



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Miika Mölsä

# Sähkömoottori moottorikelkassa poltto- moottorin haastajana

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

12.5.2021

Tekijä Otsikko	Miika Mölsä Sähkömoottori moottorikelkassa polttomoottorin haastajana
Sivumäärä Aika	32 12.5.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Pasi Kovanen
<p>Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan sähkömoottorikelkan ja polttomoottorikelkan mahdollisia eroavaisuuksia pääosin rakenteiden osalta. Lisäksi työssä on katsaus moottorikelkkojen ympäristövaikutuksiin sekä sähkömoottorikelkkojen tuotantotilanteeseen.</p> <p>Työ on tehty pääosin verkkolähteisiin perustuvana kirjallisuuskatsauksena. Sähkömoottorikelkat ovat vasta tulleet markkinoille, joten tietolähteitä on toistaiseksi saatavilla suhteellisen vähän, mutta sähköautoissa on pääosin samanlainen tekniikka ja samat tekniset haasteet kuin sähkömoottorikelkoissa.</p> <p>Selvitys osoittaa, että sähkömoottorikelkka tuo mukanaan paljon hyviä ominaisuuksia, kuten kaasua- ja hiukkaspäästöttömyys, hiljainen käyttöäänäni sekä korkea hyötysuhde. Toistaiseksi akkujen alhainen energiatiheys ja sen myötä kelkan lyhyt toimintamatka rajoittavat kuitenkin käyttöä suuresti. Käytön helpottamiseksi tarvitsee myös latausverkostoa laajentaa paljon nykyisestä. On kuitenkin käyttötarkoituksia, joissa ei pitkää toimintamatkaa tarvita ja kelkan lataus onnistuu aina lähtöpisteestä. Lähitulevaisuudessa sähkömoottorikelkatuotanto on näillä näkymin kasvamassa merkittävästi, mikä todennäköisesti tarjoaa paljon ratkaisuja nykyisiin ongelmiin.</p>	
Avainsanat	sähkömoottori, moottorikelkka, ilmastonmuutos

Author Title Number of Pages Date	Miika Mölsä Electric Motor in Snowmobile as a Challenger of an Internal Combustion Engine 32 pages 12 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Design Engineering
Instructors	Pasi Kovanen, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to examine possible differences between an electric snowmobile and a snowmobile with internal combustion engine, mainly in terms of structures. The thesis contains also overviews for electric snowmobile production and environmental impacts from snowmobile use.</p> <p>The thesis is mainly based on online sources. Electric snowmobiles have just come to the market. Therefore, relatively few sources were available. However, electric cars have mainly similar technology and the same challenges as electric snowmobiles.</p> <p>The thesis shows that an electric snowmobile has many excellent qualities such as no gas or particle emissions, low noise, and high efficiency. At the moment low energy density of the batteries resulting in short range is a big restriction for electric snowmobile use. To ease the use of electric snowmobiles the charging network should be expanded considerably. However, there are cases in which long range is not needed and the electric snowmobile can always be charged in the starting point. It seems that the production of the electric snowmobiles is going to grow significantly in the future, which will likely provide many solutions to current problems.</p>	
Keywords	electric motor, snowmobile, climate change

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Moottorikelkan määritelmä	2
3	Voimanlähteet	3
3.1	Bensiini	3
3.2	Sähkö	4
4	Akkutyypit	5
4.1	Litiumioniakku	6
4.2	Nikkeli-metallihydridiakku	7
4.3	Lyijyakku	7
4.4	Superkondensaattori	8
5	Sähkömoottorityypit	10
5.1	Tasavirtamoottori (DC-moottori)	10
5.2	Induktiomoottori (IM)	10
5.3	Kestomagneettimoottori (PM)	11
5.4	Synkroninen reluktanssimoottori (SRM)	11
6	Polttomoottorikelkka	12
6.1	Polttomoottori	12
6.1.1	Kaksitahtimoottori	13
6.1.2	Nelitahtimoottori	14
6.2	Voimansiirto	14
6.3	Runko	15
7	Sähkömoottorikelkka	17
7.1	Keskeiset ominaisuudet	17
7.2	Sähkömoottori	18

7.3	Oheiselektroniikka	19
7.4	Akusto	20
7.5	Lataus	21
7.6	Voimansiirto	22
7.7	Runko	22
8	Ympäristövaikutukset	23
9	Lopuksi	25
	Lähteet	28

## Lyhenteet

kg/l	kilogramma per litra, tiheys
MJ/l	megajoule per litra, energiasisältö
Wh/kg	wattitunti per kilogramma, energiatiheys
W/kg	watti per kilogramma, tehosiheys
Nm	newtonmetri, vääntömomentti
hv	hevosvoima, teho
l /100 km	litra per 100 kilometriä, polttoaineen kulutus
g/kWh	gramma per kilowattitunti, ominaispäästö
g/km	gramma per kilometri, ominaispäästö
BRP	Bombardier Recreational Products, vapaa-ajan koneiden valmistaja

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä eri lähteiden avulla sähkömoottorikelkan ja polttomoottorikelkan mahdollisiin eroavaisuuksiin pääosin rakenteiden osalta. Lisäksi työssä on katsaus moottorikelkkojen ympäristövaikutuksiin sekä sähkömoottorikelkkojen tuotantotilanteeseen.

Ilmastonmuutoksen hillitseminen on yksi nykyhetken suurimmista haasteista, ja tärkeimpiä keinoja siihen ovat muun muassa fossiilisista polttoaineista luopuminen ja kulkuneuvojen lähipäästöjen vähentäminen. Kulkuneuvoilla tarkoitetaan päästöistä puhuttaessa yleensä eniten päästöjä aiheuttavia ajoneuvoja eli henkilöautoja ja raskasta kalustoa, mutta myös moottorikelkoilla, mopoilla ja moottoripyörillä on pieni osansa liikenteen kokonaispäästöissä. [1]

Moottorikelkat toimivat merkittävänä apuna liikkumiseen ja työntekoon monissa eri maissa ja ovat tärkeässä asemassa talvimatkailussa niin Suomessa kuin muualla maailmassa. Vaikka moottorikelkoilla ei ole liikenteen kokonaispäästöihin suurta vaikutusta, voivat ne polttomoottorilla varustettuna paikallisesti aiheuttaa suurta meluhaittaa, vahingoittaa maaperää sekä vaikuttaa ilman- ja vedenlaatuun. [2]

Historiasta saakka sarjatuotetut moottorikelkat ovat olleet polttomoottorikäyttöisiä, mutta pieni kanadalaisyritys toi vuoden 2020 keväällä myyntiin ensimmäiset sarjatuotetut sähkömoottorikelkat. Polttomoottorikelkoissa käytetään niin kaksitahti- kuin nelitahtimoottoreita, ja voimansiirtojärjestelmänä niissä on variaattori sekä mallista riippuen erillinen vaihdelaatikko. Sähkömoottorikelkoissa näitä ei välttämättä tarvita ollenkaan, mikä on mahdollisesti suurin rakenteellinen eroavaisuus polttomoottorikelkkaan. [3]

Työ on tehty pääosin verkkolähteisiin perustuvana kirjallisuuskatsauksena. Sähkömoottorikelkat ovat vasta tulleet markkinoille, joten tietolähteitä on toistaiseksi saatavilla suhteellisen vähän. Sähköautoissa on tosin pääosin samanlainen tekniikka ja samat tekniset haasteet kuin sähkömoottorikelkoissa.

## 2 Moottorikelkan määritelmä

Virallisen määritelmän mukaan moottorikelkka on telavetoinen moottorireki, jossa on kuljettajan lisäksi tilaa enintään kahdelle henkilölle ja jonka omamassa on enintään 500 kg. [2] Kuvassa 1 on nykyaikainen moottorikelkka, joka soveltuu niin retkeilyyn kuin raskaaseen työkäyttöön.



Kuva 1. BRP Lynx 69 Ranger Snowcruiser, joka on varustettu kahdella istuimella, vetokoukulla, turboahdetulla nelitahtimoottorilla, pitkällä ja leveällä telamatolla sekä urheilullisilla iskunvaimentimilla [4].

Moottorikelkkoja rakennetaan niin työkäyttöön kuin vapaa-ajan viettoon. Työkelkoissa on yleensä runsaasti säilytystilaa sekä vetokoukku, ja ne on varustettu leveällä ja pitkällä telamatolla kantavuuden parantamiseksi umpihangessa. Vapaa-ajan viettoon tarkoitettuja moottorikelkkoja rakennetaan käytettäväksi syvässä lumessa, moottorikelkkareitillä sekä kilparadalla. Syvän lumen moottorikelkoissa on pitkä ja korkeaharjainen telamatto etenemiskyvyn parantamiseksi sekä kapea raideväli kelkan käsittelyn helpottamiseksi umpihangessa. Reittikelkkoja on niin kaksipaikkaisia matkakelkkoja kuin yksipaikkaisia enemmän urheilulliseen ajoon tarkoitettuja urheilukelkkoja. Reittikelkoille ominaista on lyhyt ja matalaharjainen telamatto sekä leveä raideväli ajoa vakauttamaan. Kilparadoille

suunnitellut kelkat ovat yksipaikkaisten reittikelkkojen kaltaisia, mutta niissä on parannettu rungon kestävyyttä ja suunniteltu voimansiirto sekä jousitus toimimaan mutkaisilla ja töyssyisillä kilparadoilla. [5]

Nykyään saatavilla on paljon erilaisia moottorikelkkoja, joissa on risteytetty useampaakin eri käyttötarkoitusta, jotta kuluttaja löytäisi juuri omaan käyttöön sopivan moottorikelkan.

### 3 Voimanlähteet

Moottorikelkkojen moottorit toimivat tyypillisesti bensiinillä. Dieselöljy ei yleisesti sovellu hyvin moottorikelkkojen voimanlähteeksi, koska sen ominaisuuksiin kuuluu huono suorituskyky kylmissä olosuhteissa. On kuitenkin erikoistapauksia, joissa moottorikelkkaan on asennettu dieselmoottori, ja saatu pitkän toimintamatkan lisäksi hyvät kylmäkäynnistysominaisuudet. [6] Jatkossa keskitytään kuitenkin voimanlähteistä sähköön ja bensiiniin.

#### 3.1 Bensiini

Bensiini on maaöljystä jalostettu, fossiilinen uusiutumaton polttoaine. Se on erilaisten hiilivetyjen seos, jossa on bensiinilaadusta riippuen eri lisäaineita, kuten hapettumisenestoaineita, ruosteenestoaineita, metalleja inaktivoivia aineita ja jäätymisenestoaineita sekä moottoreita puhtaana pitäviä aineita. Suomessa siihen lisätään myös etanolia, tai muuta biokomponenttia liikennepolttoaineiden biovelvoitteiden täyttämisen takia. [7; 8]

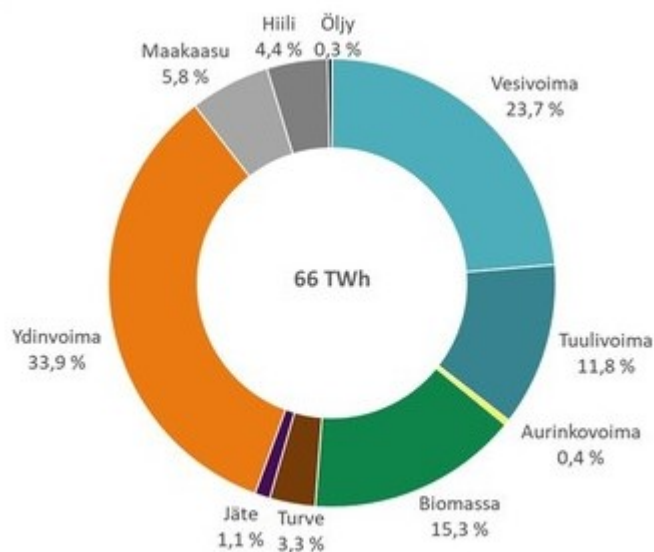
Suomessa on saatavilla kahta erilaista tieliikennekäyttöön tarkoitettua bensiinilaatua, jotka ovat 95E10 sekä 98E5. Etanolia 95E10 sisältää enintään 10 tilavuusprosenttia ja 98E5 enintään 5 tilavuusprosenttia. Näiden lisäksi markkinoilla on erilaisiin pienmoottorisovelluksiin, esimerkiksi moottorikelkkoihin ja säilytysbensiiniksi tarkoitettu pienmoottoribensiini eli alkylaattibensiini. Alkylaattibensiini ei sisällä bentseeniä, sitä ei ole luokiteltu myrkylliseksi, ja se palaa erittäin puhtaasti.

Bensiinin tiheys on tyypillisesti 0,75 kg/l. 95E10-bensiinilaadun energiasisältö on noin 30,9 MJ/l (n. 10729 Wh/kg) ja 98E5-bensiinilaadun noin 31,4 MJ/l (n. 10902 Wh/kg). [9]

### 3.2 Sähkö

Sähkö määritellään sähköisesti varattujen hiukkasten, pääasiassa elektronien, liikkeeksi. Sähkö tuotetaan erityyppisissä voimalaitoksissa generaattorien avulla. Voimalaitoksesta saatava sähköinen jännite on vaihtojännitettä. Akkuihin varastoituna sähköenergia on tasajännitettä. [10]

Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt riippuvat tuotantotavasta. Suomen sähköntuotannosta vuonna 2020 tapahtui ydinvoimalla 33,9 %, vesivoimalla 23,7 %, biomassalla 15,3 %, tuulivoimalla 11,8 %, fossiilisilla polttoaineilla 10,5 %, turpeella 3,3 %, jätteillä 1,1 % ja aurinkovoimalla 0,4 %. Sähköntuotannon energialähteistä oli uusiutuvia 51 %, hiilidioksidineutraaleja 85 % ja kotimaisia 55 %. [11] Kuva 2 esittää Suomen sähköntuotannon energialähteittäin vuonna 2020.

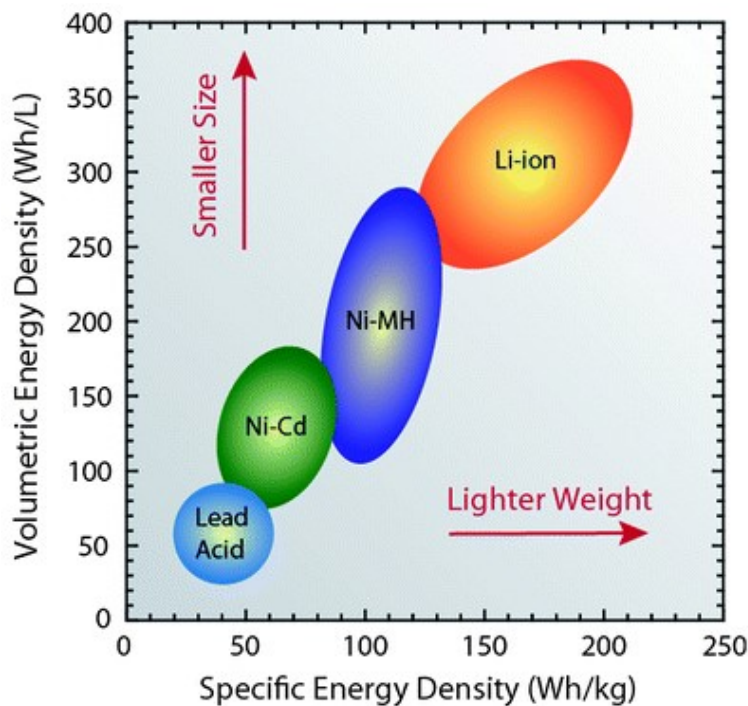


Kuva 2. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2020 [11].

## 4 Akkutyypit

Sähköenergia joudutaan ajoneuvokäytössä pääsääntöisesti varastoimaan sähkökemiallisiin energiavarastoihin eli akkuihin. Sähköajoneuvoissa käytetään yleisesti kolmea erilaista akkutyyppeä, jotka ovat litiumioni, nikkelimetallihydridi sekä superkondensaattori. Sähköautoissa litiumioniakku on näistä suosituin ja eniten käytetty akkutyyppe.

Jokaisella akkutyypillä on omat hyvät ja huonot puolensa. Tärkeitä ominaisuuksia ovat muun muassa hinta, paino, käyttöikä ja energiatiheys. Sähköautojen suurin ongelma on saada riittävän suuri toimintasäde ilman kohtuutonta lisäpainoa sekä lisähintaa. Pääsääntöisesti mitä pidempi toimintamatka halutaan ajoneuvoon saada, sitä suurempi täytyy akun kapasiteetin olla. Kapasiteetin noustessa suurenee yleensä myös akun koko, joka puolestaan lisää ajoneuvon kokonaismassaa. Energiateiheys akuissa vaihtelee 30–260 Wh/kg akkutyypistä riippuen. [12; 13] Kuva 3 havainnollistaa sähköajoneuvokäytössä olevien eri akkutyyppeiden energiatiheyskoko ja painon mukaan.



Kuva 3. Eri akkutyyppeiden energiatiheyskoko ja painon mukaan [14].

Valmistajat antavat takuun akuille kestämään tietyn verran käyttöä tai aikaa. Yleensä se on noin 8 vuotta tai 185 000 kilometriä. Akkutyypistä ja sen käyttöympäristöstä riippuen akkujen kestoikä voi olla 8–15 vuotta. [12]

#### 4.1 Litiumioniakku

Litiumioniakuissa elektrodeina on käytössä erilaisia materiaalipareja. Tyypillisesti kannettavissa elektroniikkalaitteissa, kuten tietokoneissa ja puhelimissa, suosituin tapa on tehdä katodi litium-kobolttioksidista (LCO) ja anodi grafiitista. Sähköautoissa käytetään katodina nykyään eniten litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidia (NMC) ja litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidia (NCA). Anodin materiaali näissä on grafiitti. Tesla on toistaiseksi ainut valmistaja, joka käyttää NCA:ta automalleissaan. LCO, NMC ja NCA ovat ajoneuvokäytössä olevista litiumioniakkutyypeistä kaikkein energiatiheimpiä. [15;16]

Litiumioniakkujen energiatiheys on työssä vertailuista akkutyypeistä korkein. Energiatiheys vaihtelee välillä 50–260 Wh/kg. Litiumionikennolla on muita akkutyyppejä huomattavasti korkeampi yli kolmen voltin nimellisjännite. Litiumioniakulle ominaista on myös hyvä suorituskyky laajalla lämpötila-alueella, huoltovapaus sekä pieni itsepurkautuminen (noin 1,5–2 % kuukaudessa).

Litiumioniakku on herkkä ylilataukselle sekä syväpurkautumiselle. Akkutyypin materiaalit ovat valmistusvaiheessa herkkiä epäpuhtauksille ja kosteudelle, jotka voivat nopeuttaa akun ikääntymistä. Litiumioniakku voi väärin käytettynä ylikuumentua, joka voi joissakin tapauksissa johtaa akun palamiseen tai jopa räjähtämiseen. Litiumioniakuissa käytetään hallintajärjestelmää (BMS) kennojännitteiden tarkkailuun, balansointiin, virranrajoitukseen ja lämpötilarajoista huolehtimiseen. Akunhallintajärjestelmä on osa turvallisen akun konstruktiota ja se luonnollisesti kasvattaa akuston painoa hieman. [17; 18]

Suurin osa litiumioniakun komponenteista voidaan kierrättää, mutta kustannukset materiaalien erottamisesta ovat edelleen ongelma alalla. Litium-rautafosfaattiakku ei sisällä raskasmetalleja, joten se ei ole ongelmajätettä. Tästä johtuen se on litiumia sisältävistä akuista ympäristöystävällisin. [19]

## 4.2 Nikkeli-metallihydridiakku

Nikkeli-metallihydridiakussa (Ni-MH) anodi on nikkelihydroksidia ja katodi vetyä absorboivaa metalliseosta sekä elektrolyytti kaliumhydroksidia. Akkukennon nimellisjännite on 1,2 voltia. Akkutyyppi on käytössä Toyota Prius -hybridiautoissa, mutta se soveltuu myös tietyissä tapauksissa täyssähköautoon. Nykyään elektroniikkalaitteissa, kuten älypuhelimissa ja kannettavissa tietokoneissa, litiumioniakku on syrjäyttänyt nikkeli-metallihydridiakun kokonaan. [20]

Nikkeli-metallihydridiakku on turvallinen ja se kestää hyvin iskuja. Käyttöikä on pitempi verrattuna litiumioni- ja lyijyakuun. Nikkeli-metallihydridiakun energiatiheys on 60–140 Wh/kg. Akkutyyppin suurimmat ongelmat ovat korkea hinta, suuri itsepurkautuminen (jopa 3 % viikossa) ja lämmöntuotto kovassa kuormituksessa sekä vetyhäviöiden kontrolloinnin tarve. Näiden ongelmien sekä melko alhaisen energiatheyden takia nikkeli-metallihydridiakku ei sovellu hyvin täyssähköautoihin eikä sähkömoottorikelkkoihin. [18; 19]

Nikkeli-metallihydridiakkujen kierrätys onnistuu suhteellisen helposti. Kierrätysprosessissa saadaan käytetyistä metalleista talteen melkein kaikki. Akkutyyppiä ei ole luokiteltu ongelmajätteeksi. [21]

## 4.3 Lyijyakku

Lyijyakku on yleisin akkutyyppi 12 V:n sähköjärjestelmissä. Lyijyakussa toimii elektrodeina kaksi lyijylevyä ja elektrolyytinä rikkihappoliuosta. Akkukennon nimellisjännite on 2 voltia. Nykypäivänä lyijyakku on hyvin tunnettu akkutyyppi, ja sen valmistus onnistuu teknisesti yksinkertaisilla laitteilla. Energiatiheys lyijyakulla on 30–50 Wh/kg. Lyijyakku voi olla malliltaan huollettava, jolloin siinä on avattavat kennot. Tarvittaessa tällaiseen akkuun voi elektrolyytin haihtumisen johdosta lisätä uutta nestettä, joka on tavallisesti tislattua vettä. Lyijyakku voi myös olla malliltaan huoltovapaa, jolloin elektrolyytti on geelimäisessä muodossa tai imeytettynä lasikuitumattoon. Tällainen akku on suljettu ja ei tarvitse huoltoa. [19; 22]

Lyijyakku voi olla tehoakku tai energia-akku. Tehoakku, esimerkiksi käynnistysakku, on rakennettu antamaan suuria virtoja hetkellisesti. Esimerkiksi sähkötrukeissa käytetty

energia-akku on suunniteltu siten, että niihin voi varata mahdollisimman paljon energiaa. [19]

Lyijyakku on hyvin tunnettua ja luotettavaa teknologiaa, on suhteellisen halpa valmistaa ja kestää iskuja sekä ylilatausta. Itsepurkautuminen on lämpötilassa 20 °C vain noin 3 % kuukaudessa. Lyijyakku ei sovellu sähköautoihin tai sähkömoottorikelkkoihin varsinkaan niistä syistä, että sen energiatiheys on pieni, sitä ei voi pikaladata, käyttöikä on tyypillisesti vain muutaman vuoden ja suorituskyky kylmissä olosuhteissa on huono. Lyijyakun elektrolyytti on syövyttävää ja voi aiheuttaa palovammoja iholla sekä korroosiota metallipinnoilla. [18; 22]

Lyijyakun kierrätysprosessi on yksinkertainen ja kustannustehokas, sillä lyijy on helppo ottaa talteen ja käyttää uudelleen monikertaisesti. Tämä on johtanut monien kierrätysyritysten perustamiseen, ja sen myötä myös muidenkin akkujen kierrätys on parantunut. Yhden akun painosta 70 % on uudelleen käytettävää lyijyä, ja yli 50 % lyijyvaroista tulee kierrätetyistä akuista. Lyijy aiheuttaa vakavia ympäristöhaittoja sekä haittavaikutuksia ihmisille, minkä takia lyijyakkuja täytyy käsitellä oikein. [22; 23]

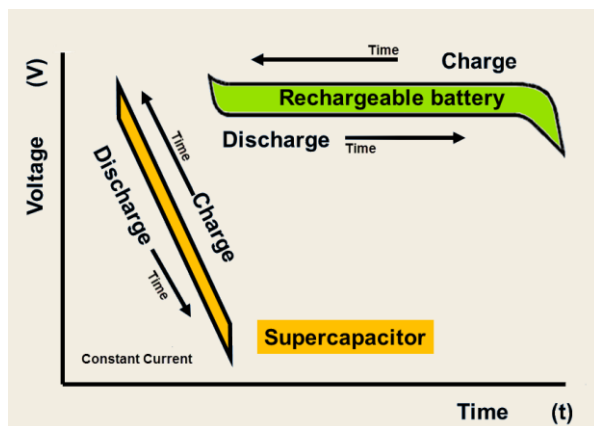
#### 4.4 Superkondensaattori

Superkondensaattori on suuren kapasiteetin omaava kondensaattori, jolla on pienempi energiatiheys kuin akuilla mutta suurempi kuin tavallisilla kondensaattoreilla. Superkondensaattori varastoi energian sähkökenttänä, kun akku taas kemiallisina reaktioina. Superkondensaattoria käytetään energiavarastona silloin, kun sähköenergiaa joudutaan toistuvasti purkamaan ja lataamaan suurilla sähkövirroilla ja lyhyillä kestoajoilla. Superkondensaattorin jännite on yleensä 2,5–2,7 V rajoitettuna. Jännite voi olla tästä suurempi, mutta silloin superkondensaattorin elinikä pienenee. Kokonaisjännitettä voidaan kasvattaa kytkemällä useampi superkondensaattori yhteen sarjakytkennällä. [24; 25]

Superkondensaattorin tehotiheys olla jopa 10 000 W/kg, kun taas litiumioniakussa se on 1000–3000 W/kg. Superkondensaattorin latausaika on 1–10 sekuntia, eikä se tarvitse järjestelmää ylilatauksen varalta, sillä varauksen tullessa täyteen sähkövirta loppuu. Superkondensaattorilla on lähes rajaton määrä lataus- ja purkukertoja, ja normaalioloissa

sen kapasiteetista heikkenee 10 vuodessa vain 20 %. Superkondensaattorilla on hyvä kylmä- sekä kuumakestävyys verrattuna akkuihin.

Superkondensaattorin energiatiheys on 1–30 Wh/kg, eli paljon pienempi kuin esimerkiksi litiumioniakussa. Itsepurkautumisessa jännite putoaa 30–40 päivässä 50 %. Purkaessa superkondensaattoria käyttöalueella sen jännite putoaa lineaarisesti, jolloin samalla putoaa käytettävissä oleva teho. [20] Kuva 4 havainnollistaa akun ja superkondensaattorin eron ladattaessa sekä purkaessa energiaa.



Kuva 4. Akun sekä superkondensaattorin lataus- ja purkukäyttäytyminen [24].

Superkondensaattori sopii hyvin käytettäväksi sellaisessa kohteessa, jossa tarvitaan nopeaa jännitteen purkua lyhytaikaisen tehontarpeen täyttämiseen. Energian pitkäaikaisessa varastoisissa se ei sovellu akun korvaamiseen. [25]

Kanadalaisyhtiö BRP käyttää superkondensaattoria moottorikelkkojen käynnistysjärjestelmissä nimeltä E-TEC SHOT. Tässä järjestelmässä moottori lataa ajon aikana superkondensaattorin ensimmäisen vetokäynnistyksen jälkeen, ja seuraavilla käynnistyskerroilla nappia painamalla talteen otettu energia muuntaa magneeton kampiakselia pyörittäväksi sähkömoottoriksi. [26]

## 5 Sähkömoottorityypit

Sähkömoottori on laite, jolla muunnetaan sähköenergia mekaaniseksi energiaksi. Sähköajoneuvo saa voiman liikkumiseen yhdeltä tai useammalta sähkömoottorilta. Sähkömoottorikelkassa riittää yksi sähkömoottori, sillä voiman välittäjänä kulkualustaan toimii yleensä yksi telamatto. Sähkömoottori saa sähköenergian toimiakseen energiavaroitosta eli akusta. Sähkömoottorit voidaan karkeasti jakaa tasavirta- ja vaihtovirtamoottoreihin. Sähköajoneuvoissa on eri moottorityypeistä yleisesti käytössä tasavirtamoottori, induktio- ja kestopolimoottori sekä kestopolimoottori. Synkroninen reluktanssimoottori on potentiaalinen vaihtoehto tulevaisuuden sähköajoneuvoihin. Jokaisella moottorityypillä on omat hyvät ja huonot puolensa. [27]

### 5.1 Tasavirtamoottori (DC-moottori)

Tasavirtamoottori eli DC-moottori on rakenteeltaan kestävä ja ohjaustekniikaltaan yksinkertainen. Moottori toimii nimensä mukaisesti tasavirralla. Tasavirtamoottorista on kahta eri mallia, harjallisia sekä harjattomia. Harjallisissa moottoreissa napaisuuden vaihto tapahtuu mekaanisesti kommutaattorin eli virrankääntimen harjojen avulla. Harjattomissa moottoreissa kommutaattori toimii sähköisesti tarkan ohjauselektronikan avulla. Tasavirtamoottoria on käytetty paljon vanhemmissa sähköautoissa, mutta nykyään vaihtovirralla toimivat moottorit ovat yleisempiä.

Harjallinen moottori voi tuottaa paljon vääntömomenttia matalilla kierroksilla, mutta toisaalta sille on ominaista huono tehotehoisuus ja hyötysuhde sekä suuri huoltotarve muun muassa kulumien harjojen ja niistä irtoavan pölyn takia. Hiiliharjattomalle moottorille on taas ominaista parempi hyötysuhde ja pieni huoltotarve sekä huonona puolena monimutkainen rakenne ohjauselektronikan myötä. [27; 28; 29]

### 5.2 Induktiomoottori (IM)

Induktiomoottori eli oikosulkumoottori tai epätahtimoottori on vaihtovirralla toimiva ja teollisuudessa käytetyin moottorityyppi. Moottoria käytetään myös paljon sähköajoneuvoissa muun muassa hyvän nopeuden kontrolloinnin, luotettavuuden sekä mahdollisen

vektoriohjauksen eli edistykseellisen moottorinohjausmenetelmän takia. Induktiomoottori on myös rakenteeltaan yksinkertainen sekä huoltovapaa. Huonoja puolia induktiomoottorissa on melko heikko hyötysuhde ja energiahäviöt roottorin pyöriessä hieman jäljessä magneettikenttään verrattuna. [27; 28; 29]

### 5.3 Kestomagneettimoottori (PM)

Yleiskielessä kestomagneettimoottorilla tarkoitetaan nykyään kestomagneettitahtimoottoria (PMSM). Kestomagneettimoottorit saa nimensä moottorin magnetoivista kestomagneeteista, jotka on asennettu joko roottorin pintaan (pintamagneettimoottori eli SPM) tai roottorilaminoinnin sisälle (sisämagneettimoottori eli IPM). Magneettien ollessa roottorilaminoinnin sisällä saavutetaan parempi suorituskyky kuin niiden ollessa roottorin pinnassa, mutta rakenteesta tulee silloin monimutkaisempi.

Moni autovalmistaja käyttää kestomagneettimoottoria sähköautomalleissaan muun muassa korkean hyötysuhteen ja tehosiheyden takia. Moottorin vääntömomentti pysyy hyvänä myös pienillä pyörimisnopeuksilla, joten välityssuhteen nostoa esimerkiksi vaihteistolla ei välttämättä tarvita ollenkaan. Näin rakenteesta saadaan yksinkertaisempi ja kevyempi.

Kestomagneettimoottorin käyttöä rajoittaa suurissa nopeuksissa magneettien pysyminen kiinni roottorissa. [27; 28; 29]

### 5.4 Synkroninen reluktanssimoottori (SRM)

Vaihtovirralla toimivan synkronisen reluktanssimoottorin keskeinen asia on sen roottori, joka valmistetaan laminoituista teräslevyistä eikä se sisällä kestomagneetteja tai käämejä. Näin saadaan vältettyä harvinaisten maametallien käyttöä. Synkronisen reluktanssimoottorin hyötysuhde on korkea, koska roottorissa ei ole sähköisiä häviöitä. Lisäksi sen rakenne on yksinkertainen ja vahva sekä valmistaminen halpaa. Huonoja puolia ovat kestomagneettimoottoriin verrattuna alhainen tehosiheys, värinät sekä käyttömelu. Huonoihin puoliin kuitenkin saadaan vaikutettua positiivisesti tehostetulla roottorin suunnittelulla. [27; 28]

## 6 Polttomoottorikelkka

Moottorikelkat ovat pysyneet rakenteeltaan sekä tekniikaltaan pääosin melko samankaltaisena monta vuosikymmentä. Voimanlähteenä on toiminut polttomoottori, alustarakenne muodostunut yhdestä tai useammasta telastosta sekä suksesta ja voiman siirtäminen on tapahtunut variaattorijärjestelmän sekä vaihteiston tai ketju- tai hihnavälityksen kautta telamatolle. Kuitenkin tekniikan kehittyessä on moottorien koot ja tehomäärät kasvaneet, jousitukset ja telastot muuttuneet tarkemmiksi sekä valmistusmateriaaleista tullut kevyempiä. Nykyajan moottorikelkka voikin näyttää ulkonäöltään melko samalta monen vuoden tai vuosikymmenen takaiseen kelkkaan verrattuna, mutta ajo-ominaisuuksiltaan ne eivät juuri vastaa toisiaan.

### 6.1 Polttomoottori

Polttomoottorikelkoissa käytetään tyypillisesti neli- ja kaksitahtisia ottomoottoreita. Ominaisista niille on nykypäivänä nestejäähdytys sekä tarkasti ohjattu sytytys ja polttoaineen ruiskutus, mutta myös yksinkertaisemmalla tekniikalla olevia puhallinjäähdytteisiä ja kaasuttimilla varustettuja malleja on tarjolla.

Nykyään moottorit on asennettu kelkkojen runkoihin hyvin kompaktisti eikä ylimääräistä tilaa moottoritilassa juuri ole. Pakoputki johdetaan yleensä ulos moottoritilan alaosasta, jonka myötä sillä ei ole paljon pituutta ja vaikuttaa esimerkiksi mahdollisuuteen asentaa katalysaattori oikein toimivaksi.

Nestejäähdytteisessä moottorissa jäähdyttimiä on tyypillisesti yksi telatunnelissa ja mahdollisesti yksi kelkan keulassa moottoritilassa. Kelkoissa, joissa ei ole kuin telatunnelijäähdytin, saattaa moottori kuumentua liikaa, jos ajo tapahtuu kovalla pinnalla eikä telamatto pääse heittämään irtolunta jäähdyttimelle jäähdytystä tehostamaan.

Polttomoottorin hyötysuhde on yleisesti keskimäärin 20–25 %. Moottorin yhdeksi suurimmista heikkouksista koettu suuri hukkalämmön määrä kuitenkin lämmittää kuljettajan jalkoja sekä sulattaa konehuoneeseen pääsevää lunta ja jäätä, mikä voi johtaa ongelmiin sähkömoottorikelkassa.

Moottorikelkkojen polttoainetankit ovat yleensä noin 35–45 litraa. Polttoaineruiskutuksella varustetut kaksitahtimoottorilliset kelkat kuluttavat polttoainetta noin 11–18 l / 100 km ja kaasuttimilla varustetut noin 20–30 l / 100 km sekä nelitahtimoottorilla varustetut noin 8–20 l / 100 km. Moottorikelkkojen toimintamatka yhdellä polttoainetankillisella on noin 110–500 kilometriä. Moni kuljettaa tarvittaessa mukana polttoainekannistereita pidentääkseen toimintamatkaa. Moottoriöljyn osallistuessa palotapahtumaan kaksitahtimoottorissa, joutuu moottoriöljyä lisäämään öljysäiliöön noin litran verran joka polttoainetankillista kohden. [30]

### 6.1.1 Kaksitahtimoottori

Kaksitahtimoottorin työkierto koostuu puristus- ja työtahdista. Tehoa saadaan tuotettua jokaisella kampiakselin kierrolla, koska pakokaasujen poisto ja uuden polttoaineilma-seoksen imeminen sylinteriin tapahtuu samanaikaisesti.

Tyypillisesti kaksitahtimoottorin hyviä puolia on keveys, korkea tehopainosuhte, yksinkertainen rakenne ja sen myötä luotettavuus sekä kustannustehokkuus. Huonoja puolia on taas suuret pakokaasupäästöt johtuen muun muassa polttoaineilmaseoksen ja öljyn karkaamisesta pakoputkistoon, kova käyntiääni, huono polttoainetaloudellisuus sekä suuri öljyn kulutus. Nykyään markkinoilla on moottorikelkkoja, joissa käytetään polttoaineen suoraruiskutusta sekä tarkkaa voitelujärjestelmää, jossa öljy syötetään suoraan voitelua vaativille kohteille. Näillä keinoin saadaan vaikutettua positiivisesti kaikkiin lueteltuihin huonoihin puoliin. [31; 32]

Suurin osa nykyajan moottorikelkoista on varustettu kaksitahtimoottorilla. Varsinkin syvään lumeen sekä reittiajoon tarkoitetuissa malleissa suositaan kaksitahtimoottoria erityisesti keveyden ja suuren tehon takia. Tyypillisesti moottorikelkkäkäytössä kaksitahtimoottori painaa noin 30–50 % yhtä suorituskykyistä nelitahtimoottoria vähemmän moilempien ollessa vapaasti hengittäviä. Nykyään moottorikelkkojen kaksitahtimoottorit ovat yleisesti yksi- tai kaksisylinterisiä ja iskutilavuudeltaan 397–849 cm<sup>3</sup>.

Vuonna 2020 BRP toi markkinoille moottorikelkkoihin maailman ensimmäisen sarjatuotetun turboahdetun kaksitahtimoottorin. Moottori on tarkoitettu ensisijaisesti syvän lumen

malleihin ja vuoristo-olosuhteissa käytettäväksi kompensoimaan pienemmästä ilmanpaineesta johtuvaa tehohäviötä. [33]

### 6.1.2 Nelitahtimoottori

Nelitahtimoottorin työkierto koostuu imutahdistista, puristustahdistista, työtahdistista sekä poistotahdistista. Tehon tuottaminen tapahtuu siis joka toisella kampiakselin kierrolla. Kaasuvaihto on tarkkaa venttiilien avulla, ja polttoaineilmaseosta pääsee karkaamaan pakoputkistoon vain vähän venttiilien overlap-jakson (pako- ja imuventtiili samanaikaisesti auki) myötä. Näistä johtuen polttoainetaloudellisuus ja hyötysuhde ovat verrattain hyviä sekä pakokaasupäästöt pieniä. Toisaalta venttiilikoneiston myötä moottorin rakenne on monimutkainen ja paino korkea. [32]

Moottorikelkoissa nelitahtimoottori yleistyi vasta 2000-luvulla. Sitä on tyypillisesti käytetty työkelkoissa muun muassa laajemman vääntöalueen takia sekä moottorin painon ollessa melko merkityksetön tekijä raskaassa työkäytössä. Nykyään turboahdettujen moottoreiden yleistyessä kelkkamarkkinoilla varustetaan myös paljon urheilukelkkoja nelitahtimoottorilla parantuneen tehopainosuhteen myötä. Moottorikelkkojen nelitahtimoottorit ovat yleisesti 2–4-sylinterisiä ja iskutilavuudeltaan 600–998 cm<sup>3</sup>. Saatavilla on myös lapsille suunniteltuja kelkkoja, joissa käytetään iskutilavuudeltaan alle 200 cm<sup>3</sup>:n yksisylinterisiä moottoreita.

### 6.2 Voimansiirto

Voimansiirrolla tarkoitetaan niitä komponentteja, jotka ovat moottorin ja kulkualustan välillä. Polttomoottorikelkan voimansiirto koostuu variaattorista, ketju- tai hihnavälityksestä tai vaihteistosta, vetoakselista sekä telastosta. Variaattori sisältää kytkimen eli ensiövariaattorin, variaattorin eli toisiovariaattorin, variaattorihihnan sekä variaattoriakselin. Ketjuvälitys sisältää ensiöhammasrattaan, ketjun sekä toisiohammasrattaan. Hihnavälityksessä ketjun tilalla on hammashihna. Ketju- tai hihnavälityksen paikalla voi olla myös vaihteisto. Telasto koostuu vetopyörästä, telarullista, liukumuveista sekä telamatosta.

Variaattori on portaaton voimansiirtojärjestelmä, jossa välityssuhdetta muutetaan kuorituksen sekä moottorin kierrosten mukaan. Järjestelmä säädetään eri kelkkamalleihin

käyttötarkoituksen mukaan. Käyttäessä kelkkaa erilaisissa olosuhteissa kuin mihin se on suunniteltu, saattaa variaattorin toiminta rajoittaa käyttöä huomattavasti. Variaattorin säätäminen on melko monimutkainen prosessi, jossa vaaditaan käyttäjältä paljon asiantuntemusta. Moottorikelkan käyttöolosuhteet voivat olla hyvin erilaiset, vaihdella esimerkiksi syvästä umpihangesta täysin irtolumettomaan pintaan, joten variaattorin säätö tiettyyn olosuhteeseen voi tehdä siitä todella huonosti toimivan toiseen olosuhteeseen. Variaattorin yksi heikkous on sen melko huono hyötysuhde, joka on vain 80–85 %. Väärällä järjestelmän säädöllä saatetaan aiheuttaa ylikuumentumista, joka heikentää hyötysuhdetta entisestään.

Vaihdelaatikollisissa kelkoissa on yleensä peruutusvaihte, vapaavaihte ja kaksi vaihdetta eteenpäin. Ketjuvälityksellisessä kelkassa voi peruutusvaihte olla toteutettu mekaanisesti rattailla tai sähköisesti, jolloin moottori laitetaan pyörimään vastasuuntaan.

Eri käyttötarkoituksiin suunniteltujen kelkkojen väliset erot ovat suurimmillaan yleensä voimansiirron rakenteissa sekä säädöissä. Raskaaseen työhön tarkoitettussa kelkassa voi olla pitkä ja leveä telamatto, peruuttamista helpottava telaston rakenne sekä vaihdelaatikko suuren välityssuhteen tarjoavan vaihteen valitsemiseksi kuormien vetoa helpottamaan. Reittikelkassa voi taas olla lyhyt ja kapea telamatto, urheilulliseen ja työssyiseen ajoon tarkoitettu telasto sekä vauhdikkaampaan ajoon välityssuhteeltaan mitoitettu ketju- tai hihnavälitys. [34]

### 6.3 Runko

Moottorikelkkojen rungot tehdään pääosin alumiiniseoksista käyttäen kiinnityksessä nittejä, pultteja ja koriliimoja. Avaintekijöitä rungon suunnittelussa on keveys, painopiste, kestävyys sekä ajoasento. [35]

Moottorikelkkavalmistajien välinen kilpailu kelkkojen suorituskyvyssä on kovaa, joten esimerkiksi suuri rungon kiinnikkeiden määrä voi heikentää valmistajan asemaa markkinoilla lisäämällä kelkan painoa ja vaikuttamalla rungon käyttäytymiseen ajotilanteissa. Moottorikelkkojen joutuessa pienikokoisina laitteina ajotilanteissa nopeisiin suunnanmuutoksiin, voi kuljettaja huomata helposti eri kelkkamallien väliset eroavaisuudet muun muassa keveydessä ja runkojen käyttäytymisissä. Moottorikelkat voivat käytössä joutua

ottamaan vastaan hyvin kovia iskuja eikä ole harvinaista, että osia rungosta murtuu tai vääntyy melko uusissakin kelkoissa.

Nykypäivänä tyypillisen avomallisen moottorikelkan runko suunnitellaan kahdelle sukelle ja yhdelle telalle. Kuljettajan paikka on kelkan keskellä telatunnelin päällä, josta ohjaus tapahtuu ohjaustangon välityksellä suksia kääntäen. Polttomoottori sijaitsee kuljettajan etupuolella. Moottori on asennettu moottoritilaan poikittain varsinkin variaattori-järjestelmän rakenteen ja koon takia. Polttoainetankki on kuljettajan ja moottorin välissä, ja vetoakseli pyörittää telamattoa telatunnelin etupäässä. Kuvassa 5 on nykyaikaisen moottorikelkan runko.



Kuva 5. BRP Ski-Doo REV Gen4 -runko [36].

## 7 Sähkömoottorikelkka

Sähkömoottorikelkka on nimensä mukaisesti kelkka, joka saa voiman liikkumiseen sähkömoottorilta. Sähkömoottori muuttaa akulta saadun sähköenergian mekaaniseksi energiaksi, joka lopulta välitetään kulkualustaan telamaton kautta.

Sähkömoottorikelkka on vielä nykypäivänä isossa mittakaavassa harvinaisuus. Kanadalaisyhtiö Taiga Motors Inc. toi myyntiin vuoden 2020 keväällä maailman ensimmäiset sarjatuotetut sähkömoottorikelkat mallisarjalla TS3. Rovaniemeläinen yritys Aurora Powertrains myös valmistaa toistaiseksi pieniä tuotantomääriä sähkömoottorikelkkoja nimeltä eSled, joka perustuu BRP:n valmistaman matkakelkan runkoon. [37; 38] Markkinoilla olevien sähkömoottorikelkkojen tekniikoista ja rakenteista ei ole julkisesti kuitenkaan vielä paljoa tietoja.

### 7.1 Keskeiset ominaisuudet

Sähkömoottorikelkan oletettavasti suurin ongelma on akkujen energiatiheudessa ja sen myötä kelkan toimintamatkassa. Kelkan tyypillisen käyttöajankohdan ollessa talvi voi kylmyys vaikuttaa negatiivisesti kelkan suorituskykyyn sekä akkujen lataukseen. Moottorikelkkojen ollessa maastoajoneuvoja voi ajaminen tapahtua kaukana infrastruktuurista, mikä myös aiheuttaa haasteita akkujen lataamiselle.

Sähkömoottorikelkan suurimpien etujen voisi sanoa olevan paikallisesti lähes päästötön käyttö ja polttomoottorikelkkaan verrattuna todella paljon suurempi kokonaishyötysuhde. Saasteita ei tule kuin käytännössä sähkömoottorin ja voimansiirron suhteellisen hiljaisesta melusta. Kokonaiskuvaa ajatellen on kuitenkin huomioitava akkujen sähköenergian alkuperä. Sähkömoottorikelkassa huoltotoimenpiteitä ja liikkuvia komponentteja on todella paljon vähemmän kuin polttomoottorikelkassa, mikä pienentää niin käyttökustannuksia kuin ympäristövaikutuksia. [37]

Sähkömoottorikelkan keskeiset ominaisuudet käytössä polttomoottorikelkkaan verrattuna ovat muun muassa suurempi vääntömomentin tuotto alhaisilla kierroksilla, tarkempi moottorin kiihdytys- ja jarrutusmomentin säätö sekä pienempi kitkajarrun käyttämisen tarve. Polttomoottorikelkassa moottorijarrun tapahtuessa hidastuu kelkan vauhti

merkittävästi. Moottorijarrun lisäksi hidastumiseen vaikuttaa paljon variaattorijärjestelmä ja telamaton huono rullaavuus. Tämän myötä ei kitkajarrua tarvitse hidastamisessa ajossa välttämättä käyttää ollenkaan. Sähkömoottorikelkassa jarruenergian talteenotolla saavutetaan myös merkittävä hidastuvuus ja kitkajarrun käyttö voi olla vähäistä, mutta näin energiaa saadaan talteen, joka polttomoottorikelkassa menisi hukkaan. Sähkömoottori tuottaa saman tehomäärän niin merenpinnassa kuin korkealla vuoristossa toisin kuin ilmantiheydestä riippuvainen vapaasti hengittävä polttomoottori. Sähkömoottoria voi käyttää jopa miljoonia kilometrejä eikä moottoreihin mallista riippuen yleensä tarvitse tehdä juuri muita huoltotoimenpiteitä kuin sisäisten osien rasvauksia ja laakereiden vaihtoa. [39; 40]

## 7.2 Sähkömoottori

Käytetyimpiä sähkömoottorityyppejä sähköajoneuvoissa ovat vaihtovirralla toimivat induktiomoottori ja kestmagneettimoottori. Kestomagneettimoottorilla on hyvin korkea tehotehiheys sekä hyötysuhde, jotka erottavat sen muista moottorityypeistä. Lisäksi hyvä vääntömomentin tuotto alhaisilla kierroksilla ja tästä syystä mahdollinen vaihteiston pois jättäminen tekevät kestmagneettimoottorista hyvin suosittu eri sähköautomalleissa. Näistä syistä moottorityyppi voi olla hyvin sopiva myös sähkömoottorikelkkaan. Varsinkin vaihteiston pois jättämisen mahdollisuus ja korkea tehotehiheys helpottavat pitämään kokonaispainon matalana, mikä on hyvin tärkeää näin pienikokoisessa laitteessa. Vaihtovirralla toimivana moottorina mahdollistaa se myös jarruenergian talteenoton. Korkea hinta on kuitenkin suuri haittapuoli kyseisellä moottorityypillä.

Induktio-moottorin erittäin korkea luotettavuus ja hyvin alhainen hinta voivat tehdä myös siitä hyvän vaihtoehdon sähkömoottorikelkan moottoriksi. Kestomagneettimoottoriin verrattuna sillä on kuitenkin heikko hyötysuhde varsinkin alhaisilla nopeuksilla sekä matala tehotehiheys. Heikon suorituskyvyn takia saattaisi kelkkaan joutua laittamaan vaihdelaatikko, joka muun muassa lisäisi laitteen kokonaispainoa. Myös induktio-moottorissa jarruenergian talteenotto on mahdollista.

Tasavirtamoottori voisi toimia sähkömoottorikelkan moottorina tietyissä tapauksissa, vaikka se koetaan sähköajoneuvokäytössä jo vanhentuneeksi tekniikaksi. Moottorin alhainen hinta, yksinkertainen ohjaustekniikka sekä hyvä vääntömomentin tuotto alhaisilla

kierroksilla voisi tehdä moottorista sopivan käytettäväksi kelkkamalleissa, joissa ei tarvita korkeaa suorituskykyä. Koska akusto ja moottori käyttävät tasavirtaa, ei sähkövirtatyyppejä tarvitse erikseen muuttaa järjestelmässä. Moottorityypissä jarruenergian talteenotto ei ole mahdollista.

Moottorikelkalla ajon tapahtuessa lumisissa ja kosteissa olosuhteissa, täytyy sähkömoottori suojata hyvin vedeltä. Kosteus lyhentää sähkömoottorin elinikää merkittävästi. Parhaiten suojaus onnistuu ilmajähdytyksen sijasta nestejäähdytys- ja lämmitysjärjestelmällä, jolloin ei tarvitse huolehtia moottorin jäähdytysilmankierrosta ja sen myötä veden pääsystä moottorin sisälle. Näin tehdessä saadaan myös moottorin lämpötila ja sen myötä suorituskyky pysymään mahdollisimman optimaalisena. Lämpötilan noustessa liikaa kasvaa riski laakeri- ja materiaalivaurioihin. [27; 28]

Taiga Motors TS2-prototyypikelkka käyttää maksimiväännöltään 250 Nm:n kestopagneettimoottoria. Oletettavasti sama moottorityyppi on myös uudemmissa TS3-tuotantomalleissa, joiden maksimivääntö on 210 Nm. Huipputeho voi olla 180 hv eli enemmän kuin tehokkaimmissa kaksitahtisissa moottorikelkoissa. Tuotantomalleissa käytetään jarruenergian talteenottoa sekä nestejäähdytys- ja lämmitysjärjestelmää. [41]

### 7.3 Oheiselektroniikka

Sähkömoottorikelkkaan täytyy pääkomponenttien lisäksi asentaa oheiselektroniikkaa, jotta järjestelmä apulaitteineen toimii oikein.

Invertteriä eli taajuusmuuttajaa tarvitaan akusta saadun tasavirran muuttamiseksi vaihtovirraksi vaihtovirtamoottorin käytettäväksi sekä jarruenergian talteenotossa muuttamaan taas vaihtovirta tasavirraksi. Invertteri voi säätää myös sähkömoottorin taajuutta, joka vaikuttaa moottorin pyörimisnopeuteen. [42]

Akkulaturi muuttaa sähköverkosta saadun vaihtovirran akuille sopivaksi tasavirraksi, ohjaa akkukennojen lämpötilaa ja jännitetasoja latauksen määrää säätämällä sekä valvoo akuston kokonaisjännitettä pitääkseen sen hyvässä kunnossa.

Ohjainlaite toimii kelkan aivoina halliten sen kaikkia säätöarvoja sekä välittää tiedon kaasukahvan asennosta invertterille.

DC-DC-muunnin muuttaa akuilta tulevan korkeajännitteen matalilla jännitteillä toimiville apulaitteille sopivaksi. [43]

#### 7.4 Akusto

Ehdottomasti suosituin akkutyyppejä täyssähköajoneuvoissa on tällä hetkellä litiumioniakku. Energiatiheyden sekä kennon nimellisjännitteen ollessa korkeat on litiumioniakku myös sähkömoottorikelkkaan paras vaihtoehto suuren tehontuoton sekä pitkän toimintamatkan saavuttamiseksi. Moottorikelkkojen ollessa yleensä säilytyksessä monta kukaudesta vuodesta, litiumioniakun pieni itsepurkautumisen määrä helpottaa asiaa. Litiumioniakut ovat kuitenkin kalliita, ja niiden valmistus aiheuttaa ympäristöhaittoja erityisesti harvinaisten metallien kuten kobolttin louhimisesta. Litiumioniakun energiatiheys on noin 100 kertaa pienempi bensiiniin verrattuna.

Moottorikelkan kokonaispainosta muodostuu suurin osa tyypillisesti akuston painosta. Sen suunnittelussa ja sijoituksesta moottorikelkkaan on otettava huomioon muun muassa painojakaumien ja painopisteen lisäksi turvallisuus. Akuston täytyy kestää moottorikelkan mahdollisesti hyvinkin rajua käyttöä värähtelyä ja iskuineen. Kolaritilanteissa voi akusto monen sadan voltin jännitteellään olla hyvin vaarallinen ja paloaltis. Korkeat jännitteet ovat vaarana myös sähkömoottorikelkan huoltotilanteissa. Huoltohenkilöillä täytyy olla riittävä koulutus kelkan huoltamiseen sekä tieto siitä, kuinka järjestelmä saadaan jännitteettömäksi. [29]

Litiumioniakkua käytettäessä tulee pitää huolta sen lämpötilasta. Matalat lämpötilat pienentävät akun kapasiteettia ja liian korkeat lämpötilat voivat aiheuttaa akun kunnon heikentymistä. Optimaalinen käyttölämpötila eliniän ja käytettävissä olevan kapasiteetin maksimoimisen kannalta litiumioniakulle on 15–35 °C. Akku kuitenkin pystyy tarjoamaan suurimman energiamääränsä suunnilleen lämpötilassa 45 °C. Matalat lämpötilat tulevat suureksi ongelmaksi latausvaiheessa. Eliniän maksimoimiseksi akkua ei pitäisi ladata ollenkaan tai enintään hyvin pienellä virralla lämpötilan ollessa alle 0 °C. Lämpötilan ollessa alle 0 °C myöskään jarruenergian talteenotto ei onnistu.

Nestejäähdytys- ja lämmitysjärjestelmä on myös optimaalinen ratkaisu akuston lämpötilan säätelylle. Järjestelmällä saa jäähdytettyä sekä lämmitettyä akuston eri osia tehokkaasti ja paljon tasaisemmin kuin ilmajäähdytyksellä. Järjestelmä kuitenkin lisää kelkan komponenttien määrää ja huoltokohteita. [44]

Taiga Motors TS3 -kelkkamalleissa käytetään litiumioniakkuja kokoluokassa 20–25 kWh. Arvioitu toimintamatka optimaalisissa olosuhteissa on enimmillään 140 km. Moottorikelkalla ajaminen voi tapahtua hyvin raskaissa olosuhteissa, kuten sohjossa tai syvässä lumessa, jolloin toimintamatka voi jäädä todella paljon optimista. Eristetyn akuston ja nestejäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän avulla kelkkamallit menettävät vain 5 % toimintamatkastaan lämpötilassa -30 °C. Samassa lämpötilassa akuston lämmittäminen ajokuntoiseksi vie noin 6 minuuttia, tai vaihtoehtoisesti kelkan pitäminen kotitalouspistorasiaan kytkettynä pysyy akuston lämpötila aina ajokuntoisena. Kelkkamallit on suunniteltu toimimaan alhaisintaan -40 °C:n lämpötilassa. [45]

## 7.5 Lataus

Sähkömoottorikelkan lataus onnistuu samoilla lataustekniikoilla kuin sähköautonkin. Standardisoituja lataustapoja on neljä erilaista. Lataustapa 2 tapahtuu kotitalouspistorasiasta. Tämä tapa on toiseksi hitain, ja latausaika voi olla reilusti yli kymmenen tuntia. Sähköautoissa tulee mukana yleensä tähän tapaan sopiva latausjohto, kuten myös Taiga Motors TS3 -kelkassa. Lataustapa 3 eli peruslataus tapahtuu erikseen sähköajoneuvoille tarkoitetusta latauspisteestä, ja latausaika on noin 1–3 tuntia. Lataustapa 4 eli tehollataus on kaikista tavoista nopein. Lataus tapahtuu tasasähköllä suurella virralla ulkopuolisesta tasasähkölaturista. Sähköajoneuvoissa on tehollataukselle oma pistoke. Latausaika on vain 15–30 minuuttia 80 %:n varausasteeseen ja alle tunti 100 %:n varausasteeseen. Akustoa ei siis pysty lataamaan täyteen asti suurimmalla teholla, vaan jo 70–80 %:n varausasteessa latausteho hiipuu. Lataustapa 1 on kaikista tavoista hitain ja tarkoitettu lähinnä kevyiden pienitehoisten sähköajoneuvojen lataamiseen. [46; 47]

Moottorikelkkojen ollessa maastoajoneuvoja voi ajaminen tapahtua kaukana infrastruktuurista ja latauspaikoista, jonka myötä matkaaminen saattaa vaatia paljon suunnittelua. Toisaalta syrjäseuduilla voi sähköä olla jopa paremmin tarjolla kuin polttoainetta. Tarvittaessa latauksen voi suorittaa myös aggregaatilla. Kovalla pakkasella

kotitalouspistorasiasta lataamisessa voi muodostua ongelmaksi riittävä tehon saanti akuston lämmittämiseen latauslämpöiseksi.

Taiga Motors TS3 -kelkkamallissa lataus onnistuu ainakin lataustavoilla 2–4. Latauksen likimääräinen kesto lataustavassa 2 on 14 tuntia, peruslatauksessa 3 tuntia ja tehollatauksessa 30 minuuttia. Tehollatauksessa latauksen kesto 80 %:n varausasteeseen vie 20 minuuttia. [45]

## 7.6 Voimansiirto

Polttomoottorikelkkaan verrattuna voimansiirron isoin eroavaisuus sähkömoottorikelkassa on variaattorin puuttuminen. Loput voimansiirron komponentit eli välitysjärjestelmä, vetoakseli sekä telasto, voivat olla täysin samanlaiset molemmissa kelkkatyypeissä. Sähkömoottorikelkassakin välityssuhdetta muuttamalla saadaan helposti muokattua kelkkamallien luonnetta eri käyttötarkoituksiin sopiviksi.

## 7.7 Runko

Sähkömoottorikelkka ei tarvitse runkoon suuria rakenteellisia eroavaisuuksia verrattuna polttomoottorikelkkaan. Kuten eSled-kelkassa, pystyy sähkömoottorikäytön rakentamaan polttomoottorikelkan runkoon. Rungon suunnittelulla suoraan sähkömoottorikäyttöön saa kuitenkin optimoitua laitteen rakenteen käyttötarkoitukseen sopivaksi. Polttomoottorikelkassa täytyy korirakenteissa olla ilmanotto- ja tuuletusaukkoja moottorin ilmansaannin sekä variaattorijärjestelmää varten. Sähkömoottorikelkassa näitä ei tarvita, mikä voi parantaa esimerkiksi aerodynamiikkaa. [38]

## 8 Ympäristövaikutukset

Vuonna 2019 tuli EU:ssa voimaan päästövaatimukset myös moottorikelkoille osana työkonemootoreiden päästölainsäädäntöä. Päästövaatimukset koskevat ainoastaan hiilimonoksidia ja hiilivetyjä, joiden suurimmat sallitut ominaispäästöt moottoreille ovat hiilimonoksidin osalta 275 g/kWh ja hiilivetyjen osalta 75 g/kWh. Haitallisten päästöjen sallitut määrät ovat linjassa United States Environmental Protection Agencyn eli EPA:n Phase 2 -vaatimusten kanssa. Moottorikelkkojen päästörajat onkin kehitetty Yhdysvalloissa erityisesti kansallispuistojen takia, joiden luontoa kelkat rasittavat voimakkaasti. EPA-normi käyttää päästörajoissa yksikkönä grammaa per kilowattitunti, eli päästöt jaetaan kelkan moottorin mittauksen aikana tekemällä työllä. Tämä johtuu siitä, että päästömittaukset suoritetaan irtomootoreilla. Irtomootoreilla suoritettavat päästömittaukset eivät suoraan kerro päästöistä todellisissa ajotilanteissa, joissa ne voivatkin olla huomattavasti korkeammat. [48; 49]

Tekniikan Maailma -aikakauslehden vuonna 2006 tehdyssä testissä mitattiin kolmen eri tekniikalla olevan polttomootorikelkan päästöjä ja verrattiin niitä sillä hetkellä yhden vähäpäästöisimmän henkilöautomallin päästöihin. Henkilöauto tuotti hiilimonoksidipäästöjä 0,01 g/km ja hiilivetypäästöjä 0,03 g/km. Polttoaineensuihkutuksella ja kaksitahtimootorilla varustettu moottorikelkka tuotti hiilimonoksidipäästöjä 15 g/km ja hiilivetypäästöjä 27 g/km. Kaasuttimella ja kaksitahtimootorilla varustettu moottorikelkka tuotti hiilimonoksidipäästöjä 47 g/km ja hiilivetypäästöjä 34 g/km. Kaasuttimella ja nelitahtimootorilla varustettu moottorikelkka tuotti hiilimonoksidipäästöjä 40 g/km ja hiilivetypäästöjä 2 g/km. [49]

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy selvitti polttomootorikelkkojen keskimääräisiä päästöjä vuonna 2016. Kaksitahtimootorilla varustetut tuottivat ammattikäytössä hiilimonoksidia 434.9 g/kWh ja hiilivetyjä 9.4 g/kWh, ja muussa käytössä hiilimonoksidia 434 g/kWh ja hiilivetyjä 80.0 g/kWh. Nelitahtimootorilla varustetut tuottivat ammattikäytössä hiilimonoksidia 325 g/kWh ja hiilivetyjä 5 g/kWh, ja muussa käytössä hiilimonoksidia 345 g/kWh ja hiilivetyjä 6 g/kWh. [50]

Polttomootorikelkoissa ei yleisesti ole käytössä erityisiä päästöjen vähentämiseksi tarkoitettuja laitteita. Päästövaatimukset ovat vielä nykyään niin maltilliset, että suuria muutoksia moottorikelkkojen tekniikkaan päästöjen vähentämiseksi ei ole myöskään

odotettavissa. Katalysaattori olisi tehokas vähentämään muun muassa hiilimonoksidisekä hiilivetypäästöjä. Varsinkin kaksitahtimoottorilla varustettuun kelkkaan joutuisi kuitenkin tekemään suuria muutoksia, että katalysaattorin pystyisi sellaiseen asentamaan. Ongelmaksi muodostuisi erityisesti pakokaasujen mukana kulkeva palamaton polttoaine, joka katalysaattorissa syttyessään lisäisi sen lämpökuormaa ja riskiä vaurioihin. [49]

Sähkömoottorikelkka ei käytön aikana tuota kaasua- tai hiukkaspäästöjä. Mahdolliset päästöt aiheutuvatkin lähinnä sähköntuotannossa. Pakokaasu- sekä melupäästöjä voi aiheutua polttomoottorikelkkojen kaltaisesti ladattaessa akkuja polttoainekäyttöisillä generaattoreilla. Tällaisissa generaattoreissa päästöjen vaikutusalue jää kuitenkin paljon pienemmäksi kuin polttomoottorikelkoilla.

Polttomoottorikelkat voivat heikentää suuresti ilmanlaatua paikallisesti. Varsinkin moottorikelkkojen lastaus- ja parkkipaikoilla saastepitoisuudet voivat olla merkittävän korkeita. Saastepitoisuudet kasvavat suuremmiksi lämpötilan laskiessa tai korkeuden noustessa. Pakokaasut sisältävät monia ihmisten ja muiden eliöiden terveydelle haitallisia aineita, kuten karsinogeenisiä PAH-yhdisteitä.

Saasteet, kuten hyvin pysyvät polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet) varastoituvat lumipakkaan. Keväällä lumen sulaessa saasteet leviävät ja aiheuttavat kohonneita happamuustasoja ympäröivissä vesiteissä lisäten vesihyönteisten ja sammakkoeläinten kuolleisuutta. Ajansaatossa saasteiden kerääntyessä voi alueen vesistöalueet kärsiä pitkäaikaisista vaikutuksista. Pakokaasun tietyt ainesosat vahingoittavat myös kasvillisuutta. Haittoja ovat muun muassa muutokset kasvien rakenteissa ja fotosynteesissä, heikentynyt kasvu sekä lisääntynyt alttius tauteja ja tuhoeläimiä kohtaan. Kasvinsyöjät altistuvat haitta-aineille syödessään saastuneita kasveja, mikä voi vaikuttaa myös muihin eliöihin pitkin ruokaketjua.

Moottorikelkat voivat vaikuttaa suuresti villieläinten elämään ja käyttäytymiseen luonnossa. Moottorikelkkaliikenne ja siitä syntyvä melupäästö voivat lisätä alueellisesti villieläimissä muun muassa stressiä ja pakajuoksujen takia energiankulutusta. Villieläimet voivat myös välttää parempia laidunalueita moottorikelkkaliikenteen takia. Talven ollessa villieläimille vaikeaa aikaa hankalamman ruuan hankkimisen sekä ankarien sääolosuhteiden takia voi moottorikelkkaliikenne tehdä ajasta vieläkin kurjemman. Moottorikelkat voivat merkittävästi häiritä luonnollista äänimaailmaa, joka on olennainen osa luonnon

toimintaa. Altistuessaan koville äänille eläimet kärsivät niin henkisesti kuin fyysisesti. Melu voi vaikuttaa hyvin negatiivisesti myös ihmisen luontokokemukseen. Melu aiheuttaa ihmisille haittavaikutuksina muun muassa ärtyneisyyttä, verenpaineen kohoamista, sykkeen nousua, pääkipua sekä stressiä. Polttomoottorikelkan äänet voivat kuulua jopa 13 kilometrin päähän. [2]

Sähkömoottorikelkan tapauksessa saadaan melupäästöä pienennettyä todella paljon. Kelkan ääni rajussakin käytössä on suhteellisen hiljainen. Komponenteista havaittavaa ääntä tuottaa käytännössä sähkömoottori ja voimansiirto. Lähietäisyydellä olevat villieläimet voivat kuitenkin häiriintyä äänestä. Monen sähkömoottorikelkan käyttö yhdessä voi laajentaa vaikutusaluetta niin läsnäolollaan kuin suuremmalla desibelimäärällään.

## 9 Lopuksi

Ensimmäisten massatuotettujen sähkömoottorikelkkojen eli Taiga Motors TS3 -kelkamallien toimitukset alkavat vuoden 2021 syksyllä. Käyttäjien tulevat palautteet kelkkojen käytöstä ovat varmasti tärkeitä sähkömoottorikelkkatuotannon jatkoa ajatellen. Luultavasti moni kelkan hankintaa ajatteleva ei tee vielä ostopäätöstä arvostelujen ja kokemusten vähyydestä johtuen.

Sähkömoottorikelkassa oletettavasti suurin ongelma ja myyntiä rajoittava ominaisuus on tällä hetkellä akkujen energiatiheys ja sen myötä kelkan toimintamatka. Taiga Motors TS3 -kelkoissa arvioitu toimintamatka optimaalisissa olosuhteissa on enintään 140 km, kun polttomoottorikelkoissa se voi tyypillisesti olla jopa noin 500 km. Ostopäätökseen voi vaikuttaa paljon myös se, minkälaiseen käyttötarkoitukseen sekä -ympäristöön sähkömoottorikelkkaa on hankkimassa. Reittikäytössä eri olosuhteiden arviointi on helpompaa ja lanauksen myötä olosuhteet tyypillisesti kevyemmät kuin reitin ulkopuolisessa käytössä, jonka myötä kulutus on pienempää ja toimintamatka helpommin arvioitavissa. Raskaassa työkäytössä, esimerkiksi painavaa taakkaa vetäessä, on toimintamatka hyvin paljon pienempi optimia. Joillakin käyttäjillä taas ajo voi olla pelkästään kevyttä yleiskäyttöä ja muodostua korkeintaan muutaman kymmenen kilometrin matkoista ilman, että kelkkaa tarvitsee ladata muualla kuin lähtöpisteessä.

Ainakin toistaiseksi sähkömoottorikelkan on hankala haastaa polttomoottorikelkkaa pitkällä matkoilla varsinkin reittien ulkopuolella käytettäessä. Reittikäytössä toisaalta voi matkan aikana tulla mahdollisuus kelkan lataukseen monestikin, sillä moottorikelkkareitit kulkevat usein huoltoasemien kautta. Vaatimuksena tietenkin on se, että huoltoasemat ovat varustettu latauspisteillä. Moottorikelkkareittejä kulkee kuitenkin paljon myös erämaa-alueilla kaukana infrastruktuurista. Raskaassa työkäytössä sekä syvän lumen maljeissa en näe sähkömoottorikelkkojen yleistyvän vielä pitkään aikaan. Molemmissa käyttötarkoituksissa energiankulutus on yleensä niin suurta, että kelkkaa saattaisi joutua lataamaan todella usein, ja ajon tapahtuessa usein syrjäseuduilla, pitäisi latausverkostoa laajentaa nykyisestä todella paljon helpokäyttöisyyden saavuttamiseksi.

Luulen, että sähkömoottorikelkat tulevat kuitenkin nousemaan suosioon nopeastikin, jos niissä ei lähitulevaisuudessa ilmene yllättäviä haittapuolia käytön kannalta. Sähkömoottorikelkan kaasua- ja hiukkaspäästöttömyys, hiljainen käyttöäänensä, korkea hyötysuhde sekä vähäinen huollontarve muun muassa voivat olla monelle niin tärkeitä ominaisuuksia, että ne voittavat sähkömoottorikelkan huonot puolet, kuten lyhyen toimintamatkan. Moni sähkömoottorikelkan hankintaa miettivä ei tässä vaiheessa välttämättä edes hae siitä korvaajaa polttomoottorikelkalle. Taiga Motors kertoi maaliskuussa vuonna 2021, että noin puolet TS3-kelkkojen siihenastisista tilaajista eivät ole aikaisemmin moottorikelkkaileet, ja että yhtiön strategiana on ollut hankkia ostajakuntaa ulkoilmamaihmisistä, jotka eivät pidä äänekkäistä moottorikelkoista [51].

Sähkömoottorikelkoilla on kysyntää erityisesti matkailuyrityksissä sekä laskettelukeskuksissa. Näillä aloilla on ympäristönsuojelu usein tärkeä asia, ja varsinkin matkailuyritysten toiminnassa sähkömoottorikelkalla voidaan parantaa asiakkaiden viihtyvyyttä hiljaisuudella ja pakokaasuttomuudella. Lisäksi näissä tapauksissa ei kelkan toimintamatkalle ole yleensä suuria vaatimuksia, mikä sopii hyvin sähkömoottorikelkan ominaisuuksiin. [38]

Tulevaisuuden näkymät sähkömoottorikelkkojen kannalta ovat hyvät. Suurista moottorikelkkavalmistajista BRP ja Polaris ovat myös ilmoittaneet aloittavansa sähkömoottorikelkkavalmistuksen. BRP:n osalta aikaraja on vuoteen 2026 mennessä ja Polariksen osalta vuoteen 2025 mennessä yhteistyössä sähkömoottoripyörävalmistaja Zero Motorcyclesin kanssa. [52; 53] Suuret yhtiöt suurilla resurssimäärillään voivat nopeuttaa sähkömoottorikelkkojen kehitystä ja helpottaa niiden käyttöä esimerkiksi latauspaikkojen lisäämisellä. Taiga Motorsilla on tarkoituksena saada sähkömoottorikelkkojen

vuosittainen tuotantomäärä 2000 kappaleeseen yhdessä sähkövesijettien kanssa vuoden 2021 loppuun mennessä. Nykyinen tuotanto tapahtuu tutkimus- ja tuotekehityskeskuksessa, mutta yhtiöllä on suunnitteilla rakentaa uusi kokoonpanohalli, jonka myötä vuosittaisen tuotantomäärän on odotettu nousevan 80 000 sähköajoneuvoon. [54] Suomalainen Aurora Powertrains on hakenut lisärahoitusta vuoden 2021 alkupuolella muun muassa uuden eSled-mallin tuotekehitykseen ja tuotantoon. Yritys on kertonut lanseeraavansa vuoden 2021 keväällä uuden sähkökelkkamallin omasuunnitteisella rungolla. [38]

## Lähteet

- 1 Liikenteen päästöt ja energiankulutus. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/perustietoa\\_liikenteesta/liikenteen\\_paastot\\_ja\\_energiankulutus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/perustietoa_liikenteesta/liikenteen_paastot_ja_energiankulutus)>. Luettu 6.5.2021.
- 2 Environmental Impacts from Snowmobile Use. Verkkoaineisto. Winter Wildlands Alliance. <<https://winterwildlands.org/wp-content/uploads/2014/05/Environmental-Impacts-from-Snowmobile-Use.pdf>>. Luettu 26.4.2021.
- 3 Taiga Unveils Electric Snowmobile For Production. Verkkoaineisto. Taiga Motors. <<https://taigamotors.ca/taiga-unveils-electric-snowmobiles-for-production/>>. Luettu 15.4.2021.
- 4 69 Ranger Snowcruiser. Verkkoaineisto. BRP Lynx. <<https://www.brplynx.com/fi/fi/mallit/hyotykytto/69-ranger.html#snowcruiser>>. Luettu 25.9.2020
- 5 Rautavaara Matti. 2008. Lumikenttien kulkurit. Helsinki. Alfamer Oy.
- 6 D900 Snowmobile Brochure. Verkkoaineisto. Dew Engineering. <[https://dewengineering.com/sites/default/files/pdf/DEW\\_D900\\_Snowmobile.pdf](https://dewengineering.com/sites/default/files/pdf/DEW_D900_Snowmobile.pdf)>. Luettu 26.9.2020.
- 7 OVA-ohje: Moottoribensiini. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <<https://www.ttl.fi/ova/moottben.html>>. Luettu 29.9.2020.
- 8 Bensiini. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/energialahdet/bensiini](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahdet/bensiini)>. Luettu 29.9.2020.
- 9 Bensiiniopas. Verkkoaineisto. Neste Oyj. <<https://www.neste.fi/neste-futura-98-e5-kaikkiin-bensiinimoottoreihin>>. Luettu 29.9.2020.
- 10 Perustietoa sähköstä. Verkkoaineisto. Stek Ry. <<https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/mita-sahko-on/>>. Luettu 30.9.2020.
- 11 Sähköntuotanto. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <<https://energia.fi/energia-asta/energiantuotanto/sahkontuotanto>>. Luettu 9.5.2021.
- 12 How Electric Car Batteries Work. Verkkoaineisto. EnergySage. <<https://www.energysage.com/electric-vehicles/101/how-do-electric-car-batteries-work/>>. Luettu 22.2.2021.

- 13 Maria Cloud. What is the Energy Density of a Lithium-Ion Battery. Verkkoaineisto. Flux Power. <<https://www.fluxpower.com/blog/what-is-the-energy-density-of-a-lithium-ion-battery>>. Luettu 22.2.2021.
- 14 Battery Cell Comparison. Verkkoaineisto. Epec. <<https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>>. Luettu 22.2.2021.
- 15 Under the skin: The quest for perfection in EV battery tech. Verkkoaineisto. Autocar. <<https://www.autocar.co.uk/car-news/technology/under-skin-quest-perfection-ev-battery-tech>>. Luettu 10.5.2021.
- 16 Miao, Yu. Hynan, Patrick. von Jouanne Annette. Yokochi, Alexandre. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. Verkkoaineisto. Energies. <<https://doi.org/10.3390/en12061074>>. Luettu 10.5.2021.
- 17 Lithium-ion Battery. Verkkoaineisto. University of Washington. <<https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>>. Luettu. 23.2.2021.
- 18 Batteries. Verkkoaineisto. U.S. Department of Energy. <[https://afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_batteries.html](https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html)>. Luettu 23.2.2021.
- 19 Akut. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut)>. Luettu 22.2.2021.
- 20 Nickel Metal Hydride Battery Technology. Verkkoaineisto. Electronics Notes. <[https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/battery-technology/nimh-nickel-metal-hydride-technology.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/battery-technology/nimh-nickel-metal-hydride-technology.php)>. Luettu 24.2.2021.
- 21 N. Tzanetakis. K. Scott. Recycling of nickel-metal hydride batteries. I: Dissolution and solvent extraction of metals. Verkkoaineisto. Society of Chemical Industry. <<https://doi.org/10.1002/jctb.1081>>. Luettu 24.2.2021.
- 22 How Do Lead Acid Batteries Work. Verkkoaineisto. Electronics Notes. <[https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/battery-technology/how-do-lead-acid-batteries-work-technology.php#](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/battery-technology/how-do-lead-acid-batteries-work-technology.php#)>. Luettu 25.2.2021.
- 23 How to Recycle Batteries. Verkkoaineisto. Battery University. <[https://batteryuniversity.com/learn/article/recycling\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/recycling_batteries)>. Luettu 25.2.2021.

- 24 Janet Heath. Supercapacitor or ultracapacitor basics: What you need to know. Verkkoaineisto. Analog IC Tips. <<https://www.analogictips.com/faq-what-is-a-supercapacitor/>>. Luettu 26.2.2021.
- 25 How does a Supercapacitor Work. Verkkoaineisto. Battery University. <[https://batteryuniversity.com/learn/article/whats\\_the\\_role\\_of\\_the\\_supercapacitor](https://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor)>. Luettu 26.2.2021.
- 26 Shot Technology. Verkkoaineisto. BRP Lynx. <<https://www.brplynx.com/fi/fi/lynx-maailma/teknologiat/shot.html>>. Luettu 26.2.2021.
- 27 Bhatt, Pooja; Mehar, Hemant & Sahajwani, Manish. Electrical Motors for Electric Vehicle – A Comparative Study. Verkkoaineisto. Institute of Engineering & Science, IPS Academy Kno <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3364887](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3364887)>. Luettu 27.2.2021.
- 28 Osmanbasic, Edis. The Many Types of EV Motors. Verkkoaineisto. Engineering.com. <<https://www.engineering.com/story/the-many-types-of-ev-motors>>. Luettu 27.2.2021.
- 29 Sähkömoottorityypit. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit)>. Luettu 27.2.2021.
- 30 How Much Fuel Does a Snowmobile Use. Verkkoaineisto. PowerSports-Guide.com. <<https://powersportsguide.com/snowmobile-fuel-consumption/>>. Luettu 8.4.2021.
- 31 Afework, Bethel & Donev, Jason. Two stroke engine. Verkkoaineisto. EnergyEducation.ca. <[https://energyeducation.ca/encyclopedia/Two\\_stroke\\_engine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Two_stroke_engine)>. Luettu 8.4.2021.
- 32 2stroke / 4stroke. Verkkoaineisto. Yamaha Motor Co., Ltd. <<https://global.yamaha-motor.com/business/mc/mc-tech/standard-technology/2st4st.html>>. Luettu 9.4.2021.
- 33 Moottorivallankumous? – Ski-Doolta maailman ensimmäinen kaksitahtiturbo. Verkkoaineisto. Moottori Media. <<https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/moottorivallankumous-ski-doolta-maailman-ensimmainen-kaksitahtiturbo/>>. Luettu 9.4.2021.
- 34 Voimalinjan säätövinkit. Verkkoaineisto. HT Suksee. <<https://htsuksee.fi/voimalinjan-saantovinkit/>>. Luettu 10.4.2021.

- 35 Constructing the Polaris Pro-Ride Chassis. Verkkoaineisto. Snowmobile.com. <https://www.snowmobile.com/how-to/constructing-the-polaris-proride-chassis-1300.html>>. Luettu 13.4.2021.
- 36 Ski-Doo Offers New 850cc Mountain Snowmobile for 2017. Verkkoaineisto. Snowmobile.com. <<https://www.snowmobile.com/manufacture/ski-doo/2017-ski-doo-mountain-snowmobiles-unveiled>>. Luettu 13.4.2021.
- 37 Introducing the TS3 platform. Verkkoaineisto. Taiga Motors. <<https://taiga-motors.ca/introducing-the-ts3-platform/>>. Luettu 15.4.2021.
- 38 Aurora Powertrainsin innovaatio syntyi Lapin arktisissa olosuhteissa. Verkkoaineisto. House of Lapland. <<https://www.lapland.fi/fi/business/aurora-powertrainsin-innovaatio-syntyi-lapin-arktisissa-olosuhteissa/>>. Luettu 20.4.2021.
- 39 Hyvin huollettuna sähkömoottorit kestää jopa vuosikymmeniä – vuosihuolto tuottaa selvää säästöä. Verkkoaineisto. Zener Oy. <<https://www.zener.fi/hyvin-huollettu-sahkomoottori-kesta-vuosikymmenia-vuosihuolto-tuottaa-selvaasaastoa/>>. Luettu 25.4.2021.
- 40 Sähköautojen kestävyys käytössä. Verkkoaineisto. Autolle Finland. <<https://autolle.com/blogi/sahkoautojen-kestavyys-kaytossa>>. Luettu 25.4.2021.
- 41 Electric snowmobile, fast and efficient. Verkkoaineisto. IDTechEx. <<https://www.electricvehiclesresearch.com/articles/13885/electric-snowmobile-fast-and-efficient>>. Luettu 16.4.2021.
- 42 Under the skin: How better AC/DC inversion will boost Evs. Verkkoaineisto. Autocar. <<https://www.autocar.co.uk/car-news/technology/under-skin-how-better-acdc-inversion-will-boost-evs>>. Luettu 26.4.2021.
- 43 How Electric Vehicles Work. Verkkoaineisto. Sustainable Energy Authority of Ireland. <<https://www.seai.ie/technologies/electric-vehicles/what-is-an-electric-vehicle/how-electric-vehicles-work/>>. Luettu 26.4.2021.
- 44 Ideal battery temperature. Verkkoaineisto. EVcreate. <<https://www.evcreate.nl/ideal-battery-temperature/>>. Luettu 28.4.2021.
- 45 Frequently Asked Questions. Verkkoaineisto. Taiga Motors. <<https://taiga-motors.ca/faq-electric-snowmobile/#1557343891423-e2c43c2c-bc2a>>. Luettu 29.4.2021.

- 46 Sähköauton lataustekniikka ja turvallisuus. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/autotyyppe/sahkoauton\\_lataustekniikka\\_ja\\_turvallisuus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppe/sahkoauton_lataustekniikka_ja_turvallisuus)>. Luettu 3.5.2021.
- 47 Sähköautosanasto. Verkkoaineisto. Sesko. <[https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin\\_aihealueita/sahkoautot\\_ja\\_latausjarjestelmat/sahkoautosanasto](https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/sahkoautosanasto)>. Luettu 10.5.2021.
- 48 Moottorikelkkojen päästövaatimukset voimaan 1.1.2019. Verkkoaineisto. Traficom. <[https://arkisto.trafi.fi/uutisarkisto/6534/moottorikelkkojen\\_paastovaatimukset\\_voimaan\\_1\\_1\\_2019](https://arkisto.trafi.fi/uutisarkisto/6534/moottorikelkkojen_paastovaatimukset_voimaan_1_1_2019)>. Luettu 25.4.2021.
- 49 Hauskanpitoa huonolla omallatunnolla. Verkkoaineisto. Tekniikan Maailma. <<http://www.maastoliikenne.fi/tiedostot/tied159.pdf>>. Luettu 25.4.2021.
- 50 Moottorikelkkojen keskimääräinen päästö ja energia tehonkäyttöä kohden Suomessa vuonna 2016. Verkkoaineisto. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <[http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/maastoliikenne/kelkat\\_teho.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/maastoliikenne/kelkat_teho.htm)>. Luettu 25.4.2021.
- 51 Taiga's new deal turns up the throttle on the electric snowmobile dream. Verkkoaineisto. Financial Post. <<https://financialpost.com/technology/taigas-new-deal-turns-up-the-throttle-on-the-electric-snowmobile-dream>>. Luettu 11.5.2021.
- 52 BRP to Introduce Electric Models For Each Of Its Product Lines By The End Of 2026. Verkkoaineisto. BRP. <[https://news.brp.com/news-releases/news-release-details/brp-introduce-electric-models-each-its-product-lines-end-2026-0?\\_ga=2.173794147.1583671807.1620121095-9594802.1620121095](https://news.brp.com/news-releases/news-release-details/brp-introduce-electric-models-each-its-product-lines-end-2026-0?_ga=2.173794147.1583671807.1620121095-9594802.1620121095)>. Luettu 4.5.2021.
- 53 Polaris Announces Partnership with Zero Motorcycles to Co-Develop Electric Vehicles as a Cornerstone of rEV'd up – Polaris' New Electrification Strategy. Verkkoaineisto. Polaris Inc. <<https://www.polaris.com/en-us/news/company/polaris-announces-zero-motorcycles-partnership/>>. Luettu 4.5.2021.
- 54 Taiga Motors Inc. To Build A New Mass-Production Assembly Facility Expected For 2022. Verkkoaineisto. Taiga Motors. <<https://taigamotors.ca/taiga-motors-inc-to-build-a-new-mass-production-assembly-facility-expected-for-2022/>>. Luettu 4.5.2021.