



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SELVITYS SÄHKÖPYÖRIEN MOOTTORI-, AKKU- JA OHJAINLAITETEKNIKOISTA

Eero Keskitalo

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Sähkö ja -automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

KESKITALO, EERO:

Selvitys sähköpyörien moottori-, akku- ja ohjainlaitetekniikoista

Opinnäytetyö 48 sivua

Toukokuu 2018

Tässä opinnäytetyössä tehtiin kirjallinen selvitys siitä, miten nykyiset sähköpyörät toimivat ja mitä akku-, moottori- ja ohjainlaitetekniikoita niissä käytetään. Lisäksi selvitettiin, mitä uusia ja tulossa olevia tekniikoita on olemassa ja miten sähköpyöräalustaan haluttuja ominaisuuksia voitaisiin toteuttaa konseptitasolla. Opinnäytetyön tilaajana toimi Freebike Group Oy, joka valmistaa sähkö- ja elektroniikkalaitteita moottoriajoneuvoihin.

Nykyisissä sähköpyörissä käytäntö on rajoittunut langoitettuun, kiinteään ja suppean ohjelmiston laitteistoon, jota vain sähköosien valmistaja voi muuttaa. Freebike Group Oy on valmistamassa avoimen ohjelmiston tuotealustaa, joka on modulaarinen ja väyläpohjainen.

Työssä perehdyttiin sähköpyörätekniikkaan teorialähteiden ja Freebike Group Oy:n tarjoamien esimerkkikomponenttien avulla. Sähköpyöräalustan voimansiirto- ja akkujärjestelmältä haluttiin ominaisuuksia, joiden toteuttamismahdollisuuksia arvioitiin ja havainnollistettiin esimerkkikuvien avulla.

Lopputuloksena saatu kirjallinen selvitys tulee yrityksen käyttöön teoriaohjeena ja sen sisältöä voidaan hyödyntää esittelymateriaalina varhaisille asiakkaille ja sidosryhmille.

Asiasanat: sähköpyörä, harjaton tasavirtamoottori, akku, ohjainlaite

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

KESKITALO, EERO:

Report on Electric Bike Motor, Battery and Controller Technology

Bachelor's thesis 48 pages

May 2018

The purpose of this thesis was to provide a written explanation of how current electric bikes work and what battery, engine and control technologies they use. In addition, thesis points out what new and emerging technologies exist and how to achieve the desired features in electric bike platform at the concept level. The thesis was commissioned by Freebike Group Oy, which manufactures electrical equipment for motor vehicles.

In the case of electric bikes, the practice is limited to a wired, non-modular, narrow-ranging software and hardware which can only be modified by the electric parts manufacturer. Freebike Group Oy is manufacturing an open software product platform that is modular and bus-based.

In this thesis, electric bike technology was researched through the theoretical sources and Freebike Group Oy's exemplary components. The desired features in the battery system and power transmission system were evaluated and illustrated with exemplary images.

As a result, the written report will be used as a theoretical guide for the company and its content can be used as a presentation material for early customers and stakeholders.

Key words: electric bike, battery, brushless direct current motor, controller

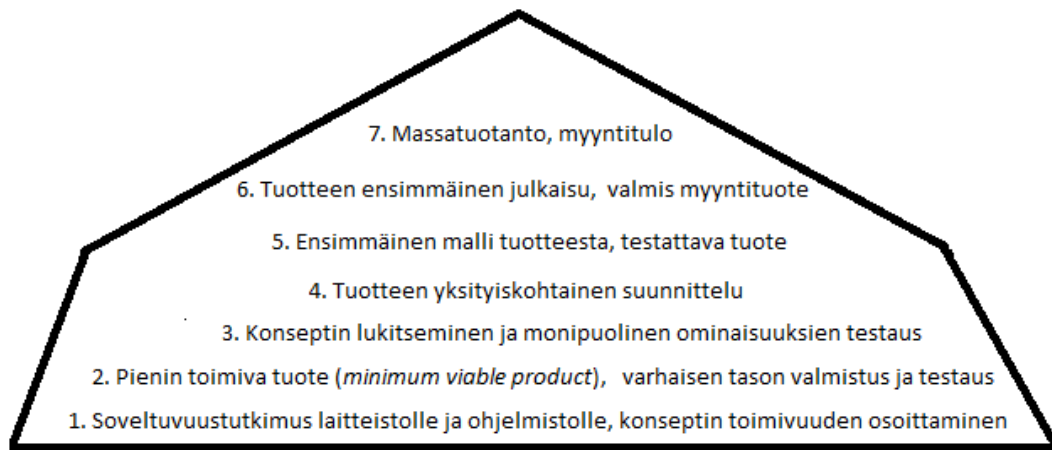
SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEORIA	7
	2.1 BLDC-moottori.....	7
	2.1.1 Napamoottori.....	9
	2.1.2 Keskiömoottori.....	11
	2.2 Akkupaketti.....	13
	2.3 Moottorin ohjaus ja kontrolleri	18
3	TULEVAISUUDENNÄKYMÄT	26
	3.1 Moottori- ja vaihteistotekniikka.....	26
	3.2 Akkutekniikka.....	29
	3.3 Ohjainlaitetekniikka.....	34
4	FREEBIKE KONSEPTI.....	37
	4.1 Ajojärjestelmältä halutut ominaisuudet	37
	4.2 Akkupaketilta halutut ominaisuudet	39
	4.3 Freebike konseptin hyödyntäminen nelipyörissä.....	41
5	YHTEENVETO	43
	LÄHTEET.....	45

1 JOHDANTO

Nykyisessä sähköpyöräteknikassa on ollut käytäntönä käyttää langoitettuja, valmistajan esiasettamia ja suppean ohjelmiston laitteistoja. Laitteiston komponentit ja ohjelmistot tulevat massatuotantona ja sähköpyörien erot johtuvat yleensä vain komponenttien sijoituksesta, laadusta ja käyttötarkoituksesta. Yritykset kasaavat pyöränsä valmiista osista, mutta omien sovellusten ja palveluiden käyttöönotto on hankalaa suljettujen ohjelmistojen ja laitteistojen takia. Näihin järjestelmiin pystyy tekemään muutoksia vain niiden valmistaja. Lopputuloksena valmistuneet sähköpyörät muistuttavat ominaisuuksiltaan toisistaan ja asiakaskokemukset sähköpyörästä jäävät hyvin samankaltaisiksi. (Freebike Group Oy n.d.)

Opinnäytetyön tilaajan, tamperelaisen Freebike Group Oy:n, tavoitteena on ratkaista nämä ongelmat tuottamalla joustava ja avoin sähköjärjestelmä ja ohjelmistoalusta. Halutut ominaisuudet toteutetaan tekemällä kaikista rajapinnoista ja liitännöistä avoimia; tiedon ja tehon kulku sekä ohjelmat ovat vapaasti laajennettavissa ja muokattavissa. Sähköjärjestelmä on modulaarinen ja sen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa moduuleja vaihtamalla ja/tai ohjelmistollisilla päivityksillä. Freebike tarjoaa asiakkaille ohjelmiston ja sähköjärjestelmän alustan ja tähän alustaan asiakkaat voivat tehdä oman tuotteensa. Opinnäytetyötä tehdessä Freebiken tuotekehitys on vasta ns. minimum viable product eli pienin toimiva tuote -vaiheessa. Tämä tarkoittaa sitä, että rakenteilla on tuote, jota voidaan esitellä varhaisille asiakkaille ja sidosryhmille esimerkkinä siitä mitä lopullinen tuote voisi sisältää. Tuotekehityksen aikana konsepti vahvistuu testien ja suunnittelun myötä markkinoille laskettavaksi tuotteeksi. Kuvassa 1 on esitelty Freebiken tuotekehityksen vaiheet. (Freebike Group Oy n.d.)



KUVA 1. Freebike konseptin tuotekehitys (Freebike Group Oy n.d, muokattu)

Tästä opinnäytetyöstä tulee ilmi, minkälaista moottori-, akku- ja ohjainlaitetekniikkaa sähköpyörissä käytetään ja mitä tulevaisuuden trendejä näihin tekniikoihin liittyy. Lisäksi selvitetään miten sähköpyörän keskiömoottorilta ja akkupaketilta haluttuja ominaisuuksia voitaisiin toteuttaa konseptitasolla. Työtä ja sen osia voidaan käyttää teoriaohjeena sähköpyörätekniikasta ja esittelymateriaalina asiakkaille ja yhteistyökumppaneille.

2 TEORIA

Sähköpyörä on laaja käsite joka pitää sisällään hyvin eri tyyppisiä, tehoisia ja eri lakien alle kuuluvia sähköisiä kulkuneuvoja. Suomessa sähköpyöriä voidaan jakaa kahteen pääluokkaan lainsäädännön perusteella. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat sähköpyörät, jotka rinnastetaan laissa tavalliseen moottorittomaan pyörään. Tämänlainen sähköpyörä saa sisältää enintään 250 W nimellistehoisen moottorin, joka kuitenkin saa toimia vain, kun pyörää poljetaan. Kyse on siis sähköavusteisesta pyörästä, jota kutsutaan joskus myös englanninkielisellä nimellä *pedal assisted cycle* tai *pedelec*. Näille pyörille on asetettu lisäksi rajoite, että moottori saa avustaa vain 25 km/t nopeuteen asti; nopeammin mentäessä moottori ei enää käy. (Trafi 2017.)

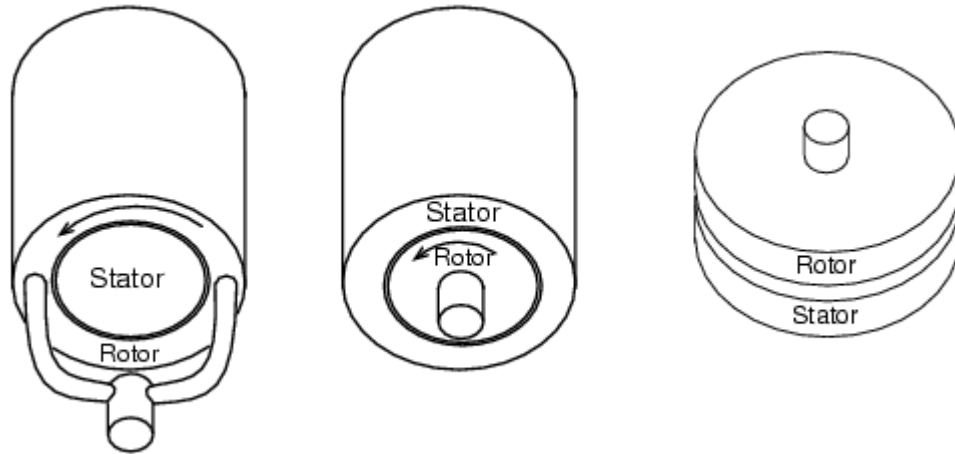
Toinen luokka on kevyet sähköajoneuvot, joiden moottoriteho saa olla maksimissaan 1000 W. Näissä sähköpyörissä moottori saa käydä myös silloin kun pyörää ei poljeta eli laite voi olla kokonaan moottorivetoinen. Huippunopeus ei kuitenkaan saa näissäkään pyörissä nousta yli 25 km/t moottorin avustuksella. Kevyt sähköajoneuvo vaatii kuitenkin liikennevakuutuksen erona sähköavusteiseen pyörään. Jos pyörä on tehokkaampi kuin 1000 W ja/tai kulkee moottorin vetämänä tai avustamana yli 25 km/h sitä ei pidetä enää polkupyörinä vaan ne katsotaan mopoiksi. (Trafi 2017.)

Kumpaakin sähköpyörätyyppiä sitoo samat pyöräilyyn liittyvät lait. Pyörällä saa ajaa vain pyörätiellä tai ajoradalla (pois lukien alle 12 vuotiaat lapset) ja pyörässä tulee olla äänimerkki, heijastimet edessä takana ja sivulla, etuvalo joko henkilössä tai kulkuneuvossa kiinni sekä jarru. (Polkupyöräwiki n.d.)

2.1 BLDC-moottori

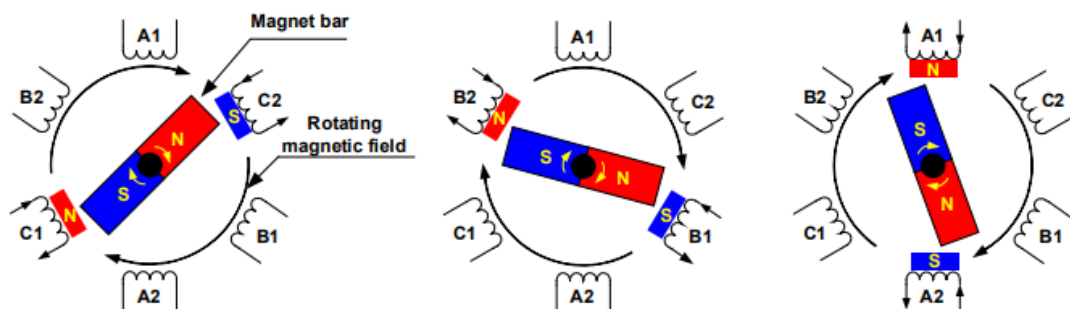
Sähköpyörissä useimmiten käytetty moottorityyppi on BLDC-moottori. BLDC-moottori (BrushLess Direct Current) tarkoittaa suomennettuna harjatonta tasavirtamoottoria. Tämä moottorityyppi koostuu käämitystä staattorista, kestopagnetoidusta roottorista ja moottorin asentoa tarkkailevasta anturista. BLDC-moottoreita on kahta tyyppiä; sisäpyöräijöitä ja ulkopyöräijöitä. Nimensä mukaisesti sisäpyöräijässä kestopagneettiroottori pyörii kää-

mitetyn staattorin sisällä ja vastaavasti ulkopyöräjässä roottori pyörii staattorin ulkopuolella. Lisäksi on olemassa ns. pannukakkumoottoreita joissa staattori ja roottori ovat rinnakkain. Sähköpyörissä napamoottorit ovat ulkopyörjööitä ja keskiömoottorit sisäpyörjööitä. Kuvassa 2 on eri moottorityyppien periaatekuvat. (All about circuits n.d.)



KUVA 2. BLDC moottorityyppejä. Järjestyksessä ulkopyörjöö, sisäpyörjöö ja pannukakku (All about circuits n.d, muokattu).

Moottori saadaan pyörimään syöttämällä staattorin käämityksiin virtaa siten, että syntyvän magneettikentän ja kestopagneetin magneettikenttä aiheuttavat toisiinsa voimavaiikutuksen (Hanselman 2006, 5-7). Kuvassa 3 on esitelty kolmivaiheisen sisäpyörjöö -tyyppisen harjattoman tasavirtamoottorin toimintaperiaate yksinkertaisesti. Moottori voi olla myös valmistettu 1 ja 2 vaiheiseksi, mutta kolmivaiheinen on yleisesti suosituin (Microchip 2003, 1).



KUVA 3. BLDC-moottorin toimintaperiaate yksinkertaistettuna (Zhao & Yu 2011, 8)

Kuvasta 3 nähdään, kuinka staattoriin tuotetulla kiertävällä magneettikentällä saadaan kestopagneettinen roottori seuraamaan kentän mukana. Moottorin aiheuttama vääntö saadaan tasaisemmaksi tästä yksinkertaistetusta mallista, kun staattorin napaan johdetaan

vastakkaisuuntainen virta roottorin navan ohitettua se. Näin tehtäessä roottoria vetää puoleensa sitä edellä oleva staattorinapa ja hylkii sen ohittama napa. (Learn engineering n.d.)

Jotta käämejä voitaisiin käynnistää ja sammuttaa oikeassa järjestyksessä, on tiedettävä roottorin asento suhteessa käämeihin. Tähän käytetään tyypillisesti Hall-anturia. Hall-anturi havaitsee roottorin asennon magneettikentän perusteella; tietyn asteluvun välein staattoriin asetellut anturit aistivat eri tiloja riippuen siitä onko niiden kohdalla roottorin magneetin etelä vai pohjoisnapa. Anturit ja asennosta kertovat magneetit voidaan asettaa myös joissain tapauksissa moottorin ulkopuolelle. Tällöin magneetit ovat kuitenkin yhteydessä roottoriin, jotta sen asentoa voidaan havainnoida. Moottorin jokainen anturi saa siis tilatiedon 0 tai 1 ja tilatietojen yhdistelmän mukaan kontrolleri tietää roottorin aseman ja voi ohjata staattorin käämitystä oikein. (Zhao & Yu 2011, 15-17.)

Moottori voi olla myös sensoriton, jolloin roottorin asento selvitetään roottorin magneettien staattorin käämeihin indusoiman jännitteen perusteella (Zhao & Yu 2011, 17-18). Toinen vaihtoehto on, että roottorin asentoa ei tarkkailla millään tavalla vaan staattoriin syötetään kolmivaihejännitettä, joka aiheuttaa kiertävän magneettikentän ja jossain vaiheessa roottori pääsee tahtiin mukaan. Sensorittomat moottorit toimivat melko hyvin, mutta voivat nykiä ja pitää suurempaa ääntä kuin sensorilliset etenkin tilanteissa, kun ajetaan hiljaisella vauhdilla tai lähdetään paikaltaan niin että roottori ei pyöri. (Jalkanen 2018.)

2.1.1 Napamoottori

Napamoottorilla tarkoitetaan sähköpyörän renkaan akselille kiinnitettyä moottoria. Kuvassa 4 on esitelty napamoottorin sijainti renkaassa. Napamoottori voi olla myös takapyörän akselilla. Napamoottoreita on sekä vaihteellisia että vaihteettomia eli ns. direct drive moottoreita. Yleisimmin napamoottorit ovat kuitenkin suomessa vaihteellisia pienemmän koon, painon ja tehon vuoksi. Direct drive -moottorit ovat usein suurempia teholtaan, kuin Suomen lain määräämä 250 W raja sähköpyörälle. (Ebikeschool n.d a.)



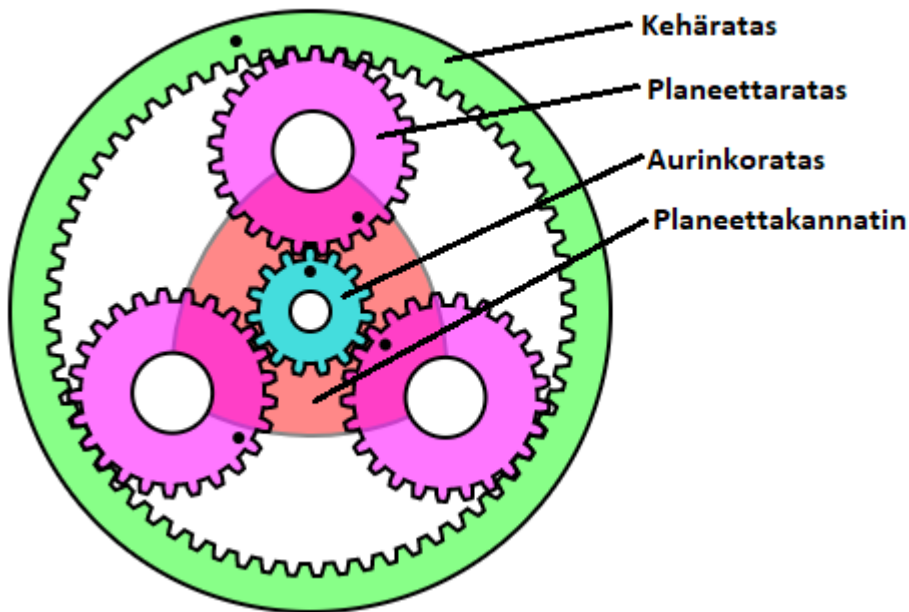
KUVA 4. Napamoottori (Sähköfillari n.d a, muokattu)

Napamoottorissa akseli on kiinni käämityssä staattorissa. Staattorin ympärillä oleva roottori on vuorostaan kytkeytynyt moottorin kuoreen yleensä planeettavaihteiston kautta. Planeettavaihteisto toimii alennusvaihteena, jonka avulla moottoria voidaan pyörittää paremman hyötysuhteen kierrosalueilla. Toisin sanoen nopeudet pysyvät pyöräilyyn sopivina ja moottorista saadaan paremmin vääntöä. Moottorin kuori on kiinnitetty pinoilla vanteeseen. Kuvassa 5 on tyypillisen, Bafang merkkisen, napamoottorin staattori ja roottori. (Ebikeschool n.d a.)



KUVA 5. Tyypillisen napamoottorin staattori ja roottori

Kuvassa 5 sisäkehällä oleva käämitys kuuluu staattoriin ja ulkokehällä olevat kestopagneetit roottoriin. Vaihteellisissa napamoottoreissa käytetään planeettavaihteistoa. Planeettavaihteisto on suoraan aurinkorattaastaan kiinni roottorissa. Voima saadaan siirtymään planeettarattaitten kautta kehärattaalle, joka on kiinni moottorin pyörivässä kuorissa. Kuvassa 6 näkyy periaatekuva planeettavaihteistosta.



KUVA 6. Planeettavaihteisto (The Catalytis n.d, muokattu)

2.1.2 Keskiömoottori

Keskiömoottorilla tarkoitetaan sähköpyörän runkoon, poljinten akselille tai niiden lähis-
tölle, kiinnitettyä moottoria. Keskiömoottorit vaativat tyypillisesti erikoisrakenteisen run-
gon johon moottori voidaan kiinnittää. Kuvassa 7 on esitelty keskiömoottorin sijainti.
(Electric bike report 2015.)



KUVA 7. Keskiömoottorin sijainti (Sähköfillari n.d b, muokattu)

Keskiömoottori koostuu tyypillisesti sisäpyöräjä -tyyppisestä moottorista, joka on vaihteiston kautta yhteydessä poljinten akseliin. Kuvassa 7 on keskiömoottori avattuna.



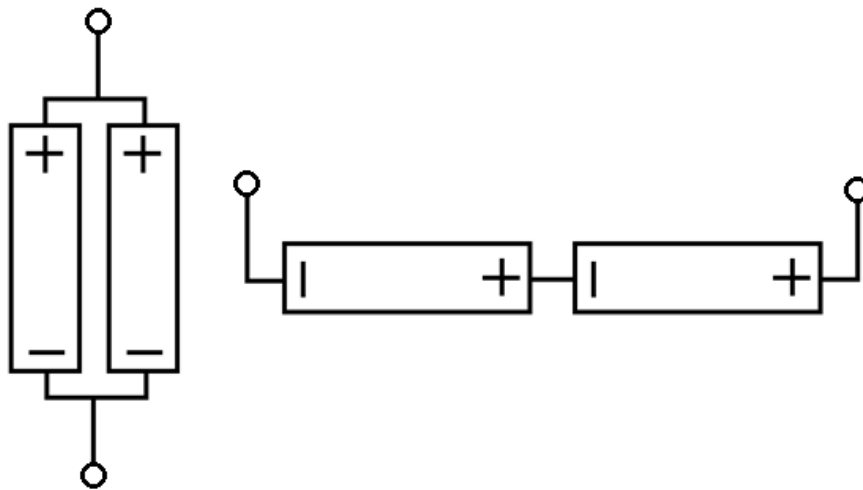
KUVA 8. Sähköpyörän keskiömoottori

Kuvassa 8 oikealla musta alue on staattori, jonka sisällä pyörivän roottorin nopeus alennetaan pyöräilyyn sopivaksi vasemmalla näkyvän vaihteiston avulla. Vihreät piirilevyt sisältävät antureita jotka mittaavat akselien nopeutta ja asentoa.

2.2 Akkupaketti

Sähköpyörien energianlähteenä käytetään ladattavia akkupaketteja. Akkupaketit muodostuvat kennoista, joissa kemiallinen energia muutetaan sähköiseksi energiaksi hapetus-pelkistysreaktion avulla. Vastaavasti akkua ladataessa sähköinen energia muutetaan takaisin kemialliseksi energiaksi. Akkupaketilta energiaa johdetaan pyörän sähköenergiaa kuluttaville osille kuten moottorille, kontrollerille, valoille, hallintavälineille ja näyttölaitteille. (Linden & Reddy 2002, 1.3.)

Yksittäisiä kennoja voidaan kytkeä toisiinsa rinnan ja sarjaan. Rinnankytkennässä kennojen positiiviset navat kytketään yhteen samoin kuin negatiiviset navat. Tällöin muodostuneen akun jännite on yhä sama kuin yksittäisen kennon, mutta sen kapasiteetti (*Amppeeritunti, Ah*) on yksittäisten kennojen kapasiteettien yhteenlaskun tulos. Sarjaankytkennässä kennojen erimerkkiset navat kytketään yhteen ketjuksi. Tässä tapauksessa kytketyn akun kapasiteetti on yhtä suuri kuin yhden kennon kapasiteetti mutta nimellisjännite on yksittäisten kennojännitteiden summa. Kuvassa 9 on esitelty sarjaan- ja rinnankytkennän ero. (Ebikeschool n.d b.)



KUVA 9. Rinnan- ja sarjaankytkennän ero

Yksittäisten kennojen ominaisuudet kuten kapasiteetti ja nimellisjännite riippuvat valmistajasta ja käytetyistä materiaaleista, mutta tyypillisen, sähköpyörässä käytettävän, litiumioni kennon nimellisjännite on noin 3,6 - 3,7 V ja kapasiteetti 1250 - 3600 Ah (best18650battery 2016; Battery University 2017a). Nykyisissä akkupaketeissa kennoja kytketään sarjaan ja rinnan, jotta saadaan moottorille ja kontrollerille riittävä jännitetaso

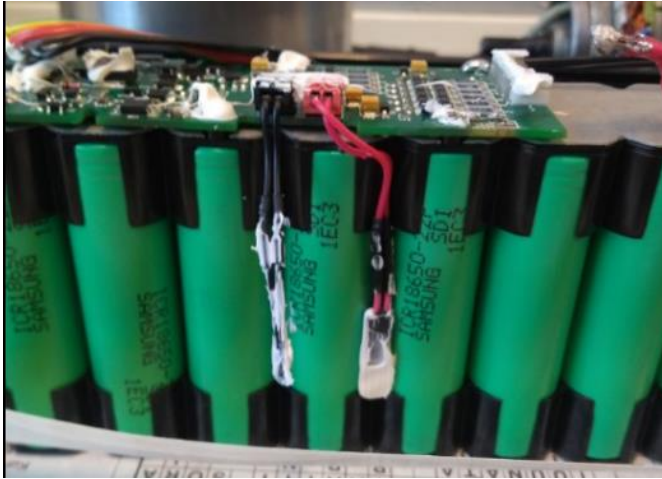
ja käyttötarkoitukseen riittävä kapasiteetti. Jos halutaan esimerkiksi 36 V 8,8 Ah akkupaketti 2200 mAh 3,6 V kennoista, tulee kytkeä kymmenen neljän kennon rinnankytkentää sarjaan. Tyypillisesti akkupaketit ovatkin 36 tai 48 V. Kuvassa 10 on yksi tapa järjestää kennoja.



KUVA 10. Akkupaketin kennojen kytkentöjä.

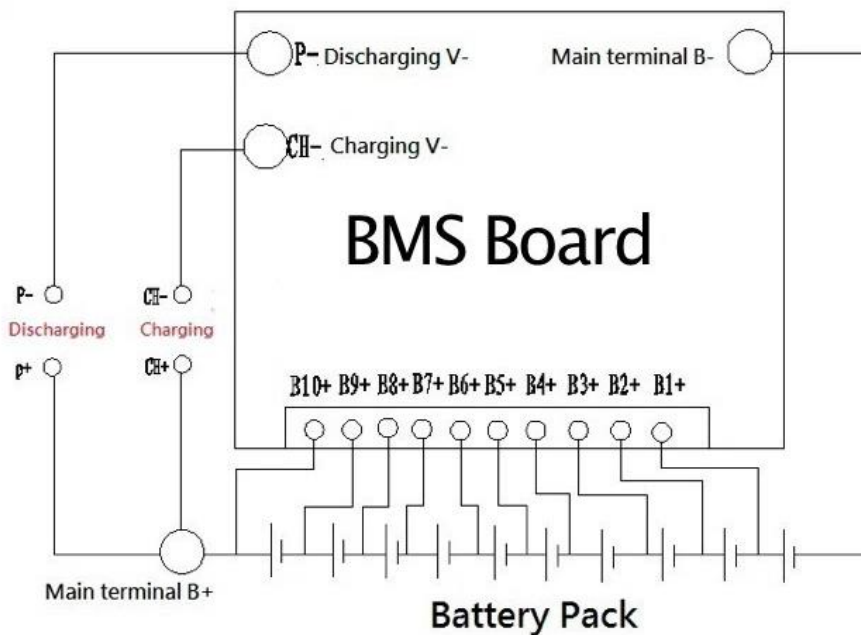
Kuvasta 10 nähdään, kuinka kennot on kiinnitetty toisiinsa pistehitsatuilla johdinlevyillä. Tässä tapauksessa neljän kennon rinnankytkentöjä on laitettu sarjaan toistensa kanssa.

Akkupaketeissa yhteen kytketyt kennot on kytketty akunvalvontajärjestelmään. Tätä järjestelmää kutsutaan myös nimellä BMS eli battery management system. Sen avulla voidaan pidentää akun käyttöikää ja turvallisuutta. BMS:n tärkein tehtävä on mitata ja valvoa että akun lataus ei laske liian alhaiseksi tai ettei se päinvastoin ylilataudu. Monilla akkutyypeillä on oma varausalue, jonka ulkopuolelle mentäessä sen käyttöikä kärsii. Varaus-tason lisäksi BMS usein tarkkailee akun lämpötilaa, virtoja, jännitteitä, maavuotoja ja muita vikoja ja esimerkiksi käyttösykliä määrää turvallisuuden ja käyttöiän vuoksi. Näitä tietoja voidaan joissain sovelluksissa tuoda käyttäjälle esimerkiksi näyttölaitteen kanssa. Useimmiten BMS kuitenkin suorittaa valvontaansa itsekseen ja käyttäjälle tuodaan tieto vain akun varaustasosta. Kuvassa 11 on BMS akkupaketin päälle kiinnitettynä. Kyljessä olevat johtimet ovat antureita joilla voidaan mitata esimerkiksi lämpötilaa. (mpoweruk n.d.)



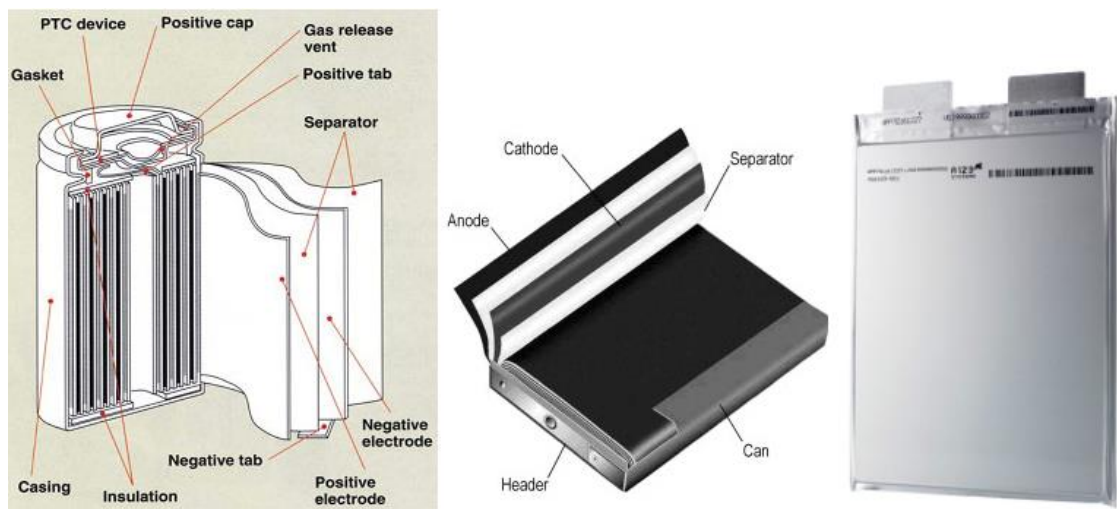
KUVA 11. BMS

BMS valitaan akun nimellisjännitteen, systeemin virrankeston ja sarjaankytkettyjen kennoryhmien lukumäärän perusteella. Yksinkertaisessa akunvalvontajärjestelmässä (kuva 12) on kolme pääliitintää: negatiivinen latausliitintä (CH-), negatiivinen syöttöliitintä (P-) ja negatiivinen akkuliitintä (B-). Latausliittimeen kytketään negatiivinen latausliitintä ja akkupaketin positiivisen napa ja syöttöliittimeen kytketään negatiivinen syöttöliitintä ja akkupaketin positiivisen napa. Negatiivinen akkuliitintä kytketään ainoastaan akun negatiiviseen napaan. Lisäksi järjestelmästä lähtee jokaiselle akkupaketin kennoryhmälle oma ns. tuntojohdin, jolla valvotaan yksittäisen ryhmän jännitetasoja. Akunvalvontajärjestelmästä voi lähteä vielä muitakin kytkentöjä esimerkiksi erilaisille antureille.



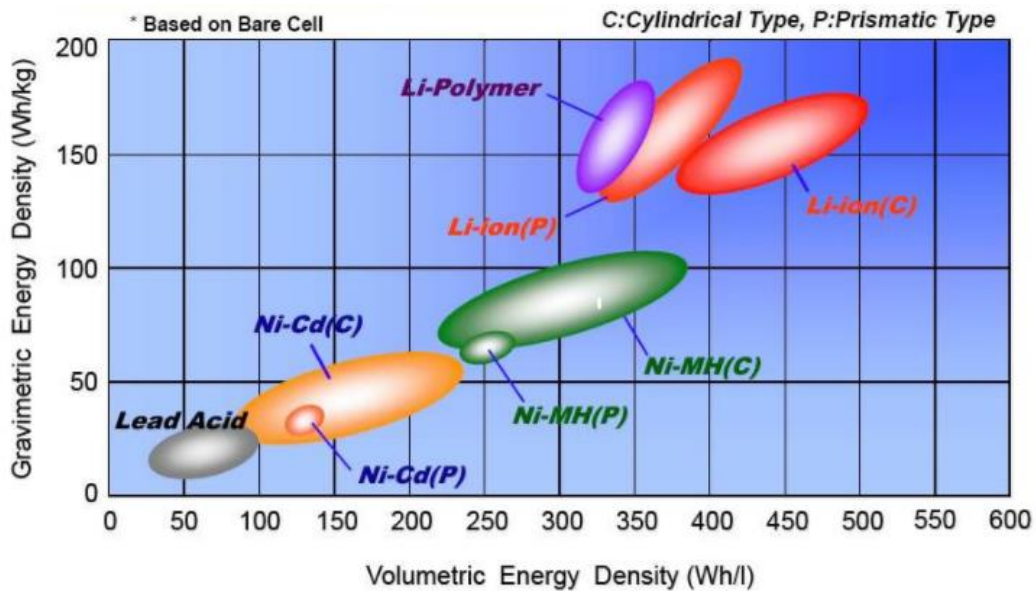
KUVA 12. BMS kytkentä (Ebikeschool n.d)

Litiumioniset 18650-kennot on suosittu formaatti sähköpyörien valmiissa ja tee-se-itse-akkupaketeissa. 18650-kenno on sylinterin muotoinen ja sen halkaisija on 18 mm ja pituus 65 mm. Kennon muoto takaa helpon valmistuksen ja hyvän mekaanisen kestävyysden. Monet sylinterikennot sisältävät myös sisäänrakennettuja turvalaitteita kuten ylipaineventtiilejä ja PTC-termistoreja jotka rajoittavat virran kulkua lämpötilan noustessa. Sähköpyörissä käytetään myös jossain määrin levy ja pussi mallisia kennoja, joiden etuna voi pitää tilaa säästävää pakkautuvuutta. Nämä mallit ovat kuitenkin usein epävakaampia muotonsa ja sisäänrakennettujen turvalaitteiden puutteen vuoksi. Kuvassa 13 on esitelty eri mallien kuvat. (Battery University 2017b.)



KUVA 13. Sylinteri-, levy- ja pussimallin kennoja (Battery University 2017b, muokattu)

Litium-ioniset kennot ovat vakiintuneet sähköpyöräkäyttöön niiden pienen koon, kevyen painon ja korkean energiatihedden (Wh/kg ja Wh/l) vuoksi. Kuvassa 14 näkyy kuinka litiumioniset ja litiumpolymeeriset kennot ovat energiatiheys/koko -suhteeltaan ylivertaisia muihin tyyppilisiin kennoihin verrattuna.



KUVA 14. Kennotyyppien vertailu (epec n.d)

Kuvassa C ja P tarkoittavat sylinterin muotoista kennoa ja levyn muotoista kennoa. Litiumioiniakkujen muita hyviä ominaisuuksia on verrattain pitkä käyttöikä, hidas itsestään purkautuminen (2-8 % kuukaudessa), huoltovapaus ja niin sanotun muisti-ilmiön puute. Muisti-ilmiö tarkoittaa akuissa niiden kapasiteetin pienenemistä, jos niitä ei välillä pureta kokonaan. Akku alkaa niin sanotusti muistaa tyypillisen purkaustasonsa ja ei purkaudu enää tämän tason alle. Negatiivisina ominaisuuksina voidaan pitää melko kallista hintaa, huonoa kylmän ja kuumen kestoa ja kohtalaisen kapeaa käyttöikkunaa latauksen suhteen, mistä johtuen akku vaatii akunvalvontajärjestelmän käyttöä. Sekä liian matala että liian korkea lataustaso rappeuttaa akkua ja pienentää pysyvästi sen kapasiteettia. Matalissa lämpötiloissa ja erityisesti jäätympisteen alapuolella akun kapasiteetti laskee huomattavasti, mutta palautuu takaisin lämmitessään uudelleen. Korkeissa lämpötiloissa (yli 65 °C) akku alkaa menettää pysyvästi kapasiteettiaan. (Linden & Reddy 2002, 28.18, 35.2.)

Akut ja varsinkin suuret akkupaketit sisältävät aina turvallisuusriskin. Mekaaniset kemialliset ja sähköiset erikoistilanteet voivat aiheuttaa akun vaurioitumisen, kemikaalien pääsyn luontoon tai elimistöön, tulipalon tai jopa räjähdysen. Omasta turvallisuudesta ja oikeusturvasta voi pitää parhaiten huolen käyttämällä akkua vain valmistajan ohjeen mukaan niin ladatessa kuin purkaessakin. Lisäksi käyttäjän turvallisuutta lisää havainnoida akkua aistinvaraisesti eli katsoa onko siihen tullut päällyspuolisia vikoja, lämpeneekö sen pinta ja kuuluuko siitä outoja ääniä. Jos vaaraa aiheuttavia vikoja kuten akun pullistumista, kuumenemistä tai valokaaria löytyy, sen käyttö on lopetettava heti. Akkuja ei tule

oikosulkea eikä säilyttää kuumassa palovaaran vuoksi. Akun saa hävittää vain sille tarkoitettun kierrätyskanavan kautta tyhjänä ja navat teipattuna oikosulkuriskin minimoimiseksi. (Tukes 2017.)

2.3 Moottorin ohjaus ja kontrolleri

Kontrolleri on laite, joka kytkee yhteen sähköpyörän komponentit: moottorin, akun ja ohjauspaneelin. Ajon aikana kontrolleri saa ajokäskyn pedaalien pyörimisnopeutta eli kadenssia tai poljinten akselin/ketjun vääntömomenttia mittaavalta anturilta. Pyörimisnopeutta mittaavaa anturia käytetään yleensä edullisemmissa sähköpyörissä. Anturi tunnistaa vain sen, että polkimia poljetaan oikeaan suuntaan ja kytkee moottorin päälle avustamaan asetetun avustustason mukaan. Vastaavasti kun ei poljeta moottori sammuu. On olemassa myös kontrollereja jotka nostavat avustustasoa kasvavan kadenssin mukaan. Ongelmiksi kadenssiin perustuvissa ohjaustavoissa tulee jyrkät mäet ja paikaltaan lähtemiset joissa matalan kadenssin vuoksi avustuksen päälle kytkeytymisessä voi kestää tai oikein hitaasti polkiessa avustus voi kytkeytyä kokonaan pois päältä. Ylipäätään kadenssiin perustuva ohjaus on karkea ja voi tuntua nykivältä ja hitaasti reagoivalta. Kuvassa 15 on esitelty tyypillinen kadenssianturi. (Ebikes n.d.)



KUVA 15. Kadenssianturi (ebikeee 2012)

Anturi kiinnitetään pyörän keskiölaakerin akselille siten, että kiekko pyörii akselin mukana ja itse anturi pysyy sen rinnalla paikoillaan havaitsemassa pyörintää. Kuvassa 15 oleva anturi on tyypillinen hall-tekniikkaan perustuva pyörän akselilla näkyvä kadenssianturi. On olemassa myös muihin tekniikoihin perustuvia pyörimisnopeusantureita ja sellaisia, jotka ovat piilossa pyörän rakenteissa. Mustassa kiekossa näkyvät hopeiset napit

ovat magneetteja joiden asemaa havaitaan mittapäissä olevien hall-antureiden avulla. Magneettien määrä vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti anturi havaitsee liikkeen. (Ebikes n.d.)

Momenttianturilla toteutettu ohjaus on edistyneempää tekniikkaa. Siinä anturi mittaa poljennasta syntyneen momentin suuruutta ja samassa suhteessa kasvattaa moottorin avustusta. Annetun avustuksen tasoon kuitenkin voi usein vaikuttaa omalla valinnalla käyttöpaneelin kautta. Momenttiin perustuva ohjaus vastaa lähes joka ajotilanteessa tarvittavaa avustustasoa ja tästä johtuen tuntuu usein enemmän tavallisen pyörän ajamiselta, mutta vain kevennettynä. Lisäksi tässä ohjaustavassa momenttiin reagoidaan lähes välittömästi, joten viiveitä ja nykimisiä ei juuri esiinny. Momenttiantureita on monilla eri tekniikoilla ja useisiin eri paikkoihin asennettavia. Tyypillisimmät asennuspaikat ovat pyörän keskiössä ja taka-akselilla. Muita momentin mittaustaikkoja on esimerkiksi etu- ja takaratas-pakat, pedaalit ja ketju. Itse mittaustekniikoita ja niihin liittyviä patenteja on useita. Käytettyjä mittaustekniikoita on esimerkiksi venymäliuska-anturi, jonka resistanssi muuttuu momentin aiheuttaman venymän vuoksi ja erilaiset jousien venymän ja hall-antureiden yhdistelmällä toimivat anturit. Riippumatta käytetystä tekniikasta tarkoituksena on saada mahdollisimman tarkka mittaustaikosta ilman huomattavaa tuntemusta anturissa tapahtuvasta venymästä. Kuvassa 16 on taka-akselille kiinnitettävä momenttianturi, jonka toiminta perustuu ketjusta välittyvän momentin aiheuttamaan metalliosien poikkeamaan. Tämän poikkeaman suuruutta mitataan hall-anturilla ja anturilta lähtevän signaalin voimakkuuden perusteella moottorin avustusta kasvatetaan tai pienennetään. (Ebikes n.d.)



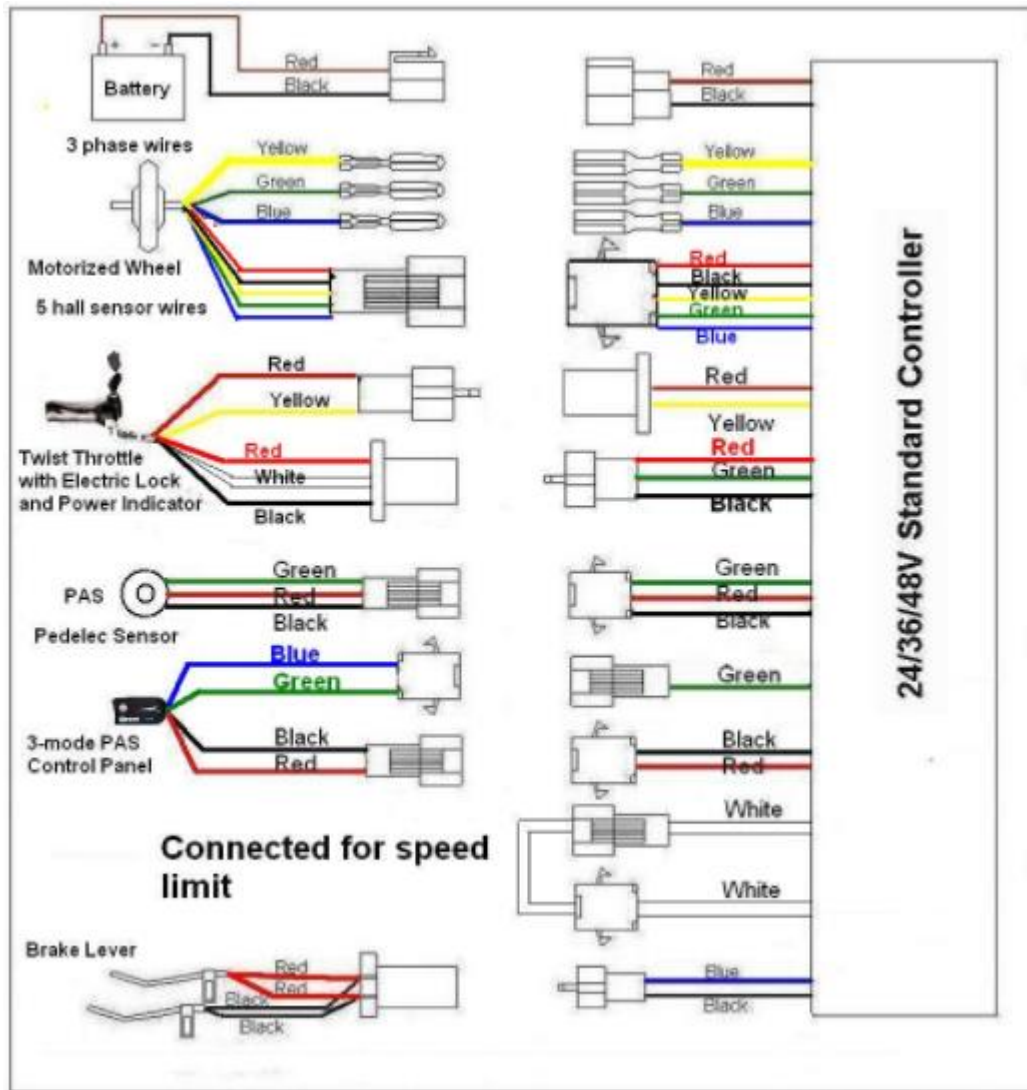
KUVA 16. Momenttianturi (Idbike n.d)

Usein momenttiohjauksella toimiviin sähköpyöriin laitetaan myös jonkinlainen pyörimisnopeuden tunnistus. Tällä voidaan tarkentaa tarvittun avustuksen tarvetta ja esimerkiksi estää moottorin käynnistyminen, jos vaikka lepuuttaa jalkaansa liikennevaloissa polkimen päällä. Tässäkin tapauksessa pyörimisanturin käyttäminen aiheuttaa kuitenkin viivettä avustuksen päälle kytkeytymiseen. (Ebikes n.d.)

Jos ei halua käyttää avustustasoa mittaavia antureita, voi moottoria ohjata myös suoraan tankoon asennetulla ”kaasukahvalla”. Kaasukahvat toimivat usein säätöavustuksen tai hall-tekniikan avulla eli kahvaa kääntäessä piirin vastus tai sensorin havaitsema magneetikenttä muuttuu ja tämän perusteella moottorin avustusta lisätään tai lasketaan. Tällöin myöskään poljenta ei vaadita etenemiseen vaan kahvaa kääntäessä pyörä liikkuu vain moottorin voimalla. Kuten jo aikaisemmin mainittiin Suomessa ja monissa muissa maissa lainsäädäntö rajoittaa jossain määrin sellaisten sähköpyörien käyttöä joita ei tarvitse itse polkea. Suomessa tällainen pyörä täytyy liikennevakuuttaa ja siksi niiden käyttö on harvinaisempaa. (Jalopnik 2013.)

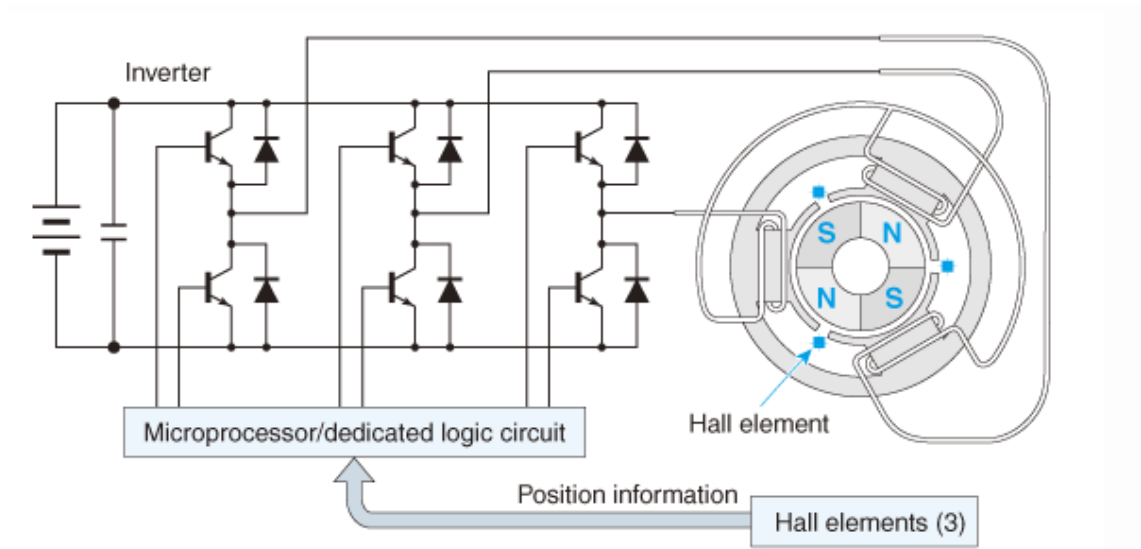
Kontrolleri saa myös muita tilatietoja kuin polkeminen ja/tai siihen käytetty voima. Pyörän etenemisnopeutta tarkkaillaan runkoon, renkaan viereen, asennettavan magneetikytkimen avulla. Renkaaseen kiinnitetään magneetti ja pyöriessään se ohittaa kytkimen ja muuttaa sen asentoa kiinni tai auki. Nopeuden laskenta kontrollerissa perustuu näiden magneetikytkimen tilamuutoksien taajuuteen ja renkaan kokoon; renkaan piirin pituus kerrotaan kytkentätaajuudella ja saadaan pyörän etenemisnopeus. Nopeutta mitataan, jotta moottorin avustus voidaan kytkeä pois lain salliman nopeuden jälkeen (Suomessa yleensä 25 km/h). (Explain that stuff 2018.)

Myös jarrujen käytöstä tarvitaan tietoa, jotta moottori voidaan kytkeä pois päältä, kun jarrua painetaan. Jarruissa käytetään useita eri kytkintekniikoita joista tyypillisenä voi mainita magneetikytkimen. Kontrolleri kytketään myös pyörän käyttöliittymään eli se saa käyttäjältä tietoa pyörän käyttöönotosta (avain, päälle/pois-kytkin) ja valitusta avustustasosta. Toisaalta kontrollerilta voidaan viedä tietoa käyttäjälle näytön kautta esimerkiksi nopeudesta, akun varaustasosta ja moottorin tehosta. Kuvassa 17 on esimerkki kontrollerin kytkennöistä. Esimerkkikontrolleriin on kytketty hieman Suomessa tyypillisistä sähköpyörämalleista poiketen sekä kaasukahva että poljenta-avustuksen anturi. (Electricbike 2016.)



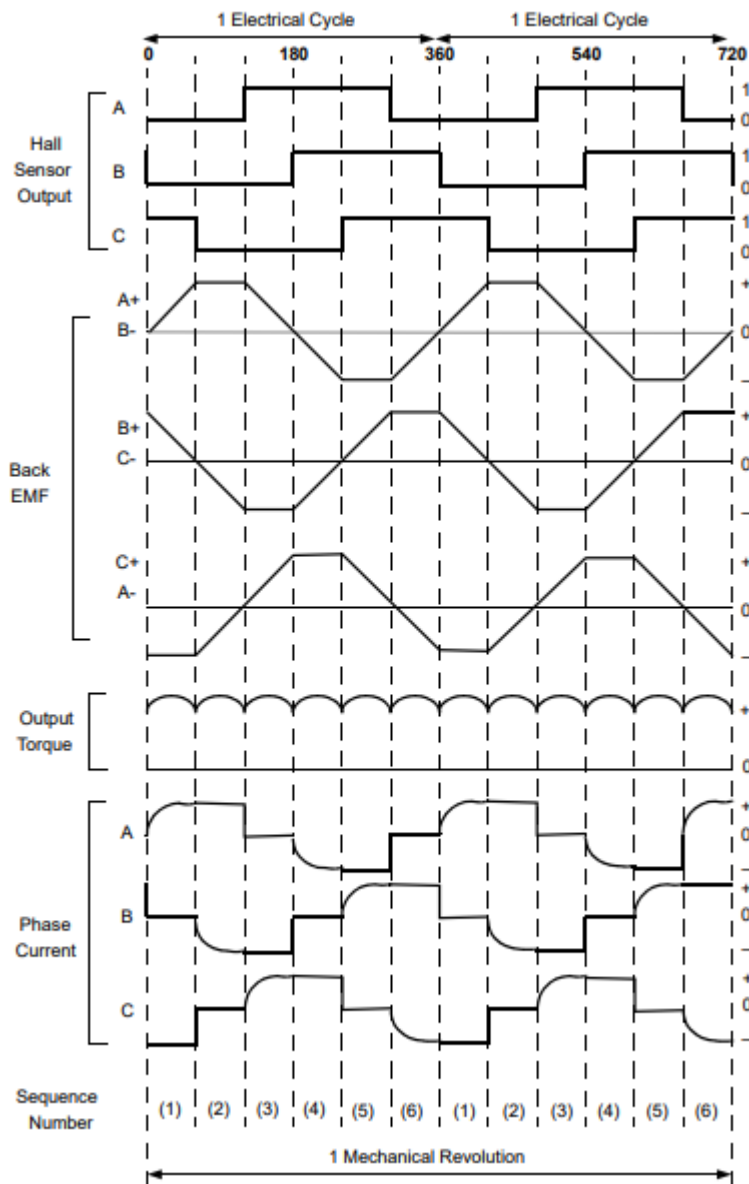
KUVA 17. Esimerkki kontrollerin kytkennöistä (Conhismotor n.d, muokattu)

Kontrolleri ohjaa moottoria tuottamalla kanttiaaltoa. Kanttiaalto muodostuu korkean kyt-
kentätaajuuden työsykleistä. Näiden työsykliä pituutta kasvattamalla tai lyhentämällä
saadaan kanttiaallon keskiarvojännitteen vaihtelua, joka puolestaan vaikuttaa moottorin
pyörimisnopeuteen; keskiarvojännitteen noustessa moottorin nopeus kasvaa. Kontrollerin
sisällä on mikropiiri, joka ohjaa invertterisillan kytkimiä. Invertterisillassa negatiivinen
ja positiivinen kisko on kytketty akun napoihin ja sillan kytkimiä avaamalla ja sulkemalla
oikeaan tahtiin saadaan aikaan moottorille napaisuuttaan vaihtavaa kanttiaaltoa. Kuvassa
18 on kolmivaiheisen, hall-anturillisen, BLDC-moottorin ohjauskytkentä. (Microchip
2003, 8.)



KUVA 18. Kolmivaihemoottorin ohjauskytkentä (Nidec n.d)

Kytkimet ovat usein MOSFET transistoreita, jotka saadaan johtaviksi tuomalla niiden kannalle jännite. Kuvan kolmivaiheisessa invertteripiirissä jokaista vaihetta kohden on kaksi kytkintä joiden kiinni ja auki ololla vaikutetaan siihen minkä tilan vaihe saa: positiivisen jännitteen, negatiivisen jännitteen vai ei jännitettä ollenkaan. Transistorit on suojattu moottorin käämityksiin takaisin indusoituvalta jännitteeltä niiden viereen kytkettyjen diodien avulla. Jännite pääsee purkautumaan diodin kautta eikä jää vaikuttamaan transistorin yli. Jokaisen sähköisen kierroksen aikana käydään läpi 6 askelta joiden aikana vaihe saa kaikki kolme tilaa. Kuvassa 19 on esitelty hall-anturien tilatietojen, takaisin käämeihin indusoituvan jännitteen (Back EMF), moottorin väännön ja vaihevirtojen välistä yhteyttä kahden kuuden askeleen sähköisen kierroksen aikana. Roottorin napaparien lukumäärä kertoo, kuinka monta sähköistä kierrosta tarvitaan yhteen mekaaniseen akselin kierrokseen. Kuvan 19 moottorilla on siis kaksi napaparia roottorissa. (Microchip 2003, 8.)

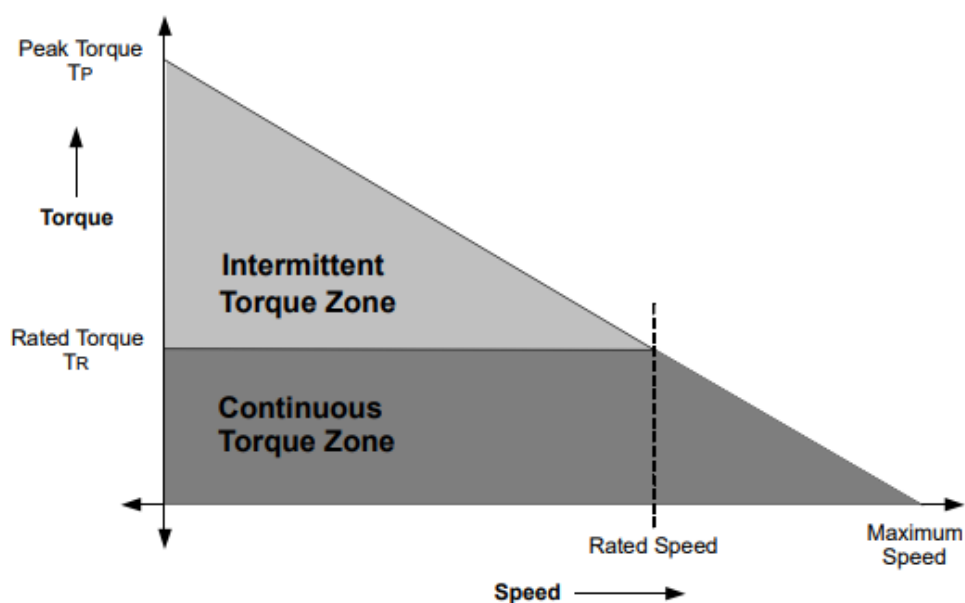


KUVA 19. BLDC-moottorin käyrämuotoja (Microchip 2003, 9)

Kuten jo aikaisemmin on mainittu, BLDC-moottori voi olla sensorillinen tai sensoriton. Sensorillisessa moottorissa roottorin asentotieto saadaan anturilta (hall, optinen, resolveri) ja viedään kontrollerille, joka osaa tiedon perusteella laskea oikean kommutoinnin moottorille. Sensorittoman moottorin tapauksessa tutkitaan roottorin indusoimaa jännitettä pyörimisen aikana sammutettuna olevassa vaiheessa. Kun vaihe ei ole kytketty siihen indusoituu jännite, joka on joko nousemassa tai laskemassa nollajännitteen yli tai ali. Ideaalisesti muutos tapahtuu sähköisen kierroksen askeleen puolella välissä eli 30 asteen päästä edellisestä askeleesta ja 60 asteen päästä edellisestä nollakohdasta. Kun nollakohdan ohi mennään, tiedetään muuttua kommutoinnin tilaa 30 asteen päästä. Tähän kuluva aika voidaan usein pitää nopeudesta riippuen vakiona. Koska vaiheeseen ei in-

duoidu jännitettä moottorin ollessa paikoillaan tai matalilla nopeuksilla, joudutaan moottorin käynnistyksessä turvautumaan erilaisiin tekniikoihin, kuten pakotettuun roottorin asentoon tai kontrollerin muistissa oleviin vakiokommutointiaikoihin. Sähköpyörissä yleensä vain odotetaan, että nopeuden kasvaessa indusoitunut jännite on riittävän suuri kommutoinnin laskemiseksi. Signaalia voidaan myös vahvistaa erilaisilla vahvistinpiireillä. Sensorittomat ja sensorilliset tekniikat toimivat yleensä myös nopeustiedon takaisinkytkentänä. Tällöin nopeustietoa voidaan vertailla nopeusohjeeseen ja siten tarkentaa moottorin ohjausta vastaamaan kuormituksen muutoksiin. (Sirkiä 2006, 12-14).

Moottorin ohjauksessa tulee ottaa huomioon BLDC-moottorin ominaisuudet. Kun moottorin syöttöjännitteen tasoa kasvatetaan pulssisuhteen avulla, energisoitujen käämien potentiaaliero kasvaa. Potentiaalieron kasvaminen aiheuttaa, ohmin lain mukaisesti, käämien läpi kulkevan virran kasvua, kun käämin resistanssi pysyy samana. Virran kasvu vahvistaa käämien tuottamaan magneettikenttää ja siten vahvistaa käämien ja kestopagneettien välistä voimavaikutusta eli vääntö kasvaa. Väännön kasvaessa roottori pyörii nopeammin seuraavaan kommutointitilaansa ja moottorin nopeus kasvaa. Nopeuden kasvaessa myös takaisin käämeihin indusoituvan jännitteen suuruus kasvaa. Koska takaisin indusoituva jännitteen polariteetti on syöttöjännitteelle vastakkainen se vähentää käämien potentiaaliero. Potentiaalieron pieneneminen aiheuttaa aikaisemmin kuvatusti, mutta käänteisesti väännön pienenemistä. Kuvassa 20 on esitetty BLDC-moottorin väännön ja nopeuden välinen suhde. (Microchip 2003, 12.)



KUVA 20. BLDC-moottorin momentti pyörimisnopeuden funktiona (Microchip 2003, 6)

Kuvasta 20 nähdään, kuinka nopeuden kasvaessa momentti pienenee. Moottorin ominaisuudet määrittävät sen jatkuvan kuormitettavuuden alueen. Tämän alueen ylärajana toimii moottorin nimellismomentti. Moottorin nimellisyörimisnopeus on korkein nopeus, jolla moottoria voidaan kuormittaa nimellismomentilla. Nimellisyörimisnopeutta suuremmilla nopeuksilla vääntömomentti tippuu alle nimellisen. Syöttöjännitettä muutettaessa käyrän kulmakerroin pysyy samana, mutta sen asema x-akselilla muuttuu. (Microchip 2003, 6; Bei Kimco n.d.)

3 TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

3.1 Moottori- ja vaihteistotekniikka

Moottorien perustekniikkaan ei ole tulossa mittavia muutoksia vaan tasaisesti vääntävä, pieni, huoltovapaa ja tehokas harjaton tasasähkömoottori tulee olemaan yleinen vaihtoehto sähköpyörien voimanlähteeksi. Moottoreiden ominaisuuksia voidaan kuitenkin parantaa tarkempien valmistusmenetelmien ja parempien materiaalien avulla. Esimerkiksi moottorin geometria, staattorin piiteräslaminaattien paksuus, johdinmateriaalien puhtaus ja moottorin jäähdytyksen tehokkuus vaikuttavat sen hyötysuhteeseen. Koneiden käyttö moottoreiden valmistuksessa vähentää ihmisestä johtuvaa virhettä laadussa. Käsien käännettäessä ja koottaessa voi tulla pieniä epätasaisuuksia tai vaurioita rakenteeseen, jotka vaikuttavat suoraan moottorin käydessä sen sisällä syntyneiden magneettikenttien suuntaan ja voimakkuuteen ja sen kautta moottorin hyötysuhteeseen. (Electrical engineering portal 2015.)

Myös magneettien avulla voidaan parantaa moottorin ominaisuuksia, mutta uusien magneettisten materiaalien luominen on kuitenkin hidasta ja haastavaa työtä. Vuonna 2017 luotiin kaksi uutta magneettista materiaalia Co_2MnTi ja Mn_2PtPd , joista erityisesti Co_2MnTi on sähköpyörien osalta kiinnostava korkean Curie-pisteensä vuoksi ja koska se ei sisällä hintaa nostavia harvinaisia maametalleja. Curie-piste on lämpötila jossa magneettinen aine menettää magneettisuutensa. Uusien magneettien löytymisen myötä vahvistui myös uuden, magneettisia ominaisuuksia arvioivan, tietokonesimulaation toiminta. Magneettien halvempi hinta ja paremmat magneettiset ja lämpötilaominaisuudet tuovat lisää mahdollisuuksia sähköpyörien moottoritekniikkaan. (Duke University 2017.)

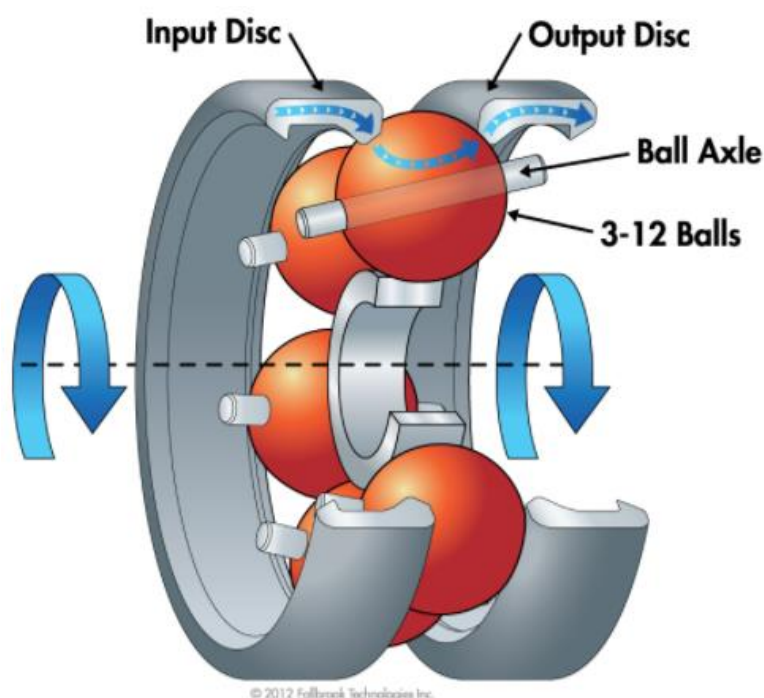
Moottoritekniikan suurimmat trendit liittyvät moottorien ja siihen kytketyn voimansiirron rakenteeseen. Moottoreista pyritään tekemään keveitä, huomiota herättämättömiä, hiljaisia ja joissain tapauksissa modulaarisia tai runkoon integroituja. Esimerkkinä tämänlaisesta uudentyyppisestä suunnittelufilosofiasta voidaan pitää vuonna 2017 Fazua rajavastuuyhtiön markkinoille tuomaa evation 1.0 (kuva 21) ajojärjestelmää. Järjestelmään kuuluu poljinten akselille liitettävä pidike- ja anturiosa, johon voidaan liittää helposti sylinterin mallinen moottori ja akku. Systemistä saadaan eri pyörävalmistajien suunnitteluratkai-

suista riippuen huomaamaton ja pyörän runkoon sulautuva. Rakenteesta tekee käyttäjäystävällisen modulaarisuus; moottorin ja akun voi irrottaa, jos haluaa keventää pyörää avustamatonta pyöräilyä varten. (Fazua n.d.)



KUVA 21. Fazua evation 1.0 ajojärjestelmä (Fazua,n.d)

Markkinoilla on alkanut yleistyä portaattomat ja automaattiset vaihteistot. Joissain vaihteistoissa nämä ominaisuudet on yhdistetty. Portaaton vaihteisto on sellainen, että sillä ei ole tarkasti määrättyjä ja asetettavia välityssuhteita, vaan vaihdealueella suhteen voi valita liukuvasti. Esimerkki sähköpyörässä käytettävästä portaattomasta vaihteistotekniikasta on NuVinci CVP (*Constantly Variable Planetary transmission*) (kuva 22). Nimensä mukaisesti vaihteisto muistuttaa rakenteensa puolesta perinteistä planeettavaihteistoa, mutta planeettarattaat on korvattu pyörivillä laakereilla ja kehäratas on korvattu kahdella voimansiirtorenkaalla. Laakerit on aseteltu kahden renkaan väliin ja niiden välistä vaihdesuhdetta voidaan vaihtaa portaattomasti kääntämällä laakerien akselia puolelta toiselle keskellä olevan aurinkorenkaan sivuttaissuuntaista asemaa muuttamalla. Kun laakerit ovat kallella toiseen suuntaan, voimansiirtorenkaat kulkevat eri pituisen matkan laakerin pinnalla yhden laakerin akselinsa ympäri kierroksen aikana. Tämä ero saa aikaan alennus- tai ylennysvaihteen. Pito pyöreän laakerin ja renkaan välillä saadaan aikaan siihen suunnitellun aineen avulla. Paineen alla aine kiinteytyy ja syntynyt kitka mahdollistaa väännön siirtymisen. (Fallbrooktech n.d.)



KUVA 22. NuVinci CVP vaihteiston periaatekuva (Fallbrooktech n.d)

Tekniikka on ollut käytettävissä jo vuodesta 2006, mutta sen käyttö sähköpyörissä on yleistynyt hiljalleen eri pyörävalmistajien tuodessa markkinoille tällä vaihteistolla varustettuja malleja.

Automaattivaihteistoa käytettäessä systeemi päättää itsestään vaihteiden vaihtamisesta pyöräilyn laadun perusteella. Järjestelmästä riippuen pyöräilyn laatua voidaan analysoida etenemisnopeuden ja poljentanopeuden avulla. Yksinkertaisimmat automaattivaihteistot vaihtavat vaihteita pelkästään etenemisnopeuden perusteella; edetessä hitaasti käytetään pientä vaihdetta ja nopeasti edetessä suurempaa. Edistyneemmissä malleissa on usein enemmän vaihteita ja vaihteiston ohjauksessa otetaan huomioon muitakin anturitietoja kuten poljentanopeus. Nämä lisäominaisuudet tekevät vaihteiden vaihdosta tarkemmin pyöräilytilanteeseen sopivan, mutta lisäävät samalla ajojärjestelmän ja samalla koko pyörän hintaa. Vaihteistolla, joka on sekä automaattinen että portaaton saadaan ajosta tasaista ja tarkasti pyöräilyolosuhteisiin sopivaa. Tämänlaista tekniikkaa käyttävissä pyörissä ajaja valitsee itselleen sopivan poljentanopeuden ja järjestelmä hoitaa automaattisesti vaihteiden vaihdon siten, että haluttu poljentanopeus säilyy. (Ebikeportal n.d.)

Kauimpana perinteisestä polkupyörästä ovat täysin sähköistä voimansiirtoa käyttävät pyörämallit. Niissä ei ole taka-akselin ja poljinten akselin välillä mekaanista yhteyttä ketjuilla, vaan pyörissä on ainoastaan moottori, akku, generaattori ja niiden väliset sähköiset

yhteydet. Ajon aikana moottori saa ohjaustietonsa polkemisesta tai kaasukahvalta niin kuin muissakin sähköpyörissä, mutta pyöräilijä voi itse tuottaa sähköenergiaa moottorille polkemalla runkoon kiinnitettyä generaattoria. Käyttäjä voi itse säätää missä suhteessa pyörä avustaa akun sähköenergialla verrattuna polkemalla tuotettuun energiaan. Uusin esimerkki tämänlaisesta ajojärjestelmästä on Bike² System (kuva 23), jonka valmistaja Bike², aloitti vuonna 2017 toimittamaan tekniikkaansa sähköpyöränvalmistajille. Järjestelmän ominaisuuksiin kuuluu ketjuttomuuden lisäksi portaaton sähköinen vaihteisto ja avustustason valinta sekä automaattivaihteistotila, jossa portaaton vaihteisto säätyy automaattisesti sopimaan haluttuun poljentanopeuteen. Ongelmana tämänlaisissa pyörissä on huono hyötysuhde, kun energiaa joudutaan muuttamaan mekaanisesta sähköiseksi ja taas mekaaniseksi verrattuna tavalliseen sähköpyörään. Lisäksi generaattorin polkemisesta syntyy ääntä. (Bike Europe 2017; Bike² n.d.)



KUVA 23. Bike² demopyörä (Bike² n.d)

3.2 Akkutekniikka

Sähköpyörien akkutekniikassa kehitystä on tapahtunut kennoformaattien, kennomateriaalien ja akkupakettien saralla. Sähköpyörien akkupaketeissa on käytetty tyypillisesti jo aiemmin mainittuja 18650 formaatin litiumioni kennoja. Vuonna 2017 markkinoille saapui 21700 ja 20700 formaatin kennot eri valmistajien tuottamina. 18650 kennon tapaan

uusissa kennoissa numerot tarkoittavat sylinterirakenteen ulkomittoja; 20-21 mm halkaisija ja 70 mm pituus. Uudet kennot tarjoavat parempaa energiatiheyttä, suurempaa kapasiteettia ja pidempää käyttöikää. Esimerkki 21700 formaatin kennosta on vuonna 2018 saataville tuleva eurooppalaisen BMZ:n valmistama 3Tron (kuva 24). BMZ lupaa kennoille 60 % suurempaa kapasiteettia ja jopa 12 vuoden eliniän 18650 kennojen noin 3 vuoteen verrattuna. Eliniän kasvu johtuu suuremmasta kapasiteetista, joka mahdollistaa pidemmät käyttösyklit ja koska kenno tuottaa vähemmän lämpöä edeltäjäänsä nähden. 3Tron kennossa käytetään lisäksi laadukkaampia johdinaineita, jotka mahdollistavat jopa noin nelinkertaisen purkuvirran käyttämisen ja kevyemmän painon vaikka 18650 kenno on pienempi kooltaan. Parempien kennojen tullessa markkinoille nykyisten 18650 kennojen markkina aseman voidaan olettaa heikkenevän, mutta formaatti todennäköisesti pysyy relevanttina vielä jatkossakin. (Bike Europe 2018, 10-12.)



KUVA 24. 3Tron kenno (Softei n.d)

Kiinteän olomuodon akut (*Solid State Battery, SSD*) voivat lähitulevaisuudessa olla varteenotettava energianlähde sähköpyörille ja muille sähköajoneuvoille. Näissä akuissa on nimensä mukaisesti kiinteät elektrodit ja elektrolyytti. Anodi on tyypillisesti litiumia, katodi epäorgaaninen ioniyhdiste ja elektrolyytti keraamia, alkuainetta tai epäorgaanista yhdistettä. Elektrodit ovat akussa positiivisesti tai negatiivisesti varautuneita johdinosia joissa hapetus- ja pelkistysreaktiot tapahtuvat ja elektrolyytti näiden välissä olevaa, sähkövarauksia johtavaa, ainetta. Tyypillisesti akuissa elektrolyytti on nestemäistä tai kostea ainetta kuten geeliä, mutta kiinteän olomuodon akuissa varauksia kuljettavat ionit on saatu siirtymään kiinteän elektrolyytin läpi. Kiinteä rakenne tarjoaa monia etuja nestemäisiin nähden, mutta tekniikalla on yhä rajoitteensa. Positiivisina ominaisuuksina voi pitää korkeampaa energiatiheyttä ja sen seurauksena kapasiteettia, turvallisuutta, pitkää elinikää, mahdollisuus korkeisiin kennojännitteisiin, hidas itsestään purkautuminen, nopea lataus ja hyvä yli- ja alilatauksen kesto. Sähköajoneuvoissa toivottu pieneen kokoon menevä, kevyt ja suurikapasiteettinen akku voitaisiin mahdollisesti toteuttaa kiinteän olo-

muodon tekniikkaa hyödyntäen. Kennon turvallisuus nykyisiin litiumioni kennoihin verrattuna on huomattava palamattoman ja myrkyttömän rakenteen vuoksi. Huonoja ominaisuuksia tällä tekniikalla on vasta kehitysasteella oleminen, kallis hinta, mekaaninen hauraus ja haaste saada kenno toimimaan alhaisissa lämpötiloissa. Nyt kuitenkin monet yritykset ja erityisesti autovalmistajat ovat alkaneet lupailta kiinteiden akkujen tuomista markkinoille 2020 luvun alkupuolella. Lisäksi uusia, nykyisen tekniikan ongelmakohteita paikkavia, elektrolyyttimateriaaleja kehitellään koko ajan lisää. Esimerkkinä kehityksestä voidaan pitää amerikkalaisen sähköajoneuvoja valmistavan Fisker nimisen yrityksen patentoimasta kiinteän olomuodon akkutekniikasta. Yritys kertoo akkujen energiatiheyden olevan 2,5 kertainen litiumioniakkuihin verrattuna ja sisältävän hyvin johtavan elektrolyyttiaineen, joka mahdollistaa latausajan pienenemisen jopa minuuttiin. Lisäksi akku kestää matalia lämpötiloja, soveltuu massatuotantoon ja on hinnaltaan vain kolmasosan siitä mitä samantyyppisten akkujen ennustettiin maksavan vuonna 2020. Akun ennustetaan olevan valmis moottoriajoneuvokäyttöön kuitenkin vasta vuodesta 2023 eteenpäin. (The American Ceramic Society 2012, 26-29; c&en 2017; Fisker 2017.)

Litiumilma-akku on toinen kehityksen alla oleva akkutyyppe. Tässä akussa anodina on jälleen litium, mutta katodina toimii jokin huokoinen aine (metalli- tai hiiliyhdiste), joka sitoo ilmaa. Välissä on elektrolyyttinä hyvin johtava aine, joka on nestemäinen, geelimäinen tai kiinteä. Akun purkautuessa litiumionit reagoivat ilman hapen kanssa katodilla ja muodostuu litiumperoksidiä. Ladatessa reaktio on päinvastainen ja happi vapautuu takaisin ilmaan. Litiumilma-akuilla on potentiaalia saada aikaan yli viisinkertaisia energiatiheyksiä nykyisiin litiumioniakkuihin verrattuna ja sen valmistus voi olla edullista. Nämä ominaisuudet johtuvat siitä, että katodilla käytetään ilmaa, joka on ilmaista ja kevyttä. Akuissa on kuitenkin ongelmana tällä hetkellä lyhyt elinikä, huono hyötysuhde, matala virranantokyky ja anodin rappeutuminen. Suuri osa ongelmista aiheutuu siitä, kun akun osat reagoi ilman ainesosien kanssa siten, ettei se edistä akun päänmääräistä toimintaa tai jopa rappeuttaa siinä käytettyjä materiaaleja. On kuitenkin kehitetty uusia tapoja päällystää anodi ja katodi suojaamaan ylimääräisiltä reaktioilta. Lisäksi on kehitelty elektrolyyttejä jotka osallistuvat lähinnä vain litiumin ja hapen välisiin reaktioihin. Näiden keksintöjen väitetään nostavan litiumilma-akun käyttöiän yli 700 käyttösykliin, mikä alkaa lähestyä nykyisten litiumioniakkujen keskimääräistä 1000 käyttösykliä. Akku on kuitenkin saatu toimimaan vasta simuloidussa ilmaolosuhteissa, joten kaupallisia versioita joutuu todennäköisesti vielä odottamaan. On olemassa muitakin metalli-ilma-akkuja, mutta ne

kärsivät samoista ongelmista ja ovat energiatiheydeltään huonompia kuin litiumilma. (Grande ym. 2014, 784-786; ArsTechnica 2018.)

Litiumrikkiakku on myös varteenotettava markkinoille tuleva akkutyyppe. Se koostuu litiumanodista, rikkipohjaisesta katodista ja niiden välissä olevasta elektrolyytistä. Akkutyypillä on mahdollista saavuttaa 2-3 kertainen energiatiheys nykyisiin litiumakkuihin nähden ja pitää silti valmistuskustannukset pieninä rikin edullisuuden ja saatavuuden vuoksi. Rikki on myös myrkytöntä, mikä lisää tuotteen ympäristöystävällisyyttä. Akun erikoisominaisuus on, että sen latauksen voi kuluttaa loppuun ja akkuja voi säilyttää lataamattomina ilman, että se vaikuttaa negatiivisesti akun kokonaiskapasiteettiin. Akkutyypin ongelmana on kuitenkin lyhyt elinikä ja matala virranantokyky. Nämä ongelmat johtuvat rikin ja litiumin epävakauksesta ja rikin huonosta sähköjohtokyvystä. Litiumrikkiakkuihin on tehty parannuksia, joiden avulla niistä on saatu vakaampia ja pitkäikäisempiä. Monet tutkivat tahot tiede- ja yritysmaailman puolelta on kehitellyt tekniikoita kuten elektrodien päällystäminen akun vakauden ja johtavuuden parantamiseksi. Esimerkiksi englantilainen Oxis Energy on onnistunut valmistamaan kennoja, joiden energiatiheys on 400 Wh/kg ja käyttöikä jopa 1500 käyttösykliä. (Fotouhi ym. 2017; Oxis Energy n.d.)

Akkupaketeissa on valloillaan samat trendit kuin muissakin sähköpyörän peruskomponenteissa. Paketeista halutaan kevyitä, huomaamattomia ja modulaarisia. Akkuja voidaan esimerkiksi laittaa pyörän rungon sisään samaan tapaan kuin aiemmin mainittuja moottoreita. Esimerkki uudentlaisesta akun integroinnista on Simplo Technology Groupin valmistavat Linkage-akkupaketit (kuva 25), joita käytetään esimerkiksi Husqvarnan sähköpyörissä. Nämä akkupaketit ovat jaettu pituudeltaan toisissaan kiinni oleviin osiin kuten junan vaunut. Tarkoituksena on saada taipuva rakenne, jonka ansiosta akun voi pujottaa pienemmästä aukosta pyörän rungon sisään. Pieni aukko rungossa tekee pyörän rakenteesta vahvemman, mikä on eduksi erityisesti maastopyörissä. (E-biking now 2017; Simplo n.d.)



KUVA 25. Simplon Linkage-akku (E-biking now 2017)

Akkupakettien sisäinen rakenne on pysynyt pitkään samanlaisena; kennot pistehitsataan kiinni nikkelistä valmistettuun johdinväylään. Tällä metodilla tehdyt paketit altistuvat lämmölle hitsauksen aikana ja niissä olevien yksittäisten kennojen vaihtaminen on hankalaa. Johdinliitos (wire-bonding) tekniikka on jo kauan tunnettu menetelmä tehdä pieniä sähköisiä liitoksia. Siinä sähköisiä liitoksia voidaan tehdä ilman, että kennoja kuumentaan, ultraäänivärähtelyn ja paineen avulla. Tämä tekniikka tekee myös akkupaketin rakenteesta joustavan ja kestävä ja mahdollistaa pakettien kokoamisen CNC laitetta apuna käyttäen. Liitännän laadusta johtuen voidaan käyttää myös paremmin johtavia materiaaleja johdinväylässä kuten alumiinia ja näin nostaa akkupaketin hyötysuhdetta. Nikkeliä käytetään nykyisin lähinnä siksi, että siihen on helppo pistehitsata. Vaikka johdinliitostekniikka on jo vanhaa niin sitä ei ole juuri käytetty sähköajoneuvojen akuissa. Autopuolella Tesla on käyttänyt tekniikkaa akuissaan ja nyt sähköpyöräosien valmistaja Luna Cycle on alkanut tehdä sähköpyöriin sopivia johdinliitostekniikalla koottuja akkuja (kuva 26). Akkupaketin muita ominaisuuksia on magneettikiinnitys pyörään ja vedenpitävyys. (Electricbike 2018.)

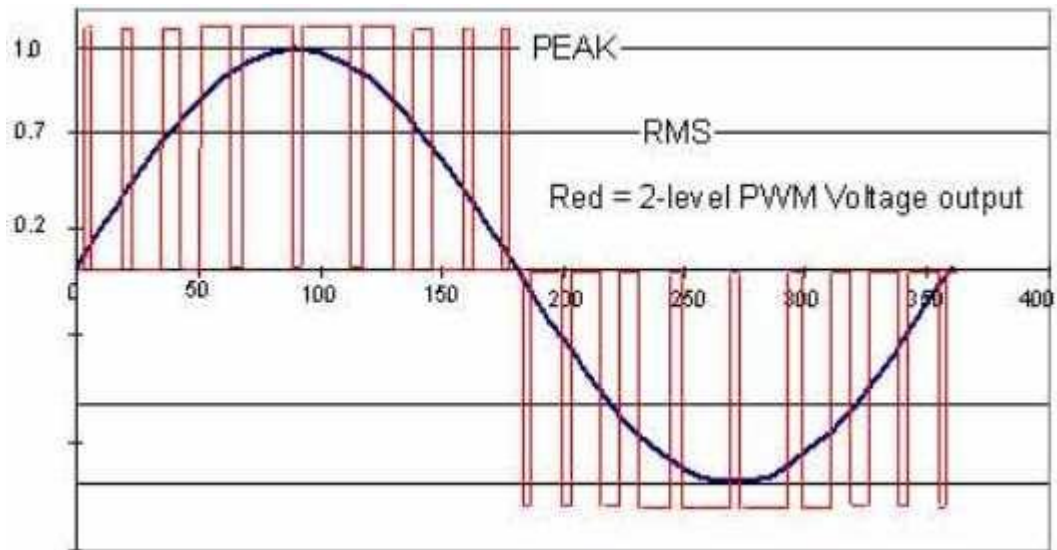


KUVA 26. Luna Cyclen johdinliitostekniikkaa hyödyntävä akkupaketti (Electricbike 2018)

3.3 Ohjainlaitetekniikka

Ohjainlaitteista kontrollereiden osalta tekniikka on pysynyt pitkään samanlaisena. Harjattomia tasavirtamoottoreita ohjataan mikropiirin ja kytkinsillan tuottamalla kanttiaalolla. Vaihtoehtoisesti moottoria voidaan ohjata siniaallolla. Siniaaltokontrollerin käyttö ei ole millään tapaa uutta tekniikkaa harjattomien tasavirtamoottorien ohjaamiseen, mutta sähköpyöräkäytössä ne ovat hiljalleen yleistymässä. Tämän ohjaustapa tekee moottorin käynnistä hiljaisempaa, tasaisempaa ja nostaa hieman moottorin hyötysuhdetta. Perinteinen kanttiaalto vaihtaa tilaansa jyrkästi ja aiheuttaa momenttivärähtelyjä. Nämä momenttivärähtelyt aiheuttavat mekaanisissa osissa kuten vaihteistossa ääntä. Lisäksi kanttiaalto synnyttää toimiessaan suurempaa sähköistä huminaa kuin siniaalto. Siniaaltokontrolleria käytettäessä kolmivaiheisen moottorin käämeille tuodaan 120 asteen vaihe-erolla olevat siniaallot joiden virtojen summa on nolla. Koska virtojen suuruus ja suunta vaihtuu tasaisesti ja vaihevirran käydessä nollassa vain hetkellisesti sen muuttaessa suuntaa, moottorin momentti tasoittuu ja hyötysuhde kasvaa. Siniaalto luodaan samaan tapaan pulssinleveysmodulaatiolla, mutta tässä tapauksessa pulssinleveyttä säädetään liukuvasti eikä pelkästään sen keskiarvoista tasoa (kuva 27). Haittapuolena siniaaltokontrollereissa on korkeampi hinta ja hyötysuhteen heikkeneminen korkeilla nopeuksilla. Siniaallon kommutointi vaatii erittäin tarkkaa tietoa roottorin asemasta ja kun siniaallon taajuus kasvaa, kontrollerin on vaikea seurata tarkasti roottorin asemaa. Moottorista ja käyttötavasta riippuen siniaallon käyttö voi vaatia, että roottorin asemaa seurataan pyörimisanturilla. Siniaaltoa käytetään myös, jos moottoria ohjataan vektorisäädöllä (*Field Oriented Control*, *FOC*), mutta tällä tavalla voidaan välttää hyötysuhteen lasku korkeilla kierroksilla. Vek-

torisäädössä ohjataan suoraan virran summavektoria. Vektorin suuruutta ja suuntaa säädetään roottorin aseman perusteella siten, että virran aiheuttama magneettikenttä on aina edullisessa asemassa roottoriin nähden. Tavallinen kantiaaltokontrolleri on kuitenkin yhä suosituin kontrollerityyppi yksinkertaisuuden ja edullisuuden vuoksi. (Motion Control Tips 2016.)

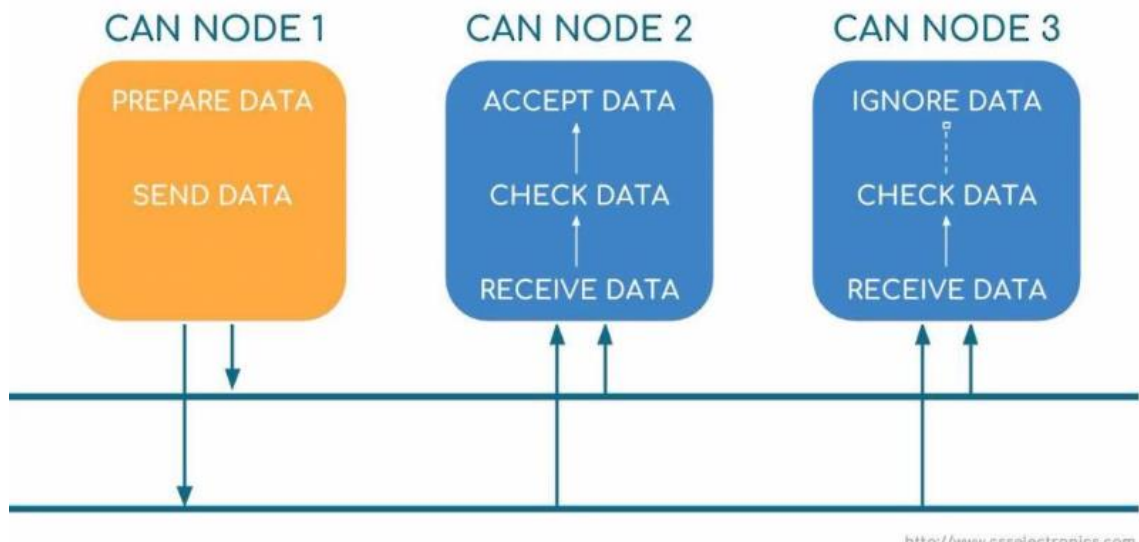


KUVA 27. Siniaallon muodostaminen pulssinleveysmodulaatiolla (Electricbike 2013).

Eri elektroniikka- ja sähköpyörävalmistajat lisäävät ohjainlaitteisiinsa erilaisia lisäominaisuuksia kuten energian takaisinotto ja luistonesto. Nämä ominaisuudet voivat tarjota tiettyihin käyttötarkoituksiin ratkaisuja, mutta sähköpyörän koko- ja painoluokassa esimerkiksi energian takaisinotto ei ole tällä hetkellä erityisen kannattavaa, kun ottaa huomioon järjestelmän monimutkaistumisen ja hinnan. Suoraan ajoon ja pyörän käyttöön liittyviä ominaisuuksia kuten ajon laadun analysointijärjestelmät ja ABS jarrut (*Anti-lock Braking System, lukkiutumattomat jarrut*) ovat yleistymässä sähköpyörissä. Esimerkiksi Bosch toi sähköpyöriin vuonna 2017 ensimmäisenä ABS jarrut. Järjestelmä toimii siten että se valvoo kummankin pyörän nopeutta ja heti kun joko etupyörä alkaa lukkiutua tai takapyörä nousta maasta, niin se vähentää jarrutuksen painetta etupyörästä. Näin saadaan aikaan turvallisempi ja tehokkaampi jarrutus kun etupyörä ei luista tai töökkää paikoilleen ja aiheuta pyörän ympäröimenoa. (Bosch-ebike n.d.)

Komponenttien ja anturien liittämässä kontrolleriin ja toisiinsa on yleistynyt langaton ja väyläpohjainen tekniikka. Näillä tekniikoilla pyritään vähentämään pyörän johdotusta ja siten tekemään laitteistosta yksinkertaisempia ja helpommin muokattavia. Langatonta

tekniikkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi akkujen lataamisessa sen ollessa latausasemassa tai tiedonvälitykseen controllerin ja näyttöpaneelin tai älypuhelimien välillä. Yksi tämänlainen järjestelmä on COBI, jonka avulla käyttäjä voi ohjata pyörää ja saada tietoa ajosta ja ajojärjestelmästä ohjaustankoon kiinnitettävän älypuhelimien kautta. Älypuheliin ladattava sovellus toimii työpöytänä ja mahdollistaa mobiiliyhteyden avulla esimerkiksi karttojen ja säätietojen tarkkailun ajon aikana. Tietoa ajojärjestelmästä näytölle saadaan joko Bluetooth-yhteyden tai CAN-väylän avulla. Väylätekniikoista juuri CAN-väylä on suosittu ajoneuvoissa. Väylätekniikalla voidaan kuljettaa tietoa komponentilta toiselle käyttäen vain yhtä linkkiä, johon kaikki komponentit yhdistyvät lähetin/vastaanotin laitteiden avulla. Kun tietoa lähetetään väylään, sille annetaan ensin tunniste minkä mukaan vain tietoa tarvitsevat laitteet ottavat sen vastaan. Tämä vähentää johdotusta, kun eri dataa voidaan lähettää saman yhteyden kautta. Sähköpyörien kohdalla esimerkiksi nopeustieto takarenkään anturilta voidaan viedä väylän kautta sekä näyttölaitteelle käyttäjän seurattavaksi että controllerille moottorin ohjausta varten. Väylään on myös helppo liittää uusia komponentteja ja kiinnittää esimerkiksi vikadiagnostiikkalaitteen, jos tarve niin vaatii. Kuvassa 28 näkyy CAN-väylän tiedonsiirron peruseriaate; laitteelta 1 lähetetään tietoa ja se otetaan vastaan laitteella 2, mutta hylätään laitteella 3. (CSS Electronics 2018; COBI n.d)



KUVA 28. CAN-väylä (CSS Electronics, 2018)

4 FREEBIKE KONSEPTI

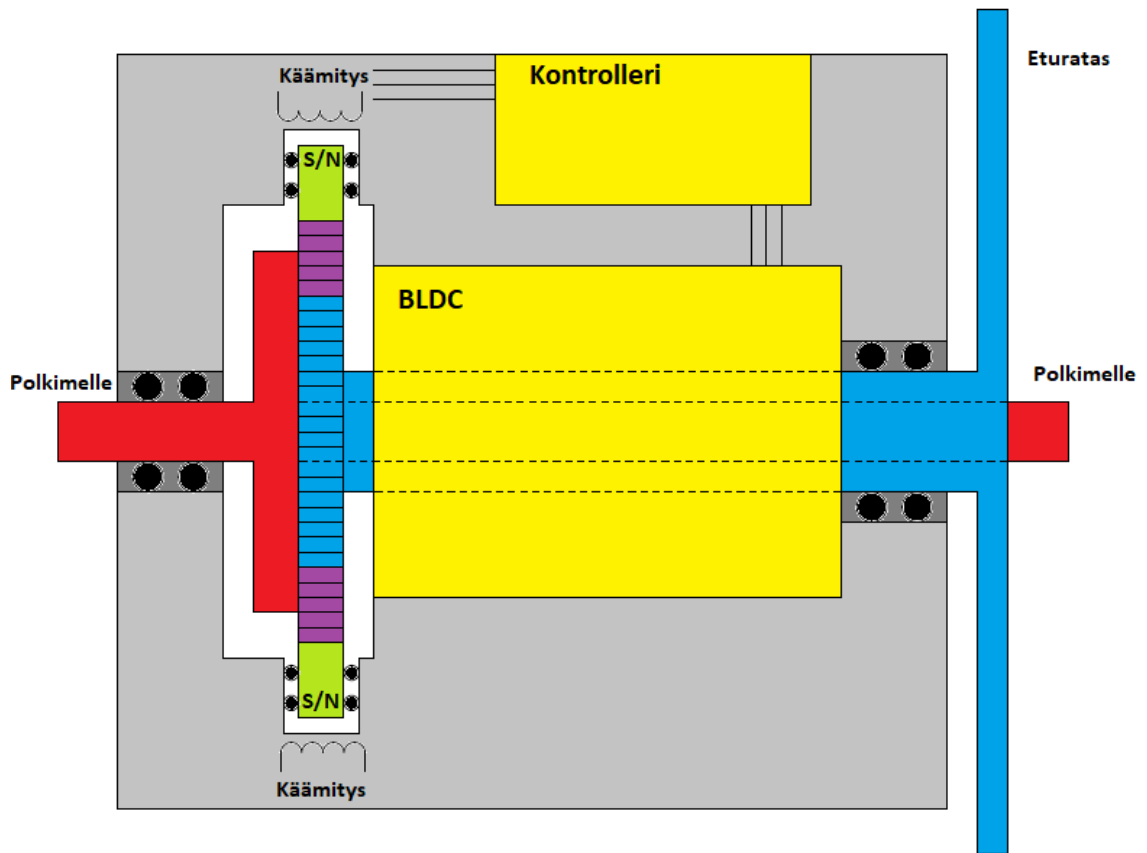
Tuotekehityksen alkuvaiheessa olevalta Freebike sähköpyöräkonseptilta haluttiin tiettyjä ominaisuuksia liittyen ajojärjestelmän ja akkupaketin rakenteeseen. Tässä luvussa käsitellään sitä, miten näitä ominaisuuksia voitaisiin toteuttaa konseptitasolla. Lisäksi todetaan, miten Freebike ohjelmistopohjaa voitaisiin käyttää tulevaisuudessa muissa tuotealustoissa.

4.1 Ajojärjestelmältä halutut ominaisuudet

Freebike konseptissa halutaan käyttää keskiömoottoria, jossa portaaton planeettavaihteen säätäminen toteutetaan sähköisesti. Idea muistuttaa esimerkiksi traktoreissa käytettyä hydraulista vaihteistoa mitä kutsutaan myös nimellä CVT (*Continuously Variable Transmission*). Näissä vaihteistoissa nopeutta säädetään planeettavaihteiston kehärattaan pyörimisnopeutta muuttamalla. Tätä varten vaihteistossa on hydraulinen järjestelmä, jonka paineen tasoa muuttamalla kehäratasta hidastetaan tai annetaan pyöriä kovempaa. Sähköpyörässä tämä kehärattaan säätely halutaan luonnollisesti toteuttaa sähköisesti. Lisäksi haluttiin, että polkimet ja niiden akseli ovat kiinni planeetakannattimessa ja sitä myöten planeettarattaissa ja aurinkoratas on yhteydessä polkupyörän eturattaaseen ja sähkömoottoriin. (Jalkanen 2018.)

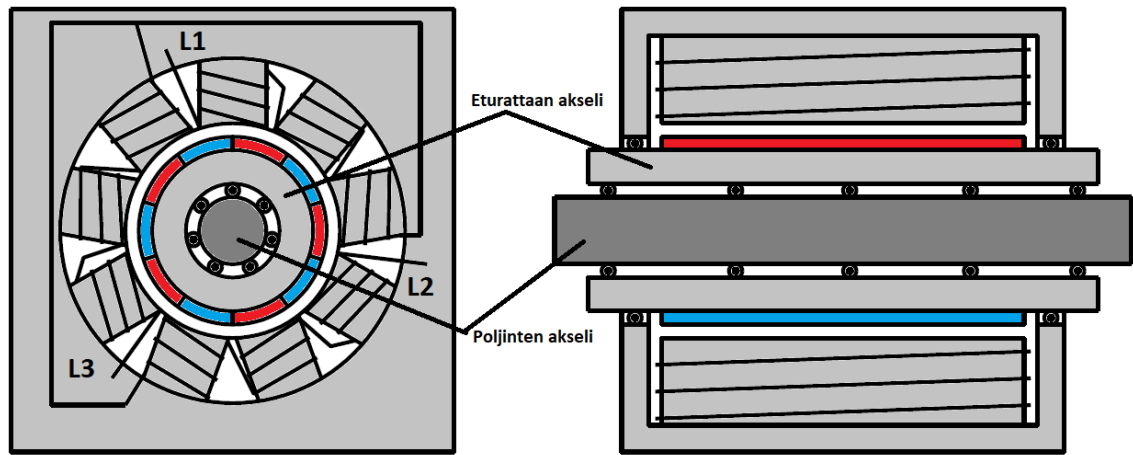
Kehärattaan pyörimisen säätäminen saadaan aikaan siten, että sen ulkokehälle laitetaan kestopagneetit ja ympärille käämitys, jota ohjataan kontrollerilla. Poljinnopeus välittyy sellaisenaan planeettarattaiden kautta aurinkorattaalle ja eturattaalle, jos kehäratas pyörii poljentanopeudella. Jos kehärattaan nopeus on korkeampi kuin poljentanopeus, planeettavaihteisto alkaa toimia alennusvaihteena ja eturattaan nopeus hidastuu. Vastaavasti kehärattaan nopeutta hidastamalla saadaan aikaan ylennysvaihde ja eturattaan nopeus kasvaa. Nopeutta voidaan kasvattaa entisestään, kun kehäratasta aletaan pyörittämään vastakkaiseen suuntaan. Vaihteisto on portaaton, koska kehärattaan nopeutta voidaan sähköisesti säätää kumpaankin suuntaan portaattomasti samaan tapaan kuin perinteistä BLDC -moottoria. Kuvassa 29 on esitelty, miten tämä voitaisiin toteuttaa. Kuvassa punaisella on merkitty planeetakannatin ja poljinten akseli, sinisellä aurinkoratas ja eturatas

sekä niiden välinen akseli, violetilla planeettarattaat ja vihreällä kehäratas. Katkoviivalla on merkitty rakenteiden sisällä menevät osat. (The Catalytic n.d.)



KUVA 29. Poikkileikkaus keskiömoottorista, jossa on sähköisesti toteutettu portaaton planeettavaihteen säätö.

Kuten kuvasta voi huomata myös moottorilta ja akselistolta vaaditaan erikoista rakennetta, jos idea halutaan toteuttaa kompaktissa koossa yhden pääakselin suunnassa. Sininen ja punainen akseli ovat sisäkkäin ja niiden väli on laakeroitu, jotta ne voivat pyöriä eri nopeuksilla. Sinisen akselin pinnassa on kestmagneetit ja sitä voidaan pyörittää moottorilla ja näin avustaa polkemista. Kuvassa 30 näkyy poikkileikkaus moottorin sisältä.



KUVA 30. Poikkileikkaus moottorin sisältä akselin suuntaisesti ja sitä vastaan.

Mahdollisia ongelmia ideassa on useampia. Moottorin ja akselien mekaaninen rakenne voi olla vaikeaa ja kallista toteuttaa ja systeemin energiankulutus voi olla korkea, kun se sisältää käytännössä kaksi moottoria. Lisäksi planeetankannattimen, kehärattaan ja aurinkorattaan nopeuksia on mitattava tarkkaan, jotta vaihteistoa voidaan säätää oikein. Moottorin avustaessa polkemista täytyy ottaa huomioon aurinkorattaan pyöriminen ja kompensoida se muuttamalla kehärattaan pyörimisnopeutta. Muutoin moottorin energia voi alkaa välittyä polkimille, mikä ei ole toivottua. Tarkka ja monimutkainen ohjaus vaatii myös kontrollerilta älyä ja ominaisuuksia.

4.2 Akkupaketilta halutut ominaisuudet

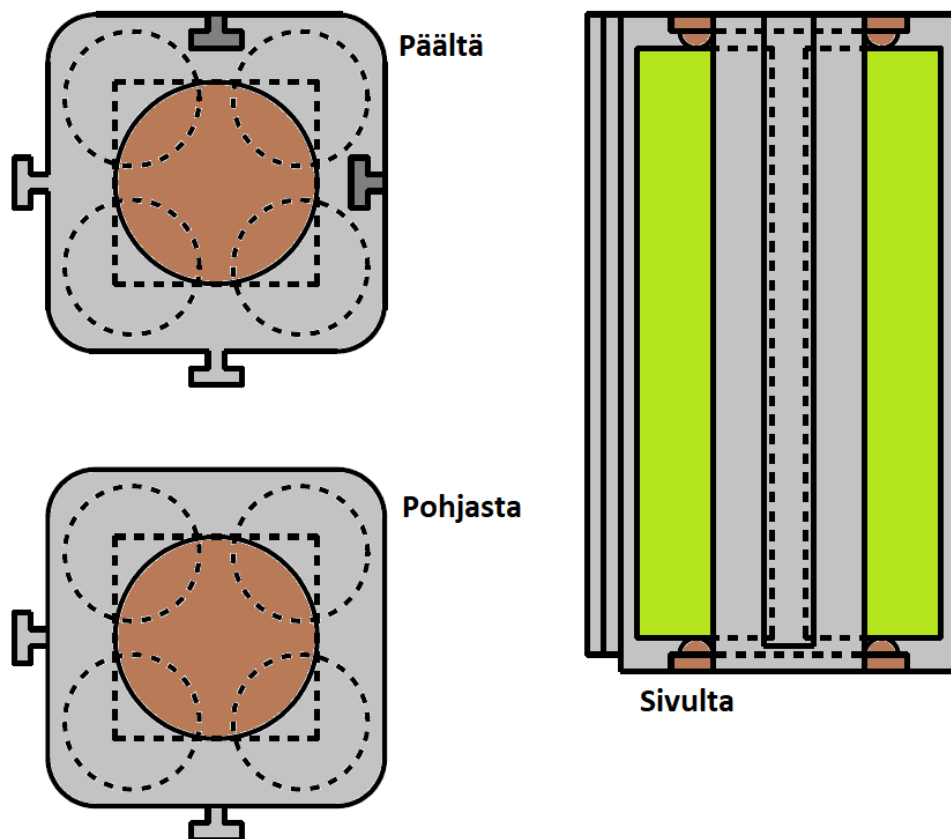
Akkuihin halutaan helposti koottava rakenne, joka muodostuu pienemmistä yksiköistä. Yksittäinen akkuyksikkö sisältää halutun määrän rinnankytkettyjä kennoja ja akkuyksiköitä liittämällä toisiinsa saadaan halutun kapasiteetin ja jännitteen paketti. Lisäksi yksiköiden liittäminen tulee voida tehdä ilman työkaluja ja kiinnitysvälineitä. (Jalkanen 2018.)

Idealtaan samantyyppinen ratkaisu on esimerkiksi N.E.S.E moduuli, jossa yksiköitä voidaan yhdistää toisiinsa johdinlevyjen ja mutterien avulla (kuva 31).



KUVA 31. N.E.S.E moduuli (Electric bike, 2017, muokattu)

Akkuyksiköistä voitaisiin tehdä toisiinsa kiinnitettäviä tekemällä niihin kiskon muotoisia kiinnikeulokkeita ja niiden vastakappaleita eli kiskon muotoisia syvennyksiä. Nämä syvennykset olisivat vain yksikön päällyspuolelta auki ja kiinnitettäessä toisen yksikön uloke pujotetaan toisen syvennykseen ylhäältä päin yksikön pohjassa olevaan esteeseen saakka. Kuvan 32 esimerkissä näkyy yksiköiden peruseräite. Kuvassa vihreällä on sisään asetetut kennot ja ruskealla johdinmateriaali.



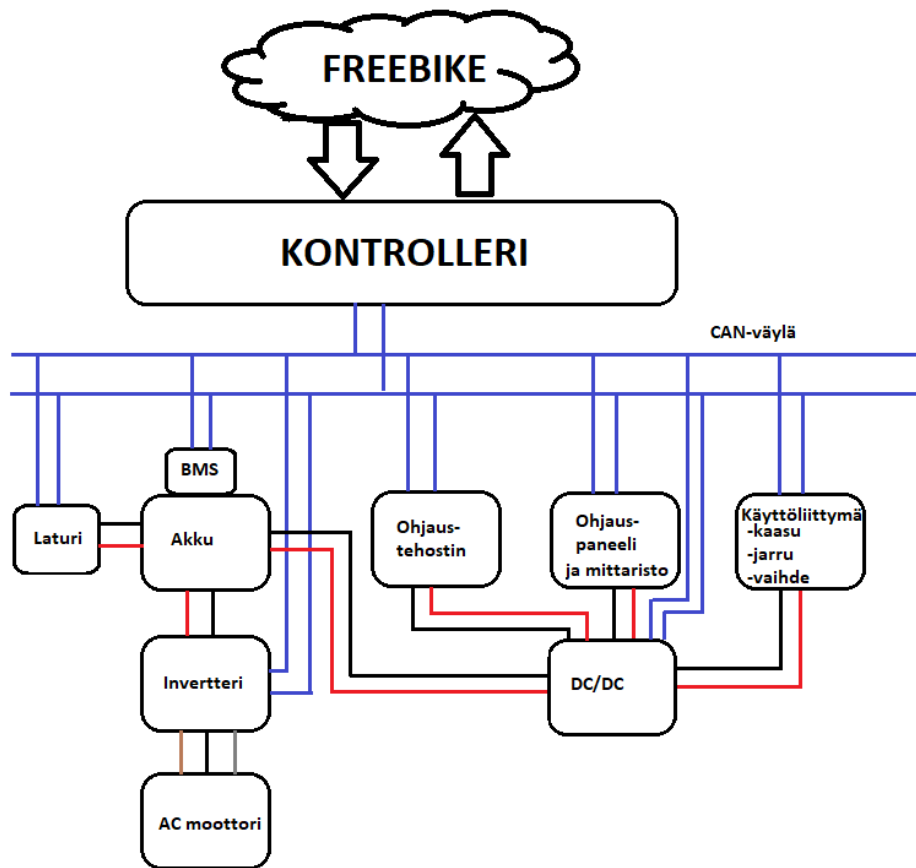
KUVA 32. Akkuyksikkö

Kennot syötetään yksikköön sen kulumista samaan tapaan kuin pattereita laitetaan laitteiden patteripesään. Yksikön päällä ja pohjassa on pyöreä aukko, josta näkyy johdinmateriaalista tehty levy. Näihin aukkoihin voidaan tehdä tarvittavat sähköiset liitännät toisten yksiköiden ja akunhallintajärjestelmän kanssa. Vaihtoehtoisesti kiinnikeulokkeet ja syvennykset voitaisiin tehdä johdinmateriaalista ja yhdistää yksikön kennojen plus- ja miinusnapoihin. Näin kennojen väliset sähköiset liitokset saataisiin suoraan liittämällä yksiköjä toisiinsa kiinni. Tämä olisi kuitenkin paljon huonompi sähköinen liitos kuin johdinkiskon hitsaaminen ja se voi aiheuttaa ongelmia kiikkuvassa ja tärisevässä sähköpyörässä. Yksiköistä voitaisiin tehdä myös ns. reunapaloja missä ulokkeita ei ole.

4.3 Freebike konseptin hyödyntäminen nelipyörissä

Nelipyörä eli L7e-luokan ajoneuvoa koskevat seuraavat vaatimukset, kun se on sähkökäyttöinen: massa maksimissaan 400 kg tai 550 kg ja jonka moottorin nettoteho on maksimissaan 15 kW. Painorajoihin ei lasketa mukaan matkustajia, kuljettajaa eikä akkujen painoa. Suurempi painoraja koskee tavarankuljetukseen käytettyä nelipyörää. (Trafi 2018.)

Nykyisissä sähköajoneuvoissa on samantapaisia ongelmia kuin sähköpyörissäkin. Käytetään kiinteästi asetettuja laitteistoja ja ohjelmistoja, joiden muuttaminen on rajoittunut sähköosien valmistajan itse tekemiin ratkaisuihin. Freebike sähköjärjestelmää ja ohjelmistoa soveltamalla nelipyörään, saataisiin aikaan yritys- ja yksityisasiakkaiden toivomia ominaisuuksia samoin kuin nyt tuotekehityksessä olevalla sähköpyöräkonseptilla. Yrityksasiakkaille uusien tuotteiden suunnittelu ja kehitys on rajoittamatonta avoimuuden vuoksi ja yksityisasiakas voi räätälöidä tuotteensa itselle sopivaksi ja ominaisuuksia voi päivittää moduuleilla ja ohjelmistolla. Kuvassa 33 on esimerkki nelipyörän väyläpohjaisesta sähköjärjestelmästä.



KUVA 33. Freebike tuotealusta nelipyörässä.

Kuvan mukaisen järjestelmän komponentit ovat mahdollisimman pitkälle modulaarisia ja liitännät ja rajapinnat avoimia niin tiedon kuin tehonkin osalta. Laitteiston ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa langattomasti pilvestä ladattavien ohjelmistopäivitysten avulla, mutta laitteen käytöstä ja tilasta voidaan kerätä tietoa myös takaisin pilveen. Valmiit laitteistot ja ohjelmat voi tulla suoraan Freebiken toimesta tai käyttää yritysasiakkaan itse kehittämiä järjestelmiä.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Freebike Group Oy:lle selvitys, miten nykyiset sähköpyörät toimivat ja mitä akku-, moottori- ja ohjainlaitetekniikoita niissä käytetään. Tämän lisäksi haluttiin selvittää myös, mitä uusia ja tulossa olevia tekniikoita on olemassa ja miten Freebiken sähköpyöräalustaan haluttuja ominaisuuksia voitaisiin toteuttaa konseptitasolla.

Sähköpyörät ovat polkupyöriä, jotka saavat pyöräilyä avustavan voiman niihin kiinnitetyiltä sähköiseltä järjestelmältä. Tähän järjestelmään kuuluu tyypillisesti akku, moottori ja kontrolleri. Kontrollerilla ohjataan moottoria akulta saatavan energian avulla ajajan antamien ohjeiden ja poljennan aiheuttamien mittatietojen mukaan. Nykyisellään näissä järjestelmissä käytetty tekniikka on jämähtänyt paikoilleen ja useissa sähköpyörissä käytetään samojen valmistajien massatuotettuja komponentteja.

Sähköpyörissä uudet ja tuloillaan olevat tekniikat pyrkivät tekemään komponenteista huomaamattomampia painonsa, kokonsa ja ulkonäkönsä puolesta. Näihin tavoitteisiin päästään tarkempien valmistusmenetelmien ja materiaalivalintojen lisäksi tekemällä komponenteista esimerkiksi runkoon integroituja, modulaarisia ja väylään kiinnitettäviä. Lisäksi ajamisesta halutaan tehdä vaivatonta ja sujuvaa portaattomien ja automaattisten vaihteiden avulla sekä tarkempien ohjaustekniikoiden avulla ja turvalaitteiden avulla. Akkutekniikassa on lähiaikoina edistytty eri akkutyyppeiden saralla. Näiden jo valmiiden ja tuloillaan olevien tekniikoiden avulla akkujen käyttöikä ja kapasiteettia voidaan kasvattaa ilman, että se lisää akun painoa tai kokoa.

Freebike sähköpyöräkonseptilta haluttiin tiettyjä ominaisuuksia liittyen ajojärjestelmän ja akkupaketin rakenteeseen. Keskiömoottorista haluttiin sellainen, missä portaaton planeettavaihteen säätäminen toteutetaan sähköisesti. Opinnäytetyössä esitetään, miten tämä voitaisiin toteuttaa konseptitasolla esimerkkikuvien avulla. Työssä käy kuitenkin ilmi ideaan liittyvät ongelmat; monimutkainen mekaaninen rakenne, mahdollisesti korkea energiankulutus ja sähköisen ohjauksen haastavuus. Akkupaketteihin haluttiin helposti kootava rakenne, joka muodostuu pienemmistä, toisiinsa ilman työkaluja liitettävistä, yksiköistä. Tämä voitaisiin toteuttaa patteripesää muistuttavilla yksiköillä mihin kennoja voi

asettaa vapaasti. Nämä yksiköt voidaan kiinnittää toisiinsa niissä olevilla kiskon muotoisilla uros- ja naarasliittimillä. Lopuksi todetaan, kuinka Freebike konseptia voidaan soveltaa myös muihin ajoneuvoihin kuten L7e-luokan nelipyöriin tekemällä komponenteista modulaarisia, liitännöistä ja rajapinnoista avoimia ja käyttämällä avointa ohjelmistoa langattomia yhteyksiä hyödyntäen.

Selvitystyön tuloksena saatiin kirjallinen raportti, josta käy ilmi nykyisen sähköpyörien ja niissä käytettyjen peruskomponenttien toiminta ja rakenne, näihin liittyvät uudet ja tulossa olevan tekniikat ja trendit sekä konseptitason pohdintaa Freebike tuotealustaan haluttujen ominaisuuksien toteuttamismahdollisuuksista. Insinööri työ saavutti sille asetetut tavoitteet ja Freebike Group Oy voi hyödyntää sen sisältöä teoriaohjeena ja esittelymateriaalina varhaisille asiakkaille ja sidosryhmille. Työhön liittyvää jatkotutkimusta voitaisiin tehdä ajojärjestelmältä ja akkupaketilta haluttujen ominaisuuksien saralta. Työssä esiteltiin vain, miten ominaisuudet voitaisiin konseptitasolla toteuttaa, mutta käytännön toteuttaminen ja sen kannattavuuden arviointi vaatii lisätietoja esimerkiksi kone- ja materiaalteknikan puolelta. Tärkeimmät kysymykset liittyvätkin juuri siihen voidaanko ideat toteuttaa, ovatko ne energiankulutuksen ja talouden kannalta kannattavia ja saavutetaanko niillä asiakasta tai valmistusta aidosti hyödyttäviä ominaisuuksia.

LÄHTEET

All about circuits. N.d. Brushless DC Motor. Luettu 22.2.2018. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-13/brushless-dc-motor/>

Ars Technica. 2018. New lithium-air battery survives hundreds of cycles. Luettu 2.5.2018. <https://arstechnica.com/science/2018/03/new-lithium-air-battery-survives-hundreds-of-cycles/>

Battery University. 2017a. BU-303: Confusion with Voltages. Luettu 27.3.2018. http://batteryuniversity.com/learn/article/confusion_with_voltages

Battery University. 2017b. BU-301a: Types of Battery Cells. Luettu 28.3.2018. http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells

Bei Kimco. N.d. Selecting Brushless DC Motors. Luettu 2.4.2018. <http://www.beikimco.com/resources-downloads/about-blcdc-motors/how-to-select-a-motor>

Best 18650 Battery. 2016. A free resource designed to help you find the best 18650 battery for your application. Luettu 27.3.2018. <http://www.best18650battery.com/>

Bike Europe. 2017. Bike2 Starts Shipping Chainless Hybrid Drive E-Bike System. Luettu 18.4.2018. <http://www.bike-eu.com/home/nieuws/2017/06/bike2-starts-shipping-chainless-hybrid-drive-e-bike-system-10130336>

Bike Europe. 2018. White Paper: E-Bike Trend Is Revolutionizing Cycling Sector. Tu-
lostettu 24.4.2018

Bike². N.d. Examples of bicycles using the Bike2 Drive System. Luettu 19.4.2018. <http://bike2.dk/wp03/e-bikes/>

Bosch-ebike. N.d. Bosch presents: New eBike ABS. Luettu 3.5.2018. <https://www.bosch-ebike.com/en/products/abs/>

COBI. N.d. The perfect fusion of your smartphone and your bike. Luettu 4.5.2018. <https://cobi.bike/product>

Conhismotor. N.d. Controller 48V 500W (3-speed PAS LED Compatible). Luettu 2.4.2018. <http://www.conhismotor.com/ProductShow.asp?id=110>

CSS Electronics. 2018. Can bus explained - a simple intro (2018). Luettu 4.5.2018. <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-to-can-bus/language/en>

C&en. 2017. Solid-state batteries inch their way toward commercialization. Luettu 1.5.2018. <https://cen.acs.org/articles/95/i46/Solid-state-batteries-inch-way.html>

Duke University. 2017. Computers Create Recipe for Two New Magnetic Materials. Luettu 18.4.2018. <http://pratt.duke.edu/about/news/predicting-magnets>

- Ebikeee. 2012. Easy to assemble PAS sensor. Luettu 2.4.2018. <http://ebikeee.com/2012/07/04/easy-to-assemble-pas-sensor/>
- Ebikeportal. N.d. Automatic gear shifting systems for ebikes. Luettu 19.4.2018. <http://www.ebikeportal.com/automatic-gear-shifting-systems-for-ebikes>
- Ebikes. N.d. Pedal assist systems. Luettu 2.4.2018. <http://www.ebikes.ca/learn/pedal-assist.html>
- Ebikeschool. N.d a. Geared Hub Motors Vs Gearless Hub Motors. Luettu 1.3.2018. <http://www.ebikeschool.com/geared-hub-motors-vs-gearless-hub-motors/>
- Ebikeschool. N.d b. How to build a DIY electric bicycle lithium battery from 18650 cells. Luettu 27.3.2018. <http://www.ebikeschool.com/how-to-build-a-diy-electric-bicycle-lithium-battery-from-18650-cells/>
- E-biking now. 2017. Husqvarna Join The eBike Movement With 6 Models. Luettu 3.5.2018. <https://www.ebikingnow.com/news/6-new-husqvarna-electric-bike>
- Electrical engineering portal. 2015. Luettu 18.4.2018. <http://electrical-engineering-portal.com/5-factors-that-mess-up-motor-efficiency-and-how-to-improve-it>
- Electric bike. 2013. Sine-wave controllers, making hub-motors super quiet. Luettu 3.5.2018. <https://www.electricbike.com/sine-wave/>
- Electric bike. 2016. DIY Garage; Connectors for Halls, Throttle, and Motor. Luettu 2.4.2018. <http://www.electricbike.com/connectors-halls-throttle-motor/>
- Electric bike. 2017. DIY 18650-cell battery-pack building KITS, four options for 2017. Luettu 4.5.2018. <http://www.electricbike.com/diy-battery-pack-kits-four-options-2017/>
- Electric bike. 2018. Luna Cycle Announces Wire Bonded Ebike Battery Packs. Luettu 3.5.2018. <https://www.electricbike.com/luna-cycle-announces-wire-bonded-ebike-battery-packs/>
- Electric bike report. 2015. Electric Bike Motor Comparison: Hub, Mid Drive, & Friction Drive. Luettu 1.3.2018. <https://electricbikereport.com/electric-bike-motor-comparison/>
- Epec. N.d. Battery Cell Comparison. Luettu 28.3.2018. <http://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
- Explain that stuff. 2018. Speedometers. Luettu 2.4.2018. <http://www.explainthatstuff.com/how-speedometer-works.html>
- Freebike Group Oy. N.d. Yritysesittelymateriaali. Sähköpostiviesti. info@freebikesystem.com. www.freebikesystem.com. Puh. +358 40 747 0269. Luettu 16.3.2018.
- Fisker. 2017. Solid-State Battery Breakthrough. Luettu 1.5.2018. <http://fiskerinc-4030478.hs-sites.com/blog/solid-state-battery-breakthrough-fisker-inc.s-scientists-file-patents-on-superior-energy-density-tech-shattering-conventional-thought-on-ev-range-and-charge-times>

- Fotouhi, A., Auger, D., O'Neill, L., Cleaver, T. & Walus, S. 2017. Lithium-Sulfur Battery Technology Readiness and Applications. Luettu 3.5.2018. <http://www.mdpi.com/1996-1073/10/12/1937/htm>
- Grande, L., Paillard, E., Hassoun, J., Park, J., Lee, Y., Sun, Y., Passerini, S. & Scrosati, B. 2014. The Lithium/Air Battery: Still an Emerging System or a Practical Reality? Tulostettu 2.5.2018. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/adma.201403064>
- Hanselman, D. 2006. Brushless Permanent Magnet Motor Design. Tulostettu 22.2.2018. <http://www.avislab.com/blog/wp-content/uploads/2014/05/BrushlessPermanentMagnetMotorDesignVersion2.pdf>
- IDbike. N.d. TMM4 sensor. Luettu 2.4.2018. <http://idbike.com/sensors>
- Jalkanen, A. Toimitusjohtaja Freebike Group Oy. 2018. Haastattelu 23.2.2018. Haastattelija Keskitalo, E. Tampere.
- Jalopnik. 2013. How Electronic Throttle Control Works. Luettu 2.4.2018. <https://jalopnik.com/how-electronic-throttle-control-works-499966101>
- Learn engineering. N.d. Brushless DC Motor, How it works? Luettu 22.2.2018. <http://www.learnengineering.org/2014/10/Brushless-DC-motor.html>
- Linden, D. Reddy, T.B. 2002. Handbook of batteries. 3. painos. Yhdysvallat: McGraw-Hill.
- Microchip. 2003. Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. Tulostettu 13.4.2018. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>
- Motion Control Tips. 2016. FAQ: What is trapezoidal back EMF? Luettu 3.5.2018. <https://www.motioncontroltips.com/faq-trapezoidal-back-emf/>
- Mpoweruk. N.d. Battery Management Systems (BMS). Luettu 27.3.2018. <http://www.mpoweruk.com/bms.htm>
- Nidec. N.d. 1-3-2 Brushless DC motor. Luettu 3.4.2018. <http://www.nidec.com/en-EU/technology/motor/basic/00005/>
- Oxis Energy. N.d. Advanced technology. Luettu 3.5.2018. <https://oxisenergy.com/technology/>
- Polkupyöräwiki. N.d. Liikennesäännöt. Luettu 30.3.2018. <http://www.polkupyoraily.net/wiki/Liikennes%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6t>
- Softei. N.d. BMZ believes its 3Tron cells offer highest energy density for e-bikes. Luettu 26.4.2018. <https://softei.com/bmz-believes-its-3tron-cells-offer-highest-energy-density-for-e-bikes/>
- Simplo. N.d. LEV High Power. Luettu 3.5.2018. <https://www.ebikingnow.com/news/6-new-husqvarna-electric-bike>

Sirkiä, Jussi. 2006. Diplomityö. Harjattomien tasavirtamoottorien ohjain lennokkikäyttöön. Tulostettu 16.4.2018. <http://lib.tkk.fi/Dipl/2006/urn007532.pdf>

Sähköfillari. N.d a. Geobike Touring. Luettu 1.3.2018. https://www.sahkofillari.fi/epages/sahkofillari.sf/fi_FI?ObjectPath=/Shops/2015101202/Products/GEO1/SubProducts/GEO1-0002

Sähköfillari. N.d b. Gepida Alboin 1000 LX 10. Luettu 1.3.2018. https://www.sahkofillari.fi/epages/sahkofillari.sf/fi_FI?ObjectPath=/Shops/2015101202/Products/GPD30182210-48/SubProducts/GPD30182210-48-0008

The American Ceramic Society. 2012. The state of solid-state batteries. Tulostettu 1.5.2018. http://swamp.mse.ufl.edu/articles/2012/Solid_state_batteries.pdf

The Catalystis. N.d. Gears. Luettu 1.3.2018. <http://www.thecatalystis.com/gears/>

Trafi. 2017. Sähköiset liikkumisvälineet. Luettu 30.3.2018. https://www.trafi.fi/sahkoiset_liikkumisvalineet

Trafi. 2018. Ajoneuvoluokat. Luettu 5.5.2018. <https://www.trafi.fi/tieliikenne/ajoneuvoluokat>

Tukes. 2017. Akut ja paristot. Luettu 28.3.2018. <http://www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Kotija-kodin-tekniikka/Akut-ja-paristot/>

Zhao, J. Yu, Y. 2011. Brushless DC Motor Fundamentals. Tulostettu 22.2.2018. https://www.monolithicpower.com/pub/media/document/Brushless_DC_Motor_Fundamentals.pdf