/flry-a-cables.pdf>>. Luettu 8.2.2025.
- 15 Cartek Motorsports Electronics. 2024. Cartek Motorsport Electronics. Verkkoaineisto. <<https://www.cartekmotorsport.com/>>. Luettu 18.11.2024.
- 16 Cartek Motorsports Electronics. 2024. Cartek PDM. Verkkoaineisto. <[https://cartekelectronics-15a42.kxcdn.com/imagecache/a6894d2a-9de9-43e8-bd87-a83a00e36b00/PDP-16-006\\_666x1000.jpg](https://cartekelectronics-15a42.kxcdn.com/imagecache/a6894d2a-9de9-43e8-bd87-a83a00e36b00/PDP-16-006_666x1000.jpg)>. Luettu 18.11.2024.
- 17 RTE Motorsport. Kytkinpaneeli / PDM – Cartek PDP-8. Verkkoaineisto. <<https://rtemotorsport.net/product/11099/kytkinpaneeli--pdm---cartek-pdp-8#ProductReadmore>>. Luettu 20.4.2025.
- 18 RTE Motorsport. Liitinsarja Kytkinpaneelin Cartek PDP-LF. Verkkoaineisto. <<https://rtemotorsport.net/product/10816/liitinsarja-kytkinpaneeliin---cartek-pdp-lf>>. Luettu 20.4.2025.
- 19 Digikey. 776164-1. Verkkoaineisto. <<https://www.digikey.fi/fi/products/detail/te-connectivity-deutsch-ict-connectors/776164-1/2183727>>. Luettu 20.4.2025.
- 20 AKK-Motorsport ry. 2025. Rallin Lajisäännöt. Verkkoaineisto. <[https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1930/akk\\_12\\_ralli\\_2025\\_25032025.pdf](https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1930/akk_12_ralli_2025_25032025.pdf)>. Luettu 23.3.2025.
- 21 Cartek Motorsports Electronics. 2024. Cartek Battery Isolators. <<https://www.cartekmotorsport.com/battery-isolators/>>. Luettu 28.12.2024



Printed with E<sup>3</sup> series student version (not for commercial use)



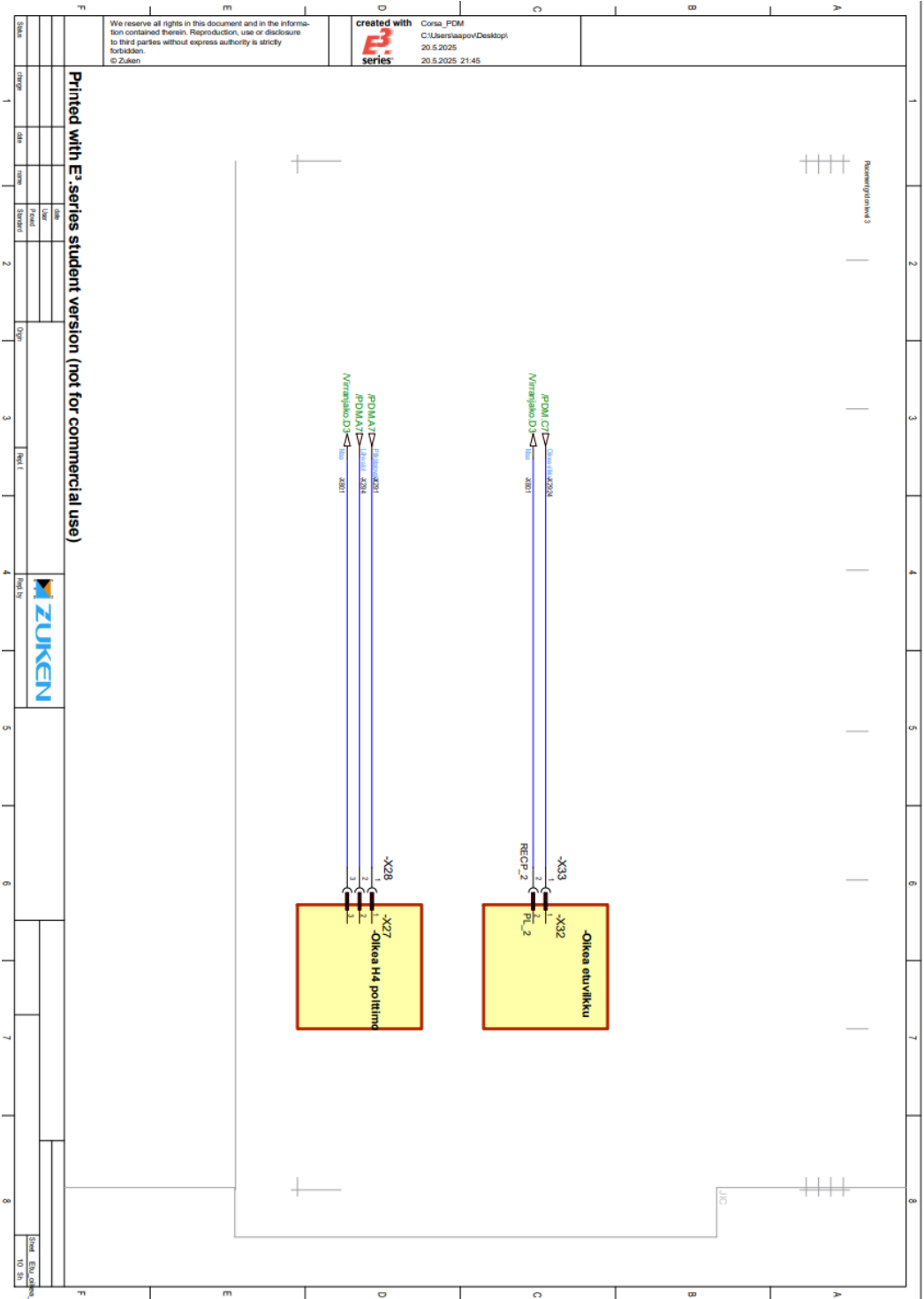
Printed with E<sup>3</sup> series student version (not for commercial use)

Sheet	10	of	50
Printed by	ZUKEN		
Printed on	10.05.2025 21:45		

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 forbidden.  
© Zuken

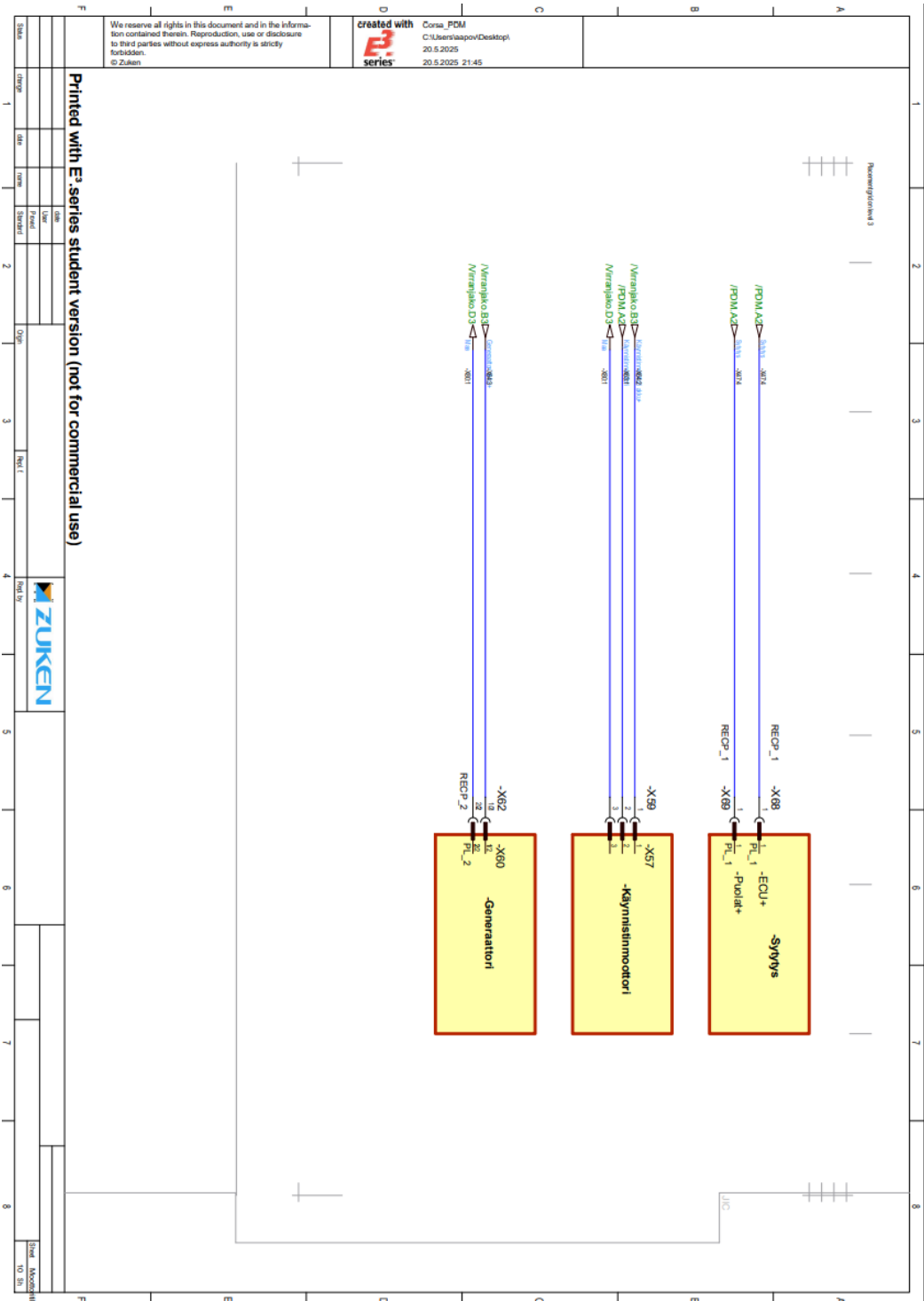
created with  
**E<sup>3</sup> series**  
Consa\_PDM  
C:\Users\jaapov\Desktop  
20.5.2025 21:45

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





Printed with E<sup>3</sup> series student version (not for commercial use)



Printed with E<sup>3</sup> series student version (not for commercial use)

Sheet	10	of	50
Printed by	ZUKEN		
Printed on	10/10/2025	10:51	

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 forbidden.  
© Zuken

created with  
**E<sup>3</sup>**  
series

Corsa\_PDM  
C:\Users\haapov\Desktop  
20.5.2025  
20.5.2025 21:45

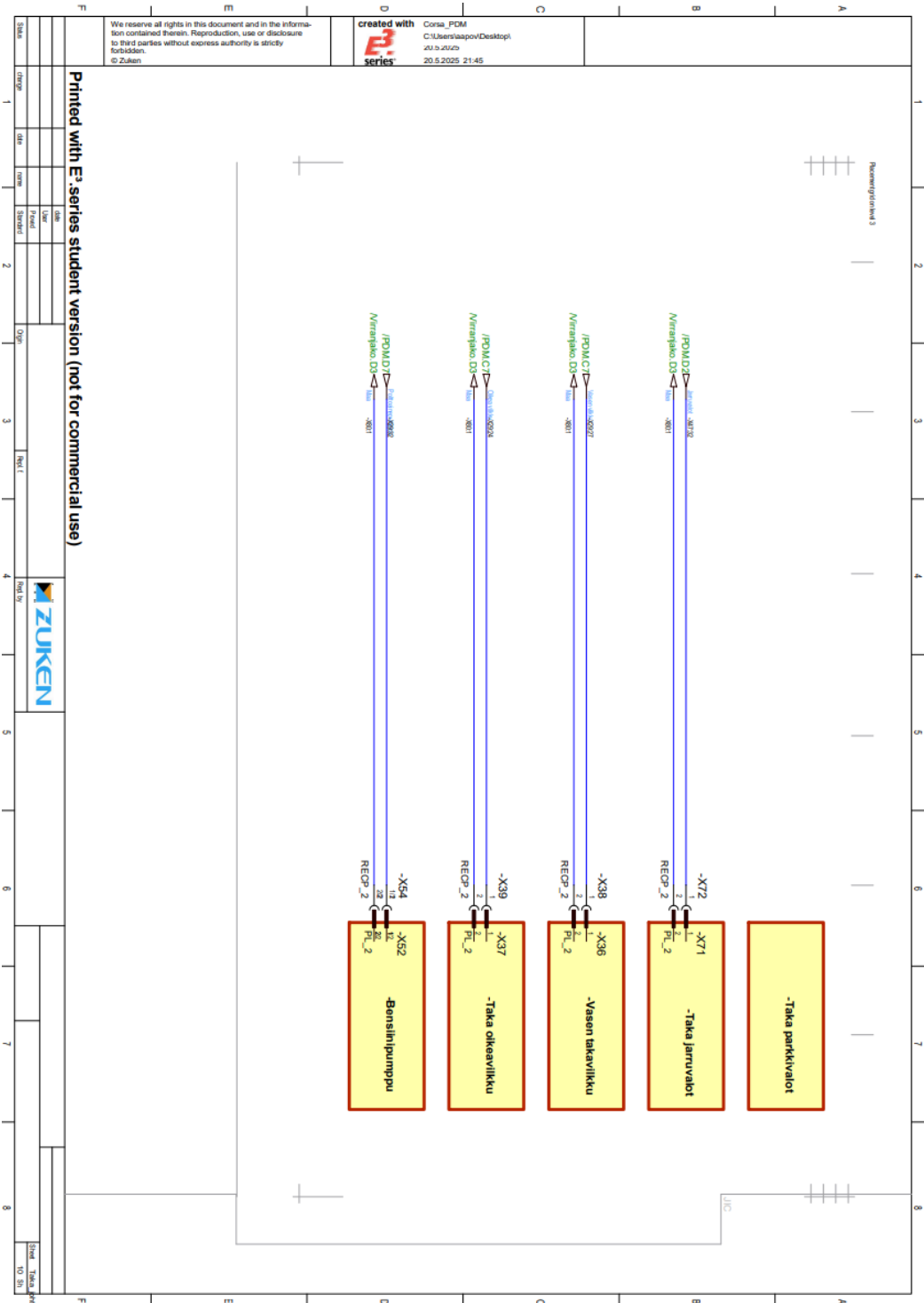








Printed with E3 series student version (not for commercial use)



## Johtimien poikkipinta-alat

Kuluttaja	Johtimien pituus(m)	Maksimi teho(W)	Maksimi virran kulutus(A)	Jännite(V)	Vastus(R)	Resistivisyys(Cu)	Johtimen laskennallinen poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>	Johtimen todellinen poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>	Maksimijännitehäviö 2%
Bensaumpu	1,7	204	17,35	12	0,01	0,0185	2,27	2,5	0,24
Pyrkijät	1,4	80	6,80		0,04		0,73	1	
Tootti	1,4	50	4,25		0,06		0,46	0,5	
Sisäpuhallin	2	22	1,87		0,13		0,29	0,35	
Fiekti	2,4	78	6,63		0,04		1,23	1,5	
Sartti	2,1	900	76,53		0,00		12,39	25	
2x Lisävalo	2,9	200	17,01		0,01		3,80	6	
VE parkki	1,9	5	0,43		0,56		0,06	0,35	
OE parkki	3,1	5	0,43		0,56		0,10	0,35	
Takaparkki (2kpl)	3,3	10	0,85		0,28		0,22	0,35	
OE vilkku	3,1	21	1,79		0,13		0,43	0,5	
OT vilkku	3,3	21	1,79		0,13		0,45	0,5	
VE vilkku	1,9	21	1,79		0,13		0,26	0,35	
V7 vilkku	3,3	21	1,79		0,13		0,45	0,5	
OE lähvalo	3,1	55	4,68		0,05		1,12	1,5	
VE lähvalo	1,9	55	4,68		0,05		0,68	0,75	
Lasinpesu neste pumppu	1,5	60	5,10		0,05		0,59	0,75	
Ohjaustehostin	1,2	480	40,82		0,01		3,78	4	
Akku -> päävirtakatkaisin	0,7	1388	118,03				6,37	25	
Akku -> Carek PDM	1	908	77,21				5,95	25	