

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja Kuljetustekniikka

Käyttöpainotteinen Auto- ja kuljetustekniikka

2014

Juha Hämäläinen

SÄHKÖAVUSTEISEN VELOMOBIILIN SUUNNITTELU



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja Kuljetustekniikka | Käyttöpainotteinen auto- ja kuljetustekniikka

Valmistumisajankohta: 2014 | Sivumäärä 36

Ohjaaja: Markku Ikonen

Juha Hämäläinen

SÄHKÖAVUSTEISEN VELOMOBIILIN SUUNNITTELU

Tässä opinnäytetyössä syvennytään sähköavusteisen kolmipyöräisen polkuajoneuvon eli velomobiilin suunnitteluun vaiheittain sekä käsitellään erinäisiä vaihtoehtoisia materiaaleja ja tekniikoita tavoitteiden saavuttamiseksi.

Velomobiilin suunnittelu ja opinnäytetyö tehtiin osana intensiiviohjelman "Powering the Future with Human Powered and Zero Emission Vehicles" (IP-ZEV) kolmannen vuoden vaihetta, jolloin tavoitteena oli saada valmiita ja vertailukelpoisia tuotteita Belgian Antwerpenissa järjestettyyn kahden viikon kansainväliseen intensiiviohjelmaan keväällä 2013.

Työssä käydään läpi tekniset ratkaisut, joilla tuotteesta saadaan suunnitteluasteella monikäyttöinen, säädettävä ja modulaarinen. Lisäksi tarkastellaan materiaalien vaikutusta valmistukseen sekä lopputuotteen ominaisuuksiin.

Tämän suunnitelman perusteella tehtiin toinen opinnäytetyö, joka käsittelee kyseisen velomobiilin valmistusta ja sen valmistuksenaikaista tuotekehitystä.

ASIASANAT:

Velomobiili, nollapäästöajoneuvo, sähköavusteisuus, tekninen suunnittelu, tietokoneavusteinen suunnittelu, materiaalit

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and transportation engineering | Practically oriented

Completion year of the thesis 2014 | Total number of pages 36

Instructor: Markku Ikonen

Juha Hämäläinen

THE DESIGN PROCESS OF AN ELECTRICALLY ASSISTED VELOMOBILE

In this thesis we will go deep into the design process of an electrically assisted three-wheeled pedaling vehicle, known as a velomobile, in a step by step manner. We will also address various possible materials and techniques to achieve our goals.

The velomobile was designed and built for the 3rd year phase of a 3-year Erasmus LLP Intensive Programme called "Powering the Future with Human Powered and Zero Emission Vehicles" (IP-ZEV). The goal was to produce a ready-to-drive and comparable vehicle for a two week period of this international programme which was held in Antwerp, Belgium in spring 2013.

We will go through various technical solutions that made the product as versatile, adjustable and modular as it was supposed to be in the design phase. Additionally, an overview will be given about the influence of different materials on the building phase as well as about the features of the final product.

Based on this thesis, also another thesis was made that will elaborate the production and engineering of the velomobile during the actual building period.

KEYWORDS:

Velomobile, zero emission vehicle, electric assistance, engineering, computer assisted design, materials

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	8
3 MATERIAALIVALINNAT	9
3.1 Materiaalit	9
3.2 Materiaalin muoto	10
4 RAKENNE	11
4.1 Runko	11
4.2 Pyörien ripustukset	15
4.3 Ohjaus	18
4.4 Kokonaisuus	20
5 KOMPONENTTIVALINNAT	21
5.1 Sähkömoottorit	21
5.2 Akusto	23
5.3 Vanteet ja renkaat	24
5.4 Voimansiirto	24
5.5 Jarrut	27
6 KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSIA	31
6.1 Ohjauksen nivelistö	31
6.2 Sähkömoottorin kytkentä	31
6.3 Ajokokemukset	32
7 KEHITYSIDEAT	33
7.1 Sähköturvallisuus	33
7.2 Etu- ja takajousitus	33
7.3 Cycle Analyst	34
7.4 Katteet	34
8 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	36

KUVAT

Kuva 1. Tyypillinen velomobiili	6
Kuva 2. <i>Tadpole</i> - (vas.) ja <i>delta</i> -rakenne (oik.)	7
Kuva 3. Putkirunko	12
Kuva 4. Miragebikes Nomad, sivuprofiili	13
Kuva 5. Velomobiili, suunnitelma, sivuprofiili	13
Kuva 6. Rungon sivuprofiili, teleskooppi sisällä	14
Kuva 7. Rungon sivuprofiili, teleskooppi ulkona	14
Kuva 8. Pitkittäis- ja poikittaisrungon liitos	15
Kuva 9. Camberkiinnike	16
Kuva 10. Casterlevy	17
Kuva 11. Olka-akseli	17
Kuva 12. Takahaarukka	18
Kuva 13. Yksinkertaistettu runko ja ohjauslaitteisto, kääntö vasemmalle	19
Kuva 14. Yksinkertaistettu runko ja ohjauslaitteisto, kääntö oikealle	19
Kuva 15. Suunnittelun velomobiilin runko ja mekaniikka	20
Kuva 16. Golden Motor, Magic Pie 3, tietokaavio	22
Kuva 17. Ketjuvedon ohjausrulla 1 Kuva 18. Ketjuvedon ohjausrulla 2	25
Kuva 19. Sussex Drive Systems kardaanivedon toimintaperiaate	26
Kuva 20. V-jarrut	28

1 JOHDANTO

Maailmassa ollaan väijäämättä tulossa tilanteeseen, jossa öljyvarat on käytetty loppuun ja perinteinen polttomoottoritekniikka kulkuneuvojen ainoana voimalllähteenä niiden liikuttamiseen ei enää tule kysymykseen. Ihmisten on kuitenkin edelleen päästävä liikkumaan, mikä johtaa vaihtoehtoisten kulkuneuvojen hakemiseen ja mahdollisuuksien tutkintaan.

Tämän vuoksi kymmenen eurooppalaisen korkeakoulun tavoitteena EU-rahoitteisessa projektissa (IP-ZEV, Intensive Programme for Zero Emission Vehicles) on ollut luoda toimiva vaihtoehto tätä silmälläpitäen. Tämän kolmivuotisen hankkeen kaksi ensimmäistä vuotta ovat olleet teoriapohjaista asian tutkimista ja nyt kolmannelle vuodelle siirryttäessä, pitäisi olla konkreettista tulosta saatu aikaan. Projektissa on valittu tavoitteeksi rankentaa ihmisvoimalla kulkeva katettu kulkuneuvo, velomobiili (kuva 1), jossa on sähköavustus. Tällä rakenteella olevia kulkuneuvoja valmistetaan jo ympäri maailmaa, mutta tavoitteena on uusien innovatiivisten ratkaisujen löytäminen ja tuotteen ominaisuuksien tutkiminen. (Erasmus LLP Intensive programme 2011.)



Kuva 1. Tyypillinen velomobiili

Velomobiilin perusrakenteena on yleisimmin kolmepyöräinen nojapyörä eli kolme pyörää jaoteltuna siten, että joko kaksi pyörää on edessä eli *tadpole*, tai takana eli *delta* (kuva 2). Näistä kahdesta vaihtoehdosta selkeän enemmistön vie *tadpole*-asettelu vakaamman jarrutustilannekäyttäytymisen vuoksi. *Delta*-asettelussa voimakkaan jarrutuksen ja käännön yhteisvaikutuksesta massakeskipisteen aiheuttaman voiman normaali voi ylittää etupyörän ja ulomman takapyörän välisen tukilinjan aiheuttaen ajoneuvon hallinnan menettämisen ja kaatumisen. *Tadpole*-asettelussa vastaavan tilanteen aiheuttaisi voimakkaan kiihdytyksen yhdistäminen kääntöön, mutta tämän kaltaisella kulkuneuvolla tilanteen aiheuttavan kiihdytysvoiman tuottaminen on hyvin epätodennäköistä.



Kuva 2. *Tadpole*- (vas.) ja *delta*-rakenne (oik.)

Idealtaan velomobiili on optimaalinen lyhyen ja keskipitkän (n. 1–20 km) taajamasiirtymän kulkuneuvo. Katteet tuovat turvallisuutta ja suojaa säätilan vaihteita vastaan samalla kun liikkuminen on kevyttä ja päästötöntä, ja matkatavarat on helppo ottaa mukaan suojaan säälmiöiltä. Lisäksi tuotteella on kuljettajaa liikunnallisesti aktivoiva aspekti, jolloin voidaan olettaa tämän vaikuttavan positiivisesti kansanterveyteen.

2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Suunnittelun lähtökohtana heti alusta alkaen oli tehdä ajoneuvosta mahdollisimman säädettävä ja muunneltava. Tämän tyyppisiä kulkuneuvoja on kehitetty vasta verraten hyvin vähän ja tavoitteena oli suunnitella tästä mallista *tadpole*-tyyppisen rakenteen tutkintaan soveltuva yksilö. Tutkittavia asioita oli mm. alustageometrian, sähkömoottorin, akuston ja voimansiirron toiminta. Alusta asti oli selvää, että pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon harvemmin käytettyjä tekniikoita, joista myöhemmin lisää. Kulkuneuvon tuli olla myös helppokäyttöinen, varmatoiminen sekä turvallinen. Kokonaisuudessaan suunnitteluprojekti olisi haasteellinen, sillä kaikkien edellä mainittujen ominaisuuksien tiivistäminen yhteen yksilöön ei olisi helppoa.

Suunnittelutyön jälkeen projekti siirtyi valmistettavaksi. Valmistuksesta vastasi Matti Krusberg ja häntä avusti Eero Olsbo sekä Joonas Mäkinen. Tuotteen tuli olla valmis 15.4.2013, jolloin järjestettiin esittely Antwerpenissa Karel de Grote Hogeschoolissa, yhdessä muiden IP-ZEV -yhteistyökoulujen tuotteiden kanssa.

3 MATERIAALIVALINNAT

3.1 Materiaalit

Rungon materiaalin valinnassa tulee ottaa huomioon siltä vaaditut ominaisuudet murtolujuuden, jouston, painon ja muokattavuuden osalta. Lisäksi täytyy huomioida käytettävissä oleva budjetti materiaalin hankintaan ja tietotaito sen käsittelyyn, sillä ulkopuolisen työn määrä tulee olemaan minimaalinen.

Komposiittimateriaalit ovat tämänhetkisen materiaalikehityksen kärjessä ja sillä saataisiin paras lopputulos tuotteen kestävyys ja painon väliltä. Näissä materiaaleissa, joista yleisimpinä voi mainita esim. lasi- ja hiilikuidun sekä kevlarin, ongelmaksi muodostuu materiaalin käsittely sekä materiaalikustannukset hiilikuidun ja kevlarin osalta. Komposiittimateriaalien käyttöä varten tulisi tehdä tai teettää muotti, jotta osista saisi symmetriset. Lisäksi kuitumateriaalien valaminen muottiin todettiin valmistavan tiimin kanssa käydyissä keskusteluissa liian haasteelliseksi laadukkaan työnjäljen ja käytetyn voimansiirtotekniikan (luku 5.4) integroinnin kannalta. Täytyy kuitenkin huomioida, että kuitumateriaalia, joista todennäköisimpänä valikoituu lasikuitu, tullaan käyttämään velomobiiliin katteissa, tulipa tuotteesta sitten puoli- tai täysikatettu malli (Iowa State University 2014).

Kevytmetalliseokset olivat vahvana vaihtoehtona loppuun saakka, eikä vähiten yhteistyökumppanimme MirageBikesin takia. Vahvuutena ovat materiaalin massa, kestävyys, symmetrian helpompi toteutettavuus komposiittimateriaaleihin nähden ja kohtuullinen muokattavuus. Kevytmetalliseoksille voimme laskea haittoiksi korkeahkon hinnan ja vain kohtuullisen muokattavuuden, koska ammattitaito valmistustiimissä ei yltänyt kevytmetallirakenteiden hitsaamiseen. Tästä vaihtoehdosta luovuimme pääasiassa sen takia, että tiedostimme sen faktan, että suunnitelma ei tulisi olemaan valmis toteutettavaksi, vaan suunnitelmaan tulisi tehdä muutoksia valmistuksen aikana.

Rauta- ja teräslaatuja valittaessa pitää ottaa huomioon niiden muokattavuus, sillä mitä suurempiin lujuuksiin siirrytään, vaatimukset työstökoneiden, hitsausvälineistön ja ammattitaidon osalta kasvavat huomattavasti. Korkeammilla materiaalin lujuuksilla toki päästäisiin pienempiin ainevahvuuksiin ja sitä kautta selkeästi pienempään lopputuotteen kokonaismassaan. (European Association of Metals 2014.)

Lopullinen materiaalivalinta kohdistui normaaliin rakenneteräkseen sen helpon hitsauksen, koneistuksen ja muun työstämisen takia. Materiaalin eduiksi voidaan myös laskea sen käyttäytymisen helppo ennustettavuus erinäisissä tilanteissa, esim. muokkauksen aikana ja käytössä havaitun jouston havainnoinnissa. Myös materiaalin helppo saatavuus eri muodoissaan tulisi olemaan avainasemassa, sillä aikataulu rakennusvaiheessa olisi tiukka ja valmistuksenaikaista tuotekehitystä tulisi varmasti tehtäväksi.

3.2 Materiaalin muoto

Materiaalin muotoa mietittäessä pitää olla selvillä käytettävä materiaali. Kuitumateriaalille valmistetaan muotti, jolloin materiaalin lopullisia muotoja on lähes rajaton määrä. Tämän vuoksi materiaali sopii erinomaisesti katteiden valmistukseen, jolloin työstön tarkkuus ei vaikuta kriittisissä määrin tuotteen funktionaalisuuteen.

Rungon materiaalin muotoa valittaessa vaihtoehtoja oli monia aina lattaraudasta I-palkkien kautta neliöputkeen ja pyöreään putkeen. Nopealla katsauksella materiaalin muodon vaikutuksesta kappaleen kestoon huomataan, että paras eli tukevin vaihtoehto on pyöreä putki. Moni muu materiaalin muoto olisi vielä helpommin muokattavissa ja työstettävissä, mutta lopullisen tuotteen massan kasvun minimoimiseksi päädyttiin käyttämään pyöreää putkea. (University of Oxford 2009.)

4 RAKENNE

Tuotteen rakennetta pohdittaessa pitää olla selvillä tärkeimmät vaaditut ominaisuudet. Suunnitelma pitää tehdä ominaisuuksia silmälläpitäen ja näitä ominaisuuksia eli tärkeimpiä viitelinjoja tulisi velomobiilissamme olemaan mm.:

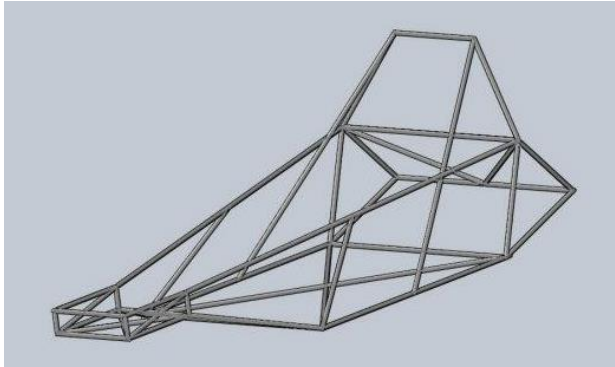
- Kuljettajan ergonomia ja sen muunneltavuus
- Maksiminopeus 40 - 50 km/h
- Sähköisen voimansiirron tehon ja kantavuuden muunneltavuus
- Ohjausgeometrian muunneltavuus
- Korin ja rungon kiinnityspisteiden muunneltavuus
- Sähkömoottori(e)n teho n. 2 kW

4.1 Runko

Runko on koneen tärkein osa. Siihen kiinnitetään kaikki laitteen toiminnan kannalta tärkeät komponentit, joita tässä projektissa tulee olemaan ohjauksen komponentit, takahaarukka, pyörät, sähköisen voimansiirron komponentit jne. Runko siis kannattelee lähes koko rakenteen massaa, joten sen materiaali ja muoto tulee valita vaatimusten mukaisesti. Sen suunnittelussa täytyy huomioida se, että valmistusteknisesti on mahdollista ylläpitää symmetriaa, sillä pyörien kiinnityspisteiden sijainti ja suunta tulee olla valmiissa tuotteessa geometrisesti tarkastellessa yhteneväinen molemmin puolin. Koska rungon päämateriaalivalinta oli jo tässä vaiheessa tehty pyöreään metalliputkeen, käyn läpi vain sen materiaalin mahdolliset runkotyyppivaihtoehdot.

Tukevin, ja samalla kuljettajaa suojaavin, runkotyyppi olisi useammasta ohuemmasta putkesta rakennettu kehikko, eli ns. putkirunko (kuva 3). Tämä runkotyyppi on tuttu esim. kilpa-autojen turvakehikoista. Putkirungon etuna on voimien jakautuminen tasaisesti useamman ohutseinäisen putken kautta, jolloin yksittäisen komponentin rasitus saadaan minimoitua. Samalla putkiston ollessa kuljettajan ympärillä saadaan hyvä suojaus kuljettajalle myös muualta kuin edestä tai takaa tuleviin törmäyksiin. Putkirunko on kompleksinen rakenne, joka

on mahdollista saada hyvällä suunnittelulla kestävämmäksi, tukevammaksi, turvallisemmaksi ja kevyemmäksi kuin muut runkotyypit. Tämä vaatii kuitenkin kehikon rakenteen, rakenteen materiaalin ja materiaalin muodon osalta niin pitkälle vietyä optimointia, että tämän runkotyyppin suunnittelun aloitettua tultiin nopeasti siihen lopputulokseen, ettei tämä ole mahdollista toteuttaa projektin aikataulun puitteissa.



Kuva 3. Putkirunko

Toisena vaihtoehtona ideatasolla oli runko, jossa kuljettajan istuin olisi tuettu sivuilta ympärille rakennetun putkikehikon keskelle. Ajatuksena oli käyttää kuljettajan tuottaman, ajoneuvon liikuttamiseen kohdistetun energian siirtäminen edessä olevilta polkimilta takapyörälle hydraulisella järjestelmällä putkia pitkin kuljettajan ohitse. Tämän runkotyyppin etuna olisi ollut suurempi maavara ja tämän vuoksi parempi ja monipuolisempi käytettävyys eri alustoilla aina kevyeen maastoajoon asti. Mahdollisuuden ollessa ideatasolla ja voimansiirron komponentteja tutkittaessa, oli tästä mahdollisuudesta luovuttava voimansiirron huonon hyötysuhteen (luku 5.4) ja kuljettajan alapuolisen suojauksen puutteen vuoksi.

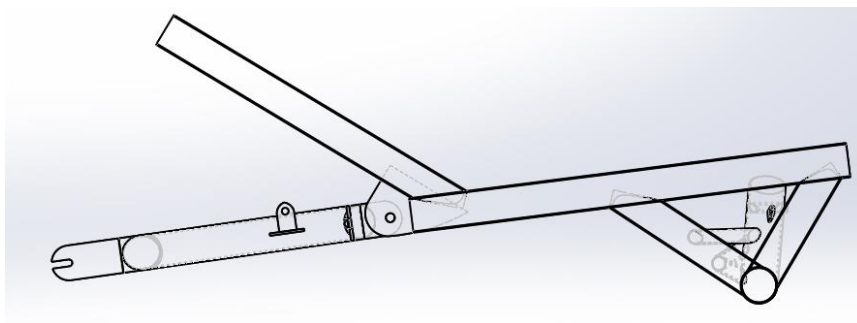
Lopullinen rungon muoto varmistui yhteistyön alkaessa MirageBikesin kanssa, kun Tatu Lund otti yhteyttä liittyen aikaisemman vuoden IP-ZEV -ryhmän suunnitelmiin kardaaniakselilla suunnitellusta voimansiirrosta. Heiltä oli juuri tulossa markkinoille nojapyörä, jossa kuljettaja polkee perinteisen pystyasennon sijaan lähes vertikaalisessa asennossa, jolloin polkimet sijoittuvat etupyörän ylä- ja etupuolelle. Heidän *Nomad* -nojapyöränsä runko (kuva 4), sen innovatiiviset

ratkaisut ja muoto tuntuivat olevan juuri sitä, mitä suunnitelmalta oli haettu. Lopulta siis päädyttiin imitoimaan heidän runkoon, jolloin saataisiin synergiahyötyä erillisistä toiminnoista. Näin ollen saatiin heiltä toimiva runkoidea ja he saivat tiedot heidän runkonsa toiminnasta velomobiilisovelluksessa.



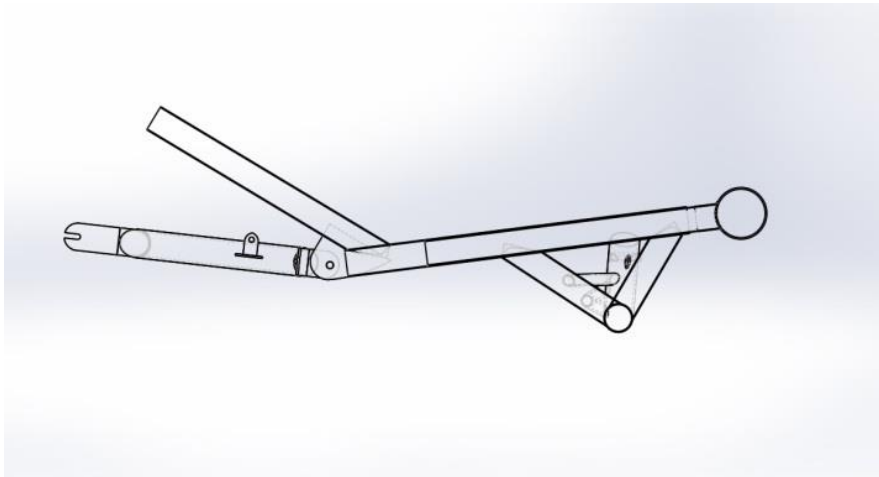
Kuva 4. Miragebikes Nomad, sivuprofiili

MirageBikesin rungon materiaalina oli käytetty ovaalin mallista kevytmetalliputkea, joten päädyimme pitäytymään materiaalivalinnassamme, pyöreässä teräsputkessa. Tämän takia päätimme tehdä rungon vain tärkeimpien mittojen osalta samana. Lopulta yhteneväisiä mittoja rungolle oli vain päärunkoputken mitta, selkänojaputken mitta ja näiden kahden välinen kulma (vrt. kuva 4 ja kuva 5).

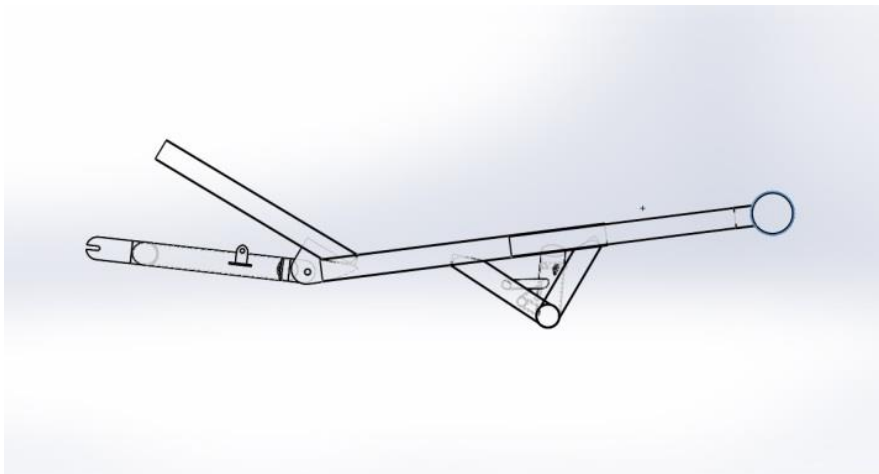


Kuva 5. Velomobiili, suunnitelma, sivuprofiili

Heidän nojapyörässään kuljettajan koon mukainen säätö tehdään istuimen sijaintia säätämällä. Tämä ei kuitenkaan ollut sovelias järjestely velomobiilin suunnitelmaan, koska innovatiivisia ideoita haettaessa tämä olisi liian konservatiivinen rakenne. Polkimien etäisyyden säätö kuljettajasta tultaisiin järjestämään ohuemmalla runkoputkella päärunkoputken sisällä eli teleskooppiliitoksella (kuva 6 ja kuva 7). Vastaavaa teleskooppiliitosta tulisi siis käyttää myös kardaniakselissa, joka kulkee rungon sisässä.



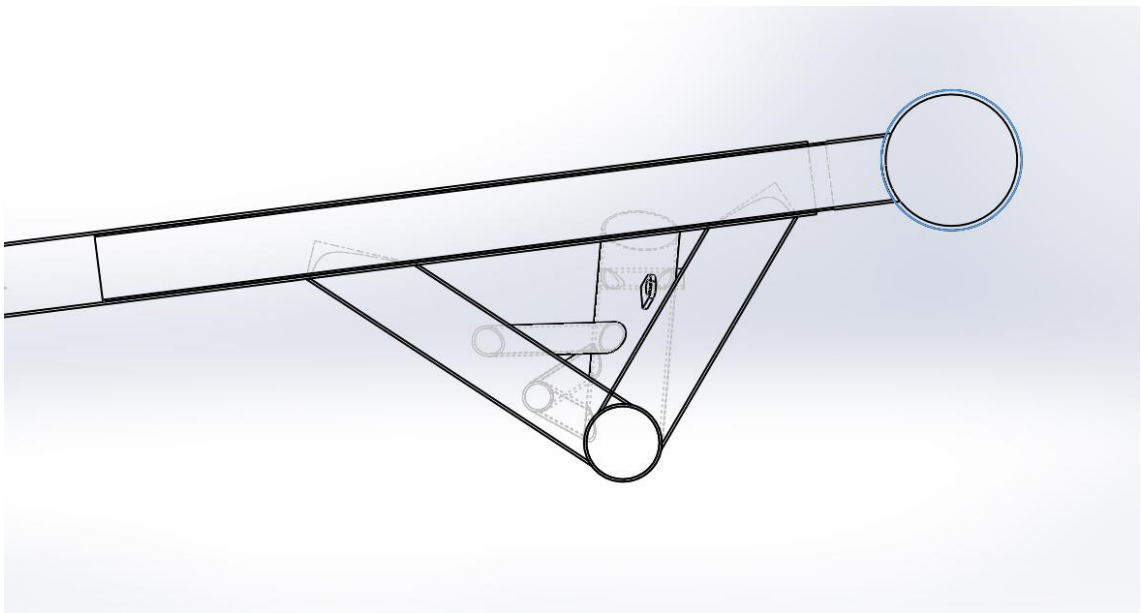
Kuva 6. Rungon sivuprofiili, teleskooppi sisällä



Kuva 7. Rungon sivuprofiili, teleskooppi ulkona

Käytettäessä *tadpole* -runkomallia, tulee runko levittää etupyörien kohdalta soveliaalle leveydelle pyörien kiinnitystä varten. Pyörien kiinnityksessä tulee huo-

mioida kiihdytyksen ja jarrutuksen aiheuttamat voimat, jotka eivät saa aiheuttaa pysyvää muodonmuutosta rungon rakenteisiin. Tässä rungon suunnittelun vaiheessa käytin samaa periaatetta kuin aikaisemminkin; runko suunniteltaisiin varman päälle kestäväksi, koska laite tulisi olemaan tuotekehitysvaiheen ensimmäinen vedos, eikä silloin ole primäärinen tavoite saada painoa optimoiduksi. Poikittaisputki siis tehtiin samasta materiaalista, kuin pitkittäisrunkokin. Nämä kaksi yhdistettäisiin edelleen samasta materiaalista valmistetuilla lyhemmillä putkilla siten, että ne muodostaisivat pitkittäissuunnassa kolmion tukevuuden varmistamiseksi (kuva 8). (Wakeham 2003.)



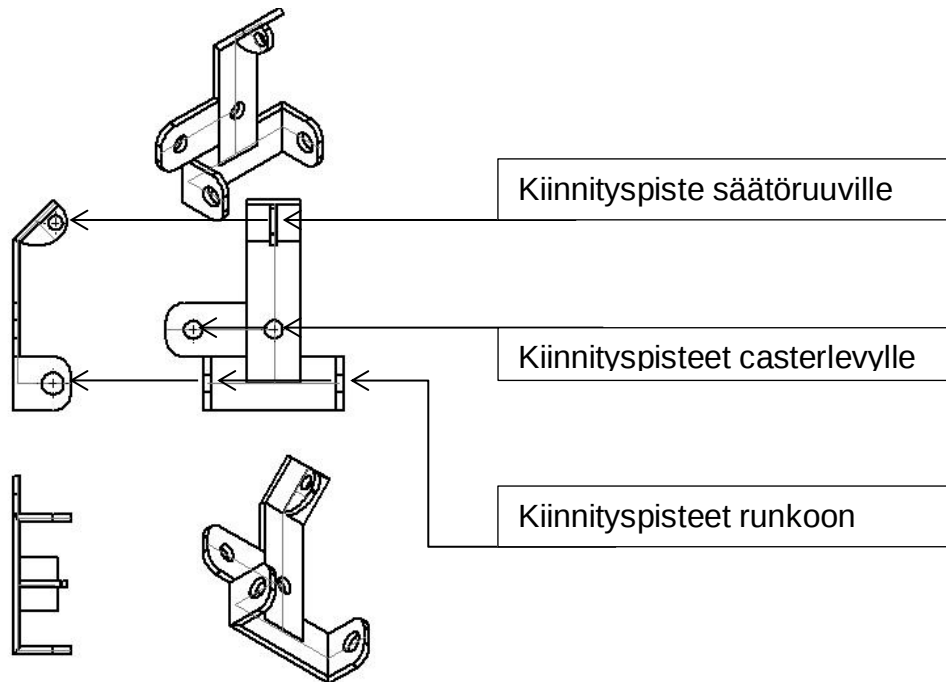
Kuva 8. Pitkittäis- ja poikittaisrunkon liitos

4.2 Pyörien ripustukset

Ajoneuvon muokattavuuden ja ominaisuuksien tutkittavuuden vuoksi kaikkia oleellisia pyöräntulmia tulisi voida muuttaa. Takapyörä tulisi luonnollisesti olemaan pituus- ja pysty akselien mukaisesti suorassa aina, joten pyöräntulmien säätäminen keskitettäisiin etupyöriin.

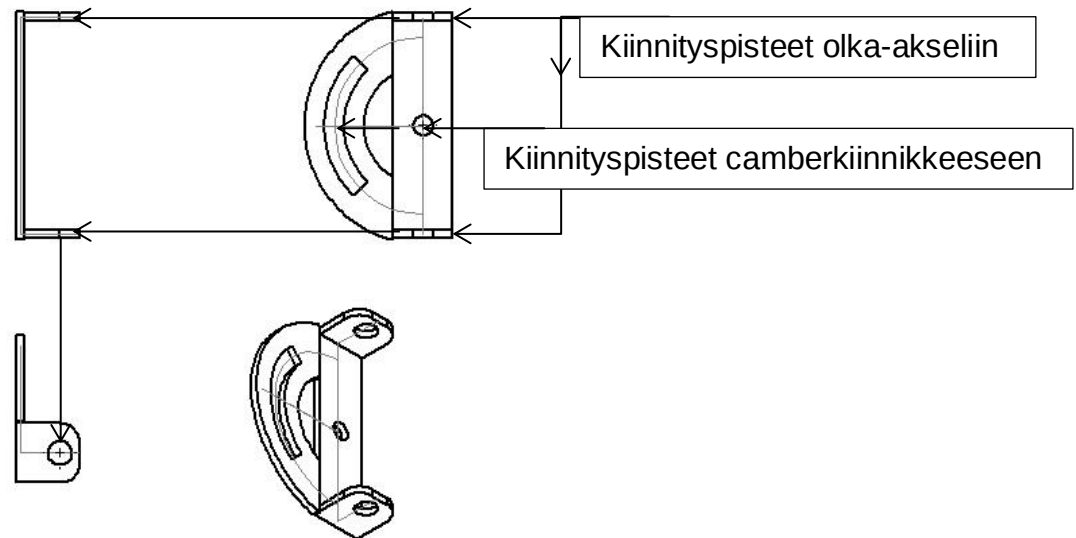
Kaikkien kulmien säätö tulisi etupyörille sisältäen camber-, caster- ja aurauskulmien säädöt.

Camberkulman säätö tapahtuu säätöruuvista, joka on kiinnitetty pyörän navan korkeudelle nousevan runkoputken alapäähän ja pyörän alareunasta nivelöidyn camberkiinnikkeen (kuva 9) yläpäähän.



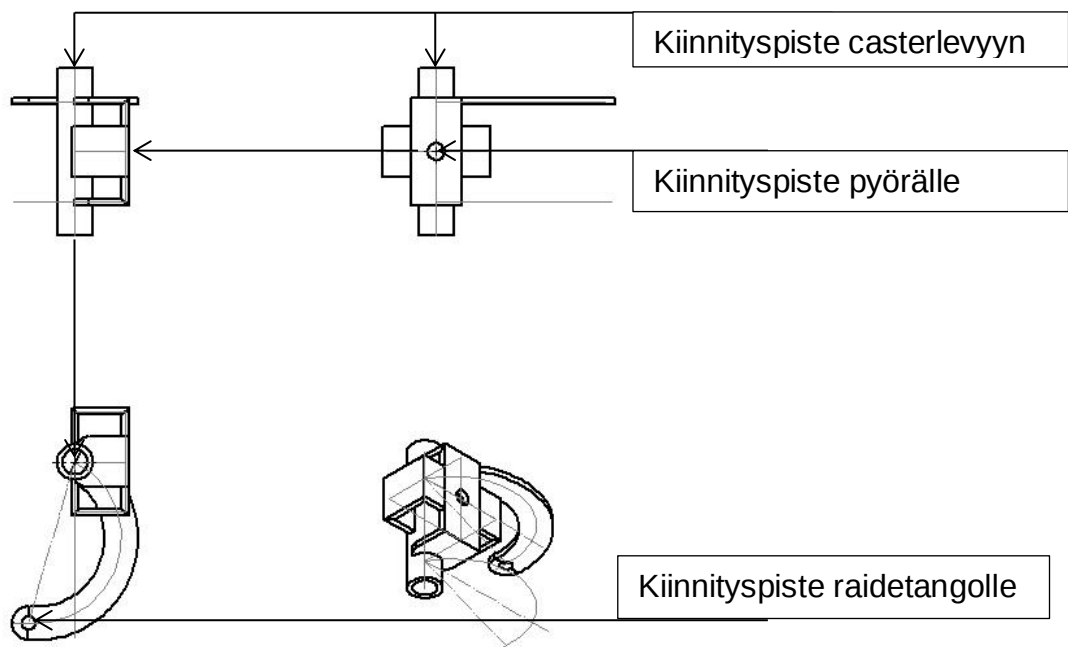
Kuva 9. Camberkiinnike

Casterkulmaa puolestaan pystyy säätämään edellä mainittuun camberkiinnikkeeseen keskeltä ja reunassa olevaan uraan pultein kiinnitetyllä casterlevyllä (kuva 10).



Kuva 10. Casterlevy

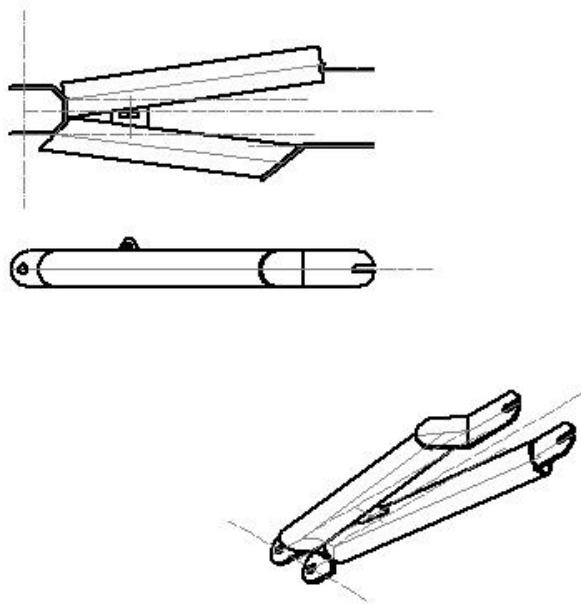
Kuvan 10 casterlevyyn tulee kiinni eräänlainen olka-akseli (kuva 11) läpipultilla. Tähän olka-akseliin kiinnitetään myös raidetanko, joka kääntää pyörää, sekä itse pyörä.



Kuva 11. Olka-akseli

Kokonaisuudessaan pyörän ripustusyksikkö koostuu rungon ja pyörän välissä olevista kolmesta erillisestä osasta, joilla saadaan säädöt aikaiseksi. Näiden osien asennuksessa täytyy käyttää suurta tarkkuutta, jotta halutut pyöränkulmat saadaan toteutettua. Jo pienen välyksen aiheuttama mittamuutos jossain nivelessä saattaa kertaantua suureksi heitoksi itse pyörällä.

Takahaarukka (kuva 12) suunniteltiin myös pääosin MirageBikesin *Nomad* -pyörän takahaarukan mittojen mukaan. Ainoa mitoitusmuutos alkuperäiseen nähden tehtiin takahaarukan runkoliitoksen laippoihin materiaalin muodon takia. Mittamuutoksessa piti ottaa huomioon rungon ja takahaarukan putkien sisässä kulkeva kardaniakseli.



Kuva 12. Takahaarukka

4.3 Ohjaus

Ohjaus on toteutettu useista velomobiileista tutulla järjestelyllä eli kahdella ohjaussauvalla. Ero tulee siinä, että rakennelman pidemmät akseli- ja raidevälit estävät ohjaussauvojen asentamisen suoraan pyörännavoille. Sen takia sauvat ovat kiinnitetty alapäästään runkoon laakeroidulla pesällä. Sauvoista lähtee puolestaan säädettävät ohjaustangot pituussuunnassa runkoon kiinnitettyyn

ohjausheiluriin. Se kääntää liikkeen poikittaiseksi raidetangoille, jotka ovat kiinnitettynä olka-akseliin. Tämän ohjausheilurin ja siihen tehtyjen eri kiinnityspisteiden avulla saadaan aiheutettua ja säädettyä pyörien kääntyvyyteen Ackermann -periaatteen mukaista kääntyvyyttä. Ackermann -periaatteen mukaisesti kaikkien pyörien akselien jatkeet kohtaavat samassa pisteessä eli käytännössä etupyörien akselien jatkeet kohtaavat samassa pisteessä takapyörän akselin jatkeella. Yleisesti ottaen sisempi pyörä kääntyy enemmän (kuva 13 ja kuva 14). Ackermann -periaatteen toteutuminen ja sen vaikutus eri asteissaan ajettavuuteen ja hyötysuhteeseen kolmipyöräisessä on yksi tärkeistä tutkimuskohteista ajoneuvolla. (ETH 2013; Simpson Motorsport 2013).



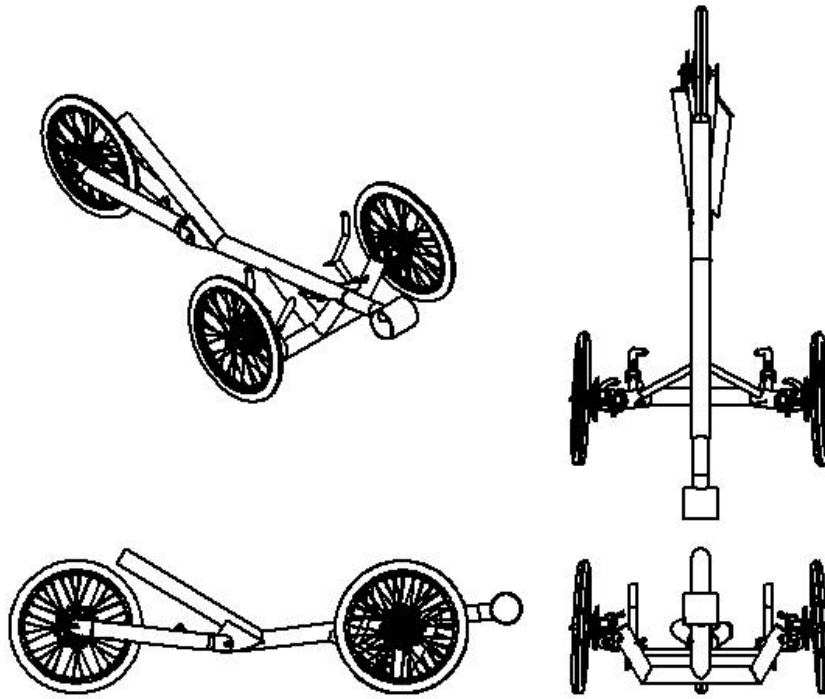
Kuva 13. Yksinkertaistettu runko ja ohjauslaitteisto, kääntö vasemmalle



Kuva 14. Yksinkertaistettu runko ja ohjauslaitteisto, kääntö oikealle

4.4 Kokonaisuus

Kuvassa 15 on lopullinen suunnitelma. Kuten kuvasta huomaa, on painopiste saatu vietyä huomattavan alas, jolloin velomobiilin käyttäytyminen ääritilanteissa saadaan rauhoitettua, eikä se kaadu niin herkästi.



Kuva 15. Suunnitellun velomobiilin runko ja mekaniikka

5 KOMPONENTTIVALINNAT

5.1 Sähkömoottorit

Sähköavusteisesta kulkuneuvosta puhuttaessa nousee suurta roolia näyttelämään sähköenergian liike-energiaksi muuttava sähkömoottori. Rakennevaihtoehtoja moottorin asennukselle on pääsääntöisesti kaksi: joko asentaa moottorit runkoon, jolloin sähkömoottoreiden vääntömomentti johdettaisiin pyörille vetoakseleilla mahdollisen vaihteiston läpi tai vaihtoehtoisesti asentaa napamoottori suoraan pyörän yhteyteen.

Runkoon asennetun moottorin eduiksi voidaan lukea esim. pienempi jousittamaton massa, jolloin saadaan pyöräjousitetussa rakenteessa paremmat ajo-ominaisuudet, koska pyörä pysyisi paremmin tienpinnassa kiinni. Pienemmän massan johdosta aiheutuu vähemmän liiketilan muutoksia vastustavia voimia.

Napamoottori on selkeästi loogisin vaihtoehto tämän velomobiiliin rakenteessa, koska etupyörillä, joille sähkömoottorit tulevat, ei ole jousitusta vielä tässä vaiheessa, joten jousittamattomasta massasta ei nyt tarvitse välittää. Lopulta vaihtoehdot moottorivalinnassa olivat pienentyneet kolmeen vaihtoehtoon:

- BMC v4, sisäisellä planeettapyörästöllä, ulkoinen ohjainlaite
- Crystalyte, eri vaihtoehtoja, suoraveto, ulkoinen ohjainlaite
- Golden motors MagicPie 3, suoraveto, sisäinen ohjainlaite

Näistä kolmesta luovuttiin ensimmäiseksi pohjoisamerikkalaisesta BMC:stä, kun saatiin selville sen sisäisen planeettapyörästön kestävyysongelma jo normaalissa polkupyöräkäytössä. Kun otetaan huomioon velomobiilisovellus, voisivat nämä ongelmat eskaloitua hyvinkin nopeasti. Toisena luovuttiin Crystalyten valmistamista moottoreista lähinnä kustannussyistä, itse moottorien ominaisuuksien ollessa erinomaiset.

Valitun moottorin ehdottomiin vahvuuksiin kuuluu suora sähköveto ja sisäänrakennettu moottorin ohjainlaite. Moottorille siis tarvitsee johtaa vain virta akustol-

ta ja signaali hallintalaitteilta. Sisäänrakennetun ohjainlaitteen ominaisuuksiin kuuluvat mm. pyörimismomentin suunnan vaihto (peruutus), ulostulot äänimerkille ja valoille, regeneratiivinen jarrutus (jarrutusenergian talteenotto takaisin sähköenergiaksi akustolle) ja vakionopeudensäädin. Ohjainlaitteelle on myös ohjelmoitavissa maksimi ulostulotehon, regeneratiivisuuden voimakkuuden ja monen muun attribuutin mukaan. Moottorin ilmoitettu suurin mahdollinen sähköteho on 1 kW ja valmistajan ilmoittama suurin vääntömomentti jopa yli 70 Nm (kuva 16). Näillä tiedoilla moottorin voima tulisi riittämään enemmän kuin hyvin tarkoitukseemme, erityisesti, kun velomobiilissamme on moottoreita kaksi kappaletta.

MagicPie 3 -- Third Generation of Electric Bike Conversion Kits

Self-Upgradable
From 250W to 1000W
Brushless & Gearless

It performs beyond your expectations!

PC Programmable
Easy Replaceable
Internal Controller

Self-cooling Fan
Removing 60% Heat

24V/36V/48V Versatile Voltages
Max 35A Continuous
Sensor/Sensorless Dual Mode
Regenerative Braking
Easy Replaceable by Plug
PC Programmable
Forward/Reverse

Built-in Self-Cooling Fan
Improved Heat Dissipating by 60%
Easy Disc-Brake Mounting

Key Features: Power: 24V-48V, 250W-1000W, 20-50 Km/h
30% Higher Climbing Torque (max: >70 Nm)
No More Messy Wiring with Built-in Controller
Better Heat Dissipating with Self-Cooling Fan
Dual Control Mode for Sensor and Sensorless
Water-proof Integral Wiring for Easy Connection

Build for all modern ordinary bicycle frames:
front (100mm) or rear wheel (135mm)

Optional Disc Brakes
(140mm or 160mm)

All-in-One Kit -- It's MagicPie !

GoldenMotor.Com -- The Best Ebike Driving Solution Provider

Kuva 16. Golden Motor, Magic Pie 3, tietokaavio

Moottoripaketin mukana tulee seuraavat tarvikkeet:

- kaasukahva, jossa akun varaustason ilmaisin
- jarrukahva, jossa kytkin regeneratiiviselle jarrutukselle
- kytkimet äänimerkille, vakionopeudensäätimelle ja valoille

Yksi valmistuksen aikana eteen tulevista haasteista tulee olemaan kahden moottorin ja ohjainlaitteen ohjaaminen yhdellä hallintalaitteistolla. Moottorinohjauksen sisäisestä logiikasta ja toimintaperiaatteesta ei saatu valmistajalta tietoa lukuisista yhteydenotoista huolimatta.

5.2 Akusto

Virtalähde tulee valita siten, ettei se tule rajoittamaan virtaa tarvitsevia toimilaitteita eli tässä tapauksessa sähkömoottoreita. Jotta johtimissa kulkeva virta saataisiin rajoitettua edes kohtuulliseksi, valittiin järjestelmän jännitteeksi suurin moottorien sallima 48 V. Tällä jännitteellä molempien moottorien käyttäminen täydellä teholla vaatisi:

$$\frac{2 * 1000 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 41,7 \text{ A}$$

Käyttäessämme uusia teknologioita, päädyttiin akuston osalta LiFePo₄(Litium-rautafosfaatti, LFP) -teknologian akustoon sen luotettavuuden, pitkäikäisyyden (useita tuhansia purku – lataus syklejä) ja muiden ominaisuuksien takia. Akuston ominaisuuksien mukaisesti suurin mahdollinen akuston luovuttava jatkuva virta on kolme kertaa kapasiteetin luvun arvo, eli vaadittu kapasiteetti akustolle olisi:

$$\frac{41,7}{3} \approx 14$$

Tarvittavat akuston vähimmäisparametrit ovat 48 V, 14 Ah, LiFePo₄.

LFP -akuston yhden kennon nominaalijännitteen ollessa 3,2 V tarvitsemme:

$$\frac{48 \text{ V}}{3,2 \text{ V}} = 15$$

15 kpl kennoja sarjassa. Rinnan näitä paristoja tulisi laittaa tarvittava määrä halutun kapasiteetin saavuttamiseksi.

Lopulta päädyttiin kahteen kappaleeseen suomalaisen toimittajan kaukoidässä valmistuttamiin 48 V/10 Ah *eSpin* -akkuihin, koska akuston valmistaminen itse olisi muodostunut liian vaativaksi projektiksi tällä aikataululla. LFP -akustossa jokainen kenno vaatii oman BMS:n (Battery Management System, kennonvalvontajärjestelmä) ja sen toiminnan opettelussa riittäisi työtä yhden erillisen opinnäytetyön verran.

5.3 Vanteet ja renkaat

Etupyörien moottorit tilattiin 20" vanteilla, joille asennettiin Schwalben valmistamat 2,35" leveät *Crazy Bob* -renkaat. Taakse tuli myös 20" vanne samalla renkaalla. Eturenkaiden koko valikoitui 20":een maksimi kääntöä mietittäessä. Suuremmalla vanteen halkaisijalla rengas ottaisi aikaisemmin kiinni kuljettajan jalkaan tai ohjausvarteen, jolloin pyörän suurin kääntökulma pienenesi ja kulkuneuvon kääntösäde suurenisi huomattavasti tehden ajoveuvosta epäkäytännöllisen kankean.

Takarengas päätettiin samaan kokoon takahaarukan jouston mahdollistamiseksi. Mahdollisuus olisi säätää takahaarukkaa enemmän alas, mutta tällöin velomobiiliin takapää nousisi epäkäytännöllisen korkealle. Toinen mahdollisuus olisi pidentää takahaarukkaa, mutta tällöin ei enää puhuttaisi samasta rakenteesta *MirageBikesin Nomad* -pyörän kanssa.

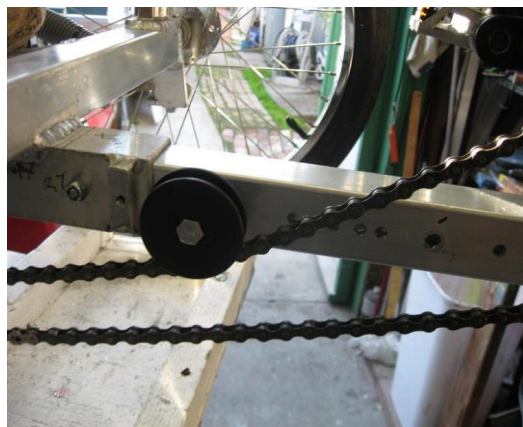
Suuremman halkaisijan pyörät olisivat olleet vierinvastukseltaan pienemmät, mutta pienen rengashalkaisijan tuomat edut ketteryydessä ja paksun renkaan käyttömukavuus jousittamattomassa kulkuneuvossa todettiin selkeästi tärkeämmiksi ominaisuuksiksi.

5.4 Voimansiirto

Voimansiirtoon on monia mahdollisuuksia. Perinteisesti vastaavissa kulkuneuvoissa polkuvoima on välitetty polkimilta ketjujen ja ratasvaihteiston avulla vetäville pyörälle. Ketjuvedon eduiksi voidaan laskea huollon helppous, varmatoi-

misuus huollettuna ja varaosien helppo saanti. Myös hyötysuhde on hyvä, polkupyörässä 81 %:sta jopa 98,6 %:iin kuitenkin niin, että hyötysuhde on huomattavasti suuremmilla vaihteilla (suurempi vaihde – pienempi ratas takana) jolloin parempaa hyötysuhdetta tarvittaisiin (John Hopkins University 1999).

Hyötysuhdetta velomobiilikäytössä laskee selkeästi ketjuilta vaadittu polkupyöräkäyttöä suurempi pituus ja sen mukanaan tuomat ohjainrullien, -putkien ja -liukujen määrä (kuva 17 ja kuva 18). Ketjujen pitää olla aina hyvin rasvattu ja huollettu, jonka takia ketjuissa oleva rasva tahrii helposti kuljettajan ja kuljetettavat. Huollon laiminlyönti alentaa hyötysuhdetta huomattavasti.

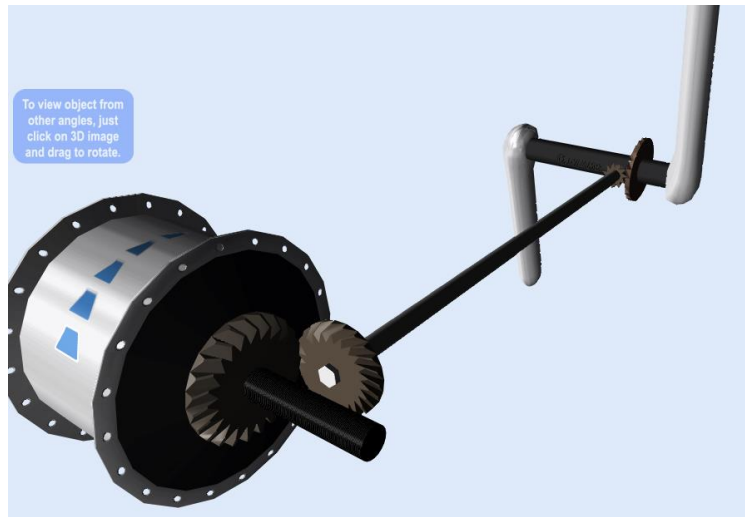


Kuva 17. Ketjuvedon ohjausrulla 1 Kuva 18. Ketjuvedon ohjausrulla 2

Hydraulivoimansiirrossa selkeitä etuja ovat voimansiirtolinjan lähes rajoittamaton sijainti ja muoto. Voimansiirron voisi siis viedä polkimilta takapyörälle esim. kuljettajan sivusta, eikä keskeltä alitse, niin kuin ketju- ja kardanivedolla on käytännössä ainoa mahdollisuus. Välityksen muuttaminen olisi myös helppo toteuttaa täysin portaattomasti muuttuvatilavuudella pumpulla. Ongelmaksi kuitenkin muodostui tässä sovelluksessa erittäin huono hyötysuhde verrattuna ketju- tai kardanivetoon, joten tästä vaihtoehdosta luovuttiin hyvin nopeasti tämän tultua ilmi. (University of Delaware 2013)

Lopulta valinta kohdistui kardaniakselivoimansiirtoon eli polkimilta voima käännettäisiin kulmavaihteen avulla kardaniakselille, joka kulkisi rungon suuntaisesti rungon ja takahaarukan yhdyskohtaan, jossa tasanopeusnivel yhdistäisi rungon suuntaisen ja takahaarukan suuntaisen akselin toisiinsa. Takahaarukan

suuntaisen akselin yhdistäisi edelleen takapyörän navalle toinen kulmavaihte. Tämän suunnitelman mahdollisti yhteistyö MirageBikesin kanssa heidän tarjotessaan käyttöömme heidän käytössään olevan taiwanilaisen Sussex Drive Systemsin (SDS) kardaanivetolaitteiston (kuva 19).



Kuva 19. Sussex Drive Systems kardaanivedon toimintaperiaate

Muutoksena tähän sarjaan piti luonnollisesti tehdä akselien jatke ja tasanopeusnivel akselien väliin. Tämän kokoluokan tasanopeusniveliä vaikean saannin takia päätimme käyttää huomattavasti yleisempää ristiniveltä. Ristinivelen ainoa huono puoli on se, ettei voima välity tasaisesti kierroksen ympäri nivelen ollessa taitteella, mutta totesimme tarvittun kulman olevan niin pieni, että vaikutus olisi minimaalinen. Tätä kierrosnopeuden muutoksen efektiä voi minimoida asentamalla kaksi ristiniveltä peräkkäin neljänneskierroksen eri vaiheessa toisiinsa nähden.

Jotta tällä järjestelyllä mahdollistetaan jousto takahaarukalle, pitää kardaaniakseli tukea ja laakeroida hyvin tarkkaan takahaarukan aivan etuosaan ja rungon puolella aivan taakse, juuri nivelten molemmille puolille. Tämän lisäksi ristiniiveltä väliin pitää asettaa pituusmuutoksen mahdollistava akselin osa, ja rungolta sekä takahaarukalta tulevien akselien kuviteltujen jatkeiden pitää leikata toisensa täsmälleen rungon ja takahaarukan taiteakselilla. Tämän monimutkaisen rakenteen takia rakenne jätettiin toteuttamatta ensimmäisessä kehitysversiossa.

Takavaihteistona tulisi SDS -järjestelmän kanssa käyttää Shimanon valmista-
maa Alfine- tai Nexus -sarjan napavaihteistoa, joista päädyimme käyttämään
Alfine-sarjan 11-vaihteista yksilöä mahdollisimman suuren välityssuhteen saa-
vuttamiseksi. SDS järjestelmän välityssuhde on mahdollista valita 2,07 ja 2,38
väliltä, joista päädyimme suurempaan renkaan pienen halkaisijan takia. Alfine
11 -vaihteiston välityssuhde on 0,527 – 2,153 ja renkaan dynaaminen vierintä-
kehä 1791,90 mm (BikeCalc 2013).

Verratessa omiin kokemuksiin polkupyörällä voin todeta, että nopein keskiver-
topolkijan yli 30 minuuttia ylläpitämä kampikierrosnopeus eli se kuinka monta
kierrosta minuutissa polkija pyörittää jaloillaan polkimia, on noin $60 \text{ }^1/\text{min}$. Näillä
tiedoilla voimme laskea maksiminopeuden pienimmällä ja suurimmalla vaihteel-
la seuraavasti:

$$v_{max0,527} = 2,38 * 0,527 * 1791,90\text{mm} * 60 \text{ }^1/\text{min} \approx 134850 \text{ mm}/\text{min} \approx 2,25 \text{ m/s}$$

$$v_{max2,153} = 2,38 * 2,153 * 1791,90\text{mm} * 60 \text{ }^1/\text{min} \approx 550917 \text{ mm}/\text{min} \approx 9,18 \text{ m/s}$$

Näillä tiedoilla voimme todeta keskivertopolkijan pystyvän ylläpitämään 9,18
m/s, eli noin 33 km/h nopeutta tasaisella tiellä. Kuntopyöräilijä pystyy ylläpitä-
mään noin $100 \text{ }^1/\text{min}$ kampikierrosnopeutta, joka vastaa noin 55 km/h nopeutta
tiellä. Nämä tiedot koettiin tässä vaiheessa hyvin projektiin sopiviksi.

5.5 Jarrut

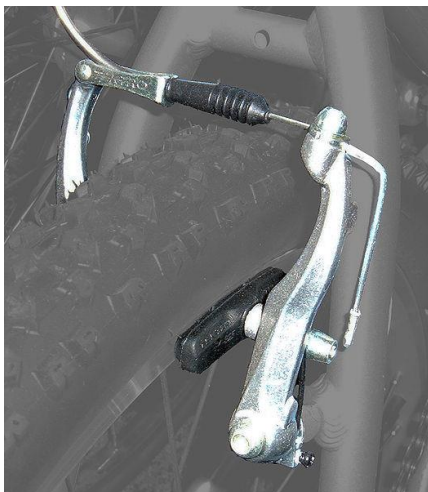
Jarrujen tulee vastata kulkuneuvon massaa ja suurinta laskennallista nopeutta
eli suurinta mahdollista liike-energiaa. Perinteiset mekaaniset jarrut muuttavat
liike-energiaa lämmöksi, joten valituissa jarruissa tulisi olla joko massaa, pinta-
alaa tai muuta sellaista, jolla tämä lämpöenergia saataisiin jaettua tai siirrettyä
ympäröivään väliaineeseen ennen kuin lämpö aiheuttaa vaurioita jarrutuslait-
teistolle.

Perinteisen jarrutustekniikan lisäksi käytössämme on mahdollisuus jarru-
tusenergian talteenotolle, eli ns. regeneratiiviselle jarrutukselle, jolloin liike-

energia muutetaan sähkömoottorissa tai erillisessä dynamossa uudelleen varaukseksi akkuihin. Regeneratiivisen jarrutuksen teho laskee huomattavasti nopeuden laskiessa, jonka takia tarvitsemme lisäksi mekaaniset jarrut kulkuneuvon pysäyttämiseksi kokonaan.

Puhuttaessa velomobiilista ovat käytetyt osat useasti vastaavia kuin perinteisissä polkupyörissä. Polkupyörissä on yleisimmin käytössä vanteen kehälle vaikuttavat jarrut esim. V-jarrut (kuva 20), joissa käsikahvalta välitetään vaijerilla voima mekanismille, joka puolestaan painaa kitkapaloja vanteen sivuja kohden vanteen vastakkaisilta puolilta. Näiden jarrujen ehdottomaksi eduksi voimme laskea yksinkertaisen rakenteen lisäksi sen, että kun aiheutetaan kitkaa vanteen ulkokehälle, saadaan pienemmällä voimalla huomattavan paljon suurempi jarrutusteho. Samalla lämmön jakautuminen suuren pinta-alan omaavaan kapaleeseen varmistaa sen hyvän jäähdytyksen.

Lämpöenergia voi myös johtua vanteesta renkaaseen aiheuttaen kovassa jarrutuksessa mahdollisia vaurioita siihen. Muita ongelmia tämän tyyppisillä jarruilla yleisesti on vanteen kehän kuluminen, koska vanteet on usein tehty kevytmetallista, ja jarrutustehon muutos vanteelle helposti pääsevien epäpuhtauksien, esim. veden takia. Tässä sovelluksessa ongelmaksi muodostui jarrujen kiinnityspisteiden rakentaminen, jonka takia ajatuksesta luovuttiin.



Kuva 20. V-jarrut

Toinen usein tavattu jarrutyypin polkupyörissä on takanavan sisällä oleva rumpujarru, jota käytetään polkemalla takaperin. Tämä jarrutyypin on toimintavarma ja lähes huoltovapaa sekä mahdollinen ominaisuus pyörän navassa. Tätä ominaisuutta ei valitsemassamme Shimano *Alfine 11* -navassa ole suuren vaihdeäärän takia.

Uusin polkupyörissä käytetty jarrutekniikka on levyjarru, jonka perustoimintaperiaate on sama kuin vanteen kehälle vaikuttavissa jarruissa; jarrutusvoima tuotetaan painamalla kitkapaloja toisiaan kohden pysäytettävän kappaleen molemmilta puolilta. Levyjarruissa jarruvoima tuotetaan erillisin, yleisimmin 160 mm, 185 mm tai 203 mm halkaisijaltaan oleviin jarrulevyihin, jotka on asennettu kiinni pyörän napaan. Näin päästään eroon epäpuhtauksien aiheuttamista ongelmista ja samalla voidaan käyttää jarrutuksen kannalta soveliaampia materiaaleja, esim. kovametalleja. Ongelmaksi levyjarruilla muodostuu se, että jarrulevyn ollessa kiinni navassa, pitää jarrutusmomentti johtaa renkaalle vanteen osien kautta asettaen ne suurten voimien alaiseksi, josta edelleen aiheutuu näiden komponenttien suurempaa kulumista.

Levyjarrusovelluksessa on lisäksi valittava käyttääkö voiman välityksessä kahvalta jarruille vaijeria vai nestettä. Vaijeri on huomattavasti edukkaampi, helpommin huollettavissa ja kestää enemmän lämpöä kuin hydraulinen järjestelmä. Vaijeri vaatii toisaalta enemmän huoltoa, ja hyvälläkin huollolla vaijeri alkaa käytön mukaan jumittamaan suojakuorensa. Hydraulijärjestelmä on huoltovapaa ja varmatoiminen, samalla kun jarrutustuntuma on huomattavasti parempi. Hydraulijärjestelmä on toisaalta huomattavasti kalliimpi ja sen korjaaminen itse on vaikeampaa tarvittujen erikoistyökalujen ja tekniikoiden takia.

Valitsimme takajarrulle Shimanon valmistaman hydraulikäyttöisen levyjarrun 203 mm levyllä. Koska takanapa on Shimanon, on siihen helpommin kiinnitettävissä saman valmistajan levy ilman sovittimia. Etupyörille valitsimme vastaavat jarrut vaijerivälitteisenä sen takia, että moottoripaketin mukana tullessa jarrukahvassa oli mikrokytkin regeneratiiviselle jarrutukselle ja tämän kytkennän muuttaminen hydraulijarrun jarrukahvaan veisi turhaan aikaa. Lisäksi edessä käytettäessä kahta levyjarrujärjestelmää ja vain yhtä jarrukahvaa, todettiin vaije-

rin jakaminen kahdelle huomattavasti järkevämmäksi, kuin nestejärjestelmän muokkaamisen. Nestejärjestelmässä on myös otettava huomioon pää- ja työsy-linterien männän halkaisija ja välityssuhteen muutos siirryttäessä käyttämään yhdellä pääsynterillä kahta työsynteriä. Tämä olisi voinut aiheuttaa tilanteen, jossa täyttä jarrutustehoa ei olisi saatu otettua irti.

6 KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSIA

Tätä opinnäytetyötä kirjoittaessa velomobiili oli jo saatu valmistettua ja koeajettua. Valmistusvaiheessa tuli odotetusti kehitettävää eikä tuote ole vielä lopullinen. Käyn nyt lyhyesti läpi asioita, joita tuli huomioitavaksi valmistusvaiheessa sekä joitain valmistusvaiheessa havaittuja kehityskohtia.

6.1 Ohjauksen nivelistö

Ohjauksen niveliin olisi pitänyt jo suunnitteluvaiheessa kiinnittää enemmän huomiota. Valmistusvaiheeseen jätetty nivelten tyyppien ratkaisu ei tuottanut odotettua tulosta ja ohjaukseen jäi huomattavan paljon välyksiä. Tämä johti siihen, ettei pyörän kulmien hienosäädöstä saatu odotettua hyötyä irti, koska auraus-, caster- ja camberkulmat eivät pysyneet ajateltujen toleranssien sisällä toisiinsa nähden.

Vastaavasti itse ohjaus jäi toiminnaltaan vaillinaiseksi, koska välykset nivelissä aiheuttivat ohjauksen karkeuden eli tarkat liikkeet olivat ajoneuvolla lähes mahdollottomia. Ohjaussauvan ja -heilurin kiinnitykset ja niiden välysten hallinta todettiin hankalimmiksi koko nivelistössä. Nämä nivelet muodostuivatkin tuotteen ensimmäiseksi jatkokehittelyn kohteeksi.

6.2 Sähkömoottorin kytkentä

Sähkömoottorin kytkentä oli moottorien sisäisten ohjainlaitteiden takia hyvinkin monimutkainen projekti. Pohdittuamme erinäisiä vaihtoehtoja päädyimme ensimmäisenä vaihtamaan ohjaimelta moottorille lähtevistä kolmesta vaiheesta kaksi keskenään, sillä tässä moottorityypissä sen pitäisi vaihtaa moottorin pyörimissuunta. Tämä ei kuitenkaan tuottanut odotettua tulosta, sillä emme ottaneet huomioon ohjaimen sisäistä moottorin pyörimisen tarkkailua HALL-antureiden avulla.

Seuraavaksi oli ajatuksissa vaihtaa kahden HALL-anturin johdotusta keskenään, mutta tästä ajatuksesta luovuttiin peläten mahdollista ohjainlaitteelle aiheutettua vauriota. Lopuksi päädyimme muuttamaan moottorin pyörimissuunnan ohjelmallisesti suoraan ohjainlaitteelta. Tämä tuli kuitenkin mahdolliseksi vasta päivä ennen testejä lainaan saadulla kaapelilla Belgiassa, koska emme olleet saaneet omaa ohjelmointikaapelia useista pyynnöistä huolimatta.

6.3 Ajokokemukset

Ajokokemukset olivat hyvin lähellä sitä, mitä odotimme suunnittelun ja valmistuksen jälkeen. Tuote on virkistävän hauska ajettava ja voimaa on runsaasti, mutta ohjauksen välykset aiheuttavat pientä epävarmuutta laitteen käyttäytymiseen. Kaikkiaan ajoneuvo kuitenkin reagoi pyydettyihin ohjastuksiin ripeästi, ja ohjauksen rakenne todettiin toimivaksi, joten voimme todeta tuotteessa olevan erittäin paljon potentiaalia niin arkiseen työmatkakulkemiseen kuin vauhdikkaampaankin menoon.

Ongelmakohdaksi jo ensimmäisissä koeajoissa huomasimme vaihteiston toiminnan, joka on edelleen selvittämättä. Vaihdevipu ei pääse kääntymään takanavalla olevassa kulmavaihteen kotelossa tarpeeksi, aiheuttaen sen, ettei käytettävissä ole kuin kolme suurinta vaihdetta. Koneistimme vaihtajan osia sitten, että saimme lopulta toimimaan 4 - 5 suurinta vaihdetta, mutta tämä ei luonnollisestikaan riitä, vaan kaikki vaihteet on saatava toimintaan.

7 KEHITYSIDEAT

Tuotteeseen jää vielä useita asioita kehitettäväksi, joita tulee varmasti vielä lisää valmistuksen ja käytön aikana. Ensimmäisten käyttökokemusten aikana ilmenneiden (luku 6) ongelmien lisäksi on seuraavaksi esitelty muutamia asioita, joita ei aikataulun puitteissa ehtinyt toteuttamaan.

7.1 Sähköturvallisuus

Laitteessa on sähköjärjestelmä, joka pystyy luovuttamaan huomattavan määrän energiaa sekunnin murto-osassa. Tämän takia päävirtalinjoihin tulisi asentaa varokkeet, pääkatkaisin sekä virran katkaisu virtalukon ja kontaktorin avulla. Lisäksi kaikki päävirtaan liittyvä kaapelointi tulisi koteloida ja eristää rungosta. Sähköjärjestelmän vika tällaisenaan voi aiheuttaa tulipalon.

7.2 Etu- ja takajousitus

Kulkuneuvon massa on kokonaisuudessaan laskennallisesti noin 55 kg. Kun siihen lisätään 75 kg massaltaan oleva kuljettaja, on laite liikenteessä kokonaismassaltaan noin 130 kg. Jousitus olisi äärimmäisen tärkeä, ei vain ajomukavuuden, mutta pyörien kestävyys kannalta, sillä tällaisenaan esim. monttuun tai kiven yli ajaessa kohdistuu koko voima suoraan pyörään, ja puhuttaessa polkupyörän pyöristä, ei niitä ole suunniteltu näin suurille voimille.

Takajousi on helposti asennettavissa, koska sille on jo valmiit kiinnityspisteet. Ongelmaksi takajousituksessa muodostui tarpeeksi jäykän jousen löytäminen. Jouseen tulisi kohdistumaan pyörän rungon muodon aiheuttaman asennuskulman takia niin suuri voima, ettei polkupyörissä ole vastaaviin varauduttu. Voi siis olla, että jousi- ja iskunvaimenninyksikön joutuu teettämään erikseen.

Etujousituksen rakentaminen, mahdollistamalla samalla pyöränkulmien säädön ja kasvattamatta juurikaan raideväliä, on huomattavan suuri tehtävä. Jousi- ja

iskunvaimenninpaketin tulisi kiinnittyä olka-akselin ja pyörännavan väliin, ettei se joustotilanteessa vaikuttaisi pyöränkulmiin. Jouston suurin vaadittu liikemateria tulisi olla vähintään 50 mm.

7.3 Cycle Analyst

Laitteen sähköille olisi hyvä olla järjestelmä, jolla saadaan sen toimintaa, kuntoa ja tehoa tarkkailtua ja säädettyä mahdollisimman joustavasti. Yleinen vastaavissa sovelluksissa käytössä oleva järjestelmä on Cycle Analyst. Tämän uusimassa V3 -versiossa on mahdollista mitata lisälaitteiden avulla jopa ihmisen tuottamaa tehoa polkimien yhdistävään akseliin kiinnitettävän vääntömomenttisensorin avulla. Järjestelmällä saisi tutkittua ja ennakoitua koko ajoneuvon toimintaa niin laajalti, että pidän tämän järjestelmän käyttöönottoa ensisijaisen tärkeänä.

7.4 Katteet

Ajoneuvon katteita ei vielä tässä vaiheessa pystytty suunnittelemaan, koska valmistusvaiheessa tehtävän tuotekehityksen takia en halunnut asettaa mitään kiinteitä kiinnityspisteitä. Katteiden suunnittelun voi aloittaa sitten, kun rungon rakenne ja suurimpien oheislaitteiden sijoittelu on pääosin saatu päätettyä. Ajatuksena olisi tehdä kaksi erillistä sarjaa katteita; puolikate, jolloin ajoneuvoon olisi helpompi mennä sisälle sekä täysikate, joka antaisi täyden hyödyn aerodynamiikasta ja suojasta sääilmiöille.

8 YHTEENVETO

Työn aiheena oli kolmipyöräisen sähköavusteisen polkuajoneuvon eli velomobiilin suunnittelu. Työkokonaisuus velomobiilin valmistuksesta jaettiin kahteen osaan. Tässä työssä keskityttiin suunnitteluun ja prosessin toinen osapuoli vastasi tuotteen valmistuksesta. Koko tuotteen suunnittelu- ja valmistusprosessi oli kokonaisuudessaan vaativa työ, jossa kaikki osapuolet saivat erittäin hyvää kokemusta tuotteen suunnittelun ja valmistuksen vaiheista. Nyt, kun tuote on saatavaksi ja jatkokehitystä päästään tekemään, on tärkeää pitää mielessä jo opitut asiat ja ongelmat. Saimme jokainen myös arvokasta kokemusta projektinhallinnasta sekä kahden erillisen projektin yhteen sulauttamisesta.

Tässäkin projektissa, kuten niin monissa ennen tätä, aikataulu kävi lopulta hyvinkin tiukalle osin alun rauhallisen tahdin ja toisaalta tulevien ongelmien ratkominen menevän ajan hahmottamisen vaikeuden takia. Tämän tyyppisen tuotteen koevalmistus kannattaa aloittaa jo kohtuullisen aikaisessa suunnittelun vaiheessa, jotta mahdollisiin ongelmakohtiin päästäisiin mahdollisimman ajoissa käsiksi.

Ideoinnin alusta asti ajatuksena ollut muokattavuus ja säädettävyyys saatiin mielestäni tuotua lopputuotteeseen hyvin mukaan. Sähköisen voimansiirron voima oli osittain jopa vahvempi kuin olimme odottaneet, jonka vuoksi ajoneuvo tuntui enemmän puhtaalta sähkökulkuneuvolta, kuin ihmis- ja sähkövoiman hybridiltä. Kun kardanivedon ja ohjauksen ongelmakohdat saadaan kuntoon, on tuote viimeisiä varustelisäyksiä vaille valmis.

Kaikkiaan tuote vastasi juuri niitä odotuksia, jotka sille oli asetettu. Ongelmia oli odotettavissa ja niitä myös ilmaantui, mutta mitään ylitsepääsemätöntä ei tullut vastaan. Olen varma, että valmis kulkuneuvo tulee olemaan erinomainen väline niin urheilu- kuin arkikäytössä enkä näe estettä sen tuotteistamiseksi jo lähitulevaisuudessa.

LÄHTEET

BikeCalc 2013. Wheel Sizes. Viitattu 13.5.2013 http://www.bikecalc.com/wheel_size_math

Erasmus LLP Intensive Programme 2011. About the IP. Viitattu 5.6.2014 <http://www.ip-zev.gr>.

ETH 2013. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institute of Dynamic Systems and Control. Viitattu 15.3.2013
http://www.idsc.ethz.ch/Courses/vehicle_dynamics_and_design/11_0_0_Steering_Theroy.pdf

European Association of Metals 2014. Metals today, Metals description. Viitattu 5.6.2014
<http://www.eurometaux.org/MetalsToday/MetalsDescription.aspx>

Iowa State University 2014. NDT Education Resource Center. Composites. Viitattu 5.6.2014
<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Introduction/composites.htm>

John Hopkins University 1999. Pedal Power Probe Shows Bicycles Waste Little Energy. Viitattu 5.6.2014 http://www.jhu.edu/news_info/news/home99/aug99/bike.html

Simpson Motorsport 2013. What is Camber, Castor and Toe? Viitattu 13.5.2013
<http://www.simpsonmotorsport.co.uk/uploads/files/SuspensionSetup.pdf>

University of Delaware 2013. Hydraulic Pumps.
 Viitattu 13.5.2013 (<http://udel.edu/~inamdar/EGTE215/Pumps.pdf>)

University of Oxford 2009. Department of materials. Materials Selection. Viitattu 5.6.2014
http://www.materials.ox.ac.uk/uploads/file/design/design_notes3.ppt

Wakeham, K. 2009. Introduction to Chassis Design. Memorial University of Newfoundland and Labrador. Viitattu 13.5.2013 <http://www.keithwakeham.com/Files/ChassisDesign.pdf>