



TEKNIikka JA LIKENNE

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotesuunnittelu

INSINÖÖRITYÖ

LASTEN LÄÄKINNÄLLISEN APUVÄLINEEN TUOTEKEHITYS

**Työn tekijä: Antti Berghem
Työn ohjaaja: Tomi Ropanen
Työn ohjaaja: Jonas Forss**

Työ hyväksytty: ____ . ____ . 2010

**Tomi Ropanen
projektipäällikkö**



ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön valmistumiseen ovat merkittävästi vaikuttaneet seuraavat henkilöt, ja haluan tässä vilpittömästi kiittää:

Työni ohjaajaa projektipäällikkö Tomi Ropasta, saamastani ohjauksesta.

Luonnontieteiden kandidaatti Sofia Uroa saamastani avusta.

Haluan myös kiittää muita Metrocket-projektissa mukana olleita.

Helsingissä 24.11.2010

Antti Berghem

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Antti Berghem	
Työn nimi: Lasten lääkinällisen apuvälineen tuotekehitys	
Päivämäärä: 24.11.2010	Sivumäärä: 33 s. + 9 liitettä
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tuotesuunnittelu
Työn ohjaaja: Tomi Ropanen, projektipäällikkö	
Työn ohjaaja: Jonas Forss, projekti-insinööri	
<p>Tässä opinnäytetyössä perehdytään lapsille suunnatun kuntouttavan apuvälineen tuotekehitysprosessin aloittamiseen ja mekanismisuunnitteluun. Työssä tutustutaan myös kuntoutuksen ja apuvälineiden käsitteisiin.</p> <p>Suunnittelun vaiheet on pyritty esittelemään selkeästi ja järjestelmällisesti. Asiakaslähtöisen tuotekehitysmallin mukaan työssä liikutaan tiedonhankinnan kautta asiakastarpeiden kartoitukseen ja siitä vaatimuslistan kautta laatutarkasteluun. Tämän jälkeen esitellään erityyppiset mekanismikonseptivaihtoehdot, joista yhtä esitetään perustellusti ongelman ratkaisuksi.</p>	
Avainsanat: Kuntoutus, apuväline, tuotekehitys	

ABSTRACT

Name: Antti Berghem	
Title: Product Development of Children's Medical Aid	
Date: 24th November 2010	Number of pages: 33 + 9
Department: Mechanical Engineering	Study Programme: Product Design
Instructor: Tomi Ropanen, Project Manager	
Supervisor: Jonas Forss, Project Engineer	
<p>The goal of this graduate study was to explore, design and develop a new medical aid for children. This work was carried out for the Metrocket development project. This graduate study also gets deals with the concepts of rehabilitation and rehabilitative technical aids.</p> <p>This graduate study is based on a survey designed to reveal customer needs and on the basis of the results a list of requirements was drafted. After that Quality Function Deployment (QFD) was used for integrating customer requirements into product design. A special effort has been made to present the different steps of the design process as clearly as possible.</p> <p>In the end the graduate study introduces different kinds of mechanism concepts. One of these is presented with arguments as a solution.</p>	
Keywords: Rehabilitation, technical aid, product development	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	HANKKEEN ESITTELY	2
2.1	Rocket	2
2.2	Metrocket	2
2.3	Lasten apuvälinekonsepti	3
3	AIHEESEEN TUTUSTUMINEN	4
3.1	Selkäydinkohju ja hydrokefalia	4
3.1.1	<i>Selkäydinkohju</i>	4
3.1.2	<i>Hydrokefalia</i>	5
3.1.3	<i>Suunnittelun lähtökohtia</i>	5
3.2	Kuntoutus	6
3.2.1	<i>Lääkinnällinen kuntoutus</i>	6
3.2.2	<i>Leikki-ikäisten kuntoutus</i>	7
3.3	Apuväline	7
4	PROJEKTIN ALOITUS	8
4.1	Benchmarking	10
4.2	Vierailut ja haastattelut	11
4.2.1	<i>Lastenlinna</i>	11
4.2.2	<i>SOLIA</i>	12
4.2.3	<i>Kilon päiväkot</i>	12
4.2.4	<i>Apuvälinetekniikan messut</i>	13
4.3	Vaatimuslista	14
4.4	Quality Function Deployment – QFD	16
5	KONSEPTI-IDEAT	19

5.1	Konseptien analysointi	20
5.2	Kuolokohdat	21
5.3	Konsepti 1	22
5.4	Konsepti 2	24
5.5	Konsepti 3	26
5.6	Konsepti 4	27
6	RATKAISUEHDOTUS	29
7	YHTEENVETO	31
	VIITELUETTELO	32
	LIITTEET	33

1 JOHDANTO

Tämä insinööriyö käsittelee lapsille suunnatun kuntouttavan apuvälineen tuotekehitysprosessia. Työ tehtiin Metrocket tutkimus- ja kehityshankkeelle Tomi Ropasen ehdotuksesta.

Työn tavoitteena oli selvittää leikki-ikäistenlasten yksilöllisen apuvälineen suunnittelu- ja kehitysvaiheita tuotekehitysprosessin aloittamisen ja mekaniikkasuunnittelun osalta. Lisäksi tavoitteena oli kehittää mekanismikonsepteja, joita voitaisiin käyttää laitteen liikuttamiseen.

Tavoitteena oli kehittää kuntouttava apuväline MMC-lapsille. Tällaisia laitteita ei ennestään ole markkinoilla. Tuotteen tarkoituksena on olla apuna MMC-lapsen kuntoutuksessa ja elämänlaadun kohentamisessa. Kehitysprosessin aikana huomattiin, että tuote soveltuu myös muille leikki-ikäisille lapsille.

Insinööriyö rakentuu kolmesta osa-alueesta. Alussa esitellään tuotekehitysprosessin alkutoimenpiteitä ja apuvälineen kriteereitä. Keskivaiheilla esitellään erilaisia mekanismiehdotuksia laitteen käyttöön. Lopuksi esitellään ratkaisuehdotus mekanismista apuvälineen liikuttamiseen.

2 HANKKEEN ESITTELY

Opinnäytetyö tehtiin Metrocket-hankkeelle, joka on Rocket-hankkeen osahanke.

2.1 Rocket

Rocket-hanke on Päijät-Hämeen liiton ja Euroopan aluekehitysrahaston rahoittama. Tarkoituksena on kehittää metalli- ja koneteknologia-alan yritysten innovaatiotoimintaa ja kansanvälistymistä. Hankkeen kokonaisbudjetti on noin 1,6 miljoonaa euroa. Hanke päättyy vuonna 2012. Rocket-hankkeessa on mukana Metropolian lisäksi Hämeen, Saimaan, Turun, Kymeenlaakson ja Laurea-ammattikorkeakoulut sekä Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [1.]

2.2 Metrocket

Metrocket on vuonna 2009 aloitettu tutkimus- ja kehityshanke. Se on osa Rocket-hanketta. Ajatuksena oli toteuttaa monialainen tuotekehitysprojekti kahdelle erityyppiselle tuotteelle, luoden samalla toimintamalleja ja tuotekehitystyökaluja yritysten sekä koulujen yhteistoiminnalle tuotekehitysprosesseissa. Tämä tutkimus- ja kehityshanke on mitoitettu kolmevuotiseksi. [2.]

Metrocket jaettiin alkuselvitysten jälkeen kahteen projektiin. Tiimi jakautui ikääntyvien ja lasten apuvälinekonseptien kehittämiseen. Monialaiset tiimit koostuivat eri alojen opiskelijoista. Tarkoituksena oli saada etua monialaisesta yhteistyöstä. Tiimien tarkoituksena oli toteuttaa tuotekehitysprojektit yhteistyössä partneriyritysten kanssa. Molemmissa tiimeissä oli muotoilun, apuvälinetekniikan, markkinoinnin sekä kone- ja tuotantotekniikan opiskelijoita. Lisäksi tiimien toimintaa olivat tukemassa tutor-opettajat samoilta aloilta.

2.3 Lasten apuvälinekonsepti

Lasten apuvälinekonsepti on toinen Metrocket-hankkeen projekteista. Tiimin tavoitteeksi määritettiin suunnitella uusi monipuolinen leikki-ikäisten lasten kuntouttava apuväline, joka leikin kautta innostaisi lasta käyttämään sitä. Idea jalostui projektin edetessä, mutta alkuselvityksessä ilmeni, ettei leikki-ikäisille liikuntarajoitteisille lapsille juurikaan ole tarjolla liikkumista kehittäviä leluja tai harrastevälineitä.

Aiheeseen tutustuttaessa selvisi, että erikoisvälineiden hinnat olivat korkeat ja niiden saatavuus on rajoitettu. Kävimme tutustumiskäynnillä Lastenlinnassa, joka on lasten sairaala Helsingin Töölössä ja SOLIAssa, joka tarjoaa soveltuvan liikunnan apuvälineitä kokeiluun ja vuokralle. Vierailun aikana koekeltiin laitteita ja keskusteltiin välineiden kunnossapitäjien ja tarjoajien kanssa. Käynneillä saimme paremman kuvan alasta, jolle olimme lähdössä tuotetta kehittämään.

Valitsimme kehitettäväksi polkuauton kaltaisen liikuntavälineen, joka leikin kautta toimisi myös kuntouttavana apuvälineenä. Päätimme lastenlinnan fysioterapeuttien ehdotuksesta valita ensisijaiseksi asiakasryhmäksi MMC-oireyhtymän kanssa syntyneet leikki-ikäiset (2 - 5 -v) lapset. Myöhemmin totesimme, että oikeastaan tuote sopii kaikille leikki-ikäisille, joilla on liikuntarajoitteita alaraajoissa. Myös lapset, joilla ei ole liikuntarajoitteita voivat kuulua asiakasryhmään.

Lasten apuvälinetiimi koostui seuraavista henkilöistä:

- tiimipäällikkö, Jonas Forss, projekti-insinööri
- mekaniikka, Antti Berghem, kone- ja tuotantotekniikka
- muotoilu, Ronja Mahosenaho, teollinen muotoilu
- markkinointi, Katariina Talvilampi, markkinointi
- apuvälineet, Toni Nisula, apuvälinetekniikka.

3 AIHEESEEN TUTUSTUMINEN

3.1 Selkäydinkohju ja hydrokefalia

Selkäydinkohju eli MMC ja hydrokefalia ovat suhteellisen harvinaisia neurologisia sairauksia. Todennäköisyys saada synnynnäinen hydrokefalia on 0,8/1000 ja selkäydinkohjun todennäköisyys on 0,4/1000. Tämä tarkoittaa noin 60 hydrokefaliasta ja 20 selkäydinkohjusta kärsivää elävänä syntynyttä lasta vuodessa. Hydrokefalia on hyvin yleinen selkäydinkohjun liitännäisvamma. Jopa kolmella neljästä MMC-lapsesta on myös hydrokefalia. [3, s. 18, 121; 4.]

3.1.1 Selkäydinkohju

Selkäydinkohju, josta yleisemmin käytetään lyhennystä MMC, on synnynnäinen neurologinen sairaus. Se on selkärangan ja –ytimen epämuodostuma. MMC on lyhenne ja se muodostuu kreikankielisistä sanoista menigo, myelo ja cele. Menigo tarkoittaa aivokalvoa, myelo viittaa ytimeen ja cele tarkoittaa kohjua. MMC on siis aivokalvojen ja selkäytimen yhdessä muodostama kohju. Tilassa aivokalvo, tai vain selkäydin, pullistuu selkänikamien välistä. Epämuodostuman seurauksena on jonkinasteinen selkäydinvamma. Kohju leikataan mahdollisimman pian syntymän jälkeen. Yleensä vamma rajoittuu lantion ja alaraajojen alueelle. Alaraajojen toiminta määräytyy yleensä selkäydinkohjun sijainnin perusteella. Syytä siihen, mikä tämän epämuodostuman aiheuttaa, ei vielä kukaan tiedetä. Vamma johtuu aina sikiöaikaisesta hermostonkehityksen häiriöstä, ja ilmenee jonkinasteisina halvausoireina. Selkäydinkohjuun liittyy usein myös hydrokefalia, pidätyshäiriöt, ryhtivikoja, epilepsia, lateksi-allergia ja karsastusta. [3, s. 18, 120 - 130; 5, s. 42.]

3.1.2 *Hydrokefalia*

Hydrokefalia, joka tunnetaan myös vesipäisyytenä, on aivojen nestekierto-häiriö. Hydrokefalia voi olla synnynnäinen epämuodostuma, tai sen voi aiheuttaa kasvain, tulehdus tai vamma. Häiriö aiheuttaa erinäisiä oireita päänsä- rystä pään liikakasvuun. Häiriön seurauksena päähän kertyy liikaa aivo- selkäydinnestettä. Nesteen kertyminen johtaa aivokammioiden paineennou- suun. Paineennousu taas aiheuttaa pään liikakasvua, näköhäiriöitä ja monia muita oireita. Häiriötä voidaan hoitaa niin sanotulla suntilla. Suntti on letku, jossa on paineesta aukeava venttiili. Venttiili päästää liian aivo- ja selkäydin- nesteen imeytymään muualle kehoon. [3, s. 18, 109; 5, s. 27 - 29.]

3.1.3 *Suunnittelun lähtökohtia*

Kun puhutaan selkäydinkohjun kaltaisesta neurologisesta vammasta, on hy- vä aloittaa tuotesuunnittelu miettimällä, miten vamma ja sen oireet vaikutta- vat tuotteeseen. On selvää, että esimerkiksi pidätysvaikeudet kannattaa huomioida istuimen materiaalia valittaessa. Ne vaikuttavat myös koko lait- teen suunnitteluun, sillä laitteen on oltava helposti puhdistettava.

Suunniteltaessa laitetta kuntoutukseen, laitteen turvallisuus on hyvin tärke- ää. Kuntoutusväline ei saa aiheuttaa käyttäjälleen vaaraa tai pahentaa vammaa. Turvallisuuden takia onkin mietittävä, miten estetään esimerkiksi lapsien alaraajojen joutuminen vaaraan. Lapset, joilla on alaraajoissa halva- us, eivät tunne tai hallitse jalkojaan. Jos lapsen jalat ovat vaarassa joutua laitteen alle tai liikkuvien osien väliin, on syytä miettiä miten sen voi estää. Kartoitimme myös remmi- ja turvavyövalmistajia messuilla (ks kpl.4.2.4).

Suunnittelun kannalta on oleellista tietää käyttäjän mitat. Kohjun aiheuttama pullistuma leikataan pois, joten lapset voivat yleensä käyttää normaaleja istu- tuimia. Vamma ei myöskään yleensä vaikuta pituuskasvuun, vaan lapset ovat normaaleilla kasvukäyrillä. Lasten pituus- ja painokäyrien mukaan [6] tyttöjen ja poikien kuvaajat olivat keskenään lähes identtisiä kahdesta viiteen ikävuoteen asti. Tämä helpotti suunnittelua suuresti. Ei tarvinnut huomioida kuin yhden pituussäädöt, sillä ei tarvinnut suunnitella pojille ja tytöille omia pi- tuussäätöjä.

3.2 Kuntoutus

Kuntoutus ja lääkinnällisyys ovat laissa määriteltyjä termejä. Aloitettaessa tuotekehitys on tiedettävä vaatimukset ja rajoitukset. Nämä termit määrittävät lain muodossa tiettyjä vaatimuksia, joihin täytyy tutustua ja jotka täytyy ottaa huomioon. Suomessa kuntoutusta järjestää pääasiassa Kela ja kunnallinen terveydenhuolto.

Kuntoutus on lakipohjassaan määritelty hyvin lavasti. Voidaan oikeastaan sanoa, että kuntoutusta on se, mitä kuntoutuksena järjestetään ja korvataan.

Kuntoutus aloitetaan yleensä laatimalla kuntoutussuunnitelma. Suunnitelmallisuus ja monialaisuus ovat kuntoutuksen pohjana. Tavoitteena on vammaantuneen toimintakyvyn ja itsenäisen toiminnan parantaminen. Sosiaali- ja terveysministeriö määrää ja ohjaa kuntoutusasioissa. [7.]

Kuntoutus jaetaan usein eri kuntoutuksen alalajeiksi, joista lääkinnällinen kuntoutus on vain yksi. Muita ovat esimerkiksi ammatillinen ja sosiaalinen kuntoutus. Lääkinnällisellä kuntoutuksella pyritään parantamaan ja ylläpitämään henkilön toimintakykyä. Kuntoutus voi olla erilaisia terapioita, sopeutumisvalmennusta tai apuvälinepalveluiden tarjoamista. [7.]

3.2.1 Lääkinnällinen kuntoutus

Asetus lääkinnällisestä kuntoutuksesta määrittelee, mitä palveluita kunnallisen terveydenhuoltojärjestelmän tulee tarjota. Lääkinnällisellä kuntoutuksella on tarkoitus parantaa ja ylläpitää sosiaalisia, fyysisiä ja psyykkistä toimintakykyä. Lisäksi tarkoitus on tukea kuntoutettavan itsenäistä suoriutumista päivittäisissä toiminnoissa. [8.]

3.2.2 *Leikki-ikäisten kuntoutus*

Vammaisen lapsen kuntoutus aloitetaan heti kun se on mahdollista. Tätä alkuvaiheen kuntoutusta kutsutaan varhaiskuntoutukseksi. Sen tavoitteena on kehittää lapsen motoriikkaa sekä liikeratoja ja täten lisätä lapsen omatoimisuutta.

Leikki-ikäisten lasten kuntoutuksen käsite antaa hieman vapautta määrittelyssä lääkinällistä apuvälinettä, sillä lapsen kuntoutuksen tavoitteena on omatoimisuuden edistäminen. Tähän pyritään kohottamalla lapsen itsetuntoa eli tarjoamalla lapselle tilanteita, joissa on mahdollista löytää uudenlaisia ratkaisuja. Henkilökohtaisin apuvälinein voidaan tukea lapsen omatoimisuutta ja leikin kehitystä. Tällainen määritelmä antaa varsin vapaat kädet leikki-ikäisten lasten lääkinällisen kuntoutuksen apuvälineille. [4.]

3.3 **Apuväline**

Asetus lääkinällisestä kuntoutuksesta määrittelee apuvälineen pykälässä 4 seuraavasti:

"Läkinälliseen kuntoutukseen kuuluvia, 3 §:ssä tarkoitettuja apuvälineitä ovat lääkinällisin perustein todetun toimintavajavuuden korjaamiseen tarkoitettut välineet, laitteet tai vastaavat, joita vajaakuntoinen henkilö tarvitsee selviytyäkseen päivittäisissä toiminnoissaan. Apuvälineisiin luetaan myös kuntoutuksessa tarvittavat hoito- ja harjoitusvälineet." [8.]

Apuväline on siis mikä tahansa tuote, joka on tarkoitettu toimintavajavuuden tai haitan korjaamiseen tai harjoitusväline, jota tarvitaan hoito- ja harjoitusvälineenä.

4 PROJEKTIN ALOITUS

Projekti aloitettiin marraskuussa 2009. Käytännön järjestelyiden ja työtilojen järjestelyn jälkeen aloitettiin aiheeseen tutustuminen. Markkinatilanteeseen ja potentiaalsiin kilpailijoihin tutustuminen tehtiin internetin avulla. Lisäksi tehtiin samalla jo alustavaa kilpailijavertailua ja hahmotteltiin tuotetta, jota oli tiin lähdössä kehittämään.

Projektin alussa apuvälinetekniikan asiantuntijana toiminut Toni Nisula järjesti vierailun Lastenlinnan apuvälinekeskuksessa ja Helsingin sairaanhoitopiiriin apuvälinekorjaamolle. Myös SOLIAN (ks. kpl 4.2.2) vapaa-ajan ja kuntoutuksen välineisiin käytiin tutustumassa. Vierailut olivat informatiivisia aktiivisen henkilökunnan ansiosta. Lisäksi saatiin sovittua haastatteluista Lastenlinnan fysioterapeuttien kanssa.

Tuote-ideaa ryhdyttiin työstämään ja samalla laadittiin vaatimuslistaa tuotteelle. Muotoilijat luonnostelivat ulkonäköehdotuksia ja liikutusmekanismin suunnittelu aloitettiin.

Projektin edetessä palattiin toiselle vierailulle Lastenlinnaan. Haastattelukäynnillä saatiin lisää tietoa MMC-lapsista ja heidän tarpeistaan. Haastattelut antoivat ideoita liikkeen tuottamistavasta ja ehdotuksia tuotteen turvallisuuden kehittämiseen. Haastatteluiden perusteella tehtiinkin vaatimuslista tuotteelle. Prototyypin testauksesta ja yleisesti yhteistyöstä sovittiin vierailun aikana. Fysioterapeutit kehottivat olemaan yhteydessä Kilon päiväkotiin.

Käynti Kilon päiväkotiin järjestettiin. Siellä selvisi, että yhdellä heidän hoitolapsistaan on MMC. Tutustumiskäynti antoi mahdollisuuden nähdä, miten MMC-lapsi leikkii ja liikkuu. Oli hyvin havainnollistavaa nähdä, miten lapsi liikkui seisomapyörätuolissa. Laitteeseen meno valmisteluineen näytti työläältä, eikä lapsi sen kanssa oikein voinut kunnolla osallistua leikkeihin. Vierailu auttoi vaatimuslistan viimeistelyssä. Erityisesti laitteeseen siirtymisen helppous nousi esiin.

Myöhemmässä vaiheessa sovittiin päiväkodin kanssa yhteistyöstä. Muotoilijoiden ehdotuksille järjestettiin äänestys, joten loppukäyttäjät saivat itse vaikuttaa tuotteen ulkonäköön.

Vierailut ja haastattelut osoittivat, ettei vastaavia tuotteita ole tarjolla ainakaan Suomessa.

4.1 Benchmarking

Benchmarkingissa eli vertailuanalyysissä vertaillaan omaa toimintaa, tuotetta tai vain ideaa muiden vastaavaan. Samalla on tarkoitus hahmottaa tuotteen markkinatilanne ja saada kuva kilpailijoista. Ajatuksena benchmarkingin tekemisessä on toisilta oppiminen ja oman toiminnan kyseenalaistaminen. Verrattaviksi tuotteiksi kannattaa valita alan parhaat. Tarkoitus on tunnistaa oman tuotteen tai toiminnan heikkoudet. Hyvä lähtökohta on miksi tuote tai yritys on menestynyt. [9.]

Projekti aloitettiin benchmarkingilla, jotta saataisiin kuva markkinoista ja tuotteista. Tuote-idea kehittyi sen pohjalta, mitä markkinoilta puuttui. Markkinoilta ei löytynyt montaa liikuntarajoitteisille lapsille suunnattua leikin kautta kuntouttavaa apuvälinettä. Benchmarking tarjoaa hyvän pohjan lähteä rakentamaan tuotekonseptia. Se tarjoaa tietoa siitä, mitä on tarjolla. Jos päädytään tekemään samantapaisia tuotteita, tiedetään jo mitä niiltä vaaditaan.

Tuotekehityksen edetessä voitiin palata tarkastelemaan kilpailijoita. Benchmarkingista saatujen tietojen pohjalta oli myös helpompi tehdä tuotteen laatuarviointi eli QFD. QFD-menetelmän perusteella muun muassa voitiin arvioida, olisiko tuotetta kannattavaa lähteä viemään markkinoille.

Ennen varsinaisen tuottesuunnittelun aloittamista tehtiin kilpailijakartoitus. Benchmarking-tiedonkeruun ja -käsittelyn helpottamiseksi valmisteltiin tietopohja (liite 1). Tiimin jäsenet kävivät läpi löytyneet kilpailijat omien alojensa näkökulmasta ja merkitsivät tietopohjaan tuotteen oleelliset vahvuudet ja heikkoudet.

Suurin osa tuotteista oli ulkomaalaisia, ja niitä ei tuoda Suomeen, joten niihin ei päästy tutustumaan lähemmin. Tämän vuoksi benchmarking suoritettiin pääosin internetin avulla. Joitakin tuotteita päästiin tarkastelemaan vierailukäynneillämme SOLIAan ja Lastenlinnaan. Benchmarkingin avulla ei löytynyt täysin vastaavia tuotteita, joten hinta-, muotoilu- ja mekanisminäkökulmiin ei saatu hyvää vertailupohjaa. Tietoa kuitenkin kerättiin muista markkinoilla olevista apuvälineistä ja leluista.

4.2 Vierailut ja haastattelut

Vierailut ja haastattelut ovat hyvä tapa saada tarvittavaa tietoa tuotekehityksen tueksi. Asiakkaiden tarpeiden huomiointi on tärkeää. Helpointa on kysyä suoraan asiakkaalta, minkä takia tuote on hyvä. Tässä tuotekehitysprojektissa tuotteen vaatimuslista luotiin asiantuntijahaastattelujen avulla. Asiantuntijoiden esittämät toiveet ja vaatimukset olivat tuotekehityksen kannalta välttämättömiä, sillä kyseisten apuvälineiden hankinta tapahtuu asiantuntijoiden suositusten ja hyväksynnän kautta.

4.2.1 Lastenlinna

Projektin alussa käytiin tutustumiskäynnillä Lastenlinnassa. Lastenlinna on Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin (HUS) hoitoyksikkö, joka on erikoistunut lasten hoitamiseen. Lastenlinnassa on monia eri hoitoyksiköitä, sieltä löytyy muun muassa epilepsiaosasto, koulu, fysioterapiayksikkö, lastenneurologian kuntoutusosasto, Apuvälinekeskus ja Tietoteekki. [10.]

Ensimmäinen vierailu 19.3.2010 kohdistui Apuvälinekeskukseen. Vierailun tarkoituksena oli tutustua apuvälineyksikön toimintaan ja tunnustella, olisiko kehitettävälle tuotteelle tarvetta. Samalla suoritettiin benchmarkingia ja kyseltiin käyttäjistä ja tuotteista. Myös yhteistyömahdollisuudesta ja fysioterapeuttien haastattelusta sovittiin. Käyntimme pohjalta koostettiin alustavaa tuotteen vaatimuslistaa. Saatu palaute ja vinkit olivat hyviä ja tuotteen luonnostelu jatkui. Tuotetta hahmotellessa heräsi kuitenkin uusia kysymyksiä. Tiimi kokosi kysymyksistä haastattelupohjan.

Lastenlinnaan palattiin 7.4.2010 haastattelulistan kanssa. Haastattelu käytiin kolmen fysioterapeutin ja apuvälinekeskuksen apuvälineteknikon kanssa. Haastattelut antoivat selkeät suuntaviivat kehitystyön jatkamiselle ja esiin tuli myös paljon asioita, joita ei ollut vielä ajateltu. Esimerkiksi värien ja materiaalin käytössä tulisi olla tarkka hahmotusongelmien ja allergioiden takia. Asiakasryhmäksi valittiin fysioterapeuttien kehotuksesta MMC-vammaiset lapset. Haastattelujen pohjalta koostettiin alustava tuotteen vaatimuslista. Haastattelukysymykset ja vastaukset on esitelty liitteessä 3 ja niiden pohjalta laadittu vaatimuslista on esitelty liitteessä 4.

4.2.2 SOLIA

Ensimmäisen Lastenlinna-vierailun jälkeen tehtiin käynti myös SOLIAN ja Invalidiliiton Käpylän kuntoutuskeskukseen. SOLIA on tehnyt sopimuksen välinevuokrauksesta ja -kokeilusta invalidiliiton kanssa. SOLIA tarjoaa soveltuvan liikunnan apuvälineitä kokeiluun ja vuokralle sekä lisäksi opastusta niiden käyttöön. SOLIA auttaa myös välineiden hankinnassa ja osallistuu liikunnan ja urheilun apuvälineiden kehitystyöhön. Toimintaa tukee raha-automaatti yhdistys RAY. [11.]

SOLIAN vierailun tarkoituksena oli tutustua liikunnallisiin apuvälineisiin. Eri-laisia apuvälineitä kokeiltiin ja yhdistyksen toimintaan tutustuttiin.

4.2.3 Kilon päiväkotia

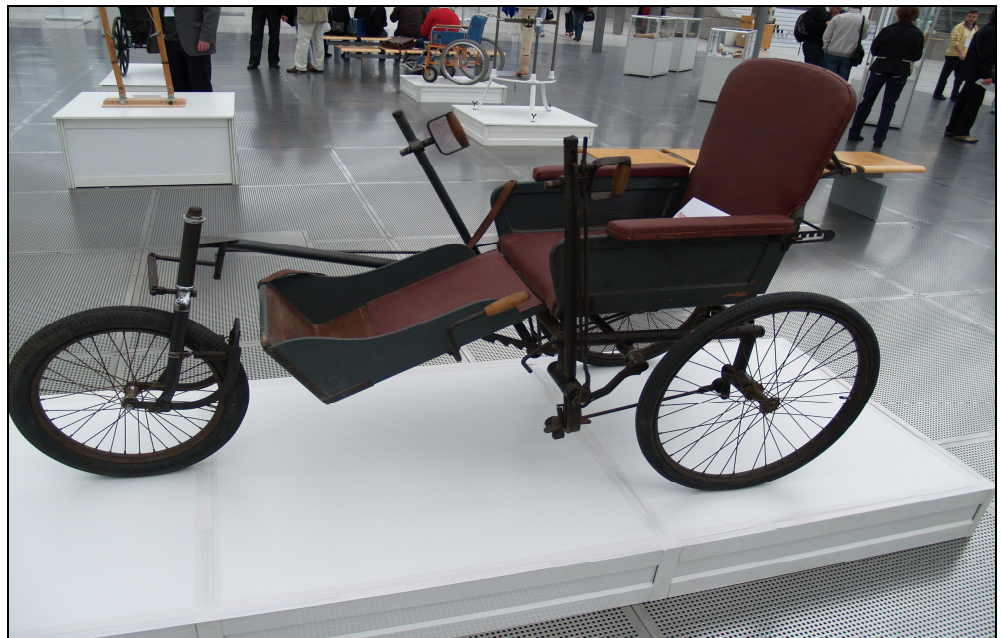
Kilon päiväkotia on Suomen mittakaavassa harvinainen erikoispäivähoitoa tarjoava päiväkotia. Päiväkotia tarjoaa päivähoitopalvelua tavallisille lapsiperheille, mutta lisäksi he tarjoavat erityispäivähoitopalvelua liikuntavammaisten lasten perheille. Toiminta perustuu yhteisölliseen kuntoutukseen. Päiväkotia on rakennettu liikuntavammaisten lapsien tarpeita silmällä pitäen. Rakennuksessa ei ole kynnyksiä ja pihakin on suunniteltu erityistarpeita ajatellen. [12.]

Vierailu Kilon päiväkotiin tehtiin 20.5.2010 koko tiimin voimin. Henkilökuntaa haastateltiin ja MMC-lapsen toimintaa seurattiin. Lapsia ei voitu haastatella ilman vanhempien lupaa. Henkilökunta antoi paljon lisätietoa vammasta ja hyviä ehdotuksia laitteen toiminnoille. Huomioid lisättiin tuotteen vaatimuslistaan. Henkilökunta toivoi tuotteelta erityisesti turvallisuutta ja sitä, että lapsi pääsisi sen avulla mukaan leikkeihin. Yhteistyömahdollisuudesta sovittiin laitteen testauksen ja suunnittelun osalta. Päiväkotia pyydettiin arvioimaan ja järjestämään lapsille äänestys mieluisimmasta muotoiluehdotuksesta. Näin saatiin loppukäyttäjien mielipide siitä, mikä olisi ulkonäöltään houkuttelevin malli.

4.2.4 Apuvälinetekniikan messut

Osallistuimme yhdessä tiimpäällikkö Jonas Forssin kanssa Saksan Leipzigi-ssä järjestetyille apuvälinetekniikan messuille 12. - 14.5.2010. Messuilla tavoitteena oli tutustua apuvälinetekniikkaan, apuvälinevalmistajiin ja komponenttien toimittajiin sekä kartoittaa kilpailua ja alan uutuuksia. Suoranaisia kilpailijoita messuilla ei ollut. Messuilta löytyi paljon komponenttitoimittajia, joita voisimme käyttää esimerkiksi turvavöiden tai kiinnitysremmien hankintaan. Tutustuimme myös erilaisiin istuimien ja niiden materiaalien toimittajiin. Suunniteltava tuote tulee tarvitsemaan turvallisuussyistä jonkinlaisia kiinnikkeitä estämään raajojen joutumista laitteen väleihin, joten otimme yrityksiltä yhteystiedot ja katalogit mahdollista myöhempää käyttöä varten.

Messuilla olleelta museo-osastolta löydettiin mielenkiintoinen laite (kuva 1). Laite oli Saksassa ensimmäisen maailmansodan aikana haavoittuneille kehitetty, pyörätuolin ja polkuauton yhdistelmä. Vaikka laite oli tarkoitettu aikuisille, oli se idealtaan hyvin lähellä omaamme. Kyseinen apuväline oli ainoa, josta oli hyötyä projektin mekaniismisuunnittelussa. Laitteen liikkeentuottamismekanismi oli yksinkertainen, liikevoima saatiin työntämällä kahta tankoa edestakaisin. Kuten kuvasta näkee, laitteen rakenne oli raskas.



Kuva 1. Messujen museo-osastolla esitelty apuväline.

4.3 Vaatimuslista

Nykyään asiakkaiden tarpeiden huomiointi on eräs menestyksekkään liiketoiminnan edellytys. Asiakstarpeiden tuntemus on tärkein mutta myös vaikein asia tuotekehityksessä. Se on vaikeaa, koska asiakkaiden tavoittamisen lisäksi täytyy osata kysyä oikeat asiat ja tulkita vastaukset oikein. Myös kilpailutilanne ja hallitsevat trendit täytyy tuntea. [13, s. 26.]

Asiakkaan tarpeiden kartoitus on monitahoinen toimenpide. Hyvällä kartoituksella voidaan saada aikaan suuriakin säästöjä. Kartoituksessa voi käydä ilmi, että ominaisuudet, joiden tuotteeseen saaminen maksaisi paljon, ovat asiakkaiden mielestä täysin turhia. Yleensä tarpeiden kartoitukseen käytetään kyselyjä tai haastatteluja, jotka voidaan toteuttaa puhelimitse, kasvokkain tai kirjallisesti. Henkilökohtainen haastattelu antaa yleensä parhaan kuvan tarpeista, sillä myös tunneperäiset asiat näkyvät. Hyvin laaditut kysymykset ovat kuitenkin koko asian ydin. Myös reklamaatiot, palautteet ja huolotilastot ovat hyvä tietolähde. Reklamaatioiden ja palautteiden avulla tuotetta on mahdollista kehittää aina paremmaksi. [13, s. 25–27.]

Vaatimuslista on tuotekehityksen työkalu, jonka oleellisin tehtävä on listata tuotteen vaatimukset selkeästi. Tarkoitus on tunnistaa ja ymmärtää tuotteeseen kohdistuvat vaatimukset ja rajoitukset. Tarkoitus on myös saada vaatimuksille tärkeysaste. Tärkeysaste kertoo kuinka merkitsevä haluttu ominaisuus on ostopäätöksen kannalta. Vaatimuslistalla määritellään tuotteen käytön ja valmistettavuuden rajat.

Suunnittelijan vastuulla on vaatimusten synnyttämien ongelmien ratkaiseminen. Yleensä on useita oikeita ratkaisuja, mutta suunnittelijan tehtävä on valita, mitä ratkaisua käytetään. Suunnittelijan tulee myös tietää ja varmistua siitä, että tuote valmistetaan vastaamaan määriteltyjen vaatimusten asettamia tavoitteita. Tässä suunnittelija voi käyttää apunaan erilaisia tietokoneohjelmia, simulointeja tai murtokokeita. Mahdollisesti myös valmistetaan pienoismalli tai prototyyppi testausta varten. Testauksella pyritään varmistamaan, että tuote toimii halutulla tavalla ja ettei tuotteen käyttö aiheuta käyttäjille vahinkoa tai vaaraa. Suunnittelijan tulee kuitenkin rajata mitoitukset ja

varmuuskertoimet siten, etteivät ne vaikuta negatiivisesti tuotteen toimintaan tai hintaan. Testausta ja simuloiteja tehdessä voidaan palata tarkastelemaan vaatimuslistaa ja tarkistaa, onko kaikki oleellinen saavutettu. [14.]

Asiantuntijahaastattelujen pohjalta laadittiin tuotteen vaatimuslista (liite 4). Lista kehittyi koko kehitysprosessin ajan. Tavallisesti vaatimuslista koostetaan tuotteen käyttäjän tarpeista, mielipiteistä ja toiveista. Tässä tapauksessa vaatimuslistan koostamisessa ongelmana oli, että tuotteen loppukäyttäjät ovat lapsia. Leikki-ikäiset lapset eivät ymmärrä asiaa tarpeellisten liikeratojen ja kuntoutuksen kannalta. Tämän vuoksi laitteen rakenteen ja toimintojen suunnittelun kannalta fysioterapeuttien ja apuvälineasiantuntijoiden mielipiteet olivat kehitettävän tuotteen kohdalla tärkeämpiä kuin loppukäyttäjien. Oikeastaan loppukäyttäjien eli lasten mielipidettä kysyttiin vain ulkonäköön liittyvissä asioissa. Vaatimuslistasta tehtiin kooste, joka näkyy kuvassa 2. Listassa oli sillä hetkellä kahdeksan oleellisinta asiaa tuotteen suunnittelun kannalta. Vaatimuslistan pohjalta aloitettiin QFD- analyysi.

Tuotevaatimukset		
Tärkeys	Tuote	Konttilukko
	Vaimus	Suure
1	Turvallinen	Rakenne ja materiaali
2	Helposti käytettävä	Mekanismi, ohjaus, vetotapa
3	Helposti puhdistettava	Yksinkertainen muoto, materiaalit, kotelointi
4	Kevyt käyttöinen	mekanismi-, ohjausvälytykset
5	Säädettävä koko	2-5 vuotiaille noin 80-130cm ja 10-25kg
6	Houkutteleva	materiaali, katteet, värit
7	Sukupuoli neutraali	Värit
8	Kompakti koko	kevyt ja mahdollisimman pieni

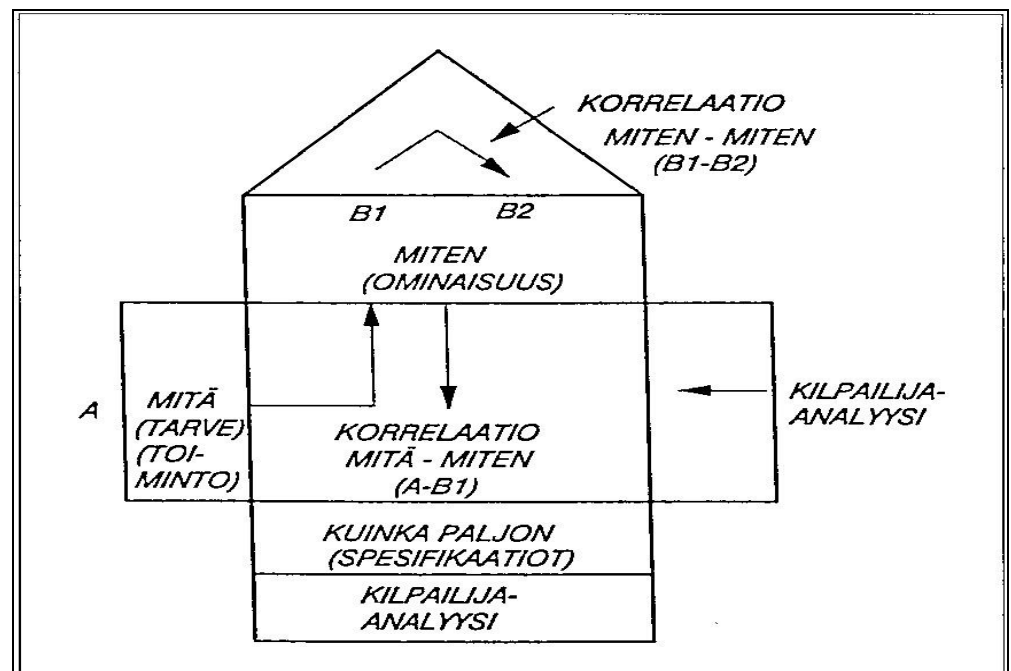
Kuva 2. Koostettu vaatimuslista, tärkeysjärjestys.

4.4 Quality Function Deployment – QFD

Quality function deployment on Japanissa 60-luvulla kehitetty ja sittemmin kansainväliseksi yleistynyt laatumittausmenetelmä. Menetelmällä pyritään huomioimaan asiakkaiden tarpeet paremmin tuotekehitysprosessissa. Menetelmä voidaan tehdä erikseen tuotteen eri osille tai koko prosessille. [13 s. 3, 19.]

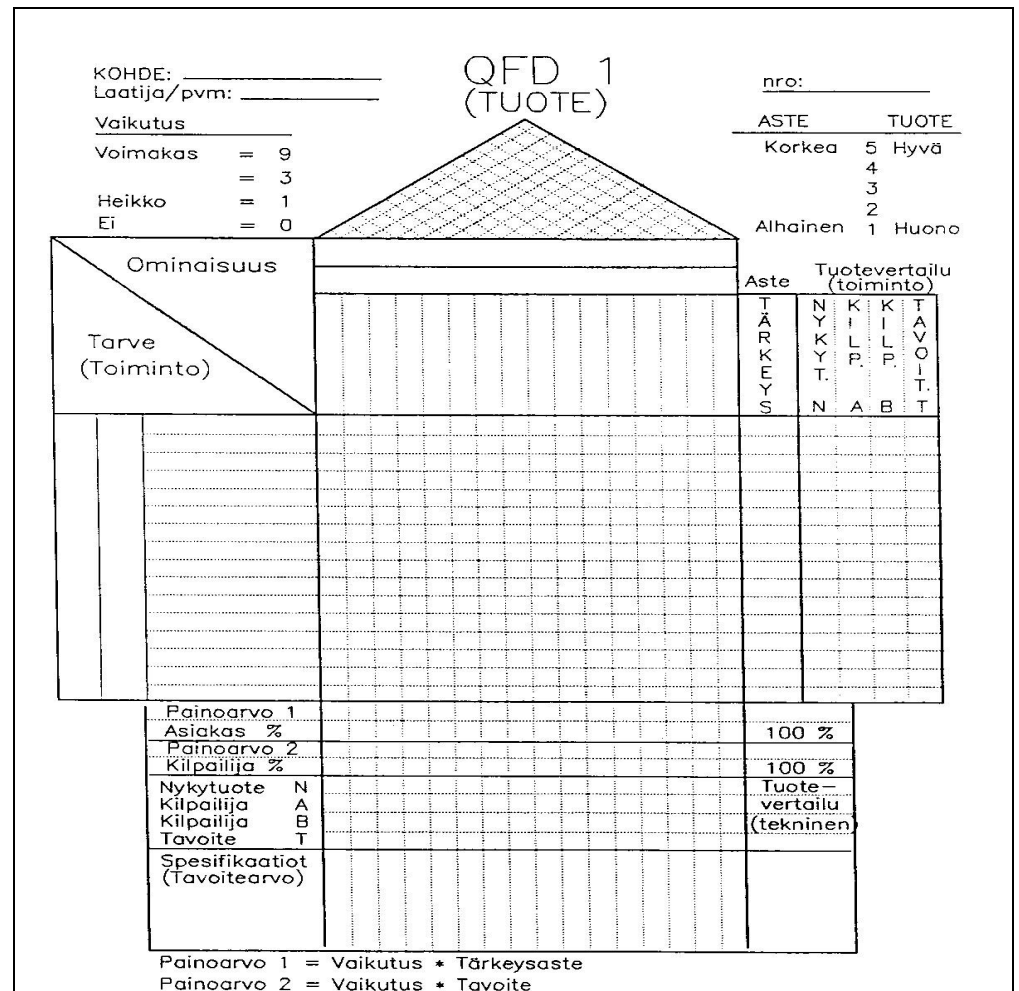
Menetelmän avulla voidaan vähentää ongelmien määrää tuotantovaiheessa. Kun ongelmat käsitellään jo suunnitteluvaiheessa, säästetään kustannuksissa. [13 s. 22 - 23.]

QFD:n ajattelumalliin kehitettiin 70-luvulla niin kutsuttu laatutalokaavio. Laatutalokaavio on nykyisin QFD:n peruskaavio. Kuvassa 3 on esitetty laatutalokaavio yksinkertaistettuna ja tekstit ilmaisevat mitä tietoa mihinkin kenttään tulee. Kaavioon avulla pyritään muuttamaan asiakkaan tarpeet mitattaviksi tavoitteiksi. Menetelmä perustuu eräänlaiseen matriisitekniikkaan. Pohjana toimii huolellisesti valmisteltu vaatimuslista. Kaavioon usein liitetään muitakin vertailuja ja analyysseja. Yleensä ainakin kilpailija-analyysi on liitettyä kaavioon. [13 s. 3, 19 - 20.]



Kuva 3. Laatutalo [13 s. 21].

Kun asiakkaan tarpeet on analysoitu, voidaan aloittaa kaavion täyttö. Tarpeet kirjataan taulukkoon, kuvassa vasemmalle kohtaan "MITÄ". Tarpeille annetaan myös arvo sen mukaan, miten tärkeä se on asiakkaalle. Tämän jälkeen tarpeiden saavuttamiseen liittyvät tuotteen ominaisuudet kirjataan ylös kohtaan "MITEN". Seuraavaksi voidaan määrittellä korrelaatio, eli mitkä tarpeet liittyvät mihinkin ominaisuuteen. Riippuvuuksillekin annetaan arvot riippuen siitä, kuinka oleellisesti ominaisuus vaikuttaa tarpeeseen. Tiedonkäsittelyyn on erilaisia valmiita pohjia. Kuvassa 4 on esitelty tyhjä tuotteen laatukaavio. Saatuja arvoja voidaan verrata kilpailevien tuotteiden arvoihin. Tulosten avulla saadaan tuotekehitystavoitteet. Samalla selviää, mitä asiakkaan tarpeiden saavuttaminen vaatii. Menetelmä antaa selkeämmän kuvan siitä, mitä tuotteen osa-alueita kannattaa suunnitella ja kehittää painotetusti.



Kuva 4. QFD-kaavio [13 s. 29].

Tuotteelle tehtiin vaatimuslistan pohjalta laatutarkastelu (kuva 5). Tarkastelua varten tuotteet jaettiin valmistusteknisiin osa-alueisiin. Aluksi kopioitiin laadittu vaatimuslista kaavioon. Seuraavaksi arvioitiin vaatimuksia vastaavat laitteen ominaisuudet ja annettiin vaatimuksille painokerroin. Seuraavaksi arvioitiin korrelaatiokertoimet ja tehtiin kilpailija-analyysi.

QFD																								
		Tavoite																						
		↑	↑	↓	0	0	0	0	0	0	↑	0	0	↑	0									
		Alue	Mekanismi				Runko				Katteet			Muut										
Asiakkaan tarpeet		Tärkeys	koko	yksinkertaisuus	liikkeenkoko	jäykkyyks	Elinikä	Materiaali	pintakäsittely	Koko ja muotoilu	Materiaali	koko ja muotoilu	väri	muunneltavuus	paino	istuin	Kilpailija vertailu (1-Heikko, 5-Vahva)	Myynti pisteet	Tavoite	Prannus suhde				
		5	4	3	2	1	1	2	3	4	3	2	1	4	3	2					1	3	5	5
Turvallinen		5																						
Helpposti käytettävä		4	4	5	3	3									1	4	3	K	M	C	1,0	4	1,0	
Helpposti puhdistettava		4	2	1	1		2	3	4	1	4	4			3	4		C	K,M		1,0	4	1,0	
Kevyt käyttöinen		4	3	3	3	5				3	2	1			1	5		K,C	M		1,0	4	1,0	
Säädettävä koko		4	4	2	2					3					4	3	3	C	K	M		1,0	4	1,0
Houkutteleva		3	2			2					1	3	5		2	1	2	C	M	K		1,0	5	1,0
Sukuuoli neutraali		5				3					1	4	5		2	1		K	C	M		1,0	5	1,0
Kompakti koko		3	4		2					4		5			4	2	3	C	M	K		1,0	4	1,0
Tekninen arvio		5															C							
		4	K	K		K	K	K,C	K,C	K,C							K	M						
		3	M	M,C	M	M	M,C	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M							
		2	C		C,K	C											K							
		1									K,C	K,C	C	K,C	C									
Tavoite arvo / spesifikaatio arvo			10*50cm	Alle 5 osaa	20-80cm	kevyt	~20 vuotta	teräs	X-painotus	100*50cm	muovi	50*50cm	Maali: hopea	Asennot	kg	mitat	asennot							
Tekninen vaikeus (1-matala, 5-korkea)		3	3	3	3	4	2	1	1	3	1	4	1	4	4	4	2							
Tärkeysluokka		70	64	57	53	8	34	28	62	47	95	40	64	62	75									
Normalisoitu tärkeysluokka		3,7	2,8	3,0	2,8	0,4	1,8	1,4	3,3	2,5	5,0	2,1	3,4	3,3	3,9									

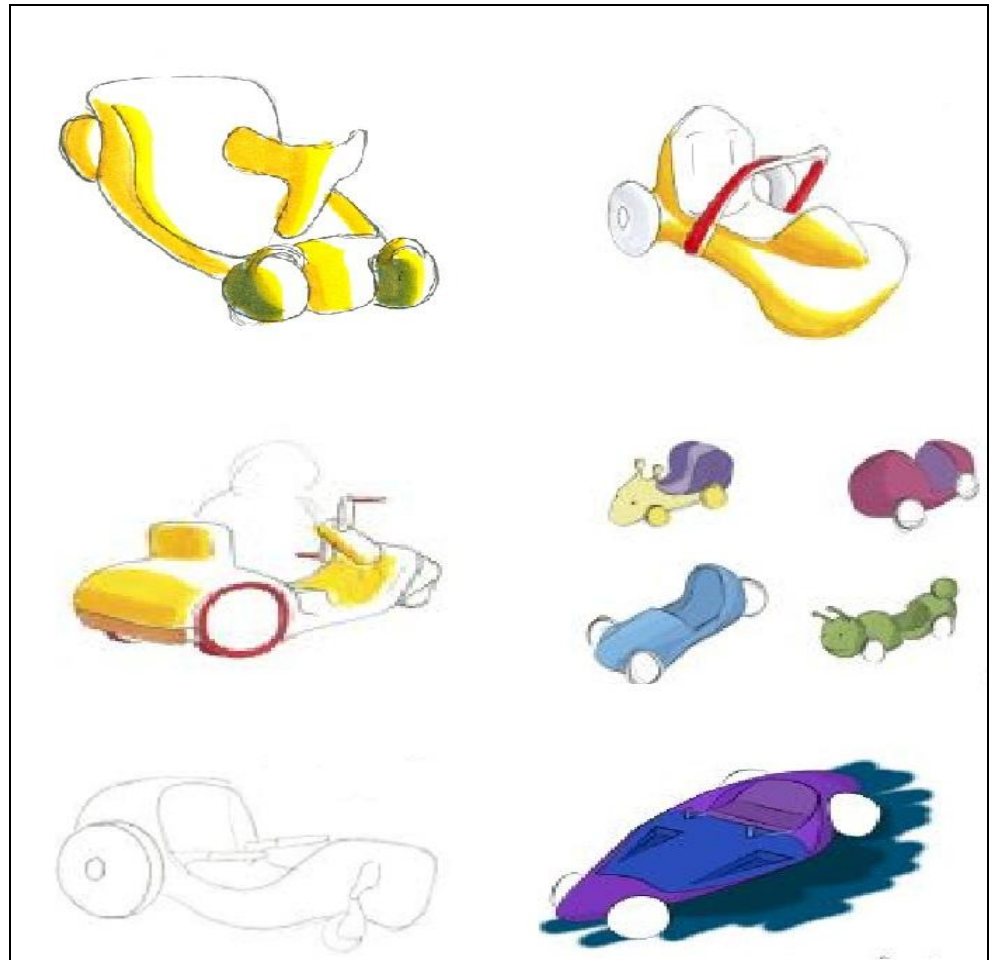
Arviointi avain:
M = Metrocket
K = KMX
(<http://www.kmxkarts.co.uk/>)
C = Champiot
(<http://www.champiot.com/>)

Kuva 5. Tuotteen QFD-tarkastelu.

Kuten tarkastelusta huomaa, istuimen ja mekanismin suunnittelu ovat tärkeysluokassa saaneet suurimmat arvot. Istuin sai tärkeysluokassa arvon 75 ja mekanismin koon arvo oli 70. Tarkastelussa on myös suppea kilpailijavertailu ja kilpailijan tekninen arvio. QFD-analyysi löytyy myös liitteestä 2. Tämän kaavion perusteella suunnittelun resursseja tulisi ohjata näihin osa-alueisiin enemmän kuin muualle.

5 KONSEPTI-IDEAT

Alkutarkastelujen jälkeen luonnosteltiin erilaisia mekanismeja laitteen liikuttamista varten. Erilaisiin mekanismeihin tutustuttiin internetin ja kirjojen avulla. Aluksi hahmoteltiin käsin erilaisia yksinkertaisia mekanismeja. Sitten mallinnettiin erilaisia vaihtoehtoja käyttäen Catia V5 -ohjelmistoa. Kun mallit olivat valmiita, simuloitiin mekanismin toimintaa. Simulointiin käytettiin Catia-ohjelmiston DMU-kinematicks-sovellusta. Tavoitteena oli lisäksi mallintaa mekanismeja, jotka sopivat muotoilijoiden hahmottelemiin laitteisiin (kuva 6). Simuloinnilla tarkasteltiin mekanismien toimintaa. Erityisesti sitä, että mekanismin työkierto toimii oikein ja etteivät mekanismin tai laitteen osat törmää toisiinsa missään työkierron vaiheessa.



Kuva 6. Muotoilijoiden näkemyksiä millainen laite voisi olla. [Lähdettä 15, mukaillen].

5.1 Konseptien analysointi

Lopulta tehtiin myös teoreettinen tarkastelu laitekonceptien kiihtyvyydestä. Tämän tarkoitus oli havainnollistaa, millaisen kiihtyvyyden lapsi pumppaamalla saa laitteelle. Tämä oli oleellista arvioitaessa mekanismin valintaa. Eri konseptien ominaisuuksista, vahvuuksista ja heikkouksista tehtiin havainnollistava mekanismianalyytitaulukko (kuva 7). Taulukkoon kirjattiin myös lasketut kiihtyvyydenarvot.

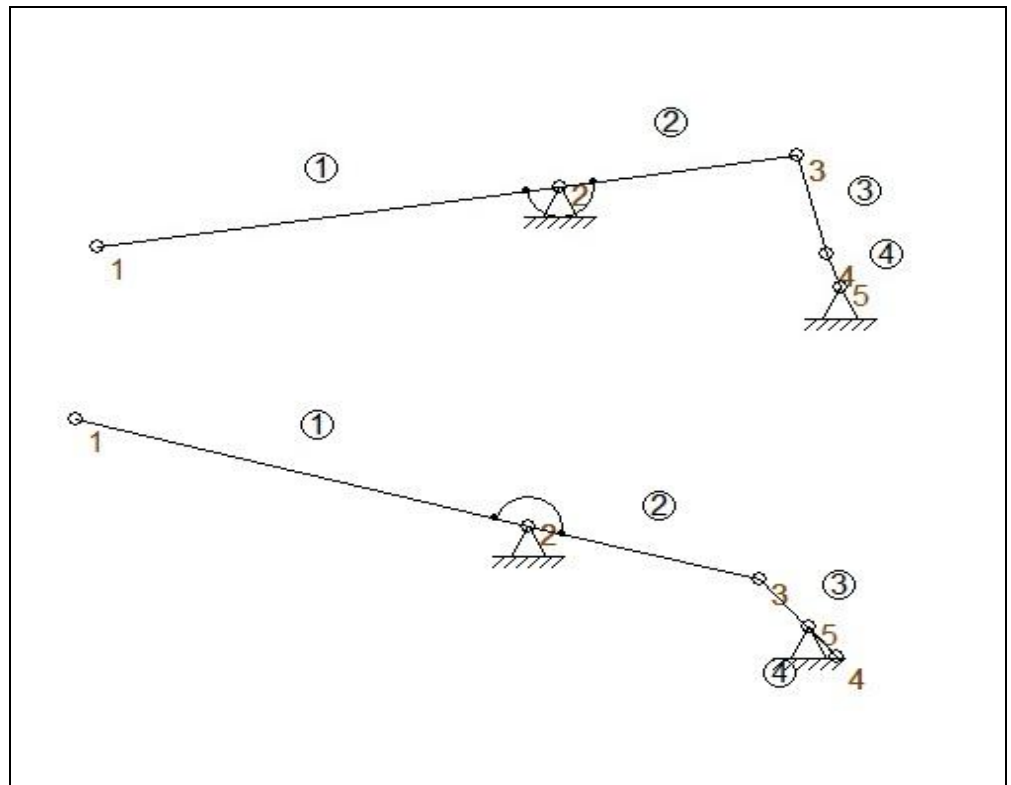
Mekanismin vertailu						
Mekanismi	Kiihtyvyys voimalla 15N/käsi	vetotapa	Mekanismin arvioitu massa asteikolla 1(kevyin)-4(painavin)	+	-	Sijoitus
Konsepti 1	0,40m/s ²	Taka, molemmat erikseen	1	pyörät vetää eri kahvoista, Kevyt rakenne, helppo säätää tehoa muuttamalla vipuvarren mittaa.	Kuolokohdat	1
Konsepti 2	0,31m/s ²	Etu, yhdistetty	3	Ohjauksen helppo synkronointi	Kuolokohdat, etuveto	3
Konsepti 3	0,34m/s ²	Taka, yhdistetty	4	muunneltavuus,	Kuolokohdat, raskas rakenne, Sopivuus mmc lapsille huono	4
Konsepti 4	0,38m/s ²	Taka, yhdistetty	2	kevyt rakenne, Säädettävyys	Kuolokohdat, ohjauksen synkronointi	2

Kuva 7. Konseptien vertailu.

Esimerkkitapauksia tutkittiin lyhyiden työkiertojen avulla. Mekanismeja simuloitiin kahden työkierron sykleissä. Kaikille konsepteille määritettiin laskemalla hetkellinen teoreettinen kiihtyvyys kunkin mekanismin kohdalta. Laskut on esitetty liitteessä 9. Arvioin lapsen tuottamaksi työntövoimaksi 15 newtonia kättä kohden. Tämä vastaa noin 1,5 kilon työntöä. Laskennasta oli hyötyä myös siksi, että mekanismeja simuloitaessa SAM-ohjelmistolla täytyy tietää renkaan hitausmomentti. Tarkastelin tehon ja kiihtyvyyden lisäksi myös mekanismien massaa ja muunneltavuutta.

5.2 Kuolokohdat

Mekanismien heikkoutena täytyy mainita kuolokohdat, jotka syntyvät kun kammien momentti häviää. Tämä tapahtuu kaksi kertaa työkierron aikana. Momentin häviäminen johtuu kammien ja kampiakselin kulmasta. Kuva 8 helpottaa asian hahmottamista. Kuva 8 havainnollistaa, kuinka kammet kolme ja neljä muodostavat suoran pisteen viisi läpi. Kun voiman vaikutussuora kulkee kohtisuoraa akselin keskipisteeseen läpi, ei akseliin aiheudu momenttia eikä laite voi pyöriä. Mekanismin liikuessa laite ei pysähdy kuolokohtaan, koska massan liike pyöräyttää mekanismin kuolokohtien yli. Ongelma ilmenee, jos mekanismi pysähtyy kuolokohtaan. Tällöin ainoa keino saada mekanismi liikkeelle on työntää se kuolokohtaan yli.

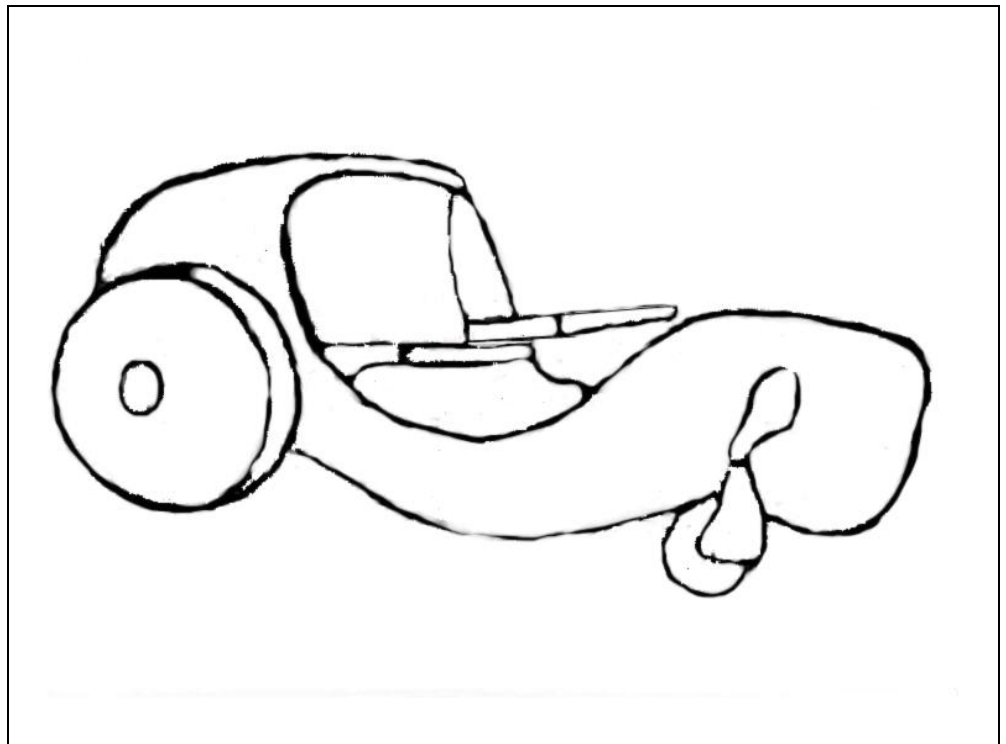


Kuva 8. Kuolokohdat havainnollistettu SAM- mekaniikkasuunnitteluohjelmalla.

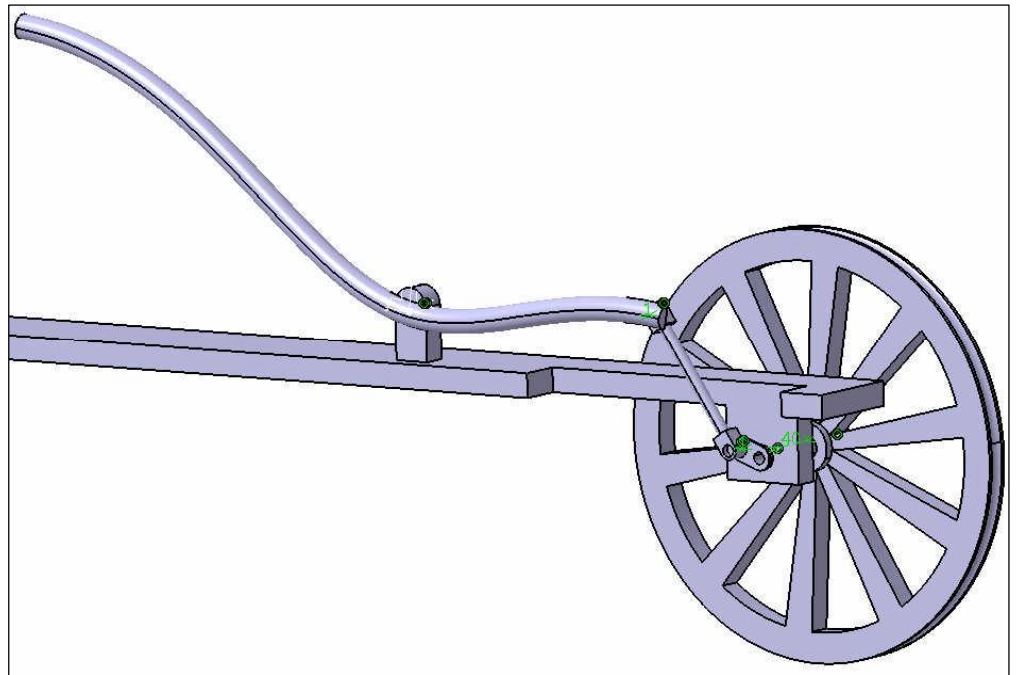
Eri ratkaisuvaihtoehtoja mietittiin kuolokohtien ohittamiselle. Ratkaisujen heikkoutena oli niiden monimutkaisuus ja paino. Yritimme esimerkiksi korjata ongelmaa asentamalla kuvassa 8 näkyvän nivelen 3 tilalle luistin. Luisti ei kuitenkaan poistanut ongelmaa.

5.3 Konsepti 1

Ensimmäinen esittelemäni konsepti on yksinkertainen ja lähellä lopullista ehdotustani. Konsepti perustuu muotoilijan ehdotukseen (kuva 9) jossa liike tuotetaan liikuttamalla kahvaa edestakaisin. Tässä konseptissa molempien takarenkaiden vetoa voidaan hallita omalla kahvalla. Mekanismin toiminta on kuvattu liitteessä 5. Laitteen ohjaus toimii periaatteessa samalla tavalla, kuin pyörätuolissa. Kun pumpppaa vain toista kampea vain toinen renkaista pyörii ja laite kääntyy. Tämä ajatusmalli vaatisi vapaasti kääntyvät etupyörät. Parempi kääntyvyys saavutettaisiin yhdellä vapaasti kääntyvällä etupyörällä. Mekanismi on esitetty kuvassa 10.



Kuva 9. Muotoilijan konsepti-idea [Lähdettä 15, mukaillen].

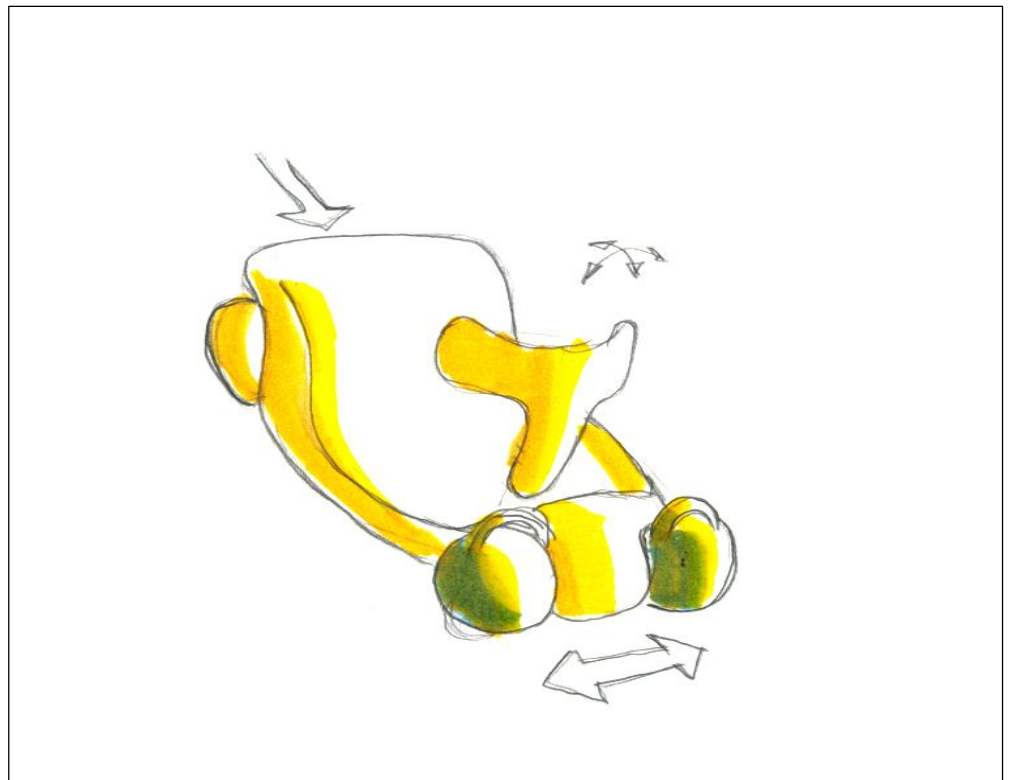


Kuva 10. Konsepti 1.

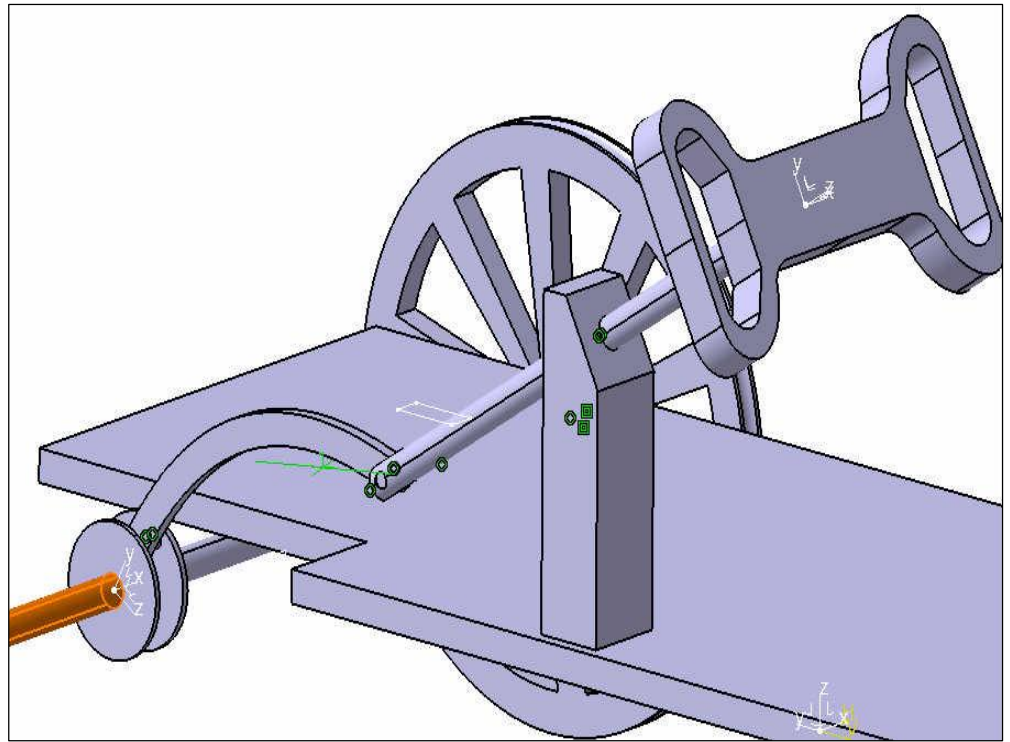
Mekanismitarkastelussa tämä konsepti osoittautui parhaaksi. Sen etuna oli yksinkertaisuus, keveys ja muita parempi kiihtyvyys. Kampiakselirakenteen takia pieneksi jäänyt massahitausmomentti mahdollisti suuremman kiihtyvyyden ja voiman hyötysuhteen. Mekanismin valintaa tuki myös fysioterapeuttien näkemys liikkeen tuottamistavasta. Fysioterapeutit olivat sitä mieltä, että pumppausliike käsillä olisi hyvä kuntoutuksen kannalta.

5.4 Konsepti 2

Toisessa konseptissa liikkeen tuottaminen perustuu ohjauspyörän työntämiseen ja vetämiseen. Konsepti eroaa ensimmäisestä siten, että vetävät pyörät ovat edessä. Erona myös se, että molemmat pyörät ovat kytkettynä samaan mekanismiin, joten laite tarvitsisi erillisen ohjausmekanismin. Muotoilijat olivat myös ehdottaneet tämäntyyppistä mekanismia yhdessä luonnoksistaan (kuva 11). Mekanismin (kuva 12) toiminta on havainnollistettu kuvasarjalla, joka löytyy liitteestä 6.



Kuva 11. Muotoilijan konsepti-idea [15].

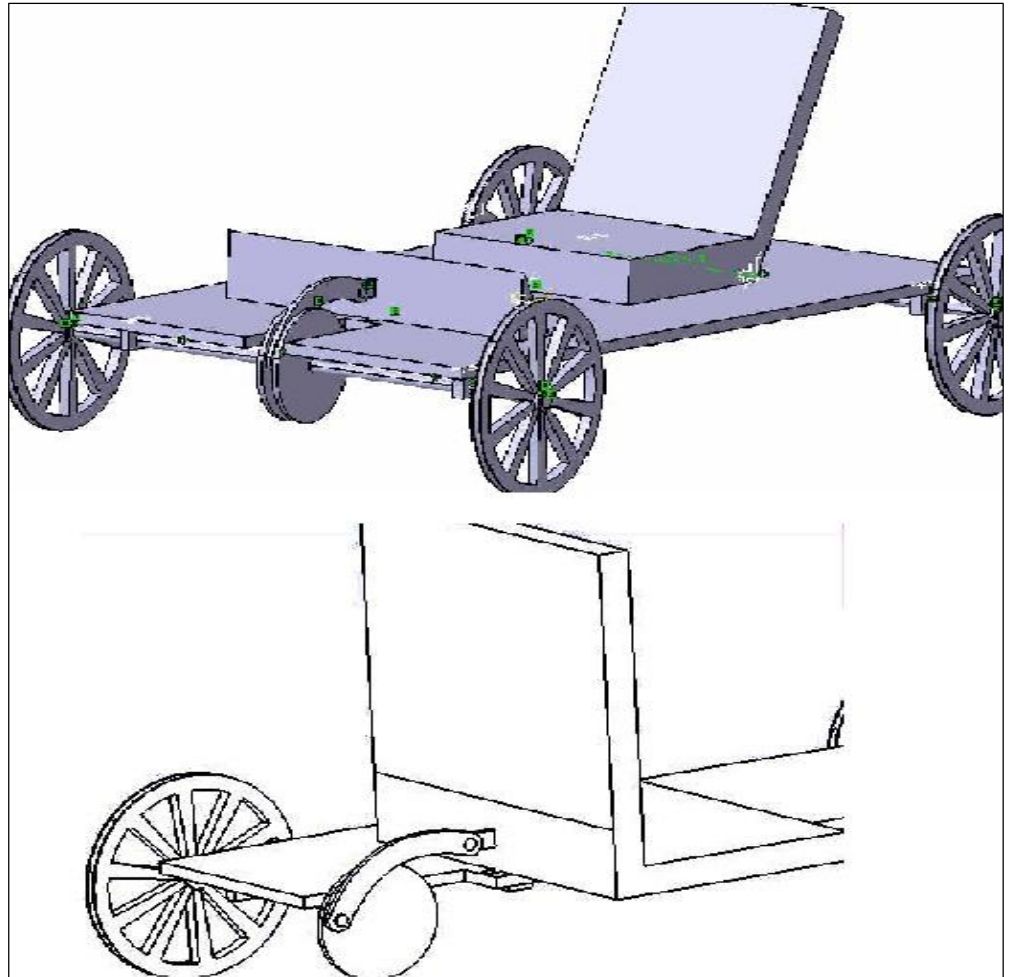


Kuva 12. Konsepti 2.

Mekanismitarkastelussa tämä konsepti sijoittui kolmanneksi. Sen etuna oli ohjausmekanismin helppo synkronointi mekanismiin. Mekanismi osoittautui kuitenkin melko raskaaksi, koska se koostui isommista ja painavammista osista.

5.5 Konsepti 3

Kolmannessa konseptissa (kuva 13) liike tuotetaan liikuttamalla astinlautaa edestakaisin. Idea on myös muunnettavissa niin, että liike tuotetaan penkkiä liikuttamalla. Myös tämä konsepti vaatisi erillisen ohjausmekanismin. Mekanismin toiminta on havainnollistettu kuvasarjalla, joka löytyy liitteestä 7.

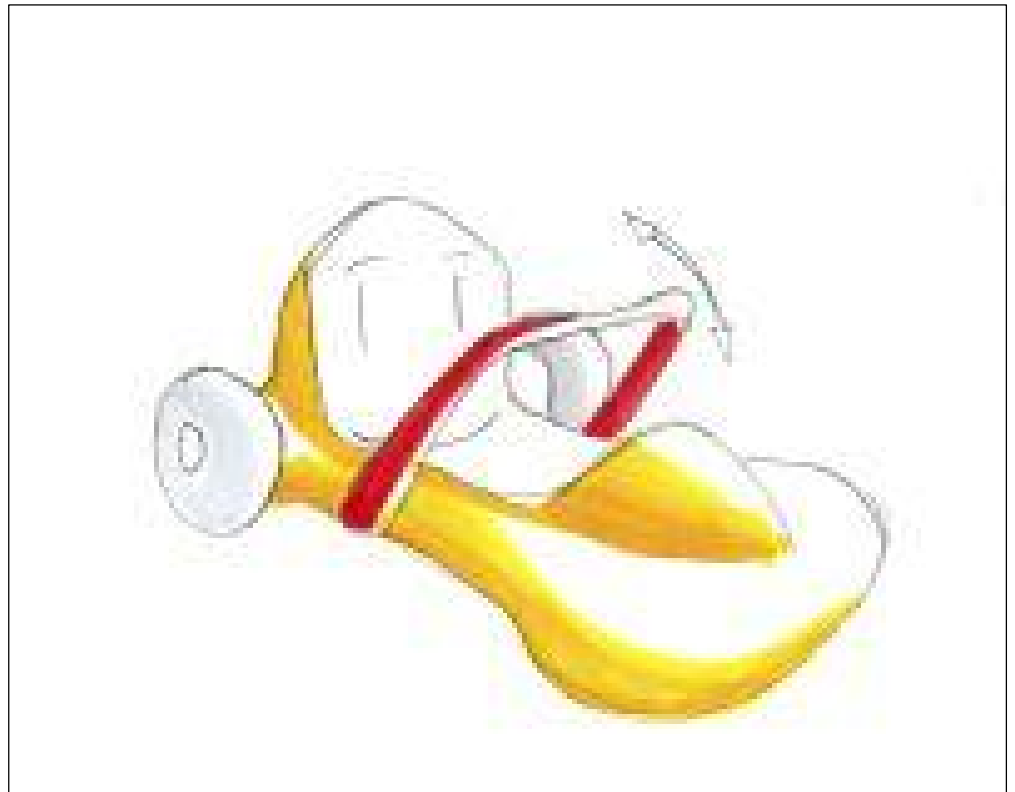


Kuva 13. Konsepti 3, muunnokset.

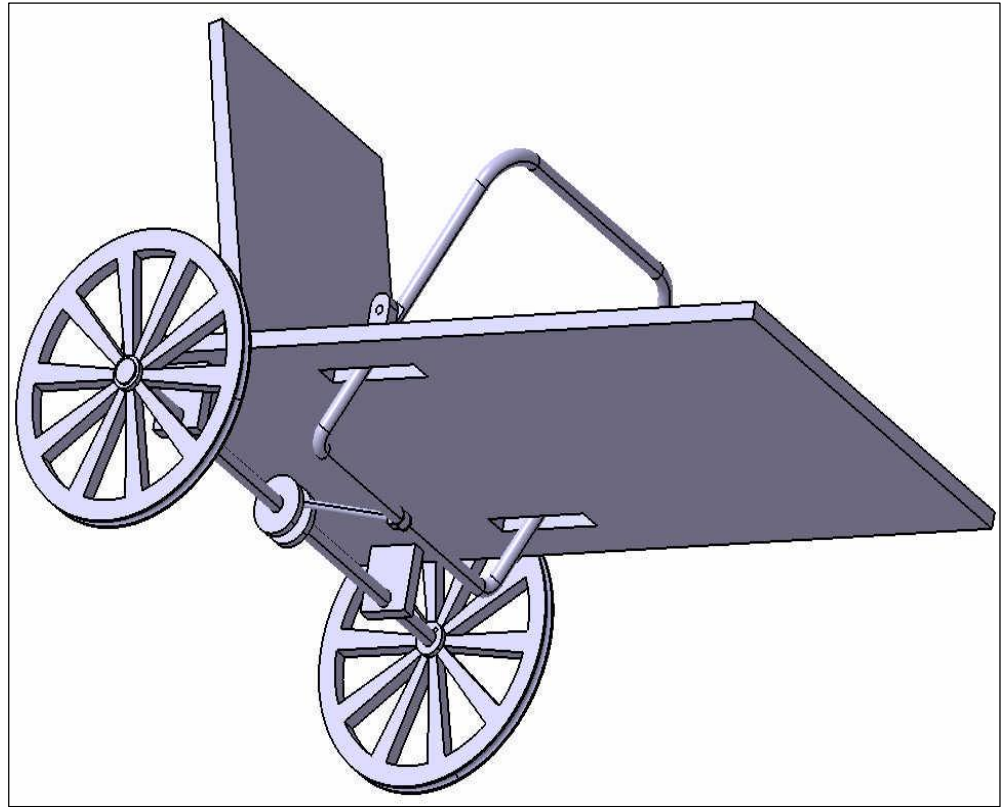
Mekanismitarkastelussa tämä konsepti sijoittui viimeiseksi. Sen etuna oli muunneltavuus. Mekanismi osoittautui kuitenkin tarkastelun raskaimmaksi, koska sekin koostui isommista ja painavammista osista. Se ei myöskään soveltunut hyvin MMC-lapselle, koska mekanismi vaatisi alaraajojen tai alavatsan käyttöä.

5.6 Konsepti 4

Neljäs konsepti perustuu muotoilijoiden ryhmätyönä tuottamaan hahmotelmaan (kuva 14). Renkaat pyörivät luonnoksessa turvakaarta muistuttavaa kampea pumpaamalla. Mekanismi (kuva 15.) olisi helppokäyttöinen. Ongelma kuitenkin olisi ohjauksen yhdistäminen mekanismiin, koska jaloilla ei voida ohjata. Lisäksi kahvan sisään asennettava ohjausmekanismi olisi haastava toteuttaa. Oikeastaan penkin kallistaminen olisi ainoa järkevä tapa, jolla ohjauksen saisi toteutettua. Mekanismin toiminta on havainnollistettu kuvasarjalla, joka löytyy liitteestä 8.



Kuva 14. Muotoilijan konsepti-idea [15].



Kuva 15. Konsepti 4.

Mekanismitarkastelussa tämä konsepti sijoittui toiseksi. Sen etuna oli rakenteen keveys ja mekanismin tehokkuus. Mekanismin heikkoutena oli ohjauksen liittämisen vaikeus.

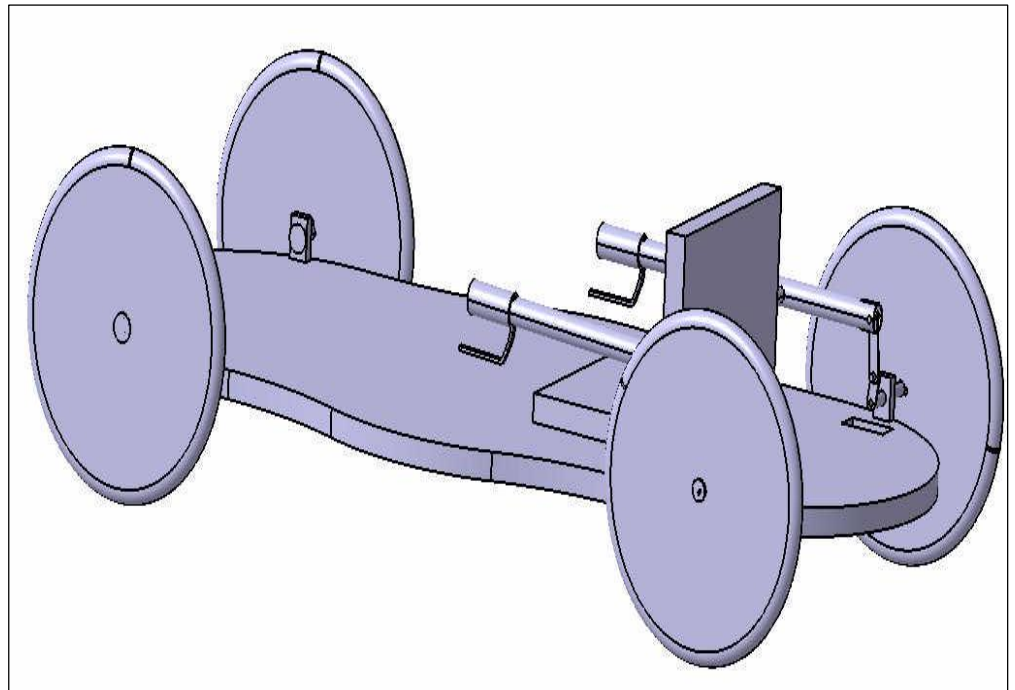
6 RATKAISUEHDOTUS

Ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan neljällä pyörällä toimivalla kokonaisuudella. Päädyin nelipyöräiseen rakenteeseen sen tukevuuden tuoman turvallisuuden vuoksi. Kolmipyöräisyydessä olisi ollut etuna ketteryys, mutta vaarana on laitteen kaatuminen. Kolmipyöräinen rakenne on selvästi nelipyöräistä kiikkerämpi, johtuen tukipisteistä. Nelipyöräisessä mallissa keskelle sijoitettu lapsen paino jakautuu tasaisemmin kulmiin sijoitettuihin pyöriin. Kolmella pyörällä painoa siirrettäessä saattaa laite kaatua. Kuntouttavan apuvälineen ei tulisi aiheuttaa vaaraa käyttäjälleen missään tilanteessa. Ratkaisuehdotus on esitetty kuvassa 16.

Mekanismiin päädyttiin yksinkertaisuuden, liikeradan ja mekanismivertailun perusteella. Pyörätuolista tutun ohjaustavan etuna on, että se on MMC-lapsille ennestään tuttu. Lisäksi silloin ei tarvitse erillistä ohjausmekanismia, jolloin säästetään suunnittelu- ja valmistuskustannuksissa. Tämä johtuu siitä, että laitteen hintaan vaikuttaa suuresti osien määrä. Yksinkertaisuus helpottaa huoltoa ja kunnossapitoa.

Heikkoutena on se, ettei laite ole nelipyöräisyytensä takia aivan niin ketterä, kuin se olisi kolmella pyörällä. Kolmipyöräisyyttä ja erillistä ohjausmekanismia kannattaa vielä kuitenkin tutkia.

Mekanismi koostuu yksinkertaistettuna kahvasta, kammesta ja akselistä. Liike tuotetaan pumppaamalla kahvoja ylös alas, jolloin kampi kääntää akselia. Kampi kiinnittyy akselin päähän epäkeskeisesti.



Kuva 16. Ratkaisuehdotus.

Mekanismissa heikkoutena on työkierron kuolokohtat (ks. kpl. 5.2). Ongelma ei kuitenkaan ole kriittinen, koska molemmissa renkaissa on oma veto. Tämän vuoksi on hyvin epätodennäköistä, että molemmat mekanismit pysähtyisivät kuolokohtaan. Näin käydessä täytyy laite työntää liikkeelle. Mekanismin toiminta on havainnollistettu kuvasarjalla, joka löytyy liitteestä 5.

Laitteen kuolokohtien aiheuttamaa ongelmaa kannattaa vielä tutkia ja mekanismia voi optimoida ennen prototyypin valmistamista. Prototyypillä voidaan testata mekanismia vielä käytännössä.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä käsiteltiin kuntouttavan apuvälineen tuotekehitysprosessia. Tarkoituksena oli selvittää yksilöllisen apuvälineen suunnittelu- ja kehitysvaiheita tuotekehitysprosessin ja mekaniikkasuunnittelun osalta.

Työn alussa esiteltiin tuotekehitysprosessin alkutoimenpiteitä. Tämä auttaa ymmärtämään, mitä on huomioitava ja selvitettävä ennen kuin itse laitteen suunnittelu voidaan aloittaa. On hyvin tärkeää kartoittaa tilanne ja tarpeet ennen suunnittelun aloittamista. Näin säästetään turhalta työltä ja säästetään resursseja. Priorisointi on huomioitava tavoite niin tiimille kuin yleisestikin, koska käytettävissä on rajoitetusti resursseja. Täytyy tietää minne resursseja keskittää, muuten niitä hukataan.

Keskivaiheilla esiteltiin mekanismikonseptit ja arvioitiin, mikä niistä sopisi parhaiten tuotteen käyttöön. Vertailussa käytettiin apuna 3D-malleja, simuloitteja ja matemaattisia tarkasteluja.

Lopussa esiteltiin ratkaisu valitusta mekanismimallista. Päädyttiin ensimmäiseen konseptiin, koska se oli vertailussa paras kaikilla osa-alueilla. Mekanismin kehitystyö jatkuu vielä projektissa. Mekanismin optimoinnin jälkeen tuotteesta valmistetaan prototyyppi. Prototyypin testauksen avulla nähdään, toimiiko mekanismi niin kuin on tarkoitettu ja suunniteltu. Asiaa voidaan tarkastella mittauksin ja kokein, joiden tuloksia verrataan simuloitteihin ja matemaattisiin tarkasteluihin. Tarkastelun jälkeen arvioidaan, tarvitseeko mekanismi vielä parannuksia tai muutoksia.

VIITELUETTELO

- [1] Rakennerahastotietopalvelu. *Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittaman projektin kuvaus* [verkkotiedote]. [Viitattu 15.11.2010]. Saatavissa: <https://www.eura2007.fi/rrtiepa/projekti.php?projektkoodi=A31052>.
- [2] Metropolia AMK. *Metrocket* [verkkotiedote]. [viitattu 15.11.2010]. Saatavissa: <http://www.metropolia.fi/tutkimus-ja-kehitys/hankkeet/teollinen-tuotanto/metrocket/>.
- [3] Sillanpää, Matti ym. , *Lastenneurologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. 2004.
- [4] Suomen CP- liitto ry, vamma ryhmät, *MMC, hydrokefalia*. [verkkojulkaisu, viitattu 12.11.2010]. Saatavissa: <http://www.cp-liitto.fi/index.phtml?s=164>.
- [5] *Elämän maku. Tietoa ja kertomuksia hydrokefaliasta ja MMC:stä*. Toim. Pirjo Toivonen. Helsinki: Suomen CP-liitto ry ja Oy Edita Ab. 2008.
- [6] CDC, *Children 2 to 20 years, Boys Stature-for-age and Weight-for-age*. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.11.2010]. Saatavissa: http://www.cdc.gov/growthcharts/clinical_charts.htm.
- [7] Sosiaali- ja terveysministeriö, *Kuntoutus* [verkkotiedote]. [viitattu 22.11.2010]. Saatavissa: http://www.stm.fi/sosiaali_ja_terveyspalvelut/sosiaalipalvelut/kuntoutus.
- [8] Asetus lääkinällisestä kuntoutuksesta 28.6.1991/1015.
- [9] Tuominen, Kari, *Benchmarking*. Helsinki: Metelliteollisuuden kustannus Oy. 1993.
- [10] Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri, Lastenlinna 60 vuotta-esite. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.11.2010]. Saatavissa: <http://www.hus.fi/>.
- [11] Suomen vammaisurheilu ja -liikunta ry. SOLIA [verkkotiedote]. [viitattu 21.11.2010]. Saatavissa: <http://www.vammaisurheilu.fi/>.
- [12] Salmela, Paula, *Mitä on yhteisöllinen kuntoutus päiväkodissa*. [verkkoartikkeli]. [viitattu 3.11.2010]. Saatavissa: <http://www.nuorisuomi.fi/>.
- [13] Turunen, Olof, *QFD -avain tuotteen kehittämiseen*. Helsinki: Metelliteollisuuden kustannus Oy. 1991.
- [14] Wikipedia. Tekniikka vaatimuslista. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 20.11.2010]. Saatavissa <http://fi.wikipedia.org/wiki/Tekniikka#Vaatimuslista>.
- [15] Metropolia AMK. Metrocket wiki-sivut, Lasten apuvälinekonsepti, muotoiluideoita. [Salattu Verkkotietokanta]. [viitattu 21.9.2010].

LIITTEET

Liitteet 1: Benchmarking tietopohja

Liitteet 2: QFD taulukko

Liitteet 3: Haastattelu pöytäkirja

Liitteet 4: Tuotteen vaatimuslista

Liitteet 5: Toimintakuvat konsepti 1

Liitteet 6: Toimintakuvat konsepti 2

Liitteet 7: Toimintakuvat konsepti 3

Liitteet 8: Toimintakuvat konsepti 4

Liitteet 9: Laskutoimitukset

Benchmarking tietopohja sivu 1.

**BENCHMARKING****Tuotteen nimi:****Tuotteen kuvaus:****Valmistajan yhteystiedot:****Hinta:****Käyttäjät:****Kuva:****Mekaninen toteutus:**

- rakenne:

- uudet teknologiat:

- mekanismit:

- materiaali:

- Innovaatio:

Benchmarking tietopohja sivu 2.

**Muotoilulliset aspektit:**

- muotoilijoiden kommentit:

Markkinointi:

- miten tuotetta markkinoidaan:

- markkina kuvaus:

AV-tekniikka/ asiakkaan näkökulma:

- Av-asiantuntijan kommentit:

Metrocket konsepti:

- miksi tämä on kiinnostava:

- kontributio Metrocket konsepteihin:

Muut huomiot:

QFD taulukko

QFD	Tavoite				Mekanismi	Runko	Katteet	Muut						
	Alue	↑	↓	↑										
	Tärkeys	koko	yksinkertaisuus	liikkeen koko	jäykkyy	Elinka	Materiaali	Koko ja muotoilu	Materiaali	koko ja muotoilu	väri	muunneltavuus	paino	istu
		5	2	3	3	2	2	2	3	3	3	4	4	4
	Asiakkaan tarpeet	Turvallinen	4	5	3	3	2	3	3	3	3	1	4	3
		Helpposti käytettävä	4	2	1	1	2	3	4	1	4	4	3	4
		Helpposti puhdistettava	4	3	3	5	3	3	2	1	1	1	5	4
		Kevyt käyttöinen	4	4	2	2	2	3	3	4	4	4	3	3
		Säädettävä koko	3	2	2	2	2	1	3	5	2	2	1	2
		Houkutteleva	5	4	2	3	1	4	5	2	1	2	1	2
		Sukupuoli neutraali	3	4	2	2	4	5	2	3	3	2	3	3
		Kompakti koko	5	4	2	2	4	5	2	3	4	2	3	3
			4	3	2	2	4	5	2	3	4	2	3	4
			3	2	2	2	4	5	2	3	4	2	3	4
	Tekninen arvio	K	K	K	K	K	K,C	K,C	K,C	K,C	K,C	K	K	K,M
		M	M,C	M	M	M,C	M	M	M	M	M	M	M	M
		C		C,K	C		K,C	K,C	K,C	K,C	K	C	C	
		10*50cm	Alle 5 osaa	20-80cm	keyt	~20 vuotta	teras	X pinnotus	100*50cm	muovi	50*50cm	Maail. hope	Asennot	kg
	Tavoite arvo / spesifikaatio arvo	3	3	3	4	2	1	1	3	1	4	1	4	4
	Tekninen vaikeus (1-matala, 5-korkea)	3	3	3	4	2	1	1	3	1	4	1	4	2
	Tärkeysluokka	70	54	57	53	8	34	26	62	47	95	40	64	62
	Normalisoitu tärkeysluokka	3,7	2,8	3,0	2,8	0,4	1,8	1,4	3,3	2,5	5,0	2,1	3,4	3,3

Arviointi avain:
M = Metrocket
K = KMX (<http://www.kmxkarts.co.uk/>)
C = Champiot (<http://www.champiot.com/>)

Haastattelu pöytäkirja

Haastattelulomake: Lastenlinna 9.4.2010

Tutkimusongelma: Lasten apuvälineiden käyttö, sekä apuvälineisiin liittyvien tarpeiden ja toiveiden kartoitus

Haastateltavana: 3 fysioterapeuttia ja Kari Seliverstow

Yleistä:

1. Minkälaisena asiakasryhmänä pidät lapsia?

Vastaus: Monipuolinen ryhmä. Leikki on tärkeintä lasten kannalta.

2. Mitä erityistä pitää mielestäsi ottaa huomioon kuntoutuksessa, kun on kyseessä leikki-ikäinen lapsi?

Vastaus: Laitteeseen helppo pääsy. Leikki on lapsen maailma, laitteen täytyy olla toiminnan kautta motivoiva, lapsi ei ajattele kuntoutusnäkökulmaa. Tärkeintä on saada lapsi toimintakykyiseksi ja leikkeihin mukaan. Käyttö ulko- ja sisäkäyttöön, päiväkodissa, kotona, sairaalalla ja matkoissa. Ulkokäyttöön on vain jaloilla työnnettäviä tai poljettavia laitteita, käsi- tai ylävartalolla liikuteltavia laitteita taas ei ole. Perhe on mukana kuntoutuksen suunnittelussa ja apuvälineen hankinnassa. Työntötuki/apukahva pikalukolla vanhemmalle tai ohjaajalle.

3. Mitkä ovat yleisimmät ongelmatilanteet liikuntarajoitteisen lapsen päivässä?

Vastaus: Arki on työlästä, lapset tarvitsevat apua vanhemmilta miltei kaikessa. Vanhemmat joutuvat nostelemaan ja kantamaan MMC-lapsia paljon. Vieraita ihmisiä paljon lapsen arjessa (kuntouttajat ja terapeutit). Tilanne helpompi, jos lapsella on sisaruksia. MMC-lapsilla voi olla rakko- ja suolisto-ongelmia.

4. Minkä ikäiset lapset hyötyisivät laitteesta eniten?

Vastaus: Kohderyhmä voisi olla 2 – 5 -vuotiaat MMC-lapset (selkäydinkohju, alaraajat halvaantuneet). MMC-lapset tarvitsevat kuntoutuksessa käsiin lisää voimaa.

Apuvälineen toiminnot/ kuntoutus:

5. Mitkä ovat ne lihasryhmät, joiden harjoittelu nousee keskimäärin tärkeimmäksi liikuntarajoitteisilla lapsilla (tietysti tapauskohtaista)?

Vastaus: Ylävartalon liikkeet esim. vartalon edestakainen- tai kiertoliike. Painonsiirto vartalolla.

6. Millä liikkeillä/ liikeradoilla näitä lihaksia voidaan harjoitella optimaalisesti?

Vastaus: Kädet esim. alas pumppaava -liike

7. Kauanko aikaa kuntoutusharjoitteluun yleensä käytetään päivittäin? Keskimääräinen toistojen kesto/ lukumäärä?

Vastaus: Toistoille ei ole ylärajaa, harjoittelu loppuu kun lapsi kyllästyy tai ei enää jaksaa. Liike ei saa olla liian raskas, ja motivaation on säilyttävä pidempään.

8. Mitkä ominaisuudet laitteessa ovat tärkeitä turvallisuuden kannalta? Mikä heikentää turvallisuutta?

Vastaus: MMC-lapsilla jalat tunnottomat, joten ne eivät saa osua mihinkään terävään (katteet). Törmäysriski. Laitte ei saa keikahtaa. Painopisteen pitää olla alhaalla.

9. Kuinka helposti säädeltäviä/ muuteltavia nykyiset lasten apuvälineet ovat? Mitä lasten yksilöllisiä ominaisuuksia tulee ottaa huomioon mietittäessä apuvälineen säädeltävyyttä (esim.tuet/ muut apuvälineet)?

Vastaus: Lapsilla voi olla muovisidoksia sääreen/reiteen asti (lapsilla ei ole omaa lihasvoimaa jaloissa). Säädettävyys. Helppo siirtyvyys laitteeseen (kääntötuoli). Osalla lapsista on suntti (aivopaineen kertymistä vähentävä letku).

Apuvälineen muut ominaisuudet:

10. Mikä motivoi lasta käyttämään apuvälinettä? Mikä voisi tehdä siitä mukavaa tai hauskaa?

Vastaus: Leikki ja liikkumisen ilo. Teemat ja toiminnallisuus. Lasta motivoi se, että lapsi itse pystyy oman lihasvoiman ansiosta liikkumaan ilman ulkopuolista apua.

11. Kuinka tärkeänä pidät apuvälineen ulkomuotoa lapselle?

Vastaus: Houkuttelevuus ja esteettisyys tärkeää. Ulkomuoto innostaa käyttöön.

12. Mitä turvallisuustekijöitä ja käytännön asioita tulee ottaa huomioon suunniteltaessa apuvälineen...

Vastaus: Ei teräviä tai irtoavia osia. Törmäyseste (pehmeä puskuri) ja ulkopuolisten turvallisuus (jalat eivät mene laitteen alle). Muoto selkeästi hahmotettavissa, leveimmät osat edessä hahmotusta varten. Ei mustavalkoisia raitoja tai ruutuja (epilepsian riski kasvaa), eikä myöskään räikeän kirkkaita värejä (Lapset tykkää, mutta vanhemmat ei). Materiaalina ei saa olla lateksia (allergiariski), ei liukkaita pintoja. Helppo puhdistaa!

Bonus:

13. Jos suunnittelisimme täysin uudenlaisen apuvälineen, minkälainen toivoisit sen olevan?

Vastaus: Vibra (värinästimulaatio) pysähdyksissä. Tärinä aktivoi käyttäjän lihasryhmiä.

TUOTTEEN VAATIMUSLISTA

Kohderyhmä

- Leikki-ikäiset MMC-vammaiset
- erityistarpeet huomioitava (hydrokefalia ja suntti)
- Kokorajoitukset, lasten tavanomaiset kehitysmitat
- Ääripää on suljettava pois. Esimerkiksi kognitiiviset kyvyt, fyysinen koko on syytä rajata.
- Apuvälineen on oltava sopiva lääkinnälliseen kuntoutukseen.
- Sairaalalla on myös omat kriteerit jotka pitää täyttää.

Käyttöympäristö

- Sairaala, päiväkodit ja kotikäyttö
- Ulkokäyttöön soveltuva.
- Sisäkäyttöön soveltuva.
- Leikit muiden lasten kanssa

Lasten motivointi apuvälineen käyttöön

- Hauskuus
- Muoto ja estetiikka
- Yhteiset leikit

Toiminnot

- Rakenteellinen keveys
- Kevyt liikutella
- Selkeästi ohjattava
- Liikkeiden symmetrisyys
- Liikkeiden säädettävyys
- Liikerata ei sido käsiä, ainakin välillä kädet vapaaksi leikkiin
- Jarrut, nopeudenrajoitin
- Avustajan työntö-/vetokahva
- Tarkat ja portaattomat säädöt
- Säädettävyys ilman työkaluja
- Kestävyys
- Peruutus
- Äänimerkki / valot
- Voimantuotto - käsillä esim. pumpaten (kädet pumpkaa alas etuviistossa)
- Neljä pyörää
- Takapyörät vetävät
- Etupyörät ohjaavat

Kuntoutus

- Lihasryhmät (kädet ja ylävartalo)
- Ergonomia
- Ortoosien ja muiden apuvälineiden tilantarve huomioitava. Muovisidokset voivat olla vaikka reisiin asti
- Asennoksi istuminen
- Asento ei liian tuettu jotta harjoittaa tasapainoa
- Liikerata luonnollisia asentoja

- Turvavyö ja tuet
- Rajoitteet
- Toistojen määrällä ja kestolla ei ole väliä. lapsi touhuu, kunnes väsyy
- Vastuksen säädöt

Turvallisuus

- Näkyvyys
- Ympäristön turvallisuus
- Valot
- Raajat suojattuina

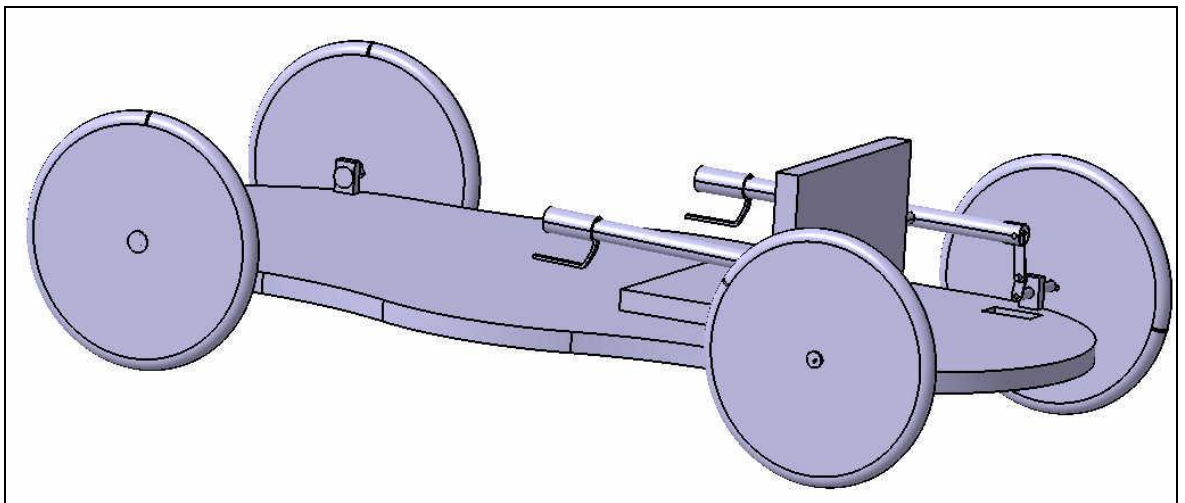
Materiaalit

- Ei allergisoivia materiaaleja
- Puhdistettavuus
- Hygienia

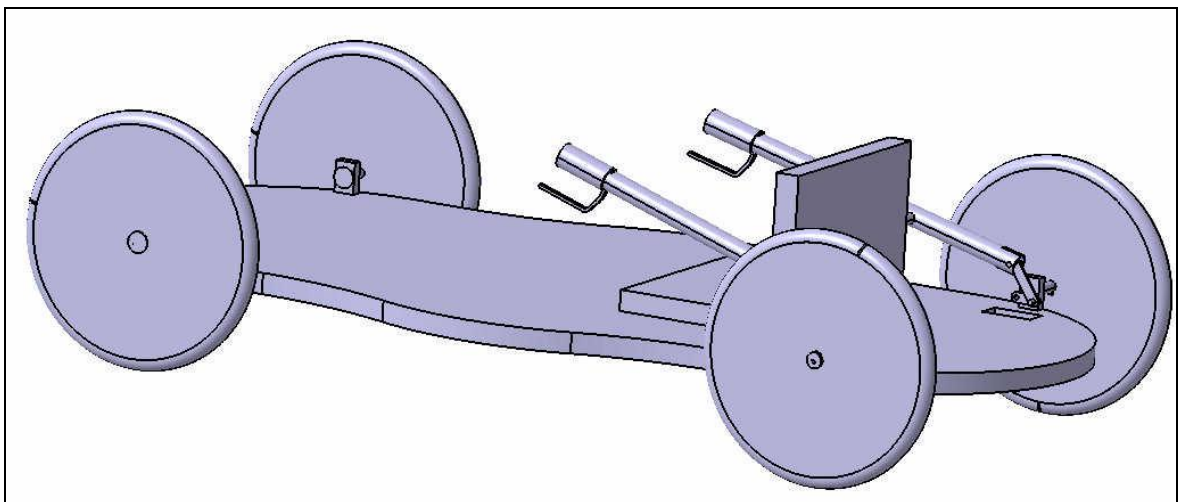
Ulkomuoto

- Värit neutraaleja. eivät saa laukaista epileptistä kohtausta. Värikontrastit
- Kustomointi (esim. tarrat)
- Sukupuolineutraalius
- Inspiraatiota lasten maailmasta
- Selkeä muoto
- Painopiste matalalla
- Maavara
- Puskurit
- Renkaiden koko
- Jos renkaissa pinnat, niin suojattava (jottei kädet mene väliin)
- Tavaratila, tarakka, kori tms. Käden ulottuvilla, jotta leikki onnistuu myös laitteessa ollessa.

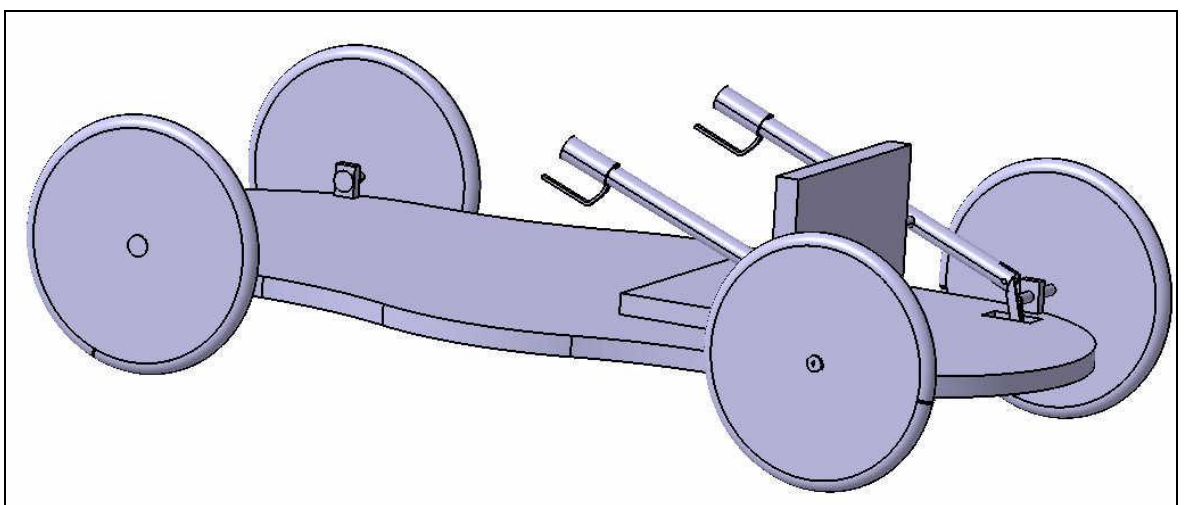
Toimintakuvat konsepti 1.



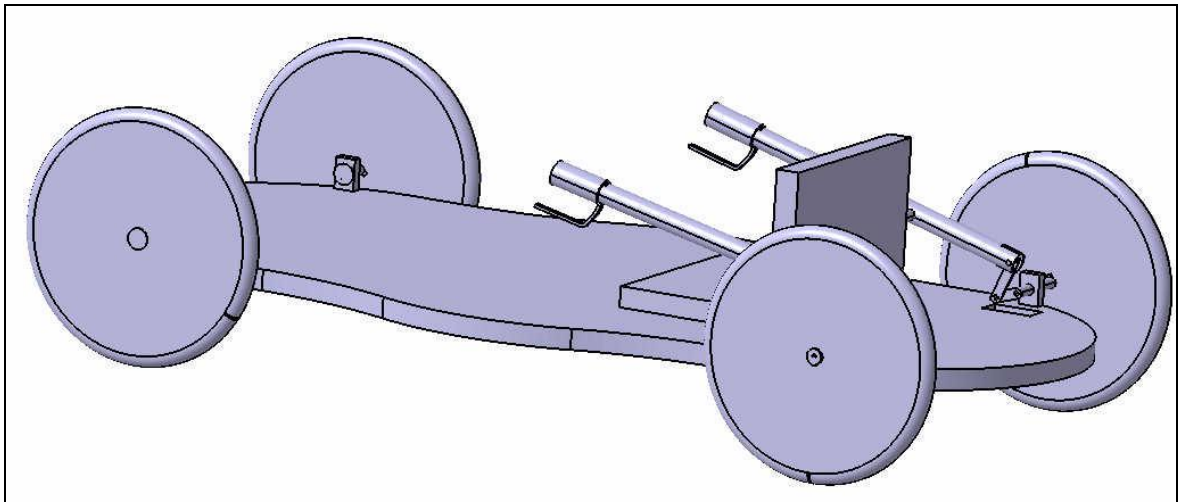
Toimintakuva 1



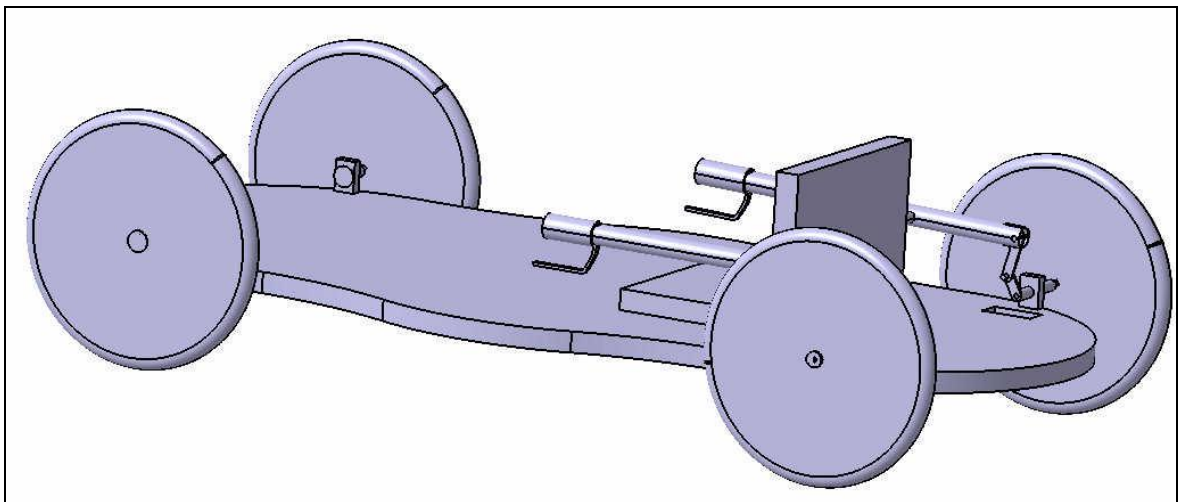
Toimintakuva 2



Toimintakuva 3

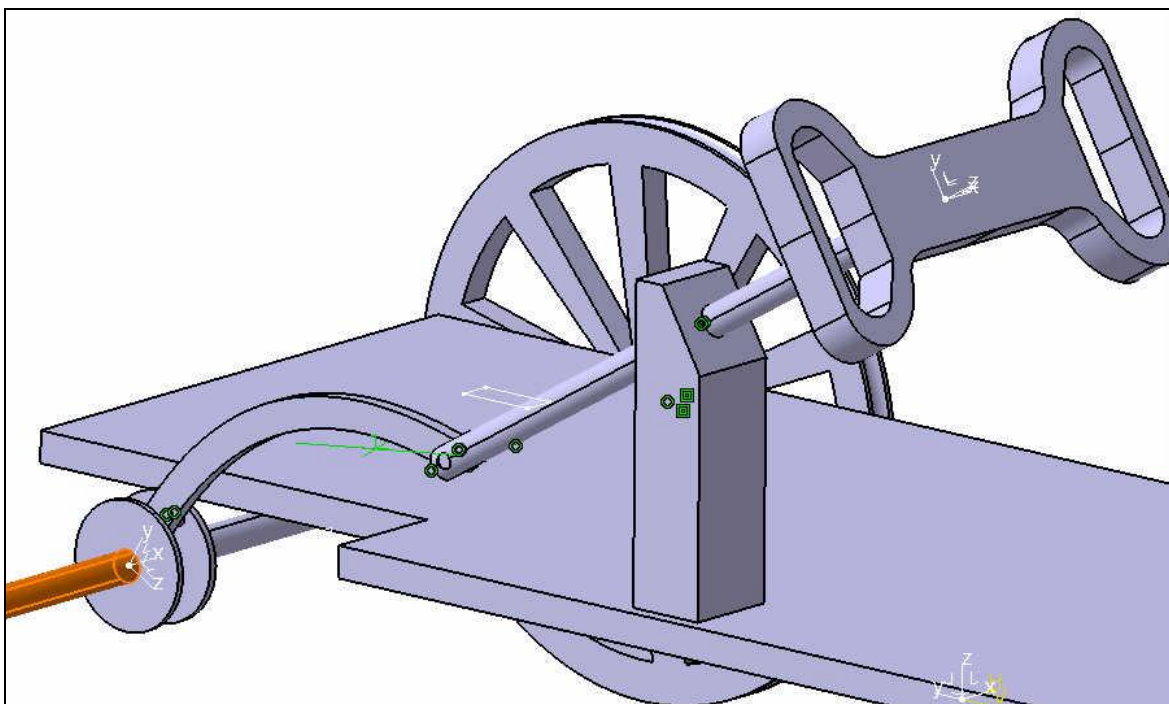


Toimintakuva 4

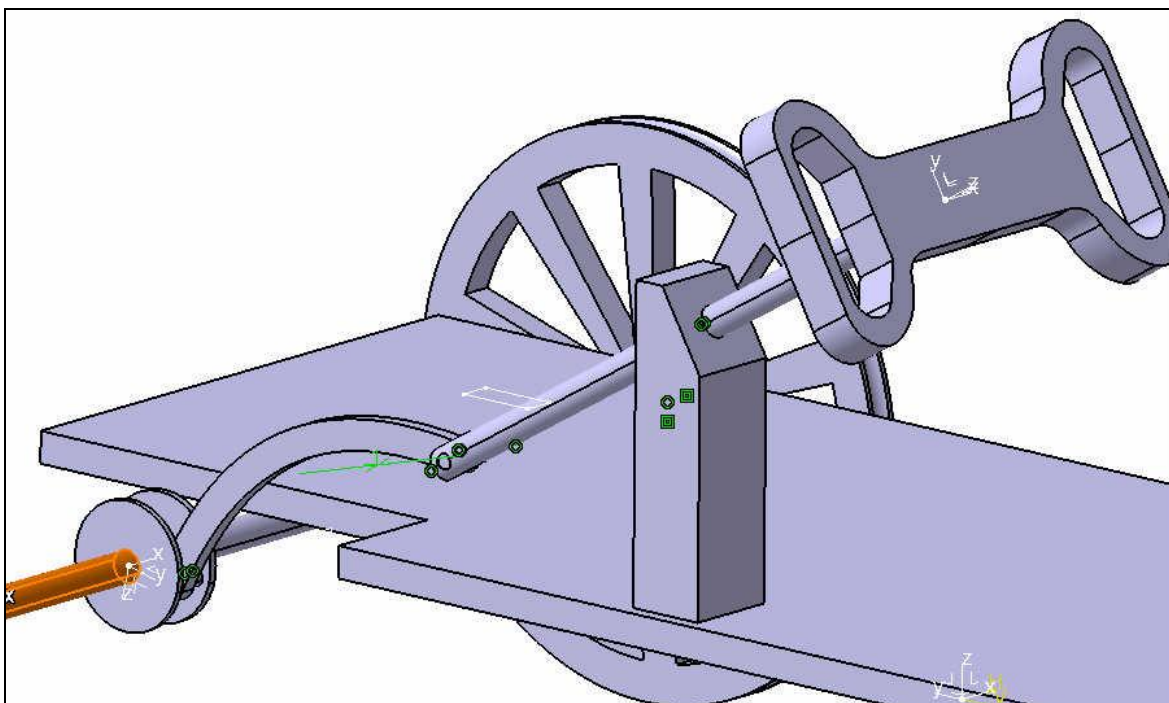


Toimintakuva 5

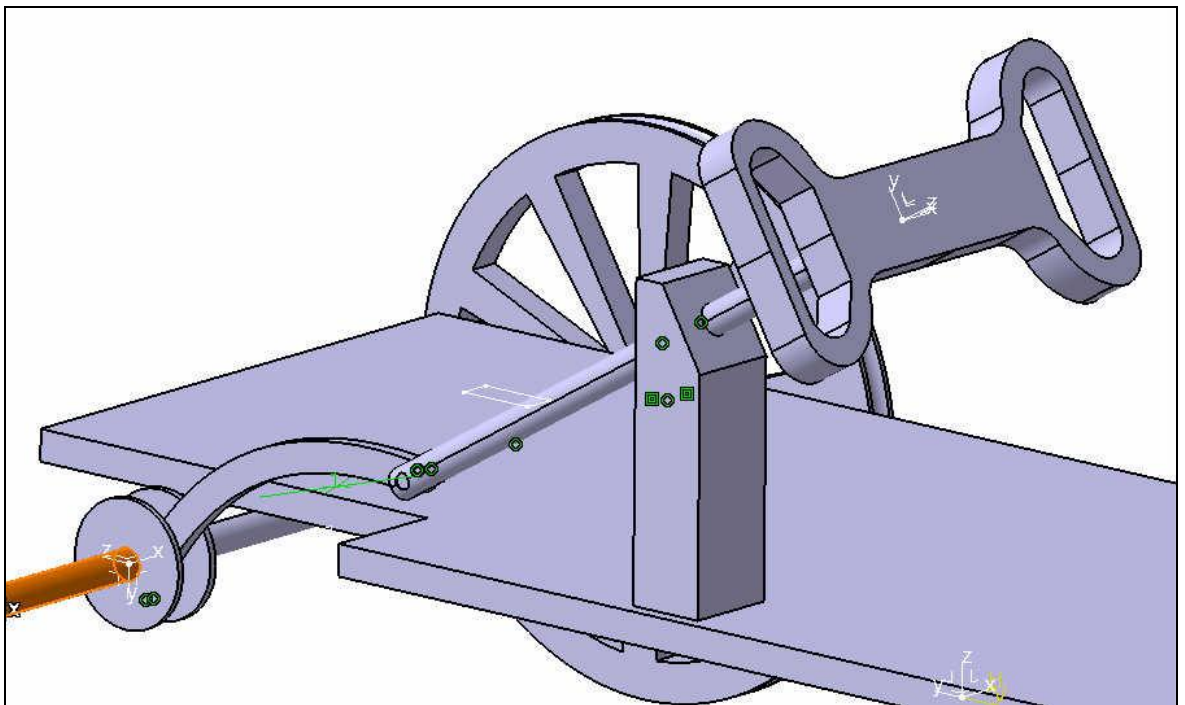
Toimintakuvat konsepti 2.



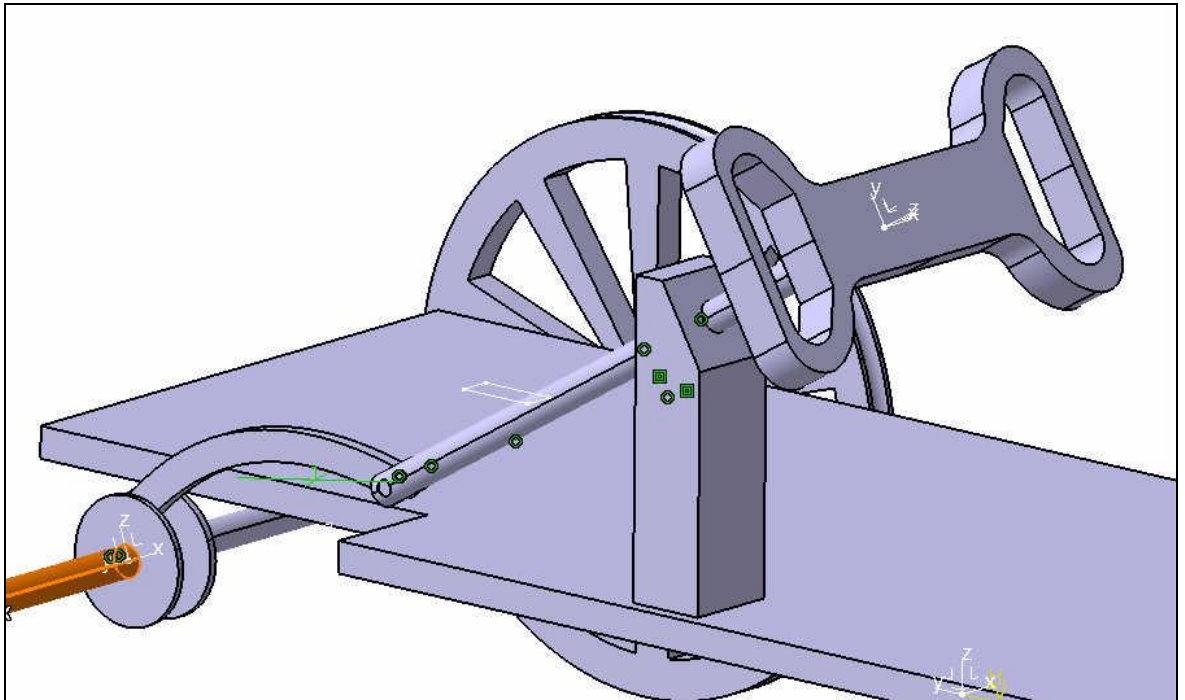
Toimintakuva 1



Toimintakuva 2

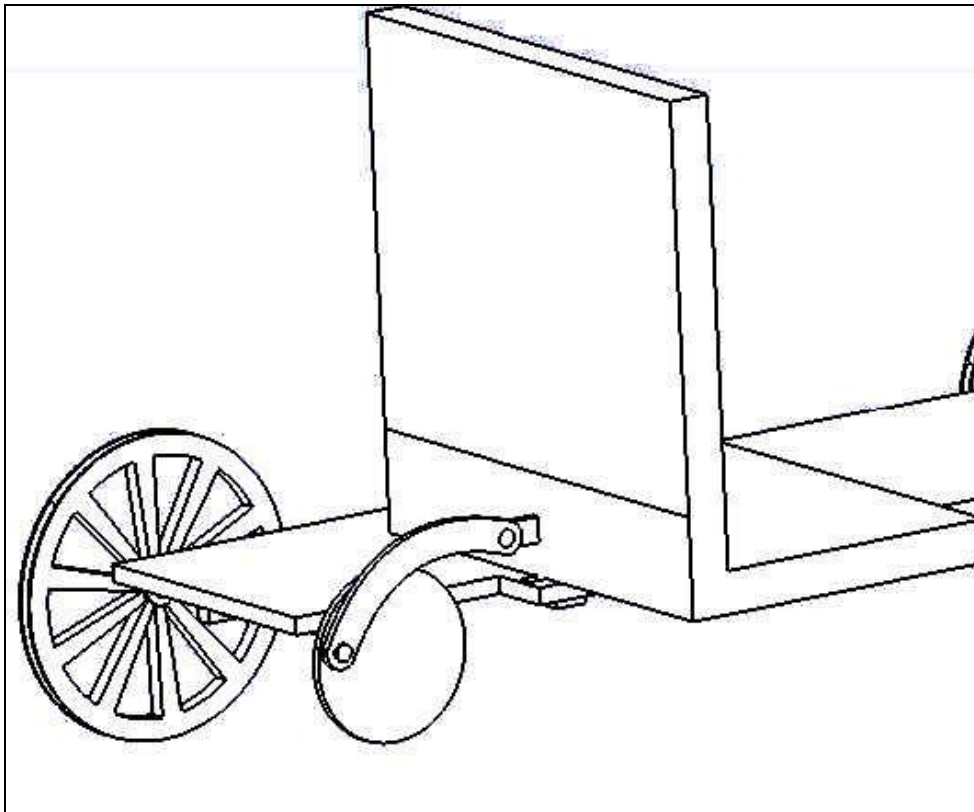


Toimintakuva 3

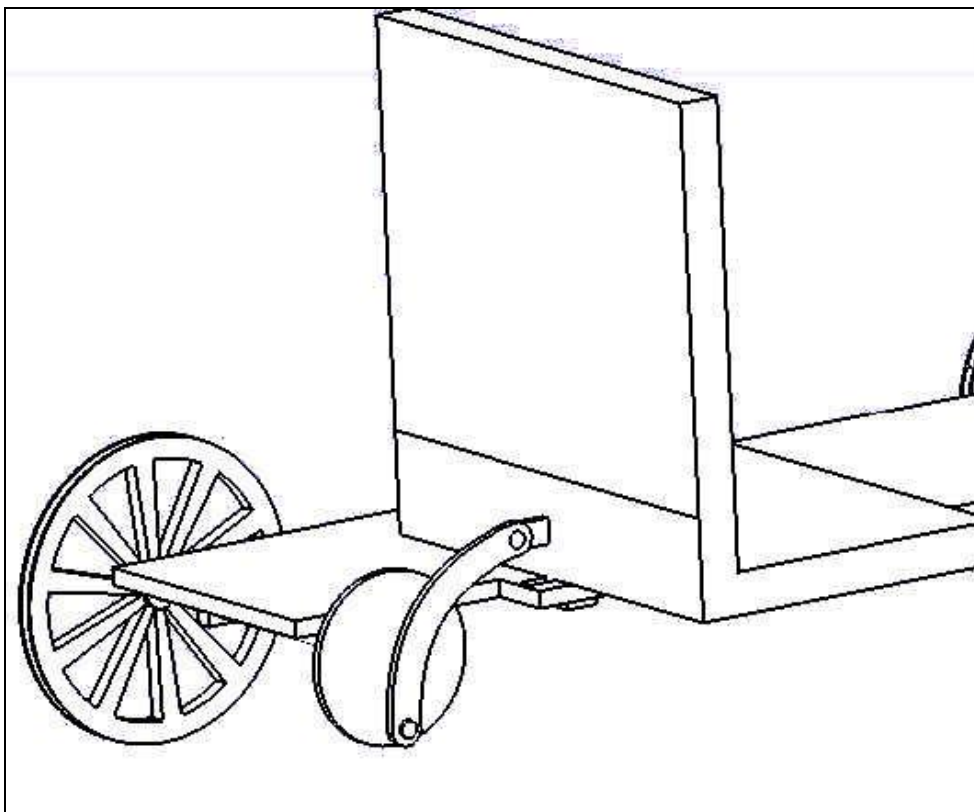


Toimintakuva 4

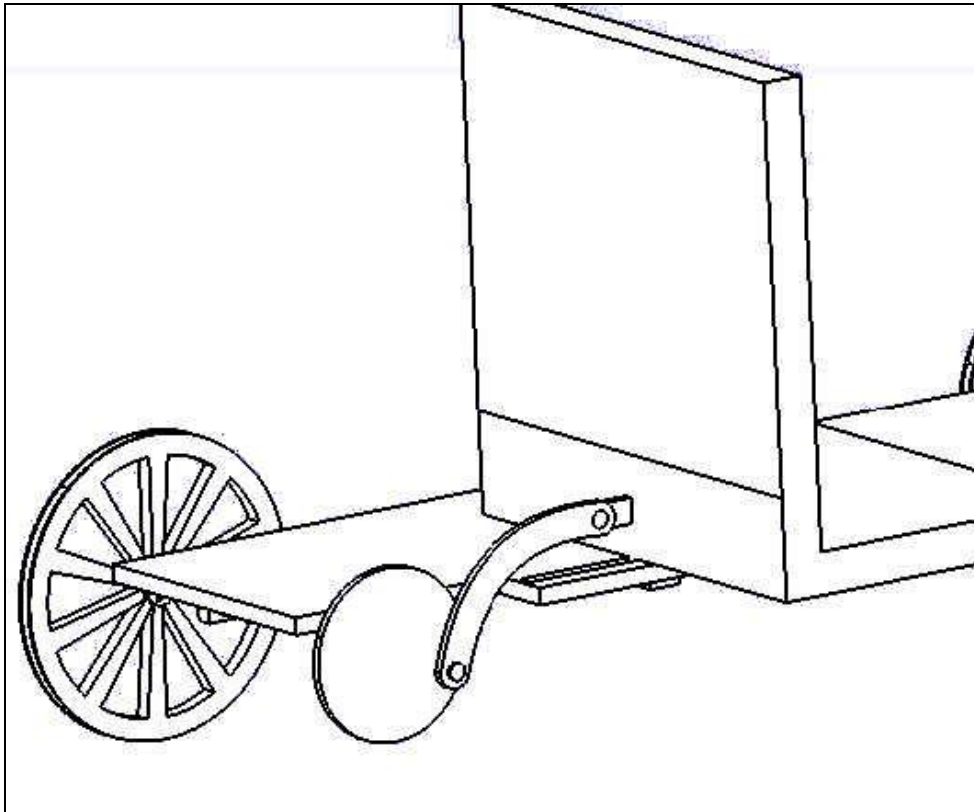
Toimintakuvat konsepti 3.



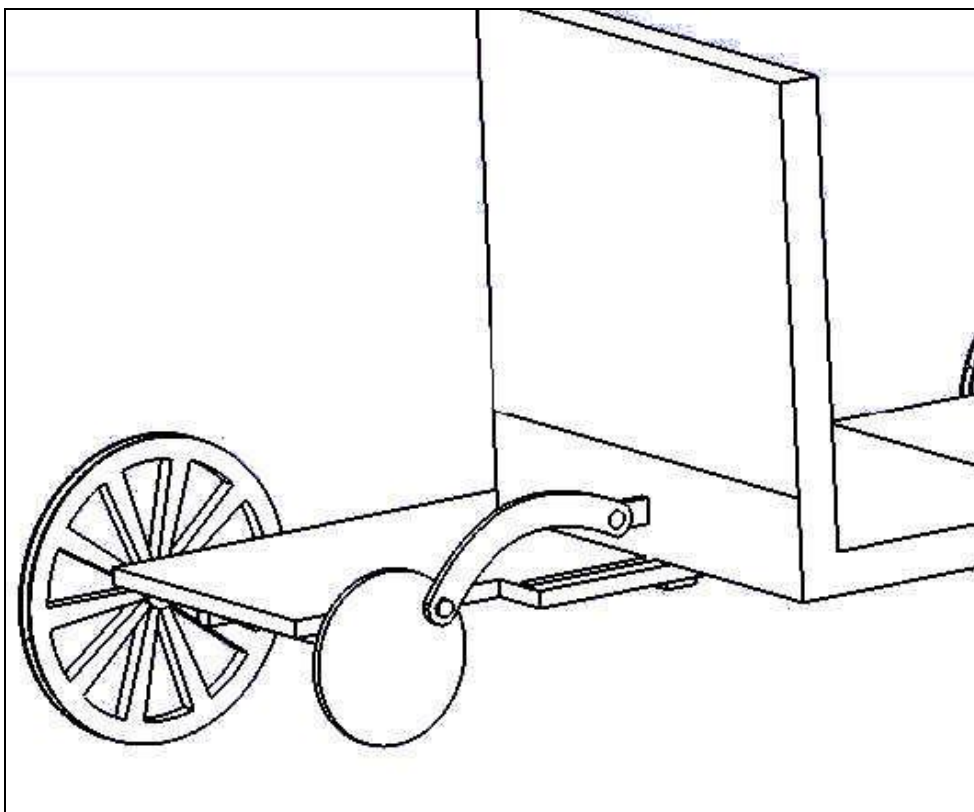
Toimintakuva 1



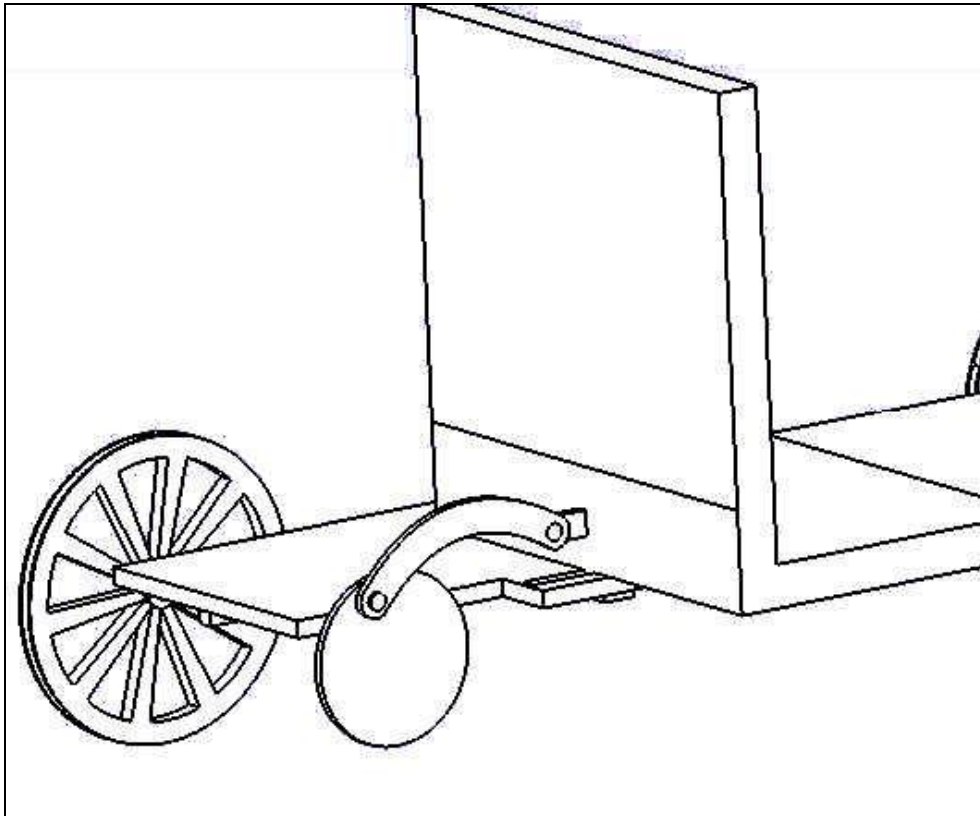
Toimintakuva 2



Toimintakuva 3

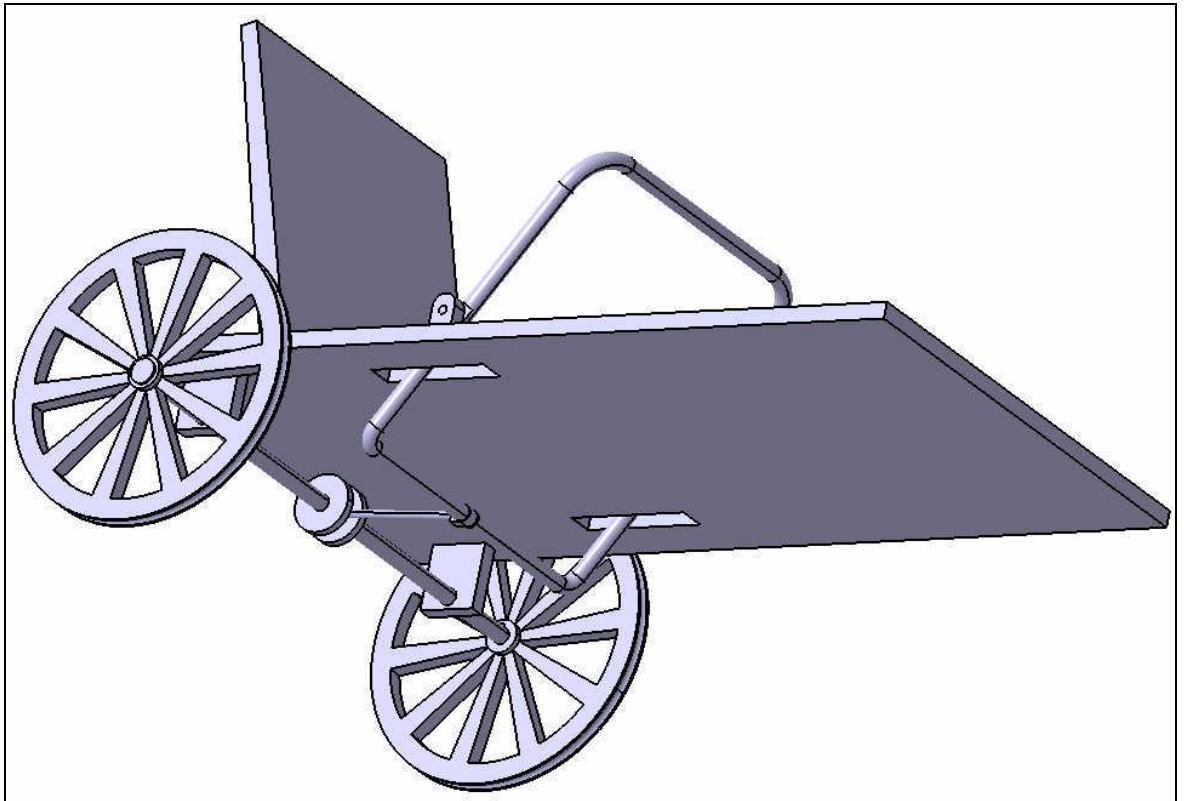


Toimintakuva 4

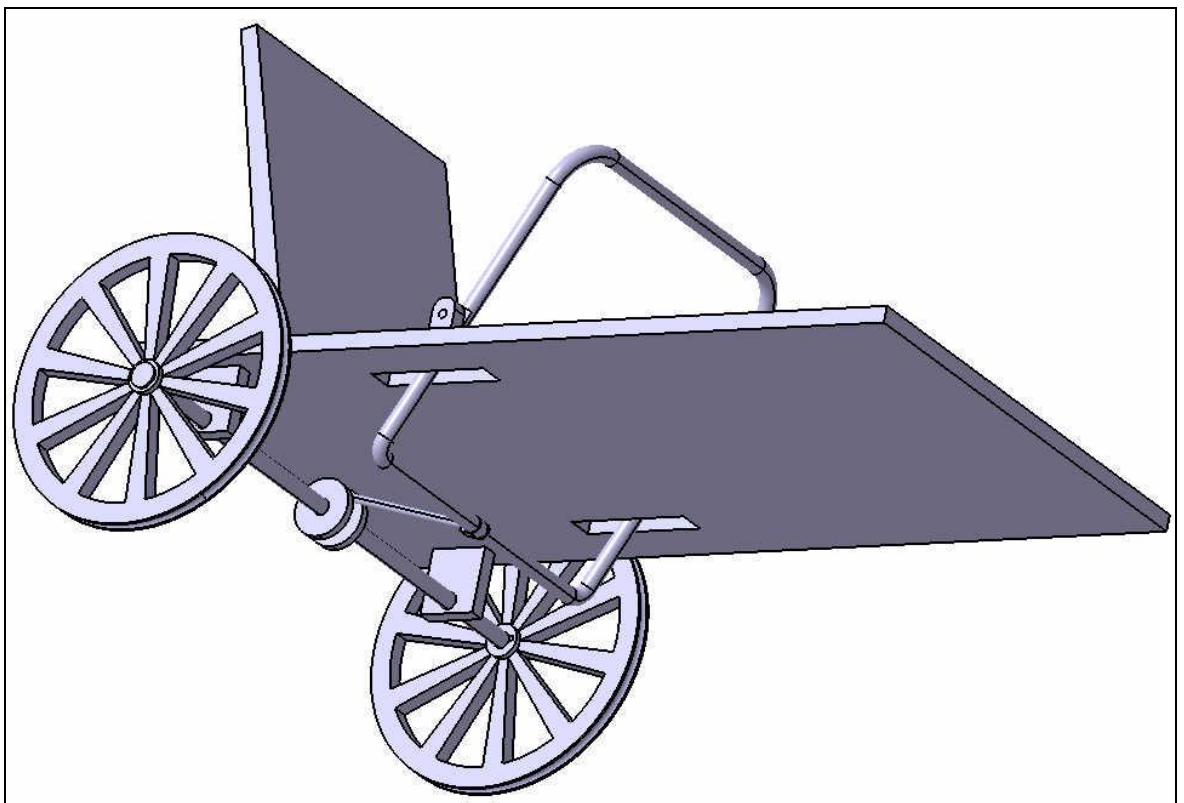


Toimintakuva 5

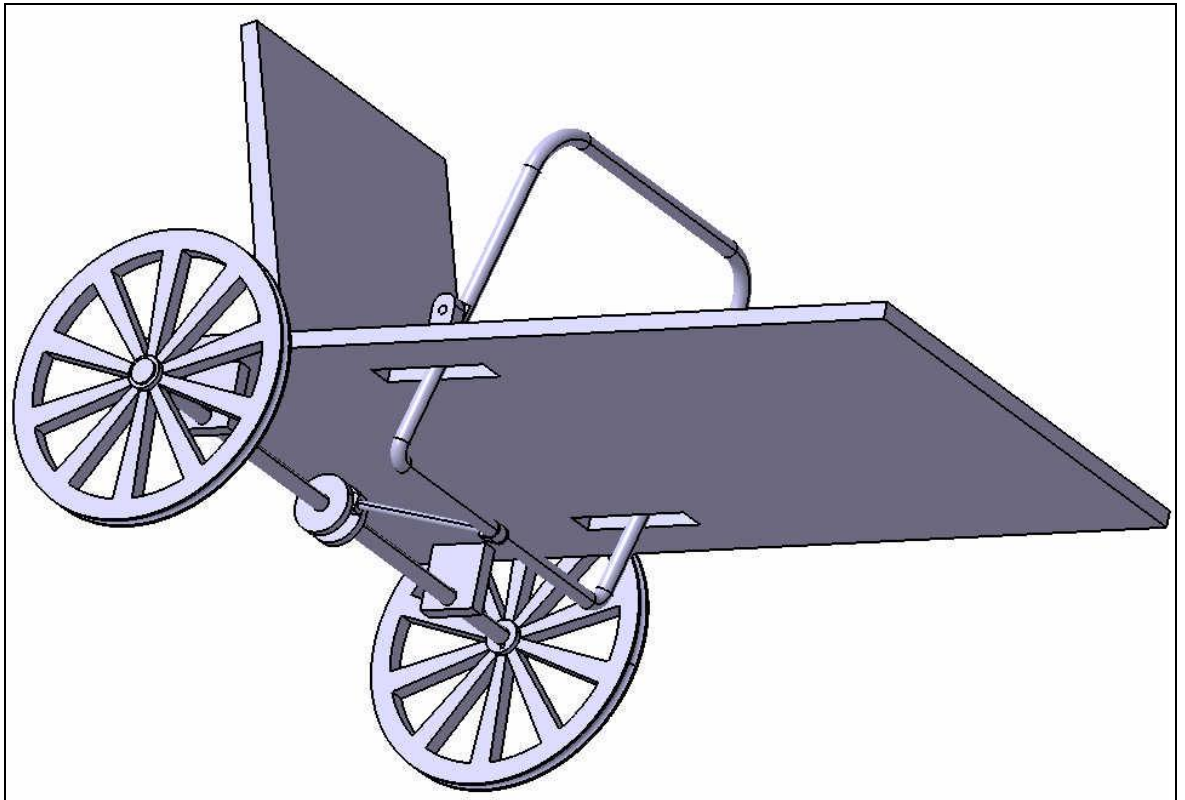
Toimintakuvat konsepti 4.



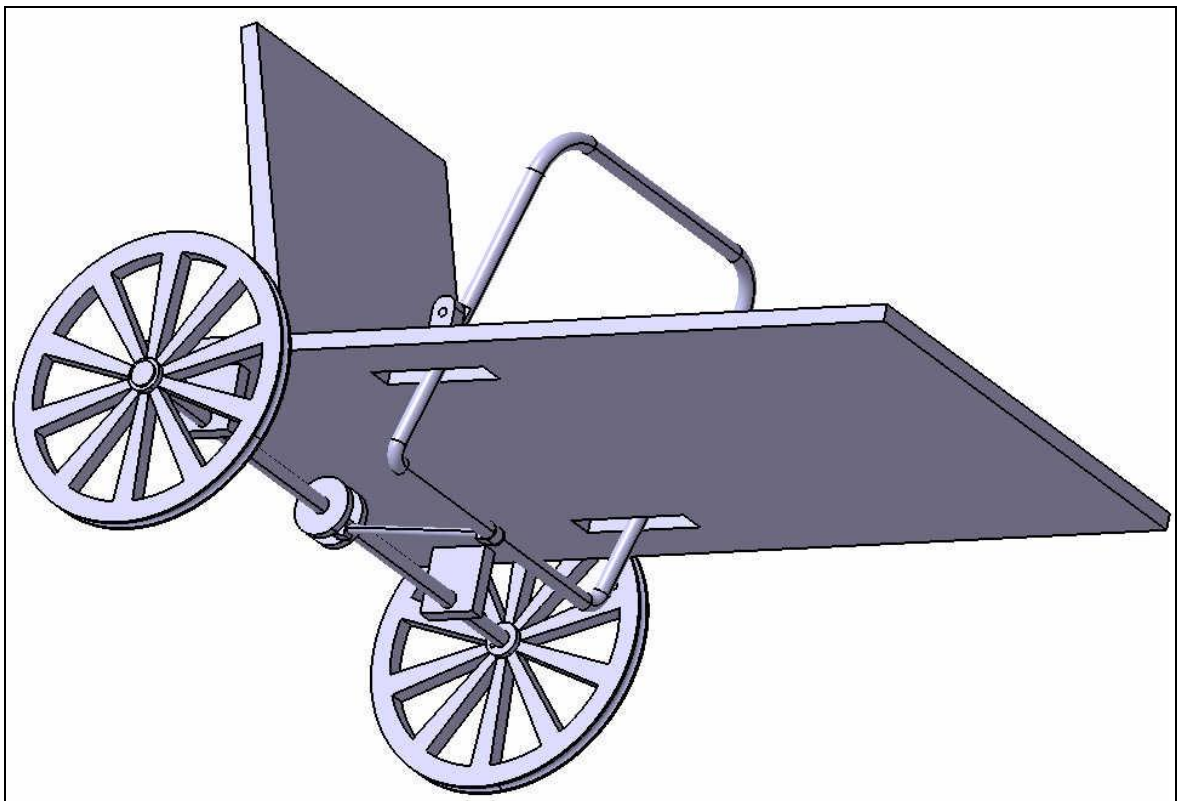
Toimintakuva 1



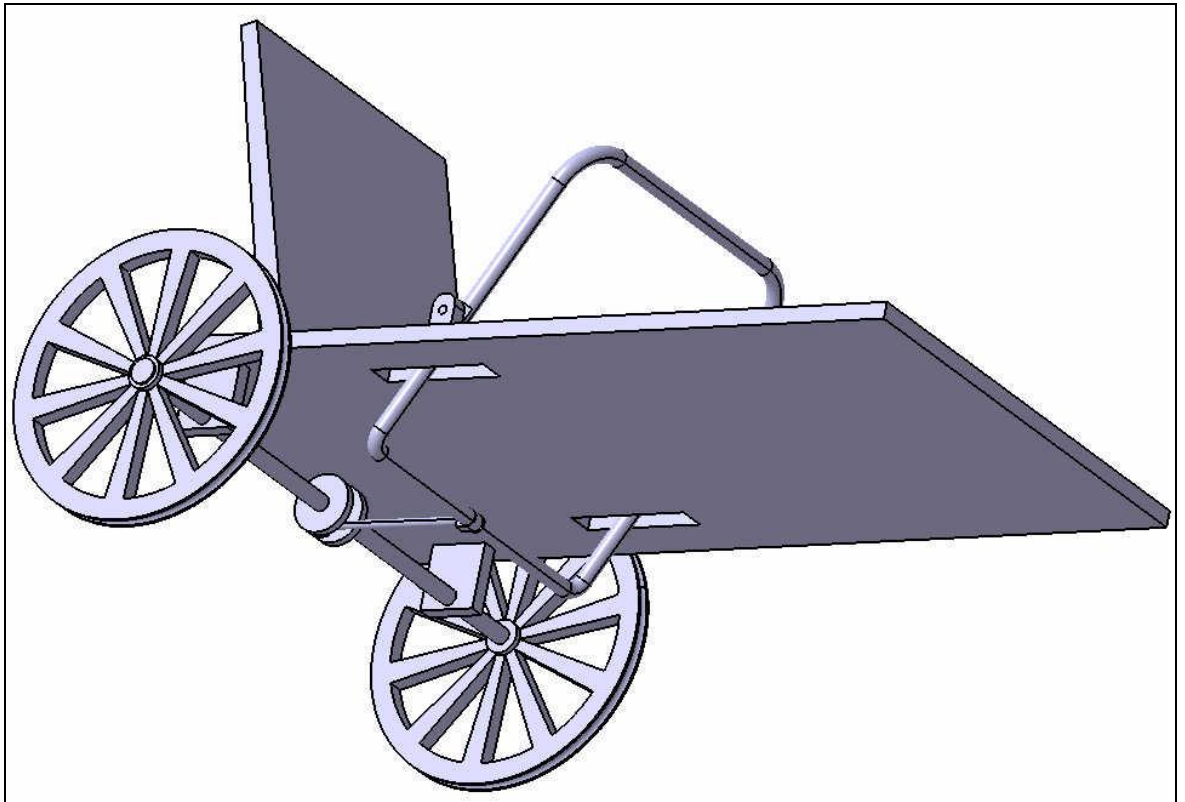
Toimintakuva 2



Toimintakuva 3



Toimintakuva 4



Toimintakuva 5

Laskutoimitukset

Konsepti 1

$$\text{rengas } r_1 := 0.11 \quad \text{m} \quad m_r := 1 \quad \text{kg}$$

$$\text{Akseli } r_2 := 0.02 \quad \text{m}$$

$$\text{renkaan paksuus: } l_r := 0.02 \quad \text{m}$$

$$\text{Laitteen massa (lapsikyydissä): } m_L := 25 \quad \text{kg}$$

Aloitin laskemalla renkaan aiheuttaman hitausmomentin.

Renkaan hitausmomentti J:

$$J_y := \frac{1}{2} \cdot m_r \cdot [(r_2)^2 + (r_1)^2] \quad J_y = 6.25 \times 10^{-3}$$

$$J_x := m_r \cdot \left(\frac{l_r^2}{12} + \frac{r_2^2 + r_1^2}{4} \right) \quad J_x = 3.158 \times 10^{-3}$$

$$J_{\text{rengas}} := J_y + J_x$$

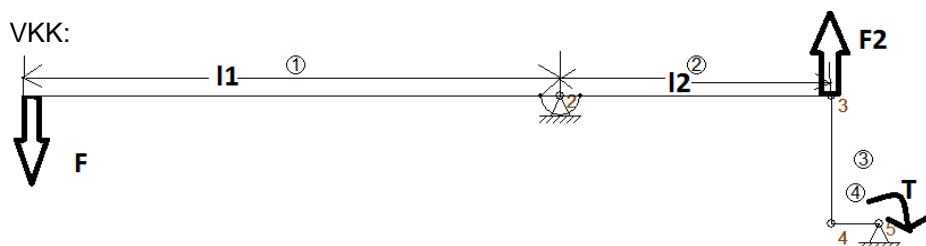
$$J_{\text{rengas}} = 9.408 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Sitten selvitin vivun (1,2) siirtämän voiman kampeen (3) (näkövät VKK:ssa)

Vivun siirtämä voima kankeen 3:

$$\text{Arvio voimasta per käsi: } F_1 := 15 \quad \text{N} \quad l_1 := 0.22 \quad l_2 := 0.11$$

$$F_1 \cdot a = F_2 \cdot b \quad F_2 := \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} \quad F_2 = 29.348 \quad \text{N}$$



Sitten pystyin määrittämään vääntömomentin T

T (vääntömomentti) pisteessä 5 on silloin

$$T = F_2 \cdot c \quad T := F_2 \cdot c \quad T = 0.587 \quad \text{Nm}$$

$$4 \text{ kangen pituus: } c := 0.02 \quad \text{m}$$

Laitteen liikeyhtälö $F = m \cdot a$ Momentti $M = F \cdot a \cdot r$

pisteen 5 momentti

$$T = J \cdot \alpha + m \cdot a \cdot r$$

tasaisesti kiihtyvän liikkeen mukaan

$$\alpha = \frac{a}{r} \quad T = J \cdot \frac{a}{r} + m \cdot a \cdot r \quad T \cdot r = J \cdot a + m \cdot a \cdot r^2 \quad T \cdot r = a(J + m \cdot r^2)$$

$$a := \frac{T \cdot r_1}{J_{\text{rengas}} + m_L \cdot r_1^2}$$

Kuitenkin koska liikutus mekanismeja on kaksi, joudumme laskemaan hiemen eri tavalla koska lapsi pumppaa molempia kahvoja.

$$a_{\text{Koko}} := \frac{2T \cdot r_1}{2J_{\text{rengas}} + m_L \cdot r_1^2}$$

$$a_{\text{Koko}} = 0.402 \quad \text{m/s}^2$$

Vielä teoreettinen laitetta liikuttavavoima

$$F = m \cdot a \quad F_{L\text{koko}} := m_L \cdot a_{\text{Koko}} \quad F_{L\text{koko}} = 10.047 \quad \text{N}$$

Teho sisään ja ulos voidaan verrata jolloin

$$\frac{F_{L\text{koko}}}{2F_1} = 0.335$$

Konsepti 2

$$r_1 := 0.11 \quad \text{m} \quad m_r := 1 \quad \text{kg} \quad \text{renkaan paksuus:} \quad l_r := 0.02 \quad \text{m}$$

$$r_2 := 0.02 \quad \text{m}$$

$$\text{Laitteen massa (lapsikyydissä):} \quad m_L := 25 \quad \text{kg}$$

Renkaan hitausmomentti:

$$J_y := \frac{1}{2} \cdot m_r \cdot \left[(r_2)^2 + (r_1)^2 \right] \quad J_y = 6.25 \times 10^{-3}$$

$$J_x := m_r \cdot \left(\frac{l_r^2}{12} + \frac{r_2^2 + r_1^2}{4} \right) \quad J_x = 3.158 \times 10^{-3}$$

$$J_{\text{rengas}} := J_y + J_x$$

$$J_{\text{rengas}} = 9.408 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Erona konsepti 1 tässä konseptissa on vauhtipyörä joka vaikuttaa laskuun

Vauhtipyörän hitausmomentti:

$$m_v := 0.3 \quad r_{\text{vauh}} := 0.02 \quad l_{\text{vauh}} := 0.02$$

$$J_{y\text{vauh}} := \frac{1}{2} \cdot m_v \cdot r_{\text{vauh}}^2$$

$$J_{x\text{vauh}} := m_v \cdot \left(\frac{l_{\text{vauh}}^2}{12} + \frac{r_{\text{vauh}}^2}{4} \right)$$

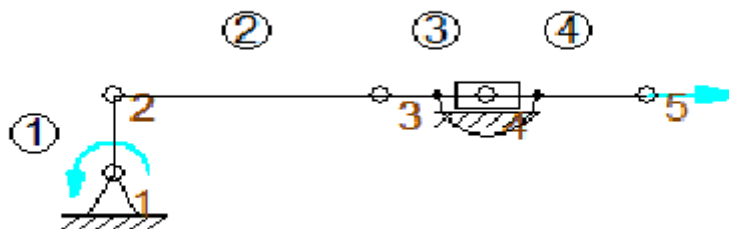
$$J_{\text{vauh}} := J_{y\text{vauh}} + J_{x\text{vauh}} \quad J_{\text{vauh}} = 3.7 \times 10^{-4}$$

Hitausmomentti kokonaisuudessaan

$$J_{\text{kok}} := (J_{\text{rengas}} + J_{\text{vauh}}) \quad J_{\text{kok}} = 9.778 \times 10^{-3}$$

$$\text{Arvio voimasta:} \quad F_1 := 30 \quad \text{N}$$

VKK:



T (vääntömomentti) pisteessä 1 on silloin

$$T = F_1 \cdot c \quad \overset{\text{vääntömomentti}}{T} := F_1 \cdot c$$

kangen 1 pituus $c := 0,03 \text{ m}$

$$T = 0,9 \quad \text{Nm}$$

Laitteen liike yhtälö

$$F = m \cdot a$$

$$\text{Momentti} \quad M = F \cdot a \cdot r$$

pisteen 5 momentti T

$$T = J \cdot \alpha + m \cdot a \cdot r$$

Viitaten tasaisesti kiihtyvän liikkeen harjoitukseen

$$\alpha = \frac{a}{r} \quad T = J \cdot \frac{a}{r} + m \cdot a \cdot r \quad T \cdot r = J \cdot a + m \cdot a \cdot r^2 \quad T \cdot r = a(J + m \cdot r^2)$$

$$a := \frac{T \cdot r_1}{J_{\text{kok}} + m_L \cdot r_1^2}$$

Kuten edellisessäkin laskussa pyöriä on kaksi.

$$a_{\text{Koko}} := \frac{T \cdot r_1}{2J_{\text{kok}} + m_L \cdot r_1^2}$$

$$a_{\text{Koko}} = 0,307 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Vielä teoreettinen laitetta liikuttavavoima

$$F_{L\text{koko}} := m_L \cdot a_{\text{Koko}} \quad F_{L\text{koko}} = 7,685 \quad \text{N}$$

Teho sisään ja ulos voidaan verrata jolloin

$$\frac{F_{L\text{koko}}}{2F_1} = 0,128$$

Konseptit 3 ja 4 on laskettu samalla tavalla, esittelen vain niiden vastaukset.

Tulokset:

Konsepti 1 $a = 0,40 \text{ m/s}^2$

Konsepti 2 $a = 0,31 \text{ m/s}^2$

Konsepti 3 $a = 0,34 \text{ m/s}^2$

Konsepti 4 $a = 0,38 \text{ m/s}^2$