
POTKUPYÖRÄN MUUTTAMINEN SÄHKÖKÄYTTÖISEKSI

Asko Liukkonen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



ALKUSANAT

Haluan kiittää Arvo Säynevirtaa mahdollisuudesta toteuttaa mielenkiintoinen opinnäytettyö. Lisäksi haluan kiittää työn valvojaa lehtori Pertti Kupiaista hyvästä työn ohjauksesta. Perheelleni myös kiitokset siitä, että antoivat minun keskittyä opinnäytetyöhöni.

Kuopiossa 9.5.2012

Asko Liukkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Asko Liukkonen	
Työn nimi Potkupyörän muuttaminen sähkökäyttöiseksi	
Päiväys 9. toukokuuta 2012	Sivumäärä/Liitteet 49
Ohjaaja(t) lehtori Pertti Kupiainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Arvo Säynevirta	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli muuntaa yksityishenkilön omistama potkupyörä sähkökäyttöiseksi asiakkaan toiveiden mukaisesti. Tavoite oli suunnitella potkupyörälle uusi rakenne sähköisten komponenttien asentamiseksi ja sen jälkeen toteuttaa muutostyö. Lisäksi tavoitteena oli tehdä lujuustarkastelu uuden takahaarukan liitoskohdassa ja laskea potkupyörän mäennousukyky.</p> <p>Työssä selvitettiin sähkökäyttöisen potkupyörän laillisuus Suomen tieliikennelaista ja lain muutokselta edellyttämät vaatimukset. Uudet komponentit ostettiin verkkokaupoista ja varaosaliikkeistä. Rungon muutostyöt teetettiin yksityisellä metallialan ammattilaisella. Opinnäytetyön teoriaosuudessa ja lujislaskuissa käytettiin lähteenä tekniikan alan kirjallisuutta.</p> <p>Työn keskeisin tavoite oli valmistaa potkupyörä ajokuntoiseksi, mikä edellytti rungon muutostöiden tekemistä, jotta napamoottori, tehonsäädin ja kaasukahva sekä akut voitiin asentaa. Nämä tavoitteet saavutettiin onnistuneesti. Potkupyörän rungon muutokset onnistuttiin myös viimeistelemään, joten lopputulos oli myös siisti. Lisäksi tehtiin lujuustarkastelu uuden takahaarukan liitoskohdassa ja potkupyörän suorituskykytarkastelu. Myös nämä tavoitteet saavutettiin.</p>	
Avainsanat napamoottori, akku, tehonsäädin, tasavirta, PWM, jännitys	
julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Asko Liukkonen			
Title of Thesis Kick Bike Modification for Electric Use			
Date	May 9. 2012	Pages/Appendices	49
Supervisor(s) Principal Lecturer Pertti Kupiainen			
Project/Partners Mr Arvo Säynevirta			
<p>Abstract</p> <p>The goal of this thesis was to convert a kick bike owned by a private person to work with an electric motor. The purpose was to plan and construct a new rear fork for a hub motor and a battery rack for deep cycle batteries. The minor objectives were the strength analysis for the rear fork and the kick bike's performance analysis.</p> <p>First, the legality of the motored kick bike was clarified. After that, the electric components were purchased from web stores and spare part shops. The frame modification was made by a professional metal worker. The books from the field of technology were used as source material in both the theory parts and the strength calculations.</p> <p>As a result, a new ready-to-drive kick bike was built. A new rear fork and the battery rack were manufactured and installed. In addition, a hub motor, a controller, a throttle and batteries were installed. Also the secondary objectives with the strength analysis for the rear fork and performance analysis were met.</p>			
Keywords hub motor, battery, controller, direct current, PWM, tension			
public			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
2	AJONEUVOLAKI.....	8
3	SUUNNITTELUN PERUSTEET.....	9
4	POTKUPYÖRÄN MOOTTORI.....	10
	4.1 Moottorin valinta	10
	4.2 Napamoottorin toimintaperiaate.....	10
	4.3 Napamoottorin tekniset tiedot	11
5	MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄ	12
	5.1 Tehonsäädin.....	12
	5.2 Kaasukahva.....	13
6	RUNGON MUUTOKSET	15
	6.1 Takahaarukan valmistus.....	15
	6.2 Akkutelineen valmistaminen	16
	6.3 Ohjauksen modifiointi	17
	6.4 Rungon viimeistelytyöt.....	18
7	SÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	21
	7.1 Akut.....	21
	7.1.1 Akkujen sarjaankytkentä.....	21
	7.1.2 Akkujen kapasiteetti.....	21
	7.1.3 Akkujen tyyppi	22
	7.1.4 Akkujen valinta	22
	7.2 Akkukotelo.....	23
	7.3 Kytkenät	24
	7.4 Sähköjärjestelmän komponentit.....	25
	7.4.1 Johtimet.....	25
	7.4.2 Katkaisimet.....	26
	7.4.3 Liittimet ja sulakkeet	27
	7.5 Latausjärjestelmä	28
8	PINTAKÄSITTELY.....	31
9	LUJUUSTARKASTELU	32
	9.1 Kuljettajan aiheuttamat rasitukset	32
	9.2 Moottorin aiheuttamat rasitukset	35
	9.3 Keskipakovoiman aiheuttamat rasitukset	36
	9.4 Voimien ja momenttien yhdistäminen	38
	9.5 Saumakohdan jännitykset.....	38
10	SUORITUSKYKYTARKASTELU	43
11	KÄYTTÄJÄKOKEMUKSET.....	47

12 POHDINTA.....	48
LÄHTEET	49

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä muunnetaan yksityishenkilön omistama potkupyörä sähkökäyttöiseksi. Sähkökäyttöisyys toteutetaan napamoottorin, tehonsäätimen, kaasukahvan ja akkujen avulla. Jotta komponentit voidaan asentaa potkupyörään, pitää valmistaa uusi takahaarukka napamoottorille ja teline akuille.

Sähkökäyttöisestä potkupyörästä on hyötyä käyttäjälleen päivittäisessä liikkumisessa. Eniten sähkökäyttöisyys tarjoaa hyötyä huonokuntoiselle käyttäjälle, jolle liikkuminen on muutenkin vaikeaa. Kauppatkat tai lääkärissä asiointi helpottuvat ja kaatumisen riski on pienempi ajettaessa kuin käveltäessä. Vanhuksille ja huonokuntoisille on tarjolla senioriskootteita, mutta niiden raskas paino voi olla este käytölle. Kevyt potkupyörä on huomattavasti käyttäjäystävällisempi, joten sille on tarvetta.

Työn alkuosassa käsitellään kulkuneuvon laillisuutta ja sitä mitä laki velvoittaa sähkökäyttöisen potkupyörän rakentamisessa. Seuraavaksi käsitellään potkupyörään valittuja komponentteja, kuten napamoottoria ja tehonsäädintä kaasukahvoineen. Nämä komponentit ovat tärkeimmät ja kriittisimmät osat projektin toteutuksen kannalta. Runkoon tehtävät muutokset käsittävät uuden takahaarukan ja akkutelineen valmistusta sekä muiden pienempien metallitöiden tekemistä.

Työn keskivaiheessa käsitellään potkupyörän sähköjärjestelmää ja siihen liittyviä komponentteja. Tärkein kohta sähköjärjestelmässä on akkujen valinta ja mitoitus, jotta potkupyörällä voidaan ajaa tavoitteeksi asetettu matka.

Loppuvaiheessa keskitytään pääosin lujoustarkasteluun ja työn tuloksiin, mutta aluksi kerrotaan metalliosien pintakäsittelystä. Lujoustarkastelussa selvitetään uuden takahaarukan saumakohdassa vallitseva jännitys. Työn tulokset ovat seurausta käytännön kokemuksista eli potkupyörällä ajamisesta usean kuukauden ajalta. Tuloksista eli käyttäjäkokemuksista nähdään kuinka hyvin suunnitellut tavoitteet toteutuivat. Potkupyörän muutostyön kustannuksia ei käsitellä, koska työn tilaaja ei halua niitä julkistaa.

2 AJONEUVOLAKI

Ajoneuvolaissa määritetään erityyppiset ajoneuvot ja niihin liittyvät erittelyt, esimerkiksi moottorin teho, massa ja jarrut. Kaikkiin kulkuvälineisiin ajoneuvolakia ei kuitenkaan sovelleta. Ajoneuvolain soveltamisalan ulkopuolelle jäävät ajoneuvot 1. luvun 2§ mukaan: Ajoneuvolakia ei sovelleta vammaisen käyttöön valmistettuun enintään 1 kW:n tehoisella moottorilla varustettuun pyörätuoliin tai vastaavaan apuvälineeseen, jonka huippunopeus on enintään 15 kilometriä tunnissa. (Finlex, Ajoneuvolaki 2002.)

Potkupyörä jää ajoneuvolain ulkopuolelle; sitä ei tarvitse rekisteröidä tai katsastaa, jos edellä mainitut ehdot täyttyvät. Näistä ehdoista saadaan rajat moottorin teholle ja potkupyörän huippunopeudelle.

3 SUUNNITTELUN PERUSTEET

Asiakkaan toiveiden mukaan potkupyörän moottorin piti olla napamoottori. Lisäksi akkuina piti olla geeliakut niiden edullisuuden vuoksi. Potkupyörän nopeuden tuli olla noin 5 km/h eli reipas kävelyvauhti. Lisäksi ajomatkan piti olla noin 5 km. Nämä halutut suureet määrittivät napamoottorin ja akkujen valinnan.

Potkupyörän rakenteellinen muutos piti olla myös mahdollisimman vähäinen ja yksinkertainen. Potkupyörän käytön piti olla helppoa, minkä vuoksi siitä haluttiin mahdollisimman kevyt. Lisäksi akkujen lataamisen piti olla helppoa. Lopuksi potkupyörän ohjausta piti parantaa pallonivelillä.

Alun perin oli tarkoitus suunnitella potkupyörään myös istuin. Se olisi helpottanut ajamista, koska ei olisi tarvinnut seisoa koko ajon ajan. Tästä suunnitelmasta kuitenkin luovuttiin. Istuimen suunnittelu jätettiin toiseen ajankohtaan, koska tärkeintä oli saada ensin potkupyörä ajokuntoon.

4 POTKUPYÖRÄN MOOTTORI

Moottorin valinnalle oli asetettu tietyt kriteerit; moottorin tuli olla tasavirralla toimiva ja sen huippunopeus olisi noin 5 km/h. Lisäksi moottorin piti olla napamoottori, jossa moottori on yhdistetty vetävän pyörän sisään. Moottorin käyttöjännite sai olla 12, 24, 36 tai 48 V, jotta akku tai akut ja laturi olisivat helposti saatavissa.

4.1 Moottorin valinta

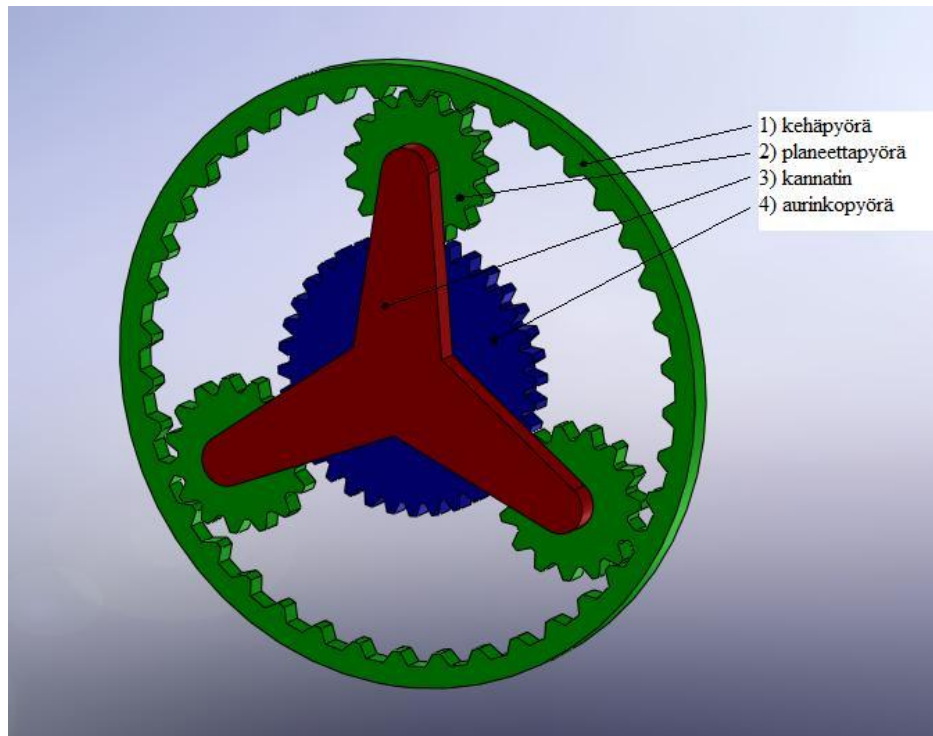
Potkupyörän moottoriksi oli tarjolla muutamia malleja, jotka täyttivät halutut kriteerit. Eräs malli oli tarkoitettu sähköavusteiseen polkupyörään, mutta se oli kooltaan liian suuri eli 16 tuumaa. Lopulta kiinalaisesta verkkokaupasta löytyi 8-tuumainen napamoottori, joka täytti vaaditut kriteerit.

4.2 Napamoottorin toimintaperiaate

Potkupyörään valitussa napamoottorissa yhdistyvät sähkömoottori ja planeettapyörästö. Sähkömoottori on tyypiltään sarjaan kytketty harjallinen tasavirtamoottori. Planeettapyörästön tehtävä on pyörimisnopeuden alentaminen, minkä vuoksi vääntömomentista saadaan suurempi.

Harjallisessa tasasähkömoottorissa johdetaan sähkövirta harjojen kautta ulkoisesta virtalähteestä ankkurikämeihin. Ankkurikämin eri puoliskojen johtimissa virta kulkee päinvastaisiin suuntiin toisiinsa nähden aiheuttaen työntövoimat. Myös työntövoimat ovat vastakkaisuuntaisia toisiinsa nähden. Ankkurin akselin ollessa laakeroitu aiheutuu työntövoimista pyörimisliike. (Juhala, Suominen & Tammi 2001, 215–216.)

Planeettapyörästöjä käytetään napavaihteistojen lisäksi esimerkiksi automaattivaihteistoissa. Planeettapyörästöön kuuluvat pääosat ovat kuvan 1 mukaiset; kehäpyörä, planeettapyörät, kannatin ja aurinkopyörä. Mikä tahansa pyöristä voi olla käyttävänä, käytettynä tai lukittuna, minkä vuoksi välityksiä on paljon. Välityksiä vaihdetaan käyttämällä kytkimiä ja jarruja. Planeettapyörästö on pienikokoinen, minkä vuoksi se vie vähän tilaa. (Köpf, Schmidt, Schramm & Schwab 2002, 657.)



KUVA 1. Planeettapyörästäön pääosat

Potkupyörän napamoottorissa on myös kaksitoiminen sähkömagneettinen jarru. Toimintojen vaihto tapahtuu vivulla, joka on moottorin yhteydessä. Jarrun vivun ollessa ensimmäisessä asennossa jarru on kytketty, kun päävirta on suljettu. Toisessa asennossa jarrun poiskytkentä tapahtuu erillisellä sähköpiirillä. Sähköpiirin ollessa suljettu jarru on poiskytketty. Piirin ollessa avoimena jarru on kytketty. Tätä kytkentää voidaan ohjata esim. keinukatkaisimella. Potkupyörän käyttöä varten päädyttiin ensimmäiseen vaihtoehtoon. Toista vaihtoehtoa varten asennettiin johtimet valmiiksi, jos jarrun toiminnan haluaa muuttaa.

4.3 Napamoottorin tekniset tiedot

Sähkömoottorin käyttöjännite on 24 V ja ottovirta maksimissaan noin 10 A. Ottoteho on noin 240 W ja antoteho 180 W. Suurin vääntömomentti on 13,44 Nm pyörimisnopeudella 123,6 rpm, joka vastaa pyörimisnopeutta 2,1 r/s. Renkaan kehänopeus on kuormitettuna 4,9 km/h, joka on siis potkupyörän huippunopeus. Rengas on täyskuminen ja sen halkaisija on 210 mm. Napamoottorin oma massa on 4,8 kg ja kantavuus 181 kg. Koska kantavuus on suuri ja paino jakautuu useammalle pyörälle, napamoottorin laakerirasitus jää pieneksi.

5 MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄ

Potkupyörän moottorinohjausjärjestelmä koostuu kahdesta osasta: tehonsäätimestä ja kaasukahvasta. Molemmat osat tilattiin samasta verkkokaupasta Yhdysvalloista. Yhteensopivuusongelmia ei ollut, koska tehonsäädin ja kaasukahva myytiin pakettina. Kaasukahvan lisäominaisuutena on akun varaustilan näyttö. Alun perin oli tarkoitus, että kaasu olisi peukalolla painettava, mutta saatavuusongelmien vuoksi oli valittava ranteella kierrettävä malli.

5.1 Tehonsäädin

Tehonsäätimen käyttöjännite on 24 V ja maksimi antovirta 30 A. Moottorin ottaman virran ollessa reilu 10 A tehonsäätimen kuormitus jää pieneksi. Tehonsäädin valittiin tarkoituksellisesti mahdollisimman tehokkaaksi, jotta sitä voisi haluttaessa käyttää tehokkaammissa moottoreissa muissa laitteissa. Kuvassa 2 on tehonsäädin hieman modifioituna. Alkuperäiset liittimet on poistettu akuille menevistä johtimista (paksumpi punainen ja musta johdin) ja korvattu ne suojatulla lattaliitinholkeilla, joihin käy 4–6 mm² kaapeli. Tehonsäätimestä akuille ja moottorille menevät johtimet ovat kooltaan 6 mm². Moottorille menevät johtimet ovat vihreä ja sininen, ja niissä on yksi yhteinen liitin. Liittimeen kävi suoraan tavalliset lattaliittimet, joten sitä ei tarvinnut korvata. Kaasukahvalle menevät johtimet ovat mustassa liittimessä, johon kävi suoraan kaasukahvan oma liitin. Ohuimmat johtimet musta ja punainen jäivät käyttämättä. Ne liittyivät lataukseen (punainen) ja jarruun (musta). Johtimien mahdollisista kytkennöistä ei kerrottu tuoteselosteessa.



KUVA 2. Tehonsäädin (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

Tehonsäätimen toiminta perustuu pulssinleveysmodulaatioon (PWM eli Pulse Width Modulation). PWM-tekniikassa tehoa säädetään pulssisuhteella. Pulssisuhteen pieni arvo kuvastaa pientä antotehoa. Vastaavasti suuri pulssisuhte kuvastaa maksimitehoa. Tehonsäätö tapahtuu portaattomasti muuttamalla pulssisuhdetta. (Koskinen 2002, 21.)

Kyseisessä tehonsäätimessä pulssisuhteella ohjataan tehonsäätimen transistoria, josta sähkövirta kulkeutuu moottoriin. Pulssisuhte muutetaan potentiometrillä. Potentiometri sijaitsee kaasukahvassa, jonka kääntäminen muuttaa pulssisuhteen.

Potentiometrin toiminta perustuu metallijohtimen pituudesta riippuvaan johtimen vastusarvon muuttumiseen. Vastuksen päihin syötetään jännite ja sen päällä liikkuvalla koskettimella jännite riippuu koskettimen sijainnista. (Juhala ym. 2001, 140.)

5.2 Kaasukahva

Kaasukahvan tehonsäätimelle syöttämä jännite on 1–4 V potentiometrin asennon mukaan. Kaasukahvassa on myös akun varaustilan näyttö, joka on tehty led-valoilla. Asteikko on kolmi-portainen: FULL (vihreä valo), HALF (keltainen valo) ja LOW (punainen valo). Kaasukahvassa on viisi johdinta, mutta niiden toimintoja ei kerrottu tuoteselosteessa. Osa johtimista on joka tapauksessa varauksen näyttöön ja loput te-

honsäätöön. Kaasukahva asennettiin työntämällä se oikeanpuoleiseen ohjaustankoon ja kiristämällä ruuvi. Ennen kuin kaasukahva asennettiin, piti irrottaa oikeanpuoleinen kuminen kädensija. Kumisesta kädensijasta leikattiin pois kaasukahvan kädensijan pituinen pala, jotta molemmat kädensijat olisivat samanpituisia. Kuvassa 3 on kaasukahva, jossa näkyy osa akun varaustilan ledeistä.



KUVA 3. Kaasukahva (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

6 RUNGON MUUTOKSET

Potkupyörän runko muutettiin pääosin kolmesta kohtaa. Ensimmäisessä vaiheessa valmistettiin uusi takahaarukka, johon napamoottori kiinnitettiin. Toisessa vaiheessa valmistettiin akuille teline, johon kiinnitettiin akkukotelo akkuineen. Kolmannessa vaiheessa muutettiin raidetanko ohjauksen parantamiseksi. Lopuksi tehtiin viimeistelytyöt. Osat hitsattiin käyttämällä Mig-hitsausta.

6.1 Takahaarukan valmistus

Potkupyörästä haluttiin takavetoinen, joten napamoottori asennettiin takahaarukkaan. Napamoottorin olisi voinut asentaa myös etuhaarukkaan, mutta muutostyö olisi ollut hankalampi. Lisäksi napamoottorin pyörivä massa olisi aiheuttanut ohjausta häiritsevän hyrrävoiman. Muutostyö päätettiin tehdä niin, että potkupyörä voitaisiin palauttaa tarpeen tullen alkuperäiseen tilaansa. Alkuperäinen haarukka poistettiin potkupyörästä sahaamalla se irti, minkä vuoksi se voidaan kiinnittää takaisin hitsaamalla.

Vanhan takahaarukan tilalle valmistettiin uusi haarukka, johon napamoottori asennettiin. Alkuperäinen haarukka koostui kahdesta putkesta, ja ne oli yhdistetty toisiinsa laipalla. Uusi haarukka valmistettiin niin, että haarukkaputket olivat erillisiä ja ne hitsattiin kiinni suoraan runkoon. Napamoottorin asennuspalat valmistettiin lattaraudasta. Lattaraudan palat hitsattiin kiinni litistettyjen haarukkaputkien päihin. Lattarautojen päihin tehtiin urat, joihin moottorin akselinpää upotettiin. Lattarautoihin tehtiin myös reiät akselin suojein ja lokasuojan kiinnitystä varten. Kuvassa 4 on uusi haarukka paikoilleen hitsattuna. Tässä vaiheessa lattarautoista puuttuivat reiät edellä mainituille osille.



KUVA 4. Uusi takahaarukka (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

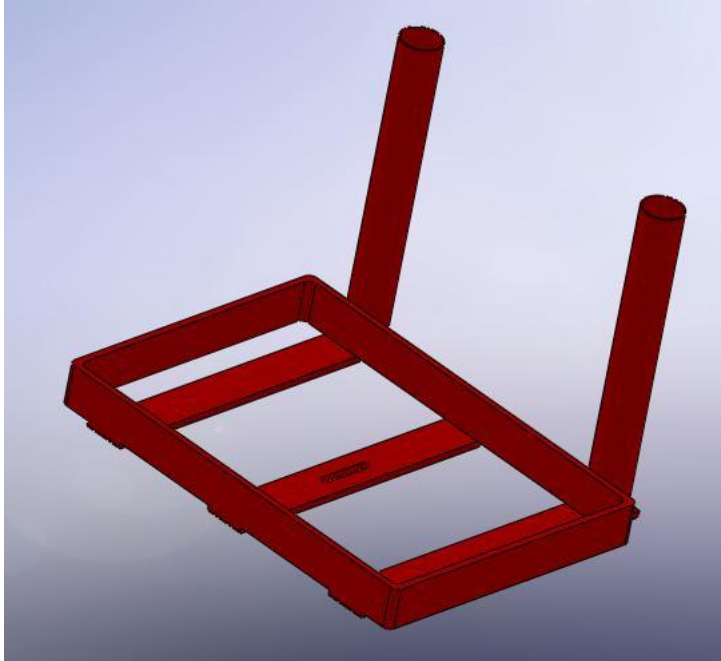
6.2 Akkutelineen valmistaminen

Akkutelineen paikaksi valittiin runkopuoliskoja yhdistävän tukikehikon alapuoli. Sijoituspaikan etuna olivat: alempi painopiste, teline ei ollut jalkojen tiellä ja kaasukahvan johto ylettyi hyvin tehonsäätimeen, joka oli akkukotelossa. Näin ollen johtoa ei tarvinnut jatkaa. Kuvassa 5 on akkuteline paikoilleen asennettuna. Teline on hitsattu kiinni kannatinputkistaan tukikehikon alaosaan.



KUVA 5. Akkuteline asennettuna (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

Akkuteline valmistettiin osittain samasta putkesta kuin takahaarukka. Lisäksi valmistuksessa käytettiin 5x30 mm:n lattarautaa kehikon tekemiseen. Kehikon keskellä olevassa lattaraudassa on kolo akkukotelon lukitusta varten (kuva 6). Akkukotelon kiinnityksestä tarkemmin kappaleessa 7.2 akkukotelo.



KUVA 6. Akkuteline

6.3 Ohjauksen modifiointi

Potkupyörän ohjauksen muutokset koskivat raidetangon päiden rakenteen muuttamista tukevimmiksi ja välyksen poistoa raidetangon päistä. Alkuperäinen raidetanko koostui teräsputkesta, jonka päät oli litistetty ja niihin oli porattu reiät. Raidetanko oli kiinnitetty etuhaarukoiden ulokkeisiin ruuveilla ja muttereilla. Koska potkupyörä oli vanha ja käytössä kulunut, raidetangon päiden reiät olivat suurentuneet. Tästä syystä ohjauksessa oli välystä, joka vaikeutti potkupyörällä ajamista.

Ohjauksen parantamiseksi raidetangon päihin kiinnitettiin pallonivelet, jotka olivat jo hankittu valmiiksi. Pallonivelissä oli kiinnitystä varten M8-ruuvi sekä reikä. Palloniveliin raidetankoon kiinnitystä varten, tankojen päät piti sahata poikki. Litistetyt kohdat sahattiin kokonaan pois ja raidetangosta jäi jäljelle suora putki. Putken päihin upotettiin 50 mm pitkät M8-ruuvit kanta edellä. Ennen kuin ruuvit mahtuivat päihin, niiden kannat viilattiin putken sisähalkaisijan kokoisiksi. Sen jälkeen ruuvit hitsattiin kiinni

raidetankoon. Tämän jälkeen pallonivelet voitiin kiinnittää raidetangon päissä oleviin ruuveihin kiertämällä. Vasempaan päähän lisättiin mutteri, jolla tanko voidaan lukita palloniveleen. Palloniveliä toiset päät kiinnitettiin haarukoiden ulokkeisiin. Ulokkeissa oli valmiina reiät, mutta ne olivat liian pienet. Reiät porattiin isommiksi 8 mm:n poralla, jotta palloniveliä ruuvit mahtuisivat niistä läpi. Kiinnitys tapahtui työntämällä pallonivelen ruuvi ulokkeen yläpuolelta läpi sekä kiinnittämällä aluslevy ja mutteri alapuolelta. Kuvassa 7 on uusittu raidetanko asennettuna potkupyörään.



KUVA 7. Raidetanko asennettuna (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

Raidetangon muutos mahdollisti ohjauksen säätämisen. Tässä tapauksessa kyse oli aurasikulman säädöstä. Aurasikulmalla tarkoitetaan kulkuneuvon pituusakselin ja renkaan välistä kulmaa. (Dick, Mrotzek, Stein & Wimberger 2002, 684.)

Potkupyörän aurasikulmaa voidaan säätää seuraavalla tavalla: ensin irrotetaan pallonivel haarukan ulokkeesta, jossa ei ole lukitusmutteria. Seuraavaksi palloniveltä pyöritetään joko myötäpäivään, jolloin aurasikulma pienenee, tai vastapäivään, jolloin aurasikulma suurenee. Kun säätö on tehty, pallonivel kiinnitetään takaisin haarukkaan.

6.4 Rungon viimeistelytyöt

Potkupyörän viimeistelyä varten jouduttiin tekemään pienempiä asennuksia ja muutoksia. Napamoottorin akselin päihin piti tehdä suojat sähköjohtimia varten. Johtimet tulivat suoraan läpi ontosta akselistä, joten ne piti suojata mahdollisilta kolhuilta. Ak-

selin suojat valmistettiin samasta 30 mm:n putkesta kuin takahaarukka. Suojat ovat noin 35 mm pitkät ja niiden päät ovat peitetty kiinnihitsatuilla teräslevyn paloilla. Suojien kiinnittämiseksi avonaisiin päihin hitsattiin ulokkeet, joihin tehtiin reiät. Kiinnitys tapahtui M6-ruuveilla ja -muttereilla takahaarukassa oleviin kiinnitysreikiin. Kuvassa 8 ovat suojat ennen asennusta.



KUVA 8. Akselin päiden suojat (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

Napamoottorin yhteyteen asennettiin myös alkuperäinen lokasuoja, jota varten valmistettiin uusi kiinnitin. Kiinnitin valmistettiin 1 mm:n paksuisesta ja noin 25 mm leveästä pellistä. Kiinnitin asennettiin potkupyörän takahaarukkaan samaan kohtaan ja samalla ruuvilla kuin sisempi akselin suoja. Lokasuojan etuosa kiinnitettiin seisomalustaan pellin palalla ja ruuvilla. Kuvassa 9 näkyvät lokasuoja sekä kaikki muut asennuksessa käytetyt komponentit.



KUVA 9. Lokasuoja ja akselinpäiden suojat asennettuina (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

7 SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Sähköjärjestelmän käsittelyssä keskitytään akkujen valintaan, akkukotelon tekemiseen, johdotukseen ja sähköjärjestelmässä oleviin komponentteihin. Sähköjärjestelmän tekemisessä vei eniten aikaa akkukotelon muokkaaminen. Koteloon piti asentaa lähes kaikki sähkökomponentit pois lukien napamoottori, joten sovitustyötä oli paljon. Moottorinohjaus kuuluu myös sähköjärjestelmään, mutta se käsiteltiin jo aikaisemmin luvussa 5 moottorinohjausjärjestelmä.

7.1 Akut

Potkupyörän akkujen valintaan vaikuttivat akkutyypin, akkujen jännite, varauskyky ja hinta. Myös akkujen painolla oli merkitystä: liian raskaat akut eivät tulleet kysymykseen. Akkujen tyyppiä haluttiin geeliakku, minkä vuoksi hinnalla ja varauskyvyllä oli suurin merkitys. Akkujen jännite on yleensä 12 V, minkä vuoksi kyseisiä akkuja tarvitaan kaksi sarjaankytkettynä, koska napamoottori toimii 24 V:n jännitteellä.

7.1.1 Akkujen sarjaankytkentä

Sarjaankytkennällä tarkoitetaan kahden tai useamman virtalähteen kytkemistä toisiinsa. Kytkeminen tapahtuu siten, että ensimmäisen virtalähteen miinusnapa kytketään toisen virtalähteen plusnapaan ja kolmannen plusnapa edellisen miinusnapaan jne. Lopulta kytkemättä jäävät ensimmäisen virtalähteen plusnapa ja viimeisen miinusnapa. Kytkemättömistä navoista muodostuvat virtalähteen navat. (Juhala ym. 2001, 9.)

7.1.2 Akkujen kapasiteetti

Akkujen kapasiteetin määräsi haluttu ajomatka. Asiakkaan toiveena oli, että potkupyörällä voisi ajaa noin 5 km. Tämä tarkoittaa noin yhden tunnin ajoaikaa, koska potkupyörän nopeus on noin 5 km/h. Potkupyörän nopeus on sama kuin napamoottorin kehänopeus.

DIN-normin mukaan akussa on oltava merkittynä ainakin akun nimellisjännite (V) ja varauskyky (Ah). Ilmoitettu varauskyky vastaa yleisimmin 20 tunnin aikaa, jolloin akun varauskyky kulutetaan. Esimerkiksi 60 Ah akku puretaan tyhjäksi 20 tunnin aikana, purkausvirta on $60 \text{ Ah} / 20 \text{ h} = 3 \text{ A}$. Purkausvirran ollessa suurempi kuin 3 A akku tyhjenee nopeammin. Vastaavasti purkausvirran ollessa pienempi kuin 3 A sähkömäärä on suurempi. (Juhala ym. 2001, 261–262.)

Napamoottorin virrankulutus maksimiteholla on noin 10 A ja vaadittu yhtäjaksoinen ajoaika yksi tunti. Näiden tietojen perusteella akkujen varauskyky olisi $10 \text{ A} \cdot 1 \text{ h} = 10 \text{ Ah}$. Edellisen esimerkin mukaan akkujen kapasiteetin tulisi olla $20 \text{ h} \cdot 10 \text{ A} = 200 \text{ Ah}$, jos sähkömäärän pitäisi riittää yhtäjaksoisesti 20 tuntia. Kumpikaan edellinen laskumalli ei päde, joten laskemista pitää soveltaa. Purkausaika on vain yksi tunti, joten akkujen varauskyky putoaa nopeammin. Tämän vuoksi akkujen kapasiteetti pitää paremminkin valita kuin laskea. Akkujen kapasiteetiksi valitaan 20 Ah, jolloin varauskyky on periaatteessa kaksinkertainen verrattuna sähkömäärän kulutukseen.

7.1.3 Akkujen tyyppi

Alun perin oli jo selvää, että akkuina käytetään hyytelö- eli geeliakkuja. Vaihtoehtoina olisivat olleet joko AGM-akut tai litiumakut, jos ne eivät olisi olleet niin kalliita. AGM-akut olisivat nostaneet akkukustannukset kaksinkertaisiksi ja litiumakut noin nelinkertaisiksi.

Geeliakussa akkuhappo on geelimäistä, minkä vuoksi akku kestää paremmin tärinää kuin tavallinen akku, jossa neste on vapaana. Geeliakut ovat täysin suljettuja, minkä vuoksi ne ovat myös huoltovapaita. (Heaviside Oy 2012.)

Geeliakut sopivat hyvin sykliseen käyttöön, jossa lataus- ja purkukertoja tulee tiheään. Lataus- ja purkausvirrat ovat pieniä. Geeliakun itsepurkautuminen on vähäistä verrattuna perinteisiin akkuihin. Geeliakut sopivat mainiosti esimerkiksi pyörätuoleihin, golfautoihin ja sähkömopoihin jne. (Akkuvoima Oy 2011.)

7.1.4 Akkujen valinta

Akuiksi valittiin kaksi 12 V:n geeliakkua (kuva 10), jotka soveltuvat sykliseen käyttöön. Akkujen kapasiteetti oli lähinnä haluttua 20 Ah:n varauskykyä. Kyseinen valinta johtui pitkälti kustannussyistä, koska nämä akut olivat todella halpoja. Akkujen koko oli kuitenkin hyvä, minkä vuoksi akkujen kotelo löytyi helposti. Akut painoivat yhteensä 15,4 kg, mikä oli siedettävää.



KUVA 10. Geeliakku 12 V 17 Ah (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

7.2 Akkukotelo

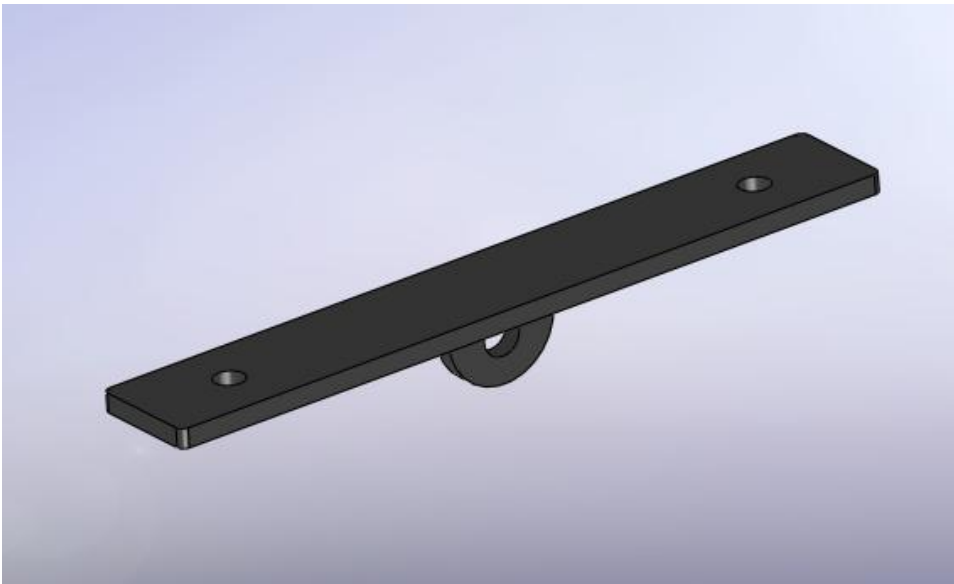
Geeliakut koteloitiin tavalliseen akkukoteloon, joita löytyy autotarvikeliikkeistä. Valittuun koteloon mahtuu noin 70 Ah:n ajoneuvoakku. Koteloa piti muokata huomattavasti, jotta kaikki tarvittavat sähköiset komponentit sopisivat kunnolla oikeille paikoilleen. Koteloon asennettiin kaksi akkua, tehonsäädin, sulakkeita, katkaisimia, johtimia ja päävirtakytkin.

Kotelo haluttiin eristää siksi, että potkupyörää voisi käyttää kylmällä ilmalla. Kotelon sisäpuolelle kiinnitettiin noin 10 mm paksua eristelevyä. Levyssä oli muovikuori ja styroksiydin. Levyt kiinnitettiin kotelon sisäpintaan ajoneuvokäyttöön tarkoitetulla koriteipillä ja ruuveilla. Kotelon kansi jätettiin eristämättä, mutta siinä voidaan käyttää eristeenä solumuovia, joka taipuu kannen muotoihin. Seuraavaksi koteloa piti madaltaa, jotta kotelo ei olisi liian suuri. Kotelon yläreunasta poistettiin muovia noin 20 mm sahaamalla. Koteloon ja irralliseen kanteen asennettiin saranat ja ne kiinnitettiin ruuveilla sekä nyloc-muttereilla.

Koteloon tehtiin väliseinä, joka valmistettiin samasta eristelevystä kuin kotelon eristys. Väliseinä pitää akut erillään, minkä vuoksi ne eivät hankaudu toisiaan vasten. Lisäksi väliseinä tukee koteloa. Väliseinän levy pysyy paikallaan akkujen tukemana, minkä vuoksi sitä ei kiinnitetty erikseen. Akut sijoitettiin kotelon sisään limittäin, koska akut ovat sisätilaa kapeampia. Akkujen sivusuuntaista liukumista estämään kotelon

pohjalle kiinnitettiin palat eristelevy. Kotelon tyhjä tila hyödynnettiin asentamalla sinne eri komponentteja. Etummaisena akun viereen asennettiin päävirtakytkin ja latauspiirin komponentteja. Taimmaisena akun viereen asennettiin tehonsäädin.

Kotelon kannen lukitsemiseksi koteloon kiinnitettiin ruostumattomasta teräksestä valmistettu salpa, joka voidaan lukita erillisellä riippulukolla. Salpa kiinnitettiin ruuveilla ja nyloc-muttereilla, jotta salpaa ei voi irrottaa ruuvitaltalla rikkomatta kotelo tai sen kantta. Kotelo kiinnitetään akkutelineeseen kotelon mukana tulleella hihnalla. Kiinnityksen varmistamiseksi akkukotelon pohjaan valmistettiin erillinen kiinnike (kuva 11). Kiinnike asennettiin kotelon pohjaan ruuveilla ja nyloc-muttereilla. Lattaraudassa oleva uloke lävistää akkutelineen pohjassa olevan aukon, minkä vuoksi akkukotelo voidaan lukita akkutelineeseen erillisellä lukolla.

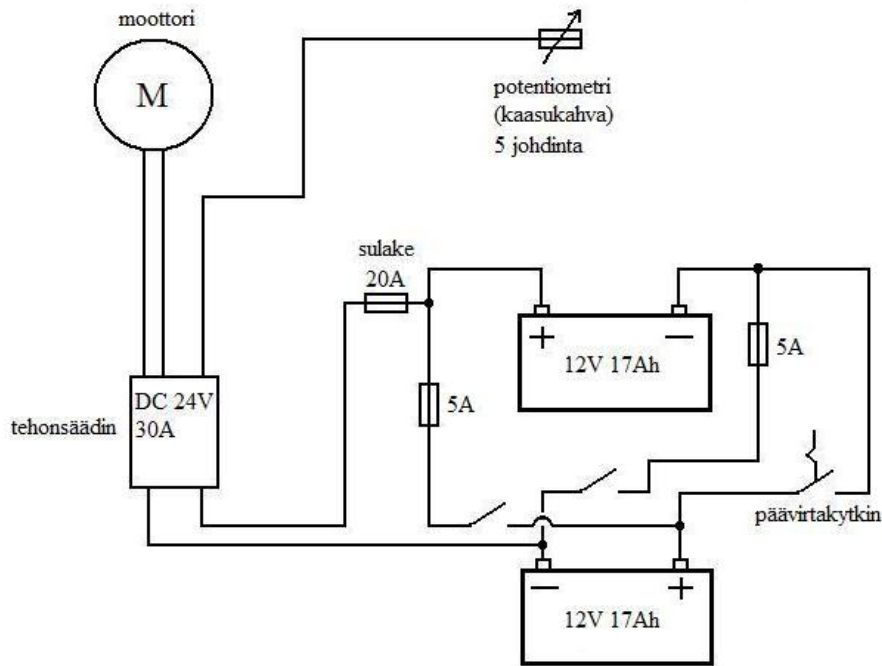


KUVA 11. Akkukotelon kiinnike

7.3 Kytkenät

Ensimmäiseksi akut kytkettiin sarjaan: Ensimmäisen akun plusnapa kytkettiin toisen akun miinusnapaan johtimella, jonka väliin kytkettiin päävirtakytkin. Kahdesta vapaana olevasta navasta johtimet kytkettiin tehonsäätimelle. Plus navasta lähtevän johtimen väliin kytkettiin pääsulake ja sen koko on 20 A. Tehonsäädin ei voi rikkoutua liian suuresta virrasta, koska tehonsäätimen nimellinen virransietokyky on 30 A. Kaasukahva eli potentiometri kytkettiin suoraan tehonsäätimeen valmiilla johtosarjalla. Latauspiirissä akkujen plusnavat liitettiin yhteen ja johdinten väliin kytkettiin keinukat-

kaisimet sekä sulakkeet. Miinusnavat kytkettiin samalla tavalla kuin plusnavat. Kytkentöjen tarkoitus selvitetään kohdassa 7.5 latausjärjestelmä. Lopuksi napamoottorilta kytkettiin kaksi johdinta tehonsäätimeen. Kuvassa 12 on sähköjärjestelmän kytkentäkaavio.



KUVA 12. Kytkentäkaavio

7.4 Sähköjärjestelmän komponentit

Sähköjärjestelmässä käytettiin tavallisia ajoneuvokäyttöön tarkoitettuja komponentteja, joita saa useista kaupoista. Kytkennöissä käytettiin pääosin johteita, liittimiä ja sulakkeita, minkä vuoksi asennukset onnistuivat nopeasti eikä erikoistyökaluja tarvittu.

7.4.1 Johtimet

Asennuksissa käytetyt johtimet olivat RKUB-pienjännitekaapeleita ja ne kestävät jännitettä 100 V. Johtimien koot olivat 4 mm^2 ja $1,5 \text{ mm}^2$ virrankestokyvyiltään 26 A ja 15 A. Kaapeleiden johdinmateriaali on kupari. Suurempaa kaapelia (4 mm^2) käytettiin akkujen sarjoittamiseen, tehonsäätimen kytkemiseen akkuihin ja napamoottoriin. Johtimien värit olivat punainen ja musta. Punaista johdinta käytettiin plusnavoissa ja

mustaa miinusnavoissa. Akkujen sarjaankytkemisessä käytettiin molemman värisiä johtimia: punainen johdin kytkettiin akun plusnapaan ja sieltä edelleen päävirtakytkimeen. Päävirtakytkimeltä kytkettiin musta johdin toisen akun miinusnapaan. Pienempää kaapelia (1,5 mm²) käytettiin latausjärjestelmän kytkennöissä: punaisia johtimia käytettiin plusnavoissa ja mustia johtimia miinusnavoissa.

7.4.2 Katkaisimet

Sähköjärjestelmässä käytettiin katkaisimia kahteen eri tarkoitukseen: päävirran kytkemiseen ja sulkemiseen sekä latausjärjestelmän toimintoihin. Päävirtakytkimessä on avain, jolla virta voidaan kytkeä ja sulkea. Avaimella lisätään myös turvallisuutta, koska ajaminen ei onnistu ilman sitä. Kytkimen jatkuva virrankesto on 100 A ja hetkellinen 250 A. Päävirtakytkin on erilainen kuin kuvassa 13: kiinnitysreikiä on vain kaksi ja takapuolella johdinten kiinnitys tapahtuu kahteen erilliseen ruuviin. Päävirtakytkin kiinnitettiin akkukotelon kylkeen ruuveilla ja muttereilla. Lisäksi tiivistykseen käytettiin silikonia kosteuden estämiseksi.



KUVA 13. Päävirtakytkin (Biltema luettelo 2011, 487.)

Latausjärjestelmässä käytettiin keinukytkimiä latauspiirin kytkemiseen ja sulkemiseen. Kytkimien tarkemmasta tehtävästä on kohdassa 7.5 latausjärjestelmä. Kytkimet ovat on-off-tyyppisiä eli päälle- ja poiskytkentä. Liittäminen tapahtuu lattaliitinholkeilla tai tinaamalla johdin suoraan kiinnityskohtaan. Kytkimet ovat kuvan 14 mukaisia.



KUVA 14. Keinukytin (Biltema luettelo 2011, 49.)

7.4.3 Liittimet ja sulakkeet

Sähköjärjestelmässä kytkentöihin käytettiin useita erimallisia liittimiä. Johdinten kytkemiseen käytettiin puristettavia lattaliittimiä ja lattaliitinholkkeja, joista osa oli suojattuja. Suojattuja liittimiä käytettiin tehonsäätimen yhteydessä. Liittimet ovat johdinpinta-alaltaan 1,5–2,5 mm² (siniset liittimet) ja 4–6 mm² (keltaiset liittimet). Johdinten kytkemiseen keinukatkaisimiin käytettiin myös lattaliittimiä.

Akuilta lähteviin johtimiin liitettiin puristettavat silmukkaliittimet. Silmukkaliittimet kiinnitettiin ruuvien ja muttereiden avulla. Johdinpinta-alaltaan silmukkaliittimet olivat 4–6 mm², mutta silmukan koko vaihteli käyttötarkoituksen mukaan: pienempää mallia käytettiin akuissa ja suurempaa mallia päävirtakytkimessä. Silmukoiden millimetrikoosta ei ollut tarkempaa tietoa. Johdinten jatkamiseen moottorilta tehonsäätimelle ei käytetty liittimiä. Liitokset tinattiin ja suojattiin sähköteipillä. Kuvassa 15 on eri liitintyyppit johdinpinta-alaltaan 1,5–2,5 mm².



KUVA 15. Liittimet (Biltema luettelo 2011, 50.)

Sähköjärjestelmässä käytetyt sulakkeet olivat ajoneuvokäyttöön tarkoitettuja lasiputkisulakkeita. Sulakkeita oli kahta eri kokoa: 5 A sulakkeita käytettiin latausjärjestel-

mässä ja 20 A sulaketta käytettiin akun ja tehonsäätimen välissä. Kuva 16 esittää lasiputkisulaketta.



KUVA 16. Lasiputkisulake (Biltema luettelo 2011, 52.)

Sulakkeet asennettiin käyttämällä sulakkeiden pitimiä: molemmat koot kävivät samaan pitimeen. Suuremmalle sulakkeelle (20 A) yhtä pidintä muokattiin hieman: johtimet irrotettiin ja korvattiin 4 mm² johtimilla. Johtimet vaihdettiin siksi, että ne olisivat samankokoiset kuin muutkin saman linjan johtimet. Kuvassa 17 on sulakkeen pidin alkuperäisenä.



KUVA 17. Putkisulakkeen pidin (Biltema luettelo 2011, 52.)

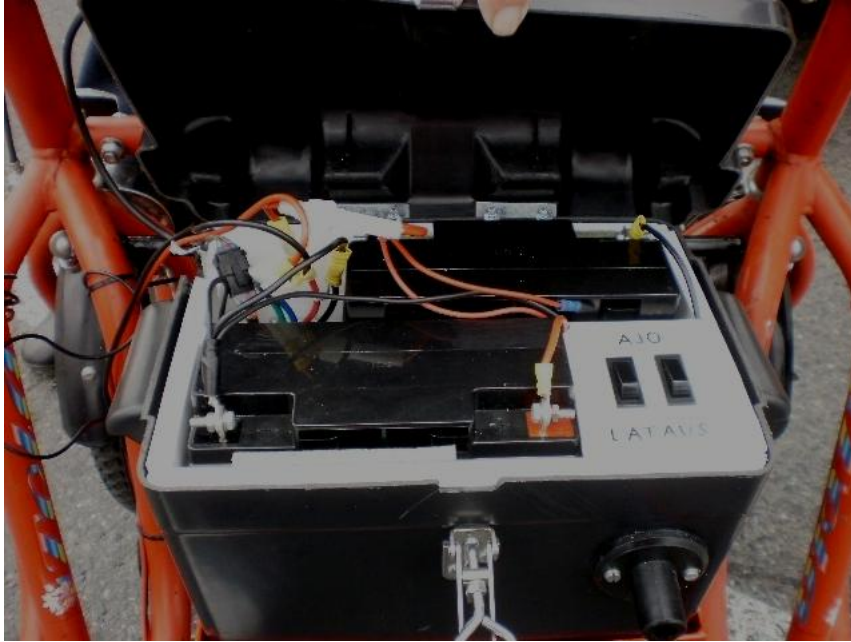
7.5 Latausjärjestelmä

Potkupyörän sähköjärjestelmän jännite on 24 V, mutta latausjärjestelmän 12 V. Tämä johtuu siitä, että sopivaa 24 V:n laturia ei löytynyt samoista yrityksistä, joista muut osat tilattiin. Suomessa olisi ollut tarjolla kuorma-autokäyttöön tarkoitettuja 24 V:n malleja, mutta ne olivat aivan liian kookkaita, kalliita ja tehokkaita. Geeliakuille tarkoitettuja 24 V:n latureita oli tarjolla muutamia, mutta niiden hinta oli liian korkea.

Latausjärjestelmässä akut piti kytkeä rinnan. Rinnankytkennällä tarkoitetaan virtalähteiden samanmerkkisten napojen toisiinsa kytkemistä. Rinnankytkentä edellyttää, että kytkettävien virtalähteiden jännite on sama. (Juhala ym. 2001, 10.)

Rinnankytkentä toteutettiin kytkemällä samanmerkkiset navat toisiinsa. Johdinten väliin kytkettiin keinukatkaisimet ja sulakkeet. Katkaisimilla kytketään tai avataan latauspiiri. Lataustilassa piiri on suljettu, jolloin akut ovat rinnankytkettyinä. Ennen kuin

akkuja ladataan, on tärkeää sulkea sähköjärjestelmän päävirta. Jos päävirta unohdetaan sulkea, akkuihin muodostuu oikosulku. Kuvassa 18 nähdään keinukytkimet, joilla kytketään tai avataan lataus- tai ajotila.



KUVA 18. Keinukytkimet akkukotelossa (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

Oikosululla tarkoitetaan virtalähteen erimerkkisten napojen yhdistymistä. Oikosulku aiheuttaa kuumenemista ja voi vaurioittaa virtalähdettä. Oikosulku voi olla vaarallinen myös ihmiselle suuren sähkövirran takia. (Juhala ym. 2001, 11.)

Oikosulun aikana muodostuu voimakas oikosulkuvirta. Akun napajännite putoaa nol- laan jolloin jännitteenä toimii lähdejännite. Vastuksena toimii vain akun sisäinen resis- tanssi. Tästä johtuen virta kasvaa voimakkaaksi. (Juhala ym. 2001, 27.)

Oikosulun estämiseksi latauspiiriin kytkettiin sulakkeet ja niiden arvot olivat 5 A sekä plus- että miinusnapojen välissä. Sulakkeet estävät myös liian suurta latausvirtaa. Akkuja ei saa ladata suuremmalla virralla kuin 5,1 A (kuva 10), joka on suurin sallittu latausvirta kyseisille akuille.

Laturiksi (kuva 19) valittiin halvin mahdollinen geeliakkujen lataukseen soveltuva mal- li. Laturi soveltuu myös tavallisten lyijyhappoakkujen lataamiseen. Laturin maksimi latausvirta on 4 A ja latauskapasiteetti 1,2–120 Ah. Akkujen kapasiteetti 12 V:n jännit- teellä on kaksi kertaa 17 Ah eli 34 Ah, joten laturin latauskapasiteetti riittää hyvin

akuille. Myös latausvirran määrä (4 A) soveltuu hyvin akkujen lataamiseen, koska virta ei riko latauspiirin sulakkeita (5 A) tai akkuja.



KUVA 19. Monitoimilaturi (Biltema luettelo 2011, 27.)

8 PINTAKÄSITTELY

Pintakäsittelyyn jäi vähän aikaa, joten sen laatuun ei panostettu kovin paljoa. Osien hitsaamisen jälkeen saumat hiottiin lamellilaikalla ja lisäksi hiomapaperilla. Hionnan jälkeen maalattavat pinnat pestiin asetonilla, minkä jälkeen osat maalattiin pensselillä, koska maaliruiskua ei ollut käytettävissä. Maaliksi valittiin punainen Mastonin Hammer yksikomponenttinen metallimaali (kuva 20), joka sisälsi ruosteenestomaalin ja pintamaalin. Maalauksen laatu jäi vähän huonoksi, koska ohentimen puutteen vuoksi maali oli paksua. Peltiosat ja raidetanko maalattiin mustaksi spraymaalilla. Lopputulos oli kuitenkin tyydyttävä ja kelpasi hyvin asiakkaalle.



KUVA 20. Pintamaali rungon osille (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

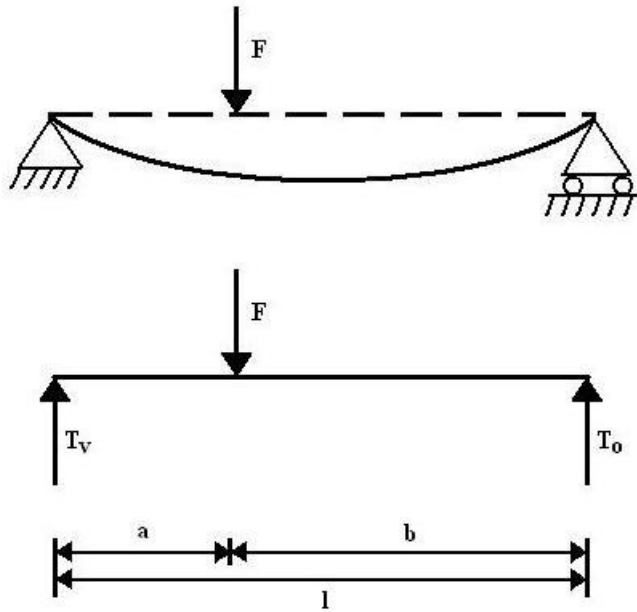
9 LUJUUSTARKASTELU

Lujuustarkastelussa keskitytään takahaarukan liitoskohdan jännityksen laskentaan. Akkutelineeseen tarkastelua ei tehty rasituksen ollessa pienempi. Hitsisaumat tehtiin tasalujina, joten saumojen lujuuksia ei lasketa. Lujuustarkastelua varten kuviteltiin tilanne, jossa vaikuttaa mahdollisimman moni rasitus. Tällainen tilanne syntyy esimerkiksi, kun ajetaan potkupyörällä pieneen ylämäkeen. Ylämäki ei saa olla liian jyrkkä, jotta nopeus ei laskisi. Moottorin maksimivääntömomenti pitäisi olla kuitenkin käytössä. Samalla ajetaan mahdollisimman pieni ympyrä ja seisotaan yhdellä jalalla potkupyörän vasemmalla puolella lähellä hitsisaumaa. Kuvitellun ajotilanteen aikana oikeanpuoleiset renkaat eivät vastaanottaisi voimia. Tässä tilanteessa kuljettajan pitäisi lisäksi kallistua kohti ympyräliikkeen keskipistettä, jotta kyseinen tila saavutettaisiin.

Rasituksia laskettaessa tarkastellaan kutakin voimia aiheuttavaa tilannetta erikseen ja lopuksi yhdistetään niistä aiheutuvat rasitukset. Ensimmäisenä tarkastellaan kuljettajan aiheuttamia voimia. Toisena lasketaan moottorin vääntömomentista aiheutuvat voimat. Kolmantena lasketaan ympyräliikkeen aiheuttamat voimat. Lopuksi yhdistetään voimat ja niistä aiheutuneet momentit. Voimilla ja momenteilla lasketaan lopuksi haarukan liitoskohdassa vaikuttava jännitys. Kuljettajasta ja moottorin vääntömomentista aiheutuvat voimat ovat pystysuuntaisia ja ympyräliikkeestä aiheutuvat voimat vaakatasoisia.

9.1 Kuljettajan aiheuttamat rasitukset

Kuljettajasta aiheutuu liitoskohtaan kahdenlaista rasitusta: kuljettajan massasta aiheutuva leikkausvoima ja taivutusmomentti. Haarukan liitoskohta on samassa kohtaa kuin kuljettajan jalka, joten voiman ja momentin laskemiseen käytetään 2-niveltukisen kannattimen laskentakaavoja. Voima sijaitsee epäkeskeisesti kannattimella.



KUVIO 1. Epäkeskeinen pistevoima 2-niveltukisella kannattimella.

Laskemista varten potkupyörästä piti mitata akseliväli eli etu- ja takarenkaan keski-kohtien etäisyys toisistaan. Lisäksi piti mitata etäisyys takarenkaan keskeltä haarukan liitoskohtaan, joka oli siis samalla kuljettajan jalan paikka. Edellisen kuvion mukaan voidaan asettaa mitatut etäisyydet. Merkitään akseliväliksi (l), takarenkaan keskeltä haarukan liitoskohtaan oleva etäisyys (a) ja näiden kahden erotus (b). Seuraavassa taulukossa (taulukko 1) ovat mitatut ja laskettu etäisyys.

TAULUKKO 1. Potkupyörän mittatiedot

Akseliväli (l) [mm]	920
Etäisyys saumasta (a) [mm]	270
Erotus ($l-a$)= (b) [mm]	650

Määrätään, että napamoottori sijaitsee vasemmalla puolella ja eturenkas oikealla puolella. Napamoottorin tukivoima on T_v ja eturenkaan T_o . Kuljettajasta aiheutuvaa voimaa merkitään F :llä.

Lasketaan ensin kuljettajasta aiheutuva voima. Kuljettajan kokonaismassana käytetään 100 kg:a, joka sisältää vaatteet ja esimerkiksi selässä olevan repun. Tukivoimien laskennassa ei huomioida potkupyörän omaa massaa. Voima lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$F = mg \quad (1)$$

jossa

F = voima

m = massa

g = putoamiskiihtyvyyys 9,81 m/s².

(Mäkelä ym. 2001, 91.)

Sijoitetaan luvut kaavaan ja lasketaan kuljettajasta aiheutuva voima:

$$F = 100 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 981 \text{ N} \approx 1\,000 \text{ N}$$

Seuraavaksi lasketaan tukivoimat vasemmalle ja oikealle puolelle seuraavilla kaavoilla:

$$T_V = \frac{Fb}{l} \quad (2)$$

$$T_O = \frac{Fa}{l} \quad (3)$$

(Mäkelä ym. 2001, 149.)

Tukivoimiksi saadaan:

$$T_V = \frac{1\,000 \text{ N} * 650 \text{ mm}}{920 \text{ mm}} = 706,52 \text{ N} \approx 707 \text{ N}$$

$$T_O = \frac{1\,000 \text{ N} * 270 \text{ mm}}{920 \text{ mm}} = 293,48 \text{ N} \approx 293 \text{ N}$$

Seuraavaksi tarkastellaan leikkausvoimaa koko akselivälillä. Mäkelän ym. (2001, 149) mukaan leikkausvoima (Q) on voiman F vasemmalla puolella sama kuin tukivoima $T_V = 707 \text{ N}$ ja oikealla puolella $T_V - F = 707 \text{ N} - 1\,000 \text{ N} = -293 \text{ N}$. Lopuksi lasketaan taivutusmomentti, joka vaikuttaa saumakohtassa. Taivutusmomentin arvo on samalla maksimiarvo. Taivutusmomentti lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$M_t = \frac{Fab}{l} \quad (4)$$

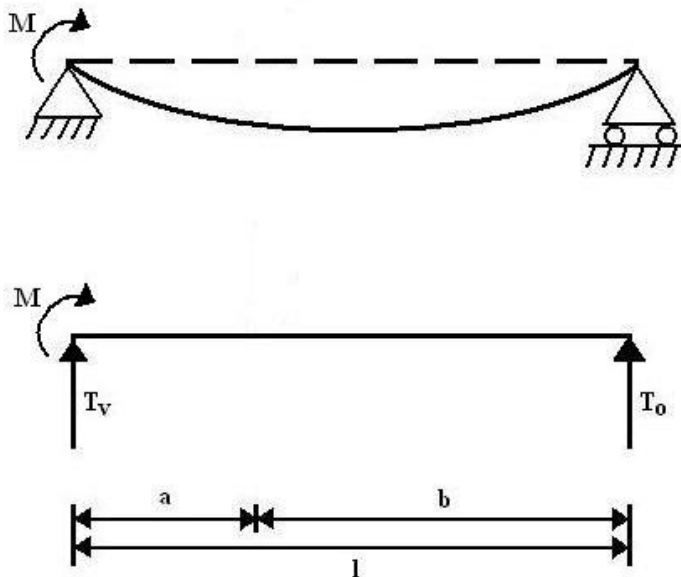
(Mäkelä ym. 2001, 149.)

Taivutusmomentiksi saadaan:

$$M_t = \frac{1\,000\text{ N} * 270\text{ mm} * 650\text{ mm}}{920\text{ mm}} = 190\,760,9\text{ Nmm} \approx 191\,000\text{ Nmm}$$

9.2 Moottorin aiheuttamat rasitukset

Sähkömoottori aiheuttaa momenttivaikutuksen takahaarukkaan, minkä vuoksi renkaiisiin aiheutuu tukivoimat. Tukivoimista aiheutuu leikkausvoiman vaikutus runkoon. Kuviossa 2 on momenttikuorma 2-niveltukisella kannattimella. Moottorin vääntömomentin (M) arvo on 13,44 Nm eli 13 440 Nmm.



KUVIO 2. Momenttikuorma 2-niveltukisella kannattimella

Lasketaan ensimmäisenä tukivoimat seuraavilla kaavoilla:

$$T_V = -\frac{M}{l} \tag{5}$$

jossa

M = moottorin vääntömomentti.

$$T_O = \frac{M}{l} \quad (6)$$

(Mäkelä, ym. 2001, 150.)

Sijoitetaan kaavoihin arvot ja lasketaan tukivoimat:

$$T_V = -\frac{13\,440\text{ Nmm}}{920\text{ mm}} = -14,6\text{ N} \approx -15\text{ N}$$

$$T_O = \frac{13\,440\text{ Nmm}}{920\text{ mm}} = 14,6\text{ N} \approx 15\text{ N}$$

Leikkausvoiman arvo on Mäkelän ym. (2001, 150) mukaan sama kuin vasemman puoleisen tukivoiman eli $Q = -15\text{ N}$, joka vaikuttaa koko välillä. Seuraavaksi lasketaan moottorin vääntömomentin aiheuttama taivutusmomentti saumakohtaan. Mäkelän ym. (2001, 150) mukaan momentin maksimi-arvo on sama kuin moottorin vääntömomentin arvo vasemman puoleisen tukivoiman kohdalla. Taivutusmomentti laskee nolnaan toiseen päähän mentäessä, joten momentin arvo saumakohtassa on maksimiarvon ja nollian välissä. Momentti lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$M_a = +M\left(1 - \frac{a}{l}\right) \quad (7)$$

jossa

M_a = taivutusmomentti etäisyydellä a

M = moottorin vääntömomentti.

Taivutusmomentiksi saumakohtassa saadaan:

$$M_a = 13\,440\text{ Nmm} \left(1 - \frac{270\text{ mm}}{920\text{ mm}}\right) = 9\,495,7\text{ Nmm} \approx 9\,500\text{ Nmm}$$

9.3 Keskipakovoiman aiheuttamat rasitukset

Keskipakovoimasta aiheutuu leikkausrasitus, joka on vaakatasossa. Kokonaisuudessaan käytetään kuljettajan massaa. Kun keskipakovoima on laskettu, voidaan laskea tukivoimat. Keskipakovoima lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$F_{cf} = \frac{mv^2}{r} \quad (8)$$

jossa

F_{cf} = keskipakovoima

m = massa

v = nopeus

r = kulkuneuvon kääntöympyrän säde.

(Brüggen 2002, 37.)

Potkupyörän maksimi nopeus on 4,9 km/h ja mitattu kääntöympyrän säde noin 1,5 m. Säde ei ole keskisäde vaan kaarteeseen sisäpuolen säde. Ennen kuin luvut voidaan sijoittaa kaavaan, täytyy nopeus muuttaa [m/s] arvoon seuraavalla suhteella:

$$1 \text{ km/h} = 0,27778 \text{ m/s.}$$

(Bohrer 2002, 23.)

Potkupyörän nopeus [m/s] on:

$$4,9 * 0,27778 \text{ m/s} = 1,3611 \text{ m/s} \approx 1,36 \text{ m/s}$$

Nyt voidaan laskea keskipakovoima:

$$F_{cf} = \frac{100 \text{ kg} * (1,36 \text{ m/s})^2}{1,5 \text{ m}} = 123,3 \text{ N} \approx 123 \text{ N}$$

Seuraavaksi lasketaan tukivoimat kaavojen 2 ja 3 mukaan. Keskipakovoima kohdistuu potkupyörän keskikohtaan, joten a:n ja b:n arvoiksi merkitään puolet akselivälistä = 460 mm.

$$T_V = \frac{123 \text{ N} * 460 \text{ mm}}{920 \text{ mm}} = 61,5 \text{ N} \approx 62 \text{ N}$$

$$T_O = \frac{123 \text{ N} * 460 \text{ mm}}{920 \text{ mm}} = 61,5 \text{ N} \approx 62 \text{ N}$$

Leikkausvoimaksi saadaan keskipakovoiman vasemmalla puolella $Q = T_V = 62 \text{ N}$ ja oikealla puolella $Q = T_V - F_{cf} = 62 \text{ N} - 123 \text{ N} = -61 \text{ N}$.

9.4 Voimien ja momenttien yhdistäminen

Pystysuuntaiset voimat ja momentit olisi voinut laskea yhdistämällä kuljettajasta aiheutuvan voiman ja moottorin momentin samaan vapaakappalekuvaan. Laskeminen oli kuitenkin helpompaa käyttämällä valmiita kaavoja eri tilanteille. Lopputulos on kuitenkin sama ja helpompi ymmärtää. Tarkastellaan ensimmäisenä pystysuuntainen leikkausvoima ja momentti saumassa. Kuljettajan massasta aiheutuva leikkausvoiman arvo on 707 N sauman vasemmalla puolella ja rajapinnan oikealla puolella -293 N. Moottorin vääntömomentista aiheutuva leikkausvoima on koko välillä -15 N. Rajapinnan vasemmalla puolella leikkausvoimaksi saadaan $Q_V = 707 \text{ N} + (-15 \text{ N}) = 692 \text{ N}$. Rajapinnan oikealla puolella leikkausvoimaksi saadaan $Q_O = -293 \text{ N} + (-15 \text{ N}) = -308 \text{ N}$. Leikkausvoimaksi lujuustarkastelussa valitaan itseisarvoltaan suurempi voima eli 692 N. Taivutusmomentin arvo sauman kohdalla on momenttien summa, eli $M = M_t + M_a = 191\,000 \text{ Nmm} + 9\,500 \text{ Nmm} = 200\,500 \text{ Nmm}$. Vaakatasoisista voimista leikkausvoiman arvo on 62 N eli rajapinnan vasemman puoleinen arvo.

9.5 Saumakohdan jännitykset

Saumassa vaikuttavat jännitykset ovat siis pystysuuntaisesta taivutusmomentista aiheutuva taivutusjännitys ja taivutuksen yhteydessä esiintyvä leikkausjännitys. Lisäksi saumassa vaikuttaa keskipakovoiman aiheuttama vaakatasoinen puhdas leikkausjännitys. Jännitykset lasketaan yhteen, jolloin saadaan kokonaisjännitys. Yksittäiset jännitykset lasketaan seuraavilla kaavoilla järjestyksessä: taivutusjännitys, leikkausjännitys taivutuksen yhteydessä ja puhdas leikkausjännitys.

$$\sigma_y = \frac{M_t y}{I_z} \quad (9)$$

jossa

σ_y = taivutusjännitys

M_t = taivutusmomentti

y = etäisyys jännityksen nollakohdasta

I_z = neliömomentti.

(Mäkelä ym. 2001, 139.)

$$\tau = \frac{QS}{bI} \quad (10)$$

jossa

τ = leikkausjännitys

Q = leikkausvoima

S = laskentakohdan toisella puolella olevan pinnan staattinen momentti painopisteeselin suhteen = Aa

b = laskentakohdan leveys

I = poikkipinnan neliömomentti neutraaliakselin suhteen.

(Mäkelä ym. 2001, 140.)

$$\tau_L = \frac{Q}{A} \quad (11)$$

jossa

τ_L = puhdas leikkausjännitys

Q = leikkausvoima

A = leikkautuva poikkipinta-ala.

(Mäkelä ym. 2001, 139–140.)

Ennen kuin jännityksiä voidaan laskea, pitää selvittää poikkipinnan neliömomentti = $I = I_z$, koska kyseessä on ympyräprofiili. Lisäksi pitää selvittää staattinen momentti $S = Aa$. Neliömomentti lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$I_z = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (12)$$

jossa

D = ympyrärenkaan ulkohalkaisija

d = ympyrärenkaan sisähalkaisija.

(Mäkelä ym. 2001, 145.)

Potkupyörän haarukassa käytetty putki oli ulkohalkaisijaltaan 30 mm ja seinämän vahvuus 2 mm, joten sisähalkaisijaksi saadaan 26 mm. Haarukka koostui kahdesta putkesta, joten kokonaisneliömomentti on kaksi kertaa kaavan 12 antama tulos. Lasketaan kokonaisneliömomentti haarukalle:

$$I_z = 2 * \frac{\pi(30^4 - 26^4)mm^4}{64} = 34\,658\,mm^4 \approx 34\,600\,mm^4$$

Seuraavaksi lasketaan staattinen momentti $S = Aa$. Pinta-ala A on puolikkaan putki-profiilin pinta-ala. Lisäksi pitää selvittää kyseisen pinta-alan painopisteen etäisyys a putken keskipisteestä. Pinta-ala lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$A = \alpha(R^2 - r^2) \quad (13)$$

jossa

α = puolikkaan ympyrärenkaan sektorin kulma

R = ulkohalkaisijan säde

r = sisähalkaisijan säde.

(Mäkelä ym. 2001, 145.)

Lasketaan pinta-ala A, jossa kulma $\alpha = \pi/2$:

$$A = \frac{\pi}{2} (15^2 - 13^2) \text{mm}^2 = 87,96 \text{mm}^2 \approx 88 \text{mm}^2$$

Painopisteen etäisyys a lasketaan kaavalla:

$$a = \frac{2}{3} \frac{(R^3 - r^3) \sin \alpha}{(R^2 - r^2) \alpha} \quad (14)$$

jossa

α = puolikkaan ympyrärenkaan sektorin kulma

R = ulkohalkaisijan säde

r = sisähalkaisijan säde.

(Mäkelä ym. 2001, 145.)

Painopisteen etäisyydeksi saadaan:

$$a = \frac{2}{3} \frac{(15^3 - 13^3) \sin(\pi/2)}{(15^2 - 13^2) * (\pi/2)} \text{mm} = 8,92 \text{mm} \approx 8,9 \text{mm}$$

Staattista momenttia laskettaessa pitää ottaa huomioon, että putkia on kaksi. Tästä syystä momentin arvo pitää kertoa kahdella. Staattiseksi momentiksi painopisteakselin suhteen saadaan:

$$S = 2 * 88 \text{mm}^2 * 8,9 \text{mm} = 1 566,4 \text{mm}^3 \approx 1 570 \text{mm}^3$$

Kokonaisjännityksen laskemiseksi kaikki tarvittavat suureet on laskettu. Kokonaisjännitys on tässä tapauksessa erisuuntaisten voimien komponenttien neliöiden summan

neliöjuuri. Lasketaan ensin yksittäiset jännitykset, jotta saadaan tietää niiden suuruudet. Lopuksi yhdistetään kaikki jännitykset.

Taivutusjännitys:

$$M_t = 200\,500 \text{ Nmm}$$

$$I_z = 34\,600 \text{ mm}^4$$

$$y = 15 \text{ mm}$$

$$\sigma_y = \frac{200\,500 \text{ Nmm}}{34\,600 \text{ mm}^4} * 15 \text{ mm} = 86,92 \text{ N/mm}^2 \approx 87 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys taivutuksen yhteydessä:

$$Q = 692 \text{ N}$$

$$S = 783 \text{ mm}^3$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$I = 34\,600 \text{ mm}^4$$

$$\tau = \frac{692 \text{ N} * 783 \text{ mm}^3}{30 \text{ mm} * 34\,600 \text{ mm}^4} = 1,05 \text{ N/mm}^2 \approx 1 \text{ N/mm}^2$$

Puhdas leikkausjännitys:

Lasketaan ensin haarukkaputkien poikkileikkauksen pinta-ala. Pinta-ala saadaan laskettua, kun puolikkaan putkiprofiilin pinta-ala kerrotaan neljällä: $A = 4 * 88 \text{ mm}^2 = 352 \text{ mm}^2$.

$$Q = 62 \text{ N}$$

$$A = 352 \text{ mm}^2$$

$$\tau_L = \frac{62 \text{ N}}{352 \text{ mm}^2} = 0,176 \text{ N/mm}^2 \approx 0,2 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan yhteen pystysuuntaiset jännitykset:

$$\tau_{pysty} = (87 + 1) \text{ N/mm}^2 = 88 \text{ N/mm}^2$$

Vaakasuuntainen jännitys on:

$$\tau_{vaaka} = 0,2 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan kokonaisjännitys Pythagoraan lauseen avulla:

$$\tau_{kok} = \sqrt{(\tau_{pysty})^2 + (\tau_{vaaka})^2} \quad (15)$$

(Mäkelä ym. 2001, 17.)

$$\tau_{kok} = \sqrt{(88)^2 + (0,2)^2} = 88,0002 \text{ N/mm}^2 \approx 88 \text{ N/mm}^2$$

Saadusta tuloksesta huomataan, että ainoastaan kuljettajasta aiheutuvalla taivutusjännityksellä on merkitystä. Kokonaisjännitys on käytännössä sama kuin taivutusjännityksen arvo. Taulukossa 2 voidaan nähdä eri teräslajien sallittuja taivutusjännityksen arvoja. Potkupyörän teräslajit eivät ole tiedossa, mutta jos materiaalit olisivat esimerkiksi S235-terästä ja kuormitustapa lepäävä, jännitys olisi sallituissa rajoissa.

TAULUKKO 2. Sallittuja taivutusjännityksen arvoja eri teräksille

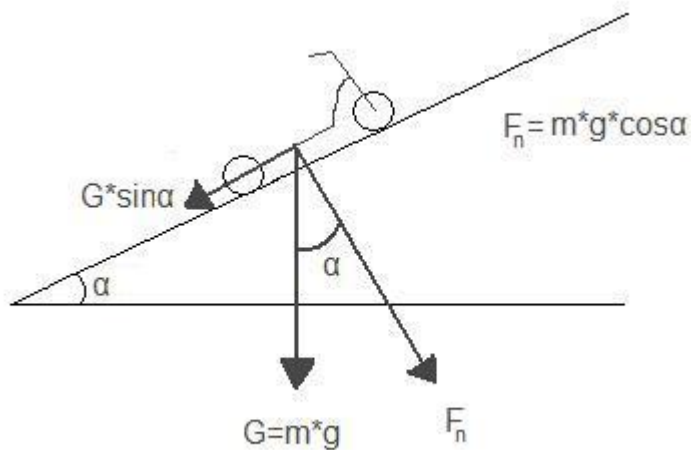
KUORMITUSTAPA	1. LEPÄÄVÄ	2. TYKYTTÄVÄ	3. VAIHTUVA
	S235	E295	E355
Taivutus [Mpa]	1. 110...160	145...215	180...270
	2. 70...105	100..145	120...175
	3. 50...75	70...105	90...125

10 SUORITUSKYKYTARKASTELU

Suorituskykytarkastelussa laskettiin potkupyörän mäennousukyky. Mäennousukyky laskettiin vakionopeudella 4,9 km/h, joka vastaa potkupyörän huippunopeutta. Mäennousukyky laskettiin kulman arvona ja muutettiin vastaamaan prosentuaalista mäennousukykyä.

Ylämäkeen ajettaessa liikettä vastustavia voimia ovat maan vetovoiman aiheuttama voiman komponentti, renkaiden vierinvastuksesta aiheutuva voima ja ilmanvastusvoima. Nopeuden ollessa pieni ilmanvastus jätetään kokonaan pois tarkastelusta. Lisäksi pyöriävästä massasta aiheutuu liikettä vastustava rotaatiovoima, mutta renkaiden pyöriessä hitaasti rotaatiovoimaa ei kannata tarkastella.

Kaltevalla tasolla maan vetovoimasta aiheutuva pinnansuuntainen voima voidaan laskea kuvion 3 mukaan.



KUVIO 3. Nousuvastus

Pinnansuuntainen voiman komponentti estää eteenpäin suuntautuvaa liikettä eli mäennousua voimalla $G \cdot \sin \alpha$. Kaavamuodossa nousuvastus ilmoitetaan seuraavalla tavalla:

$$F_{st} = G \cdot \sin \alpha \quad (16)$$

jossa

F_{st} = nousuvastus

$G = (m = \text{ajoneuvon massa}) \cdot (g = \text{putoamiskiihtyvyy})$

$\alpha = \text{nousukulma.}$

(Binder & Moresche 2002, 381.)

Vierinvastuksesta eli rullausvastuksesta aiheutuva voima F_{ro} koostuu pääosin renkaan ja ajoradan muodonmuutostyöstä. Vierinvastusvoima lasketaan ajoneuvon massan ja renkaan vierinvastuskertoimen avulla. Vierinvastusvoima lasketaan kaavan 17 avulla. (Böckenhoff, Glasner, Moresche & Steinkampf 2002, 378.)

$$F_{Ro} = fmg \quad (17)$$

jossa

$f = \text{vierinvastuskerroin } (\approx 0,01 \text{ arvioitu asfaltilla, auton renkaalla } 0,013)$

$m = \text{kokonaismassa (100 kg)}$

$g = \text{putoamiskiihtyvyy} = 9,81 \text{ m/s}^s$

Kaava ei ole täysin oikea tässä tapauksessa, koska kyseessä on kalteva pinta. Tämän vuoksi kaavaa pitää muokata hieman. Kuvion 3 mukaan pinnansuuntainen normaalivoima F_n on kaltevilla tasolla $m \cdot g \cdot \cos\alpha$. Kaava 17 muutetaan seuraavaan muotoon:

$$F_{Ro} = fmg * \cos\alpha \quad (18)$$

Kokonaisajovastukseksi saadaan nousuvastuksen ja vierinvastuksen summa. Kaavaksi muutettuna kokonaisajovastus on:

$$F_w = F_{st} + F_{Ro} \quad (19)$$

Ajettaessa tasaisella nopeudella moottorin tehon on kumottava kokonaisajovastuksen tarvitsema teho. Moottorin teho maksiminopeudella (1,36 m/s) on noin 180 W. Kun tiedetään moottorin teho ja potkupyörän nopeus, voidaan laskea suurin ajovastus, jonka moottori pystyy kumoamaan. Moottorin käyttöteho saadaan kaavasta 20:

$$P_w = F_w v \quad (20)$$

jossa

$P_w = \text{käyttöteho}$

$F_w = \text{kokonaisajovastus}$

v = kulkuneuvon nopeus
(Böckenhoff ym. 2002, 378.)

Kun edellisestä kaavasta ratkaistaan kokonaisajovastus, muuttuu kaava muotoon:

$$F_w = \frac{P_w}{v}$$

Kokonaisajovastukseksi saadaan:

$$F_w = \frac{180 \text{ W}}{1,36 \text{ m/s}} = 132,4 \text{ N} \approx 132 \text{ N}$$

Liitetään kokonaisajovastuksen paikalle osa-ajovastukset, jolloin saadaan:

$$F_{st} + F_{Ro} = mg * \sin\alpha + fmg * \cos\alpha = 132 \text{ N}$$

Kaavassa on enää tuntemattomana kulma (alfa), jota ei voi ratkaista suoraan. Kulman arvo pitää iteroida, joten sievennetään sitä mahdollisimman paljon, jolloin saadaan:

$$\sin\alpha + 0,01 * \cos\alpha = \frac{132 \text{ N}}{100 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,135$$

Iteroinnin tuloksena kulman α arvolla $7,2^\circ$ saadaan:

$$\sin(7,2^\circ) + 0,01 * \cos(7,2^\circ) = 0,135$$

Mäennousukulmaksi saadaan noin 7° . Muutetaan nousukulma vastaamaan prosentuaalista mäennousukykyä seuraavan kaavan mukaan:

$$p = (\tan\alpha) * 100 \% \tag{21}$$

jossa

p = nousun jyrkkyys

(Böckenhoff ym. 2002, 381.)

Nousun jyrkkyydeksi saadaan:

$$p = (\tan 7,2^\circ) * 100 \% = 12,63 \% \approx 13 \%$$

Mäennousukyvyyn laskettu kulma vastaa melko hyvin todellisuutta koeajojen perusteella. Potkupyörällä ajettiin nopeuden hyytymättä pitkää loivaa mäkeä, jonka nousukulma oli silmämääräisesti sama kuin laskettu kulman arvo. Tarkan nousukyvyyn selvittämiseksi pitäisi tehdä tietenkin kokeelliset mittaukset.

11 KÄYTTÄJÄKOKEMUKSET

Potkupyörän ensimmäinen koeajo tapahtui heti sen jälkeen, kun uusi haarukka oli valmis. Napamoottori asennettiin paikoilleen ja tehonsäädin sekä akut sijoitettiin edessä olevaan kuljetuskoriin. Tehonsäädintä pidettiin toisessa kädessä ja toisella käännettiin kaasua. Moottori toimi heti kaasua käännettäessä ilman mitään ongelmia. Liikkeelle lähtö oli vaivatonta ja moottorin ääni oli todella hiljainen. Planeettavaihteistotakaan ei kuulunut kolahduksia liikkeelle lähdetessä, joten siinä ei ollut isoja väljyksiä. Koeajon jälkeen potkupyörä viimeisteltiin valmiiksi ja luovutettiin omistajalleen.

Potkupyörä on ollut käytössä heinäkuusta 2011 lähtien ja sillä on ajettu paljon. Akkujen kesto on ollut aika tarkalleen noin yhden tunnin verran jatkuvassa ajossa, joten akkujen mitoitus oli ajoajan suhteen onnistunut. Samalla saavutettiin myös noin viiden kilometrin mittainen ajomatka. Akkujen lataaminen on onnistunut hyvin laturilla eivätkä latausjärjestelmän kytkimet ole tuottanut ongelmia. Sulakkeet ovat siis säilyneet ehjinä. Talven tullessa potkupyörän omistaja asensi napamoottoriin itse tekemänsä lumiketjut. Ilman ketjuja ajaminen olisi mahdotonta, koska napamoottorin rengas on melkein sileä. Omistajan mukaan kauppamatkat ovat olleet mukavia, koska liukastumista ei ole tarvinnut pelätä. Koska potkupyörä painaa vain noin 30 kg, potkupyörää säilytetään ja akkuja ladataan omistajan asunnossa. Potkupyörän siirtäminen asuntoon on mahdollista, jos ei tarvitse nousta useita portaita. Sisällä säilytys on myös hyväksi akuille, koska akkujen varaus ei laske lämpimässä niin paljon kuin ulkona kylmässä. Lisäksi potkupyörän varastaminen on vaikeaa.

Potkupyörä on saanut myös julkisuutta mediassa. Potkupyörästä oli artikkeli Soisalon Seutu paikallislehdessä (tiistai 11.10.2011 nro 79 s.7), jossa omistaja esitteli potkupyörää ja sen ominaisuuksia.



KUVA 21. Potkupyörä ajossa. (Valokuva Asko Liukkonen 2011)

12 POHDINTA

Potkupyörän muuttaminen sähköllä toimivaksi onnistui suunnittelun ja toteutuksen kannalta hyvin. Vaikka kyseessä oli prototyyppi, konstruktio oli käytännöllinen. Napamoottori yllätti sitkeydellään ja hiljaisuudellaan. Napamoottorin huonona puolena mainittakoon renkaan muoto. Rengas oli tarkoitettu lähinnä sähköllä toimivaan karruun tai vastaavaan laitteeseen. Renkaan pinta oli kova, joten sillä on helposti pito-ongelmia pehmeällä tai liukkaalla alustalla. Hyvä puoli oli, että täyskuminen rengas ei puhkea.

Tehonsäätimen ja kaasukahvan hankkimisessa oli hieman saatavuusongelmia. Alun perin oli tarkoitus hankkia peukalolla painettava kaasua. Potkupyörä piti saada nopeasti käyttöön, joten kaasun malli vaihdettiin ranteella kierrettävään. Käytön kannalta oli parempi, että peukalolla painettava kaasua ei saatu hankittua. Ranteella kierrettävä malli sopii paremmin talviajoon, koska sen käyttö onnistuu paremmin käsineet kädessä.

Akkujen valinta ja hankinta oli ehkä työn helpoin osa. Valintakriteereiden vuoksi akut hankittiin nopeasti paikallisesta kaupasta. Suurin työ oli muokata akuille kotelo valmiista ajoneuvo- ja venekäyttöön tarkoitettusta akkukotelosta. Jos olisi ostanut 24 V:n akulle tarkoitettua laturin, kotelon tekeminen olisi ollut huomattavasti helpompaa. Laturi valinnalla säästettiin rahaa, mutta menetettiin hieman käytännöllisyyttä. Akkuteline sulautuu hyvin runkoon ja on ikään kuin suora jatke rungon keskiosalle. Rungon värivalinta onnistui hyvin, koska sävyero on todella pieni uuden ja vanhan maalin välillä. Raidetankoon lisätyt pallonivelet lisäsivät ajomukavuutta yllättävän paljon, joten pienellä muutoksella saatiin suuri hyöty.

Potkupyörän muutostyö onnistui kokonaisuudessaan erittäin hyvin, koska kaikki tavoitteet saavutettiin. Potkupyörään voisi suunnitella vielä istuimen, jolloin potkupyörällä voisi ajaa joko istualtaan tai seisaaltaan. Jos potkupyörästä haluaisi vielä kevyemmän, pitäisi vaihtaa geeliakut litiumakkuihin. Tällä toimenpiteellä painoa saataisiin pois noin kahdeksan kiloa, jos akkujen kapasiteetti pysyisi samana. Napamoottorin vaihto nopeampaan malliin on myös mahdollista, sillä samankokoisia moottoreita on myynnissä eri tehoisina. Potkupyörän voi siis halutessaan muuttaa tehokkaammaksi pienellä panostuksella: vain moottorin vaihto riittää.

LÄHTEET

Ajoneuvolaki 1090/2002. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 5.10.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/2002/20021090>

Akkuvoima Oy 2011. Mk battery geeliakut [viitattu 11.10.2011]. Saatavissa: <http://www.akuvoima.fi/index.php/tuotteet/mk-battery/>

Biltema 2011. Luettelo 126 syksy ja talvi 11/12.

Binder, K. & Moresche, G. 2002. Ajodynamiikka. Bohrer, J. 2002. Muunnostaulukoita. Brüggem, G. 2002. Mekaniikka. Böckenhoff, H., Glasner, E., Moresche, G. & Steinkampf, H. 2002. Ajodynamiikka. Dick, P., Mrotzek, A., Stein, H. & Wimberger, J. 2002. Pyöräntuenta. Köpf, P., Schmidt, G., Schramm, H. & Schwab, M. 2002. Voimansiirto. Teoksessa Bauer, H., Crepin, J., Dietsche, K-H. & Dinker, F. 2003 *Autoteknillinen taskukirja*. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

Heaviside Oy 2012. MP geeliakut [viitattu 9.5.2012]. Saatavissa: <http://www.heaviside.fi/page7.aspx>

Juhala, M., Suominen, M. & Tammi, K. 2001. *Moottorialan sähköoppi*. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

Koskinen, M. 2002. *Analogiasuunnittelu*. Juva: Sanoma Magazines Finland

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S., Öistämö, J. 2001 *Tekniikan kaavasto*. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.