

Het ontwerpen van een zeilzitje voor een persoon met Diastrofic Dysplasia



AFSTUDEERPROJECT ZEILZITJE

DOOR:

BART KOOT (10072047) & ROLF SONNEMANS (10049630)

1^E BEGELEIDER:

K.L. VAN STEIN CALLENFELS

2^E BEGELEIDER

R.M.A. VAN DER SLIKKE

OPLEIDING:

BEWEGINGSTECHNOLOGIE
AAN DE HAAGSE HOGESCHOOL

Het ontwerpen van een zeilzitje voor een persoon met Diastrofische Dysplasie

BART KOOT (10072047) & ROLF SONNEMANS (10049630)

OPLEIDING BEWEGINGSTECHNOLOGIE
AAN DE HAAGSE HOGESCHOOL

JUNI 2014

1 Voorwoord

Voor u ligt het ontwerpverslag van: "Het ontwerpen van een zeilzitje voor een persoon met Diastrofische Dysplasia". Deze ontwerpopdracht is uitgevoerd in opdracht van Ronald van Vianen algemeen leiding gevende bij de organisatie Prosails (organisatie van toptrainers en coaches die zich tot nog toe vooral bezig heeft gehouden met het opleiden en trainen van talenten tot topzeilers). De opdracht is binnen gekomen bij het Expertise Centrum BewegingsTechnologie (ECBT) aan de Haagse Hogeschool en werd daarna aangeboden als afstudeeropdracht voor de opleiding Bewegingstechnologie.

Dit document is gemaakt met als hoofddoelstelling: een zitje te ontwerpen voor de Tornado 2.4 mR voor een persoon met Diastrofische Dysplasia, dat de mogelijkheid biedt om de projectie van het lichaamszwaartepunt te verplaatsen in zowel voor- achterwaartse- als bak- en stuurboordrichting, waarbij de optredende gewrichtsmomenten geminimaliseerd worden met als gevolg een betere houdingsstabiliteit.

Wij hebben de afstudeerperiode als een intensieve en leerzame periode ervaren. Graag willen wij een aantal personen die ons geholpen heeft bedanken. Allereerst gaat onze dank uit naar onze afstudeerbegeleiders Karen Steijn-Callenfels en Rienk van der Slikke voor de begeleiding en kritische blik tijdens deze periode. Daarnaast gaat onze dank uit naar: Coen Vuijck voor het delen van zijn expertise, Thomas Latcham voor zijn technische kijk en verbeterpunten aan het prototype, E.R. van Meerveld voor de hulp met Solidworks, R.M. Mcmeikan voor de hulp bij het vervaardigen van het prototype, Michiel Schepers voor de hulp met het modelleren en A. Koot- de Leeuw voor het naaien van het zitvlak. Tot slot gaat onze dank uit naar Ronald van Vianen en Rolf Schrama voor het voordragen van deze ontwerpopdracht.

Bart Koot en Rolf Sonnemans

Juni 2014

2 Samenvatting

Het doel van dit afstudeerproject is een oplossing te vinden voor de huidige problematiek die ervaren wordt door Rolf Schrama tijdens het zeilen in de Torpedo 2.4 mR. Deze oplossing werd gevonden door een cyclus te doorlopen zoals deze is aangeleerd gedurende de opleiding. Deze cyclus bestaat uit een analysefase, ontwerpfase, vervaardigingsfase en een testfase.

Als eerste heeft er een analysefase plaatsgevonden, waarin aan de hand van krachtenanalyses de oorsprong van de problematiek in kaart werd gebracht. Daarnaast is gekeken naar het effect van de gewichtstrim op de snelheid van de boot. Uit deze analyses is een reeks eisen voortgekomen die de basis vormt voor het uiteindelijke ontwerp. De analysefase werd afgesloten met een marktonderzoek, ter inspiratie en overbrugging naar de ontwerpfase.

In de ontwerpfase is divergerend te werk gegaan om zoveel mogelijk ideeën te vergaren. Vervolgens zijn al deze ideeën getoetst aan de hand van een morfologische kaart en zijn drie concepten vervaardigd.

Deze concepten zijn getoetst op functionaliteit en de mening van Rolf. Op deze manier is er in samenspraak een keuze gemaakt welk concept verder uitgewerkt moest worden tot prototype.

Het vervaardigen heeft eerst plaatsgevonden in SolidWorks. Vervolgens is aan de hand van de bouwtekeningen het prototype vervaardigd in de werkplaats van Bewegingstechnologie.

Tijdens de evaluatie hebben er verschillende tests plaatsgevonden waarbij de functionaliteit en het comfort getoetst werden. Tevens werd een situatie van maximale kanteling van de boot (32°) nagebootst, zodat de huidige situatie vergeleken kon worden met het prototype in een momentenvergelijking.

Het afstudeerproces had voorspoediger kunnen verlopen.

Zo had de analysefase efficiënter en krachtiger doorlopen kunnen worden wanneer er gebruik was gemaakt van drukmetingen en als er tijdens het ontwerpen rekening was gehouden met gangbare afmetingen van de gebruikte metaalprofielen. De functionaliteit van het prototype had een hogere kwaliteit kunnen hebben als er een groter budget ter beschikking was geweest.

Ondanks de kritiekpunten is er uiteindelijk een prototype ontwikkeld waarmee getest kon worden.

Met het gebruik van dit prototype neemt de som van de momenten bij maximale kanteling van de boot af met 22872,4Nmm. Dit is een afname van 43,2% ten opzichte van de oude situatie. Daarnaast is de spierkracht die in horizontale richting geleverd moet worden met 67,5N verlaagd (40,8%). De benodigde wrijvingscoëfficiënt is van $f=0,63$ naar $f=0,3$ verlaagd, waardoor geen energieverlies optreedt als gevolg van een compensatoire houding die aangenomen moet worden om niet weg te glijden.

3 Inhoudsopgave

1	VOORWOORD	3
2	SAMENVATTING	4
3	VERKLARENDE WOORDENLIJST	6
4	INLEIDING	7
4.1	ROLF SCHRAMA	8
5	METHODE	9
5.1	GESPREKKEN RONALD EN ROLF	9
5.2	BEWEGINGSANALYSE ROLF	10
5.3	RUGLEUNING	12
5.4	GEWICHTSVERDELING	12
5.4.1	GEWICHTSVERDELING BAK- STUURBOARD	13
5.4.2	GEWICHTSVERDELING VOOR EN ACHTER	14
5.5	MARKTONDERZOEK	17
5.6	LIJST VAN EISEN	18
6	ONTWERPEN	19
6.1	MORFOLOGISCHE KAART	19
6.2	PROTOTYPE SOLIDWORKS	21
7	VERVAARDIGEN	22
7.1	MATERIAALKEUZE	22
7.2	ONDERDELEN PROTOTYPEN	22
8	EVALUATIE	25
8.1	HOUDING	25
8.2	VOOR- EN ACHTERWAARTSE VERPLAATSING	25
8.3	ZIJWAARTSE KANTELING	26
8.4	PROTOTYPE IN DE BOOT	26
8.5	HOUDINGSANALYSE	27
8.6	COMFORT ROLF	28
9	DISCUSSIE	29
10	CONCLUSIE	30
11	BIBLIOGRAFIE	31
12	BIJLAGEN	32
12.1	BIJLAGE 1	32
12.2	BIJLAGE 2	33
12.3	BIJLAGE 3	33
12.4	BIJLAGE 4	34
12.5	BIJLAGE 5	37

4 verklarende woordenlijst

lijzijde:	kant van de boot die uit de wind ligt (woorden-boek).
loefzijde:	kant van de boot die in de wind ligt (woorden-boek).
laminaire stroming	Als het water met kleine snelheid uit een kraan stroomt, ziet de stroming er glad en regelmatig uit. De stroom heeft een tamelijk gelijkmatige diameter en er zijn weinig of geen aanwijzingen dat de diverse delen van de stroming zich vermengen. Dit heet laminaire stroming, een term die met het woord laag te maken heeft, omdat de vloeistof in continue lagen lijkt te stromen met weinig of geen vermenging tussen een laag en naburige lagen (R.L. Mott, 2009).
turbulente stroming	Wanneer de kraan bijna helemaal open is, heeft het water een hoge snelheid. De vloeistofelementen lijken zich op een chaotische wijze binnen de stroom te vermengen. Dit heet turbulente stroming (R.L. Mott, 2009).
gewichtstrim/trimmen	Lading doelmatig stuwen (woorden-boek).

5 Inleiding

Tijdens het zeilen in de paralympische eenmanszeilboot Tornado 2.4 mR klasse zie afbeelding 1 en 2 wordt veel van het lichaam geëist. In het afgelopen jaar hebben zich bij het Nederlandse Paralympisch zeil-team verschillende blessures aan rug, heup en schouder voorgedaan. Hierdoor konden de zeilers voor langere tijd niet deelnemen aan trainingen en wedstrijden. De oorzaak van de ervaren problematiek wordt door de zeilers en coach toegeschreven aan het stoeltje (afbeelding 3) in de standaard uitvoering van de zeilboot.

Hoofdzakelijk wordt gesproken over stabiliteitsproblemen. Omdat het stoeltje gefixeerd zit aan de bodem en het oppervlak in combinatie met water erg glad wordt, heeft dit tot gevolg dat de zeiler bij kanteling van de boot wegglijdt.

Als noodoplossing wordt het stoeltje dat meegeleverd wordt vanuit de fabriek verwijderd en vervangen door een houten plankje dat klem zit tussen beide zijden van de boot of door schuimkussens die geplaatst worden op de bodem van de kuip. Met deze noodoplossingen is het wegglijden verminderd door een grotere wrijving.

Desalniettemin blijven er twee problemen bestaan:

Omdat de zittingen in een vaste positie gefixeerd zijn aan de kuip, kantelen deze in dezelfde hoek als de boot, waardoor de projectie van het lichaamszwaartepunt van de zeiler buiten het zitvlak komt te liggen. Om dit te voorkomen moet de stuurman met behulp van zijn armen en benen het steunvlak vergroten. Hierdoor ontstaan, in vergelijking met een houding waarin niet gecompenseerd hoeft te worden met armen en benen om het steunvlak te vergroten, relatief grote gewrichtsmomenten. Deze momenten moeten met spierkracht gecompenseerd worden en dat kost energie.

De zeilers willen tijdens het zeilen ook juist gebruik kunnen maken van de mogelijkheid om het gewicht te verplaatsen in zowel de voor-achterwaartse richting als bak- en stuurboord richting. Volgens de coach kan met deze gewichtsverplaatsing de snelheid van de boot positief beïnvloed worden. Met de huidige zitvoorzieningen in de boot is deze verplaatsing alleen mogelijk door met behulp van armen en benen het steunvlak uit te breiden buiten de zitvoorziening, hetgeen qua benodigde spierkracht ongunstige houdingen oplevert zoals hierboven beschreven. Het zitje zal, om de som van de gewrichtsmomenten te verkleinen, zo ontworpen moeten worden dat de projectie van het lichaamszwaartepunt zoveel mogelijk in het midden en door het zitoppervlak loopt tijdens de verschillende zeilhoudingen.

De probleemstelling luidt daarom: Ontwerp en vervaardig een prototype van een zeilzitje voor in de 2.4 mR zeilboot voor een persoon met Diastrofische Dysplasie, dat de mogelijkheid biedt om de projectie van het lichaamszwaartepunt te verplaatsen in zowel voor- achterwaartse- als bak- en stuurboordrichting, waarbij de optredende gewrichtsmomenten geminimaliseerd worden met als gevolg een betere houdingsstabiliteit.



Afbeelding 1 zij aanzicht Tornado 2.4 mR



Afbeelding 2 achteraanzicht Tornado 2.4 mR



Afbeelding 3 stoeltje standaard uitvoering

5.1 Rolf Schrama

In dit ontwerpverslag zal gekeken worden naar een ontwerp voor één specifieke zeiler, Rolf Schrama (39 jaar, 50kg) (zie afbeelding 4). Rolf is een volwassen man met Diastrofic Dysplasia. Diastrofic Dysplasia is een aandoening die het gevolg is van een afwijking in het SLC26A2 gen. Hierdoor ontstaat dwerggroei met korte extremiteiten, rigide klompvoeten, lifters duim, synphalangealisme (PIPs), bloemkool oren, kyfosciose (ernstig, progressief) en weke delen flexie contracturen in de ellebogen, knieën en heupen.

Na een carrière in de financiële wereld, heeft Rolf besloten zijn leven over een andere boeg te gooien. Rolf greep de kans die hij kreeg om te zeilen voor het Nederlandse Paralympische team met beide handen aan en reist sinds een jaar de hele wereld over voor trainingen en wedstrijden.

Rolf ervaart net als de andere zeilers de nadelen van de standaard meegeleverde stoel en is er tot op heden niet in geslaagd een volwaardige oplossing te vinden.



Afbeelding 4 Rolf Schrama

6 Methode

In dit hoofdstuk worden de eisen waaraan het prototype moet voldoen vergaard. Deze eisen komen voort uit; gesprekken met Rolf en de coach, afmetingen van zowel de boot als van Rolf en het modelmatig verwerken van deze maten in krachten- en bewegingsanalyses. Uiteindelijk vormt de lijst van eisen het fundament van het prototype.

6.1 Gesprekken Ronald en Rolf

Uit gesprekken met Rolf en Ronald (de coach) kwam nadrukkelijk naar voren dat er veel lichamelijke klachten ontstaan in de heup, schouder en rug. Het ontstaan van deze lichamelijke klachten zal in hoofdstuk 6.2 verder toegelicht worden.

Daarnaast kwamen uit het gesprek de volgende praktische randvoorwaarden naar voren waaraan het zeilzitje moet voldoen:

Randvoorwaarde 1: Het zeilzitje moet waterbestendig zijn.

Randvoorwaarde 2: Het zeilzitje mag geen elektrische componenten bevatten.

Randvoorwaarde 3: Het zeilzitje mag maximaal 3kg wegen.

Randvoorwaarde 4: Het zitje moet in zijn geheel verwijderd kunnen worden uit de boot.

Randvoorwaarde 5: Het zitje moet demonteerbaar zijn zodat de onderdelen in het vliegtuig mee kunnen.

Randvoorwaarde 6: Rolf moet ten alle tijden uit het zeilzitje kunnen opstaan.

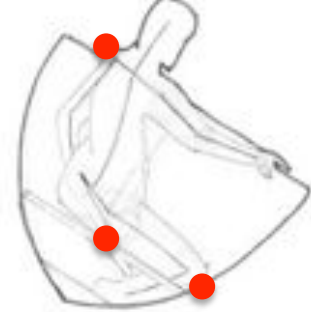
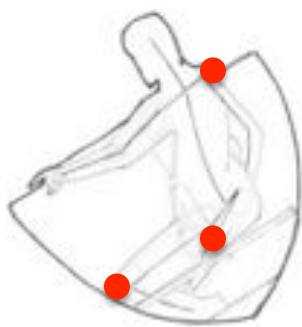
Randvoorwaarde 7: De giek moet in zit hoger zijn dan Rolfs' hoofd.

Randvoorwaarde 8: Rolf moet met zijn schouder onder de rand van de kuip kunnen.

Randvoorwaarde 9: Het kantelen naar bak- en stuurboord mag geen extra handelingen vereisen.

6.2 Bewegingsanalyse Rolf

Als alternatief voor het originele stoeltje zit Rolf op een plankje dat tussen de twee zijden van de boot is geplaatst op een hoogte van 12 cm. Afgezien van uitzonderlijke situaties neemt Rolf tijdens het zeilen 3 zithoudingen aan (zie afbeelding 5, 6 en 7).



Afbeelding 5 houding Rolf bij kanteling naar bakboord

Afbeelding 6 Neutrale houding Rolf voor de wind

Afbeelding 7 houding Rolf bij kanteling naar stuurboord

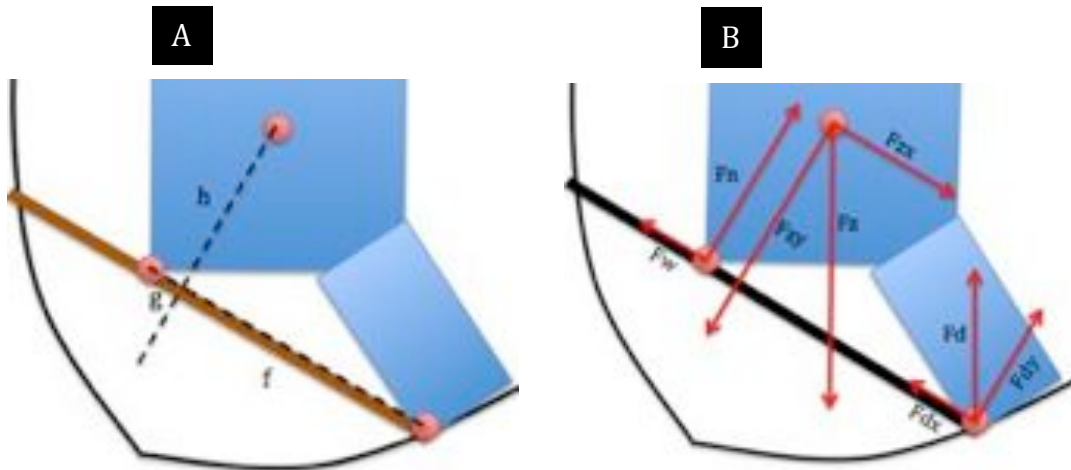
In afbeelding 6 is de situatie weergegeven waarin Rolf voor de wind zeilt. In deze situatie is sprake van geen of nauwelijks kanteling van de boot en hoeft Rolf geen gecompenseerde houding aan te nemen omdat de projectie van zijn lichaamszwaartepunt al loodrecht op en door het midden van zijn zitvlak loopt. Hij heeft dus beide armen vrij voor het uitvoeren van de verschillende handelingen.

Wanneer de boot kantelt naar bakboord of stuurboord (zie afbeelding 5 en 7) kantelt het zitvlak met dezelfde hoek als de boot. De projectie van het lichaamszwaartepunt dreigt hierbij buiten het zitvlak aan de lijzijde te vallen en een compensatoire houding is vereist om niet weg te glijden en het steunvlak te vergroten. Bij deze houding wordt de knie tegen de rand van de kuip afgezet. Om de krachten op de knie te verlichten, wordt de arm ingezet aan de lijzijde om tegen de rand te drukken, met als gevolg dat deze arm niet inzetbaar is voor de verschillende handelingen.

Om deze projectie van het lichaamsgewicht naar de loefzijde te krijgen, zijn spierkrachten nodig om de relatief grote gewrichtsmomenten te overwinnen. Deze uiterste houdingen moeten soms wel tot 15 minuten achtereenvolgens volgehouden worden.

Om er voor te zorgen dat Rolf ten alle tijden beide armen vrij heeft om te gebruiken voor de zeilhandelingen en hij zijn knie niet nodig heeft om zichzelf af te zetten, zal de compensatoire houding waartoe Rolf nu gedwongen wordt geminimaliseerd moeten worden. Dit moet gebeuren door Rolf dermate te ondersteunen dat de projectie van zijn lichaamszwaartekracht zoveel mogelijk door het midden en loodrecht op het zitvlak valt zonder dat hij zijn steunvlak hoeft uit te breiden. Daarbij zal de normaalkracht zoveel mogelijk over 2 zitbeenknobbels verdeeld moeten worden.

Om de nieuwe houding te kunnen vergelijken met de huidige situatie wordt gekeken naar de grootte van de wrijvingscoëfficiënt (f) en naar de som van alle gewrichtsmomenten in Rolfs' lichaam. Omdat Rolf verschillende soorten kleding draagt tijdens de verschillende weertypes en jaargetijden, en niet precies duidelijk is welke houtsoort gebruikt is voor zijn zitplank, wordt door middel van een statische bewegingsanalyse bepaald hoe groot de wrijving is tussen Rolf en het zitoppervlak. In afbeelding 8A zijn de momentarmen te vinden die gebruikt zijn in de analyse. In afbeelding 8B staan de bijbehorende krachten getekend. De momentsarmen zijn bepaald aan de hand van grafische analyses.



Afbeelding 8 A: Momentsarmen gezien vanuit achteraanzicht Rolf bij maximale kanteling van de boot (32°) $f = 265\text{mm}$; $g = 55\text{mm}$; $h = 180\text{mm}$. B krachten in deze evenwichtssituatie. Er wordt aangenomen dat Rolf onder een hoek van 65° druk geeft met zijn linker condyl tegen de zijkant van de boot.

$$\Sigma FM = 0 \quad \text{ccw} = +$$

$$\Sigma Fx = 0 \quad \rightarrow = +$$

$$\Sigma Fy = 0 \quad \uparrow = +$$

$$Fz = 372,5 \text{ N (74,5\% van totale Fz (romp + hals, 2 armen, hoofd en 1 bovenbeen))}$$

$$Fzx * h + Fzy * g - Fdy * (f + g) = 0$$

$$\sin(32) * 372,5 * 180 + \cos(32) * 372,5 * 55 - Fdy * 320 = 0$$

$$Fdy = 165,3 \text{ N}$$

$$Fdx = \tan(25) * 165,3 = 77,1 \text{ N}$$

$$\text{dukkend moment} = 320 * 165,3 = 52896 \text{ Nmm}$$

$$Fdx + Fw - Fzx = 0$$

$$77,1 - 197,4 = -Fw$$

$$Fw = 120,3 \text{ N}$$

$$-Fzy + Fdy + Fn = 0$$

$$-315,9 + 165,3 + Fn = 0$$

$$Fn = 150,6 \text{ N}$$

Om te bepalen wat de minimale wrijvingscoëfficiënt moet zijn om zonder druk van de knie in evenwicht te blijven, wordt de volgende statische situatie bekeken (afbeelding 9). Hierin wordt het gewicht van het bovenbeen dus niet meegenomen. Hierdoor wordt de Fz 68,8% van Rolfs' totale lichaamsswaartekracht (zie bijlage 3).

$$Fz = 344$$

$$Fzx = \sin(32) * 344 = 182,3 \text{ N}$$

$$Fzx = Fw$$

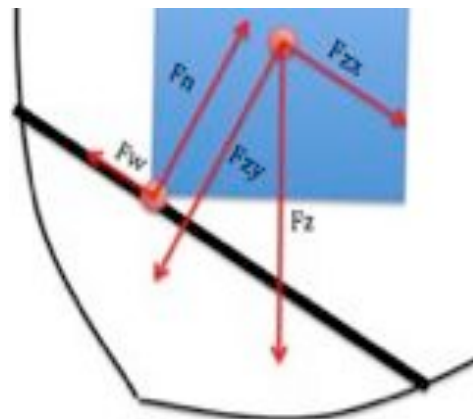
$$Fzy = \cos(32) * 344 = 291,7 \text{ N}$$

$$Fzy = Fn$$

$$Fw = Fn * f$$

$$f = \frac{182,3}{291,7} = 0,63$$

De huidige wrijvingscoëfficiënt wordt tussen de 0,3 en 0,4 geschat (leer op nat hout (engineeringtoolbox)) en voldoet niet om genoeg wrijving tussen Rolf en het zitvlak te geven. Hierdoor wordt Rolf gedwongen naast een lateroflexie in de romp te maken ook met zijn knie af te zetten.



Afbeelding 9 Statische evenwichtsvergelijking zonder steun van de knie.

6.3 Rugleuning

Om er voor te zorgen dat Rolf ten alle tijden beide armen vrij heeft voor de zeilhandelingen en hij zijn knie niet hoeft te gebruiken om zich af te zetten, zal de compensatoire houding waartoe Rolf nu gedwongen wordt, geminimaliseerd moeten worden. Dit kan gebeuren door Rolf dermate te ondersteunen dat de projectie van zijn lichaamsswaartekracht zoveel mogelijk door het midden en loodrecht op het zitvlak valt zonder dat hij zijn steunvlak hoeft uit te breiden. Daarbij zal de normaalkracht zoveel mogelijk over 2 zitbeenknobbels verdeeld moeten worden. Met andere woorden: er moet in iedere situatie gestreefd worden naar een zo groot- en horizontaal mogelijk zitvlak.

Daarnaast kan de wrijvingskracht vergroot worden, zodat Rolf minder kracht hoeft te leveren om te compenseren. Dit kan gedaan worden door een materiaal te kiezen met een hogere wrijvingscoëfficiënt tussen beide oppervlaktes. De wrijvingscoëfficiënt zoals deze hierboven berekend is, is de minimaal benodigde wrijvingscoëfficiënt om zonder het steunvlak uit te breiden, bij een gefixeerde zitting aan de boot, in evenwicht te blijven.

Eis 1: De projectie van de lichaamsswaartekracht moet zonder uitbreiding van het steunvlak door armen en/of benen zoveel mogelijk loodrecht en door het midden van het zitvlak lopen.

Eis 2: De wrijvingscoëfficiënt tussen zitvlak en Rolf moet groter zijn dan in de huidige situatie.

Eis 3: Het zitje moet de normaalkracht over 2 zitbeenknobbels verdelen.

De zitting waar Rolf nu op zit, heeft geen rugleuning. Toch zit Rolf, zo geeft hij zelf aan, vaak voor langere tijd achterover gekanteld met zijn romp. De hoek die de romp maakt is proefondervindelijk bepaald op maximaal 20°.

Wanneer dit gebeurt, projecteert het gezamenlijke zwaartepunt van het bekken, romp, armen en hoofd zich achter het draaipunt van de heup. Om deze houding te kunnen handhaven is spierkracht van de heupflexoren nodig hetgeen extra energie kost. Wanneer Rolf een rugleuning zou hebben, kan deze het steunvlak vergroten, waardoor geen extra spierkracht geleverd hoeft te worden met de heupflexoren om bij achterover kanteling in evenwicht te blijven.

Eis 4: Het zeilzitje moet voorzien zijn van een rugleuning.

Eis 5: De rugleuning moet 20° verstelbaar zijn ten opzichte van verticaal.

6.4 Gewichtsverdeling

De windkracht op het zeil kan ontbonden worden in een voorwaartse vector, die zorgt voor de voortstuwing van de boot en een zijwaartse vector die voor de kanteling van de boot zorgt. Door o.a. tijdens het zeilen met het moment van het lichaamsgewicht ten opzichte van het kantelpunt van de boot te variëren, kan de zeiler invloed uitoefenen op deze kanteling.

In de paragrafen 6.4.1 en 6.4.2 zal gebruik worden gemaakt van modellen die een statische situatie weergeven van de gewichtsverdeling bak- stuurboard en de gewichtsverdeling naar voor en achter. Voorafgaand aan beide modellen wordt, voor een realistische weergave, eerst de benodigde input berekend. Bij de gewichtsverdeling in bak- stuurboard richting is dit de bewegingsvrijheid in zijwaartse richting en bij de voor- achterwaartse gewichtsverdeling bestaan deze berekeningen uit de afmetingen van het zitvlak en de maximale verplaatsing.

Bij de bepaling van de snelheidstoename moet benadrukt worden dat uitgegaan is van een statische situatie met een aantal aannames (constante snelheid van de boot, constante windkracht, laminaire stroming) om deze analyse te kunnen uitvoeren. In werkelijkheid is dit een dynamische situatie met alternerende krachten en naast laminaire- ook turbulente stromingen van het water, waardoor de invloed van de verplaatsing op de snelheid kleiner zal zijn. Desalniettemin kan wel gekeken worden naar het effect van de gewichtstrim op de snelheid van de boot.

6.4.1 Gewichtsverdeling bak- stuurboard

Bewegingsvrijheid in zijwaartse richting

De bewegingsvrijheid in zijwaartse richting bestaat, door de beperkte ruimte onder in de kuip, slechts uit het kantelen van de romp naar bak- en stuurboard. De maximale kanteling kan bepaald worden door de hoek te berekenen aan de hand van de lijnen tussen het breedste punt van de boot naar acromieon en van zit- tot schouderhoogte (zie afbeelding 10). De afmetingen van de boot en Rolfs' lichaamsmaten staan weergegeven in respectievelijk bijlage 1 en 2.

$$\tan^{-1}(\alpha) = \frac{195}{540} \approx 20^\circ$$

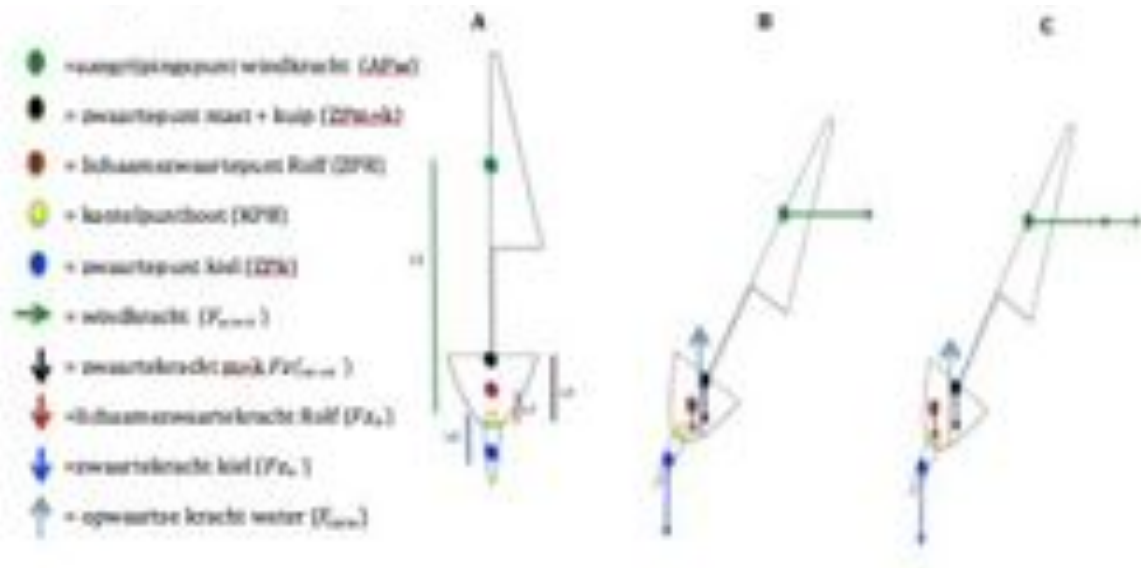


Afbeelding 10 Schematische weergave van de hoekbepaling. A=540mm, B=195mm

Eis 6: Het zitvlak moet een hoek van 20° kunnen maken naar bakboord en stuurboard ten opzichte van horizontaal.

Model gewichtsverdeling bak- stuurboard

In afbeelding 11 is een schematische weergave gemaakt van het effect op de gewichtsverplaatsing in zijwaartse richting van Rolf waarbij een evenwichtssituatie gehandhaafd blijft. Hierbij wordt er van uitgegaan dat het deelzwaartepunt van de romp, hoofd, onderste- en bovenste extremiteiten zich halverwege de romp bevindt. Deze verplaatst bij de maximale rompkanteling van 20° ongeveer 10mm. De hoek die gebruikt wordt voor de kanteling van de boot is aan de hand van videoanalyses bepaald op 32° (hoek waarbij de kuip rand de waterlijn raakt). Het totale gewicht van de boot in deze evenwichtssituatie is gelijk aan het gewicht van de totale hoeveelheid water dat zich heeft verplaatst. Hiermee kan de opwaartse kracht van het water op de boot, waardoor deze blijft drijven, worden benaderd. Het aangrijpingspunt van de opwaartse kracht wordt op de helft van het kantelpunt en de kuiprand gekozen.



Afbeelding 11

A - Achteraanzicht boot met afstanden zwaartepunten tot KPB met L1= ZPR tot KPB=0,15m; L2=ZPk tot KPB=0,2m; L3=AFw tot KPB=3,1m; L4=ZPr+m tot KPB=0,2m.

B - Momentenspel rond het draaipunt van de boot zonder torsokanteling van Rolf;

C - Momentenspel rond het draaipunt van de boot met maximaal haalbare torsokanteling van Rolf;

Hoe kleiner de afstand (L1) tussen het draaipunt van de boot en het lichaamszwaartepunt van Rolf richting loefzijde, hoe meer windkracht (F_{wind}) opgevangen kan worden in een zelfde positie van de boot ten opzichte van de waterlijn.

Om een uitspraak te doen over het krachtsverschil F_{wind} tussen situatie B en C, worden de twee situaties in een berekening met elkaar vergeleken. Voor situatie B. geldt:

$$\Sigma M = \left(F_{opw} * \frac{\sin(32) * 60}{2} \right) + (F_{Z_k} * L2) - (F_{Z_R} * L1) + (F_{wind} * L3) + (F_{Z_{m+k}} * L4) = 0$$

$$\Sigma M = \left(3000 * \frac{\sin(32) * 60}{2} \right) + (1800 * (\sin(32) * 0,2) - (500 * (\sin(32) * 0,15) + (F_{wind} * (\sin(32) * 3,1) + (700 * (\sin(32) * 0,2) = 0$$

$$F_{wind} \approx 240,3N$$

Voor situatie C, waarin de projectie van Rolfs' lichaamszwaartekracht door het kantelpunt loopt geldt:

$$\Sigma M = \left(3000 * \frac{\sin(32) * 60}{2} \right) + (1800 * (\sin(32) * 0,2) - (500 * 0) + (F_{wind} * (\sin(32) * 3,1) + (700 * (\sin(32) * 0,2) = 0$$

$$F_{wind} \approx 264,5N$$

Dit is een procentuele toename van 10,1% in zijwaartse kracht. Omdat de zijwaartse component evenredig verbonden is met de voorwaartse component, kan deze procentuele toename ook in de voorwaartse component worden gevoegd om iets over de snelheidstoename te kunnen zeggen. De snelheidstoename wordt de volgende paragraaf verder uitgewerkt.

6.4.2 Gewichtsverdeling voor en achter

Afmetingen zitvlak

Omdat Rolf zijn hoofd onder de giek wil hebben, wordt daarmee tegelijkertijd bepaald wat de maximale hoogte van het zitvlak zal zijn, namelijk 75mm (zie afbeelding 12). Daarnaast wil Rolf met zijn schouder onder de rand van de kuip blijven. Wanneer Rolf rechtop zit en bij kanteling naar bak- of stuurboord met zijn schouder onder de rand van de kuip zit, geldt voor de maximale hoogte van het zitvlak 71mm.

$$G = 875 - 800 = 75mm$$

$$B = \frac{810 - 420}{2} = 195mm$$

$$H = \tan(20) * 195 = 70.9 \approx 71mm$$

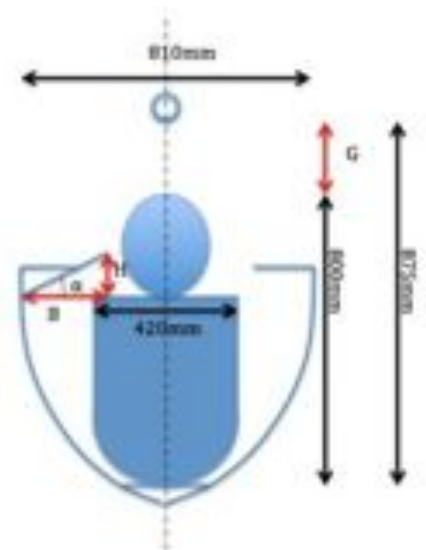
Eis 7: De maximale hoogte van het zitvlak is 71mm.

De diepte van het zitvlak wordt bepaald aan de hand van Rolfs' bil-knieholte-lengte. Deze lengte is 270mm. Dit is de maximale lengte die het zitvlak van het zitje kan hebben. Om Rolf zoveel mogelijk te ondersteunen wordt deze maximale lengte van het zitvlak aangehouden.

Eis 8: De diepte van het zitvlak wordt 270mm.

Helemaal achterin de kuip is de breedte 190mm op een hoogte van 71mm. Deze breedte neemt over een afstand van 270mm taps toe naar 220mm. Tot aan het dashboard blijft de breedte van kuip onveranderd.

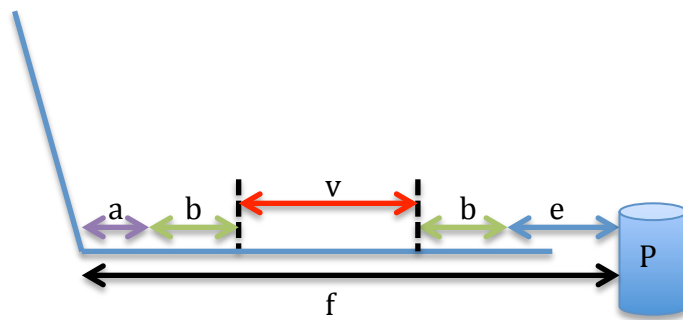
Eis 9: De maximale breedte van het zitje wordt 190mm aan de achterzijde en neemt gelijkmatig toe naar 220mm over de gehele lengte.



Afbeelding 12 schematische weergave achteraan Rolf in kuip. G=hoofdgiekhogte; B=Schouderbreedte; H maximale zitvlakhoogte; α maximaal mogelijke

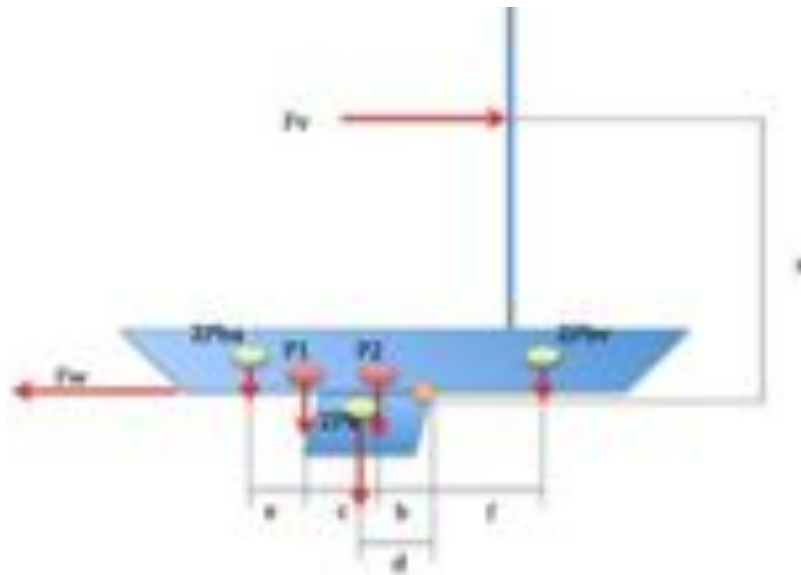
Voor- achterwaartse verplaatsing

De maximale verstelbaarheid in voor- achterwaartse richting wordt bepaald aan de hand van de lengte van het zitvlak en de beschikbare ruimte in de kuip (zie afbeelding 13). Deze lengte is maximaal 190mm. Het effect van deze verplaatsing van het lichaamsgewicht op de snelheid van de boot is benaderd aan de hand van het model van afbeelding 14.



Afbeelding 13 a = afstand van achterste punt kuip tot voorbij hijs oog (40mm); b = helft diepte zitje (135mm); e = ruimte voor slang = 100; f = totale lengte bodem = 500; v = verstelbaarheid (190mm); P = Pomp

Model gewichtsverdeling voor achter



Afbeelding 14 Doordat de onbekende wrijvingskracht (F_w) door het draaipunt gericht staat kan aan de hand van de zwaartepunten ($F_z P_{ba} = 300N^*$, $F_z P_k = 1800N$, en $F_z P_{bv} = 400N^*$) en de daarbij behorende momentsarmen het verschil tussen de voorstuwingskracht (F_v) in positie 1 (p_1) en positie 2 (p_2) van het LZP bepaald worden. $a = 3,10m$; $b = 0,235m$; $c = 0,19m$ $d = 0,45$; $e = 0,575m^*$; $f = 1,0m^*$.

*aangenomen waardes.

$$\sum FM = 0 \quad ccw = +$$

$$\sum Fx = 0 \quad \rightarrow = +$$

$$\sum Fy = 0 \quad \uparrow = +$$

$$\begin{aligned} \sum M_{p_1} &= F_z P_{ba} * (e + c + b) + F_z P_1 * (c + b) + F_z P_k * d - F_z P_{bv} * f - F v_{p_1} * a = 0 \\ F v_{p_1} * 3,1 &= 300 * 1 + 500 * 0,425 + 1800 * 0,45 - 400 * 1 = 922,5Nm \\ F v_{p_1} &\approx 297,6N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{p_2} &= F_z P_{ba} * (e + c + b) + F_z P_2 * (b) + F_z P_k * d - F_z P_{bv} * f - F v_{p_2} * a = 0 \\ F v_{p_2} * a &= 300 * 1 + 500 * 0,235 + 1800 * 0,45 - 400 * 1 = 827,5Nm \\ F v_{p_2} &\approx 266,9N \end{aligned}$$

$$F v_{verschil} = 297,6 - 266,9 = 30,7N$$

Om de snelheidsverhouding te bepalen tussen de twee posities wordt gebruik gemaakt van de weerstandsvergelijking in water. Er wordt een gangbare snelheid ($V = 2 \text{ m/s}$) aangenomen en ingevuld voor het bepalen van een realistische waarde van de wrijvingscoëfficiënt (C_f). Vervolgens kan met de formule de totale wrijvingskracht worden benaderd om het effect op de snelheid te bepalen.

Bij een gemiddelde windsnelheid van 13 knopen (6,7 m/s) vaart Rolf aan de wind 3 knopen (1,5 m/s) en voor de wind 4 knopen (2 m/s).

$$F_w = C_f \frac{1}{2} \rho V_0^2 A$$

$$297,6 = C_f \frac{1}{2} 1 * 2^2 (0,6 * 5 * 2)$$

$$C_f = 24,8$$

F_w = Totale weerstand

C_f = de wrijvingscoëfficiënt

$\frac{1}{2} \rho V_0^2$ = de stuwdruk

- ρ = dichtheid
- V = snelheid

A = Het nat oppervlak

$$266,9 = 24,8 \frac{1}{2} 1 V^2 6$$

$$V = 1,89 \text{ m/s}$$

Dit is een verschil van 0,11m/s en 5,5% ten opzichte van de snelheid in de achterste positie.

Op dezelfde manier kan nu wat gezegd worden over het effect op de snelheid van de voor- achterwaartse versnelling. Omdat de voorwaartse kracht evenredig is met de zijwaartse kracht kan de volgende berekening gemaakt worden:

$$327,7 = 10,1\% * 297,6 + 297,6$$

$$327,7 = 24,8 \frac{1}{2} 1 V^2 6$$

$$V \approx 2,1 \text{ m/s}$$

Dit is een verschil van 0,1 m/s en een toename van 5% ten opzichte van de situatie waarin Rolf helemaal niet mee kantelt.

Hiermee is aangetoond dat de gewichtsverplaatsing in zijwaartse richting een invloed kan hebben op de maximaal te leveren kracht in het zeil in een evenwichtssituatie en daarmee een positieve invloed op de snelheid van de boot kan hebben.

Eis 10: Het zitje moet verplaatsbaar worden gemaakt over een afstand van 190mm over de bodem van de kuip.

Eis 11: Het zeilzitje moet de gelegenheid bieden om de momentsarm tussen het draaipunt van de boot en het lichaamsswaartepunt te minimaliseren.

6.5 Marktonderzoek

Voorafgaand aan dit project is een marktonderzoek gedaan naar bestaande zittingen in de watersport die ontworpen zijn met het doel om de genoemde problematiek te voorkomen.

Coen Vuijk van Motion Matters heeft in 2011 voor één van de zeilers uit de Nederlandse kernploeg Olympisch zeilen een zitting op maat gemaakt. Hij heeft geprobeerd om het bekken maximaal te ondersteunen door zowel de zitknobbels te belasten als beide trochantor major (zie afbeelding 15).



Afbeelding 15 Prototype zitje Coen Vuijk

Sterke punten van dit Concept zijn:

- Maximale ondersteuning bij 0° kanteling ten opzichten van de verticaal doordat niet alleen de tuber ischiadicum, maar ook beide trochantor major ondersteund worden.
- Het stoeltje is verstelbaar in voor- achterwaartse richting middels een rails.
- Het stoeltje is op maat gemaakt voor de sporter.
- Door de hoog gevormde randen van het stoeltje kan de zeiler extra steun vinden bij kanteling.

Zwakke punten van dit concept zijn:

-Doordat de persoon met het bekken in een positie gefixeerd wordt, moet de persoon bij kanteling van de boot door middel van lateroflexie in de romp compenseren om zijn lichaamsswaartpunt zoveel mogelijk boven het steunvlak te houden. Dit zorgt voor relatief grote krachten op de linker (A.H.M. Lohman, 2011)of rechter trochanter major en in vergelijking met rechtop zitten grotere momenten rond de gewrichten in de rug, waardoor meer energie nodig is.

Door B&D sailing is een zitje (zie afbeelding 16) ontworpen voor één van de zeilers van de Belgische kernploeg.

Sterke punten van dit Concept zijn:

- Het stoeltje is verplaatsbaar in voor- achterwaartse richting.
- Het stoeltje kan kantelen naar bak- en stuurboord.
- Het stoeltje weegt de helft van het originele stoeltje.
- Het stoeltje is op maat gemaakt voor de zeiler.

Zwakke punten van dit concept:

- Het stoeltje heeft een niet naar voor- en achter kantelbare leuning.
- Het kantelen in zijwaartse richting wordt gerealiseerd door het verrichten van een extra handeling.



Afbeelding 16 aangepaste zitting Dennis Peck Belgische kernploeg

Verder is gekeken naar ideeën afkomstig uit de wereld van het kanoën en naar oplossingen bedacht door zeilers zelf (zie afbeelding 17). Zowel de oplossingen in de kano's als die van de zeilers zelf bieden slechte ondersteuning tijdens het kantelen van de boot.



Afbeelding 17 Verschillende oplossingen van zeilers zelf; links is te zien hoe een zeiler op het idee is gekomen om rechte zitvlakken te creëren voor meer steun; in het midden is een foto te zien waar op het huidige stoeltje te zien is met extra kussens en rechts is een foto te zien waarin iemand geprobeerd heeft een kano zitting te gebruiken.

Er kan worden geconcludeerd dat er tot op heden geen oplossing voor het zeilzitje is gevonden die Rolf kan gebruiken. Er wordt met name geïmproviseerd om de bestaande problematiek te minimaliseren. Wel kunnen er aan de vervaardigde prototypes ideeën worden ontleend zoals de kanteling van de rugleuning, de vorm, de verstelbaarheid van het zitvlak en de gebruikte materialen.

6.6 Lijst van eisen

Uit de analysefase is de volgende lijst met eisen voort gekomen, deze eisen zullen in de ontwerpfase gebruikt worden om verschillende concepten te testen en een uiteindelijke keuze te maken voor het eindontwerp.

Eis 1: De projectie van de lichaamsswaartekracht moet zonder uitbreiding van het steunvlak door armen en/of benen zoveel mogelijk loodrecht en door het midden van het zitvlak lopen.

Eis 2: De wrijvingscoëfficiënt tussen zitvlak en Rolf moet groter zijn dan in de huidige situatie.

Eis 3: Het zitje moet de normaalkracht over 2 zitbeeknobbels verdelen.

Eis 4: Het zeilzitje moet voorzien zijn van een rugleuning.

Eis 5: De rugleuning moet 20° verstelbaar zijn ten opzichte van verticaal.

Eis 6: Het zitvlak moet een hoek van 20° kunnen maken naar bakboord en stuurboord ten opzichte van horizontaal.

Eis 7: De maximale hoogte van het zitvlak is 71mm.

Eis 8: De diepte van het zitvlak wordt 270mm.

Eis 9: De maximale breedte van het zitje wordt 190mm aan de achterzijde en neemt gelijkmatig toe naar 220mm over de gehele lengte.

Eis 10: Het zitje moet verplaatsbaar worden gemaakt over een afstand van 190mm over de bodem van de kuip.

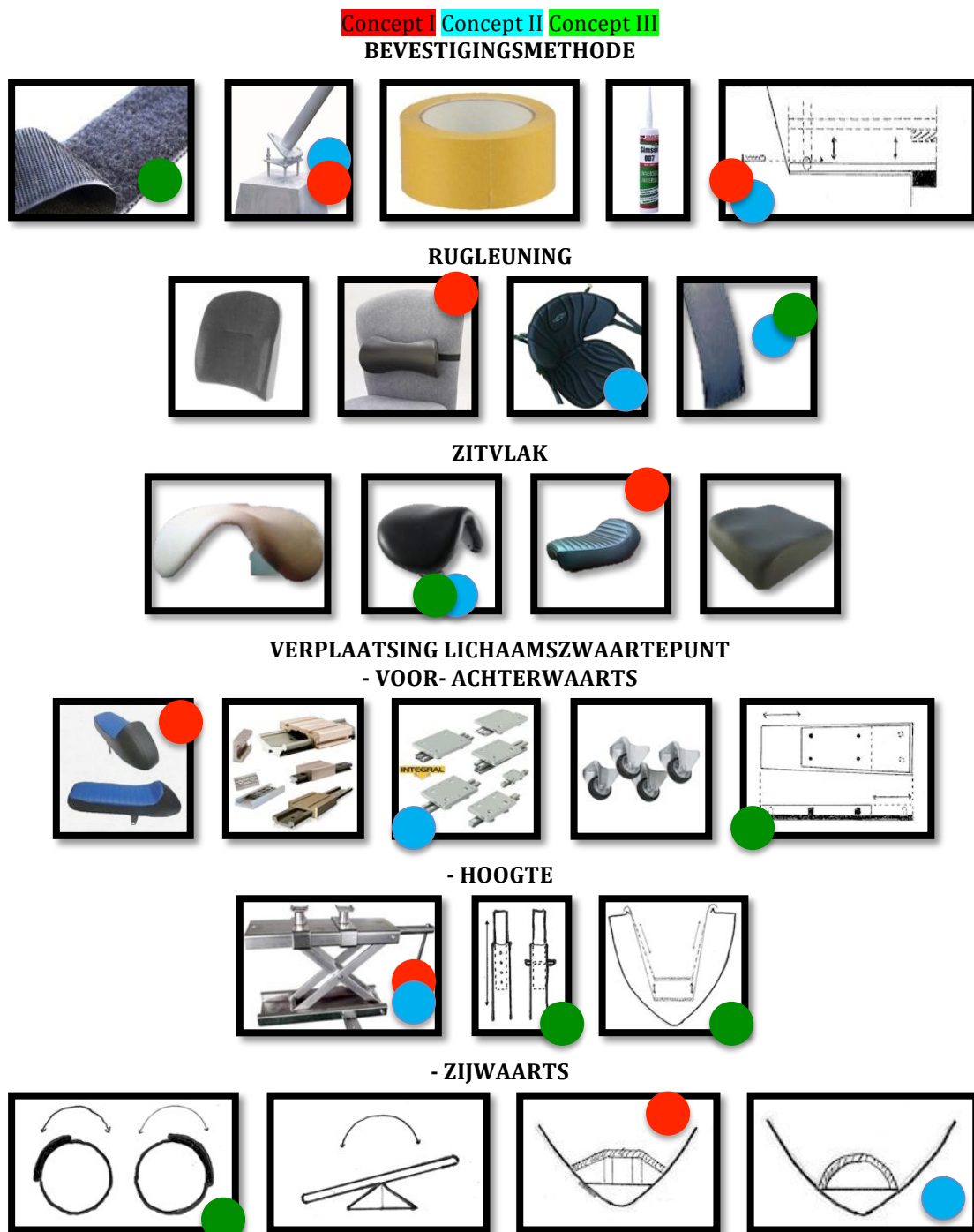
Eis 11: Het zeilzitje moet de gelegenheid bieden om de momentsarm tussen het draaipunt van de boot en het lichaamsswaartepunt te minimaliseren.

7 Ontwerpen

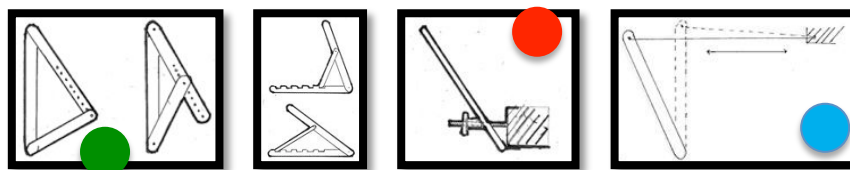
In dit hoofdstuk wordt de totstandkoming van het prototype belicht. Dit prototype is voortgekomen uit een ontwerpproces zoals deze gedurende de opleiding is aangeleerd. In eerste instantie zijn zoveel mogelijk ideeën voor de deelaspecten verzameld, vervolgens zijn er drie concepten vervaardigd. De drie concepten zijn getoetst op de lijst van eisen en aan de bevindingen van Rolf. Deze combinatie mondt uit tot één concept dat vervaardigd zal worden.

7.1 Morfologische kaart

Alle deelaspecten van het zitje staan in de morfologische kaart weergegeven. Uiteindelijk vormen de verschillende onderdelen 3 verschillende concepten. Deze concepten zijn in Solidworks gemaakt en vervolgens in de werkplaats van Bewegingstechnologie vervaardigd.



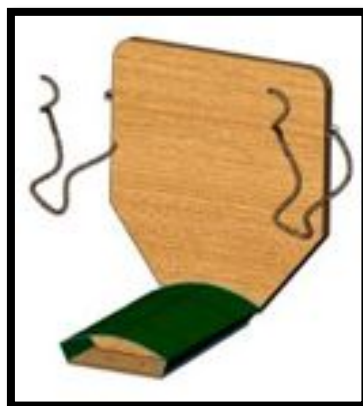
- KANTELING RUGLEUNING



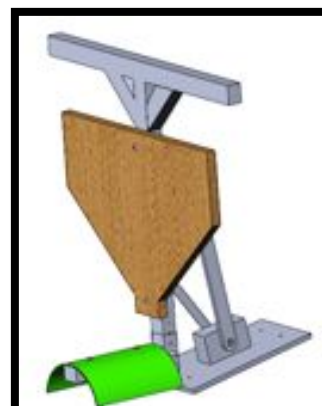
Concept I



Concept II



Concept III



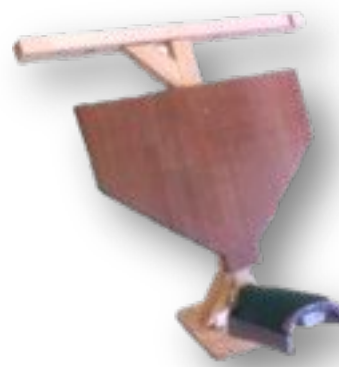
Concept I



Concept II



Concept III



Aangezien comfort niet objectief te meten is, maar wel meegenomen dient te worden in de conceptkeuze, is er voor gekozen om naast het toetsen van de eisen middels de kardinale methode (zie het linker tabel 1), tevens in kaart te brengen wat de mening van Rolf is met betrekking tot het comfort en de functionaliteit van de verschillende prototypes (zie rechter tabel 1).

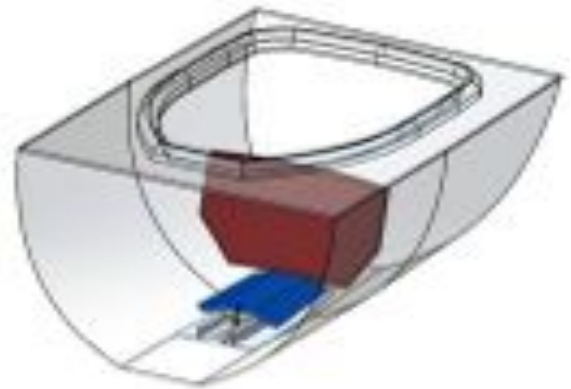
KARDINALE METHODE				MENING ROLF			
	Concept I	Concept II	Concept III		Concept I	Concept II	Concept III
Eis 1	4	4	3	Comfort Leuning	4	2	1
Eis 2	5	4	5	Comfort zitting	5	2	3
Eis 3	4	4	2	Verstelbaarheid hoogte	1	1	2
Eis 4	5	5	5	Voor-achterwaartse verstelbaarheid	3	3	2
Eis 5	-	5	3				
Eis 6	5	4	5				
Eis 7	2	1	2	Zijwaartse kanteling	5	4	2
Eis 8	4	3	2	totaal	18	12	10
Eis 9	4	3	1				
Eis 10	5	4	3				
Eis 11	5	5	4				
Totaal	43	42	35				

Tabel 1 beoordelingsschaal 1-5 1=zeer slecht; 2= slecht; 3=gemiddeld; 4=goed; 5=zeer goed

De combinatie van de kardinale methode en de mening van Rolf laat duidelijk zien dat concept I de voorkeur heeft. Dit concept zal daarom verder uitgewerkt worden tot prototype. Ondanks dat dit concept het best beoordeeld werd, zijn er enkele verbeterpunten. Zo is de huidige hoogte nog niet juist en kan, net als bij de andere concepten, nog weinig gezegd worden over het gewicht. Daarnaast is het bij dit concept nog niet mogelijk om de rugleuning onder een hoek in te stellen.

7.2 Prototype Solidworks

Het prototype is wederom ontworpen in het 3-D ontwerpprogramma Solidworks. In afbeelding 18 staat het prototype weergegeven zoals deze ontworpen is naar concept 1. De kuip van de boot is eveneens in Solidworks gemaakt met de werkelijke afmetingen, zodat er helder beeld ontstaat van de werkelijkheid. Van dit prototype zijn werkbouwtekeningen (zie bijlage 5) gemaakt zodat het prototype vervaardigd kon worden.



Afbeelding 18 prototype in kuip in Solidworks

8 Vervaardigen

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de vervaardiging van het prototype heeft plaatsgevonden en van welke materialen het prototype gemaakt is.

8.1 Materiaalkeuze

De materiaalkeuze heeft zich door een aantal factoren laten bepalen. Enerzijds is er gekeken naar de kwaliteiten en eigenschappen die het materiaal moet hebben. Anderzijds is er gekeken naar de bewerkingsmogelijkheden die ter beschikking waren en het kostenplaatje.

Vanwege het gewicht, lage prijs en de bewerkbaarheid is er voor gekozen de hoofdcompartimenten van aluminium te ontwerpen in het programma Solidworks. In Solidworks is doormiddel van een krachtenanalyse gekeken of het materiaal voldoende bestand zou zijn tegen de krachten die opgeroepen worden bij gebruik. Deze analyse is terug te vinden in bijlage 4. Hierin is te zien dat het binnenste buissysteem van de rugleuning, wanneer deze van aluminium vervaardigd zou worden, zal bezwijken onder de geleverde kracht die Rolf zal leveren met zijn romp tegen de leuning. Deze zal daarom van staal worden vervaardigd dat zwaarder is, maar ook sterker en daarom wel bestand is tegen de krachten.

De rugleuning, wieltjes, verstelbaarheidspen, schroefjes, moertjes en veer zijn van bestaande onderdelen en zijn niet zelf vervaardigd.

Het zitje wordt vervaardigd van polyether met daaromheen een neopreen laag. Het polyether heeft de eigenschap dat het vervormt onder druk en volledig terug vormt als deze druk afneemt. Het neopreen dient als bescherm laag, is waterbestendig en heeft een veel hogere wrijvingscoëfficiënt met Rolfs' zitvlak dan het hout uit huidige situatie. Deze wrijvingscoëfficiënt wordt, aangezien deze onder andere afhankelijk is van temperatuur en ruwheid, geschat op 1,5 keer de huidige situatie, waardoor deze 0,45-0,6 wordt (Gennaro Magliulo, 2011). Ook de rugleuning zal met neopreen bedekt worden om een grotere wrijving te waarborgen tussen de contactoppervlaktes.

8.2 Onderdelen prototype

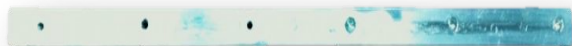
In afbeelding 19 t/m 32 staan de verschillende onderdelen zoals deze vervaardigd zijn afgebeeld met een korte beschrijving erbij.



Afbeelding 19 De bevestigingsplaat heeft als functie het fixeren van het stoeltje in de boot. Doordat de bodemplaat over het hijs oog valt en met zijn vorm gelijk is aan de vorm van de kuip blijft de plaat zonder extra bevestigingspunten op zijn plaats.



Afbeelding 20 De rails wordt d.m.v. 6 schroeven bevestigd op de bodemplaat en blokkeert het stoeltje in voorwaartse richting zodat het stoeltje niet uit de rails kan rollen. In achterwaartse richting wordt het stoeltje vanzelf geblokkeerd door de achterzijde van de kuip.



Afbeelding 21 de verstelbaarheidsbalk wordt d.m.v. vier schroeven aan de bevestigingsplaat bevestigd en is samen met de verstelpin bedoelt voor het blokkeren van het stoeltje bij de voor-achterwaartse verstelbaarheid.



Afbeelding 22 De verstel pin wordt in het zitje geplaatst en moet tegen de kracht van de veer in omhooggetrokken worden om het zitje te bewegen. Bij het loslaten zoekt de pin zelf het gat waardoor het stoeltje blokkeert.



Afbeelding 23 Het zitje is voorzien van 4 plastic wieltjes en klittenband. De buitenste zeiden zijn in 20 graden gebogen te opzichten van de horizontaal en het zitje moet in de rails geplaatst worden alvorens de rails met de bodemplaat in de boot te plaatsen



Afbeelding 24 Voor de verstelbaarheid van de rugleuning zijn drie paar L-profielen van staal gemaakt onder een hoek van 90°, 80° en 70°.



Afbeelding 25 Het zitkussen is gemaakt van neopreen voor extra grip en is gevuld met polyether (10mm dik) voor het comfort. Het kussen wordt middels klittenband bevestigd aan het zitje en moet verwijderd worden voor het verstellen van de rugleuning.



Afbeelding 26 De rugleuning is net als het zitkussen bedekt met neopreen voor extra grip en comfort.

(Imbus M4 x 5mm) nr. 4x



Afbeelding 27 De 4 imbusjes zijn gebruikt voor het inklemmen van de verstelpinnen van de leuning en dienen in het zitje gedraaid te worden

(schroef, platte kop M4x5mm) nr. 6x



Afbeelding 28 De M4 schroef van 5mm lang zijn gebruikt voor het bevestigen van de rails aan de bodemplaat.

(schroef, platte kop m4x25mm) nr. 3x



Afbeelding 29 De 3 M4 schroeven van 25mm zijn gebruikt voor het bevestigen van de verstelbaarheidsbalk aan de bodemplaat.

(schroef, platte kop m4x40mm) nr. 2x



Afbeelding 30 De M4 schroeven van 40mm zijn gebruikt voor het blokkeren van het zitje tijdens het naar voor bewegen in de boot

Wieltje nr. 4x



Afbeelding 31 plastic wielkje waarvan er vier onder het zitje gemonteerd zijn.

Imbus en moetje M6 nr. 8x



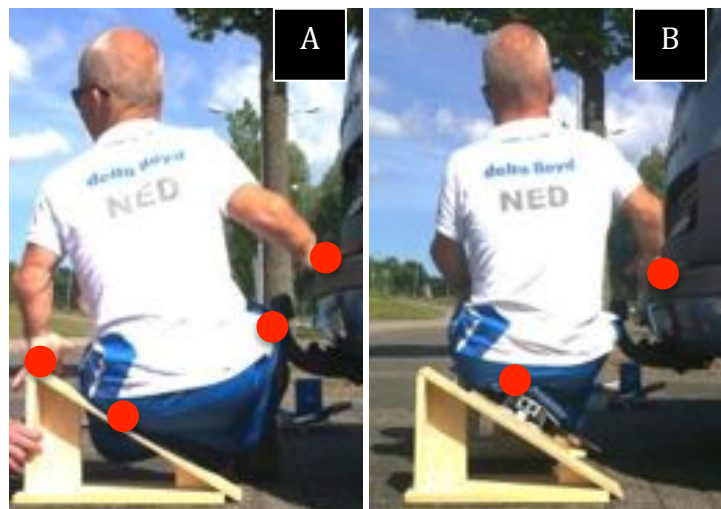
Afbeelding 22 Imbus i.c.m. met moer gebruikt voor ophanging wieltjes.

9 Evaluatie

In dit hoofdstuk wordt het testen van het prototype besproken. Er is een testopstelling gemaakt om de kanteling van de boot te simuleren. Tijdens het testen is gekeken naar: de houding die Rolf aanneemt, de mogelijkheid van de verstelbaarheid in voor- achterwaartse richting en de verplaatsing van het lichaamsgewicht naar loefzijde. Daarnaast is tijdens de test gekeken hoe het prototype in de kuip past en of er nog aanpassingen aan verricht zouden moeten worden. Wederom heeft er een krachtenanalyse plaatsgevonden om de verschillen tussen het ontwikkelde prototype en de oude situatie in kaart te brengen. Tot slot is de mening van Rolf op dezelfde manier als bij de drie concepten getoetst.

9.1 Houding

In afbeelding 33 is te zien welke invloed het prototype heeft op de houding van Rolf in vergelijking met de huidige situatie. In afbeelding 33A is te zien dat Rolf in de huidige situatie, bij een maximale kanteling van de boot (32°), om niet weg te glijden zijn steunvlak moet vergroten door gebruik te maken van zijn linkerarm, rechterarm en rechterknie. Daarnaast is te zien dat Rolf zijn romp moet kantelen om in evenwicht te blijven. In afbeelding 33B is de kanteling van de boot eveneens 32° en heeft Rolf plaatsgenomen op het prototype. In deze situatie is te zien dat Rolf met een hand zijn steunvlak vergroot en geen gebruik maakt van kanteling van de romp, rechterknie en linkerarm.



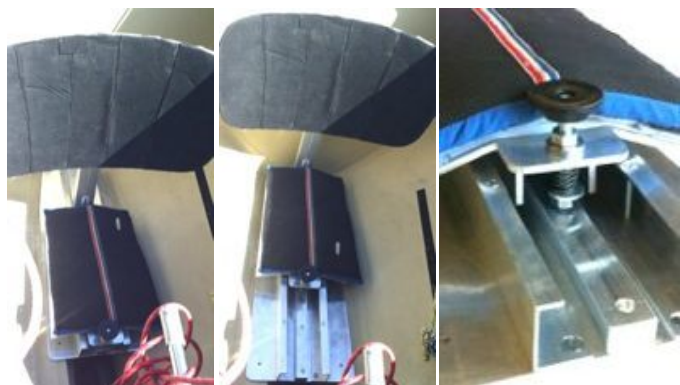
Afbeelding 33

A- Rolf zit hier op het plankje in een hoek van 32°

B- Rolf zit hier op het prototype in een hoek van 32°

9.2 Voor- en achterwaartse verplaatsing

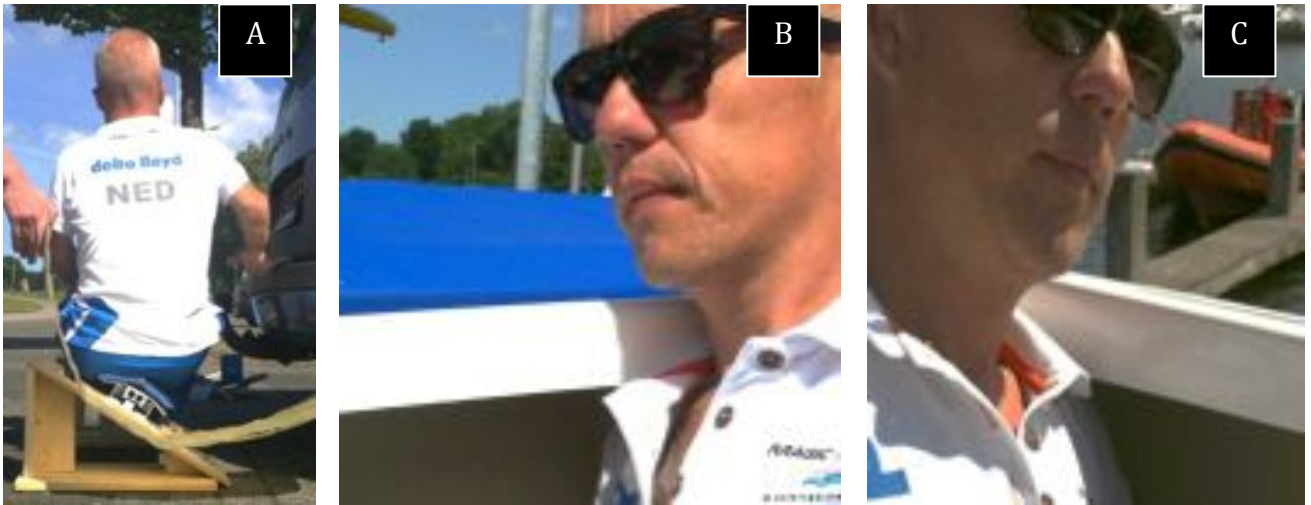
Bij het testen van het prototype is gebleken dat Rolf de pin, die uitgetrokken moet worden om te verschuiven in voor- achterwaartse richting, moeilijk omhoog kon trekken. Afbeelding 34 toont de 3 verschillende standen waarin het zitje geplaatst kan worden



Afbeelding 34 standen waarin waar in het zitje geplaatst kan worden

9.3 Zijwaartse kanteling

In afbeelding 35 A is te zien dat, wanneer de boot 32° gekanteld is, Rolf instaat is om maximaal met zijn romp naar de loefzijde van de boot te kantelen. In afbeeldingen 35B en C is te zien dat, wanneer Rolf deze maximale kanteling uitvoert, hij met zowel de linker- als de rechterschouder precies onder de kuiprand past.

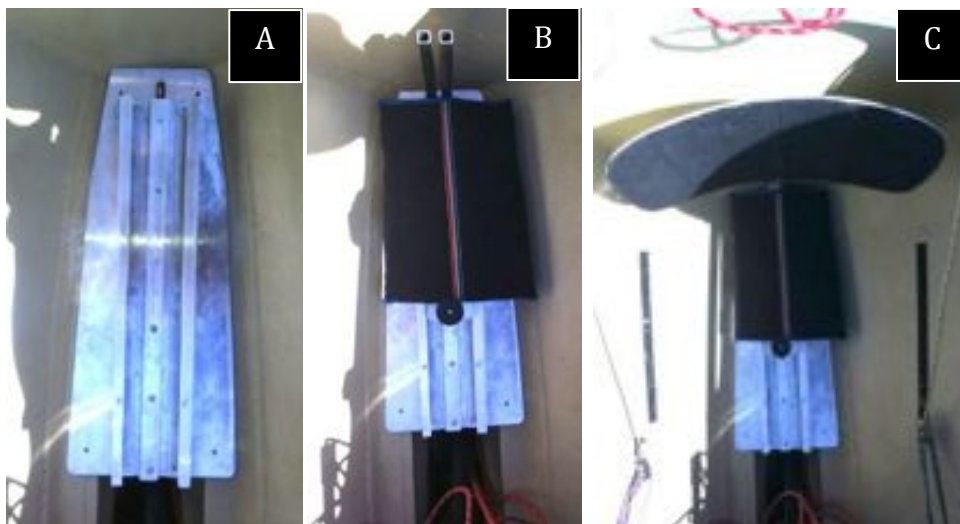


Afbeelding 35 A- Achteraanzicht Rolf + kuip bij 32° kanteling boot. B- Rechterschouder onder de kuip rand bij 32° kanteling van de boot. C- Linker schouder onder kuip rand bij 32° kanteling van de boot.

9.4 Prototype in de boot

Alle op maat gemaakte onderdelen van de zitting passen en functioneerde in de boot zoals zij bedoeld waren.

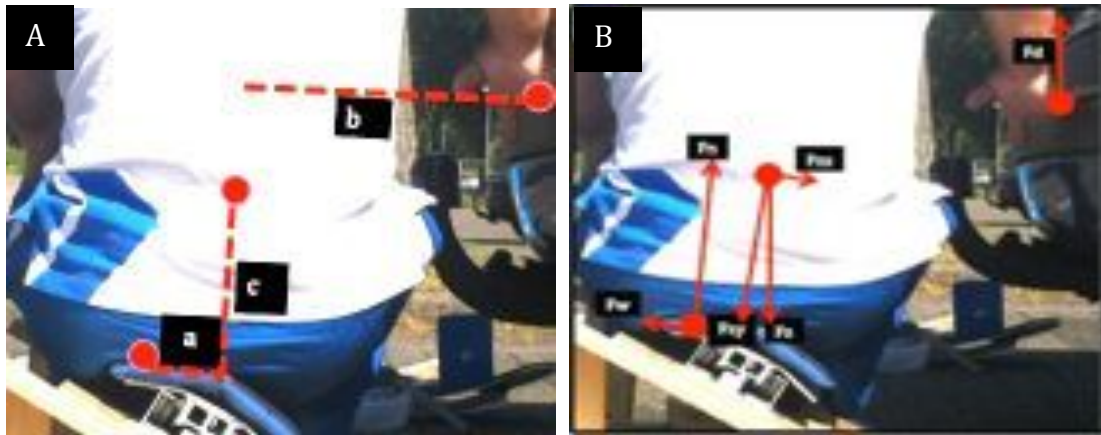
In afbeelding 36A is de grondplaat te zien met daarop de rails waar de zitting over verplaatst kan worden. In afbeelding 36B is de zitting toegevoegd en in afbeelding 36C is de leuning toegevoegd.



Afbeelding 36 A- grondplaat met rails in de kuip. B- Zitting toegevoegd. C- Volledige prototype

9.5 Houdingsanalyse

Om te vergelijken wat het effect is van de nieuwe situatie ten opzichte van de oude, heeft er wederom een krachtenanalyse plaatsgevonden zie afbeelding 37. In afbeelding 37A zijn de momentarmen te vinden die gebruikt zijn in de analyse. In afbeelding 37B staan de desbetreffende krachten getekend.



Afbeelding 37

A-Momentsarmen gezien vanuit achteraanzicht Rolf bij maximale kanteling van de boot (32°) a = 55 mm.; b = 252mm.; c = 161 mm.
B-krachten in evenwichtssituatie. Er wordt aangenomen dat de kracht Fd loodrecht op het zitvlak geleverd wordt.

$$\begin{aligned}\sum FM &= 0 \quad ccw = + \\ \sum Fx &= 0 \quad \rightarrow = + \\ \sum Fy &= 0 \quad \uparrow = +\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Fz &= 344 \text{ (68,8\% van totale Fz (romp + hals + hoofd en 2 armen))} \\ Fzx * c + Fzy * a - Fd * (b + a) &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sin(12) * 344 * 161 + \cos(12) * 344 * 55 - Fd * (307) \\ Fd &= 97,8N \\ drukken \text{ moment} &= 97,8 * 307 = 300024,6Nmm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Fw - Fzx &= 0 \\ \sin(12) * 344 &= Fw \\ Fw &= 71,5N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-Fzy + Fd + Fn &= 0 \\ -336,5 + 97,8 + Fn &= 0 \\ Fn &= 238,7N\end{aligned}$$

Om te bepalen wat de minimale wrijvingscoëfficiënt moet zijn om zonder druk van de knie in evenwicht te blijven, wordt de volgende berekening weer toegepast:

$$\begin{aligned}Fw &= Fn * f \\ f &= \frac{71,5}{238,7} = 0,3\end{aligned}$$

De benodigde wrijvingscoëfficiënt is 0,3, om zonder extra steun, onder een hoek van 12° van het zitvlak ten opzichte van horizontaal, niet weg te glijden.

9.6 comfort Rolf

Tot slot is net als bij het testen van de verschillende concepten aan Rolf gevraagd om het prototype op een schaal van 1 tot 5 te beoordelen op comfort en functionaliteit (zie tabel 2).

MENING ROLF PROTOTYPE	punten
Comfort Leuning	5
Comfort zitting	4/5
Voor- achterwaartse verstelbaarheid	3
Mogelijkheid tot zijwaartse kanteling	4
Het zitje in zijn geheel	5

Tabel 2 Tabel 2 Mening van Rolf met betrekking tot de functionaliteit en het comfort van het prototype. 1=zeer slecht; 2=slecht; 3=gemiddeld; 4=goed; 5=zeer goed.

10 Discussie

Ondanks dat er een eindproduct ligt waar Rolf erg over te spreken is, is er verbetering mogelijk. Daarnaast is er nog een aantal punten wat het ontwerpproces heeft bemoeilijkt. Beide zullen hieronder besproken worden.

Ten eerste had de analysefase efficiënter en krachtiger doorlopen kunnen worden:

-De boot die in eerste instantie opgemeten was, was niet de wedstrijdboot van Rolf. Deze boot bleek, ondanks dat er vanuit de bond gezegd werd van niet, af te wijken van de wedstrijdboot van Rolf. Dit kwam pas aan het licht toen Rolfs' wedstrijdboot weer in Nederland was en de berekeningen, waarop de ontwerpen waren afgestemd, al waren uitgevoerd. Hierdoor zijn de berekeningen, de modellen, de daaruit volgende eisen en het ontwerp opnieuw berekend en aangepast. Een gevolg van het feit dat de kuip minder breed was dan de in eerste instantie gemeten boot, is dat de maximale breedte van het zitje minder breed gemaakt moest worden. Hierdoor is eis 3 (*Het zitje moet de normaalkracht over 2 zitbeenkobbels verdelen*) onhaalbaar geworden voor de schuine vlakken.

-Wat betreft de kracht van de analyse zou een drukmeting ideaal geweest zijn voor zowel de analyse- als de ontwerpfase. Voor de moment/houdingsanalyse hadden er drukmetingen uitgevoerd kunnen worden op de drukpunten waar Rolf steun geeft tegen de rand van de kuip.

Voor de ontwerpfase was het ideaal geweest om precies te lokaliseren waar Rolf zijn zitbeenkobbels plaats wanneer hij zit. Door Linda Valent was in Heliomare een drukmatmeting ter beschikking gesteld. Deze metingen hebben helaas, gezien de tijd en afwezigheid van Rolf door trainingen en wedstrijden in het buitenland, niet kunnen plaatsvinden.

Ten tweede kan er op de functionaliteit van het product een aantal aanmerkingen worden gemaakt.

De verstelbaarheid in voor- achterwaartse richting werkt nog niet optimaal. Dit komt door de kleine speling tussen het gat van het zitvlak en de pen en door de veer die afgeknipt moest worden omdat deze te lang was. Hierdoor verliest de veer het platte vlak aan het uiteinde en daarmee een deel van de functionaliteit.

De rugleuning zoals deze ontworpen was in Solidworks, is niet de rugleuning die in de uitvoering van het prototype. Deze zou op maat gemaakt moeten worden. Hiervoor is Meestertechniek in Leiden en Eriks in Gouda benaderd om dit te doen. De goedkoopste mogelijkheid was vanaf €900,-. Aangezien dit boven het budget viel, is er voor gekozen om een standaard rugleuning te bevestigen. Hierdoor heeft Rolf minder oppervlakte van de rugleuning die hij kan gebruiken wanneer hij op één van de schuine vlakken zit.

Ten derde had het vervaardigingsproces efficiënter doorlopen kunnen worden wanneer tijdens het ontwerpen meer rekening gehouden was met de materialen die voorhanden waren. Zo is het tijdens het vervaardigen nodig geweest om aanpassingen te moeten doen aan rails, leuning, verstelpin en de bevestiging van de leuning.

Tevens heeft er geen test plaatsgevonden op het water, aangezien hier geen mogelijkheid toe was. De testen die plaats hebben gevonden werden uitgevoerd in gesimuleerde houdingen en in de kuip van de boot terwijl deze op een trailer stond.

Randvoorwaarden 1 en 3 zijn niet behaald omdat deze afhankelijk zijn van de materiaalkeuzen. Het prototype weegt in zijn geheel 4,2kg. Omdat het in dit ontwerpproces om een prototype gaat is ervoor gekozen om aluminium te gebruiken omdat het relatief eenvoudig bewerkt kan worden, goedkoop is en zeer toegankelijk. De aluminium onderdelen van het prototype zouden bij het eindproduct vervaardigd moeten worden uit polypropyleen om te voldoen aan randvoorwaarden 1 en 3. Polypropyleen is een thermoplast, heeft een lage soortelijke massa ($0,92g/cm^3$) waardoor het gewicht van het stoeltje lager wordt en waterbestendig (0,01% vochtname).

Los van bovengenoemde kritiekpunten kan, gezien het minimale effect op de snelheid, de aanhoudende discussie nieuw leven ingeblazen worden of het wel zinvol is om het gewicht naar loefzijde te verplaatsen. Aangezien de ruimte voor het zitvlak hiermee automatisch beperkt wordt. Wanneer er niet gekozen wordt om in het ontwerp het gewicht van de stuurman naar de loefzijde te verplaatsen, is het voor ontwerpers eenvoudiger om een groter steunvlak te maken. Hiermee wordt het probleem van de compensatoire houding geëlimineerd.

11 Conclusie

De conclusie die getrokken kan worden is dat er een prototype is vervaardigd waarbij Rolf zijn projectie van het lichaamszwaartepunt zowel in voor- achterwaartse- als bak- en stuurboord richting kan verplaatsen. Daarnaast voldoet het prototype, los van randvoorwaarde 1 en 3 aan alle randvoorwaarden die vooraf gesteld waren. De randvoorwaardes waaraan niet voldaan werd, zou voldaan kunnen worden, wanneer de onderdelen die nu van aluminium zijn vervaardigd van polypropyleen gemaakt zouden worden. De eisen die gesteld zijn waar het prototype aan moest voldoen, zijn, op eis 3 na, allemaal behaald.

De hoek waaronder het zitvlak kantelt, wordt bij maximale kanteling van de boot verkleind met 20° . Dit zorgt ervoor dat de som van de momenten sterk afnemen. Bij een kanteling van 32° was het moment rondom de zitbeenknobbel 52896,0 Nmm deze is met het prototype gereduceerd tot 30023,6Nmm. Dit is een afname van 43,3% ten opzichte van de oude situatie. De kracht die zuiver verticaal geleverd moet worden om in evenwicht te blijven neemt af met 67,5N (40,8%). Daarnaast is de wrijvingscoëfficiënt die nodig is om niet weg te glijden naar het laagste punt van $f=0,63$ naar $f=0,3$ verlaagd, waardoor geen energieverlies optreedt als gevolg van een compensatoire houding die aangenomen moet worden om niet weg te glijden.

12 Bibliografie

2014 Class Membership. (2014, 01 04). *Questions and Answers*. Opgeroepen op 03 25,

2014, van us24meter: <http://www.us24meter.org/faqs.html>

Anthony Henricus Maria Lohman, A. Z. (2011). Vorm en Beweging. In A. Z. Anthony Henricus Maria Lohman, *Vorm en Beweging* (p. 460). Bohn Stafleu van Loghum.

Beterzeilen.nl. (sd). *zeiltermen*. Opgeroepen op 04 22, 2014, van [beterzeilen.nl: beterzielen.nl/zeilen/zeiltermen.html](http://beterzeilen.nl/beterzielen.nl/zeilen/zeiltermen.html)

Broeren, B. (2011, 05). *blackboard.hhs*. Opgeroepen op 06 16, 2014, van <https://blackboard.hhs.nl>: https://blackboard.hhs.nl/bbcswebdav/pid-221890-dt-content-rid-1797394_2/courses/BT-hnd/BT-hnd_ImportedContent_20130228091146/Documenten/Antropometrie/Antropometrische%20Data/1%20Antropometrische%20Data.pdf

Broeren, B. (2014, 02 04). *Construeren II*. Opgeroepen op 03 25, 2014, van Blackboard.hhs.nl: http://blackboard.hhs.nl/bbcswebdav/pid-113586-dt-content-rid-2337430_2/Construeren%20II%20mod%207%20Buiging%20Mechanica%20sterkteleer%282%29.pdf

engineeringtoolbox. (sd). *engineeringtoolbox*. Opgehaald van <http://www.engineeringtoolbox.com>: http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.htm

Gennaro Magliulo, V. C. (2011). Neoprene-concrete friction relationships for seismic assessment of existing precast buildings. *Engineering structures*, 532-538.

R.L. Mott, J. W. (2009). Toegepaste stromingsleer. In J. W. R.L. Mott, *Toegepaste stromingsleer* (p. 685). 1070 AN Amsterdam: Pearson Education Benelux BV.

woorden-boek. (sd). Opgeroepen op 06 13, 2014, van <http://www.woorden-boek.nl>: <http://www.woorden-boek.nl/index.php?woord=lijzijde>

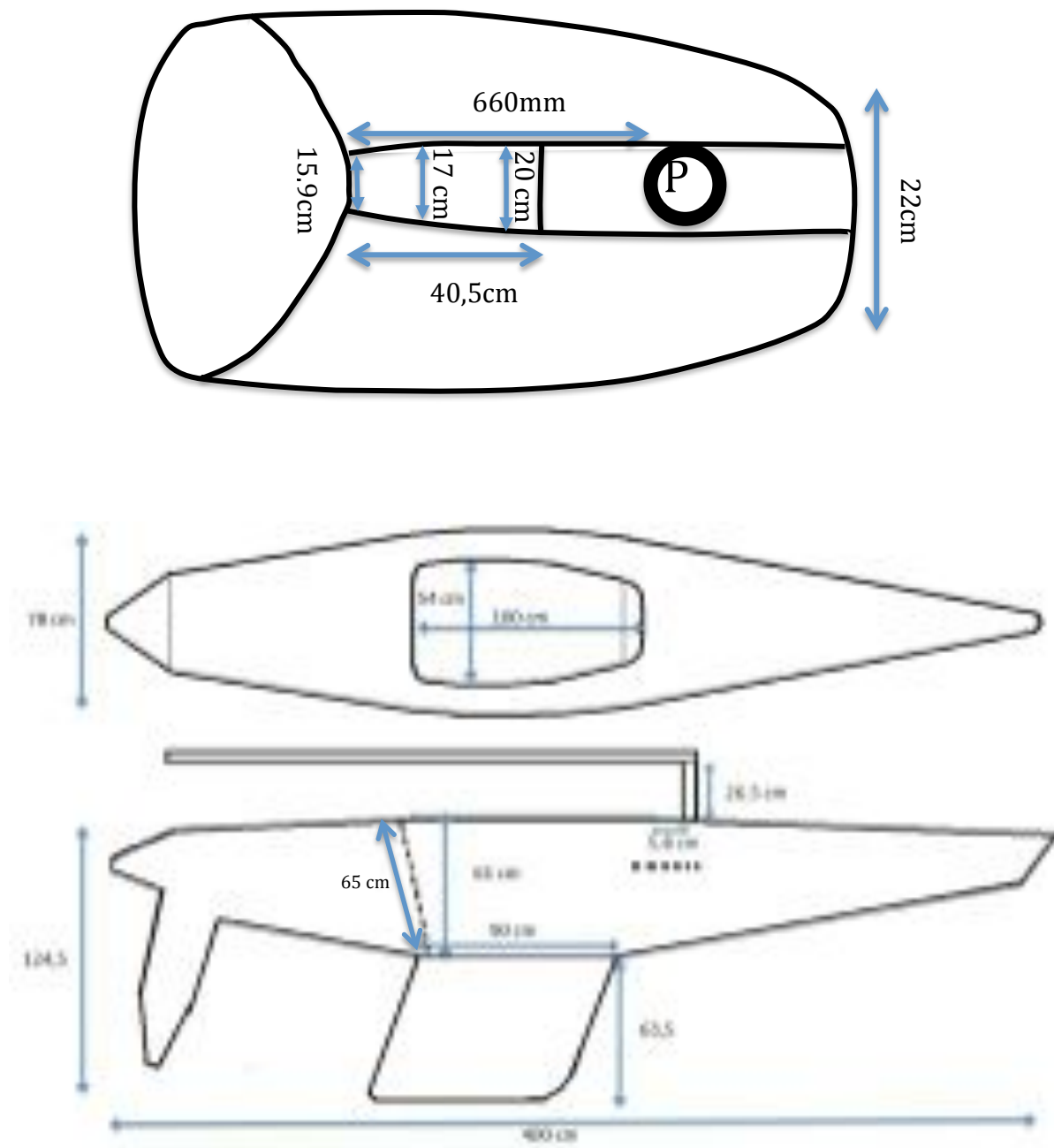
woorden-boek. (sd). Opgeroepen op 06 13, 2014, van <http://www.woorden-boek.nl>: <http://www.woorden-boek.nl/index.php?woord=loefzijde>

woorden-boek. (sd). Opgeroepen op 06 13, 2014, van www.woorden-boek.nl: <http://www.woorden-boek.nl/woord/trimmen>

13 Bijlagen

13.1 Bijlage 1

Afmetingen van de boot



Afbeelding 1 afmetingen Rolfs' wedstrijdboot

13.2 Bijlage 2

Lichaamsafmetingen Rolf

Nr.	benaming	Lichaamslengte in mm
8	Beenlengte	950
9	Dijbeenhoogte zittend	100
14	Knieholte hoogte	370
15	Schouderhoogte	540
17	Kruin-zitvlakhoogte	800
22	Schouder breedte	420
24	Heupbreedte	400
31	Elleboog griplente	180
32	Bil-knieholte-lengte	270
33	Bil-knielente	480

Tabel 1 Lichaamsmaten Rolf



Afbeelding 2 Dined tabel (Broeren, blackboard.hhs, 2011)

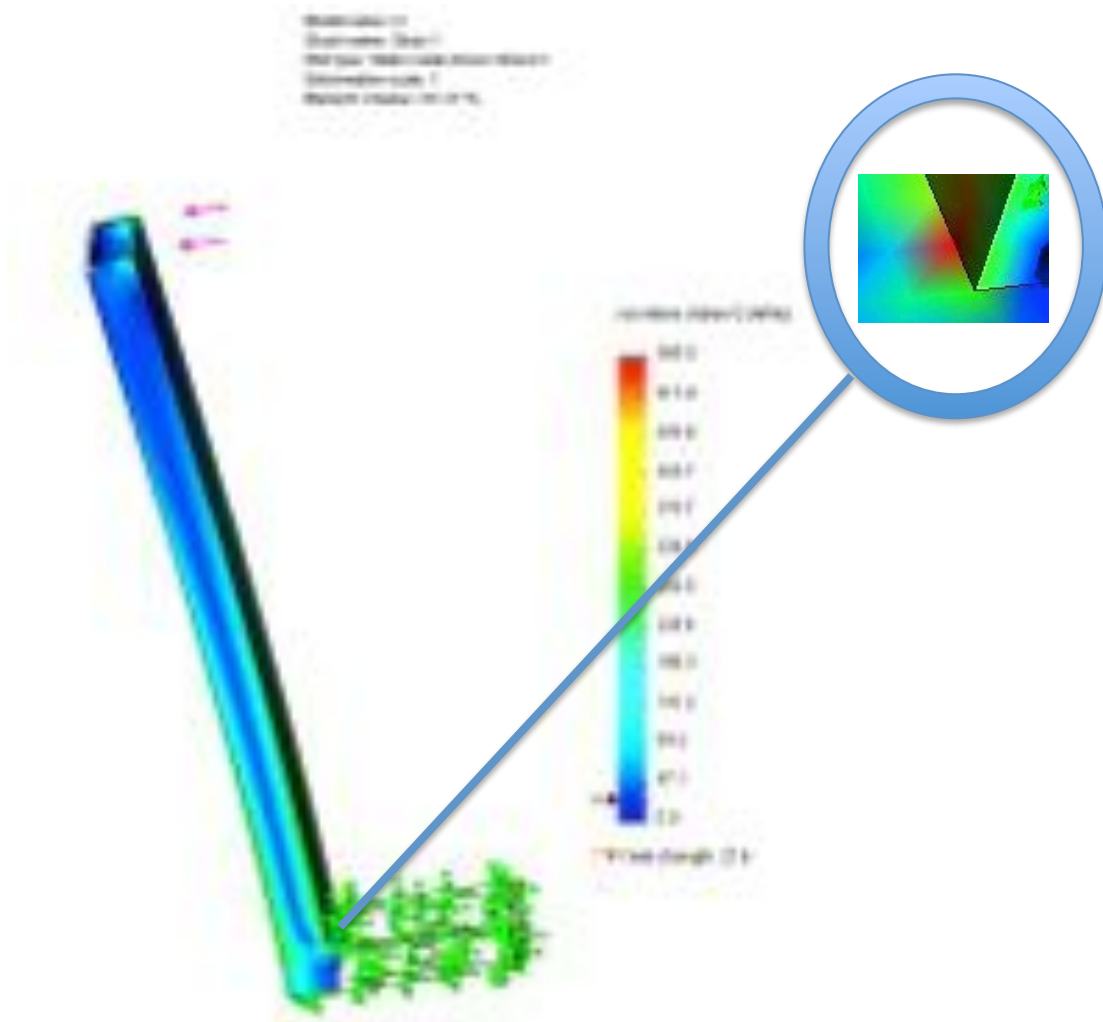
13.3 Bijlage 3



Afbeelding 3 deelzwaartepunten uit Vorm en beweging leerboek van het bewegingsapparaat p. 388.

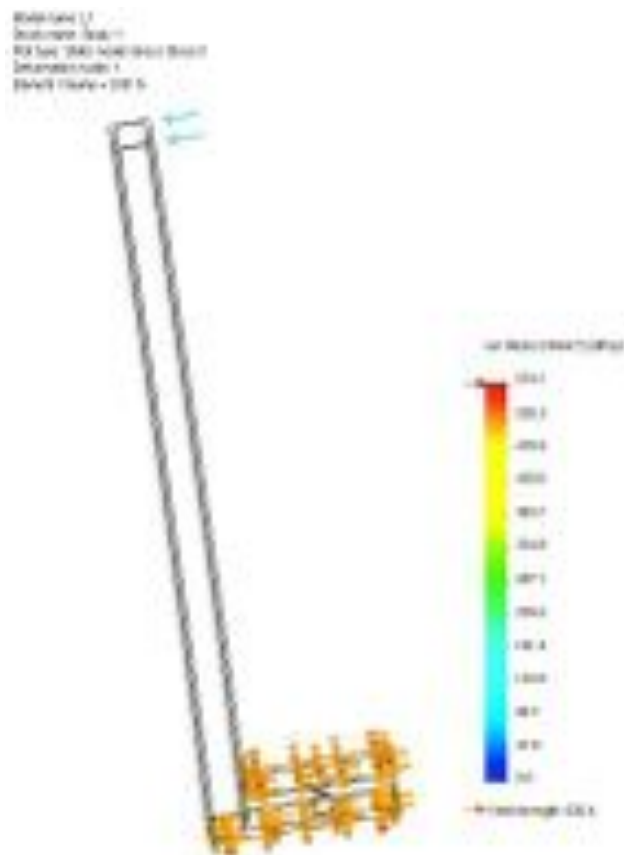
13.4 Bijlage 4

In het programma Solidworks zijn krachtsberekeningen gemaakt om te bekijken of het materiaal dat gekozen is voldoende bestand is tegen de krachten die erop komen te staan. Om een veiligheidsmarge te handhaven, wordt de werkelijke kracht verdrievoudigd. Met de functie isoclippping is te zien hoeveel materiaal boven de vloeigrens komt. In afbeelding 4 is te zien dat 81,27% van het aluminium een hogere vloeigrens heeft dan $27,6 \text{ Nmm}^2$. Het materiaal zal daarom buigen op het punt waar deze het meest overschreden wordt.



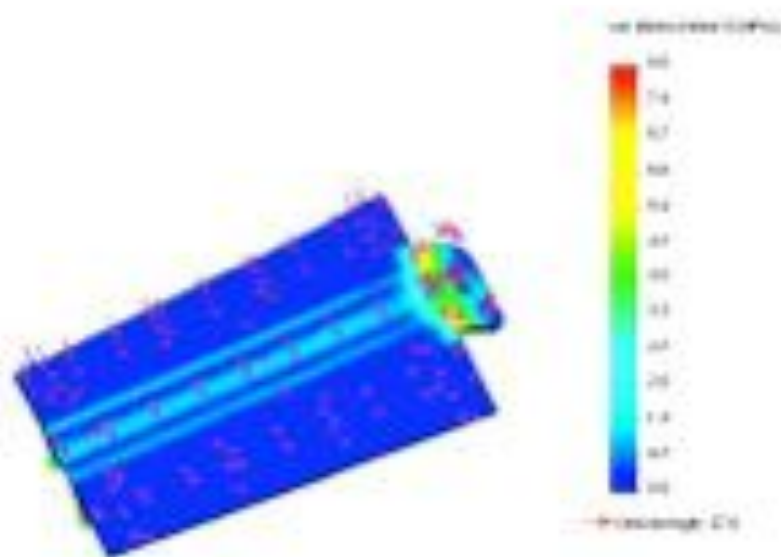
Afbeelding 4 krachtenanalyse Solidworks voor aluminium L-profiel rugleuning

Wanneer er voor wordt gekozen om het L-profiel van staal te maken en dezelfde berekening wordt toegepast, is te zien dat er 0% van het materiaal boven de vloeigrens van dit materiaal komt (afbeelding 5). Dit staal is dus wél bestand tegen de krachten die erop komen te staan.



Afbeelding 5 krachtenanalyse Solidworks voor staal L-profiel rugleuning

De kracht die op het zitvlak staat wordt eveneens op 1000N gekozen. In afbeelding 6 is te zien dat de vloeigrens niet gehaald wordt, waardoor er geen permanente vervorming van het materiaal plaats zal vinden.



Afbeelding 6 krachtenberekening zitvlak bij 1000N

De minimaal benodigde diameter voor de schroefjes waarmee de wieltjes worden opgehangen, is handmatig berekend. Deze berekening staat hier onder weergegeven.

Minimale diameter schroef wielophanging

De schroef is gemaakt van Fe360

Toelaatbare schuifspanning:

$$\bar{\tau} = fa * fb * fw * 0.7 * \sigma_e = 112 \text{ N/mm}^2$$

$$fa = \text{afwerkingsfactor} = 1$$

$$fb = \text{belastingsfactor} = 2 / 3$$

$$fw = \text{wringingsfactor} = 1$$

$$\sigma_e = \text{elsticiteitsgrens} = 240 \text{ N / mm}^2$$

$$\tau = \frac{F}{n * 2 * A} \Rightarrow A = \frac{F}{2 * 2 * \tau} = \frac{1800}{2 * 2 * 112} = 4.02 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 2,26 \text{ mm}$$

F= kracht (N)

A= oppervlakte doorsnee schroef (mm²)

n = aantal schroeven per ophanging

d= diameter schroef (mm)

Hieruit volgt dat de minimale diameter van de schroeven 2,26mm moet zijn. Schroefjes voor de ophanging van M6 zullen de krachten volstaan.

(Broeren, Construeren II, 2014)

13.5 Bijlage 5

Pakket bouwtekeningen Solidworks