

KOMPOSIITTISEN KILPAKELAUSTUOLIN RUNGON KEHITYS

Markus Kinnunen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2012

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä Kinnunen, Markus	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 04.12.2012
	Sivumäärä 44	Julkaisun kieli suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty (x)
Työn nimi Komposiittisen kilpakelauspyörän rungon kehitys		
Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologia		
Työn ohjaaja SÄLLINEN, Pekka		
Toimeksiantaja Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU)		
<p>Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU). Tavoitteena oli kehittää Leo-Pekka Tähdellä kevyempi komposiittinen kelauspyörä Lontoon paralympialaisiin. Tähden sen hetkinen kelauspyörä oli muilta ominaisuuksiltaan optimaalinen, mutta se painoi liikaa muihin kilpailijoihin verrattuna. Uuden komposiittirunkoisen kelaustuolin toivottiin olevan 2-3 kg kevyempi ja vastata muilta ominaisuuksilta Tähden kelauspyörää. Kelausasennon ja lujuusominaisuuksien säilyttäminen olivat tärkeimpiä asioita, jotka tulisi säilyttää uuden kelauspyörän suunnittelussa. Rungon mallinnus ja lujuustarkastelu tehtiin Catia V5 R17- ohjelmistolla. Rungon valmistajana projektin aikana toimi Runtech Systems Oy.</p> <p>Uuden kelaustuolin rungon suunnittelu sisältää myös istumaosan sekä jalkalaudan suunnittelun, koska ne ovat osa runkoa. Suunnittelu aloitettiin mitoittamalla uutta kelaustuolin runkoa. Mitoitus oli tärkeää kelausasennon säilyttämisessä. Mitoituksessa käytettiin hyväksi ennalta määritettyjä koordinaatio akseleita, joilla saatiin tarkat mitat aikaiseksi. Lujuustarkastelussa etsimme rungon heikkoja kohtia.</p> <p>Tuloksena työstä syntyi 3D-malli ja lujuustarkastelu, josta kelaustuoli valmistettiin. Valmistuksen jälkeen se testattiin. Testeissä huomattiin painon keventyneen n. 600 grammaa. Testeissä huomattiin myös kelausasennon hieman muuttuneen. Kelaustuoli ei saavuttanut annettuja tavoitteita, joten sen käyttö Lontoon paralympialaisissa ei ollut mahdollista.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kilpakelaus, komposiitit, 3D-mallinnus, hyptoniitti		
Muut tiedot		



Author(s) KINNUNEN, Markus	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 04.12.2012
	Pages 44	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title THE DEVELOPMENT OF A COMPOSITE FRAME FOR WHEELCHAIR RACING		
Degree Programme Wellness Technology		
Tutor(s) SÄLLINEN, Pekka		
Assigned by Research Institute for Olympic Sports		
Abstract <p>The thesis was commissioned by the Research Institute for Olympic Sports. The aim was to develop a lighter composite wheelchair which Leo-Pekka Tähti could use in the London Paralympics. The current wheelchair weighed too much compared to the ones of the other competitors, but as for the other properties it was optimal. The aim was to produce a new 2-3 kg lighter wheelchair. Maintaining the wheelchair racing posture and strength properties were the most important things. 3D-modeling and strength analysis was made with Catia V5 R17 software. Runtech Systems Oy manufactured the frame of the wheelchair in this project.</p> <p>The frame designing included also the sitting part and the foot plate design, because they are essential parts of the frame. The first goal of the project was the new wheelchair frame design. For exact dimensions, it was necessary to use co-ordination axes. Weak points in the frame were detected with strength analysis.</p> <p>As a result of the thesis project, we got a 3D model and the strength analysis. Based on these results the frame was produced. After the production, it was tested. The new design reduced the weight with 600 grams and the wheelchair racing posture was slightly changed. The new wheelchair did not achieve the goals so it was not used in the London Paralympics.</p>		
Keywords Wheelchair racing, composite, 3D-modelling, hyptonite		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT	4
1.1 Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU)	4
1.2 Runtech Systems Oy.....	5
1.3 Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet	6
1.4 Opinnäytetyön taustatiedot.....	6
2 KOMPOSIITTI	8
2.1 Komposiittien kehitys ja rakenne.....	8
2.2 Muovikomposiitin historiaa	8
2.3 Muovikomposiittien valmistus.....	9
2.3.1 Laminointi	10
2.3.2 Puristus	11
2.3.3 Injektio	12
2.3.4 Suulake.....	12
2.4 Hyptoniitti.....	13
2.5 Komposiitit ja urheiluvälineeteollisuus.....	14
2.6 Muovikomposiittien edut ja haitat	15
3 PYÖRÄTUOLIKELAUS.....	16
3.1 Pyörätuolikelauksen historiaa.....	16
3.2 Pyörätuolikelauksen luokat	18
3.3 Kelaustuoli	18
3.4 Kelaustekniikka	19
4 RUNGON SUUNNITTELUN VAIHEET	21
4.1 Rungon kehitys.....	22
4.2 Tuolin kehitys	25
4.3 Rungon rasittaminen.....	29

	2
4.3.1 Voimien määrittäminen ja sijainti.....	29
4.3.2 Keskihakuvoiman määrittäminen	30
4.4 Rungon kaarevuus.....	32
5 TULOKSET	34
5.1 3D-Malli	34
5.2 Lujuustarkastelu.....	35
6 TAVOITTEIDEN TOTEUTUMINEN JA POHDINTA.....	38
LÄHTEET.....	41
LIITTEET	43
Liite 1. Leo-Pekan vanhan kelaustuolin mitat	43
Liite 2. Tärkeimmät piirustukset	44

KUVIOT

KUVIO 1. KIHU:n logo	4
KUVIO 2. Runtech systems oy:n logo	5
KUVIO 3. Leo-Pekka Tähti	7
KUVIO 4. Komposiittinen lentokoneen runko	9
KUVIO 5. Ahtopuristuksen toimintaperiaate.....	11
KUVIO 6. Siirtopuristuksen periaate	12
KUVIO 7. Hiilinanoputken perusrakenne	14
KUVIO 8. Komposiittisia urheiluvälineitä	15
KUVIO 9. Entisaikojen pyörätuolikelauuskilpailu	17
KUVIO 10. Nykyaikainen kelaustuoli	19
KUVIO 11. Kelaukseen vaikuttavia tekijöitä	20
KUVIO 12. Leo-Pekan sen hetkinen kilpailupyörä	22
KUVIO 13. Hahmotelma runkomallista	23
KUVIO 14. Rungon peruskuva.....	24
KUVIO 15. Mitoituksessa käytetyt koordinaatio akselit.....	25
KUVIO 16. Tuolin koordinaatio pisteet	26
KUVIO 17. Ensimmäinen malli penkistä	26
KUVIO 18. Ensimmäinen malli penkistä takaapäin	27
KUVIO 19. Hahmotelma penkin muodosta	27
KUVIO 20. Lopullinen malli penkistä takaa	28
KUVIO 21. Vanhan kelaustuolin ohjauksen kiinnitysreikien paikat	28

KUVIO 22. Runkoon vaikuttavat voimat.....	30
KUVIO 23. Havainne kuva voimista kaarteessa	31
KUVIO 24. Kelaustuolin voimien rasituskuva	32
KUVIO 25. Rungon rasituskuva 20 mm kaarevuudella	33
KUVIO 26. Rungon rasituskuva 40 mm kaarevuudella	33
KUVIO 27. Rungon rasituskuva 60 mm kaarevuudella	34
KUVIO 28. Yleiskuva valmiista kelaustuolin rungosta.....	35
KUVIO 29. Kelaustuoli sivusta.....	35
KUVIO 30. Kelaustuolin heikot kohdat.....	35
KUVIO 31. Kelaustuolin rungon laminointia.....	36
KUVIO 32. Valmis komposiittinen runko pyörillä	37
KUVIO 33. Leo-Pekan kelaustuoli Lontoon paralympialaisissa	38

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Muovikomposiittien edut ja haitat	15
---	----

1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

1.1 Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU)

Opinnäytetyöni tilaajana oli Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU), joka on nimensä mukaisesti kansainvälisesti ja kansallisesti arvostettu huippu-urheiluvalmennuksen monitieteinen tutkimus-, kehitys- ja palveluorganisaatio. Se sijaitsee Jyväskylässä hipposhallin yhteydessä ja sen henkilökuntaan kuuluu noin 40 henkeä. (KIHU 2012)



KUVIO 1. KIHU:n logo (KIHU 2012)

Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus, KIHU, perustettiin keväällä 1990 Liikunnan ja kansanterveyden edistämissätiöön itsenäiseksi yksiköksi. Perustamista tukivat Jyväskylän yliopisto, opetusministeriö ja Suomen Olympiakomitea. Varsinaisen toimintansa se aloitti 1.1991 veikkausvoittovaroista saadun toiminta-avustuksen turvin. KIHUn toiminta-ajatukseksi valittiin kilpa- ja huippu-urheilun tutkimus ja sen soveltaminen käytännön valmennus- ja koulutustoimintaan ja siten KIHUn tehtäväksi määriteltiin omalta osaltaan suomalaisen huippu-urheilun tulevaisuuden turvaaminen. Vuoden 2000 alussa KIHUn toiminta siirtyi LIKES-säätiöstä Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimus- ja kehittämissätiön (KIHU-säätiö) alaisuuteen. (KIHU 2012)

1.1.1 KIHU:n missio

KIHU edistää suomalaista kilpa- ja huippu-urheilua innovatiivisella, eettisesti vastuullisella ja korkeatasoisella soveltavalla tutkimus-, kehitys- ja palvelutoiminnalla. (KIHU 2012)

KIHU:n toimintaa ohjaavat arvot

- Urheilun kansainvälinen menestys
- Korkea laatu
- Innovatiivisuus
- Eettisesti ja ekologisesti kestävä urheilu

1.2 Runtech Systems Oy

Tiiviissä yhteistyössä opinnäytetyöprojektissa toimi myös Runtech Systems Oy. Yritys valmistaa komposiittituotteita, joten tässä projektissa se toimi valmistajan roolissa. Yritys perustettiin vuonna 1997. Runtech:llä on kaksi toimipaikkaa Suomessa ja kaksi myyntitoimistoa ulkomailla Saksassa ja USA:ssa. Suomessa toimipaikat sijaitsevat Kotkassa ja Mänttä-Vilppulassa ja joista jälkimmäinen toimii Runtech:n päätömpaikkana. Yrityksen liikevaihto vuonna 2011 oli noin 8,4 miljoonaa euroa. (Runtech Systems 2012)



KUVIO 2. Runtech systems oy:n logo (Runtech Systems 2012)

1.3 Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet

Opinnäytetyön ensisijainen tavoite on saada kevyempi kelaustuoli. Säännöt eivät rajaa kelaustuolin painoa. Tästä syystä rungon materiaali vaihdetaan alumiinista hiilikuitukomposiittiin. Tällä tavoin pyritään rungon ylimääräiset kilot karsimaan pois, koska muista pyörän osista kilojen vähentäminen ei tuo samankaltaista hyötyä kuin rungon keventäminen.

Kelaustuolin painolla on suuri merkitys varsinkin 100 metrin pikakelauksessa. On tutkittu, että jo 1 kg:n kevennys 60 kg:n urheilijan ja kelaustuolin massasta merkitsee n. 0,13 sekunnin aikavoittoa 100 metrin loppuajassa. Neljän kilon painonpudotuksella saavutettaisiin jo noin puolen sekunnin parannus loppu aikaan, mikä on 100 metrillä hyvin merkittävä parannus. Painon kevennyksellä voi olla jopa neljä kertaa suurempi vaikutus kuin suhteessa samansuuruisella muutoksella rengaskitkan tai kelaajan ilmanvastuksen pienentämisellä. (Fuss ym. 2009)

Kevyemmän painon lisäksi opinnäytetyön tavoitteena voidaan pitää vanhan pyörän ominaisuuksien säilymistä uuteen pyörään, koska vanha pyörä on todettu ominaisuuksiltaan hyväksi. Tästä syystä olisi löydettävä sellainen runkoratkaisu, joka kestäisi samanlaista räsitystä ja olisi muutenkin mekaanisilta ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin vanha pyörä. Tietenkin jos materiaalin vaihdon myötä mekaaniset ominaisuudet paranevat, niin se olisi enemmän kuin suotavaa.

1.4 Opinnäytetyön taustatiedot

Pyörätuolikelaus on yksi suurimmista vammaisurheilulajeista. Lajin suosion kasvu on näkynyt kilpailun kokenemisena ja tason nousuna kansainvälisissä kilpailuissa. Suomalaisittain Leo-Pekka Tähti on hallinnut 100 metrin kelausmatkaa aina Ateenan 2004 paralympiavoitosta lähtien (KATSO KUVIO 3). Pyörätuolikelauksessa kelaustuoli

on oleellisessa osassa määrittämässä suorituskykyä, joten kelaustuolin teknisessä kehityksessä on oltava samalla tasolla kanssakilpailijoiden suhteen.



KUVIO 3. Leo-Pekka Tähti (Iltalehti 2012)

Leo-Pekka Tähtien tämänhetkinen kelaustuoli on jäykkyysominaisuuksien ja kelausasetuksen suhteen optimaalinen, mutta tuolin paino on liian suuri kanssakilpailijoiden kelaustuoleihin verrattuna. Suuremman kelaustuolin massan takia Tähti antaa kilpailuissa tasoitusta erityisesti lähtökiihdytyksen aikana. Jo pienten massan vähennysten on todettu vaikuttavan merkittävästi 100 metrin kelaussuorituksen loppuajkaan. Tästä syystä uuden kelaustuolin suunnittelussa ja valmistuksessa on pyritty ennen kaikkea pienentämään tuolin massaa. Tähän pyritään päästä hyödyntämällä rungon valmistuksessa hiilikuitumateriaaleja ja uutta nanoteknologiaa. Jyväskylän yliopistossa kehitetyn nano-epoksin (Hyptoniitti) avulla rungon rakenteesta yritetään saada mahdollisimman kevyt, mutta silti riittävät jäykkyysominaisuudet omaava. Vakiintuneen kelaustekniikan on myös haluttu säilyvän mahdollisimman muuttumattomana, joten uuden kelaustuolin valmistuksessa on pyritty säilyttämään tuolin geometriset mittasuhteet ennallaan.

2 KOMPOSIITTI

2.1 Komposiittien kehitys ja rakenne

Komposiitti: *”Yleisnimi kaikille kahden tai useamman materiaalin yhdistelmille, joissa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole liuenneet tai sulaneet toisiinsa.”* (Airasmaa, I., Kokko, J., Komppa, V., Saarela, O. & Skrivars, M 2003, 17.)

Muovikomposiitti on komposiittien eräs alaryhmä ja siinä on matriisina joko kerta- tai kestonmuovi tai yleisesti sanottuna polymeerimateriaali. Kerta- ja kestonmuovit eroavat toisistaan niiden rakenteen muovattavuuden mukaan. Kestomuovia voidaan sulattaa korkealla lämpötilalla ja muovata uudelleen, kun taas kertamuoville tämä toimenpide ei ole mahdollinen. Matriisi eli materiaali, joka sitoo materiaaliyhdistelmän kokonaisuudeksi. Yhteen sidottavia materiaaleja voivat olla esimerkiksi erilaiset kuidut. Muovikomposiittien lujuusominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä niihin kuituja, esimerkiksi hiilikuitua, jolloin tämä yhdiste muuttuu kuitulujitetuksi muoviksi. Myös metalleja ja keraameja voidaan käyttää matriisiaineina. (Niu 1992, 1)

2.2 Muovikomposiitin historiaa

Ensimmäinen patentti muovikomposiittien alalta myönnettiin 1900-luvun alussa koskien fenolimuovien lujittamista. 1930-luvulla kehitettiin polyesteri- ja epoksimuovit, tällöin muovikomposiitit alkoivat saada kaupallista merkitystä. Ensimmäiset muovikomposiittien massatuotantomenetelmät kehitettiin 1940-luvulla. Kuitulujitteisista muoveista kehitettiin edelleen läpinäkyviä 1950-luvulla, ja niitä alettiin käyttämään laajemmin veneiden rungoissa, autojen koreissa ja kuorma-autojen hyteissä. Varsinaisen kuitulujitettujen muovikomposiittien massamenetelmien kehittäminen alkoi 1940-luvulla, mutta kuitenkin vasta 1960-luvulla kehitystyö alkoi tuottamaan tulosta. (Niu 1992, 1-3)

Vene- ja lentokone-teollisuus olivat ensimmäisiä kuitulujitettujen muovien käyttäjiä (KATSO KUVIO 4). Vielä edelleenkin kyseiset toimialat muodostavat merkittävän osan

komposiittien kokonaiskäytön volyymista. Komposiittien hyvät jäykkyy- ja lujuusominaisuudet ovat olleet tärkeässä osassa muun muassa tuulivoimateknologia kehityksessä ja olleet jopa edellytyksenä sille, että kehitys on ollut mahdollista. Prosessiteollisuudessa komposiittien käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset säiliöt ja putkistot. Komposiittien kemiallinen kestävyys on lisännyt niiden käyttöä prosessiteollisuudessa.

(Airasmaa & kump. 2003 13-14)



KUVIO 4. Komposiittinen lentokoneen runko (VZLÚ 2009)

2.3 Muovikomposiittien valmistus

Komposiittien valmistuksessa käytetään apuna yleensä jotain muottia, jonka avulla saadaan haluttu muoto komposiitista. Muovikomposiittikappaleita voidaan valmistaa monilla eri valmistustavoilla. Yleisimmät valmistusmenetelmät ovat kuitenkin: laminointi-, injektio-, puristus-, ja suulakemenetelmät. Näistä kaksi ensimmäistä kuuluu käsityövaltaisiin menetelmiin ja kaksi jälkimmäistä koneellistettuihin menetelmiin. Myös nämä perusmenetelmät jakautuvat vielä erilaisiin valmistusmenetelmiin. Jako perustuu yleensä kappaleen muotoilussa käytettyyn tekniikkaan. (Airasmaa & ym. 2003, 153)

2.3.1 Laminointi

Laminointimenetelmät jakautuvat vielä kolmeen valmistustapaan: Käsinlaminointi, ruiskulaminointi ja kuitukelaus. Laminointimenetelmissä laminaatti asetellaan kerroksittain avomuotiin, jossa se kovetetaan joko yli- tai alipaineella tai sitten ei käytetä ulkoista painetta ollenkaan.

Käsinlaminointi on kuitulujitettujen tuotteiden valmistusmenetelmä, jossa lujitteet asetellaan käsin muottiin. Laminoitavat lujitteet voidaan kyllästä hartsilla etukäteen tai vasta muotissa. Käsinlaminointi voidaan vielä jakaa kahteen ryhmään: märkälaminointiin ja kuiva- eli prepreg-laminointiin. Märkälaminoinnissa lujitteet kostutetaan nestemäisellä hartsilla, kun taas prepreg-laminoinnissa käytetään esikyllästettyjä puolivalmisteita eli prepregejä. Märkälaminoinnissa muottikustannukset ja laiteinvestoinnit ovat alhaiset, mutta kun työ tehdään käsin, se on hidasta ja työn laatu riippuu tekijän ammattitaidosta. Tämän johdosta se ei sovi suurien sarjojen valmistukseen, vaan enemmänkin suurien kappaleiden ja prototyyppien valmistukseen. Prepreg-laminoinnissa taas muottikustannukset ja raaka-aineet ovat kalliita, mutta sillä saadaan laminaateille erinomaiset fysikaaliset ominaisuudet. Laminointi on myös prepreg-laminoinnissa helppo ja siisti, mutta se on myös hidas etenkin monimutkaisia muotoja laminoitaessa. (Airasmaa & ym. 2003, 154-160)

Ruiskulaminoinnissa avoimeen muottiin ruiskutetaan ns. ruiskupistoolin avulla hartsia ja katkottuja lujitekuituja. Se on tuottavuudeltaan moninkertainen verrattuna märkälaminointiin. Kun tuotteelta ei vaadita erityisiä lujuusvaatimuksia, niin tällöin ruiskulaminointi soveltuu pienien ja keskisuurten sarjojen valmistukseen. Yleisimmät valmistettavat tuotteet ovat erilaisia muotokappaleita, soutuveneitä ja pieniä säiliöitä. Toistaiseksi ruiskutus tapahtuu vielä manuaalisesti, joten työn laatu riippuu tässäkin menetelmässä tekijän ammattitaidosta. (Airasmaa & ym. 2003, 160-162)

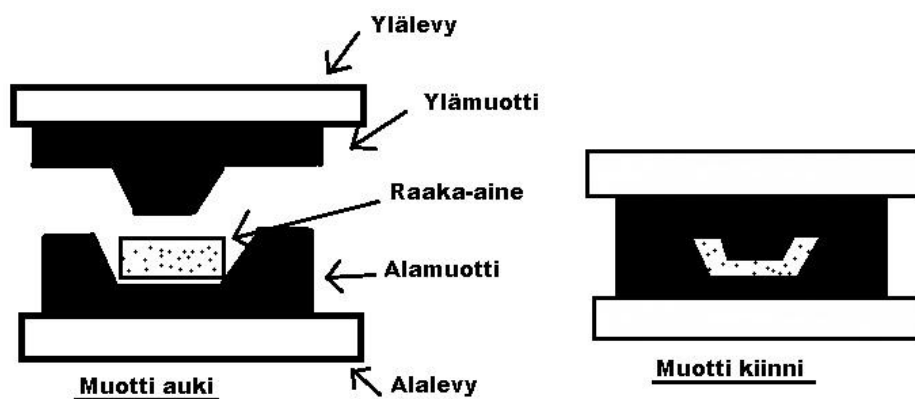
Kuitukelaus on kuitulujitettujen tuotteiden valmistusmenetelmä, jossa muoviaineella kyllästetyt kuidut kelataan pyörivän muotin ympärille. Tässä menetelmässä kelaustapoja on myös monenlaisia. Menetelmää käytetään yleensä sylinterimäisten ja kar-

tiomaisten kuorien valmistamiseen. Määrällisesti eniten valmistetaan korroosionkestäviä putkia ja säiliöitä. (Airasmaa & ym. 2003, 162-166)

2.3.2 Puristus

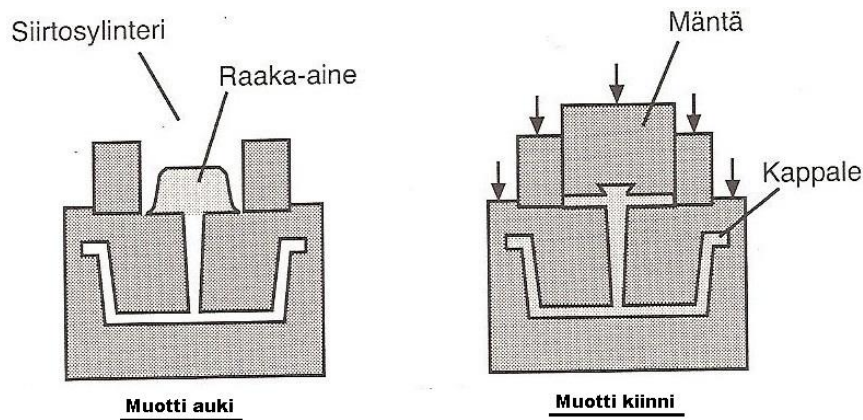
Puristusmenetelmissä raaka-aine puristetaan muotoonsa. Materiaali voidaan asettaa muottiin joko puolivalmistena tai komponentteittain. Puristusmenetelmät voidaan jakaa siirtopuristukseen ja ahtopuristukseen. (Airasmaa & ym. 2003, 154)

Ahto- eli tasopuristus on hyvin yksinkertainen valmistusmenetelmä. Raaka-aine laitetaan kahden muotin väliin, jotka levyjen avulla puristetaan. Nämä levyt ovat tarvittaessa myös lämmitettävät (KATSO KUVIO 5). Menetelmän etuja ovat yksinkertaiset laitteet ja muotit. Ahtopuristuksella valmistetaan erilaisia muottituotteita, koe- ja piensarjoja. Ahtopuristus tekniikalla voidaan valmistaa myös kumi-metallituotteita. (Airasmaa & ym. 2003, 180)



KUVIO 5. Ahtopuristuksen toimintaperiaate

Siirtopuristus eli mäntäpuristus on hieman pidemmälle viety menetelmä kuin ahtopuristus. Systemissä on tila, johon raaka-aine laitetaan. Tästä tilasta johtaa kanavat varsinaisiin muottipesiin, joihin raaka-aine virtaa paineen vaikutuksessa muottipakettia puristaessa. Siirtopuristuksessa muotin täytyy olla vähintään kolmeosainen: pohjakappale, välikappale ja pohjaosa (KATSO KUVIO 6). (Airasmaa & ym. 2003, 180)



KUVIO 6. Siirtopuristuksen periaate (Airasmaa & ym. 2003)

2.3.3 Injektio

Yleisimmät injektio menetelmät muovikomposiittien valmistuksessa ovat paine- ja alipaineinjektio sekä ruiskuvalu. Paineinjektiossa lujitteet asetellaan muotin päälle, minkä jälkeen muotti suljetaan. Suljettuun muottiin ruiskutetaan ylipaineella hartsia. Kappale kovetetaan ja poistetaan muotista. Paineinjektio etuja ovat muun muassa valmiin kappaleen kaikkien pintojen sileys sekä se soveltuu hyvin myös syvien kappaleiden valmistukseen. Alipaineinjektiossa tuote valmistetaan avoimella muotilla, jolloin vastapuolena toimii alipainesäkki tai joustava muottipuolisko. Hartsi imetään lujitteisiin alipaineen avulla. Alipaine injektio soveltuu erityisesti suurien kappaleiden valmistukseen. (Airasmaa & ym. 2003, 167.)

Ruiskuvalu on tärkeimpiä kestopuovikappaleiden valmistusmenetelmiä. Ruiskuvalussa tuotteen valmistus tapahtuu plastisoidusta muoviraaka-aineesta ja sen ruiskutuksesta muottionkaloon. Menetelmällä voidaan valmistaa monimutkaisia kappaleita ja se on suurten sarjojen valmistusmenetelmä. Prosessina se on hyvin pitkälle automatisoitu, mikä on eroa paine- ja alipaineinjektioon. (Airasmaa & ym. 2003, 176)

2.3.4 Suulake

Suulakemenetelmissä tuote kulkee suulakkeen tai muotin läpi saadakseen halutun muodon. Kappaleen pituus voi tällä menetelmällä olla periaatteessa ääretön. Valmis-

tustapa voidaan jakaa pultruusioon eli suulakevetoon ja ekstruusioon eli suulakepur-sotukseen. Karkeasti ajatellen valmistustapa eroaa vain vedetäänkö vai työnnetäänkö kappaletta muotin läpi. Tietenkin valmistustavoissa on muitakin pieniä eroavaisuuksia. Suulakemenetelmissä hartsilla kostutetut lujitteet vedetään tai työnnetään muottina toimivan, lämmitetyn suulakkeen läpi, jossa kappale saa muotonsa ja hartsit kovettuu. Muottivaiheen jälkeen kappaleelle voidaan tarvittaessa suorittaa jäähdytys. Ennen jäähdytystä kappaleen on kuitenkin oltava niin pitkälle kovettunut, että se kestää vetolaitteiston aiheuttaman voiman. Lopuksi kappale katkaistaan halutun mittaiseksi ja viimeistellään. Tämäkin menetelmä on hyvin pitkälti automatisoitavissa. Menetelmällä valmistettuja tuotteita ovat mm: suksisauvat, purjelaudan mastot, pesäpallomailat ja rakennusteollisuuden kantavat palkistot. (Airasmaa & ym. 2003, 186-188)

2.4 Hyptoniitti

Hyptoniitti on hiilinanoputkivahvisteinen komposiittimateriaali. Nanomateriaaleja käytetään yleisimmin pinnoitteina parantamaan materiaalien ominaisuuksia. Hiilinanoputki on 12-20 kertaa vahvempaa kuin hiilikuitu, ja 100 kertaa vahvempaa kuin teräs. Hiilinanoputket ovat myös hyvin sähkön johtavia. Yksi nanoputki on halkaisijaltaan 20-30 miljoonasosa millimetristä. (Nortio, J. 2012)

Hiilinanoputki on molekyyli, joka on muodostunut hiiliatomeista (KATSO KUVIO 7), sen pituus voi olla millimetrin suuruusluokkaa. Nanoputki on kuin venytetty fullereeni. Niiden sähkönjohtavuus on hyvä ja niistä pystytään rakentamaan myös mekaanisia nanokoneita. Nanoputket tai -renkaat saadaan pyörimään niihin suunnatun laserin avulla ja soveltuvat siksi niin kutsuttuihin nanorobotteihin. Sisäkkäiset nanoputket pyörivät ilman sanottavaa kitkaa. Nanoputket soveltuvat hyvin valon johtamiseen optisissa prosessoreissa. Niiden käyttömahdollisuuksia on monia ja kaikkia niitä ei ole vielä kartoitettu, mutta niitä voidaan mahdollisesti käyttää esimerkiksi vedyn varastointimiseksi ympäristöystävällisissä vetyakuissa. Myös tietotekniikassa on löydetty käyttötarkoitus. (M. Daenen & ym. 2003, 4-7)



KUVIO 7. Hiilinanoputken perusrakenne (Jyväskylän yliopisto 2007)

Jyväskylän yliopisto kehitti hyptoniitin valmistusmenetelmän vuosina 2002-2004. Siinä käytetään ultraääntä hajottamaan nanoputkikimput ja muodostamaan radikaaleja nanoputkien päihin ja mahdollisesti myös sivuseinämiin. Tämän jälkeen nanoputket voivat reagoida epoksin tai muun materiaalin kanssa muodostaen vahvoja kovalenttisia sidoksia. Tämän ansiosta jo 0,5% hiilinanoputkia sisältävä hyptoniittipohjainen komposiittimateriaali on vetolujuudeltaan 20-30% vahvempi ja väsymiskestävyydeltään 50-200% vahvempi kuin aikaisemmat komposiittimateriaalit. (Tekes. 2010, 4-14; Hoheisel, W 2008)

Montreal Sports Oy ryhtyi käyttämään Hybtonite[®] -epoksia jääkiekkomailojen valmistusmateriaalina. Tällä saavutettiin ennen näkemättömiä parannuksia mm. mailojen iskunkestävyyteen. Maila valittiin maailman suurimmassa nanoteknologian messutapahtumassa, Nano Tech 2006:ssa Tokiossa parhaaksi nanotuotteeksi. (Junttila.H 2006)

2.5 Komposiitit ja urheiluvälineteollisuus

Urheiluvälineteollisuus on jokapäiväisessä elämässä hyvin näkyvä, mutta muovikomposiittien raaka-aineiden kokonaiskuluttajana melko pieni käyttäjä. Urheiluvälineteollisuus valmistaa erilaisia tuotteita kilpailu- ja harrastekäyttöön sekä vapaa-aikaan. Se tunnetaan sen innovatiivisesta ja ennakkoluulottomasta asenteesta. Tämän vuoksi komposiitit tarjoavat ihanteellisen materiaalin urheiluvälineteollisuuteen. Komposiitista saadaan valmistettua mitä erilaisimpia tuotteita. Sillä pystytään valmistamaan

edullisempia vaihtoehtoja esimerkiksi lasikuidusta harrastekäyttöön sekä kalliimpia tuotteita hiilikuidusta kilpakäyttöön. (Airasmaa & ym. 444-445)

Komposiittien tuotekehitys on todella aktiivista, mikä on ominaista nopeasti uudistuville urheiluvälinemarkkinoilla, kun valmistajat joutuvat keksimään koko ajan uusia tuotteita kuluttajille. Tunnetuimpia komposiitista valmistettuja tuotteita ovat talvisin: sukset, sauvat, jääkiekkomailat ja lumilaudat ja kesäisin: tennismailat, golfmailojen varret, kanootit ja purje- ja lainelaudat (KATSO KUVIO 8). (Airasmaa & ym. 444-445)



KUVIO 8. Komposiittisia urheiluvälineitä (GIANT 2012; Montreal Warrior 2012; Wilson 2012)

2.6 Muovikomposiittien edut ja haitat

Alla olevassa taulukossa on esitetty yhteenvetona muovikomposiittien yleiset edut ja haitat muihin materiaaleihin verrattuna (KATSO TAULUKKO 1).

TAULUKKO 1. Muovikomposiittien edut ja haitat

Edut	Haitat
Suuri lujuus ja jäykkyys erityisesti suhteutettuna painoon	Alhainen sähkön- ja lämmönjohtavuus
Mahdollisuus suunnata lujuusominaisuuksia	Raaka-aineet kalliita

Pystytään tekemään suuria rakenteita yhtenä kokonaisuutena	Kierrätyksen vaikeus
Helppo muotoilla (muotoiluvapaus)	Pystytään hyödyntämään ainetta rikkomattomia menetelmiä valmiin tuotteen tarkastuksessa
Kemiallinen kestävyys on hyvä	
Voidaan valmistaa eristäviksi tai johtaviksi	

3 PYÖRÄTUOLIKELAUS

Pyörätuolikelaus on vammaisurheilijoille tarkoitettu urheilulaji. Lajiin tarvittavat välineet poikkeavat muista urheilulajeista, koska siinä tarvitaan lajiin tarkoitettua kelaustuolia, joka on jokaiselle kilpailijalle erikseen suunniteltu. Pyörätuolikelaus on yksi suosituimmista paralympialajeista. Myös niiden kilpailijamäärät ovat suurimmasta päästä. Kilpailumatkoja on monenlaisia aina sprinttimatkoista maratoneihin. Laji on kehittynyt huimasti koko ajan, mutta 1990-luvulla laji sai huiman kehitysvaihteen päälle, mikä muun muassa näkyy lajin tieteellisen tutkimuksen kasvun myötä. (Bhambhani 2002; Cooper ym. 2003).

3.1 Pyörätuolikelauksen historiaa

Ensimmäiset vammaisurheilijoille suunnatut kilpailut järjestettiin Stoke Mandevillesissä Englannissa 1948 toisen maailmansodan veteraaneille. Ensimmäiset paralympialaiset järjestettiin 1960 Roomassa, ja pyörätuolikelaus on ollut mukana paralympialajina alusta asti (KATSO KUVIO 9). Alun perin paralympialaisiin osallistuivat vain selkäydinvammaiset urheilijat. Torontossa Vuonna 1976 tulivat mukaan näkövammaiset ja amputoidut urheilijat. Arnheimissa 1980 mukaan tulivat CP-vammaiset urheilijat ja Atlantassa 1996 kehitysvammaiset urheilijat. Kehitysvammaiset urheilijat olivat Syd-

neyn kisojen jälkeen poissa, mutta palasivat paralympialaisiin jälleen Lontoossa 2012 neljässä lajissa. (Steadward & Walsh 1986.)



KUVIO 9. Entisaikojen pyörätuolikelaukuskilpailu (VAU:n arkisto)

Urheilijoiden ja osallistujamaiden määrä on kasvanut Rooman kisojen 400 urheilijasta ja 23 maasta Lontoon paralympialaisten noin 4200 urheilijaan ja 164 maahan. Soulin 1988 paralympialaisista lähtien kisat on järjestetty samassa paikassa kuin olympialaiset. (Suomen paralympiakomitea 2012.)

Tähän mennessä on järjestetty 14 kesäparalympialaiset ja suomalaisten menestys on ollut näissä huimaa. Suomalaiset ovat olleet aktiivisia vammaisurheilijoita aina 1950-luvulta lähtien, jolloin vammaisurheilu alkoi sodan jäljiltä uudessa mittakaavassa. Liikuntavammaisten kuntoutusmuotona se innosti kansainvälisesti. Ensimmäinen suomalainen paralympiamitalisti oli Tauno Valkama, joka voitti ensimmäisissä paralympiakisoissa Roomassa vuonna 1960 kultaa 50 metrin vapaauinnissa. Eniten kultamitaleja saavuttanut suomalaisurheilija on ollut Harri Jauhiainen, jonka päälajina oli 400 metrin aidat, mutta häneltä taittuivat myös muut juoksumatkat. Jauhiainen saavutti paralympiaurallaan yhteensä kuusi kultamitalia. Suomalaisista eniten mitaleita ovat kuitenkin saavuttaneet uimari Eeva-Riitta Fingerroos ja monitaituri Matti Lauonen. Molemmille mitaleita on kertynyt 14 kappaletta. Vuosien saatossa suomalaisille vammaisurheilijoille menestyksekkäin laji mitalien valossa on ollut yleisurheilu. Erään huippunsa suomalainen vammaisurheilu saavutti vuoden 1984 paralympialaisissa, jolloin suomalaiskilpailijoita oli mukana 98 ja mitalisijoja irtosi 60 kappaletta. (Paralympiakomitea 2012)

3.2 Pyörätuolikelauksen luokat

Pyörätuolikelauksessa urheilija on oikeutettu osallistumaan kansainvälisiin kilpailuihin, jos vähintään kymmenen prosenttia jalkojen toiminnallisesta kapasiteetista on hävinnyt (Bhambhani 2002).

Kelaajat jaetaan vammautumisen mukaan neljää eri kilpailuluokkaan: T-51, T-52, T-53 ja T-54. T-51-luokassa toiminnallinen kapasiteetti on heikoin, ja tähän luokkaan kuuluvilla urheilijoilla on toiminnallinen vajaus olkapään, kyynärpään ja ranteen toiminnassa. Vartalon lihakset eivät myöskään ole toimintakuntoisia. T-54-luokan urheilijoilla on normaali yläraajojen toimintakyky ja lähes normaali tai normaali vartalon toimintakyky. Vammaluokilla pyritään takaamaan tasapuoliset kilpailumahdollisuudet eriasteisista vammoista kärsiville urheilijoille. (IPC Athletics Classification Rules 2010.)

3.3 Kelaustuoli

Pyörätuolikelauksessa tärkeä osa suorituskykyä on kelaustuoli. 1960-luvulla pyörätuolikelauksessa käytettiin normaaleja jokapäiväiseen käyttöön tarkoitettuja pyörätuoleja. Modernit kelaustuolit suunnitellaan ja valmistetaan yksilöllisesti vastaamaan kelaussuorituksen ja urheilijan asettamia vaatimuksia. Tämä kilpakelaustuolien kehitys on näkynyt huimana maailmanennätysaikojen paranemisena eri kelausmatkoilla viimeisten vuosikymmenien aikana. (Vanlandewijck ym. 2001.) Kilpailun koveneminen on johtanut siihen, että pienten yksityiskohtien tarkastelu sekä harjoittelun että kelaustuolin suhteen on välttämätöntä menestyksen saavuttamiseksi (Costa ym. 2009).

Kelaustuolit ovat suunniteltu erilailla kuin arkipäiväisessä käytössä olevat pyörätuolit. Niiden runko on pidempi ja jäykempi, kelausasento matalampi, työntörenkaat halkaisijaltaan pienempiä ja eturengas suurempi kuin tavallisissa pyörätuoleissa. (KATSO KUVIO 10). Kelaustuolien muotoilulla ja rakenteella pyritään pienentämään vastus-

tavien voimien vaikutusta ja mahdollistamaan tehokas ja taloudellinen voimansiirto kelaajasta tuoliin. Van der Wouden ym. (2000) mukaan pyörätuolikelauksen suorituskykyyn vaikuttaa kolme perustekijää: 1) käyttäjä, joka pääasiassa tuottaa energian ja tehon työntövoimaksi, 2) kelaustuolin tekninen toteutus ja mekaniikka, jotka vaikuttavat tehontuoton vaatimuksiin, ja 3) kelaustuolin ja urheilijan välinen vuorovaikutus, mikä vaikuttaa tehontuoton siirtoon urheilijasta kelaustuoliin.

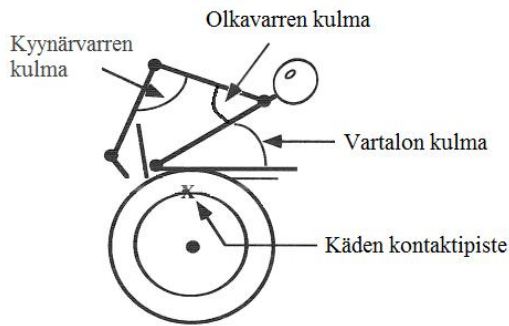


KUVIO 10. Nykyaikainen kelaustuoli

3.4 Kelaustekniikka

Pyörätuolikelauksessa suoritus koostuu kelaussykleistä, joihin kuuluu sekä työntöettä palautusvaihe. Työntövaiheella tarkoitetaan sitä aikaa, jonka kelaajan käsi on kiinni työntörenkaassa ja urheilija tuottaa työntövoimaa. Palautusvaihe on vastaavasti se aika, jonka kelaajan käsi on irti työntörenkaasta. Palautusvaiheen aikana kelaaja palaa takaisin alkuasentoon seuraavan kelaussyklin aloitusta varten. (Ridgway ym. 1988.)

Pyörätuolikelauksesta usein määritettyjä kinemaattisia muuttujia ovat kehon segmenttien (vartalo, olkavarsi, kyynärvarsi) kulmat, kulmanopeudet ja –kiihtyvyydet (KATSO KUVIO 11), nivelpisteiden sijainnit ja nopeudet, sekä takapyörän kulmamut-
tumat työntövaiheen ajalta. (Chow ym. 2001, Goosey ym. 1998, Moss ym. 2005.)



KUVIO 11. Kelaukseen vaikuttavia tekijöitä

Kelausfrekvenssiksi eli kelaustajuus määritellään kelaussykliin määrä aikayksikköä kohden. Muita kelaussykleistä määritettyjä muuttujia ovat syklin aikana kuljettu matka, kelaustuolin nopeus syklin alussa ja lopussa, sekä työntö- ja palautusvaiheiden prosentuaaliset osuudet koko syklin kestosta. (Goosey ym. 1997, Higgs 1986, Ridgway ym. 1998, Veeger ym. 1989, Chow & Chae 2007.)

Kelaajan nopeus kasvaa jokaisen kelaussyklin aikana lähtökiihdytyksessä. Työntövaiheessa nopeus kasvaa kelaajan tuottaman työntövoiman ansiosta, ja syklin maksimaalinen nopeus saavutetaan 0,03-0,07 sekuntia käden irrotushetken jälkeen. Palautusvaiheen aikana nopeus hidastuu noin 0,4 m/s. Lähtökiihdytyksessä kelaussykliin menevä aika vähenee ensimmäisen kuuden syklin aikana noin 0,82 sekunnista 0,45 sekuntiin. Työntövaihe lyhenee ensimmäisen kelaussyklin 0,62 sekunnista 0,21 sekuntiin, kun taas palautusvaihe kasvaa hieman 0,20 sekunnista 0,24 sekuntiin. Tämän seurauksena työntövaiheen prosentuaalinen osuus koko syklin kestosta lyhenee alkukiihdytyksen aikana 76 prosentista 47 prosenttiin. Sadan metrin kelauksen ensimmäisen kymmenen metrin aikana kelausfrekvenssi on 1,85 hertsiä ja keskimääräinen yhden kelaussyklin aikana kuljettu matka 1,46 metriä (Chow & Chae 2007, Moss ym. 2005).

Sadan metrin kelauksessa maksiminopeus saavutetaan 48–88 metrin jälkeen. Maksiminopeuden vaiheessa nopeuden kasvu työntövaiheen aikana ja nopeuden hidastuminen palautusvaiheen aikana ovat yhtä suuria. Kelaussuorituksen aikana saavutettu maksiminopeus vaikuttaa sadan metrin kelauksen loppu-aikaan. Maksiminopeuden vaiheeseen siirryttäessä kelaussyklin kesto pysyy samana kuin alkukiihdytyksen lopussa, mutta työntövaiheen pituus lyhenee entisestään 0,117 sekuntiin ja palau-

tusvaiheen kesto pitenee 0,398 sekuntiin. Työntövaiheen osuus kelaussyklin kokonaiskestosta on maksimivauhdin aikana vain 22,8 prosenttia. Lähtökiihdytykseen verrattuna kelaussyklin aikana kuljettu matka kasvaa 3,42 metriin, kun taas kelausfrekvenssi säilyy lähes vakiona 1,95 hertsissä. Kahdeksansadan metrin kelauksessa kelaussyklin kesto maksimivauhdin aikana on 0,54–0,56 sekuntia ja työntövaiheen osuus kelaussyklin kestosta 20–25 prosenttia. (Goosey ym. 1997, Chow & Chae 2007)

4 RUNGON SUUNNITTELUN VAIHEET

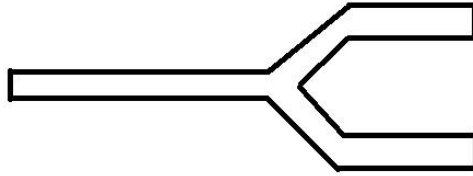
Rungon suunnittelu aloitettiin aloituspalaverilla, jossa oli mukana itseni lisäksi edustajat KIHU:lta sekä Runtech:ltä. Palaverissa käytiin projektin pääsuuntauksia läpi eli mitkä olisi tavoitteet, vastualueet ja millä aikataululla. Toimisimme tiiviissä yhteistyössä koko projektin ajan. KIHU toimisi projektin johtopuuhissa, Runtech olisi rungon valmistajan roolissa ja itse olisin rungon mallintajan roolissa. Itse suunnittelu hoidettaisiin hyvässä yhteishengessä. Rungon suunnitteluohjelmaksi valikoitui Catia V5 R17, koska minulla oli aiempaa kokemusta kyseistä ohjelmasta. Runtech itse käyttää Solidworks ohjelmistoa, mutta sovimme että teen rungonmalleja Catialla, jotka saadaan kuitenkin auki Solidworksilla. Lujuustarkastelun suoritimme myös Catialla. Projektin alkutiedot olivat nykyisen pyörän keventäminen jäykkyys-, lujuus-, sekä kelausominaisuudet säilyttäen (KATSO KUVIO 12). Rungon suunnittelun aikataulu kuitenkin muuttui jo alkumetreillä, kun Runtech:n mukaan tulo viivästyi muutamalla kuukaudella Runtech:n omien kiireiden vuoksi.



KUVIO 12. Leo-Pekan sen hetkinen kilpailupyörä

4.1 Rungon kehitys

Rungon perusmalli päätettiin seuraavassa kokouksessa Runtech:n toimitiloissa. Alustavaksi malliksi sovittiin yksinkertainen ”haarukka”-mallinen ratkaisu (KATSO KUVIO 13). Mallin valinta oli suurilta osin Runtech:n päätettävissä, koska he tulisivat kelaustuolin valmistamaan. Mallin valintaa vaikuttivat rungon virtaviivaisuus ja myös valmistustekniset syyt. Tässä vaiheessa tiesimme, että malli saattaisi hieman muuttua suunnittelun eri vaiheessa. Tiesimme myös sen, että kyseessä oli aivan uudenlainen projekti, josta kellekään ei ollut aikaisempaa kokemusta niin aikataulun suhteen muutoksia saattoi helposti tulla. Pyrimme kuitenkin pitämään päälinjaukset aikataulun suhteen.

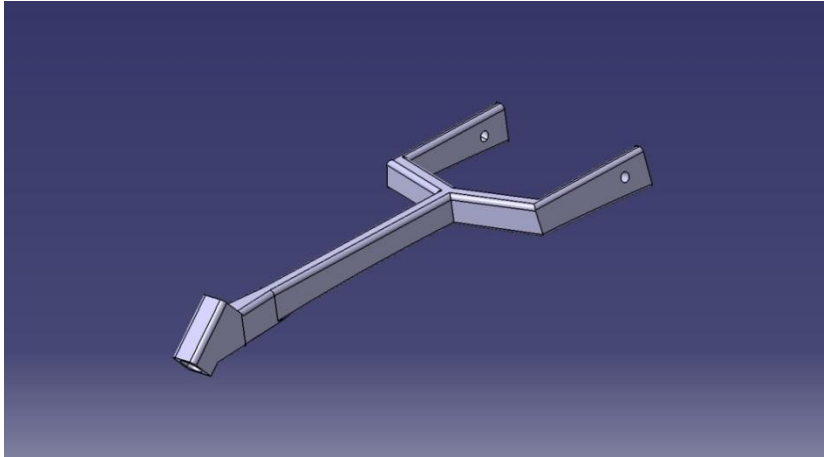


KUVIO 13. Hahmotelma runkomallista

4.1.1 Rungon mitoitus

Suunnittelua jatkettiin mittaamalla Leo-Pekka Tähdän sen hetkisen kakkoskelaustuolin mitat, joka silloin oli Runtech:lla. Suoritin itse kyseisen mittauksen käsin ja pyrin olemaan mahdollisimman tarkka, koska kyseessä oli niin herkkä laji, jossa mittavirheet tulisivat kostautumaan. Mittausten jälkeen aloitin mallintamaan runkoa sovitulla mallilla. Vähän aikaa mallinnettua kuitenkin huomasin, että sen hetkisen ykkös- ja kakkoskelaustuolin mittasuhteiden olevan hieman erilainen saamien kuvien perusteella. Otin asiasta selvää ja epäilykseni osoittautuivat oikeaksi eli kakkospöyrästä saadut mittatulokset eivät täsmänneet Leo-Pekan silloiseen ykköskelaustuolin mittoihin (KATSO LIITE 1). Kuitenkin pystyin tuossa vaiheessa mallintamaan alustavaa runkoa, koska sen malli oli jo tiedossa.

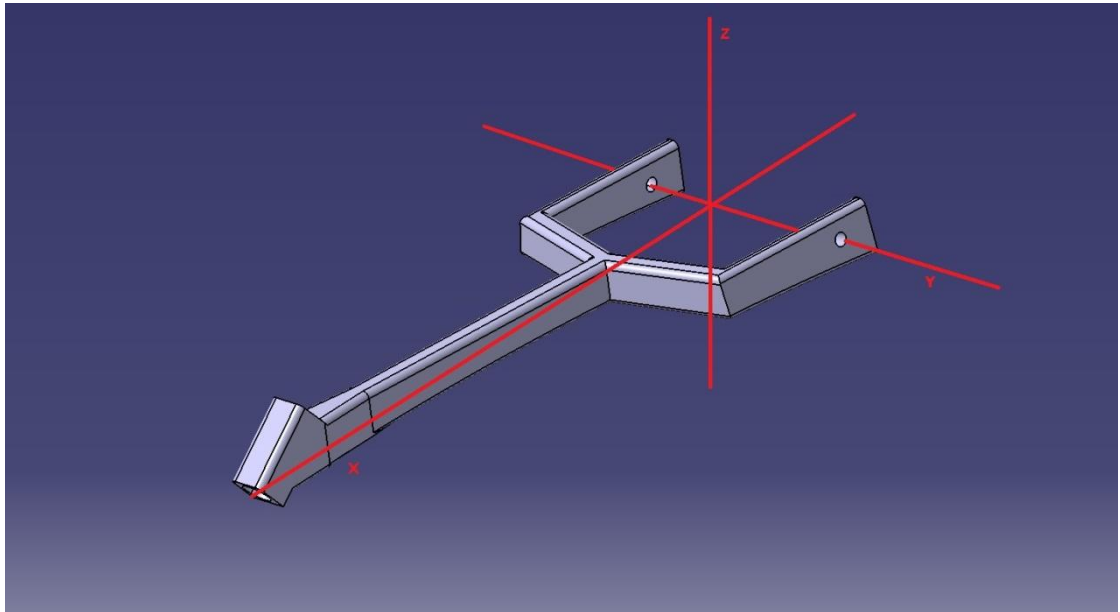
Rungon pituuden suhteen pyrimme mahdollisimman hyvin aikaisempien pyörien mittoihin, mutta rungon mallin muuttuessa tiedostimme, että pituuden ja leveyden suhteen saattaa pieniä mittamuutoksia tulla. Mallinnuksessa noudatin sovittua rungon mallia ja pyrin tekemään rungosta mahdollisimman virtaviivaisen ilmanvastuksen ehkäisemiseksi. Yksi tärkeä paikka rungossa oli etuosan reikä, joka oli oltava tietyssä kulmassa ja oikean kokoinen, jotta etuhaarukan ja siten myös etupyörän kiinnitys tulisi samanlaiseksi kuin vanhassa kelaustuolissa. Rungon etuosasta tuli näin ollen myös hieman paksumpi kuin muusta rungosta (KATSO KUVIO 14).



KUVIO 14. Rungon peruskuva

Istuinosan mitoituksessa aloimme miettiä, millä saisimme tarkat mitat Leo-Pekan sen hetkisestä pyörästä. Itse kilpailupyörä oli tuolloin Leo-Pekan tiiviissä harjoittelu käytössä ulkomailla. Keksimme kuitenkin, että voisimme hyväksi käyttää KIHU:n 3D-mallia Leo-Pekan kilpailupyörästä, joka on saatu KIHU:n omalla 3D-kuvantamisohjelmalla. Ohjelma oli tarkoitettu vain visuaaliseen tarkasteluun, mutta pystyimme tuon mallin avulla määrittelemään koordinaatiston, jonka avulla saisimme tarkat mitat.

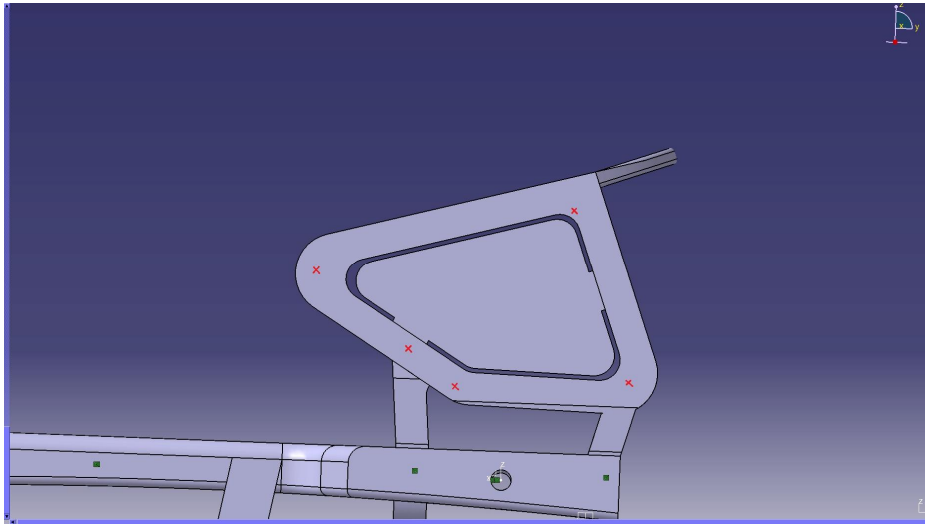
Ensin piti kuitenkin miettiä, mitkä osat kelaustuolista tulisi olla standardeja, vaikka rungon malli muuttuisi uudessa kelaustuolissa. Y-akseli määräytyi takarenkaiden keskipisteiden suhteen, x-akseli etuhaarukan kiinnitysreiän keskipisteestä y-akseliin ja z-akseli y- ja x-askelien leikkauskohdasta kohtisuorasti ylöspäin (KATSO KUVIO 15). Tällä tavoin saimme määritettyä tarkat koordinaatiopisteet penkille, jalkatuelle sekä etuhaarukan kiinnitysreiän kulman, jotka ovat tärkeitä standardimittoja kelausasennon säilyttämiselle ennallaan.



KUVIO 15. Mitoituksessa käytetyt koordinaatio akselit

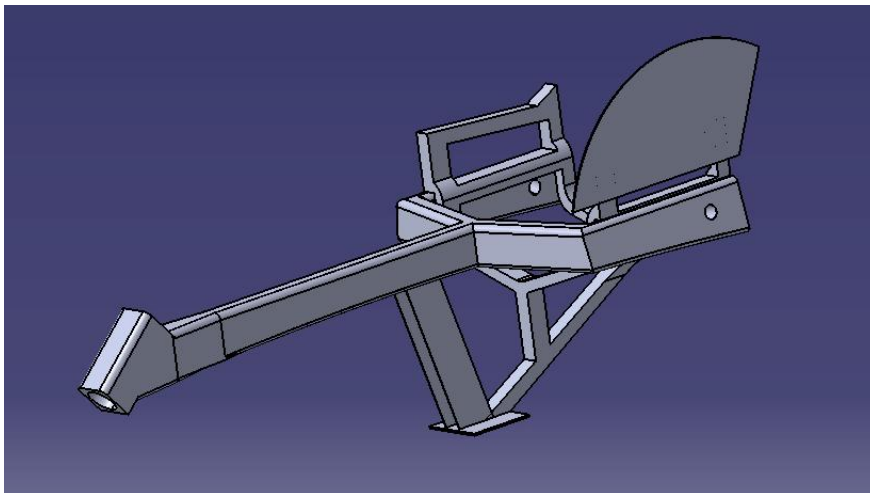
4.2 Tuolin kehitys

Rungon mallintamisen jälkeen oli mietittävä millainen tuoli runkoon kiinnitettäisiin. Tuolin muodostaisivat tuolin kehikko ja jalkalauta. Tuolin kehikkoon kuuluvat istuimen kiinnityskohdat, koska varsinainen istuin muodostettaisiin kankaiden ja remmien avulla, sekä sivulaudat. Jalkalauta kiinnittyisi kehikkoon sekä runkoon, koska tällöin se vahvistaisi myös kokonaisuutta. Kiinnitystavasta ei ollut päätetty, että kiinnitettäisiinkö tuoli runkoon ruuveilla liimalla vai molemmilla. Kriittisimmät kohdat ovat tuolikehikon leveys ja istuimen kiinnityskohtien etäisyys tuolikehikossa taka-akseliin nähden. Korkeudessa pieniä heittoja voi tulla, koska kankaiden ja remmien avulla istuimen korkeutta voidaan hieman säädellä. Tarkat istuimen mitat saatiin, kuten aikaisemmin oli mainittua KIHU:n mallista saaduista koordinaatiopisteistä (KATSO KUVIO 16). Tuolin malli pyrittiin tässäkin tilanteessa pitämään hyvin yksinkertaisen, jotta se olisi jämää eikä turhia kiloja pääsisi syntymään. Istuma-asennon säilyttäminen ennallaan oli tuolin kehittämissä tärkein tavoite. Tähän liittyi myös jalkalaudan mallinnus, joka oli osa tuolia. Jalkalaudan sijainti määritytti jo aiemmin mainittujen koordinaatiopisteiden avulla ja jalkalaudan mallissa pyrittiin taas käyttämään hyvin yksinkertaista ratkaisua.

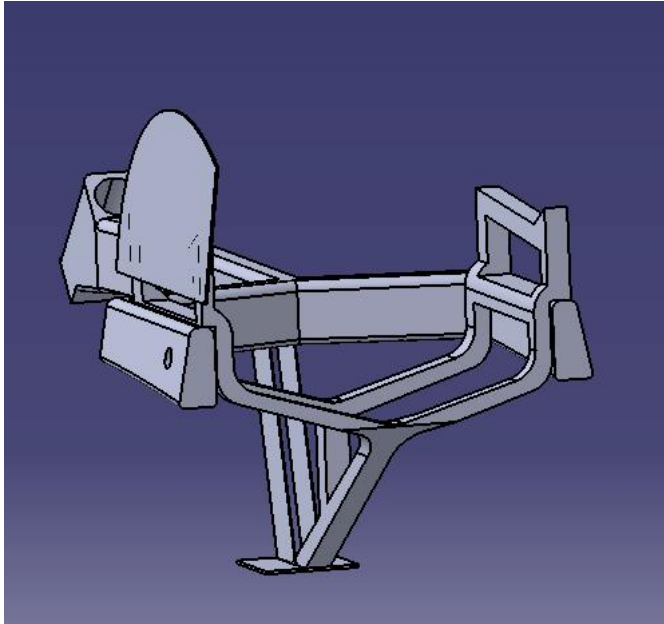


KUVIO 16. Tuolin koordinaatio pisteet

Ensimmäisessä mallissa tuolin tarkkoja pisteitä ei vielä määritelty, vaan tarkasteltiin ensisijaisesti millainen tuolista tehtäisiin (KATSO KUVIOT 17 ja 18). Kuvasta näkyy miten jalkalauta kiinnittyisi runkoon ja tuolikehikkoon.

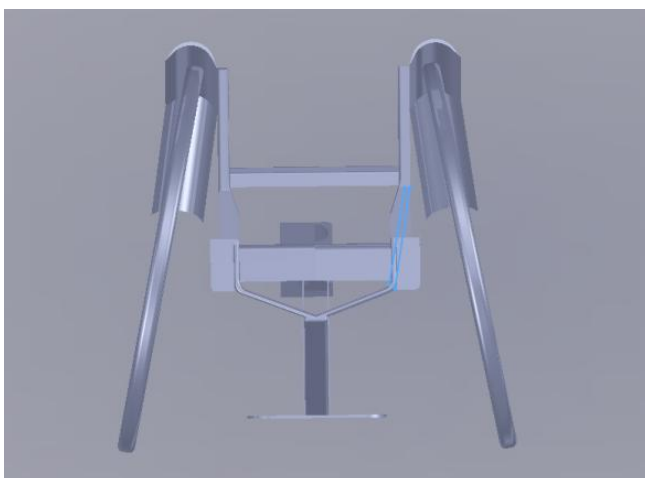


KUVIO 17. Ensimmäinen malli penkistä

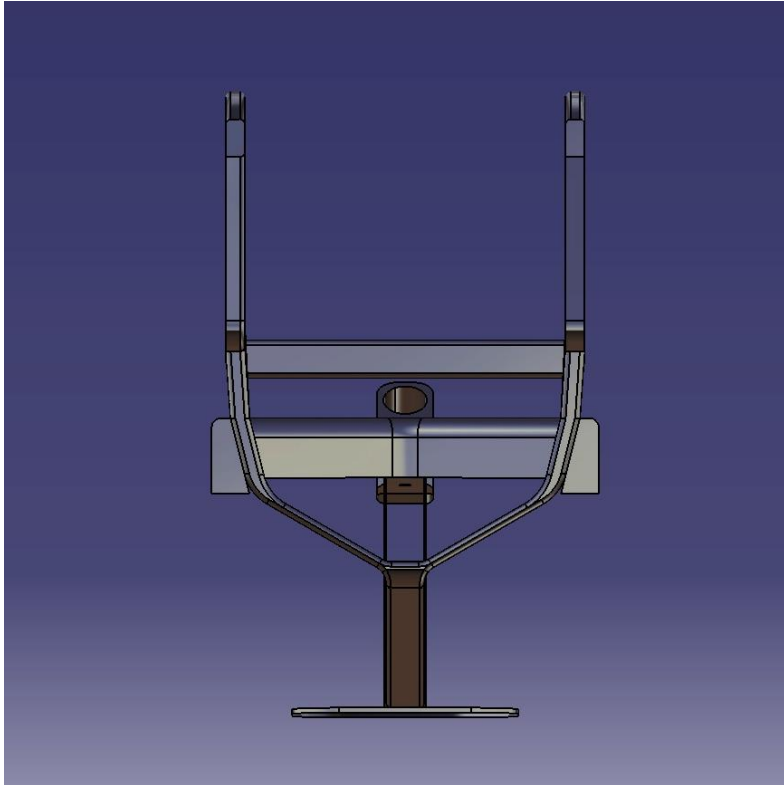


KUVIO 18. Ensimmäinen malli penkistä takaapäin

Tämä malli ei ollut lopullinen, koska päätimme tehdä tuolista ja rungosta yhteneväisemmän ratkaisun. Tuolin ja rungon kiinnityskohtaan ei tulisi teräviä kulmia, vaan se muodostaisi enemmänkin sellaisen U-kirjaimen muotoisen muodon, kun sitä takapäin tarkastelee. (KATSO KUVIOT 19 ja 20). Uskoimme tämän vahvistavan rungon ja tuolin muodostamaa rakennetta. Sivulaudat tulisi myös suunnitella tasaisiksi, jotta ne eivät suorituksen aikana hankaisi kelaajan reisiä. Pyrimme tekemään siitä mahdollisimman mukavan käyttää.



KUVIO 19. Hahmotelma penkin muodosta



KUVIO 20. Lopullinen malli penkistä takaa

Lokasuojia ei ollut tarpeen mallintaa, koska ne pystyttäisiin tarkasti määrittämään vasta kelaustuolin valmistusvaiheessa. Malliin piti lopuksi määrittää runkoon kiinnitettävän ohjauksen kiinnitysreiät. Ne määriteltiin samalla tavalla kuin aikaisemmin penkin ja jalkatuen paikat eli koordinaatiopisteiden avulla (KATSO KUVIO 21).



KUVIO 21. Vanhan kelaustuolin ohjauksen kiinnitysreikien paikat

Rungon profiili tulisi olemaan suorakaiteen muotoinen 60 mm x 40 mm, jossa on 5 mm pyöritykset. Tuolissa käytettävä profiili olisi sama kuin rungossa, paitsi sen mitat olisivat 20 mm x 40 mm. Runkoon tehdyt pyöritykset olivat enemmänkin summittaiset mitkä sovittiin 3D-malliin, jotta malli näyttäisi realistisemmalta. Oikeat pyöritykset varmistuisivat vasta rungon ja penkin valmistusvaiheessa.

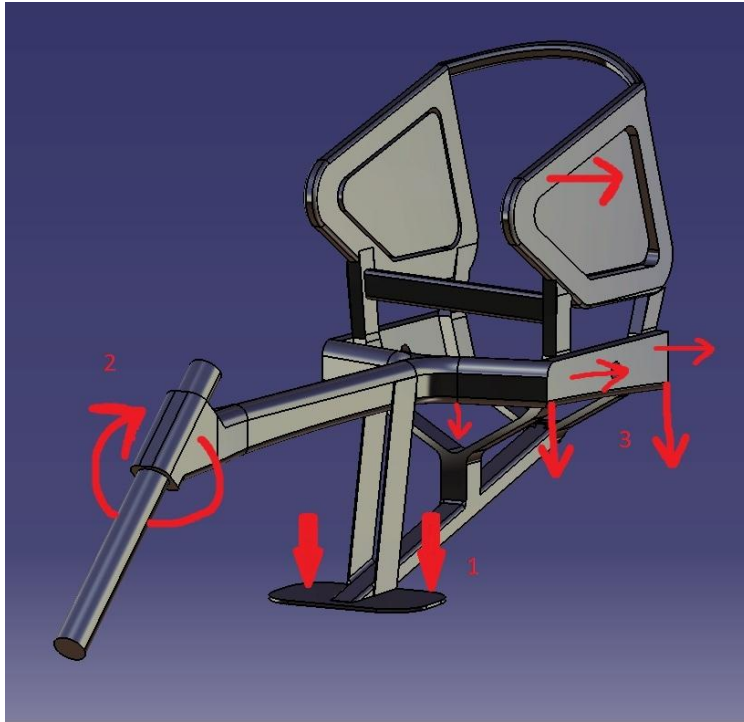
4.3 Rungon rasittaminen

Valmiin mallin jälkeen runkoa tarkasteltiin Catian lujuuslaskennalla. Tässä oli tarkoituksena vain löytää kelaustuolin heikot kohdat, jotta valmistuksen aikana niitä voitaisiin vahvistaa eli heikkoihin kohtiin laminoitaisiin ylimääräisiä kerroksia. Tarkkoja lujuuslaskentoja ei voitu suorittaa, koska komposiitille ei tarkkoja lujuusarvoja voitu määrittää. Tässä kohtaan tyydyimme tarkastelemaan mallia sen materiaalin ollessa putkimaista alumiinia, jonka seinämän paksuus on 3 millimetriä. Tämä rakenne kuvaisi Runtech:n mukaan parhaiten komposiittia. Catian lujuuslaskennassa mallin kiinteiksi kiinnityskohdiksi valitsimme etu- ja takapyörien reikien keskipisteet.

4.3.1 Voimien määrittäminen ja sijainti

Voimien määrittämisessä ja niiden sijainnissa jouduimme hieman soveltamaan. Ainoa voima, jonka pystyimme laskemaan oli keskihakuvoiman vaikutus runkoon. Muissa voimissa me määritimme voimat itse yhdessä KIHU:n Simon kanssa. Pyrimme miettimään kelaussuoritusta mahdollisimman tarkasti, jotta voimien sijainnit olisivat lujuuslaskennassa oikeita. Lähdössä suurimpien voimien tiesimme vaikuttavan kelaustuolin jalkalautaan, koska Simolla oli aikaisempaa kokemusta kelaustuolin pahimmista rasituskohdista. Kelaaja tukee lähdössä jaloilla jalkalautaan mikään täten rasittaa jalkalautaa. Jalkalauta oli aiemmissa pyörissä ollut se heikoin kohta. Penkkiin kohdistuvat voimat aiheutuivat kelaajan painosta. Tiesimme myös, että etuhaarukkaan vaikuttaisi jonkinlainen momenttivoima. Lujuustarkastelussa lisäsin rungon etuosan reikään umpinaisen putken, joka vastaisi etuhaarukkaa (KATSO KUVIO 22). Kuvassa

voimat on jaettu kolmeen eri osa-alueeseen: 1) Jalkalautaan vaikuttavat voimat lähdössä, 2) etuhaarukan momentti, 3) kelaajan aiheuttamat voimat penkkiin.



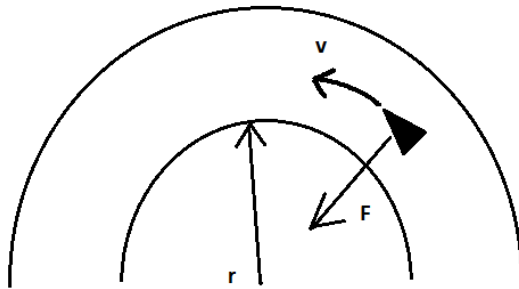
KUVIO 22. Runkoon vaikuttavat voimat

Voimien suuruudet pyrimme määrittämään yläkanttiin, jotta heikot kohdat tulisivat esille. Tässä vaiheessa täytyy muistaa, että tällä lujuustarkastelulla määriteltäisiin vain kelaustuolin heikkoja kohtia, ei niinkään sitä, miten paljon runko kestää rasitusta. Tällöin valmistusvaiheessa heikkoihin kohtiin voitaisiin laminoida kerroksia lisää vahvistaakseen niitä. Näin ollen voimien suuruuksilla ei sinänsä ollut väliä, mutta pyrimme kuitenkin arvioimaan ne oikeanlaiseksi. Jalkalautaan arvioimme kohdistuvan n. 800 Nm voiman alaspäin ja etuhaarukan momentin arvoimme olevan n. 300 Nm luokkaa. Penkkiin tulisi kelaajan painon aiheuttamat voimat, mitkä arvioimme olevan karkeasti n. 100 Nm.

4.3.2 Keskihakuvoiman määrittäminen

Kelaustuoliin kaarteessa vaikuttava voima määritettiin keskihakuvoiman avulla eli sen muodostama tukivoima olisi runkoon vaikuttava voima. Tukivoiman suunta runkoon on kelaajasta katsottuna vasemmalta oikealle (KATSO KUVIO 23).

$$F = \frac{mv^2}{r}$$



KUVIO 23. Havainne kuva voimista kaarteessa

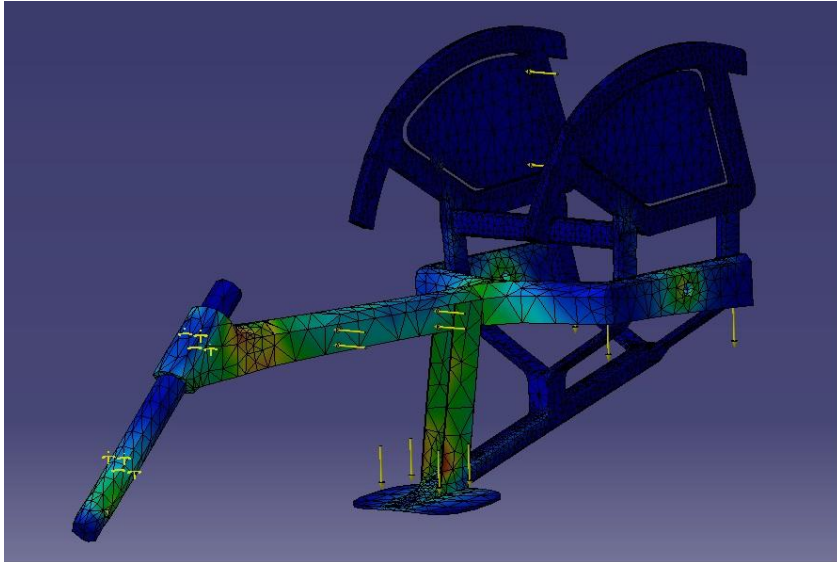
m = massa = 70 kg

v = nopeus = 40 km/h = 11,11 m/s

r = kaarteen säde = 36,5m

$F \sim 237$ N

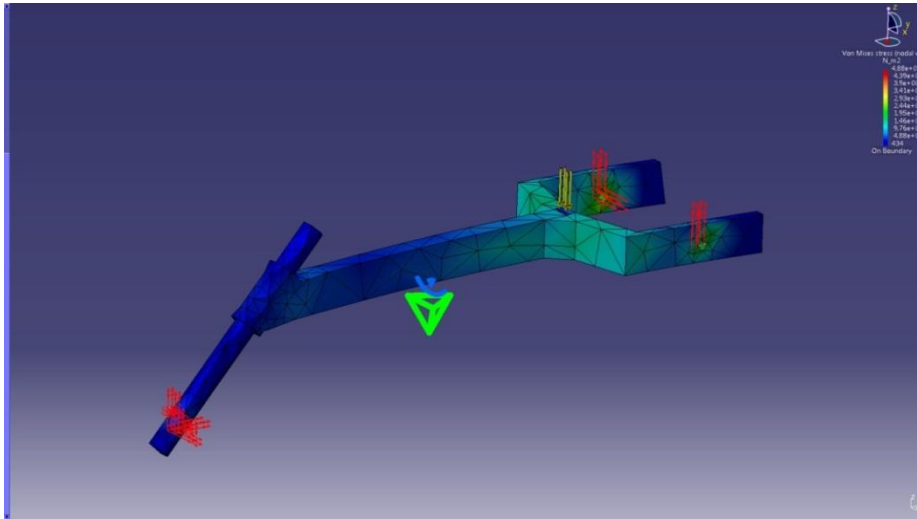
Kelaustuolin rasiuskuvasta saimme tietää, että heikoimmaksi kohdaksi muodostui juuri jalkalaudan kiinnityskohdat (KATSO KUVIO 24). Tulos ei ollut yllätys, koska meillä oli vahva aavistus etukäteen jo asiasta. Kuvasta näkyy myös että pyörien kiinnityskohtiin ja etuhaarukkaan kohdistuu hieman painetta. Annetuilla voimilla maksimi jännityksen suuruus on $1.05 \cdot 10^7 \text{ N}_m^2$ eli noin 10,5 MPa, joten komposiittisenrungon pitäisi kestää rasiusta.



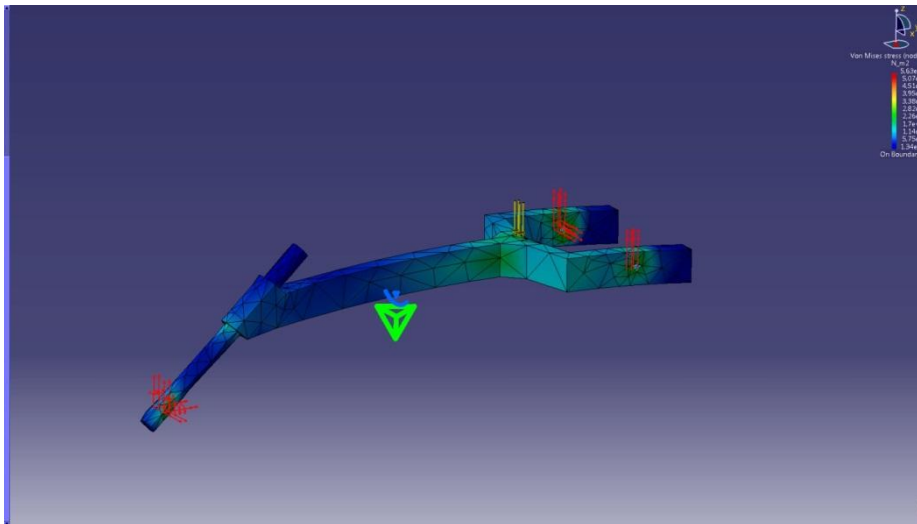
KUVIO 24. Kelaustuolin voimien rasituskuva

4.4 Rungon kaarevuus

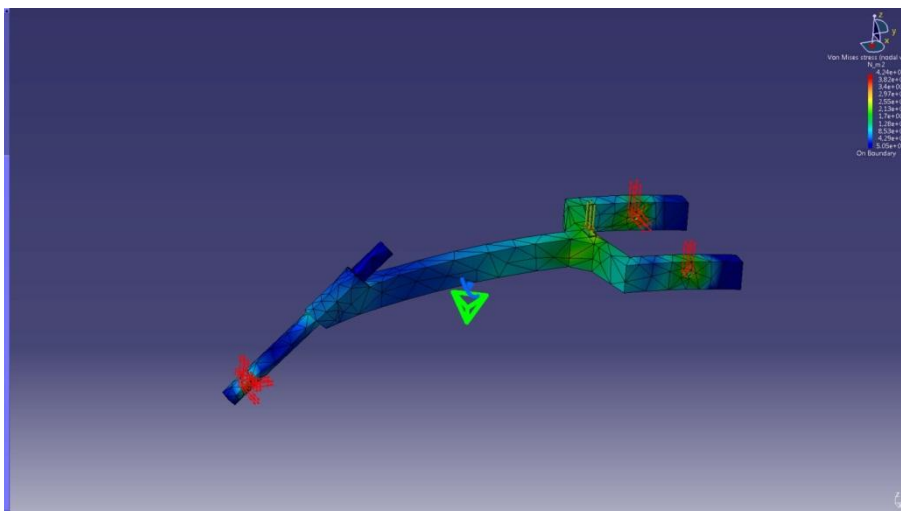
Valmiin mallin jälkeen oli tarkasteltava, millä rungon kaarevuudella kelaustuoli toteutettaisi. Rungon kaarevuus päätettäisiin Catian lujuuslaskennan ja valmistusteknisten syiden avulla. Rungolle oli suunniteltu kolme kaarevuus vaihtoehtoa: 20mm, 40mm ja 60mm. Mitat tarkoittavat rungon keskikohdan etäisyyttä vaakasuoraan akselisiin. Runkoja rasiittiin rungon haarukan keskikohdasta alaspäin 1000 newtonmetrin voimalla. Lujuustarkastelun tarkoituksena oli katsoa heikkenikö runko eri kaarevuuksilla merkittävästi. Lujuuslaskennassa mallin kiinnityskohdat olivat aikaisemmas- ta lujuuslaskennasta tutut eli pyörien keskikohdat. Tuolia ei otettu mukaan tarkaste- luun vaan tarkastelimme ainoastaan runkoa (KATSO KUVIOT 25, 26 ja 27).



KUVIO 25. Rungon rasituskuva 20 mm kaarevuudella



KUVIO 26. Rungon rasituskuva 40 mm kaarevuudella



KUVIO 27. Rungon rasituskuva 60 mm kaarevuudella

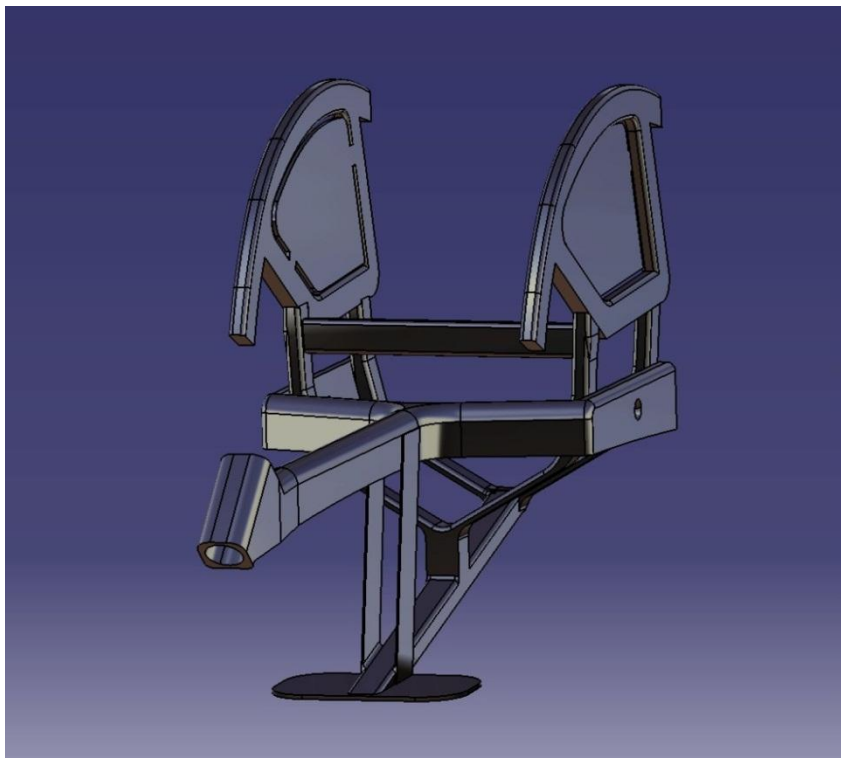
Kaarevuuksista ei löytynyt merkittäviä eroja lujuustarkastelussa (KATSO KUVAT), joten päätimme Runtech:n kanssa valita 20 millimetrin kaarevuuden, koska se olisi valmistuksen takia helpoin toteuttaa.

5 TULOKSET

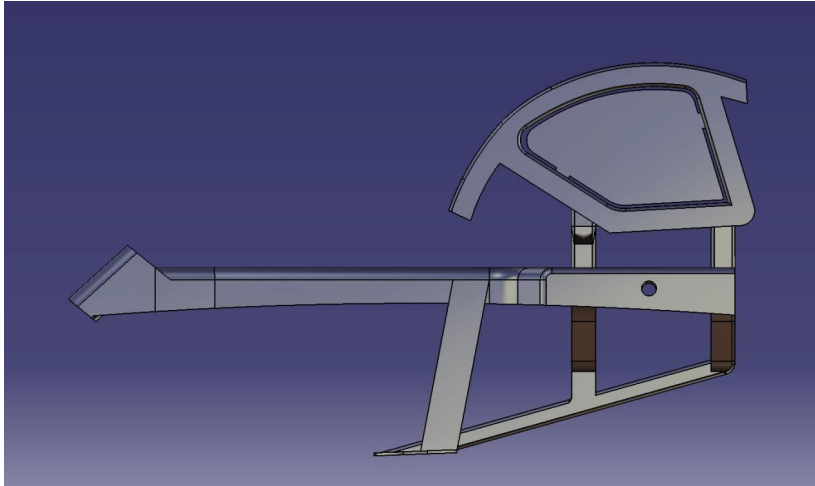
Tuloksena tästä projektista tuli 3D-malli, josta alettaisiin valmistaa kelaustuolia. Erillisiä piirustuksia ei tarvittu, koska Runtech halusi suoraan 3D-mallin, jonka se voi omalla 3D-ohjelmallaan avata ja sen mukaan alkamaan valmistamaan kelaustuolia. Tein kuitenkin alustavat piirustukset, jotka ovat tämän opinnäytetyön liitteinä (KATSO LIITE 1).

5.1 3D-Malli

Opinnäytetyön tärkeimpänä tuloksena voidaan pitää syntynyttä 3D-mallia, josta sen valmistaminen onnistuisi (KATSO KUVIO 28 ja 29).



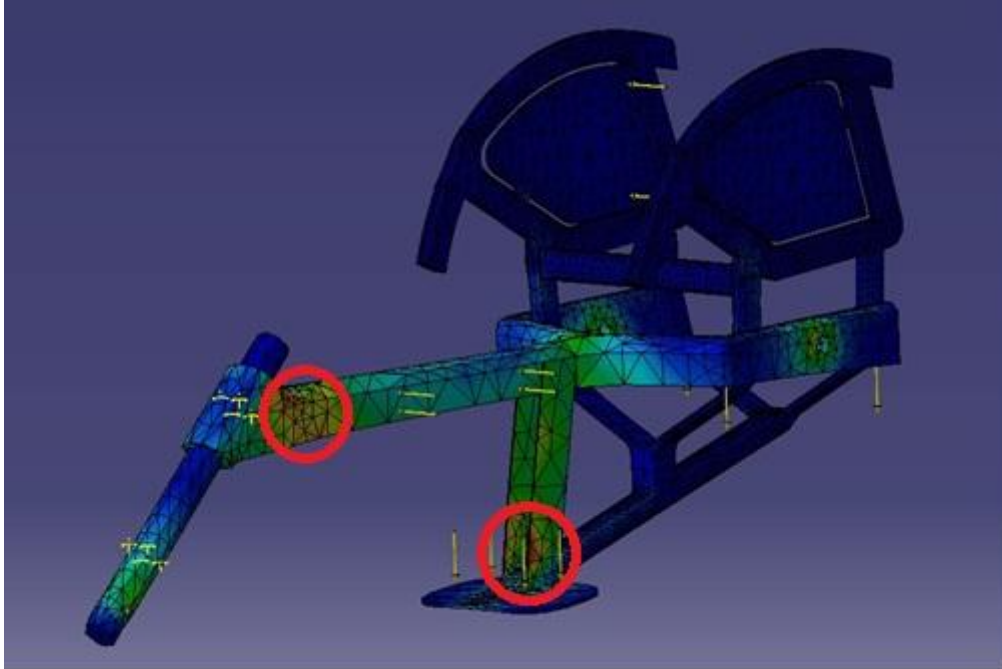
KUVIO 28. Yleiskuva valmiista kelaustuolin rungosta



KUVIO 29. Kelaustuoli sivusta

5.2 Lujuustarkastelu

Lujuustarkastelu on myös merkittävä opinnäytetyön tulos, koska oli tärkeää etukäteen tietää kelaustuolin heikkoja kohtia, jotta valmistuksen yhteydessä niitä voitaisiin vahvistaa (KATSO KUVIO 30). Kuvassa heikot kohdat ovat punaisella ympyröityjä.

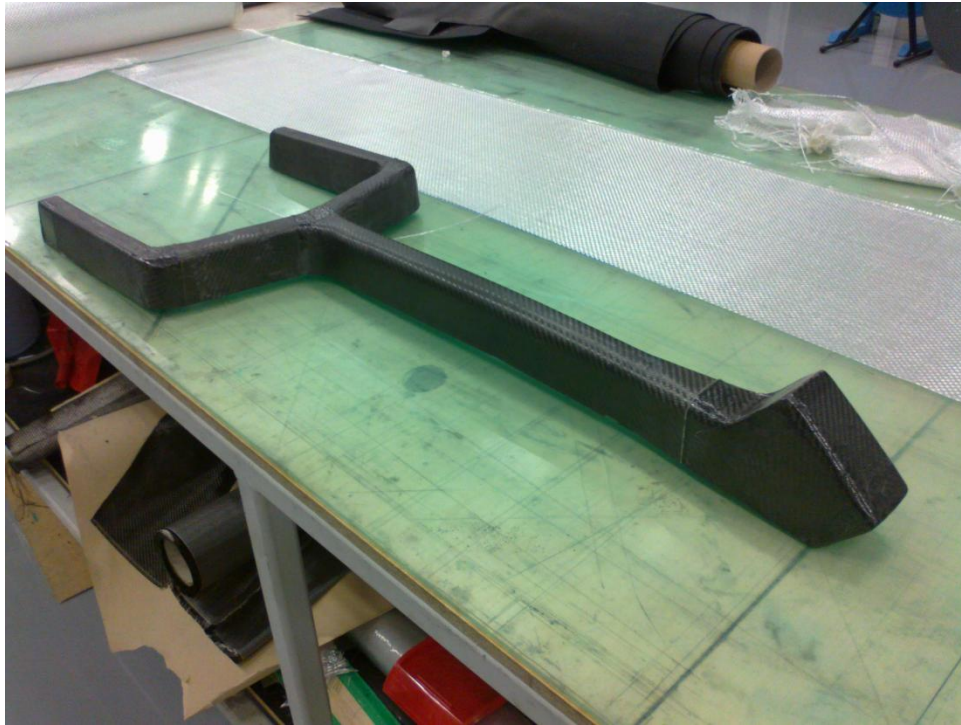


KUVIO 30. Kelaustuolin heikot kohdat

Lujuustarkastelussa määritettiin myös rungon kaarevuus. Siinä rasiitettiin kolmea eri kaarevuus vaihtoehtoa 20 mm, 40 mm ja 60 mm. Näistä vaihtoehtoista rungon kaa-

revuudeksi määräytyi 20 millimetrin kaarevuus, koska lujoustarkastelussa ei merkittäviä eroja löytynyt eri kaarevuuksien välillä. Tämä vaihtoehto oli myös valmistuksen kannalta suotavin, koska se oli helpoin tehdä.

Runtech valmisti kelaustuolin hiilikuidusta käsinlaminointi menetelmällä (KATSO KUVAT 31 ja 32) ja sen jälkeen se testattiin vanhan pyörän kanssa. Itse en päässyt valmistusprosessiin mukaan, koska komposiitin käsittely vaatii erityistä ammattitaitoa, mikä itseltä puuttuu. Valmistuksen jälkeen huomattiin, että painoa ei oltu saatu tarpeeksi pudotettua aiempaan kelaustuoliin nähden. Painoetu oli vain n. 600 gramman luokkaa, kun suunnitteluvaiheessa sen arvioitiin ja toivottiin olevan noin 2-3 kg:n luokkaa.



KUVIO 31. Kelaustuolin rungon laminointia



KUVIO 32. Valmis komposiittinen runko pyörillä

Testausvaiheessa huomattiin kelausasennon hieman muuttuneen aiempaan kelaustuoliin verrattuna. Olkapää oli 2 cm taaempana, kuin aiemman kelaustuolin kelausasennessa. Pieni muutos johti siihen, että kelaustuolin eturengas nousi kelattaessa 85 prosenttia enemmän, kuin vanhan kelaustuolin eturengas. Kelaustuolin vaikuttavat voimat pienenevät suorituksen aikana hieman, mutta ne eivät olleet merkittäviä muutoksia. Lyhyiden matkojen kelausajoissa ei ollut suuria muutoksia testauksissa. Täysivauhtisessa 100 metrin kelauksessa jalkalauta kuitenkin hajosi.

Tämän jälkeen Leo-Pekan isä esitteli oman kelaustuolin, jonka hän oli omassa autotallissaan valmistanut alumiinista (KATSO KUVIO 33). Kyseinen kelaustuoli oli 2 kg kevyempi, kuin Leo-Pekan sen hetkinen kelaustuoli. Runtech ei uskonut enää pystyvänsä valmistamaan parempaa kelaustuolia, kuin Leo-Pekan isän tekemä kelaustuoli. Leo-Pekka Tähti tulisi siis kilpailemaan tällä kelaustuolilla Lontoon paralympialaisissa 2012.



KUVIO 33. Leo-Pekan kelaustuoli Lontoon paralympialaisissa 2012

6 TAVOITTEIDEN TOTEUTUMINEN JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteina oli kehittää komposiittirunkoinen kelaustuoli Leo-Pekka Tähdelle Lontoon paraolympialaisiin 2012. Leo-Pekan sen hetkinen kelaustuoli oli ominaisuuksiltaan muuten optinen, mutta sen paino oli liian suuri muihin kilpailijoihin verrattuna. Tästä syystä rungon materiaali vaihdettaisiin alumiinista komposiittiin, jotta saataisiin kevyempi kelaustuoli aikaiseksi. Uuden kelaustuolin täytyisi vastata muiltakin ominaisuuksiltaan vanhaa kelaustuolia, kuten kelausasennon säilyttämisessä ennallaan sekä kelaustuolin tulisi olla yhtä hyvä lujuusominaisuuksiltaan kuin entinen kelaustuoli. Oma panostukseni näkyisi valmiin 3D-mallin ja lujuustarkastelun myötä, mistä voitaisiin komposiittinen kelaustuoli valmistaa.

Opinnäytetyön lopputulos ei mennyt aivan miten oli suunniteltu. Oman panostukseni hoidin mielestäni kuitenkin hyvin, koska pysyin melko hyvin mallintamiseen suunnitellussa aikataulussa. Tuloksena syntyi 3D-malli ja lujuustarkastelu, joiden jälkeen voitaisiin siirtyä kelaustuolin valmistukseen. Kelaustuolin valmistuksen jälkeen testausvaiheessa huomattiin kelaustuolin olevan painavampi kuin toivottiin ja kelausasento oli hieman muuttunut. Tämän lisäksi kelaustuolin jalkalauta hajosi täysivauhtisessa 100 metrin kelauksessa. Tuolin paino oli suurin epäonnistuminen projek-

tissa, vaikka muita edellä mainittuja ongelmia ei olisi tullut, niin siitä huolimatta en olisi uskonut Leo-Pekan kilpailevan näin painavalla komposiittisella kelaustuolilla. Kelaustuolilla ei alustavissa testeissä saatu merkittäviä parannuksia juuri sen vähäisestä painomuutoksesta johtuen.

Valmiin komposiittisen kelaustuolin ongelmiin voi olla monia syitä. Rungon suunnittelussa ei käytetty luovuutta tarpeeksi hyväkseen, vaan pyrimme yksinkertaisella runkoratkaisulla saamaan rungosta tarpeeksi lujan ja toivoimme myös, että tämä karsisi kiloja riittävästi. Tähän ratkaisuun vaikutti myös Runtech:n valmistustekniset seikat, joten rungon muoto oli osaltaan jo aika ennalta määritettyä. Todellisuudessa rungosta tuli kuitenkin tällä runkoratkaisulla liian raskas eikä rungon jalkalaudan kiinnityskohta kestänyt täysivauhtista kelausta.

Luovemmalla runkoratkaisulla olisimme mahdollisesti saaneet paremman lopputuloksen projektille. Tähän voidaan verrata Leo-Pekan isä valmistamaa kelaustuolissa, jossa oli selvästi enemmän käytetty luovuutta runkoa suunniteltaessa. Tästä voidaan päätellä myös, että alumiinin helppo muovattavuus oli suuri etu, koska muovikomposiitista ei voida tehdä niin monimutkaisia runkorakenteita kuin alumiinista. Leo-Pekan isällä oli myös taustalla monen vuoden kokemus kelaustuolien suunnittelusta.

Mielestäni projektin aikana oli liian suuri luotto myös komposiittiin materiaalina. Uskoimme jo sen yksistään olevan ratkaisu, että rungosta tulisi tarpeeksi kevyt. Näin ei kuitenkaan tapahtunut, vaan olisi pitänyt olla kriittisempi komposiitin suhteen. Itselle ei komposiitista ollut juuri mitään aikaisempaa tietoa, joten oli vaikea myös kyseenalaistaa sitä materiaalina.

Suunnittelun kohde oli motivoiva, mutta siinä oli omat vaikeudet. Olimme oikeastaan yhteydessä Leo-Pekkaan ja hänen isäänsä vain puhelimen ja sähköpostin kautta, koska hän joutui harjoittelemaan tiiviisti kotiseudullaan Porissa sekä ulkomaanleireillä kelaustuolin suunnittelun aikoihin. Näin ollen käyttäjäkeskeinen suunnittelu saattoi kärsiä tämän projektin aikana.

Prosessina opinnäytetyö oli itselle hyvin haastava. Työn tietoperustassa yhdistyi kaksi itselle oikeastaan täysin vierasta osa-aluetta komposiitti ja pyörätuolikelaus. Tämä saattoi näkyä suunnittelussa pienenä epävarmuutena. Tästä johtuen uskon myös kirjoitusprosessin myöhästyneen sovitusta aikataulusta. Olen tyytyväinen työn lopputulokseen, vaikka tavoitteet eivät aivan toteutuneet, mutta uskon työni tuoneen lisää tietoa ja kokemusta tämänkaltaisesta suunnittelusta.

LÄHTEET

Airasmaa, I., Kokko, J., Komppa, V., Saarela, O. & Skrivars, M. 2003. Komposiittirakenteet. Helsinki: Hakapaino. S. s. 13-14, 17, 153-167, 176, 180, 186-188, 444-445

Bhambhani, Y. 2002. Physiology of Wheelchair Racing in Athletes with Spinal Cord Injury. *Sports Medicine* 32 (1), 23-51.

Chow, J. & Chae, W. 2007. Kinematic analysis of the 100-m wheelchair race. *Journal of Biomechanics* 40, 2564–2568.

Chow, W., Millikan, T., Carlton, L., Morse, M. & Chae, W. 2001. Biomechanical Comparison of Two Racing Wheelchair Propulsion Techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (3), 476-484.

Cooper, R., Boninger, M., Cooper, R., Robertson, R. & Baldini, F. 2003. Wheelchair racing efficiency. *Disability and Rehabilitation* 25, 207-212.

Costa, G., Rubio, M., Belloch, S. & Soriano, P. 2009. Case Study: Effect of Handrim Diameter on Performance in a Paralympic Wheelchair Athlete. *Adapted Physical Activity Quarterly* 26, 352-363.

Goosey, V., Campbell, I. & Fowler, N. 1998. The Relationship Between Three-Dimensional Wheelchair Propulsion Techniques and Pushing Economy. *Journal of Applied Biomechanics* 14, 412-427.

Daenen, M., de Fouw, R.D., Hamers, B., Janssen, P.G.A, Schouteden, K., Veld, M.AJ. 2003. The Wondrous World of Carbon Nanotubes. s. 4-10

Fuss, F. 2009. Influence of mass on the speed of wheelchair racing. *Sports Engineering* 12, 41–53.

Higgs, C. 1986. Propulsion of racing wheelchairs. *Teoksessa: Sport and Disabled Athletes* (toim. Sherrill, C.), 165-172. *Human Kinetics*, Champaign.

Hoheisel, W. 2008. Nanotech for CO₂ – free energy generation. Viitattu 20.9.2012. http://www.fona.de/pdf/forum/2008/beitrag/b3_hoheisel_werner_01_presentation_forum_2008.pdf.

IPC Athletics Classification Rules. 2010. <http://www.paralympic.org/Athletics/RulesandRegulations/Classification>.

Junttila, H. 2006. Nano tekee maalin. *Talouselämät*. 21.11.2008. Viitattu 27.7.2012. <http://www.talouselama.fi/uutiset/nano+tekee+maalin/a2055598>.

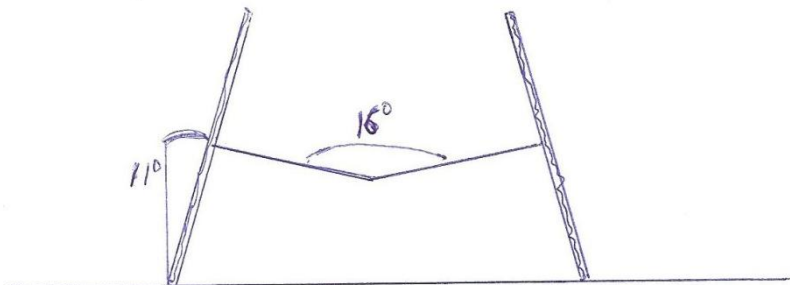
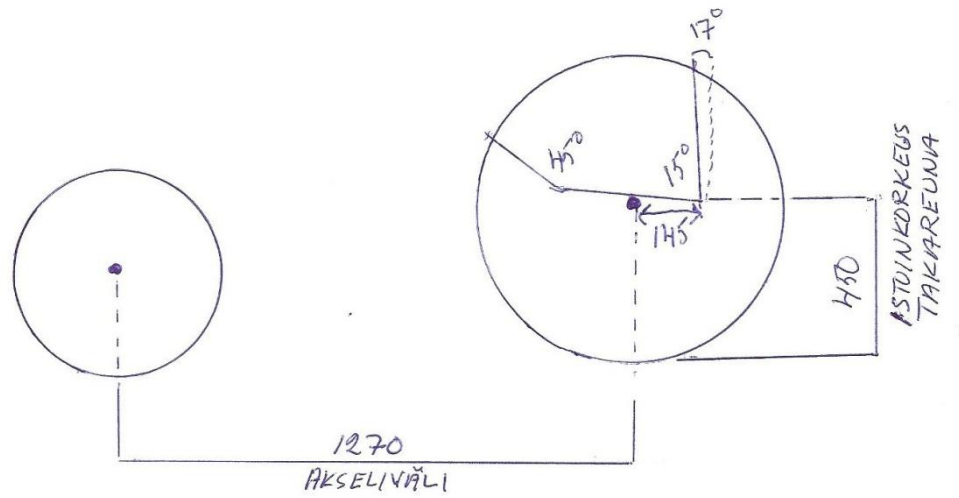
KIHU 2012. KIHU:n verkkosivut. Viitattu 20.5.2012. <http://www.kihu.fi/>

- Moss, A., Fowler, N. & Goosey-Tolfrey V. 2005. The intra-push velocity profile of the over-ground racing wheelchair sprint start. *Journal of Biomechanics* 38, 15–22.
- Niu, C. Y Michael. 1992. Composite airframe structures. Hong Kong: Conlimit Press Ltd. S. 1-3
- Nortio, J. 2012. Enemmän nanoa! 3T-lehti 12. 4-5.
- Ridgway, M., Pope, C. & Wilkerson, J. 1988. A Kinematic Analysis of 800-Meter Wheelchair-Racing Techniques. *Adapted Physical Activity Quarterly* 5, s.96-107.
- Runtech Systems. 2012. Runtech Systems oy: verkkosivut. Viitattu 26.5.2012. <http://www.runtech.fi/about-us/runtech-systems>.
- Steadward, R. & Walsh, C. 1986. Training and Fitness Programs for Disabled Athletes: Past, Present, and Future. Teoksessa: *Sport and Disabled Athletes* (toim. Sherill, C.), 3-17. Human Kinetic Publishers Inc, Champaign
- Suomen paralympiakomitea 2012. Paralympiakomitean kotisivut. Viitattu 20.8.2012. <http://www.paralympia.fi/>.
- Tekes. 2010. Pieni suuri nano. s. 4-14. Viitattu 20.11.2012. www.tekes.fi/fi/document/44755/finnano_esite_pdf.
- van der Woude., L., Veeger, H. & Dallmeijer, A. 2000. Manual Wheelchair Propulsion. Teoksessa: *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention* (toim. Zatsiorsky, V.), 609-636. Blackwell Science, Oxford.
- Vanlandewijck, Y., Theisen, D. & Daly, D. 2001. Wheelchair Propulsion Biomechanics Implications for Wheelchair Sports. *Sports Medicine* 31 (5), 339-367.
- Veeger, H., van der Woude, L. & Rozendal, R. 1989. Wheelchair Propulsion Technique at Different Speeds. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 21, 197-203.

LIITTEET

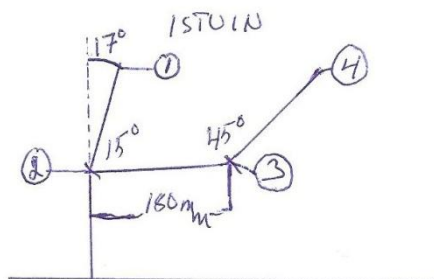
Liite 1. Leo-Pekan vanhan kelaustuolin mitat

NYKYISEN TUOLIN MITTOJA



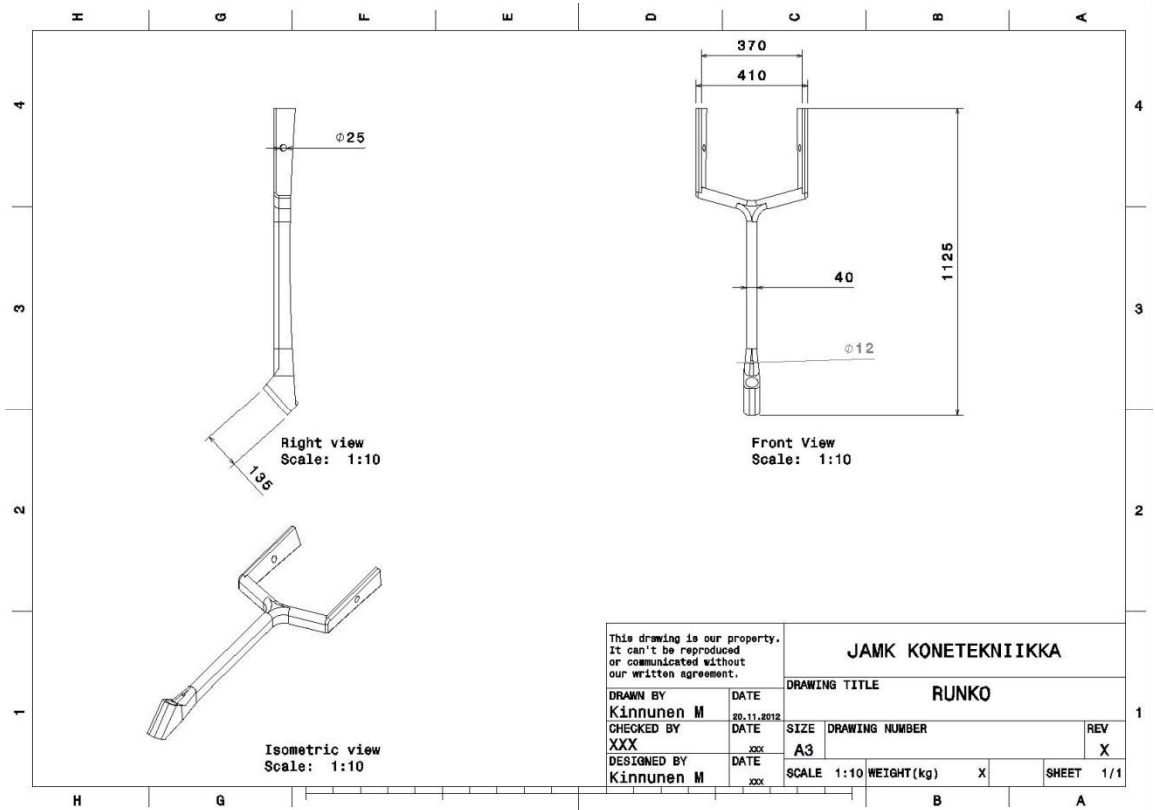
ISTUIMEN LEVEYS

- | | |
|--|-----|
| 1. SELKÄNOJAN YLÄOSA | 310 |
| 2. SELKÄNOJAN ALAOSA
(ISTUIMEN TAKAOSA) | 325 |
| 3. ISTUIMEN KESKIOSA | 345 |
| 4. ISTUIMEN ETUOSA | 330 |

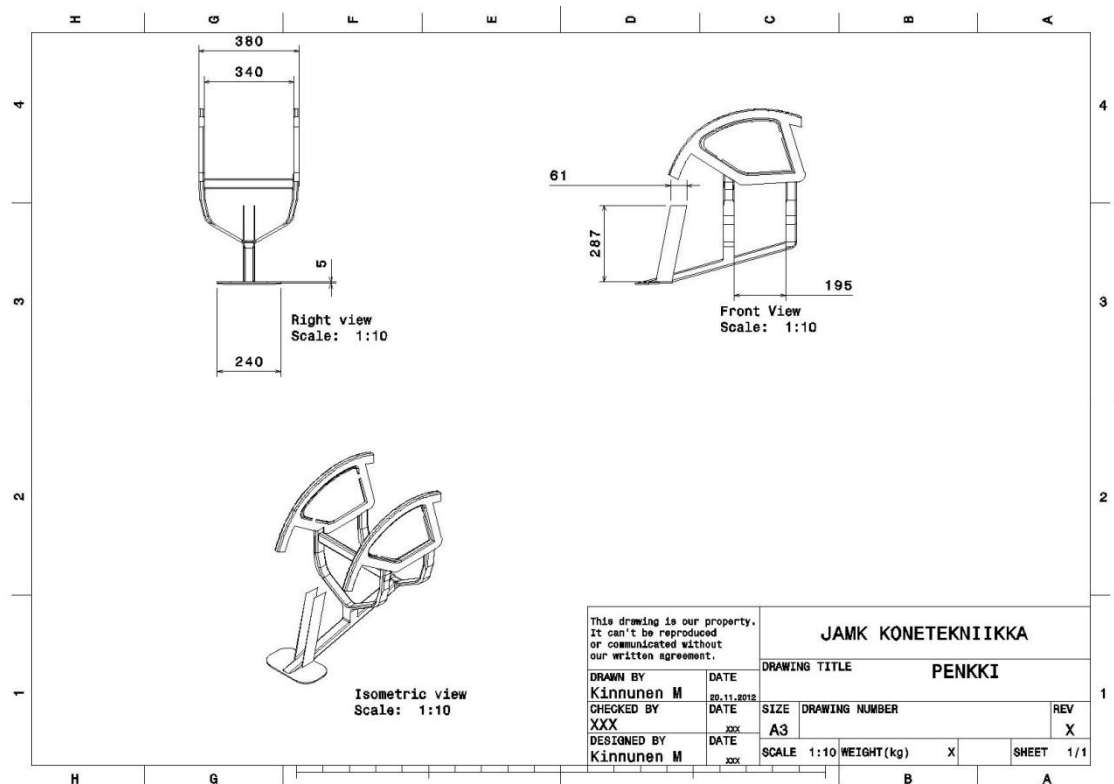


Liite 2. Tärkeimmät piirustukset

Rungon piirustus



Penkin piirustus



Kelaustuolin kokoonpanon piirustus

