



Janne Iijalainen

# Voimalinjan suunnittelu sähköiseen kevytajuoneuvoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

23.5.2025

# Tiivistelmä

Tekijä: Janne Iijalainen  
Otsikko: Voimalinjan suunnittelu sähköiseen kevytajoneuvoon  
Sivumäärä: 22 sivua + 2 liitettä  
Aika: 23.5.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma  
Ammatillinen pääaine: Ajoneuvosuunnittelu  
Ohjaaja: Lehtori Pasi Kovanen

---

Tässä insinöörityössä suunniteltiin avustava aurinkosähkövoimalinja kevyeen poljettavaan ajoneuvoon. Tavoitteena oli selvittää, voisiko aurinkosähköjärjestelmän liittämistä sähkövoimalinjan yhteyteen olla todellista hyötyä. Ajatus työn tekemiseen syntyi tekijän omasta mielenkiinnosta aiheeseen.

Vuonna 2021 uudistetun tieliikennelain vaatimukset selvitettiin työssä. Lisäksi selvitettiin olemassa olevien poljettavien ajoneuvojen teknisiä tietoja ja näiden pohjalta tehtiin oletuksia siitä, minkälainen pohja-ajoneuvo olisi mahdollista rakentaa. Oletettujen arvojen perusteella laskettiin voimalinjan tehon tarve ja valittiin osat. Valittujen voimalinjakomponenttien teknisten tietojen pohjalta muodostettiin ajotilapiirros. Ajotilapiirroksen pohjalta arvioitiin voimalinjan soveltuvuutta ajoneuvoon.

Käytössä olevan aurinkosähkö- ja poljintehon määrästä tehtiin oletus. Tämän perusteella pystyttiin ajoneuvon tiedot huomioiden laskemaan maksimiarvo aerodynaamiselle virtauspoikkipinta-alalle, jolla ajoneuvo pystyy vielä saavuttamaan 25 km/h nopeuden. Tätä arvoa verrattiin olemassa olevien ajoneuvojen vastaaviin arvoihin. Tämän pohjalta voidaan sanoa, että aurinkosähkön liittäminen kevytajoneuvon sähköiseen voimalinjaan on mahdollista ja lopputuloksena syntyvä ajoneuvo täyttää Suomen tieliikennelain asettamat vaatimukset luokkaan L1-e. Laskettua aerodynaamista virtauspoikkipinta-alan maksimiarvoa voidaan käyttää vaatimuksena tulevassa mekaanisessa suunnittelussa.

Avainsanat: sähköajoneuvo, voimalinja, aurinkosähkövoimalinja, suunnittelu, velomobiili, kevytajoneuvo, tieliikennelaki

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Janne Iijalainen  
Title: Powertrain Design for Light Electric Vehicle  
Number of Pages: 22 pages + 2 appendices  
Date: 23 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Automotive Engineering  
Professional Major: Automotive Design  
Supervisor: Pasi Kovanen, Senior Lecturer

---

In this thesis, a supporting solar electric powertrain was designed for a light pedelec-type vehicle. The goal was to determine whether adding a photovoltaic system to a light vehicle would actually offer any real benefits. The idea for the thesis was born out of the interest of the writer over the topic.

Basis for the design work was Finnish road regulations, renewed in 2021. In addition, existing pedelecs on the market were reviewed and assumptions for the base vehicle were made based on the specifications found. This led into a set of well considered specifications for what would be possible to achieve mechanically. Calculations were made for the need of power from the powertrain. Components for the powertrain were chosen and a torque-graph was calculated based on the technical specifications. Based on the torque graph, the feasibility of the chosen components was analyzed.

Assumptions of power availability from solar and pedaling were made. A goal of easy cruising with a velocity of 25km/h was set. Based on this value and the properties of the vehicle, the maximum value for aerodynamic cross section of the vehicle was calculated. This calculated value was then compared to vehicles in the market to assess whether solar energy could be a feasible option in light vehicle powertrains. The result was positive and, based on calculations, it is possible to build a vehicle that meets the current road regulations in Finland and meets the class specifications of L1-e. The calculated value of maximum aerodynamic cross section can be used in the future as a basis for mechanical design.

Keywords: electric vehicle, solar electric vehicle, powertrain, solar powertrain, design, pedelec, road regulations, torque-graph

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähköiset kevytajoneuvot	1
2.1	Velomobiili	1
2.2	Ajoneuvoluokat	2
2.3	Suunnittelulähtökohdat	4
3	Pohja-ajoneuvo	4
3.1	Vaihtoehtojen esittelyä	4
3.1.1	Leitra	5
3.1.2	Kinner-car	7
3.1.3	Scouter LMV	9
3.2	Pohja-ajoneuvon tekniset tiedot	10
4	Suorituskykylaskelmat	11
4.1	Ajovastukset	11
4.2	Laskelmat	13
5	Sähköinen voimalinja	15
5.1	Moottorin mitoitus ja valinta	15
5.2	Moottorin ohjaus	16
5.3	Akku	16
5.4	Aurinkösähkö	16
5.5	Lataussäädin	17
5.6	Voimalinjakaavio	17
6	Ajotilapiirros	18
6.1	Taustaa	18
6.2	Velomobiilin suorituskyvyn arviointi	18
6.3	Aurinkovoimalinjan hyödyllisyys	20
7	Johtopäätökset	21
	Lähteet	23
	Liitteet	

Liite 1: Ajotilapiirroksen koodi

Liite 2: Ajotilapiirroksen lähtötiedot

# 1 Johdanto

Liikkuminen on murroksessa. Ilmaston lämpeneminen ja sen mukanaan tuoma ilmastonmuutos ovat ajaneet perinteistä polttomoottoria käyttävän yksityisautoilun asemaan, jossa se ei enää nauti samaa arvostusta kuten ennen. Perinteisen polttomoottorin korvaa sähkö ja uudet sekä vanhat valmistajat esittelevät kilvan uusia mallejaan.

Samalla on kuitenkin noussut esiin huoli harvinaisten maametallien riittävästä yhä kasvavan akkuteollisuuden tarpeisiin. Maailmassa oli vuonna 2020 n. 1,5 miljardia ajoneuvoa, joista n. 1,2 miljardia oli henkilöautoja (Oica.net). Kaikkien liikenteessä olevien henkilöautojen korvaaminen sähköautoilla on valtava haaste ja yksin akkumateriaalien tarve on massiivinen (Deetman ym. 2018). Yksi keino tarvittavan materiaalmäärän pienentämiseen on ajoneuvojen koon pienentäminen. Pienempi ajoneuvo vaatii vähemmän tehoa liikkumiseen, sitä kautta pienemmän akun ja sitä myötä raaka-aineiden tarve pienenee.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin teoreettisella tasolla, miten sähkövoimalinjan voi toteuttaa mahdollisimman yksinkertaisesti ja energiatehokkaasti siten että yksi ihminen pääsee liikkumaan paikasta toiseen. Suunnittelun lähtökohdaksi valittiin velomobiili, eli poljettava auto. Autoon suunniteltiin avustava sähkövoimalinja, joka saa virtansa akusta ja aurinkopaneelistä.

## 2 Sähköiset kevytajoneuvot

### 2.1 Velomobiili

Velomobiililla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä kolmi- tai nelipyöräistä poljettavaa ajoneuvoa. Termi on johdettu englanninkielisestä nimestä *velomobile*, joka on vakiintunut tieteellisessä kirjallisuudessa. Suomenkielistä nimeä kinneri on käytetty jonkin verran (Lahtinen 2007: 214). Velomobiilin hyöty tavanomaiseen pystypyörään verrattuna on rennompi ajoasento, jossa jalkojen lihakset

tulevat paremmin käyttöön. Lisäksi ajajan pystypinta-alan pienentyessä koko ajoneuvon ilmanvastuskerroin pienenee. Katettuna velomobiileilla onkin päästy huomattavan pieniin ilmanvastuskertoimiin ja tätä myötä huomattavan suuriin huippunopeuksiin. Velomobiilin ollessa katettu saadaan kuljettaja myös säältä suojaan, mikä on Suomen oloissa erittäin positiivinen tekijä.

Nyt tehtävä työ on myös huomattavan ajankohtainen, sillä ajoneuvolain uudistuksen myötä 2021 laki tunnistaa ja määrittelee sekä sähköavusteiset polkupyörät että kevyet sähköajoneuvot (Ajoneuvolaki 2021: § 28). Ennen tätä suomalaisilla rakentajilla on ollut ongelmia sekä poliisin että katsastusmiesten kanssa (Kuusisto 2013: 28–33). Myös kehitys sähköisissä polkupyörissä ja niiden osasarjoissa on ollut huimaa. Tämä takaa hyvät lähtökohdat sähköavusteisen velomobiilin voimalinjasuunnittelulle, joka täyttää uuden lain vaatimukset.

Velomobiileja on tieteellisessä kirjallisuudessa tutkittu jonkin verran. Aiheesta on tehty opinnäytetöitä myös Metropoliasissa. Lisäksi markkinoilta löytyy jo kaupallisia sovelluksia, jotka yhdistävät sähköavustuksen velomobiilin runkoon. Tässä työssä pyrittiin löytämään sellainen voimalinja, joka täyttää uuden ajoneuvolain vaatimukset, tuottaa sen verran tehoa, että lopputulos olisi mukava ajaa ja yhdistää sähköiseen järjestelmään sekä akkuvoiman, aurinkovoiman että jarrutuksissa talteen otettavan jarrutusenergian.

Työn ulkopuolelle rajattiin ajoneuvon mekaaninen suunnittelu. Työssä keskitytään vain voimalinjan komponenttien tarkasteluun ja yhteensovittamiseen. Lisäksi esitetään laskelmia teoreettisesta suorituskyvystä.

## 2.2 Ajoneuvoluokat

Ajoneuvoluokista on Suomessa säädetty Ajoneuvolain 2. luvussa. Ajoneuvolaki tunnistaa polkupyörän, sähköavusteisen polkupyörän ja kevyen sähköajoneuvon.

Polkupyörällä tarkoitetaan yhden tai useamman henkilön tai tavarankuljettamiseen valmistettua polkimin tai käsikammin varustettua

ja täysin tai pääosin lihasvoimalla käytettävää vähintään kaksipyöräistä ajoneuvoa. Polkupyörä voi myös olla varustettu sellaisilla yhteenlasketulta jatkuvalta nimellisteholtaan enintään 250 watin tehoisilla sähkömoottoreilla, jotka toimivat vain poljettaessa ja kytkeytyvät toiminnasta viimeistään nopeuden saavuttaessa 25 kilometriä tunnissa ( sähköavusteinen polkupyörä ). Sähkömoottorit voivat kuitenkin toimia polkematta, jos nopeus on enintään kuusi kilometriä tunnissa. (Ajoneuvolaki 2021: § 28.)

Yhteistä sekä polkupyörälle että sähköavusteiselle polkupyörälle lain näkökulmasta on se, että ne lasketaan moottorittomiksi ajoneuvoiksi.

Lisäksi laki tunnistaa kevyen sähköajoneuvon.

Kevyellä sähköajoneuvolla tarkoitetaan sellaista muuta sähkömoottorilla varustettua ajoneuvoa kuin 28 §:n 1 momentissa tarkoitettua sähköavusteista polkupyörää tai L-luokan ajoneuvojen puiteasetuksessa tarkoitettua L-luokan ajoneuvoa, jonka eteenpäin vievien moottoreiden suurin yhteenlaskettu jatkuva nimellisteho on enintään 1,00 kilowattia ja rakenteellinen nopeus enintään 25 kilometriä tunnissa. (Ajoneuvolaki 2021: § 29.)

Yllä mainittujen ajoneuvojen vakuuttamisesta antaa tietoja liikennevakuutuskeskus. Sähköavusteista polkupyörää ei tarvitse vakuuttaa, jos sen omamassa ei ylitä 25 kg, teho ei ole yli 250 W ja moottori ei avusta 6 km/h nopeuden jälkeen, ilman että kuljettaja polkee (Liikennevakuuttamisen uusi laki voimaan 1.6. – muutos tuo monia uusia liikkumisvälineitä liikennevakuutettaviksi 2024).

Lisäksi pitää huomioida, että ajoneuvon tehon kasvaessa yli 1,0 kW:n, tai sen rakenteellisen huippunopeuden ylittäessä 25 km/h, se ei enää ole kevyt sähköajoneuvo. Tässä tapauksessa ajoneuvon tulisi täyttää joko mopon tai mopoauton tyyppihyväksyntävaatimukset ja sitä koskisivat ajokorttisäädökset. Jos teho tai huippunopeusraja ylittyisivät, mutta ym. tyyppihyväksyntävaatimukset eivät täytyisi, ei ajoneuvoa saisi käyttää tieliikenteessä ollenkaan. (Sähköiset liikkumisvälineet 2025.)

## 2.3 Suunnittelulähtökohdat

Suunnittelu on aina kompromissien tekemistä. Yllä kuvatut säädökset asettavat puitteet sille, mitä ylipäänsä on järkevää tavoitella. Tässä työssä suunnittelun lähtökohdaksi on otettu yksipaikkainen ajoneuvo, jonka sähköavustus toimii 25 km/h asti. Tavoitteeksi on otettu, että sähköavustuksen maksimi nopeus pysyttäisiin tuottamaan poljinvoiman ja aurinkovoiman yhteisvaikutuksella. Ajoneuvo ei kilpaile huippunopeudella tai matkustusmukavuudella mopoautojen kanssa, vaan pyrkii maksimoimaan liikkumisen helppouden kevyen liikenteen välillä tarjoten samalla kuljettajalle suojaa säätä vastaan. Tästä syystä kompromissitilanteissa ajo- ja käyttömukavuutta tulee painottaa maksimisuorituskykyarvoja enemmän.

Kuvatun kaltaista ajoneuvoa ei löydy markkinoilta. Voimalinjan tuottaman suorituskyvyn arvioimista varten tulee laskelmien perustaksi tehdä oletuksia ajoneuvon massoista, koosta, ilmanvastuksesta jne. Jotta tällaisia oletuksia voitaisiin tehdä, on tässä työssä otettu perustaksi muutama olemassa oleva ajoneuvo, jonka arvoista on johdettu ns. teoreettinen pohja-ajoneuvo. Tähän pohja-ajoneuvoon on sitten sovitettu voimalinjan osat suorituskykyarvojen laskemista varten.

## 3 Pohja-ajoneuvo

### 3.1 Vaihtoehtojen esittelyä

Velomobiilissa voi olla kaksi, kolme tai neljä pyörää. Kaksipyöräisiä käytetään vain kilpailuissa, mutta niillä on saavutettu kaikista parhaat tulokset. Kolmipyöräiset nimetään niin, että jos pyöräpari sijoittuu taakse, kyseessä on delta trike. Jos taas pyöräpari on edessä, kutsutaan ajoneuvoa tadpole trikeksi. (Stark ym. 2017.) Nelipyöräisen velomobiilin yleisin nimitys on quadricycle. Kolmi- ja nelipyöräisten ajoneuvojen etu on vakaus. Ne eivät kaadu, vaikka niillä joutuisi pysähtymään kesken matkan. Kaikki näistä ovat potentiaalisia kohteita sähkövoimalinjan asentamiselle. Ajoneuvoissa, joissa on kaksi vierekkäistä takapyörää,

tulee kuitenkin harkittavaksi tasauspyörästön toteutus. Jos veto kohdistuu aina yhtä suurena kumpaakin takapyörään, kärsii ajoneuvon kääntymiskyky. Tästä näkökulmasta voimalinja on yksinkertaisempi toteuttaa tadpole trikeen.

Jotta voimalinjan voi suunnitella, pitää suunnittelijan tietää perusarvoja ajoneuvosta, johon voimalinja sovitetaan. Koska tässä työssä keskitytään nimenomaan voimalinjaan, ei yksittäistä pohja-ajoneuvoa ole olemassa. Tästä syystä on etsitty tietoa olemassa olevista vastaavista ajoneuvoista. Näistä on sitten pyritty mahdollisuuksien mukaan selvittämään lähtötiedot laskelmia varten. Koska ajoneuvoja on useampi, on pohja-ajoneuvon tiedoissa käytetty selvitettyjen ajoneuvojen keskiarvoja, kun ne on ollut mahdollista laskea. Lisäksi on tehty valistuneita oletuksia arvojen puuttuessa.

### 3.1.1 Leitra

Leitra on Tanskassa vuodesta 1980 toiminut yritys. Se suunnittelee ja valmistaa saman nimistä kolmipyöräistä katettua velomobiilia. Leitran suunnittelulähtökohdat ovat olleet turvallisuus, mukavuus kelissä kuin kelissä, mahdollisuus kuljettaa pientä hyötykuormaa ja luotettavuus. Leitra sai jo vuonna 1982 hyväksynnän tanskalaisilta viranomaisilta systemaattisten testien jälkeen. Kuvasta 1 saa hyvän käsityksen siitä, miten keveys ja ketteryys on otettu Leitran

suunnittelussa huomioon. (Leitra.)



Kuva 1 Tanskalainen Leitra on pieni ja ketterä velomobiili (Leitra).

Leitraa valmistetaan kolmessa eri koossa: normaali, ekstrapitkä kuljettajille, jotka ovat pitkäjalkaisia ja ekstrapitkä ja -korkea kuljettajille, jotka ovat yli 195 cm pitkiä. Näitä ei kuitenkaan ole yksilöity eri tyyppimerkintöjen alle, joten tietyn mallin tarkkoihin tietoihin on haastavaa viitata. Yrityksen nettisivuilta selviävät kuitenkin taulukossa 1 esitetyt faktat:

Taulukko 1. Leitran teknisiä tietoja.

pituus	1950 - 2050 mm
leveys	980 mm
korkeus	1200 - 1400 mm

massa, mukaan lukien katteet	28 - 30 kg
rengaskoko	20 ”

Leitrassa ei lähtökohtaisesti ole sähköavustusta, vaan se toimii pelkällä poljinvoimalla. Leiträn sivuilla mainitaan, että se on nopea, vaikka sitä ei olekaan suunniteltu kilpailuita silmällä pitäen. (Leitra.)

### 3.1.2 Kinner-car

Suomalaisen AJL-Speedshop Oy:n Kinner on muotoilultaan elegantti ja muistuttaa 1900-luvun alun kilpa-autoa. Se on sähköavusteinen kahden istuttava nelipyöräinen poljettava auto. Kuvasta 2 näkee hyvin, miten sen suunnittelussa on pyritty hakemaan eleganssia ja tuulahdusta autoilun alkua ajoilta. Polkimet ovat saatavissa sekä kuljettajalle että matkustajalle. Liikkumisen keveydestä

huolehtii sähköavustus. (Kinner-car.)



Kuva 2. Kinner-car on näyttävä kahden istuttava poljettava auto (Kinner-car).

Yritys on vasta taipaleensa alkuvaiheessa, mutta markkinoi jo tuotteitaan myyntiin EU-alueelle. Sen sijaan tyyppihyväksyntää Yhdysvaltain markkinoille ei sen mukaan ole vielä työn kirjoitushetkellä saatu. Ajoneuvosta selviää yrityksen nettisivuja tutkimalla taulukossa 2 esitetyt faktat.

Taulukko 2. Kinner-carin teknisiä tietoja.

Pituus	2850 mm
Leveys	1000 mm

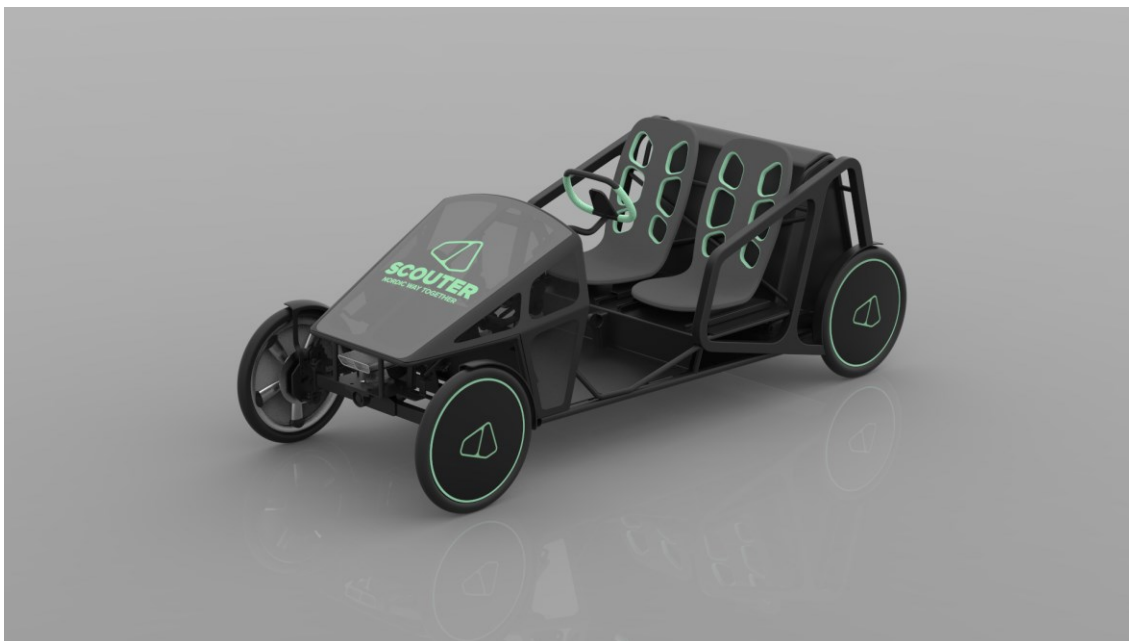
Korkeus	600 mm
massa	90 kg (optioista riippuen)
rengaskoko	25 ”

Kinner-car ei ole katettu, toisin kuin Leitra. Tästä syystä itse ajoneuvon korkeus jää pienemmäksi. Käytännössä alituskorkeus on suurempi, kuljettajan koosta riippuen. Kinner-carin voi tilata joko sähköavusteisena poljettavana ajoneuvona, jolloin avustus ylittää 25 km/h nopeuteen asti, tai 'Speed-Pedelec' -versiona, jolloin sähköavustus toimii 45 km/h nopeuteen asti. Jälkimmäinen tarvitsee Suomessa ja EU-alueella liikennevakuutuksen. Kinner-carin pyyntihinta on varsin korkea, 18 000 €. Tämä on verrattavissa pieniin henkilöautoihin. Huomattavaa on myös sen omamassa, 90 kg. (Kinner-car.) Näin ollen se on huomattavasti kookkaampi kuin Leitra. Suuri omamassa asettanee haasteita ajoneuvon käsittelyyn ja säilytykseen perinteisille polkupyörille suunnitelluissa tiloissa.

### 3.1.3 Scouter LMV

Myös Metropoliassa on ajan saatossa tutkittu aihetta ja valmistettu ainakin yksi velomobiili. Arkistosta löytyvät Antti Ruokolaisen ja Aaron Eskelisen insinöörityöt aiheesta. Tilaajana töille on toiminut Tamperealainen Rideascout Oy ja insinöörityöt ovat valmistuneet vuonna 2013. Insinööritöiden pohjalta on jalostunut Scouter LMV (*Light modular vehicle*), sähköavusteinen poljettava ajoneuvo.

Kuvasta 3 näkee hyvin suunnittelun lopputuloksen.



Kuva 3. Scouter LMV on tamperelaisen yrityksen markkinoima poljettava kevyt-ajoneuvo (Tekniikan maailma 2019).

Tekniikan maailman 2019 vuonna päivätyn uutisen mukaan yritys on ollut valmis aloittamaan ajoneuvojen sarjavalmistuksen vuonna 2020, mutta ainakaan internetistä ei löydy tilauskaavaketta, jolla ajoneuvon voisi itselleen tilata. (Tekniikan maailma 2019.)

### 3.2 Pohja-ajoneuvon tekniset tiedot

Yllä esiteltyjen ajoneuvojen tietojen pohjalta on tehty valistuneita oletuksia pohja-ajoneuvon teknisiksi tiedoiksi. Harmittavasti sekä yllä esiteltyjen että muiden poljettavien ajoneuvojen tarkkoja teknisiä tietoja on vaikea löytää, joten ihan tarkkoja oletuksiakin on vaikea tehdä. Tässä on kuitenkin lähdetty käyttämään ns. varmuuskerrointa eli oletukset on tehty pessimistisesti ajatellen. Pohja-ajoneuvo on yksipaikkainen kolmipyöräinen velomobiili, jossa veto kohdistuu takapyörään ja ohjaus on toteutettu etupyörillä. Polkimet ovat edessä ja veto polkimilta takapyörälle on toteutettu ketjuvedolla. Toimimalla näin ei ajoneuvoon tarvitse suunnitella tasauspöyrästä. Ajoneuvo on katettu ja kate on

valmistettu lasikuidusta. Tämä on huomioitu ajoneuvon oletetussa painossa, joka on asetettu 75 kilogrammaan. Laskennoissa on lisäksi arvioitu kuljettajan massaksi 90 kg. Taulukkoon 3 on koottu yhteen pohja-ajoneuvon tekniset tiedot.

Taulukko 3. Pohja-ajoneuvon tekniset tiedot.

Pituus	2500 mm
Leveys	1000 mm
Korkeus	750 mm
massa	75 kg
rengaskoko	20 ”
Vetotapa	Sekä polkimien että sähköavustuksen veto kohdistuu takapyörään

## 4 Suorituskykylaskelmat

### 4.1 Ajovastukset

Jokaisen ajoneuvon etenemistä vastustaa kolme voimaa. Nämä ovat renkaiden vierinvastus, ilmanvastus ja nousuvastus. Jokainen näistä vastuksista voidaan

esittää joko vastusvoimana newtoneina (N), moottorilta vaadittavana vääntömomenttina (Nm) tai tehona (W). (Oikarinen 2022: 2.) Velomobiilin suorituskyvyn arvioinnin kannalta ensimmäinen tavoite oli koota arvioidut vastukset summaksi, jotta tarvittavan tehon määrää pystyttiin arvioimaan. Näiden voimien laske-  
miseksi tarvittavat kaavat haettiin lähdemateriaalista. Kaavat on esitetty muodossa, jossa ne palauttavat tehon watteina. Vierinvastuksen voittamiseen tarvittavan tehon  $P_{rr}$  laskemiseen käytettiin kaavaa

$$P_{rr} = v * m * g * C_f \quad (1)$$

jossa  $v$  on nopeus metreinä sekunnissa,  $m$  on ajoneuvon massa,  $g$  on painovoima ja  $C_f$  on vierinvastuskerroin (Gillespie ym. 2021: 90). Laskelmissa käytettiin ajoneuvon ja kuljettajan yhteismassaa. Vierinvastuskertoimien löytäminen polkupyörän renkaille oli haastavaa, mutta lähes vastaaville renkaille löydettiin vierinvastukseen kuluva teho, josta vierinvastuskerroin pystyttiin laskemaan (Bicycle Rolling Resistance). Ilmanvastuksen voittamiseen tarvittava teho  $P_{iv}$  laskettiin kaavalla

$$P_{iv} = v^3 * \frac{1}{2} \rho * C_d * A \quad (2)$$

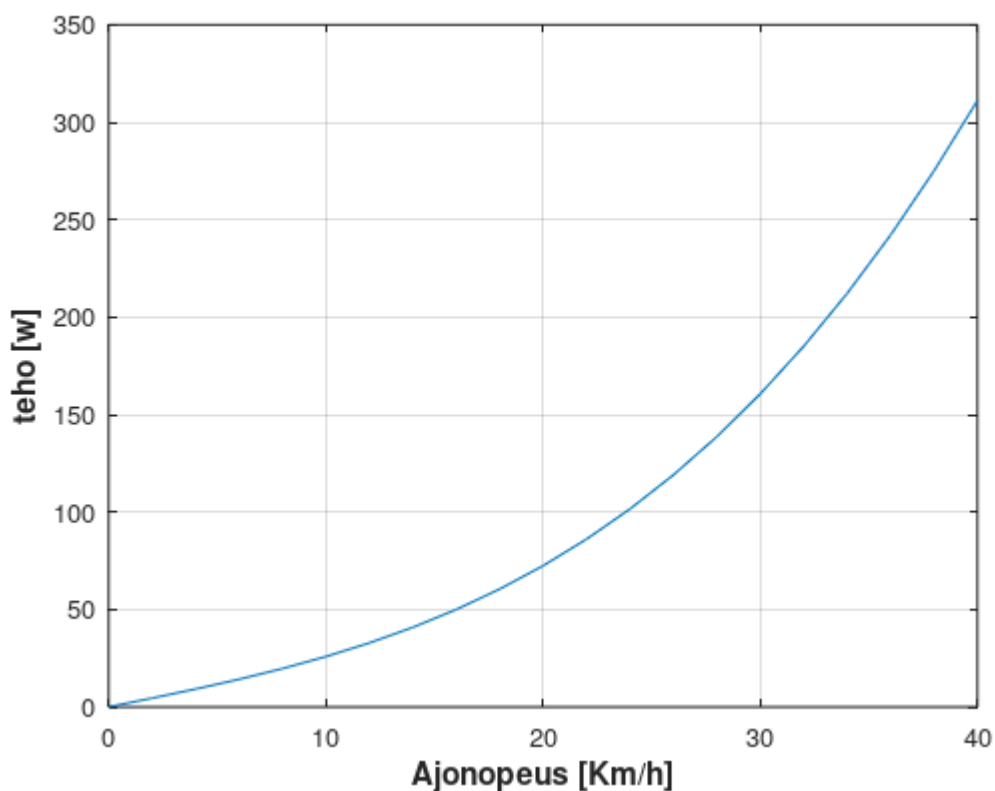
jossa  $v$  on nopeus metreinä sekunnissa,  $\rho$  on ilman tiheys,  $C_d$  on ilmanvastuskerroin ja  $A$  on kappaleen poikkipinta-ala (Gillespie ym. 2021: 79). Nopeus ja ilman tiheys ovat kohtuu helppoja, mutta koska tämän työn kohteena olevan ajoneuvon mekaanista suunnittelua ei ole vielä tehty, piti sekä ilmanvastuskerroin että poikkipinta-ala perustaa oletuksiin. Tätä varten löydettiin netistä resursseja, joiden perusteella oletukset tehtiin. Nousuvastusten voittamiseen tarvittava teho  $P_{nv}$  laskettiin kaavalla

$$P_{nv} = v * m * g * \sin \alpha \quad (3)$$

jossa  $v$  on nopeus,  $m$  on ajoneuvon massa,  $g$  on painovoima ja  $\sin \alpha$  on noustavan mäen nousukulma (Gillespie ym. 2021: 90).

## 4.2 Laskelmat

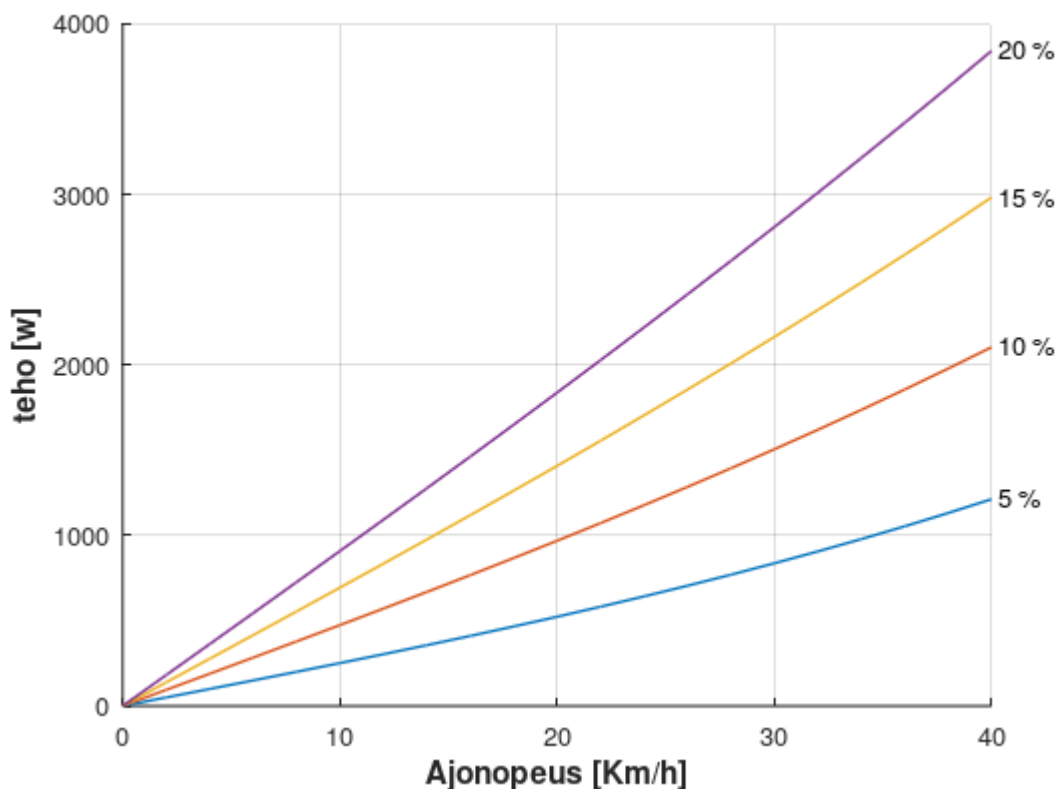
Vastusten graafista esitystä varten kaavat ja kerätyt tiedot koottiin numeerisina muuttujina Gnu Octave 6.3.0 -ohjelmistoon. Ohjelmistossa muodostettiin ajovastuksista käyrämuotoiset kuvaajat osoittamaan ajovastuksen suuruutta eri ajotilanteissa. Ensimmäisenä summattiin vierinvastus ja ilmanvastus. Kuva 4 esittää saatua lopputulosta.



Kuva 4. Ajoneuvon vastusten voittamiseen tarvittava teho tasamaalla.

Kuvasta 4 voidaan suoraan nähdä, minkälaista tehoa vaaditaan, jotta velomobiili voi ylläpitää tiettyä nopeutta suoralla kestopäällysteisellä tiellä tyynellä kelillä. Voidaan esimerkiksi sanoa, että ajaminen 15 kilometrin tuntinopeudella vaatii 50 wattia jatkuvaa tehoa ja vastaavasti 30 kilometrin tuntinopeuden ylläpitäminen vaatii 160 wattia jatkuvaa tehoa.

Seuraavaksi tarkasteluun otettiin myös nousugradientit. Nousugradientti tarkoittaa nousumetrejä suhteessa vaakasuuntaan edettyyn matkaan. Esimerkiksi 10 % nousu tarkoittaa, että kartalla edettyä sataa metriä kohden nousua on kertynyt 10 metriä. Yllä summattuihin vastuksiin liitettiin 5 %, 10 %, 15 % ja 20 % nousua vastaavat tehokäyrät. Tästä muodostettiin kuva 5.



Kuva 5. Eri kaltevuuskulmalla olevien mäkien nousuun vaadittava teho.

Kuvasta 5 nähdään, että esimerkiksi 5 % nousukulmalla varustetun mäen nousu velomobiililla 10 kilometriä tunnissa vaatii n. 250 wattia tehoa, ja vastaavasti 20 % mäen nousu 10 kilometriä tunnissa vaatii n. 900 wattia tehoa. Vertailun vuoksi Suomessa Tampeereella sijaitsevan Lukonojanmäen gradientti on 12 % ja joillain teillä on jopa 20 % nousuja. Itävallassa sijaitsevan Grossglocknerin solatien jyrkin nousu on 15 %. Laskelmien perusteella pystyttiin muodostamaan käsitys siitä, millaista tehoa velomobiiniin tulevalta voimalinjalta vaaditaan.

## 5 Sähköinen voimalinja

### 5.1 Moottorin mitoitus ja valinta

Sähköavustuksen toteuttamiseen on tarjolla kaksi toteutustapaa. Toinen on moottorin sijoittaminen polkimien yhteyteen (keskimoottori), ja toinen on moottorin sijoittaminen taka-akselille (napamoottori). Näistä keskimoottori on huomattavasti yleisempi Suomessa myytävissä tehdasvalmisteisissa sähköavusteisissa polkupyörissä. Tässä vaihtoehdossa sekä polkijan että moottorin tuottama voima siirretään takarenkaalle normaalin polkupyörän vaihteiston kautta. Näin saadaan täysi hyöty vaihteiston välityssuhteista. Lisäksi sähköavustus on komponenteiltaan varsin yksinkertainen ja kompakti poljinvoiman tunnistimen ja sähkömoottorin ollessa samassa yksikössä. Toteutuksen varjopuoli on se, että takarenkaalle siirretään tehoa vain hyötysuhteen verran, ja vaihteiston tehoviivo syö sekä poljin- että moottorivoimaa. Lisäksi menetetään mahdollisuus hyödyntää jarrutusenergian talteenottoa, sillä normaalissa polkupyörän vaihteistossa vapaaratas estää ketjujen pyörimisen, kun ajaja ei polje.

Takanapaan sijoitettavia moottoreita on yleisesti kahta tyyppiä: vaihteellisia ja suoravetoisia. Vaihteelliset ovat yleensä kooltaan pienempiä mekaniikan salliessa pienemmän, mutta enemmän kiertävän moottorin käytön. Suoravetoisen moottorin etu on mekaniikan minimaalinen määrä. Suoravetoisessa moottorissa staattori on navassa paikoillaan ja roottori on ulkokehällä. Näin mekaniikkaa ei tarvita kuin laakeroinnissa. Moottorin sijoittaminen taka-akselille tarjoaa sen hyödyn, että moottoria voi mahdollisesti käyttää myös jarrutusenergian talteenottoon.

Seuraava askel oli löytää velomobiiliin sopiva moottori. Edellä suoritettujen laskelmien antoivat pohjaa moottorin valinnalle, mutta varsin nopeasti kävi selväksi, että moottoreista on varsin vähän saatavilla tarkkoja teknisiä tietoja.

Tutkittavaan velomobiiliin valittiin kanadalaisen Grin Tehnologies Ltd:n suoravetoisen All-axle Motor Rear V3 -napamoottori. Moottori valikoitui tarkasteluun, koska se mahdollistaa jarrutusenergian talteenoton ja valmistaja tukee myös

aurinkosähköjärjestelmien liittämistä osaksi sähköjärjestelmää (ebikes.ca). Lisäksi moottori on luokiteltu 250 watin teholuokkaan, jolloin ajoneuvolle ei olisi tarpeen ottaa erillistä liikennevakuutusta.

## 5.2 Moottorin ohjaus

Moottorinohjaimen tehtävä on muuntaa akusta tuleva tasavirta moottorille tarvittavaksi vaihtovirraksi. Moottorin ohjaimeksi valittiin Grin Technologies Ltd:n Phaserunner V6. Se mahdollistaa akkujännitteet aina 24 V - 72 V välillä. Lisäksi valittiin saman yhtiön Cycle Analyst V3 -ohjainyksikkö, jolla voimalinjaa voidaan hallita.

## 5.3 Akku

Akuksi valittiin 48 V 10 Ah eZee Flat Battery. Akun nimellisjännite on 48 V ja energiasisältö 480 Wh. Sen maksimi purkuvirta on 40 A, mutta suositeltu maksimipurkuvirta normaalikäytössä 25 A. Järjestelmän korkeampi nimellisjännite vähentää vaadittavaa virtaa sekä pienentää jännitehäviöitä syöttöjohtimissa. Nimellisjännitteen kasvattaminen mahdollistaa siis pienemmän poikkipinta-alan syöttöjohtimien valinnan sekä laskee ajoneuvon kokonaisuusmassaa.

## 5.4 Aurinkösähkö

Tavoitteena ajoneuvossa on pystyä lataamaan sitä myös aurinkoenergialla. Tätä varten ajoneuvon katteen päälle olisi tarkoitus asentaa aurinkopaneeli, joka syöttäisi virtaa akulle. Yleisin nimellisjännite rakennettaessa kuluttajaluokan aurinkosähköjärjestelmiä on 12 V. Näistä on hyvin tarjontaa ja kilpailu tekee sen, että myös hinnat ovat asianmukaiset. Tähän opinnäytetyöhön etsittiin paneeli, joka on nimellisteholtaan n. 100 W ja olisi helppo asentaa kevytajoneuvon katteeseen. Malliksi valikoitui Sunbeamsystem:in Maxa 109 W Black veneilykäyttöön markkinoitava paneeli, jonka nimellisteho on 109 W ja joka on taipuisa. Paneelin mitat ovat 1060 x 545 x 3 mm. Paneelin paino on 2 kg, jolloin se ei nosta ajoneuvon kokonaispainoa turhan paljon.

## 5.5 Lataussäädin

Lataussäätimen tehtävä on ottaa vastaan aurinkopaneelilta tuleva sähköenergia, muuntaa sen jännite akun jännitettä vastaavaksi ja ladata se akkuun. Lataussäätimiksi valikoitui Genasun Waterproof Boost MPPT – GVB-8 Lithium 56.8V. Se on veneilykäyttöön suunniteltu ja vesitiivis, joten sen pitäisi toimia hyvin myös velomobiilikäytössä.

## 5.6 Voimalinjakaavio

Yllä on esitetty perusteluja erilaisten komponenttien valinnalle projektia varten. Selvyyden vuoksi valitut komponentit on koottu vielä taulukkoon 4.

Taulukko 4. Sähköisen voimalinjan komponentit

Moottori	Grin Technologies All-axle Motor Rear V3
Moottorinohjain	Grin Technologies Phaserunner V6
Näyttöyksikkö	Grin Technologies Cycle Analyst V3
Akku	eZee 48 V 10 Ah Flat Battery
Aurinkopaneeli	Sunbeamsystem Maxa 109 W Black

Lataussäädin	Genasun Waterproof Boost MPPT – GVB-8 Lithium 56.8V
--------------	--

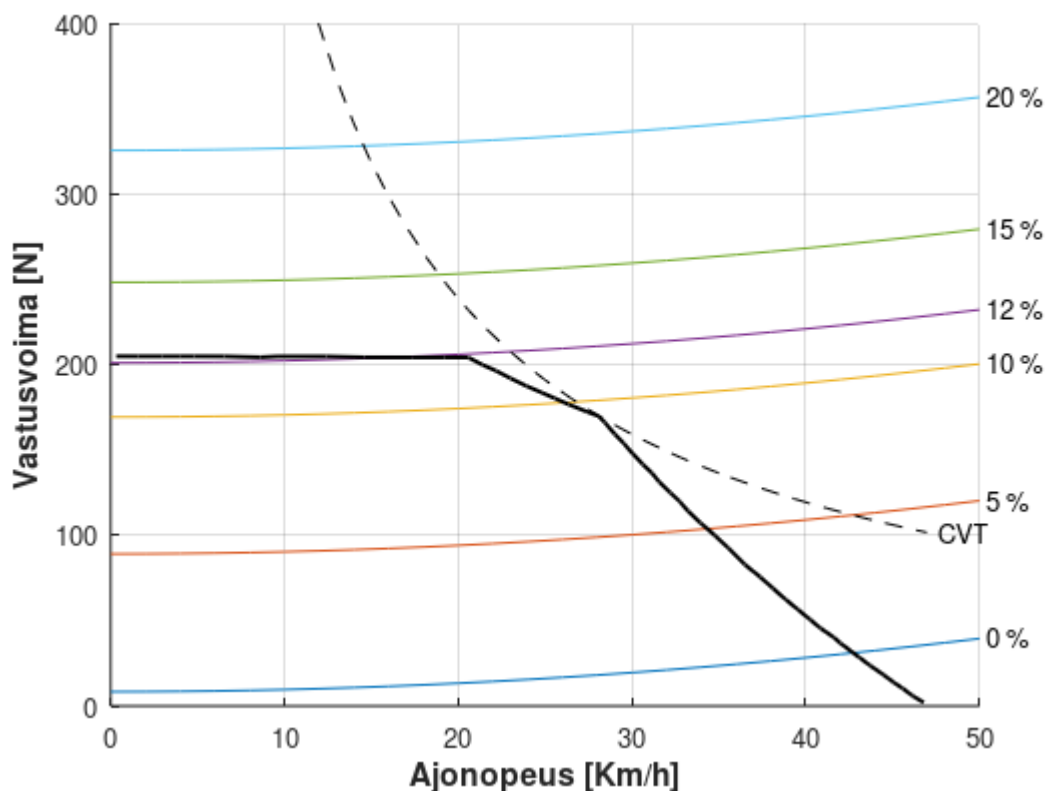
## 6 Ajotilapiirros

### 6.1 Taustaa

Ajotilapiirros kuvaa ajoneuvon kykyä selviytyä erilaisista ajotilanteista. Piirrokselta selviävät nousuvastukset ja toisaalta moottorin täyskuormitusta vastaavat vetovoimakuvaajat eri vaihteilla. (Laine 1967: 34.) Sähköisen kevyt ajoneuvon etenemistä tarkasteltaessa ajotilapiirros on hyödyllinen juuri moottoritehon ja siitä saatavan ajomukavuuden arvioinnissa.

### 6.2 Velomobiilin suorituskyvyn arviointi

Näin voidaan tehdä päätelmiä ajoneuvon kyvystä voittaa ajovastukset eri tilanteissa. Ajotilapiirroksen laatimiseksi ajovastusten kaavoja käytettiin muodossa, jossa ne palauttavat vastusvoimat newtoneina. Kaavoista laskettiin vastusvoimien suuruus nopeuden suhteen eri nousugradienteilla. Nämä asetettiin ajotilapiirroksen pohjaksi ja merkittiin gradienttien suuruutta kuvaavilla prosenttiluvuilla. Moottorin vääntöominaisuudet selvitettiin valmistajan kotisivuilta (ebikes.ca). Saatu vääntökäyrä käännettiin CSV-tiedostoksi käyttäen WebPlotDigitizer 4.8 -ohjelmistoa. CSV-tiedosto luettiin laskentaohjelmaan. Tämän jälkeen kyettiin moottorin ja renkaan tiedoista laskemaan käyttövoima renkaalla, joka piirrettiin myös kuvaajaan (musta käyrä). Lisäksi luotiin vielä ns. CVT-käyrä, jonka kertoo käytössä olevan optimitehon ajonopeuden suhteen (musta katkoiviivakäyrä). Kuvasta 6 nähdään kuvatulla osasarjalla muodostettu ajotilapiirros.



Kuva 6. Velomobiilin ajotilapiirros.

Kuvassa musta yhtenäinen käyrä kuvaa velomobiilin käytössä olevaa voimaa. Kohta jossa 0 % gradientti ja musta käyrä leikkaavat, on velomobiilin teoreettinen huippunopeus tasaisella maalla, kovalla pinnoitteella ja tyyneillä kelillä. Kuvasta nähdään, että jos voimalinjan toimintaa ei rajoiteta ohjelmallisesti, nousee velomobiilin huippunopeus yli neljäänkymmeneen kilometriin tunnissa. Suomessa ja EU:n alueella tämä on liikaa ja ohjelmallinen rajausta tulee tehdä, jotta velomobiilia voi käyttää liikenteessä. Vastaavasti mustan käyrän ja 10 % gradientin leikkauspiste on maksiminopeus 10 % ylämäkeen ajettaessa (n. 25 km/h). Mustaa käyrää tulkitaan siis niin, että sen yhdessä 0 % käyrän kanssa rajaama alue on velomobiilille mahdollista nopeusalueita. Kuvasta nähdään myös, että valituilla osilla velomobiilin teho ja välitykset riittävät n. 12 % nousukulmalla olevan mäen nousemiseen pelkästään sähkövoimalinjan avulla.

Kuvasta nähdään myös mustalla katkoviivalla merkitty CVT-käyrä. Se kuvaa sellaista voimaa, joka voisi teoriassa olla käytössä, jos sähkövoimalinjassa olisi

vaihteisto ja käytössä kulloiseenkin tilanteeseen sopiva vaihde. Voidaan sanoa, että kaikki mustan käyttövoimakäyrän ja katkoviivalla merkityn CVT-käyrän väliin jäävä alue on ns. hukattua käyttövoimaa. Voidaankin päätellä, että käyttämällä pienempitehoista moottoria ja tuomalla voima takarenkaalle vaihteiston läpi pystyttäisiin moottorin teho käyttämään paremmin hyödyksi. Mäennousukyky paranisi ja hukattua käyttövoimaa jäisi vähemmän.

Pitää myös ottaa huomioon, että esitetty ajotilapiirros kuvaa kuitenkin vain sähkövoimalinjan tehoa, ikään kuin velomobiili olisi täyssähköajoneuvo. Näin ei kuitenkaan ole, vaan myös ajajan polkimilla tuottama käyttövoima on käytettävissä ja se tuodaan takarenkaalle vaihteiston kautta. Näin saavutetaan paljon esitettyä parempi kyky nousta mäkiä.

### 6.3 Aurinkovoimalinjan hyödyllisyys

Pohdittaessa aurinkosähköjärjestelmän hyödyllisyyttä, käännettiin alussa esitetty kysymys ajoneuvon ilmanvastuksesta toiseen kulmaan: Kun käytössä oleva teho  $P_k$  tiedetään, kuinka suuri saa olla ilmanvastuspoikkipinta-ala, jotta ajoneuvo voi saavuttaa 25 km/h nopeuden tasaisella? Käytössä olevaksi tehoksi oletettiin 75 % aurinkopaneelin nimellistehosta ja 70 watin teho ajajan poljinvoimasta, eli yhteensä 150 wattia. Tämä vastaa tilannetta, jossa aurinko paistaa täydeltä terältä ja kuljettaja polkee selkeästi alle normaalin ihmisen jatkuvan tehontuoton kynnyksen. Tätä varten yllä oleva kaavat (1) ja (2) muokattiin muotoon

$$C_d * A = \frac{P_k - v * m * g * C_f}{v^3 * \frac{1}{2} \rho} \quad (4)$$

ja tästä saatiin tulokseksi virtauspoikkipinta-ala 0,473 m<sup>2</sup>. Tätä verrattiin lähdekirjallisuuteen, jotta voitiin muodostaa käsitys siitä, onko yllä esitetty hypoteesi mahdollinen (Gromke ym. 2000). Artikkelissa annetaan virtauspoikkipinta-ala esimerkiksi yllä esitellylle Leitralle (0,177 m<sup>2</sup>). Sen pohjalta voidaan sanoa, että nykyteknologialla on hyvinkin mahdollista rakentaa sellainen velomobiili, jonka huippunopeus on 25 km/h ja joka saa etenemiseen tarvitsemansa energian

auringosta ja ajajan poljinvoimasta. Saatua tulosta verrattiin moottorivalmistajan varsin kattavaan simulointityökaluun (ebikes.ca). Sillä tehdyn vertailulaskennan perusteella voitiin päätellä, että saatu tulos pitää paikkansa.

Laskennasta saatujen tulosten perusteella aurinkovoimalinja vaikuttaa mielenkiintoiselta kehityssuunnalta. Kun sähkövoimalinjaa lähdettiin suunnittelemaan, yhdeksi suunnitteluperusteeksi valikoitui mahdollisuus jarrutusenergian talteenottoon. Tämän tuloksen perusteella kuitenkin voidaan tehdä se johtopäätös, että panostamalla katteiden suunnittelussa aerodynamiikkaan ja aurinkosähkötekniikkaan voidaan jarrutusenergian talteenotosta luopua. Näin saadaan lisää joustavuutta myös valittaessa sähkömoottoria ja voidaan mahdollisesti valita teholtaan hiukan pienempi moottori. Lisäksi voidaan harkita hiukan pienempikapasiteettisemmän akun valintaa.

## 7 Johtopäätökset

Tässä työssä selvitettiin edellytyksiä valmistaa kevyt yksipaikkainen sähköinen ajoneuvo, joka saa liikkumiseen vaadittavan käyttövoiman polkimilta ja sähkömoottorilta. Lähtökohtia selvittäessä havaittiin, että EU-säädökset rajoittavat kevyiden ajoneuvojen määrityksiä huomattavasti enemmän kuin vastaavat säädökset Yhdysvalloissa, Kanadassa tai muualla maailmassa. EU-säädösten puitteissa pystyttiin kuitenkin suunnittelemaan sähköinen voimalinja, joka täyttää EU-säädökset ja Suomen ajoneuvolain vaatimukset. Ajoneuvoa olisi mahdollista käyttää pyöräteillä Suomessa, mutta se vaatisi vakuutuksen korkean oman massansa ansiosta.

Ajoneuvoon mitoitettiin myös aurinkopaneeli ja arvioitiin aurinkopaneelin ja poljinvoiman yhteistehoa. Näiden yhteistehoksi arvioitiin 150 W. Tämän pohjalta pystyttiin laskemaan sellainen virtauspoikkipinta-ala, jolla voidaan sanoa, että aurinkovoiman ja poljinvoiman yhteisteholla ajoneuvo saavuttaisi 25 km/h nopeuden tasaisella maalla. Tämä arvo,  $0,473 \text{ m}^2$ , on yksi työn keskeisistä löydöksistä ja toimii mekaanisen suunnittelun pohjana, jos ideaa lähdetään jalostamaan eteenpäin. Selvitystyö tuotti paljon mielenkiintoisia löydöksiä, mutta

vastaavaa ajoneuvoa samassa kokoluokassa, jossa paneeli olisi sijoitettu runkoon ja näin tavoiteltu optimaalista ilmanvastusta, ei löydetty.

Jatkotutkimuksen kohteeksi suositellaan ajoneuvon mekaanisen suunnittelutyön tekemistä ja ehdotetun voimalinjan sovittamista sopivan kokoiseen runkoon. Lisäksi ehdotetaan edellytysten selvittämistä sille, miten kuvaillun kaltaisen voimalinjan voisi toteuttaa mopopuolautosäännösten puitteissa.

## Lähteet

Ajoneuvolaki. 2021. 82/25.1.2021.

Antila, Kimmo; Kylliäinen, Mikko; Mauranen, Tapani; Männistö, Tiina; Karonen, Vesa & Lahtinen, Markku. 2007. Velomania! Pyörällä halki aikojen. Tampere: Vapriikki.

Bicycle Rolling Resistance <<https://www.bicyclerollingresistance.com/>>. Luettu 10.5.2025.

Deetman, S., Pauliuk, S., van Vuuren, D. P., van der Voet, E. & Tukker, A. 2018. Scenarios for Demand Growth of Metals in Electricity Generation Technologies, Cars, and Electronic Appliances. *Environmental science & technology*, 52(8), pp. 4950-4959. doi:10.1021/acs.est.7b05549

Eskelinen, Aaron. 2013. Kevytajoneuvon ajodynamiikka. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Gillespie Thomas D., Duprey Benjamin L., Sandu Corina & Taheri Saied. 2021. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE.

Grin Technologies Ltd. <<https://ebikes.ca/tools/simulator.html>>. Luettu 15.4.2025.

Gromke, Christof, Olivier Marzullo & Joachim Fuchs. "Aerodynamic loads on and flow around velomobiles." *Quest (I)* (2000): 0-093.

Kinner-car – valmistajan kotisivut <<https://www.kinner-car.com/>>. Luettu 22.3.2025.

Kuusisto, Olli. 2013. Aurinkoautosta velomobiiliin. Parainen: Olli's Ideas.

Laine, O. 1967. Autotekniikka: I osa, Ajo-ominaisuudet. Tampere: Kustannusyhtymä.

Leitra – valmistajan kotisivut. <<https://leitra.dk/>>. Luettu 22.3.2025.

Liikennevakuuttamisen uusi laki voimaan 1.6. – muutos tuo monia uusia liikumisvälineitä liikennevakuutettaviksi. 2024. Verkkoaineisto. Liikennevakuutuskeskus. <<https://www.lvk.fi/liikennevakuutuskeskus/tiedotteet/2024/liikennevakuuttamisen-uusi-laki-voimaan/>>. Päivitetty 2.5.2024. Luettu 11.3.2025.

OICA International Organization of Motor Vehicle Manufacturers - organisaation kotisivut. <<https://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>> Luettu 19.5.2025.

Oikarinen, Pasi. 2022. Auton dynamiikka. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Perälä, Osmo. 2019. Sähköavusteiset polkupyörät. Helsinki: Alfamer.

Stark, R., Buchert, T., Neugebauer, S., Bonvoisin, J. & Finkbeiner, M. 2017. Benefits and obstacles of sustainable product development methods: A case study in the field of urban mobility. Design Science, 3, . doi:10.1017/dsj.2017.20

Sähköiset liikkumisvälineet. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/autoilijat/vinkkeja-liikenteeseen/sahkoiset-liikkumisvalineet/>>. Luettu 11.3.2025.

Ruokolainen, Antti. 2013. Kevytajoneuvon voimansiirto. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Suomalainen sähköavusteinen kevytajo-ajoneuvo Scouter etenee kohti sarjatuotantoa – Valmet Automotive mukana hankkeessa. 2019. Verkkoaineisto. Tekniikan maailma. <<https://tekniikanmaailma.fi/suomalainen-sahkoavusteinen-kevytajo-ajoneuvo-scouter-etenee-kohti-sarjatuotantoa-valmet-automotive-mukana-hankkeessa/>> 13.3.2019. Luettu 25.3.2025.

## Ajotilapiirroksen koodi

```

clear
close all

% LÄHTÖTIETOJEN LUOMINEN -----

% Haetaan ajoneuvon tiedot omasta tiedostostaan
run ('Lahtotiedot_Velomobiili_v3.m')

% Annetaan luonnonvakiot
g = 9.81;           % [m/s^2] Maan vetovoiman kiihtyvyyys
p = 100000;        % Vallitseva ilmanpaine [Pa]
M = 0.02896;       % Ilman moolimassa [kg/mol]
R = 8.31;          % Yleiskaasuvakio [J/(mol*K)]
T = 293;          % Vallitseva lämpötila [K]
rho = (p*M)/(R*T); % Ilman tiheys [kg/m^3]

% Alustetaan vektorit

% Nopeusvektori [km/h]
V = [0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44
46 48 50];

% Tien nousu prosentteina [%]
Grad = [0 5 10 12 15 20];

% LASKENTA -----

% Luodaan muuttuja vierinvastusteholle täytettynä nolllilla
P_rr = zeros(1,length(V));
% Luodaan muuttuja ilmanvastusteholle täytettynä nolllilla
P_iv = zeros(1,length(V));
% Luodaan muuttuja nousuvastusteholle täytettynä nolllilla
P_nv = zeros(1,length(V));
% Luodaan muuttuja vierinvastusvoimalle täytettynä nolllilla
F_rr = zeros(1,length(V));
% Luodaan muuttuja ilmanvastusvoimalle täytettynä nolllilla
F_iv = zeros(1,length(V));
% Luodaan muuttuja nousuvastusvoimalle täytettynä nolllilla
F_nv = zeros(1,length(Grad));

% Vierinvastuksen laskenta for-loopissa
for i = 1:length(V)

    % Lasketaan vierinvastukseen kuluva teho watteina [w]
    P_rr(i) = (V(i)/3.6) * m_y * g * Cf;
    % Lasketaan vierinvastukseen kuluva voima Newtonina [N]
    F_rr(i) = m_y * g * Cf;

endfor

% Ilmanvastuksen laskenta for-loopissa
for i = 1:length(V)

    % Lasketaan ilmanvastukseen kuluva teho watteina [W]
    P_iv(i) = (V(i)/3.6).^3 * (1/2 * rho) * Cd * A;
    % Lasketaan ilmanvastukseen kuluva voima Newtonina [N]

```

```

F_iv(i) = (V(i)/3.6).^2 * (1/2 * rho) * Cd * A;

endfor

% Nousuvastuksen laskenta for-loopissa
for i = 1:length(Grad)

    alfa = atand(Grad(i) / 100); % Lasketaan nousukulma [deg]
    F_nv(i) = g * sind(alfa) * m_y; % Nousuvastus [N]
    P_nv(i,:) = (V / 3.6) * F_nv(i); % Nousuvastukseen kuluva teho [w]

    % kokonaisvastuksen voittamiseen kuluva teho [W]
    Pkok(i,:) = P_rr + P_iv + P_nv(i,:);

    % kokonaisvastuksen voittamiseen tarvittava voima
    Fkok(i,:) = F_rr + F_iv + F_nv(i);

endfor

% Vierinvastuksen ja Ilmanvastuksen summa
P_rrjaiv = P_rr+P_iv;

% Lasketaan moottorin tuottama käyttövoima eri nopeuksilla
for i = 1:length(r)

    % Renkaan kehänopeus [km/h]
    Vk(i) = 2*pi*Rd*(r(i)/60) * 3.6;
    % Käyttövoima renkaalla [N]
    Fk(i) = Tm(i) / Rd;

endfor

% CVT kuvaajan tiedot
Fcvt = Pmax ./ (v/3.6); % CVT-vaihteiston käyttövoima [N]

% Ilmanvastuksen laskeminen aurinkovoimalinjaa varten
CdAmax = (Pk - ((Vsol/3.6) * m_y * g * Cf)) / ((Vsol/3.6).^3 * (1/2 * rho))

% KUVAAJIEN PIIRTÄMINEN -----

% Vierinvastuksen ja ilmanvastuksen summa
figure
plot(V,P_rrjaiv)
title('Vierinvastuksen ja ilmanvastuksen summa','fontsize',24)
xlabel('Ajonopeus [Km/h]','fontsize',12,'fontweight','bold')
ylabel('teho [w]','fontsize',12,'fontweight','bold')
grid on

%Velomobiilin nousuvastukset
figure
plot(V,P_nv)
title('Velomobiilin nousuvastukset','fontsize',24)
xlabel('Ajonopeus [Km/h]','fontsize',16,'fontweight','bold')
ylabel('Nousuvastukseen kuluva teho [w]','fontsize',16,'fontweight','bold')
grid on

```

```
% Ajotilapiirros
figure      % Luodaan tyhjä grafiikkaikkuna
hold on    % Pidetään kaikki kuvaajat ikkunassa
grid on     % Piirretään apuruudukko
title('Velomobiilin ajotilapiirros','fontsize',24)
xlabel('Ajonopeus [Km/h'],'fontsize',12,'fontweight','bold')
ylabel('Vastusvoima [N'],'fontsize',12,'fontweight','bold')
xlim([0 50])
ylim ([0 400])

% Piirretään nousugradienttien kuvaajat
for i = 1:length(Grad)

    plot(V, Fkok(i,:))

endfor

% Nousugradienttien tekstit
for i = 1:length(Grad)

    teksti = [' ' num2str(Grad(i)) ' %'];
    text(V(end), Fkok(i,end), teksti);

endfor

% piirretään käyttövoimakuvaaja
plot(Vk, Fk, 'k', 'Linewidth',1.5)

% piirretään CVT-kuvaaja
plot(v,Fcvt, '--k')
text(v(end), Fcvt(end), ' CVT');
```

## Ajotilapiirroksen lähtötiedot

```

% LÄHTÖTIEDOT -----
m_vm = 75; % [Kg] Ajoneuvon massa
m_k = 90; % [Kg] Kuljettajan massa
m_y = m_vm + m_k; % [Kg] Yhteismassa
Cd = 0.77; % Ilmanvastuskerroin
Cf = 0.005127; % Vierinvastuskerroin
A = 0.353; % [m^2] Virtauspoikkipinta-ala
Rd = 0.254; % [m] Renkaan dyn.vierintäsäde
Ppolk = 70; % [W] Polkemalla aikaansaatu teho
Ppaneeli = 109; % [W] Aurinkopaneelin nimellisteho
EtaPaneeli = 0.75; % Aurinkopaneelin hyötysuhde
Psolar = Ppaneeli * EtaPaneeli; % [W] Aurinkopaneelin teho
Pk = Ppolk + Psolar; % [W] Poljin ja aurinkotehon summa
Vsol = 25; % [km/h] Ihannenop. aurinko+poljin

```

```

% MOOTTORIN VÄÄNTÖ -----
% Luetaan annettu .CSV muistiin
Torque_data = dlmread('TperR Grin V3 Std 48V 14 Ah eZee Phaserunner
Hot.csv', ' ');
% Luetaan saadusta raakadatatista käyntinopeusvektori [1/min]
r = Torque_data(:, 1);
% Käännetään käyntinopeusvektori vaakaan
r = r';
% Luetaan saadusta raakadatatista Moottorin vääntö kierrosnopeuden
suheen [Nm]
Tm = Torque_data(:, 2);
% Käännetään vääntö vaakaan
Tm = Tm';

```

```

% MOOTTORIN TEHO -----
% Luetaan annettu .CSV muistiin
Power_data = dlmread('PperV Grin V3 Std 48V 14 Ah eZee Phaserunner
Hot.csv', ' ');
% Luetaan saadusta raakadatatista nopeusvektori
v = Power_data(:, 1);
% Käännetään nopeusvektori vaakaan
v = v';
% Luetaan saadusta raakadatatista Moottorin teho nopeuden suheen [W]
Pm = Power_data(:, 2);
% Käännetään teho vaakaan
Pm = Pm';
% Selvitetään maksimiteho CVT-kuvaajan tuottamista varten
Pmax = max(Pm);

```