

Miikka Mäkelä

MTEC E -SÄHKÖFORMULA-AUTON KONSEPTIN SUUNNITTELU

MTEC E -SÄHKÖFORMULA-AUTON KONSEPTIN SUUNNITTELU

Miikka Mäkelä
Opinnäytetyö
Syksy 2016
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Miikka Mäkelä
Opinnäytetyön nimi: Mtec E -sähköformula-auton konseptin suunnittelu
Työn ohjaaja: Janne Ilomäki
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2016
Sivumäärä: 65 + 4 liitettä

Opinnäytetyön sisältö toimii taustatutkimusmateriaalina Mtec E -kilpailusarjan suunnittelua ja toteuttamista varten. Opinnäytetyöstä syntyvä konsepti toimii viitekehystenä prototyypiauton ja myöhemmin tuotantoversion suunnittelussa. Työssä vertaillaan olemassa olevia kilpasarjojen tapahtumia ja formula-autojen teknisiä ominaisuuksia ja sovelletaan kerättyä tietoa kokoamalla sitä prototyypin ja tuotantoversion sähköformuloiden suunnittelua varten.

Taustatutkimuksen mukaan Mtec E -prototyypiauton rakentaminen ja sähköformulasarjan perustaminen ovat mahdollisia. Prototyypin rakentamisessa tulee eteen suuria haasteita akun valinnassa, rahoituksessa ja sähköturvallisuuden takaamisessa. Haasteet eivät ole ylipääsemättömiä, mutta niiden toteutukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota prototyypin suunnittelu- ja rakennusvaiheissa.

Tämän opinnäytetyön aikana Mtec E -projektille on myönnetty ELY-keskukselta myönteinen avustustukipäätös. Mtec E -prototyypiauton rakennus on aloitettu ja prototyypiautoa varten tarvittava runkorakennekehikko ja takapään tukivar-sigeometrian asennustyökalu on valmistettu.

Asiasanat: sähköajoneuvo, moottoriurheilu, kilpa-auto, autokilpailu, sähköformula, sähkömoottori

ALKULAUSE

Opinnäytetyön tarkoitus on tehdä mahdollisimman kattavaa pohjatyötä Mtec E -kilpailusarjan suunnittelua ja toteuttamista varten. Opinnäytetyöstä syntyvä konsepti toimii viitekehystenä prototyyppi-auton ja myöhemmin tuotantoversion suunnittelussa.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Mäkelä Racing Team. Mäkelä Racing Teamin yhteyshenkilönä ja opinnäytetyön toteuttajana toimii Miikka Mäkelä.

Haluan kiittää Oulun ammattikorkeakoulua sekä muita mukana olleita yrityksiä ja henkilöitä, jotka ovat toiminnallaan olleet mahdollistamassa opinnäytetyön toteuttamista. Lisäksi kiitän projektin ohjaajina toimineita laboratorioinsinööri Janne Ilomäkeä, yliopettaja, professori Mauri Haatajaa ja erikoisasantuntija Arto Lehtosta. Erityisesti haluan kiittää Mäkelä Racing Teamin henkilöstöä tukemisesta kaikissa Mtec E -projektin ja opinnäytetyön vaiheissa.

Oulussa 22.12.2016

Miikka Mäkelä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
KÄSITTEITÄ	7
1 JOHDANTO	10
2 MTEC E -PROJEKTIN TAVOITTEET	12
2.1 Mtec Formula Technology	12
2.2 Formula Ford	12
2.3 Uusi aluevaltaus	14
2.4 Tulevaisuuden markkinamahdollisuudet	15
2.5 Uusi teknologia	17
2.6 Teamin tulevaisuus	17
2.7 Ympäristöystävällisyys	18
3 SÄHKÖFORMULASARJA	20
3.1 Kilpailutapahtumien konseptien vertailua	20
3.1.1 Formula E -konsepti	20
3.1.2 Rallicross-sarja	21
3.1.3 Formula 1 -sarja	22
3.1.4 Nascar	23
3.2 Sähköformulasarjan promoottori	25
3.3 Kilpailuja järjestävät moottoriurheiluseurat	26
3.4 Sähköformulasarjan kilpailijat	27
3.5 Sähköformulasarjan tiimit	28
3.6 Kilpailutapahtuman konsepti	31
3.7 Sähköformulasarjan konsepti	33
4 MTEC E -PROTOTYYPPI	35
4.1 Tutkimusta formuloiden teknisistä ominaisuuksista	35
4.1.1 Formula E -auto	35
4.1.2 F4	38

4.2 Mtec E -prototyypin tekniikka	39
4.2.1 Runkorakenne ja tukivarsigeometriat	39
4.2.2 Akuston sijoittaminen	42
4.2.3 Sähkömoottorin ja tasauspyörästäön rakenne	42
4.3 Turvallisuus	45
4.3.1 Akuston turvallisuus	46
4.3.2 Sähkölinjojen ja kytkentöjen turvallisuus	47
4.3.3 Auton rungon turvallisuus	48
4.3.4 Onnettomuudet	49
4.3.5 Häiriötilat	49
4.3.6 Henkilövahinkojen minimointi	50
5 PROJEKTIN TOTEUTUS	52
5.1 Yhteistyötahot	52
5.1.1 Oulun ammattikorkeakoulu (Oamk)	52
5.1.2 AKK	52
5.1.3 ELY-keskus	52
5.2 Rahoitus	53
6 MTEC E:N TUOTANTOVERSIO	54
6.1 Tuotanto	54
6.2 Kausikustannukset	55
6.3 Myyntistrategia	56
7 YHTEENVETO	57
LÄHTEET	60
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Energiatehokkuus, Formula Ford VS Mtec E -sähköformula	
Liite 3 Mtec E cost evaluation 22.11.2015	
Liite 4 Ajotilatutkimus, Mtec Formula Ford ja Mtec E, s. 9 - 10	

KÄSITTEITÄ

AKK	Autourheilun Kansallinen Keskusliitto, FIA:n alainen kansallinen Suomessa toimiva Autourheilun Keskusliitto
BMS	Battery Management System, järjestelmä, joka seuraa ja ohjailee sähköauton akkupaketin sisäisten kennojen varaustiloja
crash box	formula-autoille tyypillinen turvavaruste, joka hidastaa kolaritilanteissa ajoneuvojen törmäysvauhtia hallitusti
CrMo-putki	kilpa-autojen runkorakenteisiin soveltuva kromi-molybdeeni-teräksestä valmistettu saumaton putki
Data logger	tietokonejärjestelmä, joka kerää kilpa-auton teknisistä toiminnoista ja ajotapahtumista tietoa sensoreiden välityksellä
DJ	musiikkitapahtumissa musiikkia soittava henkilö
ECU	Electronic Control Unit, sähköinen ajotietokone, jolla voidaan ohjata ajoneuvojen eri toimintoja; tässä raportissa ECU:lla viitataan lähinnä sähkömoottoria ohjaavaan keskusyksikköön
F4	Formula 4, FIA:n asettamassa formulaluokkien porrastetussa arvojärjestyksessä Formula 1 (F1) on korkein formuloiden kuninkuusluokka ja Formula 4 (F4) on alin aloittelijoiden luokka

fail safe -toiminto	toimintoja, jotka katkaisevat korkeajänniteakun yhteyden muuhun autoon onnettomuustilanteissa
feeder-luokka	kilpailuluokka, joka on suunniteltu jonkin tietyn korkeampitasoisen formulaluokan alaluokaksi
FIA	Federation Internationale de l'Automobile, moottoriurheilun kansainvälinen kattojärjestö
F1 GP	Formula 1 Grand Prix, Formula 1 -kilpailusarjan osakilpailuviikonloppu
invertteri	laite, jolla muunnetaan sähkötekniikassa tasasähköä vaihtosähköksi
maksimivääntömomentti ja nimellisvääntömomentti	sähkömoottoreille ilmoitetaan yleensä nimellisvääntömomentti ja hetkellinen maksimivääntömomentti, nimellisvääntömomenttia sähkömoottori pystyy tuottamaan pitempiaikaisesti ja maksimivääntömomenttia hetkellisesti
KERS	Kinetic energy recovery system, järjestelmä, joka muuntaa liike-energian sähköenergiaksi jarrutuksessa
kuljettajan polku, urheilijan polku	yleinen käsite nuoren moottoriurheilijan ajamista kilpailuluokista matkallaan aloittelijatasolta ammattilaiseksi; askel polulla eteenpäin tarkoittaa siirtymistä edellisestä kilpailuluokasta yhden tason ylempään luokkaan
hiilikuitumonokokki	hiilikuidusta valmistettu itsekantava runkorakenne, jota käytetään monissa formula-autoissa

slick-rengas

kuivalla radalla käytettävä pitävä kilparengas;
slick-renkaat ovat täysin sileäpintaisia ilman ve-
siuria

1 JOHDANTO

Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) kanssa aiemmin tehty yhteistyö Suomen puhtain rataluokka -hankkeessa vuonna 2009 synnytti monia ideoita tulevaisuudelle. Hankkeessa kehitettiin Formula Fordiin muunnossarja, joka mahdollisti ajamisen E85-bioetanolilla (1). Syksyllä 2014 julkisuuteen noussut FIA Formula E -sähköformulasarja antoi idean toteuttaa hanketta, jossa pyritään rakentamaan oma sähkökäyttöinen formula-auto. Kokonaisuutena prototyyppiauto rakennetaan pienin muutoksin olemassa olevan Mtec Formula Fordin runkoon ja tekniikkaan perustuvaksi.

Pitkällä tähtäimellä sähköformulaa on tarkoitus alkaa sarjatuottamaan ja markkinoimaan kansallisesti ja mahdollisesti myös kansainvälisesti ajettavaksi. FIA Formula E:n kansainvälinen formulasarja on ollut hyvässä nousussa maailmalla ja pienempiä kansallisia sähköformulasarjoja on odotettavissa. Mtec Formula Technologin tavoitteena on olla sähköisen moottoriturheilun kärkinimiä tulevaisuudessa tarjoamalla ensimmäisenä sähköistä voimalinjaa pikkuformuloiden luokissa.

Sähköformula-auton rakentaminen on jotain uutta ja haastavaa Mtec:lle ja vaatii paljon aiheeseen perehtymistä. Turvallisuusasiat on otettava huomioon korkeajännitteisten komponenttien kanssa ajotilanteissa, huollossa ja kolareissa. FIA Formula E toimii tällä hetkellä vielä yksityistyyppiluokkana, eli kaikki tallit ajavat samanlaisilla autoilla. Näin ollen Formula E:n rakenteesta ja teknisistä ratkaisuista on runsaasti julkisesti saatavilla olevaa tietoa, josta on hyvä ottaa mallia Mtec E:n suunnitteluun ja rakentamiseen.

Opinnäytetyössä laaditaan konsepti Mtec E -formula-autolla ajettava kilpailusarja. Sarjan suunnittelussa otetaan huomioon muun muassa kansainväliset määräykset, määritellään kustannuskehys ja kartoitetaan tarvittavien yhteistyötahojen laajuutta. Työssä hahmotellaan suunnittelun yhteydessä ideologiaa mahdollisista kisatapahtumien malleista sekä esitetään teknisiä ratkaisumalleja prototyyppiautoon ja tuotantoversioon. (Liite 1.)

Prototyypiversio rakennetaan putkirunkoisena Mtec Formula Fordin pohjalle, mutta sarjatuotantoversiota varten on hyvä ottaa selvää myös Formula Fordia korkeampien turvallisuusluokitusten mukaisista ratkaisuksista. FIA:n F4-standardin turvallisuusluokitusten mukaiset formula-autot saavat ajaa kaikilla Euroopan radoilla, joten siihen tähdätään mahdollisimman suurten markkinoiden saavuttamiseksi.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä mahdollisimman kattavaa pohjatyötä Mtec E -kilpailusarjan suunnittelua ja toteuttamista varten. Opinnäytetyöstä syntyvä konsepti toimii viitekehystenä prototyypiauton ja myöhemmin tuotantoversion suunnittelussa.

2 MTEC E -PROJEKTIN TAVOITTEET

2.1 Mtec Formula Technology

Mtec Formula Technology (Mtec) on suomalainen moottoriurheilualan toimija, joka on tullut tutuksi Formula Fordien valmistajana. Nykyisin Mtec:n toimintaa on laajennettu myös muiden moottoriurheiluluokkien ja -lajien tarpeisiin. (2.)

Työn tilaajayritys on Huoltoasema Mäkelä Ky, jonka aputoiminimi on Mäkelä Racing Team. Mäkelä Racing Teamiin viitataan myös Mtec Formula Technologiina tai Mtec:nä. Henkilökunta koostuu pääasiassa Mäkelöiden perheenjäsenistä. Yrityksen pääpaikka on Rantsilassa, Siikalatvan kunnan alueella.

2.2 Formula Ford

Mtec:n ydinosaaminen perustuu Formula Fordien (kuva 1) rakentamiseen, niiden operoimiseen, tuotekehitykseen ja Mtec:n Formula Fordien menestyksessä kisaan historiaan. Formula Ford perustettiin 1960-luvulla, jolloin Englannin suuret formula-ajokoulut kehittivät Formula Ford -auton ensin ajo-opetuskäyttöön. Formula Ford oli alun perin tarkoitettu kartingista nouseville kuljettajille ja siitä muodostui myöhemmin uusi autoversio kilpailukäyttöön. Formula Fordeilla kilpaillaan ympäri maailman, ja Suomessa luokka on ollut olemassa 1990-luvun alusta lähtien.



KUVA 1. Mtec Formula Ford FD12 (3)

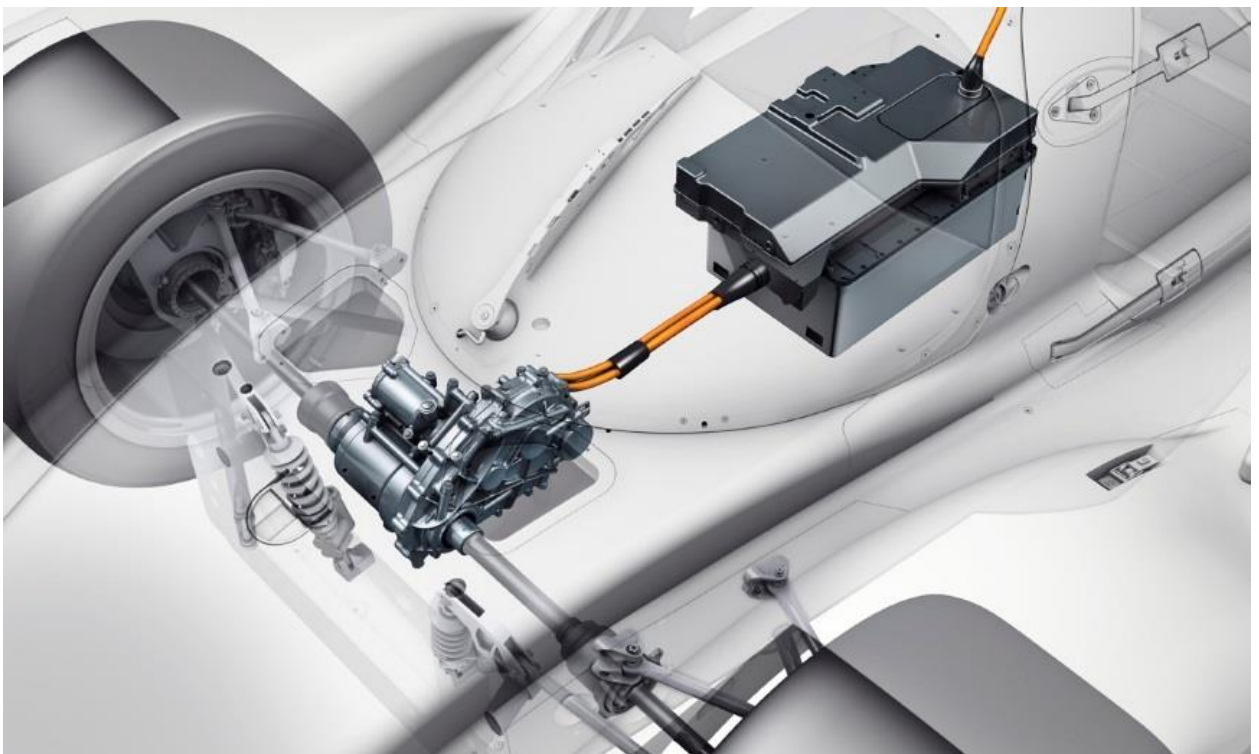
Formula Fordin peruseriaatteisiin kuuluvat kustannustehokkuus, kilpailukyky ja useiden valmistajien versiot. Formula Fordeille on annettu hyvin paljon vapauksia runkorakenteen, jousituksen, tukivarsigeometrian ja muiden formulan kaarrenoiteen vaikuttavien osien valmistuksessa. Tämä mahdollistaa eri autovalmistajille paljon mahdollisuuksia auton tuotekehitykseen, mutta se luo myös paljon kilpailua autovalmistajien välillä. Kilpailu autovalmistajien välillä auton nopeudessa ja kustannuksissa pitää autojen hintatason edullisena, eikä yhdelle autovalmistajalle pääse syntymään monopolia Formula Ford -autojen markkinoilla.

Moottorin suorituskyky on tarkasti rajattu, joten kaikilla on autoissa käytössään saman verran tehoa. Tasavertainen suorituskyky autojen välillä tekee kilpailuista tasaväkisiä. Joitain materiaalirajauksia auton valmistuksessa on tehty, jotta autojen hinnat pysyvät yleisesti alhaalla kaikilla valmistajilla. (4.)

Formula Fordin valmistajana Mtec Formula Technology pystyy hyödyntämään tietotaitoaan useassa eri osa-alueessa suunnitellessa Mtec E -prototyypin ja sarjatuotantoversiota. Formulan runkorakenne, tukivarsigeometrit, jousitus, crash box (turvavaruste), aerodynamiikka ja kuljettajan ergonomia ovat muutamia osa-alueita, jotka kuuluvat Mtec:n ydinosaan.

2.3 Uusi aluevaltaus

Sähkömoottorit ovat olleet rata-autoilussa kiistelty puheenaihe jo pitkään, mutta nykyään muun muassa Le Mans 24h -ajot on voitettu hybriditekniikkaa sisältävällä Prototype 1-H -luokan Porsche 919:llä (kuva 2), mikä on yksi merkki sähköisten voimansiirtojärjestelmien yleistymiseen kilpa-autoilussa. Sähköisten voimansiirtojärjestelmien käyttö ja ylivoimaisuus on huomattu myös muissa moottoriurheilulajeissa, minkä takia Mtec Formula Technologin tavoitteena on lähteä tekemään uutta aluevaltausta sähköisessä moottoriurheilussa.



KUVA 2. Porsche Prototype 1-H 919 etuakseliston sähköinen voimansiirto (5)

Tavoitteena Mtec E -projektilla on rakentaa toimiva sähköformula-auton prototyyppi, jonka pohjalta voidaan myöhemmin kehittää piensarjatuotantoversio. Sähköformuloille luodaan oma kilpailuluokka, jossa sähköformuloilla ajetaan Suomessa SM-, CUP- tai Trophy-mestaruudesta. Jos auton ja sarjan luominen onnistuu, konseptia markkinoidaan ulkomaille.

2.4 Tulevaisuuden markkinamahdollisuudet

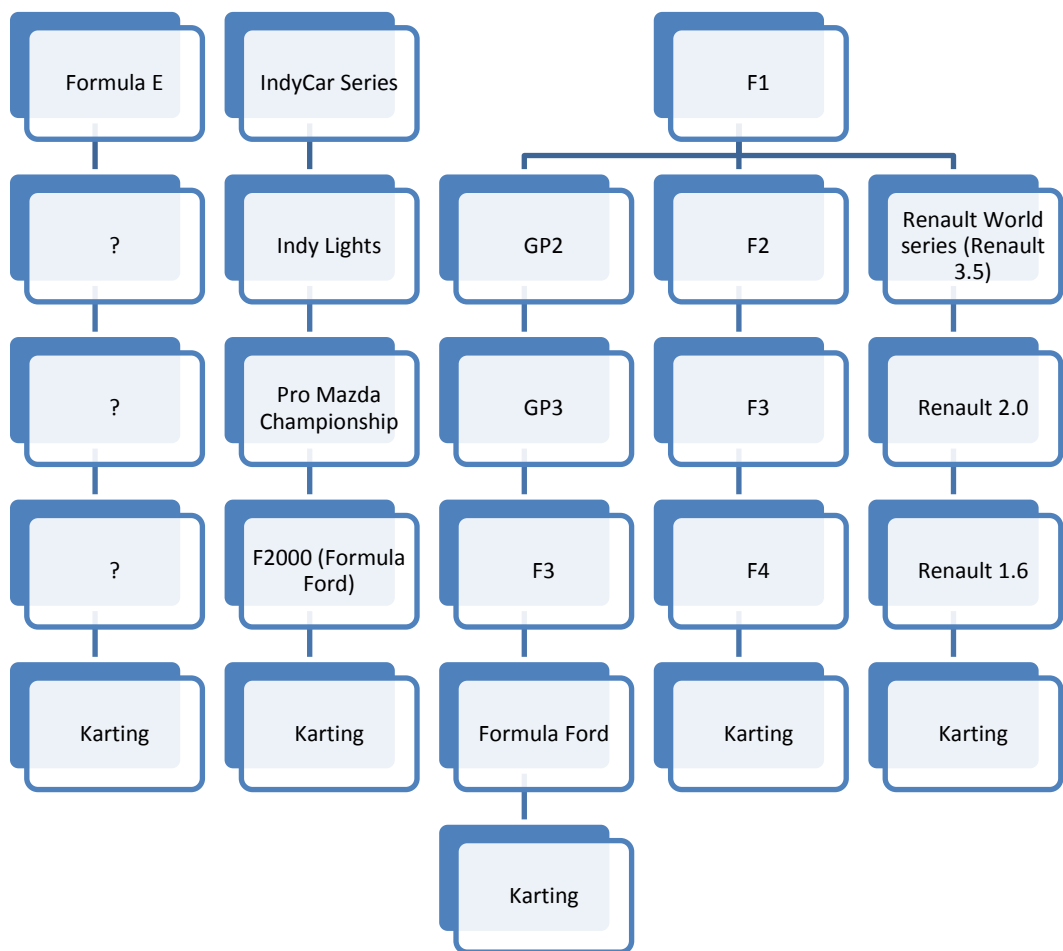
Formula E:n (kuva 3) katsojaluvut ja kilpailevien tiimien määrät ovat tasaisesti kasvaneet. Formula E -sarjaa toteuttamassa ja sponsoroimassa on useita kuuluisia talleja ja järjestäjiä ja uusia ilmoittautuu mukaan koko ajan. Esimerkiksi uutena tulokkaana Jaguar perusti oman Formula E -tiimin kauden 2016 puolivälissä.



KUVA 3. Jaguarin 2016 Formula E-auto (6)

Formula E:n kaltainen sarja tarvitsee kuitenkin tulevaisuudessa kuljettajille sopivan ponnahduslaudan. Tällä hetkellä kaikista F1-kuljettajista kautta aikain noin

90 % on jossain vaiheessa uraansa ajanut Formula Ford -sarjaa. Nykyään pikkuformuloissa isojen formulaluokkien feeder-sarjoissa alalla on kuitenkin paljon kilpailua FIA:n lanseeraaman uuden F4-konseptin myötä. Kuljettajan polun oletetaan yleensä lähtevän kartingista ja nousevan asteikkoa ylöspäin eri luokkia pitkin ylemmille formulatasoille (kuva 4). Reitti ei kuitenkaan ole koskaan näin yksiselitteinen, vaan kuljettajan polku on kaikille henkilökohtainen. On huomattava, ettei alatasolla ole vielä olemassa sähköisiä formulaluokkia, jotka toimivat vielä suoraan Formula E:n feeder-luokkina.



KUVA 4. Kuljettajan polkuja formulaluokkia myöten

Tulevaisuudessa on todennäköistä, että sähköisen moottoriurheilun myötä FIA olisi lanseeraamassa myös F4-tason sähköisten formuloiden sarjan. F4 on kuitenkin hyvin pitkälle markkinoitu ja suunniteltu konsepti, jonka ympärille monet

maat ovat jo päätyneet rakentamaan omat kansallisten formulasarjojen kuljettajan polun alimmat askeleet (7). Formula E:ltä vastaavanlaisen feeder-luokan puuttuminen vaikeuttaa vielä tällä hetkellä kokeneiden sähköformulakuljettajien löytämistä sarjaan. Alemmilla feeder-luokilla tulee ylöspäin kuljettajien lisäksi kokeneita mekaanikkoja, kisainsinöörejä ja ajokouluttajia, joita Formula E tulevaisuudessa tarvitsee yhä enemmän.

2.5 Uusi teknologia

Nykyaikana uutuudenviehätys ja uudet teknologiat herättävät kiinnostusta. Uuden teknologian myötä tulevat aina myös uudet haasteet. Mtec Formula Technology on valmis vastaanottamaan nuo haasteet ja vastaamaan ajan trendiin, kun sähköinen moottoriurheilu yleistyy kansallisella tasolla. Täyssähkö- ja hybridikilpa-autojen määrä tulee nykyisestä vain nousemaan ja ammattilaisia alalle tarvitaan tulevaisuudessakin. Lehdistön ja medioiden edustajat ovat esittäneet kiinnostuksensa projektia kohtaan ja haluavat olla raportoimassa Mtec E:n rakennuksen ja testauksen vaiheista sen uutuudenviehätyksen takia.

2.6 Teamin tulevaisuus

Mtec Formula Technologyn intressit ovat autojen valmistuksessa ja myymisessä sekä varaosapalvelujen tarjoamisessa. Sähköformula-auto on teknisesti niin erikoinen, että on perusteltua pitää kilpailuluokka yhden autovalmistajan sarjana. Näin ollen kaikki Mtec:n sähköformulan ostaneet kilpailijat ja tiimit ovat Mtec:n varaosamyynnin asiakkaita. Tarkoituksena on luoda toimiva ja nouseva FIA Formula E -sähköformuloiden alasarja, jolla pyritään laajentamaan Mtec:n liiketoimintaa kansainvälisille markkinoille.

Toinen ajatusmalli on aloittaa sähköisten voimalinjaratkaisujen toimittaminen toimiviin F4-sarjoihin. F4-luokan autot (kuva 5) on säännöillä tarkkaan rajattu, joten kaikki F4-luokituksen omaavat autot ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan lähes identtisiä (8). Tämä antaa mahdollisuuden tuottaa F4-autoihin sopivia voimalinjaratkaisuja, jotka sopivat miltei kaikkiin tällä hetkellä ajaviin F4-autoihin. Moottori- ja runkotoimittajia F4-sarjaan on useampia, mutta kansallisella tasolla

paikallinen F4-organisaattori päättää, millä kokonaisuudella kaikki organisaattorin sarjan F4-autot ajavat. Esimerkiksi NEZ-sarjassa runko on Tatuusin ja moottori Abarthin (9). Näin ollen, jos sähköiselle voimalinjalle saadaan FIA -hyväksynyt F4-sarjaan, Mtec:n asiakaskunta kasvaa välittömästi 20 - 30 auton verran jokaista ajettavaa F4-kilpailusarjaa kohden.



KUVA 5. NEZ- ja Espanjan mestaruussarjan mukainen F4-auto (10)

2.7 Ympäristöystävällisyys

Mtec E ja tuleva sähköformulasarja edesauttavat esimerkillään sähköautomarkkinoiden kehittymistä. Ilman saasteiden vähentäminen on yksi puhutuimmista aiheista maailmanlaajuisesti. Fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään vähentämään verottamalla päästöjen mukaan ja tukemalla uusia teknologioita sähköautojen kehityksen edistämiseksi.

Sähköformulasarja on mukana energiatehokkuuden parantamistalkoissa omalla panostuksellaan. Laskelmien mukaan sähköformulasarja verrattuna vastaavaan

polttomoottoriseen formulasarjaan säästää yhden kisakauden aikana yli 245 MWh energiaa (liite 2/3).

Ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus ovat nykypäivänä trendikästä, ja siihen muutosliikkeeseen on moni yritys valmiina lähtemään mukaan. Tällä hetkellä yhteistyökumppaneita ja sponsoreita on helpommin saatavilla sähköformulasarjan kilpailuihin kuin nykyisiin polttomoottoreilla ajettaviin kilpailuihin. Yritykset haluavat tukea ympäristöystävällisiä ratkaisuja ja olla mukana kehittämässä uutta teknologiaa kasvavalle sähköajoneuvojen markkinoille.

3 SÄHKÖFORMULASARJA

3.1 Kilpailutapahtumien konseptien vertailua

Tapahtumien suunnittelussa on otettava huomioon nykyisten menestyksekkäiden kilpailutapahtumien luonteet ja sähköformulalle soveltuvien kisatapahtumien vaatimukset. Seuraavissa esimerkeissä kuvataan muutaman kilpailusarjan luonnetta ja konseptia yleisesti.

3.1.1 Formula E -konsepti

Sähköisen SM-sarjan toteutumiseksi on prototyyppi-autosta tehtävä mahdollisimman kiinnostava, jotta se saisi riittävästi huomiota osakseen ja kisatapahtumien täytyy olla yleisöön vetoavia. Mallia kannattaa ottaa toimivasta Formula E -sarjasta (kuva 6).



KUVA 6. Viime vuosina suuren suosion saavuttanut Formula E -sarja (11)

Kilpailutapahtumat sijoittuvat suurkaupunkien keskustoihin katuradoille (kuva 7). Tapahtumien yhteydessä järjestetään paljon oheistoimintaa musiikkiesityksinä

ja autoesittelyinä. Sähköformuloiden tuominen kaupunkiolosuhteisiin on osoittautunut menestyksekkääksi. Katsojaluvut ja vierailijamäärät ovat kisoissa hyvät jo ensimmäisenä vuonna ja kilpailujen tiedottaminen on hoidettu hyvin. Aloitusvuonna Formula E keräsi 61,4 miljoonaa katsojaa ja yli 190 miljoonaa katselukertaa kauden aikana (12). Samaa konseptia voidaan hyödyntää sähköformula-sarjaa suunnitellessa, jolloin osa kilpailuista järjestetään samalla tavalla kaupungeissa, mutta pienempänä tapahtumana.



KUVA 7. Formula E:n katuratakilpailu Hong Kongissa (13)

3.1.2 Rallicross-sarja

Rallicross on kerännyt suuren suosion viime aikoina ja kasvu jatkuu edelleen. Huomattavimpina pääpiirteinä ovat autot, joissa on isot äänet, paljon suorituskykyä ja radalla tapahtuu paljon (kuva 8). Ääniä ei keinotekoisesti sähköformuloihin saa, mutta suorituskykyä sitäkin enemmän.



KUVA 8. Rallicross SM Ouluzone 2016 (14)

Rallicross on hyvin lähtöpainotteinen tarkoittaen, että kisat ovat hyvin lyhyitä 2 - 5 kierroksen kilpailuja, jolloin lähtötapahtuman merkitys kisan lopputulokselle on merkittävä. Mitä vähemmän kierroksia kuljettajalla on tehdä kisan aikana tuloista, sitä kovempi yritys on päällä, ja silloin tapahtuu paljon. Lyhyissä kilpailuissa ei ehdi tulla yhtä suuria tasoeroja näkyville kuin pitkissä kisoissa, minkä takia autot pysyvät tiiviissä nipussa kisan ajan. Autojen ajaessa tiiviissä nipussa tulee enemmän tapahtumaa ja ohituksia, jotka vetoavat yleisöön.

Sähköformuloilla pystytään ajamaan useita lyhyitä toiminnantäyteisiä lähtöjä kisasiikonlopun aikana. Nykyisten aiempaa kustannustehokkaampien akkuteknologioiden mukaisten akkujen kapasiteetti on pieni, mikä johtaa sähköformulasarjaa enemmän lyhyiden lähtöjen konseptiin.

3.1.3 Formula 1 -sarja

F1 (kuva 9) on Suomen seuratuin moottoriurheiluluokka, ja sen suosion takana ovat useat F1-tason menestyksekkäät suomalaiskuljettajat. Tällä hetkellä F1-

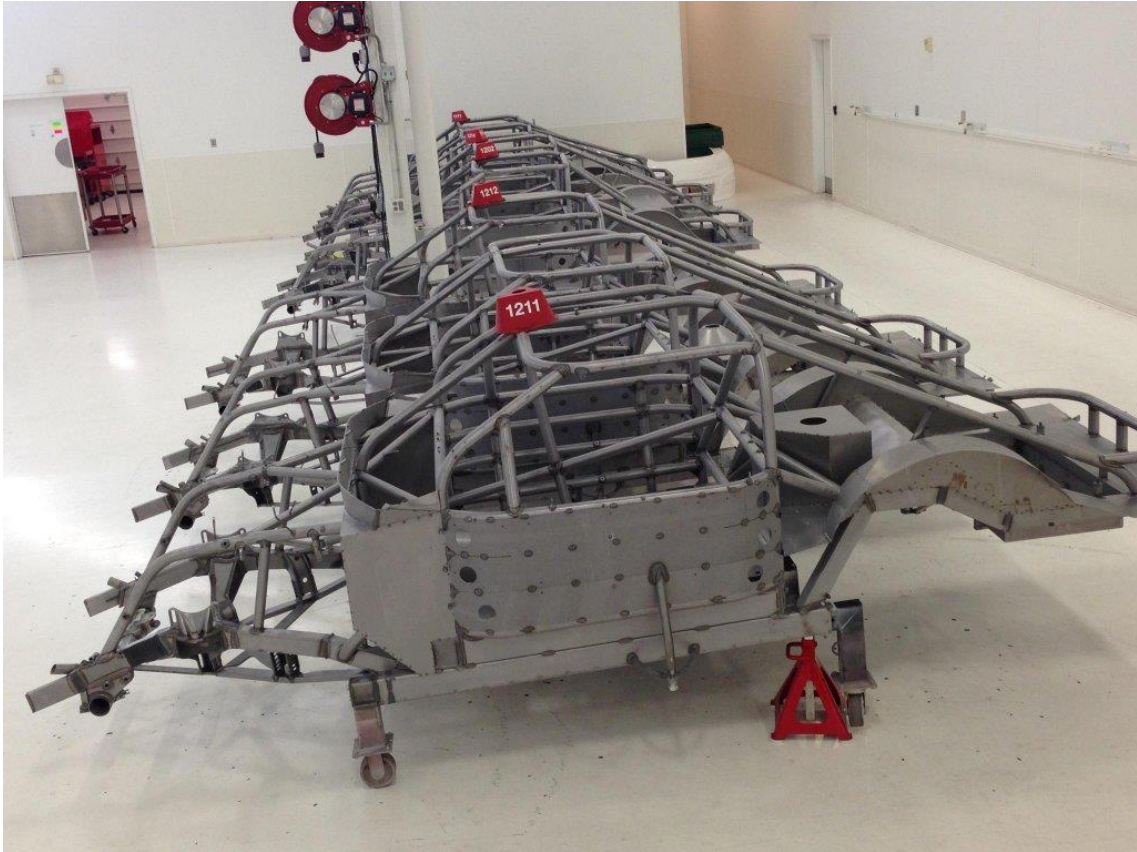
sarja elää siirtymävaihetta monien uudistusten myötä. Uudistuessaan F1-sarja on tulevaisuudessa hyvä seurata ja nähdä, millaisilla uudistuksilla sarjan uusi työryhmä aloittaa F1-kilpailuformaatin muokkaamisen sarjan entisen promoottorin Bernie Ecclestoneen siirtyessä sivuun.



KUVA 9. Kiinan F1 GP 2016 (15)

3.1.4 Nascar

Nascar-sarjan suosio USA:n suuren yleisön keskuudessa on valtava. Vuonna 2016 Daytona 500 -osakilpailu yksinään tavoitti 19 miljoonaa katsojaa (16), mikä on suuri määrä kansalliselle kilpasarjalle. Tyypillisiä piirteitä Nascar-sarjalle ovat ovaaliradat, stadion-mallinen yleisön sijoittelu, säännöillä tiukasti rajatut yksityyppiautot (kuva 10), kilpailua edeltävä ja seuraava oheisohjelma, kilpailujen tasaisuus ja näyttävät kolarit. Ovaaliradat ja stadion-mallin yleisön sijoittelu ei ole nykyisellään mahdollista Suomessa, koska vastaavia suuria ovaaliratoja ei ole.



KUVA 10. Nascar-autojen runkoja (17)

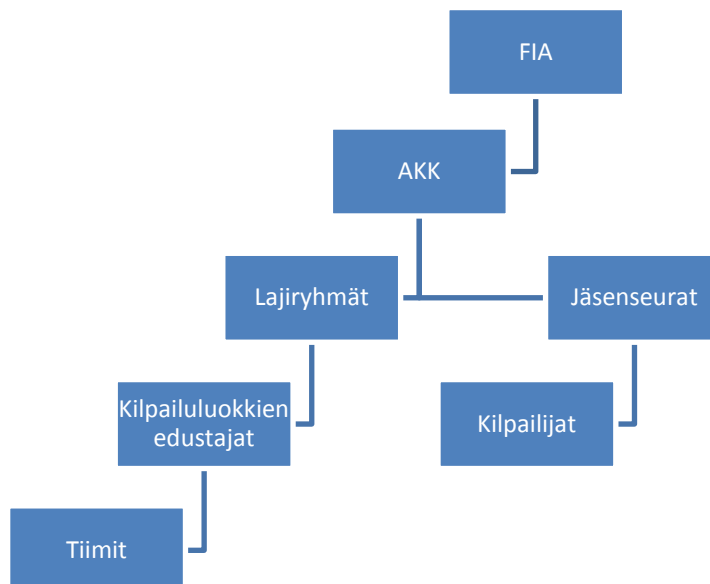
Säännöillä rajattujen autojen käyttö sähköformulakilpailuissa on mahdollinen, jolloin kisoista saadaan tasavertaisia kaikille tiimeille ja kuljettajille. Nascar-sarjassa auton runkokehikko ja tekniikka ovat kaikissa autoissa identtisiä, lukuun ottamatta lasikuitupäällistä korirakennetta runkokehikon päällä. Lasikuitukate on vaihdettavissa erimerkkiseksi, jolloin saadaan näennäisesti eri merkin autoja viivalle yleisön nähtäville. Lasikuitukorin muotoilu ja aerodynamiikka ovat myös tarkkaan rajattuja, vaikka värityksen, tarrat ja merkin voi vaihtaa.

Yhteneväisten tekniikkasääntöjen periaatetta voidaan tulevaisuudessa käyttää mahdollisesti myös sähköformula-sarjassa, jolloin eri automerkin logoa kantavia formuloita voidaan saada yleisön eteen viivalle mielenkiinnon lisäämiseksi. Yksityyppiautot ja -formulat takaavat tasaisuuden kilpatallien ja kuljettajien välillä pitäen kaikilla talleilla ja kuljettajilla mahdollisimman samat mahdollisuudet menestyä kilpailuissa.

3.2 Sähköformulasarjan promoottori

Sähköformulasarjan promoottiotyö toteutetaan yhteistyökumppanien avustuksella. Mtec Formula Technology tulee ottamaan osaa tapahtuman järjestelyihin hyvin laajalla skaalalla eri osa-alueissa. Muun muassa neuvottelut ja toteutus mahdollisten katuratakisojen järjestelyissä, kisatapahtuman tapahtumarakenteen koordinointi, sarjan uutisoinnin ja medioiden hallinta, sarjasponsoreiden neuvottelut ja sponsorointien toteutus, sähköformulasarjan henkilöstön hallinta ja sarjan sääntöjen laatiminen ovat muutamia esimerkkiosa-alueita, jotka täytyy sarjan toteutumisen kannalta pitää Mtec:n omissa käsissä.

Sähköformulasarjan konseptia tullaan esittämään AKK Motorsport ry:lle ja AKK Sports Oy:lle osaksi suomalaista rata-autoilua. AKK Sports Oy on nyt ottanut 2017 Rata-SM ja FTCC -sarjojen kilpailutapahtumat omaan hallintaan ja mahdollisesti haluaa pitää jatkossakin SM-tason ratakilpailut ohjauksensa alla (18). Yksittäisten kilpailuluokkien hallinnointi pysyy kilpailuluokkien promoottorien ja vastuuhenkilöiden käsissä. Moottoriurheilussa on hierarkia, jonka mukaan kuuluu edetä vietäessä esimerkiksi sähköformulasarjan tapaisia asioita eteenpäin (kuva 11).



KUVA 11. Yksinkertaistettu moottoriurheilun hierarkia rata-autoilussa

3.3 Kilpailuja järjestävät moottoriurheiluseurat

Yksittäisten kilpailujen järjestämiselle täytyy saada hyvät yhteydet moniin paikallisiin moottoriurheilukerhoihin, joilla on kisajärjestämisistä jo ennestään kokemusta. Rata-autokilpailun järjestäminen vaatii paljon työtä ja tietotaitoa, mikä on näillä kerhoilla jo ennestään hyvässä hallinnassa. Tapahtuman luonne ja rakenne on hyvä suunnitella yhdessä moottorikerhojen henkilöstön kanssa parhaimman lopputuloksen saamiseksi.

Rallipuolella on tiedot toimimiseen katukisoissa, jos tarvittaessa täytyy sulkea kilpakäyttöön katuja joissakin kisoissa (kuva 12). Ratapuolella tiedetään monia hyviä yhteistyötahoja ja palvelun tarjoajia, mitä tulee esimerkiksi hinaus- ja pelastusjärjestelyihin ratakisoissa. Kaikkine kuluineen yksittäisen ratakilpailun järjestäminen kustantaa seuralle nykykonseptilla noin 48 000 € (19).



KUVA 12. Rallitestiä varten suljettu yleinen tie (20)

Nykyään on hyvin haastavaa löytää aktiivista henkilöstöä mukaan järjestämään kilpailutapahtumaa. Useita aktiivisia toimijoita ainakin ratapuolelta löytyy ennestään, mutta kerhojen apua tarvitaan etsimään tarpeeksi henkilöstöä täyttämään kisapäivien eri työtehtäviä.

3.4 Sähköformulasarjan kilpailijat

Kilpailijat voivat toimia suurena vaikuttajana sähköformuloiden promootiotyöhön motivaation ollessa kohdallaan. Formula E:n yksi uusi järjestelmä on FanBoost-toiminto (kuva 13). Yleisö kirjautuu Formula E:n internetsivuille tai applikaatioon ja äänestää suosikkikuljettajaansa FanBoostin kautta. Äänestäminen ei maksa yleisölle mitään ja äänestystapahtuma tuo yleisön vierailemaan kisajärjestäjän internetsivuille kuljettajan tehdessä promootiotyön sarjan puolesta. Kolme eniten ääniä saanutta kuljettajaa saa 100kJ enemmän tehoa hetkellisesti kilpailun toisella puoliskolla. Vastaavaa järjestelmää voidaan käyttää myös sähköformuloiden SM-sarjassa. FanBoostin tapainen järjestelmä aktivoi kuljettajaa mainostamaan omaa ajamistaan ja kilpailusarjaansa sitä enemmän, mitä suurempi mahdollisuus kuljettajalla on saada hetkellistä lisäenergiaa ohittamiseen kilpailun aikana. (21.)



KUVA 13. FanBoost on saatavilla kaikille yleisimmille medialaitteille (22)

Kilpailijoille sähköformulasarjan täytyy toimia luontevana askelmana eteenpäin uusiin korkeampiin arvosarjoihin pitkin kuljettajan polkua. Jos kuljettaja ei näe sähköformulasarjan jälkeen tulevaisuutta tai järkevää jatkoreittiä eteenpäin, on

suuri mahdollisuus, että kuljettaja jättää sarjan väliin tai valitsee vastaavan sarjan samalta kustannustasolta. Sähköformulasarjan on tehtävä yhteistyötä muiden ylempien kilpailuluokkien kanssa taatakseen luonteva jatkumo kuljettajan polkua myöten eteenpäin. Budjetti määrää suurimman osan aikaa, mitä kuljettaja ajaa, joten mitä halvempi sarja ja auto on ajaa kuljettajalle, sitä enemmän potentiaalista asiakaskuntaa tiimeillä on (liite 3).

3.5 Sähköformulasarjan tiimit

Kilpailuun osallistuminen ja kuljettajien ajattaminen kilpailuissa täytyy olla tiimille kannattavaa taloudellisesti ja näkyvyyden täytyy vastata sarjan kustannustasoa. Kuljettajista pyritään aina tekemään mediaan seurattavia persoonia, mutta tiimin toiminta on myös yhä hyvin sidottavissa kisoihin.

Haastatteluja, kuvamateriaalia ja muuta sosiaalisen median keinoja voi käyttää myös tiimien suuntaan ja kannustaa tiimejä tekemään omaa tiimin imagon rakentamista enemmän. Tiimit päättävät imagon rakentamisesta ja omasta interaktiivisuudestaan itse, mutta tavoitteena on saada tiimit tuntemaan tulevansa seuratuksi sähköformuloiden sarjan kautta (kuva 14).



KUVA 14. Ferrarin tiimi on yksi F1-sarjan seuratuimmista talleista (23)

Kuljettajien markkinat ja kilpailutapahtumat muuttuvat, mutta elinvoimainen tiimi pysyy hyvin usein yhdessä samassa sarjassa niin kauan kuin pystyy. Kilpa-autojen ja niiden ylläpitoon vaadittavat investoinnit täytyy saada tuottamaan. Jos tiimi vaihtaa kilpailuluokkaa koko ajan, investoinnit eivät ehdi tuottaa tarpeeksi.

Kilpateimin tulot perustuvat asiakaskuljettajan maksamista korvauksista ajotilaisuutta vastaan, kolaritilanteissa syntyvistä laskutettavista lisätöistä ja tiimin omilta sponsoreilta saaduista tuista. Monilla tiimeillä on myös muita tulon lähteitä esimerkiksi talvella, kun kilpailutapahtumia ei ole. Yleisesti kilpatallin kannattavuus lasketaan kausikohtaisesti. Tiimin perustulo tulee asiakaskuljettajien ostamista testipäivistä ja kilpailutapahtuman aikaisista palveluista.

Tiimi ja kuljettaja voidaan saattaa yhteen myös promoottorin kautta. Euroopassa vastaava järjestelmä toimii siten, että kuljettaja ja promoottori tekevät sopimukset ajamisesta keskenään ja promoottori jakaa kuljettajat tiimeille. Promoottori toimii silloin kuljettajien ja tiimien välisenä linkkinä.

Kuljettajien historian mukaan pystyy selvittämään, onko kuljettaja nopea, tasainen vai kolarialtis. Jos tiimillä on esimerkiksi ennestään sopimus yhteen autoon kuljettajan kanssa, joka on kolarialtis, sinne ei kannata laittaa tallikaveriksi toista kolarialtista. Talliin kannattaa laittaa silloin mieluiten tasaisen tai nopean maineen omaava kuljettaja tiimin hetkittäisen työmäärän minimoimiseksi. Nopeat ja tasaiset kuljettajatkin kolaroivat joskus (kuva 15). Pahin mahdollinen tilanne tulee useamman oman tallin auton kolaroidessa kisalähdössä. Silloin tiimille tulee ruuhkahuippu ja ylimääräistä painetta saada kaikki autot kuntoon ennen seuraavaa lähtöä. Paine ja kiire johtavat tiimin mahdolliseen huolimattomuuteen huolloissa, joilta tulee välttyä tiimin maineen ja ansion säilyttämiseksi.



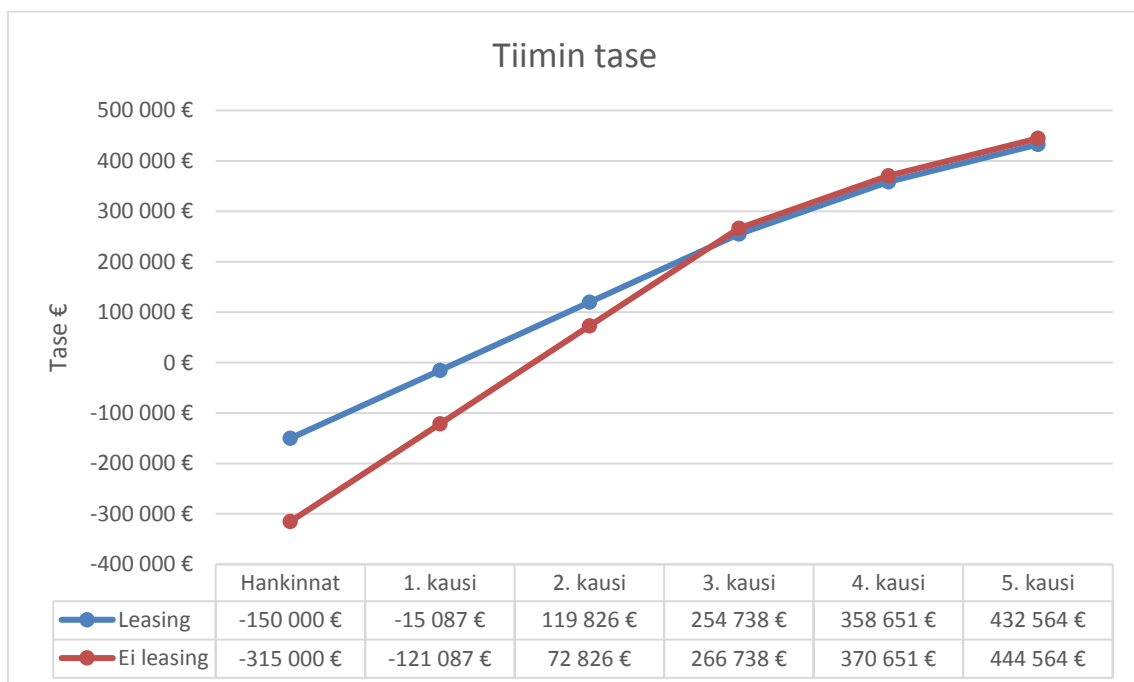
KUVA 15. Rosberg ja Hamilton kolaroivat keskenään Espanjan GP:ssä (24)

Tiimit tarvitsevat nopeita ja kuluttavia kuljettajia, jotta tiimillä olisi näyttöä ja tuottoa. Tasainen kuljettaja ei yleensä tuo tallille lisätuottoa tai näyttöä, mutta häneltä saa kauden aikana tasaisen perustulon. Kolarialtis kuljettaja tuo kolareiden myötä lisätyötä ja lisätuottoa varaosamyynnin ja laskutettavien korjaukseen liittyvinä lisätyötunteina, mutta se ei tuo hyvää näyttöä tiimille ja kahlitsee tiimin voimavaroja korjaustöihin pois muista työtehtävistä. Nopea kuljettaja tuo näyttöä tiimille, jotta tiimi näyttää nopealta ja toimivalta ulkopuolisen silmissä. Toisaalta nopea kuljettaja ei tuo paljoa lisätuottoa, koska nopeat kuljettajat eivät yleensä kolaroi paljoa, vaan heidän ajonsa on yleensä tasaista ja nopeaa.

Tanskan F4-sarjaa on alettu mainostamaan tiimeille antamalla uusille F4-autoille kolmen vuoden leasing-sopimuksia (25). Leasing-järjestelmä auttaa tiimejä kaluston ja autojen hankinnassa, mikä on hyvä vaihtoehto myös sähköformula-sarjassa. Tiimi pääsee heti ensimmäisenä kisakautena keskittymään tiimin rakentamiseen ja ansaitsemaan ajattamalla kuljettajia, kun kaikki varat eivät mene alkukaudesta autojen ostoon. Kolmen vuoden leasing-sopimuksella tiimi saa

kolme autoa käyttöön jo ensimmäiseksi kaudeksi yhden auton hinnalla ja pystyy ajattamaan kolmea kuljettajaa ensimmäisestä vuodesta lähtien.

Esimerkkilaskelmia aloittavalle kolmen kilpa-auton F4-tallille on tehty viiden vuoden ajalle leasingsopimuksella ja ilman. Laskuissa on oletettu kaikissa kolmessa autossa olevan maksava kuljettaja. Jos formulat ostaa kertainvestointina, alkuinvestointien kulut ovat suuret, mutta pitkällä tähtäimellä kokonaistuotto on hieman suurempi. Aloittavalle tiimille on helpompi aloittaa leasing-sopimuksen pohjalta, jotta alkuinvestointi olisi mahdollisimman pieni. (Kuva 16.)



KUVA 16. Uuden kilpitiimin tase leasingsopimuksella ja ilman (26)

3.6 Kilpailutapahtuman konsepti

Kansallinen sähköformulasarja voi noudattaa Formula E:n luomaa konseptia hyvin pitkälle, mitä tulee tapahtumien luonteeseen ja oheistoimintaan. Tapahtumat ovat hyvin interaktiivisia yleisön ja kilpailutapahtumien välillä. FanBoostin kaltainen äänestysjärjestelmä sitoo katsojan kisatapahtumaan mukaan uudella lailla ja saa kuljettajat ja tiimit mainostamaan itseään ja tapahtumaa paremmalla motivaatiolla kuin ennen.

Kilpailutapahtuman alueella yhteistyökumppanit järjestävät teeman mukaisia sähköautojen ja sähkömoottoripyörien ajotilaisuuksia. Alueella on palkintokorokkeen alueella DJ soittamassa musiikkia ja alueella on toimivat ravintolapalvelut radan vierellä ja musiikintoistoalueella. Alueelle kutsutaan jokaiseen kilpailutapahtumaan yksi tai useampi vieraileva tähtikuljettaja tai erikoinen kilpa-ajoneuvo näyttille ja näytösajoihin. Vierailevilla kuljettajilla ja kilpa-ajoneuvoilla saadaan tapahtuman kilpailukalustoon monimuotoisuutta ja edistetään yhteistyötä eri kilpailutapahtumien järjestäjien kanssa.

Lähtötapahtumien välillä ja hinaustauoilla voi olla näytösajoja ja yleisön kyyditystä sähköautoilla ja muilla kilpa-autoilla. Kyyditykset ajavat ammattikuljettajat, jotka osaavat huomioida mahdolliset käynnissä olevat hinaustoimet ja muut huoltotoimenpiteet radalla. Tarvittaessa näytösajo voidaan rajata esimerkiksi moottoripyörien taitonäytökseksi pääsuoralla tai muussa osassa rataa, jos vaativia hinauksia on käynnissä. Oheistapahtumien tulee olla kokonaisuudeltaan nopeita, kiinnostavia ja puoleensa vetäviä.

Kilpailutapahtumat ovat kaksipäiväisiä, ja sähköformuloilla kisalähtöjä tapahtumassa on aika-ajojen lisäksi kolme lyhyttä noin kymmenen kierroksen lähtöä. Kisatapahtumassa ajaa oheisluokkina 5 - 6 muuta kilpailuluokkaa, joille varataan saman kokoinen aikaikkuna käytettäväkseen kuin sähköformuloille. Kilpailussa käytettävissä oleva aika jaetaan silloin osallistuvien luokkien kesken tasan. Jotkin luokat ajavat silloin aika-ajon lisäksi kaksi tai yksi pitempää lähtötapahtumaa monen lyhyen lähdön sijaan, mutta kilpailutapahtumassa käytetty aika pysyy luokkien kesken kaikille samana. Tällä järjestelmällä ajamista tulee kaikille paljon ja optio hyvin lyhyysiinkin lähtöihin antaa mahdollisuuden ottaa vierailevia täyteluokkia esimerkiksi rallicrossin puolelta.

Aikaikkunan ollessa sama myös osallistumismaksut jaetaan sen mukaan. Lähtökohtaisesti katettava summa kilpailun järjestämisestä on 50 000 €. Summa jaetaan kilpailuluokkien määrällä. Esimerkiksi jos kilpailuun tulee yhteensä minimissään kuusi kilpailuluokkaa, jokainen luokka maksaa osallistumismaksua noin 8 333 €. 20 kilpailijan luokassa jokainen osallistuja maksaa silloin 416 €.

Tällä järjestelmällä pystytään takaamaan kilpailun järjestämiseen vaadittavat peruspalvelut. Järjestelmä on alussa kallis, mutta takaa sarjan jatkuvuuden ja antaa mahdollisuudet kehittää kilpailutapahtumaa tulevaisuudessa, kun peruspalvelut on ensin turvattu.

Kilpailutapahtuman sponsoroinnista tulevat rahat ja lipputulot ohjataan kilpailusarjan mainostamiseen ja kaiken muun kilpailulähtöjen lisäksi tapahtuvan oheistoiminnan järjestämiseen. Jokainen kilpailuluokka voi hankkia omia sarjasponsoreita, joiden avustuksella osallistumismaksua voi pystyä pudottamaan oman kilpailusarjan kilpailijoille edullisemmaksi.

Kilpailun järjestämiseen vaadittavien palvelujen ollessa kunnossa pääsylipun hintaa voi alentaa nykyisestä Rata-SM:n konseptin 15 € päivälipusta. Nelihenkinen perheen pääsymaksu radalle päiväksi ei saa ylittää 20 €, joten 5 € jokaista henkilöä ja päivää kohden on sopiva lipun hinta. Kahden päivän lippu on 10 €. Jokaista kilpailun osallistujaa kohden jaetaan neljä kahden päivän lippua tiimin henkilöstölle.

3.7 Sähköformulasarjan konsepti

Sähköformulasarja sisältää kuusi kisaviikonloppua, joista jokaisessa ajetaan kolme kilpailulähtöä. Kilpailuviikonloppuja tulee silloin tarpeeksi, jotta kilpailijoilla olisi sopiva kilpailurutiini päällä ja he keräisivät riittävän määrän kokemusta kesän aikana. Kuusi kilpailuviikonloppua pitää tiimin liikkeessä, mutta antaa myös sopivasti aikaa erillisille testipäiville kesän aikana. Kuusi kisaviikonloppua on riittävä määrä saada tiimejä hankkimaan sarjaan tarvittava kilpailukalusto. Liian vähällä kilpailumäärällä uusi kilpailukalusto ei ehdi maksaa itseään pois tarpeeksi nopeaa, jotta sarjaan sijoittaminen olisi kannattavaa.

Sarjassa ajavien kilpailijoiden on käytettävä samaa sinetöityä akkupakettia koko kilpailukauden ajan, jolloin akkupaketin kustannukset pysyvät hallinnassa ja autot pysyvät tasavertaisina. Vioittuneet akkukennot saa vaihtaa kesken kauden uusiin kennoihin katsastuksen henkilökunnan valvonnassa. Akkupaketti sinetöidään vaihdon jälkeen uudestaan. Harjoitteluun saa käyttää samaa tai jotain

muuta akkua. Esimerkiksi edelliskaudella kilpailuissa käytettyä akkua on hyvä pitää harjoitteluakkuna.

Kilpailujen pisteytyksessä käytetään samaa pisteytystaulukkoa kuin Formula Fordeissa, mutta kaikista kilpailulähdöistä kaksi huonointa pistemäärää poistetaan kokonaissummasta. Hylättyjä suorituksia tai ilmoittautumatta jättämiä kilpailuja ei lasketa, vaan tällä järjestelmällä annetaan anteeksi kaksi satunnaista keskeytystä tai huonoa sijoitusta jokaiselle kuljettajalle kauden aikana.

Yhden kilpailukauden sarjamaksuksi asetetaan 2000 € jokaista kilpailijaa kohden. Sarjamaksuilla katetaan muun muassa sarjan pyörittämiseen liittyviä kuluja, katsastukset, mainoskulut ja sarjapalkinnot. Sarjapalkintoina toimivat sähköauton käyttöön saaminen vuodeksi, testipäivä yhtä askelta ylemmän kilpailuluokan kalustolla ja vierailu Formula E -kilpailutalliin VIP-vieraana Formula E:n kilpailuviikonloppuna. Eniten kannatusta FanBoostin kaltaisessa äänestysjärjestelmässä kerännyt kilpailija saa lisäksi erikoispalkinnon. Sarjamaksuista jäljelle jäävä summa sijoitetaan seuraavan kilpailukauden mainoskuluihin.

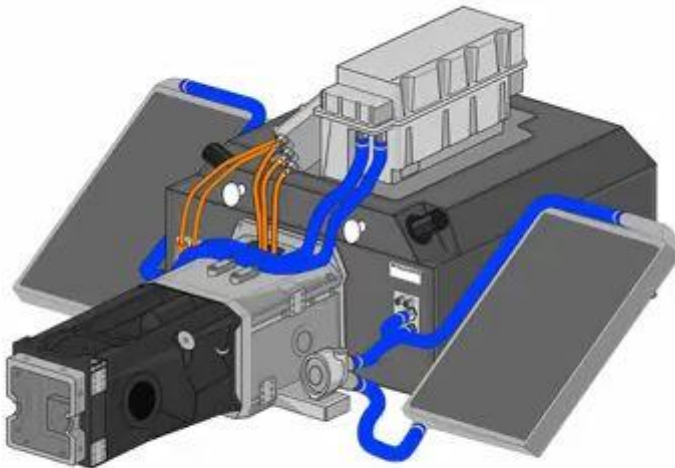
4 MTEC E -PROTOTYYPPI

Sähköformulan rakenteen suunnittelua ei kannata alkaa tekemään täysin puhtaalta pöydältä. Monia osia, järjestelmiä, komponentteja ja rakenneratkaisuja voidaan hyödyntää olemassa olevista laitteista ja autoista. Myös yhteistyökumppaneiden asiantuntijuus on ratkaisevaa suunnitellessa Mtec E -prototyyppiäutoa.

4.1 Tutkimusta formuloiden teknisistä ominaisuuksista

4.1.1 Formula E -auto

Sähkömoottori, akkupaketti ja muuntajatekniikka ovat Formula E:ssä tunnettua ja hyvin toimivaa teknologiaa. Kaikki voimalinjan komponentit toimivat autossa osana runkorakennetta. Kuljettajan taakse on sijoitettu akkupaketti, jonka päällä on invertteri. Akuston jälkeen on kytkinkotelo, sähkömoottori ja vaihteisto. (Kuva 17.)



KUVA 17. Formula E:n voimalinjan rakenne (27)

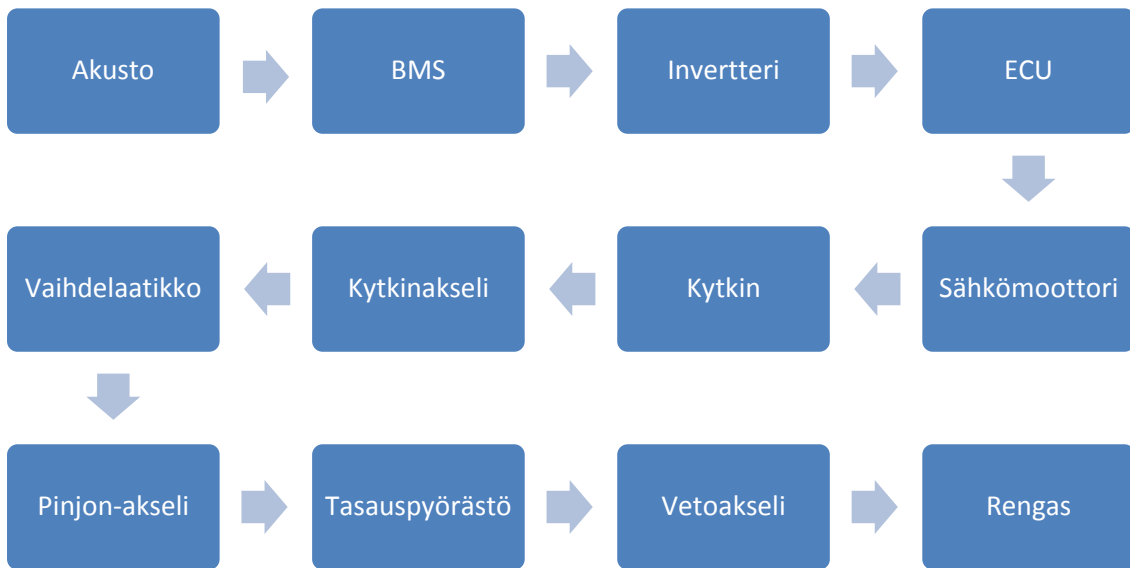
Tällä hetkellä sääntöjen mukaan autojen akkuja ei saa vaihtaa. Kilpailun puolivälissä tulee aika, jolloin kuljettajat tulevat vaihtamaan autoa varikolla. Kahden auton järjestelmään on päädytty akkuteknologian nykytilanteen takia eivätkä järjestäjät halua lyhentää kilpailulähdön pituutta. Yhdellä autolla ajettaessa akkukapasiteettia pitäisi nostaa suuremmaksi, jolloin auton paino nousisi toisen akkupaketin verran ja autosta tulisi liian painava. Tulevaisuudessa Formula E tulee kehittymään paljon uusien tiimien ja autovalmistajien myötä.

Michelinin katurengas (kuva 18) ei anna ominaisuuksillaan parasta pitoa Formula E -autoille, mutta se helpottaa tiimien taktikointia, kun on käytössä vain yhden tyyppinen rengas kuivalle ja sateelle. Michelinin rengas kestää kovan kumiseoksen ansiosta pitkään. Kierrosajat kärsivät kuviorengaalla ajettaessa huomattavasti, mutta kestävyys tuo säästöä testeissä.



KUVA 18. Formula E:n käyttämä Michelinin katurengas (28)

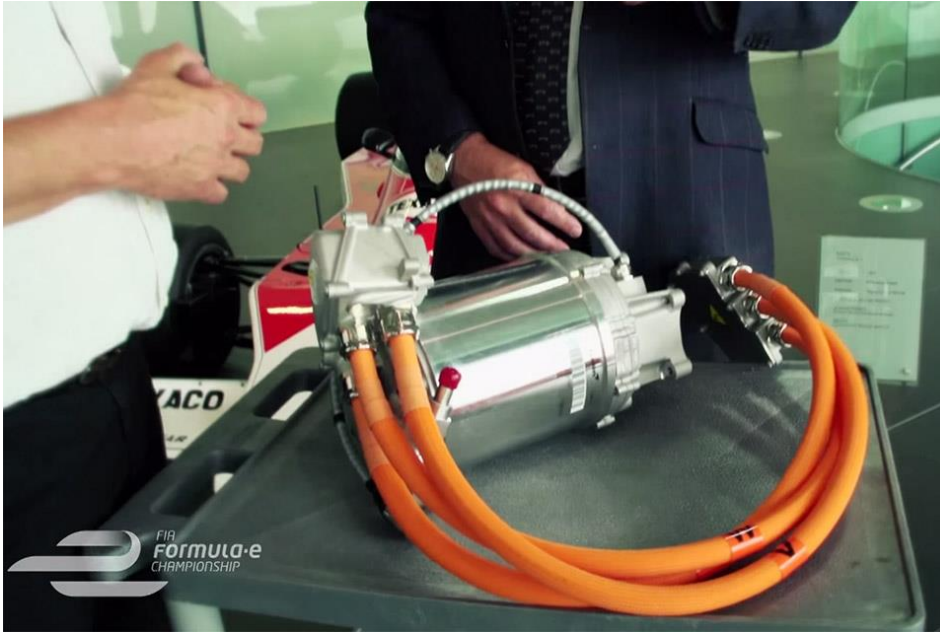
Formula E -autoissa sähkömoottori pyörittää mekaanista voimansiirtoa ja voima välitetään renkaille formuloille tyypilliseen tapaan tasauspyörästäön kautta vetoakseleita pitkin (kuva 19). Heikoin kohta kyseisessä toteutustavassa on vaihteisto, koska regeneroinnissa energia välittyy renkailta sähköisen voimansiirron kautta akustolle. Tämä energian suunnan vaihtelu on aiheuttanut mekaanisten vaihteistojen rikkoutumisia.



KUVA 19. Formula E:n voimalinjakaavio

Vaihdelaatikon toinen haitta on hyötysuhteen heikkeneminen kiihdyttäessä ja regeneroidessa. Järjestelmässä on välissä liikaa vastusta ja liikkuvia osia, jotka aiheuttavat kitkavastusta, pyörimisvastusta ja yleensä kuluvat melko äkkiä voiman suunnan vaihdeltaessa. Autoissa on yleensä 2 - 3 vaihtavaa vaihdetta hyötysuhteen parantamiseksi, mutta nykyään vaihdelaatikko tuo enemmän vastusta ja painoa, kuin mitä vaihteilla säästetään. (29.)

Formula E:n ensimmäisen kauden sähkömoottori on kevyt ja pienitehoinen (kuva 20). Sähkömoottorin pienen vääntömomentin tuoton ja nopean pyörimisnopeuden takia autoon on jouduttu asentamaan vaihdelaatikko ja vetopyörästäön välityssuhde moninkertaistamaan sähkömoottorin tuottama vääntö.



KUVA 20. Formula E:n sähkömoottori (30)

4.1.2 F4

F4-sarjan autoista saadaan hyvä vertailukohta FIA:n linjauksista aloittelijatasen formulaluokille auton rakenteen, turvallisuuden ja kilpailukyvyn suhteen. F4-autot (kuva 21) ovat suhteellisen pienitehoisia auton pitoon, aerodynamiikkaan ja painoon nähden.



KUVA 21. BRDC F4-auto (31)

Auton runko on hiilikuitumonokokki, jonka jäykkyys suhteessa keveyteen on todella hyvä. Formula-autojen rungoilta haetaan yleisesti jäykkyyttä ja keveyttä. Hiilikuiturungon ominaisuuksiin tosin sisältyy haitta sähkönsähtöjohtavuudesta. Esimerkiksi Kers-järjestelmien tullessa F1-autoihin monet tiimit huomasivat hiilikuiturungon johtavan sähköä hyvin epämääräisesti (32). Hiilikuiturungon sähkönsähtöjohtavuutta on tutkittava sähköformulan kehitystyön aikana tarkemmin tai vaihtoehtoisesti löydettävä jokin muu runkoratkaisu.

Jarrut on ylimitoitettu auton vauhtiin nähden, jotta pysähdysvoimaa hätätilanteissa löytyy paljon. Jarrujen ylimitoituksella on pienennetty myös jarrupalojen ja -levyjen kulumista. Isot jarrupalat ja jarrusatula jakavat lämpöä ulos tehokkaammin hilliten jarrujen kulumista ja ylikuumenemista.

Todella pitävät renkaat auttavat ääritilanteissa kuljettajaa pitämään formula hallinnassaan. Pehmeä rengas tosin kuluu hyvin nopeaa eikä ole kovin kustannustehokas ratkaisu. Käytännössä renkaan kulumisesta huolimatta kaikki kuljettajat ja tiimit laittavat uudet renkaat alle aina aika-ajoon, koska yleensä F4-kilpailuissa kaikki kisaviikonlopun lähdöt on ajettava samoilla renkailla. Rengas on parhaimmillaan ensimmäisillä kierroksilla hyvän aika-ajokierroksen saavuttamiseksi, minkä jälkeen kierrosajat alkavat laskemaan kulumisen myötä.

4.2 Mtec E -prototyypin tekniikka

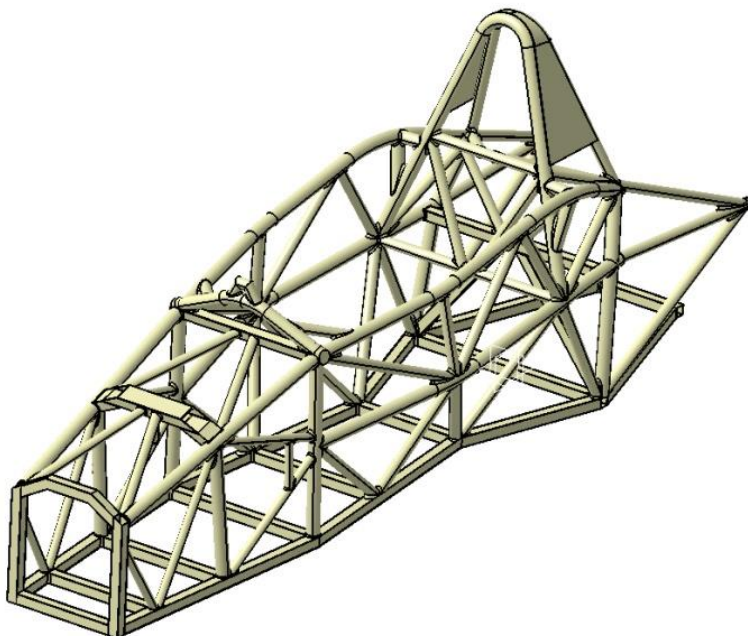
4.2.1 Runkorakenne ja tukivarsigeometriat

Mtec Formula Technologyltä löytyy toimivaksi todettu Mtec Formula Ford -auto, jota voidaan käyttää hyvänä pohjana sähköformula-auton suunnittelussa. Teknologia on saatavilla ja kopioitavissa Mtec E prototyyppiin helposti. Mtec FD12 (kuva 22) on viimeisin tuotantoversio, jota vastaavaa runkoa ja tukivarsia Mtec E -projektissa käytetään.



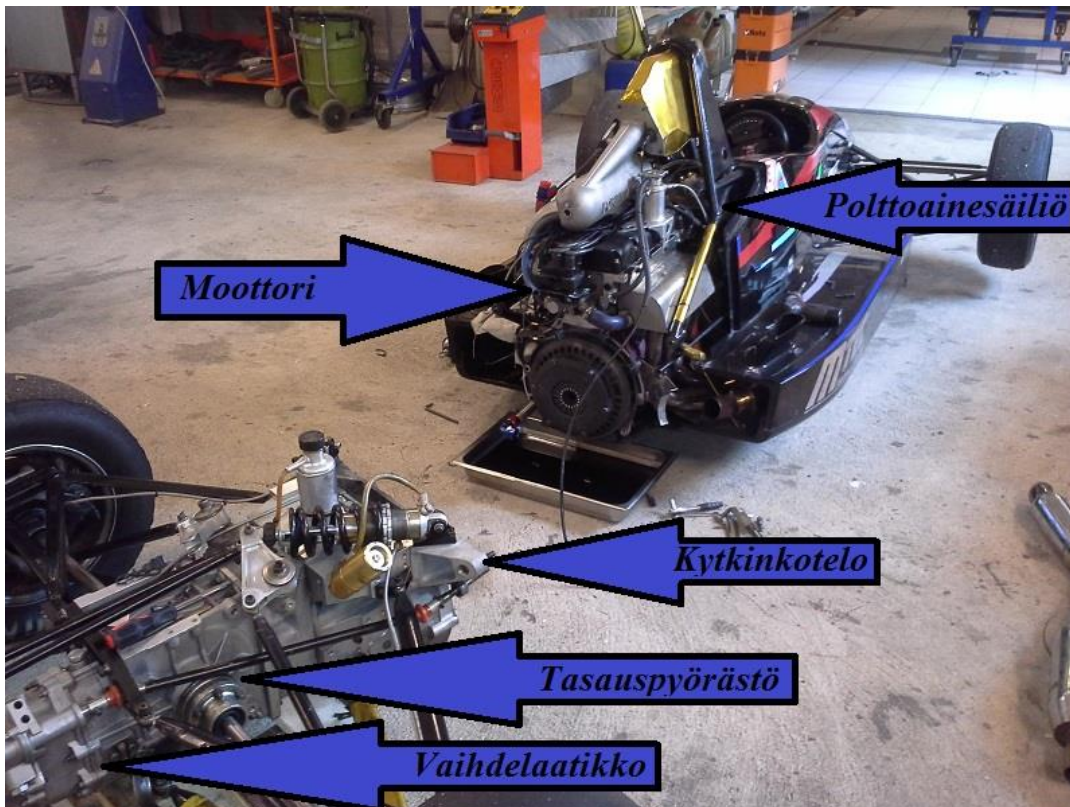
KUVA 22. Formula Ford Mtec FD12 (33)

Mtec FD12 -runkorakenne (kuva 23) voidaan alustavasti pitää samana auton keulasta kuljettajan selkäosaan asti. Runko on helppo valmistaa ja muokata Mtecin olemassa olevia työkaluja ja -menetelmiä käyttäen.



KUVA 23. Formula Ford Mtec FD12 -runkorakenne (34)

Mtec Formula Fordissa kuljettajan selän takana on normaalisti polttoainesäiliö ja moottori oheislaitteineen. Polttoainesäiliö ja moottori korvataan akustolla, joten kuljettajan selästä taaksepäin ulottuvaan runkorakenteeseen on tehtävä muutoksia akuston sovittamiseksi. Formula Fordissa moottorin takana on kytkinkotelo, johon asti alkuperäinen runko ylettää. Sähköformulassa voi olla tarpeen rakentaa runkokehikko ulottumaan pitemmälle taakse, mikäli akuston jälkeen tulevia osia ja komponentteja ei voida hyödyntää osana formulan kantavaa rakennetta. (Kuva 24.)

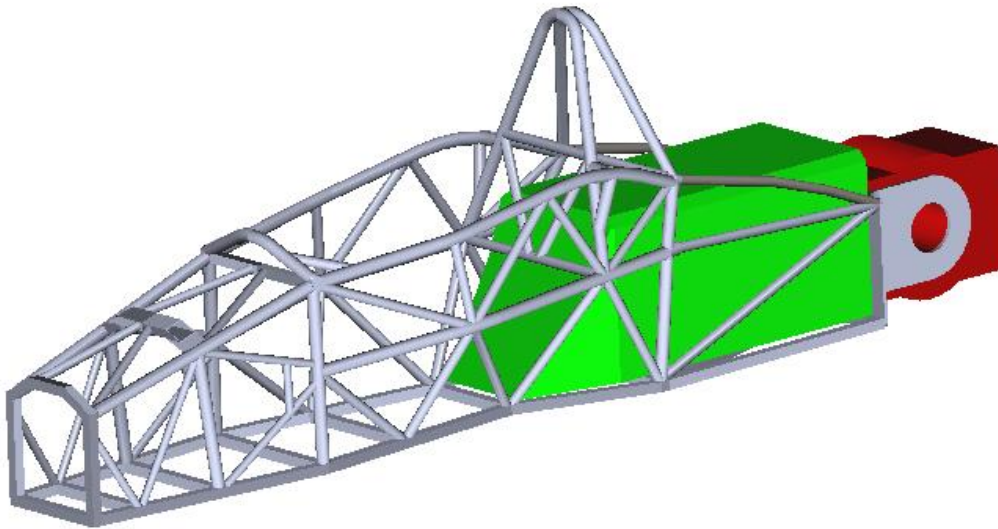


KUVA 24. Formula Fordin rakenne

FD12 Mtec:n etupään tukivarsigeometriaa ja jousitusta voidaan käyttää prototyypissä sellaisenaan. Ainoita muutoksia etupäähän tulee pyörän napojen rakenteeseen ja jarruihin. Suunnitelmissa on isontaa jarruja suuremman jarrutehon saamiseksi auton etupäässä.

4.2.2 Akuston sijoittaminen

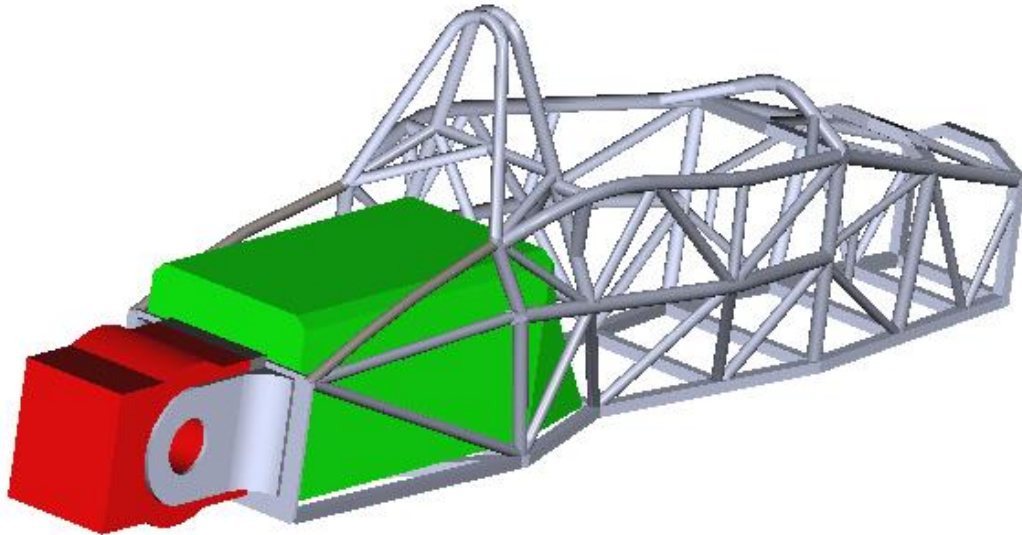
Akut ovat projektin raskain yksittäinen välttämätön komponentti, jonka sijoituksella on suuri merkitys formulan ajokäyttäytymiseen ja turvallisuuteen. Akuston optimaalisin sijoituspaikka on mahdollisimman lähellä auton keskipistettä ja matalalla. Matala painopiste auttaa hallitsemaan painon siirtymiä ajotilanteissa. Akuston sijoittaminen kuljettajan taakse pitää auton painopisteen keskellä (kuva 25).



KUVA 25. FD12-rungossa akusto vihreällä ja sähkömoottori punaisella

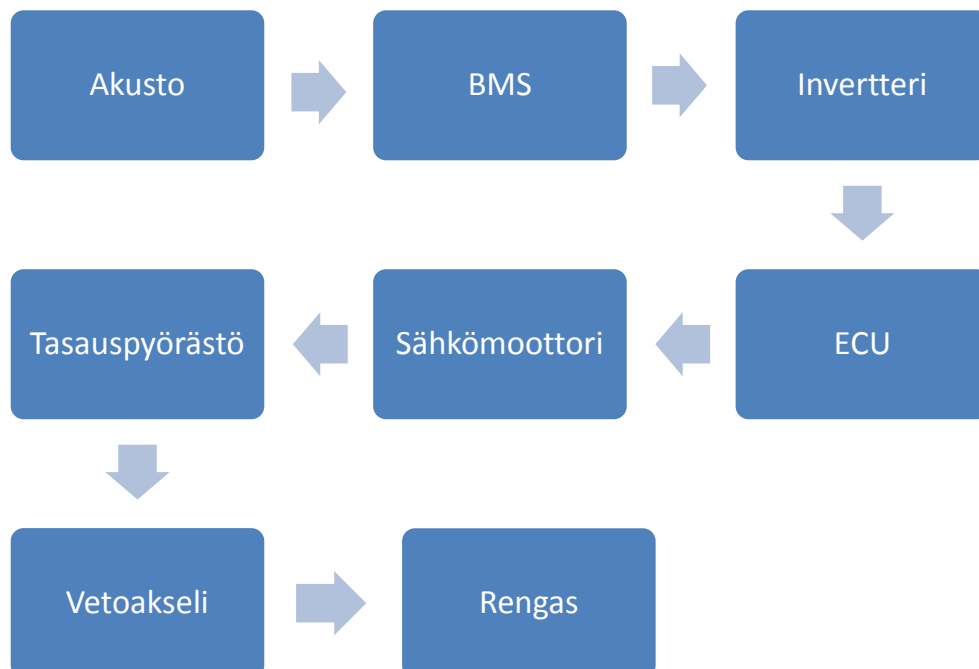
4.2.3 Sähkömoottorin ja tasauspyörästön rakenne

Mtec E:ssä sähkömoottori tulee auton taakse poikittain pyörimissuuntaan nähden (kuva 26). Ilman vaihdevälityksiä järjestelmässä ei ole yhtäkään hammasrasparien hammaskosketusta, vaan tasauspyörästö asennetaan kiinteästi sähkömoottorin roottorin sisälle.



KUVA 26. FD12-rungossa akusto vihreällä ja sähkömoottori punaisella

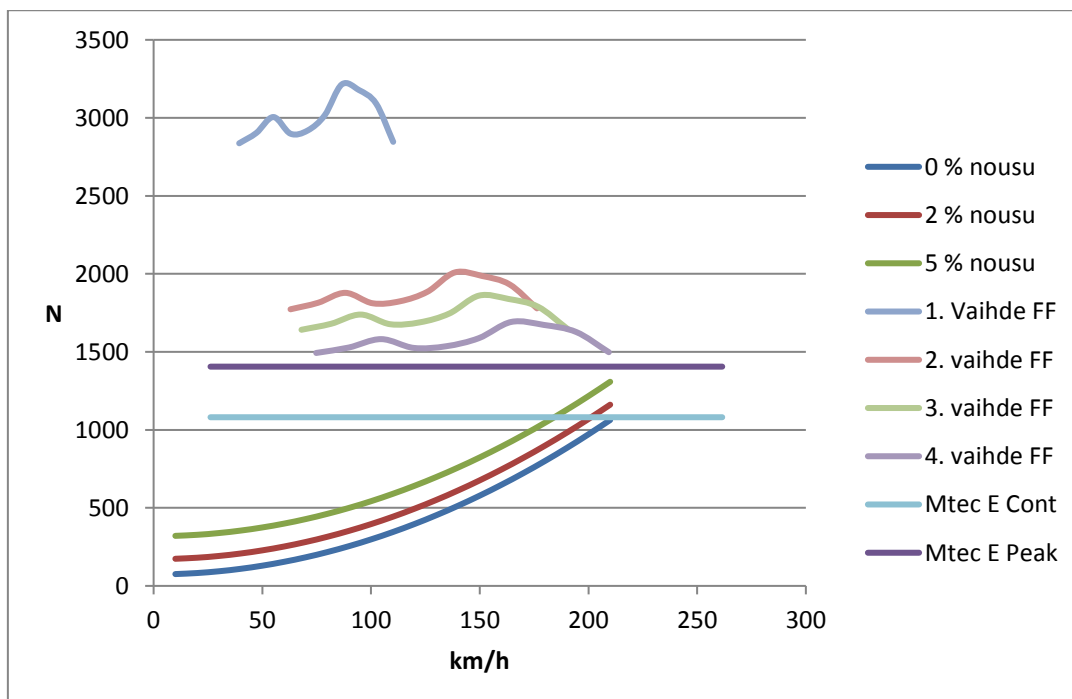
Mtec E:n rakenteen idean takana on pienentää kustannuksia, kun pystytään rakentamaan voimalinja yhdellä sähkömoottorilla ja ilman vaihteistoa (kuva 27). Vaihteiston poissaolo mahdollistaa tarvittaessa tehokkaamman energian regeneroinnin ja pienentää auton ylläpitokustannuksia.



KUVA 27. Mtec E:n voimalinjakaavio

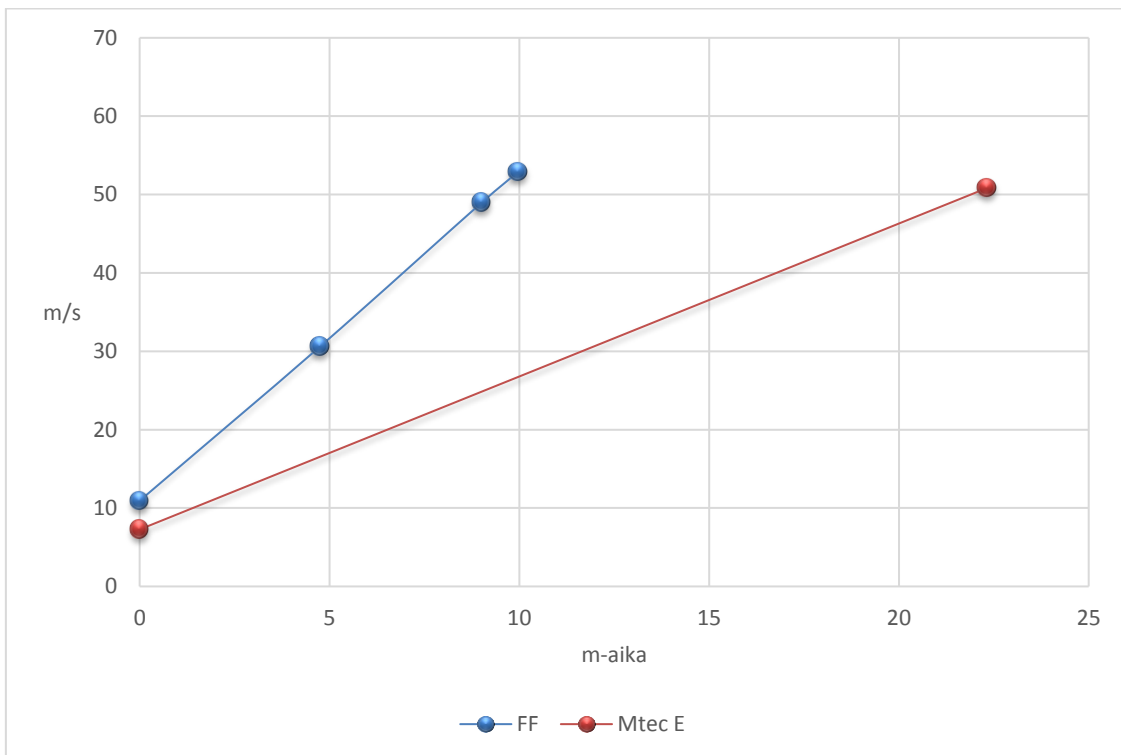
Vaihdelaatikon poistaminen tuo myös luotettavuutta, kun voimalinjassa on vähemmän liikkuvia osia. Suurin osa teknisistä syistä tapahtuvista keskeytyksistä F3, F4 ja monissa muissa pikkuformuloiden sarjoissa johtuu vaihdelaatikon välillisistä tai välittömistä rikkoutumisista. Sähkömoottorin sisälle sijoitettava ta-sauspyörästö täytyy olla pieni, suljettu, kestää paljon vääntöä ja sen täytyy olla helppo ja nopea asentaa.

Mtec E:n prototyypissä käytettävää yhden moottorin rakennetta on laskelmoitu ja verrattu Formula Fordin suorituskykyyn ajotilatutkimuksella. Ajotilatutkimuksen laskelmissa on esitettyä ajovastukset kolmella eri nousulla, Formula Fordin vääntö renkaalla eri vaihteilla ja sähkömoottorin tuottama vääntö renkaalla jatkuvana nimellis- ja hetkellisenä maksimivääntönä (kuva 28). Sähkömoottorin antamalla nimellisvääntömomentilla Mtec E ylittää tasamaalla hieman yli 200 km/h huippunopeuteen. Sähkömoottorin maksimivääntömomentillakin voi ajaa ja kiihdyttää, mutta Mtec E:n testauksessa tutkitaan, kuinka paljon maksimivääntön aluetta voi käyttää aiheuttamatta ylimääräistä värinää ja räsitusta sähkömoottorille.



KUVA 28. Ajotilatutkimus, Formula Ford ja Mtec E (liite 4)

Kiihtyvyys yhdellä sähkömoottorilla kärsii Formula Fordiin verrattuna (kuva 29). Mtec E:n prototyypissä kiihtyvyys vastaa enemmän urheilullisen henkilöauton arvoja, joten prototyypin testausvaiheessa tulee arvioida, täytyykö tuotantoversio tehdä kahdella sähkömoottorilla vai onko nykyinen nopeustaso riittävä aloittelijaluokalle. Prototyypiauto voidaan muokata myös kahdelle sähkömoottorille sopivaksi, mutta yhdellä sähkömoottorilla kustannukset ja energian kulutus pysyisivät pienempänä. Suuremmat sähkövirrat kahdelle sähkömoottorille johtaa suurempaan vaadittavaan akkukapasiteettiin ja tuo lisää kustannuksia.



KUVA 29. Kiihtyvyyssarvot Mtec E:llä verrattuna Formula Fordiin (liite 4)

4.3 Turvallisuus

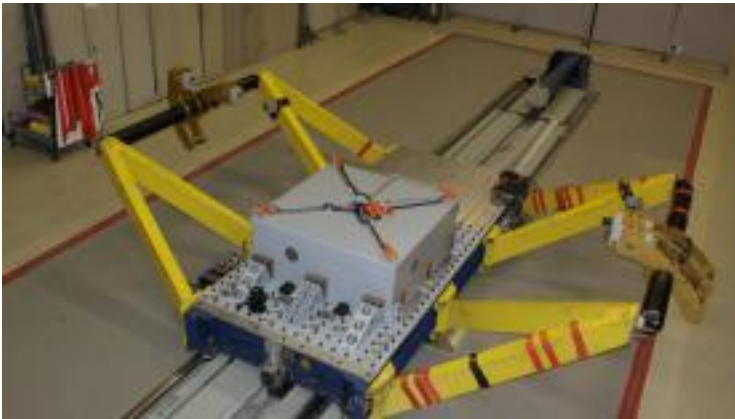
Sähköturvallisuus huollon ja kilpailutilanteiden yhteydessä on yksi keskeisimmistä aiheista suunniteltaessa sähköformula-autoa. Formula E:ssä ja Formula Studentissa on julkisesti saatavilla olevat säännöt sähköturvallisuudesta, joita voidaan hyödyntää Mtec E:tä rakentaessa. Myös yleiset turvallisuusvaatimukset

tulee ottaa huomioon esimerkiksi F4- ja Formula Ford -luokista kattavamman kokonaiskuvan saamiseksi.

4.3.1 Akuston turvallisuus

Akustoille ja akkukotelolle on annettu useita eri määräyksiä rakenteesta ja ominaisuuksista. Olemassa olevat autokohtaiset ja akkupakettikohtaiset määräykset antavat ohjeita sähköformulan akuston vaatimuksista.

Akuille on suoritettu erilaisia testejä varmistettaessa niiden selviytymistä toimintaympäristöjen rasituksista (kuva 30). Ratakilpailujen toimintaympäristössä akkujen on kestävä kuumuutta. Akkujen lataaminen varikolla ja purkaminen radalla ajaessa kuumentaa akkuja. Jos autoissa on vaihtoehtoina regenerointi, akuille tulee regeneroinnin kautta jatkuvaa sähkövirran lataus- ja purkuvaihtelua. Jatkuvat lataus- ja purkusyklit pitävät akuston kovalla rasituksella ja lyhentää akun elinikää (35).



KUVA 30. Akusto törmäystestikelkassa (36)

Akuston lämpötilan hallinta tulee olemaan yksi suurimmista haasteista prototyyppin akuston kehitystyössä. Akuston lämmitessä liikaa tulee suuri paloriski. Suurimman osan aikaa akun lämpeneminen lähinnä kuluttaa akkua ja pienentää akun kokonaiskapasiteettia, mutta akkupaketin lämmön tarkkailuun on akuilta löydyttävä omat anturit. Lithium-Ionipohjaisilla akuilla löytyy jokaiselle akkukennolle BMS:ltä lämpötilaa ja varaustilaa seuraavat anturit, joiden avulla pystytään

tarkkailemaan ja hallitsemaan yksittäisten kennomoduulien varaustilaa. Samaa järjestelmää voi käyttää hyväksi paikantaessa viallisia akkukennoja. Vastaavia tarkkailujärjestelmiä on käytetty Oamkin Hilux-sähkötyökoneprojektin ajoneuvossa (kuva 31).



KUVA 31. Oamkin Hilux-sähkötyökoneprojekti (37)

4.3.2 Sähkölinjojen ja kytkentöjen turvallisuus

Sähköjärjestelmillä on vaatimuksena muun muassa break away -liitimien (kuva 32) ja virrankatkaisukytkimien käyttö. Korkeajännityskaapeliin muodostuessa vetoa kaapeli ei saa revetä avonaiseksi. Repeäminen estetään asentamalla break away -liittimiä, jotka katkaisevat kaapelien yhteyden hallitusti ja suojatusti johdoista vedettäessä. Korkeajännitekaapelien veto tulee tarpeen akun, BMS:n, invertterin, ECU:n ja sähkömoottorien korkeajännitelinjosten välillä. Asia huomioidaan komponenttien sijoittelulla, jotta formulassa olisi mahdollisimman lyhyet etäisyydet korkeajännitekomponenttien välillä.



KUVA 32. Break away -liitin (38)

4.3.3 Auton rungon turvallisuus

Rungon rakenteen johtavuus ja maadoitusmahdollisuudet tulee ottaa huomioon erityisesti protovaiheessa. Prototyypiauto on hyvä rakentaa CrMo-putkirunkoon sen helpon maadoittamisen takia. Hiilikuitumonokokkirunko johtaa epäta-
saisesti sähköä, joten se on hyvin ongelmallinen maadoittaa. Prototyypivai-
heessa runko on kuitenkin hyvä pitää huollossa maadoitettuna aina kun mah-
dollista. Rungon maadoitus estää jäännösjännitteiden kerääntymisen runkoon ja
siinä kiinni oleviin komponentteihin, jotka voivat olla haitallisia protoauton pa-
rissa työskentelevälle henkilöstölle (kuva 33). Maadoitus tulee ottaa huomioon
myös tuotantoversiota suunnitellessa.



KUVA 33. F1-mekaanikko sai sähköiskun KERS-testeissä vuonna 2008 (39)

Runkoon tulee varustaa kiinteitä mittalaitteita, jotka ilmaisevat suurjännitevirran päästessä auton runkoon. Ilmaisimia ja mittalaitteita tarvitaan, jos komponentteihin kerry staattista sähkövarausta tai auton rungon eristysvastusarvot muuttuvat.

4.3.4 Onnettomuudet

Onnettomuustilanteissa tulee taata kuljettajan ja pelastushenkilökunnan turvallisuus. Onnettomuuksia varten Formula E:ssä ja Formula Studentissa on useita fail safe -toimintoja. Fail safe -toiminnot katkaisevat yhteyden korkeajänniteakun ja muun auton välillä, jotta korkeajännitesähkö ei pääse johtumaan auton runkoon. Korkeajännitesähkö voi johtua rungon välityksellä kuljettajaan tai pelastushenkilökuntaan esimerkiksi rikkiäisten komponenttien tai kaapeleiden välityksellä.

4.3.5 Häiriötilat

Jos sähköformulassa ilmenee jokin häiriötila esimerkiksi jonkin komponentin vaurioituessa, tulee sähköjärjestelmän havaita häiriön laatu ja toimia ohjatulla

tavalla. Sulakkeita ja muita varokkeita tulee käyttää prototyyppi-autossa vaarallisten vikatilanteiden välttämiseksi. Korkeajännitejärjestelmän varokkeet tulee säilyttää myös tuotantoversiossa.

Mtec E:hen tehdään omat päävirtakatkaisijat suurjännitejärjestelmälle ja pien-sähköjärjestelmälle. Lisäksi varokkeiden poistaminen akuston ja invertterin välistä tulee tehdä helpoksi, jotta auton pystyy tarvittaessa eristämään akustosta päävirtakytkimellä ja poistamalla varokkeen. Samankaltaista tuplavarmistusta käytetään poistamalla huoltoerotin (kuva 34) huollettaessa hybridi-autoja.

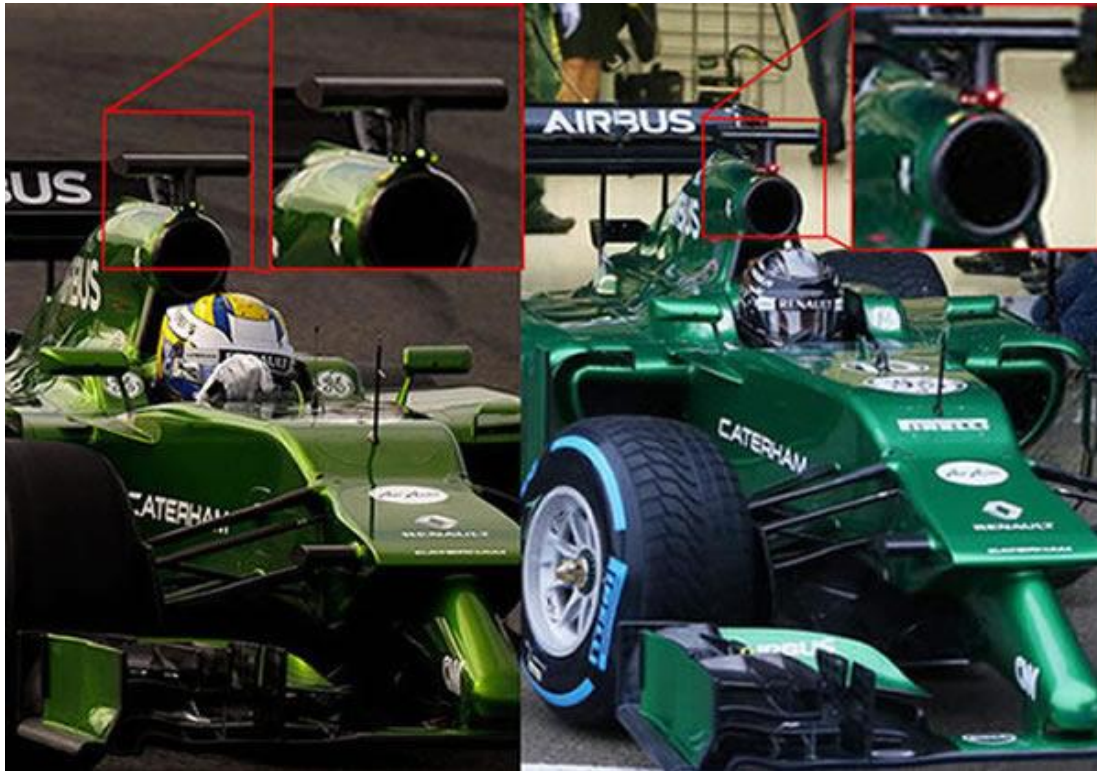


KUVA 34. Toyota Priuksen huoltoerottimen irrotus (40)

4.3.6 Henkilövahinkojen minimointi

Toimittaessa uudentyyppisen teknologian ja korkeajännitteiden kanssa tarvittavia varotoimia tulee ottaa henkilövahinkojen minimoimiseksi. Huoltohenkilökunnalla tulee olla riittävä koulutus sähköturvallisuudesta ja prototyyppi-auton ominaisuuksista. Autoon tullaan asentamaan auton korkeajännitejärjestelmän moodia ilmaiseva merkkivalo, joka on saman tapainen kuin F1-autojen KERS-järjestelmien merkkivalot (kuva 35). KERS on aktiivinen punaisen valon ollessa

päällä, eikä autoon saa kuljettajan lisäksi koskea silloin kukaan. Vihreästä merkivalosta huoltohenkilökunta näkee, kun KERS on pois päältä ja autoon voi tehdä huoltotoimenpiteitä.



KUVA 35. F1-autoissa on KERS-järjestelmän aktiivisuutta ilmaiseva valo (41)

5 PROJEKTIN TOTEUTUS

5.1 Yhteistyötahot

5.1.1 Oulun ammattikorkeakoulu (Oamk)

Korkeajännitteisten ajoneuvokäytössä olevien komponenttien kanssa toimiminen on autoalalla Suomessa toistaiseksi hieman harmaata aluetta. Oamkin toteuttama ANSVAR-hanke lisää tietoisuutta korkeajännitekomponenttien kanssa työskentelyyn sähkö- ja hybridiajoneuvoissa. Oamkin autolaboratoriossa on myös rakennettu Hilux-sähkötyökone Teklille Oulun kaupungin katujen kunnostustöitä varten. Hilux-sähkötyökoneprojektin lähtökohdat ovat saman tyylliset kuin Mtec E -projektin. Molemmissa projekteissa olemassa olevista autoista lähetään muokkaamaan toimiva sähkökäyttöinen prototyyppi. Mtec E- ja Hilux-sähkötyökone -projekti ja ANSVAR-hanke tukevat toisiaan tuoden lisää tietotaitoa sähköajoneuvojen järjestelmistä ja niiden sovelluksista molemmille osapuolille.

Oamkin kanssa yhteistyö avaa mahdollisuuksia testaamiseen Schenk-moottoridynamometrissä ja Rototest-ajoneuvodynamometrissä. Myös autolaboratorion monet sähkötyöturvallisuusvarusteet ovat projektille hyödyksi.

5.1.2 AKK

Suomen moottoriturheilun kattojärjestö on FIA:n alaisuudessa toimiva AKK Motorsport, jonka intressinä on muun muassa kotimaisen moottoriturheilukulttuurin kehittäminen. Sähköformulasarja on myös sen näkökulmasta yksi tapa luoda suurelle yleisölle kiinnostusta rata-autoilun ympärille.

5.1.3 ELY-keskus

ELY-keskuksen puolelta Mtec E -projekti on saanut kehitystukea, joka edesauttaa projektin toteutumista. Rahoituksen piiriin kuuluu 45% toteutuneista kustan-

nuksista ja palkkakuluista. ELY-Keskus näkee vastaavien tulevaisuuteen tärkeitä projektien tuovan tulevaisuudessa uusia uudentyyppisiä työpaikkoja Rantsilan kaltaiselle seudulle. Lisäksi sähköiset kuljetusmuodot ja niiden kehitys johtavat kohti vähäpäästöisempää moottoriurheilu- ja liikennekulttuuria.

5.2 Rahoitus

Rahoitus on akuston jälkeen toiseksi haastavin osa-alue projektin toteuttamisen kannalta. ELY-keskukselta haettu tuki auttaa projektia jatkumaan, mutta tuet saadaan vasta takautuvasti toteutuneita kuluja vastaan.

Mtec E -prototyyppi rakennetaan Mäkelä Racing Teamin aputoiminimen nimissä. Yhteistyökumppaneiden kanssa on neuvoteltu jo monia komponenttisponsorointeja, mutta muihin hankintakuluihin on käytettävä Mäkelä Racing Teamin ja Huoltoasema Mäkelä Ky:n varoja. Pankkilaina on yksi mahdollisuus, mutta järkevämpää tässä vaiheessa on tehdä hankintoja ja rakentaa prototyyppiä sitä mukaan, kun varoja saadaan kerättyä.

Prototyyppiformulan testien jälkeen sarjatuotantoversion suunnitteluun ja valmistukseen voidaan tehdä Mtec E:lle oma yhtiö. Uudelle yhtiölle on helpompi saada tukea ja lainan ottaminen on riskittömämpää, kun se otetaan sarjatuotantoversion tuotannon käynnistämiseen. Pelkkään kehitystoimintaan lainan ottaminen on riskialtista, koska tuotteen kehittäminen ei vielä tuo yritykselle tuloja. Ulkopuolisten sijoittajien mukaan ottoa yhtiöön harkitaan.

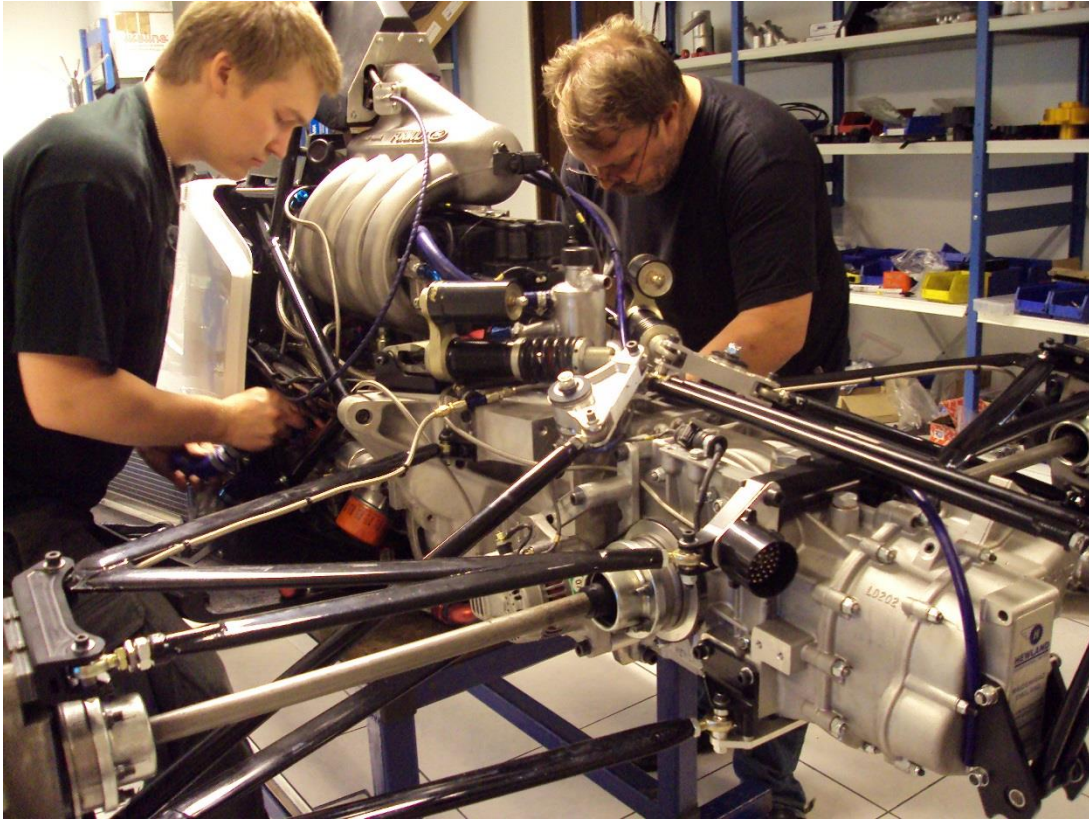
Alustavia laskelmia ja markkinatutkimusta on tehty vertaamalla F4-autojen hintoja ja kartoittamalla sähköformula-auton komponenttien kustannuksia. F4-autoille on asetettu FIA:n toimesta 55 000 €:n hintakatto, jotta luokan kustannukset pysyvät yleisesti mahdollisimman alhaalla. Sarjatuotantoversioisen sähköformula-auton tavoitehintana on 60 000 €. Tavoitteellinen myyntihinta on tehty tarkoituksella pieneksi, koska markkinatutkimuksessa on myös otettu kantaa myyntimääriin ja markkinapotentiaaliin, jonka mukaan edullisimmilla formula-luokilla on myös suurimmat markkinat. (Liite 3.)

6 MTEC E:N TUOTANTOVERSIO

Prototyypiauton testauksen ja kehitystyö pohjalta voidaan suunnitella sähköformulasarjaan soveltuva tuotantoversio. Formulan tulee olla turvallinen ja helpokäyttöinen kilpateimielle ajattaa ja ylläpitää. Varaosapalvelut ja tekninen tuki tulee olla kaikille sähköformulan ostaneille saatavilla. Auton ostavalle tiimille on annettava riittävän kattava käyttökoulutus sähköformulan kanssa toimimiseen turvallisesti.

6.1 Tuotanto

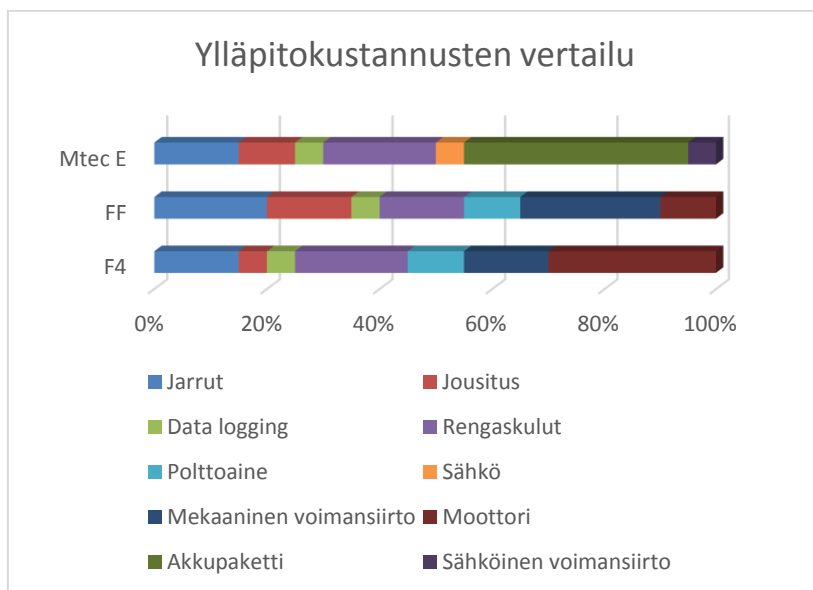
Sähkömoottori, ECU, invertteri, akkupaketti ja tiedonkeruujärjestelmä toteutetaan alihankintana eri yrityksiltä, joilta löytyy käyttöön soveltuva ammattitaito ja sopivat komponentit. Muut komponentit Mtec pystyy suunnittelemaan ja tuottamaan itse (kuva 36). Mtec:n rooli perustuu sähköformulasarjassa omien osien tuottamisen ja myymisen lisäksi lopputuotteen kokoamiseen, sähköformulasarjan pyörittämiseen ja sähköformuloihin liittyvien palvelujen tuottamiseen.



KUVA 36. Mtec:ltä löytyy tarvittavat tilat sähköformuloiden rakentamiseen

6.2 Kausikustannukset

Kausikustannukset sähköformulasarjassa verrattain Formula 4 ja Formula Ford -luokkiin pysyy lähes samoissa loppusummissa. Käytännössä sähköformulan juoksevia kuluja ei vielä tiedetä, mutta olettamuksia komponenttien elinikään ja kustannuksiin liittyen pystytään arvioimaan mille sektoreille kussakin luokassa kulut painottuvat. (Kuva 37.)



KUVA 37. Formulaluokkien ylläpitokustannusten vertailu (42)

Sähköisen voimansiirron pitkä käyttöikä ja ylimitoitetun tasauspyörästäön pieni huollontarve pudottaa sähköformulan voimansiirron huoltokustannuksia verrattuna polttomoottorin ja mekaanisen voimansiirron kuluihin. Toisaalta tämän hetken akkupakettien lyhyt elinikä suhteessa kustannuksiin nostaa auton ylläpitokustannuksia pitäen kokonaiskulut samassa linjassa Formula Fordin ja F4-sarjojen kokonaiskustannuksissa.

6.3 Myyntistrategia

Mtec E rakennetaan aluksi yhden valmistajan mallina Suomen sarjaan, jossa kaikkien autojen on käytettävä samoja säännöillä määrättyjä komponentteja. Sähköformuloiden pilottisarjassa on helpompi hallinnoida ja puuttua mahdollisiin teknisiin haasteisiin tuotantoversiossa, kun kaikki autot ovat identtisiä teknisiltä ominaisuuksiltaan.

Autot myydään suoraan tai leasing-sopimuksella ulkopuolisille tiimeille ja yksityisille kuljettajille, joilta löytyy riittävä ammattitaito auton ylläpitoon. Mtec tarjoaa uuden sähköformulan myynnin yhteydessä käyttökoulutuksen. Mtec kattaa sähköformuloiden suunnittelu ja rakennuskustannukset autojen myynnillä, varaosamyynnillä ja sähköformuloihin liittyvinä lisäpalveluina.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä on esitetty ajatusmalli sähköformuloilla ajettavalle kilpailusarjalle vertaamalla laajasti moniin toimiviin kilpailusarjoihin. Ajatusmallissa on otettu huomioon myös kustannustehokkaan sähköformulan tuomat rajoitteet teknisiin ominaisuuksiin.

Sähköformuloissa vaadittavista turvalaitteista on otettu selvää ja toimihenkilöiden turvallisuuteen esitettiin apuvälineitä. Formula-autojen yleiseen turvallisuuteen liittyviä määräyksiä tutkittiin ja otettiin niistä poimintoja oleellisimmista Mtec:lle uusista aihealueista esille, kuten komponenttien eristysvastukset, akkupaketin rasitusvaatimukset, korkeajännitelinjojen varokkeiden käyttö ja Break away -liittimet. Hiilikuiturungon sähkönjohtavuutta on tutkittava sähköformulan kehitystyön aikana tarkemmin tai vaihtoehtoisesti löydettävä jokin muu runkoratkaisu.

Prototyypiautoon ja sähköformulan tuotantoversioon esitettiin eri ratkaisumalleja ja mahdollisiin ongelmakohtiin on otettu kantaa. Akkuteknologia on suuressa roolissa projektin onnistumisen kannalta ja asettaa eniten haasteita sähköformulan kustannustehokkaaseen kilpailukäyttöön tulevaisuudessa. Asia on toistaiseksi ratkaistu sääntövaatimuksella, että formulasarjassa ajavien kilpailijoiden on käytettävä samaa sinetöityä akkupakettia koko kilpailukauden ajan.

Sähköformulan kustannuksista tehtiin vertailua olemassa oleviin formulasarjoihin yleisellä tasolla. Työssä todettiin kokonaiskustannusten pysyvän arviolta samassa linjassa olemassa olevien saman tason polttomoottoristen sarjojen kanssa. Haasteena tulee olemaan sähköformulan suorituskyvyn säilyttäminen mahdollisimman samana nykyisiin F4- ja Formula Ford -autoihin nähden annetuissa kustannusraameissa.

Mtec E -projekti mahdollistetaan Huoltoasema Mäkelä Ky:n yrityksen tuloilla, ELY-keskuksen kehitystuella, yhteistyökumppanien työpanostuksella ja Mtec E

-projektin sponsoreiden rahallisella tuella. Sähköisen voimalinjan komponentti-valmistajista osa on myös valmis tukemaan projektia omalta osaltaan.

Mtec E:n voimalinjan rakenteen takana on ideana pienentää kustannuksia. Mtec E:n prototyypissä kiihtyvyys yhdellä sähkömoottorilla kärsii Formula Fordiin verrattuna, joten prototyypin testausvaiheessa tulee arvioida, täytyykö tuotantoversio tehdä kahdella sähkömoottorilla vai onko nykyinen nopeustaso riittävä sähköformuloiden aloittelijaluokalle.

Tulevaisuudessa FIA:n uskotaan lanseeraavan sähköisen F4-konseptin, johon Mtec E -projektin on hyvä tähdätä. Formula E -sarjalla ei ole tällä hetkellä sähköisiä feeder-luokkia, joista tulisi sähköformulaosaamista omaavia kuljettajia ja henkilöstöä, joten alalla on olemassa markkinarako.

Sähköformulasarjan promootiotyö toteutetaan yhteistyökumppanien avustuksella Mtec:n toimesta. Sähköformulasarjan konseptia tullaan esittämään AKK Motorsport ry:lle ja AKK Sports Oy:lle osaksi suomalaista rata-autoilua. Kansallinen sähköformulasarja voi noudattaa Formula E:n luomaa konseptia hyvin pitkälle, mitä tulee tapahtumien luonteeseen ja oheistoimintaan. FanBoostin kaltainen äänestysjärjestelmä sitoo katsojan kisatapahtumaan mukaan uudella lailla ja saa kuljettajat ja tiimit mainostamaan itseään ja tapahtumaa paremmalla motivaatiolla kuin ennen.

Kilpailutapahtumat ovat kaksipäiväisiä, ja sähköformuloilla kisalähtöjä tapahtumassa on aika-ajojen lisäksi kolme lyhyttä noin kymmenen kierroksen lähtöä. Kisatapahtumassa ajaa oheisluokkina 5 - 6 muuta kilpailuluokkaa, joille varataan saman kokoinen aikaikkuna käytettäväkseen kuin sähköformuloille. Sähköformulasarja sisältää kuusi kisaviikonloppua, joista jokaisessa ajetaan kolme kilpailulähtöä. Jotkin osakilpailuviikonlopuista sijoittuvat suurten kaupunkien keskustoihin. Osakilpailuviikonloppujen suunnittelussa on otettu huomioon kilpailutapahtuman peruspalvelujen takaaminen ja esitetään ehdotuksia rata-autoilun konseptin kehittämiseksi.

Mtec E -sähköformulan tuotantoversio rakennetaan aluksi yhden valmistajan mallina Suomen sarjaan. Autot myydään suoraan tai leasing-sopimuksella ulkopuolisille tiimeille ja yksityisille kuljettajille. Kausikustannukset sähköformulasarjassa verrattain Formula 4 ja Formula Ford -luokkiin pysyy lähes samoissa loppusummissa. Mtec:n rooli perustuu sähköformulasarjassa omien osien tuottamisen ja myymisen lisäksi lopputuotteen kokoamiseen, sähköformulasarjan ylläpitämiseen ja sähköformuloihin liittyvien palvelujen tuottamiseen.

Opinnäytetyön tavoite tehdä mahdollisimman kattavaa pohjatyötä Mtec E -prototyypiautoa ja sähköformulasarjaa varten toteutuu opinnäytetyössä osittain. Opinnäytetyön yhteydessä tehty pohjatyö on tuottanut paljon enemmän tulosta opinnäytetyön ulkopuolella hyödyttäen Mtec E -projektin suunnittelua kuin opinnäytetyön sisältö antaa ymmärtää. Opinnäytetyössä ei oteta esille kaikkea tietoa, jota koskee salassapitosopimus tai joka ei ole muuten hyväksyttävää julkaisusta.

LÄHTEET

1. ”Suomen puhtain rataluokka”. E85 Bioetanolin käyttö polttoaineena autourheilukilpailuissa – Ympäristöystävällisen autourheilutoiminnan kehittäminen. Powerpoint-diasarja. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö / moottorilaboratorio. Saatavissa: http://www.makelaracing.fi/Suomen_puhtain_rataluokka.pdf. Hakupäivä 2.12.2016.
2. Mtec - Tervetuloa uusille sivuillemme!. Mtec Formula Technology. Saatavissa: <http://www.makelaracing.fi/mtec/fi/mtec-2/>. Hakupäivä 2.12.2016.
3. Formula Ford. Mtec Formula Technology. Saatavissa: <http://www.makelaracing.fi/mtec/fi/formula-ford-2/>. Hakupäivä 2.12.2016.
4. Formula Ford 1600 Duratec. 2013. Formula Fordin tekniset säännöt 2013. Ford Motor Company. Saatavissa: <http://www.formulaford.fi/wp-content/uploads/2014/03/2013-Reglement-FF-del-II-1600-Duratec.pdf>. Hakupäivä 2.12.2016.
5. George, Patrick 2014. How Porsche’s stunningly complex hybrid Le Mans race car works. Jalopnik. Gizmodo Media Group. Saatavissa: <http://jalopnik.com/how-porsches-stunningly-complex-hybrid-le-mans-race-car-1589245142>. Hakupäivä 2.12.2016.
6. Jaguar returns to global motorsport. 2015. Formula E. FIA. Saatavissa: <http://www.fiaformulae.com/en/news/2015/december/jaguar-returns-to-racing.aspx>. Hakupäivä 2.12.2016.
7. Formula 4 championships – Season. 2016. Luettelo eri maiden F4-sarjoista. FIA. Saatavissa: <http://www.fia.com/formula-4-championships>. Hakupäivä 2.12.2016.

8. Article 274 - FIA Draft 2014 Formula 4 Technical Regulations. 2014. F4 tekni-set säännöt. FIA. Saatavissa: http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/FIA%202014%20F4%20TECHN%20REGS_17_09_2013_corr%20GS_modRM-nl_RM2-nl2.pdf. Hakupäivä 2.12.2016.
9. The series. Performance - Equality above all. 2015. Pohjoismaiden NEZ F4 -sarjan esittely. F4 NEZ championship by SMP racing. Saatavissa: <http://smpf4.koiranengp.com/series/>. Hakupäivä 2.12.2016.
10. News - Tuomas Tujula with Double R in the F4 Spanish Championship. 2016. F4 Spain. Saatavilla: <http://f4spain.com/news-post/tuomas-tujula-with-double-r-in-the-f4-spanish-championship/>. Hakupäivä 2.12.2016.
11. DeMorro, Christopher 2016. Eight manufacturers sign on for next Formula E season. GAS2. Sustainable Enterprises Media, Inc. Saatavissa: <http://gas2.org/2015/02/25/eight-manufacturers-sign-on-for-next-formula-e-season/>. Hakupäivä 2.12.2016.
12. Sylt, Christian 2016. Short Circuit: report reveals Formula E has 4% Of F1's TV audience. Tutkimus Formula E:n katsojaluvuista. Forbes Media LLC. Saatavissa: <http://www.forbes.com/sites/csylt/2016/07/18/short-circuit-report-reveals-formula-e-has-4-of-f1s-tv-audience/#3f2501e48a36>. Hakupäivä 13.12.2016.
13. Porteous, James 2016. Formula E 2016-17 - Drivers give Hong Kong Formula E track the thumbs up amidst public backlash. South China Morning Post. Saatavissa: <http://www.scmp.com/sport/motorsport/article/2026355/drivers-give-hong-kong-formula-e-thumbs-amidst-public-outcry>. Hakupäivä 24.12.2016.
14. Palmi, Iiro – Paananen, Seppo 2016. Kaanaassa katse jo tulevaisuudessa! - SuperCar -autojen kansalliset säännöt tulevaisuudessa. Rallicross SM. AKK-Motorsport ry. Saatavissa: <http://www.rallicross.fi/content/fi/1024/3391/Kaanaassa%20katse%20jo%20tulevaisuudessa!.html>. Hakupäivä 2.12.2016.

15. The grid before the start of the race. 2015. XPB Images. Motorsport Network. Saatavissa: <http://www.motorsport.com/f1/photo/main-gallery/the-grid-before-the-start-of-the-race-39/>. Hakupäivä 2.12.2016.
16. Nascar Racing Statistics. 2016. Tilasto Nascarin katsojaluvuista. Statistic Brain. Saatavissa: <http://www.statisticbrain.com/nascar-racing-statistics/>. Hakupäivä 13.12.2016.
17. EGRTeams: Here's a line-up of bare chassis on the shop floor awaiting their 2013 #ChevySS body! #NASCAR. 2012. Searchles, Inc. Saatavissa: <http://twicsy.com/i/3DFNSc>. Hakupäivä 2.12.2016.
18. Rata-ajon strategia 2017 – 2019. 2016. Rata-ajon SM-sarjan strategia vuosille 2017 - 2019. Pdf-asiakirja. AKK Motorsport.
19. Alastaro kulut_2015. 2015. Laskelma 2015 Alastaron Rata-SM -kilpailun kulurakenteesta. Pdf-asiakirja. Rata-SM.
20. Ralli-Tinke, #sulkumies hoitaa homman! :) @AMikkelsenRally @RallyFinland Pre event test.. @VolkswagenRally #PET #RallyFinland. 2016. Twitter. Saatavissa: <https://twitter.com/hashtag/sulkumies>. Hakupäivä 2.12.2016.
21. Formula E's FanBoost – a unique interactive experience. 2014. Formula E. FIA. Saatavissa: <http://www.fiaformulae.com/en/news/2014/december/fanboost-a-unique-interactive-experience.aspx>. Hakupäivä 2.12.2016.
22. Rattley, Aujan 2015. FIA Formula E FanBoost - FIA Formula E FanBoost website 2.0. A Brand New World. Saatavissa <http://www.aujanrattley.com/portfolio-fanboost.html>. Hakupäivä 2.12.2016.
23. 2015 McLaren and Ferrari F1 cars to make debut in days. 2015. ImagineLifestyles.com. Saatavissa: <http://www.imaginelifestyles.com/luxury-living/2015/01/ferrari-f1>. Hakupäivä 2.12.2016.

24. Weaver, Paul 2016. Mercedes inquest after Hamilton Rosberg crash out of F1 spanish grand prix. Guardian News and Media Limited or its affiliated companies. Saatavissa: <https://www.theguardian.com/sport/2016/may/15/lewis-hamilton-nico-rosberg-crash-out-f1-spanish-gp>. Hakupäivä 2.12.2016.
25. F4 danish championship. Konzept. pris/leasing. 2016. Tietoa tanskan F4-kilpailusarjasta ja formuloiden leasing-järjestelmästä. Formel 4 DK. Saatavissa http://www.formel4.dk/?page_id=26. Hakupäivä 2.12.2016.
26. Mäkelä, Miikka 2016. Kululaskelma F4. Laskelma uuden kilpailutiimin osallistumisesta F4-sarjaan. Mtec Formula Technology.
27. Kane, Mark 2015. FIA homologates manufacturers for second Formula E season. Inside EVs. Saatavissa: <http://insideevs.com/fia-homologates-manufacturers-second-formula-e-season/>. Hakupäivä 2.12.2016.
28. Smith, Sam 2016. Michelin to provide new Formula E tyres in season three. Motorsport Network. Saatavissa: <http://www.motorsport.com/formula-e/news/michelin-to-provide-new-formula-e-tyres-in-season-three-739197/>. Hakupäivä 2.12.2016.
29. Lyon, Angus 2015. Developing EV systems for motorsport. Director, Rockfort Engineering Ltd. Esitelmä sähköisten kilpa-ajoneuvojen kehityksestä ja niiden vaatimuksista Professional Motorsport -messuilla Kölnissä 12.11.2015.
30. Hoeschen, Kenny 2014. McLaren shows off its tiny Formula E motor. 95octane. Awesomer Media. Saatavissa: <http://95octane.com/2014/10/02/mclaren-formula-e-motor/>. Hakupäivä 2.12.2016.
31. Jackson, Connor 2015. BRDC F4 unveils new 2016 car. MMXVI - The Checkered Flag. Saatavissa: <http://www.thecheckeredflag.co.uk/2015/06/brdc-f4-unveils-new-2016-car/>. Hakupäivä 2.12.2016.
32. Oikarinen, Ossi 2015. Insinööri, Team Rosberg. Keskustelu American Car Show'ssa 15.4.2015.

33. Racewaymedia. Mtec Formula Technology. Saatavissa: http://www.makelaracing.fi/mtec/wp-content/uploads/2016/10/kemora2015_18_std-1.jpg. Hakupäivä 2.12.2016.
34. Satschen, Stefan 2011. Tubular spaceframe. Tutkimus Mtec Formula Ford -putkirunkorakenteen kestävydestä. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö / moottorilaboratorio.
35. Eskelinen, Ville 2016. Insinööri, Metropolia University of Applied Sciences. Keskustelu Metropolian autolaboratoriossa 29.3.2016.
36. Powertrain Center. Battery Safety. Battery Abuse Testing. Mechanical abuse tests. 2016. TASS International. Saatavissa: <https://www.tassinational.com/battery-abuse-testing>. Hakupäivä 3.12.2016.
37. Hilux – sähkötyökoneprojekti. 2012 - 2013. Oulun Ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö / moottorilaboratorio. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/tekniikka/hilux/>. Hakupäivä 3.12.2016.
38. Bathie, Dan – Studihrad, Rovatti – Marta, Gohil – Shiv 2016. Event: Berline race weekend. Spacesuit Media. Saatavissa: <http://spacesuitmedia.com/portfolio/formula-e-berlin-2016/>. Hakupäivä 3.12.2016.
39. BMW get to bottom of KERS shock problem. 2008. GP Update. Saatavissa: <http://www.gpupdate.net/en/f1-news/196266/bmw-gets-to-bottom-of-kers-shock-problem/>. Hakupäivä 3.12.2016.
40. Ansvar. Esimerkki hybridauton jännitteettömäksi ja jännitteelliseksi tekemisestä. 2015. Kuvakaappaus videolta. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://youtu.be/6szOA1uTSKI?t=114>. Hakupäivä 3.12.2016.
41. 2014 F1 rule change new power unit (1.6 V6) with ERS. Technical F1-Dictionary. Saatavissa: http://www.formula1-dictionary.net/engine_power_unit_and_ers.html. Hakupäivä 3.12.2016.

42. Mäkelä, Miikka 2016. Vertailu Mtec E -sähköformulasarjan, Formula Ford -sarjan ja F4-sarjan kausikustannuksista. Excel-tiedosto. Mtec Formula Technology.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Miikka Hermanni Mäkelä, 040 867 8197, miikka@makelaracing.fi _____

Tilaaaja Mäkelä Racing Team / Huoltoasema Mäkelä Ky _____

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot

Miikka Mäkelä, 040 867 8197, miikka@makelaracing.fi _____

Työn nimi

Mtec E -sähköformula-auton konseptin suunnittelu _____

Työn kuvaus

Työssä konseptoidaan Mtec E- formula-autolla ajettava kilpailusarja. Sarjan suunnittelussa otetaan huomioon muun muassa kansainväliset määräykset, määritellään kustannuskehys ja kartoitetaan tarvittavien yhteistyötahojen laajuutta. Työssä hahmotellaan suunnittelun yhteydessä ideologiaa mahdollisista kisatapahtumien malleista sekä esitetään teknisiä ratkaisumalleja prototyypiautoon ja tuotantoversioon.

Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä mahdollisimman kattavaa pohjatyötä Mtec E -kilpailusarjan suunnittelua ja toteuttamista varten. Opinnäytetyöstä syntyvä konsepti toimii viitekehystenä prototyypiauton ja myöhemmin tuotantoversion suunnittelussa. _____

Tavoiteaikataulu

Opinnäytetyö tulee saattaa valmiiksi ennen Joulua 2016. _____

Päiväys ja allekirjoitukset

Formula Ford VS Mtec E -sähköformulan energiatehokkuus

Formula Fordeissa käytetään sääntöjen mukaisesti yleisesti jakelussa olevaa 98E pumppubensaa.

98E polttoaineen energiasisältö on arvioitu yleisesti noin 9kWh/l (0,009MWh)

Keskiverto polttomoottori käyttää polttoaineen sisältämästä energiasta noin 30% hyödykseen tuottaessaan pyörimisliikettä voimansiirrolle. Formula Fordien käyttäessä Duratec-moottoreita voidaan hyötysuhteen olevan formulalla ajattaessa samaa luokkaa.

Lisäksi Formula Fordissa tulee häviöitä mekaanisesta voimansiirrosta noin 5% ennen kuin pyörimisliike välittyy rattaille, eli nyt hyötysuhde on noin 28,5%.

Keskiverto kuljettaja ajaa yhden kisakauden (1. vuoden) aikana 5,5 kisaviikonloppua ja 20 testipäivää.

Yhtenä kisaviikonloppuna ajetaan noin 60 kierrosta ja yhtenä testipäivänä noin 70 kierrosta.

Formula Ford kuluttaa yhden kierroksen aikana keskimäärin 0,75l bensiiniä.

Yhden kisakauden aikana Suomen mestaruussarjaan osallistuu noin 15 autoa.

Laskettaessa energian käyttö kahden vuoden (2. Kisakauden) ajalta saadaan laskukaava:

$$2\text{kautta} * 15\text{kuljettajaa} * (5,5\text{vkl} * 60\text{kier} + 20\text{test} * 70\text{kier}) * 0,75\text{l} \\ * 0,009\text{MWh} = 350,325 \text{ MWh}$$

Eli Formula Fordien ajama kisakausi kuluttaa yhteensä noin 350 MWh polttoaineissa.

Lähdettäessä vertaamaan lukuja sähköformuloilla ajettavaan sarjaan pitää huomioida pari muuttujaa:

- -Mekaanista pyörintänopeusvälitystä ei ole, jolloin häviöitä sieltä ei tule.

- -Sähköisen voimansiirron kokonaishyötysuhde on polttomoottoria huomattavasti parempi (95%)

Polttomoottori käyttää polttoaineen sisältämästä yhden bensiinilitran 9 kiloWattitunnista vain 28,5% pyörimisliikkeeseen, eli 2,565kWh/l (9kWh/l*28,5%).

Olettaen, että sähköformulan energian käyttö ajotilanteessa olisi samaa luokkaa, niin sähkömoottorin käyttämä 95% on sama 2,565 kWt, kuin polttomoottorilla hyötysuhteen ollessa 28,5%.

Koska Formula Ford ei kuluta täyttä yhtä litraa kierroksella ja sähkömoottori ei käytä polttoainetta, energian käyttö on sopeutettava kierroksella litrasta sähköformulalle soveltuvaksi energiayksiköksi:

$$2,565kWt(1l \text{ bensasta käytetty energia}) * \frac{0,75l}{kier} = 1,92375kWt/kier$$

$$= 0,00192375MWt/kier$$

Tämän jälkeen tulee huomioida vielä sähköisen voimansiirron 5% häviö mukaan kierroksella käytetyn energian laskuihin:

$$\frac{\frac{0,00192375MWt}{kier}}{0,95} = 0,002025MWt/kier$$

Olettaen että sähköformuloilla ajettaisiin samanpituisia kisoja ja kilpailijat harjoittelisivat yhtä paljon kauden aikana, sekä heitä olisi samat keskimäärin 15 kilpailijaa, muodostuu laskukaava:

$$2kautta * 15kuljettajaa * (5,5vkl * 60kier + 20test * 70kier) * 0,002025MWt$$

$$= 105,0975MWh$$

Kun vastukset laitetaan vertailuun saadaan ajetun kahden kauden ero energian kulutuksessa:

$$350,325 MWh - 105,0975MWh = 245,2275MWh$$

Sähköformuloilla säästyy näin yli 245MWh energiaa jo kahden kilpailukauden aikana.

Mtec E



Cost target evaluation 22.11.2015

F4 level price range



The fastest growing sector is currently also the cheapest as many small level formula classes are being replaced by the FIA F4 concept. And that's why our main target is to be the first to hit the F4 market with electric solutions. Currently FIA has set standard price limits for different components on the car.

Component cost	Engine, clutch, ECU, eng. looming etc.	max 9500€
	Gearbox	max 8000€
	Chassis, suspension, safety, data logging etc.	max 37500€
Ready car price		max 55000€
Source	<ul style="list-style-type: none"> • FIA 2015 F4 Homologation Appendix 1: Price limits for consumption parts • Koiranen GP (F4+GP3 Team) 	

Similar series to F4 are driven around the world for example Formula Ford, Formula Renault 1.6, Formula Renault 2.0, Formula MRF, Formula BMW and many other series in US and Asia. True number of similar series is above 50 different championships still running on national and international series. This gives us potential market of ~500 teams on international championships and 1000-2000 teams on national levels

Cost targets for individual components on the F4 level electric formula car:

E-motor and inverter	13000€
Battery pack and BMS	17000€
Chassis, suspension, safety, data logging etc.	30000€
Ready car price	max 60000€

The challenge is great for the cost targets but the market potential is huge on this level.

F3 level price range



The medium price sector of F3 type cars is probably easier to achieve but the market potential downsizes exponentially and there is no significant growth expected. Our intention is to come up with a solution for this level also on the electric side in the future after we get the starter level series going.

Component cost	Engine, clutch, ECU, eng. looming etc.	Annual cost max 50000€
	Gearbox	max 10 000€
Source	FIA F3 Homologation	

F3 type series are run on national and international levels consisting of ~200 cars.

GP2 level price range



driven only on international levels and some other challenge series with older cars. The price level here is also easy to achieve with EV-technology, but the market potential is even smaller.

Component cost	Engine, clutch, ECU, eng. looming etc.	80000€ / 4500km
	Gearbox	max 35 000€
Ready car price		250 000€

GP2 type series consists of ~50 cars.

As a conclusion our goal is to hit the market sector that is the hardest to obtain but has the biggest and fastest growing market potential. As time passes by the competition on EV-technology grows and prices come down very fast. For this reason we can be the first ones to obtain the markets by starting to develop suitable solutions before any competition comes up.

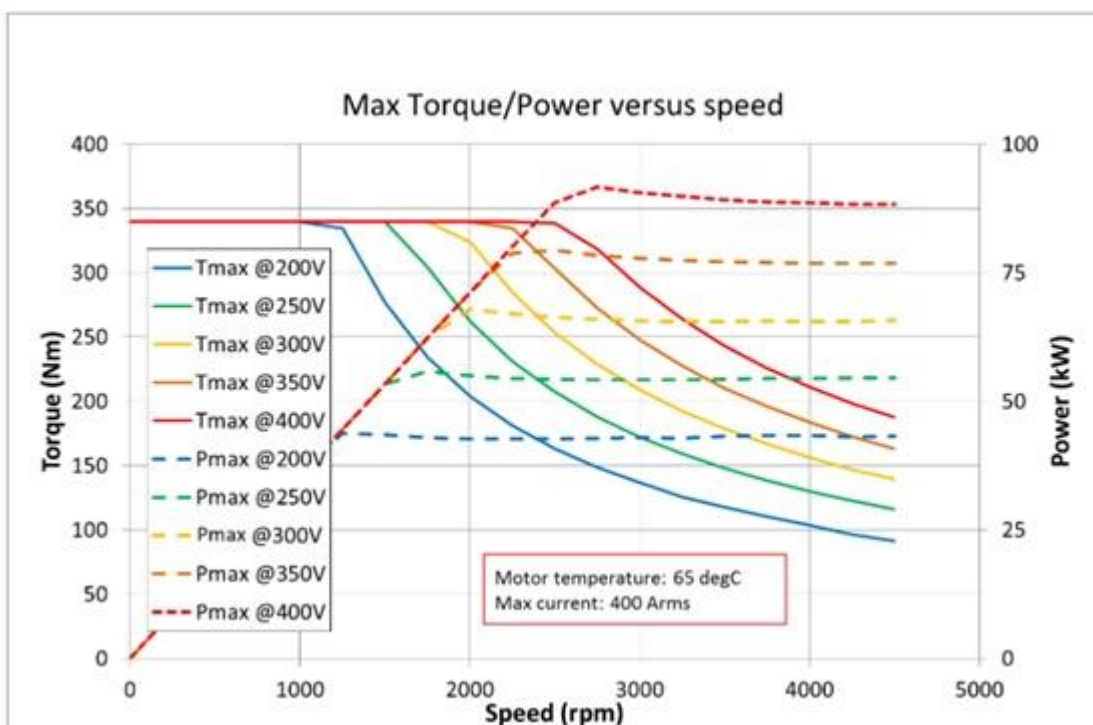
Miikka Mäkelä
 Race Engineer
 Mtec E Project Manager
miikka@makelaracing.fi
 +358 40 867 8197



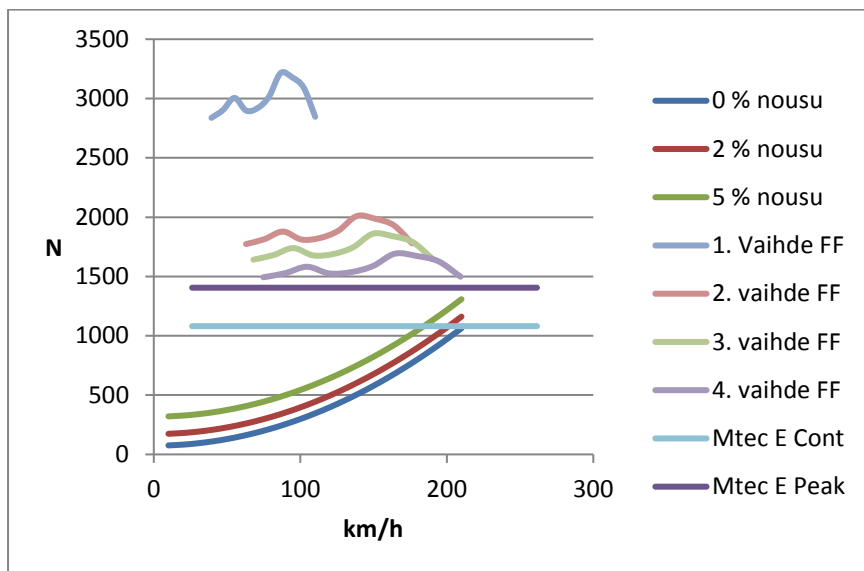
Mtec E ja Formula Ford Vertailu

Mtec E -sähköformula-autoa varten suunnitellun sähkömoottorin jatkuva moottorivääntö on ilmoitettu 250 Nm ja piikkiväännöksi 360 Nm alueella 0 - 7500 rpm. Vääntömomentti vetävällä pyörällä saadaan samalla laskukaavalla kuin perinteisellä järjestelmällä, paitsi että vaihdelaatikon ja tasauspyörästä välityksen välitykset ja häviöt jätetään pois.

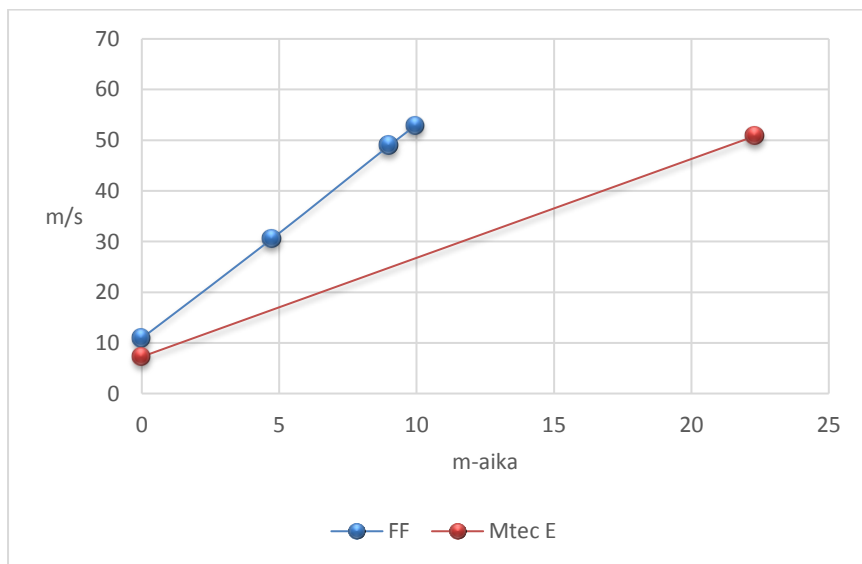
Mtec E:n akuston käyttöjännitteeksi on suunniteltu 400V, joka pudottaa käytössä olevaa kierroslukualuetta alueelle 0-2500 rpm. Hetkellinen maksimi- ja nimellinen vääntömomentti ovat koko 0–2500 rpm vakiot, koska maksimivääntö lähtee tippumaan 400V syöttöjännitteellä vasta 2500 rpm jälkeen.



2500 rpm on riittävä Formula Fordin renkaalla liikuttamaan autoa suoravetoisena yli 260 km/h.



Yllä olevassa kuvassa on esitettyä ajovastukset tasamaalla, kahdella eri nousulla, Formula Fordin vetovoima vetävällä pyörällä neljällä eri vaihteella ja Mtec E:n vääntö renkaalla nimellisvääntömomenttina (Cont) ja hetkellisenä maksimivääntömomenttina (Peak). Jatkuva ja piikkivääntö jäävät Formula Fordin vääntökäyrien alle. Tasamaalla Mtec E:n huippunopeus on jatkuvalla väännöllä hieman yli 200km/h ja huippuväännöllä lähempänä 250km/h.



Kiihtyvyydessä Mtec E jää Formula Fordia jonkun verran jälkeen ja vastaa enemmän sporttisen siviiliauton suorituskykyä. Mtec E -prototyypillä on hyvä suorittaa vertailevaa testiä Formula Fordia vastaan ja päättää sen mukaan rakennetaanko tuotantoversio samaisella yhden sähkömoottorin tekniikalla, vai tarvitaanko molemmille renkaalle oma vetävä sähkömoottori. Testaukset voi ajaa kuitenkin yhdelläkin moottorilla.