

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2019

Eric Mustalammi

SÄHKÖMOOTTORIPYÖRÄT

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Joulukuu 2019 | 48 sivua

Eric Mustalammi

SÄHKÖMOOTTORIPYÖRÄT

Tämä opinnäytetyö on katsaus sähkömoottoripyöriin. Aluksi käydään läpi sähkömoottoripyörien historiaa ja miten eri keksinnöt ovat vaikuttaneet sähkömoottoripyörien kehityksen kulkuun. Sähkömoottoripyörissä olevan tekniikan osalta käydään läpi eroja polttomoottorikäyttöiseen moottoripyörään ja siihen, miten sähkömoottoripyörä toimii.

Opinnäytetyössä käydään läpi polttomoottorin ja sähkömoottorin päästöjen eroja. Ympäristöystävällisyyden näkökulmasta tarkastellaan koko Suomen päästöjä ja sähkömoottoripyörien vaikutusta niihin.

Turvallisuudessa tutkitaan ensin ajoneuvoista syntyvien äänien vaikutusta onnettomuusalttiuteen ja verrataan miten paljon ajetut kilometrit vaikuttavat suhteessa onnettomuuksiin. Sähkömoottoripyörissä suuret virrat kulkevat kuskin lähellä joten sähköturvallisuutta käydään läpi.

Työssä tehdään katsaus myös sähkömoottoripyöriin moottoriturheilussa. Pikes Peak:ssa ja Isle of Man TT:ssä on omat sarjat sähkömoottoripyörille. Emoto-sarja on luotu kokonaan vain sähkömoottoripyörille.

ASIASANAT:

Akkupaketti, sähkömoottori, transistori

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

December 2019 | 48 pages

Eric Mustalammi

ELECTRIC MOTORCYCLES

This thesis is a survey of electric motorcycles. The thesis introduces history and how different inventions have affected the way electric motorcycles have evolved. The thesis shows differences in electric motor and internal combustion engine technology and how electric motorcycle works.

The thesis discusses the differences in internal combustion engine and electric motorcycle emissions. The emissions of entire Finland are presented and how electric motorcycles affect them.

The safety chapter tells how much vehicle noise affects accident proneness, and compares how much the travelled distance affects compared to accidents. The electric motorcycle has large currents near the rider so electric safety is included.

The thesis also introduces electric motorcycles in racing. Pikes Peak and Isle of Man TT have their own classes for electric motorcycles. MotoE-series is generated only for electric motorcycles.

KEYWORDS:

battery pack, electric motor, transistor

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 KAKSIPYÖRÄISTEN AJONEUVOJEN HISTORIAA	8
2.1 Ensimmäiset polkupyörät	8
2.2 Ensimmäiset moottoripyörät	10
3 ENSIMMÄISET SÄHKÖKÄYTTÖISET MOOTTORIPYÖRÄT	12
3.1 Ensimmäiset sähkökäyttöiset moottoripyörät	12
3.2 Akkutekniikan kehitys	14
3.3 Suomen tieliikennelaki ja katsastus	15
4 SÄHKÖMOOTTORIPYÖRÄT NYKYÄÄN	18
4.1 Sähkömoottoripyörän erot polttomoottorikäyttöiseen moottoripyörään	18
4.2 Sähkömoottoripyörätyyppejä ja muokkaamismahdollisuuksista	21
4.3 Sähkömoottorin suorituskyky	22
4.4 Akkutekniikka nykyisin	24
4.5 Julkiset latauspaikat	25
4.6 Ympäristöystävällisyys	26
4.7 Sähkömoottoripyörän turvallisuus	28
4.8 Sähkömoottoripyörien valikoimaa Suomessa	31
4.9 Sähkömoottoripyörä omavalmisteena	34
4.10 Sähkömoottoripyörät moottoriurheilussa	35
4.10.1 Pikes Peak	35
4.10.2 Isle of Man TT Zero	36
4.10.3 MotoE	36
4.10.4 Motocross	37
5 POHDINTAA	39
6 YHTEENVETO	43
LÄHTEET	44

KUVAT

Kuva 1. Leonado da Vincin hahmotelma polkupyörästä vuonna 1493 (Portolanero 2019.)	8
Kuva 2. Dandy Horse 1800-luvun alulta (Bicyclehistory 2019a.)	9
Kuva 3. Vuonna 1868 kehitetty ensimmäinen polkimilla toimiva polkupyörä (Sterba-bike 2012.)	9
Kuva 4. Ensimmäisiä pneumaattisia renkaita (Mrtuffy 2019.)	10
Kuva 5. Penny Farthing -polkupyörä (Bicyclehistory 2019c.)	10
Kuva 6. Daimlerin ja Maybachin suunnittelema ensimmäinen polttomoottoripyörä (Dreamstime 2019.)	11
Kuva 7. WWII -aikainen moottoripyörä (Bikesure 2018.)	11
Kuva 8. Ensimmäisen sähkömoottorin piirustukset vuodelta 1837 (Edn 2019.)	12
Kuva 9. Mike Corbinin Quicksilver-sähkömoottoripyörä 1974 (Newatlas 2016.)	13
Kuva 10. XLP-1 sähkömoottoripyörä vuodelta 1975 (Freelibrary 2019.)	14
Kuva 11. Killacycle-sähkömoottoripyörä vuonna 1999 (Dillard, T. 2017.)	15
Kuva 12. Killacycle-sähkömoottoripyörä vuonna 2006 (Dillard, T. 2017.)	15
Kuva 13. Sähköajoneuvojen vakuutuslinjaukset vuonna 2019 (Lvk 2019.)	16
Kuva 14. Stealth-sähköpolkupyörä (Stealthelectricbikes 2019.)	17
Kuva 15. Cake-sähkömoottoripyörä (Ridecake 2019.)	17
Kuva 16. Ruiskurunko, suutin sekä sytytystulppa ja sytytys (Bikebd 2018.)	18
Kuva 17. Polttomoottorikäyttöinen Yamaha R1 ilman katteita (Motorcycle 2019.)	19
Kuva 18. Kawasaki ZX12R -moottori (Locostbuilders 2019.)	20
Kuva 19. Sähkömoottori (Cmfemarketresearchindusrtyreports 2017.)	20
Kuva 20. Bobber-tyylinen Orphiro-sähkömoottoripyörä (Orphiro 2019.)	22
Kuva 21. Verge Vehicles TS:n vanteeseen integroitu moottori (Evnerds 2019.)	24
Kuva 22. Moderni sähkömoottoripyörän akusto (Plugbike 2019.)	24
Kuva 23. Pääkaupunkiseudun julkiset latauspaikat (Latauskartta 2019.)	26
Kuva 24. Turun seudun julkiset latauspaikat (Latauskartta 2019.)	26
Kuva 25. Vasemmalla Zero FX 6.5 oikealla Zero SR/F Premium (Bikeworld 2019a, Bikeworld 2019b.)	31
Kuva 26. Harley-Davidson LiveWire (Harley-davidson 2019.)	32
Kuva 27. Verge Motorcycles TS malli (RMK Vehicles 2019.)	32
Kuva 28. KTM Freeride E-XC (KTM 2019.)	33
Kuva 29. Vasemmalla City oikealla Sport (Ttgreen 2019.)	33
Kuva 30. Omavalmisteinen runko valmistusvaiheessa (Moottori 2018.)	34
Kuva 31. Teemu Saukkion omavalmisteinen E1-sähkömoottoripyörä (Kauppalehti 2017.)	35
Kuva 32. Pikes Peak -rata (Pikespeakmarathon 2019.)	36
Kuva 33. MotoE-moottoripyörä (Sport24 2018.)	37
Kuva 34. KTM Freeride -akkupaketti kantokahvalla (Electrek 2017.)	39
Kuva 35. Alpinen korvatulpat suodattimilla (Alpine Hearing Protection 2019.)	40
Kuva 36. Zero SR/F -sähkömoottoripyörästä muokattu yksilöllinen show-pyörä (Siamagazin 2019.)	41

KUVIOT

Kuvio 1. Kawasaki ZX10R 2016 vääntömomentti ja teho (Bikereview 2019.)	22
--	----

Kuvio 2. Zero SF/R 2010 vääntömomentti ja teho (Cycleworld 2019.)	23
Kuvio 3. Kotimaan liikenteen hiilidioksidipäästöt (Liikennefakta 2019.)	27
Kuvio 4. Ajokilometrien suhde onnettomuuksiin. (Trl 2004.)	29
Kuvio 5. Loukkaantuneet moottoripyöräilijät tieliikenteessä 2009-2018 (Liikenneturva 2019.)	30

TAULUKOT

Taulukko 1. Akkujen valmistuksen hiilidioksidipäästöjen arvioituja määriä (Theicct 2017.)	25
Taulukko 2. Vuotuiset päästöt ajoneuvoista (Liikennefakta 2019.)	28

1 JOHDANTO

Ensimmäiset polkupyörätyyppisen ajoneuvon luonnostelmat ovat peräisin 1400-luvulta ja ensimmäiset moottoripyörät rakennettiin 1800-luvulla. Ensimmäiset sähkömoottoripyörät kehitettiin pian tämän jälkeen. Vaikka polttomoottorikäyttöisiä moottoripyöriä on myyty paljon koko viime vuosisadan ajan, niiden myynti on vieläkin hyvin pientä. Mistä tämä johtuu ja miten sähkömoottoripyörien käyttöä voisi edistää?

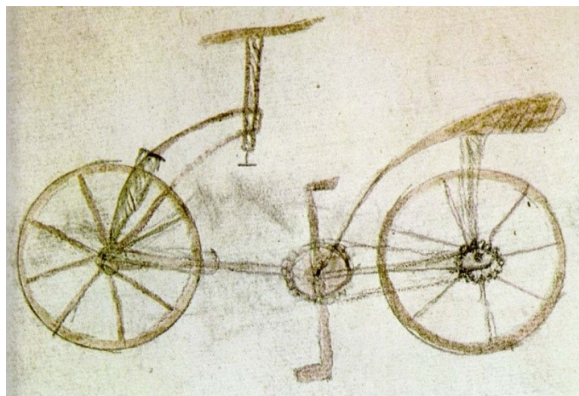
Moni moottoripyöräilijä on saattanut harkita sähkömoottoripyörää tai on muodostanut mielikuvan, miksi ei halua sähkömoottoripyörää. Kenties pakoäänien puute arveluttaa turvallisuuden kannalta tai sähkökäyttöisen moottoripyörän riittämätön suorituskyky tai toimintamatka epäilyttävät.

Tässä opinnäytetyössä esitellään eri vaihtoehtoja Suomessa myytävistä sähkömoottoripyöristä ja julkisten latauspaikkojen tilannetta tällä hetkellä. Opinnäytetyön aihe valikoitui omasta kiinnostuksesta moottoripyöriin, niiden rakentamiseen ja alan tulevaisuuteen.

2 KAKSIPYÖRÄISTEN AJONEUVOJEN HISTORIAA

2.1 Ensimmäiset polkupyörät

Ensimmäiset polkupyörät keksittiin 1500-luvulla. Tämä johtui Leonardo da Vincin piirustuksien löytämisestä, jotka hän oli tehnyt vuonna 1493. Näiden piirustusten on väitetty kylläkin olevan väärennettyjä tai hän oppilaansa Gian Giacomon tekemiä. (Bicyclehistory 2019b.)



Kuva 1. Leonardo da Vincin hahmotelma polkupyörästä vuonna 1493 (Portolanero 2019.)

Toimivaa laitetta näistä piirustuksista ei kuitenkaan syntynyt yli sataan vuoteen. Hevoskärryt toimivat tavara- ja henkilökuljetuksen välineenä. 1800-luvun alussa saksalainen paroni Karl von Drais keksi ensimmäisen polkupyörää edeltävän laitteen, jossa oli kaksi pyörää ja tanko keskellä. Tästä kehitettiin Englannissa Dandy Horse -nimellä kutsuttu laite, jossa ei kuitenkaan ollut polkimia vielä polkupyörän tapaan. Kuljettajan oli potkittava jaloilla vauhtia maasta. Tällä laitteella liikuttiin 40 vuotta ennen kuin Ranskasta tuli seuraava mullistava keksintö. (Bicyclehistory 2019b.)



Kuva 2. Dandy Horse 1800-luvun alulta (Bicyclehistory 2019a.)

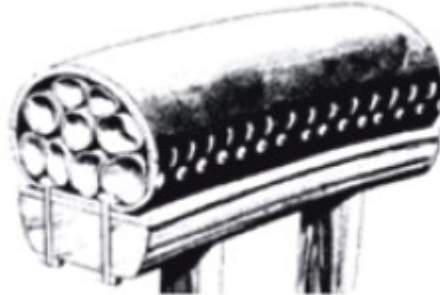
Ensimmäinen polkimilla toimiva polkupyörä tuli markkinoille 1868 ja tämä linkittyy suoraan sähkökäyttöisen moottoripyörän kehittämiseen. Tämän kehitti ranskalainen Eugene Meyer. Ensimmäiset polkupyörät olivat aikanaan vain varakkaampien ihmisten huvia. Myöhemmin polkupyörästä tuli monelle keski- ja alempituloiselle jokapäiväinen kulku-
neuvo, jonka autot vasta 1900-luvulla korvasivat. (Bicyclehistory 2019b.)



Kuva 3. Vuonna 1868 kehitetty ensimmäinen polkimilla toimiva polkupyörä (Sterba-bike 2012.)

Alkuaikoina polkupyörissä oli puiset vanteet ja pinnat, renkaita ei ollut lainkaan. Tämä teki ajamisesta hyvinkin epämukavaa ja jokainen epätasaisuus tiessä välittyi jäykän rungon kautta kuljettajan kehoon. Jos tämän tyyppisessä ajoneuvossa olisi ollut moottori, renkaissa ollut erittäin huono pito, puun pito-ominaisuuksien puutteellisuuden takia. Polkupyörissä oli myös aluksi tapana käyttää runkomateriaaleina puuta, joka ei ollut erityisen kestäväää tai jäykkää. Terästanko yleistyi aluksi runkomateriaalina. Tämä oli jäykkää, mutta pyörän runkorakenteesta tuli väistämättä erittäin painava. Teräsputkien tullessa polkupyörän runkoihin alkoivat paino ja jäykkyys sekä ajomukavuus parantua. Dunlop

kehitti ensimmäiset pneumaattiset kumirenkaat vuonna 1887 (Mrtuffy 2019). Teräksiset puolat ja ilmatäytteiset renkaat paransivat ajettavuutta ja ensimmäiset ajatukset moottorikäyttöisestä pyörästä alkoivat kehittyä. (Bicyclehistory 2019b.)



Kuva 4. Ensimmäisiä pneumaattisia renkaita (Mrtuffy 2019.)

2.2 Ensimmäiset moottoripyörät

Ensimmäiset moottoripyörät tulivat pian ensimmäisen polkimilla keksityn polkupyörän jälkeen. Ranskalainen Ernest Michouxin teki ensimmäisen höyrykäyttöisen moottoripyörän. Tämä tapahtui Pariisissa yhdistämällä pieni höyrykone yhteen ensimmäisistä polkupyörän malleista. Tästä innovoituneina vuonna 1868 Sylvester H. Roper teki hiiliuunilla toimivan moottoripyörän, vuonna 1871 Guillaume Perreaux poltti alkoholia suljetussa tilassa ja vuonna 1881 Lucius Copeland yhdisti höyrykoneen englantilaiseen Penny Farthing -pyörään. (Bicyclehistory 2019c.)



Kuva 5. Penny Farthing -polkupyörä (Bicyclehistory 2019c.)

Ensimmäinen polttomoottorilla varustettu moottoripyörä keksittiin vuonna 1885. Kaksi saksalaista insinööriä keksi tämän, Gottlieb Daimler ja Wilhelm Maybach. Tätä kutsuttiin ”Daimler Reitwageniksi”. (Bicyclehistory 2019c.)



Kuva 6. Daimlerin ja Maybachin suunnittelema ensimmäinen polttomoottoripyörä (Dreamstime 2019.)

Saksalainen Hildebrand & Wolfmüller aloitti ensimmäisenä moottoripyörien sarjatuotannon. Yhtiön toiminta ei kestänyt kauaa, mutta tämä lisäsi moottoripyörien määrää merkittävästi 1900-luvun alussa ja lisäsi myös turvavarusteiden määrää moottoripyörissä.

Toisen maailmansodan aikana moottoripyörät yleistyivät huomattavasti. Eurooppaan tuli moottoripyöräkerhotyylinen toiminta USA:sta ja Japanista tuotiin Suzukeja, Kawasakeja ja Yamahoita. (Bicyclehistory 2019c.)

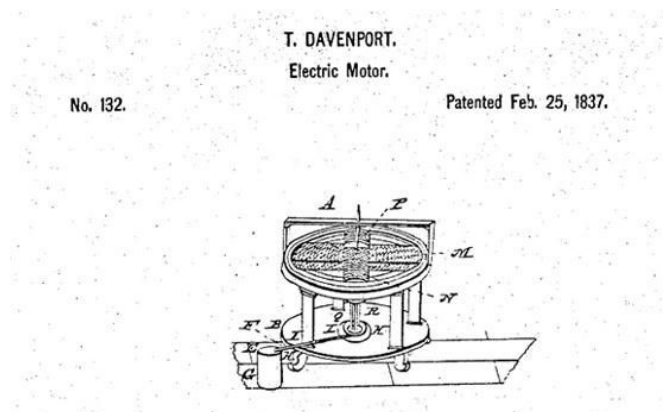


Kuva 7. WWII -aikainen moottoripyörä (Bikesure 2018.)

3 ENSIMMÄISET SÄHKÖKÄYTTÖISET MOOTTORIPYÖRÄT

3.1 Ensimmäiset sähkökäyttöiset moottoripyörät

Vaikka sähkökäyttöiset moottoripyörät eli sähkömoottoripyörät ovat vasta viime vuosikymmeninä yleistyneet, niiden historia alkaa jo 1800-luvulta. Sähköajoneuvojen kehittämisen kannalta kahden olennaisen osan keksiminen ajoittuu tälle ajalle, sähkömoottorin ja akun. Yhdysvaltalainen Thomas Davenport kehitti ensimmäisen hyötykäyttöön sovellettavissa olevan sähkömoottorin vuonna 1837 (Edn 2019). Nykymuotoista lyijyakkua muistuttavan akkutyyppin kehitti ranskalainen Gustave Planté vuonna 1859.



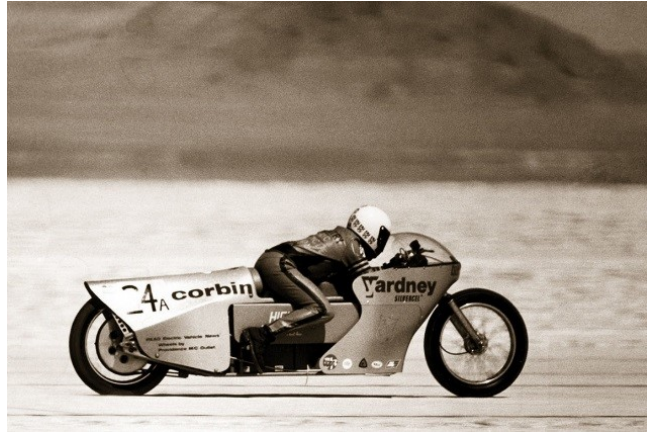
Kuva 8. Ensimmäisen sähkömoottorin piirustukset vuodelta 1837 (Edn 2019.)

Ensimmäisen patentin moottoripyörää varten teki ranskalainen Louis-Guillame Perreaux vuonna 1868. Huhtikuun 28. päivä vuonna 1869 Joseph Marie teki ensimmäisen tiettävän patentin (#85499) sähkömoottoripyörästä, *Vélocipède magnéto-électrique*. Toukokuun 6. päivä 1869 Jules Morin ja Emile Joseph jättivät patentin, *vélocipède électrique*. (Electricbike 2013.)

Ensimmäiset puolijohteet keksittiin vuonna 1947. Puolijohteella on sähkönjohtavuuden kannalta kiinnostava ominaisuus, pienellä ohjausvirralla voidaan aikaansaada puolijohderajapinnalla jopa monisatakertainen virran johtamiskyky. Tämä johti ensimmäisen transistorin keksimiseen vuonna 1948. Transistorien virransietokyky parani muutaman

vuoden sisällä, muttei se ollut vielä lähelläkään sähköajoneuvoissa tarvittavaa tehonohjausta ajatellen. (Dillard, T. 2017, Kotiposti 2019.)

Vuonna 1973 Mike Corbin käytti elektromagneettisia releitä, joilla hän ohjasi isoja virtamääriä rakentamassaan Quicksilver-sähkämoottoripyörässä. (Dillard, T. 2017.)



Kuva 9. Mike Corbinin Quicksilver-sähkämoottoripyörä 1974 (Newatlas 2016.)

Nopeudenohjausyksiköt olivat näihin aikoihin vielä suhteellisen kookkaita sekä painavia moottoripyöräkäyttöön. Corbin käyttikin nopeuden säätämiseen yksinkertaisia jännittekylkimiä. Corbinin sähkömoottoripyörä ylty yli 160 km/h huippunopeuteen hopea-lyijyakuilla. Hänellä ei kuitenkaan ollut kunnollista keinoa säätää moottorin tehoa. (Dillard, T. 2017.)

Ohjausyksiköiden kestävyys oli pitkään ongelmana sähkömoottoripyörissä. 250 A:n virran ohjaaminen kaasukahvaa kääntäessä vaati kestävyttä ohjausyksiköiltä. Vuonna 1975 rakennetussa XLP-1-moottoripyörässä olikin vain yksinkertainen kytkin kaasun käyttämiseen. Tämä oli itse asiassa yksinkertainen kontaktori, jolla säädeltiin oliko moottori päällä vai ei.



Kuva 10. XLP-1 sähkömoottoripyörä vuodelta 1975 (Freelibrary 2019.)

Vasta 1980- ja 1990-luvun taitteessa tulivat DCR Raptor ja Cafe Electric Raptor -PWM-nopeuskytkimet, jotka kestivät sähkömoottoripyörissä käytettäviä virtoja. 2000-luvulle siirryttäessä ohjausyksiköt kehittyivät merkittävästi ja tämän myötä sähkömoottoripyörienkin kehittäminen on helpottunut. (Dillard, T. 2017.)

3.2 Akkutekniikan kehitys

Killacycle on tehnyt sähkömoottoripyöriä jo 90-luvulla, mutta vuosina 2006-2007 se tuli yleiseen tietoisuuteen lithium-akkujen kehityksen myötä. A123-akut, joita oli mm. DeWalt-akkuporakoneissa, toimivat tässä virranlähteenä.

Vuonna 1999 oli vielä lyijyakut (Kuva 11). Vuoden 1999 Killacyclessäkin käytetyt ”thin-metal-film” -lyijyakut ovat Bolder Technologies:n valmistamat ja patentoitu jo vuonna 1989 (US Patent #US5047300A, Tristan E. Juergens) (Dillard, T. 2017). Ne olivat hyvin painavia, eikä niiden sähkömäärä ollut kovin suuri, mutta ne olivat kustannuksiltaan edullisia. Lyijyakussa on rikkihappoa 37 %. Lyijyoksidilevy toimii positiivisena elektrodina ja lyijylevy negatiivisena elektrodina. Painoon suhteutettuna energiaa on 30-50 Wh/kg, mikä on selvästi vähemmän kuin esim. nykyisistä litium-ion -akuista on saatavissa (Epe-tec 2019, Kolumbus 2019.)



Kuva 11. Killacycle-sähkömoottoripyörä vuonna 1999 (Dillard, T. 2017.)

Vuoden 2006 sähkömoottoripyörässä on lithium-akut ja se näyttää muutenkin jo enemmän sporttipyörältä (Kuva 12). (Dillard, T. 2017.)



Kuva 12. Killacycle-sähkömoottoripyörä vuonna 2006 (Dillard, T. 2017.)

3.3 Suomen tieliikennelaki ja katsastus

Sähköisille ajoneuvoille on eri luokkia Suomen laissa. Alimman huippunopeuden omaava ajoneuvoluokka on ns. jalankulkua avustava tai korvaava liikkumisväline. Tähän kuuluvat muun muuassa sähköpyörätuolit tai tasapainoskootterit, joiden huippunopeus on alle 15 km/h. Moottori saa olla näissä teholtaan suurimmillaan 1000 W. Näitä ajoneuvoja ei tarvitse vakuuttaa tai rekisteröidä. Näihin sovelletaan jalankulkijan liikennesääntöjä kävelynopeudella ja tätä suuremmissa pyöräilijän liikennesääntöjä. (Green-cycle 2019.)

Ajoneuvo luokitellaan sähköpolkupyöräksi, jos sen moottoriteho on alle 250 W ja huippunopeus alle 25 km/h. Sähköpolkupyörää ei tarvitse rekisteröidä tai vakuuttaa. Suomen

lain mukaan näissä ei kuitenkaan saa olla peukalokaasua tai kaasukahvaa, vaan avustuksen pitää tulla vain polkiessa. (Traficom 2019.)

Jos moottorin teho on 250 W - 1 kW, sähköpolkupyörä tulkitaan kevyeksi kaksipyöräiseksi moottorikäyttöiseksi ajoneuvoksi tai moottorilla varustetuksi polkupyöräksi (luokka L1e-A). Tällöin ajoneuvossa on oltava liikennevakuutus, merkinantolaite, etuvalo ja takaheijastin. Muista ajoneuvoista poiketen myös otsalamppu käy etuvaloksi. Tyypin hyväksyntää nämä eivät kuitenkaan tarvitse, eikä kuljettajalla tarvitse olla ajokorttia. (Traficom 2019.)



Kuva 13. Sähköajoneuvojen vakuutuslinjaukset vuonna 2019 (Lvk 2019.)

Moottoripyörille ei ole Suomessa vielä katsastusta, ja sähkömoottoripyöriä koskevat nämä samat määräykset. Sähkömoottoripyörät ovat lakiteknisesti moottoria lukuunottamatta polttomoottoripyörien kanssa yhdenvertaisia.

Jos sähkömoottoripyörän rakenteita halutaan muuttaa, se on silloin muutoskatsastettava. Muutosprosentin ylittäessä 50%, tulee ajoneuvosta omavalmisteinen. Tällöin sille pitäisi tehdä enemmänkin luokituksia, jotka ovat kalliita ja ne voivat olla hankalia saada. Valmistajien sähkömoottoripyörien on täytettävä EU:n direktiivit, jotta ne saadaan rekisteröityä Suomeen. (Traficom 2019.)

Sähköavusteiset polkupyörät yleistyivät 1990-luvun lopulla merkittävästi. Vuodesta 2000 alkaen näkyy myynnissä selvä nousu. Sähköpolkupyörien määrän kasvu on ollut todella vahvaa tästä alkaen ja viime vuosina sähköiset moottoripyörät ja polkupyörät ovat jo hyvin lähellä toisiaan. Maallikon saattaa nopeasti olla hankalaa erottaa toisistaan polkupyörä ja sähkömoottoripyörä. Lakiteknisesti tämä asettaa haasteita ja liikenteessä viranomaisetkin joutuvat olemaan valppaina mahdollisten viritettyjen sähköpolkupyörien varalta. (Researchgate 2018.)



Kuva 14. Stealth-sähköpolkupyörä (Stealthelectricbikes 2019.)



Kuva 15. Cake-sähkömoottoripyörä (Ridecake 2019.)

4 SÄHKÖMOOTTORIPYÖRÄT NYKYÄÄN

4.1 Sähkömoottoripyörän erot polttomoottorikäyttöiseen moottoripyörään

Vaikka sähkömoottoripyörä voi ulkoisesti näyttää hyvinkin samalta kuin polttomoottorikäyttöinen, on sähkömoottoripyörä teknisesti ja toiminnaltaan täysin erilainen.

Polttomoottori tarvitsee toimiakseen polttoainetta. Tätä varten polttomoottorikäyttöisessä moottoripyörässä tulee olla polttoainetankki ja siitä polttoaineletku polttoainehanan kautta ruiskurungolle. Nykyiset polttomoottorikäyttöiset ovat lähes poikkeuksetta elektronisella polttoaineensuihkutuksella toimivia. Tällä tarkoitetaan, ettei polttoaine kulkeudu alipaineella kaasuttimen kautta sylinteriin vaan se ruiskutetaan sinne suuttimien kautta. Nämä ruiskurungot ja suuttimet pitää valmistaa hyvin tarkkojen toleranssien mukaan, jotta polttoaineen saanti on tasaista ja sitä tulee aina oikea määrä oikeaan aikaan.



Kuva 16. Ruiskurunko, suutin sekä sytytystulppa ja sytytys (Bikebd 2018.)

Jotta polttoaine-ilma-seos syttyy sylinterissä, on se sytytettävä sähkövirran aikaansaamalla valokaarella eli kipinällä. Tätä varten polttomoottoripyörässä on CDI-ohjaimeksi (eng. capacitor discharge ignition) kutsuttu ohjausyksikkö, jonka yksi tehtävistä on ohjata sytytysjärjestelmää siten, että kipinä saadaan sytytystulppaan oikeaan aikaan. Sytytystulppa on sylinterin laella palotilassa ja kun polttoaine seos on puristuksissa, sytytystulppa sytyttää sen oikeaan aikaan. Tätä varten on oltava kampiakselin asentotunnistin, jonka perusteella CDI-ohjain kykenee ajoittamaan oikein sytytysjärjestelmän ohjauksen. Kaikissa näissä on jo huomattava määrä osia, jotka voivat rikkoutua tai ainakin tarvitsevat säännöllistä huoltoa. (Bikebd 2018.)



Kuva 17. Polttomootorikäyttöinen Yamaha R1 ilman katteita (Motorcycle 2019.)

Polttomootorikäyttöisessä moottoripyörässä on lukuisia huollettavia kohteita, mm.

- Moottori- ja vaihteistoöljy
- Venttiilien välykset
- Kytkinlevyt sekä -jouset
- Vaihteiston osat
- Männät ja männänrenkaat
- Moottorin runkolaakerit
- Nokka-akselit sekä kiertokanget
- Jakoketju sekä kiristin
- Sytytystulpat

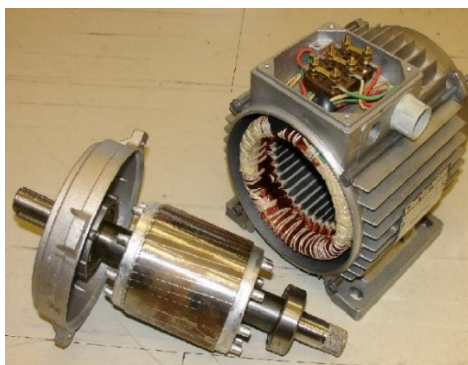
Sähkömoottoripyörässä ei ole tarvetta tyhjäkäynnille eikä mekaaniselle kytkimelle. Kaikki voidaan hoitaa kaasukahvaa kääntämällä ja suoraan voimaa takapyörälle tällä tavoin säätämällä. Sähkömoottorissa ei ole tarvetta kuin käytännössä kahden laakerin vaihtamiselle. Tässä on nähtävissä sähkömoottoripyörien ja polttomootorikäyttöisen moottoripyörän välillä merkittävä ero, huoltotarve ja huoltotyön kustannuksen ovat sähköisessä voimalinjassa selvästi alhaisempia. Jos sähkömoottoripyörien hinnat laskevat vuosien saatossa käytettyjen tarjonnan kasvaessa, voivat vähäistä huoltoa tarvitsevat sähkömoottoripyörät olla monelle hyvä ja varteenotettava valinta. Niin kauan kun vaihtaa renkaat, jarruosat ja mahdolliset voimansiirron osat sekä pitää akun kunnosta huolta, on

käytännössä aina toimiva pyörä. Zero-merkkisissä moottoripyörissä on akkujen pidempiaikaiseen säilytykseen oma sisäänrakennettu tekniikka, joka pitää huolta akkujen kunnosta (Zeromotorcycles 2019). Akut eivät kuitenkaan ole ikuisia ja niiden vaihtaminen tuo lisäkustannuksia pidemmällä ajalla.

Polttomoottorikäyttöisessä ajoneuvossa hyötysuhde on usein luokkaa 20-30 %. Polttomoottori toimii suurimman osan ajasta huonon hyötysuhteen alueella ja vain lyhyitä aikoja hyvällä hyötysuhteella. Sähkömoottorissa päästään jopa 90 % hyötysuhteeseen. Sähkömoottori voidaan myös laittaa keräämään jarrutuksissa syntyvää energiaa talteen akustoihin eli ns. regeneroimaan energiaa. Normaalien levyjarrujen sijaan sähkömoottoripyörässä voi olla erittäinkin tehokas moottorijarru, joten jarrujenkin kuluminen on vähäisempää.



Kuva 18. Kawasaki ZX12R -moottori (Locostbuilders 2019.)



Kuva 19. Sähkömoottori (Cmfemarketresearchindustryreports 2017.)

4.2 Sähkömoottoripyörätyyppejä ja muokkaamismahdollisuuksista

Monille moottoripyöräily on vapaa-ajan harrastus ja paljoltikin tunteesta kiinni. Sähkömoottoripyörä ilman vaihdelaatikkoa ei välttämättä toisi samaa tunnetta. Tähän auttaen sähkömoottoripyöriinkin on asennettu vaihdelaatikko, vaikkei sitä välttämättä tarvitsisi olla. Erilaista ajokokemusta ja tunnetta haluaville on markkinoilla sähkömoottoripyöriä ilman vaihdelaatikkoa. Tämä tuo juuri tämän erilaisen kokemuksen, jolla osan asiakkaista saa kiinnostumaan. Läkkäimmille kuskeille se helpottaa ajamista, ja voi olla syy hankkia sähkömoottoripyörä. Todella moni markkinoilla olevista sähkömoottoripyöristä onkin ilman vaihdelaatikkoa, koska perinteistä fiilistä haluavien moottoripyöräilijöiden valinta on usein polttomoottorilla varustettu pyörä. (Insideevs 2018.)

Sähkömoottoripyörä voi aiheuttaa ristiriitaisia tunteita niille, jotka pitävät pyörän huoltotöitä ja ”laittelua” ajamista merkittävämpänä. Sähkömoottoripyörän huoltotarve on selvästi vähäisempi, joten välttämättä varsinaista säännöllistä huoltorutiinia ei tarvita. Vaikkei sähkömoottoripyörässä voi viritellä tai muokata moottoria totutulla tavalla, on siinä silti paljon muokkausmahdollisuuksia. Monia rakentelijoita sähköosien määrä kauhistuttaa ja sähkövoimalinjassa häiritsee viritysmahdollisuuksien vähäisyys. Vaikka moottoriin ja akkuihin ei voikaan tehdä suuria muutoksia, on silti esimerkiksi ulkonäkö sähkökäyttöisessä muokattavissa, kunhan ottaa huomioon suuret jännitteet sähköosissa. Esimerkiksi Zero-sähkömoottoripyörän akuston kokonaisjännite on 102 V, joten jännitteettömäksi tekeminen vaatii lain mukaan SFS6002 sähköturvallisuuskoulutuksen (Zeromotorcycles 2019). Korjaamoissa nämä luvat ovat työhön erikoistuneilla asentajilla, mutta ”autotallirakentajalla” lupa voi jäädä hankkimatta ja muokkauksia tehdään sähkötöitä ”itseopiskellen”.

Ohjaamosta lähes kaiken ja koko etuhaarukan ja vanteet voi vaihtaa eri tyyppiseen. Jos voimansiirto on toteutettu hihnalla tai ketjulla, on takahaarukan vaihtaminen mahdollista. Runkoa voi muokata lainsäädännön puitteissa ja periaatteessa voisi sporttipyörästäkin muokata custom-tyylisen. Kaksisyylinteriset polttomoottorit ovat perinteen mukaisesti kuuluneet custom-tyyliseen moottoripyörään, joten nelisyylinteristä moottoria ei yleisesti pidetä oikeana moottorina custom-tyyliseen moottoripyörään. Sähkömoottori ei edes ole ”vääränlainen”, koska se on aina käytännössä samanlainen sähkömoottoripyörästä riippumatta.

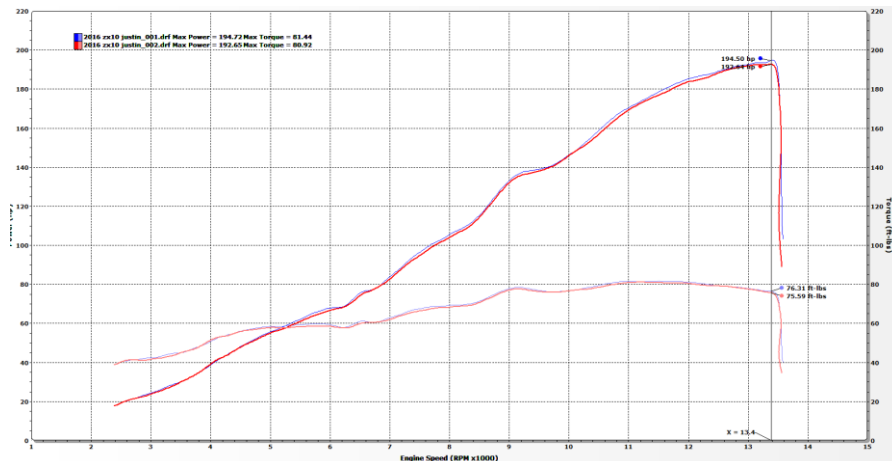


Kuva 20. Bobber-tyylinen Orphiro-sähkömoottoripyörä (Orphiro 2019.)

4.3 Sähkömoottorin suorituskyky

Polttomoottorikäyttöisessä moottoripyörässä teho kasvaa kierrosluvun noustessa, vääntö on hyvin heikkoa alhaisella kierrosalueella. Sähkömoottorin vääntömomenttikäyrä on kokonaan erilainen, sähkömoottorin vääntömomentti on suurimmillaan heti sen alkaessa pyöriä, ja laskee pyörintänopeuden noustessa. Sähkömoottori vääntää siis välittömästi liikkeellelähdön jälkeen.

Kuvio 1 esittää 2016 vuoden Kawasaki ZX10R -pyörän vääntömomentti- ja teholumemat.

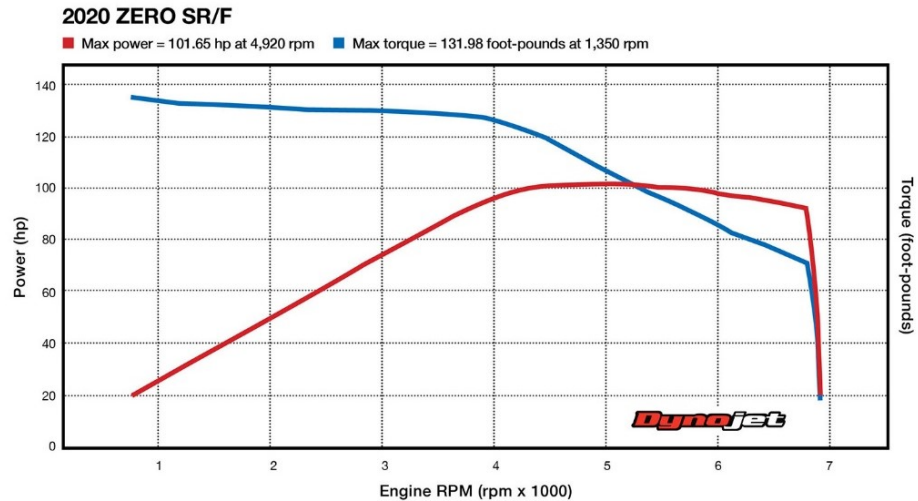


Kuvio 1. Kawasaki ZX10R 2016 vääntömomentti ja teho (Bikereview 2019.)

Polttomoottorikäyttöisessä 1000cc -pyörässä matalilta kierroksilta lähtiessä vääntömomentti on ylempi käyrä. Se nousee tasaisesti n. 12 000 rpm kohdalle, jonka jälkeen se

kääntyy laskuun. Moottorin teho kasvaa hieman epätasaisella käyrällä 13 500 rpm:lle asti. (Bikereview 2019.)

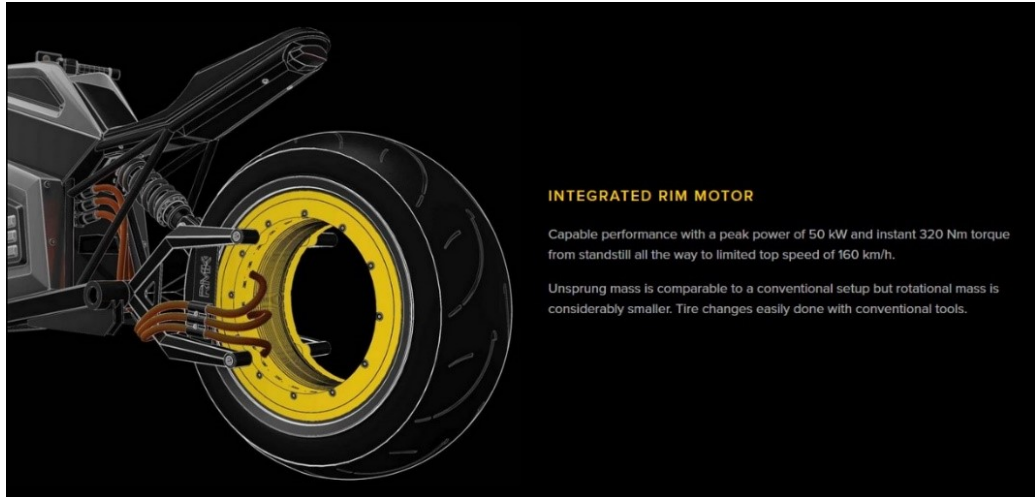
Kuvio 2:ssa on vastaavat arvot Zero SF/R-pyörästä vuodelta 2010.



Kuvio 2. Zero SF/R 2010 vääntömomentti ja teho (Cycleworld 2019.)

Sähkökäyttöisessä Zero SF/R -pyörässä vääntömomentti nousee heti 130 Nm:n paikkeille ja laskee siitä kierrosten kasvaessa alaspäin. Vääntömomenttia on laskusta huolimatta enemmän kuin polttomoottorikäyttöisessä. Zero SF/R:n punaisella piirretty käyrä on teho, joka nousee myös kierrosten noustessa polttomoottorikäyttöisen tapaan, mutta saavuttaa huipunsa vähän aikaisemmin. (Cycleworld 2019.)

Voimanvälitys voidaan sähkömoottoripyörässä hoitaa perinteisesti ketjuilla ja rattailla, hihnavedolla, kardaanilla tai voima voidaan välittää suoraan takapyörään. Polttomoottorikäyttöisessä ei ole mahdollista rakentaa järkevästi rakennetta, jossa voima välittyisi suoraan vetävään pyörään. Polttomoottorikäyttöisessä vaihtoehdot ovat käytännössä vain ketju- tai hihnaveto, tai sitten kardaan.

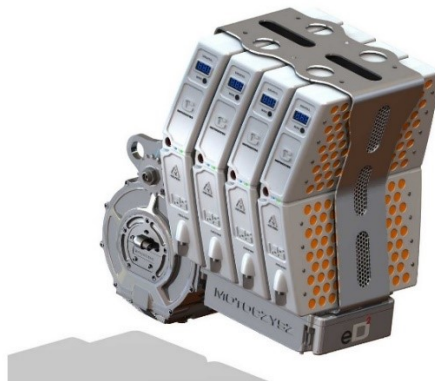


Kuva 21. Verge Vehicles TS:n vanteeseen integroitu moottori (Evnerds 2019.)

4.4 Akkutekniikka nykyisin

Sähköajoneuvojen yleistymisen este toistaiseksi on ollut akkutekniikan kehittymättömyys. Vaadittavaan ajomatkaan ja suorituskykyyn nähden, on ollut vaikeaa valmistaa akkua, jossa on riittävä määrä energiaa riittävän pienessä akun koossa ja massassa.

Nykyisissä sähköajoneuvoihin tarkoitetuissa A123-akuissa käytetään NMC-teknologiaa. Tämä tarkoittaa, että kennoissa on nikkeliä, mangaania ja kobolttia, mikä takaa pidemmän matkan Plug-in-hybrideille ja sähköajoneuvoille. (A123 Systems LCC 2019.)



Kuva 22. Moderni sähkömoottoripyörän akusto (Plugbike 2019.)

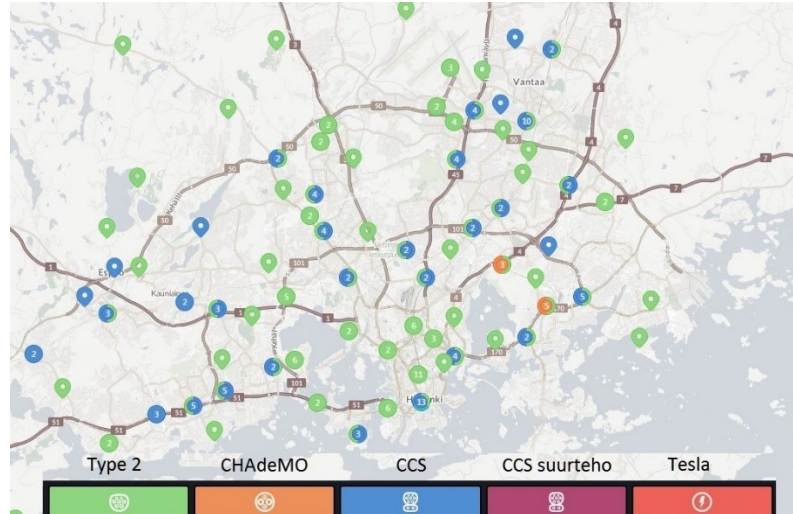
Sähkökäyttöisen ajoneuvon akuista syntyy valmistusvaiheessa päästöjä. Valmistukseen käytetään harvinaisia metalleja. ICTT (International Council on Clean Transportation) julkaisi vuonna 2018 raportin, jonka mukaan suurin vaikutus on sillä, miten ne ovat valmistettu sekä missä päin maailmaa. Valtioissa on erilaisia lakeja akkujen valmistukseen liittyen. Akun valmistuksessa tulee raportin mukaan kesimäärin 56-494 kg hiilidioksidia yhtä akussa olevaa kWh:a kohden. Monien tutkimusten mukaan tämä olisi noin 1-2 g hiilidioksidia ajettua kilometrejä kohden. (Theicct 2017.)

Taulukko 1. Akkujen valmistuksen hiilidioksidipäästöjen arvioituja määriä (Theicct 2017.)

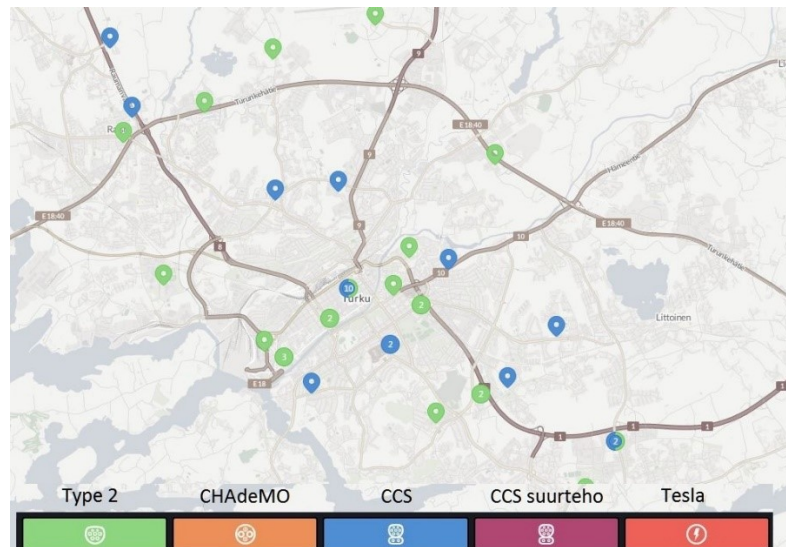
Tekijä	Vuosi	Akun valmistuksen päästöt (kg CO ₂ e/kWh)
Message	2017	56
Hao et al.	2017	96-127
Romare & Dahllöf	2017	150-200
Wolfram & Wiedmann	2017	106
Ambrose & Kendal	2016	194-494
Dunn et al.	2016	30-50
Ellingsen, Singh & Strømman	2016	157
Kim et al.	2016	140
Peters et al.	2016	110 (keskimäärin)
Nealer, Reichmut & Anair	2015	73
Majeau.Bettez, Hawkins & Strömman	2011	200-250

4.5 Julkiset latauspaikat

Kaupallisesti myytävien sähkömoottoripyörien toimintamatka vaihtelee tällä hetkellä 70-300 km:n välillä. Niitä on ladattava pidemmällä matkoilla julkisilla latauspaikoilla. Kaupallisesti myytävissä sähkömoottoripyörissä yleisimmät latauspistokkeet ovat tyyppin 1-, tyyppin 2- ja CCS-pikalatausliitin. CCS-pikalatauspaikkoja löytyy mm. Turun alueelta 10 kpl. Tyyppin 2 latauspaikkoja on yli 25 kappaletta jo Turun alueella. Zero-sähkömoottoripyörät käyttävät lisävarusteena ostettavaa tyyppin 1 -liitintä, joka voidaan adapterilla liittää tyyppin 2 -latauspaikkaan. Harley-Davidsonin käyttämää Level 3 eli CHAdeMO-pikalatauspaikkoja esim. Turussa ei ole yhtään, Helsingissä näitä on muutama. Harley-Davidsonissa on myös tyyppin 1 -pistoke (Harleydavidson.com). (Latauskartta 2019, Bikeworld 2019, Cycleworld 2019a.)



Kuva 23. Pääkaupunkiseudun julkiset latauspaikat (Latauskartta 2019.)



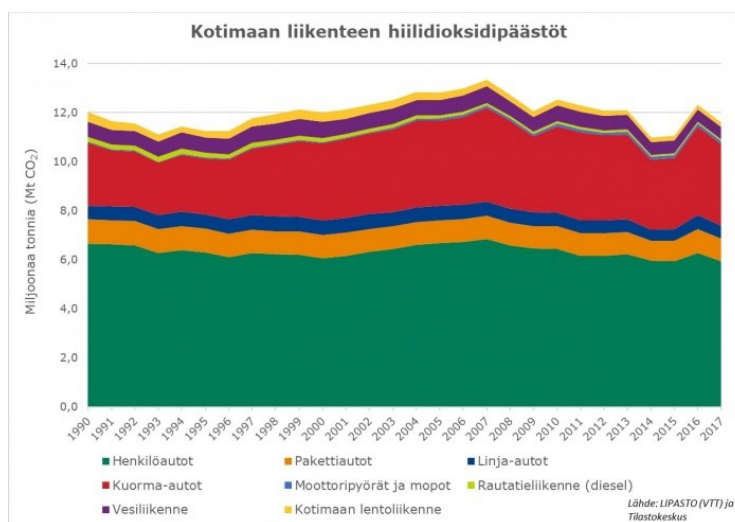
Kuva 24. Turun seudun julkiset latauspaikat (Latauskartta 2019.)

4.6 Ympäristöystävällisyys

Suomessa viimeisen viiden vuoden liukuva keskiarvo sähköntuotannon CO₂-päästöker-
toimesta on 164 kg CO₂ MWh (Tilastokeskus, tilastovuosi 2016). Suomessa on tuotettu
65,0 TWh sähköä vuonna 2017. Näistä uusiutuvilla luonnonvaroilla tuotettuja oli 30,7
TWh (47 %). Suomen päästöistä 17% muodostuu liikenteen päästöistä. CO₂ on näistä

suurimpana päästönä, 99 %. Suomen päästöistä moottoripyörät muodostavat noin 1 % liikenteen päästöistä. Vaikka kaikki moottoripyörät olisivat sähkömoottorilla varustettuja, ei se siis tekisi kovin merkittävää muutosta kokonaispäästöihin. (Liikennefakta 2019, Stat 2018.)

Euroopan Unionin jäsenmaat ovat sitoutuneet vähentämään vuoteen 2030 mennessä kasvihuonepäästöjä vähintään 40 %. Tätä verrataan vuoden 1990 tasoon jolloin ajoneuvojen päästöt olivat paljon korkeammat verrattuna mitä nykyisissä polttomoottoreissa on. Tämä tavoite jakautuu päästökauppasektoreille ja Suomessa nämä tavoitteet ovat 39 % vähemmän verrattuna vuoteen 2005. Vuonna 2016 sähkökäyttöisiä moottoripyöriä oli 0,02 % rekisteröidyistä. Vuosina 2011-2016 niiden määrä on kasvanut, mutta silti niitä oli vuonna 2016 käytössä vain 31 kappaletta. (Julkaisut Valtionneuvosto, Liikennefakta 2019.)



Kuvio 3. Kotimaan liikenteen hiilidioksidipäästöt (Liikennefakta 2019.)

Taulukko 2. Vuotuiset päästöt ajoneuvoista (Liikenne fakta 2019.)

Päästölaaji	Vuosipäästö	Osuus tieliikenteen päästöistä (%)	Keskipäästö (g/km)
hiilimonoksidi CO	7 661	14,4	7,1
hiilivedyt HC	1 080	16,1	1,0
typen oksidit NOx	200	0,6	0,19
hiukkaset PM	33	3,2	0,031
hiilidioksidi-ekv CO2e	120 817	1,0	113
kulutus	39 511	1,0	4,9 (l/100 km)

Suomen moottoripyöräkaluston täydellinenkin sähköistäminen vaikuttaisi hyvin vähän ilmastomuutoksen ehkäisyssä. Suomessa ajokausi on suurimmalla osalla motoristeista vain 3...6 kk ja keskimääräinen ajomäärä 2000 km vuodessa. Vuonna 2018 moottoripyörissä päästöt olivat keskimäärin 107 g ajokilometriä kohden. Autoissa oli samana vuonna keskimäärin päästöjä 151 g ajokilometriä kohden.

Britanniassa tehdyn tutkimuksen mukaan sähkökäyttöinen ajoneuvo aiheuttaa 10 000 maililla, eli noin 16 000 kilometrillä, keskimäärin 0,96 tonnia hiilidioksidipäästöjä, kun taas polttomoottorikäyttöinen tuottaa 2,99 tonnia hiilidioksidia. Tämän mukaan sähkökäyttöisellä säästäisi kaksi kolmasosaa, mutta pitää ottaa huomioon myös, miten sähkö on tuotettu. Jos sähkö on tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä, tulee hiilidioksidipäästöjä paljon vähemmän, kuin uusiutumattomilla luonnonvaroilla tuotetuilla. (Carbonfootprint 2019, Iea 2019.)

4.7 Sähkömoottoripyörän turvallisuus

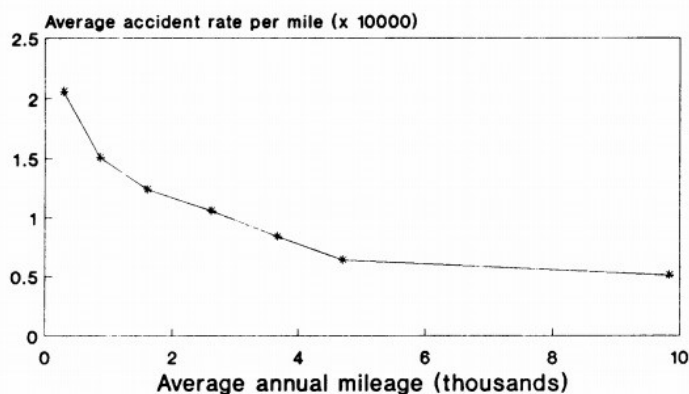
Moottoripyörien turvallisuutta ja sähkömoottoripyöriä miettiessä ensimmäisenä tulee usealle mieleen pakoputken äänien puute. Polttomoottorisella moottoripyörällä pakoputkesta tulee monella motoristilla kova ääni, jotka autoilijat heidän mielestään huomaavat ja täten ne parantavat turvallisuutta.

Brian Lowes on pääohjaaja Vancouverissa perustetussa ajokoulussa, joka on erikoistunut törmäyksien välttämiseen ja ajotaitojen parantamiseen. Hänen näkemyksensä mu-

kaan kovat pakoputken äänet harvoin tuovat hyötyä, koska vaarat ovat edessäpäin, kuten esim. eteen kääntyvät autot. Kuitenkin pakoputken äänistä voi mahdollisesti olla hyötyä, jos niillä voi kiinnittää autoilijoiden huomion.

Taylorin ja Lockwoodin tekemän tutkimuksen mukaan moottoripyörällä ajamisesta tullella ajokokemuksella on suuri vaikutus onnettomuuksiin. Ajetuilla kilometreillä on suuri vaikutus onnettomuuksiin. 5 000 mailin, eli noin 8 000 kilometrin vuotuisen ajomäärän jälkeen onnettomuusriski ei enää vähene yhtä paljon. (Straight 2012.)

The relationship between annual mileage and accident rate per mile



Kuvio 4. Ajokilometrien suhde onnettomuuksiin. (Trl 2004.)

Sähkömoottoripyöriinkin voidaan laittaa kaiuttimia ja näin saada ne muistuttamaan perinteisiä polttomoottorisia moottoripyöriä. Motoristien suhtautumista näihin keinotekoisesti luotuihin ääniin sähkökäyttöisessä ajoneuvossa on kuitenkin hankala arvioida.

Suomessa suurin osa onnettumuksista moottoripyörillä tapahtuu ilman toista osapuolta. Tässäkään tapauksessa pakoputken äänillä ei ole merkitystä, joten niiden puuttumisen vaikutusta onnettumuksien lisääntymiseen ei voi puoltaa kovinkaan vahvasti. Suomessa kaikista loukkaantuneista 8 % ja kuolleista 7 % oli motoristeja vuonna 2017. Tämä suhteutettuna autoja pienempään ajoneuvokantaan ja pieniin ajokilometrimääriin vuodessa voidaan kuitenkin todeta, ettei moottoripyöräily ole turvallisuudessa vielä lähellekään autojen tasolla.

Loukkaantuneiden määrä tieliikenteessä vuosina 2009-2018 on selvästi ollut laskussa. Tähän auttaa kuljettajien asenteen ja varovaisuuden lisäksi myös nykymoottoripyörien

turvaominaisuudet. Niitä ovat muun muassa luistonesto, ABS- eli lukkiutumattomat jarrut, keulimisen esto ja luistonesto. ABS-jarrut on moottoripyörissä nykyään pakollinen varuste. Se estää pyörien lukkiutumisen jarruttaessa, jottei moottoripyörä kaadu lukkiutumisen takia. Sähkömoottoripyöristä voi löytyä myös nämä täysin samat ominaisuudet. Turvavarusteet ovatkin moottoripyöräillessä suurin apu. Kypärä on ainut Suomen laissa pakolliseksi määrätty turvallisuusvaruste. Ajokäsineet, ajotakki, ajohousut ja ajokengät olisi ehdottomasti aina hyvä olla päällä kypärän lisäksi. Nykyään on kypärissäkin MIPS-tekniikkaa, joka edesauttaa ettei tulisi aivotärähdyksiä tai vammoja. Myös erinäiset turvatyynyliivit ja ajovaatteissa olevat turvatyynyt ovat tulleet saataville. Näillä voidaan pehmentää iskuja. Ennen kaikkea kuitenkin panostaa motoristien asenteeseen ja että he olisivat varovaisia liikenteessä, ettei tarvitsisi turvautua turvavarusteisiin. (Liikenneturva 2019, Fema-online 2001.)

Passiiviset turvavarusteet eivät estä kaatumista, mutta suojaavat onnettomuuden tapahtuessa. Kypärät, ajovaatteet ja turvatyynyt suojaavat kuljettajan joutuessa onnettomuuteen. Aktiivisista turvavarusteista on hyötyä onnettomuuksien ehkäisemisessä. Aktiiviset turvallisuusvarusteet voivat estää, ettei paikaltaan lähtiessä tai mutkasta kiihdyttäessä takapyörältä häviä pito ja näin kaada moottoripyörää.



Kuvio 5. Loukkaantuneet moottoripyöräilijät tieliikenteessä 2009-2018 (Liikenneturva 2019.)

Sähkömoottoripyörissä on tehtävä voimallisesti töitä ohjelmistojen kanssa, jotta ne ovat turvallisia. Energica-sähkömoottoripyörien pääsuunnittelija Giampiero Testonin mukaan 70 % on ohjelmiston suunnittelua ja 30 % rungon suunnittelua. Sähkömoottoripyörissä ei välttämättä ole edes kytkintä, mistä vedon saisi kytkettyä irti ongelmien sattuessa,

joten turvallisuutta ja toimivuutta on testattava erityisen huolellisesti. Sähkömoottoripyörissä on myös mahdollisesti hengenvaarallisia monen sadan voltin jännitteitä, joten kaikki koteloinnit ja kaapeloinnit pitää tehdä huolellisesti ja pitää myös huolta, etteivät akkupaketit pysty syttymään tai räjähtämään.

Sähköautoissa on akuston jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmä, jolla akuston lämpötila pidetään halutuissa rajoissa latauksen aikana. Jos lithium-akun lämpötila on alle 0 °C tai yli 60 °C latauksen aikana, on silloin mahdollisuus, että kennot vaurioituvat. Vaurion seurauksena kennoissa on räjähdysvaara. Zero-moottoripyörissä on ilmoitettu, että kylmä ilma ei vahingoita akkupaketteja, mutta se voi vaikuttaa sähkömoottoripyörän tehoon ja toimintasäteeseen. Zero-moottoripyörät myös estävät latauksen yli 60 °C:n lämpötilassa, jotta akkupaketille aiheudu vahinkoa. (Zeromotorcycles 2019, Epaddock 2019.)

4.8 Sähkömoottoripyörien valikoimaa Suomessa

Suomessa Bikeworld Oy edustaa Zero-merkkisiä sähkömoottoripyöriä. Valittavissa on 11 eri mallia. Kalleimmassa 28120 € Zero SR/F -mallissa on 110 hv tehoa ja 190 Nm vääntöä. Toimintasäde on tässä mallissa jopa 259 kilometriä. SR/F-premium-mallin integroidulla 6 kW:n laturilla se latautuu tyhjästä täyteen 2,5 tunnissa. (Bikeworld 2019a.)



Kuva 25. Vasemmalla Zero FX 6.5 oikealla Zero SR/F Premium (Bikeworld 2019a, Bikeworld 2019b.)

Myös Harley-Davidson on tuonut kaudelle 2019 uuden sähkömoottoripyörämallin. LiveWire-nimellä oleva sähkömoottoripyörä maksaa Suomessa 38070 €. 105 hevosvoimaa ja 116 Nm vääntöä lupaavat 0-100 km/h ajaksi 3 s. Lataustapa 1:n laturilla voi ladata yön yli pyörää kotona tavallisessa pistorasiassa. Level 3 DC fast charge:lla voi ladata julkisella paikalla, jolloin saavutetaan 40 min:ssa 80 % tai tunnissa 100 % varaustila. (Harley-Davidson 2019.)



Kuva 26. Harley-Davidson LiveWire (Harley-davidson 2019.)

Verge Motorcycles Oy (entinen RMK Vehicle Corporation) on suomalainen moottoripyöräinnovaatio. TS-mallissa luvataan 200-300 km toimintasädettä ja 2-3 h latauksella tyhjäästä varaustilaan 80 %. Tyhjäästä täyteen lataus kestää 4,5 h. Pyörän lähtöhinta on 24990 €. Suurin ero kilpailijoihin on takavanteen sisälle sijoitettu moottori. Tämän takia voimansiirrosta ei tule häviötä eikä vaihteistoa tarvita. Pyörässä on 107 hevosvoimaa tehoa ja peräti 1000 Nm vääntöä. Pyörän tuotantomalli esiteltiin Milanon EICMA-messuilla vuonna 2019 ja ensimmäisten pyörien on luvattu olevan vuonna 2020 asiakkailla. (Rmkvehicles 2019.)



Kuva 27. Verge Motorcycles TS malli (RMK Vehicles 2019.)

Jos on kiinnostunut enemmän maasto- tai motocross-ajosta, on KTM-merkillä Freeride E-XC -sähköcrossipyörä. Se pohjautuu polttomoottoriseen Freeride-malliin, joten ajominaisuudet ovat erittäinkin hyvät. Suurin teho on 24,5 hv ja vääntömomentti 42 Nm. Latausaika on kuitenkin vain 1,3 tuntia. Kahdella akulla, toisen ollessa latauksessa, voisi ajaa teoriassa esimerkiksi motocross-radalla tauotta. Vaihteisto on automaattinen poiketen polttomoottoriversioista. Veto on ketjulla kuten mallisarjan polttomoottorikäyttöisessä mallissakin. Painoa on vain 111 kg ja tätä voi ajaa myös A1-kortilla. Pyörää voi ladata

mistä vain normaalista 230 V:n pistorasiasta joko 10 A tai 16 A sulakkeella. Toimintasäteeksi KTM on ilmoittanut Sony'n valmistamalle akulle 77 km. Näkisin tämän hyvänä vaihtoehtona kaupunkikäyttöön moottoripyörän ollessa kevyt ja nopeasti latautuva. Hinta on alkaen Suomessa 11990 €, joka on erittäin kilpailukykyinen. (KTM 2019.)



Kuva 28. KTM Freeride E-XC (KTM 2019.)

Espanjalaisella Volta Motorbikes -merkillä on kaksi mallia myynnissä Suomessa. Molemissa 25 kW:n moottori, joka on Suomessa rajoitettu 11 kW:in, väännön ollessa 67 Nm. Voimansiirto on toteutettu hihnalla ja vaihteisto on automaattinen. Toimintasäde on 70-120 km ja huippunopeus 120 km/h. Latausaika on 2 h tyhjästä täyteen. Hinnat ovat halvemmassa City-mallissa 10490 € ja kalliimmassa Sport mallissa 11490 €. Nämä molemmat kuuluvat kevytmoottoripyöräluokkaan ja siihen nähden mielestäni vähän turhan kalliita. (Ttgreen 2019.)



Kuva 29. Vasemmalla City oikealla Sport (Ttgreen 2019.)

Käytettävyyden puolesta sähkömoottoripyörissä alkaa olemaan nykyään jo riittävä toimintasäde useimpiin tarpeisiin. Zero SR/F -pyörän 259 km:n toimintasäteellä pystyy aja-

maan suhteellisen pitkiäkin matkoja ilman lataamista. Nopeat latausajat sekä yleiset latauspaikat myös edistävät sähkömoottoripyörien käytettävyyttä. Lämpimistä maista poiketen Suomen talvi kuitenkin estää järkevästi ympärivuotisen käytön. Sähkömoottoripyörien valikoima on suhteellisen suppea Suomessa vielä tällä hetkellä.

4.9 Sähkömoottoripyörä omavalmisteena

Raisiolainen Teemu Saukkio on valmistanut Suomen ensimmäisen rekisteröidyn omavalmisteisen sähkömoottoripyörän. Suurin osa tässä moottoripyörässä on itse tehtyä ja valmiita osia ovat mm. Aprilian etuvaimentimet ja -jouset, etuvanne, jarrut sekä ohjaustanko, Yamahan takavaimennin ja Husqvarnan vanteet. E1:ksi nimetyssä pyörässä on takahaarukassa moottori ja ketjuveto. Tämän seurauksena ketjut menevät sähkömoottorilta takarattaalle ilman jousituksen aiheuttamia etäisyyden muutoksia.

Akkupaketti on tehty suurimmaksi osaksi käytetyistä akuista. Akustossa on 1404 kpl litium-ion-akkuja. E1-pyörässä on 30 kW:n sähkömoottori. Toimintasäde oli valmistusessaan 150 km, mutta Saukkio arvioi saavansa sen 300 km:iin tasapainottamalla akuston. (Moottori.fi, Kauppalehti.fi.)



Kuva 30. Omavalmisteinen runko valmistusvaiheessa (Moottori 2018.)



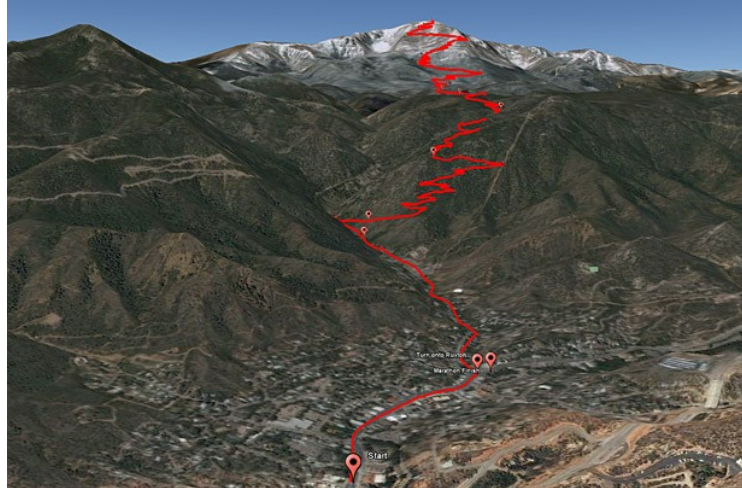
Kuva 31. Teemu Saukkion omavalmisteinen E1-sähkömoottoripyörä (Kauppalehti 2017.)

4.10 Sähkömoottoripyörät moottoriurheilussa

Sähkömoottoripyörille on viime vuosina tullut omia luokkia erinäisissä nopeuskilpailuissa. Myös kokonaan omia sarjoja on luotu sähkömoottoripyörille ja harjoitusmahdollisuudet ovat lisääntyneet äänettömyyden ja päästöttömyyden takia. Yleisö on pitänyt sähkömoottoripyöräkilpailujen tasaisuudesta ja kilpailuissa on ollut yllätyksiä. MotoE-sarjan ensimmäisen kilpailun kolmen ensimmäiseksi sijoittuneen kilpailijan välillä oli koko kilpailun aikana syntynyttä aikaeroa vain 5,5 s (Telegraph 2019).

4.10.1 Pikes Peak

Vuosittain järjestettävä Pikes Peak:n mäkilopailu USA:n Coloradossa on yksi tapa vertailla kilpapyörien kykyjä. Pikes Peak:n kilpailu ajetaan vuoristoalueella nopeuskilpailuna ja yksilösuorituksena. Radan pituus on 20 km, lähtöalue on merenpinnan tasolla, mutta radan maali on 1400 m:n korkeudessa. Ajoreitillä on yli 150 kaarretta ja mäen nousukulma on keskimäärin 7.2 %. Pikes Peakissa polttomootoreilla on ongelmana ilman tiheys. Ilmantiheys on huipulla noin 35% pienempi mitä vedenpinnan tasolla. Tämä vaikuttaa polttomootoreissa rajusti moottorin antamaan tehoon noustessa vuorta ylös. Sähkömoottorikäyttöinen kilpapyörä ei kärsi ilman ohenemisesta suoranaisesti, mutta siinäkin on omat ongelmansa. Akuston ja voimalinjan jäähtytys ei ole niin tehokas ja myös pyörän aerodynamiikka kärsii ohuessa ilmanalassa. (Designnews 2018, Ppihc 2019, Wikipedia 2019.)



Kuva 32. Pikes Peak -rata (Pikespeakmarathon 2019.)

Vuonna 2010 Eva Håkanssonin kuljettama ElectroCat oli ensimmäinen sähkömoottoripyörä Pikes Peak:ssa ajalla 16.55,849. Vuonna 2013 Carlin Dunne Lightning Motorcycles -moottoripyörällä ajoi ajan 10.00,694. He voittivat sähkömoottoripyöräkatteorian lisäksi myös Ducati Multistrada 1200 S -polttomoottorikäyttöisen pyörän, jonka aika oli 10.21,323. (Autoblog 2010, Dillard, T. 2017, Ultimatemotorcycling 2010.)

4.10.2 Isle of Man TT Zero

TT Zero on Isle of Man -kilpailuluokka sähkömoottoripyörille. Se lanseerattiin ensimmäisen kerran vuonna 2009, jolloin rata kierroksen keskinopeus oli 140,66 km/h. Vuonna 2019 kilpailun voittaneella keskinopeus oli 196,18 km/h. Japanilainen Mugen Shinden on voittanut vuoden 2014 jälkeen TT Zeron kaikki kisat.. Hänellä on aina kaksi Hirotohi Hondan omistaman yrityksen rakentamaa sähkömoottoripyörää mukana joka vuosi. Vuonna 2012 akkujen lataukseen meni 8 h, mutta nyt päästään jo alle puoleentoista tuntiin (TheDriven 2019, Newatlas 2018.)

4.10.3 MotoE

MotoGP on ratamoottoripyöräilyn kuninkuusluokka. Vuoden 2018 helmikuussa tiedotettiin 2019 vuonna alkavasta MotoE-sarjasta, jossa ajettaisiin sähkömoottoripyörillä. En-

simmäinen kilpailu oli tarkoitus ajaa 5.5.2019. Vuoden 2019 maaliskuun testiajoissa syttyi kuitenkin tulipalo ja kaikki 18 sähkömoottoripyörää vaurioituivat (Edition 2019, Theverge 2017.) 14.9.2019 ajettiin MotoE:n ensimmäinen osakilpailu. Kilpailuun osallistui 18 kuljettajaa. (Roadracingworld 2019.)

Kuvassa 33 näkyvästä MotoE-sarjan sähkömoottoripyörästä ei huomaa nopeasti katsoamalla polttomoottorin puuttumista. Vain äänenvaimenin takaa puuttuu. Toisaalta polttomoottorikäyttöisessä pyörässä äänenvaimentimet on nykyisessä asennustavassa aika hyvin piilossa kanteiden ja moottorin alapuolella.



Kuva 33. MotoE-moottoripyörä (Sport24 2018.)

Nämä sähkömoottoripyörät perustuvat Energian Egoon. Näissä kilpakäyttöön viritetyissä sähkömoottoripyörissä on CCS-pikalataus. Akku latautuu 20 minuutissa 80 %:in tasolle. Perusmallissakin on CCS-lataus ja Type 2 -liittimestä toimiva vaihtosähkölaturi 3 kW:n teholla. (Energicamotor 2019, Bike 2018.)

4.10.4 Motocross

Maastossa motocrossia ajaville sähkömoottoripyörät ovat tuoneet kokonaan uusia mahdollisuuksia. Uusilla akkuteknologioilla on saatu toimintasädetä pidemmäksi, jotta enduroakin voi ajaa sähkökäyttöisillä crossipyörillä. Endurokisoissa ajetaan pitkiä reittejä maastossa.

Motocrossin yksi haasteista on melun tuotto, jonka takia asutuksen lähellä ovat harrastusmahdollisuudet olleet huonoja. Sähkömoottoripyörän tuoman hiljaisuuden myötä lajin

harrastaminen on helpottunut, kun melu tai päästöhaittojakaan ei synny harrastuspaikan lähetyvillä asuville ihmisille. (Moottoriliitto 2008.)

5 POHDINTAA

Kun moottoripyöräharrastajat keskustelevat sähkömoottoripyöristä ja niiden ominaisuuksista, kolme asiaa nousee selkeästi esiin: hankintahinta, toimintasäde/latauspaikat ja moottoriäänen puute. Ensimmäinen mainittu teema tulee muuttumaan valikoman laajentuessa, kilpailu eri merkkien välillä tulee vaikuttamaan hintatasoon ostajan kannalta positiiviseen suuntaan. Toimintasäde ei liene tulevaisuudessa pyörämalleissa minkään tasoinen ongelma, koska akkutekniikassa tehdään koko ajan merkittävää kehitystyötä. Toimintasäteet ovat joissakin pyörätyypeissä ja -malleissa jo nyt erinomaisella tasolla. Yleiset latauspisteet ovat sähköautojen yleistymisen ansiosta lisääntyneet, vaikkakin pienillä paikkakunnilla edelleen niitä ei välttämättä ole ollenkaan. Akkupaketit saattavat myös olla irroitettavia jolloin kerrostaloasujankin olisi mahdollista omistaa sähkömoottoripyörä. Sähköauton omistaminen kerrostalossa ilman talonyhtiön tarjoamia pistorasioita on hankalaa.



Kuva 34. KTM Freeride -akkupaketti kantokahvalla (Electrek 2017.)

Jos akkutekniikan kehittyessä latausajassa saavutettaisiin vaikkapa 5-10 minuutissa varaustila tyhjästä täyteen, olisi se ajankäytön kannalta jo hyvin lähellä polttoainetankkausta. Pidemmälläkin matkalla 10 minuutin pysähdys 300 km välein nykyisillä kantamilla ei olisi matkamotoristille millään tavalla liian aikaa vievää. Uusi Porsche Taycan kykenee 270 kW:n lataustehoon. Zeron SR/F Premium lataa 6 kW:n integroidulla laturilla 2,5 tunnissa täyteen. Suomessa pikalatausverkon tyypillinen teho on 50 kW ja silläkin lataa jo suhteellisen nopeasti. Jos moottoripyörissä päästään lähellekkään näitä lukuja ei ole kuin ajan kysymys, että sähköajoneuvoa voisi käyttää kuten polttomoottorista. Akkujen latauksessa jäähdytys tulee tällä hetkellä rajoitteeksi ja Zero:nkin moottoripyörät lopettavat lataamisen, jos lämpötila nousee liikaa. Toimintasäde voisi olla jopa suurempi

mitä polttomoottorikäyttöisessä pyörässä ja silti lataus täyteen voitaisiin saavuttaa muutamassa minuutissa. Tällöin ei tarvitsisi tehdä niin suurta pohdintaa latausaikojen tai toimintasäteen kanssa ostopäätöstä tehdessä.

Sähkömoottoripyörien rakentelu ja omavalmisteiden rakentaminen on lisääntynyt viime vuosina suuresti. Erityisesti sähkömoottoripyörien rakentelu ja muokkaaminen kertoo siitä, että ne aletaan hyväksyä motoristien keskuudessa. Vieläkin on paljon motoristeja, joille sähkömoottoripyörä ei kuitenkaan ole millään muotoa vaihtoehto moottoripyörää hankkiessa.

En näkisi pelkän voimanlähteen tyyppin vaihtamisella olevan negatiivista vaikutusta fiilikseen. Tietysti polttomoottorin pauke moottorijarrulla tai pakoputkien kova meteli kaupungissa korttelien välissä on monelle motoristille mieluisa kokemus. Sähkömoottoripyörillä ajaneet motoristit ovat kuitenkin kehuneet kuinka miellyttävää on ajaa kaiken ylimääräisen metelin puuttuessa. Varsinkin nykypäivän hektisessä maailmassa ei välttämättä olekaan niin harmillista vaikka moottoripyörässä ei sitä melua olisikaan, melu kun niin usein aiheuttaa pahennusta muiden ihmisten keskuudessa. Tähän lisättynä sähkömoottorin hieno jatkuva vääntö ja teho, on ajokokemus varmasti hyvinkin koukuttavaa. Itsekin ajan pidempiä matkoja korvatulpat päässä ja moni muukin tekee niin vaikka tykkääkin kaupunki alueella kovista äänistä. Sähkömoottoripyörällä voisi aina nauttia moottoriäänien puuttumisen tuomasta hiljaisuudesta tai vaihtoehtoisesti kuunnella musiikkia tai vaikkapa äänikirjaa.



Kuva 35. Alpinen korvatulpat suodattimilla (Alpine Hearing Protection 2019.)

Moottoripyöräily perustuu paljolti yhteisöllisyyteen. Sähkömoottoripyörille on varmasti tulossa omia kerhoja, tapahtumia ja ajoreissuja. Ja vaikka osallistuisi sähkömoottoripyö-

rällä nykyisiin moottoripyörätapahtumiin, saisi varmasti olla aivan samalla tavalla hengessä mukana. Tämän lisäksi voisi vastaillemaan muiden kiinnostuneiden motoristien kysymyksiin, koska sähkömoottoripyörät ovat Suomessa vielä harvinaisia.

Harley-Davidsonin sähkömoottoripyörä tuntuu omasta mielestä varsinkin hinnoittelun takia vähän ristiriitaiselta. Monelle sähköpyörää harkitsevalle tämä voi olla liian kallis, varsinkin kun vertaa Zero:n mallistoon, joka tarjoaa ominaisuuksien puolesta enemmän paljon pienemmällä hinnalla. Jos taas varten vasten haluaa Harley-Davidsonin, on polttomoottorinen V-Twin kone monelle ”se ainoa oikea”, josta ei tingitä. Hieno muotoilu ja maskuliiniseksi koettu brändi auttavat asiaa, mutta korkea hinta voi laskea ihmisten innostusta ostaa tämä.

Erinäisten lähettien käytössä näkisin sähkömoottoripyörät hyvinä vaihtoehtoina. Polku-
pyörälähetettä on paljon, mutta sähkömoottoripyörällä pääsisi yhtä nopeasti, ellei jopa nopeammin perille ja ne eivät silti tuottaisi päästöjä.



Kuva 36. Zero SR/F -sähkömoottoripyörästä muokattu yksilöllinen show-pyörä (Siama-gazin 2019.)

Epäilen suuresti, että polttomoottori syrjäytyisi vielä lähivuosina ihan kokonaan. Autotekniikassa keskitytään nyt voimallisesti hybriditekniikoihin, joka on nähtävissä siirtymävaiheena sähköautoihin. Moottoripyöriä ei ole hybrideinä, joten sähkömoottoripyörä on ainoa vaihtoehto. Ulkomailla suurissa kaupungeissa ja lämpimissä maissa näkisin sähkömoottoripyörät hyvinkin kannattaviksi vaihtoehtoiksi liikkumiseen. Suomessa sähkömoottoripyörän käyttäminen ainoana kulkuvälineenä ei kuitenkaan ole järkevästi mahdollista. Harrastustoimintana moottoripyöräilyssä kalliimpi sähkömoottoripyörä ei ole useinkaan ensimmäinen vaihtoehto, varsinkin kun moni motoristi mieltää äänien kuuluvan moottoripyöräilyyn. Silti luulen, että pitkälle tulevaisuudessa polttomoottorikäyttöiset

moottoripyörät ovat enää harvojen motoristien käytössä. Ihmiset kiinnittävät nyt huomiota ympäristöystävällisyyteen. Sähkömoottoripyörä voi olla monille kannanotto tai heidän ideologiansa takia eivät enää tue polttomoottorikäyttöisiä ajoneuvoja tulevaisuudessa. Ihmiset tullaavat unohtamaan, miten asiat ovat ennen olleet ja nyt kritiikin kohteeksi muodostunut äänien puute voi hyvinkin olla jo aivan normaalia silloin. Kenties tulevaisuudessa hämmästellään, miksi ennen ajettiin kovaäänisillä moottoripyörillä, eihän siinä ole mitään järkeä.

6 YHTEENVETO

Tässä työssä tutustuttiin sähkömoottoripyöriin alkuajoista nykyaikaan ja mietittiin tulevaisuuttakin. Kaikki lähti polkupyörästä, jonka jälkeen tuli ensimmäiset moottoripyörät. Hyvinkin pian sen jälkeen keksittiin laittaa sähköä moottoripyöriin. Nopeudenohjausyksiköt olivat akkujen lisäksi esteenä sähkömoottoripyörien kehittymiselle. 2000-luvulle tultaessa nekin alkoivat kestää jo erittäin suuria määriä sähkötehoa.

Sähkömoottoripyörän erot polttomoottorikäyttöiseen pyörään verrattuna ovat käytännössä voimanlähteessä sekä mahdollisesti voimansiirrossa. Tämä tekee kuitenkin sähkömoottoripyörän paljon helpommaksi ja halvemmaksi huoltaa. Mahdollinen kytkimen ja vaihteiden puute tekee ajamisesta myös erilaisen kokemuksen, kun voi vain ajaa keskittymättä vaihteiden vaihtoon. Suorituskykyä sähkömoottoripyörissä on jo nykyisissäkin saatavissa olevissa malleissa todella paljon.

Julkisia latauspaikkojakin alkaa olemaan hyvin sähköautoille rakennetun julkisen latausverkon ansiosta, näissä on samat pistokkeet käytössä. Pikalatus on mahdollistanut akkujen latauksen täyteen hyvinkin lyhyessä ajassa.

Ympäristöä ajatellen sähkömoottoripyörät ovat tietenkin hyvästä verrattuna polttomoottorikäyttöiseen pyörään. On kuitenkin huomioitava akusta syntyvät päästöt. Suomessa moottoripyörät tuottavat vuosittaisista hiilidioksidipäästöistä vain hyvin pienen osan.

Turvallisuutta ajatellen on tutkittu, ettei äänien puute lisää riskiä onnettomuuteen. Suomessa suurin osa onnettomuuksista tapahtuu muutenkin ilman toista osapuolta ja taajamien ulkopuolella. Ajoasenteella sekä varusteilla on paljon suurempi merkitys kuin äänillä.

Moottoriurheilussa on perustettu omia sarjoja sähkömoottoripyörille. Sähkömoottoripyörät helpottavat myös lajin harrastusta. Metsässä olevasta crossiradasta ei tule meteliä enää niin paljon, jos useampi käyttäisi sähkömoottoripyörää.

LÄHTEET

A123 Systems LCC 2019. Lithium-ion -akkutekniikkaa. Viitattu 6.8.2019

<http://www.a123systems.com/automotive/technology/ultraphosphate/>

Alpine Hearing Protection 2019. Kuulonsuojaustuotteita. Viitattu 28.11.2019

<https://www.alpinehearingprotection.co.uk/earplugs/motosafe-tour/>

Autoblog 2010. ElectroCat Pikes Peak -kilpailussa. Viitattu 7.5.2019

https://www.autoblog.com/2010/07/05/electrocat-becomes-first-electric-motorcycle-to-conquer-pikes-pe/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlMnNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAGMWw2Rakqtu-WBypwN_wnzum_a6j4WUjTB3zGQKLACI8luCrk8Zn0bQ0ZrvbMC5vjXJB2NZIsJGGmEOEU-yxrXpn9oLThWVBnUS-TGwa0E9fDWUDiM6zY1YtviH-xjmU_B4yUGIRd-ZJXtso_Kp3S_ZHHLDCv3HJ_kOXJnLVSRKMkH

Baggersmag 2018. 2019 Harley-Davidson Street Glide. Viitattu 15.8.2019

<https://www.baggersmag.com/2019-harley-davidson-street-glide-special-dyno-video>

Bicyclehistory 2019a Dandy Horse – polkupyörän edeltäjä. Viitattu 14.12.2019

<http://www.bicyclehistory.net/bicycle-history/dandy-horse/>

Bicyclehistory 2019b Polkupyörän historia. Viitattu 14.12.2019

<http://www.bicyclehistory.net/bicycle-history/history-of-bicycle/>

Bicyclehistory 2019c. Moottoripyörän historia. Viitattu 14.12.2019

<http://www.bicyclehistory.net/motorcycle-history/history-of-motorcycle/>

Bicyclehistory 2019d. Penny Farthing kuva vuodelta 1886. Viitattu 14.12.2019

<http://www.bicyclehistory.net/picture/picture-of-penny-farthing-1886/>

Bike 2018. Tällainen on MotoE-luokan Energica Ego Corsa -sähkömoottoripyörä. Viitattu 14.12.2019

<https://www.bike.fi/tallainen-on-motoe-luokan-energica-ego-corsa-sahkomoottoripyora/>

Bikebd 2018. Kaasuttimen ja suorasuihkutuksen erot. Viitattu 27.11.2019

<https://www.bikebd.com/carburetor-vs-fuel-injection-engine/>

Bikereview 2019. 2016 Kawasaki ZX-10R 194.7hp teho ja vääntökäyrät. Viitattu 15.8.2019

<https://bikereview.com.au/engine-tech-2016-kawasaki-zx-10r-plus-dyno-results/>

Bikesure 2018. WWII Norton moottoripyörien hauta. Viitattu 28.11.2019

<https://www.bikesure.co.uk/bikesureblog/2018/02/watery-grave-wwii-norton-motorcycles.html>

Bikeworld 2019a. Zero SR/F Premium. Viitattu 28.11.2019

<https://www.bikeworld.fi/sahkomoottoripyorat/zero-sahkomoottoripyorat/zero-sr-f-premium>

Bikeworld 2019b. Zero FX 6.5. Viitattu 28.11.2019

<https://www.bikeworld.fi/sahkomoottoripyorat/zero-sahkomoottoripyorat/zero-fx-6.5>

Carbonfootprint 2019. sähkömoottoripyörät. Viitattu 14.5.2019

https://www.carbonfootprint.com/electric_vehicles.html

Cmfemarketresearchindustryreports 2017. Sähkömoottoripyörä markkina ovat arvoltaan \$141.70 billion vuonna 2022. Viitattu 14.12.2019

<http://cmfemarketresearchindustryreports.blogspot.com/2017/02/electric-motor-market.html>

Cycleworld 2019a. 2020. Zero SR/F sähkömoottoripyörän ensiajo. Viitattu 6.11.2019
<https://www.cycleworld.com/gdpr.html?redirect=https%3a%2f%2fwww.cycleworld.com%2f2020-zero-sr-f-electric-motorcycle-first-ride%2f>

Cycleworld 2018b. Sähkömoottoripyörät saapuvat MotoGP:seen. Viitattu 7.5.2019
<https://www.cycleworld.com/electric-motorcycle-racing-arrives-in-motogp#page-3>

Designnews 2018. Missä ilma on ohutta. Viitattu 7.5.2019
<https://www.designnews.com/content/where-air-thin/209000878158831>

Dillard, T. 2017. Power in flux. Ted Dillard

Dreamtime 2019. Vanhan Maybachin kuvia. Viitattu 14.12.2019
<https://www.dreamstime.com/photos-images/old-maybach.html>

Edition 2019. MotoE: Tulipalo tuhosi joukon sähkömoottoripyöriä ennen kilpailua. Viitattu 14.12.2019
<https://edition.cnn.com/2019/03/14/sport/motoe-fire-electric-bikes-motogp-spanish-grand-prix-supercharged-spt-intl/index.html>

Edn 2019. Sähkömoottori on patentoitu 25.2.1837. Viitattu 14.12.2019
<https://www.edn.com/electronics-blogs/edn-moments/4461624/The-electric-motor-is-patented--February-25--1837>

Electrek 2017. KTM julkistaa uuden 2018 Freeride E-XC sähkömoottoripyörän, jossa on 50 % enemmän akkukapasiteettia. Viitattu 30.11.2019
<https://www.electrek.co/2017/11/06/ktm-electric-motocross-2018-freeride-e-xc-with-50-percent-more-battery/>

Electricbike 2013. Sähkömoottoripyörien historia, patentteja 1800-luvulta. Viitattu 14.12.2019
<https://www.electricbike.com/e-bike-patents-from-the-1800s/>

Energicamotor 2019. MotoE. Viitattu 14.12.2019
<https://www.energicamotor.com/motoe/#news>

Epaddock 2019. Giampiero Testonin haastattelu, Energican pääsuunnittelija. Viitattu 14.12.2019
<https://www.epaddock.it/en/intervista-a-giampiero-testoni-direttore-tecnico-di-energica/>

Epetec 2019. Akkupakettien vertailu. Viitattu 15.5.2019
<https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>

Evnerds 2019. RMK Vehicles E2 sähkömoottoripyörän julkistuksia. Viitattu 6.11.2019
<https://evnerds.com/electric-vehicles/e-motorcycle-news/rmk-vehicles-e2-electric-motorcycle-exclusive-news/>

Fema-online 2001. Motoristien. Viitattu 8.5.2019
http://www.fema-online.eu/riderscan/IMG/pdf/promising_deliverable_3.pdf

Freelibrary 2019. Corbin-Gentry sähkömoottoripyörä. Viitattu 28.11.2019
<https://libwww.freelibrary.org/digital/item/40786>

Greencycle 2019. Lainsäädännön uudistukset tuovat uusia mahdollisuuksia sähköpyörän hankintaan. Viitattu 28.11.2019
<https://www.greencycle.fi/news/32/lainsaadannon-uudistukset-tuovat-uusia-mahdollisuuksia-sahkopyoran-hankintaan>

Harley-davidson 2019. LiveWire. Viitattu 28.11.2019

<https://www.harley-davidson.com/fi/fi/motorcycles/livewire.html>

lea 2019. Sähkömoottoripyörät. Viitattu 14.12.2019

<https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2019/electric-vehicles>

Insideevs 2018. Sähkömoottoripyörissä on muutakin kuin eri voimanlähde. Viitattu 8.5.2019

<https://insideevs.com/news/335741/electric-motorcycles-are-more-than-just-a-different-fuel/>

Julkaisut Valtioneuvosto. Mopo- ja moottoripyörästrategia 2025. Viitattu 30.12.2019

http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161131/LVM_11_2018_Mopo-ja_moottoripyorastrategia_2025.pdf

Kauppalehti 2017. Teoriassa mahdollon, mutta toimii – tällainen on Suomen ensimmäinen oma-
valmisteinen sähköprätkä. Viitattu 29.11.2019

<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/teoriassa-mahdoton-mutta-toimii-tallainen-on-suomen-ensimmainen-omavalmisteinen-sahkopratka/44448ae6-29c0-3e40-8518-509b9cff3292>

Kolumbus 2019. Suljetun lyijyakun toiminnan peruskäsitteitä. Viitattu 15.5.2019

<http://www.kolumbus.fi/~mirian77/slaominaisuudet.pdf>

Kotiposti 2019. Puolijohteet. Viitattu 14.10.2019

<http://www.kotiposti.net/ajnieminen/pujo.pdf>

KTM 2019. Freeride E-XC 2010. Viitattu 29.11.2019

<https://www.ktm.com/e-ride/freeride-e-xc/>

Latauskartta 2019. Latauspisteet. Viitattu 29.11.2019

<https://latauskartta.fi/>

Liikennefakta 2019. Liikenteen kasvihuonepäästöt ja energiankulutus. Viitattu 14.5.2019

https://www.liikennefakta.fi/ymparisto/paastot_ja_energiankulutus

Liikenneturva 2019. Moottoripyöräilijöiden henkilövahingot tieliikenteessä. Viitattu 29.11.2019

https://www.liikenneturva.fi/sites/default/files/materiaalit/Tutkittua/Tilastot/tilastokatsaukset/tilastokatsaus_moottoripyoraailijoiden_henkilovahingoista.pdf

Locostbuilders 2019. ZX12R moottori myynnissä. Viitattu 14.12.2019

<http://www.locostbuilders.co.uk/forum/viewthread.php?tid=105396>

Lvk 2019. Miten sähköiset liikkumisvälineet vakuutetaan?. Viitattu 28.11.2019

<https://www.lvk.fi/fi/vakuuttamisvelvollisuus/ajoneuvon-vakuuttamisvelvollisuus/kevyet-sahkoiset-liikkumisvalineet/>

Moottori 2018. Petrol Circus: 3D-mallinnusta ja oma-
valmisteinen sähkömoottoripyörä. Viitattu 29.11.2019

<https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/petrol-circus-3d-mallinnusta-ja-omavalmisteinen-sahkomoottoripyora/>

Moottoriliitto 2008. Meluntorjunta moottoriurheiluratojen ympäristöluvuissa. Viitattu 14.12.2019

https://www.moottoriliitto.fi/site/assets/files/1287/meluntorjunta_moottoriurheiluratojen_ymparistoluvissa.pdf

Motorcycle 2019. 10 syytä miksi 2015 Yama YZF-R1 on psrempi kuin AMA:n superbike. Viitattu 28.11.2019

<https://www.motorcycle.com/manufacture/yamaha/yamaha-r1/top-ten-reasons-2015-yamaha-yszf-r1-tricker-ama-superbike.html/attachment/111314-top-10-2015-yamaha-r1-06-stripped>

- Mrtuffy 2019. Rengasrikkojen historia. Viitattu 14.12.2019
<http://mrtuffy.com/history.html>
- Newatlas 2016. Mike Corbin Quicksilver -moottoripyörällään. Viitattu 16.12.2019
<https://newatlas.com/mike-corbin-quicksilver-land-speed-electric-motorcycle/46696/>
- Newatlas 2018. Mugen dominoi 2018 Isle of Man TT kisoja Zero -sähkömoottoripyörällä. Viitattu 7.5.2019
<https://newatlas.com/isle-of-man-tt-zero-2018-mugen/54976/>
- Orphiro 2019. Viitattu 28.11.2019
http://www.orphiro.nl/?hl=en_US
- Pikes Peak International Hill Climb 2019. Viitattu 7.5.2019
<https://ppihc.org/>
- Pikespeakmarathon 2019. Rata. Viitattu 4.11.2019
<https://www.pikespeakmarathon.org/Course.shtml>
- Plugbike 2019. Motoczysz esittelee d1g1tal dr1ve:n. Viitattu 14.12.2019
<http://plugbike.com/2010/03/03/motoczysz-introduces-electric-d1g1tal-dr1ve/>
- Portolanero 2019. Leonardon polkupyörä. Viitattu 28.11.2019
<https://portolanero.neocities.org/bicycle.html>
- Researchgate 2018. Sähköpolkupyörätutkimusten maailmanlaajuiset trendit. Viitattu 14.12.2019
https://www.researchgate.net/publication/326556421_The_Electric_Bicycle_Worldwide_Research_Trends
- Ridecake 2019. Viitattu 28.11.2019
<https://ridecake.com/>
- Rmkvehicles 2019. Verge TS. Viitattu 29.11.2019
<https://rmkvehicles.com/newsfeed/2019/11/5/on-the-vergenbspof-changenbspnbsptsnbsp-nbsp-teemu-saukkio>
- Roadracingworld 2019. MotoE-maailmanmestaruussarja: Ensimmäisen kilpailun tulokset Valenciasta. Viitattu 14.12.2019
<https://www.roadracingworld.com/news/motoe-world-cup-race-one-results-from-valencia/>
- Siamagazin 2019. Untitled Motorcycles Zero XP kustomoitu sähkömoottoripyörä. Viitattu 30.11.2019
<https://siamagazin.com/untitled-motorcycles-zero-xp-custom-electric-motorcycle/>
- Sport24 2018. MotoGP paljastaa MotoE sähkömoottoripyöräsarjan. Viitattu 4.11.2019
<https://www.sport24.co.za/Motorsport/motogp-unveils-motoe-electric-bike-series-20180206>
- Stat 2018. Uusiutuvien energialähteiden käyttö kasvoi sähkön ja lämmön tuotannossa 2017. Viitattu 11.04.2019
https://www.stat.fi/til/salatuo/2017/salatuo_2017_2018-11-01_tie_001_fi.html
- Stealththeelectricbikes 2019. Viitattu 14.12.2019
<https://stealththeelectricbikes.com/>
- Sterba-bike 2012. Boneshaker Favre, France 1868. Viitattu 6.11.2019
<https://www.sterba-bike.cz/produkt/boneshaker-favre-france-1868?lang=EN>

Straight 2012. Kovat pakoäänet ärsyttävät, mutta auttavat turvallisuudessa. Viitattu 8.5.2019
<https://www.straight.com/life/loud-pipes-irritate-enhance-motorcycle-riders-safety>

Telegraph 2019. MotoE: Miten sähkömoottoripyöräkilpailut ovat suurin uhka MotoGP:lle. Viitattu 14.12.2019
<https://www.telegraph.co.uk/cars/features/motoe-electric-motorcycle-racing-could-biggest-threat-motogp/>

TheDriven 2019. Uusi kierrosennätys 2019 Isle of Man TT Zero -sarjassa. Viitattu 14.12.2019
<https://www.electrek.co/2019/06/07/electric-motorcycle-records-brutal-isle-of-man-tt-zero-race/>

Theicct 2017. Sähköajoneuvojen akkujen valmistuksen päästöt. Viitattu 20.8.2019
https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf

Theverge 2017. MotoGP:ssä kilpailla sähkömoottoripyörillä 2019. Viitattu 8.5.2019
<https://www.theverge.com/2017/5/9/15591836/electric-motorcycles-motogp-racing-series>

Traficom 2019. Sähköiset liikkumisvälineet. Viitattu 28.11.2019
<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/sahkoiset-liikkumisvalineet>

Trl 2004. Motoristien onnettomuusriskit. Viitattu 14.12.2019
<https://trl.co.uk/sites/default/files/TRL607%282%29.pdf>

Ttgreen 2019. Moottoripyörät. Viitattu 28.11.2019
<http://www.ttgreen.fi/moottoripyorat.html#>

UltimateMotorcycling 2010. Electrocat tekee uuden Pikes Peak -ennätyksen. Viitattu 7.5.2019
<https://ultimatemotorcycling.com/2010/07/07/2010pikes-peak-electrocat-motorcycle-sets-record/>

Wikipedia 2019. Pikes Peak mäkilopailu. Viitattu 19.12.2019
https://en.wikipedia.org/wiki/Pikes_Peak_International_Hill_Climb

Zeromotorcycles 2019. Ohjeet 2013 ja uudempien mallien lataukseen. Viitattu 13.12.2019
<https://www.zeromotorcycles.com/owner-resources/Cold-and-Hot-Weather-Operation.pdf>