

## Pyörätuolin harjoitusvastus

Henrikki Pirkola

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma

Tekijä(t) Pirkola, Henriikki	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 24.05.2016
	Sivumäärä 60	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Pyörätuolin harjoitusvastus</b>		
Tutkinto-ohjelma Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Antti Henell, Matti Siistonen		
Toimeksiantaja(t) Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta VAU ry		
Tiivistelmä <p>Toimeksiantajan Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta VAU ry:n tehtävänä on suunnitella, toteuttaa ja kehittää liikunta-, näkö- ja kehitysvammaisille mahdollisuuksia ja olosuhteita liikunnan harrastamiseen ja kilpailemiseen. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa prototyyppi pyörätuolin harjoitusvastuksesta, joka mahdollistaa pyörätuolissa olevan henkilön pyörätuolikelauharjoittelun kotiloissa. Tuotteesta haluttiin mahdollisimman monelle pyörätuolille sopiva ja sen tuli olla helposti liikuteltavissa ja käytettävissä ilman avustajaa. Tuotteen haluttiin toimivan täysin mekaanisesti ilman ulkopuolista sähkövirtaa.</p> <p>Työ suunniteltiin käyttämällä apuna Karl Ulrichin ja Steven Eppingerin Geneeristä tuotekehitysprosessia ja käytettävyyden ISO 9241-210-standardia. Tuote mallinnettiin SolidWorks-ohjelmistolla. Mallista tehtiin alustavat osapiirustukset, joiden pohjalta valmistettiin prototyyppi. Prototyypin toiminta perustui lukittavissa oleviin rulliin, joiden päällä pyörätuolilla pystyttiin kelaamaan. Rullille nouseminen tapahtui ramppien avulla. Valmista prototyyppiä testattiin ja tuloksien perusteella laitteen painoa ja rullausvastusta tuli keventää. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi suunniteltiin toinen, jalostetumpi malli. Tästä ei kuitenkaan lähdetty työstämään toista prototyyppiä.</p> <p>Prototyypillä pystyttiin todentamaan harjoitusvastuksen toimivuus, mutta tuote vaatisi jatkokehittelyä, ennen kuin se olisi valmis markkinoille. Myöskin osista vaatimuksista joudutaan tinkimään, jotta toinen vaatimus saadaan toimimaan paremmin. Esimerkiksi paino ja rullausvastus eivät kulje käsi kädessä, vaan jotta vastusta saataisiin kevennettyä, jouduttaisiin lisäämään esimerkiksi vauhtipyörä, joka nostaisi taas laitteen painoa. Laitetta voitaisiinkin suunnitella esimerkiksi kuntosaleille, missä sitä ei tarvitsisi liikutella ja painolla ei silloin olisi väliä.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Pyörätuolit, pyörätuolikelaus, vammaisurheilu, käyttäjäkeskeinen suunnittelu		
Muut tiedot		

Author(s) Pirkola, Henrikki	Type of publication Bachelor's thesis	Date 24.05.2016  Language of publication: Finnish
	Number of pages 60	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Wheelchair training resistor</b>		
Degree programme Degree Programme in Wellness Technology		
Supervisor(s) Henell Antti, Siistonen Matti		
Assigned by Suomen vammaisurheilu ja liikunta VAU ry		
<p>Abstract</p> <p>The mission of the assignor, Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta VAU ry, is to design, implement and develop opportunities and conditions to train sports for people who has physical, visual and mental disabilities. The objective of the thesis was to produce a prototype of a wheelchair exercise resistor that enables wheelchair rolling at home for person in a wheelchair. The product should be made available as many size of wheelchairs as possible. It should also be easy to move and usable without assistance. The goal was to make it fully mechanically without external electrical power.</p> <p>The product was designed utilizing Karl Ulrich's and Steven Eppinger's generic product development process and ISO 9241-210 usability standard. The product was modeled with Solidworks software and preliminary manufacturing drawings were made on based on the models. The prototype was produced following the drawings. The prototype based on lockable rollers. Ramps were used to board on the rollers with a wheelchair. The prototype were tested and based on the results the weight of the machine and rolling resistance were both too heavy. To solve these problems the second, more refined model was designed. The second model was only designed in 3D and it was not produced as another prototype.</p> <p>The functionality of the training resistor was successfully verified with the prototype, but the product would require further development before it is ready for the market. Also some of the requirements would be compromised so other requirement would be better met. For example, rolling resistance and the weight of the machine do not go hand in hand. If rolling resistance was to be decreased, a flywheel should be added, which would increase the weight of the machine. The machine could be design for gyms, where it would not have to moved, and the weight of the product would not matter.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Wheelchairs, wheelchair rolling, disability sport, user-centered design		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	4
1.1	Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta (VAU ry).....	4
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	5
2	Tuotekehitys.....	5
2.1	Geneerinen tuotekehitysprosessi .....	6
2.1.1	Ideointi.....	7
2.1.2	Konsepti- ja systeemisuunnittelu .....	8
2.1.3	Yksityiskohtainen suunnittelu .....	11
2.1.4	Prototypointi ja testaus .....	12
2.2	Käyttäjäkeskeinen suunnittelu .....	12
3	Pyörätuolit.....	14
4	Vierintävastusta tuottavat vastukset.....	17
5	Harjoitusvastuksen suunnittelu .....	18
5.1	Idea .....	18
5.2	Konseptisuunnittelu .....	19
5.2.1	Vastaavia tuotteita .....	19
5.2.2	Ideoiden analysointi .....	23
5.3	Yksityiskohtainen suunnittelu .....	28
6	Prototyypin valmistaminen .....	31
7	Tulokset .....	36
7.1	Testaus.....	36
7.2	Tulosten tarkastelu.....	38
7.3	Riskianalyysi.....	39
8	Jatkokehitys.....	40
8.1	Toinen prototyyppi.....	40
8.2	Talousarvio .....	41
9	Pohdinta .....	42

Lähteet.....	45
Liitteet .....	48
Liite 1. Harjoitusvastuksen kokoonpano.....	48
Liite 2. Pohjalevyn osapiirustus .....	49
Liite 3. Rampin akselin osapiirustus.....	50
Liite 4. Taka-akselin osapiirustus .....	51
Liite 5. Etuakselin osapiirustus.....	52
Liite 6. Jousitapin korokkeen osapiirustus.....	53
Liite 7. Liite 7 Jousitapin kokoonpanopiirustus .....	54
Liite 8. Rampin osapiirustus.....	55
Liite 9. Rampin holkin osapiirustus .....	56
Liite 10. Jousitapin alapalan osapiirustus .....	57
Liite 11. Jousitapin yläpalan osapiirustus .....	58
Liite 12. Jousitapin tapin osapiirustus.....	59
Liite 13. Vika- ja vaikutusanalyysi .....	60

## **Kuviot**

Kuvio 1. VAU:n logo.....	4
Kuvio 2. Geneerisen tuotekehitysprosessin vaiheet.....	6
Kuvio 3. ISO 9241-210 -standardin aktiviteetit .....	13
Kuvio 4. Vermeiren pyörätuolinleveys .....	15
Kuvio 5. Camber-kulmallinen pyörätuoli.....	15
Kuvio 6. Camber kulman aiheuttama etäisyys.....	16
Kuvio 7. Mclainin harjoitusvastus .....	20
Kuvio 8. Polkupyörän harjoitusrullat.....	21
Kuvio 9. Polkupyörän harjoitusvastus .....	22
Kuvio 10. Pyörätuolikelauksimulaattori .....	22
Kuvio 11. Ideoina kahva ja rullat .....	24

Kuvio 12. Käsijarrun malli .....	26
Kuvio 13. Pyöritettävän kitkavastuksen malli .....	26
Kuvio 14. Levyjarrun malli .....	27
Kuvio 15. Kehitysvaiheen malli.....	29
Kuvio 16. Jousitappi.....	30
Kuvio 17. Sovitepalat.....	31
Kuvio 18. Korotusmuovi .....	32
Kuvio 19. Etäisyyden testaus.....	33
Kuvio 20. Alkuperäinen rampin kiinnitysputki .....	33
Kuvio 21. Prototyypin rampin kiinnitysputki.....	34
Kuvio 22. Rampin kiinnikeholkki .....	35
Kuvio 23. Jousitappi.....	35
Kuvio 24. Valmis prototyyppi .....	37
Kuvio 25. FMEA:n arviointikriteerit.....	39
Kuvio 26. Prototyyppi 2 malli .....	41

### **Taulukot**

Taulukko 1. Esimerkki morfologisesta analyysistä .....	9
Taulukko 2. Esimerkki painoarvotaulukosta .....	10
Taulukko 3. Morfologinen analyysi harjoitusvastuksen osatoiminnoista.....	25

# 1 Opinnäytetyön lähtökohdat

## 1.1 Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta (VAU ry)

Opinnäytetyön tilaaja, Suomen Vammaisurheilu ja -liikunta (VAU ry) on valtakunnallinen järjestö, joka suunnittelee, toteuttaa ja kehittää liikuntamahdollisuuksia vammaisurheiluun. Vammaisurheilun piiriin lasketaan muun muassa liikunta-, näkö- ja kehitysvammaiset. VAU organisoii toimintaa harrastetasolta aina kilpa- ja huippu-urheiluun asti, niin lapsille, nuorille kuin iäkkäämmillekin. VAU:n logo kuviossa 1.



Kuvio 1. VAU:n logo (Yleisesti VAU:sta n.d.)

VAU:n toiminta on alkanut vuoden 2010 alusta, kun Elinsiirtoväen Liikuntaliitto ELLI ry, Näkövammaisten Keskusliitto ry (NKL), Suomen Invalidien Urheiluliitto ry (SIU) sekä Suomen Kehitysvammaisten Liikunta ja Urheilu ry (SKLU) perustivat uuden yhteisen järjestön. VAU koostuu 200 jäsenyhdistyksestä ja 39 urheiluseurasta, eikä sillä ole henkilöjäseniä. Yhdistyksen pääkonttori sijaitsee Helsingin Länsi-Pasilassa Liittöjenrakennuksessa. VAU työllistää yhteensä 22 henkilöä, joista 15 kokoaikaisesti ja 7 osa-aikaisesti. (Yleisesti VAU:sta n.d.)

## 1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa pyörätuolin harjoitusvastus. Pyörätuolin harjoitusvastuksella pystytään harjoittelemaan pyörätuolilla kelaamista ilman, että pyörätuoli liikkuu eteenpäin. Harjoitusvastuksen avulla pystytään pitämään peruskuntoa yllä silloin, kun ympäristö ei sovellu ulkotiloissa harjoittelulle, esimerkiksi talvisiikään. Pyörätuolin harjoitusvastusta voidaan verrata kuntopyörään tai polkupyörille suunniteltuihin harjoitusvastuksiin.

Opinnäytetyön tavoitteina oli tuottaa prototyyppi harjoitusvastuksesta, joka soveltuu suurimmalle osalle pyörätuoleista. Laitteeseen tulee päästä pyörätuolilla ilman avustajaa ja pyörätuolissa olevan henkilön tulee myös pystyä siirtämään laitetta itsenäisesti. Laitteessa olisi myös hyvä olla säädettävä vastus, sillä se lisäisi laitteen monipuolisuutta huomattavasti. Tuotteen tulee myös olla mahdollisimman yksinkertainen, niin ettei se vaadi erillistä sähkövirtaa, eikä siinä tarvitse olla nopeutta ja matkaa näyttävää näyttöä.

Prototyypin suunnittelun apuna käytettiin Karl Ulrichin ja Steven Eppingerin Geneeristä tuotekehitysprosessia ja käytettävyyden ISO 9241-210-standardia.

## 2 Tuotekehitys

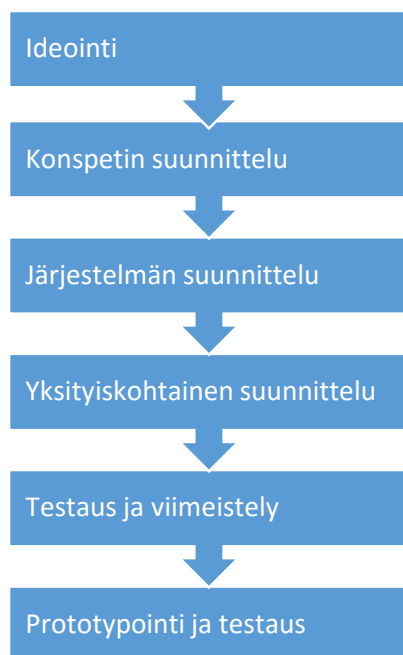
Tuotekehitys alkaa tarpeesta kehittää täysin uusi tuote tai tarpeesta jalostaa vanhaa tuotetta paremmaksi. Tuotteeksi mielletään yleensä laite, mutta se voi olla myös sovellus tai palvelu. Tuotteiden parantaminen on nyky maailmassa hyvin tärkeä osa



kilpailukyvyyn ylläpitämisessä, sillä tuotteiden elinikä lyhentyy ja kilpailu kovenee jatkuvasti. Tästä syystä suurin osa tuotekehitysprojekteista onkin kehittäviä eikä suinkaan uutta tuottavia. Tuotekehityksessä on monta vaihetta aina ideoinnista valmistukseen ja markkinointiin. (Jokinen 1999, 9.)

## 2.1 Geneerinen tuotekehitysprosessi

Tuotekehitykseen on monia eri lähestymistapoja, jotka pääsääntöisesti ovat hyvin samankaltaisia. Yleensä kaikkialla otetaan vain mallia tuotekehitysmalleista ja jalostetaan juuri itselle parhaiten sopiva tapa. Yksi järjestelmällisen tuotekehityksen menetelmistä on Karl Ulrichin ja Steven Eppingerin kehittämä geneerinen tuotekehitysprosessi, jossa kehitystyö jaetaan kuuteen työvaiheeseen, jotka ovat ideointi, tuotekonseptin suunnittelu, järjestelmän suunnittelu, yksityiskohtainen suunnittelu, prototyyppi ja testaus sekä tuotannon käynnistäminen, kuvion 2 mukaisesti. (Ulrich & Eppinger 2012, 12–15.)



Kuvio 2. Geneerisen tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2012, 14.)

Yleisesti käytössä oleva VDI-2221 standardin mukainen tuotekehitysmalli on hyvin samakaltainen kuin geneerinen malli. Se koostuu neljästä vaiheesta: luonnosteluvaihe, kehitysvaihe ja viimeistelyvaihe. Projektin edetessä on hyvä muistaa, ettei aina edetä lineaarisesti eteenpäin, vaan tarvittaessa voidaan palata taaksepäin. (Hietikko 1996, 34–36.)

### 2.1.1 Ideointi

Tuotekehitysprojekti käynnistetään kun tuotteelle on tarve. Pelkästään tarve ei kuitenkaan riitä projektin käynnistämiseen, vaan tuotteen tulee olla myös mahdollinen toteuttaa. Tarve saatetaan huomata sattumalta, mutta sitä voidaan etsiä myös systemaattisesti kartoittamalla esimerkiksi kyselyillä, markkina-analyysillä, tutkimuksilla sekä ammattilaisten arvioilla. (Jokinen 1999, 17-21.)

Käynnistysvaiheessa tarpeen ympärille luodaan kehitysehdotus, jossa on seuraavat tiedot:

- kuvaus kehitettävästä tuotteesta
- raja-arvot
  - kiinteät vaatimukset, joiden on pakko täytyä jokaisessa tilanteessa
  - vähimmäisvaatimukset, jotka määrittävät raja-arvot, jotka olisi ylitettävä tai alitettava
  - toiveet, jotka olisivat mukava lisä tuotteeseen, mutta niiden toteuttaminen ei ole pakollista
- tavoitteet
  - aikataulu
  - kustannukset
  - markkinaosuus
- markkinat
- sidosryhmät
  - asiakkaat
  - jälleenmyyjät
  - tuottaja.

Kehitysehdotuksia saatetaan tehdä useita, mutta vain osa jatkaa luonnosteluvaiheeseen. Yleensä kehityspäätöksestä vastaa yrityksessä joko kehitysosaston johto tai yrityksen korkein johto. (Ulrich & Eppinger 2012, 66-68.)

### 2.1.2 Konsepti- ja systeemisuunnittelu

Konseptisuunnittelu ja systeemisuunnittelu voidaan molemmat lukea luonnosteluvaiheeksi, jossa syvennyttään tavoitteisiin ja rajoihin tarkemmin kuin kehitysehdotuksessa. Konseptisuunnittelun yksi suurimpia tavoitteita on asiakastarpeiden selvittäminen sekä kilpailijoiden arviointi. Asiakastarpeiden pohjalta asetetaan tuotespesifikaatiot, jotka ovat tarkempia määritelmiä asiakastarpeisiin. Esimerkiksi, jos asiakastarpeena on ”mahdollisimman kevyt”, niin spesifikaatio on tietty kilomäärä, jonka tuote saa painaa. Kun asiakastarpeet ja spesifikaatiot on analysoitu, voidaan alkaa ideoimaan ratkaisuja tarpeiden täyttämiseen intuitiivisilla tai systemaattisilla ideointimenetelmillä. (Ulrich & Eppinger 2012, 80-83.)

#### **Intuitiiviset ideointimenetelmät**

Intuition perustuvissa ideointimenetelmissä työskennellään omien tietovarojen varassa tutustumatta tietoon. Intuitiiviset ideointimenetelmät ovat usein ryhmämenetelmiä, mutta osaa menetelmistä voidaan myös soveltaa yksilö käyttöön. Ideointiryhmissä pyritään luomaan vapaa ilmapiiri, jossa ideoita saa vapaasti kertoa ilman arvostelemisen pelkoa. Tavoitteena on tuottaa paljon ideoita, joita voidaan sellaisenaan tai yhdistelemällä käyttää ratkaisuina. (Jokinen 1999, 39.)

#### **Systemaattiset menetelmät**

Systemaattiset eli ulkoiseen hakuun pohjautuvat menetelmät perustuvat tutkimuksiin, tiedonhakuun ja analysointiin. Tutkimuksia voidaan tuottaa itse tai vaihtoehtoisesti voidaan tutustua kilpailijoiden tutkimuksiin. Tietoa saadaan

patenteista ja julkisista tietolähteistä. Kilpailevista tuotteista ja kilpailijoista saadaan myös arvokasta tietoa. Systemaattisissa menetelmissä ratkaisumalli pohjautuu hyvin matemaattiseen ongelmaratkaisuun, kuten esimerkiksi seuraavaksi esiteltävässä morfoligissa analyysissa huomataan. (Hietikko 2015, 102-103.)

### Morfologinen analyysi

Morfologisessa analyysissa kokonaistoiminto jaetaan osatoimintoihin ja osatoiminnot järjestetään matriisiin, niin että jokaisen toiminnon kohdalle on kerätty kaikki mahdolliset ratkaisumahdollisuudet. Tämän jälkeen kokonaistoiminnon ratkaisuja lähdetään etsimään kaikilla mahdollisilla eri osatoimintojen vaihtoehdoilla. Mitä enemmän osatoimintoja ja niiden ratkaisuja on sitä enemmän tulee vaihtoehtoja. Tästä syystä analyysia kannattaa käyttää vasta kun ratkaisut on alustavasti arvosteltu ja täysin käyttöön sopimattomat ideat ovat karsittu pois. Yhdistelemällä ideoita saadaan joukko vaihtoehtoja siitä miten ongelma saadaan ratkaistua (Ks. taulukko1). (Hietikko, 2015, 102-103.)

Taulukko 1. Esimerkki morfologisesta analyysistä

Osatoiminto 1	Idea 1	Idea 2	Idea 3
Osatoiminto 2	Idea 1	Idea 2	
Osatoiminto 3	Idea 1	Idea 2	
Osatoiminto 4	Idea 1	Idea 2	Idea 3

Ideoinnissa on tärkeä muistaa, ettei hyväksy suoraan ensimmäistä käyttökelpoista ideaa, vaan kaikki ideat on arvosteltava ja testattava, jotta voidaan karsia käyttökeltottomat ideat pois. Kun ideoista on saatu ratkaisuja, voidaan osatoiminnot yhdistää

takaisin kokonaistoiminnoksi ja arvostella kokonaisuuden toimintaa. Menetelmällä saadaan karsittua paras mahdollinen idea, josta muodostetaan ratkaisuluonnos, jonka jälkeen voidaan siirtyä kehitysvaiheeseen. (Jokinen 1999, 21-31.)

### Ideoiden arvostelu

Ideat, joita on ideointimenetelmien kautta löydetty, pitää arvostella, jotta tiedetään mitä kannattaa jatkossa hyödyntää. Helppompana arvostelumenetelmänä käytetään maalaisjärkeä, jonka avulla karsitaan täysin sopimattomat ideat. Tämän jälkeen voidaan käyttää pisteytysmatriisia, johon on merkitty vaatimukset ja tavoitteet. Taulukon voidaan merkitä yksinkertaisesti plussilla ja miinuksilla, täyttääkö idea vaatimuksen vai ei. Tässä voidaan käyttää myös painoarvotekniikkaa, jossa tärkeimpiä vaatimuksia painotetaan muihin verrattuna. Painoarvoilla kuvataan ominaisuuksien tärkeysjärjestystä ja arvostelulla kuinka hyvin ratkaisu toteuttaa vaaditun ominaisuuden taulukon 2 mukaisesti. (Weiss 2013, 63-65.)

Taulukko 2. Esimerkki painoarvotaulukosta

	Painoarvo	Idea 1	Idea 2	Idea 3
Vaatus 1	2	+ (=+2)	+ (=+2)	- (= -2)
Vaatus 2	3	- (= -3)	+ (=+3)	- (= -3)
Vaatus 3	1	+ (=+1)	- (= -1)	+ (=+1)
Pisteet		0	4	-4

### Ratkaisujen testaus

Arvioinnin jälkeen jatkoon päässeet ideat täytyy testata, ennen kuin ne voidaan hyväksyä jatkokehittelyyn. Testauksen tarkkuus riippuu siitä kuinka laajasta ratkaisusta on kyse. Testaus on kolmivaiheinen:

- Haittavaikutusanalyysissä käydään läpi arvostelut. Analyysissä voidaan myös miettiä onko ratkaisussa jotain positiivista tai negatiivista jota ei ole otettu vielä huomioon.

- Herkkyyssanalyysissa selvitetään miten painoarvot vaikuttavat ratkaisuun. Ratkaisuja, joissa painoarvon pieni vaihtelu vaikuttaa lopputulokseen tulee välttää.
- POA eli potentiaalisten ongelmien analyysissa kartoitetaan laitteeseen liittyviä riskejä. Analyysi voidaan toteuttaa aivoriihellä, jossa ryhmässä ideoidaan mahdollisimman paljon mahdollisia riskejä. POA:ssa on hyvä käsitellä ongelmia ainakin talouden ja tekniikan kannalta.

Testauksen jälkeen ratkaisu voidaan hyväksyä tai hylätä. Vaikka tuote tässä vaiheessa hyväksyttäisiin jatkokehittelyyn, se ei kuitenkaan tarkoita, että kaikki ratkaisut säilyisivät lopulliseen tuotteeseen asti. (Jokinen 1999, 86-87.)

Kun konseptisuunnittelussa on saatu ratkaistua asiakastarpeet täyttävä idea tai ideoita, voidaan aloittaa suunnittelemaan tuotteen ulkomuotoa. Tämä osuus on jo systeemisuunnittelua, jossa ratkaistaan, millaisista osista ja osakokonaisuuksista kokoonpano koostuu. Tuote voidaan pitää tässä vaiheessa vielä osatoimintoina, mutta niillä täytyy olla yhteiset rajapinnat, jotta osa sopii jatkossa muuhun kokoonpanoon. Osien suunnittelussa on otettava myös huomioon niiden valmistettavuus sekä se, mitkä osista valmistetaan itse, ostetaan valmiina tai teetetään alihankkijalla. (Ulrich & Eppinger 2012, 184-189.)

### 2.1.3 Yksityiskohtainen suunnittelu

Yksityiskohtaisessa suunnittelussa ratkaisuluonnoksista aletaan luomaan kokoonpano- ja osapiirustuksia, joissa yksityiskohdat on ratkaistu niin, että kaikki on yksiselitteistä. Näiden piirustusten ja tietojen pohjalta voidaan alkaa rakentamaan ensimmäistä prototyyppiä. Nykyään tuotteet suunnitellaan lähes aina suoraan 3D-muotoon. Näin saadaan heti täsmälliset muodot ja mitat. Tässä vaiheessa mietitään myös materiaalit, toleranssit, valmistustavat ja kustannukset. (Ulrich & Eppinger 2012, 14-15.)

Ensimmäisestä konstruktiosta voidaan arvostella teknisiä ominaisuuksia sekä taloudellisia ominaisuuksia. Teknisiä ominaisuuksia verrataan alussa muodostettuun vaatimuslistaan ja taloudellisia ominaisuuksia mahdolliseen vastaavaan tuotteeseen. Tulosten perusteella voidaan mallintaa paranneltu konstruktio, jossa yksityiskohtia suunnitellaan paremmin ja edellisessä versiossa löytyneitä ongelmia pyritään korjaamaan. Tätä kierrätetään niin pitkään, että kaikki löytyneet ongelmat on poistettu mahdollisimman hyvin. (Jokinen 1999, 89-92.)

#### 2.1.4 Prototyypointi ja testaus

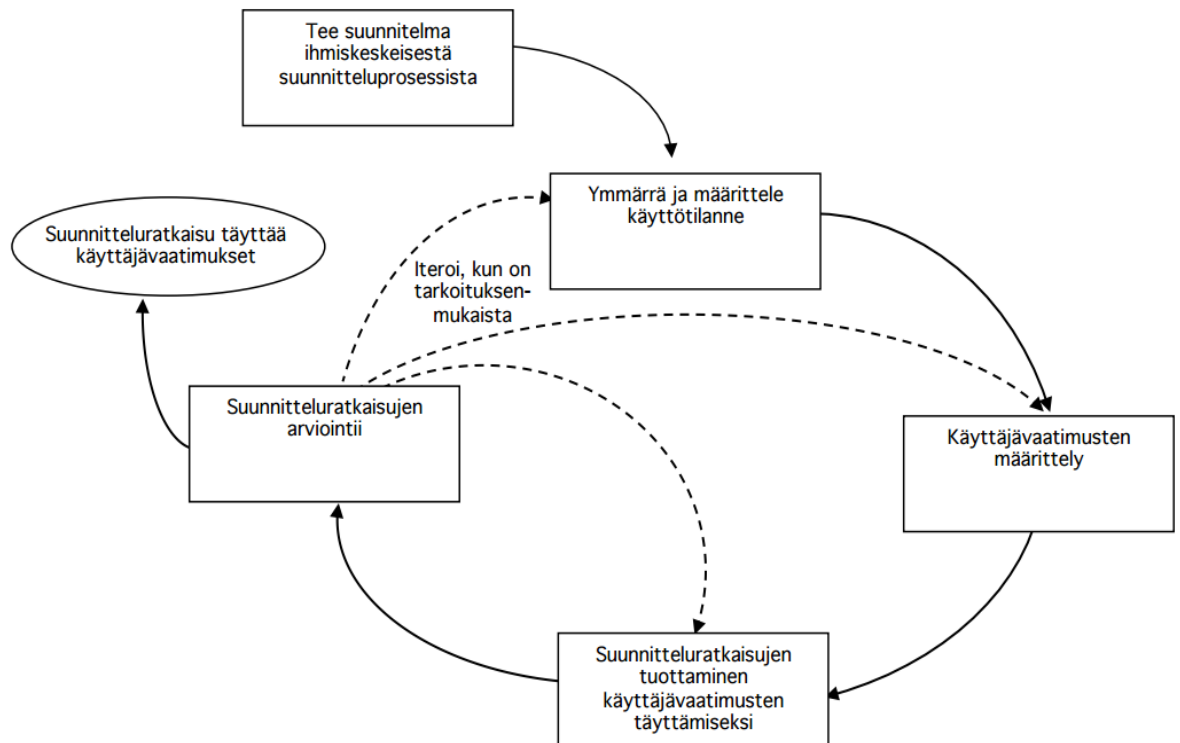
3D-mallintamisen ja simulointiohjelmien kehittyminen on mahdollistanut tuotteen testaamista jo ennen fyysistä prototyyppiä. Simuloinneilla voidaan tarkastella tuotteen lujuuksia, kuormituksia sekä toimivuutta. Simuloinneilla saadaan kuitenkin vain teoreettinen kuva toimivuudesta, ja todellinen toimivuus nähdään kunnolla vasta fyysisestä prototyypistä. Fyysisiksi prototyypeiksi luetaan kaikki konkreettiset tuotteet, joilla voidaan tarkastella ja testata tuotteen muotoja ja toimintoja. Prototyyppiä voidaan myös testata asiakkailla, jolloin saadaan arvokasta tietoa siitä, mitä tulisi vielä kehittää. Prototyyppien testauksien pohjalta voidaan korjata olemassa olevia malleja ja piirustuksia, joiden pohjalta voidaan valmistaa taas uusi prototyyppi tai jo viimeistelty tuote. (Ulrich & Eppinger 2012, 301-305.)

## 2.2 Käyttäjäkeskeinen suunnittelu

Käyttäjäkeskeisessä suunnittelussa loppukäyttäjä on osana suunnittelua koko prosessin ajan, ideoinnista lopulliseen tuotteeseen. Suunnittelulla pyritään tuottamaan käyttäjille parempi käyttökokemus laitteisiin. Käyttäjäkeskeisellä suunnittelulla tarkoitetaan suunnitteluprosessia, joka pyrkii suunnittelemaan tuotteen loppukäyttäjän

näkökulmasta, kuinka sitä ymmärretään ja käytetään. (Introduction to User-Centered Design n.d.)

Käyttäjakeskeisen suunnittelun standardissa ISO 9241 - 210 käsitellään suunnitelmien laatimista ihmiskeskeistä suunnittelua varten. ISO 9241 - 210:n sisältämää tietoa käytetään vuorovaikutteisten laitteiden, järjestelmien ja palvelujen suunnitteluun ja kehittämiseen. Kuviossa 3 on ISO 9241-210 -standardin aktiviteetit eli se, mitä täytyy ottaa huomioon käyttäjakeskeisessä suunnittelussa. (SFS-EN ISO 9241-210.)



Kuvio 3. ISO 9241-210 -standardin aktiviteetit (SFS-EN ISO 9241-210.)

Asiakkaan merkitys tuotekehitysprojektissa kuitenkin jakaa mielipiteitä. Osan mielestä on todella tärkeä tuntea asiakkaan tarpeet. Toinen osa on taas sitä mieltä, että asiakkaat eivät tiedä mitä haluavat, joten heidät olisi syytä pitää kaukana tuotteen kehityksestä. Kuten Henry Ford on aikoinaan sanonut "If I'd asked people what they wanted, they would have asked for a better horse". Fordin lause kuvaa hyvin sitä,



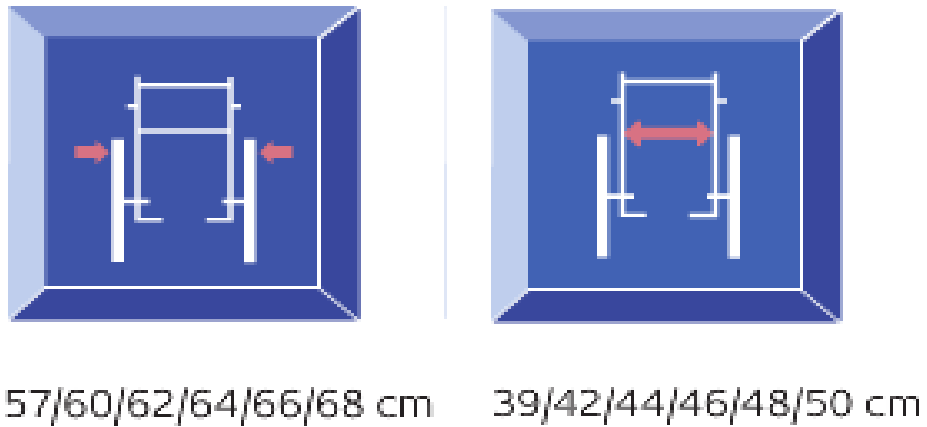
ettei asiakas tiedä mitä oikeasti haluaa, ennen kuin se on tarjolla. Ongelmia kuitenkin voidaan minimoida kysymällä oikeita kysymyksiä. Parhaiten asiakkaita pystytään hyödyntämään kun halutaan informaatiota heidän ongelmista ja tarpeista, mitä he ovat muita tuotteita käyttäessä havainneet. Tarpeita voidaan selvittää esimerkiksi tarkkailemalla käyttäjiä tai haastatteleamalla heitä. Asiakkaiden mielipiteitä voidaan jalostaa parannusehdotuksiksi. (Hietikko 2008, 55-56.)

Asiakaan tuntemisesta on huomattu olevan hyötyä teknisessä toteutuksessa, markkinoinnissa, huollon suunnittelussa ja käyttäjälle ilmenevien ongelmien minimoinnissa. Asiakas ei kuitenkaan voi suoraan kirjoittaa vaatimuksia vaan vain auttaa niiden muodostuksessa, koska asiakas ei yleensä tiedä mitä tekee, sillä hänellä ei ole välttämättä tarvittavaa koulutusta. Mutta kysymällä asiakkaalta oikeita kysymyksiä voidaan asiakkaasta saada paljonkin irti. Tämä vaatii kuitenkin testaajalta hyvää ammattitaitoa. (Hooks & Farry, 2001, 25-30.)

### 3 Pyörätuolit

Pyörätuolien fyysiset mitat ja runkoratkaisut ovat tärkeässä osassa laitetta suunniteltaessa. Mitoista tärkeimpiä ovat takarenkaiden koko ja etäisyys toisistaan, jotta harjoitusvastus saadaan mitoitettua mahdollisimman monelle pyörätuolimallille sopivaksi.

Perinteisten pyörätuolien leveys määräytyy istuinleveyden mukaan. Yleisesti kokonaisleveys on noin kaksikymmentä senttimetriä leveämpi kuin istuinleveys. Kokonaisleveys on yleisesti 550-750 mm. Kuviossa 4 esimerkki yhden Respectan pyörätuolin leveydestä. Renkaat ovat yleisesti 24 tai 26 tuumaa, eli noin 610 mm ja 660 mm. (Liikkuminen 2014.)



Kuvio 4. Vermeiren pyörätuolinleveys (Liikkuminen 2014.)

Aktiivipyörätuoleissa, joita käytetään pyörätuoliurheilussa, on renkaissa camber-kulmaa (ks. Kuvio 5) jolla parannetaan tuolin ohjattavuutta. Yläkulman ollessa lähempänä kelaajaa ohjattavuuden lisäksi myös kelaamisen energiatehokkuus kasvaa. Arkikäytössä kuitenkin isolla kulmalla olevat tuolit ovat hankalia, sillä ne vievät enemmän tilaa, eikä niillä mahdu normaaleista oviaukoista. Camber kulma on yleisesti 16-20 astetta. (Sport Wheelchairs n.d)



Kuvio 5. Camber-kulmallinen pyörätuoli (Sport Wheelchairs n.d)

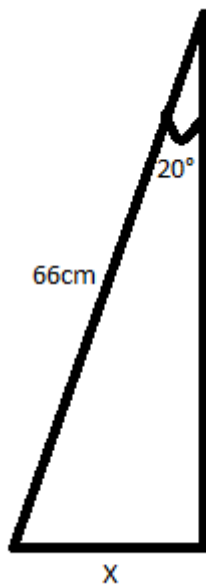
### Camber-kulman laskeminen

Seuraavilla tiedoilla saadaan laskettua aktiivipyörätuolien maksimaalinen rengasetäisyys. Istumaleveyden ollessa enimmillään 500 mm, on renkaiden yläkulma hieman yli 500 mm. Rengas muodostaa kuvion 6 mukaisen kolmion, jossa hypotenuusa on renkaan kokoinen (660 mm) ja kulma 20 astetta. Tiedoilla saadaan laskettua renkaan alaosan etäisyys istuimen reunaan. Käytetään trigonometriasta tuttua suorakulmion sin-kaavaa:

$$\sin \alpha = \frac{A}{c}$$

$\alpha=20^\circ$ ,  $A=X$  ja  $C=660$  mm.

Yhtälöstä halutaan selvittää muuttuja A, jolloin yhtälö on muotoa:  $X = \sin 20^\circ * 660$  mm, jolloin  $X = 225,7$  mm. Koska molemmilla puolilla etäisyys on sama, yhteensä camber-kulma tuottaa noin 450 mm:n etäisyyden. Tällöin istuinleveyden ja renkaiden etäisyyden kokonaisleveys on 950 mm.



Kuvio 6. Camber kulman aiheuttama etäisyys

Saatuja tuloksia tukevat myös Respectalta saamani tiedot, joiden mukaan yhden esimerkki pyörätuolin camber-kulma tuottaa 180 mm lisää leveyttä normaaliin pyörätuoliin verrattuna. Maksimaaliseen 750 mm leveyteen tulisi siis lisää 180 mm. Näin päästään hyvin lähelle laskemaani 950 mm. On kuitenkin hyvin harvinaista, että tehdään näin suuria pyörätuoleja.

## **4 Vierintävastusta tuottavat vastukset**

Kuntopyörissä käytetään pääosin kolmea erilaista vastusta: magneettivastusta, rullavastusta ja hihnavastusta. Magneettivastuksessa vauhtipyörän liikettä hidastetaan sähkömagneetilla. Magneettivastus perustuu magneettikenttää vastustavaan ionikenttään. Tässä vastuksessa ei ole kuluvia osia ja vastusta säädetään siirtämällä magneetin etäisyyttä vauhtipyörästä. Magneettivastusta käytetään nykyisissä kuntopyörissä sekä polkupyörien harjoitusvastuksissa.

Rullavastusta ei pysty säätämään, vaan laakeroidut rullat vain jarruttavat rullia, joita vastaan pyörä pyörii. Rullavastusta käytetään oikeastaan vain harjoitusrullissa. Hihnavastuksessa vauhtipyörän ympäri menee hihna, jonka kireydellä vastusta säädetään. Vastus on hyvin yleinen vanhoissa kuntopyörissä.

## 5 Harjoitusvastuksen suunnittelu

Tehtävänäni oli siis suunnitella pyörätuolin harjoitusvastus, jonka suunnitteluprojektissa noudatettiin ja sovellettiin geneeristä tuotekehitysprosessia. Tuotteen kehityksessä pidettiin mielessä myös standardi ISO 9241-210 mukaiset aktiviteetit, koska suunnittelussa asiakas oli keskeisessä osassa. Laite on spesifioitu pienelle käyttäjäryhmälle eli harraste- ja kilpaurheilua harrastaville pyörätuolissa oleville henkilöille.

### 5.1 Idea

Tuotekehityksen idea tuli suoraan VAU oy:ltä, jolloin käynnistysvaiheessa ei ollut montaa tuoteideaa, joista valita yksi tuotekehitykseen. Tavoitteena oli tuottaa ensimmäinen prototyyppi pyörätuolin harjoitusvastuksesta. Tuoteideasta muodostettiin opinnäytetyösuunnitelma, joka vastasi hyvin pitkälti kehitysehdotusta. Suunnitelmasta kävivät ilmi seuraavat tiedot.

#### Kiinteät vaatimukset

- Laitteella tulee pystyä harjoittamaan pyörätuolikelausta.
- Laitteen tulee olla pyörätuolissa olevan käytettävissä ilman avustajaa.
- Laite ei tarvitse erillistä sähkövirtaa.

#### Vähimmäisvaatimukset

- Laitteen tulee olla käytettävissä mahdollisimman monella erilaisella tuolilla.
- Laitteen tulee olla kevyt, jotta sitä on helppo siirrellä ilman avustajaa.

#### Toiveet

- Vastuksen säätö toisi lisäarvoa tuotteelle.

Raja-arvot asetti toimeksiantajan edustaja, joka olisi itsekin tuotteen mahdollinen käyttäjä.

## 5.2 Konseptisuunnittelu

Suunnittelu aloitettiin ideoimalla ratkaisuja, jolla kiinteät vaatimukset voitaisiin täyttää. En lähtenyt erikseen muodostamaan asiakastarpeita, vaan käytin asetettuja vaatimuksia ja toiveita. Nämä vaatimukset olivat myös niitä käyttäjävaatimuksia, jotka tuli täyttää standardin ISO 9241-210 aktiviteettien mukaan.

### 5.2.1 Vastaavia tuotteita

Ideoinnissa käytin systemaattisia ideointimenetelmiä, eli ideointi perustui tiedonhakuun. Systemaattinen ideointimenetelmä soveltui paremmin projektiin, koska käytössä ei ollut työryhmää vaan kehitin tuotetta yksin. Otin aluksi selvää jo olemassa olevista tuotteista, joilla oli ratkaistu samankaltaisia ongelmia. Olemassa olevia tuotteita olivat:

- pyörätuolin harjoitusvastus (Mclain)
- harjoitusrullat
- polkupyörän harjoitusvastus
- pyörätuolikelaussimulaattori
- juoksumatto.

#### **Pyörätuolin harjoitusvastus Mclain**

Täysin samaan tarkoitukseen tuotettuja tuotteita löytyy markkinoilta yksi: Mclainin pyörätuolin harjoitusvastus. Tuotteessa on käytetty yksinkertaista kahden rullan välissä tapahtuvaa kelaamista (ks. kuvio 7).



Kuvio 7. Mclainin harjoitusvastus (Mclain wheelchair rollers n.d.)

Laitteelle noustaan ramppia pitkin ja rullat lukitaan laitteeseen mennessä, ja poistussa, mikä helpottaa rullille pääsemistä. Vastusta laitteessa säädetään vauhtipyörällä, jossa on kolme vastusastetta. Mclain on saanut hyvää palautetta tuotteen helppokäyttöisyydestä ja tarpeellisuudesta. Tuotteen huonoiksi puoliksi on kerrottu, että se on raskas ja käyttöön tarvitsee avustajan. Hintaa tuotteella on 899 dollaria. (Mclain wheelchair rollers n.d.)

### **Polkupyörän harjoitusrullat**

Samaa tekniikkaa on käytetty myös polkupyörille tehdyissä harjoitusrullissa, jossa pyörä nostetaan vain harjoitusrullien päälle ja aletaan polkea. Ainoana erona Mclainiin on kolmas rulla etupyörälle, kuten kuviosta 8 huomataan. Harjoitusrullissa ei ole säädettävää vastusta, vaan vastusta säädetään polkupyörän omilla vaihteilla.



Kuvio 8. Polkupyörän harjoitusrullat (How to ride rollers n.d)

### **Polkupyörän harjoitusvastus**

Polkupyörille tarkoitettu harjoitusvastuksen, jossa takapyörä lukitaan navoista kiinni ja pyörää poljetaan vauhtipyörää vasten (ks. kuvio 9), voisi jalostaa pyörätuolille. Pyörätuolille tarvitsisi kaksi vauhtipyörää ja pyörätuoli olisi lukittava samalla tavalla navoistaan kiinni. Polkupyörän harjoitusvastuksessa vastusta säädetään sähkömagneettivastuksella. Harjoitusvastuksella polkemiseen suositellaan erillistä takarengasta, sillä vastus kuluttaa normaalin pehmeän renkaan hetkessä. Erikoisrenkas myös pienentää harjoittelusta lähtevää melua.





Kuvio 9. Polkupyörän harjoitusvastus (Satori smart trainer n.d)

### **Pyörätuolikelauksimulaattori**

VAU on valmistanut yhden pyörätuolikelauksimulaattorin omaan esittely- ja messukäyttöön. Laitteessa on käytetty pyörätuoliin runkokiinnitystä ja polkupyörän harjoitusvastusta vastuksena (ks. kuvio 10). Laitteen ongelmina on, että tuoli pitää nostaa ja kiinnittää telineeseen ja telineeseen käy vain yksi ainut muokattu kelaustuoli.



Kuvio 10. Pyörätuolikelauksimulaattori

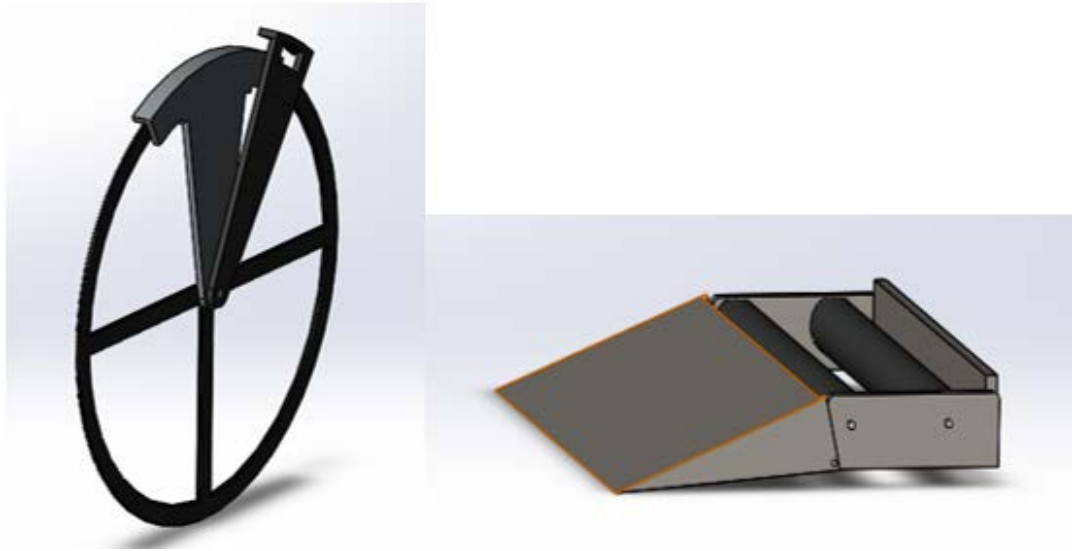
### **Juoksumatto**

Juoksumatossa on moottori, joka pyörittää mattoa, joka on kahden sylinterin välissä. Juoksumatto vaatii sähköverkon, sillä vastusta säädetään nopeutta tai vastuskulmaa muuttamalla. Juoksumattoja käytetään pyörätuolitestauksissa, koska niissä pystytään säätämään myös nousukulmaa. Tämä mahdollistaa realistisen simuloinnin testausolosuhteissa. (New Wheelchair Simulator for Propulsion on Curved paths n.d)

#### 5.2.2 Ideoiden analysointi

Olemassa olevista laitteista karsin pois pyörännapoihin kiinnityksellä olevat harjoitusvastukset, koska pyörätuolien pyörien keskiön navoissa ei ole minkäänlaista standardia, vaan niitä on hyvin paljon erilaisia. Mallista ja merkistä riippuen myös renkaiden kiinnityskohta vaihtelee ja varsinkin camber-kulmaisissa pyörätuoleissa renkaiden navat ovat viistossa. Sama ongelma on myös runkokiinnityksessä, koska jokaisessa mallissa on ratkaistu runko eri tavalla. Tuotteeseen ei haluttu erillistä virtalähdettä, joten myöskään pyörivän maton päällä kelaukseen sopivaa laitetta en ottanut jatkokäsittelyyn.

Jatkokäsittelyyn jäi Mclainin kaltainen rullien päällä toimiva harjoitusvastus sekä itse keksimäni idea kelausvanteeseen kiinnitettävästä lisäosasta, jossa liikutettaisiin vain kahvaa kelausvanteen päällä. Tein ideoista nopeat mallit SolidWorks ohjelmistolla (ks. kuvio 11).



Kuvio 11. Ideoina kahva ja rullat

Vanteita tutkiessani kävi kuitenkin ilmi, että niissäkin on hyvin paljon eroja, joten kahvasta olisi vaikea suunnitella kaikkiin sopivaa. Parhaaksi ideaksi valikoitui siis rullilla toimiva harjoitusvastus, jota aloin jatkokehittämään.

### 5.2.3 Systemisuunnittelu

Kokonaistoiminnoiksi valikoituneen rullilla toimivan harjoitusvastuksen jaoin osatoiminnoiksi, joista jokaiseen ideoin erilaisia vaihtoehtoja. Osatoiminnot ja niiden ratkaisuideat on esitetty taulukossa 3. Jatkoon menneet ideat on värjätty taulukossa vihreällä.

Taulukko 3. Morfologinen analyysi harjoitusvastuksen osatoiminnoista

Osatoiminto	Idea 1	Idea 2	Idea 3	Idea 4	Idea 5
Vastus/lukitus	Magneettivastus	Tappilukitus	Levyjarru	Käsijarru	Pyöritettävä kitkavastus
Laitteeseen nouseminen	Ramppi edessä	Ramppi ta- kana	Hydraulinen nostin		
Rullat	Koko akselin levyiset rullat	Neljä erillistä pienempää rullaa			
Runko	Metallirunko koko laitteen ympäri	Pohjalevy	Runko vain laitteen sivuilla		

Kaikki ideat toimivat ristiin toistensa kanssa, joten minkään osatoiminnon idea ei sulkenut toisen toiminnon ideoita pois. Kävin jokaisen osatoiminnon yksitellen läpi ja mietin siihen parhaiten sopivan idean.

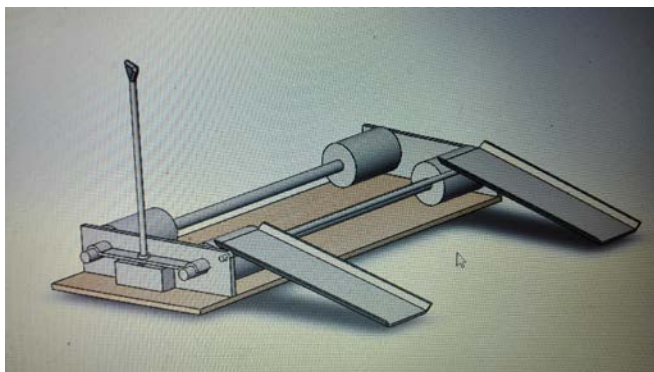
### Vastus

Vastuksista kaikki olivat akselin päähän kiinnitettäviä ratkaisuja. Vastuksella tuli pystyä lukitsemaan akseli laitteeseen menemisen ja poistumisen ajaksi, tätä magneettivastuksella ei olisi pystytty toteuttamaan ja se olisi tarvinnut lisäksi toisen lukitusjärjestelmän. Käsijarru kääntää nostettaessa kitkavastukset akseleita vasten, joten laite saadaan pysäytettyä sekä pienellä käsijarrun säädöllä säädettyä vastusta. Mallinsin käsijarrusta kuvion 12, jonka pohjalta kävi ilmi, että käsien puristuminen vanteen ja käsijarrun väliin olisi vaarana.



Kuvio 12. Käsijarrun malli

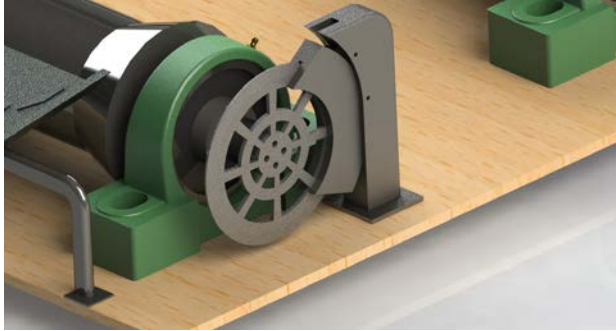
Pyöritettävässä kitkavastuksessa (ks. kuvio 13) on hyvin samanlainen toimintaperiaate kuin käsijarrussa, mutta vastusta säädetään pyörittämällä säädintä. Säätovara on kuitenkin todella tarkka, koska pieni pyöräytys lähentää kitkavastusta huomattavasti. Myöskään varmuutta vastuksen riittämisestä akselin lukitsemiseen ei olisi. Säätoappi tulisi myös korkealle ja olisi säilytyksessä tiellä, jollei sitä aina rullaisi kokonaan irti.



Kuvio 13. Pyöritettävän kitkavastuksen malli

Polkupyörän levyjarrulla (ks. kuvio 14) akseli saadaan lukittua kokonaan. Jarrua säädetään polkupyörän jarrukahvan avulla, johon on asennettu säätöruuvi. Idea vaikutti toimivalta, mutta keskusteltuani protopajan ohjaajan kanssa sekä olemassa olevia

levyjarruja tutkiessani huomasi, että jarrulevyt olivat liian isoja tuotteeseen. Tämän takia levyjarru sekä jarrukenkien teline olisi täytynyt valmistaa itse. Myöskään varmuutta vastuksen säädön toimivuudesta ei ollut, sillä levyjarru ottaa kiinni nopeasti. Valmistuksen vaikeuden ja toimivuuden takia luovuin ideasta.



Kuvio 14. Levyjarrun malli

Tappilukitus oli helpoin toteuttaa sekä varmasti toimiva vaihtoehto akselin lukitsemiseen. Tappilukitus täytyy toteuttaa jousitapilla, jotta se olisi helppokäyttöinen ja tappi pakottaisi itsensä akselissa olevaan reikään. Tässä tapauksessa jouduttiin luopumaan vastuksen säädöstä, mutta se oli vain toive eikä ratkaiseva vaatimus laitteen toimivuuden kannalta.

### **Laitteeseen nouseminen**

Laitteeseen nousemisen päätin toteuttaa edessä olevilla rampeilla joihin peruutetaan pyörätuolilla, niin kuin Mclainissakin on tehty. Takaapäin tulevissa rampeissa ongelmaksi olisivat koituneet pyörätuolin eturenkaat, jotka olisi pitänyt saada jotenkin rullien yli. Hydraulinen nostin, joka nostaisi tasaiselle alustalle ajaessa pyörätuolin rullien mukana ylös, olisi ollut liian hankala ja vaikea toteuttaa.

## **Rullat**

Rulliin mietin kahdenlaista vaihtoehtoa, kahta akselin levyistä rullaa sekä neljää pienempää rullaa. Laitteesta tuli saada mahdollisimman kevyt, joten neljä pientä rullaa oli kevyempi vaihtoehto laitetta suunniteltaessa.

## **Runko**

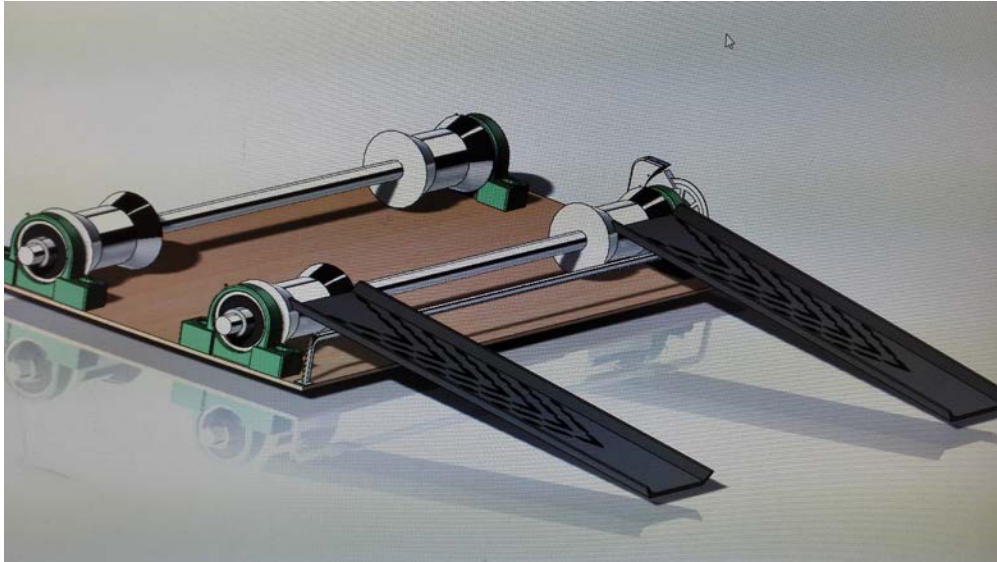
Rungossa päädyin pohjalevyyn. Laitetta pidetään lattialla, jolloin vain reunoilla olevat runkopalkit saattaisivat kuluttaa lattian pintaa. Puusta tehty pohjalevy oli kevyempi vaihtoehto kuin metalliset rungot. Pohjalevy-ratkaisu antoi myös enemmän säätövara prototyypin testauksiin ja kaikki osat oli helppo kiinnittää siihen pohjan läpi.

### **5.3 Yksityiskohtainen suunnittelu**

Kun kaikki osatoiminnot oli ratkaistu, aloin yhdistämään niitä yhdeksi toimivaksi kokoonpanoksi. Osatoimintoja en arvioinut painoarvotaulukon mukaan, koska muista ideoista luovuin jo niissä olevien ongelmien takia. Yksityiskohtaista suunnittelua olin aloittanut jo luonnosteluvaiheen ohessa mallintaen laitetta aina uusien ratkaisuideiden mukaan. Yksityiskohtia, kuten mittasuhteita ja mittoja, piti tarkentaa, jotta laite saatiin valmistettua suoraan oikean kokoiseksi ja mahdollisimman monille pyörätuoleille sopivaksi. Tässä vaiheessa päädyin kuitenkin pudottamaan urheilupyörätuolit pois kohderyhmästä ja mitoittamaan laitteen vain perinteisille pyörätuoleille sopivaksi, jolloin teoriaosiossa esitettyjen mittojen mukaan laitteen tuli toimia 550 - 750 mm leveille tuoleille.

Polkupyörille tarkoitetuissa harjoitusvastuksissa peräkkäin olevine rullien etäisyys toisistaan on 170 mm ja koska polkupyörien renkaat ovat yleensä 24 - 28 tuumaa ja pyörätuolin renkaat 24 tai 26 tuumaa, päädyttiin laite mitoittamaan samalla mitalla.

Tässä vaiheessa mallinsin kuvion 15 mukaisen mallin, josta laitteen ulkomuoto kävi selville.



Kuvio 15. Kehitysvaiheen malli

Laakereiksi valitsin pystylaakerin, koska se oli helppo kiinnittää pohjalevyyn suoraan. Rullatkin halusin saada valmiina osina, jottei niitä tarvitsisi valmistaa itse. Rullien muodon piti olla kiilamainen, jottei pyörä pääse karkaamaan niiden päältä. Tästä syystä venetela sopi hyvin tehtävään. Halusin ramppien olevan irti otettavissa, jotta laitetta olisi helpompi liikutella. Ramppien taakse suunnittelin koukut, joilla rampit kiinnitettäisiin laitteessa olevaan taivutettuun putkeen.

Rampin nousukulma sai korkeintaan olla 8 %, eli  $1/12,5$  (RaKMk, osa F1 2005). Rampin pituus piti laskea laitteen korkeuden mukaan käyttäen korkeinta mahdollista nousukulmaa. Laitteen korkeuden ollessa noin 80 mm saatiin etäisyys kertomalla  $60 \text{ mm} \times 12,5 = 750 \text{ mm}$ . Ramppien pituudeksi päätin 800 mm.

Laitteen lukitsemisen mahdollistavaa jousitappia yritin katsella valmiina, mutta sopivan kokoista ei löytynyt, joten siitäkin tehtiin mallinnukset, joiden pohjalta tappi val-



mistettiin. Tapin tuli painaa tappia akselissa olevaa reikää vasten muulloin, paitsi kun sen lukitsee yläasentoon. Tappi suunniteltiin rakennettavaksi viidestä osasta, jousesta, nupista, tapista sekä tapin ala- ja yläosaan tulevista holkeista. Tappiin tulisi uloke, jolla se saataisiin lukittua yläasentoon kuvion 19 mukaisesti. Kun tapissa oleva uloke kohdistetaan holkissa olevaan loveen, tappi painuu ala-asentoon ja lukitsee akselin.



Kuvio 16. Jousitappi

Harjoitusvastuksesta ja jousitapista tehtiin liitteinä 1-12 olevat osa- ja kokoonpanopiirustukset, joiden pohjalta tuote pystyttiin valmistamaan.

## 6 Prototyypin valmistaminen

Prototyypin aloin valmistamaan hankkimalla tarvittavat osat:

- Ø22 mm sinkittyä putkea, 1,5 mm seinämäpaksuus
- 4 kpl pystylaakereita
- 4 kpl veneteloja
- pohjalevy
- PVC-muovia
- alumiinista kyynellevyä.

Ensimmäisenä olin hankkinut 20mm halkaisijaltaan olevat pystylaakerit, mutta koska venetelojen sisähalkaisija olikin 22mm, päädyttiin putket ottamaan myöskin 22mm halkaisijalla ja valmistamalla putkien päihin 20mm sovitepalat. Putkiin päädyttiin niiden keveyden ja ruostumattomuuden takia. Putket otettiin mahdollisimman paksulla seinämällä, jotta ne varmasti kestäisivät niihin kohdistuvan painon. Putken päihin laitettavat sovitepalat sorvattiin toisesta päästä 16mm halkaisijaan, jotta pää saatiin putken sisälle. Sovitepaloja tehtiin neljä, kolme pienempää ja yksi isompi, johon pystytettiin kiinnittämään lukitustappi (ks. kuvio 17).



Kuvio 17. Sovitepalat

Sovitepalat kiinnitettiin putken päähän poraamalla putkeen reikä ja hitsaamalla pala reiän kohdalta kiinni. Akseleihin piti kiinnittää myös venetelat, jotka kiinnitettiin venetelan ja akselin läpi menevillä ruuveilla. Akselit kiinnitettiin pystylaakereihin, joiden

pohjalle täytyi lisätä muovista 20 mm korkeat korokkeet, jotta venetelat mahtuvat pyörimään vapaasti. Muoviin porattiin ruuvia varten läpäreikä ja toiselle puolelle hieman suurempi aukko, johon pystyttiin laittamaan mutteri, jota vasten ruuvi saatiin kiristettyä (ks. kuvio 18).



Kuvio 18. Korotusmuovi

Tässä vaiheessa myös kokeilin onko akseleiden etäisyys 170mm sopiva, koska varmaa tietoa etäisyyden toimivuudesta ei ollut. Testasin toimivuutta pyörätuolilla kuvion 19 mukaisesti.



Kuvio 19. Etäisyyden testaus

Etäisyyden testauksen jälkeen akselit kiinnitettiin puiseen aluslevyyn 170mm etäisyydelle toisistaan. Aluslevyyn kiinnitettiin myös ramppia varten rakennettu kiinnitysputki. Alkuperäisesti olin suunnitellut että putki taivutettaisiin päistä kaarelle, kuten kuviossa 20 näkyy.



Kuvio 20. Alkuperäinen rampin kiinnitysputki

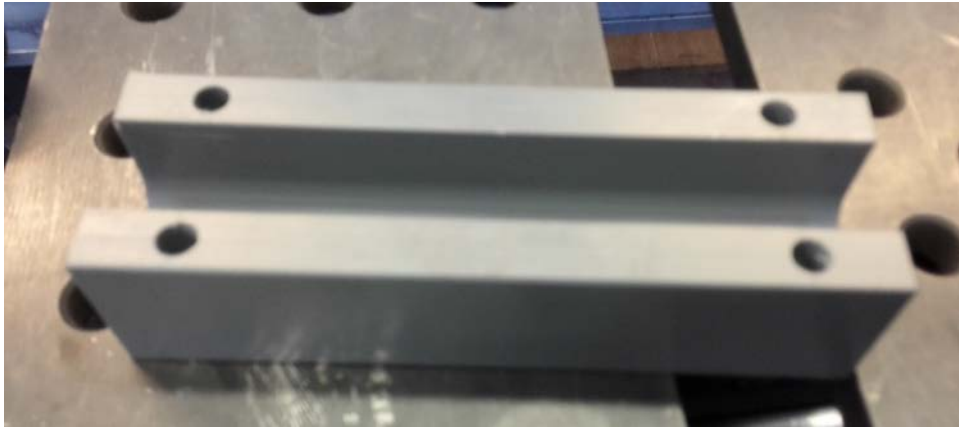
Kuitenkin osan valmistaminen olisi ollut hankalaa ja se olisi jouduttu tilaamaan erikseen. Näin toteutettuna osa olisi ollut siistimmän näköinen, mutta kustannus syistä

päädyttiin tekemään putken päihin vain korokkeet, joilla putki saatiin nostettua tarvittavalle korkeudelle kuvion 21 mukaisesti. Koroke rakennettiin kahdesta muovinpalasta joiden väliin putki kiinnitettiin. Muovien kiinnitys toteutettiin pystylaakerin korotuspalojen kiinnitys ruuvilla ja mutterilla.



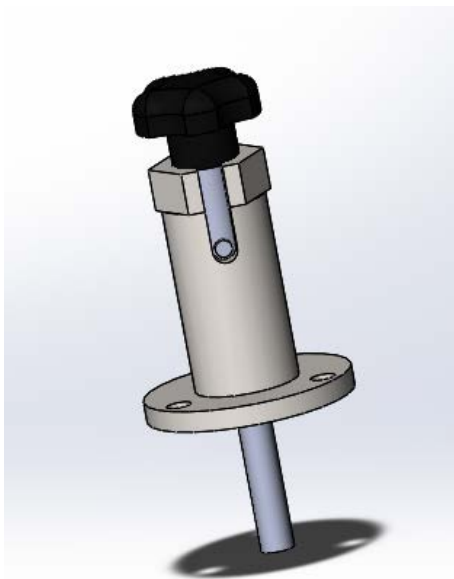
Kuvio 21. Prototyypin rampin kiinnitysputki

Rampit valmistettiin alumiinisesta kyynellevystä, koska alumiini on kevyttä ja levyissä olevilla kyynelillä saatiin nostettua kitkaa pyörätuolin ja renkaan välissä laitteeseen noustessa. Alumiinilevyn reunat särmättiin ylöspäin, jottei rengas pääsisi siitä luisumaan sivulle. Levyn särmäys myös vahvisti levyä, jottei ramppi taitu sille ajaessa. Ramppiin oli suunniteltu alumiinilevystä taivutettavat kaaret, joilla rampit kiinnitettäisiin putkeen. Tässä vaiheessa kaarista luovuttiin ja päädyttiin muovista koneistettuihin osiin, joilla rampit saatiin lukittua putkeen. Kaarista luovuttiin, koska niiden valmistaminen olisi ollut hankalaa ja muoviset holkit olivat myös esteettisesti paremman näköisiä. Holkeista tehtiin piirustukset ja ne vietiin koneistettavaksi. Valmistuneet kiinnikkeet kiinnitettiin ramppiin yläpuolelta tulevilla ruuveilla.



Kuvio 22. Rampin kiinnikeholkki

Lukitustappia lähdettiin rakentamaan kolmesta valmistettavasta osasta. Tapinholkin ylä- ja alaosa sorvattiin muotoonsa, jonka jälkeen ne vietiin koneistettavaksi, jotta niihin saatiin tehtyä lovi tapissa olevaa lukitusta varten (ks. kuvio 23). Tappiosa sorvattiin muotoonsa ja sen päähän tehtiin kierteet päähän kiinnitettävää tähtinuppia varten, jonka avulla tappi on helppo nostaa ylös. Osaan myös porattiin reikä johon hitsattiin ruuviosa, jonka avulla tappi saatiin lukittua yläasentoon.. Lukitustapille tehtiin myös koroke, jolla se saatiin asetettua korkeudelle akseliin nähden.



Kuvio 23. Jousitappi

Kaikki osat kiinnitettiin pohjalevyyn ruuveilla pohjalevyn läpi. Kun osat olivat kiinnitetty, huomasin kiinnitysruuvien kantojen jäävän hieman ulos levystä. Tämä olisi voinut aiheuttaa lattiapinnoille naarmuja, joten liimasin pohjaan vielä huonekaluhuopaa.

## 7 Tulokset

### 7.1 Testaus

Valmista prototyyppiä (ks. kuvio 24) testattiin, jotta löydettiin mitä hyvää ja mitä kehitettävää tuotteessa oli. Tulosten perusteella voitiin kehittää seuraavaa prototyyppiä. Testihenkilönä piti toimia minun sekä toimeksiantajan, mutta toimeksiantajan aikataulukiireiden takia tuloksiin saatiin vain minun huomioni.



Kuvio 24. Valmis prototyyppi

Omat huomioni:

- + Laitteen idea toimi. Siihen pääsi ja siitä pääsi pois, myöskin kelaus onnistui.
- + Rampit olivat sopivan pituiset, eikä laitteeseen nouseminen tuntunut raskaalta. Rampin lukitus oli helppokäyttöinen, rampin sai helposti asennettua ja poistettua.
- + Lukituksen käyttö onnistui helposti pyörätuolista kun laitteeseen oli noussut. Lukituksen sai helposti pois päältä. Kun lukituksen laitto takaisin lukitusasentoon, se haki nopeasti paikkansa ja lukittui.
- + Venetelojen leveyden ja ramppien liikuteltavuuden ansiosta harjoitusvastus sopi 450 mm – 750 mm leveille pyörätuoleille.
  
- Laite oli liian painava ja iso, jotta sen liikuttelemine olisi yksin ollut helppoa.
- Kelaus oli liian raskasta, rullat eivät pyörineet kevyesti vaan pysähtyivät heti jos kelaamisen lopetti. Kelaukseen joutui laittamaan myös paljon voimaa.
- Rullien takana ei ole mitään estettä, mikä estäisi kelaamisen rullien yli, joten peruuttaminen koko laitteen yli tuo riskin onnettomuudelle.



## 7.2 Tulosten tarkastelu

Testauksista ilmenneiden ongelmat olivat olennaisia laitteen toimivuuden ja turvallisuuden kannalta. Turvallisuuden isoin asia oli mahdollisuus kelata rullien yli, jolloin pyörätuoli voi kaatua taaksepäin. Kokeilujen perusteella se ei tapahdu helposti, mutta on kuitenkin mahdollista. Tämän ongelman saa kuitenkin korjattua helposti laitteen taakse asetettavilla esteillä. Laitteen koko ja paino haittasivat liikuteltavuutta, laite ei mahtunut sivuttaissuunnassa oviaukoista ja oli hyvin raskas nostaa pyörätuolissa ollessa kyytiin. Painoa laitteella oli yhteensä 23 kg, josta 16 kg itse laitteessa ja 7 kg rampeissa. Laitetta joutuikin siirtelemään osissa. Painoa saisi tiputettua vaihtamalla venetelat kevyempiin, sillä prototyypissä käytetyt olivat hyvin painavaa kumi-massaa teräskeskiöllä. Laitteen kokoa voisi myös pienentää, sillä hyvin harvat pyörätuolit ovat 750 mm leveitä, joten 600 mm riittäisi suurimmaksi etäisyydeksi.

Vastuksen säätö olisi mukava lisä laitteessa, mutta peruskunnon ylläpitämiseen ei välttämätön, joten yksinkertainen tappilukitus oli hyvin toimiva. Rampeihin ajo oli kevyttä ja niiden painoa ei voi laskea hirveästi ilman että lujuus tai pituus kärsii. Kuitenkin rampit voisivat olla hieman kapeammat, jolloin paino tippuisi. Kaventamalla rampit 180 mm:stä 120 mm:iin paino putoaisi noin 1,2 kg per ramppi, eli yhteensä 2,4 kg.

Harjoitusvastuksen rullauksen raskautta saisi mahdollisesti kevennettyä jakamalla painon useammalle laakerille, sekä käyttämällä vauhtipyörää. Vauhtipyörään varastoituisi liike-energiaa, joka jatkaisi liikettä vaikka pyörää ei pyörittäisi. Vauhtipyörän tulisi olla melko iso, jotta siihen varastoituisi tarpeeksi energiaa, joten laitteen korkeutta tulisi myös nostaa.

### 7.3 Riskianalyysi

Riskianalyysillä pyritään löytämään kaikki mahdolliset laite- ja materiaali- ja käyttövirheiden aiheuttamat vaaratekijät ja kartoittamaan niiden vaikutukset. Tekniikan alalla käytetään usein vika- ja vaikutusanalyysia FMEA:a (Failure Modes and Effects Analysis). Analyysia voidaan soveltaa prosesseihin, tuotesuunnitteluun, järjestelmiin sekä palveluihin. FMEA on systemaattinen keino kartoittaa riskejä vakavuuden, esiintyvyyden ja todennäköisyyden avulla. Analyysissa käydään kaikki komponentit yksi kerrallaan läpi. Vakavuuden, esiintyvyyden ja todennäköisyyden tulo muodostaa riskiluvun, jonka perusteella nähdään tarvitaanko korjaavia toimenpiteitä. Analyysi tulisi suorittaa 5-9 hengen ryhmässä parhaan tuloksen saavuttamiseksi, koska ryhmä näkee ongelmat monipuolisemmin kuin yksi henkilö. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 168–169.)

Vakavuus, esiintyvyys ja todennäköisyys arvioidaan asteikolla 1-10, kuvion 25 mukaisesti. Näiden kolmen tulosta saadaan RPN (risk priority number) luku, jonka mukaan päätetään tarvitseeko ongelmalle tehdä korjauksia ja kuinka vakava ongelma on. (SFS 5438. 2002)

<u>VAKAVUUSASTE</u>		<u>LÖYDETTÄVYYS</u>	
1	Ei mitään vaikutusta tuotteelle eikä käyttäjälle	1	Virhe havaitaan aina > 99,99 %
2	Erittäin vähäinen vaikutus tuotteeseen	2	Virhe havaitaan erittäin suurella todennäköisyydellä > 99,73 %
3	Vähäinen vaikutus tuotteeseen	3	Virhe havaitaan suurella todennäköisyydellä > 99 %
4	Erittäin pieni toimintahäiriö tuotteessa	4	Normaali todennäköisyys virheen löytymiselle > 98 %
5	Pieni toimintahäiriö tuotteessa	5	Pienehkö todennäköisyys virheen löytymiselle > 95,44 %
6	Tuotteen toimintahäiriö	6	Pieni todennäköisyys virheen löytymiselle > 93,5 %
7	Selvä toimintahäiriö tuotteessa	7	Hyvin pieni todennäköisyys virheen löytymiselle > 92 %
8	Suuri toimintahäiriö tuotteessa	8	Vähäinen todennäköisyys virheen löytymiselle > 90 %
9	Erittäin suuri toimintahäiriö tuotteessa/tuote ei toimi	9	Erittäin vähäinen todennäköisyys virheen löytymiselle > 68,26 %
10	Turvallisuus-/henkilövahinkoriski	10	Virheen löytyminen epätodennäköistä
<u>ESIINTYMISTODENNÄKÖISYYS</u>		<u>HYVÄKSYMISKRITEERIT</u>	
1	Esiintyminen epätodennäköistä 1:10 000	EI TOIMENPITEITÄ, KUN RPN < 50	
2	Hyvin pieni esiintymistiheys 1:5 000	VÄLITTÖMÄT TOIMENPITEET, KUN RPN 50 - 100	
3	Pieni esiintymismahdollisuus 1:2 000		
4	Melko pieni esiintymismahdollisuus 1:1 000	KORJAAVAT TOIMENPITEET, KUN RPN > 100	
5	Esiintyminen mahdollista 1:750		
6	Esiintyminen todennäköistä 1:500		
7	Esiintyminen hyvin todennäköistä 1:300		
8	Esiintyminen erittäin todennäköistä 1:200		
9	Esiintyminen toistuvaa 1:50		
10	Esiintyminen jatkuvaa 1:20		

Kuvio 25. FMEA:n arviointikriteerit (SFS 5438. 2002)

Tein pyörätuolin harjoitusvastuksesta FMEA vika- ja vaikutusanalyysin yksin, koska käytössä ei ollut ryhmää. Analyysissa pyrittiin selvittämään suurimmat komponenttien sekä käyttäjän virheistä aiheutuvat riskit. Riskeihin myös pyrittiin keksimään ratkaisuja ja arvioimaan riski uudelleen korjausten jälkeen. FMEA tulokset liitteenä 13, jossa V=vakavuus, T=todennäköisyys ja L=löydettävyys.

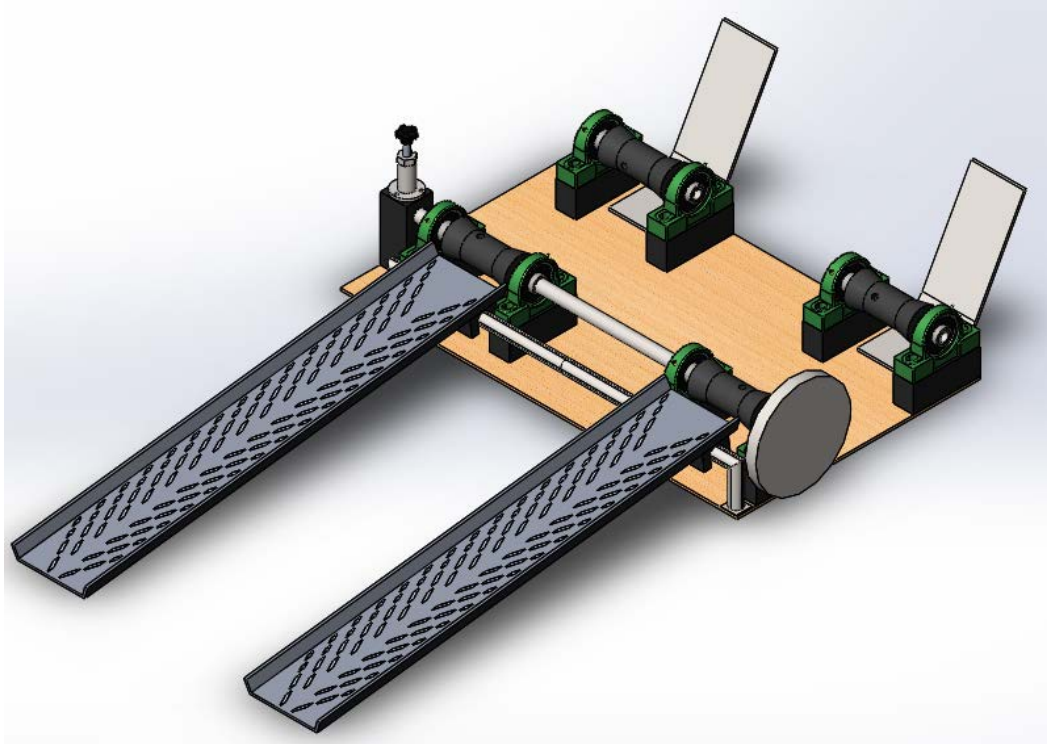
Riskianalyysissa ei tullut ilmi muita suuria riskejä kuin mahdollisuus peruuttaa rullien yli. Tähän ongelmakohtaan kehitettiin ratkaisu laitteen taakse asennettavilla suojoilla, jotka estävät peruuttamisen ylitse.

## 8 Jatkokehitys

### 8.1 Toinen prototyyppi

Ensimmäisen prototyypin testauksista saatujen tietojen perusteella mallinsin toisen prototyypin, missä ongelmiin on yritetty löytää ratkaisuja. Toisen malliin on rampien leveyttä kavennettu 120 mm:iin, mutta pituus pysyi samana. Myöskin laakerit korotettiin 50mm korkeuteen, jotta etuakselin päähän saataisiin vauhtipyörä. Vauhtipyörälle tuli painoa 4 kg, joka on hieman vähemmän kuin kuntopyörissä ja crosstrainereissa. XXL-sportin crosstrainereissa vauhtipyörä on 6-7 kg, jotta siihen saadaan varattua tarpeeksi liike-energiaa pyörimisen tasoittamiseksi. Vauhtipyörä nostaa myös koko laitteen painoa, joka haittaa liikuteltavuutta.

Laitteeseen lisättiin myös 4 laakeria, jotta jokainen tela tulisi omille laakereilleen, jolloin akselin taipuminen estettiin ja pyörimistä saataisiin paremmaksi. Takana telat olisivat täysin omilla akseleillaan, jolloin painoa saataisiin pudotettua. Edessä päädyin pitämään telat yhdellä akselilla, jotta laite pystyttäisiin lukitsemaan yhdellä jousitapilla. Prototyyppi 2 malli on kuviossa 26.



Kuvio 26. Prototyyppi 2 malli

## 8.2 Talousarvio

Ensimmäiseen prototyyppiin tarvittujen osien ja koneistusten pohjalta laskin alustavan talousarvion. Kalleimmiksi osiksi muodostuivat laakerit, jotka maksoivat 25 €/kpl. Myöskin rampin kiinnitysholkkien koneistus maksoi yhteensä n. 80 €. Muut metalli osat ja venerullat olivat suhteellisen halpoja. Kahdeksalla laakerilla pelkästään laakereiden hinnaksi tulisi 200 €. Ensimmäisen prototyypin yhteenlasketut materiaalikustannukset olivat noin 250 €, joten toisen prototyypin hinnaksi muodostuisi noin 350€-400 € pelkästään materiaalikustannuksista.

## 9 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa prototyyppi pyörätuolin harjoitusvastuksesta toimeksiantajan Suomen Vammaisurheilu ja –liikunta ry:n toiveitten mukaan. Laitteen tuli olla käyttäjän käytettävissä ja liikuteltavissa ilman avustajaa. Tuotteen tuli olla käytettävissä ilman erillistä sähkövirtaa. Suunnittelin laitteen prototyypin ja suunnitelmien pohjalta rakensin prototyypin. Testasin myös prototyyppiä ja sen pohjalta alustavasti suunnittelin prototyypin 2. Suunnittelussa täytyi ottaa huomioon käyttäjän vaatimuksia, kuten pyörätuolin koko ja laitteen liikuteltavuus pyörätuolista käsin.

Suunnittelussa pyrin käyttämään geneeristä tuotekehitysmenetelmää, kuitenkin alusta asti lähdin suunnittelua viemään eteenpäin samalla tavalla kuin aikaisemmissa tuotekehitysprojekteissa, jossa olen ollut mukana. Aina tuotekehitysprojektin alussa on tutkittu olemassa olevia tuotteita ja kilpailijoita, joiden pohjalta tuotetta on aloitettu kehittämään. Vaikka tuotekehitysprojekteissa on ollut käytössä eri tuotekehitysmenetelmiä, on kaikki noudattanut kuitenkin hyvin pitkälle samaa kaavaa.

Ensimmäistä prototyyppiä suunnitellessa oli hankalaa keksiä ideoita minkä pohjalta tuotetta lähti ideoimaan. Ideoiden syntymiseen olisi auttanut työryhmä, jossa kaikki olisivat olleet kiinnostuneita tuotteen kehittämistä, jolloin ideoita olisi saatu mahdollisesti enemmän ja niitä olisi pystytty käsittelemään yhdessä. Tässä työssä ideoin ja suunnittelin pääsääntöisesti yksin, vaikkakin keskustelin ideoista opettajien ja oppilastovereiden kanssa lisäideoiden toivossa. En olisi halunnut lähteä työssä tekemään lähes samanlaista laitetta, kuin Mclainin harjoitusvastus oli, mutta vaikka pitkään mietin vaihtoehtoista ratkaisua, en keksinyt ideaa millä laitteelle asettamat kriteerit olisi täyttynyt paremmin.

Suunnitellessani laitetta suurimmaksi ongelmaksi muodostui kuitenkin lukitus. Tuotteelle olisi tuonut lisäarvoa säädettävä vastus, mutta säädettävien vastuksien lisäksi

tuotteeseen olisi luultavasti tarvinnut kuitenkin lukituksen, jolla pyörimisen sai lukitua kokonaan pois. Tämän ongelman ratkaisemiseen käytin liian pitkään aikaa verrattuna suunniteltuun ja loppujen lopuksi päädyin yksinkertaiseen tappilukitukseen, joka oli loppujen lopuksi mielestäni hyvä ratkaisu prototyyppiin.

Prototyypin valmistuksessa opin mielestäni eniten uutta. Opin sorvausta, hitsausta sekä tarkkuutta. Itseäni yllätti, kuinka pieni noin kymmenesosa millin heitto saattoi vaikuttaa niin paljon laitteen toimivuuteen, kuten akselin toimimiseen laakerissa. Prototyypin teossa myös huomasin, että näin moni osaisessa laitteessa olisi pitänyt miettiä kaikki osat ja etäisyydet tarkemmin ennen prototyypin rakentamista, sillä joitain osia jouduin muuttamaan tai kasvattamaan suunnitelmaan nähden. Prototyypin teossa opin myös mistä erilaisia osia ja koneistamisia kannattaa lähteä etsimään.

Itse prototyyppiin en ollut täysin tyytyväinen, vaan olisin halunnut saada siitä paremmin toimivan, vaikkakin harvoin ensimmäinen prototyyppi on lähelläkään lopullista tuotetta. Prototyypissä olen tyytyväinen, että teknisesti se toimi ja lukitus oli toimiva. Pettynyt olen laitteen liialliseen painoon ja varsinkin kelauksen raskauteen. Jälkimmäinen oli mielestäni niin suuri ongelma, ettei tätä prototyyppiä kannattanut vielä testata isommalla käyttäjäryhmällä, koska laitteen käyttömukavuus kärsi raskaudesta paljon. Muut miettimäni osatoiminnot olivat toimivia, paitsi rullaus, joten sitä tulisi kehittää. Tästä syystä kehittelemme prototyypin 2, jossa kelauksen raskautta ratkaistiin vauhtipyörällä ja jakamalla painoa useammalle laakerille. Laakereiden laatuunkin voisi panostaa ja valita paremmin rullaavat vastukset. Jos prototyypin 2 ratkaisut eivät toimisi, voisi ratkaisua hakea koko akselin levyisillä rullilla.

Prototyypin 2 oli helppo mallintaa vain muuttamalla ensimmäisen prototyypin mittoja. Uskon, että laitetta tulisi kehittää paljon, ennen kuin se olisi valmis markkinoille. Voi olla, ettei olemassa olevilla kriteereillä laitetta pysty edes suunnittelemaan toimi-

vaksi, vaan joistakin kriteereistä täytyisi luopua. Laitteen voisi esimerkiksi suunnitella kuntosalikäyttöön, jolloin laitteen painolla ei olisi väliä.

Laitteen testaamisesta käyttäjällä, eli tässä tapauksessa toimeksiantajalla olisi saatu lisäarvoa tuotteen käyttöön liittyvistä ongelmista. Toisaalta uskon, että löysin itsekin suurimmat ongelmakohdat, mutta käyttäjällä on tietenkin toisenlainen näkemys laitteeseen, joten lisäarvoa testi olisi tuonut.

Lopputuloksena kuitenkin opin miten tuotekehitystä tehdään yksin, kun ei ole työryhmää jonka kanssa jakaa vastuuta. Opin myöskin prototyypin valmistuksesta, valmistustavoista ja siitä, miten ne pitää ottaa huomioon tuotetta suunniteltaessa.

## Lähteet

Cook, N. 2015. How to ride rollers. Artikkelin BikeRadar:in sivustolla 06.10.2014. Viitattu 7.12.2015 <http://www.bikeradar.com/road/gear/article/how-to-ride-on-rollers-28631>.

Hietikko, E. 1996. Tietokoneavusteinen tuotesuunnittelu. Espoo: Otatieto.

Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. Espoo: Books on Demand.

Hooks, I & Farry, K. 2001. Customer-centered products: Creating successful products through smart requirements management. New York: American Management Association.

Introduction to User-Centered Design. N.d. Artikkelin Usabilityfirst-Internet-sivustolta. Viitattu 17.4.2016. <http://www.usabilityfirst.com/about-usability/introduction-to-user-centered-design>.

Jokinen, T. 1999. Tuotekehitys. Espoo: Otatieto.

Karjalainen, Tanja & Karjalainen, Eero. 2002. Six Sigma, Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenelmä. Hollola: Salpausselän Kirjapaino Oy

Käyttöliittymät ja käytettävyys. 2015. Aalto-yliopiston luentomateriaali 28.5.2015. Viitattu 17.04.2016. <http://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/42664/course/section/17304/CSE-C3800-arviointi-Riihiho-2015.pdf>.



Liikkuminen 2014 Pyörätuolit ja mopot. Respectan pyörätuolikuvassto. Viitattu 2.1.2016. [http://respecta.digipap.eu/Respecta\\_2014/Liikkuminen\\_pyoratuolit\\_ja\\_mopot\\_2014/index.html#1/z](http://respecta.digipap.eu/Respecta_2014/Liikkuminen_pyoratuolit_ja_mopot_2014/index.html#1/z).

Mclain wheelchair rollers. N.d Tuotteen mainos Riverfront cycles-sivustolla. Viitattu 7.12.2015 <http://riverfrontcycle.com/product/mclain-wheelchair-rollers-2231.htm>.

New wheelchair simulator propulsion curved paths. N.d. Artikkele Substance ETS:än verkkosivuilla. Viitattu 17.04.2016. <http://substance-en.etsmtl.ca/new-wheelchair-simulator-propulsion-curved-paths/>.

Satori Smart trainer, harjoitusvastus. N.d. Mainos XXL:n sivuilla. Viitattu 20.12.2015. [https://www.xxl.fi/tacx-tacx-flow-harjoitusvastus/p/1059350\\_1\\_style](https://www.xxl.fi/tacx-tacx-flow-harjoitusvastus/p/1059350_1_style).

SFS 5438 Järjestelmän luotettavuuden analysointimenetelmät eli vika-vaikutusanalyysi. 2002. Artikkele Metropolian sivuilla. Viitattu 12.05.2016. <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=108375219>

SFS-EN ISO 9241-210. 2011. Esittelyteksti SFS:n verkkokaupassa. Viitattu 17.04.2016. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/9/169960.html.stx>.

Sport wheelchairs. N.d. Urheilupyörätuolit PT-keskuksen-sivustolla. Viitattu 2.1.2016 <http://www.ptkeskus.fi/english/urheilu-pyoratuolit.html>.

RakMk, osa F1. 2005. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Esteetön rakennus, määräykset ja ohjeet. Otteita esteeton.fi-sivustolla. Viitattu 23.03.2016. [http://www.esteeton.fi/portal/fi/rakennettu\\_ymparisto/luiskat\\_portaat\\_ja\\_kasijoh-teet/luiskat/](http://www.esteeton.fi/portal/fi/rakennettu_ymparisto/luiskat_portaat_ja_kasijoh-teet/luiskat/).

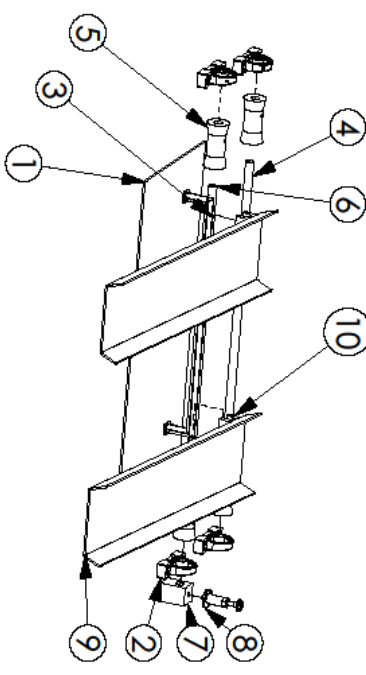
Ulrich, K. & Eppinger, S. 2012. Product design and development. New York: McGraw-Hill.

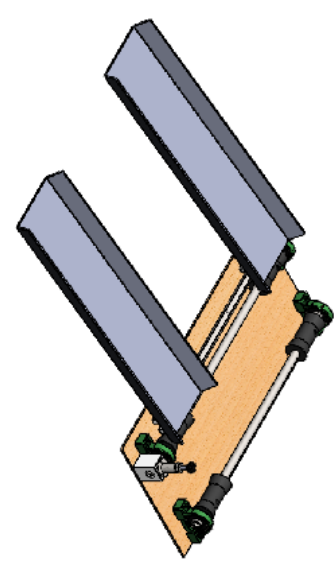
Weiss, S. 2013. Product and Systems Development : A Value Approach. New Jersey:  
John Wiley & Sons.

Yleisesti VAU:sta. N.d Suomen Vammaisurheilu ja –liikunta ry:n esittely. Viitattu  
7.12.2015. [Http://www.vammaisurheilu.fi/mika-on-vau/yleisesti-vausta](http://www.vammaisurheilu.fi/mika-on-vau/yleisesti-vausta).

## Liitteet

### Liite 1. Harjoitusvastuksen kokoonpano



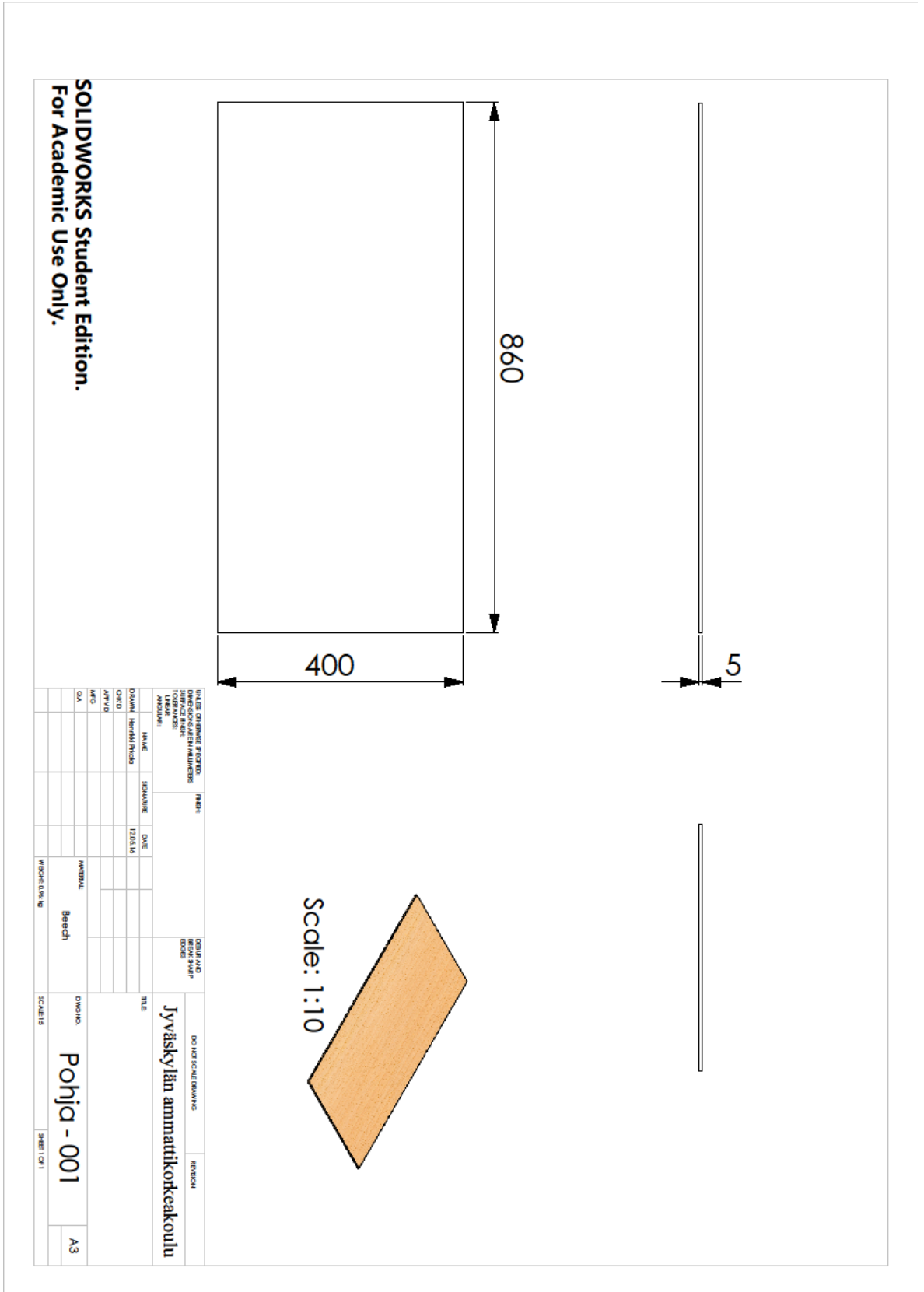


**SOLIDWORKS Student Edition.**  
For Academic Use Only.

Numero	Osa	Huom	Kpl
1	Pohja		1
2	Bearing unit FKP204	Pystylaakeri 22mm	4
3	Rampin akseli		1
4	Taka akseli		1
5	Tela	Venetela	4
6	Etu akseli		1
7	Joustitapinkoroke		1
8	Joustitappi	Joustitapin kokoonpano	1
9	Ramppi_sheetmetal		2
10	Rampinholkki		2

TITLE BLOCK NAME: <b>Jyväsken ammattikorkeakoulu</b> DATE: <b>12.05.16</b> DRAWN: <b>shimsh/mak</b> CHECKED: <b>shimsh/mak</b> APP'D: <b>shimsh/mak</b> ENG: <b>shimsh/mak</b> QA: <b>shimsh/mak</b> WEIGHT: <b>14.45kg</b>		DRAWING SCALE: <b>1:1</b> SHEET NO: <b>1</b> SHEET TOTAL: <b>1</b>
---	--	--

Liite 2. Pohjalevyn osapiirustus







Liite 5. Etuakselin osapiirustus

$\text{Ø} 6 H10 \begin{pmatrix} +0.05 \\ 0 \end{pmatrix}$

850

85

$\text{Ø} 10 H10 \begin{pmatrix} +0.06 \\ 0 \end{pmatrix}$

135

20

$\text{Ø} 22$

$\text{Ø} 16$

Scale: 1:2

Scale 1:5

TUULIS OJAVENNE ETICENO					JYVÄSKYLÄN AMMATIKKOPEAKOULU		
DIMENSIONAALIN KÄYTTÖ					DIPLOMI- JA KOKKOPISTO		
TILITUNNUS					TILITUNNUS		
LUVONNIMIKKE					LUVONNIMIKKE		
DRAWN	NAME	SCALE	DATE				
	HEIKKI RÄIKÖ		12.20.16				
DATE							
APPD							
QA							

SCALE: 1:5

SCALE: 1:2

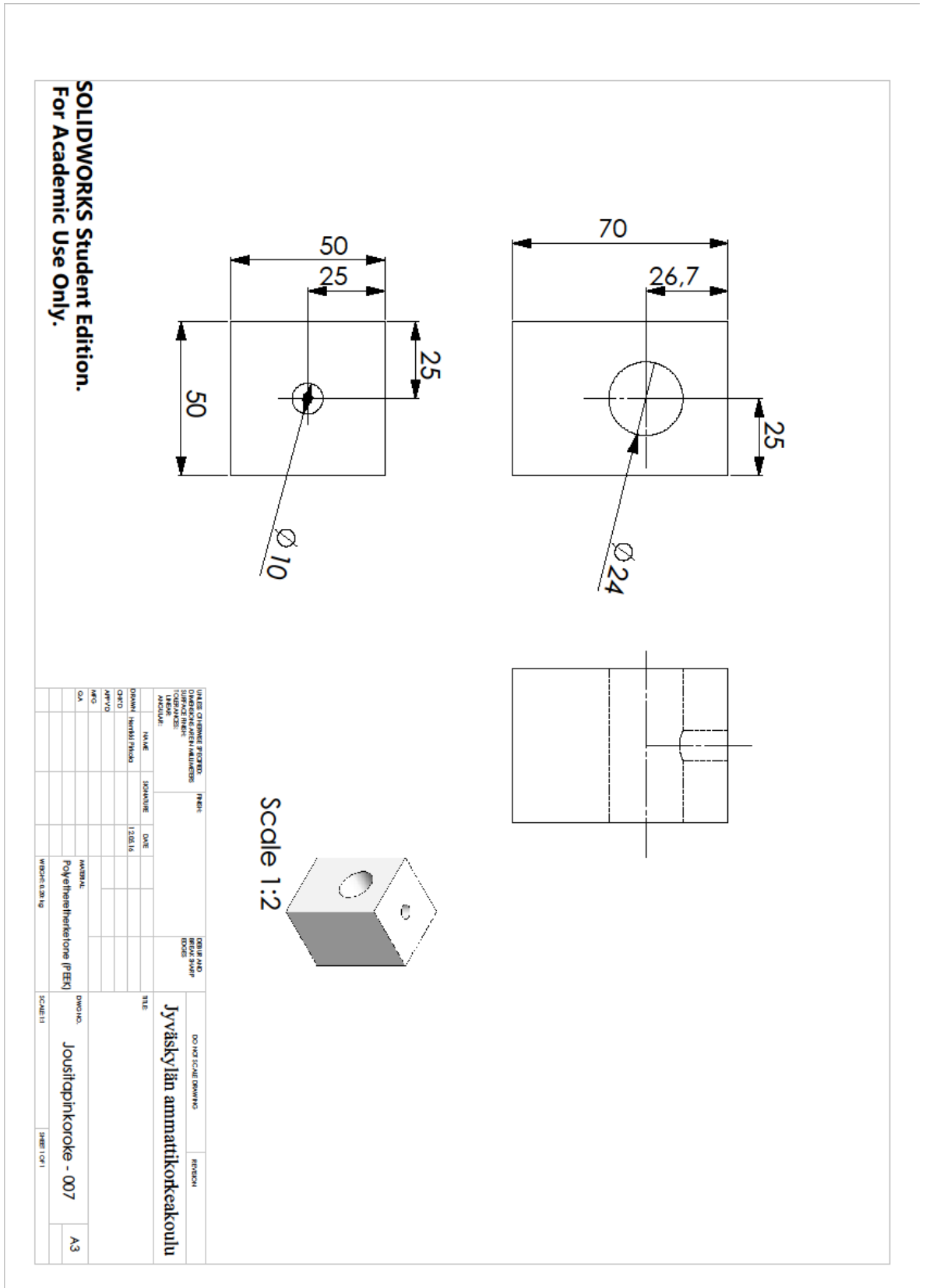
DWG NO: Etuakseli - 006

SHEET 1 OF 1

A3

SOLIDWORKS Student Edition.  
For Academic Use Only.

## Liite 6. Jousitapin korokkeen osapiirustus

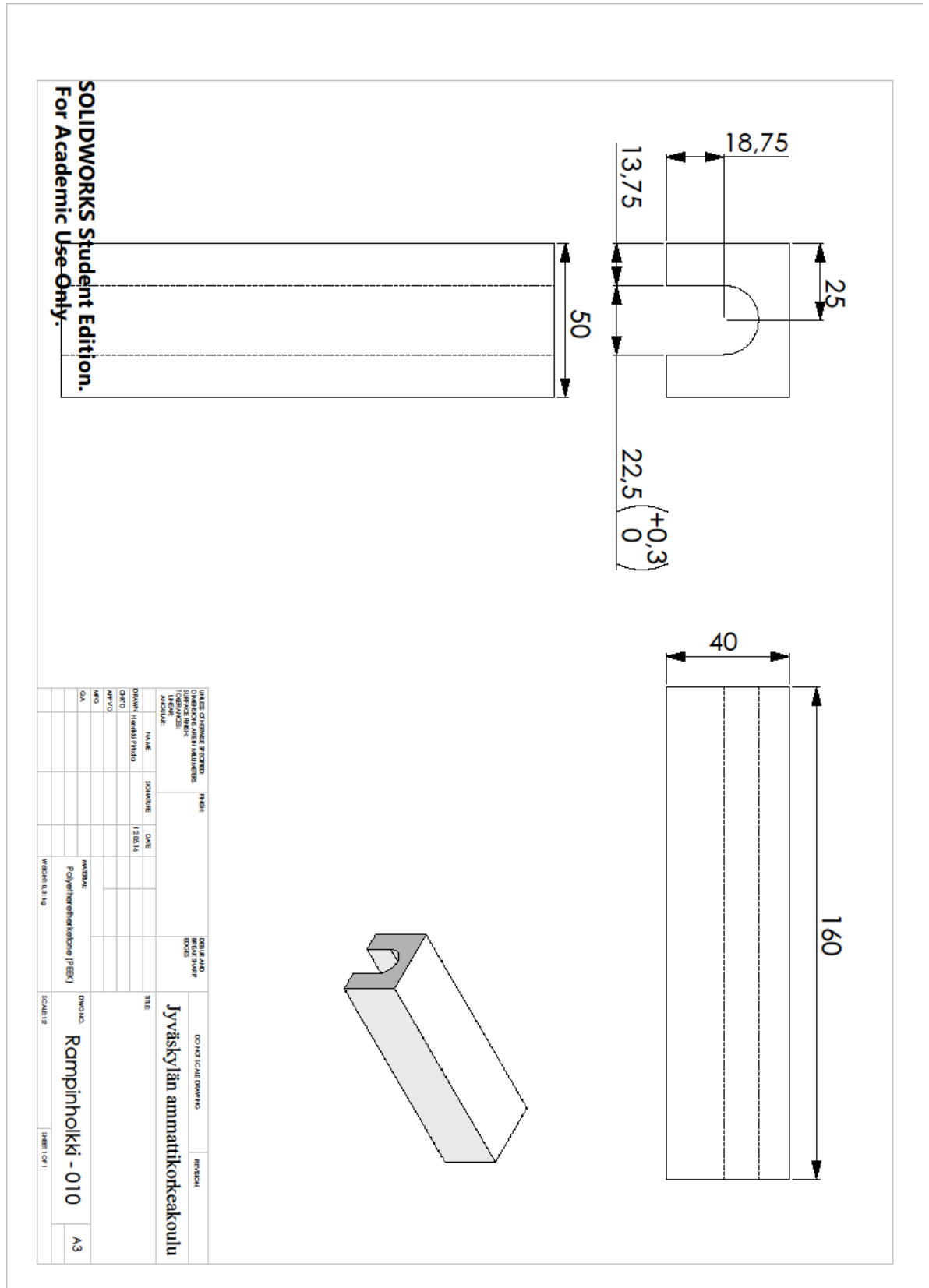








Liite 9. Rampin holkin osapiirustus



SOLIDWORKS Student Edition.  
For Academic Use Only.

Liite 10. Jousitapin alapalan osapiirustus

20

17.32

10

Ø8

Ø9

2.50

6 (+0.3/0)

10

50

45

M16

Ø16

Ø25

Ø50

32

Scale 1:1

**SOLIDWORKS Student License**  
 Academic Use Only

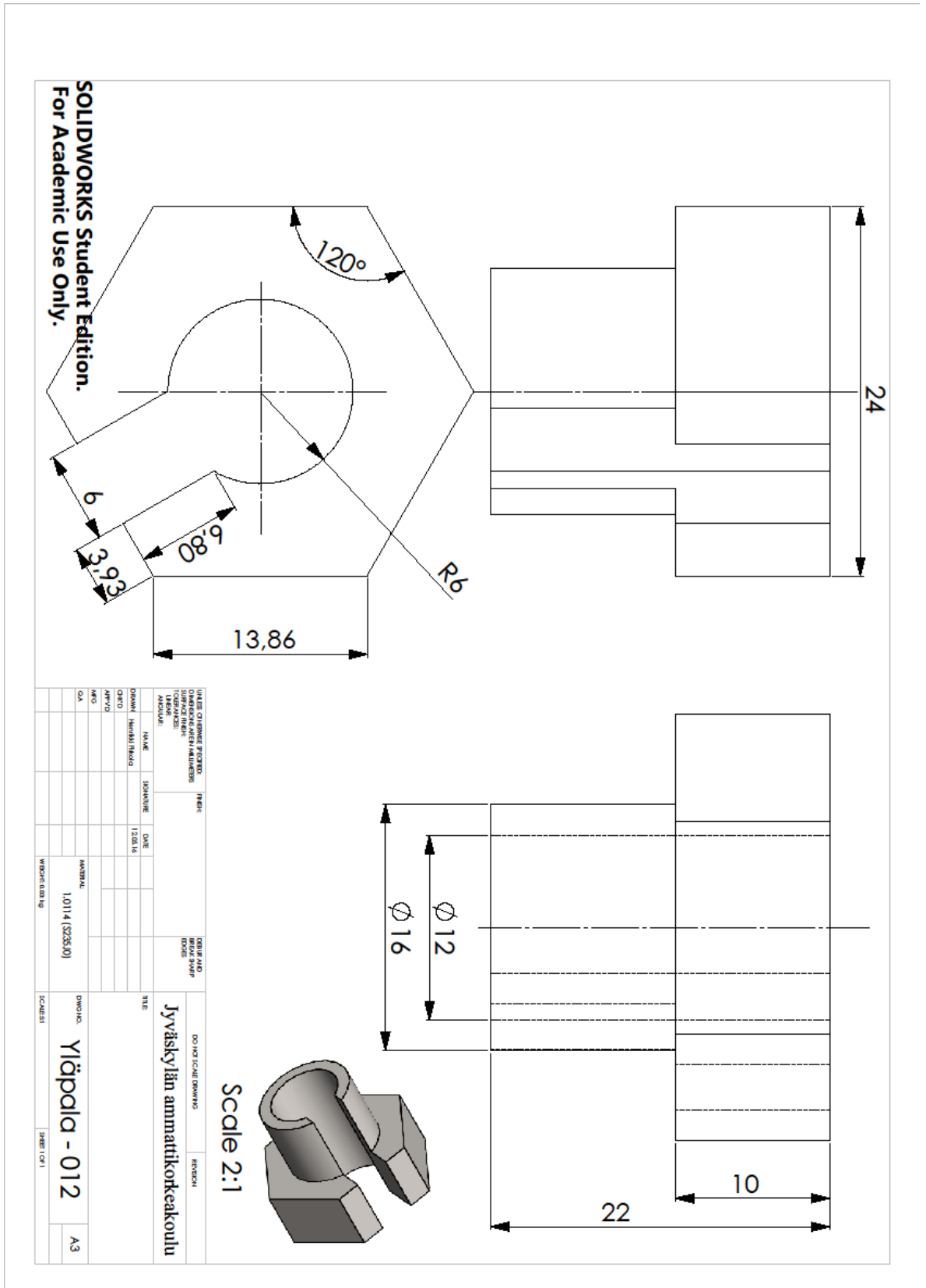
SUUNNITTELIJAN TIEDOT			PIIRUSTUKSEN NIMENKORTTI		
TEKIJÄ	AMMATTIKOKOULUN NIMI	OSASTO	PIIRUSTUKSEN NIMI	MÄÄRÄ	MÄÄRÄ
TOIMITUS	AMMATTIKOKOULUN NIMI	OSASTO	PIIRUSTUKSEN NIMI	MÄÄRÄ	MÄÄRÄ
YHTIÖ	AMMATTIKOKOULUN NIMI	OSASTO	PIIRUSTUKSEN NIMI	MÄÄRÄ	MÄÄRÄ
PAIKKA	AMMATTIKOKOULUN NIMI	OSASTO	PIIRUSTUKSEN NIMI	MÄÄRÄ	MÄÄRÄ
ALUE	AMMATTIKOKOULUN NIMI	OSASTO	PIIRUSTUKSEN NIMI	MÄÄRÄ	MÄÄRÄ
MAA	AMMATTIKOKOULUN NIMI	OSASTO	PIIRUSTUKSEN NIMI	MÄÄRÄ	MÄÄRÄ

OSASTON NIMI: **Jyväskylän ammattikorkeakoulu**

OPIN NIMENKORTTI: **Alappala - 011**

MÄÄRÄ: **A3**

Liite 11. Jousitapin yläpalan osapiirustus



Liite 12. Jousitapin tapin osapiirustus

The technical drawing shows a spring pin with the following dimensions:

- Total length: 105
- Distance from left end to the start of the second diameter section: 40
- Distance from the start of the second diameter section to the right end: 60
- Section 1 (left): Diameter  $\varnothing 8$ , length 40
- Section 2: Diameter  $\varnothing 16$ , length 20
- Section 3: Diameter  $\varnothing 10$ , length 40
- Section 4 (right): Diameter  $\varnothing 4$ , length 30
- Thread: M10
- End chamfer: 7

A 3D perspective view of the pin is shown below the drawing, labeled "Scale 1:1".

**SolidWorks Student Edition**  
For Academic Use Only.

FILE	NAME	STATUS	DATE	MATERIAL	WORK IN ING	SCALE	SHEET
DESIGN	Tapin osapiirustus		12.02.16	1.01114 (S235J0)		1:1	1 of 1
CHGO							
APPRO							
QA							

DO NOT SCALE DRAWING

Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Tappi - 013

A3

## Liite 13. Vika- ja vaikutusanalyysi

<b>Komponentti/ käyttäjän virhe</b>	<b>Vian syy</b>	<b>Seuraukset</b>	<b>V</b>	<b>T</b>	<b>L</b>	<b>RPN</b>	<b>Toimenpiteet</b>	<b>V</b>	<b>T</b>	<b>L</b>	<b>RPN</b>
Jousitappi	Ei lukitse akselin pyörimistä	Laitteesta ei pääse pois	6	1	1	6	Ei vaadittavia toimenpiteitä				
Laakerit	Laakerin pyöriminen estyy	Laitteella ei pystytä harjoittamaan kelausta	9	1	1	9	Ei vaadittavia toimenpiteitä				
Rampin kiinnitys	Rampin kiinnitys irtaooa tai vioittuu	Ramppi luisjahtaa paikaltaan ja pyörätuoli kaatuu	10	1	1	10	Ei vaadittavia toimenpiteitä				
Käyttäjä kelaaa rullien ohi	Rampit ovat olleet väärällä kohdalla	Pyörätuoli kaatuu	10	2	1	20	Käyttäjän ohjaus				
Laitteen siirtely	Huono nostoasento	Selkä voi venähtää	10	4	1	40	Opastusta nostotekniikkaan, laitteen keventäminen				
Kelaaminen rullien yli	Käyttäjä ei ollut varovainen	Pyörätuoli kaatuu selällään	10	5	4	200	Laitteen taakse asetettavat yllirullaus estot.	10	1	1	10
Nouseminen laitteeseen etuperin	Käyttäjää ei ole opastettu	Pyörätuoli kaatuu eteenpäin	10	2	1	20	Käyttäjän ohjaus				
Laitte naarmuttaa lattiaa	Laitteen siirtely	Lattiaan tulee naarmuja	5	4	2	40	Pohjalevyn kiinnitetään alle kumimattoa				