

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2021

Oula Hietala

# KILPA-AUTON SÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELUPERUSTEET

– Historic-ralliauto

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Marraskuu 2021 | 44 sivua

Oula Hietala

# KILPA-AUTON SÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELUPERUSTEET

- Historic-ralliauto

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi kilpa-auton sähköjärjestelmän suunnitteluperusteita. Työhön on valittu lähemmin tarkasteltavaksi eräs Historic-ralliauto, joka on otettu esimerkiautoksi lajin autojen sähkötekniikasta. Työn tavoite on antaa lukijalle kattava käsitys kilpa-autojen sähköjärjestelmän suunnitteluun liittyvistä ominaispiirteistä.

Työssä perehdytään FIA:n ja AKK-Motorsport ry:n laatimiin teknisiin sääntöihin, joita Historic-ralliauton on noudatettava. Lisäksi työhön kuuluu pohdintaa siitä, miltä osin auton käyttäjän näkemykset, toiveet ja vaatimukset on otettava auton tekniikassa huomioon. Työssä tullaan lisäksi perehtymään Historic-lajiin sekä sen erityispiirteisiin. Työssä käydään läpi kilpa-autojen ja myös Historic-ralliauton sähkötekniikkaa, sekä vertaillaan niitä hieman tieliikennekelpoisten autojen sähkötekniikkaan.

ASIASANAT:

kilpa-auto, sähköjärjestelmät, suunnittelu, ralliautot, moottoriurheilu

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

November 2021 | 44 pages

Oula Hietala

# THE DESIGNING BASICS OF A RACING CAR'S ELECTRICAL SYSTEM

- Historic Rally Car

This thesis goes through the designing basics of a racing car's electrical system. One Historic rally car has been chosen as an example car to illustrate the electrical technology of Historic rally cars. The goal of this thesis is to provide the reader a comprehensive view of the special features related to the designing of an electrical system to a racing car.

The thesis includes orienting the rules made by FIA and AKK-Motorsport ry, which the car needs to follow. The thesis also contains thinking of how the wishes, views and requirements of the car's user must be taken into account considering the car's technology. This thesis includes orientating into Historic as a motorsport genre and its special features, and goes through the electrical technology of a race car and a Historic-rally car. The thesis also includes some comparison between the electrical systems of a racing car and a road car.

KEYWORDS:

Race car, Electrical systems, Designing, Rally car, Autosport

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 ESIMERKKIAUTO</b>	<b>7</b>
<b>3 HISTORIC LAJINA</b>	<b>9</b>
3.1 Historic Suomessa ja maailmalla	9
3.1.1 Historic Suomessa	9
3.1.2 Historic maailmalla	11
<b>4 SÄÄNNÖT</b>	<b>12</b>
4.1 Sääntöjä laativat toimielimet	12
4.2 FIA:n säännöt	13
4.3 AKK-Motorsport ry:n säännöt	15
4.4 Suomen lainsäädäntö	16
4.5 Historic Technical Passport	17
<b>5 KILPA-AUTON SÄHKÖJÄRJESTELMÄ KÄYTTÄJÄN NÄKÖKULMASTA</b>	<b>19</b>
5.1 Siirtymät tieliikenteessä	19
5.2 Mukavuudentarve	19
5.3 Yksittäisiä karsimiskohteita	20
5.4 Yksittäisiä lisäyksiä	21
<b>6 KILPA-AUTON SÄHKÖTEKNIikka</b>	<b>23</b>
6.1 Kilpa-auton sähköjärjestelmä	23
6.2 Nimellisjännite	24
6.3 Johtosarjat ja johtimet	24
6.3.1 Liittimet	26
6.4 Tiedonvälitys	30
6.5 Moottori	32
6.5.1 Akku ja generaattori	33
6.5.2 Polttoaineen syöttöjärjestelmä	35
6.5.3 Sytytystulpat ja -puolat	36
6.5.4 Sytytyksen ohjaus	38
6.6 Päävirtakatkaisin	39
6.7 Kilpa-auton sähkötekniikka ylläpidon näkökulmasta	41

<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>42</b>
---------------------	-----------

<b>LÄHTEET</b>	<b>43</b>
----------------	-----------

## **KUVAT**

Kuva 1. Opel Kadett E GSI edestä (FIA 2021a).	7
Kuva 2. Opel Kadett E GSI takaa (FIA 2021a).	7
Kuva 3. Vuoden 1984 Renault 5 Maxi Turbo, jossa edessä kahdeksan valonheitintä (Supercars 2021).	16
Kuva 4. Deutsch DTP -liittimiä (TE Connectivity 2021a).	27
Kuva 5. Deutsch AS -sarjan liittimiä (TE Connectivity 2021b).	27
Kuva 6. Erilaisia liittimiä, kuvassa myös tihkurele, Opel Kadett E GSI (Jänne 2021).	28
Kuva 7. Kutistesuojattuja Abiko-liittimiä erikokoisille johtimille (AM-Asennus 2021).	29
Kuva 8. Opel Kadettin mittaristo kehyksineen (Jänne 2021).	30
Kuva 9. Yhdistelmämittari, jossa moottorin kierrosluvun mittari sekä näyttö muille moottorimittausten arvoille (DDesign 2021).	31
Kuva 10. Smiths:n öljynpainemittari (Merlin Motorsport 2021).	31
Kuva 11. Sinco Tech:n nestekidenäyttö (Race Car Gauge 2021).	31
Kuva 12. Päävirtakatkaisin (Jänne 2021).	40

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Historic-ralliautojen ikäluokitukset.	13
---	----

# 1 JOHDANTO

Suomessa ja maailmalla on jo pitkään ajettu kilpaa vanhoilla, modernista kilpa-autoilusta poistetuilla autoilla tai kilpakäyttöön muokatuilla liikennekäyttöisillä ajokeilla. Tämä erityinen autourheilulaji on saanut nimekseen ”Historic”. Näytösajomaisia Historic-kilpailuja järjestetään erityyppisillä ja -tasoisilla kilparadoilla ja lajin kirjo on myös kaluston osalta laaja. Historic-kilpailuja voidaan ajaa niin Suomen kapeilla rallipoluilla vanhalla 1960-luvun Fordilla kuin maailmankuululla moottoriradalla vanhalla Formula 1 -autolla.

Suomessa Historic-nimen alla järjestetään useita kilpasarjoja, niin ralli- kuin rata-autoilunkin puolella. Historic-kuumeen myötä Suomessa toimii myös useita erilaisia Historic-yhdistyksiä. Myös muualla maailmassa järjestetään Historic-aiheisia kilpailuja hyvin monenlaisella kalustolla. Rata-autoilun puolella ajetaan muun muassa vanhoilla Formula 1 -autoilla kilpaa tunnetuilla moottoriradoilla, kuten vaikkapa Monza:n moottoriradalla Italiassa.

Tässä työssä keskitytään pääasiassa Historic-ralliautoiluun ja pysytään pääosin Suomen rajojen sisäpuolella. Työ sisältää myös pohdintaa Historic-ralliautojen ikien ja laajan ikähaitarin vaikutuksesta niiden sähkötekniikkaan ja sähkötekniisten ratkaisujen monimuotoisuuteen. Työssä on nostettu esimerkiksi Opel Kadett -merkinen Historic-ralliauto. Autojen ikähaitarin laajuudesta johtuen niiden tarkastelusta ja keskinäisestä vertailusta saa melko kattavan käsityksen autojen sähkötekniisten ratkaisujen ja menetelmien kehityskulusta.

Historic-ralliauton sähköjärjestelmän suunnitteluvaiheessa kilpailulajia varten laaditut tekniset säännöt on oltava tiedossa. Sääntöjen problematiikkaa lisää se, että sääntöjä laativia toimielimiä voi olla useampi kuin yksi. Tällöin kaikkia sääntöjä ei välttämättä löydä yhdestä paikasta ja niiden tulkinta voi tuntua vaikealta.

Paitsi säännöt, myös kuljettajan tarpeet ja mieltymykset on syytä huomioida sähköjärjestelmän rakentamisessa. Näin autosta saadaan myös sähköjärjestelmän osalta kuljettajalle mahdollisimman sopiva. Ennen kaikkea kuljettajan ajotyylillä on tärkeä osa-alue, johon sopivaksi autoa voidaan oikeilla ratkaisuilla muokata. Tämä osaltaan lisää auton ja kuljettajan yhteistyön sujuvuutta ja parantaa siten menestymismahdollisuuksia.

## 2 ESIMERKKIAUTO

Opinnäytetyöhön on valittu esimerkki-autoksi Opel Kadett-E GSI tarkastelun alle (Kuva 1 ja 2). Auto on vuosimallia 1994, siis 26 vuotta vanha. Kyseinen malli on niittänyt omalla aikakaudellaan menestystä Suomessa ajetuissa rallisarjoissa.



Kuva 1. Opel Kadett E GSI edestä (FIA 2021a).



Kuva 2. Opel Kadett E GSI takaa (FIA 2021a).

Vuonna 1990 Opel Kadett GSI:llä voitettiin A-ryhmän enintään 2-litraisten sarjan mestaruus, samoin vuonna 1991. Seuraavana vuonna Opel Kadett GSI -autoilla saavutettiin N-ryhmän enintään 2-litraisten mestaruus ja 1992 vielä A-ryhmän alle 2-litraisissa kaksi ensimmäistä sijaa. Opel Kadett GSI -mallien menestys painottuu 1990-luvun alkupuolelle, mutta vielä vuonna 1996 kyseisellä autolla voitettiin N-ryhmän enintään 2-litraisten

sarjan mestaruus. Lisäksi vuosikymmenen loppupuolella autolla saavutettiin muitakin yksittäisiä mitalisijoja eri sarjoista, mutta 1990-luvun loppua kohden Opel Astra GSI -autot menestyivät Kadett GSI -autoja paremmin. (Nylund 1999, 137–142.)

Yleisesti ottaen esimerkkiauto sisältää moneen muuhun Historic-ralliautoon verrattuna varsin paljon sähkötekniikkaa. Koska auto on Historic-autoksi verraten uusi, on sähkötekniikan suhteellisen suuri osuus auton tekniikasta luonnollista. Tarkasteltavassa autossa on elektroninen polttoaineen ruiskutusjärjestelmä. Polttoaineen mittausjärjestelmä toimii niin ikään sähköisesti. Polttoaineen ruiskutusjärjestelmän mittaamisessa käytetään ilmamassamittaria sekä ohjainyksikköä, bensiinisuuttimet on sijoitettu imusarjaan.

Elektroninen polttoaineen ruiskutusjärjestelmä ei ole Historic-ralliautoissa kovinkaan yleinen ratkaisu autojen ikähaitarin uusimman pään ulottuessa 1990-luvun puoliväliin. Näin ollen elektronista polttoaineen ruiskutustekniikkaa on käytössä vain uusimmissa autoissa. Merkittävässä osassa Historic-autoja on käytössä kaasutin.

## 3 HISTORIC LAJINA

Historic on nimensä mukaisesti autourheilulaji, jossa ajetaan kilpaa vanhoilla ajoneuvoilla. Historic ei rajoitu pelkästään ralliautoiluun, vaan myös esimerkiksi eri formulaluokkien vanhoilla ajokeilla ajetaan Historic-kilpailuja. Lajina Historic on sikäli poikkeuksellinen, että muissa autourheilulajeissa harvoin kilpaillaan teknisesti niin erilaisilla autoilla kuin Historicissa. Laji tarjoaa siten myös eräänlaisen läpileikkauksen autojen tekniikan kehityksestä vuosikymmenten saatossa. Tosin Historicista jäävät auttamattomasti pois kaikkein vanhimpien aikakausien autot. Tästä huolimatta eri-ikäisten autojen kokoontuessa vierä viereen varikolle voi autoja tarkemmin tutkimalla helposti havaita, miten erinäiset tekniset ratkaisut ovat ajan edetessä kehittyneet. Samalla voi tarkastella sitä, mikä eri aikakausilla on ollut autoissa "trendikästä".

Historic-autojen kohdalla auton tekniikan kehitys on mielenkiintoinen kysymys. Muissa kilpa-autolajeissa autojen tekniikkaa pyritään kehittämään ja viemään eteenpäin, mutta Historicin kohdalla se ei ole pyrkimys. Pikemminkin tässä lajissa pyritään päinvastoin pitämään autojen tekniikka niin alkuperäisenä ja "vanhanaikaisena" kuin mahdollista. Historicissa autojen tekninen kehitys on lähinnä sitä, että ajan kuluessa myös uudet autot vanhentuvat. Tämä johtaa siihen, että Historic- autoiksi hyväksyttävien autojen vuosilukuhaitari menee eteenpäin uudempaan suuntaan. Tällöin autokanta lajissa uudistuu, ja Historic-autojen tekniikan voidaan sitä kautta sanoa kehittyvän. Esimerkiksi vuonna 2020 valmistetut autot voidaan ikänsä puolesta luokitella vuonna 2050 Historic-autojen määritelmät täyttäväksi.

### 3.1 Historic Suomessa ja maailmalla

#### 3.1.1 Historic Suomessa

Suomessa ajettavassa Historic-sarjassa kilpaillaan Kansainvälisen Autoliitto FIA:n (Federation Internationale de l'Automobile) sääntöjen mukaan. Historic-autot on jaettu niiden ikien mukaan neljään luokkaan. Ikähaarukka ulottuu noin 30-vuotiaista autoista aina lähes sadan ikävuoden saavuttaneisiin autoihin asti. Säännöt määrittelevät, että Historic-autojen on oltava luokitellut uusimmillaan vuosina 1969, 1975, 1981 sekä 1990. Autoja

on jaoteltu niiden ikäluokkien lisäksi omiin luokkiinsa viritysasteiden sekä moottorin isku-tilavuuksien mukaan. Autoja ei ole tarvinnut rakentaa luokitusvuonna, vaan ne on voitu valmistaa myöhemminkin. Tästä huolimatta niiden täytyy vastata aikakautensa mukaista luokitusta (Itkonen ym. 2018, 145). Opinnäytetyön esimerkki-auto Opel Kadett on valmistettu vuonna 1994, mutta se vastaa vuoden 1990 luokitusta.

Tällä hetkellä nykyisiä ikäluokkia pidetään niin sanotusti ”jäädetytinä” useaksi vuodeksi eteenpäin, jotta myös vanhemman aikakauden autoilla ajettaisiin tulevaisuudessakin rallia. Vanhimmasta päästä olevien kilpa-autojen katoaminen Historic-rallikilpailuista onkin ollut lajin suurimpia ongelmia ja huolenaiheita paitsi Suomessa, myös muualla maailmassa. Suomessa harrastajia on pyritty aktivoimaan kehittelemällä uusia Historic-luokkia. Tavoitteena uusien luokkien luomisella on tarjota jokaiselle harrastajalle oma sopiva luokkansa. Toiminnan tarkoituksena onkin pitää autoja kilpailuissa mukana, jotta ne eivät jäisi pelkästään museoihin tai autotalleihin.

Historic-kilpailujen suosion kasvaessa niiden kaluston kysyntä on kasvanut. Kysynnän kasvun myötä myös kaluston hinta on myös noussut. Suomen kohdalla tästä on seurannut runsas Historic-autojen myynti ulkomaille. Suomesta myydään joka vuosi kymmeniä FIA-passin omaavia Historic-autoja ulkomaille. Tätä Historic-autojen ”vuotoa” ulkomaille paikkaa osittain se, että lajin harrastajat rakentavat myytyjen autojen tilalle uutta kalustoa. Tästä huolimatta Historic-autojen määrä Suomessa on viime vuosina vähentynyt. Ongelmaa selittää se, että Suomen kulttuuri autojen rakentamisen suhteen on hyvällä pohjalla, mutta autonrakennustyö ei saa osakseen riittävää arvostusta. Tämä taas johtaa alhaisiin hintapyyntöihin. Monessa muussa maassa ostajat ovat valmiita maksamaan kalustosta enemmän. (Itkonen ym. 2018, 214.)

Suomessa Historic-rallit ovat tunnetumpia, kuin Historic-ratakilpailut. Muualla maailmassa asetelmat ovat pääsääntöisesti juuri päinvastoin ja arvioiden mukaan suurin osa Historic-nimen alla ajettavista kilpailuista on ratakilpailuja (Itkonen ym. 2018, 213.) Suomi tarjoaa harvaan asuttuna maana rallikilpailuille hyvät lähtökohdat, sillä Suomesta löytyy paljon rallikilpailuihin sopivia, hyvinkin vähäisessä käytössä olevia syrjäisiä teitä.

### 3.1.2 Historic maailmalla

FIA kuvailee Historic-rallien EM-sarjan toimivan eräänlaisena aikakoneena lajista kiinnostuneille. On huomioitava, että vaikka Historic-rallikilpailuissa näkee kattauksen samaan aikaan monista eri autoista eri vuosikymmenten varrelta sekä eri luokista, kyseiset autot eivät kuitenkaan ole omalla aikakaudellaan kilpailleet samoissa kilpailuissa.

FIA:n hallinnoima European Historic Sporting Rally Car Championship on jo lähes 30 vuotta vanha, sen juuret ulottuvat vuoteen 1992 saakka. On kuitenkin mainittava, että Etelä- ja Keski-Euroopassa Historic-ralleilla on huomattavasti pitempi historia. Euroopan mestaruussarjan Suomen osakilpailu on ajettu Lahden lähikunnissa noin 20 kertaa. Myös sitä ennen Suomessa on ajettu EM-osakilpailuja Jyväskylän lähiympäristössä usean vuoden ajan. Lahden osakilpailu on pysynyt mukana siitäkkin huolimatta, että osakilpailujen kokonaismäärä on pudonnut vuosien saatossa lähes puoleen. Osakilpailujen vähentämisen tavoitteena FIA:lla on vähentää kilpailijoille aiheutuvia kustannuksia sekä lisätä mielenkiintoa sarjaa kohtaan. Lisäksi rallien sekä erikoiskokeiden pituuksia on lyhennetty, jotta yhä vanheneva rallikalusto säästyisi. (Itkonen ym. 2018, 143.)

Rata-autoilun puolella Historicin alle kuuluu lukuisia eri luokkia. Muun muassa FIA ylläpitää omaa Historic-sarjaansa, jossa kilpaillaan Formula 1 -autoilla, Formula Junior -autoilla sekä 1960-luvun kilpaurheiluautoilla (Itkonen ym. 2018, 213). Lisäksi mainittakoon esimerkkinä Hill Climb -kilpailut, joissa ajetaan Historic-autoilla mäkisiä, mutkaisia tieosuuksia pitkin (FIA 2020).

FIA:n valvomien Historic-kilpailuiden ohella ajetaan maailmanlaajuisesti lukuisia muitakin paikallisia Historic-kilpailuja ja -sarjoja. Muun muassa Keski-Euroopassa järjestettävät kilpailut ovat suosittuja myös suomalaisten harrastajien keskuudessa. Isossa-Britanniassa Silverstone:n legendaarisella moottoriradalla järjestetään Euroopan suurin yksittäinen Historic-tapahtuma, johon osallistuu joka vuosi runsaat 1000 autoa. Tämän lisäksi esimerkiksi Saksassa järjestetään suuria Historic-tapahtumia, jotka ovat viime vuosina kasvattaneet suosiotaan.

## 4 SÄÄNNÖT

### 4.1 Sääntöjä laativat toimielimet

Kansainvälinen Autoliitto FIA maailmanlaajuiset laatii lajikohtaiset säännöt. FIA toimii moottoriurheilun pääelimenä ja tässä vastuuasemassa se varmistaa sääntöjen sekä toimenpiteiden avulla, että kaikkialla maailmassa järjestettävät moottoriurheilutapahtumat ovat reiluja, kunnolla säänneltyjä, ja ennen kaikkea turvallisia.

FIA on vuosittain mukana sadoissa eri moottoriurheilutapahtumissa sääntelevänä ja tarvittaessa myös tuomitsevana toimielimenä. FIA myös tarjoaa sääntöihin liittyvää asiantuntija-apua sekä kenties tärkeimpänä, puolueettoman juridisen urheilujärjestelmän. Liitto on lisäksi hiljattain omaksunut maailman antidopingjärjestö WADA:n säännösten, jotta huumeiden käytön torjuminen olisi urheilussa helpompaa vastaisuudessa. (FIA 2021b.)

AKK-Motorsport ry edustaa FIA:n Suomessa toimivaa valtuutettua autourheilujärjestöä, ja täten valvoo Suomen kansallista autourheilua sekä kansallisten ja kansainvälisten sääntöjen noudattamista Suomen rajojen sisällä. AKK-Motorsport ry edustaa Suomen autourheilua FIA:ssa.

Vuoden 2021 toimintasuunnitelmassaan AKK-Motorsport ry linjaa yhdenvertaisten lähtökohtien varmistamisen kilpailijoiden välillä olevan tärkein yksittäinen tehtävä teknisillä säännöillä ja määräyksillä. Teknisillä säännöillä mahdollistetaan yhdistyksen mukaan myös harrastaminen kaikilla tasoilla. AKK Motorsport ry:n alaisuuteen kuuluu yhteensä 15 eri autourheilulajia. Jokaisella lajilla on omat laji- sekä sarjatyöryhmänsä, joiden edustajat ovat ko. lajin asiantuntijoita. Nämä lajiryhmät valmistelevat kyseisen lajin sääntöihin liittyvät asiat, jonka jälkeen lajiryhmät lähettävät ne AKK Motorsport ry:n hallituksen päättäväiksi. (AKK-Motorsport ry 2021c.)

Autourheilulajien sääntöjen laadinta tapahtuu siten, että aluksi säännöt laatii FIA. Jokaisen maan oman keskusliiton täytyy huolehtia siitä, että autourheilulle laadittuja kansainvälisiä sääntöjä noudatetaan. Näihin sääntöihin tosin voidaan tehdä kansallisia lisäyksiä. Autourheilun kansallinen keskusliitto AKK-Motorsport ry:kin on tehnyt omia kansallisia lisäyksiään FIA:n laatimiin lajikohtaisiin sääntöihin nimenomaan Suomessa järjestettä-

vien Historic-kilpailuihin. Nämä lisäykset on jaettu jokaiselle ikäryhmälle erikseen, ja niiden sisältö näin vaihtelee eri ikäryhmien välillä. (Nylund 1999, 241.) Ikäryhmän lisäksi myös kilpailumuodolla on oma vaikutuksensa sääntöihin (AKK-Motorsport ry 2021a). Tässä yhteydessä olennaisin kilpailumuoto ovat nopeuskilpailut, joissa on tarkoitus ajaa ennalta määrätty matka esimerkiksi radalla tai rajatulla etapilla mahdollisimman nopeasti.

#### 4.2 FIA:n säännöt

Kilpailtaessa niin suomalaisissa kuin kansainvälisissäkin Historic-kisoissa, on huomioitava kansainvälisen autourheiluliitto FIA:n antamat tekniset määräykset. Nämä määräykset ovat paljon yksityiskohtaisempia kuin kansalliset lisäykset. Nämä kansainväliset säännöt ovat voimassa myös Suomen Historic-kilpailuissa.

Seuraavassa tarkastellaan keskeisimpiä Historic-auton sähköjärjestelmää koskevia sääntöjä, jotka osittain riippuvat auton ikäluokituksesta (Taulukko 1).

Taulukko 1. Historic-ralliautojen ikäluokitukset.

Koodi	Ikäkausi
G1	1969
G2	1971
H1	1974
H2	1976
I	1981
J1	1985
J2	1990

Akun sijainti voi olla ohjaamossa, mikäli se on sijainnut siellä alun perin. Tällöin on kuitenkin käytettävä kuiva-akkua. Lisäksi sen tulee olla kiinnitetty turvallisesti ja peitetty oikosulut ehkäisevällä, nesteenpitävällä ja eristetyllä kannella. Lisäksi kaikkien käytettävien akkujen navat tulee suojata oikosuluilta, eivätkä akut saa olla litium-pohjaisia. Akun nimellisjännite, kuten kaikki sähkölaitteetkin, on sallittua muuttaa 12 V:ksi. Akun kapasiteetille ei aseteta rajoituksia. Autossa voidaan myös käyttää vaihtovirralla toimivaa generaattoria, mikäli se on auton ikäluokan mukaista tekniikkaa.

Kuten monissa muissakin autourheilulajeissa, myös kansainvälisissä Historic-kilpailuissa on säännöissä määrätty autoihin pakolliseksi niin sanottu päävirtakatkaisin. Tällä katkaisimella voidaan katkaista kaikki virtapiirit lukuun ottamatta tulipalon varalle rakennettua sammutusjärjestelmää. Katkaisimen on myös sammutettava auton moottori, eikä sen toiminnasta saa syntyä kipinöintiä. Lisäksi sen käytön on oltava mahdollista sekä auton ulko- että sisäpuolelta. Mikäli auto on umpimallinen, katkaisimen paikka voi olla myös takasivuikkunassa, jos se sijaitsee ohjaajan istuimen takapuolella. Umpimallisissa autoissa on käytettävä ulkopuolista katkaisijaa. Magneettosytytysautoissa on oltava matalajännitepuolella maadoituskatkaisin, jota on kyettävä käyttämään helposti auton ulko- ja sisäpuolelta.

Sähköistä sytytystä voidaan käyttää, mikäli sitä on kyseisessä autossa käytetty auton ikäkaudella. Autoissa ei saa käyttää elektronista sytytyksen säätöä, eikä monikipinäsystemiä. HR-ikäkauden (1972-1976) sekä sitä uudemmissa autoissa voidaan kuitenkin käyttää monikipinäsystemiä ja/tai puolaa, mikäli vastus ensiöpuolella on alle 3  $\Omega$ . Myös sähköisesti säädettävän sytytysjärjestelmän käyttö on sallittua, jos muutos mukailee ikäkauden aikaista ratkaisua. Jos ikäkauden säännöt sallivat, voidaan sytytyshetken liipaisuun käyttää katkojan kärkien asemesta myös muita menetelmiä. Tämä edellyttää myös, että korvaava menetelmä vastaa täysin ikäkaudella käytettyä menetelmää.

F-ikäkaudesta lähtien myös sähköinen kierrosluvun rajoitin on sallittu. Elektroninen moottorinohjausjärjestelmä on sallittu vain, jos se vastaa auton ikäkautta. DFV/DFY-moottoreissa elektronista moottorinohjausjärjestelmää ei saa käyttää lainkaan. Virranjakajan, sytytyspuolan sekä kondensaattorin valmistetta ei säännöissä rajoiteta, mutta teknisten ominaisuuksiensa osalta niiden on vastattava alkuperäisiä.

Polttoainepumpun voi halutessaan vaihtaa mekaanisesta sähköiseen, tai sähköisestä mekaaniseen. Sähköisten mittareiden on vastattava auton ikäkautta. Tiedonkeruu moottorin kierrosluvusta, öljyn- sekä polttoaineen paineesta ja moottorin öljyn sekä veden lämpötilasta on kuitenkin sallittua. Auton valaistusjärjestelmän on oltava toimintakuntoinen, mikäli autossa on sellainen. (AKK-Motorsport ry 2020a)

Kansainvälisissä säännöissä mainitaan vielä erikseen sääntöjä mäkikilpailuihin sekä erikoiskoeralleihin osallistuville J1- ja J2 -ikäkausien autoille. Elektroniikan osalta säännöissä mainitaan sähköinen moottorinohjausyksikkö (Engine Control Unit, ECU). Sääntöjen mukaan sellaisissa autoissa, joissa sähköistä moottorinohjausyksikköä voidaan

käyttää tai joissa se on alun perin luokiteltu anturit mukaan lukien, tulee kyseisen ohjainyksikön vastata auton ikäkaudella käytettyä moottorinohjausyksikköä (AKK-Motorsport ry 2020b).

#### 4.3 AKK-Motorsport ry:n säännöt

AKK-Motorsport ry:n J2-ikäkauden A-ryhmän autoille laatimien sääntöjen mukaan autojen sähköjärjestelmissä tulee olla alkuperäinen nimellisjännite. Nimellisjännitteen tulee säilyä alkuperäisenä myös sytytysjärjestelmän ensiöpuolella. Samoin akkujen lukumäärän tulee olla sama kuin alun perinkin on ollut. Sen sijaan akkujen teho ja valmiste on vapaasti valittavissa. Akku täytyy peittää tarpeeksi kattavasti ja sen kiinnityksen tulee olla tarpeeksi luja. Näiden tarkoituksena on minimoida vuotojen sekä oikosulkujen riskit. Akun täytyy sijaita ohjaamon ulkopuolella, mutta muuten sen sijainti on vapaa.

Generaattorin sekä jännitteensäätimen suhteen annetaan täydet vapaudet, paitsi että generaattorin sijainnin ja käyttötavan on pysyttävä alkuperäisinä. Jännitteensäätimen paikka voidaan vaihtaa sillä edellytyksellä, ettei sitä sijoiteta ohjaamoon. Mikäli sen alkuperäinen sijainti on ohjaamossa, voidaan se siinä tapauksessa kuitenkin sijoittaa uudelleen sinne.

Valaistus- sekä merkinantolaitteiden on oltava sen maan asetusten mukaiset, jossa kilpailu järjestetään. Tämä johtuu siitä, että säännönmukaisesti ralliautoilla ajetaan pikataipaleiden väliset siirtymät tieliikenteessä. Vaihtoehtoisesti niiden on täytettävä kansainvälisen tieliikennesopimuksen kriteerit. Kun nämä asiat huomioidaan, vilkkujen sekä pysäköintivalojen sijaintia voidaan vaihtaa. Niiden alkuperäisiin paikkoihin jääneet reiät on kuitenkin peitettävä. Valaistulaitteiden valmisteen osalta annetaan täydet vapaudet. Mikäli valolaitteet kuuluvat vakiovarusteisiin, ne ja niiden toiminta on säilytettävä valmistajan tarkoittamina. Valaisimen polttimoiden, lasien sekä heijastimien suhteen ei aseteta rajoituksia. Säännöissä sallitaan myös alkuperäisten valojen kytkeminen pois käytöstä ja niiden peittäminen teipillä.

Käännettävien päävalojen toimintasysteemiin sekä energialähteeseen voidaan tehdä muutoksia. Valonheittäjiä voidaan asentaa lisää, joskin edessä ei saa olla enemmän kuin kahdeksan heitintä (Kuva 3).



Kuva 3. Vuoden 1984 Renault 5 Maxi Turbo, jossa edessä kahdeksan valonheitintä (Supercars 2021).

Tähän maksimilukumäärään ei lasketa mukaan sivu- tai pysäköintivaloja. Lisäksi etuvalonheitinten lukumäärän on oltava parillinen. Mikäli ylimääräiset valot on tarpeellista upottaa korin etuosaan tai jäähdyttäjän säleikköön, on tämä sallittua. Se edellyttää kuitenkin sitä, että jokainen valaisin sulkee kokonaan kaikki aukot, jotka sitä varten on tehty. Autoon voidaan myös asentaa peruutusvalo. Peruutusvalonkin voi upottaa korirakenteen sisälle, mikäli se on tarpeellista. Peruutusvalon syttyminen on sallittua vain peruutusvaihteen ollessa päällä.

Halutessaan kilpailija voi poistaa neliön muotoisen ajovalon, ja asentaa tilalle kaksi pyöreän muotoista ajovaloa. Myös päinvastainen toimenpide on sallittu sillä edellytyksellä, että korvaavat ajovalot sopivat aukkoihinsa ja sulkevat ne kokonaan. Ne kohdat, jotka eivät peity, on täytettävä.

Nopeuskilpailuissa ei ole pakko käyttää rekisterikilven valoja. Myös niiden alkuperäiset kiinnitykset ja valot on sallittua poistaa, mikäli ne muutetaan. Edellä mainitut määräykset voidaan kumota kilpailukutsun toimesta, asetuksia sen sijaan ei. (AKK-Motorsport ry 2020b.)

#### 4.4 Suomen lainsäädäntö

Koska valaistuslaitteiden sekä merkinannon laitteiden on vastattava sen maan asetuksia, jossa kilpailu järjestetään, on tässä yhteydessä otettava huomioon Suomen lainsäädäntö. Asetus 1256/1992 ajoneuvojen rakenteista ja varusteista määrää autoissa pakolliseksi mm. seuraavat valaisimet:

- etu- ja takavalaisimet
- lähi- ja kaukovalaisimet
- suuntavalaisimet hätävilkkukytkentöineen
- jarruvalaisimet
- takarekisterikilven valaisin
- peruutusvalaisin tai -valaisimet
- takasumuväläisin tai -valaisimet

(Finlex 2021).

#### 4.5 Historic Technical Passport

Sääntöjen mukaan jokaisella Historic-autolla, jolla osallistutaan kansainvälisiin kilpailuihin, on oltava niin sanottu Historic Technical Passport eli HTP-passi. HTP-passista on laadittu tiettyjä määräyksiä FIA:n liite K:ssa. Tasanopeusralleja varten auto tarvitsee HRCP:n eli tasanopeusauton passin (Historic Regularity Car Pass). Sekä HTP- että HRCP-passit sisältävät ainoastaan auton tekniikkaa koskevia yksityiskohtia, eikä niistä käy ilmi auton alkuperäisyys. HTP-passissa on oltava myös FIA:n sinettitarra, jonka avulla auto identifioidaan. Tarrassa on jokaiselle autolle omakohtainen viivakoodi. FIA omistaa HTP:n.

Dokumenttina HTP-passi on 27 sivua pitkä, ja se täytetään passin anojan sekä ko. maan valtuutetun autourheilujärjestön (Suomessa AKK-Motorsport ry) kanssa. Passilomakkeelle tehtyjen HTP-passien voimassaoloaika on 10 vuotta passin myöntämivuodesta eteenpäin. Luokitetuille autoille HTP-passiin on liitettävä auton alkuperäinen luokitustodistus varmennettuna kopiona, tai jälkikäteen tehty ja FIA:n hyväksymä luokitustodistus myös varmennettuna kopiona.

HTP:tä käytetään kahteen tarkoitukseen: järjestäjät voivat tarkistaa siitä ko. auton kilpailuluokan ja myös tekniset henkilöt voivat tarkistaa siitä auton tietoja kilpailuissa. Sääntöissä on määrätty pakolliseksi valokopio passin ensimmäisestä sivusta kilpailuun ilmoittautumisen liitteenä, jotta järjestäjien työ helpottuisi. Ensimmäisellä sivulla kerrotaan mm. auton tyyppi ja sen ikäkausi. Kilpailijan on todistettava, että auto vastaa passissa esitettäviä tietoja. Passi on esitettävä kilpailun esikatsastuksen aikana, ja järjestäjillä on oltava mahdollisuus käyttää sitä koko kilpailun ajan. Katsastajien on hyväksyttävä kaikki HTP-passit, jos kilpailumaan valtuutettu autourheilujärjestö on asianmukaisella tavalla

hyväksynyt ne. Myös kaikki autot, jotka vastaavat HTP:n tietoja, on hyväksyttävä katsastajien toimesta.

Mikäli auton tekniikassa havaitaan katsastuksessa suorituskyvyn kannalta merkityksellön, vähäinen poikkeavuus, voi FIA:n tekninen tarkkailija tai muu toimihenkilö merkitä auton HTP:n etusivulle punaisen pisteen ja selvityksen poikkeavuudesta. Kilpailijalla on seuraavaan kilpailuun asti aikaa korjata merkitty poikkeavuus. Nämä punaiset merkinnät kirjataan FIA:n tietokantaan, ja FIA:n oikeuttama henkilö voi tehdä näitä merkintöjä myös kansallisissa kilpailuissa. Tuomaristo voi hylätä auton merkintää seuraavasta kilpailusta, mikäli poikkeamaa ei ole siihen mennessä korjattu.

Mikäli jossain kilpailun vaiheessa todetaan auton olevan turvallisuusmääräysten osalta puutteellisessa kunnossa, FIA:n nimeämä tekninen valvoja tai muu toimihenkilö voi merkitä mustan pisteen ko. auton HTP-passin etusivulle, ja samalla poikkeaman selvityksen. Mustan pisteen merkinnästä viedään välittömästi tieto tuomaristolle. Merkitty poikkeavuus on korjattava heti, tai muuten tuomariston täytyy hylätä auto kilpailusta. Samalla tuomariston on myös raportoitava tästä FIA:lle. Myös mustia pistemerkintöjä voidaan tehdä kansallisissakin kilpailuissa, mikäli merkinnän tekevällä on FIA:n listan mukaan siihen oikeus. Musta piste passissa merkitsee sitä, että auto on sääntöjen vastainen, eikä sillä voi siksi kilpailla ko. kilpailussa tai muissakaan kilpailuissa. FIA:n teknisen valvojan korjattua merkinnän passissa, voidaan poikkeama katsoa korjatuksi. Mustien pisteiden merkinnät kerätään niin ikään FIA:n tietokantaan, johon merkitään niiden voimaantulo- ja korjauspäivämäärät. (AKK-Motorsport ry 2021.)

## 5 KILPA-AUTON SÄHKÖJÄRJESTELMÄ KÄYTTÄJÄN NÄKÖKULMASTA

Kilpa-auton sähköjärjestelmää silmällä pitäen on mietittävä, onko autossa jotain muokattavaa sen muuttamiseksi paremmin kuljettajille käyttötarkoitukseen sopivaksi. Säännöt ja lait osaltaan rajoittavat auton muuttamista, mutta autolla menestymiseen vaikuttaa suuresti se, miten hyvin se sopii kuljettajalleen. Kysymystä siitä, mitä kaikkea autossa on tarpeellista olla ja mitä kenties voisi karsia pois, on mielenkiintoista pohtia myös kokonaan käyttäjien tarpeiden näkökulmasta siirtäen säännöt ja lait hetkeksi syrjään.

Kilpa-auton ollessa rakenteeltaan ja tekniikaltaan mahdollisimman yksinkertainen, sen huoltaminen ja korjaaminen on aina helpompaa. Lisäksi vähempi osien ja komponenttien määrä tarkoittaa sitä, että autossa on vähemmän osia, jotka voivat rikkoutua. Jos auton käyttäjä kokee jonkin sähköjärjestelmän osan olevan tarpeeton, sen poistamista on syytä harkita. Turha laite sähköjärjestelmässä toimii vain sähkön kuluttajana, ja monimutkaisuus sähköjärjestelmän rakennetta tarpeettomasti.

### 5.1 Siirtymät tieliikenteessä

Pohdittaessa kysymystä auton tarpeellisista ja tarpeettomista osista on huomioitava se, miten kilpailujen väliset siirtymät tieliikenteessä hoidetaan. Mikäli auton siirtymää ei hoideta ajamalla autoa itsenäisesti, sen kunnon ja tekniikan suhteen ei tarvitse huolehtia Suomen lainsäädännön määrittämästä tieliikennekelpoisuudesta. Sen sijaan, jos autolla itsellään ajetaan tieliikenteessä kisojen väliset siirtymät, sen on oltava lain mukaan tieliikennekelpoinen. Tällöin turhien sähköjärjestelmän osien karsimisessa tulee huolehtia tämän lain määrittämän tieliikennekelpoisuuden säilyttämisestä.

### 5.2 Mukavuudentarve

Olenainen ero kilpa-auton ja liikennekäyttöisen auton välillä ovatkin juuri erilaiset mukavuuden tarpeet. Tämä vaikuttaa olennaisesti myös sähköteknillisiin eroihin kilpa-autojen ja tieliikennekelpoisten autojen välillä. Kilpa-autoissa tarpeettomiin asioihin voidaan

lukea esimerkiksi istuimenlämmittimet, sähkötoimiset sivuikkunat tai suuntavilkut. Muutenkin kilpa-auto on kokonaisuutena melko pelkistetty verrattuna liikennekäyttöiseen autoon.

Erilaisten mukavuutta tuovien sähköisten osien karsimisen helppous riippuu Historic-auton iästä. Pääsääntöisesti uudemmissa autoissa on erilaisia mukavuutta lisääviä sähköteknisiä osia enemmän kuin vanhoissa, joten vanhoista autoista niitä ei välttämättä tarvitse jättää pois kovinkaan paljoa. Voi jopa olla, että tiettyjä sähköisiä mukavuuksia halutaan tuoda vanhempaan ralliautoon lisää riippuen esimerkiksi siitä, ajetaanko autolla runsaasti kilpailujen ulkopuolella.

### 5.3 Yksittäisiä karsimiskohteita

Historic-ralliauton karsittavia sähköisiä osia mietittäessä on olennaista pohtia, kuinka paljon kuljettaja tarvitsee autoon valoja. Pimeällä ajettaessa valaistuksessa korostuvat sen turvallisuuselementit, ja erityisesti tällöin autossa on oltava riittävän paljon valoja sekä edessä että takana. Auton valaistuslaitteista riippuen voidaan autosta kuitenkin karsia myös valoja.

Eräs pohtimisen arvoinen valaistuksen osa-alue ovat sumuvalot. Myös sumuvaloilla on toki oma turvallisuutta lisäävä tarkoituksensa ja hyötynsä, mutta nekin pätevät pitkälti vain liikennekäytössä. Edessä olevista ajovaloista voi lisäksi poistaa mahdollisesti turhiksi kokemansa valot, mikäli edessä on alun perin useammat kuin kahdet ajovalot. Tähän vaikuttaa muun muassa se, kuinka paljon autolla ajetaan rallikilpailuja pimeällä.

Valojen kohdalla myös peruutusvalot ovat mahdollinen karsimiskohde. Peruutusvalonkin kohdalla on toisaalta rallikisoissa oma turvallisuutta lisäävä vaikutuksensa vaikkapa silloin, kun takana tuleva kuljettaja lähestyy peruuttavaa kuljettajaa. Tällöin peruutusvalot viestittävät näkyvästi takana tulevalle peruuttavan kuljettajan aikeet.

Historic-ralliautojen kohdalla toinen pohtimisen arvoinen kohde ovat pyyhkijät. Tuulilasipyyhkimien karsiminen ei ole mahdollista. Jos autossa on lisäksi takalasinpyyhin tai ajovaloumpioiden pyyhkimet, niiden tarpeellisuutta ralliautossa on syytä miettiä.

GSI-Kadettin kohdalla on olemassa vielä muitakin karsimiskohteita, sillä se on mallisarjansa parhaiten varusteltu malli. Historic-ralliautoilussa ei esimerkiksi ole tarvetta takalasin lämmittimelle, sillä takalasin huurtuminen ei ole ralliautoilussa minkäänlainen ongelma.

Sähkötoimiset ikkunat ovat varsinkin kuljettajan puolen ovessa tarpeettomia, sillä kuljettaja kykenee käyttämään ikkunaa myös perinteisemmällä kampiteknikalla, ja sähkötoiminen ikkuna tuo vain lisää painoa autoon. Sen sijaan kartanlukijan puolella sähkötoiminen ikkuna on hyödyllinen aikatarkastusasemalla, jossa kartanlukija esimerkiksi ojentaa papereitaan toimitsijoille ja päinvastoin. Tällöin sähkötoiminen ikkuna voi olla jopa välttämätön, sillä kartanlukija ei välttämättä kykene käyttämään ikkunakampea turvavöiden ollessa tiukalla.

Auton ovien lukitusjärjestelmä sen sijaan voidaan ralliautojen tapauksessa toteuttaa kokonaan ilman sähkötekniikkaa. Sähköllä toimiva keskuslukitus ei tuo mitään konkreettista hyötyä tai helpotusta ralliautoon tai sen käyttöön. Kojelaudan sähkötekniikasta voidaan myös karsia yksittäisiä kohteita pois, kuten esimerkiksi radio, kello ja valaistus lukuun ottamatta mittareiden valaistusta.

Esimerkkiauton tapauksessa on syytä kiinnittää huomiota auton mittaristoon, sillä A-ryhmän E-GSI-Kadetteissa oli joinakin mallivuosina käytössä digitaalinen mittaristo. Tämä mittaristotyyppi on herkkä vaurioitumaan, ja ralliautoilussa vaurioitumisen riski korostuu muun muassa tärinän takia. Digitaalisen mittariston korvaamista analogisella mittaristolla on siis syytä harkita, varsinkin kun analoginen mittaristo perinteisempänä mittaristotyyppinä sopii paremmin Historic-teemaan. Toisaalta taas mittaristotyypin vaihtaminen muuttaa autoa kauemmas alkuperäisestä versiosta.

#### 5.4 Yksittäisiä lisäyksiä

Ralliautoon joudutaan sähkötekniikan karsimisen lisäksi myös tuomaan lisää sähkötekniikkaa helpottamaan kuljettajien työtä. Ralliautossa tarvitaan nimittäin myös sellaisia sähköisiä varusteita, joita ei tieliikennekelpoisista autoista löydy.

Sähkötekniisiä lisäyksiä ovat esimerkiksi kartanlukijan trippimittari, jonka kartanlukija tarvitsee pysyäkseen mukana nuottien lukemisessa. Tämä trippimittari ei siten voi olla kuljettajan puolella autoa. Lisäksi pimeällä ajettaessa kartanlukija tarvitsee oman valonsa

kartanlukua varten, jotta hän näkisi lukea nuottinsa tarkasti. Tämä kartanlukuvalo täytyy kuitenkin sijoittaa siten, ettei se häikäise kuljettajaa.

Kuljettajan ja kartanlukijan kypäräpuhelimet ovat myös välttämätön sähkötekniinen lisäys. Ilman näitä kypäräpuhelimia kuljettajan ja kartanlukijan välinen kommunikaatio ei onnistu suuren melun takia. Kypäräpuhelimissa suositaan paristokäyttöisiä keskusyksiköitä, sillä auton sähköllä toimivissa kypäräpuhelimissa voi herkästi esiintyä auton muista sähköisistä toiminnoista peräisin olevia häiriöääniä.

## 6 KILPA-AUTON SÄHKÖTEKNIikka

### 6.1 Kilpa-auton sähköjärjestelmä

Kilpa-auton sähköjärjestelmään pätee monia samoja lainalaisuuksia kuin liikennekäyttöisenkin auton sähköjärjestelmään. Toimiva sähköjärjestelmä tarvitsee virtalähteen, joka autojen ollessa kyseessä tarkoittaa akkua, sekä suljetun virtapiirin ja kuormituksen. Lisäksi on tärkeää muistaa maadoitus jokaisen sähköisen komponentin kohdalla. Auton tapauksessa ”maana” toimii auton rungon tai korin osat. Maadoituksen tarkoituksena on tasata sähkölaitteen ja maan väliset potentiaalierot. Potentiaalierojen tasaaminen käytännössä tarkoittaa, että sähkölaitteen ja sen johtimen sekä maan välillä ei ole jännitettä.

Kilpa-auton sähkötekniikassa on huomioitava autolle asetetut vaatimukset sekä vallitsevat olosuhteet. Nopeat ajotilanteet sekä nopeudenvaihtelut asettavat kilpa-auton ankaran rasituksen alaiseksi, ja erityisesti moottorin ominaisuuksiin on kiinnitettävä huomiota paitsi sen suorituskyvyn, myös sen kestävyuden osalta. Koska kilpa-autoilussa lähes aina pyritään ajamaan mahdollisimman kovaa, moottorin pyörimisnopeus on vastaavasti aina niin korkea, kuin tilanteeseen nähden on mahdollista. Suuri moottorin pyörimisnopeus asettaa korkeita vaatimuksia moottorin osille, myös sen sähköisille osille. Osiin kohdistuvat rasitukset kasvavat pyörimisnopeuden kasvaessa ja lämpötilakin tuo oman haasteensa.

Ralliauton kohdalla epätasaisella ajoradalla ajettaessa mekaaninen rasitus on auton sähköisille osille melko suurta. Tästä syystä sähköisten osien tuenta esimerkiksi auton koriin on tehtävä kunnollisesti, jotta niiden käyttöikä ei heilumisen tai tärinän takia alentuisi. Osan kiinnittäminen koriin toisaalta lisää korin osaan välittämää tärinää ja värähtelyä, jotka kohdistuvat koriin esimerkiksi ajoradan epätasaisuuden johdosta. Auton jousitus puolestaan vaikuttaa olennaisesti siihen, miten tärinä välittyy auton pyöristä sen koriin. Auton renkaat taas vaikuttavat tärinän välittymiseen ajoradasta auton pyöriin. Historic-ralliautoissa jousitustekniikka on suhteellisen vanhaa ja siten huonolaatuisempaa, joten se osaltaan lisää auton koriin kohdistuvaa rasitusta.

Myös moottorin käynti tärisyttää auton koria, sillä moottorin kiinnitys koriin on jäykkä. Jäykällä moottorin kiinnityksellä saavutetaan toisaalta monia etuja muun muassa auton hallinnan helpottumisen ja ajo-ominaisuuksien paranemisen osalta. Moottorin koriin aiheuttama värähtely vaihtelevat moottorin kierrosluvun mukaan.

## 6.2 Nimellisjännite

Ajan saatossa nimellisjännitteen suuruus ralliautoissa on kasvanut. Aikanaan oli yleisessä käytössä 6 V nimellisjännite, mutta nykyisin se on jo vanhentunut ratkaisu. Esimerkkiauton ikäisissä Historic-ralliautoissa ei enää tapaa 6 V nimellisjännitteellä toimiviin sähköjärjestelmiin, vaan niissä on käytössä 12 V nimellisjännitteet. Sen sijaan vanhemmissa Historic-ralliautoissa saattaa olla autosta riippuen 6 V sähköjärjestelmä käytössä. 12 V sähköjärjestelmä tuli vallalle autoissa jo useita vuosikymmeniä sitten, mutta yksittäiset automerkit käyttivät joissakin malleissaan 6 V sähköjärjestelmää vielä 1960- tai 1970-luvuillakin.

## 6.3 Johtosarjat ja johtimet

Yleisesti ottaen sähköisten komponenttien nopeampi toiminta ja sähkönjohtavuus lyhyemmän ajan sisään nostaa lämpötilaa ja sen mukanaan tuoman problematiikan merkitystä. Tämä koskee myös auton johtimia. Sen vuoksi kilpa-auton johtimia valmistettaessa on muistettava niihin kohdistuvat, liikennekäyttöisestä autosta jonkin verran eriävät vaatimukset esimerkiksi juuri lämpötilan kestokyvyn suhteen.

Sähköjohtimet on valmistettava materiaaleista, jotka paitsi johtavat hyvin sähköä, myös kestävät korkeita lämpötiloja. Koska johtimen lämpötila kasvaa sen läpi kulkevan sähkövirran vaikutuksesta, on sähkövirran määrä luonnollisesti tärkeä tekijä lämpötilan nousussa. Toinen lämpötilan nousuun vaikuttava tekijä on resistanssi. Mitä korkeammat ovat resistanssi ja sähkövirta, sitä enemmän lämpötila nousee. Tämä johtuu näiden kahden suureen aiheuttamasta jännitehäviöstä, joka samalla tarkoittaa hukattua tehoa. Johtimen mitoilla on tähän tärkeä vaikutus. Tästä syystä johtimet pyritään mitoittamaan niin, että jännitehäviötä tapahtuisi mahdollisimman vähän.

Resistanssia voidaan pienentää lyhentämällä johtimen pituutta. Tämän takia johtimesta tulisi tehdä niin lyhyt kuin mahdollista. Erityisesti silloin, kun virtapiirissä kulkee suuri virtamäärä, on resistanssin pienentäminen johdinta lyhentämällä tärkeää. Johtimen pituutta voidaan vähentää myös kytkentäreleen avulla. Käyttämällä kytkentärelettä, ei päävirtajohtimia tarvitse viedä käyttökytkimelle esimerkiksi kojelautaan.

Pituuden lisäksi myös johtimen poikkipinta-ala vaikuttaa johtimen resistanssiin sekä sähkövirtaan. Mitä suurempi sähkövirta johtimessa kulkee, sitä suurempi tulisi johtimen poikkipinta-alan olla. Koska sähkölaitteiden käyttötarkoitus ja sitä kautta sähkömäärän tarve vaihtelee, myös niiden johtimien poikkipinta-alat vaihtelevat.

Virran kulkiessa johdin lämpenee ajan kuluessa. Tästä seuraa se, että sähkökomponentin käyttöajalla on myös merkitystä johtimen mittoja määriteltäessä. Esimerkiksi suunta-avilkkujen johtimien poikkipinta-ala voidaan tästä syystä valita pienemmäksi kuin vaikkapa ajovalojen johtimien vastaava.

Lisäksi johtimien sijoituksessa ja kiinnityksessä on tärkeää muistaa, etteivät ne saa hankautua varsinkaan teräviä kohtia vasten. Sellaisissa tapauksissa johtimien eristeet repeytyvät helposti rikki ja johdinsäikeet tulevat esiin niiden alta. Silloin seurauksena voi olla helposti oikosulku. Tämä on ralliautoissa erityisen tärkeää, sillä rallikilpailuja ajetaan usein epätasaisilla ajoradoilla.

Johtimien on kestävä myös tärinää moottorin käydessä sekä auton liikkeessä, ja niitä on kyettävä myös taivuttamaan ilman, että ne rikkoutuvat. Tästä syystä johdinmateriaalien valinnassa on huomioitava paitsi johtimien sähköiset ja termiset ominaisuudet, myös niiden lujuusominaisuudet. Johtimien ei sinänsä tarvitse juurikaan venyä, mutta taivutettaessa niitä epäsuoraan muotoon niiden ulkokehälle jäävien säikeiden ja eristeen on kyettävä venymään, jotta ne eivät halkeile tai katkea. Sisäkehälle jäävän johtimen osan on puolestaan kestävä puristusjännitystä. Aineen olennainen ominaisuus on tällöin sen murtovenymä, joka kertoo prosenttiluvun muodossa aineen suurimman mahdollisen pitenemän suhteen sen alkuperäiseen pituuteen. Suurin mahdollinen pitenemä ( $\Delta l_{\text{maks}}$ ) on aineen suurin venymämatka ennen sen katkeamista (Inkinen & Tuohi 2012, 289).

Suosittu materiaali autojen johtimissa on kupari, sillä kuparin ominaisuudet sähköjohtavuuden osalta ovat moneen muuhun aineeseen verrattuna hyvät. On kuitenkin olemassa joitakin aineita, joilla on kuparia parempi sähköjohtavuus. Hyvä esimerkki tällaisesta aineesta on hopea. Hopean ominaisresistanssi eli resistiivisyys on 20 °C lämpötilassa kuparia pienempi, joten kyseisessä lämpötilassa hopeisen johtimen läpi virtaa samalla jännitteellä suurempi määrä sähkövirtaa verrattuna saman pituiseen ja yhtä paksuun kupariseen johtimeen.

Johtimen massa on myös tärkeä ominaisuus, liiallisen massan lisääminen kilpa-autoon vaikuttaa tietysti negatiivisesti auton suorituskykyyn. Johtimien olisi siis lähtökohtaisesti oltava mahdollisimman kevyitä. Tässä olennaisena suureena on johtimen materiaalina

käytettävän aineen tiheys. Hopean tiheys on noin 7/6 kuparin tiheydestä, eli hieman yli 15% suurempi. (Mäkelä ym. 2018, 177)

Valittaessa johtimille sopivia materiaaleja on myös tärkeää ottaa huomioon materiaalien elastiset ominaisuudet. Johtimilla tulee muun muassa olla hyvä väsymisen sietokyky, josta saadaan osviittaa tarkastelemalla materiaalien kimmokertoimia. Kimmokerroin kuvaa aineen kimmoisia ominaisuuksia, kun sitä venytetään tai puristetaan. Hopean kimmokerroin on pienempi kuin kuparilla, noin 2/3 kuparin kimmokertoimesta (Mäkelä ym. 2018, 177). Kimmokertoimen kasvaminen merkitsee sitä, että aine venyy vähemmän, kun siihen kohdistetaan sama jännitys. Hopea siis venyy enemmän kuin kupari, kun näihin aineisiin kohdistetaan yhtä suuri jännitys.

Johtimien eristeisiin kohdistuvat vaatimukset ovat myös olennaisia. Koska hopean sähkönjohtavuuskyky on kuparia suurempi, on johtimen eristeellä puolestaan oltava parempi sähköneristävyyskyky. Hopean lämmönjohtavuuskyvyn ollessa kuparia suurempi, tarkoittaa se samalla sitä, että siitä johtuu ”paremmin” lämpöä eristemateriaaliinkin. Eristeellä on siis oltava parempi sieto- ja eristävyyskyky korkeammille lämpötiloille.

Hopean hinta verrattuna kupariin on myös hopean huonoja puolia, sillä hopea on kuparia kalliimpi raaka-aine. Hintaero on kuparin hyväksi moninkertainen (Investing 2021). Johtimia ei tehdäkään kokonaan hopeasta, vaan johtimien johdinsäikeet ovat hopealla pinnoitettua kuparia. Tämä omalta osaltaan kompensoi kummankin aineen ominaisuuksia.

### 6.3.1 Liittimet

Oikean liittimen valitseminen käyttökohteen mukaan on olennainen asia ralliauton sähköjärjestelmän rakentamisessa. Jos johto liitetään johonkin vanhaan auton sähkölaitteeseen, määräytyy liittimen valinta laitteessa olevan vanhan liittimen mukaan. Historic-ralliautojen varsin korkea ikä tuo omat haasteensa liittimen hankkimiselle, sillä vanhoja liittimiä ei välttämättä ole enää saatavilla.

Oikean liittimen valitseminen saattaa olla haastavaa, koska liittimiä on nykyisin lukuisia erilaisia. Liittimien valinnassa on hyvä ottaa huomioon se, kuinka paljon liittimiä joutuu irrottamaan ja kiinnittämään niiden käytön aikana. Ralliautoissa irrottamisia ja uudelleen kiinnittämisiä tehdään varsin usein, joten niihin on valittava irrotusta ja uudelleenkiinnitystä hyvin sietävät liittimet. Lisäksi liittimen valinnassa on tiedettävä, kuinka paljon liittimen läpi kulkee sähkövirtaa, ja kuinka korkeaksi lämpötila tulee nousemaan. Liittimen

sijainnista riippuen se saattaa altistua mm. vedelle, öljyille, liuottimille tai lialle, joten tällaisiin auton kohteisiin on valittava riittävän suojattu liitin. Yksi hyvä liitintyyppi kilpa-autokäyttöön on kuvan 4 mukaiset Deutsch DTP -liittimet.



Kuva 4. Deutsch DTP -liittimiä (TE Connectivity 2021a).

Liittimissä on luonnollisesti myös laatueroja, ja laadukkaamman liittimen valinta voi tulla hyvinkin paljon kalliimmaksi. Osa liitinvalmistajista valmistaa liittimiä myös kilpa-ajoneuvoja varten, mutta usein nämä liittimet ovat suhteellisen kalliita (Kuva 6). Siksi laadukkaan ja samalla halvan liittimen löytäminen on usein vaikeaa.



Kuva 5. Deutsch AS -sarjan liittimiä (TE Connectivity 2021b).

Liittimen käyttökohde vaikuttaa oleellisesti sen kokoon ja rakenteeseen. Liitettäessä johdimia tiettyyn sähkölaitteeseen, liittimet voivat olla hyvinkin paljon pienempiä kuin vaikkapa kokonaisten johtosarjojen liittämiseen tarkoitetut liittimet. Samalla liittimien napojen lukumäärässä on niin ikään eroja.

Sähköliitinten kohdalla tärkeä asia on niiden riittävä suojaus lialta. Liittimien altistuminen erinäiselle lialle riippuu niiden sijainnista autossa, ja varsinkin ralliauton ulkopuolella sijaitsevat liittimet tulevat hyvin alttiiksi lialle. Tämä johtuu siitä, että rallikilpailuja ajetaan

erittäin paljon sorateilla, varsinkin Suomessa ja Historic-rallien ollessa kyseessä. Lisäksi on muistettava, että auton moottoritilassakin sijaitsevat lukuista sähköiset osat altistuvat ulkoa tulevalle lialle, sillä moottoritilaa ei ole tiiviisti eristetty ulkoilmasta.

Lian lisäksi liittimet on suojattava myös hapettumista vastaan, sekä kiinnitettävä riittävän tiukasti, jotta ne eivät pääse löystymään eivätkä aiheuta sähkönkulkuun häiriötä. Kilpa-autoilussa on ensiarvoisen tärkeää, ettei liitoskohta aiheuta jännitehäviöitä, joten liittimien kunnolliseen kiinnitykseen on kiinnitettävä Historic-ralliautojen kohdalla erityisesti huomiota. Edellä mainittujen kriteerien lisäksi liitokset on tehtävä niin, etteivät ne aiheuta oikosulun vaaraa. Liittimien on lisäksi kyettävä kestämään tärinää rikkoutumatta tai irtoamatta paikoiltaan. Ralliautoissa on lisäksi kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että liittimien materiaalit kestävät korkeita lämpötiloja.



Kuva 6. Erilaisia liittimiä, kuvassa myös tihkurele, Opel Kadett E GSI (Jänne 2021).

Suurin osa johdinliitoksista tehdään nykyisin puristamalla liitin johtimen päähän kiinni. Johdinliittimet voidaan eritellä esieristettyihin ja eristämättömiin johdinliittimiin. Esieristettyjä johdinliittimiä käytetään yksittäisen johtimen liittämiseksi toiseen johtimeen tai sähkölaitteeseen. Eristämättömiä liittimiä puolestaan käytetään liitettäessä johdinsarjoja toisiinsa. Tällöin eristyksenä on erillinen liitosrasia. Johdinliitoksissa eristetyn puolen on aina jätävä jännitteiseksi, mikäli liitinpuoliskot irtoavat toisistaan.

Esieristettyjä johdinliittimiä on olemassa useita eri liitostapoja varten, ja niiden eristeen väri kertoo, kuinka suuren poikkipinta-alan omaavalle johtimelle liitin on tarkoitettu (Kuva 7). Eristämättömiä johdinliittimiä on kahta erilaista: pyörö- sekä lattaliittimiä. Lattaliittimet vaativat enemmän tilaa, kuin pyöröliittimet. Lisäksi lattaliittimiä käytetään usein pai-

koissa, joissa kuormitusvirrat ovat suuremmat. Pyöröliittimet taas on tarkoitettu johdinnippujen liittämiseen sekä hallinta- ja mittaristolaitteistoja varten. Johdinliittimiä on olemassa myös jatko- haaroitus- sekä maadoitusliittimiä. Johtimien liitokset voidaan tehdä kiinteiksi tai avattaviksi riippuen liitoskohdan sijainnista.



Kuva 7. Kutistesuojattuja Abiko-liittimiä erikokoisille johtimille (AM-Asennus 2021).

Ruuviliitoksia käytetään suurta sähkövirtaa johtavissa kohdissa, kuten vaikkapa akun napoihin, käynnistinmoottoriin tai generaattoriin liitetyissä johtimissa. Ruuviliitoksen pysyvyys avaamaan helposti, ja sen suuri kosketuspinta on myös edullinen ominaisuus. Toisaalta ruuviliitos on melko altis hapettumiselle ja se voi myös löystyä helposti. Ralliautossa ruuviliitos on lisäksi erityisen altis likaantumiselle liitoskohdan ollessa paljas. Lisäksi ralliauton runsas värinä pahentavat ruuviliitoksen löystymisriskiä. Vanhoissa autoissa on yleistä törmätä kaapelikenkien juottoliitokseen, jossa kaapelikenkä on juotettu johtimen päähän kiinni. Toinen tapa kaapelikenkien liittämiseen on puristusliitos.

Autojen johtosarjat on usein jaettu omiin osiinsa, esimerkiksi moottoritulalla voi olla oma johtosarjansa. Näiden kiinnittämiseen toisiinsa käytetään moninapaisia pistoliittimiä. Osat muotoillaan niin, että niiden liittäminen toisiinsa onnistuu vain yhdessä asennossa. Tämä poistaa väärin kytkentöjen ja niitä seuraavien haittojen riskit.

Tina on tärkeä liitinmateriaali, vaikka se ei itsessään johda sähköä erityisen hyvin. Muiden ominaisuuksiensa puolesta tina on yleinen materiaali tiivistys- ja päällysteaineena erilaisissa liitostavoissa. Kilpa-autoihin suunnitellut liittimet hyödyntävät usein myös pieniä määriä alumiinia, mutta niiden käytetyin raaka-aine on kuitenkin muovi (PEI-Genesis 2021). Liittimen eristeosaan usein kuluu kaikista eniten ainetta.

## 6.4 Tiedonvälitys

Yleisesti ottaen tiedonvälitykseen liittyvä elektroniikka on Historic-ralliautoissa vähäisempää verrattuna varsinkin uusimpiin liikennekäyttöisiin autoihin. Ralliautoissa tiedonvälityksen kannalta tärkeitä yksittäisiä kohteita ovat moottorin öljynpaineen, jäähdytysveden lämpötilan ja kierrosluvun mittaus. Näiden lisäksi kiinnostavia voivat olla moottorin öljyn lämpötila, polttoaineen määrä ja paine ja vaikkapa sähköjärjestelmän virrankulutuksen mittaus. Esimerkkiauto Kadett GSI:hin rakennettu mittaristo on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Opel Kadettin mittaristo kehyksineen (Jänne 2021).

Jos autossa käytetään elektronista moottorinohjausta, eli pienoistietokonetta, ne rasittuvat kilpa-autoissa verraten paljon, muun muassa korkean lämpötilan ja varsinkin tärinän vuoksi. Ajouradan epätasaisuudet välittyvät auton koriin ja sitä kautta elektroniisiin laitteisiin voimakkaanakin tärinänä, jota herkemmin vaurioituvat laitteet eivät kauaakaan kestä. Tosin Historic-autoissa tällaista tekniikkaa on verraten vähän.

Keskimääräisesti korkean moottorin pyörimisnopeuden lisäksi sen pyörimisnopeus myös vaihtelee paljon ja nopeasti kiihdytettäessä ja hidastettaessa auton kulkua pitkin ajoalustaa, mikä myös tuo omat haasteensa ja vaatimuksensa elektronisille tiedonvälityskomponenteille. Ajotilanteen muutos lisää tietyiltä osin myös tiedonvälityskomponenteille tulevaa dataa. Mittareina voidaan kilpa-autossa yleisesti käyttää niin analogisia kuin digitaalisiaakin mittareita, tai näiden kahden mittarityypin yhdistelmää (Kuva 9).



Kuva 9. Yhdistelmämittari, jossa moottorin kierrosluvun mittari sekä näyttö muille moottorimittausten arvoille (DDesign 2021).

Historic-ralliautoissa analogiset mittarit ovat pääsääntö, sillä digitaaliset mittarit ovat monen auton kohdalla liian uutta teknologiaa Historic-ralliautoille (Kuva 10).



Kuva 10. Smiths:n öljynpainemittari (Merlin Motorsport 2021).

Myös osassa uudempia Historic-ralliautoja on käytössä nestekidetekniikalla (LCD) toteutettuja näyttölaitteita, sillä kyseisten autojen alkuperäisissä malleissa on myös ollut käytössä digitaalisia mittareita. Näin kunnioitetaan auton alkuperäisyyttä, vaikka digitaaliset mittarit olisivatkin auton ikäkauden huomioiden varsin uutta teknologiaa (Kuva 11).



Kuva 11. Sinco Tech:n nestekidenäyttö (Race Car Gauge 2021).

## 6.5 Moottori

Kilpa-autojen moottoreissa on yleensä korkea litrateho, ja niissä suurin teho saadaan korkeilla moottorin kierrosluvuilla. Kierroslukuihin nähden korkein tehoalue on usein verraten kapea. Kuljettajalle onkin suuri etu, että hän tietää auton moottorin ominaisuudet, etenkin sen kierroslukualueen, jolla autosta saadaan irti tarpeeksi suuri teho. Moottorista saatava teho onkin elintärkeä asia ralliautossa, jossa kiihtyvyys on auton keskeisimpiä ominaisuuksia. Tehoon vaikuttaa oleellisesti moottorin kuutiotilavuus ja se, onko moottori vapaasti hengittävä vai turboahdettu. Ralliautoilussa moottoreiden tehoeroja on tasattu jakamalla autot omiin luokkiinsa niiden kuutiotilavuuden mukaan. Näin keskenään kisaavilla autoilla on suunnilleen tasaväkiset mahdollisuudet menestymiseen moottorin kuutiotilavuuden osalta.

Moottorissa on sähkötekniikan kannalta oleellista moottorin toimintaperiaate. Neli- ja kaksitahtimoottorien keskinäiset erot heijastuvat nimittäin myös sytytykseen ja polttoainemuodostukseen. Nykyisin autoissa käytetään lähes poikkeuksetta nelitahtimoottoreita, mutta vielä muutamia vuosikymmeniä sitten kaksitahtimoottorit olivat yleisin toimintaperiaate autojen moottoreissa. Näin ollen myös Historic-ralliautoissa voi olla auton iästä riippuen kaksitahtisia moottoreita.

Kaksitahtimoottori vaatii sytytyskipinän jokaisella kampiakselin kierroksella, sillä koko työkierto kestää kaksitahtimoottoreissa vain yhden kampiakselin kierroksen verran. Teoriassa, jos kaksitahtimoottorissa käytettäisiin elektronista polttoaineen ruiskutusta, myös elektronisen polttoaineenruiskutusjärjestelmien sähköisten osien tulisi olla toiminnassa jokaisella kampiakselin kierroksella. Koska elektroninen polttoaineenruiskutusjärjestelmä on kuitenkin kaikista uusimpien Historic-ralliautojen ominaispiirteitä, ja kaksitahtimoottorit taas yleisempiä vanhemmassa kalustossa, nämä kaksi teknistä ratkaisua menevät kronologisesti ”ohitse” toisistaan.

Suuremmasta sähkötehon kulutuksesta (jokaisella kampiakselin kierroksella vaaditaan sytytyskipinä) huolimatta on muistettava, että kaksitahtisen työkierron ansiosta moottorin ominaisteho kasvaa. Sylinterikohtaisesti kaksitahtimoottorin toimintaperiaate lisää kuitenkin entisestään Historic-ralliautoissa sytytysjärjestelmälle asetettuja korkeita vaatimuksia. Moottorin kierrosluvun ollessa keskimäärin melko korkea, ja tarvittaessa kaksi-

tahtimoottorin toimintaperiaatteen mukaisesti jokaisella kampiakselin kierroksella sytytyskipinä, on sytytysjärjestelmälle kova rasite saada sylinterille tiheässä tahdissa vaadittava kipinä.

Edellä tehty pohdinta on lähtenyt siitä, että neli- ja kaksitahtimoottoreissa on sama määrä sylintereitä. Koska kaksitahtimoottorissa työkierto on käytännössä kaksi kertaa nopeampaa (olettaen, että moottorin kierrosluku on sama), voidaan kaksitahtimoottoreissa käyttää pienempää sylinterien lukumäärää. Historicissa tämä on siinä mielessä edullista, että ratkaisu pienentää moottorin kokoa ja samalla sen painoa. Kaksitahtimoottorin rakenne on myös yksinkertaisempi.

Sähköisten osien, lähinnä sytytystulppien, kannalta kaksitahtimoottorin haittoihin kuuluu huonommat huuhteluominaisuudet nelitahtimoottoriin verrattuna. Huuhteluominaisuuksien, toisin sanoen kaasunvaihto-ominaisuuksien merkitys sytytystulpille syntyy siitä, että kunnollinen kaasunvaihto sylinterissä vähentää lämpötilasta johtuvaa rasiitusta sytytystulpille. Lisäksi hyvät huuhteluominaisuudet saavat aikaan puhtaamman palamisen, ja tulpille haitallisia jäännöskaasuja esiintyy vähemmän.

#### 6.5.1 Akku ja generaattori

Moottorin keskimääräisen kierrosluku on kilpa-autoissa suhteellisen korkea, joutokäynnillä moottori käy vain lyhyitä aikoja. Tällöin auton akun toimintaan kohdistuvat vaatimukset tietyiltä osin vähenevät. Kun akun täytyy lyhyemmällä aikavälillä kyetä purkamaan sähköistä varaustaan enemmän, sen on kyettävä vapauttamaan sähköä nopeasti auton muille sähköisille osille. Toisaalta moottorin pyöriessä suuremmalla kierrosluvulla, myös generaattori pyörii nopeammin, tuottaen auton käytettäväksi suuremman sähkömäärän pienemmällä aikavälillä. Lisäksi akun varauskyky on tärkeimmillään autoa käynnistettäessä sekä joutokäynnillä, jotka ovat kilpa-autoissa verraten harvinaisia tilanteita.

Joutokäynnin vähäisyys kilpa-autoilussa poistaa osan generaattorin toimintaan liittyvästä problematiikasta, sillä generaattorista saa joutokäynnillä suhteellisen vähän tehoa irti. Joutokäynnin vähäisyys asettaa kilpa-autojen kohdalla vähemmän rajoitteita generaattorin välityssuhteen valinnalle, joskin generaattorin korkeampi pyörimisnopeus vaatii puolestaan kestävämmän roottorin. Erityisesti roottorin laakerointi on herkkä korkeille kierrosluvuille. Tämä on huomioitava generaattorin välityssuhteissa, joilla tarkoitetaan generaattorin sekä auton moottorin välisiä välityssuhteita.

Historic-ralliautojen tekniikan kehittyessä sähköntarve autoissa on olennaisesti kasvanut. Aiemmin käytetyt tasasähkögeneraattorit todettiin aikanaan liian tehottomiksi sähköntarpeen kannalta, ja niiden tilalle kehitettiin tehokkaampia vaihtosähkögeneraattoreita. 1970-luvun Historic-autoista löytyy vielä paljon tasasähkögeneraattoreita, kun taas uusimmissa, varsinkin esimerkkiauton ikäisissä Historic-autoissa, on sen sijaan käytössä vaihtosähkögeneraattori.

Tavallisesti tasasähkögeneraattorissa pyörivä osa kehittää sähkövirtaa, ja paikoillaan olevaan kuoriosaan syntyy magneettisuutta, jolloin vaihtosähkön muuntaminen tasasähköksi on helppo toteuttaa virrankäntäjällä eli kommutaattorilla. Tästä muodostunut tasasähkö voidaan seuraavaksi syöttää akkuun ja sähköjärjestelmään.

Tasasähkögeneraattorin rakenteessa ja toimintaperiaatteessa on kuitenkin myös omat haittapuolensa, joista esimerkkinä mainittakoon runsas huollontarve muun muassa hiiliharjojen varsin nopean kulumisen takia. Mikäli generaattorista halutaan suhteellisen suuri teho irti, on tasasähkögeneraattorin kohdalla valittava suurikokoinen generaattori niin koon kuin massankin osalta. Lisämassa taas ei ole kilpa-autoilussa eduksi. Tasasähkögeneraattorilla on myös kapea käyttökelpoinen kierroslukualue.

Historic-ralliautossa tasasähkögeneraattorin suuri huollontarve ei ole välttämättä kovin suuri haitta, sillä Historic-ralliautoja on joka tapauksessa huollettava jatkuvasti niiden suorituskyvyn ylläpitämiseksi. Sen sijaan tasasähkögeneraattorin kovat vaatimukset koon ja massan osalta suuren tehon saavuttamiseksi ovat Historic-ralliautossa haitallinen asia. Lisäksi tasasähkögeneraattorin kapea kierroslukualue on ongelmallinen asia. Ralliautossa nimittäin vaaditaan generaattoria, joka pystyy toimimaan laajalla kierroslukualueella kunnollisen tehon saamiseksi. Tasasähkögeneraattoria käytettäessä kannattaa generaattorin kierroslukualue sijoittaa korkeille kierrosluvuille, sillä suurimman osan ajasta moottori käy kuitenkin korkeilla kierrosluvuilla. Tästä syystä kilpa-autossa ei koidu kovin suurta haittaa, vaikkei tasasähkögeneraattori saisikaan riittävästi sähkötehoa aikaiseksi akun lataamiseen esimerkiksi tyhjäkäynnillä.

Vaihtosähkögeneraattoreiden suosion kasvua auttoi puolijohdetekniikan kehitys. Puolijohteilla voidaan tasasuunnata vaihtovirtageneraattorin tuottamaa vaihtosähköä. Generaattori voidaan saada antamaan virtaa moottorin tyhjäkäynnilläkin, mikäli generaattorin ja moottorin välille valitaan sopiva välityssuhde. Lisäksi vaihtosähkögeneraattori on kehittynyt tasasähkögeneraattoriin verrattuna selvästi pidemmälle esimerkiksi käyttöiän ja mekaanis-dynaamisten vaikutusten osalta. Vaihtosähkögeneraattorin diodit tarvittaessa

estävät sähkövirran kulun akun ja generaattorin välillä tilanteessa, jossa akkujännite on generaattorin jännitettä suurempi. Vaihtosähkögeneraattorit kestävät tasasähkögeneraattoreita paremmin paitsi korkeita lämpötiloja, myös tärinää, likaa sekä kosteutta. Ajan kuluessa vaihtosähkögeneraattorit ovat pienentyneet, ja niiden kyky toimia laajemmalla moottorin kierroslukualueella on parantunut.

### 6.5.2 Polttoaineen syöttöjärjestelmä

Historic-ralliautoissa polttoaineensyöttö tapahtuu usein kaasuttimen avulla, sillä se on vanhemmissa autoissa yleinen polttoaineensyöttöratkaisu. Esimerkkiautossa sen sijaan käytetään Boschin valmistamaa sähköistä Motronic-polttoainejärjestelmää. Kyseinen järjestelmä on niin sanottu integroitu järjestelmä, jossa yksi ja sama tietokone ohjaa sekä sytytystä että polttonesteen suihkutusta hyödyntäen niiden yhteisiä optimointikriteerejä. Näiden kahden lisäksi järjestelmä ohjaa muitakin toimintoja, esimerkiksi lambda-säätöä ja pakokaasujen takaisinkierättystä. Motronic-järjestelmä vastaanottaa antureilta dataa moottorin käyntiolosuhteista, kuten esimerkiksi pyörintänopeudesta.

Stoikiometrisen suhteen ylläpitämiseksi sylinteriin suihkutettavan polttoaineen määrä vaihtelee sylinterin koon mukaan. Tämä taas asettaa vaihtelevia vaatimuksia polttoaineen ruiskutusjärjestelmälle, ennen kaikkea suuttimille. Polttoaineen ruiskutussuuttimien sijoitus vaikuttaa niihin kohdistuvan rasiuksen määrään. Mikäli suuttimet ovat palotilassa, kohdistuu niihin enemmän rasiusta mm. korkean lämpötilan sekä kaasusta aiheutuvien hiukkasten takia.

Esimerkkiautossa polttoaineen ruiskutussuuttimet on sijoitettu perinteisemmin, sillä 2000-luvun alkupuolella on myös bensiinillä kulkevilla autoilla yleistynyt suuttimien sijoittaminen suoraan palotilaan. Bensiinisuuttimienkin osalta tekniikka on vuosien saatossa kehittynyt, joten nykyajan suuttimet kestävät palotilassa niihin kohdistuvia rasiuksia jonkin verran paremmin kuin 1990-luvun vastaavat.

Mikroprosessoriohjattu, integroitu Motronic-järjestelmä kykenee hyödyntämään antureita, signaalien hyväksikäyttöä sekä niiden muokkausta yhteisesti. Tämä mahdollistaa erilaisten tavoitteiden, kuten ajettavuuden ja kulutuksen osalta parhaimman mahdollisen lopputuloksen, vaikka nämä tavoitteet olisivatkin osittain ristiriidassa keskenään. Motronic-järjestelmän muistissa on useita ominaiskäyrästäjä, muun muassa sytytykselle ja

suihkutukselle. Näiden ominaiskäyrästä perusteella esimerkiksi sytytyksen teho ja sytytyslaitteiden ottoteho säädetään optimaaliseksi. Lisäksi saadun datan avulla pystytään moottorista riippuen sen ominaisuudet sovittamaan pyörintänopeus-tehopisteissä haittaamatta muita toimintapisteitä.

Lambda-anturit antavat ohjausyksikölle dataa pakokaasujen jäännöshapen määrästä, jonka perusteella ohjausyksikkö optimoi seossuhdetta suihkutusaikaa säätelemällä. Moottorin kuormitus, lämpötila sekä pyörintänopeus vaikuttavat olennaisesti tämän säätöpiirin toimintanopeuteen. Lopullisessa laskentatuloksessa on siten huomioitu useita eri muuttujia.

Kun suihkutuksen ominaiskäyrästä sopeutetaan moottorin tarpeisiin lambda-säätöä hyödyntäen, otetaan siinä huomioon useampia muuttujia, kuten esimerkiksi karstoittuminen. Tällaiset muuttujat otetaan huomioon sopeutuvan lambda-säädön esiohjauksessa. (Bosch 1989, 23.)

### 6.5.3 Sytytystulpat ja -puolat

Sytytystulpillekin asetetut vaatimukset eroavat kilpa-autojen ja tieliikennekelpoisten autojen välillä. Suurin syy tähän on se, että moottorin sylinteriin tuotettavan polttoaine-il-maseoksen seossuhde vaihtelee ajotilanteesta riippuen. Esimerkiksi kiihdytystilanteessa suurimman tehon saavuttamiseksi täytyy polttoaineen ja ilman seosta hieman rikastaa, jolloin lambda-arvo ( $\lambda$ ) on hieman alle yhden. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että stokiometrisen seossuhteen sijasta polttonesteen osuus koko seossuhteesta hieman kasvaa. Koska suuri tehontarve sekä nopeat ja voimakkaat kiihdytykset ovat kilpa-autoilussa keskeisempiä asioita liikenneajoon nähden, kilpa-autoilussa lambda-arvo on keskimäärin pienempi, kuin liikenneajossa.

Ajan kuluessa sytytystulppien kärjet kuluvat, jolloin sytytyskipinän synnyttäminen on vaikeampaa. Lopulta kärkien kulumisen johtaa siihen, että pyörityneet kärjet eivät enää saa kipinää aikaiseksi. Auton suorituskyky voi laskea paljonkin, mikäli sytytystulppien liiallinen kulumisen johtaa esimerkiksi sytytyskatkoksiin. Kilpa-autoissa tämä on merkittävä haitta, sillä maksimitehon saaminen irti autosta on kilpa-autoilussa keskeinen vaatimus.

Koska laiha seos vaatii rikasta seosta korkeamman jännitteen syttyäkseen, ei kilpa-autoihin tältä osin kohdistu korkeiden sytytysjännitteiden osalta kovin suuria vaatimuksia.

Sytytystulppien kärkivälien mitoittaminen on tärkeässä osassa suunniteltaessa kilpa-autokäyttöisiä sytytystulppia, koska kärkivälin suuruus määrittää omalta osaltaan seoksen sytyttämiseen tarvittavan korkeajännitteen määrän. Suurempi kärkiväli tarkoittaa suurempaa tarvittavaa jännitettä, joskin samalla myös varmempaa syttymistä, sillä kärkiväliin saadaan silloin enemmän syttymiskelpoista polttoainetta. Koska kilpa-autot kulkevat keskimäärin rikkaammalla seoksella, tarve tehdä suurempaa kärkiväliä niiden sytytystulppiin ei ole niin suuri.

Sytytystulppienkin kohdalla lämpötila on keskeinen haaste. Tulppien on oltava suunniteltu huomioiden auton sylintereissä vallitseva lämpötila-alue, ja niiden on kestävä erityäin korkeita lämpötiloja. Ylikuumenemisen estämiseksi tulppien on oltava kylmempää, koska niiden ylikuumenemisesta voi seurata ennenaikainen syttyminen. Tästä puolestaan seuraa nakutusta ja toisinaan jälkikäyntiä.

Koska sytytystulppaan sitoutuu sen toiminnassa ollessa paljon lämpöä, on sen toimintakunnon ylläpitämiseksi liika lämpö saatava siitä pois. Toisaalta tulpan lämpötila ei myöskään saa laskea liian alhaiseksi, koska silloin tulpan eristinjalkaan kertyy nokea. Tämä aiheuttaa oikosulun keskielektrodin maadoituksessa estäen näin kipinän syttymisen. Sytytystulpan lämpöominaisuudet riippuvat muun muassa siinä käytetyistä materiaaleista sekä eristinjalan pituudesta. Lisäksi tulpan lämpenemiseen vaikuttaa myös se, kuinka iso osa tulpan elektrodeista sekä eristinjalasta sijaitsee palotilassa. Sytytystulpan lämmönjohtokykyä voidaan mitata lämpöarvoksi nimitetyllä lukuarvolla. Pääsääntöisesti suuri lukuarvo kertoo kuumasta tulpasta ja pienempi taas kylmästä. Kylmän tulpan eristejalca on lyhyempi, ja sen myötä myös lämmön siirtyminen sylinteriin tapahtuu lyhyemmällä matkalla. Tämän avulla tulpan jäähtyminen on tehokkaampaa.

Tulpan lämpöominaisuudet riippuvat lisäksi keskielektrodista ja sen lämmönjohtokykyä. Keskielektrodin lämmönjohtokykyyn taas vaikuttaa olennaisesti siinä käytettävä materiaali. Esimerkiksi hopeaelektroditulpilla on erityisen hyvä lämmönjohtokyky. Elektrodien lämmönjohtokyvyllä on merkitystä myös siinä, kuinka paljon ne kuluvat. Elektrodien kulumiseen nimittäin vaikuttaa myös se, kuinka kestäviä ne ovat korroosiota ja kipinäeroosiota vastaan. Koska kilpa-autojen moottoreiden lämpötila nousee usein suhteellisen korkeaksi, ovat kilpa-autokäyttöön suunnitellut sytytystulpat keskimäärin melko lyhyitä ja siten paremmin lämpöä johtavia. Lisäksi niiden elektrodit on valmistettu paremmin lämpöä johtavista materiaaleista. Sytytystulppien ominaisuudet vaikuttavat myös sytytyspuolien toimintaan. Lisäksi moottorin korkea kierrosluku tarkoittaa sitä, että sytytyspuolan täytyy muodostaa nopeammin korkeajännitepiikkejä kipinää varten.

Sääntöjen puitteissa Historic-autoissa voidaan käyttää mitä tahansa materiaalia sytytystulppien keskielektrodien kärjissä. Ralliauton kannalta hyviä materiaalivaihtoehtoja sytytystulppien keskielektrodien kärjille ovat esimerkiksi aiemmin mainittu hopea ja lisäksi platina. Yleisesti materiaaleina käytettävistä aineista hopealla on paras lämmönjohtavuuskyky. Tämän ansiosta hopeaelektrodista voidaan valmistaa melko ohut, jolloin sytytysjännitteen ei tarvitse olla niin suuri. Tämä johtuu siitä, että ohuessa elektrodissa elektronit jakautuvat pienemmälle alueelle. Hopeasta valmistettu elektrodi kestää myös kulu- tusta hyvin, mutta toisaalta hopeakärkitulpat ovat kalliita johtuen hopean korkeasta hin- nasta. Hopeatulppia valmistetaankin yleensä kilpa-ajoneuvoja varten (Juhala ym. 2005, 348).

Myös platinaelektrodeilla on hyvät ominaisuudet lämmönjohtamisen sekä kestävyuden suhteen. Platinaelektrodien hyvää lämmönjohtavuutta lisää se, että platina sekä eristi- men keraaminen materiaali laajenevat lämmitessään yhtä paljon. Tästä syystä niiden välissä ei tarvitse olla ilmarakoa, mikä osaltaan parantaa lämmönjohtavuutta entises- tään. Platinakärkitulpassa, kuten hopeakärkitulpassakin, polttoaineseos pääsee tulpan kärkiväliin varsin hyvin.

Tarvittavan sytytysjännitteen suuruus riippuu tulppien kärkivälien ja seossuhteen lisäksi myös sylinterin paineesta ja lämpötilasta. Sylinterin lämpötilan nousu osaltaan kasvattaa myös sen painetta, ja vastaavasti paineen nousu sylinterissä nostaa sen lämpötilaa.

#### 6.5.4 Sytytyksen ohjaus

Eri aikakausien Historic-ralliautoja tutkiessa voi myös nähdä sytytyksen ohjauksen tek- nisen kehittymisen ja painopisteen siirtymisen sähkötekniisiin sytytyksen ohjausratkaisui- hin, sillä vielä 1960-luvulle saakka sytytystä ohjattiin autoissa vielä täysin mekaanisesti virranjakajalla ja katkojankärjillä. Myös elektronisia sytytyksen ohjausjärjestelmiä alettiin kokeilla, ja 1970-luvulla niiden kehitys olikin nopeaa. Silloinen sähkötekniinen kehitys- kulku alkoi ensiövirrasta, jonka kytkeminen ja katkaiseminen hoidettiin sähköisesti. 1980- luvun edetessä myös muut sytytyksen ohjauksen toiminnot hiljalleen sähköistyivät. Me- kaanisesti toimivat osat ovat tarpeellisia lähinnä vain suurjännitepulslien jakamisessa monisynterisissä moottoreissa. Tämäkin ratkaisu voidaan korvata elektronisesti siten, että jokaiselle sylinterille on oma muuntajansa.

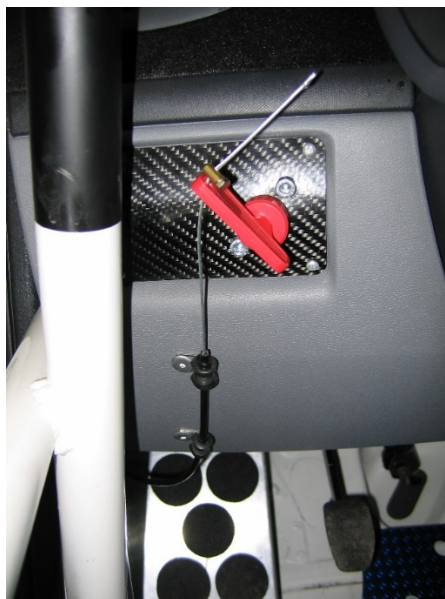
Historicin kannalta sytytystoiminta on ongelmallista sikäli, että suuret käyntinopeudet ovat haastavia tilanteita sytytykselle. Historic-ralliautossa moottorin kierrosluku on muiden autourheilulajien tapaan suhteellisen korkea, jonka takia sytytys aiheuttaa omalta osaltaan haasteita Historic-autojen toiminnalle. Korkean kierrosluvun aiheuttama haasteellisuus johtuu ajan puutteesta, joka saa aikaan ensiövirran vähenemisen.

Sytytyspuolan antaman toisiojännitteen suuruuteen vaikuttaa muun muassa se, kuinka paljon puolan ensiö- ja toisiokäämeissä on kierroksia suhteessa toisiinsa. Sytytyspuolan valmistamisessa on edellä mainitun käämien kierrossuhteen osalta usein tehtävä kompromisseja auton käyttötarkoituksen huomioiden. Mikäli tätä kierrossuhdetta muokataan niin, että sytytyksen toiminta korkeilla kierrosluvuilla olisi tehokasta, tarkoittaa se samalla huonompaa sytytyksen toimintaa moottoria käynnistettäessä. Tämä pätee myös päinvastoin. On tosin huomioitava, että jos toisiokäämiin lisää liikaa kierroksia suhteessa ensiökäämin kierrosten määrään, toisiojännitteen määrä lopulta lähtee laskuun.

Historic-ralliautot käyvät usein korkeilla kierrosluvuilla, ja niiden käyttötarkoituksen huomioiden moottorin tehokas käynnistyminen on toissijainen asia verrattuna tehokkaaseen sytytykseen korkeilla kierrosluvuilla. Tästä johtuen Historic-ralliautossa on eduksi käyttää sytytyspuolaa, jonka toisiokäämin kierrosluvun suhde ensiökäämin kierroslukuun on suurempi, kuin liikennekäyttöisissä autoissa.

## 6.6 Päävirtakatkaisin

Kilpa-autoista löytyy turvallisuuden kannalta erittäin olennainen sähkökomponentti, päävirtakatkaisin, jonka avulla voidaan tarvittaessa katkaista auton kaikki virtapiirit lukuun ottamatta mahdollisia sammutusjärjestelmän virtapiirejä. Päävirtakatkaisimen tunnistaa helposti punaisesta vivusta. Nykyisin monissa autourheilulajeissa vaaditaan autoissa käytettäväksi päävirtakatkaisinta osana auton sähköjärjestelmää. Päävirtakatkaisin on sijoitettu ralliautoon niin, että sekä kuljettaja että kartanlukija ylettävät käyttämään sitä turvavyöt kiinni istuimeltaan käsin.



Kuva 12. Päävirtakatkaisin (Jänne 2021).

Hätätilanteen sattuessa päävirtakatkaisimesta voidaan katkaista välittömästi kaikki sähkön kulku auton kaikkiin sähköisiin osiin, pois lukien edellä mainittu sammutusjärjestelmä. Tämä on tärkeä ominaisuus kilpa-autossa etenkin vaaratilanteissa, sillä päävirtakatkaisimen avulla voidaan ehkäistä esimerkiksi oikosulusta aiheutuvat vaarat, mikäli päävirtakatkaisinta käännetään tarpeeksi nopeasti. Lisäksi kääntämällä päävirtakatkaisin auton moottori sammuu myös, joten senkin ylikuumenemisesta aiheutuvat vaarat voidaan poissulkea päävirtakatkaisimen avulla.

Päävirtakatkaisimen tärkeys korostuu kilpa-autoilussa myös siksi, että hyvin monessa lajissa on kilpa-ajoradan tai -reitin varrella toimitsijoita, joille annetaan vaadittavat koulutukset esimerkiksi juuri päävirtakatkaisimen suhteen. Koska kilpa-autoissa päävirtakatkaisinta voi operoida myös auton ulkopuolelta käsin, ratavalvojilla tai -toimitsijoilla on helppo työ päästä käsiksi katkaisimeen ilman, että heidän tarvitsisi mennä autoon sisälle. Tämä vähentää päävirtakatkaisimen käyttäjään kohdistuvia vaaratekijöitä, sillä osittainenkin auton sisälle meneminen voi tilanteesta riippuen lisätä katkaisimen käyttäjän hengen ja terveyteen kohdistuvia riskejä merkittävästi. Lisäksi ralliauton törmätessä esimerkiksi puuhun tai kiveen, voi sen kori vaurioitua pahasti. Tämä riski korostuu Historicralliautoissa, joissa korit ovat nykyautoihin verrattuna heikkorakenteisempia. Korin merkittävä vaurioituminen voi tehdä ovien avaamisesta ja siten autosta ulos pääsemisestä erittäin vaikeaa tai jopa mahdotonta, ja samalla riski kuljettajien tajunnan ja sitä kautta toimintakyvyn menetykseen kasvaa.

## 6.7 Kilpa-auton sähkötekniikka ylläpidon näkökulmasta

Kilpa-auton sähkötekniikassa täytyy huomioida myös sen ylläpito huolto- ja korjaustoimenpiteineen. Kilpa-autoihin tehdään erittäin usein huolto- ja korjaustoimenpiteitä, jotta niillä olisi mahdollisimman helppoa ajaa ja menestyä. Siten myös sähköisiä osia huolletaan, korjataan ja vaihdetaan paljon. Tästä syystä osien sijoittaminen kilpa-autoon on tehtävä niin, että niihin pääsee tarvittaessa helpommin käsiksi. Lisäksi sähkökomponenttien kohdalla muun muassa liittimiksi on valittava paitsi suorituskykyiset, myös kestävät liittimet. Näiden liitinten tulee kestää kilpa-autoissa enemmän irrotusten ja kiinnitysten aiheuttamaa, joskin suhteellisen vähäistä, rasitusta.

Huoltotoimenpiteiden tiheyteen on monta hyvää syytä. Kilpa-auton osat joutuvat kovasta vauhdista ja moottorin kovasta käytämisestä ankaran rasituksen kohteeksi lyhyessä ajassa. Tällöin osat altistuvat herkemmin paitsi rikkoutumiselle, myös tavalliselle kulumiselle. Koska kysymys on kilpailemisesta, halutaan kilpailijoiden voittamiseksi pitää siihen vaadittavat puitteet mahdollisimman hyvässä kunnossa. Tämä tarkoittaa sitä, että auton osia on huollettava ja tarpeen vaatiessa myös vaihdettava, jotta autosta saadaan irti mahdollisimman hyvä suorituskyky. Lisäksi kilpa-autoihin täytyy tehdä myös säätötoimenpiteitä ennen kaikkea kuljettajan näkökulmaa silmällä pitäen.

Historic-auton ollessa kyseessä huoltaminen on varsin yksinkertaista ja vaivatonta, sillä auton sähkötekniikasta yleensä halutaan karsia kaikki tarpeeton ja ylimääräinen pois. Näin ollen huollettaviin tai korjattaviin osiin ja komponentteihin on helppoa päästä käsiksi, sillä huoltotoimenpiteen suorittamiseksi ei tarvitse siirtää tai purkaa niin paljon muita osia pois. Lisäksi sähköisten osien minimointi helpottaa huollettavan tai hajonneen osan paikallistamista ja tunnistamista etenkin, jos huoltotoimenpiteen suorittaa henkilö, jolla ei välttämättä ole kovin paljon kokemusta tai tietotaitoa Historic-autojen sähkötekniikasta tai autotekniikasta ylipäänsä. Pääsääntönä on, että varsinkin vanhemmissa Historic-autoissa sähkötekniikka on paitsi yksinkertaisempaa, myös vähäisempää. Tämä osaltaan johtaa siihen, että vikojen paikallistaminen on helpompaa, ja niiden korjaaminen vaivattomampaa.

## 7 YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin kilpa-auton sähköjärjestelmän suunnitteluun liittyviä perusteita. Tuloksena saatiin analyysi tähän suunnitteluun liittyvistä piirteistä käyttäen esimerkkinä Historic-ralliautoa. Lisäksi työ sisälsi hieman vertailua kilpa-autojen ja tieliikennekelpoisten autojen sähköjärjestelmien välillä.

Opinnäytetyön lähdeperusta käsittää niin kirjoja, lehtiä kuin sähköisiäkin lähteitä. Aihealueesta riippuen lähdetietoa löytyi vaihtelevasti, mikä vaikuttaa omalta osaltaan aihealueiden käsittelyyn työssä. Kaiken kaikkiaan lähdetiedon merkitys on tässä opinnäytetyössä melko suuri, sillä aihealue, varsinkin kilpa-autojen sähkötekniikka, oli opinnäytetyön tekijälle melko tuntematon asia. Samoin Historic lajina ei ollut tekijälle kovinkaan tuttu laji muun muassa teknisten sääntöjen osalta.

Tämä opinnäytetyö oli myös tekijälleen eräänlainen opintomatka. Työn tekeminen toi edetessään mukanaan uutta tietoa, josta syystä sitä voi pitää antoisana kokemuksena. Lisäksi opinnäytetyön aihe on kiinnostava ja siitä omaksuttua tietoa voi tulevaisuudessa hyödyntää myös autotekniikan ulkopuolella.

## LÄHTEET

- AKK-Motorsport ry 2020a. Viitattu 11.12.2020.  
[https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1610/30878977\\_akk\\_11\\_hisse\\_2020\\_paiv\\_13112019.pdf](https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1610/30878977_akk_11_hisse_2020_paiv_13112019.pdf)
- AKK-Motorsport ry 2020b. Viitattu 11.12.2020.  
[https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1610/liite\\_j\\_1990\\_ikakausi\\_j2.pdf](https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1610/liite_j_1990_ikakausi_j2.pdf)
- AKK-Motorsport ry 2020c. Viitattu 4.1.2021.  
[https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1447/toimintasuunnitelma\\_2021.pdf](https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1447/toimintasuunnitelma_2021.pdf)
- AKK-Motorsport ry 2021. Viitattu 4.1.2021.  
<https://www.autourheilu.fi/lajit/Historic/>
- AM-Asennus 2021. Viitattu 25.8.2021.  
<https://www.am-asennus.fi/tuote/latta-abiko-lajitelma-eristetty-220-osaa/>
- Autotel 2020. Viitattu 16.12.2020.  
<https://www.autotel.co.uk/motorsport-telemetry-system>
- Bosch, R. 1989. Teknistä tietoutta: Ottomootorin pakokaasutekniikka. Suomenkielinen käännös saksankielisestä painoksesta. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy
- DDesign 2021. Viitattu 25.8.2021.  
<https://www.ddesign.nu>
- FIA 2020. Viitattu 10.1.2021.  
<https://www.fia.com/events/Historic-hill-climb-championship/season-2020/2020-fia-Historic-hill-climb-championship>
- FIA 2021. Viitattu 5.1.2021.  
<https://www.fia.com/organisation>
- Inkinen, P; Tuohi, J. 2012. Momentti 1: Insinöörifysiikka. 4.-9. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Investing 2021. Viitattu 11.1.2021.  
<https://fi.investing.com/commodities/metals>
- Itkonen, M; Taskinen, K; Lautsi, V. 2018. Ratojen ja rallien vakiot: Suomen historiallisia kilpa-autoja. Suomalaisen kirjallisuuden seura: Helsinki.
- Juhala, M; Lehtinen, A; Suominen, M; Tammi, K. 2005. Moottorialan sähköoppi. Yhdeksäs painos. Helsinki: Suomen autoteknillinen liitto.
- Jänne 2021. Jyri Jänteen yksityinen valokuvakokoelma.
- Merlin Motorsport. Viitattu 25.8.2021.  
<https://www.merlinmotorsport.co.uk/p/cobra-mechanical-oil-pressure-gauge-cbc-op>
- Mäkelä, M; Soininen, L; Tuomola, S; Öistämö, J. 2018. Tekniikan kaavasto. 17. painos. Tampere: AMK-kustannus OY Tammertekniikka.
- Nylund, J. 1999. Suomen ralliautoilun historia. Helsinki: Alfamer Kustannus Oy.
- PEI-Genesis 2021: Motorsport connectors designed to win the race. Viitattu 22.6.2021.  
<https://blog.peigenesis.com/motorsport-connectors-designed-to-win-the-race>

Race Car Gauge 2021. Viitattu 25.8.2021.

<https://racecargauge.en.made-in-china.com/product/wNMnidzbQPhZ/China-Do908-Sinco-Tech-Dash-Race-Display-Sensor-Kit-Dashboard-LCD-Screen-Wire-Harness-Gauge-Meter.html>

Supercars 2021. Viitattu 25.8.2021.

<https://www.supercars.net/blog/1984-renault-5-maxi-turbo/>

TE Connectivity 2021a. Viitattu 25.8.2021

<https://www.te.com/usa-en/products/connectors/automotive-connectors/intersection/deutsch-dtm-connectors.html?tab=pgp-story>

TE Connectivity 2021b. Viitattu 25.8.2021.

<https://www.te.com/usa-en/products/connectors/circular-connectors/intersection/deutsch-asu-series-connectors.html?tab=pgp-story>