



MITTAUSLAITE POLKUPYÖRÄN KETJUNVOITELUAINEIDEN ANALYSOIMISEKSI

Suunnittelu ja komponenttien valinta

THE DEVICE FOR ANALYZING BICYCLE CHAIN LUBRICANTS

Design and component selection

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan kandidaatintyö

2024

Tuukka Paajanen

Tarkastaja: Professori Aki Mikkola

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Konetekniikka

Tuukka Paajanen

Mittauslaite polkupyörän ketjunvoiteluaineiden analysoimiseksi

Suunnittelu ja komponenttien valinta

Konetekniikan kandidaatintyö

2024

32 sivua, 6 kuvaa, 2 taulukkoa, 1 kaavio ja 2 liitettä

Tarkastaja: Professori Aki Mikkola

Avainsanat: polkupyörä, ketjunvoitelu, voimansiirto, tehohäviö

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli suunnitella Redox Oy:lle mittauslaite, joka tutkii polkupyörän ketjunvoitelun vaikutusta voimansiirron tehohäviöön. Tavoitteena oli hyödyntää mahdollisimman paljon kaupallisia osia, jotka olisivat asennus- ja käyttövalmiita sellaisinaan. Näin valmistus, käyttö ja kunnossapito pysyisivät yksinkertaisena. Mittauslaitteen haluttiin olevan tarkka ja luotettava.

Työssä noudatettiin systemaattisen suunnittelun mallia, jossa hyödynnettiin vaatimuslistaa, toimintorakennetta ja ideamatriisia. Tämän jälkeen mittauslaitteesta hahmoteltiin 3D-malli ja aloitettiin markkinoilta löytyvien komponenttien valinta. Suunnittelun mittauslaitteen toiminta perustuu polkupyörän voimansiirron pyörittämiseen. Taajuusmuuntimella ohjataan sähkömoottoria, joka on kytketty voimansiirtoon. Tehoa mitataan eturattailta ja takarattailta. Laitteen tehomittarit lähettävät mittausdataa älylaitesovellukseen, josta tehoarvojen erotusta eli tehohäviötä voidaan tarkastella.

Mittauslaitteen suunnitelmasta tuli valmis lukuun ottamatta sähkömoottorin kytkentää voimansiirtoon ja apurungon suunnittelua. Rakennuttamalla prototyypin, tulokset ja laitteen toimivuus voitaisiin varmistaa ja havaintojen perusteella aloittaa tuotteen jatkokehitys.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

Your school: LUT School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Tuukka Paajanen

The device for analyzing bicycle chain lubricants

Design and component selection

Bachelor's thesis

2024

32 pages, 6 figures, 2 tables, 1 chart and 2 appendices

Examiner: Professor Aki Mikkola

Keywords: bicycle, chain lubrication, drivetrain, power loss

The purpose of this bachelor's thesis was to design a measuring device for Redox Oy. The device is meant to measure the effect of bicycle chain lubrication on drivetrain power loss. The goal was to utilize as much off-the-shelf components as possible. This way the components would be ready for installation and use as they are. Because of that, manufacturing, operation, and maintenance would remain simple. The measuring device had to be accurate and reliable.

The thesis followed a systematic design approach, utilizing a requirements list, functional structure, and idea matrix. After that a 3D-model of the device was outlined, and the selection of the components available on the market was started. The operation of the designed measuring device is based on rotating the bicycle's drivetrain. An electric motor, controlled by a variable frequency drive, is connected to the drivetrain. Power is measured from the front and rear sprockets. The power meters of the device send measurement data to a smart device application, from which the difference in power values, i.e., power losses, will be examined.

The design of the measuring device was completed except for the connection of the electric motor to the power transmission and the design of the subframe. By constructing a prototype, the results and functionality of the device could be ensured, and based on observations, the product development could be initiated.

SYMBOLILUETTELO

P	teho	W
W	työ	J
T	vääntö	Nm
I	virta	A
U	jännite	V

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboliluettelo

1	Johdanto.....	7
1.1	Kohdeyrityksen esittely	7
1.2	Työn tarkoitus, tavoite, haasteet ja merkitys	8
2	Menetelmät	10
2.1	Tehon mittaus	10
2.1.1	Potentiaaliset tehonmittauslaitteet	11
2.2	Systemaattinen suunnittelu	12
2.2.1	Vaatimuslista	14
2.2.2	Toimintorakenne	15
2.2.3	Toimintokokonaisuuden alustava valinta	16
2.2.4	Ideamatriisi	17
3	Mittauslaitteen toiminta ja komponenttien valinta	19
3.1	Valitut komponentit	20
3.1.1	Tehon tuonti.....	21
3.1.2	Voimansiirto	22
3.1.3	Tehonmittaus, runko ja ketjunlikaamisjärjestelmä	22
4	Tulosten tarkastelu.....	24
4.1	Asennus ja valmistus	24
4.2	Sovellettavuus, harjoitusvastus ja spider-tehomittari	25
4.3	Käyttö.....	26
4.4	Saatavuus ja hinta	26
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	28
	Lähteet	31

Liitteet

Liite 1. Ideamatriisi

Liite 2. Valitut komponentit

Kuvaluettelo

Kuva 1: Shimano Dura-Ace Di2 voimansiirto

Kuva 2: Polkimeen ja kampeen sijoitetut tehomittarit sekä spider-tehomittari

Kuva 3: Systemaattisen suunnittelun malli

Kuva 4: Suoravetoinen harjoitusvastus

Kuva 5: Hahmoteltu 3D-malli mittauslaitteesta

Kuva 6: Invertek Optidrive E3 0,75 kW taajuusmuunnin

Taulukko- ja kaavioluettelo

Taulukko 1: Vaatimuslista

Taulukko 2: Osaluettelo

Kaavio 1: Toimintorakenne

1 Johdanto

Maantiepyöräily on maailman suosituin pyöräilyn kilpalaji. Kilpailumuodoista yleisimpiä ovat yhteislähtökilpailut ja aika-ajot. Maantiepyöräilyn osakilpailut kestävät lukuisia päiviä ja ne koostuvat useista yhteislähdöistä ja aika-ajoista. (Ruthberg 2023.) Esimerkiksi yksi merkittävimmistä pyöräilykilpailuista Tour de France kestää noin kolme viikkoa, ja sen aikana pyöräillään lähes 3 500 kilometriä. Yksittäisen pyöräilijän päivämatalka voi siis olla jopa 290 kilometriä. (Tour de France 2024.) Näin pitkällä matkoilla kilpailijat pyrkivät minimoimaan kaikki mahdolliset hättatekijät, jotka heikentävät kilpailusuoritusta. Yksi näistä tekijöistä on polkupyörän voimansiirron tehollinen häviö. Maantiepyörän voimansiirto on nähtävillä kuvassa 1. Eturattailta takarattaille voimaa siirtävän ketjun tehohäviötä lievennetään ketjujen voitelulla.



Kuva 1. Shimano Dura-Ace Di2 voimansiirto (Hallam-Gravells 2023)

1.1 Kohdeyhteyksen esittely

Hartolalaisella Redox Oy:llä on vuonna 2015 lanseerattu Rex-pyörätuotemallisto, joka on keskittynyt vaativien harrastajien ja ammattilaisten tarpeisiin. He hyödyntävät

ketjunvoiteluaineissaan suksivoideteknologiaansa ja ovatkin saavuttaneet kunnioitusta sekä kiitosta niin Suomessa kuin maailmallakin. Rex-ketjunvoiteluaineiden lippulaivan eli Black Diamond -öljyn ja vahan johdolla on saavutettu useita suomenmestaruuksia ja jopa Tour de Francen etappivoitto. (Peltonen.) Black Diamond ketjuöljy on yksi markkinoiden tutkituimpia tuotteita. Matalan kitkatason ja säänkestävyyden ansiosta sen tarkoituksena on mahdollistaa tehokas voimansiirto kaikissa olosuhteissa. (Rex.) Nyt Redox Oy haluaisi käyttöönsä oman mittauslaitteen, jolla he voisivat tutkia ketjunvoiteluaineidensa vaikutusta voimansiirron tehohäviöön erilaisissa olosuhteissa.

1.2 Työn tarkoitus, tavoite, haasteet ja merkitys

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella polkupyörän ketjunvoiteluaineiden suorituskykyä mittaava laite Redox Oy:n käyttöön. Tavoitteena laitteen suunnittelussa on hyödyntää mahdollisimman paljon kaupallisia komponentteja. Valitut komponentit tullaan esittelemään työn tuloksissa. Mittauslaitteessa tulee olla ominaisuus, mikä mahdollistaa olosuhteiden simuloimisen. Kuraa, maantiepölyä ja hiekkaa on saatava lisättyä ketjuun testin aikana. Turvallisuuden lisäksi mittauslaitteiston tulee olla helppokäyttöinen, luotettava ja pitkäikäinen.

Markkinoilla on lukuisia potentiaalisia mittauslaitteistoon sopivia komponentteja, minkä takia laitteesta voisi luoda loputtoman määrän variaatioita. Ei olekaan yksinkertaista valita parasta mahdollista osakokonaisuutta. Ongelmalliseksi voi myös kehittyä komponenttien ominaisuuksien puute. Osien olisi hyvä kestää pölyä, roiskeita ja kuraa, mutta myös lisäksi kuljetusta ja siirtelyä. Haasteena on siis löytää kompromissi kaikista laitteen vaatimuksista, jotta päästäisiin parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen. Polkupyörän voimansiirron tehollinen häviö on hyvin pieni, mikä edellyttää mittauslaitteistolta tarkkuutta. Voikin olla hyvin haasteellista kehitellä laitetta kaupallisista osista riittävällä mittatarkkuudella. Ongelmien ratkaiseminen vaatii yksittäisten komponenttien ominaisuuksien sekä eri komponenttien yhteensopivuuden tarkastelua.

Voiteluaineen vaikutusta voimansiirron tehokkuuteen on yhtiön mukaan aikaisemmin tarkasteltu vain käytännön kokeissa, jossa pyöräilijä arvioi ajotuntumaa ja tehokkuuttaan. Tämnäkaltaisessa testissä ongelmaksi muodostuu tulosten epätarkkuus, olosuhteiden epäsäännöllinen vaihtelu ja muuttujien määrä. Käytännön kokeiluun verrattuna mittauslaite mahdollistaa voiteluaineiden suorituskyvyn vertailun ja arvioinnin toistettavasti ilman merkittäviä

muuttujia. Laitemittaus mahdollistaa tarkastelun tasalaatuisissa olosuhteissa. Ihmisen arvioidessa ketjunvoiteluaineen tuntumaa pyöräillessä, voi inhimillisten tekijöiden vuoksi arvioida voiteluaineesta vaihdella päivittäin. Laitteen avulla Redox Oy voi julkaista luotettavia tuloksia tuotteistaan, mikä tukee tuotteen uskottavuutta ja myyntiä. Laite mahdollistaa lukuisten aineiden vaikutusten tarkastelun voimansiirtoon, mikä tukee myös ympäristöystävällisten biohajoavien ketjunvoiteluaineiden kehitystä.

2 Menetelmät

Tässä osiossa käsitellään laitteen suunnittelun toteuttamista. Lisäksi tarkastellaan toimintojen ratkaisuvaihtoehtoja ja niiden arviointia. Työn alussa järjestetyssä tapaamisessa Redox Oy:n edustajan kanssa kävimme keskustelua laitteen tarkoituksesta ja toteutuksesta. Visio laitteen toimintaperiaatteesta lähti muodostumaan tehonmittauslaitteeksi, jossa ideana olisi pyörittää polkupyörän voimansiirtoa tietyllä teholla ja mitata rotaatiotehoa etu- ja takarat- taalta. Sisään ja ulos syötetyn tehon erotuksesta saisimme selville tehohäviön. Ketjunvoite- luaineen vaikutusta voimansiirron tehokkuuteen pystyttäisiin mittaamaan tehohäviön muu- toksen tarkastelulla.

2.1 Tehon mittaus

Teho on fysiikan käsite, mikä ilmaisee tehdyn työn määrää jotakin voimaa vastaan tietyn ajan kuluessa. Sen perusyksikkönä käytetään wattia (W) tai englantilaisessa yksikössä he- vosvoimaa (hp). Polkupyöräilyssä tehontuotto käytetään liikkumiseen työskentelemällä lii- kettä vastustavia tekijöitä kuten ilmanvastusta, vierimisvastusta sekä voimansiirron kitkaa vastaan. (Willet 2011.)

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad (1)$$

jossa P on teho (W), W on työ (J), Δt on ajanmuutos (s).

Pyörivissä järjestelmissä, kuten polkemisessä ja moottoreissa teho saadaan laskettua kerto- malla voimamomentti kappaleen kulmanopeudella. Voiman kohdistaminen poljinkampeen synnyttää momentin. Mikäli polkupyörää yrittää polkea, mutta liikettä ei tapahdu, on polku- teho tällöin nolla. Systemin on siis liikuttava, jotta tehtyä työtä kertyy ja tehoa esiintyy. Polkupyörässä on monia pyöriviä komponentteja, joista tuotettu teho on mahdollista mitata. Näitä ovat esimerkiksi polkimet, kampi, ketjut, takapyörä ja -napa. (Willet 2011.)

$$P = T\omega \quad (2)$$

jossa P on teho (W), T on vääntö (Nm), ω on kulmanopeus (rad/s).

2.1.1 Potentiaaliset tehonmittauslaitteet

Mittauslaitteen yksinkertaisen valmistettavuuden ja helppokäyttöisyyden mahdollistamiseksi laitteessa olisi järkevintä hyödyntää käyttö- ja asennusvalmiita tehomittareita, joilla olisi ominaisuus siirtää mittausdataa älylaitesovellukseen. Tämä olisi vaivattomin tapa saada mittausdata analysoitavaan muotoon. Seuraavaksi selvitetään markkinoilla olevat potentiaaliset polkupyöriin tarkoitetut tehomittarit, jotka pystyvät siirtämään ja tallentamaan tietoa yhteensopivan mobiili- tai tietokonesovelluksen kanssa.

Polkutehon mittaamiseen on olemassa erilaisia laitteita. Ne eroavat toistaan asennussijainniltaan polkupyörässä. On kehitetty muun muassa kammesta, keskiöstä ja polkimesta mittaavia antureita. Lisäksi on polkutehoa mittaavia harjoitusvastuksia, jotka mahdollistavat polkupyöräilyn harjoittelun sisätiloissa. (Heikkinen.) Edellä mainitut tehomittarit ovat nähtävillä kuvassa 2.



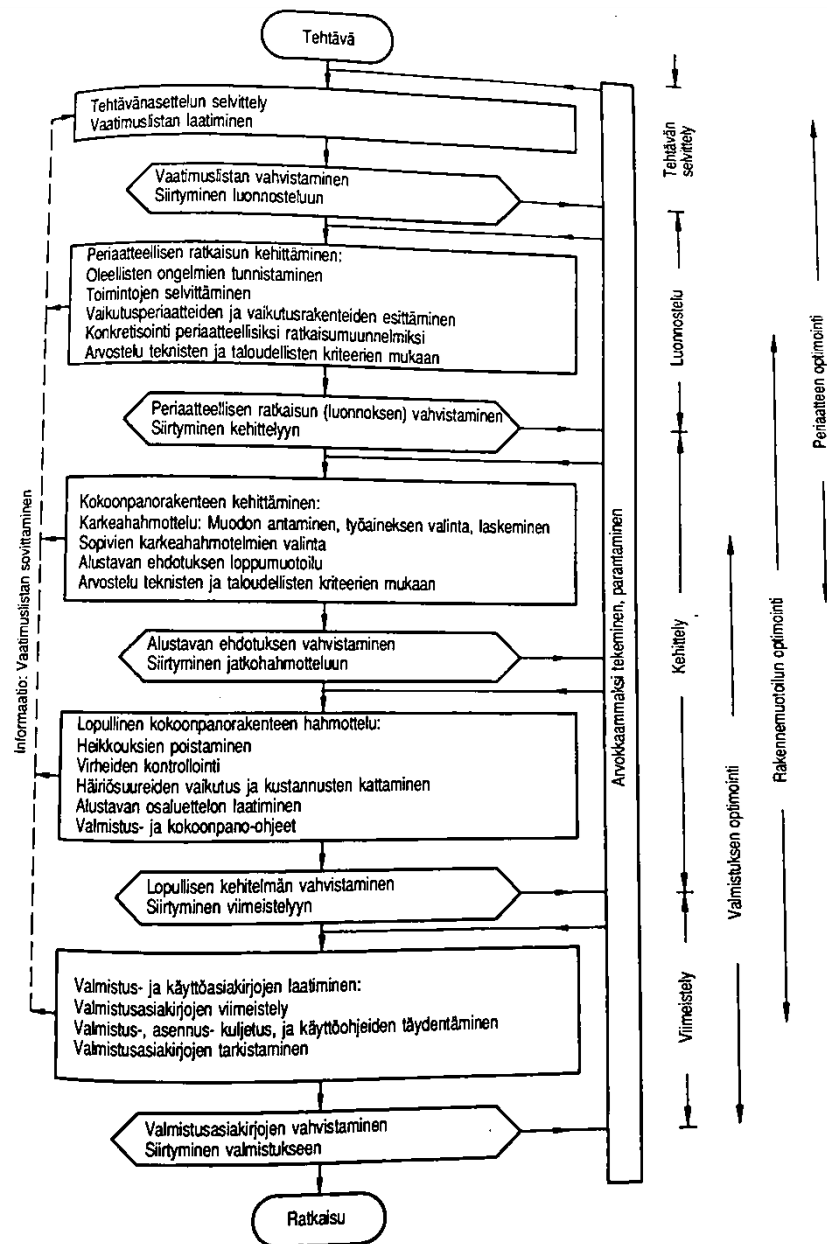
Kuva 2. Vasemmalta oikealle: Polkimeen ja kampeen sijoitetut tehomittarit sekä spider-tehomittari (Siroko 2023)

Harjoitusvastukseen kytketään polkupyörä joko takarenkaan kanssa tai ilman takarengasta suoraan polkupyörän voimansiirtoon. Näistä jälkimmäinen eli niin kutsuttu suoravetoinen malli, joka on nähtävillä kuvassa 4 sopii täydellisesti mittauslaitteiston aghioksi, sen toimiessa sekä laitteen runkona, että ulosmitattavan tehon mittarina. Suoravetoinen malli on yksinkertaisempi ja tarkempi kuin takarenkaan kanssa toimiva harjoitusvastus (Larunpyörä). Suoravetoisten harjoitusvastusten tarkkuus on arvioitu parhaimmaksi myös yhdysvaltalaisen The Bike Shoppe -pyöräliikkeen teettämässä ostajan oppaassa Indoor Bike Trainer Buyer's Guide (The Bike Shoppe). Harjoitusvastuksien ominaisuuksiin kuuluu myös tiedonsiirto yleisimmin joko Bluetooth- tai ANT+-yhteydellä (Heikkinen ; Larunpyörä).

Potentiaalisia laitteen eturattaan tehon mittaukseen soveltuvia polkutehomittareita voisi olla edellä mainituista kammesta, keskiöstä ja polkimesta mittaavat anturit. Nämä tehomittarit mittaavat polkutehoa niihin sijoitetun venymäliuskan avulla (Matthew 2023). Tehomittariin sijoitettu sensori havaitsee venymäliuskan muodonmuutokset pyörivässä liikkeessä ja lähettää tiedot elektronisena signaalina prosessorille, joka siirtää tiedon edelleen puhelimeen, tietokoneelle tai muuhun vastaavaan laitteeseen (Siroko 2023). Polkimeen sijoitettavat tehomittarit ovat yhteensopivuus- ja asennusominaisuuksien puolesta hyviä, mutta suunniteltavaan laitteeseen ne eivät ole välttämättä optimaalisimpia, sillä laitteessa ei tulla tarvitsemaan polkimia moottorin suorittaessa voimansiirron pyörittämisen. Myöskään kokonaisia poljinkampia ei välttämättä tarvita mittauslaitteessa eli kammesta mittaavat anturit voidaan luokitella samalla tavalla polkimesta mittaavien laitteiden kanssa. Spider-tehomittari sijoittuu polkupyörässä poljinkammen ja eturattaiden väliin (Siroko 2023). Ne ovat tarkkoja ja luotettavia, mikä näkyy myös ammattilaisten suosion määränä (Power meter city). Hankalamman sijainnin takia kyseinen mittarityyppi on asennettavuudeltaan haastavampi kuin edellä mainitut laitetypit.

2.2 Systemaattinen suunnittelu

Jotta tuotesuunnittelussa päästäisiin parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen, on suunnittelun järjestelmällisyys ensiarvoisen tärkeää. Systemaattisen suunnittelun teoriaa hyödyntämällä lopputulos pohjautuu tehtyyn taustatyöhön eikä tuotteessa tällöin pitäisi olla perusteettomia ratkaisuja. Tässä työssä käytetään systemaattisen suunnittelun mallia, joka verrattain mukailee Gerhard Pahlin ja Wolfgang Beitzin teoksessa: *Koneensuunnitteluoppi* (Pahl, Beitz, 1990) esitettyä mallia kuvassa 3.



Kuva 3. Systemaattisen suunnittelun malli (Pahl, Beitz 1990. 51)

Kuvan 3 järjestelmällisen suunnittelun malli perustuu useaan vaiheeseen, joista merkittävimpiä ovat ongelman rajausta ja tehtävän määrittäminen, sekä vaatimuslistan, toimintorakenteen ja ideamatriisin luominen. Tämän jälkeen voidaan paneutua materiaalivalintoihin, muotoiluun ja rakenneratkaisuihin. Jotta haluttuun lopputulokseen päästäisiin, on suunnittelun edessä kannattavaa palata aikaisempiin vaiheisiin ja varmistaa työn suunnan pysyvän sille asetettujen rajojen sisällä. Siksi esitetty malli mahdollistaa suunnitteluvaiheisiin palaamisen ja tuotesuunnittelun muuttamisen nuolten osoittamalla tavalla. Näin kehitettyä suunnitelmaa voidaan muuttaa mahdollisten havaintojen, epäkohtien tai puutosten pohjalta.

2.2.1 Vaatimuslista

Tuotteelle luodaan vaatimuslista, jonka avulla hahmotetaan työn tulokselta vaadittavat ja toivotut ominaisuudet. Listassa huomioidaan tuotteen geometriaa, toiminnallisuutta, turvallisuutta ja muita oleellisia laitteen ominaisuuksia ja tunnuspiirteitä. Ominaisuudet luokitellaan sen mukaan, onko kyseessä toive vai vaatimus, minkä jälkeen projektin vaatimuslista on valmis. Lista toimii hyvänä pohjana niin suunnittelun alkuvaiheessa kuin myös tulosten tarkastelussa. Huolella luotuun vaatimuslistaan voidaan tukeutua työn edetessä, mikä edesauttaa suunnittelua pysymään täsmällisenä. Työn tuloksia tarkasteltaessa voidaan vaatimuslistaan palata ja varmistaa valmiin tuotteen vastaavan sille asetettuja oletuksia projektin alussa. Luotu vaatimuslista on nähtävillä taulukossa 1.

Taulukko 1, Vaatimuslista

Päättunuspiirre	Kuvaus	Vaatimus [V] / Toivomus [T]
käyttö	ketjujen ja rattaiden vaihto nopeaa (< 60 min)	T
	yksinkertainen käyttää	T
voimat ja kuormitukset	kestää normaalikäytön rasitukset	V
	kestää mahdollisen väärinkäytön	T
	pölyn ja roiskeen kestävä	V
kinematiikka	on liikuteltavissa ihmisvoimin	T
energia	ei vaadi käyttäjältä voimankäyttöä	V
teho	tuotettava ja mitattava 100–400 W tehoa	V
ominaisuudet	mekanismi ketjun likaamiseen	T
materiaalit	kestävä	V
	kevyt	T
turvallisuus	käyttäjälle turvallinen	V
signaali	mittausdata helposti saatavissa analysoitavaan muotoon	V
ergonomia	käyttöpaneeli / kytkimet käytännöllisessä paikassa	T
valmistus	käytetään mahdollisimman paljon kaupallisia osia	V
asennus	yksinkertainen osakokoonpano	T
koko	ei vie polkupyörää enempää tilaa	V
kuljetus	kuljetettavissa autolla	T
geometria	laitteeseen on sovittava standardien mukaiset rattaat ja ketjut	V

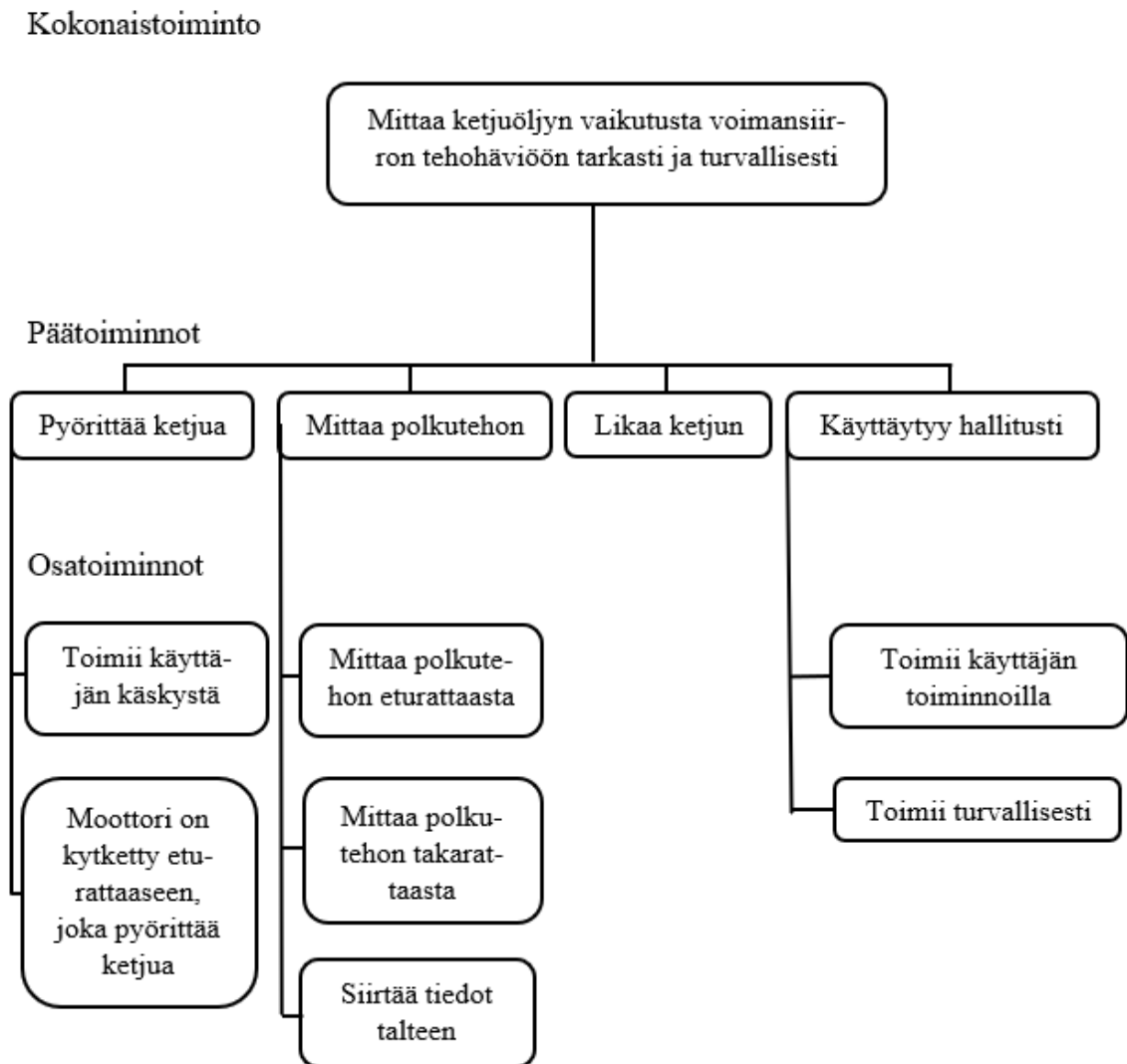
kunnossapito	helppo puhdistaa helppo vaihtaa hajonnut osa	V T
kustannukset	komponenttien yhteenlaskettu hinta enimmillään 10 000 €	T

Luodun vaatimuslistan mukaan tärkeimmät vaatimukset laitteelle ovat seuraavanlaisia. Laitteen on kyettävä mittaamaan voimansiirron tehoa 100–400 watin välillä. Kestävyyden puolesta laitteen ja sen materiaalien tulee kestää oikein käytettynä siihen kohdistuvat rasitukset, sekä mahdollisia kuraroiskeita ja pölyä. Sen on tarkoitus toimia erillisen voimayksikön toimesta, jolloin ihmiseltä ei vaadita voiman käyttöä. Jotta ketjunvoiteluaineen vaikutusta likaamisessa olosuhteissa voidaan tarkastella, tulee mittauslaitteessa olla mahdollisuus ketjujen likaamiselle. Laitteen tulee olla mahdollisimman turvallinen käyttää. Työn tavoitteena on maksimoida kaupallisten komponenttien osuus laitteessa, joten laitteen tulee rakentua niiden pohjalta. Kaiken tämän lisäksi siihen tulee sopia yleisimmät standardin mukaiset ketjut ja rattaat, jotka täytyy olla vaihdettavissa kohtuullisen vähällä vaivalla alle tunnissa.

2.2.2 Toimintorakenne

Vaatimuslistassa asetetut vaatimukset määräävät laitteen toiminnoille suunnittelun seuraavaa vaihetta ohjaavat kriteerit (Pahl, Beitz 1990. 81). Mittauslaitteelle luodaan toimintorakenne, joka koostuu kokonaistoiminnosta sekä pää- ja osatoiminnoista. Toimintorakenne mittauslaitteelle on nähtävillä kaaviossa 1. Sen avulla on tehokasta erotella ja kehittää laitteen osasysteemit yksittäisiksi elementeiksi, jolloin myöhemmissä suunnittelun vaiheissa mahdollisesti esille tulevat kehityskohdat on helppo jäsentää tietyn osasysteemin kehittämiseen. Näin suunnittelu- ja kehitystyössä säästetään aikaa sekä kustannuksia. (Pahl, Beitz, 1990. 81).

Kaavio 1, Toimintorakenne



2.2.3 Toimintokokonaisuuden alustava valinta

Toimintorakenne ja ideamatriisi pohjautuvat toimintokokonaisuuden alustavaan valintaan, johon on päädytty taustatyön, vaatimuslistan ja lähtökohtien perusteella. Laitteen toimintaperiaatteen perustana pidetään kokonaisuutta, jossa polkupyörän voimansiirtoa pyöritetään ulkoisen voimayksikön avulla. Voimansiirron pyöriessä sen tuottamaa tehoa mitataan eturattaalta ja takarattaalta. Näin voimansiirron tehohäviötä voidaan arvioida konkreettisesti tehon arvojen erotuksena. Samalla nähdään, miten esimerkiksi ketjujen likaaminen ja voitelu vaikuttavat tehomittareiden lukemiin sekä tehohäviön suuruuteen. Jo hahmotteluvaiheessa

ulosottotehon mielekkäimmäksi mittariksi todettiin harjoitusvastus, johon polkupyörän voimansiirto voidaan kytkeä. Harjoitusvastusta havainnollistava kuva on nähtävillä kuvassa 4.



Kuva 4. Suoravetoinen harjoitusvastus (Bromley 2024)

Kyseiseen tuotteeseen päädyttiin sen käytännöllisyyden sekä tiedonsiirto-ominaisuuksien perusteella, joihin perehdytään tarkemmin sopivan tuoteyksilön valinnassa. Lisäksi harjoitusvastus toimii erinomaisen runkona laitteelle yhdessä polkupyörän rungon kanssa. Tästä syystä toimintorakenteessa ja ideamatriisissa ei keskitytä runkoon tai ulosotettavan tehon mittaukseen.

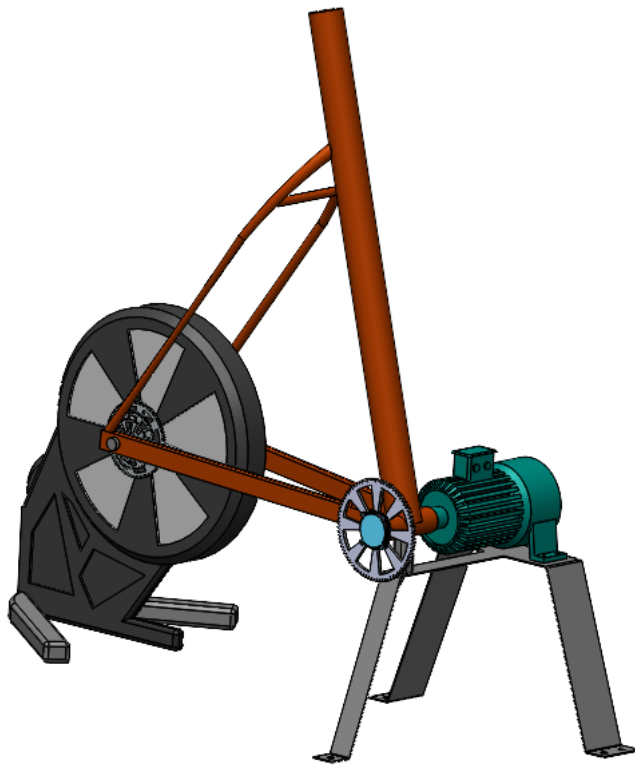
2.2.4 Ideamatriisi

Jorma Tuomaalan vuonna 1995 julkaistun teoksen *Luova koneensuunnittelu* mukaan, kun mittauslaitteen toimintaperiaate on selvitetty toimintorakenteeksi, voidaan nimetyille toimintoille alkaa ideoimaan ratkaisuvaihtoehtoja. Systemaattisen koneensuunnittelun periaatteenä, jokaiselle osatoiminnolle esitetään omat ratkaisuvaihtoehdot, minkä jälkeen osatoiminnot ja niiden toteutustavat kootaan yhteen taulukkoon. Tätä kutsutaan jäsentelykaavioksi eli ns. morfologiseksi laatikoksi. Mittauslaitteen ideamatriisiin valitaan

toimintorakenteesta toiminnot, joiden ratkaisu on monimutkaisempaa eikä niitä määritelty suunnittelun lähtökohdissa. Luotu ideamatriisi on nähtävillä kokonaisuudessaan liitteessä 1. Laitteen toimintojen ratkaisuvaihtoehtoista yhdistellään eri kombinaatioita, minkä jälkeen vaatimuslistan tärkeimpien kriteerien pohjalta yhdistelmät pisteytetään painokertoimet huomioon ottaen. Eniten pisteitä saanut kombinaatio valitaan jatkokehitykseen.

3 Mittauslaitteen toiminta ja komponenttien valinta

Tässä osiossa esitellään mittauslaitteen toimintaperiaate, joka valittiin ideamatriisin pohjalta. Lisäksi käydään läpi laitteeseen valitut komponentit ja niiden pääominaisuudet. Mittauslaitteen rakenne koostuu polkupyörän rungosta, harjoitteluvastuksesta sekä lisärungosta, joka kannattelee polkupyörän runkoa ja laitteen moottoria. SolidWorks-mallinnusohjelmalla 3D-mallinnettu hahmotelma laitteen kokonaisuudesta on kuvassa 5. Malli on suuntaa antava ja sen tarkoitus on jäljitellä lopullista tuotetta. Kuvaan ei ole mallinnettu polkupyörän voimansiirtoon kuuluvia vaihtajia eikä ketjua. Myös taajuusmuunnin, ja johdot puuttuvat mallista.



Kuva 5, Hahmoteltu 3D-malli mittauslaitteesta

Suunnittelutyön tuloksena laite ja sen toiminta mukailevat alustavassa suunnittelussa esitettyä teoriaa. Verkkovirralla toimivaan taajuusmuuntimeen on kytketty sähkömoottori, joka pyörittää polkupyörän keskiötä eli eturattaiden akselia. Sähkömoottorin ja voimansiirron pyörimisnopeutta voidaan säätää taajuusmuuntimella. Voimansiirron kammen ja eturattaan

väliin kiinnitetään spider-tehomittari, joka mittaa syötettävää tehoa eli polkutehoa. Mittauslaitteen runkona toimiva takahaarukka ja voimansiirron takaosa on kytketty harjoitusvastukseen tuotteelle ominaisella tavalla. Harjoitusvastus mittaa laitteessa ulos otettavaa tehoa. Käyttäjälle mielekkäintä olisi, että spider-tehomittaria ja harjoitusvastusta tukisi sama ohjelma. Näin tehokäyrät olisivat helpoiten saatavilla näkyviin samaan diagrammiin vertailua varten.

3.1 Valitut komponentit

Komponenttien valinnassa pyritään huomioimaan vaatimuslistassa mainitut toivomukset ja vaatimukset. Tarkoituksena olisi löytää optimaalisin osakokonaisuus, jotta mittauslaitteen valmistus, asennus ja käyttö olisivat mahdollisimman yksinkertaista ja käyttäjäystävällistä. Taulukossa 2 esitetään mittauslaitteen kaikki valitut osat, joista on nähtävillä tarkemmat tekniset tiedot ja verkkolinkit liitteessä 2. Taulukon 2 hinnat ovat viitteellisiä.

Taulukko 2, Osaluettelo

Osa	Kuvaus	Hinta n. (€)
Sähkömoottori	3-vaihenen, Teho: 550 W	249,00
Taajuusmuunnin	1-vaihetulo, 3-vaihemoottoreille	499,00
Automaattisulake	2x10 A, B-käyrä	12,70
Pistotulppa	250 V 16 A	1,75
Johto 1	3x1,5 mm ²	2,40
Johto 2	4x1,5 mm ²	4,00
Spider-tehomittari	QUARQ DFour DUB	359,99
Harjoitusvastus	Wahoo Kickr V6	1199,99
Kampisarja	Quarq DZero DUB	219,00
Keskiölaakeri	Sram DUB BSA 68	31,99
Eturattaat	SHIMANO DURA-ACE FC-9100 11-vaihteinen	39,00
Takapakka	Shimano DURA ACE CS-R9100 11-vaihteinen takapakka 11–28	155,30
Ketju	Shimano DURA-ACE/XTR CN-HG901 11-vaihteinen ketju	52,90
Etuvaihtaja	Shimano DURA-ACE FD-R9100 2x11	249,95

Takavaihtaja	Shimano DURA-ACE RD-R9100 Takavaihtaja 11-vaihteinen	159,95
Vaihdevivut	Shimano DURA-ACE ST-R9100 Vaihde-/jarrukahva	2 x 269,00
Runko	esimerkiksi Planet X London Road Frame	426,00
		Hinta yhteensä: 4200

3.1.1 Tehon tuonti

Mittauslaitteessa tehon tuontiin luokitellaan kaikki osat, joita tarvitaan polkupyörän keskiön pyörittämiseen. Näihin lukeutuu kuusi pääkomponenttia, jotka ovat sähkömoottori, taajuusmuunnin, johdonsuojakatkaisija, pistotulppa sekä virtajohdot taajuusmuuntimelle ja sieltä sähkömoottorille.

Laitteen verkkovirtaan kytkentää tarvitaan pistotulppa. Maadoitettu kostean tilan pistotulppa sopii tähän tarkoitukseen. Pistotulppaan kytketään taipuisa neopreenieristeinen liitäntä kaapeli, joka kulkee taajuusmuuntimelle johdonsuojakatkaisijan kautta. Suojakatkaisijaksi sopii kaksi napainen kymmenen ampeerin B-käyrän automaattisulake, joka vastaa taajuusmuuntimen vaatimuksia. Taajuusmuuntimen tulee olla yksivaihesyöttöinen ja vähintään 400 watin kolmivaihesähkömoottoreille tarkoitettu. Mittauslaitteeseen sopiva taajuusmuunnin on Invertekin yksivaiheinen valmiiksi koteloitu Optidrive E3 0,75 kW (Kuva 6).



Kuva 6, Invertek Optidrive E3 0,75 kW taajuusmuunnin (Finnparttia)

Moottorina laitteessa toimii 550 W kolmivaihesähkömoottori. Virta taajuusmuuntimelta sähkömoottorille tuodaan taipuisalla ja eristetyllä ohjauskaapelilla, jossa on neljä johdinta.

3.1.2 Voimansiirto

Polkupyörän voimansiirto koostuu useista osista, joiden pääkomponentit ovat ketju, takapakka eli takarattaat, eturattaat, keskiölaakeri, taka- ja etuvaihtajat sekä niiden ohjauskahvat. Keskiölaakeriksi valitaan Sram-valmistajan DUB mallinen keskiö, johon kiinnitetään Quarq Dzero DUB -kampisarja. Kampien tehtävä laitteessa on pitää voimansiirron etukokonaisuus kasassa, vaikka laitteella ei tarvitsekaan polkea. Muut voimansiirron osat ovat kohdeyrityksen toiveiden mukaisesti Shimanon valmistamia. Etu- ja takavaihtajat sekä niiden ohjauskahvat, eturattaat ja takapakka kuuluvat Shimanon Dura-Ace R91000 -tuotesarjaan. Kokonaisuuteen sopiva ketju on Shimanon Dura-Ace XTR HG-X11 -ketju.

3.1.3 Tehonmittaus, runko ja ketjunlikaamisjärjestelmä

Tehonmittaukseen valitut komponentit ovat eturattaalta sisään syötettävää tehoa mittaava Quarq Dfour DUB -tehomittari sekä ulosotettavaa tehoa mittaava Wahoo Kickr V6 -

harjoitusvastus. Laitteen runkona toimivalla polkupyörän rungolla ei juurikaan ole merkitystä toiminnallisuuden kannalta. Rungon tulee olla harjoitusvastukseen sopiva, oikean rengaskoon omaava ja tietyn keskiöstandardin mukainen. Tähän tuotekokonaisuuteen sopiva runko olisi esimerkiksi Planet X London Road -runko. Eri keskiöstandardin mukaisen rungon valitseminen edellyttää myös keskiön vaihtamista.

Ketjun likaamiseen voidaan laitteeseen kehittää yksinkertainen suppiloa muistuttava mekanismi, jonka alapuolelle sijoitettaisiin keräysastia ylimääräiselle lialle. Tämä kokonaisuus voidaan pitää irrallisena liikuteltavana elementtinä tai se voidaan halutessa kiinnittää mitauslaitteeseen polkupyörän takahaarukkaan.

4 Tulosten tarkastelu

Mittauslaitteen suunnittelussa keskeisenä tekijänä oli ottaa huomioon sen valmistus, asennus, tarkkuus, luotettavuus ja käyttäjäystävällisyys. Nämä asiat huomioiden lopputuloksen tulisi noudattaa vaatimuslistan mukaisia ominaisuuksia. Työn olennaisen osana oli myös varmistaa, että saadut tulokset ovat hyödyllisiä ja luotettavia. Oikeiden komponenttien valinta sekä laitteen huolellinen valmistus ja asennus ovat ensiarvoisen tärkeitä mittauslaitteen toimivuuden ja luotettavuuden kannalta.

4.1 Asennus ja valmistus

Tehonmittauslaitteen rakentuessa lähes kokonaan valmiista polkupyörän komponenteista, jotka ovat asennusvalmiita, on laitteen asennus ja kokoaminen suhteellisen yksinkertaista. Tehontuonnin komponenttien asentaminen polkupyörään vaatii kuitenkin asennustaitoa. Taajuusmuuntimen sähköliitännät on tehtävä turvallisiksi. Lisäksi taajuusmuuntimen käyttöönotto voi vaatia aluksi perehtymistä käyttöohjekirjaan. Taajuusmuuntimien käytöstä ja kytkennöistä on löydettävissä useita ohje- ja käyttövideoita verkossa, minkä avulla asennus helpottuu. Hyvä ohjevideo Invertekin taajuusmuuntimen kytkennästä ja käytöstä on esimerkiksi Precision Electric -verkkosivuston video *Invertek Optidrive E3 Training Lesson 1: Basic Input Voltage & Motor Wiring – VFDs* (Precision Electric 2020). Mittauslaitteessa käytettävästä taajuusmuuntimesta on samaisella sivustolla nähtävillä yhteensä neljä opetusvideota, jotka käsittelevät mm. kytkentöjä, parametreja ja käyttöä (Precision Electric).

Haastavin osa laitteen valmistuksessa on ylivoimaisesti sähkömoottorin kytkentä voimansiirron keskiön akseliin. Tämä tulee tarvitsemaan koneistetun erikoisosan, jotta liitos olisi tukeva ja pitkäikäinen. Moottorin kytkentä laitteeseen on suunniteltava vasta kun lopullinen runko on selvillä. Mittauslaitteess

a polkupyörän runko voi harjoitusvastuksen ominaisuuksien rajoissa olla minkä tahansa pyörän runko, jonka takia tässä työssä liitoskappaleen suunnittelu ei ole mielekäästä. Liitoskappale voisi kuitenkin yksinkertaisimmillaan olla esimerkiksi keskiöön hitsattu reiällinen

holkki, joka kiinnitetään sähkömoottorin akseliin tapilla. Sähkömoottoria pyöritetään matalilla kierroksilla, joten tämän pitäisi olla riittävä ratkaisu. Matala kierrosnopeus saattaa kuitenkin aiheuttaa moottorin oman jäähdytystuulettimen riittämättömyyttä. Tämän takia sähkömoottoriin voidaan tarvittaessa lisätä tuuletin, joka saisi virtansa samalta taajuusmuuntimelta sähkömoottorin kanssa. Tuulettimen kytkentä voi vaatia asentajalta perehtymistä taajuusmuuntimeen. Lisäksi laite vaatii apurungon, joka kannattelee sähkömoottoria ja pyörän runkoa. Tätä osaa pätee sama asia kuin akselin liitoskappaletta. Lopullinen apurunko tulisi suunnitella vasta, kun pyörän runko on tiedossa. Apurungon tulee olla tukeva. Muita vaatimuksia sille ei ole, mikä tarkoittaa, että valmistukseen ei ole juurikaan rajoituksia. Se voi olla valmistettu niin hitsatuista RHS-putkista kuin puustakin.

4.2 Sovellettavuus, harjoitusvastus ja spider-tehomittari

Yksi mittauslaitteen hyvistä ominaisuuksista on sen joustavuus komponenttivalintojen suhteen. Esimerkiksi voimansiirto voidaan koota mistä tahansa komponenteista, kunhan huomioidaan spider-tehomittarin yhteen sopivuus komponenttien kanssa. Toisaalta halutessa voidaan myös tehomittari vaihtaa voimansiirron yhteydessä. Eri voimansiirtojen sopiminen laitteeseen mahdollistaa asiakkaan käytössä olevan voimansiirron tarkastelun, jolloin asiakkaalle saadaan tuotettua räätälöityä dataa ketjunvoiteluaineen vaikutuksesta juuri hänen voimansiirtoonsa.

Wahoo Kickr V6 on yksi markkinoiden johtavista harjoitusvastuksista. Mittaustulosten epätarkkuuden minimoimiseksi harjoitusvastuksen halutaan olla mahdollisimman tarkka, ja valmistaja lupaa kyseiselle harjoitusvastuksen tehonmittauksen tarkkuuden heittävän maksimissaan yhden prosentin verran, mikä tekee siitä yhden markkinoiden parhaimmista. (Wahoo). Sisään syötettävää tehoa mittaavan Quarq DFour DUB -tehomittarin tarkkuudeksi valmistaja lupaa 1,5 prosenttia ja toiminta-ajaksi CR2032-paristolla 200 tuntia (Sram). Kumpikin laite pystyy kalibroittamaan automaattisesti sekä siirtämään tietoa Bluetooth ja ANT+-signaalilla. Tämän lisäksi Wahoo-harjoitusvastuksen tiedonsiirtoon soveltuu WiFi-, ANT+ FE-C- ja langallinen liitäntä. Harjoitusvastukseen sopii kolme eri pyörän runko- ja akselityyppiä, minkä mahdollistaa tuotteen mukana tulevat adapterit. Sramin spider-tehomittari sopii ainoastaan DUB-keskiöiden kanssa. Tämä heikentää mittauslaitteen muunneltavuutta, mutta toisaalta DUB-keskiöitä on saatavilla lukuisiin runkojen keskiöstandardeihin, joita

ovat mm. BSA kierretyt, PF92 ja BB30 73. (Wahoo; Sram; Pfender 2019) Tehonmittauslaitteiden tarkemmat tekniset tiedot ovat nähtävillä liitteessä 2. Näiden spesifikaatioiden perusteella mittauslaitteen tehomittarit voidaan todeta laadukkaiksi, riittävän tarkkoiksi ja mittauslaitteen tarkoitusta palveleviksi ratkaisuiksi.

4.3 Käyttö

Kun polkupyörän ketjunvoiteluaineiden suorituskykyä mittaava laite on saatu rakennettua, on sen käyttäminen mutkatonta. Ensin laitteeseen kytketään virrat ja harjoitusvastus sekä tehomittari yhdistetään halutulle laitteelle, johon on asennettu polkupyöräilyn seurantaan tarkoitettu ohjelma kuten GoldenCheetah tai Zwift. Vastaavia ohjelmia on useampia, ja laitteen käyttäjä voi valita käyttöönsä mieluisimman. Tehomittarit siirtävät mittausdataa linkitettyyn sovellukseen, josta tehoarvoja ja niiden eroja eli tehohäviötä voidaan tarkastella aika-teho-diagrammista. Taajuusmuunnin voidaan sijoittaa ympäristö huomioiden käyttäjäystävälliseen paikkaan, mikä tekee mittauksen operoimisesta vaivatonta. Voimansiirron vaihteenvalitsimet voidaan asettaa käyttäjän näkemyksen mukaan parhaimpaan paikkaan, joita voisi olla esimerkiksi polkupyörän runko, tai erillinen tanko kiinnitettynä taajuusmuuntimen lähetyville. Vaatimuslistassa esitettyjen toivomusten käytön ja ergonomian osalta voidaan todeta toteutuvan.

4.4 Saatavuus ja hinta

Pyöräilyn ollessa hyvin yleinen harrastuslaji on sillä myös suuret varaosamarkkinat. Tämä yhdistettynä mittauslaitteen yleisiin pyöränosiin on laitteen komponenttien saatavuus taattu. Laitteeseen löytyy hyvällä todennäköisyydellä varaosia Suomen jokaisesta suuremmasta kaupungista, mutta suurimmat varaosamarkkinat sijoittuvat tietenkin nettimarkkinoille.

Tähän työhön on valittu toiveiden mukaiset laadukkaat komponentit, mikä tarkoittaa myös korkeampaa hintaa. Shimanon komponentit vaihtamalla edullisempiin vaihtoehtoihin, voitaisiin laitteen valmistuksessa säästää satoja euroja. Valitulla osakokonaisuudella mittauslaitteen hinta on noin 4200 euroa, mikä alittaa 10 000 euron budjetin kevyesti. Laitteen hintaa saataisiin alaspäin valitsemalla edullisempi harjoitusvastus, jonka tehonmittauksen

tarkkuus on heikompi. Tämä tarkoittaisi myös mittauslaitteen tuloksien suurempaa heittelyä, mikä johtaisi mittauksien määrän kasvattamiseen tulosten luotettavuuden varmistamiseksi.

On kuitenkin hyvä huomata, että arvokkailla, mutta laadukkailla komponenteilla mittauslaitteesta tulee pitkäikäinen, huoltovapaampi ja ehkä tärkeimpänä ominaisuutena tarkempi. Tehomittareissa, ja harjoitusvastuksissa hinta ja mittaustarkkuus ovat suoraan verrannollisia keskenään.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Maantiepyöräilyssä pyritään minimoimaan kaikki mahdolliset häiritteijät, jotka heikentävät kilpailijan suorituksen tehokkuutta. Yksi häiritteijöistä on voimansiirron tehohäviö, jota voidaan lievittää ketjunvoiteluaineilla. Redox Oy on suomalainen yritys, joka pyrkii jatkuvasti kehittämään omaa Rex-tuotesarjaansa. He halusivat käyttöönsä mittauslaitteen, jolla voidaan tarkastella ketjunvoiteluaineiden vaikutusta voimansiirron tehohäviöön eri olosuhteissa. Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli suunnitella polkupyörän ketjunvoiteluaineiden suorituskykyä mittaava laite Redox Oy:lle. Työn tavoitteena oli hyödyntää mahdollisimman paljon kaupallisia komponentteja, jotta laitteen valmistus, asennus, käyttö sekä ylläpito olisi mahdollisimman yksinkertaista.

Mittauslaite suunniteltiin noudattaen systemaattisen suunnittelun mallia. Aluksi laitteelle hahmoteltiin vaatimuslista, jossa käytiin läpi toivomuksia ja vaatimuksia laitteelle, joita arvioitiin koneen jokaisen tunnuspiirteen näkökulmasta. Kohdeyrityksen toivomukset pidettiin mielessä koko suunnittelutyön ajan. Jo työn alkuvaiheessa hahmotelma laitteen toimintateoriasta oli selvillä. Tämä teki suunnittelusta ja ideointiprosessista vaivattomampaa. Systemaattisen suunnittelun malli toimi tukena laitteen kehittämiseksi. Kun mittauslaitteelle oli luotu vaatimuslista ja toimintorakenne, alkoi osatoimintojen ratkaisujen ideointi ja ratkaisukombinaatioiden pisteyttäminen ideamatriisin avulla.

Suunnittelussa päädyttiin laitteeseen, jonka toiminta perustuu polkupyörän voimansiirron pyörittämiseen. Ketjunvoiteluaineen vaikutuksesta voimansiirron tehohäviöön saadaan dataa mittaamalla tehoa etu- ja takarattailta. Eturattailta mittaaminen tapahtuu spider-tehomittarilla, joka on kiinnitetty poljinkammen ja eturattaiden väliin. Takanavasta mittaus tapahtuu harjoitusvastuksella, johon voimansiirto ja polkupyörän runko on kiinnitetty. Molemmat mainituista laitteista siirtävät tietoa niihin yhdistettyyn älylaitteeseen, josta teholukemia voidaan tarkastella aika-teho-käyrältä. Ideaalisessa mittauksessa voimansiirron ketjuun tehdyt muutokset kuten likaaminen ja voitelu näkyvät tehoarvojen erotuksen eli tehohäviön muutosena. Runkona laitteelle toimii harjoitusvastus ja polkupyörän runko. Lisäksi laite vaatii rakennetun apurungon, joka kannattelee voimansiirtoon kytkettyä sähkömoottoria. Moottoria pyöritetään halutulla nopeudella simuloiden polkutehoa 100–400 watin välillä.

Sähkömoottorin ohjaaminen tapahtuu taajuusmuuntimella, jolla pystytään muuttamaan moottorin kierrosnopeutta.

Kun mittauslaitteen osakokonaisuus oli selvillä, aloitettiin sopivimpien markkinoilta löytyvien osien etsiminen. Voimansiirron komponenteiksi valikoitu Shimanon Dura-Ace R9100-sarja. Harjoitusvastuksen ja Spider-tehomittarin valintaan käytettiin eniten aikaa niiden ollessa merkittävimpiä tekijöitä luotettavien mittaustulosten varmistamiseksi. Parhaimmiksi ja toimivimmiksi yksilöiksi valikoitu Wahoo Kickr V6 -harjoitusvastus ja Quarq DFour DUB -tehomittari. On huomioitavaa, että polkupyöräilytarvikkeiden markkinat ovat valtavat, ja eri variaatioita ja osakokonaisuuksia voisi valita lukuisia. Markkinoilta löytyy lukuisia hyviä vaihtoehtoja jokaiselle laitteelle valitulle komponentille. On hyvin mahdollista, että vaikka laitteen kaikki osat vaihdettaisiin toisiin markkinoilta löytyviin, voisi mittaustulokset pysyä silti yhtä tarkkoina. Tämä nähdään mittauslaitteessa mahdollisuutena. Trendien ja elektronisten osien kehittyessä mittauslaite on muunneltavissa hyvin helpoilla asennustöillä. Näin laitteen soveltaminen ja päivittäminen onnistuu tarpeen tullen mutkattomasti. Valitut komponentit pyrittiin kuitenkin valitsemaan tämän hetken markkinoita johtavien valmistajien tuotteista, jotta mittauslaite olisi laadukas, luotettava ja pitkäikäinen.

Mittauslaitteen sähkömoottorin kytkentä polkupyörän keskiöön tulisi jatkokehityksessä ottaa tarkasteluun. Kytkentä tarvitsee jonkinlaisen koneistetun erikoisosan, jotta liitos olisi tukeva, turvallinen ja pitkäikäinen. Sähkömoottoria kannatteleva apurungon geometria määräytyy valitun pyöränrungon mukaan. Apurungolle ei ole muita vaatimuksia tukevuuden lisäksi, mutta sitä optimoimalla voidaan laitteesta saada kompaktimpi ja käyttäjäystävällisempi. Harjoitusvastus altistuu lialle, pölylle ja hiekalle, sekä mahdollisille ketjurasvan roiskeille, siksi jatkokehityksessä voisi ottaa huomioon myös harjoitusvastuksen suojauksen kehittämisen. Spider-tehomittarin tarkkuus on puoli prosenttiyksikköä harjoitusvastusta heikompi. Tulevaisuudessa teknologian kehittyessä markkinoille tulee luultavasti entistä tarkempia mittareita, jolloin komponenttien uudelleenvalinta tulee ajankohtaiseksi. Lisäksi optimaalisimman ja kohdeyritystä parhaiten palvelevan ohjelman selvittämistä ei tässä työssä suoritettu. Eli kehitysideana eri polkupyöräilyohjelmien ominaisuuksiin olisi hyvä perehtyä syvemmin. Seuraavaksi laitteesta olisi hyvä rakentaa prototyyppi, jolla varmistettaisiin mittauslaitteen toimiminen käytännössä. Samalla saataisiin lisää mahdollisia kehitysideoita, jotta lopullinen laite palvelisi käyttäjänsä parhaalla mahdollisella tavalla. Kaiken kaikkiaan

suunniteltu mittauslaite on laadukas, luotettava ja helppokäyttöinen. Työn tavoitteissa py-
syttiin, ja se valmistui ajallaan.

Lähteet

Bromley, S., 2024. Best smart trainers 2024 | 12 top-rated turbo trainers for every budget. [Verkkoaineisto, digitaalinen kuva]. Viitattu 26.2.2024. Saatavilla: <https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/best-smart-trainer>

Finnparttia. INV 0,75 K taajuusmuuttaja. [Verkkoaineisto, digitaalinen kuva]. Viitattu 19.3.2024. Saatavilla: <https://www.finnparttia.fi/INV-075-K>

Hallam-Gravells, T., 2023. Complete guide to road bike groupsets 2024. [Verkkoaineisto, digitaalinen kuva]. Viitattu 12.2.2024. Saatavilla: <https://www.globalcycling-network.com/tech/features/complete-guide-to-road-bike-groupsets-2024>

Heikkinen, J., Tehonmittaus triathlonistin apuvälineenä, Osa 3 Tehonmittauslaitteet. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 5.3.2024]. Saatavilla: <https://triathlonsuomi.com/harjoittelu/triathlonin-perusharjoittelu/pyoraily/tehonmittaus-triathlonistin-apuvälineena/osa-3-tehonmittauslaitteet/>

Larunpyörä.com. Harjoitusvastukset. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 5.3.2024]. Saatavilla: <https://larunpyora.com/fi/category/harjoitusvastukset/1061>

Matthew, J., 2023. Power meter types. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 5.3.2024]. Saatavilla: <https://powermetercity.com/2016/02/19/power-meter-types/>

Pfender, B. 2019. The complete guide to bottom bracket standards. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 20.3.2024]. Saatavilla: <https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/the-complete-guide-to-bottom-bracket-standards>

Precision electric, Inc. 2020. Invertek optidrive E3. [Verkkoaineisto]. [Viitattu:19.3.2024]. Saatavilla: <https://www.precision-elec.com/vfd-training-videos-workshops/#optidrivee3>

Pahl, G. & Beitz, W., 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Peltonen, A., Kun ihminen urheilee, Rex voitelee, varustaa ja huoltaa. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.1.2024]. Saatavilla: <https://rex.fi/yrittys>

Rex. Black Diamond -ketjuöljy. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.1.2024]. Saatavilla: <https://rex.fi/shop/pyoraily/ketjuoljyt/black-diamond-ketjuoljy>

Ruthberg, J., 2023. Ultimate guide to getting started in road racing. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.1.2024]. Saatavilla: <https://usacycling.org/article/ultimate-guide-to-getting-started-in-road-racing>

Siroko Cycling Community. 2023. Tehomittari pyöräilyyn: Perusopas aloittelijalle. [Blogi]. [Viitattu 5.3.2024]. Saatavilla: <https://www.siroko.com/blog/c/fi/tehomittari-pyoraillyn-perusopas-aloittelijalle/>

Sram. Quarq DFour DUB Power Meter. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 20.3.2024]. Saatavilla: <https://www.sram.com/en/quarq/models/pm-d4-spdr-d1>

The Bike Shoppe. Indoor Bike Trainer Buyer's Guide. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 5.3.2024]. Saatavilla: <https://www.thebikeshoppe.com/articles/indoor-bike-trainer-guide-pg1483.htm>

Tour de France. 2024. 2024 Route. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.1.2024]. Saatavilla: <https://www.letour.fr/en/>

Tuomaala, J., 1995. Luova koneensuunnittelu. Tammertekniikka ky, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Wahoo. Certified reconditioned – Kickr V6. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 20.3.2024]. Saatavilla: <https://eu.wahoorfitness.com/devices/bike-computers/bike-trainers/reconditioned-kickr-buy>

Willet, K., 2011. Power meter review. [pdf-dokumentti]. [Viitattu 30.1.2024]. Saatavilla: https://biketechreview.com/images/biketechreview_powermeter_review_2011.pdf

Liite 1. Ideamatriisi

Toiminnot	Ratkaisuvaihtoehdot			
	ketjun pyörittäminen	polkupyörän sähkömoottori	yleiskäyttöinen sähkömoottori	akkuporakone
tehonmittaus eturattaalta	harjoitusvastus	kampianturi	keskiöanturi	spider-tehomittari
ketjun likaaminen	suppilo	imuri	ei mekanismia	
tehonmittaus takarattaalta	harjoitusvastus			
ohjaus	taajuusmuunnin	ei erillistä ohjausyksikköä		

Toiminnot	Kombinaatiot			
	1	2	3	4
ketjun pyörittäminen	akkuporakone	yleiskäyttöinen sähkömoottori	polkupyörän sähkömoottori	yleiskäyttöinen sähkömoottori
tehonmittaus eturattaalta	kampianturi	spider -anturi	sähkömoottorin teho	harjoitusvastus
ketjun likaaminen	ei mekanismia	suppilo	imuri	suppilo
tehonmittaus takarattaalta	harjoitusvastus	harjoitusvastus	harjoitusvastus	harjoitusvastus
ohjaus	ei erillistä ohjausyksikköä	taajuusmuunnin	ei erillistä ohjausyksikköä	taajuusmuunnin

Pisteytys (1-5)	Painoarvo
Yksinkertaisuus	0,15
käytännöllisyys	0,20
asennus	0,15
turvallisuus	0,10
tarkkuus	0,40

Kombinaatio ja pisteet	Tulo
1	
4,00	0,60
1,50	0,30
3,50	0,53
3,00	0,30
2,50	1,00
Arvosana	2,73

Kombinaatio ja pisteet	Tulo
2	
2,50	0,38
4,00	0,80
2,50	0,38
4,50	0,45
4,00	1,60
Arvosana	3,60

Kombinaatio ja pisteet	Tulo
3	
3,00	0,45
3,00	0,60
3,00	0,45
4,50	0,45
2,00	0,80
Arvosana	2,75

Kombinaatio ja pisteet	Tulo
4	
2,25	0,34
4,25	0,85
1,50	0,23
4,50	0,45
4,25	1,70
Arvosana	3,56

Liite 2. Valitut komponentit

Sähkömoottori:

- 3-vaihesähkömoottori
- Teho 550 W, Nimellisvirta 1,7 A; 1000 r/min
- Akselin halkaisija 19 mm, vapaapituus 40 mm
- IP55

[Finnparttia Sähkötukku. [Viitattu 18.3.2024]. Saatavilla: https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/SM0%2C55H]

Taajuusmuunnin:

- 1-vaihesyöttöinen taajuusmuuttaja 3-vaihesähkömoottoreille
- Tulojännite 200–240 V, Tulovirta 6 A, B-käyrän sulake 10 A
- Moottorin teho 750 W, virta 4,3 A
- IP66 kotelo, säätöpotentiometri

[Finnparttia Sähkötukku. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/INV0%2C75K]

Automaattisulake:

- 2-napainen johdonsuojakatkaisija
- 2 x 10 A, B-käyrä

[Finnparttia Sähkötukku. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/AN210]

Pistotulppa

- suora maadoitettu.
- 250 V 16 A.
- IP44

[Finnparttia Sähkötukku. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/PTR]

Johdot:

- Virtajohto
 - o Poikkipinta-ala 3 x 1,5 mm²
 - o Ulkohalkaisija 9,5 mm²

[Finnparttia Sähkötukku. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/VSN3X1%2C5S]

- Johto taajuusmuuntimelta sähkömoottorille
 - o Poikkipinta-ala 4 x 1,5 mm²
 - o Ulkohalkaisija 7,4 mm²

[Finnparttia Sähkötukku. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/FLEX4X1%2C5]

Spider-tehomittari

- QUARQ DFour DUB -tehomittari
- suunniteltu Shimano Dura Ace R9100 rattaille
- sopii myös Shimano Ultegra R8000 ja 105 R7000 rattaille
- tarkkuus +/- 1,5 %
- Paristonkestoikä 200 tuntia

[Power Meter City. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://powermetercity.com/product/quarq-dfour-dub-power-meter/>]

Harjoitusvastus:

- Wahoo Kickr V6
- Tarkkuus +/- 1 %
- Yhteensopiva 24–29 tuumaisten pyörien kanssa
- Kiinnitys, läpiakseli: 12x142, 12x148 mm
- Kiinnitys, QR: 130/135 mm
- Käyttöjännite: 100–240 V 50/60 Hz 1,7 A
- Yhteensopivat laitteet: iPhone (4S tai uudempi), iPad (3rd gen tai uudempi), Android (tarkista yhteensopivuus valmistajan sivujen kautta), PC (Windows Ant+ ja OS X Bluetooth LE), ANT+, FE-C
- Yhteensopivat ohjelmat: Wahoo Fitness, Trainerroad, Zwift, Bkool, Strava, Velo-Reality, Kinomap, VirtualTraining, Perfpro studio, Rouvy, PeriPedal

[Verkkokauppa.com. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/828194/Wahoo-KICKR-harjoitusvastus-V6-Shimano-SRAM>]

Kampisarja:

- Quarq DZero DUB

[Power Meter City. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://powermetercity.com/product/quarq-dzero-dub-crank-arms/>]

Keskiölaakeri:

- Sram DUB BSA 68
- Huom! keskiölaakeri tulee valita polkupyörän rungon mukaan.

[Power Meter City. Viitattu (18.3.2024). Saatavilla: <https://powermetercity.com/product/dub-bsa-bottom-bracket/>]

Eturattaat:

- Shimano Dura-Ace FC-9100 11-vaihteiset eturattaat

[Power Meter City. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://powermetercity.com/product/shimano-dura-ace-fc-9100-11-speed-chainrings/>]

Ketju:

- Shimano Dura-Ace/XTR CN-HG901 11-vaihteinen ketju

[Power Meter City. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://powermetercity.com/product/shimano-dura-ace-xtr-cn-hg901-11-speed-chain/>]

Takapakka:

- Shimano Dura-Ace CS-R9100 11-vaihteinen takapakka 11–28

[Bike-Discount. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: https://www.bike-discount.de/en/shimano-dura-ace-cs-r9100-11-speed-cassette-11-28?number=20030532&__delivery=8&__currency=1&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwncWvBhD_ARIsAEb2HW_SvXVLciW0BDcCNuME2_gmOMu2WfoOIsPA5uuzlMeebrOab38ELt-MaAq1REALw_wcB]

Takavaihtaja:

- Shimano Dura-Ace RD-R9100 Takavaihtaja 11-vaihteinen

[Velosport. Viitattu [4.4.2024]. Saatavilla: <https://velosport.fi/Vaihtajat/Takavaihtaja/Shimano-Takavaihtaja-Dura-Ace-RD-R9100-11-v-Lyhyt-h%C3%A4kki-448/>]

Etuvaihtaja:

- Shimano Dura-Ace FD-R9100 Etuvaihtaja 2x11-vaihteinen

[Bikester. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://www.bikester.fi/shimano-dura-ace-fd-r9100-etuvaihtaja-2x11-vaihteinen-down-pull-juotettu-M448525.html>]

Vaihdevivut:

- Shimano Dura-Ace ST-R9100 Vaihde-/jarrukahva

Vasen: [Shimano. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://bike.shimano.com/en-NZ/product/component/duraace-r9100/ST-R9100-L.html>]

Oikea: [Shimano. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://bike.shimano.com/en-NZ/product/component/duraace-r9100/ST-R9100-R.html>]

Runko:

- Planet X London Road Frame
- keskiö BSA 68
- takakiinnitys läpiakseli 12x142

Planet X. Viitattu [18.3.2024]. Saatavilla: <https://www.planetx.co.uk/products/planet-x-london-road-frame>]