

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Autotekniikka

2014

Eero Olsbo

SÄHKÖAVUSTEISEN VELOMOBIILIPROTOTYYPIN KEHITTÄMINEN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka | Autotekniikka

Opinnäytetyön valmistumisajankohta: toukokuu 2014 | Sivumäärä: 41

Ohjaaja: Markku Ikonen

Eero Olsbo

SÄHKÖAVUSTEISEN VELOMOBIILIPROTOTYYPIN KEHITTÄMINEN

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Turun ammattikorkeakoululle aiemmin rakennettua velomobiilia toimivammaksi kulkuneuvoksi. Kehittämistä vaativiksi aihealueiksi valittiin runko, istuin, napavaihteisto, polkuvoimansiirto, takahaarukka ja iskunvaimennus, etujarrujärjestelmä, ohjausmekanismi, ja johdotukset. Tämän lisäksi päätettiin, että velomobiilista tehdään tieliikennekelpoinen, minkä takia siihen asennetaan lain vaatimat varusteet, jotka ovat heijastimet, valaisimet ja äänimerkinantolaitte sekä poljinsensori eli PAS. Lisäksi asennetaan turvallisuutta ja mukavuutta parantavat taustapeilit ja polkupyörän ajotietokone, sekä uudet polkimet.

Velomobiili rakennettiin alun perin keväällä 2013 IP-ZEV kurssille (Intensive Programme: Powering the future with zero emission and human powered vehicles). Tiukan aikataulun vuoksi prototyyppiä ei juurikaan ehditty testata, joten siinä oli paljon vikoja ja puutteita. Se esiteltiin kaikesta huolimatta Antwerpenissa, kolmivuotisen projektin viimeisessä tapaamisessa, loppukeväästä 2013. Velomobiililla on tarkoitus osallistua vuoden 2014 elokuussa HPV Student Challenge:iin, eli ensimmäisiin eurooppalaisten korkeakoulujen välisiin HPV (Human Powered Vehicles) kilpailuihin, jotka pidetään Ranskan Saõnessa. Jatkokehitystyö tehtiin kevään 2014 aikana.

Monien viivästymisien ja vastoinkäymisten kautta lopputuloksena saatiin toimiva velomobiili, joka on myös sähkömoottoreiden avustuksella kilpailukykyinen HPV-kilpailuissa. Vaikka kehitystyön tärkeimmät elementit saatiinkin valmiiksi, niin velomobiilissa on vielä kehitettävää, jotta siitä saisi täysin luotettavan ajoneuvon.

ASIASANAT:

nojapyörä, velomobiili, sähköavusteinen polkupyörä, HPV, kolmipyörä

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering | Automotive Engineering

Completion year of the thesis 2014 | Total number of pages: 41

Instructor: Markku Ikonen

Eero Olsbo

THE DEVELOPMENT PROCESS OF AN ELECTRIC ASSISTED VELOMOBILE

The goal of this thesis was to develop a velomobile of Turku University of Applied Sciences to a fully functional vehicle. The Areas in need of development were the frame, seat, gear hub, pedaling transmission, swing arm and suspension, front brakes, steering system and wirings. In addition, it was decided that the velomobile should meet the traffic requirements. This means that there should be reflectors, lights, an audible warning device and PAS (pedal assistance system). Furthermore, a side mirror, driving computer and new pedals and pedal shafts should be attached.

The velomobile was built in spring 2013 for an IP-ZEV course (Intensive Programme: Powering the future with zero emission and human powered vehicles). The Building schedule was really tight, which is why the prototype had not been tested at all. Regardless, the velomobile was presented in the last meeting of the three-year project in Antwerp in April 2013. The velomobile will participate in the HPV (Human Powered Vehicle) Student Challenge. It is the first HPV competition between European universities. The event will be held in Saône, France in August 2014.

After many delays and problems the velomobile project has been finished. As a result, the velomobile is fully functional and, with help of electric motors, also competitive in the HPV Student Challenge. Although this development project is finished, the velomobile still has more points to be improved to become a reliable vehicle.

KEYWORDS:

recumbent bike, trike, velomobile, electrically assisted bike, HPV

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET (TAI SANASTO)	6
1 JOHDANTO	7
2 VELOMOBIILI	8
3 LÄHTÖKOHDAT JA TARKOITUS	12
3.1 Toimeksianto	12
3.2 Lähtötilanne	12
4 PROTOTYYPIN JATKOKEHITTÄMINEN	15
4.1 Päärunko	15
4.2 Istuin	15
4.3 Napavaihteisto	16
4.4 Polkuvoimansiirto	20
4.5 Takahaarukka ja iskunvaimennus	24
4.6 Etujarrujärjestelmä	28
4.7 Ohjausmekanismi	30
4.8 Johdotukset	33
4.9 Tieliikennevaatimukset	34
4.10 Turvallisuus- ja mukavuusmuutokset	35
5 LOPPUTULOS & KEHITTÄMISIDEAT	37
5.1 Mitä sain aikaan?	37
5.2 Kehittämisisideat	38
6 YHTEENVETO	40
LÄHTEET	41

KUVAT

Kuva 1. Laminaarinen virtaus (Answers 2014)	9
Kuva 2. Tehdasvalmisteinen tadpole-tyyppinen WAW -velomobiili.	9
Kuva 3. Velomobiili ennen kehitystyötä.	13

Kuva 4. Vaihteensiirtäjät, vasemmalla CJ-8S40 ja oikealla CJ-8S20.	18
Kuva 5. Kardanin ja nivelakselin kiinnityspultit. Ylempänä on vanha vääntynyt 4 mm 8.8 pultti ja alempana 5 mm 12.9 pultti.	21
Kuva 6. Runkoputken päätylevy jyrskittyä.	22
Kuva 7. Takahaarukan kiinnityskohta.	24
Kuva 8. Takahaarukan vanttiruuvi.	26
Kuva 9. Iskunvaimentimen ensimmäinen kiinnitys.	26
Kuva 10. Runkoputki lyhennettynä.	27
Kuva 11. Iskunvaimentimen alapään kiinnityslaipat.	28
Kuva 12. Etujarrujen kolmiopala.	29
Kuva 13. Vanha ohjausmekanismi.	30
Kuva 14. Solidworks-hahmotelma ohjauslaipasta ja ohjaustangon kiinnikkeistä.	32
Kuva 15. Ohjaustanko vielä maalaamatta.	32
Kuva 16. Valmis velomobiili.	37

TAULUKOT

Taulukko 1. Eri polkupyörillä ja velomobiileilla saavutettavat nopeudet eri tilanteissa. (Van De Walle 2004, 59).....	10
Taulukko 2. Napavaihteistojen välityssuhteet. (Shimano 2014).....	18
Taulukko 3. Kokonaisvälityssuhteet.	19

KÄYTETYT LYHENTEET (TAI SANASTO)

HPV	Human powered vehicle. ihmisvoimalla kulkeva kulkuneuvo.
HPV Student Challenge	Eurooppalaisten korkeakoulujen välinen kilpailu HPV - kulkuneuvoilla.

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on kehittää Turun ammattikorkeakoululle rakennettua velomobiilia toimivammaksi kulkuneuvoksi. Lähtökohtana oli aiemmin Turun ammattikorkeakoululle rakennettu velomobiili, jossa oli huomattava määrä parannusta vaativia kohteita, johtuen vähäisestä testauksen määrästä.

Tätä opinnäytetyötä oli helppo lähteä tekemään, koska olen itse ollut mukana tässä velomobiiliprojektissa alusta lähtien. Tästä syystä oli helppo lähteä tekemään suuriakin muutoksia, koska tiesin kuinka asiat olivat aluksi tehty. Tavoitteeksi asetin itselleni, että saisin kehitettyä prototyyppiä siihen pisteeseen, että sillä voisi ottaa osaa ensimmäiseen korkeakouluopiskelijoille suunnattuun HPV Student Challenge -kilpailuun sekä sen, että mahdollisesti seuraavan opiskelijan olisi helppo lähteä sitä vieläkin jatkokehittämään, esimerkiksi velomobiilille tunnusomaisen kuomun suunnittelussa.

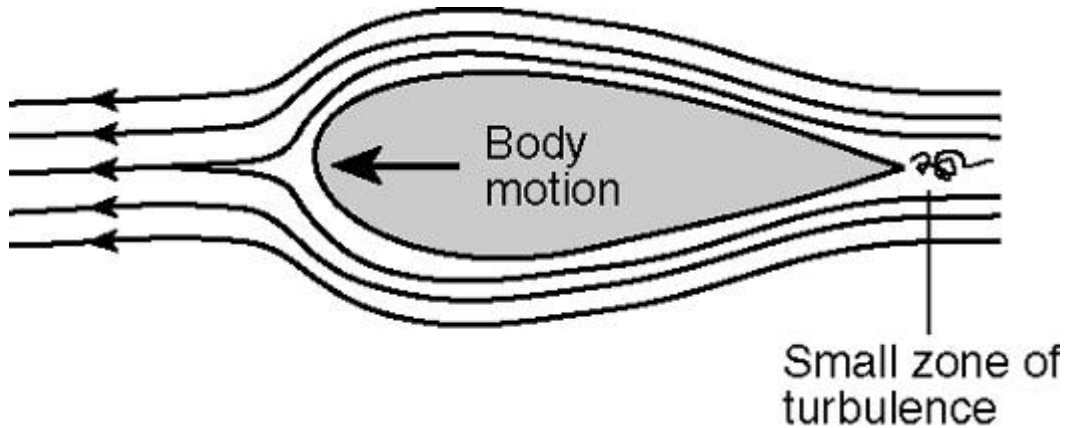
Tämän työn sisältö keskittyy kertomaan niistä muutoksista, jotka tein velomobiiliin, sekä kertomaan niihin liittyvistä työvaiheista. Lisäksi käsitelen kunkin muutosta vaatineen osan tai osakokonaisuuden lähtötilanteen. Pyrin myös perustelemaan syyt siihen, miksi päädyin mihinkin ratkaisuun. Alussa kerron myös hieman velomobiilista yleisellä tasolla ja sen kilpailukyvystä normaaliin polkupyörään verrattuna.

2 VELOMOBIILI

Velomobiili on makuultaan ajettava kolmipyöräinen nojapyörä, joka on myös katettu osittain tai kokonaan. Siinä voi myös olla polkemista keventävä sähköavustin ja useimmiten se on vain yksipaikkainen. Usein siinä voi myös olla tilaa pienelle määrälle tavaraa. Suomessa velomobiili on vielä melko harvinainen näky liikenteessä, vuoden 2012 alussa niitä oli käytössä vain muutamia (Velocraft 2014). Velomobiilista voidaan myös käyttää nimeä kinneri, joka saattaa olla hieman tunnetumpi termi monille ihmisille Suomessa.

Velomobiileja voidaan lajitella monella eri tavalla, esimerkiksi pyörien lukumäärän, niiden sijoittelun tai ohjauksen perusteella. Jos kyseessä on kolmipyöräinen velomobiili, niin mallina on usein joko ns. tadpole, jossa edessä on kaksi ja takana yksi pyörä tai ns. delta, jossa edessä on yksi ja takana kaksi pyörää. Yhdessä prototyypissä, jonka näin, oli toisella sivulla yksi ja toisella kaksi pyörää. Tämä kertoo siitä, että kuka tahansa voi suunnitella itselleen juuri haluamansa kaltaisen velomobiilimallin, eikä sen tarvitse olla millään tavalla sidoksissa yleiseen käytäntöön.

Useimmin käytetty velomobiilimalli omien kokemusten perusteella on siis tadpole, jossa edessä on kaksi pyörää ja takana yksi pyörä. Tämän mallin etuna on se, että se ei tiukoissa mutkissa kaadu kovinkaan herkästi ja se on helpompi tehdä vakaammaksi. Lisäksi siihen on helpompi suunnitella kori, joka kapenee perään päin mentäessä. Tällaisen korin etuna on se, että kun sillä ajaa, niin ilma muodostaa korin vasten laminaarisen virtauksen, toisin sanoen, kori ikään kuin ”halkaisee ilmaa edessä ja sulkee sen perässään” (Kuva 1. Laminaarinen virtaus (Answers 2014)).



Kuva 1. Laminaarinen virtaus (Answers 2014)

Todellisuudessa virtaviivainenkaan velomobiilin kori ei "sulje" ilma-aukkoa perässään täysin, vaan aiheuttaa sinne pienen turbulenttisen virtauksen, joka vastustaa liikettä. Turbulenttista virtausta esiintyy varsinkin polkijan selän takana, kun ajetaan normaalia polkupyörää.

Tadpole-mallissa myös jarruttamisesta saadaan tehokkaampaa, koska edessä on kaksi jarruttavaa pyörää.



Kuva 2. Tehdasvalmisteinen tadpole-tyyppinen WAW -velomobiili.

Velomobiilia verrattaessa normaaliin polkupyörään suurin ero on ehdottomasti kulkuneuvojen ilmanvastuksessa. Ilmanvastusvoiman kaava on $F_D = \frac{1}{2} c_D \rho A v^2$,

joten vastustavaan voimaan vaikuttaa siis kappaleen muoto, väliaineen tiheys (tässä tilanteessa ilma), kappaleen poikkipinta-ala ja nopeus. Kaavan perusteella voidaan todeta, että kun vauhti kaksinkertaistuu, niin ilmanvastus nelinkertaistuu. (Inkinen & Tuohi 2014, 340.)

Taulukko 1. Eri polkupyörillä ja velomobiileilla saavutettavat nopeudet eri tilanteissa. (Van De Walle 2004, 59)

Nopeus km/h	Huono polkupyörä	Hyvä tavallinen polkupyörä	Tavallinen velomobiili	Kilpapolkupyörä	Paras markkinoilla oleva velomobiili
Tasainen tie, 250W	23,5	29	41	37,5	50
Tasainen tie, 100W	15	20,5	28	27	34
5% ylämäki, 150W	6,5	9,7	8,6	11,6	9
2% alamäki, 100W	25	29,5	50	38,5	63,8
Kova vastatuuli, 150W	3,9	5,5	12,1	9,3	17,4
Vaadittu teho, 30 km/h nopeuden ylläpitämiseen	444W	271W	115W	137W	79W

Taulukko 1. Eri polkupyörillä ja velomobiileilla saavutettavat nopeudet eri tilanteissa. (Van De Walle 2004, 59) esittää nopeuksia, jotka saavutetaan tietyllä teholla ja tietyssä olosuhteissa. Siitä käy hyvin ilmi, kuinka tehdasvalmisteinen hyvä velomobiili toimii monella alueella normaalia polkupyörää ja kilpapyörää tehokkaammin. Ainoana kohtana, jossa velomobiili jää tavallisen ja kilpapyörän taakse on melko jyrkkä ylämäki. Tämäkin tasoittuisi, mikäli vertailussa olleessa velomobiilissa olisi käytössä sähköavustin.

Jotta saisi käsityksen siitä, mikä ihmisen tehontuotto on, niin keskiverto ihminen pystyy tuottamaan hetkellisesti noin 900 W tehon ja huippu-urheilija 1200 W tehon. Minuutin jälkeen normaalilla ihmisellä tehontuotto putoaa 300 – 400 W välille ja kovakuntoisella urheilijalla tehontuotto pysyy yli 400 W, jopa tunteja. Kun vauhti halutaan pitää noin 30 km/h, se vaatii olosuhteista riippuen 200 – 250 W tehoa. Tällaista tehoa pystyy keskiverto aikuinen tuottamaan useita mi-

nuutteja, mutta kun vauhtia pudotetaan 20 km/h:iin, niin tehon tarve on enää puolet tästä, eli noin 100 W. Tätä tehomäärää keskiverto aikuinen puolestaan pystyy ylläpitämään yli tunnin. (Ikonen 2013, 53.)

Kenelle velomobiili on sitten tarkoitettu? Se on tarkoitettu sellaisille ihmisille, jotka haluavat kulkea ympäristöystävällisesti ja ekologisesti esimerkiksi työ- tai koulumatkat. Se sopii kaikenikäisille ja kokoisille, mikäli fyysiset ominaisuudet antavat mahdollisuuden sitä käyttää. Ainoana huonona puolena, minkä itse näen täysin katetussa velomobiilissa, on sen säilytettävyyden. Sen suuren kokonsa vuoksi se on hankala esimerkiksi kuljettaa kerrostalon ylimpään kerrokseen omaan eteiseen säilöön. Tästä johtuen aktiivisella velomobiilin käyttäjällä tulisi-kin olla hyvät säilytysmahdollisuudet kalliille velomobiilille.

Velomobiili kulkuneuvona on melko yleinen, kun siirrytään Keski-Eurooppaan. Monet Keski-Euroopan suurkaupungit ovatkin panostaneet entistä enemmän kevyen liikenteen toimivuuteen. Syynä tähän ovat kasvavat automäärät ja niistä seuranneet ilmanlaatuongelmat. Vuosittain ilmansaasteet aiheuttavat 310 000 ennenaikaista kuolemaa Euroopan alueella (Low Emission Zones 2014).

Monissa Euroopan suurkaupungeissa onkin käytössä LEZ (Low Emission Zones) -järjestelmä. Sen tarkoituksena pienentää päästöjä LEZ -alueella, eli yleensä suurkaupungin keskustassa. LEZ -alueella saakin siis vain kulkea matalapäästöisellä ajoneuvolla ja erillistä maksua vastaan korkeapäästöisemmäläkin autolla. Joillain alueilla on totaalinen kieltä kaikille muille ajoneuvoille kuin matalapäästöisille. (Low Emission Zones 2014.)

3 LÄHTÖKOHDAT JA TARKOITUS

3.1 Toimeksianto

Työ lähdettiin toteuttamaan Turun ammattikorkeakoulun tilauksesta ja se myös rahoitti opinnäytetyön. Varsinaista työn valmistumisaikaa ammattikorkeakoulu ei antanut, vaan määrittelin sen itse itselleni. Toiminnalliselle osalle annoin aikaa vuoden 2014 huhtikuun alkuun asti ja kirjoittamisvaiheelle kahdesta kolmeen viikkoa, toiminnallisen osan valmistuttua.

Tämä kehitystyö toteutettiin, jotta kyseisellä velomobiililla pystyttäisiin osallistumaan vuoden 2014 elokuussa Ranskassa järjestettäviin ensimmäisiin eurooppalaisten korkeakoulujen välisiin HPV kilpailuihin. Lisäksi velomobiilia voidaan käyttää opetustarkoituksissa esimerkiksi, kun tutkitaan ja opetellaan pyöräkulmia ja niiden vaikutuksia ajo-ominaisuuksiin, koska siinä on erittäin monipuoliset pyöräkulmien säätömahdollisuudet.

3.2 Lähtötilanne

Velomobiili rakennettiin keväällä 2013 oppilastyönä, osana kolmivuotista IP ZEV projektia, jonka aiheena oli nollapäästöiset ja ihmisvoimalla kulkevat kulkuneuvot. Se esiteltiin vuoden 2013 huhtikuussa Belgian Antwerpenissa, jossa pidettiin kolmivuotisen projektin viimeinen tapaaminen. Erittäin kiireisen rakentamisaikataulun johdosta sitä ei ehditty kunnolla testata ennen Belgian matkaa, joten varsinainen testaaminen tapahtui kaksiviikkoisen tapaamisen aikana Antwerpenissa. Luonnollisestikin prototyypistä löytyi testauksien yhteydessä vikoja ja puutteita, joita ei pystytty korjaamaan tai muuttamaan sillä hetkellä.



Kuva 3. Velomobiili ennen kehitystyötä.

Suurin ongelmakohta oli ehdottomasti käytössä ollut 11-vaihteinen napavaihteisto ja kardaniakselin kiinnitys nivelakseleihin. Ongelma löytyi myös ohjauksen väljyydestä ja ohjaussauvojen suuresta liikematkasta ylös ja alas kääntymiskykyyn nähden. Syy väljyyteen oli ohjaussauvojen heikohkoissa pallonivelissä ja väljyyttä aiheutti ohjaussauvojen alaspäin suuntautuva liike, koska se laittoi käytössä olleet pallonivelet äärirajoilleen.

Velomobiilista löytyi vaihteiston, kardaanin ja ohjauksen lisäksi myös muita ongelmakohtia, mutta niiden lähtötilanteita käsittelen enemmän 4. luvussa.

Polkuvoima välittyy takapyörälle kardaniakselin välityksellä. Kardaniakseli kulmavaihteineen on osaksi Sussexin valmistama ja osaksi itse valmistettu. Lisäksi nojapyörään on asennettu kaksi kiinalaisen Golden Motorin valmistamaa napamoottoria etupyöräksi. Niiden ominaisuuksiin kuuluu ohjelmoitava ohjainlaite, jonka kautta muun muassa pystyy säätämään maksimivirtaa ja sitä kautta tehoa.

Lisäksi siihen kuuluu vakionopeudensäädin, peruutusvaihde, peukalokaasu ja mikrokytkimellä varustettu jarrukahva, joka aktivoi jarrujen regeneroinnin eli liike-energian muuntamisen sähköksi ja taltioimisen akkuihin.

Akkuina on kaksi litiumionirautafosfaattiakkua. Niiden käyttöjännite on 48 V, niillä on kummallakin 20 Ah kapasiteetti ja 960 Wh energiasisältö. Akut ladataan niille tarkoitettulla laturilla, joka pystyy lataamaan akkua enintään 2 ampeerin virralla. Tämä tarkoittaa sitä, että tyhjästä akusta täyteen lataukseen kestää 10 tuntia.

Kyseiset akut ovat hieman ylimitoitettuja tämän luokan ajoneuvoon. Oman kokemukseni perusteella muissa sähköavusteisissa kulkuneuvoissa yleensä akkuja on yksi ja sen kapasiteetti on 10-15 Ah.

Arvio siitä, kuinka pitkälle akuilla pääsee, selviää laskemalla. Esimerkiksi voidaan ajatella, että napamoottorit ovat ohjelmoitu tieliikenteeseen. Tällöin moottoreiden teho on yhteensä 250 W ja ne saavat avustaa vain kun poljetaan ja vain 25 km/h:iin asti.

Ajatellaan, että ajetaan maantiellä ja käytetään koko ajan 250 W tehoa. Yhden akun kapasiteetti on siis 20 Ah eli 960 Wh. Tällöin yhtä akkua pystytään käyttämään $\frac{960Wh}{250W} = 3,84h$. Akkuja ei kuitenkaan ole hyvä ajaa täysin tyhjäksi, joten päätetään, että akkua kulutetaan vain 3 tunnin ajan. Tänä aikana kuljettu matka on siis $3h \times 25 \frac{km}{h} = 75km$. Kun käytössä on kaksi tämän kokoista akkua, saadaan toimintamatkaksi teoriassa 150 kilometriä.

Jarruina tässä kulkuneuvossa toimivat levyjarrut. Etupyörillä olevat jarrut toimivat mekaanisesti vaijerin avulla ja takana oleva levyjarru toimii hydraulisesti. Lisäksi, jarruiksi voisi lukea myös edellä mainitun napamoottoreiden regenerointiominaisuuden. Regenerointi kytkeytyy etujarrujen kahvasta kun sitä painaa vähän ja tämän jälkeen mukaan tulevat levyjarrut.

4 PROTOTYYPIN JATKOKEHITTÄMINEN

4.1 Päärunko

Päärunko on alkujaan piirretty ja valmistettu suomalaisen nojapyöriä markkinoivan Mirage Bikes -yhtiön Nomad -nojapyörän runkoa mallina käyttäen.

Velomobiilin jatkokehitysvaiheessa päärungosta poistettiin penkin takaa noin 15 cm matkalta runkoputkea, jotta takaiskunvaimennin saatiin asennettua haluttuun kohtaan. Tällä velomobiilin yleisilmettä saatiin matalammaksi ja samalla myös polkemisasento muuttui makaavammaksi. Ilman runkoputken leikkaamista takapyörä olisi ottanut runkoputkeen kiinni sen jälkeen, kun takaiskunvaimennin olisi asennettu haluttuun kohtaan.

Maavaran lisäämiseksi alatuennan runkoputkesta poistettiin puolet ja tilalle hitsattiin 3 mm paksusta lattaraudasta tasainen levy, tällä saatiin lisättyä maavaaraa noin 2,5 cm etupyörien kohdalla. Alatuennasta poistettiin myös vanhojen ohjaussauvojen kiinnitysholkit. Kaikkiin katkaisuihin käytettiin kulmahiomakonetta. Hitsaamiseen käytettiin MIG -hitsauslaitetta.

Päärungosta jouduttiin myös irrottamaan akkujen kiinnitykset, sillä ne olivat tiellä, kun iskunvaimentimen kiinnityksiä hitsattiin paikalleen. Uudet akkujen kiinnitykset hitsattiin lähes samoihin kohtiin kuin vanhat, mutta akkujen asento muuttui pystysuorasta enemmän vaakatasoon.

4.2 Istuin

Velomobiilin vanha putkirunkoinen itse tehty istuin korvattiin uudella tehdasvalmisteisella VentiSit -istuimella, joka hankittiin Raaseporilaiselta Velocraft -yritykseltä. Penkki on lujitemuovia ja siinä erittäin hyvin hengittävä 30 mm paksu pehmuste. Lisävarusteena hankittiin vielä niskatuki lieventämään niskan rasitusta pitkillä matkoilla. Suurempi niskan rasitus johtuu siitä, että velomobiilin profiili muuttui matalammaksi takaiskunvaimentimen asentamisen jälkeen. Tämä tar-

koittaa sitä, että polkijan asento on entistä enemmän makaavampi. Mikäli ei halua ihan makuuasennossa polkea, uudessa istuimessa on myös mahdollista muuttaa erittäin nopeasti istuinkulmaa pikalukon ja penkin uritettujen kiinnityslaippojen avulla.

Penkki kiinnitettiin runkoon kahdella laippaparilla, jotka ovat ylä- ja alapäässä penkkiä. Tämä vaati sen, että rungon yläpäähän porattiin 12 mm suuruinen reikä ja sen jälkeen reikään hitsattiin 12 mm paksu ja 8 mm sisähalkaisijalla oleva putki. Putki piti valmistaa tangosta sorvaamalla, koska hitsattu putki ei ole koskaan niin suora kuin sorvattu.

Istuimen alapää kiinnitettiin runkoon kahdella M8-kierteellä olevalla ruuvilla, jotta runkoputkeen hitsattiin sisäleveydeltään 25 mm oleva neliöputki, johon porattiin 12 mm reikä. Tämän jälkeen sorvilla porattiin 80 mm pitkään tankoon läpi reikä 6,8 mm terällä. Sen jälkeen siihen tehtiin M8-kierteet sorvia apuna käyttäen. Valmis putki hitsattiin neliöputken keskelle.

Alapään kiinnitys päätettiin tehdä kyseisellä tavalla, koska näin penkin kiinnitys on helposti muokattavissa uudenlaiseksi, mikäli siihen löytyy tarvetta. Lisäksi suljettua runkoputkea, jonka sisässä kardaani kulkee, ei tarvinnut lähteä po-raamaan. Kyseinen kiinnitystapa nostaa myös hiukan istuimen alapäätä ylemmäs, joka korostaa makaavaa polkemisasentoa, jota eritoten lähdettiin hake-maan.

4.3 Napavaihteisto

Alun perin käytössä oli Shimano Alfine 11-vaihteinen napavaihteisto. Tilalle hankittiin Shimano Alfine SG-S501 -napavaihteisto, jossa on 8 vaihdetta. Syynä tähän oli se, että 11-vaihteisen napavaihteiston vaihteen siirtäjä oli liian massiivinen Sussexin valmistamaan polkupyörille tarkoitettuun kardaaniipakettiin. Toisin sanoen siirtäjä oli liian paksu, jotta sen olisi saanut kiinnitettyä napaan ja siirtäjän halkaisija oli suurempi kuin takapyörän rattaan. Siirtäjää päätettiin hioa sopivan kokoiseksi sekä paksuudesta että halkaisijan osalta, ja se saatiinkin

mahtumaan napaan ja toimimaan osittain 5-6 vaihteella. Tämä ei kuitenkaan riittänyt, kun haluttiin täysin toimiva velomobiili.

Käytin useita tunteja pohtiessani ratkaisua, millä 11-vaihteisen navan saisi toimimaan koko vaihdealueella. Mielessä kävi, että sorvilla olisi valmistettu kahdella eri halkaisijalla oleva rulla, jossa toisen rullan halkaisija olisi ollut alkuperäisen vaihtajan halkaisija ja toisen pienemmän rullan halkaisija olisi ollut hiotun vaihtajan halkaisija. Rulla olisi kiinnitetty takahaarukkaan ja suuremmalla halkaisijalla olevaan rullaan olisi kiinnitetty vaihdevaijeri, joka tulee vaihteenvalitsimelta ja pienempään rullaan vaijeri, joka olisi yhdistetty vaihteensiirtäjään. Kun vaihdevipua olisi vääntänyt, niin vaihtajalta tuleva vaijeri olisi kiertänyt isompaa rullaa, jossa samaan aikaan pienempi rulla olisi pyörittänyt omalla vaijerillaan vaihteensiirtäjää. Tällä tavalla olisi saatu kaikki vaihteet toimimaan.

Asiaa enemmän suunnitellessani huomasin, että ruuvi, joka kiinnittää vaijerin vaihteensiirtäjään, otti kiinni kulmavaihteen koteloon, kun vaihteita yritti vaihtaa kuudennesta vaihteesta pienemmälle. Tästäkin ongelmasta olisi selvitty, jos kulmavaihteen kotelo olisi leikattu kokonaan pois. Tähän ratkaisuun en kuitenkaan halunnut ryhtyä, koska halusin säilyttää kotelon, jotta se suojaisi kulmavaihdetta liialta ja liialliselta kulumiselta. Myös kokonaisuuden ulkonäkö olisi muuttunut hyvin karkeaksi.

Ainoaksi vaihtoehdoksi jäi siis uuden navan tilaaminen ja asentaminen. Tilalle vaihdettiin siis Shimano Alfine SG-S501, jossa on 8 vaihdetta. Ilman ongelmia ei välttytty tämänkään napavaihteiston kanssa, vaan päänvaivaa aiheutti tässäkin niin ikään vaihteensiirtäjä, joka oli liian paksu, jotta sen olisi saanut asennettua kulmarattaan päälle. Pitkän tutkinnan jälkeen selvisi, että kyseiseen napamalliin on tarjolla kahta eri siirtäjää, CJ-8S20 ja CJ-8S40. Erona näillä vaihtajilla on se, että 40 -malli on tiivistetty malli 20:stä.

Tilasin siis toisen tiivistetyn siirtäjän ja odotukseni olivat erittäin korkealla, koska 8-vaihteisen navan siirtäjä oli tuottanut pettymyksen. Pitkäksi venyneen toimitusajan jälkeen toinen siirtäjä vihdoinkin saatiin. Ongelma ei korjautunut tälläkään

toimenpiteellä, sillä ainoaksi eroksi siirtäjien välillä huomasin erimittaiset ”vaijerilaipat” (Kuva 4).



Kuva 4. Vaihteensiirtäjät, vasemmalla CJ-8S40 ja oikealla CJ-8S20.

Tämän jälkeen päätin hioa toisesta palasta paksuudesta pois niin paljon, että sen sai asennettua kulmarattaan päälle. Siirtäjä oheni noin 4 millimetrillä, ennen kuin sen sai asennettua kivuttomasti napavaihteistoon.

Taulukko 2 on vertailuna aiemmin käytetyn 11-vaihteisen ja nykyisen 8-vaihteisen napavaihteiston välityssuhteet.

Taulukko 2. Napavaihteistojen välityssuhteet. (Shimano 2014)

Välityssuhteet		
	Shimano SL-S700	Shimano SG-S501
Suurimman ja pienimmän välityssuhteen suhde	4,09	3,07
1. vaihde	0,527	0,527
2. vaihde	0,681	0,644
3. vaihde	0,77	0,784
4. vaihde	0,878	0,851
5. vaihde	0,995	1
6. vaihde	1,134	1,223
7. vaihde	1,292	1,419
8. vaihde	1,462	1,615
9. vaihde	1,667	
10. vaihde	1,888	
11. vaihde	2,153	

Taulukosta voidaan huomata, että 8 vaihteella suurimman ja pienimmän välityssuhteen suhde on noin 25 % pienempi, kuin 11-vaihteisella navalla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että 11-vaihteinen toimii paljon laajemmalla alueella ja suuremmissa nopeuksissa siitä saadaan parempi hyöty kuin 8-vaihteisesta navasta.

Taulukko 3. Kokonaisvälityssuhteet.

	Kokonaisvälityssuhde	
	Shimano SL-S700	Shimano SG-S501
1. vaihde	1,095	1,095
2. vaihde	1,414	1,338
3. vaihde	1,599	1,628
4. vaihde	1,824	1,767
5. vaihde	2,067	2,077
6. vaihde	2,355	2,540
7. vaihde	2,683	2,947
8. vaihde	3,036	3,354
9. vaihde	3,462	
10. vaihde	3,921	
11. vaihde	4,472	

Taulukko 3 Näyttää kokonaisvälityssuhteet kummallakin napavaihteistolla. Kun kyseessä on kokonaisvälityssuhde, niin huomioon on otettu myös voimalinjan rattaiden suhteet. Voimalinjassa on yhteensä 4 ratasta, joista ensimmäinen on poljinakselissa, siinä on 27 hammasta. Tähän rattaaseen on yhteydessä kardaniakselin ensimmäinen ratas, jossa on 11 hammasta. Näiden kahden rattaan välinen välityssuhde on 2.45.

Kardaanin toinen ratas sijaitsee takapyörän yhteydessä ja siinä on 22 hammasta ja takapyörän rattaassa on puolestaan 26 hammasta. Näiden välityssuhde on 0,85. Polkuvoimansiirron kokonaisvälityssuhde saadaan kun kerrotaan kummankin ratasparin välityssuhteet $2,45 \times 0,85 \approx 2,08$.

Pyörän kulkema matka yhdellä polkaisulla voidaan laskea renkaan kehän avulla. Ympyrän kehän kaava on $2\pi r$, jossa r tarkoittaa sädettä. Kyseessä on 20

tuumainen vanne, jonka halkaisija senteissä on 50,8 cm. Renkaasta sädettä tulee lisää 3,5 cm, tällöin säteeksi saadaan 28,9 cm. Renkaan kehä on $2\pi r = 2 \times \pi \times 0,289m \approx 1,82m$. Yhdellä polkaisulla kuljettu matka on silloin ympyrän kehän ja kokonaisväilyssuhteen tulo.

Nykyisellä 8-vaihteisella navalla 1. vaihteella kuljettu matka yhdellä poljinkieroksella on $1,82m \times 1,095 \approx 1,99m$. 8. vaihteella sama vastaava luku on $1,82m \times 3,354 \approx 6,1m$.

4.4 Polkuvoimansiirto

Kulmavaihteet ja kardaani toimivat yllättävän hyvin ensimmäisessä versiossa pieniä ongelmia lukuun ottamatta. Tässä kohtaa en kuitenkaan ala käsittelemään takapyörän navan ja sen kulmarattaiden ongelmia, koska siihen on perehdytty aiemmassa alaluvussa.

Velomobiilin polkimet ja kulmavaihepaketti ovat siis tehdasvalmisteisia. Niihin jouduttiin kuitenkin tekemään pieniä rakenteellisia muutoksia, kun niitä asennettiin prototyyppiin sen rakennusvaiheessa. Ensinnäkin poljinakselia ja sen kulmavaihteen koteloa jouduttiin lyhentämään, jotta se olisi käytännöllisempi velomobiilissa. Kotelon lyhentäminen ei tuottanut ongelmia, mutta poljinakselin lyhentäminen sen sijaan tuotti. Poistettava pätkä jouduttiin ottamaan akselin keskeltä, koska molemmat päät olivat koneistettuja muun muassa laakereille, kulmarattaalle ja polkimien kiinnitykselle.

Tästä syystä polkimille kehitettiin holkkiratkaisu, joka pitäisi akselin kasassa. Holkki yritettiin aluksi kiinnittää akseliin porattujen reikien ja tappisokkien avulla, mutta sokat eivät kestäneet polkemisesta muodostunutta suurta momenttia. Ainoaksi ratkaisuksi siis jäi akselin hitsaaminen yhteen. Huonoissa oloissa ja ilman oikeanlaisia mittausvälineitä, hitsatessa akseli jäi hieman käyräksi. Tämän huomasi erityisesti polkiessa, kun polkimet pyörivät hieman ”kierosti” poljinakselinsa ympäri.

Poljinakselin suoristaminen ulkoistettiin Turun Koneteknologiakeskukselle, jossa he pystyivät suoristamaan sen oikeanlaisia laitteita käyttäen, mahdollisimman suoraksi. Ongelmaksi tästä ulkoistamisesta muodostui erittäin pitkäksi venynyt työstöaika ja näin opinnäytetyön toiminnallisen osan viivästyminen alkuperäisestä, itselleni antamasta ajankohdasta.

Kun siirrytään voimansiirtolinjalla poljinakselin jälkeen kulmavaihteelle ja siitä kardaaniakselille, niin seuraava heikko kohta löytyi nivelakselista, joka mahdollistaa kardaaniin suunnan muuttamisen. Nivelakselit kiinnitettiin kardaaniin alun perin M4 pultteilla ja nyloc – muttereilla. Pultteina käytettiin normaaleja 8.8 kovuusluokan pultteja ja niistä huomattiin, että ne eivät myöskään kestäneet vaadittavaa momenttia, joka polkimilta tulee.



Kuva 5. Kardaaniin ja nivelakselin kiinnityspultit. Ylempänä on vanha vääntynyt 4 mm 8.8 pultti ja alempana 5 mm 12.9 pultti.

Tähän kehitystä vaativaan kohteeseen löysin ratkaisun poraamalla kardaaniin ja nivelakseleiden reiät 5 mm kokoisiksi ja pultteiksi vaihdettiin M5 pultteja joiden kovuusluokka 12.9. Lisäksi uudella napavaihteistolla pystytään liikkeelle lähdetäessä käyttämään myös pienimpiä vaihteita, mitä ei aiemmalla 11-vaihteisella pystytty käyttämään. Tällä tavalla pultteihin kohdistuva momentti ei nouse kohtuuttoman suureksi etenään liikkeelle lähdetäessä.

Kardaanivedon kulmavaihteissa on käytössä viistosti hammastetut rattaat. Pyöriessään ne pyrkivät työntymään toisistaan pois päin. Tämän seurauksena kardaaniin päässä pyörivä kulmaratas työntyi velomobiiliin perää kohden. Samalla ensimmäisen nivelakselin pultti hankautui runkoputken päässä olevaan levyyn poratun reiän reunoihin. Tästä johtuen irrotin levyn ja jyrsin reikää isommaksi,

jottei pultti hankaa levyyn ja aiheuta turhaa vastusta. Seuraavalla sivulla Kuva 6 voi nähdä aiemman pultin hankausjälkiä päätylevyssä.



Kuva 6. Runkoputken päätylevy jyrskittyä.

Kardaaniakselia ei voitu asentaa kulkemaan täysin suoraan, vaan se jouduttiin laittamaan hieman vinosti runkolinjaan nähden johtuen poljinpaketista. Laakeripesiä ei kuitenkaan lähdetty koneistamaan niin, että niissä olisi otettu huomioon kardaaniin vino kulkusuunta, vaan laakeripesät pyrittiin kohdistamaan niin, ettei liiallista hankausta syntyisi laakereihin.

Laakeripesät olivat todella hankala asentaa runkoputkeen, joten kun ne saatiin paikalleen, niin niitä ei enää lähdetty irrottamaan. Lopputuloksena laakerointi oli hieman vinossa kardaaniin nähden. Tästä johtuen kardaaniin laakerointi joutui suurempaan rasitukseen, mitä oli suunniteltu ja sen huomasi muun muassa polkimien raskaasta pyörimisestä.

Tämä asia korjattiin irrottamalla kardaaniin laakeripesät ja kohdistamalla ne paremmin, jotta vastukset saataisiin mahdollisimman pieneksi kardaaniin pyöriesässä. Etupäässä oleva pesä saatiin irti, kun runkoputkessa olevasta reiästä hakattiin ruuvimeisselillä ja vasaralla laakeripesän takaa. Irrotus oli erittäin hankala, koska laakeripesä oli ruostunut hieman kiinni jo runkoputkeen. Kun etupään

pesä oli irrotettu, niin takapään laakeripesän irrotus oli kohtalaisen helppoa pitkällä tangolla lyötäessä. Laakeripesiä irrottaessa vanhat laakerit vioittuivat ja tilalle hankittiin uudet vastaavanlaiset laakerit.

Takapään laakeri kohdistettiin asentamalla ensin takahaarukka paikalleen, samalla kytkettiin rungon ja takahaarukan kardaniakselit toisiinsa nivelakselilla. Tämän jälkeen takahaarukan ja rungon välinen kulma asetettiin oikeaksi kiinnittämällä iskunvaimennus. Tämän myötä kardaniakseli asettui sille edullisimpaan asentoon. Tämän jälkeen oli helppo työntää vapaana kardaanissa roikkunut laakeripesä runkoputken päähän.

Etupään laakeripesän kohdistaminen oli hieman vaikeampi toteuttaa, sillä se täytyi saada asennettua paljon syvemmälle runkoputken sisään kuin takapään laakeripesä ja vielä oikeaan asentoon. Kardani asetettiin laakeripesän läpi ja sen jälkeen pesä runkoputken suulle. Siitä se painettiin runkoputkeen ja hakattiin paikalleen pitkällä tuurnalla ja vasaralla.

Takahaarukkaa kiinnitettäessä runkoon ilmeni jälleen haaste. Kun takahaarukka oli kiinnitetty omilla pulteillaan, se käännettiin omaan asentoonsa, jossa myös iskunvaimentimen kiinnitys onnistui. Tässä kohtaa huomattiin, että kardaanin pyöriminen muuttui todella raskaaksi. Ongelmakohtaksi osoittautuivat takahaarukan kiinnityskohdat. Kun takahaarukan taivutti omalle paikalleen, se samalla pakotti nivelakselia alemmas. Tämä johtui siitä, että takahaarukan kiinnityspultit olivat liian alhaalla. Kuva 7. Takahaarukan kiinnityskohta. voi nähdä, missä reiät ovat ja sen missä niiden kuuluisi olla.



Kuva 7. Takahaarukan kiinnityskohta.

Ongelmakohta korjattiin ensin kiinnittämällä iskunvaimennin ja sen jälkeen kiinnityslaippoihin piirrettiin terävällä kärjellä kohdat, joissa reikien tulisi olla. Reikiä suurennettiin viilalla ja paineilmalla toimivalla hiomakoneella.

4.5 Takahaarukka ja iskunvaimennus

Takahaarukka oli ensimmäisessä versiossa erittäin nopealla aikataululla valmistettu. Mallina oli tuolloin käytetty Mirage Bikesin Nomad-nojapyörästä saatua takahaarukkaa. Vasta testausvaiheessa huomattiin, että takahaarukka asettaa takapyörän hieman vinosti runkolinjaan nähden. Varsinainen haitta tästä oli takarenkaan epätasainen kuluminen ja vierintävastuksen kasvaminen, koska rengas ei kulkenut täysin suorassa.

Jotta rakenteellisilta muutoksilta välttyttäisiin, päätin vain yrittää taivuttaa takahaarukkaa oikeaan asentoon, koska takarenkaan heitto oli niin pieni. Taivuttamisella saavutettiin erittäin hyvä tulos ja takapyörä saatiinkin kulkemaan silmämääräisesti suorassa. Myöhemmät testiajot näyttävät oliko taivutus todella onnistunut.

Velomobiiliin ei asennettu minkäänlaista iskunvaimennusta etupyörille eikä takapyörälle silloin kun se rakennettiin. Syytä tähän en osaa kertoa, mutta testiajoissa huomattiin, että iskunvaimennus tekisi ajamisesta huomattavasti miellyttävämpää, kun ajoratana on huono asfaltti tai hiekkatie. Lisäksi etupyörien akselit eivät joutuisi niin suurelle rasitukselle töyssyn tai kuopan sattuessa kohdalle. Etupyörille iskunvaimennuksen suunnittelu on erittäin haastavaa, mikäli kaikki pyöränkulmien säädöt haluttaisiin säilyttää. Tästä syystä jätin tämän tekemättä opinnäytetyön puitteissa, joten ainut jousto mikä etupyörissä on, tulee renkaista.

Takapyörälle iskunvaimentimen ja jousen asentaminen oli helppoa. Aiemmin käytössä oli vanttiruuvi, joka ei joustonut yhtään, mutta siitä saatiin säädettyä velomobiilin rungon ja takahaarukan välistä kulmaa (Kuva 8). Totesin lyhyen käytön jälkeen tämän korkeussäädön turhaksi, koska jos korkeutta olisi säädetty, olisi pitänyt kardaniakselin laakeripesä kohdistaa aina korkeudensäädön jälkeen uudestaan, jotta kardani olisi päässyt pyörimään mahdollisimman vähällä vastuksella.

Iskunvaimentimeksi valittiin DNM-merkkinen, nojapyörille tarkoitettu iskunvaimennin. Se tilattiin Recumbentparts.com -verkkokaupasta ja sille ilmoitettiin 14 mm jousto ja jousen jäykkyydeksi 130 N/mm. Jousen pituus on säädettävissä ja tällä pystytään vaikuttamaan siihen kuinka jäykkä jousi on.



Kuva 8. Takahaarukan vanttiruuvi.

Aluksi iskunvaimennus asennettiin täysin pystysuoraan vanttiruuvien alapään kiinnityksestä. Runkoputkeen jouduttiin hitsaamaan kiinnitykset iskunvaimentimen yläpäähän kiinnitykselle.



Kuva 9. Iskunvaimentimen ensimmäinen kiinnitys.

Kuvasta voidaan huomata, että istuin asettui melko pystyasentoon tällä tavalla. Testi-istumisien jälkeen totesin, ettei kyseinen asento ole sopiva käytössä olevalle penkkityypille, sillä kyseinen penkki on tarkoitettu asennettavaksi todella makaavaan asentoon. Tässä asennossa penkki ei tukenut oikeasta paikasta ja siitä valui ikään kuin pois. Takahaarukan jousen kiinnitys täytyi siis tehdä uudeksi, jotta sopiva ajoasento saavutettaisiin.

Iskunvaimentimen alapään kiinnitys siirrettiin takahaarukan alapuolelle jolloin istuma-asento muuttui makaavammaksi. Tämä edellytti kuitenkin runkoputken lyhentämistä penkin takaa, jotta kiinnityslaipat voitiin toteuttaa.



Kuva 10. Runkoputki lyhennettynä.

Runkoputken lyhentämisen jälkeen takahaarukan alapuolelle hitsattiin 3 mm paksu levy johon kiinnityslaipat hitsattiin kiinni. Tässä hitsauksessa käytin TIG

hitsausta, koska halusin saada lisää kokemusta kyseisestä hitsausmenetelmästä ja hitsattava kohde oli erittäin sopiva.



Kuva 11. Iskunvaimentimen alapään kiinnityslaipat.

Kuva 11. Iskunvaimentimen alapään kiinnityslaipat voidaan nähdä, kuinka paljon takahaarukan alapuolelle iskunvaimentimen kiinnitys loppujen lopuksi tuli. Yläpään kiinnityskohta pysyi samana. Iskunvaimennin kiinnittyy ylä- ja alapäästä M6-pulteilla.

4.6 Etujarrujärjestelmä

Etujarruina käytössä on levyjarrut, jotka toimivat mekaanisesti vaijerin avulla. Heikkoutena tässä järjestelmässä oli se, että molemmat etujarrut olivat kytketty toisiinsa samalla vaijerilla ja tätä jarrujen välillä olevaa vaijeria kiristi jarrukahvalta tuleva vaijeri. Tämän seurauksena jarrujen säätö oli erittäin vaikeaa, koska kun toista etujarrua sääti, niin samalla toisenkin jarrun säädöt muuttuivat. Tästä johtuen etujarrujen teho jäi melko heikoksi. Heikkoa jarrutehoa kuitenkin tehosti

molempien napamoottoreiden regenerointi, joka kytkeytyi etujarrukahvan mikrokytkimestä aina päälle jarrukahvaa puristaessa.

Napamoottoreiden regeneroinnin teho on säädettävissä tietokoneen avulla, kun moottorit kytketään erillisellä USB – kaapelilla tietokoneeseen. Ohjelmalla niiden tehoa voi säätää 0 – 100 % välillä. Ollessamme Belgiassa vuoden 2013 keväällä, teimme pienen testin regeneroinnilla ja totesimme, että kaikkein voimakkaimmillaan, se toimii lähes jarrun lailla. Säädettynä 0 % regenerointi ei luonnollisesti ollut käytössä.

Etujarrujen kehittämiseksi toteutin ratkaisun, jossa jarrukahvalta tuleva vaijeri nostaa kolmion mallista palaa (Kuva 12), johon kummankin etupyörän jarruvaijeri on kytketty erikseen. Kolmiopala on valmistettu 3 mm teräslevystä, johon on porattu jokaiseen kulmaan 6 mm reikä.



Kuva 12. Etujarrujen kolmiopala.

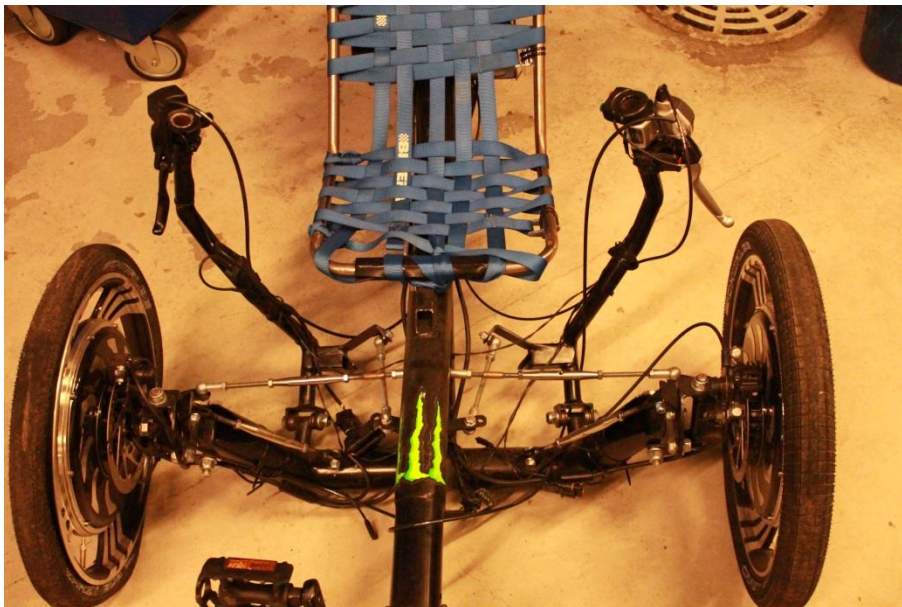
Reikiin tulee M6 pultit, joihin olen porannut vaijerin mentävät reiät pultin kannan juureen. Tällä tavoin pystyy kumpaakin etujarrua säätämään vaikuttamatta kuitenkaan toiseen.

Lyhyen testilenkin jälkeen huomasin pientä tehottomuutta etujarruissa. Säädin etujarruja hiukan herkemälle, mutta en silti saavuttanut niissä toivottua tulosta. Lisäksi etujarrut pitävät kovaa meteliä jarruttaessa. Syytä näihin en pienen koeajon jälkeen osaa suoraan sanoa, mutta epäilen, että jarrusatulat ovat hieman väärässä asennossa jarrulevyihin nähden. Tämä johtuu siitä, että jarrusatuloi-

den vastakappaleet ovat käsin tehtyjä. Tarkkuus siis ei aivan saavuta jarrusatu-
loiden vaatimaa tarkkuutta. Mahdollista on myös, että jarrujen äänet häviävät
ajan mittaan.

4.7 Ohjausmekanismi

Ohjaus oli yksi suurimmista ongelmista velomobiiliin valmistuttua. Päätin siis
suunnitella ohjauksen lähes kokonaan uudestaan. Vanhasta ohjausmekanis-
mista päätin jättää jäljelle etupään ohjauslaipan, johon raidetangot ja ohjaus-
sauvoilta tulevat tangot kiinnittyivät, lisäksi jäljelle jäivät raidetangot. Vanhat oh-
jaussauvat, siihen kuuluvat tangot ja niiden kiinnitykset poistin kokonaan.



Kuva 13. Vanha ohjausmekanismi.

Aikaisempi ohjaus perustui siis ohjaussauvojen ylös- ja alaspäin liikkeisiin. Ky-
seiset liikkeet laittoivat ohjauksen pallonivelet todella kovalle rasitukselle, lisäksi
ohjaussauvojen alaspäin suuntaava liike ei juuri enää auttanut kääntymisessä,
vaan se lähinnä kuormitti niveliä.

Uuteen ohjaukseen sain idean toisesta nojapyörästä kun olimme Belgiassa. Siellä kreikkalaisten nojapyörän ohjaus oli toteutettu penkin alla olevan akselin ympäri kääntyvällä ohjaustangolla. Sovelsin samaa ideaa myös tähän projektiin.

Ohjaukseen tarvittavan ohjauslaipan ja tangon kiinnikkeet suunnittelin ensin Solidworks:illa. Ensimmäisen piirustuksen valmistuttua huomasin, etten ollut ottanut ohjauslaipassa huomioon painelaakerin tarvitsemaa tilaa, joten jouduin muokkaamaan piirustusta ja lisäämään laippaan hieman enemmän tilaa, jotta painelaakeri saataisiin sopimaan paikalleen. Haastetta tuotti Solidworksin käyttö, koska olin käyttänyt kyseistä ohjelmaa viimeksi vuosi sitten.

Piirustusten valmistuttua otin yhteyttä koulumme konepuolen opettajaan ja tiedustelin häneltä, onko hänellä mahdollisuutta koneistaa näitä paloja. Sain myöntävän vastauksen, mutta aikataulua ei lyöty lukkoon, mikä oli virhe. Opettajan kiireistä johtuen koneistus viivästyi ja aikaa kului lähes 2 kuukautta.

Tämän jälkeen päätin ottaa yhteyttä Salon ammattiopistoon ja kysyä heiltä mahdollisuutta palojen koneistamiselle. He suostuivat palat koneistamaan, mutta siihenkin kului aikaa noin kuukausi. Materiaaliksi valitsin ohjaukseen koneistettaville paloille rakenneteräksen sen helpon muokattavuuden vuoksi. Muokattavuutta halusin, koska paloja voi joutua muokkaamaan paremman ohjaustangon ja ohjauksen saavuttamiseksi.

Lopulta kun sain tilaamani palat, niin tangon kiinnikkeet oli valmistettu rakenneteräksestä ja ohjauslaippa oli vesileikattu mustasta raudasta. Vesileikattua laippaa piti vielä viimeistellä viilalla, jotta reikiin sai pultit mahtumaan.

Ohjaustanko kiinnitetään penkin alle, jonne hitsattiin M10-kierretangosta 50 mm pitkä pätkä. Tämän jälkeen siihen laitettiin painelaakeri ja erikseen koneistamalla tehty ohjauslaippa. Aluksi käytössä oli nopeasti valmistettu ohjauslaippaa muistuttava pala, joka oli valmistettu 2 mm paksusta teräslevystä. Ohjauslaippaan kiinnitettiin siihen suunnitellut ohjaustangon kiinnikkeet, joiden väliin puristuksiin tulee ohjaustanko (Kuva 14).



Kuva 14. Solidworks-hahmotelma ohjauslaipasta ja ohjaustangon kiinnikkeistä.

Ohjaustanko taivutettiin 22 mm paksusta teräsputkesta. Valmistaminen toteutettiin yksinkertaisesti kokeilemalla ja ensiyrittämällä saatiinkin melko hyvä lopputulos. Taivutuksen jälkeen ohjaustanko maalattiin pyörän mukaan mattamustaksi.



Kuva 15. Ohjaustanko vielä maalaamatta.

Viivästyksistä johtuen en ole pystynyt testaamaan ohjausta oikeilla osilla juuri-kaan, koska käytin lopullisen osan sijaan aiemmin mainittua käsin valmistettua ohjauslaippaa. Testilenkin aikana väliaikainen laippa toimi suhteellisen hyvin, mutta ennen pitkää se alkoi taittua ja sen toimintakyky heikkeni. Lisäksi laipan tankojen kiinnitykset löystyivät ja aiheuttivat ohjaukseen välystä. Muuten ohjaus toimi kaikin puolin hyvin. Ainoana heikkoutena panin merkille, että kääntösäde oli todella suuri. Onneksi kuitenkin sähkömoottoreissa on peruutusmahdollisuus, joten kääntäminen onnistuisi ahtaissa paikoissa peruuttamisen avulla.

Kun asensin paikalleen koneistetun laipan, ero aiempaan oli todella suuri. Laippa ei taittunut ja antanut periksi vaan pysyi erittäin hyvin muodossaan. Tämän seurauksena ohjaus muuttui todella hyväksi. Kääntösäde muun muassa pieneni erittäin radikaalisti.

Ongelmana puolestaan oli laipan kiristyksen määrittäminen nyloc -mutterilla. Jos mutterin kiersi liian kireälle, ohjaustangon kääntäminen muuttui luonnollisesti todella raskaaksi. Mikäli mutteria kiristi hieman kireämmälle, niin huomasin, että se muutaman käännöksen jälkeen kiristi itsensä todella tiukkaan. Liian löysälle jätettynä ohjaus puolestaan tuntui väljältä. Oikea kireys siis löytyikin vain kokeilemalla. Yhtenä ratkaisuna tähän voisi käyttää kahta mutteria, jotka kiristetään toisiaan vasten, mutta se vaatii pidemmän kierretangon hitsaamisen runkoon.

4.8 Johdotukset

Projektissa ollut velomobiili pitää sisällään melko suuren määrän johtoja ja vaijereita verrattuna normaaliin polkupyörään tai nojapyörään. Tästä syystä olisi hyvä, että ne saisi piilotettua runkoon tai rungkon ulkopuoliseen putkeen suojaan säältä ja jotta ulkoasusta saisi siistimmän.

Tälle vaiheelle en ollut varsinaisesti tehnyt suunnitelmaa ja päätinkin toteuttaa sen vasta viimeisenä, kun saan velomobiilin valmiiksi. Myöhästyneen valmistu-

misajankohdan takia en ehtinyt erityisemmin tehdä tätä vaihetta, vaan laitoin johdot mahdollisimman siististi runkoon kiinni käyttäen nippusiteitä. Lopputuloksesta tuli lähes samannäköinen, kun se alun perin oli.

Näin jälkikäteen mieltien johdot saisi helpoiten piiloon käyttäen ulkoista putkea. Istuimen alla olevaa runkoputkea ei voi juurikaan käyttää hyväksi, koska siellä kulkee kardaani, mutta muihin rungon osiin johtoja voisi kyllä sijoittaa. Esimerkiksi akkujen johdot ja sulakkeet voisi sijoittaa istuimen takana olevaan runkoputkeen ja niiden yhteyteen voisi myös kiinnittää virtalukon.

Mikäli velomobiilille rakennetaan joskus kuomu, niin johdotukset eivät ole enää niin suuri ongelma, koska silloin kuomu peittää johdot alleen. Tällöin tulee vain ottaa huomioon, etteivät ne esimerkiksi roiku ja haittaa velomobiilin toimintaa, kun sitä käytetään.

4.9 Tieliikennevaatimukset

Suomen laki vaatii, että polkupyörässä, joissa istuinkorkeus on vähintään 0,635 m, tulee olla seuraavat turvallisuuteen liittyvät varusteet asennettuna. Kyseistä lakia sovelletaan myös makuuasennossa ajettavaan polkupyörään, jossa istuinkorkeus on alle 0,635 m. (Ajoneuvolaki 19.12.2002/1250.)

Siinä tulee olla kaksi tehokasta jarrua, mikäli vaihteita on enemmän kuin kaksi. Lisäksi molempien jarrujen jarrutehon ja lujuuden tulee täyttää SFS 5200- tai ISO 4210 -standardin jarruja koskevat vaatimukset. (Ajoneuvolaki 19.12.2002/1250.)

Polkupyörä tai nojapyörä tulee myös varustaa asiaan kuuluvilla heijastimilla. Näitä ovat etu-, taka-, sivu- ja poljinheijastimet. Sivuheijastimet tulee sijoittaa polkupyörän molemmin puolin, eteen ja taakse. Poljinheijastimet ovat sijoitettu polkimiin niin, että ne näkyvät eteen ja taakse. (Ajoneuvolaki 19.12.2002/1250.)

Etuheijastimen tulee olla väriltään valkoinen, takaheijastimen punainen ja sivuheijastimien ruskean keltaisia. Etu- ja takaheijastimien paikoista on määritelty,

että niiden tulee olla vähintään 30 cm korkeudella ja enintään 120 cm korkeudella. (Ajoneuvolaki 19.12.2002/1250.)

Suomen laki määrää valoista sen, että ajettaessa tieliikennelain 36 §:n 2 mukaisissa olosuhteissa, joka tarkoittaa lyhyesti sanottuna julkista kulkuväylää, tulee olla eteenpäin valkoista valoa näyttävä valaisin. Takavallo ei siis ole pakollinen, mutta jos sellainen on, niin sen tulee olla punaista valoa näyttävä. (Ajoneuvolaki 19.12.2002/1250.)

Tarkastellessa näitä vaatimuksia ja verratessa, niitä nykyiseen velomobiiliin tilanteeseen, huomataan, että ne täyttyvät jarrujen osalta melko hyvin. Lisäksi siihen on asennettu takavallo. Etuvallo ei ole vielä kytketty, eikä tarvittavia heijastimia asennettu. Ongelmaksi tulevat etupyöriin kiinnitettävät sivuheijastimet, mikäli oikean väristä heijastintarraa ei löydy, koska etupyörissä ei ole pinoja, joihin heijastimen voisi kiinnittää.

Jotta velomobiili olisi sähkömoottoreiden kanssa laillinen, tulee sähkömoottorin suurin teho olla enintään 250 W, se saa vain avustaa poljettaessa ja sen tulee kytkeytyä pois päältä nopeuden saavuttaessa 25 km/h (Ajoneuvolaki 11.12.2002/1090). Tästä johtuen napamoottorivalmistajalta tilattiin PAS, eli poljinsensori, joka antaa sähkömoottorin avustaa vasta kun poljetaan, sekä napamoottoreiden ohjelmointikaapeli, jolla säädetään moottoreiden tehoa. Ajanpuutteen takia PAS -anturi jäi asentamatta.

4.10 Turvallisuus- ja mukavuusmuutokset

Jotta tämänkaltaisella kulkuneuvolla voisi ajaa turvallisesti liikenteessä, olisi siihen erittäin suotavaa asentaa edes yksi taustapeili. Tavoitteenani olikin hankkia ja asentaa sellainen, mutta en löytänyt tarpeeksi pientä ja tähän tarkoitukseen sopivaa peiliä.

Polkupyörän ajotietokone antaa tietoa ajonopeudesta, pyörän pyörintänopeudesta, kuljetusta matkasta ja monesta muusta. Tästä syystä päätin asentaa tähän Bllteman ajotietokoneen. Kyseessä oli langallinen malli, joka on tarkoitettu

normaaleihin polkupyöriin. Tämän takia anturin johto oli melko lyhyt, joten jouduin katkaisemaan sen ja lisäämään väliin lisää johtoa, jotta saisin ajotietokoneen ohjaussauvaan kiinni.

Asentaminen oli melko yksinkertaista, anturin kiinnitin nippusiteellä takahaarukkaan ja pintaan ruuvasin paketin mukana tulleen magneetin. Tämän jälkeen vedin johdon ohjaussauvalle ja laitoin tietokoneen telineen sauvan sisään, johon se sopi todella hyvin. Tämän jälkeen piti vain asettaa oikea tuumakoko tietokoneeseen ja testata.

Aivan viimeiseksi asensin vielä uudet polkimet ja poljinkammet. Jouduin asentamaan kummallekin puolen vasemman puolen kammen, koska kaikkiin oikeanpuoleisiin kampiin, joita tiedustelin, oli kiinnitetty normaalien polkupyörien tapaan eturatas. Tämän seurauksena molempiin kampiin tuli myös kiinnittää vasemman puoleinen poljin. Ainoa ongelma jonka tämä voi aiheuttaa, on se, että oikeanpuoleinen poljin irtoaa polkemisen aikana, koska polkimen kierteet ovat väärään suuntaan polkimen pyörimissuuntaan nähden. Pyrin ehkäisemään tämän ongelman kiristämällä polkimen mahdollisimman tiukkaan.

5 LOPPUTULOS & KEHITTÄMISIDEAT

5.1 Mitä sain aikaan?



Kuva 16. Valmis velomobiili.

Velomobiili valmistui määrittelemästäni aikataulusta noin kuukauden myöhässä. Kaikki muutokset jotka siihen tehtiin, jäivät tästä syystä lähes testaamatta. Erittäin lyhyiden testiajojen jälkeen pyörä kuitenkin tuntui toimivalta, eli se oli poljettavissa ja ajettavissa sähköavustuksella. Kardanin pultit kestivät liikkeelle lähdön ja napavaihteistossa vaihteet toimivat lähes täydellisesti, lukuun ottamatta suurimman eli kahdeksannen vaihteen pientä ”paukkumista”, tähän en kuitenkaan perehtynyt enempää.

Ohjaus toimi lopulta todella hyvin ja erittäin vakaasti, lukuun ottamatta pientä väljyyttä taaemman ohjauslaipan kiinnityksessä. Hallintalaitteiden sijoittelu ohjaustangoissa oli toimiva, mutta ei täydellinen. Esimerkiksi vakionopeudensäädin tuli kytkettyä vasemmalla kädellä huomaamatta päälle. Tämä ei kuitenkaan haitannut kovinkaan paljon, koska se kytketyi aina pois päältä kun käytti etujarruja tai painoi vakionopeudensäätimen painiketta uudestaan.

Asetin myös tavoitteeksi itselleni, että velomobiili olisi kilpailukykyinen Student Challenge:ssa. Tähän en omasta mielestäni kuitenkaan ihan yltänyt. Vaikka napavaihteisto toimi todella hyvin, niin pelkällä polkemisella ei saavuta kovinkaan suurta nopeutta tasaisella maalla, puhumattakaan ylämäestä. Alamäessä velomobiili toisaalta kerää nopeutta todella hyvin ja se rullaa myös erittäin kevyesti. Tämä ei kuitenkaan riitä, mikäli halutaan kilpailla.

Student Challenge -kilpailun säännöissä myös määrätään, että kulkuneuvon on pysähdyttävä 6 m matkalla, lähtönopeuden ollessa 25 km/h (HPV Student Challenge 2014). En usko, että kehittämäni velomobiili siihen pystyy tai jos pystyy, niin jarrutusmatka on hyvin lähellä 6 metriä. Tämä johtuu heikohkoista etujarruista ja erittäin herkästi lukkiutuvasta takajarrusta.

5.2 Kehittämisideat

Ensimmäinen kehitysidea, joka tulee mieleeni, on ehdottomasti velomobiilin korin suunnittelu ja toteutus. Ilman kunnollista koria tätä velomobiilia ei voi omasta mielestäni kutsua edes velomobiiliksi, vaan lähinnä sähköavusteiseksi nojapyöräksi. Korin avulla saataisiin kulkuneuvon hyötysuhdetta kasvatettua pienentyneen ilmanvastuksen vuoksi. Lisäksi hyvin suunniteltu ja valmistettu kori suojaa huonoilta säätiloilta.

Jarruista löytyy myös viilattavaa. Esimerkiksi etujarrusatuloiden vastakappaleet tulisi koneistaa, jotta satulat saisi kiinnitettyä oikealle etäisyydelle jarrulevyistä. Samalla etujarrut voisi vaihtaa hydraulisiksi, tällöin saataisiin jarruista huomattavasti tehokkaammat. Tämä kuitenkin edellyttäisi myös työsylinterin asentamista, jotta hydraulisen etujarrun teho riittäisi kummallekin pyörälle.

Hydraulisen takajarrun kahvan suunta olisi hyvä vaihtaa niin, että jarruletku tulee alhaalta, eikä ylhäältä, niin kuin nyt. Tällä hetkellä jarruputki on hieman taitunut ja ajan mittaan se varmasti heikkenee niin, että katkeaa.

Kehityskohteeksi tässä projektissa olisi voinut ottaa etupyörien akseleiden kiinnityskolon suunnan muuttamisen. Pyörien akselit ovat ovaalin malliset ja ne

ovat kiinnitetty velomobiiliin niin, että ne ovat vaakasuorassa. Akseleiden kolot tulisi muuttaa pystysuoraksi, tällöin etupyörien akseleille ei kohdistuisi kuopissa niin suurta taivutusta, kuin akseleiden ollessa vaakatasossa. Käsien ei kuitenkaan pysty valmistamaan tarpeeksi tarkkoja koloja, vaan osat täytyisi koneistaa uudelleen. Tähän en halunnut ryhtyä, koska koneistaminen muodostui tämän opinnäytetyön yhdeksi ongelmakohdaksi. Itselläni ei ole taitoa käyttää CNC-konetta ja kappaleiden koneistuksen teettäminen muualla on vienyt todella paljon aikaa, joten on oletettavaa, että näidenkin kappaleiden valmistaminen olisi vienyt aikaa todella paljon.

Mietittäessä kokonaan uutta kehitysversiota mieleen tulee, että seuraavan velomobiilin runko olisi erittäin suotavaa rakentaa esimerkiksi alumiinista sen keveyden takia. Nykyinen teräsrunko on erittäin raskas ja se tekeekin velomobiilin liikuttelun muuten kuin ajamalla, esimerkiksi sen autoon nostamisen, todella haastavaksi. Arvioisin sen tämänhetkiseksi painoksi noin 60 - 70 kilogrammaa. Mikäli halutaan valmistaa kokonaan uusi velomobiili kevyellä rungolla, tulisi myös paino ottaa huomioon ja se voisi olla valmistettu esimerkiksi hiilikuidusta. Hiilikuidullahan tunnetusti on erittäin hyvät ominaisuudet, se on lujaa ja erittäin kevyttä. Ainoa miinuspuoli on sen korkea hinta.

6 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö käsitteli Turun ammattikorkeakoululle valmistetun velomobiiliprototyypin kehittämisprojektia ja siinä ilmenneitä haasteita. Lisäksi tässä opinnäytetyössä käsiteltiin yleisesti velomobiilia ja syitä sille, miksi velomobiili on Keski-Euroopassa jo melko yleinen kulkuneuvo.

Kehittämiskohteina olivat päärungon muutokset, istuin, napavaihteisto, polkuvoimansiirto, takahaarukka ja iskunvaimennus, etujarrujärjestelmä, ohjausmekanismin muuttaminen, johdotukset, tieliikenteen vaatimat muutokset sekä mukavuus- ja turvallisuusmuutokset.

Aloitin projektin vuoden 2014 tammikuussa ja tuolloin määritin itselleni myös aikataulun. Tavoitteenani oli saada projekti valmiiksi huhtikuun alkuun mennessä ja sen jälkeen kirjoittaa opinnäytetyö valmiiksi 2 - 3 viikossa. En kuitenkaan päässyt tavoitteeseeni, koska poljinakseli ja ohjauksen osat eivät valmistuneet ajallaan. Niiden viivästyminen myös lykkäsi viimeisiä työvaiheita aina vain pidemmälle keväälle. Kehittämisprojekti valmistui toukokuun 2014 alussa.

Vaikka sainkin velomobiilin rakennetuksi ja toimintakuntoon, siitä jäi puuttumaan vielä muutamia haluamiani muutoksia. Näitä olivat muun muassa sulakkeiden ja virtalukon asentaminen, poljinsensorin asentaminen sekä johdotusten vetäminen siistimmin.

LÄHTEET

Ajoneuvolaki 11.12.2002/1090 Viitattu 15.5.2014
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20021090>

Ajoneuvolaki 19.12.2002/1250. Viitattu 12.5.2014
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20021250#L5>

Answers 2014. Viitattu 7.5.2014
http://content.answcdn.com/main/content/img/oxford/Oxford_Sports/0199210896.laminar-flow.1.jpg

HPV Student Challenge. EU-HPV Student Challenge FINAL Rules 2014. Viitattu 14.5.2014.
<http://www.hpv-student-challenge.eu/index.php/rules/finish/1-rules/2-eu-hpv-student-challenge-final-rules-2014>

Ikonen, M. 2013 Kurssimateriaali. Human Power. Viitattu 4.5.2014

Inkinen, P. & Tuohi, J. 2009. Momentti 1. Insinöörifysiikka. Helsinki: Otava.

LowEmissionZones. Low Emission Zones in Europe 2014. Viitattu 10.5.2014.
<http://fi.lowemissionzones.eu/what-are-lezs>

Shimano 2014. Shimano Alfine. Viitattu 16.4.2014.
http://www.shimano.com/publish/content/global_cycle/en/us/index/products/0/alfine.html

Velocraft 2014. Mitä velomobiilit ovat? Viitattu 3.5.2014.
http://velocraft.fi/suomi/mita_on_velomobiili

Van De Walle 2004. The Velomobile as a Vehicle for more Sustainable Transportation. Reshaping the social construction of cycling technology. Tukholma: Kunliga Tekniska Högskolan. Viitattu 4.5.2014. <http://users.telenet.be/fietser/fotos/VM4SD-FVDWsm.pdf>