

Oskari Immonen

RENKAISIIN INTEGROITAVAT MOOTTORIT SÄHKÖAUTOISSA

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Paavo Rasilo
Joulukuu 2021

TIIVISTELMÄ

Oskari Immonen: Renkasiin integroitavat moottorit sähköautoissa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2021

Renkasiin integroitavat moottorit ovat tekemässä tuloaan sähköautomarkkinoille. Kyseessä on teknologia, jossa auton yhden tai useamman renkaan yhteyteen integroidaan sähkömoottori. Moottorityyppejä on erilaisia ja integroitavien moottorien kannalta keskeisimpiä tällä hetkellä ovat kestromagnetoitu tahtimoottori ja vaihtoreluktanssimoottori. Tässä työssä esiteltiin nuo moottorityypit, pohdittiin niiden hyviä ja huonoja puolia, sekä mietittiin, mitä sähköauton moottorilta vaaditaan. Moottorien pitää kyetä syöttämään vääntömomenttia tehokkaasti ja sujuvasti. Niillä täytyy myös olla hyvä hyötysuhde.

Kestomagnetoidun tahtimoottorin hyötysuhde ja tehotiheys ovat hyviä, mikä tekee niistä hyvin soveltuvia sähköautomaailmaan. Näiden moottorien suosiota rajoittaa niiden valmistamisen korkeat kustannukset. Vaihtoreluktanssimoottorit ovat luotettavia, helposti hallittavia ja halvempia valmistaa. Niiden vääntömomenttitehous on kuitenkin heikompi ja tehonsyöttöä on vaikeampi hallita. Usein myös hyötysuhde jää huonommaksi kuin kestromagnetoidun tahtimoottorin, vaikka hyötysuhde on muihin moottorityyppeihin verrattuna hyvä.

Työssä pohdittiin integroitavien moottorien hyötyjä, joita ovat muun muassa tehokas jarrutusenergian talteenotto ja parantunut auton dynamiikan hallinta. Työssä pohdittiin myös integroitavien moottorien tulevaisuudennäkymiä. Moottorien kehityksessä on tiettyjä teknisiä haasteita. Renkasiin kohdistuu normaalia suurempi massa, joten jousituksen kesto on haaste. Lisäksi moottoriin itseensä kohdistuu iskuja ja värinää, jotka moottorin tulee kestää. Joka tapauksessa voidaan olettaa, että integroitavat moottorit yleistyvät sähköautomarkkinoilla, kunhan tekniset haasteet voitetaan.

Avainsanat: integroitava, sähköauto, sähkömoottori

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. AUTOJEN RAKENNE JA ERITYYPPISET MOOTTORIT	3
2.1 Autojen rakenne.....	4
2.2 Kestomagnetoitu tahtimoottori.....	5
2.3 Vaihtoreluktanssimoottori	7
3. MOOTTORIEN KÄYTÖN VAATIMUKSET	10
4. INTEGROITAVIEN MOOTTORIEN HYÖDYT	13
4.1 Jarrutusteknologia.....	13
4.2 Suorituskyky ja pienemmät häviöt.....	15
4.3 Turvallisuuteen liittyvät hyödyt	17
5. TULEVAISUUDENNÄKYMÄT	19
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	20
LÄHTEET	21

1. JOHDANTO

Sähköautoilla on merkittävä rooli ihmisistä johtuvien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä, ja ne ovatkin kasvattaneet kysyntäänsä huomattavasti osittain siitä syystä, että ne eivät käytettäessä aiheuta ollenkaan hiilidioksidipäästöjä. [1] Sähköistämällä voitaisiin näin vähentää liikenteen osaa maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä, joka on tällä hetkellä noin 14 % kokonaispäästöistä [2].

Useat maat ovat lisäksi ottaneet käyttöön toimia yritysten ja yksityishenkilöiden sähköautoilun lisäämiseksi. Esimerkiksi Norjassa sähköauton ostaminen antaa ihmisille ja yrityksille huomattavia verotusmaksuihin ja vakuutusmaksuihin liittyviä etuuksia. Tämän lisäksi sähköautoilla saa muun muassa ajaa bussikaistoilla ja matkustaa autolautoilla ilmaiseksi. [3]

Sähköautot toivat tullessaan muutokseen perinteisen polttomootoriauton rakenteeseen. Edessä konepellin alla ei ollutkaan enää isoa polttomoottoria, vaan pienemmän ja auton rakenteeseen piilotetun sähkömoottorin vapauttama tila oli valjastettu tavaratilaksi. Nyt uusi teknologia on tekemässä tuloaan markkinoille. Kyseessä ovat renkasiin integroitavat moottorit, eli niin sanotut ”in-wheel” – moottorit, joissa moottori on asennettu nimensä mukaan renkaan sisään.

Tässä innovaatiossa auton yhteen tai useampaan renkaaseen integroidaan oma moottori. Yleensä lopputuloksissa käytetään kahden tai neljän moottorin ratkaisuja. Kahden moottorin ratkaisussa moottorit sijoitetaan etu- tai takapyörille, jonka seurauksena auto on perinteiseen tapaan joko etuveto- tai takavetotyyppinen. Neljän moottorin ratkaisussa moottorit sijoitetaan jokaisen renkaan yhteyteen. Yksittäisiä moottoreita voidaan käyttää myös apumoottoreina perinteisemmän moottorin rinnalla.

Ferdinand Porsche suunnitteli jo vuonna 1900 Lohner Porsche-nimeä kantavan auton, jossa itse asiassa oli maailman ensimmäinen renkaaseen integroitu moottori. Vaikka polttomootoriautot ottivat tämän jälkeen vallan automarkkinoilla, oli tämä ensimmäinen laatuaan. Nyt tämä kyseinen teknologia on tekemässä paluuta sähköautoilun kehittyessä entistä tehokkaammaksi ja kannattavammaksi. Renkasiin integroitavat moottorit tuovat ajoneuvolle muun muassa jarrutukseen, liikkuvuuteen ja hyötysuhteeseen liittyviä etuja, joita käsitellään tämän työn myöhemmissä luvuissa. [4]

Joka tapauksessa tämä teknologia tuo autovalmistajille uusia mahdollisuuksia sähköautoilun kehittämisessä. Tällä hetkellä voidaankin odottaa, että tämä teknologia tekee paaluun suurille markkinoille [4]. Suurista autovalmistajista ainakin Toyota ja Nissan ovat käyttäneet resursseja integroitavien moottorien tutkimiseen [4,5].

Tässä työssä on tavoitteena perehtyä integroitavien moottorien kannalta olennaisiin sähkömoottorityyppeihin ja pohtia niiden hyviä sekä huonoja puolia. Niitä käsitellään toisessa luvussa. Kolmannessa luvussa käsitellään sähköauton moottorin vaatimuksia ja luvussa neljä tarkastellaan integroitavien moottorien tuomia hyötyjä. Tämän jälkeen viidennessä luvussa pohditaan integroitavien moottorien tulevaisuudennäkymiä. Johtopäätökset esitetään kuudennessa luvussa.

2. AUTOJEN RAKENNE JA ERITYYPPISET MOOTTORIT

Sähkömoottorien toimintaperiaate on lähes kaikissa tapauksissa samanlainen, eivätkä renkasiin integroitavat moottorit tuo tähän peruseriaatteiltaan muutosta. Sähkömoottori käyttää voimanlähteenään sähköenergiaa, joka on autojen tapauksessa varastoitu akkuihin. Moottori muuntaa sähköenergiaa liike-energiaksi. [6] Sähkömoottorissa on kaksi perusosaa, staattori ja roottori. Staattoriin toteutetaan käämitykset, jolloin puhutaan staattorikämmityksestä. Staattorin käämitykset rakennetaan siten, että niihin syötettäessä virtaa, syntyy pyörivä magneettikenttä. Staattori on siis se osa moottorista, joka pysyy paikallaan. Itse pyörivä osa on nimeltään roottori. Se pyrkii pyörimään samalla nopeudella kuin staattorin magneettikenttä, jonka nopeudesta käytetään nimitystä tahtinopeus. Tästä seuraakin yksi merkittävä rakenteellinen seikka, jonka perusteella sähkökoneet voidaan jaotella kahteen kategoriaan: epätahtikoneisiin ja tahtikoneisiin. [7]

Oikosulkumoottori, josta käytetään myös nimitystä induktimoottori, on ehkä tunnetuin sähkömoottorityyppi. Oikosulkumoottorit ovat hyvin yleinen moottorityyppi tämän päivän sähköautoissa, ja niitä käytetään myös hybridiajoneuvoissa polttomoottorin kanssa yhdessä [8]. Kuitenkin saatavilla olevan tiedon valossa induktimoottoreita ei olla käytetty integroitavien moottorien sovelluksissa. Oikosulkumoottorit ovat kooltaan suurempia kuin kestmagnetoidut tahtimoottorit, joilla saadaan myös suurempi vääntömomentti matalilla nopeuksilla, joka tekee niistä suotuisampia moottoreita kaupunkiajoon [8]. Nämä seikat ainakin osaltaan selittävät sitä, miksi oikosulkumoottoreita ei olla käytetty integroitavien moottorien sovelluksissa.

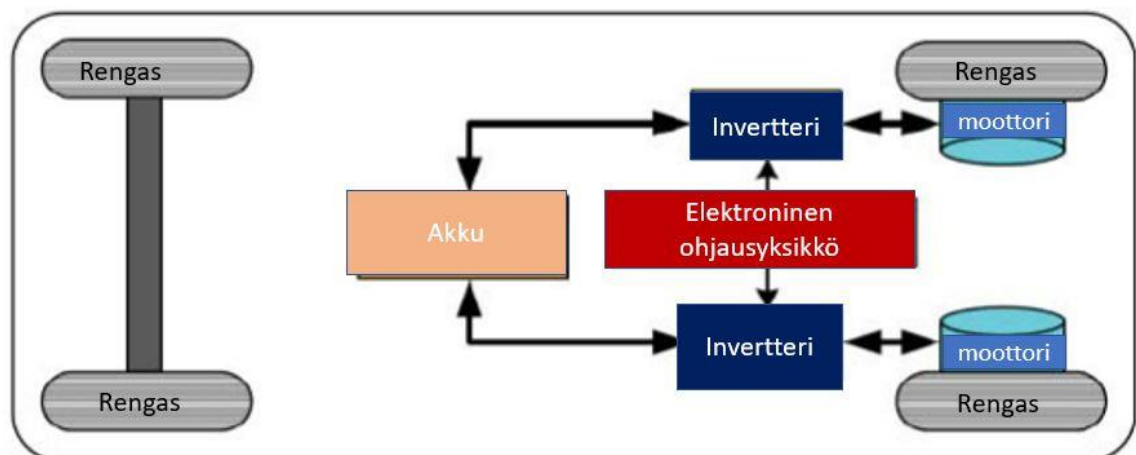
Oikosulkumoottoreiden toiminnalle on ehdotonta, että roottorin pyörimisnopeus on tahtinopeutta hitaampi. Tällöin roottori pyörii epätahdissa moottorin tahtinopeuteen nähden. Tahtinopeuden ja roottorin pyörimisnopeuden erosta käytetään nimitystä jättämä ja se ilmoitetaan yleensä prosentteina. Oikosulkumoottori on siis esimerkki epätahtikoneesta. Tahtikoneet puolestaan toimivat siten, että roottorin pyörimisnopeus on sama kuin tahtinopeus. [7]

Autoissa käytettävät sähkömoottorit voidaan jakaa kahteen kategoriaan sen mukaan, minkä tyyppistä sähköä ne käyttävät. On olemassa tasavirtaa (DC) käyttäviä moottoreita sekä vaihtovirtaa (AC) käyttäviä moottoreita. AC-moottorit voidaan siis vielä jakaa tahtimoottoreihin ja epätahtimoottoreihin. [8] Kun syvennyttään vielä tarkemmin eri moottorien

tekniikkaan, saadaan eriteltyä yhä enemmän erilaisia moottorityyppejä. Joskus moottoreita eritellään esimerkiksi sen mukaan, millä tekniikalla niitä on magnetoitu. Tasasähkökoneista voidaan mainita muun muassa erillismagnetoidut ja kestmagnetoidut koneet. [7] Renkasiin integroitavat moottorit voidaan toisaalta jakaa myös sen mukaan, onko niissä magneettista vaihteistoa. Toisen tyyppiset moottorit sisältävät ulkoisen roottorin ja ovat vaihteettomia. Toisilla on sisäinen roottori ja magneettien avulla toteutettu vaihteisto. [9] Seuraavaksi tarkastellaan autojen rakennetta yleisemmällä tasolla, jonka jälkeen perehdytään tarkemmin moottorityyppeihin, jotka ovat tämänhetkisen tiedon valossa oleellisia renkasiin integroitavien moottorien kannalta.

2.1 Autojen rakenne

Kuten jo johdannossa todettiin, moottorikonfiguraatio tehdään usein siten, että autoon tulee joko kaksi tai neljä moottoria, jos niitä ei käytetä perinteisemmän moottoriratkaisun apumoottoreina. Kahden moottorin tapauksessa moottorit asetetaan joko etu- tai takapyörille. Neljän moottorin ratkaisussa jokaiseen renkaaseen integroidaan moottori. Kahden moottorin ratkaisussa on useasti suosittu takapyörille toteutettavaa ratkaisua. Moottorien lisäksi yksinkertaistettuun rakenteeseen kuuluu myös akku, elektroninen moottorien ohjausyksikkö, sekä invertteri. Akustoon varastoitava sähkö on tasasähköä. Jos käytettävän moottorin tyyppi sitä vaatii, tasavirta muutetaan vaihtovirraksi invertterillä. Tämän lisäksi inverttereitä voidaan toki hyödyntää, mikäli sillä saavutetaan esimerkiksi tehonsiirtoon, moottorin ohjaukseen, tai muuhun liittyviä etuja. [9] Kuvasta 1 selviää esimerkkikaaviokuva auton rakenteesta.



Kuva 1. Esimerkki auton rakenteesta, muokattu lähteestä [9].

Tarkastellaan seuraavaksi esimerkkiä moottoriratkaisun rakenteesta. Käytetään esimerkkinä Protean Electric:n Pd18-moottoria. Esimerkki on esitetty kuvassa 2



Kuva 2. Protean Pd18-moottorin rakenne, muokattu lähteestä [10].

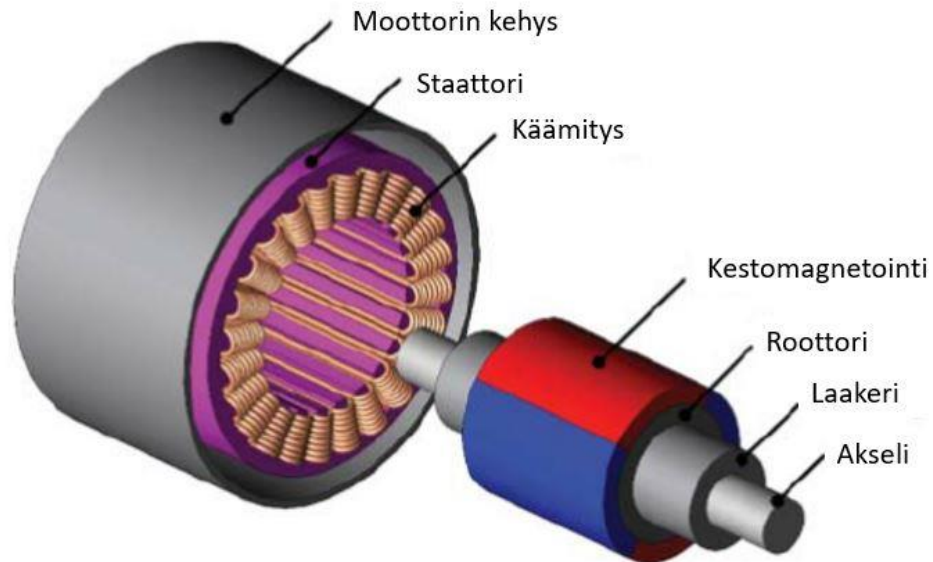
Sähkömoottorin osat muodostavat yhdessä renkaan kanssa esimerkkikokonaisuuden kuvan 2 osoittamalla tavalla. Rakenteen yksityiskohdilla ei ole vielä tässä vaiheessa suurta merkitystä, vaan työn seuraavissa osissa eritellään varteenotettavia moottorityyppejä ja niiden rakenteellisia sekä teknisiä ominaisuuksia.

2.2 Kestomagnetoitu tahtimoottori

Kestomagnetoidut harjattomat moottorit ovat tällä hetkellä yksi houkuttelevimmista moottorityypeistä sähköautomarkkinoilla. Tässä työssä kestopagnetoiduista harjattomista moottoreista käsitellään vain tahtimoottorit, sillä muiden moottorityyppien osuus on saatavilla olevan tiedon valossa melko olematon. Tahtimoottorien suosio johtuu niiden hyvästä tehotehokkuudesta sekä hyötysuhteesta. Nimessä esiintyvä termi kestopagneettinen viittaa siihen, että sähkökoneen roottori on kestopagnetoitu. [9]

Tahtimoottorissa on samat perusosat kuin muissakin sähkökoneissa. Pyörivä roottori ja paikallaan pysyvä staattori, joka on tässä tapauksessa kolmivaiheisesti käämitetty. Kestomagnetoinnin seurauksena päästään eroon hiiliharjoista ja liukurenkaista, joiden avulla erillinen magnetointi toteutettaisiin. Parhaassa tapauksessa kestopagnetoidun tahtikoneen hyötysuhde on jopa 95 %. [8] Kestomagnetoinnista johtuen moottorin jäähdyttäminen on helpompaa kuin monissa muissa moottorityypeissä, koska roottorissa on pienemmät resistiiviset häviöt. Kun tehohäviöt pienenevät, niin hyötysuhde paranee. Yleensä myös tietyn tehon käsittelyyn tarvittavan koneen fyysinen koko pienenee. [7] Tahtimoot-

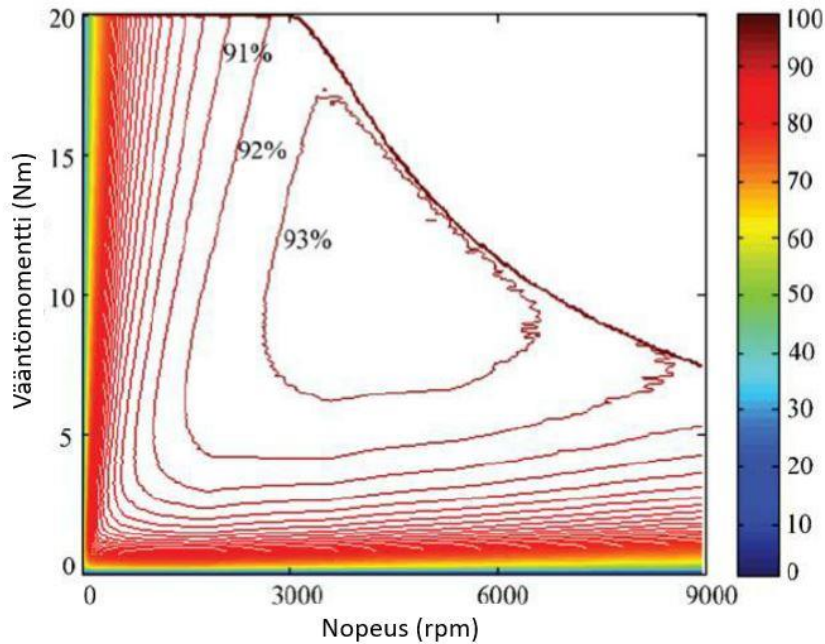
torissa on lisäksi jonkinlainen laakeri sekä akseli, johon auton rengas kiinnitetään. Roottorin pyörimisliike aiheuttaa akselin pyörimisen. [9] Tahtimoottorin rakenne on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Kestomagnetoidun tahtimoottorin rakenne, muokattu lähteestä [9].

Akustosta saatavaa virtaa johdetaan staattorin käämityksiin, jolloin sille saadaan aikaan pyörivä magneettikenttä. Roottorin kestmagneettien ja staattorin magneettikentän erimerkkiset navat vetävät toisiaan puoleensa. Tämä saa aikaan roottorin pyörimisliikkeen. Roottori pyrkii pyörimään samalla nopeudella kuin staattorin pyörivä magneettikenttä. [7]

Aiemmin mainittu hyötysuhde on yksi kestmagnetoidun tahtimoottorin isoimmista myyntivalteista. Moottorin hyötysuhde on koko käyttöasteella vakuuttavan korkea. Kestomagnetoidun tahtimoottorin hyötysuhdekartta on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Kestomagnetoidun tahtimoottorin hyötysuhdekartta, muokattu lähteestä [9].

Kuvasta huomataan, että moottorin hyötysuhde säilyy korkeana, vaikka moottorin pyörimisnopeus ja vääntömomentti kasvaisivat. Suurimassa osassa moottorin käyttöaluetta hyötysuhde on korkeampi kuin 90 %, joten moottori sopii erinomaisesti sähköautoiluun.

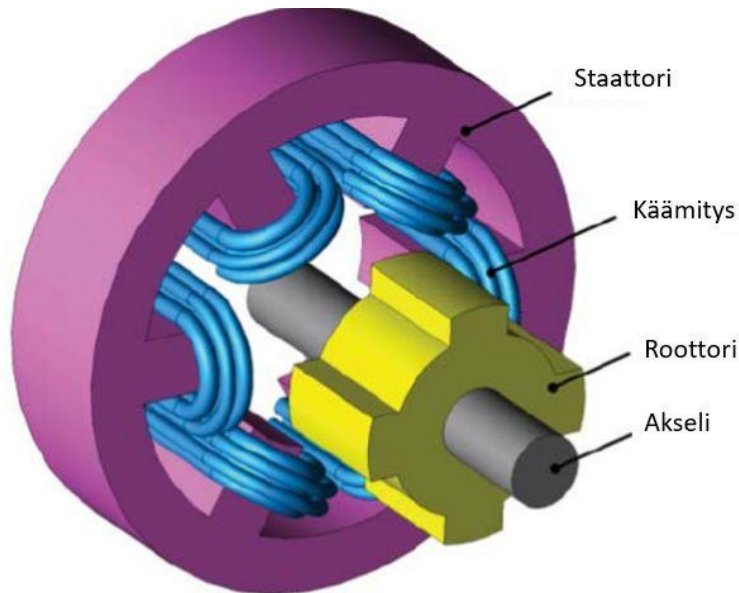
Tämän moottorityypin ehkäpä suurin huono puoli on sen valmistamiseen liittyvä hinta. Kestomagnetointiin käytettävät materiaalit ovat melko kalliita. Moottorin materiaalien kokonaiskustannuksista jopa 65 % voi olla kestmagnetointimateriaaleja. [11] Kuvassa 2 esitetty Protean Pd-18 on esimerkki kestmagnetoidusta tahtimoottorista [10].

2.3 Vaihtoreluktanssimoottori

Vaihtoreluktanssimoottori (engl. switched reluctance motor) on molemmin puolin avonapainen reluktanssimoottori. Magneettipiirin reluktanssin vaihtelu roottorin asentokulman funktiona saa aikaan reluktanssimoottorin toiminnan. Tämä moottorityyppi eroaa oleellisesti edellisen alakappaleen tahtimoottorista siinä, että reluktanssimoottorin roottoria ei ole magnetoitu. [7]

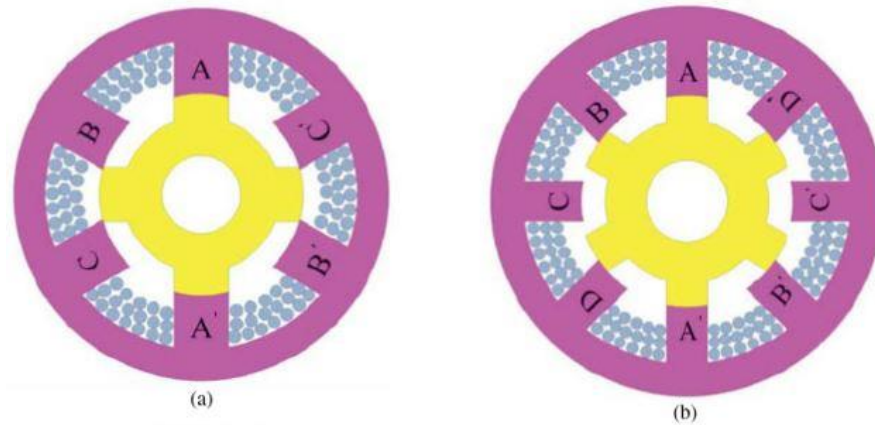
Vaihtoreluktanssimoottorit ovat kasvattaneet suosiotaan, sillä kestmagnetoitujen tahtimoottorien tapaan ne voivat saavuttaa korkean tehotiheyden ja hyvän hyötysuhteen, vaikkakin kestmagnetoidut tahtimoottorit vetävät tässä pidemmän korren. Vaihtoreluk-

tanssimoottoreita käytetään muun muassa tuulienergiatuotannon ja lentokoneolosuhteiden kaasuturbiinisovelluksissa. Nykyään niitä on otettu käyttöön myös sähköautoteollisuudessa. Vaihtoreluktanssimoottorien myyntivaltteja ovat helppo hallittavuus, suhteellisen yksinkertainen ja kustannuksellisesti edullinen rakenne, hyvä energiatehokkuus suurilla nopeuksilla, sekä hyvä luotettavuus ja korkea virhetoleranssi. [12] Vaihtoreluktanssimoottorin rakenne on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Vaihtoreluktanssimoottorin rakenne, muokattu lähteestä [9].

Moottorin yksinkertaisempi rakenne esimerkiksi verrattuna kestmagnetoituun tahti-moottoriin voidaan huomata kuvasta 5. Staattorin käämitykset ovat monivaiheisia ja moottoreille voidaan tehdä eri topologisia konfiguraatioita tarpeesta riippuen. Kaksi perinteistä konfiguraatiota ovat 6/4- napainen ja 8/6- napainen topologia. 6/4-versiossa on kuusi staattorin napaa ja neljä roottorin napaa. Staattorin käämitys on tässä konfiguraatiossa kolmivaiheinen. 8/6-versio on nelivaiheinen ja siinä on kahdeksan staattorin napaa ja kuusi roottorin napaa.



Kuva 6. Reluktanssimoottorien topologiat: (a) kolmivaiheinen 6/4 ja (b) nelivaiheinen 8/6 [9].

Topologioiden rakenteet on esitetty kuvassa 6. Tulee ottaa huomioon, että nämä ovat vain perustapaukset ja hyvin useasti käytetään myös aivan muita topologioita ratkaisuja. Moottorin toimiessa staattoriin syötetään virtaa, jolloin muodostuu jälleen pyörivä magneettikenttä. Rottori pyrkii liikkumaan asentoon, jossa magneettipiirin reluktanssi on pienin. [7]

Reluktanssimoottorien rakenne aiheuttaa sen, että ne vaativat yleensä jonkinlaisen ohjauksikon, jolla ohjailaan esimerkiksi moottorin pyörimisnopeutta. Juuri elektroniikan sekä tietokoneiden kehittyminen on merkittävästi parantanut reluktanssimoottorien potentiaalin nousua sähköautomarkkinoilla, koska niitä voidaan nyt hallita tehokkaammin. [9]

Moottorien rakenteesta johtuen niiden jäähdyttäminen on myös suhteellisen helppoa. Tämä selittyy sillä, että rottorissa ei ole käämityksiä. Reluktanssimoottorit kykenevät toimimaan korkeissa lämpötiloissa ja suurilla nopeuksilla. Vaikka moottorien tehotiheys on hyvä, niiden vääntömomenttitiheys on heikko ja tehonsyöttö ei ole kovin vakaata verrattuna kestmagnetoiutuun tahtimoottoriin. Lisäksi näillä moottoreilla toiminta aiheuttaa kovempaa ääntä kuin muun tyyppisissä moottoreissa. On oletettavissa, että sähköautovalmistajat ottavat tahti- ja vaihtoreluktanssimoottoreita entistä enemmän kehitykseen juuri sen takia, että kestmagnetointiin käytettävät materiaalit ovat kalliita ja moottorien hallintaan sekä ohjailuun tarvittavat järjestelmät kehittyvät jatkuvasti. [9]

3. MOOTTORIEN KÄYTÖN VAATIMUKSET

Integroitaviin moottoreihin kohdistuvia vaatimuksia mietittäessä on hyvä pohtia ensin, mitä auton moottorilta ylipäätään vaaditaan. Ensinäkin moottorin tai moottorien yhdistelmän tulee tuottaa suuri määrä tehoa sekä liikkeellelähtöä että suurilla nopeuksilla ajamista varten. Moottorin suuri vääntömomentti on liikkeellelähdössä tärkeää ja se on maksimissaan moninkertainen moottorin nimellisvääntömomenttiin nähden. [9]

Integroitavilla moottoreilla suurin vääntömomentti on saatavilla ajoneuvon ollessa paikallaan nimenomaan liikkeellelähtöä varten. Nykyään käytettäviin sähkömoottoreihin sekä perinteisiin polttomoottoreihin verrattuna integroitaviin moottoreihin kohdistuvat vääntömomentin vaatimukset muuttuvat nopeammin ajoneuvon nopeuden kasvaessa. Vääntömomentin syötön tulee olla sujuvaa, jotta auton nopeuden hallinta on tehokasta. Useasti auton huippunopeutta rajoittaa akuston tekniikka, eikä niinkään moottorin teho tai saatavilla oleva vääntömomentti. [13]

Tarkastellaan seuraavaksi esimerkkiä moottorin ominaisuuksien luettelosta. Käytetään esimerkkinä yrityksen nimeltä Elaphe L1500-moottoria, joka on suunniteltu käyttöön tavallisille viiden hengen henkilöautoille sekä hieman niitä kookkaammille lava-autoille. Kuva moottorista on esitetty kuvassa 7. Moottorin ominaisuudet on koottu taulukkoon 1.



Kuva 7. Elaphe L1500 [15].

Taulukko 1. Elaphe L1500-moottorin ominaisuudet [15]

Paino	34,8 kg
Maksimaalinen vääntömomentti	1500 Nm
Nimellisvääntömomentti	650 Nm
Huippunopeus	1480 rpm
Huipputeho	110 kW
Nimellisteho	77 kW

Taulukosta 1 huomataan, että huipputeho ja huippuvääntömomentti ovat paljon suuremmat kuin vastaavat nimellisarvot, kuten aiemmin todettiin.

Modernin moottorin energiatehokkuuden tulee olla mahdollisimman hyvä. Auton hyötysuhteen tulee myös olla hyvä, jotta mahdollisimman vähän energiaa kuluu esimerkiksi lämpönä turhaan. Sähköautojen moottorien hyötysuhteet ovat yleensä yli 90 %. [14] Moottorien kestromagnetointiin käytettävien materiaalien valinnalla voidaan esimerkiksi vaikuttaa siihen, että moottorin kokonaistehohäviöt olisivat mahdollisimman pienet [9].

Integroitavaa moottoria suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että moottorin ollessa renkaan yhteydessä se altistuu monenlaisille iskuille ja tärinälle ajon aikana. Tämä johtuu yksinkertaisuudessaan siitä, että maantiet ja ajoväylät eivät ole tasaisia maastoajosta puhumattakaan. Moottorin ja siihen liittyvien ohjauselektronikkakomponenttien tulee siis kestää monenlaista räsitusta. Autoa suunniteltaessa on myös tärkeää, että pyritään minimoimaan moottoriin kohdistuvat iskut laadukkaalla suunnittelulla, jossa voimat kohdistetaan johonkin muuhun auton rakenteeseen. Moottorien tulisi olla myös mahdollisimman kevyitä, jotta auton kokonaismassa saadaan mahdollisimman alas. Korkeampi kokonaismassa kasvattaa liikkumiseen tarvittavan energian määrää. [9]

Moottorien tulee olla myös luotettavia ja mahdollisimman huoltovapaita, sillä sähkömoottorien huoltaminen ja korjaaminen ovat suhteellisen hankalia toimenpiteitä. Moottorin pitäisi kyetä myös toimimaan generaattorina, jotta jarrutusenergiaa voidaan ottaa akustoon talteen. Tämä on sekä ekologista, että kasvattaa sähköautolle tärkeää käytösädettä. [16]

Tulee myös huomata, että moottorien vaatimukset eri tilanteissa ovat hyvin erilaiset. Autojen käyttökohteet ja käyttötarkoitukset asettavat monenlaisia erilaisia vaatimuksia. Joissakin tapauksissa tarvitaan isompia ja raskaampia ajoneuvoja, jolloin tehon ja vään-

tömomentin vaatimukset ovat tyystin erilaiset kuin esimerkiksi pienen henkilöauton kohdalla. Maailmassa on myös alueellisia eroja suosituissa autotyypeissä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa suositaan suurempia autoja kuin Euroopassa ja Japanissa. Markkinoille tarvitaan täten paljon erilaisia konfiguraatioita, jotta autot voivat saavuttaa menestystä ympäri maailman. [13]

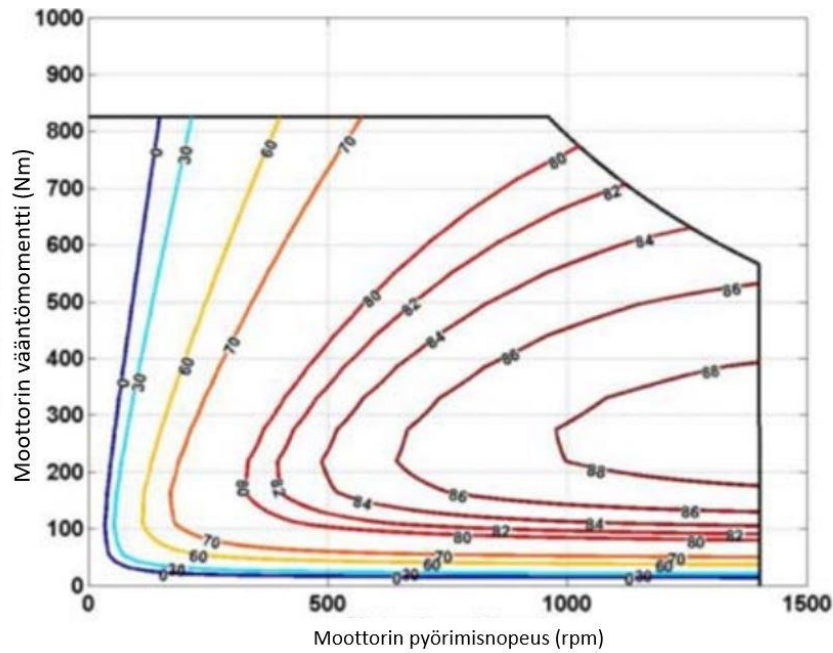
4. INTEGROITAVIEN MOOTTORIEN HYÖDYT

Sähköautojen kehitys kohtaa tänä päivänä merkittäviä haasteita. Käyttäjät ja asiakkaat haluavat entistä parempia ajoneuvoja. Autoilta halutaan muun muassa korkeaa yhden latauksen käytösädettä, tehokkuutta ja luotettavuutta. Kysyntä tavallista henkilöautoa kookkaammille ajoneuvoille on myös suuri, joka asettaa aivan eri tavalla haasteita esimerkiksi akkujen kehitykseen. Renkasiin integroitavat moottorit voivat olla merkittävässä osassa tulevaisuuden taistelussa näitä haasteita vastaan. Integroitavat moottorit tarjoavat joitain erityisiä etuja ja hyötyjä tavalliseen moottoriratkaisuun nähden. [13]

4.1 Jarrutusteknologia

Sähköautojen moottorit kykenevät jo tänä päivänä hyödyntämään auton jarruttamista energian talteen ottamisen muodossa. Kun auton vauhtia jarrutetaan, auton moottori tai moottorit toimivat generaattoreina ja ottavat liike-energiaa talteen auton akkuihin. Kun moottori on integroitu renkaan yhteyteen, tarve mekaanisille osille pienenee. Erilaiset häviöt ovat tästä johtuen pienemmät ja jarrutusenergian talteenotto voi olla jopa tehokkaampaa kuin tavanomaisissa voimanlähderatkaisuissa. [13]

Integroitavien moottorien kohdalla on pohdittu mahdollisuutta sille, että perinteisiä mekaanisia jarruja ei enää tarvittaisi ollenkaan, vaan jarrutus tehtäisiin kokonaan moottorien avulla. Esimerkki integroitavan moottorin jarrutusenergian talteenoton tehokkuuskaavioista on esitetty kuvassa 8. Kuvan osoittamassa testissä on käytetty Protean Pd-18 -moottoria, joka on siis kestopagnetoitu tahtimoottori.



Kuva 8. Jarrutusenergian talteenoton tehokkuus prosentteina Protean Pd-18-moottorille. Alue akseleiden ja 0 %:n tehokkuuden käyrän välissä kuvaa negatiivista tehokkuutta, eli tehon kulutusta, muokattu lähteestä [13].

Jarrutusenergian talteenoton tehokkuus voi tosin olla nolla, tai jopa negatiivinen. Kun auton vauhti laskee ja moottori toimii generaattorina, talteen otettava energia tulee auton kineettisestä energiasta, eli liikkeestä. Moottorissa esiintyy aina käytettäessä erilaisia häviöitä muun muassa lämpenemisestä johtuen. Mikäli auton nopeus (ja samalla tietenkin moottorin pyörimisnopeus) on matala, niin on mahdollista, että moottorien häviöiden suuruus on suurempi kuin auton kineettisestä energiasta saatava energia. Tällöin jarrutusenergian talteenoton tehokkuus menee negatiivisen puolelle. Tähän ongelmaan voidaan puuttua jarruttamalla autoa muilla keinoilla. Käytännössä tämä tarkoittaa nykyteknologialla mekaanisten jarrujen käyttöä. Niiden avulla saadaan tehostettua jarrutusenergian talteenottoa, joten voidaan todeta, että nykyisillään jarruttamiseen tarvitaan ehdottomasti perinteiset mekaaniset jarrut. [13]

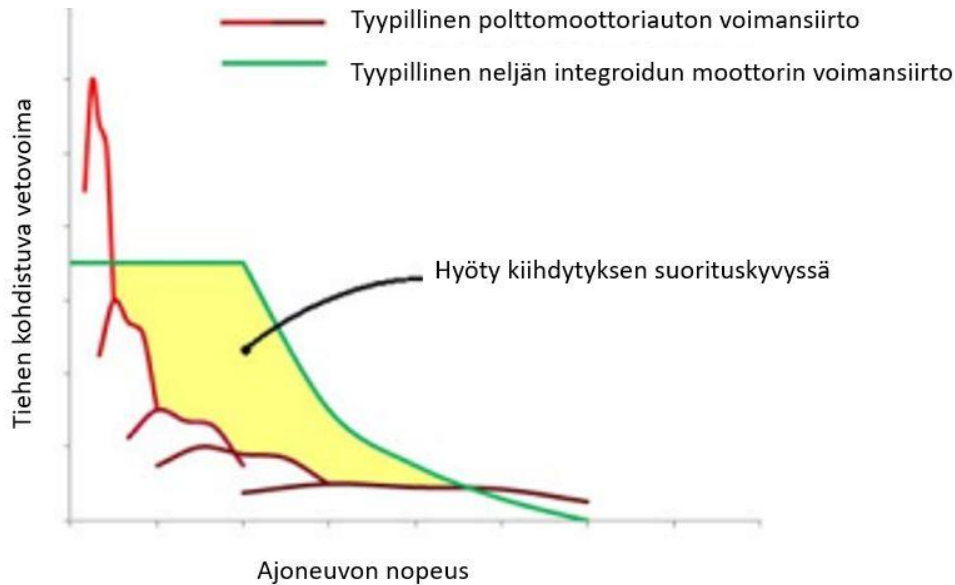
Jarrutusenergian talteenotolla saavutetaan positiivisia tuloksia. Kuvaan 8 liittyvän testin yhteydessä testattiin myös sitä, kuinka paljon moottorien käytösäde paranee käytännön ajossa. Testissä käytettiin Ford Explorer-katumaasturia, johon oli asennettu neljä renkaiisiin integroitavaa moottoria. Testissä huomattiin, että auton kokonaiskäytösäde parani kaupunkiajossa noin 20–30 % ja maantieajossa käytösäteen parannus oli alle 10 %. Mikäli jarrutusenergiaa kyetään ottamaan talteen, voidaan myös halutessa käyttää pienempiä akkuja. Tällöin auton kokonaismassaa saadaan alemmas, joka taas aiheuttaa auton pienemmän energiankulutuksen suurempiin akkuihin verrattuna. Pienemmät akut ovat yleensä myös halvempia. [13]

4.2 Suorituskyky ja pienemmät häviöt

Integroitavien moottorien käyttö vähentää autossa tarvittavia voimalinjakomponentteja. Polttomoottoriautojen voimansiirrossa joudutaan käyttämään muun muassa kytkintä, vaihteistoa, tasauspyörästä ja monia eri akseleita. Nykypäivän sähköautojen tekniikka vaatii myös akselien ja tasauspyörästäjien käytön. Integroitavien moottorien käyttö siis yksinkertaistaa auton rakennetta ja sen pitäisi myös vähentää auton kokonaismassaa. Mekaaniset voimalinjakomponentit aiheuttavat auton voimansiirrossa häviöitä, joten niiden väheneminen kokonaismassan pienenemisen ohella on hyötysuhteen kannalta edullista. [17]

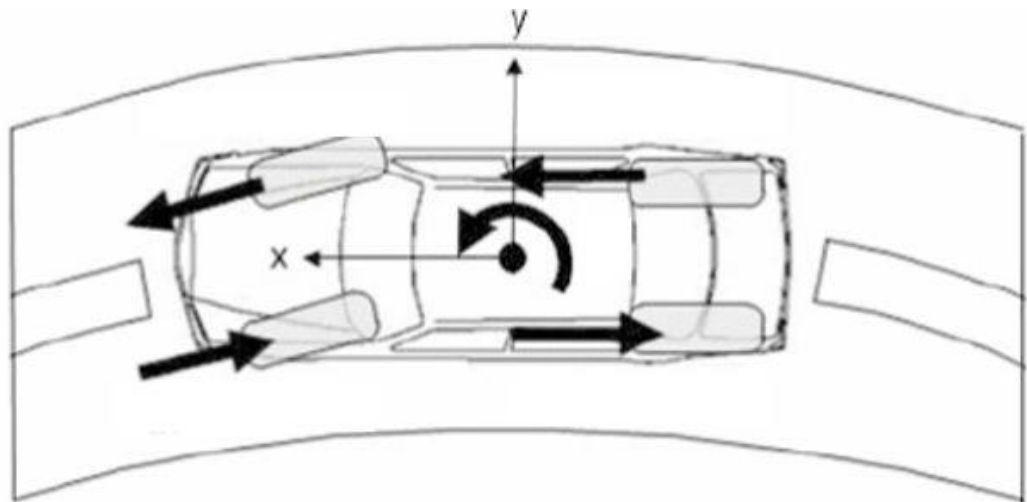
Polttomoottoriauton kaasupoljinta painettaessa esiintyy viive ennen moottorien reagoimista polkimen liikkeeseen. Tämä johtuu ainakin osittain juuri mekaanisista osista ja moottorin rakenteesta. Sähkömoottorien tekniikasta johtuen sähköautoilla polkimen painamisen jälkeen ilmenevä viive on vain muutamia millisekunteja, kun taas polttomoottoriauton vastaava lukema on keskiarvallisesti noin 300 millisekuntia. [13]

Nopean reagointikyvyn lisäksi sähkömoottorin ja polttomoottorin voimansyötön erot aiheuttavat sen, että autoa kiihdytettäessä tiehen kohdistuva vetovoima on tyystin erilainen. Integroitavat moottorit mahdollistavat laajan tasaisen vääntömomentin syötön alueen. Vaikka polttomoottorin suurin mahdollinen vetovoima on usein suurempi kuin sähkömoottorin, saavuttaa sähkömoottorilla varustettu auto suuremmat nopeudet samassa ajassa. Toisin sanoen sähköauto kiihtyy polttomoottoriautoa nopeammin. [13] Kuva 9 mallintaa suorituskyvyn eroavaisuuksia integroitavien moottorien ja polttomoottorin välillä.



Kuva 9. Tyypilliset vetovoiman käyrät sekä polttomoottoriautolle että autolle, joka käyttää neljää integroitua moottoria, muokattu lähteestä [13].

Auton ajaessa kaarteessa sen ulkokaarteeseen puoleiset pyörät kulkevat kaarteesta johtuen pidemmän matkan. Ulkokaarteeseen puoleisilla renkailla on myös enemmän pitoa, sillä auton massa keskittyy kaarreajossa enemmän ulkokaarteeseen puolelle. Nykyisillään autojen moottorit syöttävät voimaa minimissään kahdelle renkaalle samaan aikaan, eli joko etu- tai takapyörille, tai sitten kaikille, jos auto on neliveto. Nykyautoissa on mahdotonta tai hyvin vaikeaa hallita pyöriin kohdistuvaa voimaa erikseen. Koska integroitavat moottorit mahdollistavat yksittäisten renkaiden hallitsemisen helposti, voidaan kääntymisestä saada tehokkaampaa syöttämällä enemmän tehoa auton ulkokaarteeseen puoleisille pyörille. Teknologiaa, jossa auton pyörille syötetään eri määrä tehoa, kutsutaan löysästi suomennehtuna vääntömomentin vektoroinniksi (engl. torque vectoring). [18]



Kuva 10. Teoreettinen kuva vääntömomentin vektoroinnin toiminnasta, muokattu lähteestä [18].

Kuva 10 mallintaa vääntömomentin vektoroinnin toimintaa. Kaarreajon tehokkuuden parantamisen lisäksi tämän teknologian pitäisi parantaa myös jarruttamista kaarreajon aikana. [18] Lisäksi neljän pyörän itsenäinen hallinta mahdollistaa ainakin teoriassa auton täydellisen pyörimisen keskiakselinsa ympäri. Auton parantunut kääntyvyys auttaisi auton käsittelyä ahtaissa olosuhteissa ja parkkeeraamisessa huomattavasti.

Polttomootoriautojen, sekä nykypäivän sähköautojen etu- ja takapyöriä yhdistää akseli. Ajettavuuden parantamiseksi autojen renkaat eivät ole täysin suorassa menosuuntaan nähden, vaikka ajettaisiin suoraan. Renkailla sanotaan olevan aurauskulma. Tämä aiheuttaa renkaan nopeampaa kulumista sekä energiahäviöitä. Kun auton renkasiin integroidaan moottorit ja niiden toiminta on näennäisesti itsenäistä, voidaan jokainen rengas optimoida siten, että sen pyörimisestä johtuva resistanssi on mahdollisimman pieni. Eli aurauskulmia ei tarvita ja siitä johtuvat energiahäviöt saadaan pois. [19]

4.3 Turvallisuuteen liittyvät hyödyt

Jarrutusteknologian seikat voidaan nostaa myös turvallisuuteen liittyviksi hyödyiksi. Eri-tyisesti neljän moottorin konfiguraatiot tuovat huomattavia autojen dynamiikan hallintaan liittyviä hyötyjä. Jarrutusmatkat lyhenevät, autot ovat ketterämpiä esteitä väistettäessä ja ovat luotettavampia matalan pidon olosuhteissa, kuten vetisellä tai lumisella tiellä. [19]

Jarrutusmatkojen lyheneminen tarkoittaa, että auton liikettä pystytään jarruttamaan tehokkaammin. Tämän mahdollistaa juuri edellä mainittu vääntömomentin vektorointi. Joissain yhteyksissä puhutaan myös vääntömomentin moduloinnista. Nykyaikaisten ABS-jarrujen suorituskykyä rajoittavat hydraulisten aktuaattorien ja nopeussensorien vasteajat. Integroitava moottori kykenee reagoimaan auton käyttäjän jarrutushalukkuuteen nopeammin. Integroitavan moottorin jarrutuspotentialiaali yhdistettynä nopeasti ja tehokkaasti hallittavaan vääntömomentin syöttöön aiheuttaa sen, että autoilla saavutetaan suurempi jarrutusteho. [19]

Mikäli autolla ajetaan kaarteessa ja vauhti kasvaa liian suureksi, auton radalla pitämiseen tarvittava keskihakuvoima kasvaa ja ylittää renkaiden ja tien välisen kitkavoiman. Toisin sanoen auton renkaiden ja tien välinen pito vähenee, tai häviää. Mikäli pito häviää auton etupäästä, puhutaan aliohjaamisesta. Tällöin auto ei käänny haluttuun suuntaan, vaikka ohjauspyörää käännettäisiin. Auto alkaa niin sanotusti puskea ja eturenkaat liukuvat. Mikäli sama ilmiö ilmenee auton peräpäässä, puhutaan yliohjaamisesta. Tällöin takarenkaiden ja tien välillä ei ole paljoa pitoa ja auton takarenkaat alkavat liukua, joka voi johtaa auton pyörähtämiseen. Autovalmistajat säätelevät usein turvallisuussyistä auto-

jen jousitukset siten, että vauhdin kasvaessa lähelle pidon rajaa, auto alkaa aliohjaamaan ennen yliohjaamista. Tämä heikentää auton ja renkaiden suorituskykyä pidon näkökulmasta. Jos kuitenkin käytetään integroitavia moottoreita tämän halutun aliohjausilmiön tuottamiseen, voidaan auton jousitus säätää siten, että renkaista saadaan autolle mahdollisimman hyvä pito. Näin voidaan luontaisesti parantaa auton ja tien välistä pitoa äärimmäisissä olosuhteissa. [19]

5. TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Maailmalla on yleinen käsitys siitä, että polttomoottoreilla varustettujen ajoneuvojen tulevaisuus on heikko. Liikenteestä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt on kyettävä minimoimaan, tai mikäli mahdollista, eliminoimaan kokonaan. Sähköautoilu tarvitsee alan pioneereja ja innovaatiota, jotta autojen sekä akkujen suorituskykyä saataisiin paremmaksi. Akkujen suorituskyky juuri toimii rajoittava tekijänä autojen yleistymisessä. Akkujen lataamien on hidasta ja hyvin usein sähköauton käyttösäde jää huomattavasti lyhyemmäksi kuin se matka, jonka polttomoottoriautolla pääsee yhdellä tankillisella polttoainetta. Myös teollisuuden ja logistiikan käytössä sähköautoilun osuus on vielä melko olematon. [3] Polttomoottoreista halutaan tosissaan päästä eroon, joka näkyy esimerkiksi Suomessa poliittisena haluna kieltää bensiinimoottoreilla ja dieselmoottoreilla varustettujen autojen myynti lähitulevaisuudessa [20].

Nykytilanteen valossa integroitavien moottorien tulevaisuus näyttää siis valoisalta, sillä uusia innovaatiota tarvitaan. Sähköautojen on pystyttävä olemaan samankokoisia ja yhtä tehokkaita kuin niiden vastaavat polttomoottoriversiot, jotta kuluttajien asettamat vaatimukset täytetään. Integroitavat moottorit tarjoavat suuren ratkaisupotentiaalin moniin sähköautoiluun liittyviin ongelmiin. [13]

On olemassa myös teknisiä haasteita, jotka hidastavat integroitavien moottorien kehitystä ja käyttöä. Moottorien ollessa renkaiden yhteydessä, jousitukseen kohdistuu normaalia suurempi massa. Tästä johtuen ajon aikainen rasitus on suurempi, joka taas voi aiheuttaa jousitusten rikkoutumista. Jousitus joudutaan myös säätämään normaalia jäykemmäksi, joka voi taas aiheuttaa aiempaa epämukavamman ajokokemuksen. Itse moottoreihin kohdistuu myös aiempaa suurempia iskuja ja värinöitä, sillä muun muassa teiden epätasaisuudet ja töyssyt välittyvät renkaiden kautta moottoreihin. Myös mekaanisten jarrujen asentaminen moottorien kanssa renkaan yhteyteen voi tuottaa ongelmia. Kun haasteet voitetaan, integroitavat moottorit tarjoavat mahdollisuuden entistä parempiin sähköautoihin. [13]

Johdannossa mainittujen tunnettujen autovalmistajien lisäksi markkinoille on tullut uudempiä toimijoita. Iso-Britannialainen Protean Electric toimii yhtenä suurena pioneerina integroitavien moottorien alalla. Yhdysvaltalainen Rivian on hiljattain aloittanut täyssähköisten lava-autojen valmistamisen, joissa se käyttää neljää integroitavaa kestopagne-toitua tahtimoottoria [21]. Rivian on myös listautunut pörssiin ja sen markkina-arvo on ohittanut Volkswagenin [22].

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä perehdyttiin renkaisiin integroitaviin moottoreihin. Työssä tutkittiin integroitavien moottorien kannalta oleellisia sähkömoottorityyppejä ja pohdittiin niiden hyviä sekä huonoja puolia. Kestomagnetoitu tahtimoottori todettiin yhdeksi suosituimmaksi moottorityypiksi sähköautomarkkinoilla. Näillä moottoreilla on hyvä tehotehous ja hyötysuhde. Kestomagnetoitujen moottorien koko on yleensä suhteellisen pieni ja niillä säästetään suuri vääntömomentti matalilla nopeuksilla, joten ne soveltuvat hyvin kaupunkiajoon. Toisaalta kestomagnetointiin tarvittavat materiaalit ovat kalliita, joten näiden moottorien valmistaminen on useasti kalliimpaa kuin muiden moottorityyppien.

Vaihtoreluktanssimoottorit ovat luotettavia, helposti hallittavia ja halvempia valmistaa. Niiden vääntömomenttitehous on kuitenkin heikompi, ja tehonsyöttöä on vaikeampi hallita. Usein myös hyötysuhde on huonompi kuin kestomagnetoidun tahtimoottorin. Kestomagnetoitu tahtimoottori on vertailun perusteella parempi vaihtoehto moottoriksi, mikäli hinnalla ei ole suurta merkitystä. Jos halutaan valmistaa mahdollisimman halpa ajoneuvo, vaihtoreluktanssimoottori on varsin oiva vaihtoehto, koska se on halvempi valmistaa. Moottorityyppiä valittaessa tulee tarkastella käyttötarpeita sekä ajoneuvon vaatimuksia ja tehdä päätös niiden mukaan.

Työssä tutkittiin, mitä sähköauton moottorilta vaaditaan. Todettiin, että moottorien vääntömomentin ja voimansyötön tulee olla tehokasta ja sujuvaa. Moottoreilta vaaditaan myös hyvää hyötysuhdetta ja kestäväää rakennetta. Kestomagnetoitujen tahtimoottorien suosiosta voidaan päätellä, että valmistajat haluavat hinnasta huolimatta panostaa mahdollisimman laadukkaaseen lopputulokseen.

Neljännessä luvussa esitetyistä integroitavien moottorien tuomista hyödyistä voidaan huomata, että ne tuovat oivan vaihtoehdon autojen valmistajille. Autojen parempi jarrutustehokkuus, parantunut dynamiikan hallinta, sekä hyvä suorituskyky ovat varmasti haluttuja ominaisuuksia tulevaisuuden ajoneuvoille.

Kysyntä paremmille sähköautoille on suuri, joten integroitavien moottorien tulevaisuutta voidaan pitää valoisana. Johdannossa mainittujen suurien autovalmistajien lisäksi markkinoilla on uudempia toimijoita integroitavien moottorien alalla. Luvussa viisi kerrottiin esimerkkinä yhdysvaltalainen yritys nimeltä Rivian, jonka markkina-arvo ohitti Volkswagenin markkina-arvon. Tästä voidaan päätellä, että maailmalla on halukkuutta investoida yrityksiin, jotka hyödyntävät integroitavia moottoreita ajoneuvoissa. Integroitavia moottoreita voidaan pitää tulevaisuuden ratkaisuna.

LÄHTEET

- [1] Zhao J, Xi X, Na Q, Wang S, Kadry SN, Kumar PM, "The technological innovation of hybrid and plug-in electric vehicles for environment carbon pollution control", *Environmental impact assessment review*, 2021, vol. 86
- [2] United States Environmental Protection Agency, Global Greenhouse Gas Emissions Data, 2021, päivitetty 27.7.2021. Saatavissa (viitattu 16.9.2021): <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
- [3] Muneer T (Tariq), Kolhe ML, Doyle A, Electric vehicles: prospects and challenges, Elsevier, Amsterdam, 2017, 571 p.
- [4] Murata S, "Innovation by in-wheel-motor drive unit", *Vehicle system dynamics*, 2012, vol. 50, no. 6, pp. 807-30
- [5] Nissan Motor Corporation, In-wheel motor, Saatavissa (viitattu 16.9.2021): https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/in_wheel_motor.html
- [6] Motiva, Sähkömoottorityyppit, 2020, päivitetty 3.8.2020, Saatavissa (viitattu 17.9.2021): https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityyppit
- [7] Bastman J, Sähkökoneet-opintomoniste, Sähkökoneet-kurssi, Tampereen teknillinen yliopisto, 2018, 166 s.
- [8] Renault Group, LEARN ALL YOU NEED TO KNOW ABOUT THE MOTOR OF AN ELECTRIC CAR, 2021, päivitetty 23.2.2021, Saatavissa (viitattu 21.9.2021): <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/learn-all-you-need-to-know-about-the-motor-of-an-electric-car/>
- [9] Chau KT, Electric vehicle machines and drives: design, analysis and application, John Wiley and Sons, Chichester, England, 2015, 401p.
- [10] Protean Electric, Pd18 Datasheet, 2020, Saatavissa (viitattu 17.9.2021): <https://www.proteanelectric.com/f/2020/02/ProteanDrive%C2%AE-Pd18-Product-Data-Sheet-2020.pdf>
- [11] Cai, H., Guan, B. & Xu, L, "Low-Cost Ferrite PM-Assisted Synchronous Reluctance Machine for Electric Vehicles", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2014, vol. 61, no. 10, pp. 5741–5748
- [12] Omaç Z, Polat M, Öksüztepe E, Yıldırım M, Yakut O, Eren H, et al. "Design, analysis, and control of in-wheel switched reluctance motor for electric vehicles", *Electrical engineering*, 2018, vol. 100, no. 2, pp. 865-876
- [13] Watts A, Vallance A, Whitehead A, Hilton C, Fraser A, "The Technology and Economics of In-Wheel Motors", *SAE International journal of passenger cars Electronic and electrical systems*, 2010, vol. 3, no. 2, pp. 37-55

- [14] Eriksson L, Nielsen L, Modeling and control of engines and drivelines, John Wiley & Sons, West Sussex, England, 2014, 567 p.
- [15] Elaphe, Direct-drive in-wheel motors – L1500, 2019, Saatavissa (viitattu 15.10.2021): <https://in-wheel.com/en/solutions-2/direct-drive-in-wheel-motors/>
- [16] Zhu Z. Q, Howe D, "Electrical Machines and Drives for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles," in *Proceedings of the IEEE*, 2007, vol. 95, no. 4, pp. 746–765
- [17] Sun Y, Li M, Liao C. "Analysis of Wheel Hub Motor Drive Application in Electric Vehicles", *MATEC web of conferences*, 2017, vol. 100, no. 1, pp. 1004-
- [18] Khajepour A, Fallah MS, Goodarzi A. Electric and hybrid vehicles: technologies, modeling, and control: a mechatronic approach, John Wiley & Sons, Chichester, England, 2014, 415p.
- [19] E-motec, In-wheel motors: Beyond torque vectoring, the benefits of independent wheel torque control in non-performance applications, 2020, päivitetty 20.5.2020, Saatavissa (viitattu 8.11.2021): <https://www.e-motec.net/in-wheel-motors-beyond-torque-vectoring/>
- [20] Iltalehti, SDP, RKP ja vihreät haluavat lopettaa tulevaisuudessa bensiini- ja dieselautojen myynnin, 2019, päivitetty 2.4.2019, Saatavissa (viitattu 24.11.2021): <https://www.iltalehti.fi/eduskuntavaalit-2019/a/eabf7d1c-cb73-4ef8-b97b-c599a0aa54b5>
- [21] Motortrend, 2022 Rivian R1T First Test: It's the Quickest Truck We've Ever Tested, 2021, päivitetty 10.11.2021, Saatavissa (viitattu 28.11.2021): <https://www.motortrend.com/reviews/2022-rivian-r1t-first-test-0-60-mph-review/>
- [22] MTV Uutiset, Vasta toistasataa autoa valmistanut sähköautoyhtiö Rivian on jo arvokkaampi kuin Volkswagen, 2021, päivitetty 16.11.2021, Saatavissa (viitattu 24.11.2021): <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/vasta-toistasataa-autoa-valmistanut-sahkoautoyhtio-rivian-on-jo-arvokkaampi-kuin-volkswagen/8291406#gs.gvoh1t>