



Sähköpotkulaudan suunnittelu

Teknisesti parannettu turvallisuus

Maksim Bilous

Opinnäytetyö

Maaliskuu 2024

Tekniikan ala

Insinööri, Konetekniikka (AMK)

Bilous, Maksim

Sähköpotkulaudan suunnittelu. Teknisesti parannettu turvallisuus.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaliskuu 2024, 78 sivua.

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Taustalla oli sähköpotkulautojen kasvanut suosio viime vuosina, mikä lisäsi riskejä sekä niiden käyttäjille että sivullisille. Projektin tavoitteena oli selvittää sähköpotkulautoihin liittyviä riskejä ja vastata kysymykseen: onko turvallisempi sähköpotkulauta valmistettavissa?

Projekti jaettiin kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa tutkittiin sähköpotkulautoihin liittyviä riskejä tarkastelemalla olemassa olevia tutkimuksia. Aineistona käytettiin pääsääntöisesti Theseus-tietokannasta poimittuja tutkimuksia, jotka koskevat kevyiden sähköajoneuvojen turvallisuutta. Opinnäytetyön toisessa osassa turvallisemman sähköpotkulaudan suunnittelussa hyödynnettiin aiemmin saatuja tietoja CAD-ohjelmaa käyttäen.

Tuloksena saatiin tietoa merkittävimmistä sähköpotkulautojen käyttöön liittyvistä riskeistä. Tulosten pohjalta suunniteltiin SolidWorks 3D -ohjelman avulla turvallisemman sähköpotkulaudan prototyyppi. Sähköpotkulaudasta on tullut vaatimusten mukainen ja lujuuden puolesta riittävän kestävä. Lopuksi saatuja tietoja analysoitiin ja sähköpotkulautojen turvallisuuden parantamiseksi tehtiin ehdotuksia myös vuokrapalveluita tarjoaville yrityksille.

Avainsanat (asiasanat)

Potkulauta, riski, riskianalyysi, suunnittelu, turvallisuus.

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Bilous, Maksim

Electric scooter design. Technically improved security.

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences. March 2024, 78 pages.

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis was commissioned by Jyväskylä University of Applied Sciences. The background was the growing popularity of electric scooters in recent years, which increased the risks for both their users and bystanders. The goal of the project was to find out the risks associated with electric scooters and to answer the question of whether a safer electric scooter can be manufactured.

The project was divided into two parts. In the first part, the risks related to electric scooters were investigated by carefully reviewing existing studies. The data used were studies extracted from the Theseus database, which concern the safety of light electric vehicles. In the second part of the thesis, the previously obtained information was utilized in the design of a safer electric scooter using a CAD program.

As a result, information was obtained about the most significant risks related to the use of electric scooters, and a safer electric scooter prototype was designed using the SolidWorks 3D program. The electric scooter has become compliant and sufficiently durable in terms of strength. Finally, the information obtained was analyzed and suggestions were made to improve the safety of electric scooters, also for companies offering rental services.

Keywords/tags (subjects)

Scooter, risk, risk analysis, design, safety.

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	7
2	Aiheen valinta	8
2.1	Tutkimuksen rajaus	8
2.2	Tutkimuskysymykset	9
2.3	Tutkimusmenetelmät	10
3	Tutkimuksen aineistoperusta	10
3.1	Kevyet sähköiset liikkumisvälineet tieliikenteessä	11
3.2	Kevyiden sähköajoneuvojen soveltuvuus ympärivuotiseen liikennekäyttöön	11
3.3	Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden liikenneturvallisuusvaikutusten arviointi	12
3.4	Moposkootterin sähköversio	12
3.5	Sähköisten liikkumisvälineiden rooli matkaketjussa	12
3.6	Sähköisten potkulautojen liikenneturvallisuuden edistäminen	13
3.7	Sähköpotkulaudat Helsingin poliisin näkökulmasta	13
3.8	Aineistosta selvitettyt ongelmat	14
3.9	Lainsäädäntö	17
3.10	Koneiden valmistajan tehtävät	18
3.11	Kysely ja sen tulokset	18
3.12	Riskianalyysi	20
3.12.1	Menetelmät	20
3.12.2	Riskiarviointimatriisi	22
3.12.3	Riskiarviointimatriisin tulosten analyysi	23
4	Suunnittelu	24
4.1	Suunnitteluprosessi	25
4.2	Sähköpotkulaudan toimintaperiaate	25
4.2.1	Sähkömoottorin toimintaperiaate	27
4.2.2	Li-ion-akun toimintaperiaate	28
4.2.3	Ohjaimen toimintaperiaate	28
4.2.4	Jarrujen toimintaperiaate	29
4.2.5	Renkaiden toimintaperiaate	30
4.3	Vaatimuslistan laatiminen	30
4.4	Markkinaselvitys	31

4.5	Materiaalien ja osien valinta	32
4.5.1	Sähkömoottorin valinta	32
4.5.2	Akun valinta	34
4.5.3	Moottorin ohjainlaitteen valinta	34
4.5.4	Renkaiden valinta	35
4.5.5	Palonsammutusjärjestelmän valinta	36
4.5.6	Alkolukon valinta	37
4.5.7	Ajonestolaitteen valinta.....	37
4.5.8	Mikrokontrollerin valinta.....	38
4.5.9	Valinnan eetisyys	39
4.6	Prototyypin suunnittelu	41
4.6.1	Karkea suunnittelu.....	41
4.6.2	Tarkempi suunnittelu.....	44
4.6.3	DFA ja KISS	50
4.7	Lujuuslaskenta.....	54
4.7.1	Murtolujuus	55
4.7.2	Taipuma	56
4.8	Suunnittelun tulosten arviointi	58
4.9	Suunnitellun mallin turvallisuuden tarkistus	59
5	Pohdinta.....	60
5.1	Vastaukset tutkimuskysymyksiin	60
5.2	Kustannuslaskenta	61
5.3	Ympäristöystävällisyys ja kierrätys.....	61
5.4	Ehdotukset	62
5.5	Opinnäytetyön haasteet	63
5.6	Mitä voisi tehdä paremmin	64
	Lähteet	65
	Liitteet	72
	Liite 1. Riskiarviointimatriisi	72
	Liite 2. Vaatimuslista	75
	Liite 3. Kysely.....	77
	Kuviot	
	Kuvio 1. Sähköpotkulaudan toimintaperiaate	26
	Kuvio 2. Sähköpotkulaudan pääkomponentit	26

Kuvio 3. Sähköpotkulaudan alkupiirros	41
Kuvio 4. Sähköpotkulaudan karkea 3D-malli	42
Kuvio 5. Karkean mallin runko	42
Kuvio 6. Sähköpotkulaudan kannen ja kädensijan törmäys	43
Kuvio 7. Ohjaustangon mekaniismin karkea 3D-malli	44
Kuvio 8. Sähköpotkulaudan viimeinen versio (isometrinen projektio)	45
Kuvio 9. Sähköpotkulaudan viimeinen versio (takana)	45
Kuvio 10. Sähköpotkulaudan viimeinen versio (ylhäältä)	46
Kuvio 11. Sähköpotkulaudan viimeinen versio (sivulta ja massan keskipiste)	46
Kuvio 12. Itsevalmistettavien osien määriä ja massoja	48
Kuvio 13. "Ilman osto-osia" -konfiguraatio	49
Kuvio 14. DFA:n menetelmän käytön esimerkki (Velling 2021)	50
Kuvio 15. Rungon kokoonpano	51
Kuvio 16. Laatikon kokoonpano	52
Kuvio 17. Ensiaputeline	53
Kuvio 18. Ensiapulokeron kansi	53
Kuvio 19. Rakenteisiin vaikuttavat voimat	54
Kuvio 20. Rungon ja ohjaustangon liitos	55
Kuvio 21. Tukivarren korvallinen	56
Kuvio 22. Taipuman periaate (Micnhimer 2022)	56
Kuvio 23. Taipuma	57
Kuvio 24. Akkukiinnike muokkaamista ennen ja muokkaamisen jälkeen	58

Taulukot

Taulukko 1. Riskitaulukko	21
Taulukko 2. Tarvittavat toimenpiteet riskin suuruuden mukaan	22
Taulukko 3. Valitun sähkömoottorin ominaisuudet (10 inch 1000W Scooter Motor n.d.)	33
Taulukko 4. KBS48051X ohjainlaitteen ominaisuuksia (Cheetah mini KBS, light & flexible trapezoidal motor controllers (12V-72V) (60A-200A) n.d.)	35
Taulukko 5. Sähköpotkulaudan tärkeimmät tekniset tiedot	47

1 Johdanto

Sähköpotkulautojen suosio on kasvanut viime vuosina voimakkaasti. Liikenne- ja viestintävirasto osoittaa, että vuodesta 2019 vuoteen 2022 sähköpotkulaudoilla tehtyjen matkojen määrä kasvoi 2,5 miljoonasta 17 miljoonaan, mitä tarkoittaa lähes 680 prosentin kasvua. Toisaalta vuonna 2023 sähköpotkulautojen määrä pysyi suurimmista Suomen kaupungeista saatujen tietojen mukaan viime vuoden tasolla. (Yhteiskäyttöisten sähköpotkulautapalveluiden tarjonta, kysyntä ja markkinatilanne 2023.) Syynä tähän voi olla sekä markkinoiden suurimman tarjonnan saavuttaminen, että suurimmissa kaupungeissa olevien lautojen maksimimäärää koskevien rajoitusten vaikutukset (Sähköpotkulaudat – Usein kysytyt kysymykset n.d.). Mielenkiintoista on se, että lautojen määrää koskevien rajoitusten käyttö itsessään viittaa siihen, että niiden suosio on saavuttanut sen tason, että rajoituksia tarvitaan. Trendi on kuitenkin selvä.

Sähköpotkulautojen nopeasti kasvanut suosio ei ole yllättävää: niiden käyttö mahdollistaa nopean liikkumisen ilman, että kuljettaja rasittuu fyysisesti. Sähköpotkulautojen edut, esimerkiksi polkupyöriin verrattuna, voidaan selittää myös sähköpotkulautojen suhteellisen pienillä fyysisillä mitoilla ja matalalla sisääntulokynnyksellä - toisin kuin polkupyörillä, sähköpotkulaudoilla ajamisen oppiminen ei kestä kauan ja ne soveltuvat lähes kaikille (Trajkovski 2023c). Nämä syyt johtavat siihen, että Suomen kaduilla ja muualla maailmassa kulkee tuhansia sähköpotkulautoja (Svahn 2022).

Kasvanut sähköpotkulautojen määrä ja matala kynnys oppia ajamaan mahdollistavat ihmisten nopean ja tehokkaan liikkumisen, mutta se aiheuttaa myös ongelmia. YLE:n kyselyyn vastanneista 6,5 % on kolaroinut sähköpotkulaudalla, ja tämän lisäksi 6,1 % on kokenut läheltä-piti-tilanteen (Kuijas 2023). Takalan (2023) mukaan vuonna 2021 Helsingissä oli 528 vammautunutta potilasta sähköpotkulaudoilla ajamisen takia.

Loukkaantumisten myötä sähköpotkulautailun liikenneturvallisuus on noussut tärkeäksi keskustelunaiheeksi, johon kiinnitetään nykyään yhä enemmän huomiota. Vuosien 2022–2026 aikana sähköpotkulautoja koskevaa lainsäädäntöä on tarkoitus parantaa ja kiristää (Sähköpotkulautailun liikenneturvallisuus 2022). Lainsäädäntöä tiukennetaan myös muualla maailmassa, mutta joskus otetaan vielä radikaalimmat keinot käyttöön. Väisäsen (2023) mukaan Pariisin hallitus kielsi vuokrakäyttöisten sähköpotkulautojen käytön vuonna 2023.

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin parantamaan sähköpotkulautojen turvallisuutta. Ensin selvitettiin sähköpotkulautojen turvallisuustilanne, ja sitten tutkimusten tulosten perusteella suunniteltiin kaupoissa olevia sähköpotkulautoja turvallisempi sähköpotkulauta. Koska projekti on vienyt aikaa ja vaatinut paljon työtä, se on mahdollistanut opiskelun aikana opitun materiaalin soveltamisen.

2 Aiheen valinta

Aiheen valintaan vaikutti ennen kaikkea sähköpotkulautojen mahdollinen vaara, jos niitä käytetään väärin. Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden liikenneturvallisuusvaikutusten arvioinnissa Lahtinen (2020) toteaa, että suurimmat riskit skuaattien käytöstä liittyvät niiden virheelliseen käyttöön. Tähän ilmiöön voidaan vaikuttaa eri tavoin. Yksi Lahtisen tutkimuksessa ehdottamista tavoista on tämän opinnäytetyön tavoite, toisin sanoen sellaisen sähköpotkulaudan suunnittelu, jonka rakenne on kehitetty turvallisemmaksi. (Lahtinen 2020.) Lisäksi, kuten myöhemmin kohdassa 3 selviää, kevyiden sähköajoneuvojen turvallisuustutkijat eivät yleensä ota huomioon laitteen teknistä puolta. Näin ollen tämä mahdollisuus parantaa sähköpotkulautailun turvallisuutta jää yleensä huomiotta.

2.1 Tutkimuksen rajaus

Kuten aiemmin todettiin, sähköpotkulaudat ovat yleistyneet viime vuosina. Tämän seurauksena niiden turvallisuutta selvittävien tutkimusten määrä onkin kasvanut. Hakusanalla "sähköpotkulauta" Theseus-tietokannassa syyskuussa 2023 on ollut saatavilla vähintään seitsemän tutkimusta, jotka koskevat sähköpotkulautojen turvallisuutta. Lähes puolet niistä on tehty vuosien 2019–2021 aikana. Tämäkin opinnäytetyö painottuu jonkin verran sähköpotkulautojen turvallisuuden selvittämiseen, mutta opinnäytetyön tavoitteena ei kuitenkaan ollut tehdä samoja tutkimuksia kuin aikaisemmissa teoksissa. Sen sijaan pääpaino oli aiemmin suoritettujen tutkimusten hyödyntämisessä ja niiden avulla turvallisemman sähköpotkulaudan suunnittelussa.

Tämä työ voidaan jakaa kahteen osaan, jotka muodostavat tutkimusprosessin. Ensimmäinen osa sisältää määrällisten ja tilastollisten tietojen systemaattisen haun ja analysoinnin, jotka auttavat ymmärtämään syitä, miksi sähköpotkulaudoilla ajaminen aiheuttaa riskejä käyttäjälle. Ensimmäinen osa on rajattu niin, että se pohjautuu aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Tämä tarkoittaa muun

muassa sitä, että kvantitatiivisten tutkimusten työkaluja käytetään vaan jo olemassa olevien tutkimusten tulosten tarkentamiseksi ja varmistamiseksi. Tutkimuksesta on rajattu pois sähköpotkulautojen aiheuttamien uusien riskien etsiminen. On loogista hyödyntää töiden tuloksia, joiden päätaavoitteena oli löytää uusia riskejä ja tunnistaa niitä ja joiden koko työnkulku oli suunnattu tämän tavoitteen saavuttamiseen. Uusien riskien etsimiseen kuitenkin puututaan, mutta vain hieman, lisäämällä myöhemmin käsiteltyyn kyselyyn sopiva laadullinen kysymys sekä tekemällä riskiarviointimatriisi.

Toisessa osassa käytetään hyväksi ensimmäisen osan tuloksia turvallisemman sähköpotkulaudan suunnitteluprosessissa. Sähköpotkulaudan suunnittelu oli vaativa ja melko vaikea tehtävä toteuttaa. Tämän opinnäytetyön toinen osa keskittyy sähköpotkulaudan konseptin suunnitteluun, joka ottaa huomioon työn ensimmäisessä osassa tunnistetut riskit. Työn toisen osan tavoitteena oli luoda prototyyppi turvallisemmasta sähköpotkulaudasta, jonka mekaaniset osat olisivat valmistettavissa. Sillä varmistettiin, että turvallisempi sähköpotkulauta on mahdollista toteuttaa myös käytännössä. Tutkimuksen toisen vaiheen tärkein edellytys oli huomioida työn ensimmäisen osan tutkimisen kautta luotava vaatimuslista. Tutkimuksen toisesta osasta on rajattu pois yksityiskohtien suunnittelu sekä työpiirustusten tekeminen. Myös lujuuslaskentaa sekä ympäristövaikutusten määrittelyä käsitellään, mutta niihin ei puututa. Lisäksi ohjelmiston kehittäminen ja tarkempi sähköjärjestelmänsuunnittelu on rajattu pois, sillä kaikkien yllä olevien osien laajuudet vastaavat näiden projektien laajuuksia. Tässä projektissa nämä osat eivät vaikuta tulokseen eli turvallisemman sähköpotkulaudan saamiseen.

2.2 Tutkimuskysymykset

Oikeat tutkimuskysymykset ovat tärkeä tutkimuksen osa, sillä ne määrittelevät tutkimuksen sisällön ja myös sen, mitä johtopäätöksiä siitä pitäisi tehdä (Why the research question is so important 2018). Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin kuuluivat seuraavat:

1. Mitkä sähköpotkulaudan rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat sen turvallisuuteen?
2. Miten voidaan hyödyntää nykyaikaista teknologiaa sähköpotkulautojen riskien vähentämiseksi?
3. Onko kaupoissa olevia sähköpotkulautoja turvallisempi sähköpotkulauta valmistettavissa?
4. Millä muilla keinoilla voidaan parantaa vuokrasähköpotkulautojen turvallisuutta?

Opinnäytetyön lopussa kohdassa 5.1 vastataan yllä oleviin kysymyksiin ja esitetään ehdotuksia, kuinka sähköpotkulautojen vuokrauspalveluita tarjoavat yritykset voivat vaikuttaa sähköpotkulautojen aiheuttamien riskien vähentymiseen.

2.3 Tutkimusmenetelmät

Sähköpotkulautojen kasvanut suosio antaa mahdollisuuden kääntyä määrällisten indikaattorien puoleen. Turvallisuusongelman selvittämiseksi oli tarpeen hyödyntää tilastoja, joiden avulla voidaan selvittää sähköpotkulautojen onnettomuuksien syitä. Myös Yang ja muut (2020) korostavat tilastojen merkitystä oikean käsityksen saamiseksi skuaattien turvallisuustilanteesta. Kvantitatiivisen tutkimuksen työkaluihin kuuluvat tilastot, äänestykset ja analyysit eli määrälliset mittarit (Määrällinen tutkimus 2015). Tutkimuksen luonne on objektiivinen ja päättelytapa on deduktiivinen, koska se käyttää teorioita suurilla otoksilla tiettyjen ongelmien ratkaisemiseen (Deductive Approach (Deductive Reasoning) n.d.).

On tärkeää huomata, että kyseisestä aiheesta löytyy paljon kvantitatiivisia tutkimuksia. Hyvä esimerkki tästä on Theseus-tietokannassa olevien tutkimusten määrä, jotka koskevat pääosin sähköpotkulautojen turvallisuutta määrällisten indikaattorien avulla. Theseus-tietokannasta kerättyjen tutkimusten tutkiminen oli siksi yksi tämän opinnäytetyön avainmenetelmistä ja lisäksi sen hyvä lähtökohta. Aiemmin tehtyjen tutkimusten lisäksi niiden tietojen oikeellisuus kannattaa tarkistaa muillakin tavoilla, esimerkiksi kyselyillä. Lisäksi tähän tutkimukseen sisältyy riskianalyysi, jonka tavoitteena oli auttaa ymmärtämään sähköpotkulautojen aiheuttamien onnettomuuksien syitä.

3 Tutkimuksen aineistoperusta

Ensimmäiset vuokrasähköpotkulaudat tulivat Helsinkiin vuonna 2019, jolloin ruotsalaisen yrityksen VOI varsinainen toiminta Suomessa on alkanut (Kuukkanen 2019). Helsingin jälkeen sähköpotkulaudat levisivät Tampereelle, ja sitten kolmessa vuodessa 24:ään Suomen kaupunkiin (Sähköpotkulautilun turvallisuuden edistäminen Tampereella 2023). Vuonna 2021 Suomessa oli 34 000 sähköpotkulautaa ja vuonna 2022 10 sähköpotkulautojen vuokrauspalveluita tarjoavaa yritystä 40:ssä kunnassa (Vuokrattavien sähköpotkulautojen suosio kasvanut räjähdysmäisesti 2022). Sähköpotkulautojen yleistymisen Suomessa on vaikuttanut niiden turvallisuutta koskevan tutkimuksen määrään.

Opinnäytetyössä tarkastellaan pääasiassa suomalaisissa oppilaitoksissa tehtyjä tutkimuksia, niissä käytettyjä lähteitä sekä sähköpotkulautojen toimintaan vaikuttavaa olemassa olevaa lainsäädäntöä. Alla olevat osiot esittävät abstraktissa muodossa tutkimuksessa käytettyjen materiaalien perustiedot ja perustelut niiden käytöstä. Käytetty materiaali on järjestetty aakkosjärjestyksen mukaan.

Tässä vaiheessa on tärkeää huomata, että sähköpotkulautojen tekniset ominaisuudet on rajattu pois kaikista Theseus-tietokannasta poimituista tutkimuksista, mikä tekee välttämättömäksi syventyä ongelmaan teknisestä näkökulmasta.

3.1 Kevyet sähköiset liikkumisvälineet tieliikenteessä

Poliisin ammattikorkeakoulussa tehdyssä opinnäytetyössä nimensä mukaisesti tarkastellaan kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden tilannetta tieliikenteessä. Tutkimus tehtiin vuonna 2017, ja sen tavoitteena oli selvittää, miten sähköpotkulautojen käyttö vaikutti poliisin tehtäviin vuonna 2016. Tutkimuksen tekijä Karoliina Hautala (2017) selvitti, että sähköpotkulaudat tulivat Suomen tieliikenteessä laillisiksi vuonna 2016, minkä jälkeen ne ovat vaikuttaneet poliisin päivittäisiin tehtäviin. Tämän tutkimuksen näkökulmasta Hautalan opinnäytetyön vahvuus on kvantitatiivisten tietojen luotettavuus, sillä kaikki tilastot poimitaan poliisin tietojärjestelmästä. Hautala esittää kerättyä tietoa eri tavoin, mukaan lukien numeroin ja kaavioin. Haittapuolena on kuitenkin se, että tutkimus on jo melko vanha. Vuonna 2016 Suomessa ei ollut sähköpotkulautojen vuokrauspalveluita tarjoavia suuria yrityksiä. Sittenmin tämän alan kehitys on johtanut suuriin muutoksiin, ja siksi on hyvin todennäköistä, että monet tärkeät tiedot eivät yksinkertaisesti ehtineet päästä Hautalan tutkimukseen. (Hautala 2017.)

3.2 Kevyiden sähköajoneuvojen soveltuvuus ympärivuotiseen liikennekäyttöön

Turun ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan opiskelija Ville Heikkilä (2019) käsittelee opinnäytetyössään sähköpotkulautoja ja niiden soveltuvuutta kaupunki-infrastruktuuriin. Tämän opinnäytetyön kannalta Heikkilän tutkimus on arvokas vain siksi, että se käsittelee kevyiden sähköajoneuvojen toimintaan liittyviä haasteita. Esimerkiksi Heikkilä havaitsi, että monet ihmiset eivät reagoi kevyiden sähköajoneuvojen äänimerkkeihin, koska luulevat niiden kuuluvan pyörätiellä liikkuvista ajoneuvoista. Tällaiset haasteet voivat liittyä sähköajoneuvojen turvallisuuteen,

joten ne kannattaa ottaa huomioon. Lisäksi opinnäytetyön vahvuutena on se, että Heikkilä testasi erilaisia kevyitä sähköajoneuvoja ja tunnisti niiden rakenteellisia puutteita. (Heikkilä 2019.)

3.3 Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden liikenneturvallisuusvaikutusten arviointi

Kuten otsikko kertoo, Hämeen ammattikorkeakoulun ylemmän ammattikorkeakoulun vuoden 2020 opinnäytetyössä keskitytään sähköisten liikkumisvälineiden liikenneturvallisuusvaikutuksiin. Opinnäytetyön tekijä Eino Lahtinen (2020) tarkastelee sellaisten laitteiden liikenneturvallisuustilannetta ja niihin liittyviä riskejä. Tämä tutkimus sisältää paljon hyödyllistä määrällistä tietoa ja käsittelee lainsäädäntöä. Tilastojen tiedot on kerätty Suomesta ja ulkomailta, joten ongelmaa voidaan tarkastella alueeseen viittaamatta. Tämän lisäksi Lahtisen tutkimuksen kiistaton etu on se, että tutkimustensa perusteella hän itse tekee joitakin oletuksia siitä, mitkä tekniset muutokset sähköpotkulautoihin voisivat parantaa niiden turvallisuutta. Lahtisen työ on erittäin yksityiskohtainen ja laadukas, sen tekemiseen osallistuivat muun muassa Traficomin työntekijät. Siksi tämä työ löytyy myös Traficomien nettisivulta. Samasta syystä tämän työn sisältämää tietoa voidaan pitää luotettavana ja virallisena. (Lahtinen 2020.)

3.4 Moposkootterin sähköversio

Vuonna 2019 Turun ammattikorkeakoulun ajoneuvo- ja kuljetustekniikan opiskelija Miska Teponoja (2019) muutti ostamansa skootterin sähkökäyttöiseksi. Opinnäytetyössä tarkastellaan muun muassa haasteita, joita voi kohdata, kun alkaa rakentaa kevyttä sähköistä liikkumisvälinettä. Kuten muutkin, Teponoja aloittaa tarkastelemalla lainsäädäntöä, mutta siirtyy sitten akku- ja sähkömoottoritekniikkaan. Yksi opinnäytetyön vahvuuksista on, että Teponoja lähestyy sähköajoneuvon rakentamista myös laskelmien kautta ja selittää perusteellisesti omat komponenttivalinnat. (Teponoja 2019.) Tämän lisäksi on tärkeää huomata, että Teponojan opinnäytetyö on voittanut Suomen Autoteknillisen Liiton valtakunnallisen loppukilpailun (Loikkanen 2020).

3.5 Sähköisten liikkumisvälineiden rooli matkaketjussa

Metropila-ammattikorkeakoulussa tehdyssä insinöörityössä Eetu Rutanen (2016) tutkii sähköisten liikkumisvälineiden roolia nykyaikaisessa matkaketjussa. Vaikka Rutanen tutkimus on tämän luette-

lon vanhin, se on silti hyödyllinen, koska insinööri työ paljastaa näkökulmia, jotka ovat jääneet huomiotta muissa teoksissa. Esimerkiksi muissa teoksissa pois rajatut terveystaikutukset, jotka voivat olla yhteydessä sähköpotkulaudailun turvallisuuteen. Rutanen analysoi myös turvallisuusvaikutuksia. Analyysi paljasti sähköpotkulaudalla ajamisen suurimmat riskit, jotka hänen tutkimuksessaan tunnistettiin. (Rutanen 2016.)

3.6 Sähköisten potkulautojen liikenneturvallisuuden edistäminen

Tämä on Tytti Seppäsen ja Olli-Pekka Brunilan (2022) laatima loppuraportti hankkeen tuloksista. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Traficomin ”Kevyiden sähköajoneuvojen liikenneturvallisuuden edistäminen” -hankkeesta syntynyt raportti käsittelee hankkeen keskeisiä tuloksia. (Seppänen & Brunila 2022.)

Seppäsen ja Brunilan mukaan aiempaa koulutusmateriaalia sähköpotkulautojen käytöstä ei ollut. Projektin ideana oli tehdä tällainen materiaali videomuodossa. Tämän hankkeen tuloksena syntyi video, joka auttaa lapsia ja nuoria käyttäytymään turvallisesti tilanteissa, joissa he kohtaavat sähköpotkulautoja. Video oli julkaistu YouTubeen lokakuussa 2021 ja syyskuussa 2023 videolla on 250 katselukertaa. Videon julkaisun jälkeen katselijoiden mielipiteet videosta ja sen ideoista koottiin raportiksi, joka antoi kvantitatiivista tietoa sähköpotkulautojen käyttöön liittyvistä vaaroista. Raporttiin on koottu muutkin hankkeesta tulleet tiedot ja tulokset. Tämän lisäksi raportissa käydään läpi projektin ulkopuolisia tilastoja, sekä Kaakkois-Suomen poliisin näkemystä. (Seppänen & Brunila 2022.)

3.7 Sähköpotkulaudat Helsingin poliisin näkökulmasta

Poliisiammattikorkeakoulun opiskelija Justiina Saari (2021) päätti selvittää poliisin työntekijöiden mielipiteitä sähköpotkulaudoista. Tämä on toinen poliisiammattikorkeakoulussa tehty opinnäytetyö, jossa yhdistyvät poliisi ja sähköpotkulaudalla ajaminen. Saaren opinnäytetyössä pääpaino on määrällisessä tutkimuksessa, jossa tarkastellaan tarkasti poliisin työntekijöiden näkemyksiä skoottien aiheuttamista vaaroista. Näin opinnäytetyö eroaa Hautalan tekemästä, sillä Saaren opinnäytetyössä ei ole niin paljon poliisin tietokannasta poimittua tietoa. Työn etuna on kuitenkin se, että Saaren tutkimus on Hautalan tutkimusta uudempi, ja tarkastelee muun muassa viime vuosina tapahtuneita muutoksia. (Saari 2021.)

3.8 Aineistosta selvitetyt ongelmat

Tässä luvussa käsitellään tutkijoiden tärkeimpiä havaintoja ja tuloksia sähköpotkulautojen aiheuttamista vaaroista. Tutkimuksia tarkastellaan samassa järjestyksessä kuin edellä on esitetty. Ensin tarkastellaan niitä ongelmia, jotka ovat nousseet vain yhdessä tutkimuksessa kukin, ja sitten niitä ongelmia, joista kaikki tutkijat tai useimmat ovat samaa mieltä. Tässä käsitellään vain sähköpotkulautoihin liittyviä ongelmia. Tämän seurauksena muita kevyitä sähköajoneuvoja ei harkita tämän tutkimuksen osaksi.

Hautala (2017, 39) tuo esille, että puhelimen käyttö ajon aikana heikentää ohjauksen vakavuutta ja lautailijan koordinaatiokykyä. Myös Hautala (2017, 37) uskoo ihmisten tietämättömyyden skuuttien oikeanlaisesta käytöstä olevan vaarallista, koska tutkimuksensa aikana hän törmäsi tilanteisiin, joissa ihmiset häiritsivät hätäkeskusta soittamalla ja ilmoittamalla näkemistään kevyistä sähköajoneuvoista, vaikka kyse ei ollut mistään laittomasta. Hietamies (2019) täydentää tähän, että vuonna 2018 hätäkeskus saamista soitoista noin 22 prosenttia olivat turhia. Hän muistuttaa, että turhan soiton takia todellisessa vaarassa olevan avunsaanti viivästyy. (Hietamies 2019.) Lisäksi Hautalan (2017, 40) mukaan poliisin töitä vaikeuttavat itse rakennetut kevyet sähköajoneuvot: ”Itse rakennetut sähköpolkupyörät voivat näyttää kovin kotitekoisilta, mutta lainsäädännön kannalta ne ovat sallittuja, jos ne täyttävät polkupyörän rakenteelliset vaatimukset ja kulkevat sallittua nopeutta”.

Heikkilän (2019) opinnäytetyö paljastaa infrastruktuurin vaikutuksen sähköpotkulaudan ajamiseen. Esimerkiksi lumi vaikeuttaa paljon kevyiden sähköajoneuvojen ympärivuotista käyttöä. Tämän lisäksi Heikkilä korostaa sellaisia tärkeitä kohtia kevyiden sähköajoneuvojen rakenteissa, joihin kannattaa kiinnittää huomiota:

- käyttäjälle näkyvät selkeät ja tarkat nopeustiedot
- äänimerkki, johon muut tien käyttäjät kiinnittäisivät huomiota
- helppokäyttöiset suuntavalaisimet
- mahdollisuus mitata rengaspaineita
- hyvä akku, joka mahdollistaa isomman toimintasäteen ja selkeät ja ajankohtaiset tiedot sen latauksesta ja varauksesta. (Heikkilä 2019, 27–35.)

Yllä olevien haasteiden lisäksi Lahtinen (2020) tuo esille, että sähköpotkulaudan matala massakeskipiste ja isot pyörät voisivat vaikuttaa positiivisesti sen (usein heikkoon) vakavuuteen. Myös infrastruktuurin puutteet kuten asfaltin huono kunto aiheuttavat riskejä käyttäjälle. Lahtisen tutkimus

on samalla linjalla Heikkilän kanssa suuntavalaisimista ja skuutin ympärivuotisesta käytöstä. (Lahtinen 2020, 22–23.) Lisäksi Lahtinen (2020, 34) todistaa, että skuutit tarvitsevat enemmän sivusuuntaista tilaa sen rakenteen vuoksi.

Teponojan (2019) mukaan lainsäädäntö ei ole tarpeeksi selkeä sähköisten kevyiden ajoneuvojen osalta. Hän uskoo myös matalan massakeskipisteen olevan tärkeä, kun kyseessä on kevyt sähköajoneuvo. Materiaalivalinnassa Teponoja ilmaisee oman mielipiteensä akkujen valinnan merkityksestä: väärin valitut akut voivat olla vaarallisia paitsi ympäristölle, myös kuljettajalle. Hän on Heikkilän (2019) kanssa samaa mieltä käyttäjälle näkyvistä tiedoista akun latauksesta ja varauksesta. Opinnäytetyössä korostetaan myös akkujen ohjainlaitteen merkitystä, koska se mahdollistaa energian talteenoton moottorijarrutuksessa. (Teponoja 2019; Heikkilä 2019, 27–28.)

Rutanen (2016) täydentää Teponojan näkemystä akun valinnan tärkeydestä - väärä akku johtaa usein räjähdykseen. Hän on myös sitä mieltä, että mitä suurempi skuutin nopeus, sitä tärkeämpää on, että muut tienkäyttäjät huomaavat sen. Äänimerkin käyttö onkin tärkeää, koska sillä lautaillija erottuu joukosta helposti ja voi tarvittaessa varoittaa muita tienkäyttäjiä omista liikkeistä. Hän muistuttaa, että skuutin liikkeet jäävät usein muille käsittämättömiksi, koska esimerkiksi skuutin käännökset ovat sen rakenteen takia paljon jäykempiä kuin pyörällä. Hän pitää vaarallisena sitä, että joskus sähköpotkualuodoista puuttuu ilmoitus akun sähköenergian loppumisesta, mikä voi johtaa siihen, että skuutti hidastuu äkillisesti, koska akku on täysin tyhjä, ja skuutin käyttäjä voi pudota. (Rutanen 2016; Teponoja 2019.)

Seppälä ja Brunilan (2020) osoittavat, että jos sähköpotkulaudasta tehdään paremmin havaittava ja äänekkäämpi, se vähentäisi onnettomuuksien määrää. Myös sähköpotkulaudan kunto on tarpeen tarkistaa ennen ajamista, sillä joskus onnettomuudet johtuvat vaurioituneista laitteista. (Seppälä & Brunila 2020.)

Lopuksi Saaren (2021) tutkimuksessa toistuu Hautalan ajatus puhelimen käytöstä ajon aikana. Työ paljastaa myös ne riskit, joista suurin osa tutkijoista on samaa mieltä.

Kypärän käyttämättä jättäminen: useammat tutkijat ovat samalla linjalla kypärän pakollisesta käytöstä. Heidän mukaansa lähes sadassa prosentissa onnettomuuksista kypärän käyttäminen ajon

aikana voi estää vakavia loukkaantumisia. Kypärän käyttämättä jättäminen on suuri riski sähköpotkulaudan käyttäjälle, joten tutkijat ihmettelevät sitä, että nykyinen lainsäädäntö ei edellytä kypärän käyttöä. (Hautala 2019, 9–11; Seppälä & Brunila 2020; Saari 2021, 23–25.) Lahtinen (2020) muistuttaa, että sähköpotkulaudan väärinkäyttö ja kypärän käyttämättä jättäminen johtavat useimmissa onnettomuuksissa kuolemaan.

Liikennesääntöjen ja vuokrausehtojen noudattamatta jättäminen: monet tutkijat uskovat liikennesääntöjen ja vuokrausehtojen noudattamatta jättämisen olevan yksi suurimmista skuaattiin liittyvistä riskeistä. Heidän mukaansa vaarallista on myös se, ettei kaikilla käyttäjillä ole ajokorttia, mikä johtaa tietämättömyyteen liikennesäännöistä. Lisäksi syynä on usein vuokrauspalveluita tarjoavien yritysten vuokrausehtojen laiminlyönti, joka johtaa sellaisiin ilmiöihin kuin ”kaksi päällä” -ajaminen ja alaikäisenä ajaminen. Nämä tapaukset päättyvät usein loukkautumiseen. (Hautala 2017; Lahtinen 2020; Seppälä & Brunila 2020, 22; Saari 2021.)

Rattijuopumus: samaan luokkaan voi laittaa myös tutkijoiden mielipiteen skuaatilla ajamisesta alkoholin vaikutuksen alaisena. Tutkijat tulivat samaan johtopäätökseen, että selvinpäin ajaminen vähentää riskejä huomattavasti. Tämä on myös sen takia, että suuri osa kaikista onnettomuuksista tapahtuu öisin. Tutkijat ovat sitä mieltä, että sähköpotkulautoista on tullut hyvä liikkumisväline yökerhojen välisissä matkoissa, mitä tarkoittaa muun muassa sitä, että näissä tapauksissa skuaatteja käyttävät yö-käyttäjät ovat alkoholin vaikutuksen alaisia. (Hautala 2017; Lahtinen 2020; Seppälä & Brunila 2020; Saari 2021.)

Liian suuri nopeus: jotkut tutkijat uskovat, että sähköpotkulaudalle sopivin nopeus olisi noin 10–15 km/h. Muut eivät ajattele niin radikaalisti, mutta silti ajattelevat, että on järkevää rajoittaa nopeutta tietyillä alueilla. Vuonna 2023 vuokraskuuttien maksiminopeus oli 25 km/h, minkä takia tutkijoiden mielestä onnettomuuksia sattuu paljon, varsinkin kun ihmisiä onkin paljon. Liian kova vauhti tarkoittaa myös sitä, että muiden tienkäyttäjien on vaikea ennakoida sähköpotkulaudan liikkeitä. (Hautala 2017; Lahtinen 2020, 32; Rutanen 2016, 37; Seppälä & Brunila 2020; Saari 2021.)

Väärä pysäköinti: vaikka tämä ei sinänsä olekaan ensimmäinen asia, joka tulee mieleen sähköpotkulautojen aiheuttamista vaaroista, lähes jokainen skuaattien turvallisuustutkimus viittaa väärin pysäköityjen skuaattien aiheuttamiin riskeihin. Tämä on ongelma paitsi skuaattien käyttäjille, myös

muille tienkäyttäjille ja erityisesti näkövammaisille ja liikkumisrajoitteisille. (Lahtinen 2020; Rutanen 2016; Seppänen & Brunila 2020; Saari 2021.)

Yllä mainittujen tutkijoiden lisäksi, myös ”Sähköpotkulautailun turvallisuuden edistäminen Tampereella” -loppuraportin laatijat tulivat samoihin tuloksiin (Sähköpotkulautailun turvallisuuden edistäminen Tampereella 2023).

3.9 Lainsäädäntö

Hautalan (2017) mukaan, sähköpotkulaudalla ajamista Suomessa määrittävät tieliikennelaki, ajoneuvolaki ja asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä. Tämän lisäksi tuoreemmassa työssä Saari (2021) täydentää tähän listaan myös rikoslain. Alla on tärkeimmät asiat, jotka ovat lailla säädelty ja jotka liittyvät kevyiden sähköajoneuvojen tekniseen puoleen, minkä vuoksi ne tulee ottaa huomioon tässä tutkimuksessa.

Suomen lainsäädännössä sähköpotkulaudat luokitellaan kevyiksi sähköajoneuvoiksi. Maksimiteho voi olla 1 kW ja maksiminopeus on 25 km/h. Ajoneuvolla tulee olla etuvalo, joka voi olla myös henkilöön kiinnitettävä. Takavallo ei ole pakollinen, mutta heijastimella varustettua takavalloa olisi kuitenkin hyvä käyttää. Sähköpotkulaudalla ei saa olla istuinta, koska se ei ole itsestään tasapainottuva, ei tarkoitettu maastokäyttöön eikä liikuntarajoitteisten käyttöön. Tämän lisäksi kevyellä sähköajoneuvolla on oltava äänimerkinantolaitte. Kun sähköpotkulaudan maksiminopeus tai maksimiteho ylittää yllä mainitut arvot, se luokitellaan mopoksi, ja silloin ajoneuvolle on haettava Trafinit lupa. (Lahtinen 2020; Teponoja 2019.)

On kuitenkin huomioitava, että lainsäädäntö muuttuu vuonna 2024. Tuhkasen mukaan lähtökohdaksi on EU-direktiivi 2009/103/EC, jonka mukaan sähköpotkulaudoilla on oltava liikennevakuutus, jos sen suurin nopeus ylittää 25 km/h tai teho on yli 1 kW. Uudistuksen mukaan jatkossa sama sääntö koskee myös sähköpotkulautoja, joiden maksimipaino ylittää 25 kiloa. Tuhkanen huomio, että tällä hetkellä suuri osa vuokrattavista sähköpotkulaudoista ylittää tämän arvon. Hän antaa pari esimerkkiä, sillä Tierin laudat painavat 32 kiloa ja Voin - 31 kiloa. (Tuhkanen 2023.)

3.10 Koneiden valmistajan tehtävät

Koneiden valmistajan tehtävänä on suunnitella ja rakentaa kone olennaisten turvallisuusvaatimusten mukaiseksi. Tätä varten koneen valmistajan täytyy selvittää konetta koskevat turvallisuusvaatimukset ja arvioida koneiden riskit. Tämän lisäksi koneen valmistajan tehtäviin kuuluu CE-merkinnän kiinnittäminen, vaatimustenmukaisuusvakuutuksen, teknisen tiedoston laatiminen, tarvittavien merkintöjen tekeminen, käyttö- ja huolto-ohjeiden laatiminen sekä tyyppitarkastuksen tekeminen. Koska valmistus jätettiin opinnäytetyön ulkopuolelle, ei ole tarvetta käsitellä asiaa sen enempää. On kuitenkin otettava koneille asetetut turvallisuusvaatimukset sekä riskiarviointi huomioon – näistä asioista puhutaan myöhemmin.

3.11 Kysely ja sen tulokset

Tutkimuksen aineistoperusta esitetty yllä. Tässä kohdassa käsitellään kysely, jonka selvittävien kysymysten avulla tarkasteltiin edellä saatujen tietojen oikeellisuus. Kysely perusteluineen löytyy liitteistä (liite 3). Se on anonyymi ja luotu Google Formsilla. Kysely oli rakennettu Williamsin (2023) ”How to analyze survey data” -ohjeiden mukaisesti. Näin ollen, vaikka kysely on itsestään kvantitatiivinen, siihen kuuluu myös kvalitatiiviset kysymykset. Kysely on lyhyt, jotta vastaaminen kestäisi maksimissaan 1–2 minuuttia. Tämän lisäksi, koska Suomessa asuu paljon ulkomaalaisia, joiden näkökulma tilanteesta voisi olla hyödyllinen tässä tutkimuksessa, kysely on tehty kahdella kielellä – suomen ja englannin kielillä. Kyselyyn vastasi 102 henkilöä. Vastaajat kuuluvat eri ikä- ja sukupuoli-ryhmiin, noin 92 % on kokeillut sähköpotkulaudoilla ajamista.

Suurin osa kysymyksistä kohdistuu aiemmin hankitun tiedon luotettavuuden selvittämiseen kvantitatiivista tietoa edustavien vastausten kautta. Vastaukset vahvistivat kaikki aiemmin kerätyt tiedot, mutta tämän lisäksi saatiin uutta tietoa. Esimerkiksi kysymyksiä numero 5, 7, 9, 11, 13 ja 14 tarkoituksena oli saada vastaajien näkemyksiä turvallisuuskäytännöistä ennen kuin esitetään kysymyksiä vastaajien omasta käyttäytymisestä. Tällaisten kysymyksiä avulla esimerkiksi selvitettiin, että suurin osa vastanneista on sitä mieltä, että sähköpotkulautaa ei saa käyttää alkoholin tai huumeiden alaisena, kypärän käyttö on välttämätöntä, ja että sähköpotkulautojen nopeutta saisi rajoittaa vielä nykyistä tasoa enemmän.

Nämä vastaukset tuovat mielenkiintoisen kohdan koko tutkimukseen – vaikka lähes kaikki kyselyyn vastanneista ovat sitä mieltä, että edellä esitetyt turvallisuuskäytännöt ovat välttämättömiä sähköpotkulautaa käytettäessä, vastaajien enemmistön käyttäytyminen ei vastaa heidän ajatuksiaan tästä asiasta. Esimerkiksi 66,3 % vastanneista on sitä mieltä, että sähköpotkulautaa käytettäessä on käytettävä kypärää, mutta tästä huolimatta vain 22 % vastanneista väittää käyttävänsä kypärää.

Tähän ilmiöön voi olla useita syitä. Yksi niistä voi olla esimerkiksi suojavaarusteiden käytön vaikeus. On todellakin vaikea kuvitella, että tavallinen sähköpotkulaudan käyttäjä kantaisi aina ja kaikkialla kypärää mukanaan, jotta hän voisi tarvittaessa vuokrata sähköpotkulaudan ja käyttää sitä. Ja koska sähköpotkulautavuokraamot eivät valvo kypärän käyttöä millään tavalla, ei ole yllättävää, että tällaiset vaikeudet pakottavat käyttäjät kieltäytymään kypärän käytöstä, vaikka he uskovat sen käytön tarpeellisuuteen. Tässä vaiheessa on tärkeää huomata, että useimmat sähköpotkulautavuokraamot kannustavat käyttäjää käyttämään kypärää sekä noudattamaan muita turvallisuussääntöjä, mutta kuten kyselyn aikana kävi ilmi, suurin osa vastaajista ei tunne sähköpotkulautojen käytön sääntöjä.

Lisäksi vastauksista kävi ilmi, että kyselyyn vastanneet pitivät suurimpana riskinä alkoholin tai huumeidenvaikutuksen alaisena ajamista (78 %) ja pienempänä riskinä väärin pysäköityä sähköpotkulautaa (16 %).

Avoimista vastauksista kävi ilmi, että englannin kielen käyttö oli hyvä päätös, sillä osa vastauksista oli kirjoitettu englannin kielellä. Esimerkiksi yksi kyselyyn englannin kielellä vastanneista on kertonut, että kun hän liikkui nopeasti sähköpotkulaudalla, se (sähköpotkulauta) jarrutti yhtäkkiä ja odottamatta. Tämä oli varmasti epämiellyttävä kokemus, joka vaikutti laitteen käytön turvallisuuteen. Tämä on mielenkiintoinen kohta, koska Ratanen (2016) on törmännyt samaan ilmiöön. Hän uskoo, että tämä johtuu siitä, että kun akku tyhjenee merkittävästi, sähköpotkulauta alkaa jarruttaa erittäin jyrkästi varoittamatta käyttäjää. (Rutanen 2016, 37).

Seitsemän vastanneista pitää vaarallisena sitä, että alle 18-vuotiaat saavat käyttää sähköpotkulautoja. Tässäkin tapauksessa sähköpotkulautavuokraamot pyrkivät minimoimaan tätä riskiä. Esimerkiksi Birdin käyttöohjeiden mukaan heidän sähköpotkulautojaan ei voida käyttää, kunnes käyttäjän

ikä on todistettu. Kuitenkin riippumatta siitä kuinka vakavalta se kuulostaa, vahvistuksena käytetään painettua painiketta kohdassa ”Jatkamalla vahvistan, että olen 18+ ja että hyväksyn Bird:n Käyttöehdot ja Tietosuojakäytäntö osiot.” (Safety First n.d.) Sama käytäntö on myös muissa yrityksissä, kuten Tier ja Joe – ikää ei tarkisteta missään, joten kaikki käyttäjät iästä huolimatta pääsevät käyttämään sähköpotkulautoja.

Kaiken kaikkiaan kysely oli hedelmällinen ja tarjosi uusia mahdollisuuksia parantaa skuuttien turvallisuutta, jotka voitaisiin sisällyttää suunnitteluun. kuten loogisempi toteutus henkilökohtaisten suojarusteiden käyttöön. Valitettavasti alaikäisten ajamisen aiheuttamia riskejä ei voida ratkaista tämän projektin aikana vain rakentamalla turvallisempi sähköpotkulauta, mutta siitä riskistä on kuitenkin ilmoitettava vuokrapalveluita tarjoaville yrityksille.

3.12 Riskianalyysi

Kuten edellä todettiin, koneen valmistajan on suunniteltava kone, jota on turvallista käyttää. Kaikki koneen käyttöön liittyvät riskit tulee ottaa huomioon, jotta ne mainitaan myöhemmin vaatimuslistaa laadittaessa. Osa riskeistä on jo esitelty edellä, mutta on myös tarpeen tehdä riskianalyytit, jotta vaatimuslistaa laadittaessa ja suunnittelussa otetaan huomioon mahdollisimman monta riskiä.

3.12.1 Menetelmät

Riskianalyysin menetelmiä on monia. Menetelmän valinta riippuu tehtävästä. Jotkut menetelmät sopivat paremmin työpaikan turvallisuustilanteen tarkistamiseksi, kun toiset sopivat paremmin erilaisten prosessien riskien määrittämiseen. Edellä kuvattiin muiden tutkijoiden havaitut sähköpotkulautojen aiheuttamat riskit. Tämä menetelmä kutsutaan tässä opinnäytetyössä Onnettomuustietojen tarkasteluksi. Tämän menetelmän ideana on analysoida aikaisempia onnettomuuksia, niiden syitä ja seurauksia, ja sillä tunnistetaan yleisimmät onnettomuuksien syyt.

Tämän menetelmän lisäksi valittiin vielä kaksi riskianalyysimenetelmää. Ensiksi puhutaan riskiarviointimatriisista. Tämän menetelmän avulla ensin tunnistetaan ja sen jälkeen luokitellaan riskit. Menetelmä sisältää luokittelun seuraaviin luokkiin:

- Hallintajärjestelmät ja toimintatavat
- Fysikaaliset vaaratekijät
- Tapaturman vaarat
- Fyysinen kuormittuminen
- Kemialliset ja biologiset vaaratekijät
- Psykososiaaliset kuormitustekijät. (Riskien arviointi työpaikalla -työkirja 2015.)

Vaikka ”Riskien arviointi työpaikalla -työkirja” nimensä mukaan on tarkoitettu riskien arviointiin työpaikalla, se on silti sopiva muihinkin tapauksiin, koska siellä olevat riskien luokittelu ja ohjeet riskien määrittämiseen ovat todella kattavia. Luokittelun jälkeen on tarkistettava riskien todennäköisyys ja seuraukset alla esitetyn taulukon avulla (Riskien arviointi työpaikalla -työkirja 2015).

Taulukko 1. Riskitaulukko

Todennäköisyys	Seuraukset		
	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen	1 Merkityksetön riski	2 Vähäinen riski	3 Kohtalainen riski
Mahdollinen	2 Vähäinen riski	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski
Todennäköinen	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski	5 Sietämätön riski

Taulukossa seuraukset ja todennäköisyydet on jaettu kolmeen tasoon. Riskien vakavuus määritellään seuraavasti:

1. Ensin valitaan, kuinka vakavia tietyn riskin seuraukset ovat.
2. Sitten määritellään tämän riskin toteutumisen todennäköisyys, jonka perusteella päätetään riskin suuruudesta.

Seuraavassa taulukossa selitetään riskien asteita ja miten niitä suositellaan pienentää (Riskien arviointi työpaikalla -työkirja 2015).

Taulukko 2. Tarvittavat toimenpiteet riskin suuruuden mukaan

Riskin suuruus	Tarvittavat toimenpiteet riskin pienentämiseksi
Merkityksetön riski	Riski on niin pieni, että toimenpiteitä ei tarvita.
Vähäinen riski	- Toimenpiteitä ei välttämättä tarvita. - Tilannetta tulee seurata, jotta riski pysyy hallinnassa.
Kohtalainen riski	- On ryhdyttävä toimenpiteisiin riskin pienentämiseksi. - Toimenpiteet tulee mitoittaa ja aikatauluttaa järkevästi. - Jos riskiin liittyy erittäin vakavia seurauksia, on tarpeen selvittää tapahtuman todennäköisyys tarkemmin.
Merkittävä riski	- Riskin pienentäminen on välttämätöntä. - Toimenpiteet tulee aloittaa nopeasti. - Riskialtis toiminta tulee keskeyttää eikä sitä saa aloittaa, ennen kuin riski on poistettu.
Sietämätön riski	- Riskin pienentäminen on välttämätöntä. - Toimenpiteet tulee aloittaa välittömästi. - Riskialtis toiminta tulee keskeyttää eikä sitä saa aloittaa, ennen kuin riski on poistettu.

Lisäksi riskien pienentämiseen tarkoitettujen toimenpiteiden jälkeen on suoritettava sama riskianalyysi uudestaan, jotta riskille voidaan määritellä uusi vakavuusluokka. Menetelmän etuna on se, että paitsi alkutilanteen riskien tunnistamista, se tarjoaa tilanteen tarkistamisen riskien pienentämisen toimenpiteiden jälkeen. Lopputarkastuksen perusteella voidaan päättää turvallisuustilanteesta ja hyväksyä se.

Viimeiseksi menetelmäksi valittiin HAZOP eli Hazard and Operability Study. HAZOP on riskianalyysimenetelmä, jonka ideana on tarkistaa jokainen järjestelmän/laitteen komponentti ja tunnistaa siihen komponenttiin liittyvät riskit. Tämän menetelmän avulla voidaan tunnistaa ne ongelmat, jotka syystä tai toisesta ohitettiin. Menetelmän ominaisuuksien takia sitä voidaan käyttää vain, kun on tiedossa kaikki sähköpotkulaudan komponentit, jotta niiden riskejä voidaan tarkastella huolellisemmin. (Product Quality Research Institute n.d.) Tämän vuoksi riskien arviointi tämän menetelmän avulla siirrettiin suunnitteluprosessin loppuosaan.

3.12.2 Riskiarviointimatriisi

Riskiarviointimatriisin rakenne voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan tilannetta ennen toimenpiteitä. Tätä varten ensin määritellään riskin luokka ja kuvataan riskin syy,

sitten selvitetään vaaran seuraukset ja mahdollisuudet ja näin saadaan selville riskin suuruusluokka. Toinen riskiarviointimatriisin osa on tarkoitettu riskin vähentämiseen. Tätä varten kehitetään riskinhallintatoimenpiteet ja tarkastellaan tilannetta uudelleen määrittämällä jäännösriskin todennäköisyys. Kaikki riskit on luokiteltu kuuteen luokkaan, kuten oli esitetty edellä.

3.12.3 Riskiarviointimatriisin tulosten analyysi

Riskiarviointimatriisia käyttävä riskianalyysi oli erittäin hyödyllinen ja toi esiin monia sähköpotkulautojen käyttöön liittyviä turvallisuusongelmia (liite 1). Analyysi paljasti yhteensä 44 riskiä, joista 9 oli sietämätöntä, 22 merkittävää, 12 kohtalaista ja 1 vähäinen.

Riskianalyysissä käytettiin hyväksi opinnäytetyön tietoperustassa esitettyjä materiaaleja ja niistä löydettyä turvallisuuden riskejä, mutta riskiarviointimatriisi paljasti myös muita ongelmia, joita ei aiemmin mainittu. Esimerkiksi ergonomiakysymykset, allergiaa aiheuttavat aineet, liikkuvien osien riskejä ja niin edelleen. Voidaan siis todeta, että tämän menetelmän käyttö oli järkevä päätös.

Riskin tunnistaminen on ensimmäinen askel riskin pienentämiseen. Valitettavasti yleensä riskien vaikutuksia ei voida pienentää, mutta todennäköisyyttä manipuloimalla tiettyä riskiä voidaan hallita paremmin. Kun etsitään ratkaisuja riskien pienentämiseen, käytetään kolmevaiheista riskien pienentämisen menetelmää (Jaakkola 2015). Sen mukaan riskit tulee pienentää seuraavassa järjestyksessä:

Vaihe 1. Vaarat poistetaan tai vähennetään suunnittelemalla ja rakentamalla kone turvallisiksi.

Esimerkki tämän vaiheen käytöstä oli päätös suunnitella säädettävä ohjaustanko, jotta sähköpotkulaudan käyttäjä voi valita itselle sopivan korkeuden ja näin parantaa selän asentoa. Myös esimerkkinä voi olla päätös käyttää hyvää jousitusta, ja sillä vähentää käsiin ja koko kehoon kohdistuvaa tärinää.

Vaihe 2. Vaarat poistetaan suojausteknisillä toimenpiteillä. Tämän vaiheen käytön seurauksena sähköpotkulaudasta tuli monimutkaisempi ja siihen lisättiin monia lisälaitteita turvallisuuden parantamista varten. Esimerkiksi alkolukko, palonsammutusjärjestelmä ja valaisimet ovat sähköpotkulaudan käytön riskejä pienentäviä lisävarusteita.

Vaihe 3. Käyttö- ja huolto-ohjeet, merkinnät sekä muut varotoimenpiteet. Tässä vaiheessa riskien suuruutta yritettiin pienentää opastamalla käyttäjää riskeistä asianmukaisesti. On teknisesti erittäin vaikeaa tai jopa mahdotonta suojata käyttäjää altistumiselta pölylle ja pakokaasuille käytettäessä sähköpotkulautaa ulkona, mutta käyttäjää voidaan opastaa käyttämään suojalaseja riskien vähentämiseksi.

Riskien hallinnan toimenpide-ehdotusten jälkeen tilanne on muuttunut niin, että tarkastelun jälkeen löytyi 29 kohtalaista ja 15 vähäistä riskiä. On huomioitava, että vaikka suurusluokan 5 ja 4 (taulukko 1) riskit on täysin eliminoitu, sähköpotkulauta on edelleen erittäin vaarallinen ajoneuvo - sen todistaa myös kohtalaisten riskien määrä tarkastelun jälkeen.

4 Suunnittelu

Kun riskianalyysit on tehty, on suunnilleen selvää, miten voidaan parantaa sähköpotkulautojen turvallisuutta, joten voidaan siirtyä suunnitteluprosessiin. Suunnittelussa käytettiin CAD-ohjelmistoa. CAD eli Computer Aided Design tarkoittaa ohjelmistoa, jota käytetään 3D-mallien luomiseen, analysointiin, optimisointiin ja muokkaamiseen. Sellaisia ohjelmistoja käytetään laajasti erilaisiin insinööritehtäviin, joissa vaaditaan tarkkaa esineiden mallintamista ennen valmistamista. 3D-suunnittelu antaa mahdollisuuden suunnitella osia ja mekanismeja virtuaaliympäristössä, analysoida ja muuttaa niitä, minkä ansiosta voidaan jo ennen tuotannon aloittamista nähdä tietyn rakenteen puutteet ja korjata ne. Tämän lisäksi CAD-ohjelmiston käyttö nopeuttaa suunnittelua, ja parantaa sen laatua.

Vuonna 2023 suosituimmat CAD-ohjelmat 3D-suunnitteluun olivat SolidWorks ja Catia. Ohjelman valinta riippuu monesta tekijästä muun muassa tehtävästä. Valintaa rajoittavat myös käyttäjän taidot ja ohjelmiston hankintahinta. Näillä valintaperusteilla tässä opinnäytetyössä päätettiin käyttää SolidWorks. SolidWorks on Dassault Systems -yrityksen kehittämä CAD-ohjelmisto, jota käytetään yleisesti erilaisissa insinööritehtävissä. SolidWorksin vahvuuksiin kuuluvat muihin CAD-ohjelmistoihin verrattuna paremmat analysoinnin työkalut sekä erikoiset konesuunnittelun työkalut, minkä ansiosta se valitaan usein teknisesti monimutkaisten osien ja laitteiden suunnitteluun.

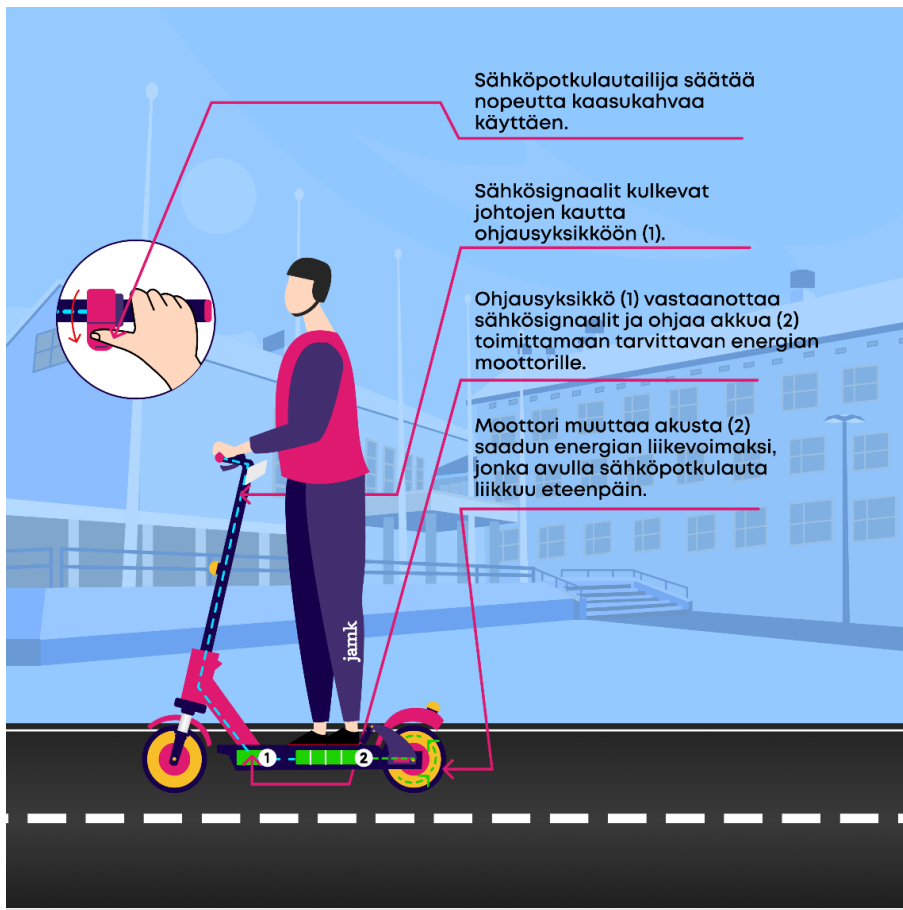
4.1 Suunnitteluprosessi

Ennen suunnitteluun ryhtymistä on selvitettävä, mitä kuuluu suunnitteluprosessiin, jotta se voidaan järjestää loogisesti ja perusteellisesti. Tämän opinnäytetyön suunnitteluprosessi näyttää tältä:

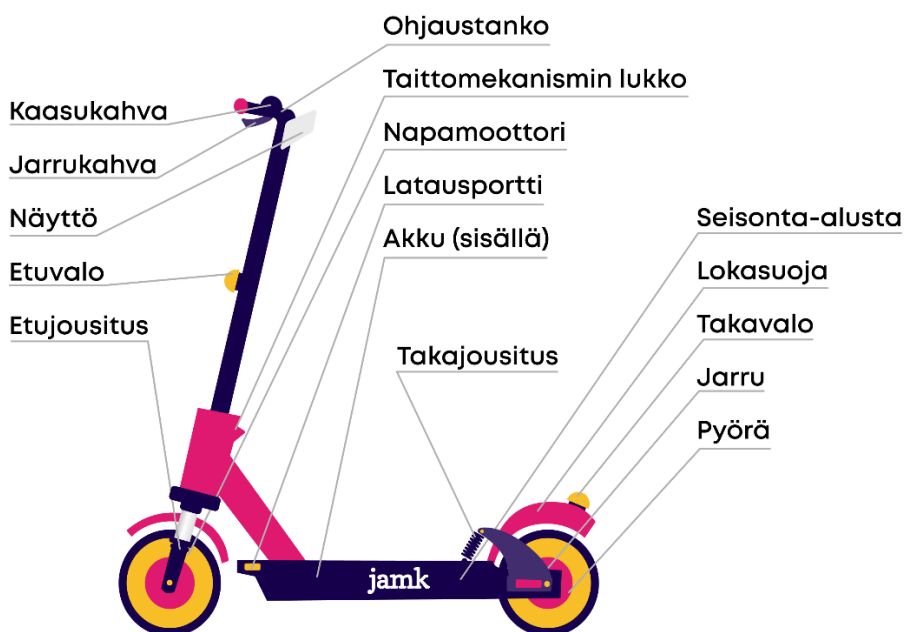
- Sähköpotkulaudan toimintaperiaatteeseen tutustuminen: ennen kaikkea on perehdyttävä sähköpotkulaudan toimintaperiaatteeseen, koska ilman sitä käsitystä, on mahdollonta rakentaa sähköpotkulauta.
- Vaatimuslistan laatiminen on seuraava vaihe. Sen edellytyksenä on kaksi suoritettua riskianalyysiä ja käsitys sähköpotkulaudan toimintaperiaatteesta.
- Tämän jälkeen tehdään markkinaselvitys, koska ilman sitä ei voida päättää, tuoko vaatimuslistaan perustava konsepti jotain uutta tai ei.
- Sähköjärjestelmän suunnittelu: tärkeä sähköjärjestelmän suunnittelu ei kuitenkaan kuulunut tähän projektiin, joten tämän projektin tapauksessa tämä vaihe tarkoittaa muun muassa akun valintaa varten tehtyjä laskelmia.
- Komponenttien valinta pohjautuu edellä oleviin vaiheisiin ja myös sähkösuunnitteluun.
- Prototyypin suunnittelu: kun saadaan selville, millä komponenteilla sähköpotkulauta varustetaan, mennään eteenpäin prototyypin suunnitteluun.
- Lujuuslaskennat tehdään SolidWorksin työkalujen avulla.
- Suunnittelun tulosten arviointivaiheessa päätetään, onnistuisiko vaatimusten mukaisen sähköpotkulaudan suunnittelu.
- Turvallisuustarkistus on osa suunnittelun tulosten arviointia, missä määritellään suunnitellun sähköpotkulaudan riskejä.

4.2 Sähköpotkulaudan toimintaperiaate

Ennen suunnittelun aloittamista on tutustuttava sähköpotkulaudan toimintaperiaatteeseen ja tarkasteltava sen pääkomponentteja. Sähköpotkulauta on monimutkainen tekninen laite, jonka toimintaperiaatetta voidaan kuvata näin: kaasui- tai jarrukahvoilla kuljettaja muuttaa akun syöttämän energian määrää pyörään kiinnitetyssä sähkömoottorissa, kiihdyttäen ja jarruttaen näin sähköpotkulautaa. Sähköpotkulaudan liikuttamisen mahdollistavat sen pääkomponentit, joihin kuuluvat **sähkömoottori, akku ja ohjain** (Trajkovski 2023a). Tässä kohdassa kuvaillaan pääkomponenttien toimintaperiaatteita. Osien valinnasta puhutaan myöhemmin kohdassa 4.5.



Kuvio 1. Sähköpotkulaudan toimintaperiaate



Kuvio 2. Sähköpotkulaudan pääkomponentit

4.2.1 Sähkömoottorin toimintaperiaate

Sähköpotkulaudan sähkömoottori (electric motor) on yleisesti tasavirtamoottori (DC eli Direct Current), joka muuttaa akun sähköenergian liike-energiaksi (Sähkömoottorityypit 2023). Tasavirtamoottorin käyttö vaihtovirtamoottorin (AC eli Alternating Current) sijaan perustellaan sillä, että vaihtovirtamoottoreiden ohjaus ja nopeuden säätö on monimutkaisempi eikä ole niin tarkka, kuin tasavirtamoottorin, minkä vuoksi se ei sovi käyttöön sähköpotkulaudoissa (Millett n.d.).

Tyypiltä sähköpotkulaudan tasavirtamoottori voi olla joko harjattu tai harjaton (Electric Scooter Motors n.d.). Harjattu tasavirtamoottori on vanhempaa teknologiaa, jossa moottori koostuu kahdesta pääkomponentista: staattorista ja roottorista. Staattori on moottorin kiinteä osa, ja roottori on moottorin liikkuva osa. Kun moottoriin syötetään sähkövirtaa, se kulkee staattorissa olevien harjojen kautta kommutaattoriin. Kommutaattori on roottorin mukana pyörivä osa, joka muuttaa virran suuntaa. Pyöriessä kommutaattori kytkee jatkuvasti erilaisia roottorin käämiä päälle ja pois, minkä vuoksi roottorin käämit vetävät jatkuvasti staattorin magneetteja. Tämä mahdollistaa roottorin jatkuvan pyörimisen. Sähkömagneettisen induktion vuoksi, kun roottori pyörii staattorin magneettikentässä, tämä pyöriminen luo vääntömomentin. Moottorin pyörimisen nopeuteen sekä vääntömomenttiin vaikuttaa syötetyn jännitteen ja virran muuttaminen.

Edellä olevasta kuvauksesta käy ilmi harjatun moottorin harjojen kiistaton tärkeys – ne mahdollistavat sähkövirran siirron roottorin kommutaattoriin ja sitten roottorin käämiin, jolloin moottori pyörii (Millett n.d.). Harjojen haittapuolena on niiden kulumisen ajan myötä. Harjat kuluvat niiden ja kommutaattorin välisen mekaanisen kitkan vuoksi. Tämä vaatii niiden säännöllistä huoltoa. (Dreisilker 2019).

Harjaton sähkövirtamoottori (BLDC eli brushless DC electric motor) on uudempaa teknologiaa, ja nimensä mukaisesti siinä ei ole harjatun moottorin haittaa, eli ajan myötä kuluvia harjoja. Harjattomassa moottorissa hyödynnetään elektroniikka- ja anturiteknologiaa, sillä harjojen puuttuminen selittyy elektronisen ohjauksen käytöllä kommutaatioon niiden sijaan. Staattorissa on muutama magneettikela, joita ohjaamalla harjattoman moottorin elektroninen ohjain mahdollistaa magneettikentän luomisen roottorin pyörimisestä. Ohjain siis vaihtaa staattorin vaiheita sellaisessa järjestyksessä roottorin asennon mukaan, joka mahdollistaa moottorin jatkuvan pyörimisen. (Millett n.d.) Roottorin asentoa valvotaan jatkuvasti staattorissa olevien Hall-antureiden avulla,

jotka reagoivat roottorin pyörimiseen. Harjattomien sähkömoottoreiden vahvuuksiin kuuluvat muun muassa suurempi teho pienemmällä koolla, harjojen puuttumien sekä parempi, nopeampi ja tehokkaampi pyörimisnopeuden säätö, minkä vuoksi sähköpotkulaudoilla käytetään pääasiassa harjattomia moottoreita (Electric Scooter Motors n.d.).

Sähköpotkulaudan moottori sijaitsee yleisesti takapyörässä. Maksiminopeuden ja vääntömomentin parantamiseksi jossain malleissa on kaksi sähkömoottoria kummassakin pyörässä. Toisin kuin tavallisissa sähkömoottoreissa, sähköpotkulautojen moottoreissa staattori sijaitsee roottorin sisällä, mikä mahdollistaa roottorin kiinnittämisen suoraan pyörään ja sillä sen (pyörän) pyörittämisen. Tämä sijainti vähentää tehohäviöitä. (Markovic ym. 2010.)

4.2.2 Li-ion-akun toimintaperiaate

Sähkömoottori saa sähköenergiaa akusta (battery). Yleisimmät sähköpotkulautojen akut ovat li-ion-akkuja (Frisby 2023; Foley 2022). Opinnäytetyössään Teponoja (2019) on myös tarkastellut erilaisten akkujen soveltavuutta sähköisiin liikkumisvälineisiin, ja tullut johtopäätökseen, että li-ion-akku on paras valinta kevyelle sähköajoneuvolle, sen ominaisuuksien vuoksi.

Li-ion-akun toimintaperiaate on seuraava: akussa on positiivinen (katodi) ja negatiivinen (anodi) elektrodi, joiden välillä ionit liikkuvat elektrolyytin läpi. Ionit siirtyvät katodilta anodille akun latauksessa, ja päinvastoin, kun akussa varastoitua energiaa käytetään sähkölaitteen virtalähteeksi. Kun akku on ladattu, ionit sijaitsevat negatiivisessa elektrodissa, ja potentiaalierosta positiivisen ja negatiivisen elektrodien välillä tulee akun varaus. Kun akkua käytetään, elektronit siirtyvät takaisin. Näin ollen potentiaaliero pienenee, ja akun varaus pienenee. (Basics of Lithium-Ion Batteries n.d.) Sähköpotkulaudan akku sijaitsee yleensä pohjassa. Tämän sijainnin avulla saavutetaan mahdollisimman matala massakeskipiste ja sillä sähköpotkulaudan ajamisen vakavuus ja ohjattavuus paranevat.

4.2.3 Ohjaimen toimintaperiaate

Ohjain (Controller) mahdollistaa akun ja sähkömoottorin yhteistyön. Yksinkertaisesti sanottuna se määrittää akusta moottoriin menevän virran määrää - kun sähköpotkulaudan käyttäjä painaa kaa-

sua, sähköinen signaali kulkee ohjaimeen johtojen kautta. Ohjaimessa on sähköohjelma, joka määrittää paljonko sähköenergiaa on siirrettävä akusta moottoriin. Jos sähköpotkulauta on varustettu elektronisilla jarruilla, ohjain määrittää myös niiden käytön. Näin ollen, kun käyttäjä painaa jarrua, signaali kulkee samalla tavalla johtojen kautta ohjaimeen, joka lopettaa sähkönsiirron akusta moottoriin. (Trajkovski 2023b). Paitsi yllä mainittuja tehtäviä, sähköpotkulaudan rakenteesta riippuen ohjain voi ohjata myös valojen toimintaa, ajonestolaitteen (immobiliser) toimintaa ja muita tehtäviä, jotka vaativat elektronista ohjausta.

4.2.4 Jarrujen toimintaperiaate

Jotta sähköpotkulaudalla voi ajaa turvallisesti, siinä on oltava jarrut. Yleensä sähköpotkulaudat on varustettu joko mekaanisilla, hydraulisilla tai elektronisilla jarruilla. Mekaaniset jarrut toimivat kuten polkupyörissä, eli kun käyttäjä painaa jarrua, käden liikkeen energia siirtyy vaijerin kautta jarrupaloihin. Palat puristuvat jarrulevyn pintaa vasten ja niiden välinen kitkavoima pysäyttää pyörän liikkeen. Hydraulisten jarrujen toimintatapa on sama, päitsi että käyttäjän energia välittyy jarrupaloihin vaijerin sijaan nesteen avulla. (Brown 2017.)

Elektroniset jarrut ovat uudempaa teknologiaa, ja niiden toiminta vaatii edellä kuvatun ohjaimen käytön. Jarrutus tapahtuu näin: kun kuljettaja käyttää jarrua, elektroninen signaali menee johtojen kautta ohjaimeen, joka lähettää signaalin moottoriin, jonka roottori alkaa pyörimään vastakkaiseen suuntaan. Jossain malleissa elektroniset jarrut pysäyttävät moottorin katkaisemalla siihen menevän syöttövirran ilman roottorin vastakkaiseen suuntaan pyörittämistä.

Tällaisten jarrujärjestelmien tärkein etu on jarrupalojen minimaalinen kuluminen sekä energiansäästö. Lisäksi elektroniset jarrut mahdollistavat rekuperaation käytön sähköpotkulaudassa (regeneratiivinen jarru). Rekuperaatiolla tarkoitetaan prosessia, kun jarrutuksen energiaa muutetaan sähköiseksi energiaksi ja siirretään akkuun. Näin akkua ladataan jarrutuksen aikana. Nykyaikaisissa sähköpotkulaudoissa on yleensä mekaanisten ja elektronisten jarrujen yhdistelmä, joka yhdistää molempien jarrutyyppeiden vahvuudet – mekaanisten/hydraulisten jarrujen suhteellisesti matalat kustannukset, yksinkertaisuuden ja toimintavarmuuden ja elektronisten jarrujen antamat tekniset mahdollisuudet energiasäästöön.

4.2.5 Renkaiden toimintaperiaate

Renkaat ovat yksi sähköpotkulaudan pääkomponenteista, ja niillä on suora vaikutus ajomukavuuteen. Renkaat voidaan valita tyyppin ja koon mukaan. Tyypiltään sähköpotkulaudan renkaat voivat olla joko kiinteät tai sisärenkaattomat. Kiinteät renkaat valmistetaan yleensä kovasta kumista ja ne eivät tarvitse ilmaa muodon säilyttämiseen. Sisärenkaattomilla renkailla on ilmaa sisällä, ja renkaan sisäisen paineen ja ulkopaineen eron ansiosta rengas säilyttää muotonsa. Tällaisten pyörien etuna on parempi iskunvaimennus ja mukavuus ajamisessa, mutta ne ovat alttiita puhkeamiselle. Päinvastoin kiinteät pyörät eivät ole alttiita puhkeamiselle, mutta niiden iskunvaimennus on huomattavasti huonompi kuin sisärenkaattomilla renkailla. (Trajkovski 2023a.)

4.3 Vaatimuslistan laatiminen

Kun saatiin sähköpotkulaudan toiminnan periaatteet selville, mentiin eteenpäin vaatimuslistan laatimiseen. Koskinen (2018) pitää vaatimuslistaa lähtökohtana suunnitteluprosessissa. Vaatimuslistassa laitteelle asetetaan toivomuksia ja vaatimuksia esimerkiksi sen koosta, suorituskyvystä ja muista laatijan tärkeinä pitämistä parametreista. Yleensä vaatimuslistan kohdat luokitellaan seuraaviin luokkiin:

- **Kiinteät vaatimukset (KV):** kiinteiden vaatimusten tulee täyttyä kaikissa tilanteissa. Esimerkiksi laitteen maksiminopeus.
- **Vähimmäisvaatimukset (VV):** vähittäistoivomuksiin kuuluu raja-arvon käsite, joka on pyrittävä ylittämään tai alittamaan vaatimuksen mukaan. Esimerkiksi minimi toimintamatka ja akun latauksen aika.
- **Toivomukset (T):** toivomuksia ei ole pakollista täyttää, mutta mahdollisuuden mukaan ne olisi hyvä toteuttaa. Esimerkki toivomuksesta voi olla laitteen tavoitehinta.

Kahden suoritettun riskianalyysin perusteella luotiin liitteissä oleva vaatimuslista (liite 2). Vaatimuslistassa on yhteensä 55 kohtaa: 25 kiinteätä vaatimusta, 3 vähimmäisvaatimusta ja 27 toivomusta. Tämän projektin loppuosassa kohdassa 4.8 puhutaan vaatimusten ja toivomusten soveltumisesta ja onnistumisesta.

Tässä vaiheessa on muuten annettava perustelut maksimipainon rajoittamiseksi. Kuten mainittiin edellä kohdassa 3.9, vuonna 2024 voimaan astuu EU-direktiivin uudistus, jonka mukaan yli 25 kiloa

painavilla sähkölaudoilla on oltava liikennevakuutus. Vaatimuslistan maksimipainon yläraja on kuitenkin 30 kiloa, sillä tämä on yleisin paino suurimmassa osassa sähköpotkulautoja Tuhkasen (2023) mukaan. Mahdollisuuden mukaan tämä raja voidaan laskea, mutta tämän projektin näkökulmasta ei ole esteitä liikennevakuutuksen hankkimiseen. Tärkeämpänä pidetään sitä, että suunniteltua lautaa voidaan siirtää käsin, sillä jos suunnitellun laudan paino vastaa vuokrattavien lautojen painoa, tämä on hyvä tulos.

4.4 Markkinaselvitys

Ymmärtääkseen, tuoko turvallisen sähköpotkulaudan konsepti jotain uutta, on voitava verrata sitä johonkin markkinoilla olevaan malliin. Mikeen (2023) mukaan, vuonna 2022 maailman turvallisimmat sähköpotkulaudat olivat Ninebot-Segwayn valmistamia. Molemmat yhtiöt (Ninebot ja Segway) olivat hyvin suosittuja markkinoilla. Ne yhdistyivät vuonna 2015, ja tämän ansiosta kuuluisat sähköpotkulaudat Ninebot Segway KickScooter ES2 ja Ninebot Segway KickScooter MAX ilmestyivät. Mikeen (2023) mielestä, nämä sähköpotkulaudat ovat turvallisia seuraavien teknologioiden ansiosta:

- luotettavat jarrut, jotka mahdollistavat äkillisen pysähtymisen
- laadukas jousitusjärjestelmä, jonka ansiosta ajomukavuus paranee
- kestävät renkaat, jotka parantavat pitoa
- luistonestojärjestelmä, joka myös parantaa tien ja renkaiden välisen pidon ylläpitämistä
- äänitorvi ja valot, jotka tekevät sähköpotkulaudasta äänekkäämmän ja paremmin havaittavan.

Tämän tutkimuksen vaatimuslistassa ovat kaikki nämä sähköpotkulaudalle asetetut vaatimukset, ja niiden lisäksi vielä paljon muitakin turvallisuutta parantavia vaatimuksia, joten voidaan päätellä, että jotkut ideat voivat olla hyödyllisiä ja varsin innovatiivisia sähköpotkulautojen turvallisuuden kannalta, joita suuret valmistajat eivät ole vielä toteuttaneet.

Tämä uusien teknologioiden käyttöönoton viivästyminen voi johtua siitä, että suuret valmistajat keskittyvät massasegmenttiin, jossa tuotteen hinnalla on tärkeä rooli. Kun lisätään sähköpotkulaudan turvallisuutta parantavia järjestelmiä ja teknologioita, sen valmistuskustannukset kasvavat, joten sitä ei voida myydä yhtä hyvin ja paljon kuin vähemmän turvallisia, mutta halvempia malleja.

Esimerkkinä tästä voidaan mainita ABS-jarrujen (ABS eli anti-lock braking system) käyttöönoton autoissa. Nyt on vaikea kuvitella autoa ilman lukkiutumattomia jarruja ja tätä järjestelmää, koska se on niin välttämätön turvallisuuden takaamiseksi. Näin ei kuitenkaan aina ollut. Massasegmentissä ABS-jarrut ilmestyivät 116-mallisarjan Mercedes Benz C -luokan autoihin vuonna 1978. Tuolloin tämä oli lisävaruste, joka maksoi 2 217,60 Saksan markkaa. Nykyaikaisiin hintoihin muutettuna tämä antaisi järjestelmän asennushinnaksi noin 4 300 euroa. (Spencer 2018.)

4.5 Materiaalien ja osien valinta

Tässä vaiheessa valitaan komponentit ja niiden valinta perustellaan. Komponentin valinta alkoi sopivan sähkömoottorin valinnalla, koska sen valinta vaikuttaa kaikkiin muihin komponentteihin, kuten akkuun, ohjainlaitteeseen, pyöriin jne. Tässä osassa keskityttiin pääasiassa sähköpotkulaudan tärkeimpien ja teknisesti monimutkaisimpien komponenttien valintaan, joten tässä osassa ei ole esimerkiksi jarrulevyjä, jousitusosia ja muita suhteellisen mutkattomia ja helposti saatavilla olevia komponentteja.

4.5.1 Sähkömoottorin valinta

Komponenttien valinta alkoi sähkömoottorista, koska siitä riippuvat sellaiset tärkeät sähköpotkulaudan ominaisuudet kuten sähköjärjestelmän jännite, akun kapasiteetti jne. Moottorin teho kuvaa moottorin kykyä toimittaa sähköenergiaa akuilt pyöriin. Yleensä sähköpotkulaudan sähkömoottorinteho on 150–2000 W luokkaa, mikä kattaa suuren osan markkinoilla olevista sähköpotkulaudoista. (Frisby 2023). Kummassakin pyörässä moottorin käyttö voi tuplata tämän arvon.

Kuten oli edellä mainittu, Suomessa voimassa olevan lain mukaan sähköpotkulaudan teho saa olla maksimissaan 1 kW, minkä jälkeen sähköajoneuvolle on haettava lupa (Lahtinen 2020). Tämä rajoittaa jyrkästi valintaa ja tekee järjestelmästä, jossa on kaksi moottoria kummassakin pyörässä, selvästi tarpeettoman. Sähköpotkulaudan rakenne tarkoittaa ensisijaisesti kaksiakselista (dual-shaft) moottoria, eli sellaista, joka kiinnitetään runkoon akselilla moottorin molemmilta puolilta.

Omassa tutkimuksessa Teponoja (2019) on valinnut sähkömoottoriksi QS MOTORin – valmistaman 48 V tasavirtanapamoottorin, jonka nimellisteho oli 1500 W ja hetkellinen maksimiteho oli 2000

W. Koska Teponojan rakentamasta ajoneuvosta tuli toimiva, päätettiin tarkastella QS MOTORin valikoima.

QS MOTOR on tunnettu yritys harrastajien keskuudessa. Sitä arvostetaan alhaisen hinnan, mutta samalla valmistamien moottoreiden ja komponenttien korkean laadun ja tehokkuuden vuoksi. Yksi yrityksen valmistamista moottoreista sopii tämän projektin tarpeisiin, nimittäin ”10 inch 1000W Scooter Motor”. Alla on taulukko moottorin tärkeimmistä teknisistä ominaisuuksista.

Taulukko 3. Valitun sähkömoottorin ominaisuudet (10 inch 1000W Scooter Motor n.d.)

Tyyppi	DC harjaton moottori
Nimellisteho	1000 W
Jännite	48 V
Vanteen koko	10x2.5”
Maksiminopeus	30–65 km/h
Akseli	Kaksiakselinen moottori
Jarrut	Rumpu/Levy (140 mm)
Vedenpitoisuus	IP54
Hyötysuhde	85–91%
Elinikä	3–5 vuotta
Korjausaste	alle 1%
Takuuaika	12 kuukautta

Kuten taulukossa näkyy, tämä valinta täyttää yllä kuvatun vaatimuslistan vaatimukset. Taulukossa näkyy kuitenkin, että valittu sähkömoottori ei ole täysin vesieristetty. IP-luokan 54 koodi tarkoittaa sitä, että laitteella on suojaus pölyltä ja suojaus vesiroiskeita vastaan (IP-luokitus n.d.). Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että moottori ei ole sopiva sähköpotkulautaan, jota käytetään ulkona. Luokka IP54 on yleisin sähköpotkulautojen joukossa. Se antaa laitteen kestää voimakkaita vesiroiskeita pitkään. Sähköpotkulaudan ei tarvitse olla täysin vedenpitävä, koska sen käyttö ei tarkoita tällaista suojaa. (Best Waterproof Electric Scooters, IP Ratings, And List Of Scooters With Highest IP Rating n.d.; Waterproof electric scooters and IP54 rating explained n.d.; What you need to know about commuter electric scooters and IP ratings 2023.)

4.5.2 Akun valinta

Sähköpotkulautojen akut ovat yleensä 24-, 36-, 48- tai 52-volttisia (Frisby 2023). Moottori rajoittaa valintaa niin, että ainoa sopiva vaihtoehto on 48-volttinen järjestelmä. Kuten Teponoja totesi, sähköajoneuvolle sopivin akun tyyppi on li-ion-akku, jonka ominaisuudet yhdessä ylittävät kilpailijoiden (Teponoja 2019, 14–16). Akkua valittaessa on huomioitava myös sen kapasiteettia, jota voi tarkastella alla olevan laskelman avulla:

$$\text{Akun kapasiteetti (Ah)} = (\text{Nimellisteho (W)} \times \text{Toivottu toiminta-aika (h)}) / \text{Sähköjärjestelmän jännite (V)}$$

Laskelmien mukaan, akun kapasiteetin on oltava noin 20–25 Ah, jotta sillä saadaan toivottu toimintamatka. Akkua valittaessa on tärkeää, että siinä on BMS (Battery Management System) eli akuston hallintajärjestelmä. Teponoja (2019) on rakentanut oman akun ja laittanut sähköjärjestelmään hänen mielestensä sopivan BMS-laitteen. Tässä projektissa ajatuksena oli käyttää valmista akkua, jossa on integroitu BMS.

Akuksi valittiin Unit Pack Power valmistama 48-volttinen 24 Ah 50 A akku, jossa on integroitu BMS sekä oma laturi, joka sallii myös pikalatauksen neljän ampeerin latausvirralla. 4 A latausvirta tarkoittaa, että tämän akun lataus kestää noin kuusi tuntia ($24 \text{ Ah} / 4 \text{ A} = 6 \text{ tuntia}$). 50 A BMS tarkoittaa sitä, että hetkellistä tehoa voidaan ottaa jopa 2400 W – tämä kattaa projektin tarpeet. Akun paino on kuusi kilogrammaa, se on täysin vesitiivis, valmistajan takuu on yksi vuosi. (48V 24Ah li-ion akku 50A BMS piirillä + laturi n.d.)

4.5.3 Moottorin ohjainlaitteen valinta

QS MOTORin mukaan, valittu moottori vaatii 48 V ja 30–65 A ohjainlaitteen, joka voi olla sekä puolisuunnikkaan muotoinen tyyppi että sinimuotoinen tyyppi (trapezoidal type and sinusoidal type). QS MOTOR väittää, että heiltä löytyy sopiva ohjainlaite, ja tämä pitää paikkaansa, koska valikoimasta löytyy esimerkiksi Kellyn valmistama ohjainlaite, joka sopii 500–8000 W DC harjattomille moottoreille. (10 inch 1000W Scooter Motor n.d.; Kelly Controller for 500–8000 W DC Brushless

Motor n.d.). Lisäksi, jos tarkastellaan Kellyn nettisivustoa, niin löytyy sellainen ohjainlaite heidänkin valikoimastansa valmistenumera KBS48051X ja seuraavassa taulukossa olevilla ominaisuuksilla (KBS48051X n.d.).

Taulukko 4. KBS48051X ohjainlaitteen ominaisuuksia (Cheetah mini KBS, light & flexible trapezoidal motor controllers (12V-72V) (60A-200A) n.d.)

Moottorin tyyppi	DC harjaton moottori
Ohjainlaitteen tyyppi	Trapezoidal
Jännite	48 V
Nimellisvirta	30 A
Maksimivirta	60 A
Vedenpitoisuus	Vesitiivis
Takuuaika	12 kuukautta

4.5.4 Renkaiden valinta

Kuten oli kuvattu yllä, tyypiltä renkaat voivat olla joko kiinteät tai sisärenkaattomat. Tämän lisäksi kooltaan renkaat voivat olla isot tai pienet sekä leveät tai kapeat. Isommat ja leveämmät pyörät parantavat mukavuutta ja vakavuutta, niitä on parempi käyttää epätasaisilla pinnoilla, mutta niiden suurempi koko tekee potkulaudasta kookkaamman. Pienemmät ja kapeammat pyörät mahdollistavat sähköpotkulaudan kevyemmän ja pienemmän rakenteen, mutta samalla sähköpotkulaudan vakavuus heikkenee.

Renkaiden valintaan vaikuttaa ensisijaisesti sähköpotkulaudan tarkoitus. Tämän tutkimuksen tapauksessa tärkein sähköpotkulaudalle asetettu vaatimus on sen turvallisuus. Tämä tarkoittaa, että pienemmän koon sijaan on valittava isommat ja leveämmät pyörät, sillä ne parantavat vakavuutta.

Tyypiltä renkaiden on oltava sisärenkaattomat. Kiinteillä pyörillä tien ja sähköpotkulaudan välissä ei ole ”ilmatiivistettä”, vaan vain pyörän kiinteä rakenne, minkä vuoksi jokainen isku välittyy kuljettajalle. Sisärenkaattomissa pyörissä oleva ”ilmatiiviste” mahdollistaa iskujen vaimentamisen ajettaessa epätasaisilla pinnoilla, minkä ansiosta kuljettajalle kohdistuva värinä ja siihen liittyvät riskit pienenevät. (Jaworski 2021; DuBois 2023.)

Renkaiden valintaa rajoittaa myös napamoottori, koska sen ansiosta vanteen koko on tiedossa (10x2,5"). Periaatteessa, tähän tarkoitukseen sopii mikä tahansa sisärenkaaton rengas, jonka koko olisi sopiva. Merkinnöillä on paljon erilaisia vaihtoehtoja, koska kyseessä oleva renkaan koko on suosittu, joten tässä projektissa ei syvennytä sen enempää renkaan valintaan.

4.5.5 Palonsammutusjärjestelmän valinta

Aikaisemmin riskianalyysin aikana tunnistettiin tulipalon vaara (liite 1), jota päätettiin pienentää palonsammutusjärjestelmällä. Tällaisena järjestelmänä päätettiin käyttää FirePro-yrityksen tarjoamaa sammutusjärjestelmää.

Akkupalo on itsessään vaarallinen, koska sitä ei aina voida sammuttaa tavanomaisin keinoin. Esimerkiksi sähköautojen syttyessä li-ion-akkujen sammuttamisen vaikeuden vuoksi harjoitetaan niin kutsuttua kontrolloitua polttoa, jossa palava sähköauto sijoitetaan erityiseen konttiin, jonka yli palo ei pääse karkaamaan. (Electric vehicle fire extinguishing container – BALOX n.d.; Russell 2023). Tämä tarkoittaa, että sammutusjärjestelmän valittaessa on otettava huomioon sen kyky toimimaan li-ion-akkujen kanssa.

FirePron mukaan, heidän valmistamat sammutusjärjestelmät sopivat sellaisiin tarkoituksiin. Yhtiö väittää, että sen tuotteita on testattu yli 70 kertaa kuuden vuoden aikana erityisesti li-ion-akkujen sammuttamiseksi. FirePro kuvaa sen sammutusjärjestelmien toimintaa seuraavasti: "In the event of a Li-Ion battery fire, the FirePro active agent suppresses the ongoing fire and neutralizes the electrolyte's decomposition products such as Hydrogen Fluoride (HF), forming stable products such as KF and KHF₂. This neutralizing action prevents the formation of highly flammable gases such as Hydrogen (H₂), ultimately allowing the temperature in the enclosure to drop below the threshold necessary for thermal runaway to sustain itself." (Li-Ion Batteries Fire Protection n.d.)

Valittavana on paljon eri kokoja ja muotoja, joten oikean valitseminen ei ollut vaikeaa - tämä on FP-100 lieriömäinen generaattori, joka valittiin kokonsa ja tilavuutensa takia. FirePro väittää FP-100 käyttöiän olevan todella pitkä: 15 vuotta. Laiteesta löytyy kaksi vaihtoehtoa, joista toinen aktiivoidaan sähköllä (malli FP-100T), ja toinen lämmöllä (malli FP-100TH). Sähköaktivointi tarkoittaa lisäanturin laittamista, joka havaitsee esimerkiksi savua ja laittaa sähkösignaalin FP-100 yksikölle.

Tässä projektissa riittää, jos yksikkö aktivoituu lämmön vaikutuksella, joten sopiva malli on FP-100TH. (Cylindrical Generators n.d.)

4.5.6 Alkolukon valinta

Aikaisemmin riskianalyysin sekä haastattelujen avulla tunnistettiin alkoholin vaikutuksen alaisena ajamisen vaara. Loogisinta tässä tilanteessa on tarkistaa, onko käyttäjän hengityksessä alkoholia välttämättömänä ehtona sähköpotkulaudan käynnistämiseksi. Näin ollen, ennen kuin käyttäjä läpäisee testin, hän ei voi käyttää laitetta.

Useimmissa alkolukkomalleissa on vaihdettava osa, joka työnnetään suuhun ja joka on vaihdettava jokaisen uuden käytön yhteydessä. Tämä on hankalaa, joten päätettiin luopua tällaisista malleista ja käyttää kontaktitonta (non-contact) alkolukkoa. Kontaktiton lukko tarkoittaa, että mitään sen osaa ei työnnetä suuhun, vaan uloshengitys tehdään lyhyen matkan päässä siitä. Tämä vähentää bakteriologisia ja biologisia riskejä.

Tällaiset alkolukot ovat kuitenkin vähemmän suosittuja, eikä ole monia valmistajia, jotka voivat tarjota tällaisia malleja. Tällaisten alkolukkojen käytön ongelmana on, että ne ovat itsessään kokonaisia laitteita, ja niitä on melko vaikea integroida laitteen sisäiseen järjestelmään niin, että ajatus laitteen käytön estämisestä, kunnes käyttäjä läpäisee testin, toteutuu. Tämän takia päätettiin rakentaa oma alkolukko käyttäen MQ3-anturia.

MQ3-anturia käytetään arvioimaan hengityksen alkoholipitoisuutta. Se on suunniteltu erityisesti alkoholin havaitsemiseen ja sillä on korkea herkkyys ja nopea vaste. Tämän anturin toimintaperiaate sekä käytettävyys Arduino-mikrokontrollerin kanssa on kuvattu hyvin Last Minute Engineers materiaaleissa, mutta alkolukko voidaan rakentaa myös muiden mikrokontrollerien pohjalta, esimerkiksi käyttäen Raspberry Pi-mikrokontrolleria (How MQ3 Alcohol Works? & Interface it with Arduino n.d.).

4.5.7 Ajonestolaitteen valinta

Ajonestolaitteen tarkoitus on estää ulkopuolisia käyttäjiä käyttämästä laitetta. Tyypillisesti ajonestotoiminnot toteutetaan mobiilisovelluksella, johon pääsy tarkoittaa pääsyä laitteeseen. Tässäkin

tapauksessa törmättiin samaan yllä kuvattuun ongelmaan, eli siihen, että markkinoilla olevia laitteita on vaikea integroida sähköpotkulaudan omaan sähköjärjestelmään. Tästä syystä ongelma päätettiin ratkaista samalla tavalla, eli käyttämällä anturiteknologiaa ja mikrokontrolleria. Tämä tarkoittaa GPS- ja GSM-moduulien käyttöä mikrokontrollerin kanssa.

4.5.8 Mikrokontrollerin valinta

Kuten on kuvattu yllä, alkolukko ja ajonestolaite päätettiin rakentaa oman mikrokontrollerin pohjalla. Tämän lisäksi muutkin sähköpotkulaudan toiminnot päätettiin rakentaa samalla tavalla – ajatuksena on yhdistää kaikki toiminnalliset komponentit samaan mikrokontrolleriin ja kirjoittaa koodi niiden ohjaukseen. Tässä työssä ei kuitenkaan keskitytä ohjelman kirjoittamiseen.

Nykyään löytyy kaksi suosituinta mikrokontrolleria – Arduino ja Raspberry Pi. Molemmat ovat melko suosittuja ja arvostettuja, mutta uskotaan, että Arduino soveltuu yksinkertaisempien ongelmien ratkaisemiseen ja monimutkaisempien ongelmien ratkaisemiseen kannattaa käyttää Raspberry Pi -mikrokontrolleria, jonka suorittimet ovat tehokkaampia Arduinon verrattuna. Koska kyseessä on sähköpotkulauta, eli itsessään todella monimutkainen ja teknisesti vaikea laite, jossa yhdistetään alkolukko, GPS, ajonestolaite ja muut toiminnot, päätettiin käyttää Raspberry Pi:in ja Arduinon yhdistelmää niin, että molempien mikrokontrollerien vahvuuksia käytetään hyväksi – Raspberry Pi:in puolesta tehokkaampi suoritin ja mahdollisuus soveltaa käyttöjärjestelmää kuten Linux monimutkaisemman koodin kirjoittamiseen, ja Arduinon puolesta yksinkertaisuus ja input/output porttien suurempi määrä, mikä on välttämätöntä kaikkien komponenttien kytkemiseen. Mikrokontrollerit päätettiin kytkeä USB-liitännän avulla.

Syyskuussa 2023 Raspberry Pi:in tehokkain versio oli Raspberry Pi 5. Raspberry Pi:in vaatima toimintajännite on 5 V, joten tähän mikrokontrolleriin on haettava oma muunnin 48 voltin jännitteen muuttamiseksi sopivaksi arvoksi. Arduinon tehokkain malli eli Arduino Due, jossa on 54 input/output pinneä toimii 3.3 V jännitteellä, mitä tarkoittaa oman muuntimen käyttöä.

Tässä projektissa ei syvennytä ohjelmiston suunnitteluun sekä koodin tekemiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka komponenttien valinnasta puhutaan, niiden toimivuutta takaavaa koodia ei lähdetä tekemään.

4.5.9 Valinnan eettisyys

Sähkömoottoriksi on valittu QS MOTORin tasavirtamoottori. QS MOTOR on kiinalainen valmistaja, ja tästä syystä herää kysymyksiä tämän valinnan eettisyydestä - esimerkiksi kuinka ympäristöystävällinen ja eettinen QS MOTORin tuotanto on.

QS MOTOR väittää olevansa virallisella verkkosivustolla Boschin liikeyhteistyöpartneri (Frequently Asked Questions n.d.). Boschin verkkosivustolla ei kuitenkaan mainita QS MOTORia liikeyhteistyöpartnerina. Boschin nettisivusto tarjoaa laajaa tietoa liikeyhteistyöpartnerille, mutta se ei sisällä luetteloa yrityksen liikeyhteistyöpartnerista. (Information for business partners n.d.) On tärkeää huomata, että vaikka tiedot puuttuvat Boschin nettisivustolta, se ei välttämättä tarkoita sitä, että QS MOTORin väite ei pidä paikkaansa - Boschilla ja sen kaltaisilla suuryrityksillä on useita liikeyhteistyöpartneruuksia, eivätkä ne välttämättä aina listaa kaikkia julkisesti.

Tästä kaikesta huolimatta, muiden lähteiden mukaan QS MOTORin valmistamia moottoreita käytetään laajasti ympäri maailmaa. Moottorit ovat arvostettuja harrastajien keskuudessa, jotka muuttavat bensiinikäyttöisiä ajoneuvoja sähköautoiksi niiden korkean laadun ja erinomaisen suorituskyvyn vuoksi, kuten edellä mainittiin. (Teponoja 2019, 19; Spinningmagnets 2021; About Us n.d.b). Lisäksi QS MOTOR väittää sen valmistamien moottoreiden olevansa ISO 9000 standardin mukaisia.

Myös akku on Kiinassa valmistettu. Unit Pack Power on tunnettu kiinalainen yritys, joka väittää olevansa liikeyhteistyöpartneri sellaisten yritysten kanssa kuten Panasonic, Sony, LG ja Samsung. Tämänkin yrityksen tapauksessa tiedot puuttuvat tässä luettelossa olevien yritysten nettisivuilta, mikä voi johtua samasta syystä, kuten oli kuvattu yllä. On kuitenkin huomioitava, että Unit Pack Powerin akkuja myydään myös laajasti Suomessa, mikä tarkoittaa, että ennen maahantuontia niiden on oltava ympäristövaatimusten mukaisia. Lisäksi yritys väittää oman valmistuksensa olevan ISO 9001-standardin mukaista ja myyntipisteidensä ja varastojensa sijaitsevan myös Yhdysvalloissa ja Euroopassa Saksassa (History n.d.).

Moottorin ohjainlaite on Kelly Controlsin valmistama. Kelly Controls väittää keskittyvänsä kestäviin ja eettisiin tuotantokäytäntöihin. Yrityksen mukaan, sen tehtävä sisältää kehittyvät teknologiat, jotka tarjoavat korkealaatuista suorituskykyä edulliseen hintaan ja johtavat puhtaaseen ja kestävään tulevaisuuteen. Kelly keskittyy tuotteisiin, jotka on suunniteltu hyvään energiatehokkuuteen

ja kestävyys, samalla kun yritys pyrkii minimoimaan ympäristövaikutuksia. Kelly kertoo yhdistävänsä amerikkalaisen innovaation kiinalaisen tuotannon tehokkuuteen, ja sillä on pääkonttori Yhdysvalloissa ja kokoonpanolinjat Kiinassa. Kellyn tuotteita myydään yli 81:ssä maassa. (About n.d.)

Sammutusjärjestelmäksi valittiin FirePro valmistaman FP-100TH. FirePro pitää omia tuotteitaan ympäristöystävällisinä ja kehitykseltään maailman johtavina. Yhtiö on ylpeä siitä, kuinka paljon se kiinnittää huomiota teknologian kehittämiseen sekä sen tavoitteesta rakentaa turvallisempaa ja puhtaampaa tulevaisuutta. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Kyproksella, mutta sillä on myös tytäryhtiö FirePro Finland Oy Suomessa. Yritys ja sen tuotteet ovat saaneet lukuisia palkintoja, jotka todistavat niiden laadun: Manufacturing Technology Insights (2019) – TOP 10 Solution Provider, The Global Banking & Finance Awards (2018) – Environment Friendly Technology Awards, The International Europe Award for Quality (2016) – Production Quality Operational Awards jne. Lisäksi yrityksen toimeksiantajina olivat sellaiset yritykset kuten Samsung, Pfizer ja International Polar Foundation. (About Us n.d.a; Awards & Recognitions n.d.; Trusted by Experts n.d.).

Raspberry Pi ja Arduino-alustat ovat tehneet elektroniikan ja ohjelmointitaitojen oppimisesta helpompaa. Ne tarjoavat edullisia komponentteja, joilla voidaan toteuttaa täysin erilaisia ja monimutkaisia projekteja. Molemmat alustat pyrkivät tekemään teknologiasta helpommin saavutettavissa olevaa ja laajempaa. Periaatteessa molempien yritysten kaikki toiminta perustuu niiden tuotteita käyttävien yhteisöjen toimintaan, mikä tekee niistä todella suosittuja ja tunnustettuja sekä harrastajien että ammattilaisten keskuudessa. Molempien yritysten koulutusmissiot sekä lähestymistapa kierrätykseen ja pakkaamiseen asettavat ne vihreän teknologian mestareiksi. Esimerkiksi Raspberry Pi Foundation kannustaa nuoria ratkaisemaan ympäristöongelmia teknologian avulla. Heidän koulutusprojektien tarkoituksena on innostaa nuoria käyttämään koodausta ja teknologiaa ympäristöongelmien ratkaisemiseen. Raspberry Pi Foundation projekteihin kuuluvat tuuliturbiinien kehittäminen sekä mehiläisten toiminnan seuranta. (Brown 2022; Whittaker 2022). Arduinon projekteihin kuuluvat esimerkiksi ilman ja veden laadun seuranta, villieläinten suojelu ja metsäkadon ehkäiseminen (Arduino Team 2021; Arduino Team 2022). Tällaisten projektien tukeminen ja nuorten ottaminen mukaan parantamaan elämää voi antaa korvaamattoman panoksen elämänlaadun parantamiseen planeetalla.

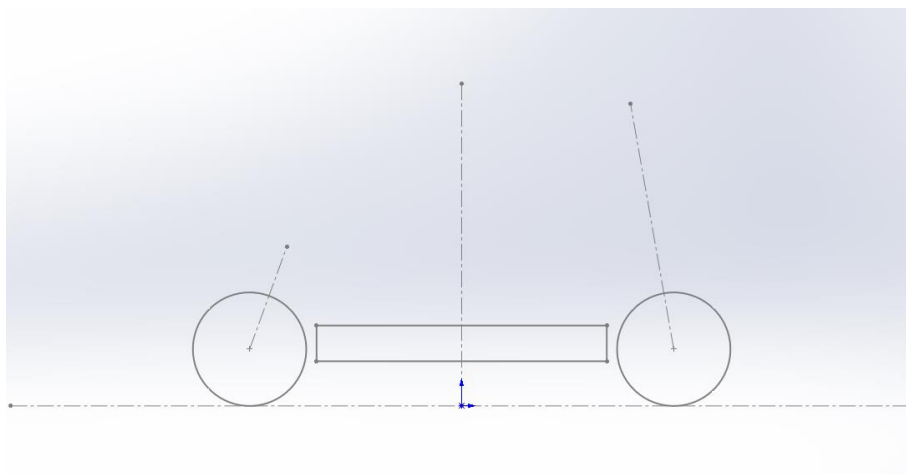
Muita komponentteja valittaessa on huomioitu niiden eettinen käyttö, mutta koska sähköpotkulauda sisältää monia erilaisia komponentteja ja materiaaleja, tässä luvussa kuvataan vain edellisessä kohdassa olleet komponentit.

4.6 Prototyypin suunnittelu

Kun saatiin selville sähköpotkulaudalle asetetut vaatimukset ja toivomukset, sekä kun päätettiin tärkeimmistä komponenteista, mentiin eteenpäin 3D-suunnitteluun, joka tehtiin SolidWorksilla.

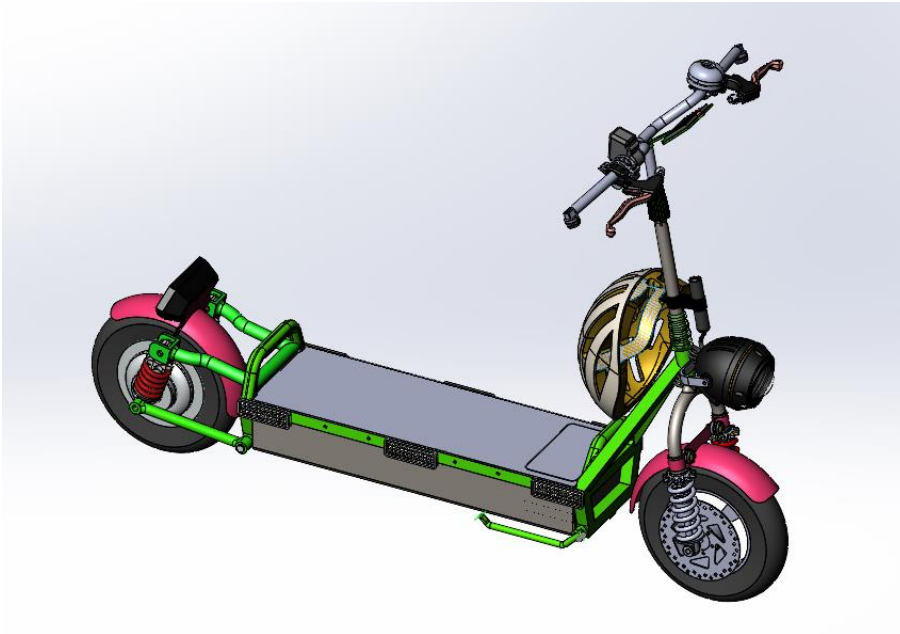
4.6.1 Karkea suunnittelu

Ensinnäkin päätettiin tehdä karkea kokoonpano, jota jatkossa oli tarpeen käyttää lähtökohtana. Sellaisen lähtökohdan suunnittelu tarkoittaa vaan sitä, että tarvittavien osien on oltava asennettuna kokoonpanoon, geometrian ja mittojen on vastattava vaatimusten tarpeita, mutta kakki tekniset ratkaisut sekä tarkempi osien suunnittelu eivät ole tarpeellisia. Lähtökohtana oli alla oleva piirros, jossa laitettiin pyörien ja alustan lähtökohtaiset mitat sekä etäisyydet.



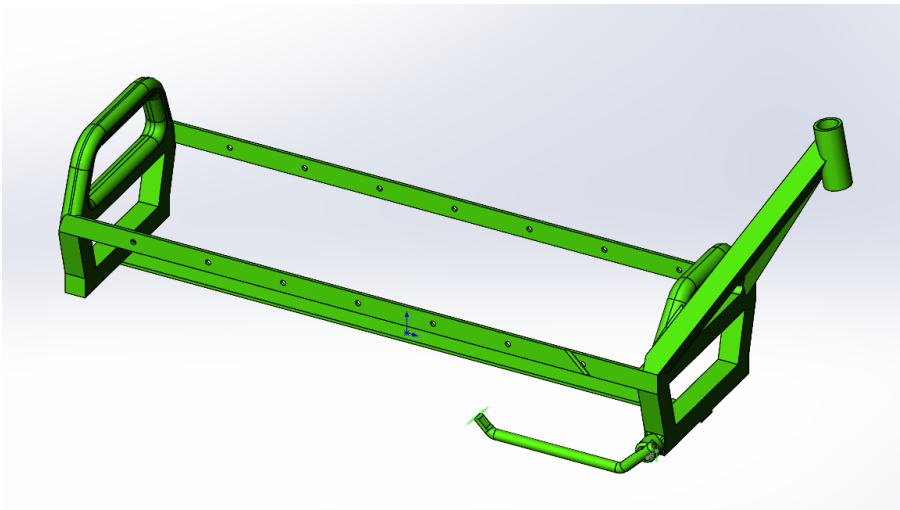
Kuvio 3. Sähköpotkulaudan alkupiirros

Seuraavaksi tätä piirrosta käytettiin pohjana karkean mallin suunnitteluun, johon laitettiin vaatimusten vuoksi tarpeelliset kokoonpanoon kuuluvat osat. Karkean kokoonpanon suunnitteluun kuului myös ideointivaihe, joka on kuitenkin jatkunut myös seuraavaan vaiheeseen. Tuloksena saatiin seuraavassa kuviossa esitetty 3D-malli.



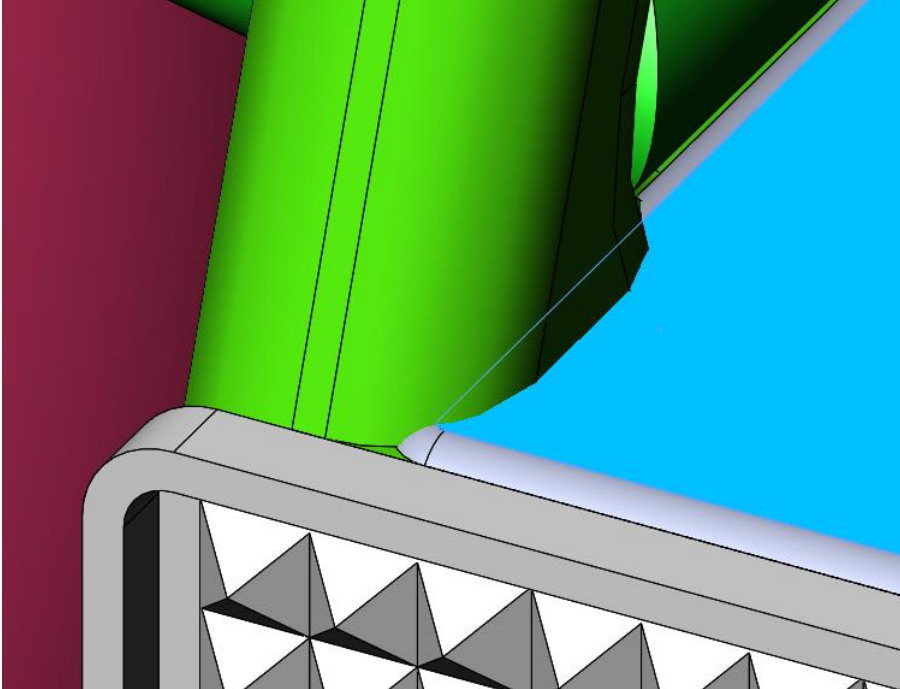
Kuvio 4. Sähköpotkulaudan karkea 3D-malli

Karkea suunnittelu ideoinnilla tarkoittaa muun muassa sitä, että osien työpiirustuksia ei ole mahdollista laatia ja että osat ja kokoonpano itse eivät ole valmistettavissa - tarkoituksena on tuoda esille ideat. Tämä näkyy selkeästi alla olevassa esimerkissä.



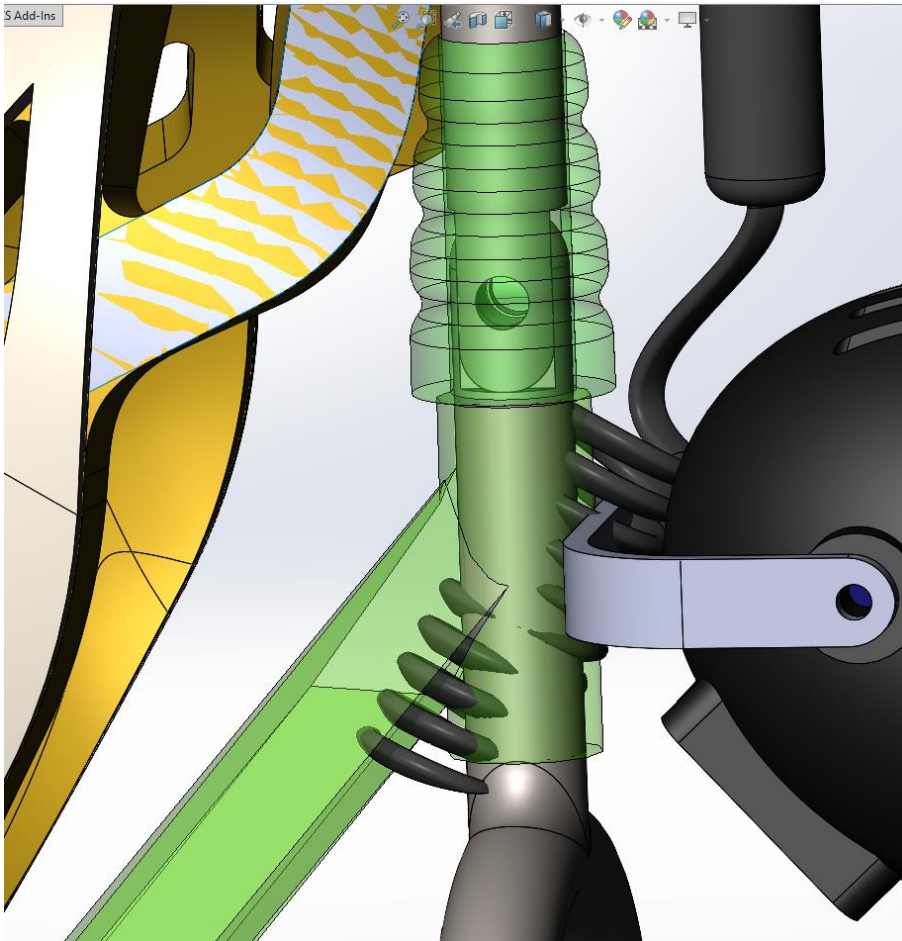
Kuvio 5. Karkean mallin runko

Kuviossa oleva runko on mallinnettu yhtenä osana – sellainen runko ei ole valmistettavissa. Tämän lisäksi tässä vaiheessa ei oteta huomioon kahta asiaa. Ensimmäinen niistä on osien törmäys (kuvio 6), ja toinen on toimivuus.



Kuvio 6. Sähköpotkulaudan kannen ja kädensijan törmäys

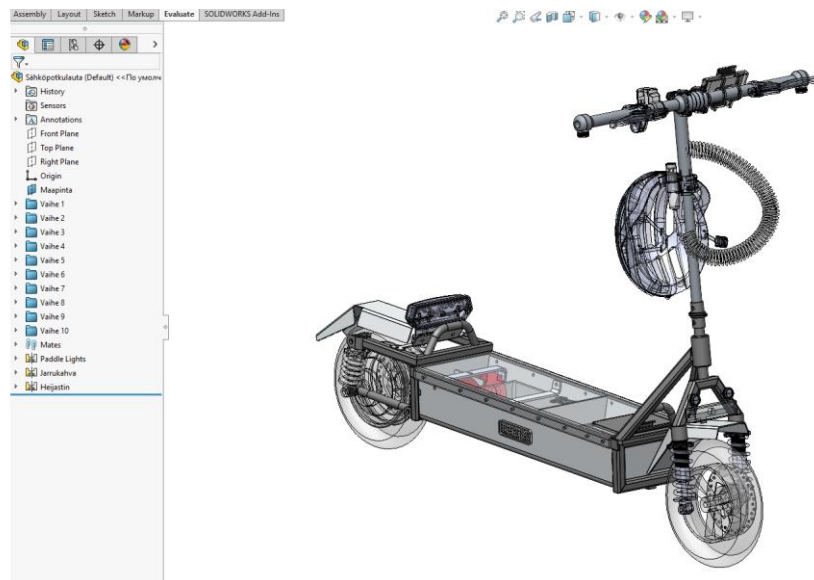
Seuraavassa kuviossa on esitetty taitettavan ohjaustangon karkea malli. Kuviossa on näkyvissä, että ohjaustangon kokoonpanossa ei ole laakeria sekä valmiusta sille. Lisäksi taitettavan ohjaustangon lukko ei ole mahdollista valmistaa ja käyttää.



Kuvio 7. Ohjaustangon mekaniismin karkea 3D-malli

4.6.2 Tarkempi suunnittelu

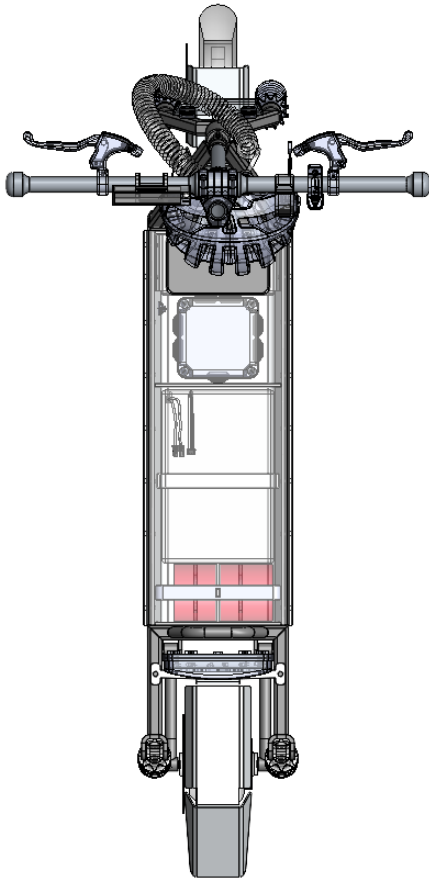
Sen jälkeen, kun saatiin karkea malli suunniteltua, lähdettiin suunnittelemaan tarkempi malli sen pohjalta. Lopputulos näkyy seuraavissa kuvioissa. Lisäksi seuraavissa osissa tarkastellaan yksityiskohtaisia kohtia ja selitetään suunnitellun mallin ominaisuuksia.



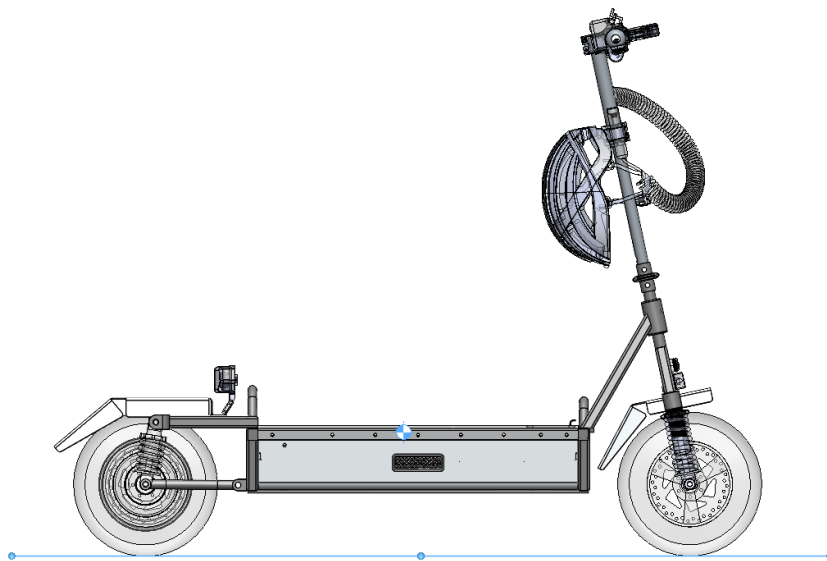
Kuvio 8. Sähköpotkulaudan viimeinen versio (isometrinen projektio)



Kuvio 9. Sähköpotkulaudan viimeinen versio (takana)



Kuvio 10. Sähköpotkulaudan viimeinen versio (ylhäältä)



Kuvio 11. Sähköpotkulaudan viimeinen versio (sivulta ja massan keskipiste)

Alla olevassa taulukossa ovat kokoonpanon tärkeimmät tekniset tiedot. Taulukosta puuttuvat osto-osiin liittyvät tiedot, kuten akun määrittelemä toimintamatka, koska niistä puhuttiin yllä.

Taulukko 5. Sähköpotkulaudan tärkeimmät tekniset tiedot

Parametri	Arvo	Kommentti
Pituus	1238 mm	Maksimietäisyys takalokasuojasta etupyörän reunaan asti
Korkeus	750–935 mm	Ohjaustangon säätömahdollisuus on noin 185 mm
Korkeus (ohjaustanko taitettu)	520 mm	Etäisyys maapinnasta ohjaustangon lukkoon asti
Leveys	210 mm	Ohjaustangon leveys on 600 mm
Omapaino	26,44 kg	-
Paino ilman osto-osia	11,41 kg	-
Suosittelut kantavuus	80 kg	FEM-laskennassa käytetty kuorma (kohta 4.7)
Maavara	110 mm	Jousitus keskiasennossa
Akseliväli	952 mm	-

Lisäksi seuraavassa kuviossa selitetään itsevalmistettavien osien määriä sekä massoja. Kuvio selittää, että kaikki komponentit laatikkoa ja kantaa lukuun ottamatta painavat alle yhden kilogramman, siitä huolimatta, että melkein kaikki osat valmistellaan S355 ja S235 teräksistä. Jotta kokoonpanosta tulisi kevyempi, lokasuojat, kansi ja laatikko valmistetaan alumiinilevyistä.

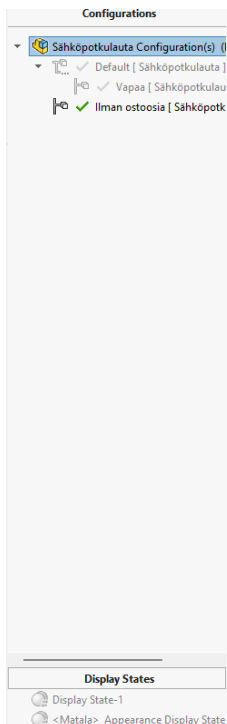
File Name	Quantity	Total Weight
 Laatikko	1	2.1
 Kansi	1	1.3
 Kehys(Default<As Machi...	2	1.1
 Sivupalkki	2	0.8
 Alapalkki	1	0.6
 Raidetanko	2	0.6
 Takapyörän teline(Defa...	1	0.5
 Ohjaustanko	1	0.5
 Ohjaustangon teline(De...	1	0.5
 Ensiapulokeron kansi	1	0.4
 Ulkoseinä	2	0.4
 Laakeroinnin akseli	1	0.3
 Etu iskarin pesä	2	0.3
 Takalokasuoja	1	0.2
 Sisäseinä	1	0.2
 Laakerin pesä	1	0.2
 Kaari(Default<As Machi...	1	0.2
 Takaiskarin korvake	2	0.2
 Kädensija(Default<As M...	2	0.2
 Tukipalkki	1	0.1
 Tanko	1	0.1
 Ohjaustangon putki	1	0.1
 Etulokasuoja	1	0.1
 Ensiapu-teline	1	0.1
 Lukon taso	2	0.1
 Raidetangon korvallinen	4	0.1
 Kannen teline	1	0.0
 Kahva	1	0.0
 FirePro yläkiinnike	1	0.0
 Etulokarin kiinnike	1	0.0
 Akun kiinnike	1	0.0
 FirePro alateline	3	0.0
 Lukon sarana	6	0.0

Kuvio 12. Itsevalmistettavien osien määriä ja massoja

Tässä kohdassa olevissa sähköpotkulaudan esitekuviissa näkyy, että ostokomponentit ovat läpinäkyviä rakenteen käsittämisen selkeyden vuoksi – sillä itse valmistettavat osat erottuvat joukosta helpommin. Läpinäkyvyys ei kuitenkaan tarkoita, ettei osto-osien ominaisuuksia, kuten massaa ja geometriaa, oteta huomioon. Esimerkiksi sarjan viimeisessä kuviossa on esitetty massan keskipiste, kun huomioon on otettu kaikkien komponenttien massa ja sijainti laitteessa.

Riskianalyysin avulla todettiin, että matala massakeskipiste parantaa sähköpotkulaudan vakaavuutta ja sillä turvallisuutta. Yllä olevassa kuviossa massakeskipiste on kuitenkin aika korkealla. Tässä on huomioitava, että sen korkeuteen vaikuttaa muun muassa ohjaustangon korkeus. Ohjaustangon osuus kokonaismassasta on alle 10 prosenttia, mutta sen vaikutus massakeskipisteen laskelmiin on huomattavasti tärkeämpi.

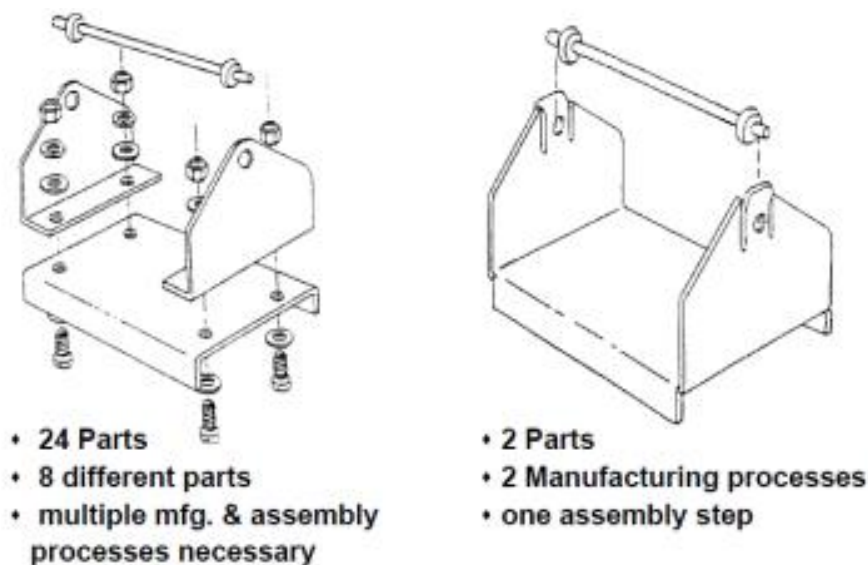
Kokoonpanosta löytyy muutama konfiguraatio: ”FEM”-konfiguraatio on lujuuslaskentaa varten, ”vapaa” -konfiguraatio sallii osien liikkumisen ja ”ilman osto-osia” tarkoittaa sitä, että kokoonpanoon kuuluvat vain itsevalmistettavat osat. Liikkuvia osia ovat taitettava ohjaustanko ja pyörät. Taitettava ja säädettävä ohjaustanko mahdollistaa sen, että potkulautaa voivat käyttää ihmiset, joiden korkeus on 150–195 cm, sillä vähennetään käytön riskejä.



Kuvio 13. "Ilman osto-osia" -konfiguraatio

4.6.3 DFA ja KISS

DFA (Design for Assembly) suomennettuna tarkoittaa suunnittelua kokoonpanoa varten, siis menetelmää, jossa huomioidaan muun muassa kokoonpanoprosessin yksinkertaistaminen ja kokoonpanoajan lyhentäminen. Sillä DFA:n tarkoituksena on säästää valmistuksen vaatimia resursseja ja kasvattaa valmistuksen tehokkuutta. (Velling 2021.) Seuraavassa kuviossa on esitetty esimerkki DFA:n menetelmän käytöstä.



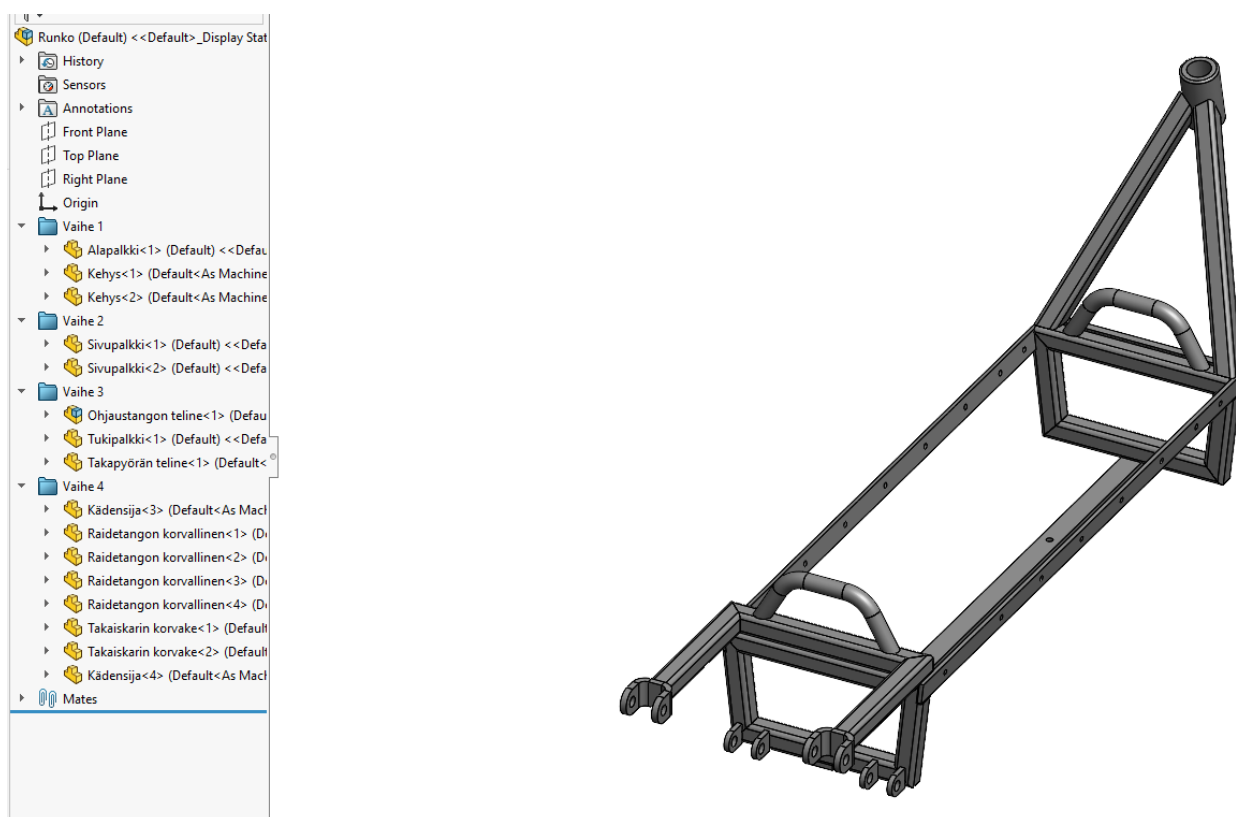
Kuvio 14. DFA:n menetelmän käytön esimerkki (Velling 2021)

Kuviossa näkyy, että DFA:n ansiosta kokoonpanon osien määrä on laskenut huomattavasti ja sillä valmistusaika on lyhentänyt. Tämän lisäksi yksinkertaisempi kokoonpano tarkoittaa sitä, että mahdollisuus tehdä virheitä pienenee, esimerkiksi, pultteja ja muttereita ei voida sekoittaa keskenään, koska niistä päästiin eroon.

Tämän opinnäytetyön prototyypin suunnittelussa pyrittiin soveltamaan DFA:ta ja sillä tekemään prototyypistä parempi ja tehokkaampi versio. Tässä projektissa DFA:n käyttö tarkoittaa muun muassa seuraavia asioita:

Vaiheittainen kokoonpano, jonka ansiosta voidaan laatia työpiirustukset vaiheiden mukaan ja sillä välttää virheet. Esimerkiksi seuraavassa kuviossa on esitetty, mistä työvaiheista koostuu rungon

valmistaminen. Ensimmäisessä vaiheessa tarkoituksena on hitsata alalatta kehyksiin, toisessa sivupalkit, kolmosessa ohjaustangon teline sekä takapyörän (takaiskunvaimentimien) teline ja nelosessa kaikki muut komponentit, kuten kädensijat, raidetankojen korvalliset ja takaiskunvaimentimien korvalliset.

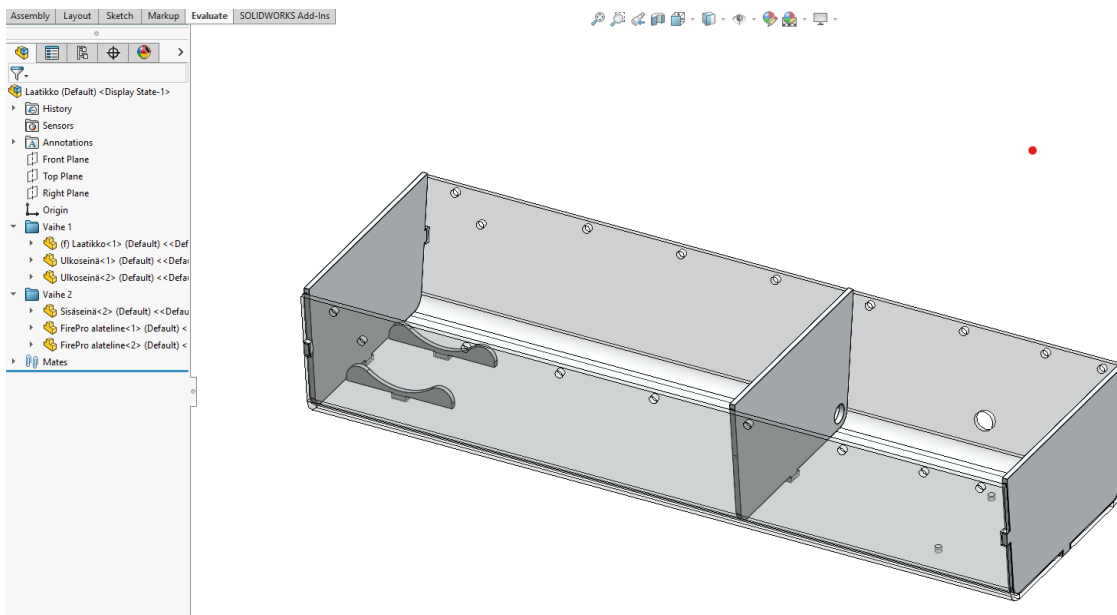


Kuvio 15. Rungon kokoonpano

Sama tapa oli käytössä koko suunnittelun aikana – koko projekti ja kaikki sen askeleet jaettiin vaiheisiin yksinkertaisuuden ja selkeyden vuoksi.

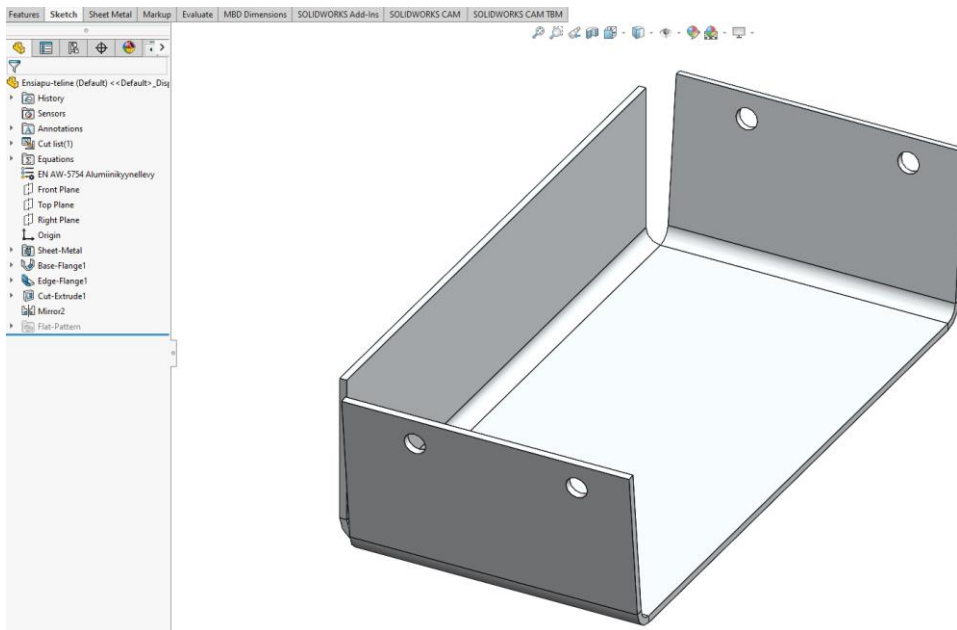
Kokoonpanoprosessin nopeuttaminen ja prosessiin kuuluvien virheiden välttäminen: tämä näkyy seuraavassa esimerkissä eli laatikon kokoonpanossa. Kuviossa 16 näkyy, että laatikko koostuu kuudesta osasta: särmäystä levystä, kahdesta ulkoseinästä, sisäseinästä ja kahdesta FirePron telineestä. Kaikissa osissa on joko sovituspalat tai upotukset, jotta mittoja ei tarvitse tarkistaa monta kertaa hitsauksen aikana. Rakennetta voitaisiin yksinkertaistaa vielä enemmän, esimerkiksi lisäämällä kaksi särmäystä särmäytyyn levyyn, jotta ulkoseinät kuuluisivat siihen.

Samalla tässä kuviossa näkyy, että käytössä on ollut KISS (Keep It Simple, Stupid) -periaate, jonka tarkoituksena on muun muassa yksinkertaisuus ja sellaisten osien suunnittelu, joiden muotoilu estää käyttämästä tai asentamasta niitä toisin kuin on tarkoitettu. Esimerkiksi ulkoseinillä on sivusovituspalat, ja sisäseinillä niitä ei ole. Näin ei ole mahdollista tehdä virhettä asentamalla ulkoseinä sisäseinän sijaan – tämä on tuplavarmistus vaiheittaisen prosessin etenemisen lisäksi.



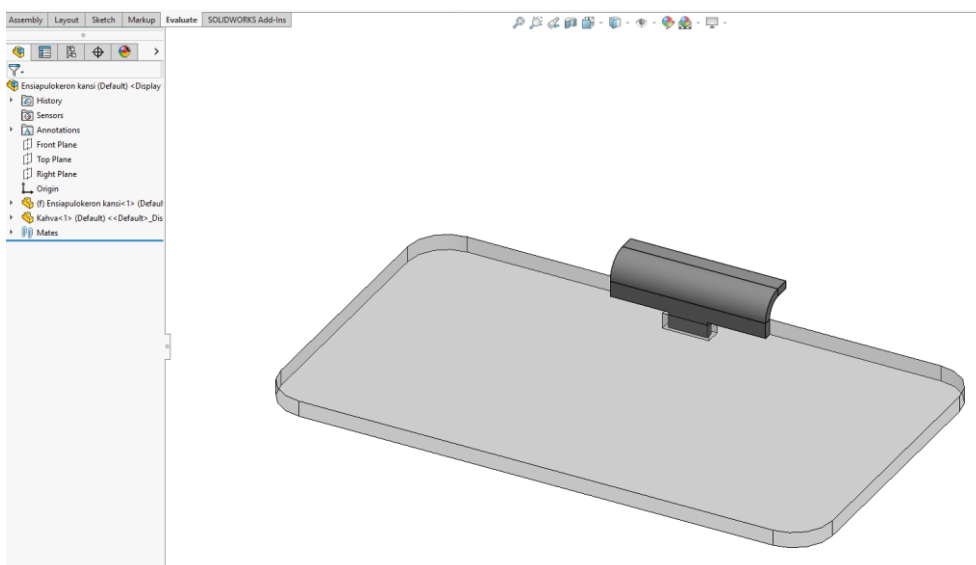
Kuvio 16. Laatikon kokoonpano

Osien määrän vähentäminen: tässäkin tapauksessa kyseessä on KISS-periaatteen soveltaminen. Periaatteen soveltamista selitetään alla olevien kuvioden avulla. Ensinnäkin tarkastellaan ensiaputelinettä.



Kuvio 17. Ensiaputeline

Kuviossa näkyy, että kyseinen osa ja kaikki sen seinät on valmistettu särmätystä levystä, minkä ansiosta ei tarvitse käyttää muutamaa osaa, kiinnityspultteja ja muttereita. Lisäksi voidaan tarkastella ensiapulokeron kantta, joka valmistetaan kahdesta osasta ja kiinnitetään hitsaamalla. Kahvassa on sovituspala, ja kannessa on reikä, johon se asennetaan, ja sitten kiinnitetään hitsaamalla. Pultteja tai muita ylimääräisiä osia ei ole.

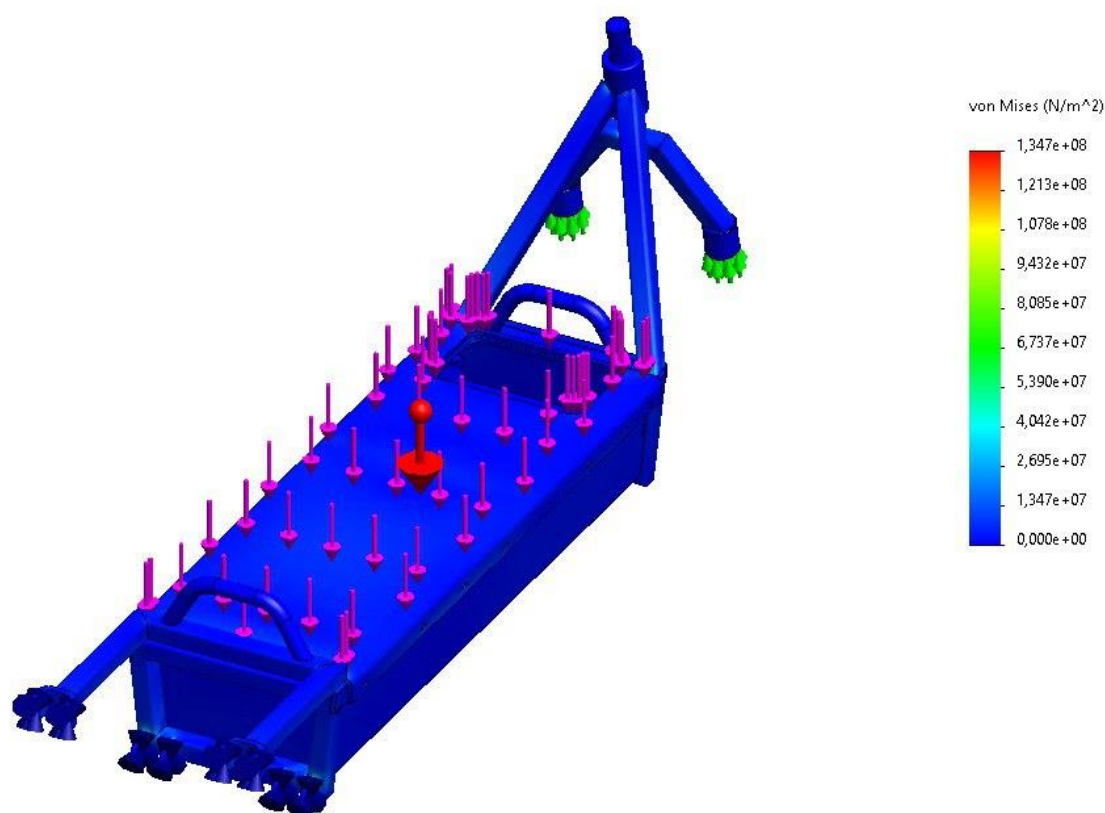


Kuvio 18. Ensiapulokeron kansi

Yllä olevien esimerkkien lisäksi löytyvät muutkin DFA:n ja KISS:in periaatteiden käytön esimerkit. Kaikki nämä menetelmät mahdollistavat kokoonpanon valmistusajan lyhentämisen sekä virheiden mahdollisuuden vähentämisen.

4.7 Lujuuslaskenta

Lujuuslaskelmia oli tarpeen tehdä, koska sillä tarkastellaan koko rakenteen kestävyyttä. Suunnittelun rakenteen lujuutta päätettiin tarkastella SolidWorksin tarjoaman työkalun avulla. SolidWorksin tarjoama FEM-laskentaa (finite element method) varten kehittämä työkalu mahdollistaa määrittää osiin tai kokoonpanoon vaikuttavan kuormituksen tyyppi, suunta ja määrä, ja sillä tarkastella rakenteen lujuutta. Tämän projektin tapauksessa tavoitteena oli suunnitella vähintään 80 kg kestävä sähköpotkulauta, joten tämä kuorma (jatkuva kuorma) laitettiin kanteen.

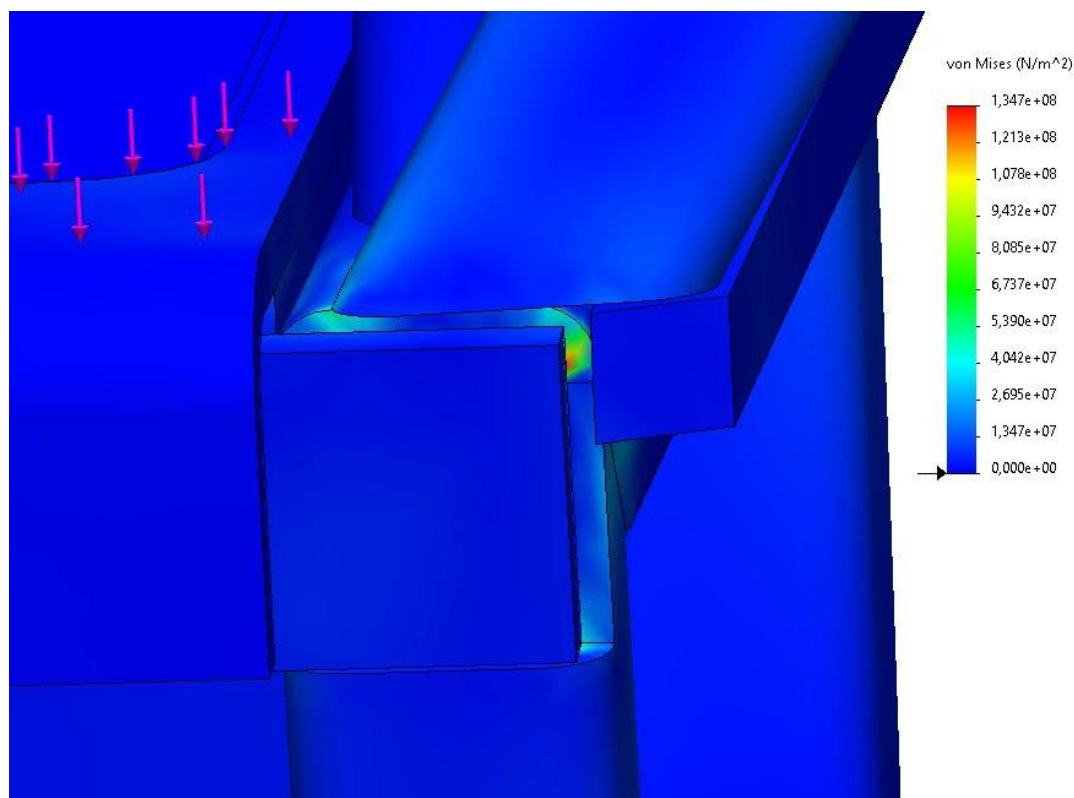


Kuvio 19. Rakenteisiin vaikuttavat voimat

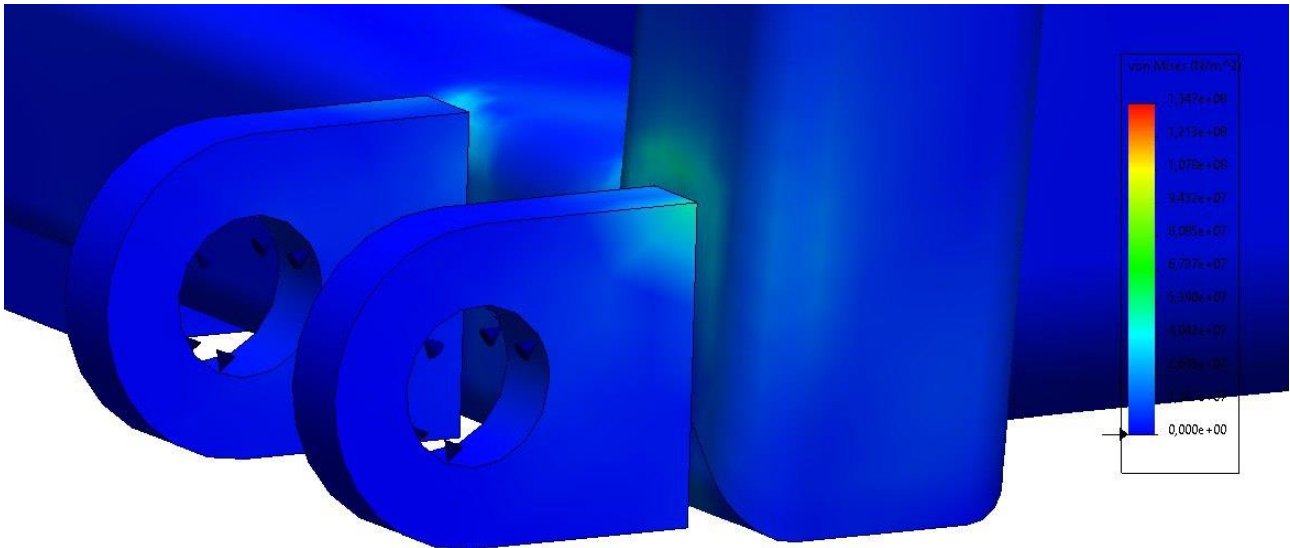
Tässä vaiheessa on selitettävä ”FEM” -konfiguraation merkitys. Tämä konfiguraatio sisältää vain ne osat, jotka vaikuttavat rakenteen lujuuteen. Näin konfiguraatiosta puuttuvat kaikki osto-osat ja muut lujuuslaskennassa tarpeettomat komponentit. Analyysin tuloksena saatiin, että rakenteesta tuli riittävän kestävä. Analyysin aikana tarkasteltiin muun muassa murtolujuutta ja taipumista. Näitä tuloksia voidaan jatkossa käyttää yksityiskohtien suunnittelussa esimerkiksi osien ja koko rakenteen keventämiseksi.

4.7.1 Murtolujuus

Murtolujuus tarkoittaa suurinta voimaa, jonka aine kestää murtumatta. Kokoonpanossa käytetään eri materiaaleja, ja niiden murtolujuudet eivät ole samoja. FEM-analyysin avulla saatiin selville rakenteen heikommät kohdat: ohjaustangon liitos runkoon ja tukivarsien korvallisit. Kaikki nämä osat valmistetaan S355-teräksestä, jonka myötölujuus (myötölujuus vastaa voimaa, kun aine antaa myöten, mutta ei murru) on noin 355 MPa ja murtolujuus on noin 510 MPa. (Valtanen 2019.) SolidWorksissa tehtyjen laskelmien mukaan jännityksen maksimiarvo on noin 135 MPa, joten rakenne on kestävä.



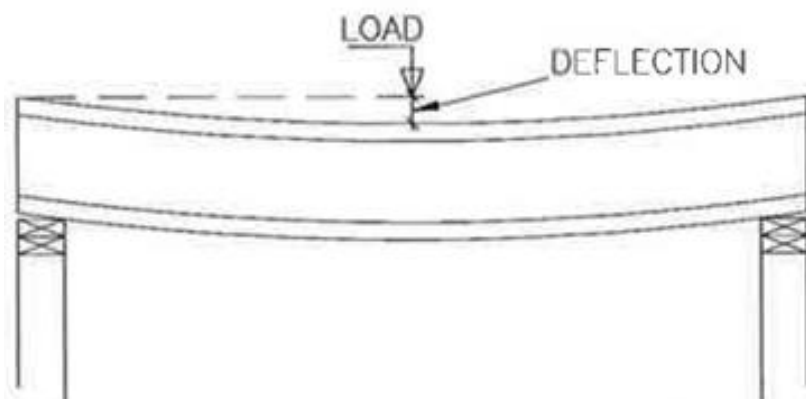
Kuvio 20. Rungon ja ohjaustangon liitos



Kuvio 21. Tukivarren korvallinen

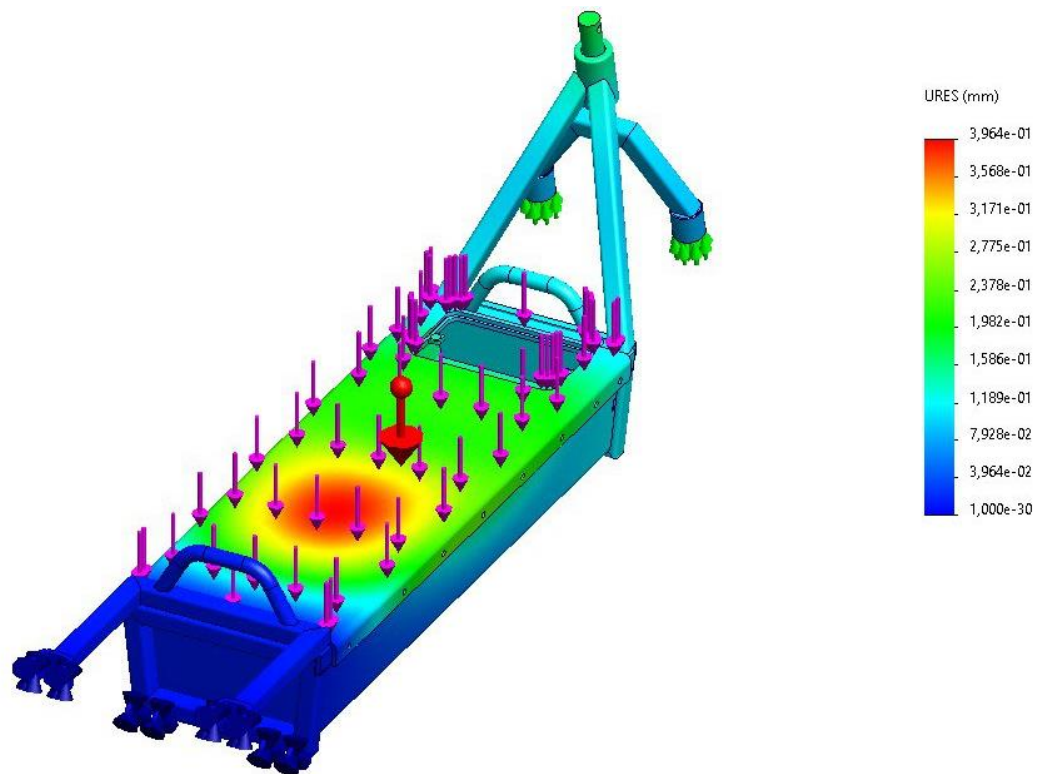
4.7.2 Taipuma

Taipuma (deflection) tarkoittaa astetta, jolla rakenne tai sen osa vääntyy kuormituksen (load) vaikutuksesta. Alla olevassa kuviossa on esitetty esimerkki taipumasta.



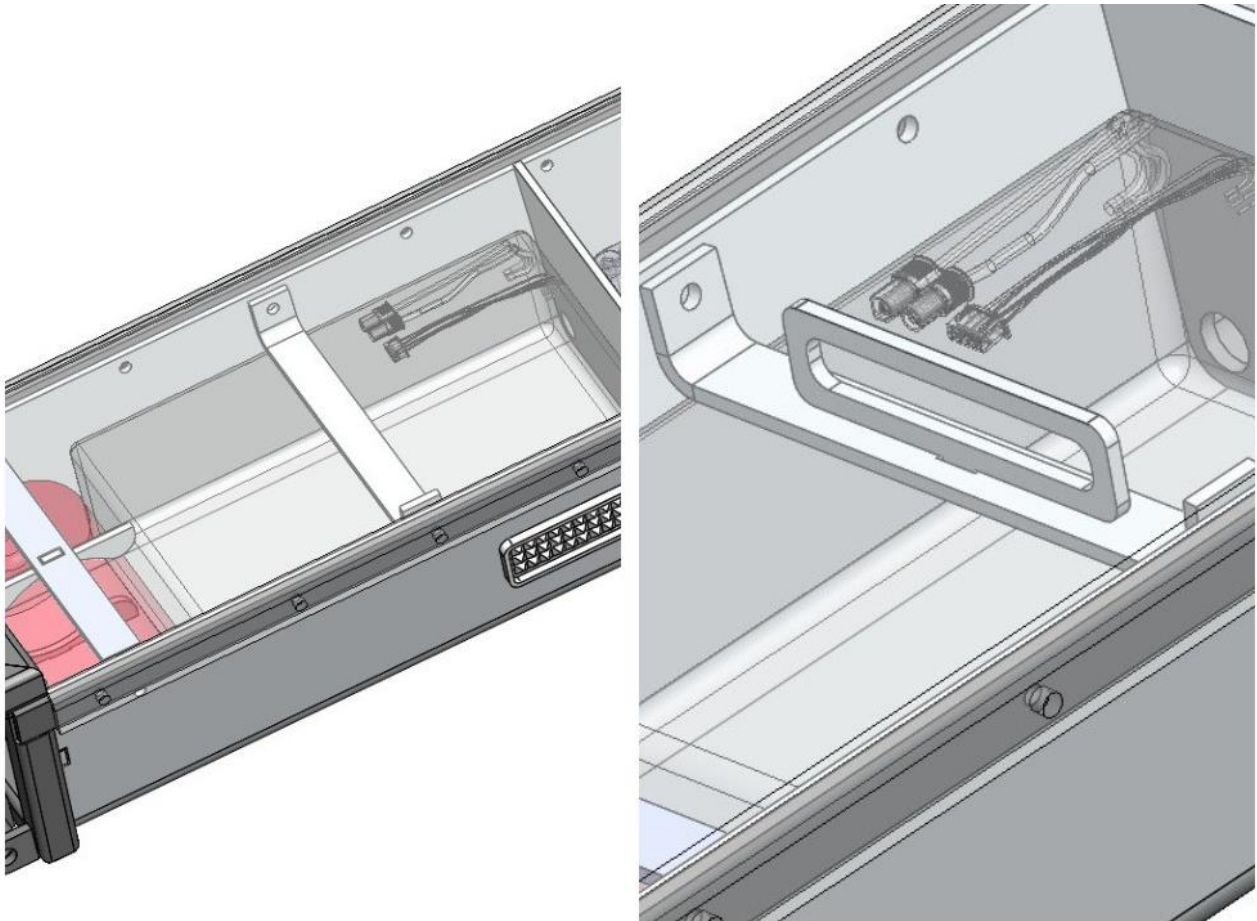
Kuvio 22. Taipuman periaate (Micnhimer 2022)

SolidWorks antaa mahdollisuuden määrittää rakenteen taipuman. Laskelmien mukaan suurin taipuma on kannessa. Paikassa, jossa käyttäjä seisoo, taipuma on melkein neljä millimetriä. Tätä tietoa voidaan jatkossa käyttää rakenteen parantamiseksi.



Kuvio 23. Taipuma

Yksi keino vähentää taipumaa on esimerkiksi akkukiinnikkeen muokkaaminen, jotta se toimisi samanaikaisesti kannen tukena.



Kuvio 24. Akkukiinnike muokkaamista ennen ja muokkaamisen jälkeen

4.8 Suunnittelun tulosten arviointi

Suunnittelun tulosten arviointia varten on tarpeen verrata tuloksia vaatimuslistalle asetettujen vaatimusten ja toivomusten kanssa. Vaatimuslista tulosten arvioinnin kanssa löytyy liitteistä (liite 2).

Koko kokonaisuudesta kahdeksan kiinteää vaatimusta ei ollut toteutettu. Pääsääntöisesti syynä oli se, ettei kyseinen työvaihe kuulunut projektiin, minkä takia sitä ei ollut mahdollista toteuttaa.

Tämä koskee myös 11 toivomusta. Lisäksi löytyy muitakin syitä epäonnistumiseen:

- (1) Tarkka pienten komponenttien valinta ei kuulunut projektiin
- (2) Ohjelmiston suunnittelu ei kuulunut projektiin
- (3) Internetistä löytyy sopiva komponentti, mutta 3D-mallia tai piirustusta ei ollut mahdollista saada
- (4) Prosessi ei kuulunut projektiin.

Nämä kommentit on lisätty kyseiseen kohtaan, jossa vaatimus/toivomus ei ollut mahdollista toteuttaa kyseisen projektin aikana.

On kuitenkin huomioitava, että vaatimuslistassa oli yhteensä 55 kohtaa: 25 kiinteätä vaatimusta, 3 vähimmäisvaatimusta ja 27 toivomusta. Näin olleen 68 % kiinteistä vaatimuksista, 100 % vähimmäisvaatimuksista sekä 60 % toivomuksista on toteutettu tämän projektin aikana. Kokonaisuudessaan tämä antaa 65,5 % menestymisen. Lisäksi, jos vaatimuslistasta poistetaan projektista puuttuvat työvaiheet ja jätetään vain ne kohdat, joihin on voitu vaikuttaa projektin aikana, niin saadaan 97 % vaatimusten ja toivomusten toteuttamisesta.

4.9 Suunnitellun mallin turvallisuuden tarkistus

Kuten oli kuvattu yllä, suunnitellun sähköpotkulaudan turvallisuus on tarpeen tarkistaa, ja tähän tarkoitukseen oli valittu HAZOP-menetelmä, jota kuvataan yllä kohdassa 3.12.1. Riskiarviointia varten tarkasteltiin kaikki sähköpotkulaudan suunnittelut komponentit riskien varalta. HAZOP riskiarvioinnista rajattiin pois ostokomponentit, koska niiden riskiarviointi kuuluu valmistajan ja toimittajan tehtäviin. Kokoonpano ilman osto-osia on esitetty yllä kuviossa 13. Alta löytyvät yksinkertaistetun HAZOP analyysin tulokset.

Levyosien terävät reunat: valmistusmenetelmän takia (laser-leikkaus, sahaus, hitsaus) on tärkeää ottaa huomioon levyjen terävät kulmat ja reunat, joten riskien vähentämiseen on tärkeää käsitellä levyosia.

Kaikkien komponenttien materiaalit: kaikki suunnittelut osat ovat metalliosia (S235, S335 sekä EN AW-5754), minkä takia sähköpotkulauta voi olla kuuma varsinkin kesäaikana. Tämän riskin vähentämiseen sähköpotkulautaan voidaan laittaa tarkoituksenmukaista maalia, jonka ansiosta metalliosat eivät kuumene liikaa.

Komponenttien liitokset: osa komponenteista hitsataan ja toiset kiinnitetään pulteilla. On tärkeää antaa asentajalle/hitsarille yksityiskohtaiset ohjeet osien kiinnittämisestä, jotta liitokset olisivat luotettavia ja kestäviä.

Tarkemmat sähköpotkulaudan turvallisuustutkimukset kuuluvat yksityiskohtien suunnitteluun, joka ei sisälly tähän projektiin. Lisäksi ei ole tarvetta lähteä tarkistamaan konedirektiivin asettamia vaatimuksia, koska kyseessä ei ole myyntiin tarkoitettu tavara.

5 Pohdinta

Projektin viimeisessä vaiheessa on tarpeen pohtia tuloksia ja tehdä muutamia johtopäätöksiä.

5.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Ensinnäkin voidaan palata opinnäytetyön alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin ja tarkistaa, löytykö vastaus projektista vai ei.

1. Mitkä sähköpotkulaudan rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat sen turvallisuuteen?

Tähän kysymykseen vastattiin kohdassa 3.8. Esimerkiksi sellaiset sähköpotkulaudan rakenteelliset vaatimukset, kuten matala massakeskipiste, isot ja leveät pyörät sekä lisäturvavarusteiden (kuten alkolukko ja kypärä) olemassa oleminen vaikuttavat sen turvallisuuteen.

2. Miten voidaan hyödyntää nykyaikaista teknologiaa sähköpotkulautojen riskien vähentämiseksi?

Tähän kysymykseen vastattiin valitsemalla tietyt komponentit. Esimerkiksi projektin aikana suunniteltuun sähköpotkulautaan asennettiin akku BMS:llä, palosammutusjärjestelmä, hygieeninen alkolukko, ja tehokkaat valaisimet mukaan lukien lätäkkövalot valaisemaan alaspäin. Sellaisten komponenttien ansiosta saatiin turvallisempi sähköpotkulauta.

3. Onko kaupoissa olevia sähköpotkulautoja turvallisempi sähköpotkulauta valmistettavissa?

Kohdassa 4.4 käsiteltiin kaupassa olevia sähköpotkulautoja ja puhuttiin niiden turvallisuutta takavista teknologioista. Samalla päätettiin, että monet projektin ratkaisut ovat innovatiivisia, joten niitä ei ole kaupassa olevissa malleissa. Seuraavaksi suunnitteluvaiheessa pyrittiin suunnittelemaan sellainen sähköpotkulauta, joka olisi toimiva ja valmistettavissa, joten huomioon otettiin

muun muassa raot, materiaalit ja aihiot. Lisäksi tehtiin osien törmäyksen tarkastelu SolidWorksin työkalujen avulla (Interference Defection), jonka avulla kaikissa vaiheissa todettiin, että osat eivät törmää. Siksi vaikka projektin aikana suunniteltiin vain prototyyppi, se on kuitenkin valmistettavissa.

4. Millä muilla keinoilla voidaan parantaa vuokrasähköpotkulautojen turvallisuutta?

Tähän kysymykseen ei ole vielä vastattu, koska siihen vastataan myöhemmin kohdassa 5.4.

Tämän perusteella voidaan päätätä, että opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin.

5.2 Kustannuslaskenta

Kustannuslaskenta ei kuulunut tähän projektiin, mutta voidaan veikata, että sellaisen uniikkimallin valmistaminen maksaisi enemmän verrattuna kaupassa oleviin malleihin. Tämä ei ole yllättävää, jos otetaan huomioon suunnitellun skuutin ominaisuudet. Suunnittelussa pyrittiin kuitenkin käyttämään helposti saattavilla olevia materiaaleja ja aihioita ja sillä säästää rahaa. Näin ollen, monet levyosat ovat suunniteltuja neljä millimetriä paksusta levystä, ja rungon kehykset sekä takapyörän teline 20x20 mm neliöputkipalkeista.

Projektin aikana suunniteltujen osien hinnoista olisi voinut kysyä alan yrityksistä, mutta tämä vaatii työpiirustusten tekoa, joka oli rajoitettu projektista pois. Lisäksi ostokomponenttien hinnat eivät aina löydy suoraan internetistä ja hintatarjouksia on kysyttävä myyjiltä, mikä tekee kustannuslaskentaa lähes mahdottomaksi toteuttaa.

5.3 Ympäristöystävällisyys ja kierrätys

Projektin aikana suunnitellut metalliosat ovat helposti kierrätettäviä. Esimerkiksi metallivalmistaja OVAKO pohtii, että sen tuotteiden rauta on yli 99-prosenttisesti peräisin teräsromusta (Kierrätettävyys ja kierrätetty osuus n.d.). Osto-osien kierrätettävyyttä on vaikeampaa määritellä ja tarkistaa. Syistä puhutaan alla kohdassa 5.5.

On kuitenkin vaikea väittää, että ympäristölle haitallisin komponentti on li-ion-akku. Ensiksi sellaisten akkujen valmistus vaatii resurssien, kuten litiumin, koboltin ja nikkelin, käyttöä. Näiden mineraalien tuotanto ja valmistus aiheuttavat merkittäviä haittoja ympäristölle. Toiseksi akkujen valmistusprosessi vaatii valtavia määriä energiaa ja muita resursseja, minkä takia luonnonhaitat lisääntyvät esimerkiksi kasvihuoneilmiön voimistuessa. Kolmanneksi väärin kierrätetty akku aiheuttaa yhä enemmän haittoja luonnolle, sillä kaikki myrkylliset ja haitalliset kemikaalit voivat päästä veteen ja maaperään. (Ier 2020.) Tästä syystä on noudatettava akun kierrätysohjeita erittäin huolellisesti.

5.4 Ehdotukset

Tässä kohdassa vastataan opinnäytetyön viimeiseen tutkimuskysymykseen. Projektin aikana esille tuotiin paljon tekijöitä, jotka lisäävät sähköpotkulautojen riskejä, varsinkin kun kyseessä ovat vuokrattavat laitteet. Riskianalyysien perusteella todettiin, että monet pitävät vaarallisena sellaisia asioita, joihin vuokrapalveluita tarjoavat yritykset voivat vaikuttaa, kuten esimerkiksi liikennesääntöjen noudattamatta jättäminen ja alaikäisten ajaminen (kohta 3.8).

Jotta liikenneonnettomuuksien määrää voitaisiin vähentää, kyseessä olevien yritysten on vaikutettava näihin riskitekijöihin. Esimerkiksi käyttäjätilit voidaan avata vain sellaisille ihmisille, jotka ovat todistaneet ikänsä henkilöllisyystodistuksen avulla, ja ennen palvelujen avaamista pitäisi tarkistaa sovellusten käyttäjien liikennesääntöjen tietämys, vaikka pienen testin avulla. Tämä testi pitäisi läpäistä onnistuneesti, jotta sovelluksen käyttäjä saisi pääsyn laitteen vuokraamiseen. Testi olisi järkevää uusia muutaman vuokrauksen jälkeen, sillä varmistettaisiin, että käyttäjä muistaa liikennesäännöt.

Muihin riskitekijöihin olisi voinut vaikuttaa esimerkiksi sovelluksen kehittämisellä – karttaan voisi laittaa kaikki alueet, joissa nopeutta on rajoitettava. Sama koskee myös alueita, joihin sähköpotkulauta voidaan pysäköidä matkan päättyessä. Kyseessä olevien yritysten tulisi kiinnittää enemmän huomiota siihen, kuinka käyttäjät noudattavat sähköpotkulautojen käyttöä koskevia sääntöjä.

Monessa Suomen yrityksessä on käytössä niin kutsuttu ”0 tapaturmaa” -ajattelu, jonka tavoitteena on vähentää työpaikalla tapahtuvien tapaturmien määrä täysin nollassa. Tämä ajattelu vähentää

kustannuksia huomattavasti, vähentämällä riskien määrää. Olisi järkevää, jos vuokrapalveluita tarjoavilla yrityksillä olisi sama käytäntö käyttäjiensä suhteen. Tämä parantaisi koko maan turvallisuutta ja samalla vahvistaisi kyseisten yritysten imagoa. Kaikki tämä ja rakenteelliset parannukset vähentäisivät kohdassa 3.8 olevia suurimpia riskejä.

Lainsäädäntöön myös pitäisi kiinnittää enemmän huomiota, sillä projektin aikana todettiin, että se ei ole riittävästi selkeä itsevalmistettujen sähköajoneuvojen suhteen. Niiden kasvava suosio voisi tarkoittaa, että jatkossa sellaisia tulisi lisää, joten olisi järkevää ja oikeaa laatia lainsäädäntö, joka määrittäisi itsetehtyjen laitteiden asemaa.

5.5 Opinnäytetyön haasteet

Opinnäytetyön tekemisen aikana törmättiin muutamaa haasteeseen, joita selitetään tässä kohdassa.

Komponenttien valinta oli haasteellista, sillä internetistä löytyvät komponentit eivät aina sisällä piirustuksia sekä tarkempia teknisiä tietoja, minkä vuoksi 3D-mallissa jossain kohdissa käytetään sellaisia komponentteja, joiden piirustukset tai 3D-mallit olivat saattavilla, vaikka kyseessä olevat komponentit eivät aina ole paras vaihtoehto. Lisäksi valtaosa internetissä olevista komponenteista valmistetaan Kiinassa, joten tämänkin perusteella oli haasteellista päättää tietyn komponentin valinnasta. QS MOTORin tapauksessa kuitenkin saatiin kattavia tietoja moottorin ominaisuuksista sekä ottamalla yhteyttä valmistajaan saatiin vastaukset kysymyksiin. Muissa tapauksissa kuten esimerkiksi pienten komponenttien valinnassa oli tarpeen kääntyä sellaisten internet-kauppojen, kuten Amazon ja Ebay, puoleen, koska pieniä tarvikkeita on melkein mahdotonta löytää muualta. Tähän liittyy myös **ympäristöystävällisyyden kysymys**. Oli vaikeaa tarkastella varsinkin osto-osien ympäristövaikutuksia johtuen niiden alkuperästä.

Haasteisiin voidaan lisätä myös niin kutsuttu **loputon projekti** -käsite. Vaikka koko projekti oli selkeästi määritelty, ja sen tietyt vaiheet rajattiin pois, oli vaikeaa kuitata tietyt vaiheet valmiiksi. Esimerkiksi suunnitteluvaihe voi jatkua vaikka kuinka kauan, koska tuotetta voidaan kehittää jatkuvasti. Tämä koskee muitakin projektin kohtia – tietyissä tapauksissa oli melko vaikeaa päättää, että saatu tulos on riittävä, ja ettei sitä tarvitse enää viimeistellä.

Lisäksi, kuten yllä selitettiin, **kustannuslaskentaa** oli vaikeaa tehdä johtuen projektin ominaisuuksista. Lisähaasteena oli myös **aikataulussa pysyminen**. Koko projektin valmistaminen on myöhästynyt melkein kuukaudella.

5.6 Mitä voisi tehdä paremmin

Kuten edellisessä kohdassa mainittiin, suunnittelu on jatkuva prosessi, ja sen loppua on vaikea määritellä. Tästä syystä on sanottava, että suunnitellun sähköpotkulaudan rakenteen voisi tehdä paremmin, eli kevyemmin, vahvemmin ja yksinkertaisemmin. Tämän lisäksi projektia voisi laajentaa lisäämällä sellaiset vaiheet kuten työpiirustusten tekeminen, tarkempi sähköjärjestelmän suunnittelu, tarkemmat lukuuslaskelmat sekä ohjelmiston kehittäminen. Loppuen lopuksi projektista voitaisiin tehdä sellainen, jonka lopputuloksena tulisi valmistettu ja täysin toimiva sähköpotkulauta.

Komponenttien valintaan voitaisiin kiinnittää enemmän huomiota. Niiden soveltuvuutta tähän projektiin voitaisiin tarkastella tarkemmin, vaikka ottamalla yhteyttä valmistajaan kuten QS MOTORin esimerkissä. Tämän lisäksi aikataulussa voitaisiin pysyä hieman paremmin.

Lähteet

10 inch 1000W Scooter Motor. N.d. Tuotetiedot QS MOTORin verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.qsmotor.com/product/scooter-motor-10inch-1000w/>.

48V 24Ah li-ion akku 50A BMS piirillä + laturi. N.d. Tuotetiedot Pekan SÄHKÖKIITURIn verkkokaupan verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://pekansahkokiituri.fi/tuote/48v-24ah-li-ion-akku-50a-bms-piirilla/>.

About Us. N.d.a. Yritystiedot FirePron verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.firepro.com/en/about>.

About Us. N.d.b. Yritystiedot QS MOTORin verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.qsmotor.com/about-us/>.

About. N.d. Yritystiedot Kellycontrollerin verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://kellycontroller.com/about/>.

Arduino Team. 2021. Sustainable transformation of agriculture with the Internet of Things. Blogi-kirjoitus Arduinon verkkosivuilla 31.08.2021. Viitattu 26.12.2023. <https://blog.arduino.cc/2021/08/31/sustainable-transformation-of-agriculture-with-the-internet-of-things/>.

Arduino Team. 2022. Celebrate Earth Day with these Arduino projects. Blogi-kirjoitus Arduinon verkkosivuilla 22.04.2022. Viitattu 26.12.2023. <https://blog.arduino.cc/2022/04/22/celebrate-earth-day-with-these-arduino-projects/>.

Awards & Recognitions. N.d. Yritystiedot FirePron verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.firepro.com/en/awards>.

Basics of Lithium-Ion Batteries. N.d. Opintomateriaali Toshiba verkkosivuilla. Viitattu 24.11.2023. <https://www.global.toshiba/ww/products-solutions/battery/scib/product/module/sip/download/batteryschool/episode1.html#:~:text=lithium,capable%20of%20storing%20lithium%20ions>.

Best Waterproof Electric Scooters, IP Ratings, And List Of Scooters With Highest IP Rating. N.d. Artikkelele Electric Scooter Critic -verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://electricscootercritic.com/best-waterproof-electric-scooters/>.

Brown, J. 2017. A simple look at your bikes disc brakes function and maintenance. Artikkelele Have-FunBikes -verkkosivuilla 08.09.2017. Viitattu 24.11.2023. <https://havefunbiking.com/disc-brakes-function-maintenance/>.

Brown, R. 2022. Young people's projects for a sustainable future. Blogi-kirjoitus Raspberry Piin verkkosivuilla 27.07.2022. Viitattu 26.12.2023. <https://www.raspberrypi.org/blog/young-peoples-projects-for-a-sustainable-future/>.

Cheetah mini KBS, light & flexible trapezoidal motor controllers (12V-72V) (60A-200A). N.d. Tuotetiedot Kellycontrollerin verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://kellycontroller.com/shop/kbs/>.

Cylindrical Generators. N.d. Tuotetiedot FirePron verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.firepro.com/en/products/cylindrical-generators>.

Deductive Approach (Deductive Reasoning). N.d. Artikkelin Business Research Methodology -verkkosivulla. Viitattu 17.11.2023. <https://research-methodology.net/research-methodology/research-approach/deductive-approach-2/>.

Dreisilker, L. 2019. DC Motors: Common Problems and Maintenance of Brushes. Artikkelin verkkosivulla 14.11.2019. Viitattu 24.11.2023. <https://dreisilker.com/blog/dc-motors-common-problems-and-maintenance-of-brushes/>.

DuBois, R. 2023. Pneumatic vs Solid Tires – Which One is Better? Artikkelin Gotraxin verkkosivulla 31.08.2023. Viitattu 24.11.2023. <https://gotrax.com/blogs/news/pneumatic-vs-solid-tires-which-one-is-better#:~:text=Winner%3A%20Pneumatic%20Comfort%20Solid%20tires,into%20your%20legs%20and%20arms.>

Electric Scooter Motors. N.d. Artikkelin RiderGuide -verkkosivulla. Viitattu 24.11.2023. <https://riderguide.com/guides/electric-scooter-motors/#:~:text=Most%20electric%20scooters%20come%20with,BLDC%20motors.>

Electric vehicle fire extinguishing container – BALOX. N.d. Tuotetiedot INESTAn verkkosivulla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.inesta.net/products/electric-vehicle-fire-extinguishing-container-balox/>.

Foley, D. 2022. Electric Scooter Batteries – Everything You Need To Know. Artikkelin UNAGIn verkkosivulla 31.05.2022. Viitattu 24.11.2023. <https://unagiscooters.com/scooter-articles/electric-scooter-batteries-everything-you-need-to-know/>.

Frequently Asked Questions. N.d. Tiedot QS MOTORin verkkosivulla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.qsmotor.com/question-answer/>.

Frisby, J. 2023. Electric Scooter Batteries: A Beginner's Guide. Artikkelin Electric Scooter Insider -verkkosivulla 18.01.2023. Viitattu 26.12.2023. <https://www.electricscooterinsider.com/electric-scooter-batteries/>.

Hautala, K. 2017. Kevyet sähköiset liikkumisvälineet tieliikenteessä. Opinnäytetyö, AMK. Poliisin ammattikorkeakoulu. Viitattu 07.11.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201704044138>, Theseus.

Heikkilä, V. 2019. Kevyiden sähköajoneuvojen soveltuvuus ympäristövuotiseen liikennekäyttöön. Opinnäytetyö, AMK. Turun ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikka. Viitattu 01.11.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904215635>, Theseus.

Hietamies, E. 2019. Häätäkeskus sai viime vuonna 600 000 turhaa soittoa: näin soitat oikein. Artikkelin APU -verkkosivulla 14.02.2019. Viitattu 07.11.2023. <https://www.apu.fi/artikkelit/hatakeskus-sai-viime-vuonna-600-000-turhaa-soittoa-nain-soitat-oikein.>

History. N.d. Tiedot Unit Pack Powerin verkkosivulla. Viitattu 26.12.2023. <http://www.unitpackpower.com/en/Content/1469121.html>.

How MQ3 Alcohol Sensor Works? & Interface it with Arduino. N.d. Ohjeet Last Minute ENGINEERSin verkkosivulla. Viitattu 26.12.2023. <https://lastminuteengineers.com/mq3-alcohol-sensor-arduino-tutorial/>.

Ier. 2020. The Environmental Impact of Lithium Batteries. Julkaisu Institute for energy research - verkkosivuilla 12.11.2020. Viitattu 24.02.2024. <https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/the-environmental-impact-of-lithium-batteries/>.

Information for business partners. N.d. Tiedot Boschin verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.bosch.com/company/supply-chain/information-for-business-partners/>.

IP-luokitus. N.d. Artikkelit Netrautan verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.netrauta.fi/inspiraatio-ja-ohjeet/ip-luokat>.

Jaakkola, H. 2015. Porrasannostelijan ja rankapöydän suunnittelu. Opinnäytetyö, AMK. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 06.03.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201503113039>, Theseus.

Jaworski, L. 2021. Is Pneumatic or Solid Tire Best for Your E-Scooter? Here're the Tips!. Artikkelit Sparse -verkkosivuilla 13.03.2021. Viitattu 24.11.2023. <https://sparse.cc/electric-scooter-tires-wheels/#:~:text=With%20pneumatic%20tires%2C%20you%E2%80%99ll%20experience,can%E2%80%99t%20happen%20with%20solid%20tires>.

KBS48051X. N.d. Tuotetiedot Kellycontrollers -verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.kellycontrollers.eu/kbs48051x>.

Kelly Controller for 500W – 8000W DC Brushless Motor. N.d. Tuotetiedot QS MOTORin verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.qsmotor.com/product/kelly-controller/>.

Koskinen, M. 2018. Briketöintilaitteen rakenteen suunnittelu metallilastulle. Kandidaatintyö, Yliopisto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Kone. Viitattu 05.12.2023. https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158841/kandidaatintyo_koskinen_miika.pdf?sequence=1#:~:text=3,Laatuk%C3%A4sitykseen%20vaikuttavia, Theseus.

Kuivas, E. 2023. Pimeä vartti. Artikkelit YLEn verkkosivuilla 21.07.2023. Viitattu 01.11.2023. <https://yle.fi/a/74-20038354>.

Kuukkanen, T. 2019. Kohutut sähköiset potkulaudat tulivat nyt Ruotsista Suomeen – eivätkä ne jää ainoiksi: huhtikuussa pääset laudalla myös idästä Kallioon vaikka terassille. Uutinen YLEn verkkosivuilla 19.03.2019. Viitattu 02.11.2023. <https://yle.fi/a/3-10696404>.

Lahtinen, E. 2020. Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden liikenneturvallisuusvaikutusten arviointi. Opinnäytetyö, YAMK. Hämeen ammattikorkeakoulu, Tulevaisuuden liikennejärjestelmät. Viitattu 07.11.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202003053029>, Theseus.

Li-Ion Batteries Fire Protection. N.d. Tiedot FirePron verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.firepro.com/en/lithium-batteries-fire-protection>.

Loikkanen, M. 2020. Turun AMK:n Miska Teponojalle voitto autoalan insinööriyökisassa. Uutinen Turku AMK -verkkosivuilla 30.10.2020. Viitattu 01.11.2023. <https://www.turkuamk.fi/fi/ajankoh-taista/2590/turun-amkn-miska-teponojalle-voitto-autoalan-insinoorityokisassa/>.

Markovic, M.J., Muller, V., Hodder, A. & Perriard, Y. 2010. Optimal design of an in-wheel BLDC motor for a kick scooter. Artikkelit ResearchGate -tietokannassa. Viitattu 24.11.2023. https://www.researchgate.net/publication/224188231_Optimal_design_of_an_in-wheel_BLDC_motor_for_a_kick_scooter#:~:text=,rotor%20was,ResearchGate.

Michnimer, D. 2022. How to easily calculate allowable deflection. Blogi-kirjoitus Weyerhaeuserin verkkosivuilla 01.09.2022. Viitattu 04.03.2024. <https://www.weyerhaeuser.com/blog/how-to-easily-calculate-allowable-deflection/>.

Mikee. 2023. 2 Safest Electric Scooters For 2022. Blogi-kirjoitus Segway-Ninebotin verkkosivuilla 11.07.2023. Viitattu 09.12.2023. <https://simplymoving.com.ph/blog/safest-electric-scooters-2022/>.

Millett, P. N.d. Brushless Vs Brushed DC Motors: When and Why to Choose One Over the Other. Artikkelit Monolithicpowerin verkkosivuilla. Viitattu 24.11.2023. <https://www.monolithicpower.com/en/brushless-vs-brushed-dc-motors>.

Määrällinen tutkimus. 2015. Artikkelit Jyväskylän yliopiston verkkosivuilla 23.04.2015. Viitattu 17.11.2023. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus#:~:text=M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4llisess%C3%A4%20tutkimuksessa%20olla%20usein%20kiinnostuneita,erilaisia%20laskennallisia%20ja%20tilastollisia%20analyysimenetelmi%C3%A4>.

Product Quality Research Institute. N.d. Hazard & Operability Analysis (HAZOP). PDF-muodossa oleva opas PRQI -verkkosivuilla. Viitattu 24.11.2023. https://pqri.org/wp-content/uploads/2015/08/pdf/HAZOP_Training_Guide.pdf.

Riskien arviointi työpaikalla -työkirja. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön laatima opas riskien määrittämiseen PDF-muodossa. Viitattu 24.11.2023. <https://ttk.fi/wp-content/uploads/2022/04/Riskien-arviointi-tyopaikalla-tyokirja.pdf>.

Russell, M. 2023. Lithium-ion battery fires – industry guidance and conference address risks. Artikkelit Gardin verkkosivuilla 30.03.2023. Viitattu 26.12.2023. <https://www.gard.no/web/articles?documentId=35150780>.

Rutanen, E. 2016. Sähköisten liikkumisvälineiden rooli matkaketjussa. Insinöörityö, AMK. Metropolia ammattikorkeakoulu, Auto- ja kuljetustekniikka. Viitattu 07.11.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605036045>, Theseus.

Saari, J. 2021. Sähköpotkulaudat Helsingin liikenteessä poliisin näkökulmasta. Opinnäytetyö, AMK. Poliisi ammattikorkeakoulu. Viitattu 01.11.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021100518368>.

Safety First. N.d. Turvallisuusohjeet Birdin verkkosivuilla. Viitattu 06.03.2024. <https://www.bird.co/safety/>.

Seppälä, T. & Brunila, O-P. 2022. Sähköisten potkulautojen liikenneturvallisuuden edistäminen. Loppuraportti hankkeen tuloksista. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Viitattu 07.11.2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-423-2>, Theseus.

Spencer, R. 2018. 40 years Of ABS: Debuted In The S-Class in 1978. Artikkelin verkkosivuilla 22.08.2018. Viitattu 09.12.2023. <https://mercedesheritage.com/mercedes-heritage/abs-is-40-years-old-debuted-in-the-s-class-in-1978>.

Spinningmagnets. 2021. Converting Off-Road Motorcycles to Electric with a QS motor. Artikkelin verkkosivuilla 13.04.2021. Viitattu 26.12.2023. <https://www.electricbike.com/converting-off-road-motorcycles-to-electric-with-a-qs-motor/>.

Svahn, N. 2022. Sähköpotkulautojen käyttö muuttuu radikaalisti Helsingissä: fiksu pysäköinti todistettava valokuvalla, huolimattomuudesta rapsahtaa "sakko". Artikkelin YLEn verkkosivuilla 25.03.2022. Viitattu 01.11.2023. <https://yle.fi/a/3-12373100>.

Sähkömoottorityypit. 2023. Artikkelin Motivan verkkosivuilla 09.06.2023. Viitattu 24.11.2023. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/valitse-auto-viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit>.

Sähköpotkulaudat – Usein kysytyt kysymykset. N.d. Helsingin kaupunki verkkosivuilla olevat usein kysytyt kysymykset vastauksineen. Viitattu 09.11.2023. <https://www.hel.fi/fi/kaupunkiymparisto-ja-liikenne/sahkopotkulaudat-usein-kysytyt-kysymykset#:~:text=Kaupunki%20on%20p%C3%A4%C3%A4tt%C3%A4nyt%20rajoittaa%20yhteisk%C3%A4ytt%C3%B6isten,P%C3%A4%C3%A4tt%C3%B6ksen%20asiasta%20teki%20kaupunkiymp%C3%A4rist%C3%B6lautakunta>.

Sähköpotkulautilun liikenneturvallisuus. 2022. Artikkelin Tieto.Traficomin verkkosivuilla 10.08.2022. Viitattu 01.11.2023. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/sahkopotkulautilun-liikenneturvallisuus>.

Sähköpotkulautilun turvallisuuden edistäminen Tampereella. 2023. Traficomin laatima loppuraportti PDF-muodossa. Viitattu 02.11.2023. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Tampere_Sahkopotkulautilun_turvallisuuden_edistaminen_loppuraportti.pdf.

Takala, S. 2023. Sähköpotkulautojen rajoittaminen toimii. Artikkelin Helsingin Sanomat -verkkosivuilla 30.06.2023. Viitattu 01.11.2023. <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000009688850.html>.

Teponoja, M. 2019. Moposkootterin sähköversio. Opinnäytetyö, AMK. Turun ammattikorkeakoulu, Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka. Viitattu 07.11.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019121025845>, Theseus.

Trajkovski, M. 2023a. How Do Electric Scooters Work (What You Must Know As An Owner). Kirjoitus EscooterNerds -blogista 20.10.2023. Viitattu 24.11.2023. <https://escooterterds.com/how-do-electric-scooters-work/#:~:text=,like%20materials>.

Trajkovski, M. 2023b. Introduction To Electric Scooter Motors [Technical Guide]. Opas EscooterNerds -verkkosivuilla 10.02.2023. Viitattu 24.11.2023. <https://escooterterds.com/electric-scooter-motors/>.

Trajkovski, M. 2023c. Electric scooter vs bicycle [which is better for you + pros and cons]. Kirjoitus EscooterNerds -blogista 03.01.2023. Viitattu 01.11.2023. <https://escooterterds.com/electric-scooter-vs-bicycle/>.

Trusted by Experts. N.d. Tiedot FirePron verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://www.firepro.com/en/case-study-applications>.

Tuhkanen, A. 2023. Painavat sähköpotkulaudat on pian pakko vakuuttaa, ja se saattaa heikentää vuokralaudoilla ajavien turvallisuutta. Uutinen YLEn verkkosivuilla 29.09.2023. Viitattu 01.03.2024. <https://yle.fi/a/74-20052386>.

Valtanen, E. 2019. Tekniikan taulukkokirja. 22.p. Genesis-Kirjat Oy.

Velling, A. 2021. Design for Assembly. Artikkelin fractoryn verkkosivuilla 28.09.2021. Viitattu 23.02.2024. <https://fractory.com/design-for-assembly-dfa/>.

Vuokrattavien sähköpotkulautojen suosio kasvanut räjähdysmäisesti. 2022. Artikkelin TRAFICOMin verkkosivuilla 14.10.2022. Viitattu 01.11.2023. <https://traficom.fi/fi/ajankohtaista/vuokrattavien-sahkopotkulautojen-suosio-kasvanut-rajahdysmaisesti>

Väisänen, S. 2023. Pariisi kielsi sähköpotkulaudat kiistellyssä äänestyksessä – onko sama edessä Suomessa? Uutinen YLEn verkkosivuilla 05.04.2023. Viitattu 01.11.2023. <https://yle.fi/a/74-20025804>.

Waterproof electric scooters and IP54 rating explained. N.d. Blogi-kirjoitus THAT Scooter -verkkosivuilla. Viitattu 26.12.2023. <https://thatscooter.com/waterproof-electric-scooters-and-ip54-rating-explained>.

What you need to know about commuter electric scooters and IP ratings. 2023. Blogi-kirjoitus Varlascooter -verkkosivuilla 13.02.2023. Viitattu 26.12.2023. <https://old.varlascooter.com/blogs/knowledge/electric-scooter-ip-ratings/>.

Whittaker, A. 2022. Taking care of urban nature with Raspberry Pi. Uutinen Raspberry Pi -verkkosivuilla 18.10.2022. Viitattu 26.12.2023. <https://www.raspberrypi.com/news/taking-care-of-urban-nature-with-raspberry-pi/>.

Why the research question is so important. 2018. Artikkelin Ingham institute -verkkosivuilla 04.05.2018. Viitattu 17.11.2023. <https://inghaminstitute.org.au/resource/why-the-research-question-is-so-important/#>.

Williams, T. 2023. How to analyze survey data. Opas Dovetail -verkkosivuilla 30.03.2023. Viitattu 15.12.2023. <https://dovetail.com/surveys/how-to-analyze-survey-data/>.

Yang, H., Ma, Q., Wang, Z., Cai, Q., Xie, K. & Yang, D. 2020. Safety of micro-mobility: Analysis of E-Scooter crashes by mining news reports. Tutkimuksen tiivistelmä National Library of Medicine -tietokannassa. Viitattu 17.11.2023. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32480017/>, National Library of Medicine.

Yhteiskäyttöisten sähköpotkulautapalveluiden tarjonta, kysyntä ja markkinatilanne. 2023.
Tieto.Traficomin verkkosivuilla oleva tilannekuva 13.10.2023. Viitattu 09.11.2023. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/yhteiskayttoisten-sahkopotkulautapalveluiden-tarjonta-kysynta-ja-markkinatilanne?toggle=Kaupallisten%C3%A4hk%C3%B6potkulautapalveluiden%20tarjonta%20kartalla>.

Liitteet

Liite 1. Riskiarviointimatriisi

	Vaarojen tunnistaminen		Vaaran arviointi			Riskin hallinta	Jäännösriskin arviointi		
	Vaaratekijä	Vaaratilanteen kuvaus	Seuraukset	Todennäköisyys	Riski	Toimenpide-ehdotukset	Seuraukset	Todennäköisyys	Jäännösriski
Hallintajärjestelmät ja toimintatavat	1 Perehdyttäminen ja opastus	Puutteellinen perehdyttäminen laitteen ja sen ominaisuuksiin voi johtaa laitteen väärään käyttöön, mikä voi johtaa vakavaan loukkaantumiseen tai jopa kuolemaan.	Vakavat	Todennäköinen	5	Laaditaan selkeät käyttöohjeet laitteen käyttäjälle. Ne on luettava ja hyväksyttävä ennen laitteen käyttöönottoa. Lisäksi sen varmistamiseksi, että käyttäjä on lueut ja ymmärtänyt käyttöohjeet, voidaan valmistaa testi, joka on suoritettava ennen laitteen käyttöönottoa.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	2 Poikkeavat häiriöt	Jos laitteessa ilmenee vikoja, niistä ilmoittamatta jättäminen käyttäjälle voi johtaa laitteen epävakaiseen toimintaan ja käyttäjän loukkaantumiseen.	Vakavat	Todennäköinen	5	Kaikista laitteen vioista ja toimintahäiriöistä raportoidaan näytöllä.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	3 Henkilösuojaimet	Henkilösuojavälineiden (mm. kypärän) käyttämättä jättäminen johtaa usein loukkaantumiseen.	Vakavat	Todennäköinen	5	Tehdään kypärän käytön pakolliseksi laitetta käytettäessä, jotta sitä ei voi käyttää ennen kuin järjestelmä tarkistaa, onko käyttäjällä kypärä.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	4 Suojusten ja apuvälineiden käyttö	Jos laite on varustettu lisävarusteilla, jotka ovat välttämättömiä sen käytön riskien vähentämiseksi, näiden lisävarusteiden käyttämättä jättäminen voi johtaa loukkaantumiseen.	Vakavat	Todennäköinen	5	Tehdään lisävarusteista laitteesta erottamattomia ja käytön pakollisia. Jos ohjelmisto huomaa, että laitetta ei ole käytetty, laite ei käynnisty.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	5 Turvattomaan toimintaan ja riskinottoon puuttuminen	Tietilanteen virheellinen arviointi ja riskinotto voivat johtaa loukkaantumiseen.	Vakavat	Todennäköinen	5	Opastetaan käyttäjää, kuinka laitetta käytetään turvallisesti.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	6 Päihdeohjelma	Rattijuopumus johtaa usein henkilövahinkoihin.	Vakavat	Todennäköinen	5	Laitetaan alkolukko. Ilman testin suorittamista laite ei käynnisty.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	7 Sähkölaitteet	Suojaamattomat sähkökomponentit voivat aiheuttaa loukkaantumisen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Eristetään ja suojataan vaaraa aiheuttavat sähkölaitteet. Opastetaan käyttäjää.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	8 Hälytys	Käyttäjälle on ilmoitettava vaaratilanteesta välittömästi, koska tietämätön käyttäjä ei voi reagoida nopeasti ja välttää riskejä.	Vakavat	Mahdollinen	4	Kaikista laitteen vioista ja toimintahäiriöistä raportoidaan näytöllä.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	9 Sammutusvälineet	Käyttäjää ja sivulliset voivat loukkaantua tulipalon syttyessä, jos sammutustoimenpiteitä ei tehdä.	Vakavat	Mahdollinen	4	Varustetaan laitteen autonomisella sammutusjärjestelmällä (esim. FirePro)	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	10 Kulutiedot	Kulutiedon on oltava hyvin näkyviä ja laitteen on oltava turvallinen muille kulutiedon käyttäjille.	Vakavat	Todennäköinen	5	Laitetaan tehokkaat valaisimet sekä valo- ja äänimerkit, jotta muut tienkäyttäjät olisivat tietoisia laitteen liikkeistä.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	11 Poistumis- ja pelastustiet	Poistumis- ja pelastustiedon tulee olla esteettömiä, laitetta ei saa jättää poistumistielle, koska se voi häättilanteessa häiritä avun saapumista paikalle.	Vakavat	Mahdollinen	4	Merkittään kaikki tällaiset paikat karttaan ja tehdään mahdottomaksi laitteen pysäköiminen niille.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	12 Ensiapujärjestelyt ja välineet	Jos käyttäjä loukkaantuu, hänellä ei pitäisi olla ongelmia saada ensiapua.	Vakavat	Todennäköinen	5	Lisätään ensiapuvälineet. Mahdollisuuden mukaan lisätään painike, jolla voidaan soittaa 112.	Vakavat	Epätodennäköinen	3

(jatkuu)

(jatkuu)

Fysikaaliset vaaratekijät	13 Kylmät ja kuumat esineet	Sähkökomponentit voivat kuumentua käytön aikana. Ohjaustanko voi tuntua kylmältä kylmällä säällä.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Ohjaustanko suojataan kumilla, akku laitetaan turvalliseen paikkaan, johon käyttäjän on vaikea päästä käsiksi.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	14 Sääolosuhteet	Sateisella tai kylmemmällä säällä pyörien pito tiellä voi heikentyä, mikä voi johtaa putoamiseen.	Vakavat	Todennäköinen	5	Laitetaan hyvät pyörät, jotka mahdollistavat laitteen käytön sateessa. Laitetaan rengaspaineanturit.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	15 Yleisvalaistus	Huono tien valaistus ja valomerkkien puuttuminen erilaisia laitteen liikkeitä varten voivat johtaa virheelliseen tilanteen arviointiin ja loukkaantumiseen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Laitetaan tehokkaat valaisimet sekä valo- ja äänimerkit, jotta muut tienkäyttäjät olisivat tietoisia laitteen liikkeistä.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	16 Kohdevalaistus	Huono kojelaudan valaistus voi johtaa nopeuden ja muiden parametrien virheelliseen arviointiin.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Laitetaan informatiivinen ja hyvin valaistu näyttö.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	17 Käsiin kohdistuva tärinä	Jäykkä ja jousittamaton ohjaustangon rakenne voi johtaa siihen, että jokainen tien kolhu joutuu käyttäjän käsiin.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Suunnitellaan jousitus niin, että tärinää ei kohdistuisi käsiin. Laitetaan rengaspaineanturit.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	18 Koko kehoon kohdistuva tärinä	Jäykkä ja jousittamaton laitteen rakenne voi johtaa siihen, että jokainen tien kolhu joutuu käyttäjän kehoon.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Suunnitellaan jousitus niin, että tärinää ei kohdistuisi kehoon. Laitetaan rengaspaineanturit.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
Tapaturman vaarat	19 Liukastuminen	Sateisella tai kylmemmällä säällä pyörien pito tiellä voi heikentyä, mikä voi johtaa putoamiseen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Laitetaan hyvät pyörät, jotka mahdollistavat laitteen käytön sateessa. Varustellaan laitteen ABS-järjestelmällä, jotta pyörät eivät lukkiudu jarrutettaessa. Laitetaan rengaspaineanturit.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	20 Henkilön putoaminen	Henkilön putoaminen sähköpotkulaudasta voi johtaa hänen loukkaantumiseen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Pyritään pienentämään riskiä tässä taulukossa lueteltujen toimenpiteiden avulla.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	21 Sähköisku	Suojaamattomat ja eristämättömät sähkökomponentit voivat aiheuttaa loukkaantumisen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Eristetään ja suojataan vaaraa aiheuttavat sähkölaitteet. Opastetaan käyttäjää.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	22 Veden varaan joutuminen	Laitteen käyttäminen veden lähellä voi aiheuttaa sen, että se putoaa veteen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Merkittään karttaan alueet lähellä vettä ja rajoitetaan laitteen nopeutta ajaessa tällaisissa paikoissa.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	23 Liikenne	Muut tienkäyttäjät voivat aiheuttaa vaaran käyttäjälle, jos hän ei ole selvästi näkyvissä tai jos hänen toimintansa on arvaamatonta.	Vakavat	Mahdollinen	4	Varoitetaan muita tienkäyttäjiä laitteen liikkeistä valo- ja äänimerkeillä.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	24 Järjestys ja siisteys	Jos laitetta ei ole pysäköity kunolla, se voi aiheuttaa vaaran sivuliisille.	Vähäiset	Todennäköinen	3	Koskee yrityksiä: tehdään pakolliseksi pysäköidyn laitteen valokuvan ajamisen jälkeen.	Vähäiset	Mahdollinen	2
	25 Esineiden sinkoutuminen	Kivet ja muut esineet voivat sinkoutua suurella nopeudella pyörien pyörittämisen takia.	Haitalliset	Todennäköinen	4	Laitetaan lokasuojat.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	26 Liikkuvan esineen aiheuttama isku	Suurilla nopeuksilla pyörivät pyörät ovat vaarallisia koskettaessaan.	Vakavat	Mahdollinen	4	Lisätään gyroskooppi niin, että kun laite kaatuu tai sitä käännetään ympäri, pyörät lakkaavat pyörimästä. Myös laitetaan painomittarin - ilman kuormaa kyydin päällä pyörät eivät pyöri.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	27 Takertuminen liikkuvaan esineeseen	Suurilla nopeuksilla pyörivät pyörät ovat vaarallisia, jos joku ruumiinosana ruhjoutuu liikkuvan esineen väliin.	Vakavat	Mahdollinen	4	Lisätään gyroskooppi niin, että kun laite kaatuu tai sitä käännetään ympäri, pyörät lakkaavat pyörimästä. Myös laitetaan painomittarin - ilman kuormaa kyydin päällä pyörät eivät pyöri.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	28 Viilto-, leikkautumis- ja pistovaara	Terävät laitteen reunat aiheuttavat leikkautumisriskejä käyttäjälle.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Käsittellään laitteen osien pinnat ja kulmat niin, että ne ovat turvallisia.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	29 Eläimen tai ihmisen toiminta.	Muiden ihmisten, eläinten läsnäolo ja heidän käyttäytymisensä tiellä voivat johtaa loukkaantumiseen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Lisätään kartalle ruuhkaisia alueita ja joko rajoitetaan laitteen käyttöä näillä alueilla tai sen nopeutta.	Vakavat	Epätodennäköinen	3

(jatkuu)

(jatkuu)

Fyysinen kuormittuminen	30 Näytöt ja näyttöpäätteet	Epäinformatiivinen ja huonosti sijoitettu näyttö voi tehdä koelaudan tietojen lukemisesta käyttäjälle hankalaa, jolloin tilanne arvioidaan väärin.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Laitetaan informatiivinen ja hyvin valaistu näyttö.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	31 Selan asento	Jos ohjaustanko ei ole oikealla korkeudella, käyttäjä tuntee olonsa epämukavaksi pitäessään sitä käsillään.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Tehdään ohjaustangosta säädettävä, jota käyttäjä voi valita hänelle sopivan korkeuden.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	32 Hartioiden ja käsien asento	Väärällä korkeudella oleva ohjaustanko voi tehdä käyttäjän epämukavaksi pitää siinä kiinni suoralla selkänajalla.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Tehdään ohjaustangosta säädettävä, jota käyttäjä voi valita hänelle sopivan korkeuden.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	33 Ranteen ja sormien asento	Jos ohjaustanko ei ole mukava, se voi heikentää käyttäjän kykyä käyttää laitetta, mikä voi johtaa putoamiseen.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Tehdään ohjaustangosta mukava pitää käsillä.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	34 Jalkojen asento	Liian kapea tai lyhyt pohja ei anna käyttäjän seistä mukavasti laitteen päällä.	Vakavat	Mahdollinen	4	Tehdään laitteen pohjasta riittävän pitkä ja leveä.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	35 Jatkuva istuminen tai seisominen	Kehon pitkäaikainen oleskelu yhdessä asennossa vaikuttaa negatiivisesti käyttäjän fyysiseen kuntoon.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2	Lisätään ajastin, jonka jälkeen käyttäjää pyydetään pitämään tauko.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	36 Käsien tehtävät nostot ja siirrot	Jos laitetta on siirrettävä tai nostettava, sen raskas paino voi vaikuttaa haitallisesti käyttäjän terveyteen.	Haitalliset	Todennäköinen	4	Tehdään kevyen ja taitettavan laitteen, jotta sitä voidaan helposti siirtää.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
Kemialliset ja biologiset vaaratekijät	37 Vaaralliset tai haitalliset kemikaalit	Jos laitteessa on hydraulinen jarrujärjestelmä, järjestelmän vaurioituminen voi johtaa vaarallisen jarrunesteon joutumisen käyttäjän silmiin/ihoon.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Harkitaan mahdollisuutta käyttää mekaanisia jarruja tai tehdään hyvin suojattu hydraulinen jarrujärjestelmä.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	38 Allergiaa aiheuttavat aineet	Ei-hypoallergeenisten materiaalien käyttö voi aiheuttaa joillakin käyttäjillä allergisen reaktion.	Vakavat	Mahdollinen	4	Käytetään hypoallergeenisia materiaaleja.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	39 Palo- ja räjähdysvaaralliset aineet	Laitteen akku aiheuttaa palo- ja räjähdysvaaran.	Vakavat	Mahdollinen	4	Varustetaan laitteen autonomisella sammutusjärjestelmällä (esim. FirePro). Laitetaan akku hyvin suojattuun paikkaan. Laitetaan hyvä akku ja valvontajärjestelmä.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
	40 Pölyt ja kuidet	Erityisesti kevyillä ulkona olevalla pölyllä on negatiivinen vaikutus käyttäjän hengityselimiin ja se voi myös vahingoittaa näköä.	Haitalliset	Todennäköinen	4	Opastetaan käyttäjää, kuinka ajaa turvallisesti sellaisissa olosuhteissa.	Haitalliset	Mahdollinen	3
	41 Kaasut	Tieliikenteessä olevien autojen pakokaasut vaikuttavat negatiivisesti käyttäjän hengityselimiin.	Haitalliset	Todennäköinen	4	Opastetaan käyttäjää, kuinka ajaa turvallisesti sellaisissa olosuhteissa.	Haitalliset	Mahdollinen	3
	42 Bakteerit ja virukset	Alkolukko on epähygieeninen, usean ihmisen käyttö voi johtaa bakteerien ja virusten leviämiseen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Laitetaan hygieeninen alkolukko.	Vakavat	Epätodennäköinen	3
Psykososiaaliset kuormitustekijät	43 Väkivallan uhka	Laitteen vaurioituminen väkivallan jälkeen voi johtaa loukkaantumiseen.	Haitalliset	Mahdollinen	3	Laitetaan hälytys ja ajonesto-laitteen.	Haitalliset	Epätodennäköinen	2
	44 Tuki	Jos laitteen käytön turvallisuudesta herää kysymyksiä, ja jos käyttäjällä ei ole mahdollisuutta ottaa yhteyttä tukeen, tämä voi johtaa loukkaantumiseen.	Vakavat	Mahdollinen	4	Laitetaan valmistajan yhteistiedot laitteen näkyvään paikkaan.	Vakavat	Epätodennäköinen	3

Liite 2. Vaatimuslista

Pääluokka	Alaluokka	Kuvaus	KV/VV/T	Tulos
Geometria	Korkeus	Tavalliselle aikuiselle ergonomisesti sopivat mitat. Leveä pohja.	KV	Kyllä
	Leveys		KV	Kyllä
	Pituus		KV	Kyllä
Rakenne	Koko	Mahdollisimman kevyt taitettava rakenne.	T	Kyllä
	Paino	Maksimipaino 30 kg. Niin kevyt rakenne, kuin on mahdollista, jotta laitetta olisi helppoa siirtää.	KV	Kyllä
	Kantavuus	Minimikantavuus 80 kg, joten sähköpotkulauta sopii tavalliselle aikuiselle.	VV	Kyllä
	Materiaalit	Hypoallergeeniset materiaalit.	KV	- (1)
	Pinnat	Käsitellään laitteen osien pinnat ja kulmat niin, että ne ovat turvallisia.	KV	Kyllä
	Ominaisuudet	Kokoontaitettava rakenne.	T	Kyllä
	Ohjaustanko	Säädettävä kumilla suojattu ohjaustanko.	KV	Kyllä (1)
Voimat	Nopeus	Suurin sallittu nopeus on 25 km/h, jonka jälkeen tulee hakea lupa Trafilta.	KV	- (2)
	Teho	Suurin sallittu maksimiteho on 1 kW, jonka jälkeen on haettava lupa Trafilta.	KV	Kyllä
	Toimintamatka	Vähintään 30 km yhdellä latauksella.	T	Kyllä
Jarrut	Etu- takajarrut	Mekaaniset jarrut. Mahdollisuuden mukaan hydrauliset jarrut.	VV	Kyllä
		ABS.	T	- (3)
		Regeneratiiviset jarrut.	T	Ei
Jousitus	Etujousitus	Jousituksen on oltava riittävän tehokas, jotta tärinää ei kohdistuisi käyttäjään.	KV	Kyllä
	Takajousitus	Jousituksen on oltava riittävän tehokas, jotta tärinää ei kohdistuisi käyttäjään.	KV	Kyllä
Pyörät	Etupyörä	Iso, leveä, sisärenkaaton (vähintään 10")	KV	Kyllä
	Takapyörä	Iso, leveä, sisärenkaaton (vähintään 10")	KV	Kyllä
	Rengaspainemittarit	Rengaspainemittarit molempiin pyöriin. Tiedot näyttöön.	T	- (2,3)
Lisävarusteet	Lokasuojat	Lokasuojat suojaavat käyttäjää esineiden sinkoutumisesta.	KV	Kyllä
	Kypärä	Tehdään kypärän käytön pakolliseksi laitetta käytettäessä, jotta sitä ei voi käyttää ennen kuin järjestelmä tarkistaa, onko käyttäjällä kypärä.	T	Kyllä
	Alkolukko	Erottamaton ja hypoallergeeninen alkolukko.	T	Kyllä
	Ajonestolaite	Laitetaan ajonestolaite väkivallan uhan vuoksi.	T	- (2,3)
	Mobiilisovellus	Mobiilisovellus laitehallintaan.	T	- (2)
	Laturi	Laturi 220-230V. Pikalataus mahdollisuuden mukaan.	KV	- (2,3)
	Ensiapupainike	Jotta hätätilanteessa voidaan kutsua apua paikalle.	T	Ei

(jatkuu)

(jatkuu)

Lisävarusteet	Gyroskooppi	Lisätään gyroskooppi niin, että kun laite kaatuu tai sitä käännetään ympäri, pyörät lakkaavat pyörimästä.	T	- (1,2,3)
	Painomittari	Laitetaan painomittarin - ilman kuormaa kyydin päällä pyörät eivät pyöri.	T	- (1,2,3)
	Ensiapuvälineet	Ensiaputarvikkeet, kuten teippi. Oma lokero.	T	Kyllä
	Autonominen sammutuslaite	Tulipalon vaaran vuoksi varustetaan laite erillisellä sammutusjärjestelmällä.	KV	Kyllä
	Mobiilisovellus	Kartta, joka ottaa huomioon vaara-alueet.	T	- (2)
		Akun varaus.	T	- (2)
		Ajonestolaitteen hallinta.	T	- (2)
		Tilastotiedot laitteen käytöstä.	T	- (2)
		GPS.	T	- (2)
Sähkölaitteet	Valot	Etu-, taka-, jarru- ja helppokäyttöiset suuntavilkut, jotta käyttäjä näkee tien ja ohikulkijat voivat nähdä sähköpotkulaudan liikkeit. Myös punainen heijastin taaksepäin ja oranssit sivuheijastimet.	KV	Kyllä
		Lätäkövalot valaisevat sähköpotkulaudan alla olevan tilan ja kertovat ohikulkijoille turvallisen etäisyyden sähköpotkulautaan.	T	Kyllä
	Äänimerkki	Äänimerkki, jonka ääni ei ole samanlainen kuin auton ja moottoripyörän äänimerkin ääni	KV	- (1,2)
	Näyttö	Varoitusvalot.	KV	- (2)
		Hyvä valaistus.	KV	- (2)
		Nopeustiedot.	KV	- (2)
		Rengaspaineet.	T	- (2)
		Akun varaus.	KV	- (2)
		Matkamittari.	T	- (2)
		Ajastin.	T	- (2)
	Akku	Akku laitetaan turvalliseen paikkaan, johon käyttäjän on vaikea päästä käsiksi.	KV	Kyllä
	Turvallisuus	Eristetään ja suojataan vaaraa aiheuttavat sähkölaitteet.	KV	Kyllä
Valmistus	Menetelmä	Runko - särmäys ja hitsaus. Kokoonpanossa huomioidaan kokoonlaitettavan rakenteen vaatimus.	T	Kyllä
Lisää	Kierrätys	Elinikä yli 5 vuotta.	VV	Kyllä
	Eettisyys	Komponenttien valinnassa otetaan huomioon.	T	Kyllä
	Käyttöohjeet	Koulutetaan käyttäjää.	T	- (4)
	Kunnossapito	Kokoonlaitettava rakenne, kaikki komponentit on helppo vaihtaa.	KV	Kyllä
	Yhteistiedot	Laitetaan näkyvälle paikalle.	T	- (1)

Liite 3. Kysely

Nº	Kysymys	Vaihtoehdot	Perustellut
1	Sukupuoli / Gender	Mies / Man	Tutkimuksen kohdentaminen
		Nainen / Woman	
		Muu / Other	
2	Ikä/Age	<18	
		18–24	
		24–30	
		30–45	
		>45	
3	Oletko itse kokeillut sähköpotkulaudalla ajamista? / Have you personally tried riding an e-scooter?	Kyllä / Yes	
		Ei / No	
4	Jos olet kokeillut sähköpotkulaudalla ajamista, omistatko sähköpotkulaudan vai vuokrasitko sellaisen? / If you have tried riding an e-scooter, did you own an electric scooter or did you rent one?	Omistan sähköpotkulaudan / I own an electric scooter	
		Vuokrasin sähköpotkulaudan / I rented an electric scooter	
5	Olen lukenut sähköpotkulaudan käyttöohjeet (mahd. vuokrauspalveluita tarjoavan yrityksen laatima) / I have read the instructions for use of the e-scooter (possibly prepared by a company offering rental services)	Kyllä / Yes	Tietoisuuden tason ymmärtäminen
		Ei / No	
6	Noudatan aina liikennesääntöjä sähköpotkulaudalla ajaessani / I always follow traffic rules when riding an e-scooter	Kyllä / Yes	Aiemmin käsiteltyjen tietojen tarkistaminen
		Ei / No	
		En käytä sähköpotkulautoja / I do not use e-scooters	
7	Ei saa käyttää sähköpotkulautoa alkoholin tai huumeiden vaikutuksen alaisena / It's not allowed to use an e-scooter while under the influence of alcohol or drugs	Kyllä / Yes	Mielipide aiemmin hankituista tiedoista
		Ei / No	
		En tiedä / I do not know	
8	Olen itse ajanut sähköpotkulaudalla alkoholin tai huumeiden vaikutuksen alaisena / I have personally driven an e-scooter while under the influence of alcohol or drugs	Kyllä / Yes	Aiemmin käsiteltyjen tietojen tarkistaminen
		Ei / No	
		En käytä sähköpotkulautoja / I do not use e-scooters	
9	Sähköpotkulautoa käytettäessä on käytettävä kypärää / When using e-scooter, it is necessary to wear a helmet	Kyllä / Yes	Mielipide aiemmin hankituista tiedoista
		Ei / No	
		En tiedä / I do not know	
10	Käytän kypärää sähköpotkulautoa käytettäessä / I use helmet when i drive an e-scooter	Kyllä / Yes	Aiemmin käsiteltyjen tietojen tarkistaminen
		No / Ei	
		En käytä sähköpotkulautoja / I do not use e-scooters	

(jatkuu)

(jatkuu)

11	Sähköpotkulaudat saa pysäköidä... / E-scooters must be parked...	Minne tahansa / Anywhere	Mielipide aiemmin hankituista tiedoista
		Vain niille tarkoitetuille alueille / Only in designated places	
		En tiedä / I do not know	
12	Pysäköin joskus sähköpotkulaudat niin, että se voi häiritä muita / I sometimes park e-scooter inappropriately, so that it may interfere with others	Kyllä / Yes	Aiemmin käsiteltyjen tietojen tarkistaminen
		Ei / No	
		En käytä sähköpotkulautoja / I do not use e-scooters	
13	Sähköpotkulautojen nopeutta saa rajoittaa... / The speed of e-scooters should be limited...	<25 km/h	Mielipide aiemmin hankituista tiedoista
		<15 km/h	
		Vain tietyillä alueilla / Only in certain areas	
		Ei saa rajoittaa / Shouldn't be limited	
		Muu:	
14	Sähköpotkulaudassa tulee olla sekä etu- että takavallo / An e-scooter should have both a front and a rear light	Kyllä / Yes	Mielipide aiemmin hankituista tiedoista sekä Traficomien määräyksistä
		Ei / No	
		En tiedä / I do not know	
15	Sähköpotkulautojen suuntavalvoja vaikea käyttää / Directional lights on e-scooters difficult to use	Kyllä / Yes	Aiemmin käsiteltyjen tietojen tarkistaminen
		Ei / No	
		En tiedä / I do not know	
16	Muiden tienkäyttäjien on vaikea ennakoita sähköpotkulaudan liikkeitä / The problem for other roads users is predicting the movements of the e-scooter	Kyllä / Yes	Aiemmin käsiteltyjen tietojen tarkistaminen
		Ei / No	
		En tiedä / I do not know	
17	Mielestäni suurimmat riskit sähköpotkulautojen käytössä ovat.... / In my opinion, the biggest risks when using an e-scooter are...	Liikennesääntöjen tietämättömyys tai niiden noudattamatta jättäminen / Ignorance of traffic rules or failure to comply with them	Aiemmin käsiteltyjen tietojen tarkentaminen
		Kypärän käyttämättä jättäminen / Not wearing a helmet	
		"Kaksi päällä"-ajaminen / "Two on"-driving	
		Alkoholin tai huumeiden vaikutuksen alaisena ajaminen / Driving under the influence of alcohol or drugs	
		Väärin pysäköity sähköpotkulauta / Incorrectly parked e-scooter	
		Laitteen puutteet kuten huono kojelauta, pienet pyörät jne. / Deficiencies of the device, such as a bad dashboard, small wheels, etc.	
		Puhelimen käyttö ajon aikana / Using the phone while driving	
18	Mitä muuta luulet vaikuttavan sähköpotkulaudan käytön turvallisuuteen? / What else do you think affects the safety of using an e-scooter?		Kvalitatiivinen kysymys
19	Avoin palaute / Open feedback		Kvalitatiivinen kysymys