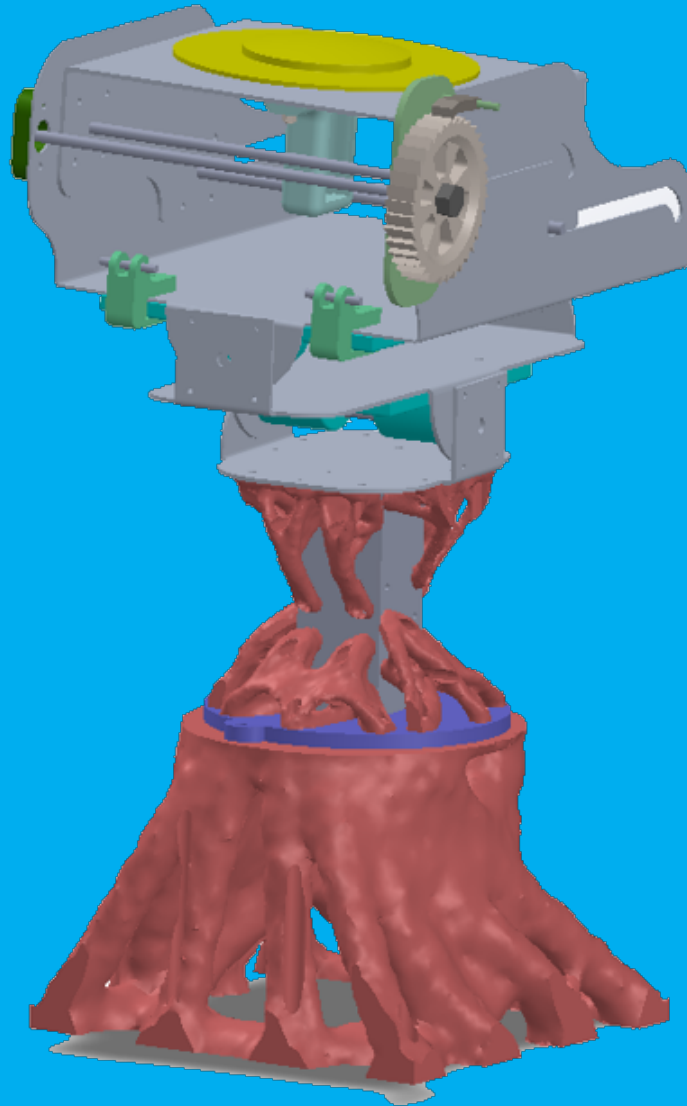
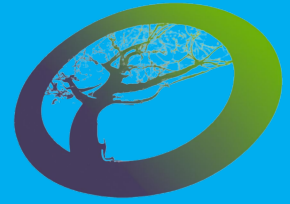


Precisieschijfwerper SBAM-WB11 Een vliegend succes 24 augustus 2026



Liam Aandeweg (5854148)

Nezaam Akbari(4594568)

Max van 't Hart(5640105)

Kay Melissen (5817897)

Eros Pierpont(5738814)

Projectdocent: Michel Tamarzians

Schijfwerper

Project Rapport

door

Liam Aandeweg (5854148)

Nezaam Akbari(4594568)

Max van 't Hart(5640105)

Kay Melissen (5817897)

Eros Pierpont(5738814)

Projectdocent: Michel Tamarzians

Lijst met symbolen

Symbool	Definitie	Eenheid
C	veerconstante	$[N/m]$
d	diameter	$[m]$
E	elastiteitsmodulus	$[Pa]$
F	kracht	$[N]$
g	valversnelling	$[m/s^2]$
I	massatraagheid	$[kg \cdot m^2]$
M	Moment	$[Nm]$
m	massa	$[kg]$
N	newton	$[-]$
r	arm	$[m]$
U	uitrekking	$[m]$
δ	doorbuiging	$[m]$

Voorwoord

In het eerste jaar van de faculteit Werktuigbouwkunde is het al lang gebruikelijk om het jaar af te sluiten met een ontwerpwedstrijd. De uitdaging van dit jaar was het bouwen van een precisieschijfwerper.

Dit rapport is geschreven door een groep van vijf eerstejaars werktuigbouwkundestudenten aan de Technische Universiteit Delft (TU Delft). Om deze uitdaging aan te gaan, hebben we onze opgebouwde kennis van statica, sterkteleer en dynamica gecombineerd met onze eigen interesses. Het belang van duurzaamheid ligt bij ons erg hoog, hier is tijdens het ontwerpproces veel rekening meegehouden.

Dit rapport is bedoeld voor projectdocenten en andere studenten werktuigbouwkunde die geïnteresseerd zijn in ons ontwerpproces. Het eerste deel van dit rapport beschrijft het project, vervolgens het ontwikkelde concept en het laatste deel beschrijft het definitieve concept.

Graag willen wij onze waardering uitspreken voor Michel Tamarzians, Erik Vellinga en Florian Simor voor hun essentiële begeleiding tijdens het ontwerp- en fabricageproces. We zijn ook erg dankbaar voor de steun van vakdocenten, professoren en werkplaatsmedewerkers die ons concept mogelijk hebben gemaakt. Ten slotte zijn wij onze groep zelf erg dankbaar voor hoeveel wij van elkaar hebben mogen leren en de gezellige samenwerking.

Liam Aandeweg, Nezaam Akbari, Max van 't Hart, Kay Melissen, Eros Pierpont

Delft, 24 augustus 2026,

Samenvatting

Voor het vak werktuigkundig ontwerpproject zijn de studenten uitgedaagd met het maken van een precisieschijfwerper. De schijfwerper moet effectief negen schijven in drie verschillende bakken werpen om maximale punten te scoren. In dit rapport wordt beschreven hoe het uiteindelijke concept is ontworpen en geproduceerd.

Op basis van verschillende eisen zijn meerdere oplossingen bedacht voor de verschillende deelfuncties van de precisieschijfwerper. Door verschillende oplossingen van deelfuncties te combineren zijn vijf concepten samengesteld waarvan de drie beste concepten onderling vergeleken zijn.

Concept 1: "Roller coaster saturn shooter 3000"

Het eerste concept uit deze selectie is de 'Rollercoaster Saturn Shooter 3000' (figuur 1). De schijf valt uit de laadbak en wordt dan over een gemotoriseerde roller over een bocht geduwd. Deze bocht veroorzaakt door wrijving rotatie in de schijf.

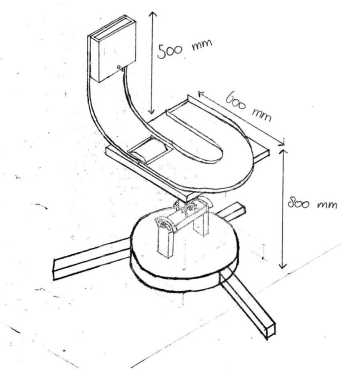
Het concept is eenvoudig en zal niet veel stoot krijgen tijdens het schieten van de schijf. Verder is dit ontwerp al vaak gemaakt en bewezen dat het op lange afstanden goed werkt. Aangezien de schijfwerper maar een paar meter hoeft te schieten is de vraag of de behaalde rotatie tijdens het schieten wel hoog genoeg is voor een stabiele vlucht.

Concept 2: de "Spinbaan AntiMaks"

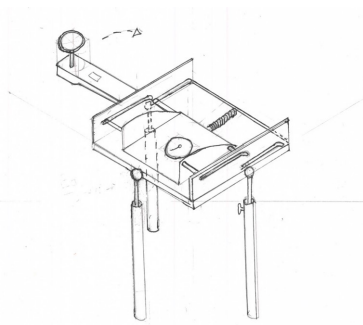
Dit concept werkt met een bewegend plateau waarop een schijf wordt geplaatst en door middel van een trekveer versneld wordt. Het plateau schiet plotseling omlaag en de rotatie wordt geregeld door een elektromotor met een rubberen aanhangsel. De gewenste instelling van de schietrichting kan worden ingesteld door de hoogte van de poten aan te passen. Het voordeel is dat de snelheid en rotatie van de schijf los van elkaar geregeld kunnen worden. Nadelen zijn dat de instelling van de schietrichting gecompliceerd en onstabiel is (figuur 2).

Concept 3: de "Flight Force 3000"

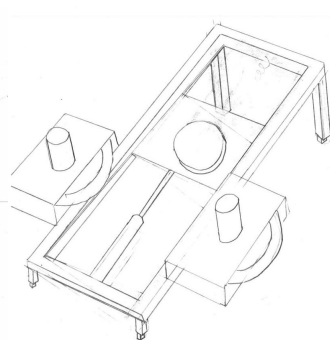
Dit concept lijkt op de SBAM en werkt ook met een platform met roterend mechanisme voor de schijf (figuur 3). Twee draaiende wielen brengen de schijf in rotatie, waarna het hele platform met hoge snelheid naar voren wordt geschoven door een actuator. Hierdoor komt de schijf geleidelijk los van het platform doordat het platform naar beneden beweegt. Helaas bleek uit nader onderzoek actuatoren een te hoge variatie in hun kracht hebben en dus niet geschikt zijn voor een precisieschijfwerper.



Figuur 1: Rollercoaster saturn shooter 3000

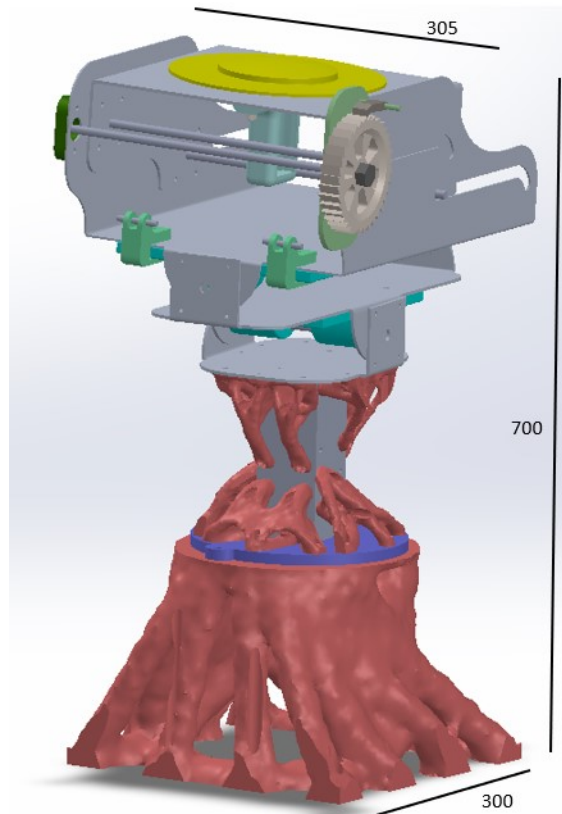


Figuur 2: Spinbaan AntiMaks



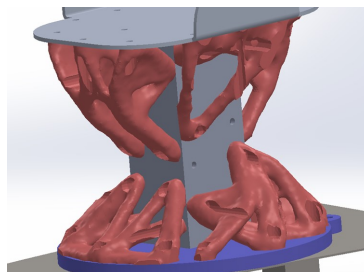
Figuur 3: Flight Force 3000

Uit een vergelijking van de drie concepten in de selectie is gekomen dat de SBAM (figuur 2) het beste resultaat zal gaan leveren als het gaat om het precisiewerpen van de schijf. Dit concept scoort op veel criteria hoog en is bovendien origineel, wat voor het team ook een belangrijk criterium is. Daarnaast is het concept ook te realiseren zonder al te veel moeite. Echter is het positioneringsmechanisme wel vervangen vanwege instabiliteit. De in hoogte verstelbare poten zijn vervangen door een gimbalsysteem dat digitaal aangedreven wordt doormiddel van steppermotoren. Het schieten gaat ook digitaal aangestuurd worden. Het uiteindelijk concept ziet er als volgt uit.



Figuur 4: Uiteindelijk ontwerp SBAM

Om ons ontwerp zo duurzaam mogelijk te maken is er gebruik gemaakt van topologie-optimalisatie. Dit is in het figuur te zien als de raar vormige onderdelen boven de draaiplaat. Dit is een simulatie die door het programma SolidWorks is gemaakt om effectief materiaal te verwijderen en alleen cruciale vormen geeft die ervoor zorgen dat het systeem stabiel blijft met weinig materiaal en niet faalt. In het onderstaande figuur is het systeem duidelijker gemaakt.



Figuur 5: Een close up van de topologie optimalisatie

Inhoudsopgave

Lijst met symbolen	I
Voorwoord	II
Samenvatting	III
1 Inleiding	1
2 Oriënteren & analyseren	2
2.1 Opdrachtanalyse	2
2.2 Hoofd- en deelfuncties	3
2.3 Ingewonnen informatie	3
2.4 Programma van eisen	4
2.4.1 Functionele eisen	4
2.4.2 Prestatiecriteria	4
2.4.3 Randvoorwaarden	4
2.4.4 Specificaties	4
3 Verkennen & experimenteren	6
3.1 Onderzoek luchtbeweging schijf	6
3.1.1 Kwalitatief onderzoek naar verandering van afvuur hoek.	6
3.1.2 Invloed hoeksnelheid op valtijd	7
3.2 Deeloplossingen en werkingsprincipes	8
4 Alternatieven ontwikkelen & Concept kiezen	9
4.1 Concepten	9
4.2 Spuugmodellen concepten	13
4.3 Verwachte prestatie van concepten	15
4.4 Conceptkeuze.	17
5 Conceptverbetering	18
5.1 Veiligheid en betrouwbaarheid	18
5.2 Verbeteringen.	20
6 Eco Design	21
6.1 Relevantie van eco design.	21
6.2 Aanpak	22
7 Uiteindelijk Ontwerp	24
7.1 Overzicht verbeterd ontwerp	24
7.2 Onderdelen	27
7.3 Dimensies (afmetingen) en toleranties kritieke onderdelen.	29
8 Vervaardigingsplan en -planning	34
8.1 Assembleren: benodigd materiaal en gereedschap	34
8.2 Bestellen: Koopdelen en Inkoopmaterialen voor maakdelen	35
8.3 Uitbestedingen	36
8.4 Plannen voor het vervaardigen van maakdelen	36
9 Evaluatie	37
9.1 Evaluatie van ontwerpproces	37
9.2 Uitdagingen en Oplossingen	37

10 Conclusie	40
Appendices	42
A Python	43
B Chat gpt	47
C Topology	48
D Technische tekeningen	50
E Notulen	66
Bibliografie	70

1

Inleiding

Door de opwarming van de aarde veranderd het klimaat over heel de wereld. Deze klimaatverandering heeft vele gevolgen. De twee grootste gevolgen zijn het stijgen van het waterpeil en het extremer worden van het weer. Deze twee gevolgen hebben de afgelopen paar jaren voor een flink bijdrage aan het aantal overstromingen over heel de wereld gezorgd. Vele mensen komen in gevaar door de overstroming en niet overal op de wereld zijn de reddingsdiensten even goed uitgerust voor het helpen van mensen in nood. De mensen in nood kunnen geholpen worden op verschillende manieren zoals reddingsboten en helicopters. Deze voertuigen kunnen echter vol zijn en dan moeten de mensen in nood wachten tot het volgende reddingsvoertuig hen op komt halen. In deze periode van wachten lopen mensen nog steeds gevaar. Mensen kunnen tussentijds geholpen worden door middel van reddingsboeien. Wij gaan een schijfwerper ontwikkelen die negen schijven, in drie verschillende bakken, op verschillende afstanden en om obstakels heen kan werpen. Deze kan in de toekomst doorontwikkeld worden om reddingsboeien naar mensen in nood te kunnen werpen.

Het doel van dit project is het ontwerpen en produceren van een schijfwerper die niet alleen een accuraat en consistent is, maar ook duurzaam is. Consistentie houdt in dat de schijf telkens een constant resultaat geeft. Duurzaamheid houdt in dat we efficient gebruik maken van materiaal, dat de materialen zo min mogelijk de natuur belasten en inspiratie halen vanuit de natuur om een ontwerp te bedenken. De prestatie van de lanceerder zal vooral beoordeeld worden op basis van de hoeveelheid punten die gescoord worden tijdens het lanceren. Andere beoordelingsfactoren zijn ook cruciaal om mee te nemen, bijvoorbeeld maakbaarheid, bruikbaarheid, en milieuvriendelijke materiaalkeuzes. Door middel van analyseren, bespreken, verbeteren, en realiseren van concepten zal het eindproduct gevormd worden. Verder wordt tijdens de ontwerpfase structureel oplossingen gevonden voor deelfuncties door bijvoorbeeld het toepassen van experimenten.

De structuur van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt geanalyseerd wat het probleem is, en welke eisen wij stellen aan de oplossingen. Daarna zullen in hoofdstuk 3 deeloplossingen te vinden zijn die als oplossing zouden kunnen dienen voor de eerder beschreven deelproblemen. In hoofdstuk 4 zullen deze deeloplossingen samenkomen tot 5 verschillende totaaloplossingen en hier zal een definitief concept uit volgen. Dit definitieve concept zal in hoofdstuk 5 nog verder uitgewerkt en verbeterd worden, waarna dit in concept in hoofdstuk 7 in overzicht wordt gebracht en gedimensioneerd. Hoofdstuk 8 zal in het teken staan van de verwachtingen die er zijn voor het concept. En tot slot zal hoofdstuk ?? het plan voor de vervaardiging van het uiteindelijke concept beschrijven, compleet met alle overzichten van de benodigde onderdelen.

2

Oriënteren & analyseren

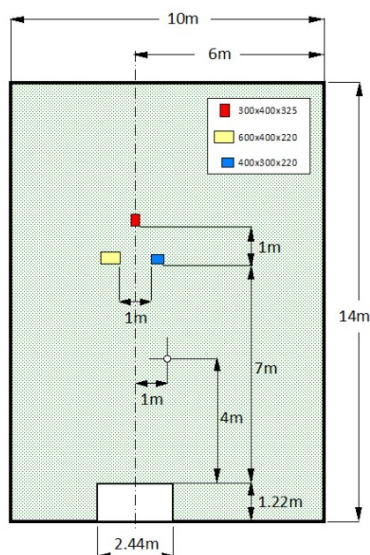
In dit hoofdstuk gaan we ons verdiepen in de opdracht. Dit wordt gedaan door onder andere bronnenonderzoek.

In 2.1 wordt de opdracht uiteen gezet door middel van een opdrachtanalyse en door de hoofd- en deelfuncties te bepalen. Daarna wordt in paragraaf 2.3 bronnenonderzoek gedaan en in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt de programma van eisen opgesteld.

2.1. Opdrachtanalyse

In de eerste paragraaf volgt een overzicht van de ingeschatte ontwerputdagingen. Deze ontwerputdagingen zijn belangrijk om vast te stellen omdat dit de problemen zijn waar een oplossing voor gevonden moet worden. Zodra deze uitdagingen duidelijk zijn kan er naar een oplossing toe gewerkt worden. Dit onderzoek bestaat uit een aantal uitdagingen, namelijk:

- Hoge precisie van de werper behalen.
- Werken met eventuele wind die de baan van de schijf beïnvloed.
- Rotatie en translatie tegelijk bereiken.
- Verstelbaarheid van de werper snel en precies aan kunnen passen.
- Meest betrouwbare koers vinden voor de schijf.



Figuur 2.1: Het speelveld[14]

2.2. Hoofd- en deelfuncties

De hoofdfunctie geeft weer wat het uiteindelijke prototype moet kunnen. De hoofdfunctie bestaat uit verschillende deelfuncties die elk een vaardigheid beschrijven die het apparaat moet kunnen. Al deze deelfuncties samen vormen de hoofdfunctie.

Hoofdfunctie: De schijfwerper moet consistent en nauwkeurig negen schijven in drie verschillende bakken kunnen werpen.

Deelfuncties:

- De schijfwerper moet de schijf op een constante manier transleren.
- De schijfwerper moet de schijf op een constante manier roteren.
- De schijfwerper moet stabiel blijven staan.
- De schijfwerper moet makkelijk verstelbaar zijn.
- De schijfwerper moet zo precies mogelijk zijn.

2.3. Ingewonnen informatie

In deze paragraaf zullen enkele alinea's volgen waarin beschreven wordt welke informatie er is verzameld en waar deze informatie vandaan is gekomen.

Chicken Head

De video 'The Stabilization Power of Chicken Heads Featured in New Commercials' [2] laat zien hoe een kip altijd zijn hoofd stabiel kan houden ondanks bewegingen van het lichaam. Dit principe is ook toegepast op een gimbal. Een gimbal is een apparaat waarmee een camera of telefoon stabiel gehouden kan worden. Wij zouden dit ook kunnen gebruiken in ons ontwerp voor de stabilisatie van onze werper. Door het "kippenhoofd" principe te gebruiken blijft de werper stabiel staan ondanks een mogelijke terugslag tijdens het afschieten van een schijf.

Ultimate Frisbee

In de video 'How to curve & shape your forehand in Ultimate Frisbee' [7] laat de professionele frisbee speler Rowan McDonnell zien hoe je je lichaam het beste kan positioneren om de schijf te gooien. In deze video is ook goed te zien hoe men ervoor kan zorgen dat een schijf tijdens het gooien een curve naar links of rechts maakt, of juist rechtdoor. Juist dit is essentiële informatie die gebruikt kan worden om ervoor te zorgen dat de schijven die door de schijfwerper geworpen worden een curve om de paal maken. Uit deze bron blijkt dat de schijfwerper onder een bepaalde hoek gezet moet worden om op deze manier de schijf met een curve te kunnen werpen om bijvoorbeeld een paal heen.

Frisbee rotatie

Om een frisbee accuraat te werpen moet men de frisbie laten roteren. Volgens Sam Schube moet men een frisbee met een 'flick' uit de pols gooien om een frisbee accuraat te gooien: "If you're snapping your wrist well, you'll usually get a lot more accuracy or efficiency out of your throws"[12]. De arm zorgt voor de snelheid van de frisbee. Het is belangrijk om de discuswerper zo te ontwerpen dat deze genoeg spin geeft aan de disc, waardoor de accuraatheid van het werpen van de disc groter wordt. Dit zorgt voor een reproduceerbare worp wat belangrijk is voor het scoren van de punten. Het produceren van deze spin kan op vele manieren. De discuswerper kan een werpsysteem hebben wat spin aan de disc geeft tijdens het lateraal versnellen van de disc, denk bijvoorbeeld aan een werp arm die lijkt op een menselijke arm. De andere optie is het roteren voor of na het lateraal versnellen van de disc. Dit is te bereiken door middel van wrijving aan een kant van de disc na het lateraal versnellen of door middel van een elektromotor die de disc voor het lateraal versnellen laat roteren. Er kunnen vele manieren geïmplementeerd worden om deze rotatie te creëren, maar een ding is zeker: deze rotatie is belangrijk voor het succesvol werpen van de disc.

Vliegtuig stabiliteit

Vliegtuig stabiliteit is een essentieel concept in de luchtvaart[13]. Er zijn twee soorten stabiliteit: statische en dynamische stabiliteit. Statische stabiliteit verwijst naar het vermogen van een vliegtuig om terug te keren naar zijn oorspronkelijke vlucht conditie na een storing, zoals een windstoot of een plotselinge beweging van de stuurknuppel. Dit wordt gewoonlijk beoordeeld aan de hand van de positie van het neutrale punt.

Dynamische stabiliteit verwijst naar het vermogen van een vliegtuig om zichzelf te stabiliseren en oscillaties in vlucht te dempen. Deze oscillaties kunnen optreden wanneer het vliegtuig wordt verstoord door bijvoorbeeld turbulentie. De dynamische stabiliteit wordt doorgaans beoordeeld aan de hand van de longitudinale en laterale oscillaties van het vliegtuig.

Stabiliteit is een belangrijk concept voor de schijfwerper, omdat het de vluchtbaan van de schijf beïnvloedt en kan helpen om betere worp te maken. De stabiliteit van een schijf wordt bepaald door de verhouding tussen de draaiing en de snelheid van de schijf. Als de schijf stabiel is, zal deze een rechte vluchtbaan volgen en minder snel afwijken van de werprichting. Als de schijf onstabiel is, zal deze sneller afwijken van de werprichting en mogelijk zelfs in een andere richting gaan draaien.

Robotarm

In de video[16] wordt aangegeven hoe het werpen van spullen door een robotarm geschied. Echter is het moeilijker dan eerst geschat. De samenwerking met scharnieren, krachten en precisie maakt een accuraat concept. Er gaat enorm veel berekening en programmering in het concept om die zo accuraat te maken. Als er itereren, analyseren en perfectionisme. Verder moet de arm ook een gripper hebben die de spullen goed kan vasthouden. Het idee van een robotarm is ontstaan uit een dagelijks probleem. 'Hoe maken we het gooien makkelijker en hoe zorgen we ervoor dat de beweging minder energie kost?' Met een beetje wis- en natuurkunde is het probleem digitaal opgelost.

2.4. Programma van eisen

In deze paragraaf worden de functionele eisen, prestatiecriteria, randvoorwaarden en specificaties van het ontwerp besproken. De volgende punten zullen allemaal een substantiële invloed hebben op het ontwerp-process.

2.4.1. Functionele eisen

- De schijf moet minimaal 7 meter overbruggen
- De schijf mag niet buiten het speelveld komen.
- De schijfwerper moet binnen 5 minuten op het speelveld gereed zijn.
- De schijfwerper moet de schijf in de bakken kunnen werpen.
- De schijfwerper moet mechanisch/mechatronisch bediend worden.

2.4.2. Prestatiecriteria

- Het materiaalgebruik voor de schijfwerper moet zo duurzaam mogelijk worden gekozen.
- De schijfwerper moet minimaal alle negen schijven werpen binnen 10 minuten.
- De schijfwerper moet zo consistent mogelijk de schijf naar het ingestelde punt werpen.
- De schijfwerper moet stabiel genoeg zijn om tijdens de werking niet zodanig veel te bewegen dat de herhaalbaarheid beïnvloed wordt.

2.4.3. Randvoorwaarden

- Massa discus is 125 gram.
- Buitendiameter van discus is 0.24 meter.
- Binnendiameter van de discus is 0.11 meter.
- Het speelveld is 12 x 18 meter.

2.4.4. Specificaties

- De schijfwerper moet te maken zijn met de apparatuur en gereedschappen beschikbaar thuis of in de IWS.
- De schijfwerper moet een ontgrendelknop hebben.
- De schijf moet binnen het speelveld blijven.

- Het groepsnummer moet goed zichtbaar zijn op de schijfwerper.
- De schijfwerper moet gemaakt zijn van herbruikbare materialen zoals staal of aluminium.
- De schijfwerper moet binnen acht weken te assembleren zijn.

3

Verkennen & experimenteren

3.1. Onderzoek luchtbeweging schijf

Om een goede precisieschijfwerper te ontwerpen is het essentieel om de vluchtbaan goed te begrijpen en analyseren van de gelanceerde schijf. Om inzicht te krijgen op het gedrag van een vliegende schijf wordt in deze paragraaf zowel kwalitatieve als numerieke bevindingen uit experimenten besproken. Er wordt dan ook grondig onderzoek gedaan naar welke factoren invloed hebben op de beweging van de schijf.

3.1.1. Kwalitatief onderzoek naar verandering van afvuur hoek.

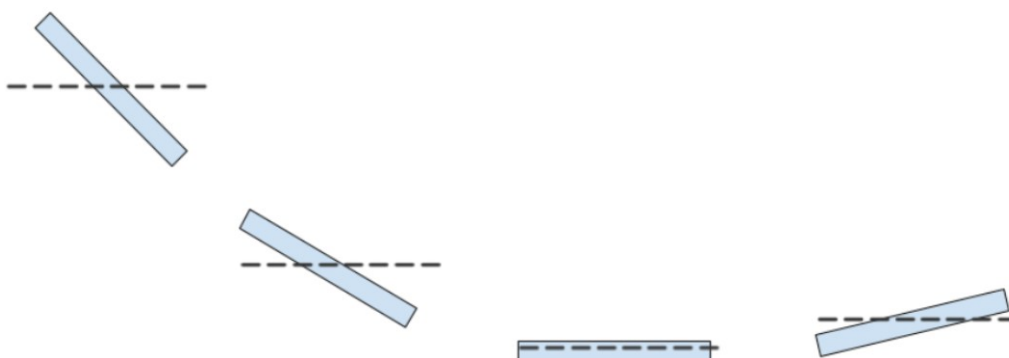
In deze subparagraaf wordt het effect van de afvuurhoek op de uiteindelijke hoek besproken. Tijdens testen viel het op dat als de schijf op een hoek werd gegooid dat er deze hoek veranderde. De relevantie van deze factor is dat de laterale lift dynamisch verandert.

Methode

Een schijf wordt vanuit een platform met lage wrijving en een vergelijkbare rotatie- en translatie snelheid afgevuurd. Dit platform kan tot en met 45 graden roteren en onder dit platform ligt een camera waardoor er achteraf naar de beweging gekeken kan worden.

Observaties

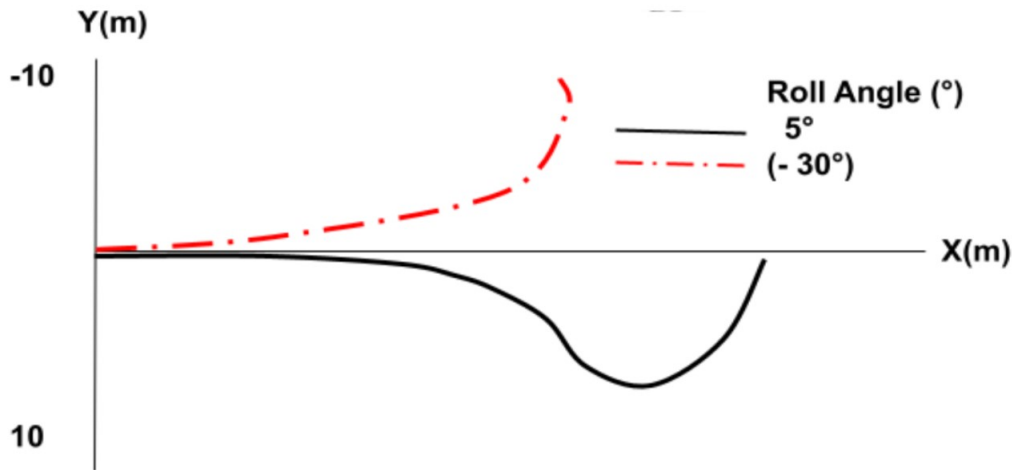
Uit het kwalitatieve onderzoek bleek dat de afvuurhoek na enkele meters al van hoek begint te veranderen. De hoek van de schijf werd geleidelijk minder en uiteindelijk veranderde de hoek naar een negatieve - en stuurde de schijf juist uit de verwachte baan (zie figuur 3.1).



Figuur 3.1: Achteraanzicht frisbee tijdens vlucht

Verder onderzoek

Om deze bevindingen verder te onderbouwen is er een vereenvoudigd grafiek (figuur 3.2) uit een onderzoeksverslag van J. Potts en W. Crowther over "simulation spin stabilized sports discs" [3]. Hier is te zien dat bij grotere hoeken de schijf na een bepaalde afstand terug draait, en bij een kleinere hoek de schijf uiteindelijk de andere kant op draait. Wel moet er rekening gehouden worden met het feit dat de "sport discs" vaak een bolling hebben en dus lift kunnen creëren door druk verschil [9].



Figuur 3.2: Vereenvoudigde grafiek "simulation spin stabilized sports discs"[3]

3.1.2. Invloed hoeksnelheid op valtijd

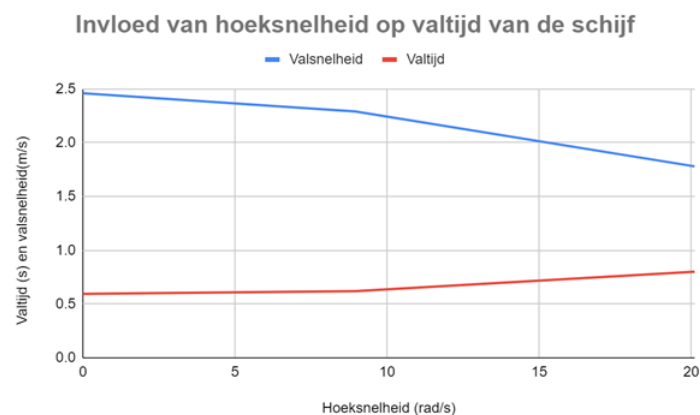
Om de schijf tijdens de vlucht zo stabiel als mogelijk te houden zodat deze niet om z'n horizontale as draait, moet de schijf een hoge hoeksnelheid hebben. De hoeksnelheid heeft ook invloed op de valtijd en dit moet ook worden bepaald.

Methode

Om de invloed van de hoeksnelheid op de valtijd te bepalen, hebben we de schijf met verschillende rotatiesnelheden van een hoogte van 1,44m hoogte laten vallen. Eerst hebben we de schijf zonder rotatie laten vallen en hebben we de valtijd gemeten. Dit hebben we in totaal drie keer gedaan. Hierna hebben we de schijf een rotatie gegeven tijdens de val en de valtijd bepaald, dit is ook drie keer gedaan. Dit experiment hebben we nog een keer herhaald met een hogere rotatiesnelheid.

Resultaten

In de grafiek in figuur 3.3 zijn de resultaten van de test verwerkt.



Figuur 3.3: Testresultaten van de invloed van de hoeksnelheid op de valtijd en valsnelheid van de schijf.

3.2. Deeloplossingen en werkingsprincipes

In dit hoofdstuk bekijken wij de ontwerprichtingen van elk groepslid die met inspiratie van de morfologische kaart een totaal oplossing heeft bedacht en uitgewerkt.

Morfologische kaart

De morfologische kaart (zie figuur 3.4) geeft in het linker vak een deelfunctie die de schijfwerper moet uitvoeren en aan de rechterkant de deeloplossingen die mogelijk ervoor kunnen zorgen dat de deelfuncties gerealiseerd kunnen worden.

Translatie	 Roller ● ● ●	 Drukveer ●	 Werp arm ● ● ●	 Trekveer ● ● ●	 Actuator (luchtdruk) ● ● ●
Rotatie	 Roller zijkant ● ● ●	 Roller met lager ● ● ●	 Rubber zijkant ● ● ●	 Hoek ● ● ●	 Boor ● ● ●
Stabiliteit	 Driepoot ● ● ●	 Vijfpoot ● ● ●	 Vast schroeven ● ● ●	 Gimbal ● ● ●	
Verstelbaarheid	 Slider ● ● ●	 Bal gewicht ● ● ●	 Verstel pootjes ● ● ●	 Wormwiel ● ● ●	 Steppenmotor ● ● ●
Precisie	 Lage toleranties ● ● ●	 Verticaal ● ● ●	 Mechatronisch ● ● ●		
Trigger	 Cilinder ● ● ●	 Pin ● ● ●	 Plaatveer ● ● ●	 Afstandsbediening ● ● ●	

Hieronder staat wie welke deeloplossing heeft gebruikt voor zijn concept:

Liam : Roller, hoek, driepoot, slider, lage toleranties, pin

Max : Trekveer, rubber zijkant, vast schroeven, steppermotor, mechatronisch, afstandsbediening

Kay : Trekveer, boor, driepoot, verstelbare pootjes, lagetoleranties, pin.

Eros: Drukveer, roller met lager, driepoot, wormwiel, mechatronisch, afstandsbediening, cilinder

Nezaam : Actuator, roller zijkant, 4 poten, verstelbare poten, lage toleranties, afstandsbediening

Figuur 3.4: Morfologische kaart

4

Alternatieven ontwikkelen & Concept kiezen

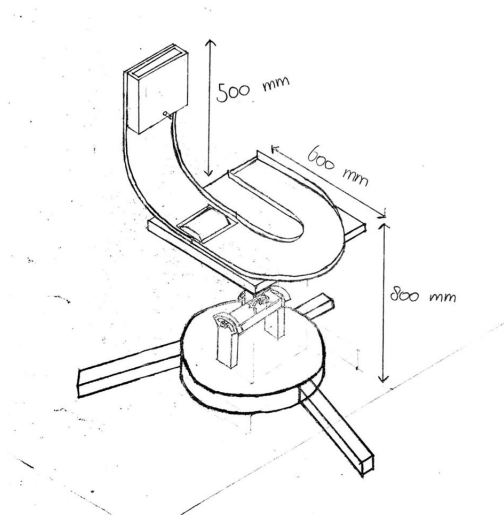
In dit hoofdstuk worden de concepten van alle groepsleden vertoond en uitgelegd. Vervolgens worden verschillende aspecten van de drie beste concepten beoordeeld in een criteria tabel.

4.1. Concepten

In deze paragraaf worden de verschillende concepten toegelicht.

Concept 1: Rollercoaster Saturn Shooter 3000 (RSS3000)

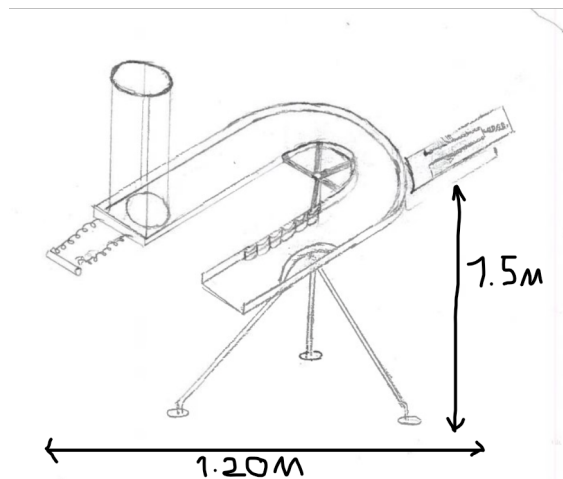
De schijf zal bovenin in het magazijn zitten totdat de pin eruit gehaald wordt. Daardoor zal de schijf naar beneden glijden en over de draaiende roller glijden die de schijf vervolgens zijn voorwaartse snelheid heeft. De schijf rolt daarna door de lange bocht waardoor hij zijn rotatie krijgt. Met deze snelheid en rotatie verlaat de schijf de baan. Om ervoor te zorgen dat de schijf goed terecht komt kun je het apparaat verstellen in twee richtingen van rotatie. Dit hele apparaat heeft drie poten om zo stabiel mogelijk te kunnen blijven staan.



Figuur 4.1: Concept 1: RSS3000

Concept 2: The macaroni disc chunker 4000 (MDC4000)

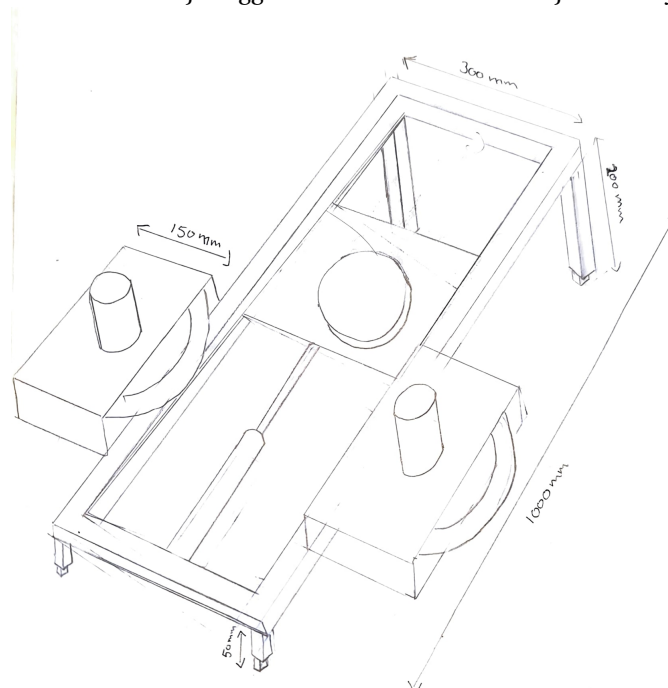
De schijf zal bovenin in het magazijn zitten totdat de pin eruit gehaald wordt. Daardoor zal de schijf naar beneden glijden en over de draaiende roller glijden die de schijf vervolgens zijn voorwaartse snelheid heeft. De schijf rolt daarna door de lange bocht waardoor hij zijn rotatie krijgt. Met deze snelheid en rotatie verlaat de schijf de baan. Om ervoor te zorgen dat de schijf goed terecht komt kun je het apparaat verstellen in twee richtingen van rotatie. Dit hele apparaat heeft drie poten om zo stabiel mogelijk te kunnen blijven staan.



Figuur 4.2: Concept 2: MDC4000

Concept 3: Flight Force 3000 (FF3000)

De schijf wordt op het platform om de uitstekende cirkel gelegd. In de beginstand wordt de schijf rondgedraaid door twee, door motoren aangedreven, wielen. Zodra de schijf de gewenste rotatie snelheid heeft behaald wordt het hele platform naar voren geschoten met een hoge snelheid door een actuator. In de eindstand wordt het platform onder de schijf weggetrokken waardoor de schijf uit het systeem wordt geschoten.



Figuur 4.3: Concept 1: FF3000

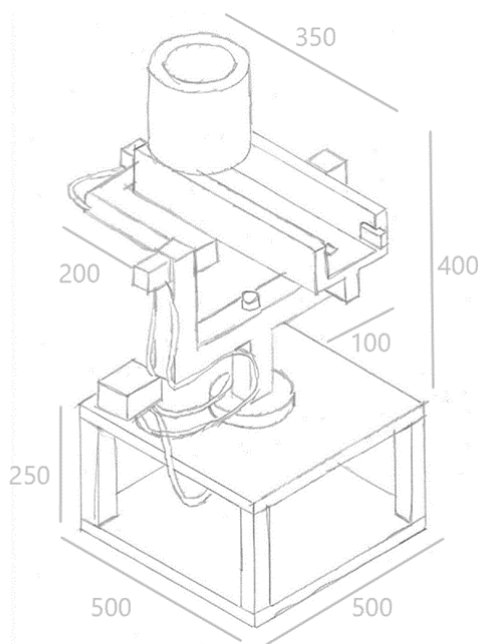
Concept 3: Frisbee Flinger 9000XT Deluxe Ultimate Elite ProMaks Extreme Nitro Turbo (FF9000XTDUEPMENT)

De 'Frisbee Flinger 9000XT Deluxe Ultimate Elite ProMaks Extreme Nitro Turbo' bestaat uit 3 gedeeltes: de tafel, het positionerings systeem en het vuur systeem.

De tafel bestaat uit twee platen en vier poten. Deze tafel functioneert als het skelet van de 'Frisbee Flinger 9000XT Deluxe Ultimate Elite ProMaks Extreme Nitro Turbo'. De tafel zal zorgen voor stabiliteit en hierop wordt het vuur systeem, positionerings systeem, de stroombron en de microcontroller gemonteerd.

Het positionerings systeem bestaat uit een y-vormig profiel en een u-vormig profiel. Deze profielen zijn met elkaar verbonden door middel van assen. De positie van deze profielen bepalen de richting en rotatie van het vuur systeem door middel van een microcontroller in combinatie met 3 stepper motoren voor rotatie om de x-,y- en z-as.

Het vuur systeem bestaat uit een cilindervormig magazijn waarin de schijven worden opgeslagen. De schijven worden stuk voor stuk geladen door middel van een elektronisch mechanisme. De laterale versnelling wordt bereikt door middel van een trekveer. De rotatie wordt bereikt door middel van een rubberen wrijvingsvlak aan een kant van de schijf.

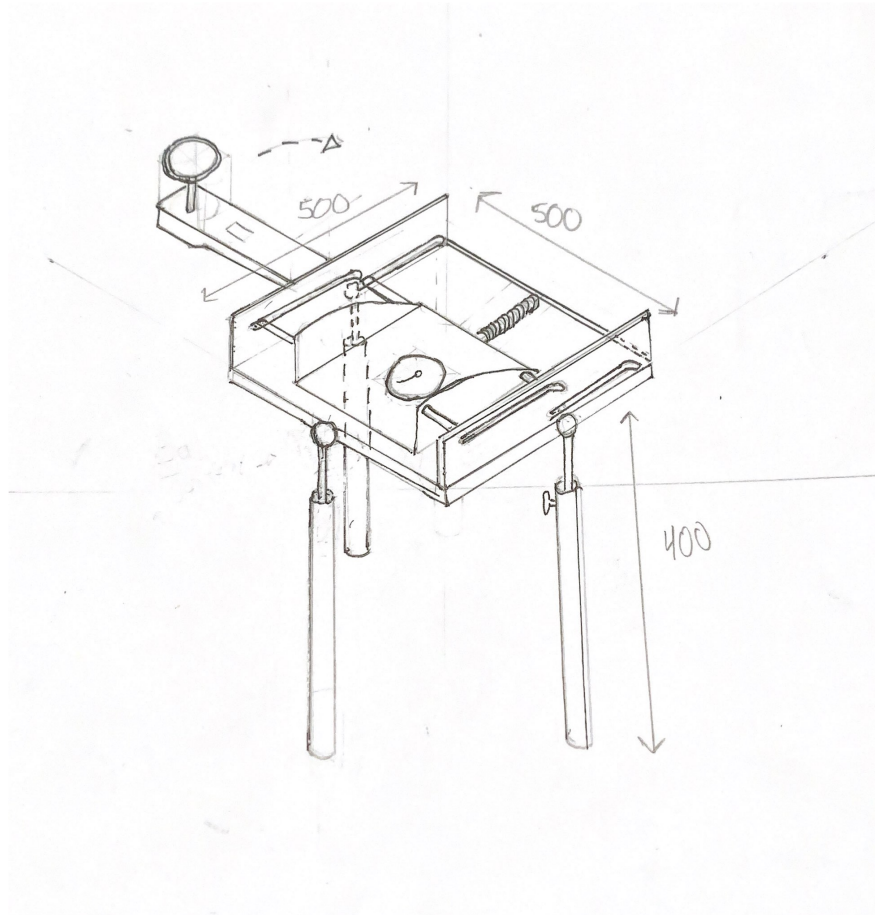


Figuur 4.4: Concept 3: FF9000XTDUEPMENT (afmetingen in mm)

Concept 5: De spinbaan 8000 nitrous antimaks (SBAM8000)

De gewenste instelling van de schietrichting kan worden ingesteld door de hoogte van de poten aan te passen. De boor wordt op de schijf gezet met een rubberen aanhangsel, de boor extensie wordt weggehaald en de schijfhouder wordt naar achteren getrokken tot de gewenste spanning bereikt is.

De ball joints zijn bio inspired door heupen.

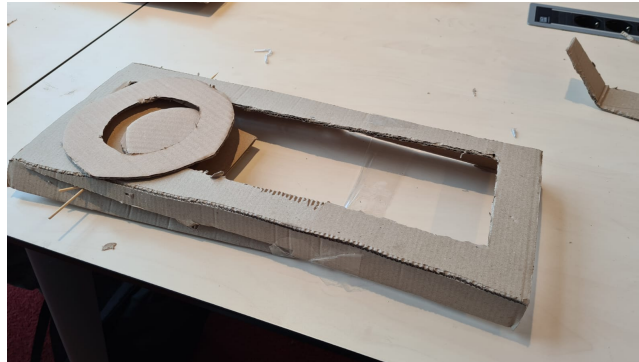


Figuur 4.5: Concept 5: de SBAM

4.2. Spuugmodellen concepten

Na veel overleg en discussie zijn we tot de conclusie gekomen dat sommige concepten niet volledig zouden kunnen werken of aan de grens van maakbaar zijn. Van de vijf concepten toegelicht in paragraaf 4.1 zijn de drie beste concepten gekozen en dus de drie meest kansrijke. Van deze concepten zijn spuugmodellen gemaakt.

Flight Force 3000



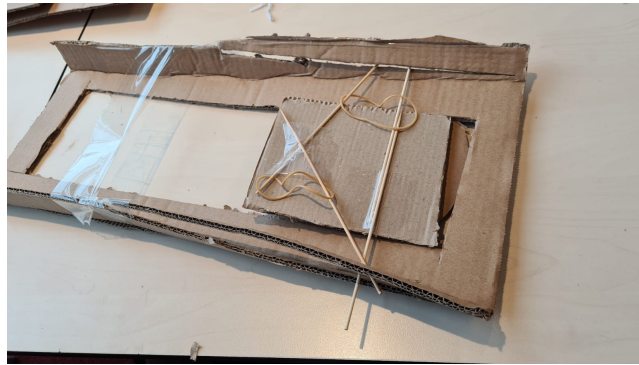
Figuur 4.6: Flight Force 3000 bovenaanzicht

Flightforce 3000 concept spuugmodel van bovenaf. Hier wordt de beweging van de plaat met de schijf gesimuleerd.



Figuur 4.7: Flight Force 3000 zijaanzicht

De zijkant van de Flight force 3000 geïllustreerd. Aan de zijkant is een negatieve helling te zien die ervoor zorgt dat de schijf van de baan af vliegt.



Figuur 4.8: Flight Force 3000 onderaanzicht

De opbouw van de Flightforce 3000 concept spuugmodel onderaanzicht. Ook dus soortgelijke montage zou het concept moeten hebben om goed in elkaar te zitten.



Figuur 4.9: De spinbaan 8000 nitrous antimaks bovenaanzicht



Figuur 4.10: De spinbaan 8000 nitrous antimaks zijaanzicht

De spinbaan 8000 nitrous antimaks vanaf de zijkant. In dit figuur wordt het voortbewegingsmechanisme getoond. Ook hier is een negatieve helling te zien, maar die werkt anders dan die van de Flight force 3000. Hier wordt door middel van een plotselinge translatie van de bak in de y-richting de schijf weggeschoten van de baan.



Figuur 4.11: Rollercoaster Saturn Shooter 3000 bovenaanzicht

Rollercoaster Saturn Shooter 3000 rol principe. Dit spuugmodel is gebruikt om het rollen van de schijf tegen de wand van de baan na te bootsen. Het contact met de wand zorgt voor de rotatie van de schijf voordat hij de baan verlaat.

4.3. Verwachte prestatie van concepten

Om de verwachte prestatie van de drie gekozen ontwerpen te toetsen houden we rekening met de volgende onderdelen.

De schijfwerper heeft verschillende kenmerken die van belang zijn voor het ontwerp. Een belangrijk aspect is de precisie, waarbij de schijfwerper in staat is om alle worpen zo dicht mogelijk bij elkaar te plaatsen zonder veel afwijking. Daarnaast is duurzaamheid van belang, waarbij het ontwerp zo min mogelijk definitief aan elkaar vast zit en makkelijk gedemonteerd kan worden om gerecycled te kunnen worden. Het materiaal wordt waar mogelijk ook zo veel mogelijk hetzelfde gekozen. Een ander belangrijk kenmerk is de instelbaarheid, waarbij de schijfwerper snel en nauwkeurig afgesteld moet kunnen worden om de schijf exact in de bak te laten belanden. Stabiliteit is tevens van belang, waarbij de schijfwerper niet omvalt in stilstand of tijdens het afschieten, en niet van plek verandert tussen verschillende worpen. Daarnaast moet de schijfwerper herlaadbaar zijn, zodat er zo snel mogelijk een nieuwe schijf klaar is om geworpen te worden. De maakbaarheid is de mate waarin het ontwerp te realiseren is met de beschikbare vervaardigingstechnieken. Tot slot is het belangrijk dat alle inkopen binnen het budget van 100 euro blijven om de kosten te beheersen.¹. In tabel 4.1 en 4.2 worden de drie gekozen concepten geëvalueerd op basis van de criteria.

¹Voor deze alinea is chat gpt gebruikt. In figuur B.1 is de input en de output te zien die gebruikt is. De hele output is overgenomen in de tekst

Tabel 4.1: Criteria prestatie verwachting tabel

Criteria	 Flight Force 3000	 Rollercoaster Saturn Shooter 3000	 De Spinbaan 8000 Antimaks
Precisie	1. Het afvuurmechanisme kan niet lateraal bewegen 2. Hoge rotatie kan behaald worden	1. weinig schok	1. Hoge rotatie 2. Loskoppelmechanisme laat de schijf los
	1. Actuatoren geven variërende kracht na het eerste schot 2. Er komt een grote schok op de schijf tijdens het afvuren	1. Rotatie is gelimiteerd aan de snelheid 2. De schijf zal zich anders gedragen onder een hoek	1. Er komt een grote schok op de schijf tijdens het afvuren.
Duurzaamheid	1. Actuator al in bezit	1. Alleen één elektromotor	1. Kan bijna volledig uit plaatstaal gemaakt worden 2. Weinig materiaalgebruik
	1. Zwaar frame 2. Luchtpomp nodig	1. Grote baan (veel materiaal)	
Instelbaarheid	1. Simpel	1. Kan heel precies	1. Simpel
	1. Inefficiënt (langzaam)	1. Ingewikkeld maakbaar	1. Inefficiënt 2. Handmatig instellen
Stabiliteit	1. Vier poten (stabiel)	1. Minimaal aantal poten	1. Minimaal aantal poten 2. Poten zijn instelbaar gemaakt
	1. Een poot teveel volgens de stabiliteitstheorie	1. Weinig controle over de stabiliteit als het systeem beweegt	1. Weinig controle over de stabiliteit als het systeem beweegt
Herlaadbaarheid	1. Schijf kan gewoon direct op het mechanisme geplaatst worden		1. Stabiel herlaadbaar en de beweging is te controleren
	1. Luchtdruk voor elke translatie weer opmeten voor precisie	1. Systeem kan makkelijk ontregelen bij het herladen van schijven	
Maakbaarheid	1. Volledig concept simpel maakbaar	1. Gedeeltelijk simpel maakbaar 1. Teveel onderdelen	1. Volledig concept maakbaar
Kosten	1. Weinig kosten		
	1. Goedkopere en snel breekbare onderdelen voor nodig	1. Goedkopere en snel breekbare onderdelen voor nodig	1. Veel plaatmetaal veroorzaakt hoge kosten

Tabel 4.2: De criteriatabel waarin concepten op elkaar worden afgewogen

Criteria	Weging	 Flight Force 3000	 Rollercoaster Saturn Shooter 3000	 De Spinbaan 8000 Antimaks
Precisie	30	6	8	8
Duurzaamheid	20	8	5	9
Instelbaarheid	15	5	6	7
Stabiliteit	15	7	8	7
Herlaadbaarheid	10	4	7	6
Maakbaarheid	5	7	7	7
Kosten	5	7	6	6
Totaal	100	63,0	68,5	75,5

4.4. Conceptkeuze

Er is gekozen voor concept 4 “SBAM”. Echter wordt het positionerings systeem aangepast in het uiteindelijke ontwerp om zo een consistente manier van positioneren te bereiken. De verdere uitwerkingen van dit concept worden in de komende hoofdstukken uitgewerkt en verbeterd.

5

Conceptverbetering

In dit hoofdstuk worden de conceptverbeteringen besproken doormiddel van mogelijke betrouwbaarheids en veiligheidsproblemen. Eerst wordt een veiligheid en betrouwbaarheid analyse gedaan, daarna worden de verbeteringen aan het concept besproken.

5.1. Veiligheid en betrouwbaarheid

Tabel 5.1: Veiligheidsanalyse

Waar kan men zich bezeren bij dit ontwerp?	Hoe zorgen wij ervoor dat dit niet gebeurt?
	
De rails	Geen vingers ertussen houden.
Scherpe hoeken	Hoeken in het design minimaliseren.

In de tabel hierboven (tabel 5.1) worden mogelijke veiligheids problemen en de oplossingen besproken.

Tabel 5.2: Faalanalyse

Wat kan er fout gaan? 	Oorzaak van de fout	Hoe lossen we dit op?
De schijf kan vroegtijdig los komen van de preciesieschijfwerper.	• Te abrupte versnelling (schok) • Vorm van de “cd-houder” • De afvuur instelling (hoek)	Geleidelijke versnelling en soepele voortbeweging.
Door het plotselinge omlaag schieten van het platform kan het voortbewegings systeem beschadigd raken.	• Scherpe hoek in de rails	In plaats van een plotselinge hoek in de rails, een golfvormige afdaling.
Door het plotselinge omlaag schieten van het platform kan het de frisbee uit controle raken.	• ‘Loslaat mechanisme’ werkt niet goed • Te hoge wrijving met schijf en plaat • Lagedrukgebied door snelle beweging	In plaats van een plotselinge hoek in de rails, een golfvormige afdaling.
Te veel speling in het systeem voor positioneren	• Goedkope onderdelen • Productie fouten • Slijtage	Onderdelen van hoge kwaliteit of een ander positioneringssysteem.

In tabel ?? worden mogelijke betrouwbaarheids problemen en de oplossingen besproken.

Tabel 5.3: RPN tabel

						
		Severity (S)	Occurrence (O)	Detectuion (D)	Critically (C)*	RPN**
1	De schijf kan vroegtijdig los komen van de preciesieschijfwerper.	8	4	5	32	160
2	Door het plotselinge omlaag schieten van het platform kan het voortbewegings systeem beschadigd raken.	9	5	7	45	315
3	Door het plotselinge omlaag schieten van het platform kan het de frisbee uit controle raken.	6	5	6	30	210
4	Te veel speling in het systeem voor positioneren.	7	6	6	42	252

*Critically = $S \times O$

**RPN = $S \times O \times D$

In tabel 5.3 wordt de RPN waarde (Registered Parameter Number) berekend. Deze geeft de waarde van ernst, mate van voorkomen en detectie als een getal weer. Hoe hoger het nummer is, hoe meer deze breuk of faal kan voorkomen. De getallen zijn gebaseerd op berekeningen die in een volgend hoofdstuk worden aangegeven.

5.2. Verbeteringen

Het gekozen concept heeft een innovatief afvuurmechanisme, maar het grootste minpunt was de verstelbaarheid. Om hier een verbetering voor te vinden is er gekeken naar eerder afgefallen concepten die beschikten over een beter afstelmechanisme. De Frisbee Flinger bleek afgefallen te zijn door een onrealistisch afvuurmechanisme, maar had wel een onderstel dat veel beter leek dan het uiteindelijk gekozen concept. Het uiteindelijke concept is een mix geworden van De SBAM en De Frisbee Flinger waarbij de onderste helft afkomstig is van De Frisbee Flinger. De bovenste helft afkomstig van De SBAM was ook nog niet goed genoeg en is ook verbeterd.

Voor de manier van het roteren van de schijf was nog verbetering mogelijk. Dit is verder uitgewerkt in het solidworks model en hier is toen een aanzienlijk betere optie uit voort gekomen. Er zal nu een steppermotor onder het binnenste u-profiel komen die de plaat waar de schijf op ligt roteert. De schijf ligt niet direct op de roterende plaat, maar zal op een rubberen rand liggen om op deze manier de grip op de schijf te verhogen. Omdat het binnenste u-profiel meebeweegt in de translatie moet de as van de motor zo kort mogelijk zijn om de schok van de translatie in de rails te weerstaan. Ook moet de motor hierdoor erg stevig vast zitten.

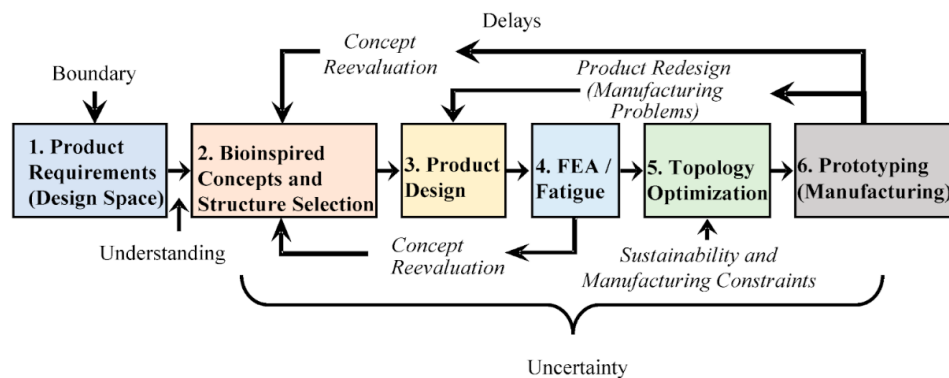
6

Eco Design

6.1. Relevantie van eco design

Naast het ontwerpen van een veilig en goed werkende precisie schijfwerper is het ook van belang om aan duurzaamheid te denken. Duurzaamheid is een breed begrip, maar hoe kan er een 'groene' schijfwerper worden ontworpen? Ten eerste moet er per onderdeel gekeken worden naar de bijdrage van het materiaal aan de vervuiling van de aarde. De mate van vervuiling van een bepaald materiaal kan bijvoorbeeld zijn; de schade van de metaalproductie en de mate waarin het recyclebaar is [8]. Een duurzaam ontwerp gebruikt materialen die de natuur zo min mogelijk belast.

Duurzaam ontwerpen, ook wel Eco Design genoemd, heeft veel voordelen voor een producent. Het efficiënt gebruiken van materialen zorgt ervoor dat onnodig materiaalgebruik wordt geminimaliseerd, wat vooral op grotere schaal de kosten kan verminderen. Materialen die een arbeidsintensief productieproces hebben, zoals bepaalde metalen, hebben vaak ook hoge broeikasuitstoot en kosten. Door het alsnog lage maar wel groeiende belang in de politiek om vervuiling te verminderen kan het gunstig zijn dat bedrijven rekening gaan houden met bijvoorbeeld broeikasuitstoot belastingen. Een voorbeeld van een eco-design process staat in figuur 6.1.



Figuur 6.1: Een schematisch overzicht van een green ontwerp [11]

6.2. Aanpak

Aangezien duurzaamheid een groot onderdeel is in onze concept ontwikkeling moet hier vanaf de beginfase rekening mee gehouden worden. Hoewel dit in de isomertische schetsen van de deel ontwerpen moeilijk is om te zien, is hier wel rekening mee gehouden. De ontwerpfase kan in verband met duurzaamheid in 3 fases worden bekeken.

1. Idee ontwikkeling, hier worden de deelsystemen ontworpen. In deze fase wordt vooral nagedacht over hoe het concept zo efficiënt mogelijk de deelfuncties kan oplossen. Dit kan bijvoorbeeld behaald worden door rekening te houden met hoeveel materiaal gebruikt zal worden, op basis van de hoofdafmetingen. Verder is het gunstig om de hoeveelheid losse onderdelen te minimaliseren, dit is handig omdat het product dan nader makkelijker is om uit elkaar te halen en te recyclen. De nadruk in deze ontwerpfase ligt dus op eco-design toepassen tijdens het bedenken en bespreken van de grote onderdelen.

2. Ontwerp uitwerking. In dit onderdeel wordt het eindproduct ontworpen, hier wordt dan ook het meeste eco-design toegepast. Het zou gezien kunnen worden als de uitwerking van het basisconcept naar een afgerond, duurzaam eindproduct. In deze alinea worden de bevindingen van grondig onderzoek over de toepassing van eco design bij het ontwerp besproken. Een duurzaam ontwerp maken is een gecompliceerde taak, we hebben om deze reden de winnaar van de "TU Delft sustainability award", Florian Simor, kunnen interviewen. Dit interview heeft destijds veel inzicht gegeven in welke aspecten van het ontwerp cruciaal zijn. Een voorbeeld is bio inspired design; in de natuur moeten planten overleven met een beperkte hoeveelheid voedingsstoffen, dit heeft evolutionair gezien geleid tot efficiënt materiaal gebruik. Al lijkt dit logisch kan de mens veel leren van miljoenen jaren ervaring van de natuur. Op bepaalde plekken in ons ontwerp komt veel spanning te staan, vooral tijdens het afschieten. Deze plekken moeten dus extra versterkt worden. Normaliter zou dit gedaan kunnen worden door het materiaal aanzienlijk dikker te maken, of metalen versterkende onderdelen te gebruiken. Aangezien deze oplossing niet efficiënt materiaal gebruikt, hebben wij andere oplossingen gevonden.

- Materialen zoals staal en aluminium zijn van belang in een ontwerp als een schijfwerper. Veel metalen zijn goede hernieuwbare materialen. Het gebruik van deze materialen in het project maakt het ontwerp 'green'. Het advies van Florian Simor was niet alleen om weinig materiaal maar ook zo min mogelijk verschillende materialen te gebruiken. Dit advies is verwerkt doormiddel van alleen aluminium platen en profielen te gebruiken. Het is namelijk makkelijker om achteraf in één keer te scheiden en er is minder ongebruikt plaatmetaal.
- Topologie Optimisation. Een ander voorbeeld om het ontwerp green te maken is Topologie-optimalisatie (TO). Topologie optimalisatie is een vorm optimalisatie methode die algoritmische modellen gebruikt om de materiaal lay-out te optimaliseren binnen een door de gebruiker gedefinieerde ruimte voor een gegeven reeks belastingen, omstandigheden en beperkingen. Deze vorm van optimalisering zorgt ervoor dat er geen overdadig materiaal wordt gebruikt. In figuur 6.4 en 6.3 zijn voorbeelden van deze simulaties weergegeven. In de bijlage (Bijlage C1 en C2) staan afbeeldingen van het TO process op Solid-Works - hier is de hoeveelheid bespaarde materiaal zichtbaar.
- Bioinspired design. Inspiratie uit de natuur en de werking natuurlijke mechanische systemen maken een ontwerp bioinspired. In het concept wordt er gekeken naar Topologie-optimalisatie. Hieruit kwam het idee dat deze vorm van topologie optimalisatie heel veel lijkt op de 'Canary Island Dragon Tree'. De stabilisatie die de boom gebruikt om de takken op te houden komt met de topologie- optimalisatie.

3. Productie process. Bepaalde aspecten in het productieproces kunnen veel energie kosten en/of schadelijk zijn voor het milieu. Op kleine schaal is het energie gebruik van machines bijna verwaarloosbaar, maar hier is alsnog rekening mee gehouden. Aangezien het eindproduct meerendeels bestaat uit plaatstaal is het meeste machinewerk geautomatiseerd in de lasersnijder en op de vouwbank. Hoewel een lasersnijder elektriciteit gebruikt blijft de impact op het klimaat kleiner dan mechanische fabricage methodes. [5].

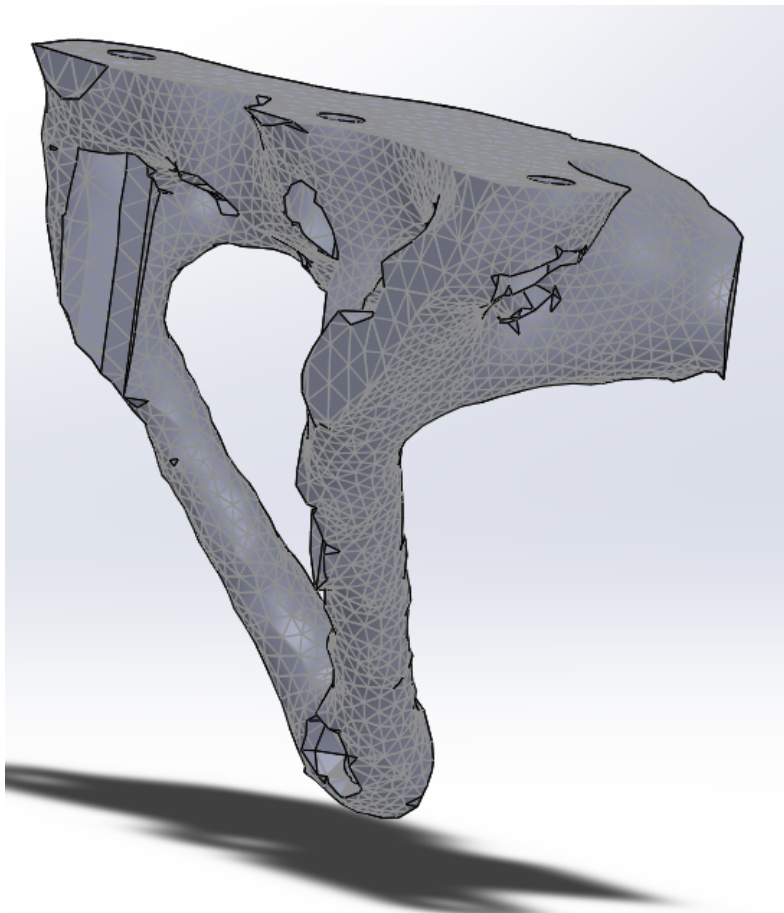
Verder wordt er niet gelast, gelijmd, of andere onomkeerbare productie processen toegepast. Dit is gedaan omdat de demontage een erg belangrijke rol speelt in de duurzaamheid van het productie process. Het product moet nog herbruikt of gerecycled kunnen worden, en moet dus nog uit elkaar gehaald worden. Ter vervanging voor lassen is er een combinatie van plaatmetaal, profielen, en bouten moeren toegepast. De bouten kunnen direct na gebruik hergebruikt worden en het aluminium kan dan in één keer worden recycled.



Figuur 6.2: Referentie boom [4]



Figuur 6.3: Topologie-optimalisatie



Figuur 6.4: Topologie-optimalisatie in SolidWorks

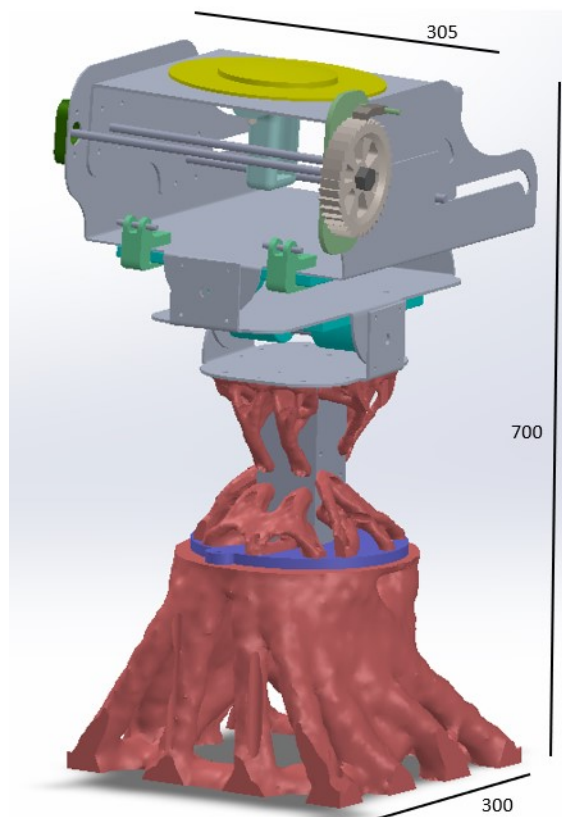
7

Uiteindelijk Ontwerp

In dit hoofdstuk wordt het uiteindelijk ontwerp toegelicht aan de hand van CAD-modellen. Eerst worden de toegepaste verbeteringen toegelicht. In paragraaf 2 worden de onderdelen besproken en in de laatste paragraaf worden de afmetingen van de onderdelen bepaald.

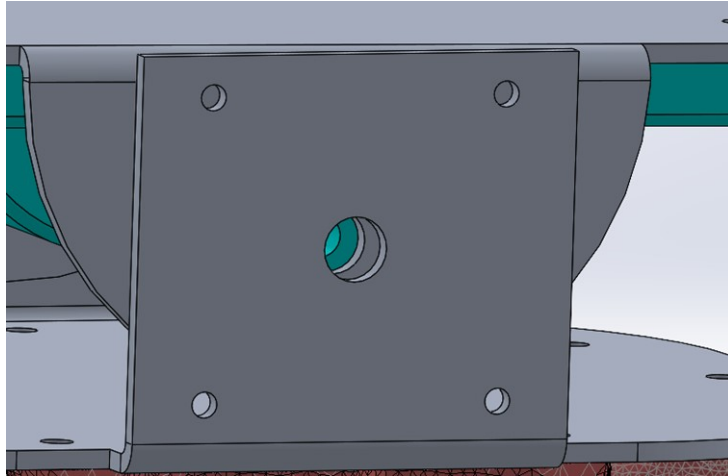
7.1. Overzicht verbeterd ontwerp

In deze paragraaf volgt het uiteindelijke definitieve ontwerp. Het ontwerp is in de basis een samenvoeging van de SBAM en de Frisbee flinger. Het precisie richtsysteem wat afkomstig is van de Frisbee flinger is echter vrij drastisch aangepast. Het oorspronkelijke systeem was opgebouwd uit profielen, maar om het systeem van gevouwen plaatmetaal te maken was de duurzamere optie. Ook bleven de kosten laag en was de massa een stuk minder.



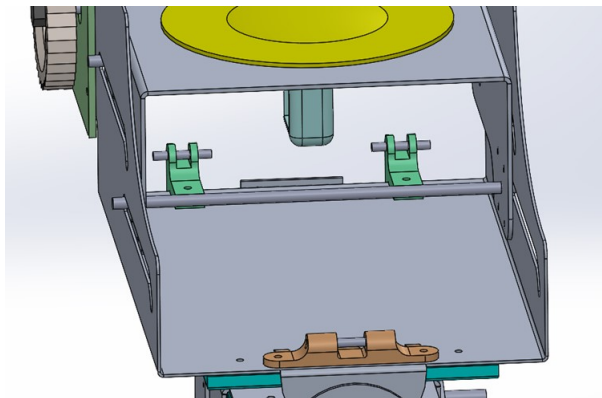
Figuur 7.1: Uiteindelijk ontwerp SBAM

Deze platen moeten kunnen roteren om twee assen, zodoende dat er twee stalen assen de platen verbinden. Aan één zijde per plaat zit een vierkant bracket om op die plek de steppermotor te bevestigen die de rotatie van die as beïnvloed.



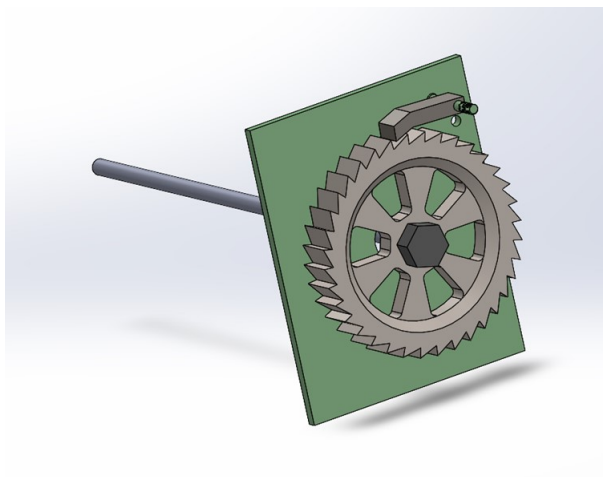
Figuur 7.2: De bracket voor de steppermotor

Bovenop dit platensysteem zit de grote bak bevestigd met de uitgesneden rails. Hier glijdt de de kleine bak, met de schijf er op, in op en neer. Ook zit het trigger systeem aan de grote bak bevestigd. De kleine bak beweegt niet vrij op en neer maar zit vast aan een touw. Dit touw is aan de andere kant bevestigd aan twee veren. De veren zitten vast aan de twee lichtgroene veerhouders, die weer vast zitten aan de grote bak. Hier haken de veren aan, die vervolgens onder de kleine bak door naar de voorkant lopen. Het touw wat van deze veren af komt wordt om de oranje kabelgeleider gespannen en loopt terug naar achteren waar het bevestigd is aan de kleine bak.



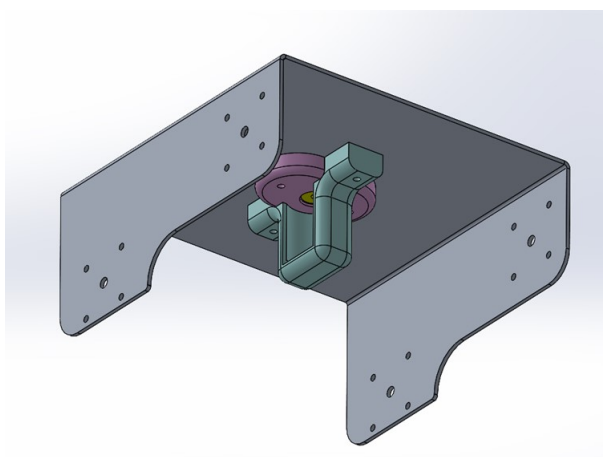
Figuur 7.3: Grote bak met de kleine bak, triggersysteem en veerhaken

Het triggersysteem dat bevestigd is aan de grote bak werkt met behulp van een ratel. Wanneer het ratelwiel naar achteren tegen de klok in wordt gedraaid, draait de as die hier aan vast zit mee. Die as is door middel van een touw verbonden aan de achterste as van de kleine bak. Wanneer het ratelwiel aangedraaid wordt beweegt dus de kleine bak naar achteren en worden de veren uitgerekt. De ratel die tegen het ratelwiel staat voorkomt dat de veren de as weer terug roteren zoals te zien in figuur 7.4. Pas wanneer de ratel van het ratelwiel af gehaald wordt trekken de veren de kleine bak naar voren en wordt de schijf geworpen.



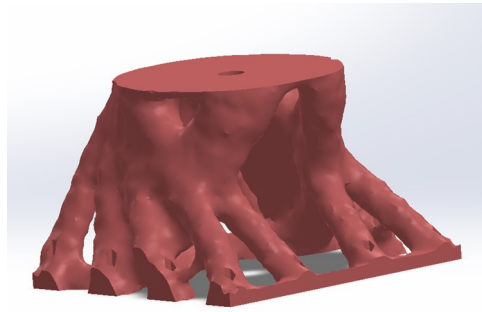
Figuur 7.4: triggersysteem los van de assembly

De rotatie wordt verzorgd door een DC-motor die bevestigd zit onder de kleine bak. Zoals te zien in figuur 9.5 rust de motor in de motorbracket en drijft de gele rotatieplaat waar de schijf op komt te liggen direct aan. Tussen de motor en de plaat zit een kogellager zodat de plaat soepel draait.



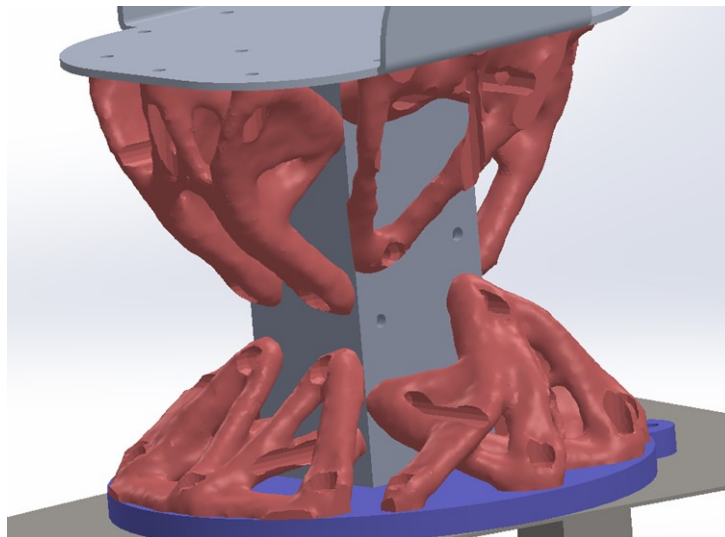
Figuur 7.5: Kleine bak met het rotatiesysteem

Ook is de tafel waar het schietsysteem op rust erg aangepast. In plaats van een groot vierkant tafelblad, is het tafelblad vervangen door een 3D geprint onderdeel. Het tafelblad was ontworpen om rekening te houden met opslagruimte om de elektromotoren van het schietmechanisme te voorzien met stroom. Maar door duurzaamheidsoverwegingen is dit vervangen. Door middel van een solidworks simulatie en 'additive manufacturing' wordt er efficiënt gebruik gemaakt van de materialen. Deze oplossing zorgt ervoor dat zowel het schietmechanisme gericht kan worden rond de z-as en de krachten opvangen worden tijdens het schieten.



Figuur 7.6: De nieuwe verbeterde tafel

Tot slot is er als verbindingmechanisme voor de standpoot met de onderplaat en de paarse draaischijf gekozen voor hoekprofielen die geoptimaliseerd zijn wat betreft materiaalgebruik, maar wel vrijwel al hun stijfheid behouden. Dit zorgt voor een enorm stevige verbinding, en daarbij ook voor een mooi plaatje zoals te zien in figuur 7.7. De topologische optimalisatie is niet alleen heel erg zuinig op het gebied van materiaalgebruik, maar het is ook veel terug te vinden in de manier waarop bomen hun takken groeien. Één boom in het bijzonder lijkt heel erg veel op de topologisch geoptimaliseerde hoekprofielen: de dragon tree [4].



Figuur 7.7: Een close up van de topologie optimalisatie

7.2. Onderdelen

In deze paragraaf worden de onderdelen van het eindconcept beschreven. Per deel gaan we het mechanisme beschrijven (de onderkant, het midden en de bovenkant).

- De onderkant (het tafelvormige profiel aan de de onderkant)
 - de stalen platen.
 - de 4 tafelpoten.
- Het midden (de ronde schijf aan de onderkant tot de onderkant van de eerste stalen plaat)
 - de schijf die vast zit aan de balk.
 - de balk met de topologie-optimalisatie.
 - het richtsysteem die ervoor zorgt dat de bak met de schijf kan worden aangepast in de roll en pitch richting.

- De bovenkant (vanaf de onderste plaat tot en met waar de schijf moet liggen)
 - de twee gevouwen stalen platen.
 - de assen die voor de translatie van bak zorgt.
 - het trigger systeem dat uit een 'ratchet and pawl' bestaat.
 - het ronde bakje boven waarop de schijf komt te staan.
 - de twee groene haakjes waaraan de veren in een later stadium bevestigd worden.
 - de kabelgeleider waar het touw van de veren omheen komt.

7.3. Dimensies (afmetingen) en toleranties kritieke onderdelen

In deze paragraaf worden de hoofdmaten, toleranties en de onderdelen die het meest van belang zijn voor de functionaliteit beschreven en uitgelegd.

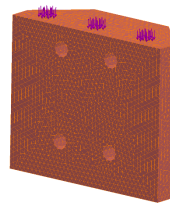
Topologie-optimalisatie - Max van 't Hart

Topologie-optimalisatie [11] is een methode om door middel van algoritmische modellen de lay-out van materiaal binnen een bepaald volume te optimaliseren. De gebruiker definieert een volume met daarin details die behouden moeten worden. Vervolgens worden er door de gebruiker vaste vlakken en/of details en werkende krachten op vaste vlakken en/of details gedefinieerd.

$$F = m \cdot g \quad (7.1)$$

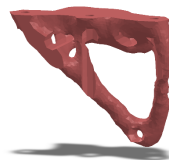
Het gedeelte van de schijfwerper wat op de standpoot staat weegt ongeveer 6 kg, dit resulteert in een zwaartekracht van $6\text{ kg} \cdot 9,81\text{ ms}^{-2} = 58,86\text{ N}$. Deze zwaartekracht wordt verdeeld over 4 hoekprofielen.

In de topologie studie in solidworks krijgen vlakken en details waar de zwaartekracht van het gedeelte van de schijfwerper wat op de standpoot staat op werkt een kracht van meer dan de zwaartekracht per onderdeel toegewezen om zo de veiligheidsfactor te vergroten.



Figuur 7.8: Een van de 4 hoekprofielen boven aan de standpoot met een volumetrisch gaas en krachten rond de monteer plekken.

Ook wordt er een doel vastgesteld voor het programma, bijvoorbeeld de beste stijfheid-massa verhouding. Om een topologie studie uit te voeren moet er een volumetrische gaas gecreëerd worden. Dit gebeurt vrijwel helemaal automatisch, het enige wat niet automatisch gaat is het instellen van het type volumetrische gaas en de accuraatheid van het volumetrische gaas. Vervolgens kan de studie gestart worden en gaat het programma naar een lay-out van materiaal binnen het volume zoeken met het hoogste stijfheid-massa verhouding. Het resultaat uit een topology study is een stijf onderdeel met slechts een klein percentage van de originele massa.

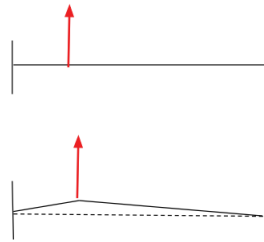


Figuur 7.9: Het eindresultaat van een topologie studie in solidworks. Een licht onderdeel met een hoge stijfheid.

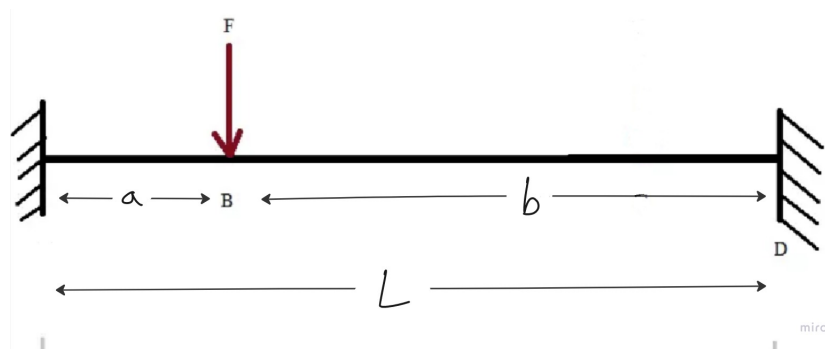
Sterkteanalyse van triggeras - Kay Melissen

Als een as goed ondersteund en op de juiste plaats belast is, kan het een erg sterk onderdeel zijn. In het triggersysteem van de SBAM wordt een touwtje om een as gespannen die gedraaid wordt door een ratelwiel (ratchet). Deze as wordt dan belast met de kracht die die veer uitoefent wanneer deze wordt uitgerekt. In deze alinea wordt berekend hoe de dikte van de as, invloed heeft op de doorbuiging.

De trigger is een cruciaal onderdeel voor de veiligheid van het ontwerp. Als de trigger vroegtijdig losschiet kan de gebruiker mogelijk gewond raken. Het is dus essentieel dat de as die het touw vasthoudt sterk genoeg is. De as moet voldoende weerstand hebben tegen de buiging om de faalkans te verkleinen. Ten eerste wordt de as niet in het midden belast, dit zorgt voor een lagere belasting op de as.



Figuur 7.10: Schets faalmechanisme van de triggeras



Figuur 7.11: De buiging van de assen

De afmetingen in figuur 7.11 komen overeen met de letters in de berekeningen hieronder.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{F \cdot a^2 \cdot b^2}{3E \cdot I \cdot L} \quad (2) \quad [15] \quad (7.2)$$

$$\delta = \frac{F \cdot a^2 \cdot b^2}{3E \cdot \left(\frac{\pi d^4}{64}\right) \cdot L} \quad (3)$$

In de berekening (1) kan er geconcludeerd worden dat het massatraagheidsmoment (I) evenredig is aan de diameter van de as tot de macht vier. Aangezien een groot deel van het ontwerp gebruikt maakt van acht millimeter assen, wordt in de volgende berekening deze diameter toegepast.

In berekening (2) is het touw twintig millimeter vanaf het linker lager, dit is de waarde voor a . Verder is de E modulus van staal rond de 210MPa. [15]

$$\delta = 0.16mm \quad (7.3)$$

Uit de berekening blijkt dat de as ongeveer 0,16 millimeter zal verschuiven. Aangezien de enige functie van de as is om de laadbak te verschuiven, zal deze kleine doorbuiging van de as geen gevaar of groot probleem veroorzaken.

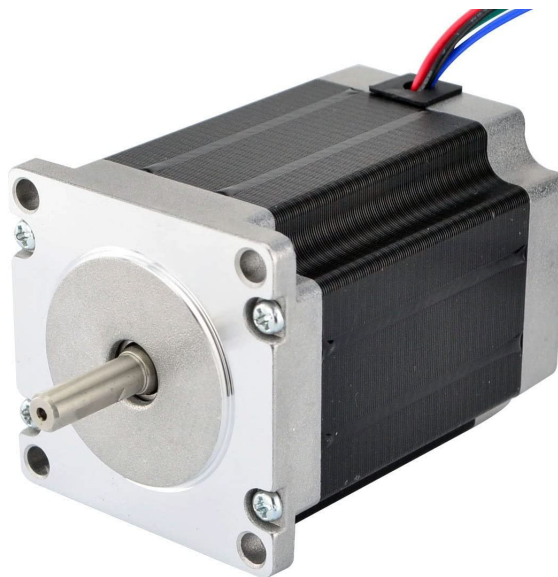
Steppermotor - Nezaam Akbari

Om te zorgen dat het systeem verstelbaar is worden steppermotoren gebruikt. Om te bepalen welke steppermotor geschikt is voor ons ontwerp, moet de kracht die op de steppermotor uitgeoefend wordt, worden bepaald.

Het gewicht van het systeem is ongeveer drie kilo. Met de formule uit 7.1 is berekend dat dit een kracht van $29,43N$ is. De steppermotor wordt het meest belast als het systeem in een hoek van 32° staat (dit is de maximale aantal graden dat het systeem kan draaien). Het zwaartepunt van het systeem heeft dan een arm van 57 mm tot de as van de steppermotor. Met behulp van de formule uit 7.4 is berekend dat er dan een moment van $1,68Nm$ op de steppermotor staat.

$$M = F_1 \cdot r \quad (7.4)$$

De steppermotor die wij gebruiken (zie figuur 7.12) kan een moment aan van maximaal $1,9Nm$ [10]. Dit is sterk genoeg voor ons systeem.



Figuur 7.12: De steppermotor die wij gaan gebruiken [10]

Veer - Eros Pierpont

De kracht achter het hele systeem komt uiteindelijk van de veer. Om deze krachten te analyseren moet de afstand die de schijf moet afleggen ook bekend zijn. Gelukkig is die ook bekend. De maximale afstand die de schijf moet afleggen bedraagt 8 meter en de minimale 9 meter. Natuurlijk moet er een veer gekozen worden om dit resultaat te verkrijgen. De afstand hangt af van de hoeveelheid energie. De formule die onder deze alinea wordt aangegeven is van belang voor het berekenen van de veerenergie.

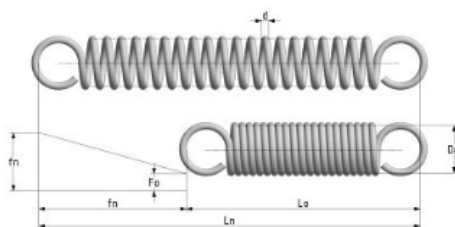
$$Ev = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \quad (7.5)$$

De veerenergie wordt berekend door middel van

- C = de veerconstante in Newton per meter(N/m)
- U = de uitrekking in meter(m)

en tenslotte vermenigvuldigd met de waarde 0.5.

De waarden staan in de volgende tekening aangegeven.

**PRODUCTSPECIFICATIES**

Art.nr.	T1940
Voorraad	Op voorraad
d	2.50
Dm	25.50
L0	139.00
fn	222.00
Fn	157.00
R	0.60
Materiaal	Verenstaal

1kg = 9.80665 Newton

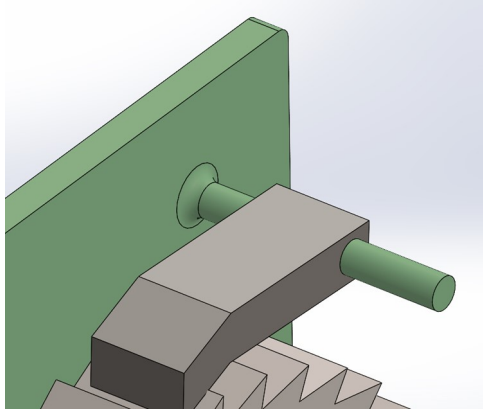
1 N = 0.10197 kg

Figuur 7.13: De geselecteerde veer [1]

Hieruit volgt dan dat de 'T1940' [1] nog net niet genoeg kracht heeft om de schijf te transleren, maar 2 van deze leveren precies genoeg kracht om de schijf soepel en zonder veer energie verlies te transleren.

De doorbuiging van de ratelas - Liam Aandeweg

Het triggersysteem in figuur 7.4 is een belangrijk onderdeel van de schijfwerper. Om te zorgen dat de schijfwerper zo veilig mogelijk is, mag deze niet zomaar activeren en de opgebouwde veerenergie ongecontroleerd loslaten. Een belangrijk element in het voorkomen van deze onveilige situatie, is de groene ratelas zoals te zien in figuur.



Figuur 7.14: De ratelas met de ratel

In het geval dat de ratelas niet sterk genoeg is en doorbuigt, zal de ratel die aan deze as zit mee buigen en geen contact meer maken met het ratelwiel. Dit zal hetzelfde effect hebben als wanneer het triggermechanisme intentioneel wordt geactiveerd. Het is dus van groot belang dat de ratelas niet teveel doorbuigt of afbreekt. Om de doorbuiging van deze as te bepalen is de formule

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3EI} \quad (2) \quad (7.6)$$

gebruikt. De veer uit figuur 7.13 heeft een maximale kracht F van 157 Newton. De grootste kracht die de ratelas dus te verduren zou kunnen hebben is de maximale veerkracht van allebei de veren wat zou resulteren in een kracht van 314 Newton. De ratelas heeft een lengte (L) van 10 millimeter tussen de inklemming en de ratel. De diameter van de ratelas is 5 millimeter en hiermee kan de formule (1) voor I ingevuld worden. Als laatste is de elastischeiteitsmodulus van PLA 3500 MPa [6]. Hiermee kan formule (2) ingevuld worden.

$$\delta = \frac{314 \cdot 10^3}{3 \cdot 3500 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 5^4}{64}\right)} \quad (3) \quad (7.7)$$

Hier uit volgt dat de doorbuiging is

$$\delta = 0.97 \text{ mm}. \quad (7.8)$$

Deze doorbuiging zal geen probleem veroorzaken, want de afmetingen van de tanden van het ratelwiel zijn rond de vijf keer zo groot als de berekende doorbuiging. Hierdoor zal de ratel geen contact verliezen met het ratelwiel en zal het systeem niet falen.

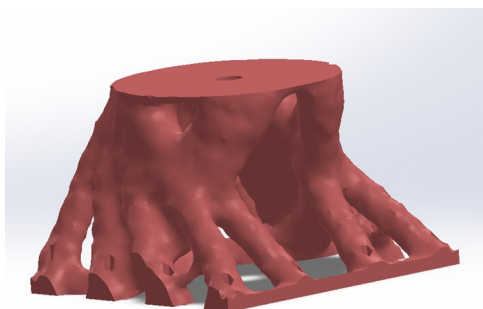
8

Vervaardigingsplan en -planning

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe we het ontwerp van plan zijn om te realiseren. Dit wordt gedaan door eerst de benodigde materialen te bepalen. In paragraaf 8.2 wordt van elk onderdeel besproken of het gekocht of gemaakt moet worden. In paragraaf 8.3 wordt van elk maakdeel bepaald of we het zelf gaan maken of uitbesteden. In de laatste paragraaf wordt gepland wanneer en hoe we de maaddelen gaan vervaardigen.

8.1. Assembleren: benodigd materiaal en gereedschap

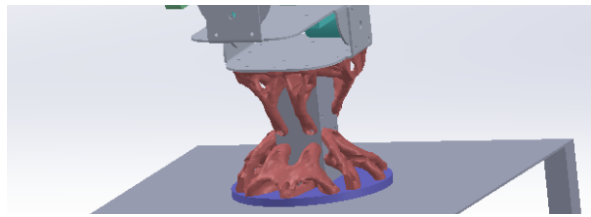
Benodigd materiaal voor de onderkant.



Figuur 8.1: De onderkant

Materiaal	Afmetingen	Gereedschap
3d geprint PLA	30x30x20mm	3d-printer
boutjes en moertjes	M5 en M4	tang

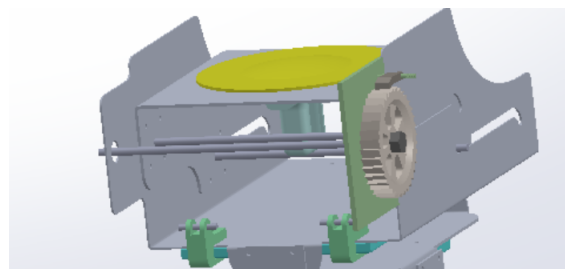
Benodigd materiaal voor het midden.



Figuur 8.2: Het midden

Materiaal	Afmetingen	Gereedschap
vierkante buis	60x60x16mm	-
topology aan de onderkant	verschillend traject	3d printen
topology aan de bovekant	verschillend traject	3d printen
steppermotoren	77x77mm	montage

Benodigd materiaal voor de bovenkant.



Figuur 8.3: De bovenkant

Materiaal	Afmetingen	Gereedschap
grote bak	490x590mm uitgevouwen	vouwbank
kleine bak	250x490mm	vouwbank
assen	-	zagen op maat
veren	T1940	geen
ratel	diameter van 110mm	3d printen
plaat met verhoging waarop de schijf komt te liggen	-	-
DC-motor	-	geen
lagers	-	monteren
lagerhuisjes voor de veren	-	handen

8.2. Bestellen: Koopdelen en Inkoopmaterialen voor maakdelen

In deze paragraaf wordt er aangegeven welke onderdeel al in ons bezit zijn en welke besteld of gekocht moeten worden.

Materiaal	Al in ons bezit	koopdeel of maakdeel
Plaatstaal	-	X
Motoren	-	X
Batterijen	X	-
boutjes en moertjes	X	-
Veren	-	X
3d geprinte onderdelen	X	-

8.3. Uitbestedingen

Een geschatte indicatie van de kosten per maak of bestel onderdeel. Het totale concept komt nu uit op 174 euro. De volgende onderdelen zorgen voor deze indicatie:

- Plaatstaal 37,20 euro per stuk
- Steppermotoren 26 euro per stuk
- DC-motor 12 euro
- Veren 14 euro per stuk
- Materiaal 3d geprinte onderdelen door de IWS
- Topologische onderdelen 5,50 euro per stuk
- profiel 30x30mm 2mm dikte 5,79 euro per meter
- profiel 60x60mm 4mm dikte 10,94 euro voor 160mm lengte

8.4. Plannen voor het vervaardigen van maakdelen

Wie	Waar	Op welktijdstip	wat
Nezaam	IWS	18:00-22:00 uur woensdag 26 april, 3 mei, maandag 8 mei	Plaatstaal vouwen
Kay	IWS	18:00-22:00 uur woensdag 26 april, 3 mei, maandag 8 mei	Plaatstaal vouwen
Max	IWS	18:00-22:00 uur woensdag 26 april, 3 mei, maandag 8 mei	Plaatstaal vouwen
Eros	IWS	18:00-22:00 uur woensdag 26 april, 3 mei, maandag 8 mei	Plaatstaal vouwen
Liam	IWS	18:00-22:00 uur woensdag 26 april, 3 mei, maandag 8 mei	Plaatstaal vouwen

De assemblage zal verder in de aws gebeuren.

9

Evaluatie

In dit hoofdstuk wordt de conclusie uit ons ontwerprapport getrokken.

9.1. Evaluatie van ontwerpproces

Het ontwerpproces heeft geleid tot de ontwikkeling van een originele schijfwerper. Uit de evaluatie van de concepten was gebleken dat, hoewel ingewikkeld, het concept genoeg voordelen had om deze verder te ontwerpen. Deze conclusie was getrokken uit grondig onderzoek naar de beweging van een roterende schijf. Het team heeft een goed balans tussen taakverdeling en samenwerking toegepast, individuele expertises konden hierdoor gecombineerd worden met het denkvermogen van de hele groep.

9.2. Uitdagingen en Oplossingen

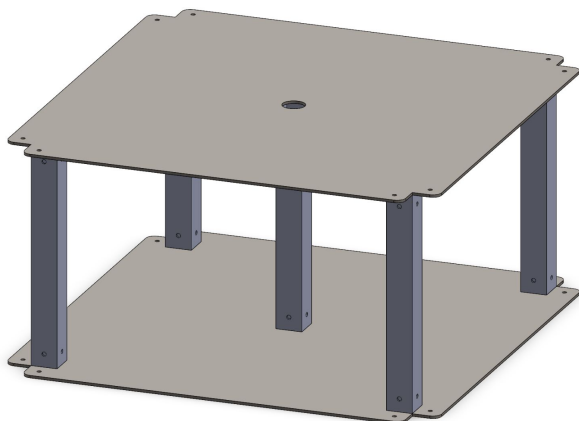
In deze paragraaf worden voorbeelden gegeven van obstakels in het ontwerpproces en hoe hier een oplossing voor gevonden is ontworpen.

Door het gebruik van meerdere electromotoren voor het gimbal- en rotatiemechanisme zijn grote batterijen nodig. Door de verkrijgbaarheid is er gekozen om twee autoaccus te gebruiken.

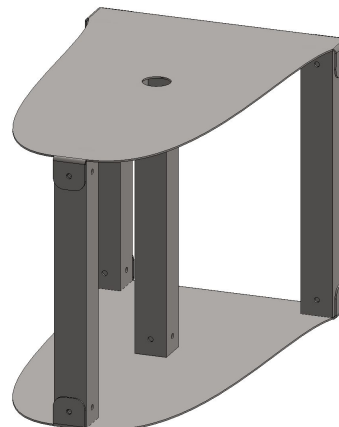


Figuur 9.1: Afmetingen A14 Varta 40Ah accu

Het originele concept was om het schietmechanisme boven op een vierkant platform met vijf steunpalen te plaatsen. In figuur 9.2 is de vierkante basis weergegeven, hoewel er voldoende ruimte moet zijn voor de batterijen speelt de basis een cruciale rol in de stabiliteit van het ontwerp. De middelste poot draagt een groot deel van het gewicht een voorkomt doorbuiging van het grote stuk plaatmetaal. Het probleem is dat dit concept erg veel en inefficiënt gebruik maakt van plaatmetaal. In het onderstaande figuur wordt het verschil van de hoeveelheid gebruikt plaatmetaal afgebeeld.

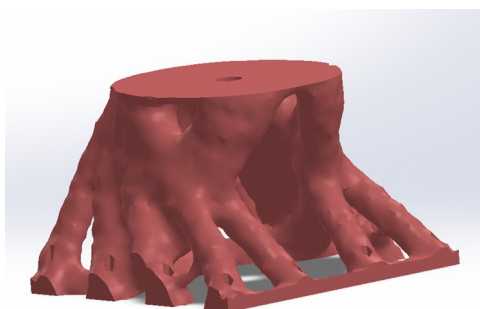


Figuur 9.2: referentie



Figuur 9.3: Nieuw profiel

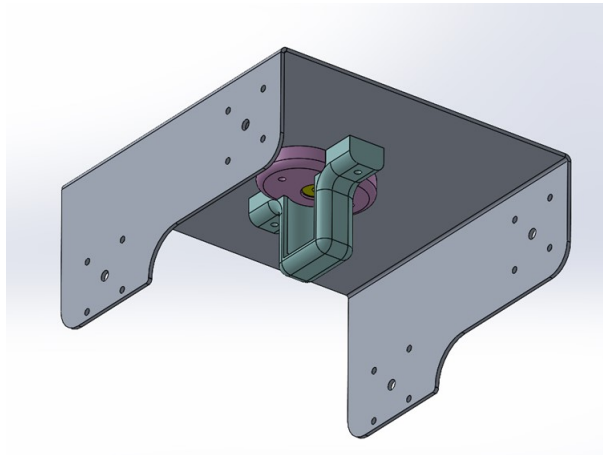
Aangezien het afvuurmechanisme niet veel laterale schokken geeft, is de breedte van de basis erg verkleind. Door bijna een halvering aan gebruikt plaatstaal is dit onderdeel noemenswaardig verduurzaamt.



Figuur 9.4: Afmetingen A14 Varta 40Ah accu

Alsnog is er besloten dat dit ontwerp te veel materiaal onnodig gebruikte en is topologie optimalisatie nogmaals toegepast. Uit de sterkteanalyse van solidworks is geconcludeerd dat de aanzienlijke oppervlakte plaatmetaal vervangen kan worden met een 3D geprinte basis.

Verder moest er ook worden nagedacht over hoe de motoren vast gemaakt zouden worden. De oplossing die daaruit kwam was het integreren van een motor bakje die onder de platen komen te staan. De bracket staat hieronder aangeven.



Figuur 9.5: Kleine bak met het rotatiesysteem

Deze bracket zorgt er dan voor dat de motor niet los komt te hangen maar tegen de randen van de bak aan- komt en dan stabiel blijft liggen. Ook hebben de motoren energie nodig. Die komt van de batterijen. die komen dan onderaan te liggen. Dit zorgt voor extra stabiliteit omdat de batterijen ook een gewicht van a 15kg hebben. Het ontwerp heeft voldoende steun op de grond bij het afschieten van de schijf.

10

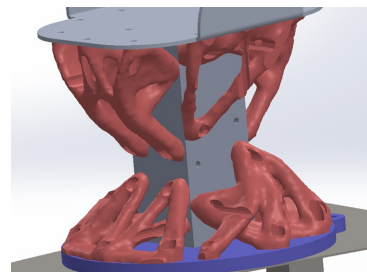
Conclusie

Voor de jaarlijkse ontwerpwedstrijd van het vak 'werktuigkundig ontwerpproject' was dit jaar de uitdaging om een precisieschijfwerper te ontwerpen. Om goed te presteren moet de schijfwerper negen schijven met hoge consistentie in drie verschillende bakken gooien. Naast het onderzoeksdoel om een goed presterende schijfwerper te maken, heeft het team besloten om ook te werken met duurzaamheid.

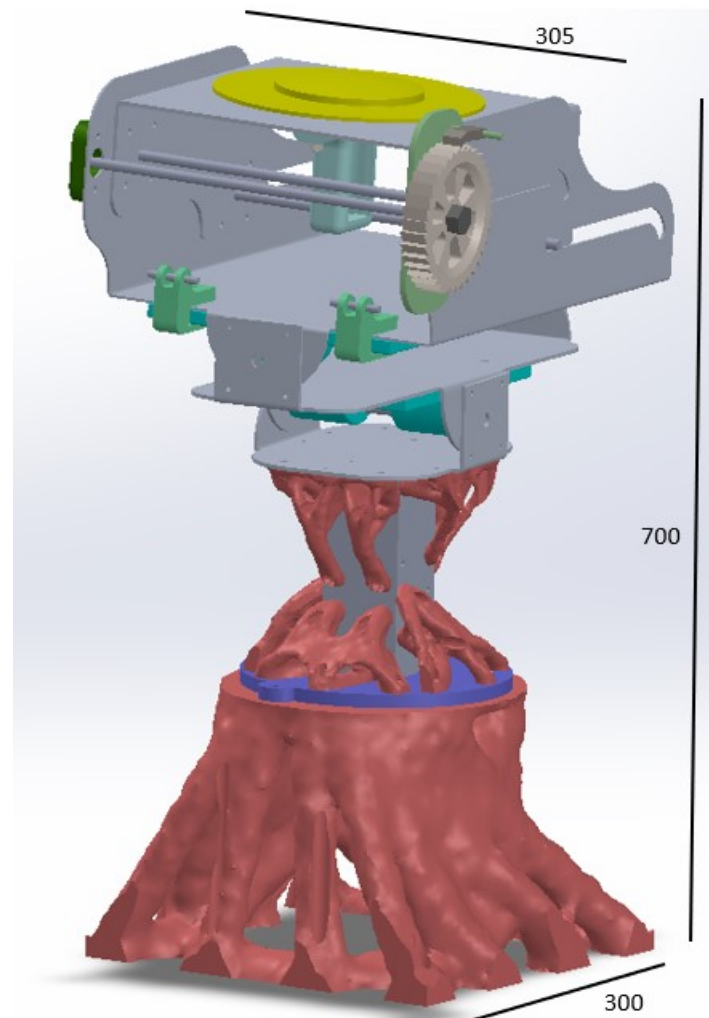
Het concept van de SBAM schiet de schijf af door middel van veerkracht. Richten wordt gedaan door middel van een gimball richtsysteem. Voor het roteren van het schiet mechanisme worden steppermotoren gebruikt om herhaalbare worpen te krijgen. De trigger is gemaakt door middel van een 3D geprint ratelmechanisme om de schiet snelheid te kunnen veranderen. De tafelpoten en het tafelblad zijn zo gemaakt zodat er zo efficiënt mogelijk gebruik gemaakt kan worden om de stroombron en elektronica in te plaatsen. De schijf krijgt zijn rotatie door middel van een roterend plateau aangedreven door een DC motor. De SBAM bestaat voor het grootste deel uit plaat staal wat zorgt voor een hoge stijfheid in de stijfheid in de schijfwerper. De rest van de schijfwerper bestaat uit stalen profielen en 3D geprinte onderdelen.

Het tweede onderzoeksdoel in het rapport was duurzaamheid. Om duurzaam te ontwerpen is het concept eco design toegepast, dit is bijvoorbeeld terug te zien in de materiaal besparing. Door toepassing van topology optimization is de basis van het concept erg sterk geworden zonder overbodig materiaalgebruik. Verder is in elk onderdeel van het ontwerpproces gedacht aan duurzaamheid, waardoor het eindproduct met weinig moeite in zijn geheel gedomonteerd en gerecycled kan worden. Voor deze redenen is het doel om de natuur zo min mogelijk te belasten geslaagd.

Het nadeel van het concept is de complexiteit. Door de hoge complexiteit zijn het werkend krijgen van het concept mogelijk moeilijker dan bij de simpelere concepten. Echter biedt deze hoge complexiteit wel veel mogelijkheden voor de prestatie van de schijfwerper.



Figuur 10.1: Topologie optimalisatie close up



Figuur 10.2: Uiteindelijk ontwerp

Wat eventueel verbeterd kan worden in de toekomst het totale gewicht van de plaatstalen onderdelen. Niet alle plaatstalen onderdelen worden even zwaar belast waardoor een gedeelte van het gebruikte materiaal overbodig is. Veel van het overbodige materiaal kan weg gesneden worden door middel van een lasersnijder om zo het totale gewicht van de precisieschijfwerper te verminderen. Een lager totaal gewicht zal voor mogelijk een betere prestatie maar ook tot een lagere totale kosten zorgen.

Appendices

A

Python

****This page is intentionally left blank****

```

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
from matplotlib.patches import Rectangle
from matplotlib.collections import PatchCollection

#ingewonnen info over drag op schijf voor 10m/s
degree = np.array([0,5,10,15,20,25,30,35,40])
lift = np.array([0,0.192,0.390,0.584,0.710,0.726,0.648,0.517,0.279])
dragx = np.array([0.320,0.359,0.505,0.762,1.121,1.521,1.906,2.298,2.639])

def model_f(x,f,g,h,i,j,k):
    return f*(x**5)+g*(x**4)+h*(x**3)+i*(x**2)+j*(x**1)+k

fitwaardenlift,pcovlift = curve_fit(model_f, degree, lift)
fitwaardendrag,pcovdrag = curve_fit(model_f, degree, dragx)

degreetest = np.arange(0, 40, 0.01)
plt.figure()
plt.plot(degreetest,model_f(degreetest, *fitwaardenlift))
plt.plot(degreetest,model_f(degreetest, *fitwaardendrag))
plt.show

#formules voor lift & drag hebben kwadratisch verband met snelheid
# dus vergrotingsfactor in schietsnelheid ^2 * drag of lift is effectieve drag of lift

# aanpasbare Constantes

afvuurhoek = 15#afvuur hoek
C = 300 # Veerconstante in N/m
u = 0.20 # Uittrekking veer in m
m = 0.125 # Massa van schijf in Kg
y0 = 0.4 # Beginpositie hoogte in m

#Niet aanpasbare constantes
alpha =afvuurhoek * np.pi / 180 #afvuur hoek in radialen voor functies
C_wrijving = 0.22 # Statisch wrijvingscoefficient staal op staal worstcase scenario
G = 9.81 # Gravitatieconstante in m/s^2
Ax = (0.24*0.004) #m^2
Cx = 0.6 #ongeveer
Ay = 0.0357356164 #m^2
Cy = 0.6 #ongeveer

x0 = 0 # Beginpositie in m

v0 = 0 # Beginssnelheid in m/s

dt = 0.0001 # Tijdsstap in seconden
t_end = 15 # Maximale tijdsduur in seconden

t = np.arange(0, t_end, dt)
t2 = np.arange(0, t_end, dt)
x = np.zeros_like(t)
y = np.zeros_like(t)
v = np.zeros_like(t)
vy = np.zeros_like(t)
a = np.zeros_like(t)
ay = np.zeros_like(t)
xflight = np.zeros_like(t)
vxflight = np.zeros_like(t)
axflight = np.zeros_like(t)

```

Figuur A.1: Python script eerste deel

```

for i in range(len(t)):
    # Bereken nettokracht
    x_i = x[i-1] if i > 0 else x0 # volgende positie in m
    v_i = v[i-1] if i > 0 else v0 # volgende snelheid in m/s
    F_veer = C * (u - x_i) # Veerkracht
    F_wrijving = -1 * C_wrijving * m * G # wrijvingskracht
    F_wlx = 0.5 * 1.2 * Ax * Cx * v_i**2
    F_netx = F_veer + F_wrijving - F_wlx # Nettokracht

    # Bereken versnelling
    a_i = F_netx / m

    # Update positie, snelheid en versnelling
    x[i] = x_i + v_i * dt + 0.5 * a_i * dt**2
    v[i] = v_i + a_i * dt
    a[i] = a_i

    # endcondition bij veer uitrekking maximaal
    if x[i] >= u:
        break

#bereken tussentijds de verticale snelheid van de schijf dmv maximale snelheid schijf tijdens afvuren
vy0 = max(v)*np.sin(alpha) # Beginssnelheid in m/s
#v[i]*np.sin(alpha)
for i in range(len(t2)):
    # Bereken nettokracht

    y_i = y[i-1] if i > np.argmax(x) else y0 + 0.5*x[i]*np.sin(alpha) # volgende positie in m
    vy_i = vy[i-1] if i > np.argmax(x) else v[i]*np.sin(alpha) # volgende snelheid in m/s
    xflight_i = xflight[i-1] if i > np.argmax(x) else x[i]*np.cos(alpha) # volgende positie in m
    vxflight_i = vxflight[i-1] if i > np.argmax(x) else v[i]*np.cos(alpha) # volgende snelheid in m/s
    F_gravitatie = -G * m # zwaartekracht
    F_wly = 0.5 * 1.2 * Ay * Cy * vy_i**2 # luchtweerstand schijf y richting
    F_lift_y = model_f(alpha, *fitwaardenlift) * ((vxflight_i/10)**2)
    F_wlxflight = model_f(alpha, *fitwaardendrag) * ((vxflight_i/10)**2) #luchtweerstand schijf x richting

    F_nety = F_wly + F_gravitatie + F_lift_y #nettokracht y richting
    F_netxflight = - F_wlxflight #nettokracht x richting
    # Bereken versnelling
    a_iy = F_nety / m if i > np.argmax(x) else 0
    a_ixflight = F_netxflight / m if i > np.argmax(x) else a[i]
    # Update positie, snelheid en versnelling
    y[i] = y_i + vy_i * dt + 0.5 * a_iy * dt**2
    vy[i] = vy_i + a_iy * dt
    ay[i] = a_iy
    xflight[i] = xflight_i + vxflight_i * dt + 0.5 * a_ixflight * dt**2
    vxflight[i] = vxflight_i + a_ixflight * dt
    axflight[i] = a_ixflight

    # endcondition bij veer uitrekking maximaal
    if y[i] <= 0:
        break

xtrajectory = np.concatenate((xflight,))
print (len(x))
print (len(t))
print (np.max(x))
print(np.argmax(x))
print (len(x))
print (len(t))
print (np.max(x))
print(np.argmax(x))

```

Figuur A.2: Python script tweede deel

```

# Plot resultaten 1
fig, ax = plt.subplots(1,4, figsize=(20,10))
ax[0].plot(t, x, 'r', label='Positie x')
ax[0].legend()
ax[0].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[0].set_ylabel("Afstand (m)")
ax[0].grid()
ax[0].set_title("Positie x tegenover Tijd")
ax[0].set(xlim=(0, t[np.argmax(x)-1]), ylim=(0, max(x)))
ax[1].plot(t[1:], v[1:], 'g', label='Snelheid x')
ax[1].legend()
ax[1].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[1].set_ylabel("Snelheid (m/s)")
ax[1].grid()
ax[1].set_title("Snelheid x tegenover Tijd")
ax[1].set(xlim=(0, t[np.argmax(x)-1]), ylim=(0, max(v)))
ax[2].plot(t[1:], a[1:], 'r', label='versnelling x')
ax[2].legend()
ax[2].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[2].set_ylabel("versnelling (m/s^2)")
ax[2].grid()
ax[2].set_title("versnelling x tegenover Tijd")
ax[2].set(xlim=(0, t[np.argmax(x)-1]), ylim=(0, max(a)))
ax[3].plot(x[0:np.argmax(x)], v[0:np.argmax(x)], 'c', label='Snelheid x')
ax[3].legend()
ax[3].set_xlabel("Positie x (m)")
ax[3].set_ylabel("Snelheid x (m/s)")
ax[3].grid()
ax[3].set_title("Snelheid x tegenover positie x")
ax[3].set(xlim=(0, x[np.argmax(x)-1]), ylim=(0, max(v)))

# Plot resultaten 2
fig, ax = plt.subplots(1,4, figsize=(20,10))
ax[0].plot(t2, y, 'r', label='Positie y')
ax[0].legend()
ax[0].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[0].set_ylabel("Hoogte y (m)")
ax[0].grid()
ax[0].set_title("Positie y tegenover Tijd")
ax[0].set(xlim = (0, t2[np.argmax(y)]), ylim=(min(y), max(y)+1))
ax[1].plot(t2, vy, 'g', label='Snelheid y ')
ax[1].legend()
ax[1].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[1].set_ylabel("Snelheid y (m/s)")
ax[1].grid()
ax[1].set_title("Snelheid y tegenover Tijd")
ax[1].set(xlim = (0, t2[np.argmax(vy)-1]), ylim=(min(vy), max(vy)+1))
ax[2].plot(t2, ay, 'r', label='versnelling y ')
ax[2].legend()
ax[2].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[2].set_ylabel("versnelling y (m/s^2)")
ax[2].grid()
ax[2].set_title("versnelling y tegenover Tijd")
ax[2].set(xlim = (0, t2[np.argmax(y)-1]), ylim=(-10,1))
ax[3].plot(xflight[0:np.argmax(y)-1], y[0:np.argmax(y)-1], 'c', label='Positie Schijf')
ax[3].legend()
ax[3].set_xlabel("Positie x (m)")
ax[3].set_ylabel("Positie y (m)")
ax[3].grid()
ax[3].set_title("Trajectory")

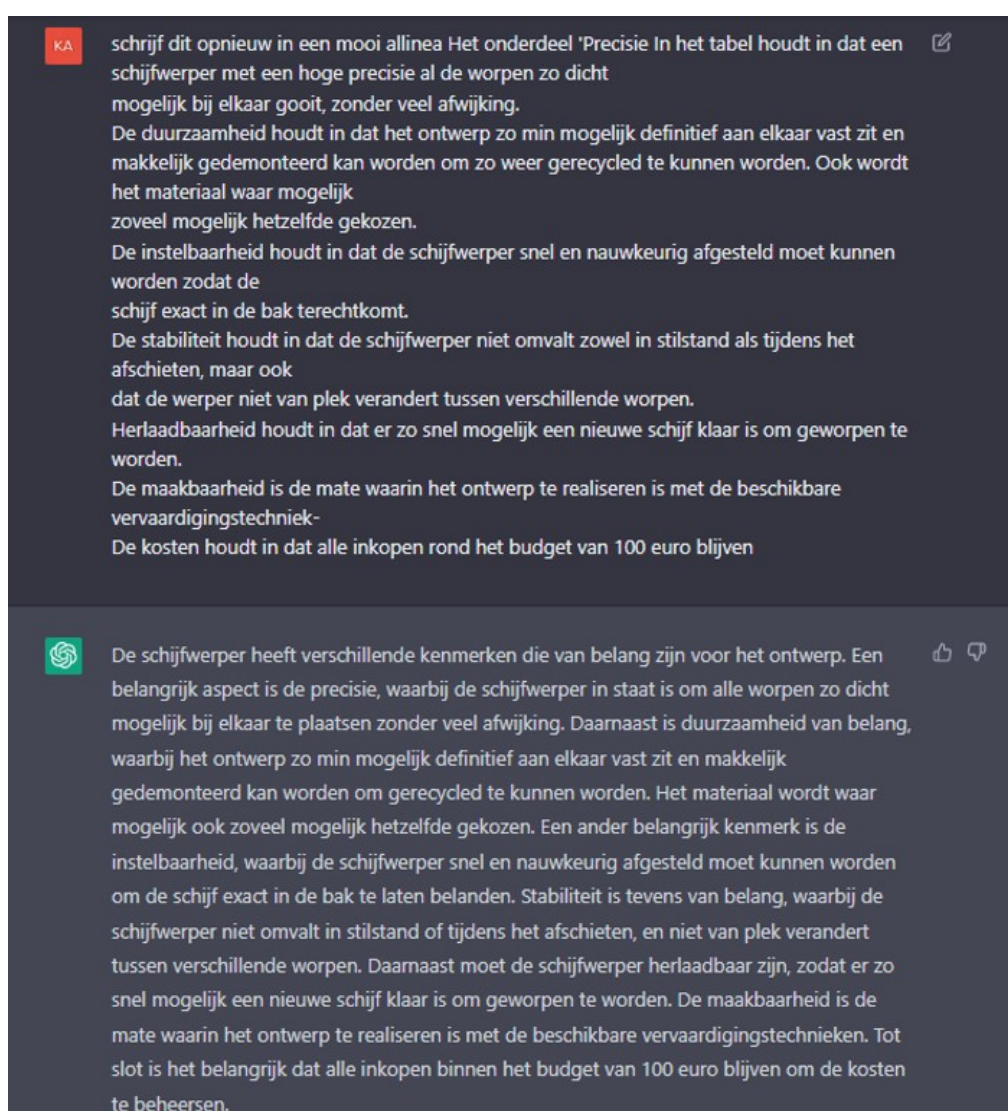
# Plot resultaten 3
fig, ax = plt.subplots(1,4, figsize=(20,10))
ax[0].plot(t2[0:np.argmax(y)-1], xflight[0:np.argmax(y)-1], 'r', label='Positie x totaal')
ax[0].legend()
ax[0].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[0].set_ylabel("Afstand (m)")
ax[0].grid()
ax[0].set_title("Positie x tegenover Tijd Totale Traject")
ax[0].set(xlim = (0, t2[np.argmax(y)]), ylim=(min(xflight), max(xflight)+1))
ax[1].plot(t2[0:np.argmax(y)-1], vxflight[0:np.argmax(y)-1], 'g', label='Snelheid x totaal ')
ax[1].legend()
ax[1].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[1].set_ylabel("Snelheid (m/s)")
ax[1].grid()
ax[1].set_title("Snelheid x tegenover Tijd Totale Traject")
ax[1].set(xlim = (0, t2[np.argmax(y)]), ylim=(min(vxflight), max(vxflight)+1))
ax[2].plot(t2[0:np.argmax(y)-1], axflight[0:np.argmax(y)-1], 'r', label='versnelling x totaal ')
ax[2].legend()
ax[2].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[2].set_ylabel("versnelling (m/s^2)")
ax[2].grid()
ax[2].set_title("versnelling x tegenover Tijd Totale Traject")
ax[2].set(xlim = (0, t2[np.argmax(y)]), ylim=(min(axflight), max(axflight)+1))
ax[3].plot(xflight[0:np.argmax(y)-1], vy[0:np.argmax(y)-1], 'g', label='Snelheid y ')
ax[3].legend()
ax[3].set_xlabel("Tijd (s)")
ax[3].set_ylabel("Snelheid y (m/s)")
ax[3].grid()
ax[3].set_title("Snelheid y tegenover Tijd")

```

Figuur A.3: Python script derde deel

B

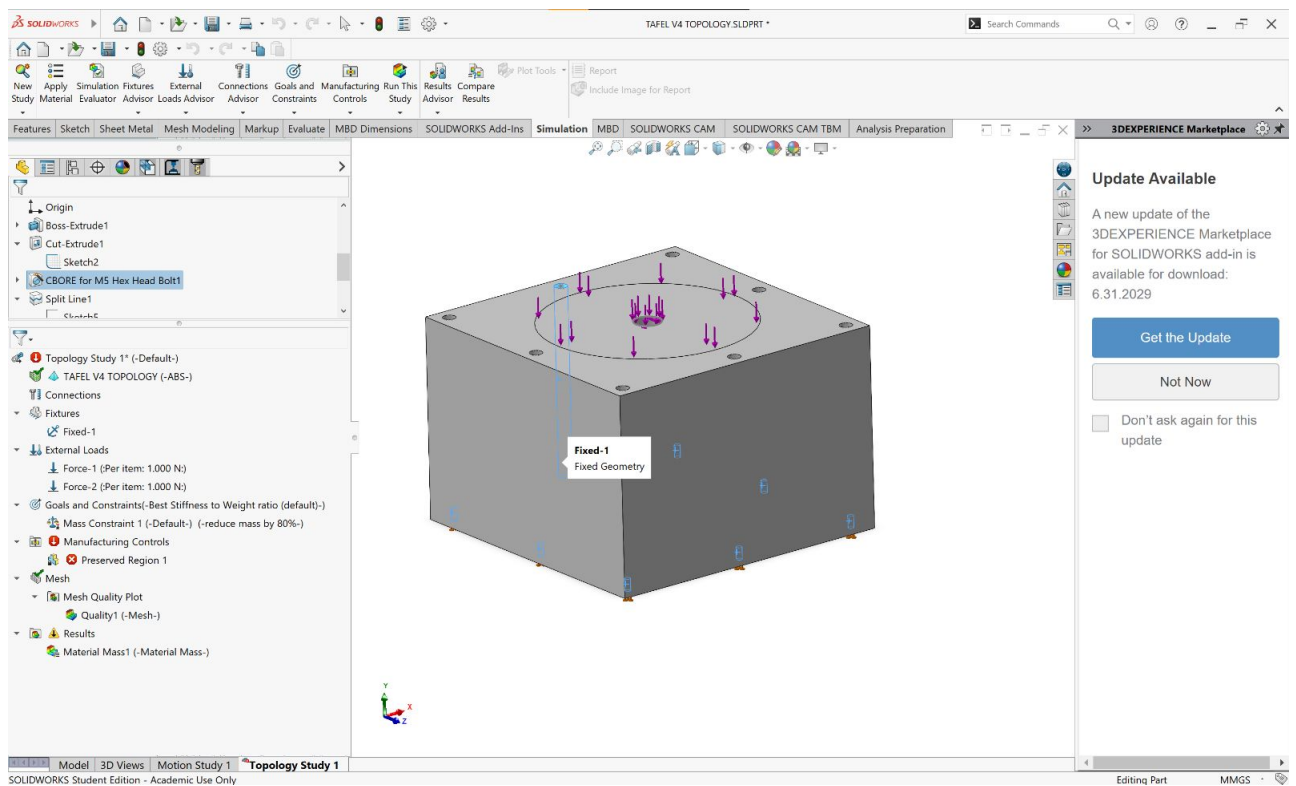
Chat gpt



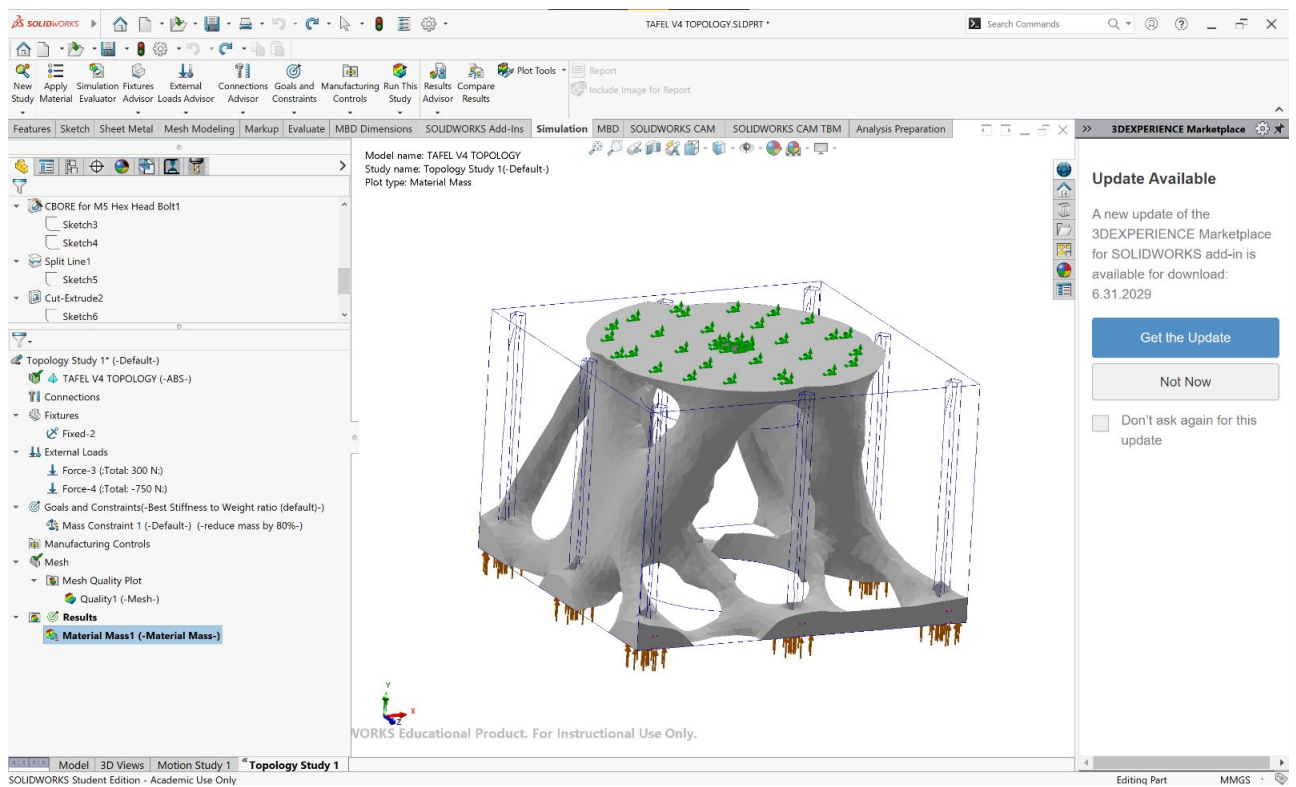
Figuur B.1: De tekst dat is gebruikt uit chat gpt voor verwachte prestatie van concepten.

C

Topology



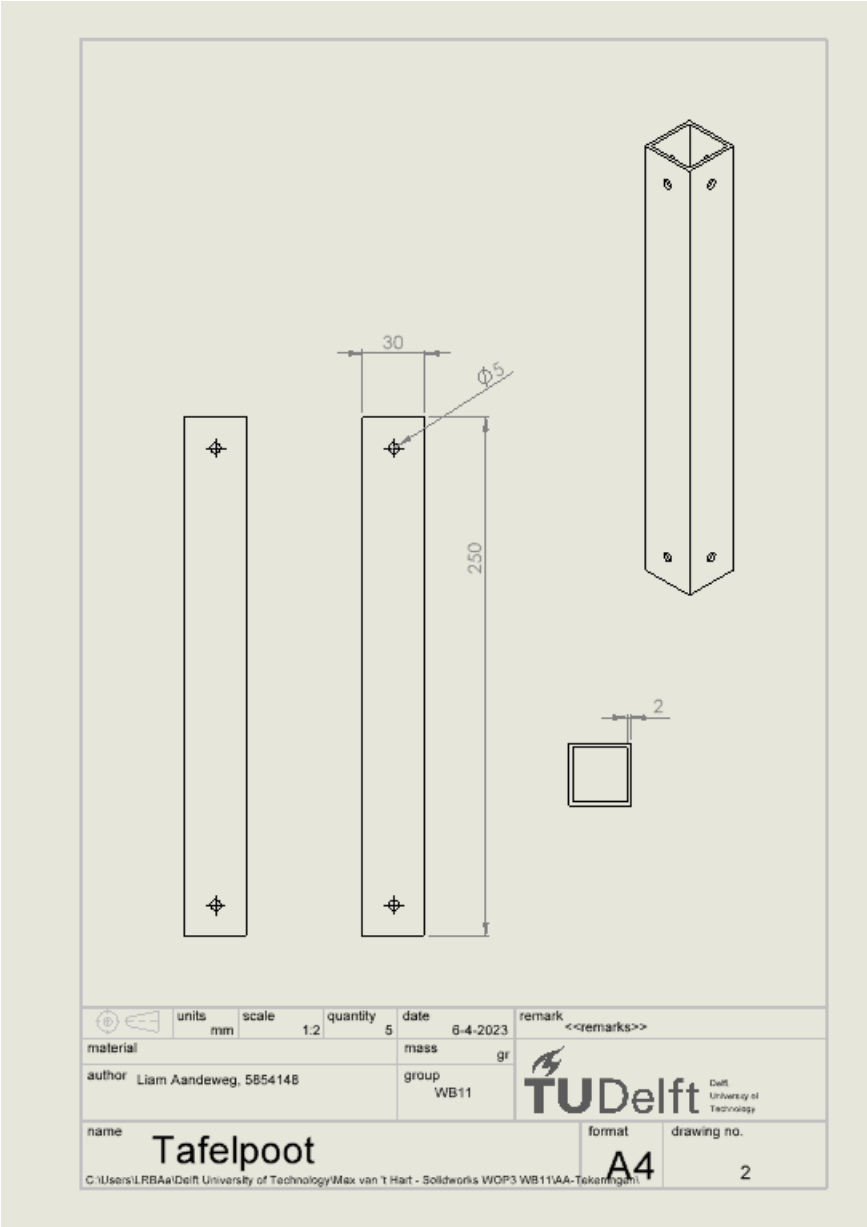
Figuur C.1: De simulatie van topology

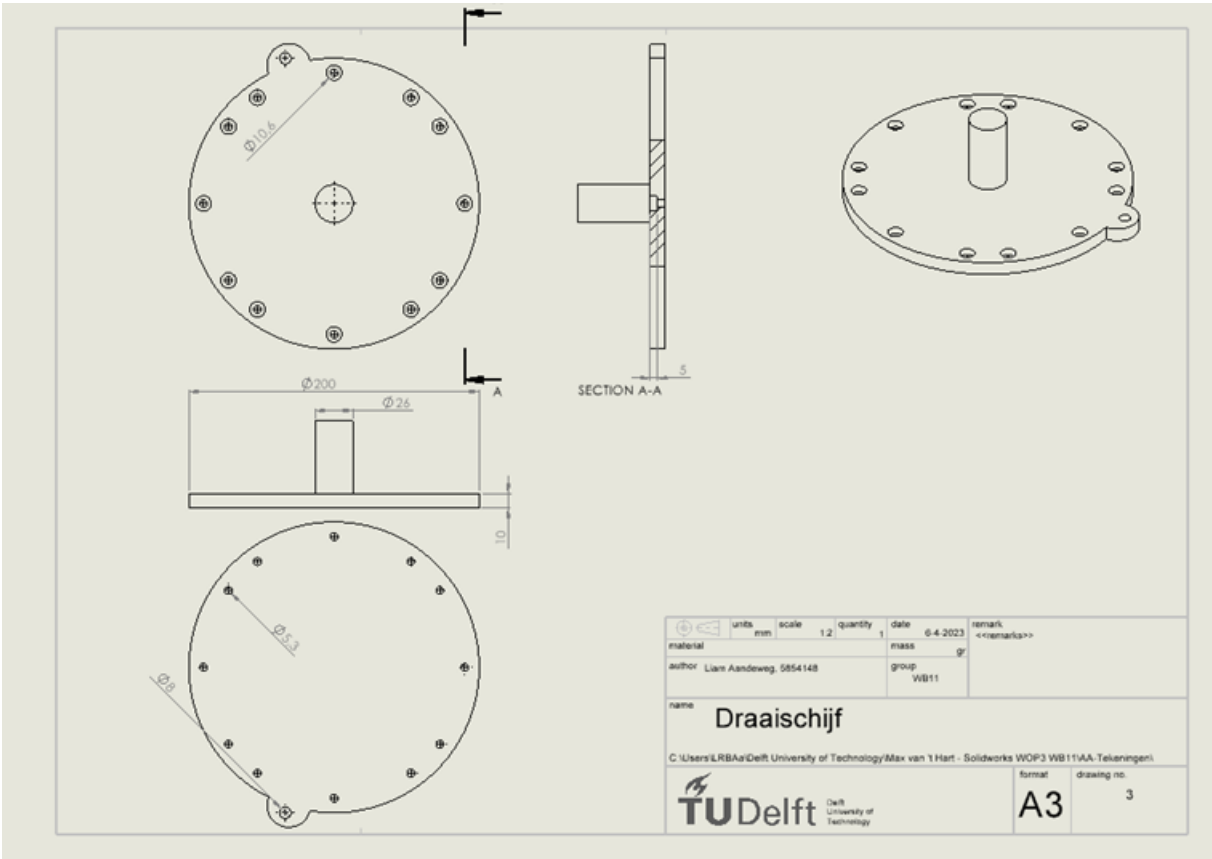


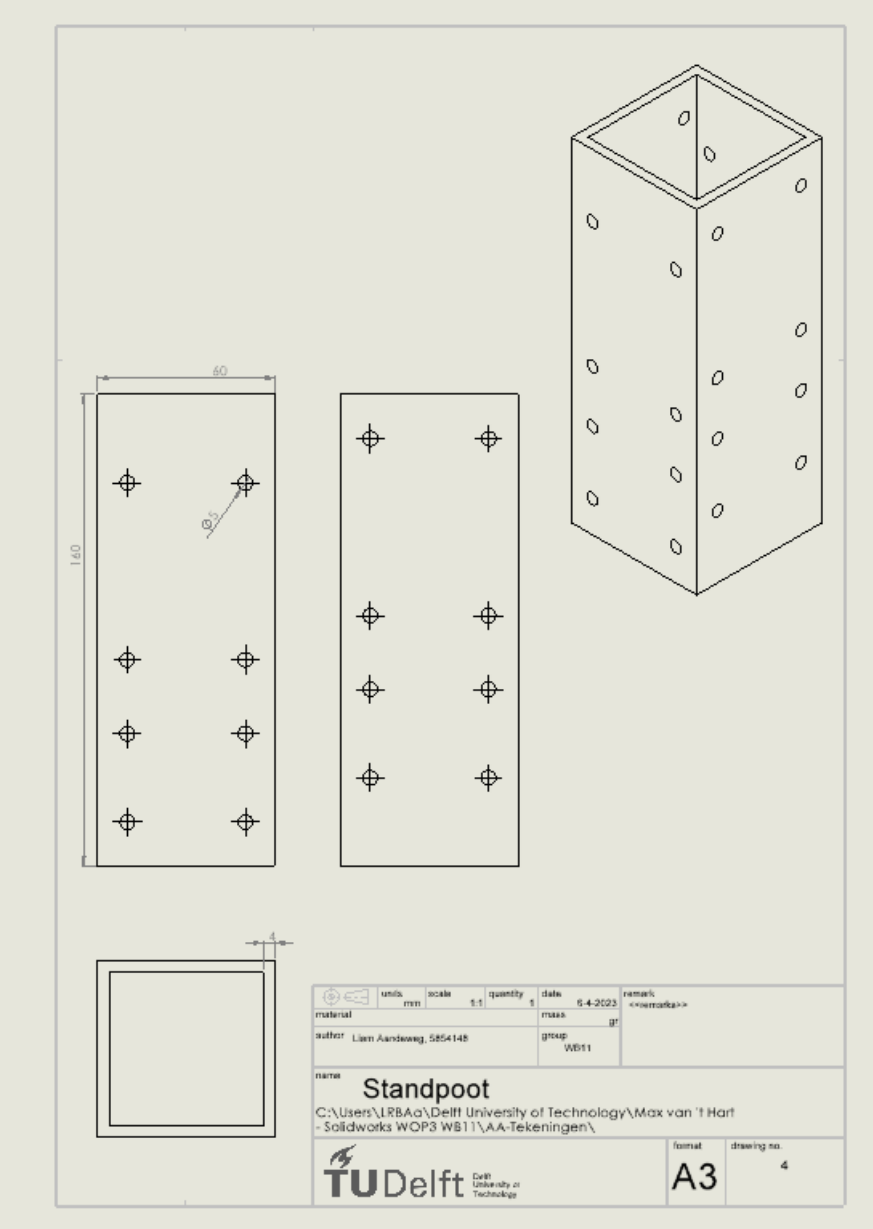
Figuur C.2: Eindproduct

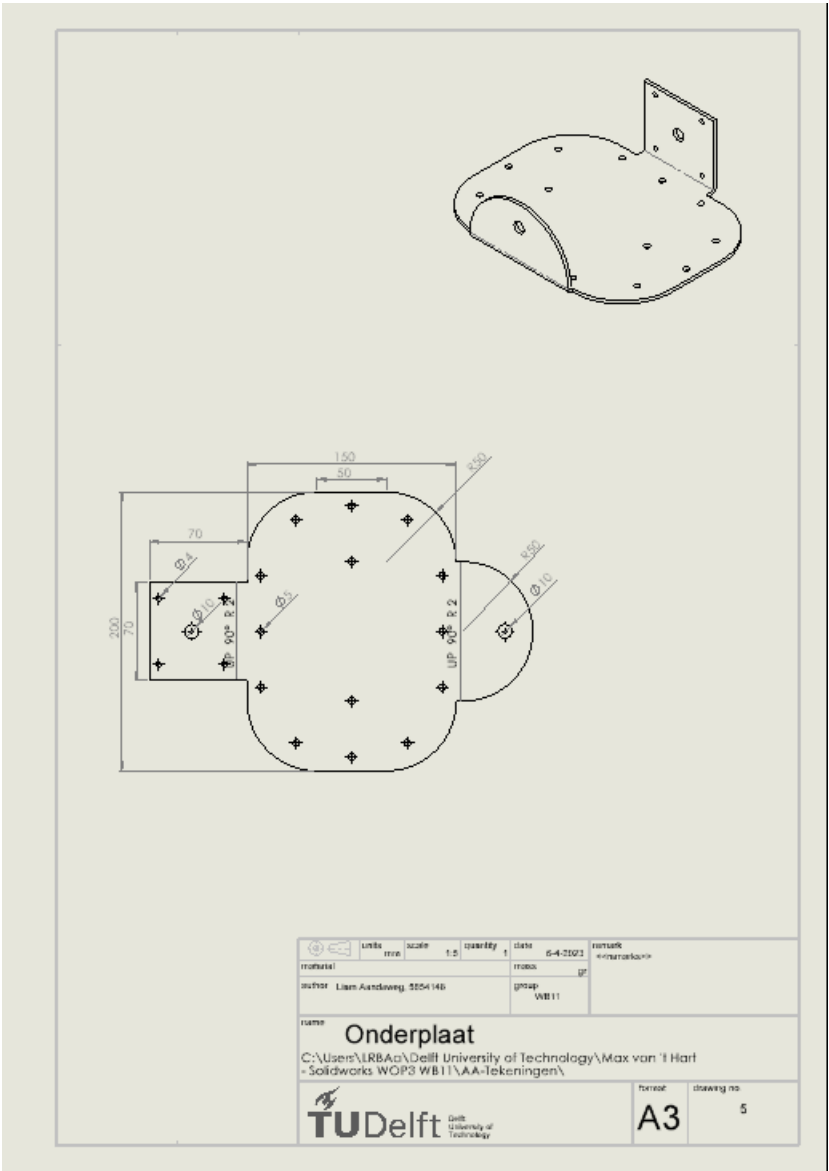
Technische tekeningen

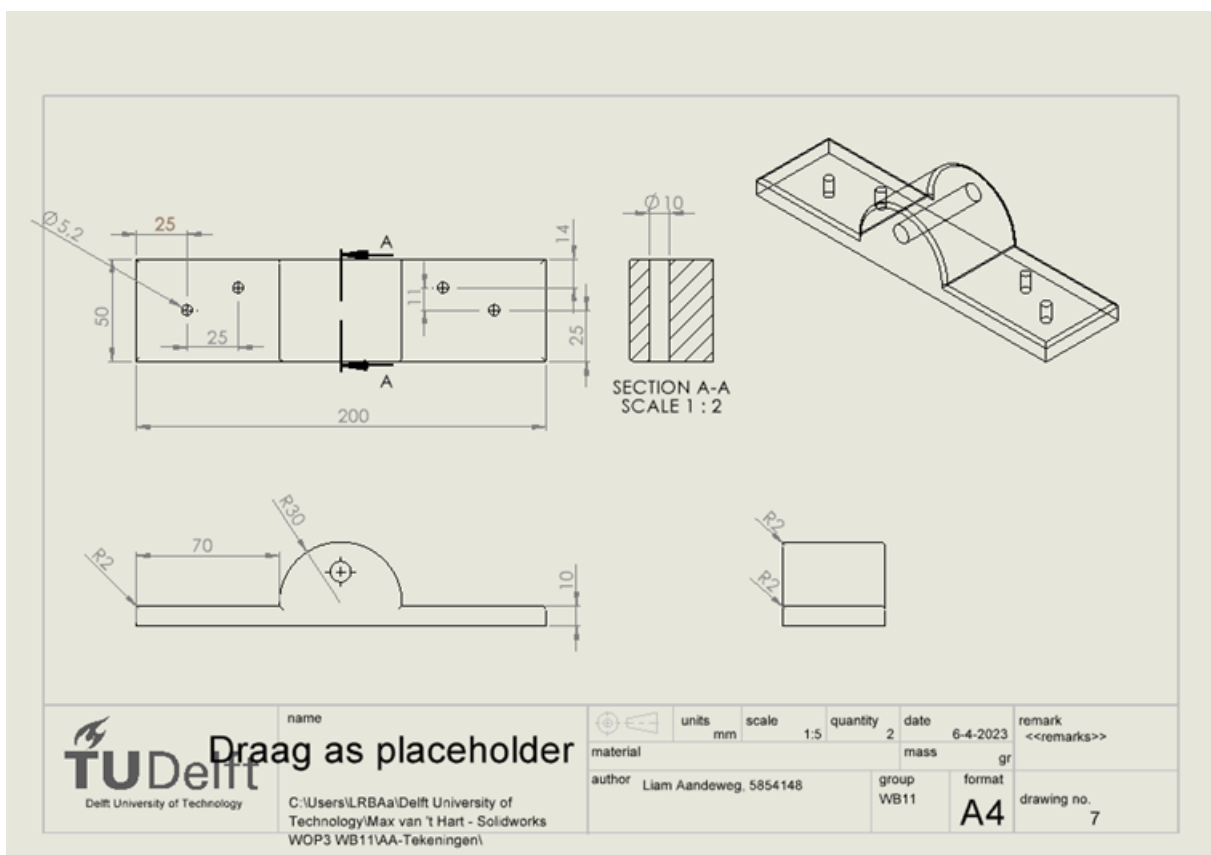
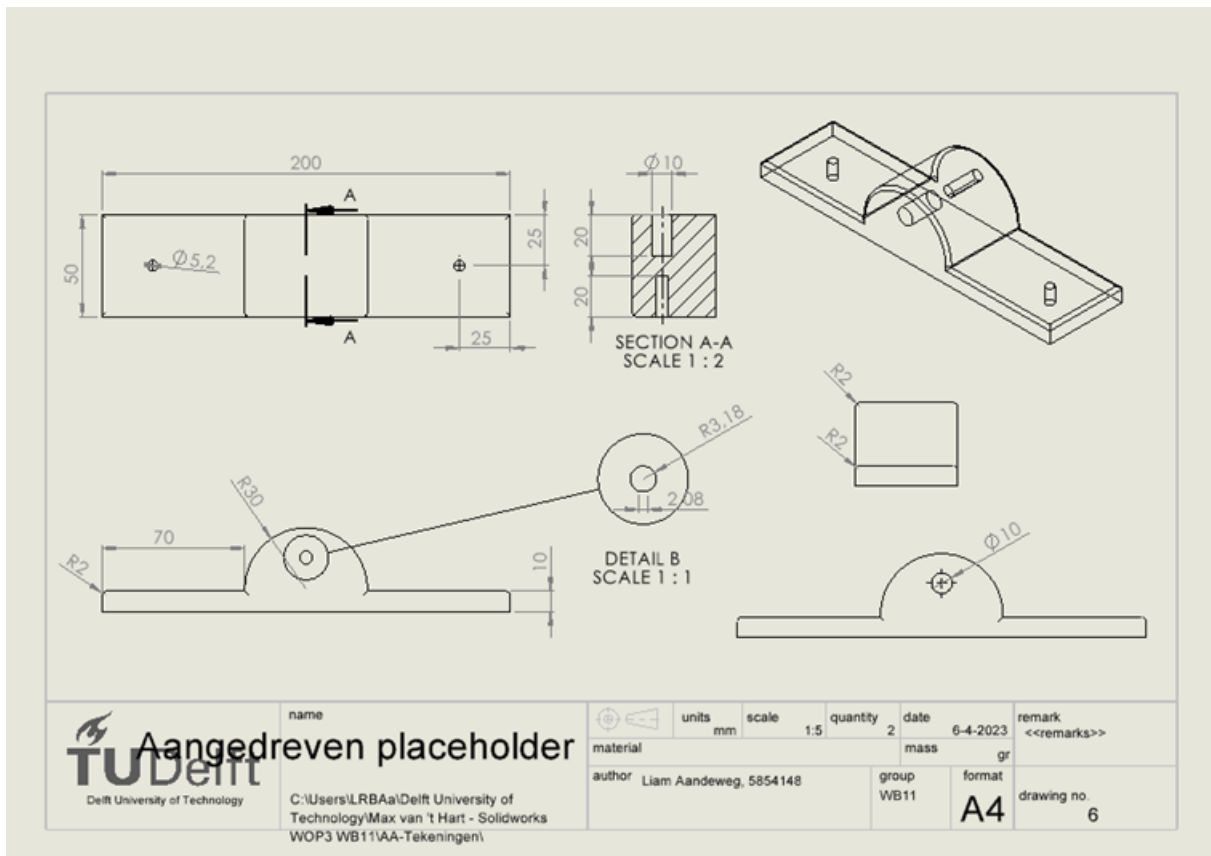


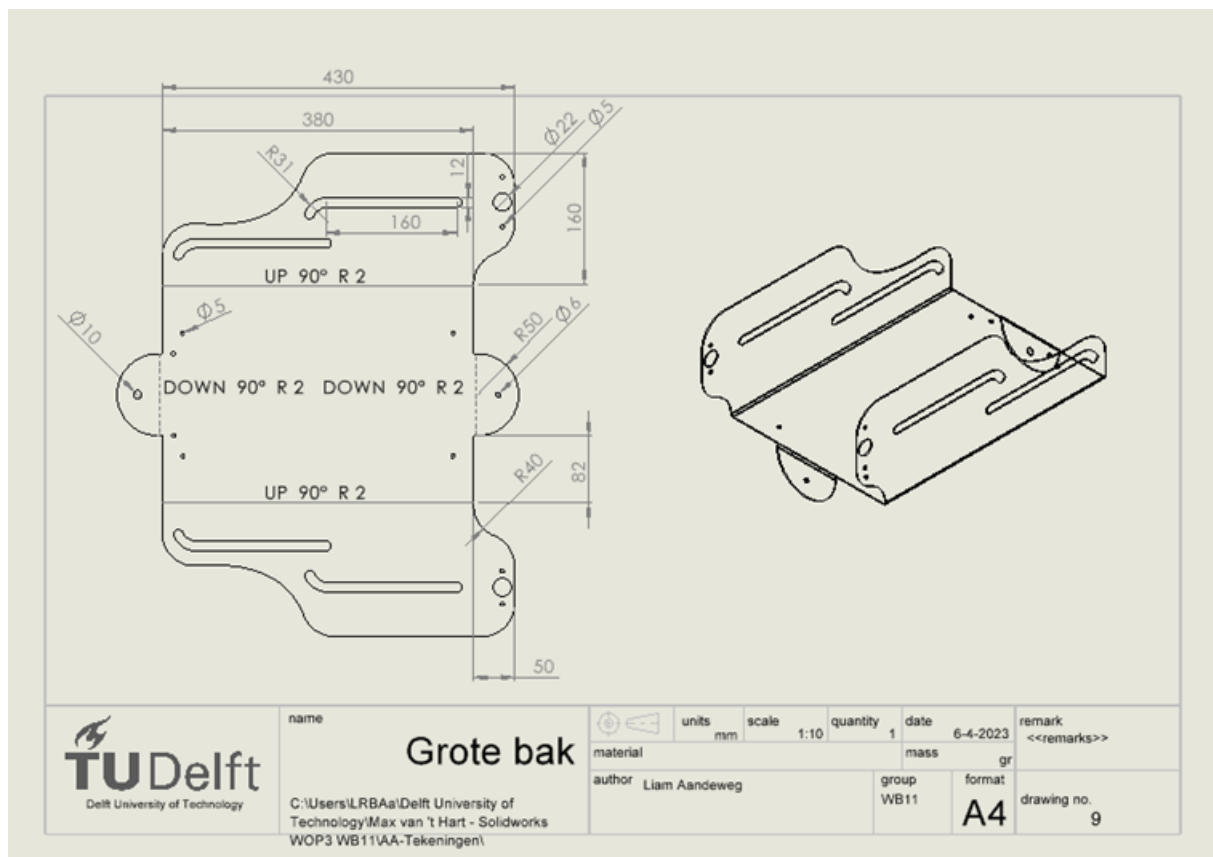
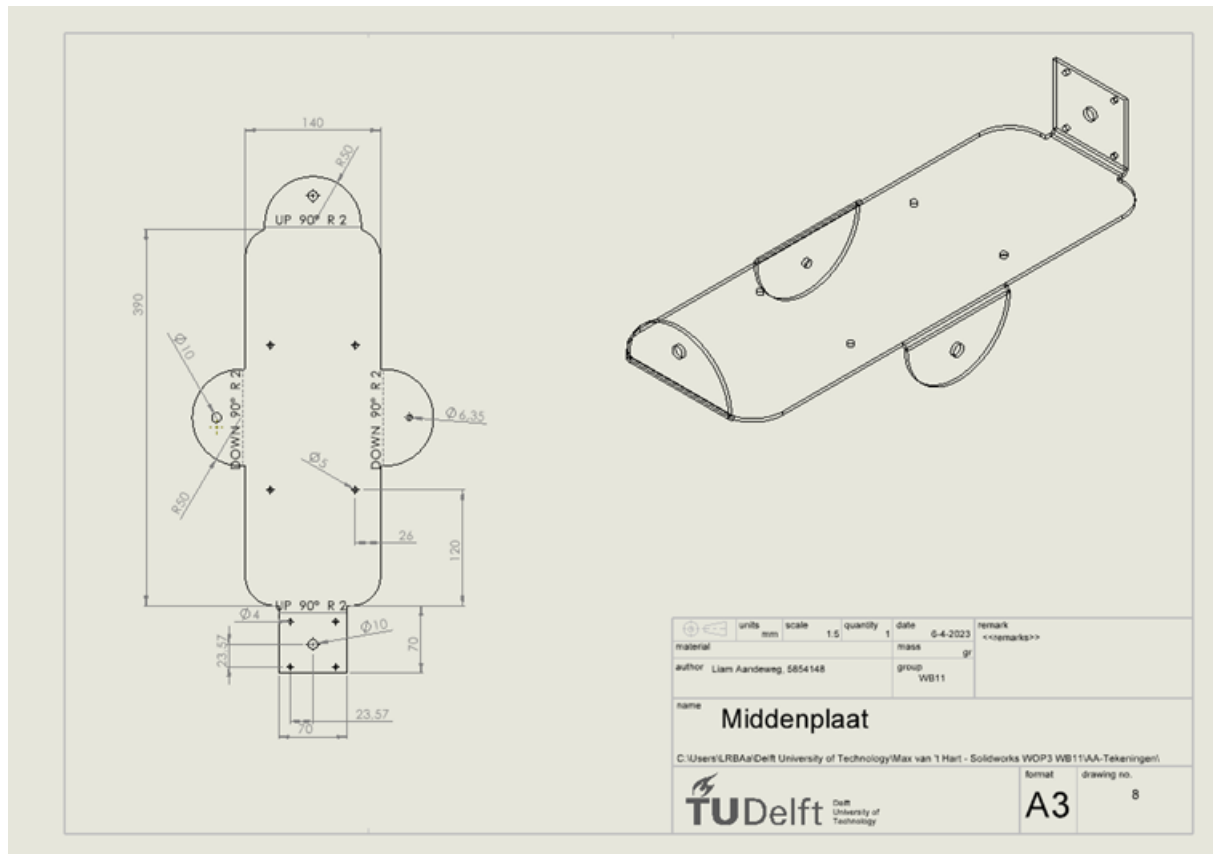


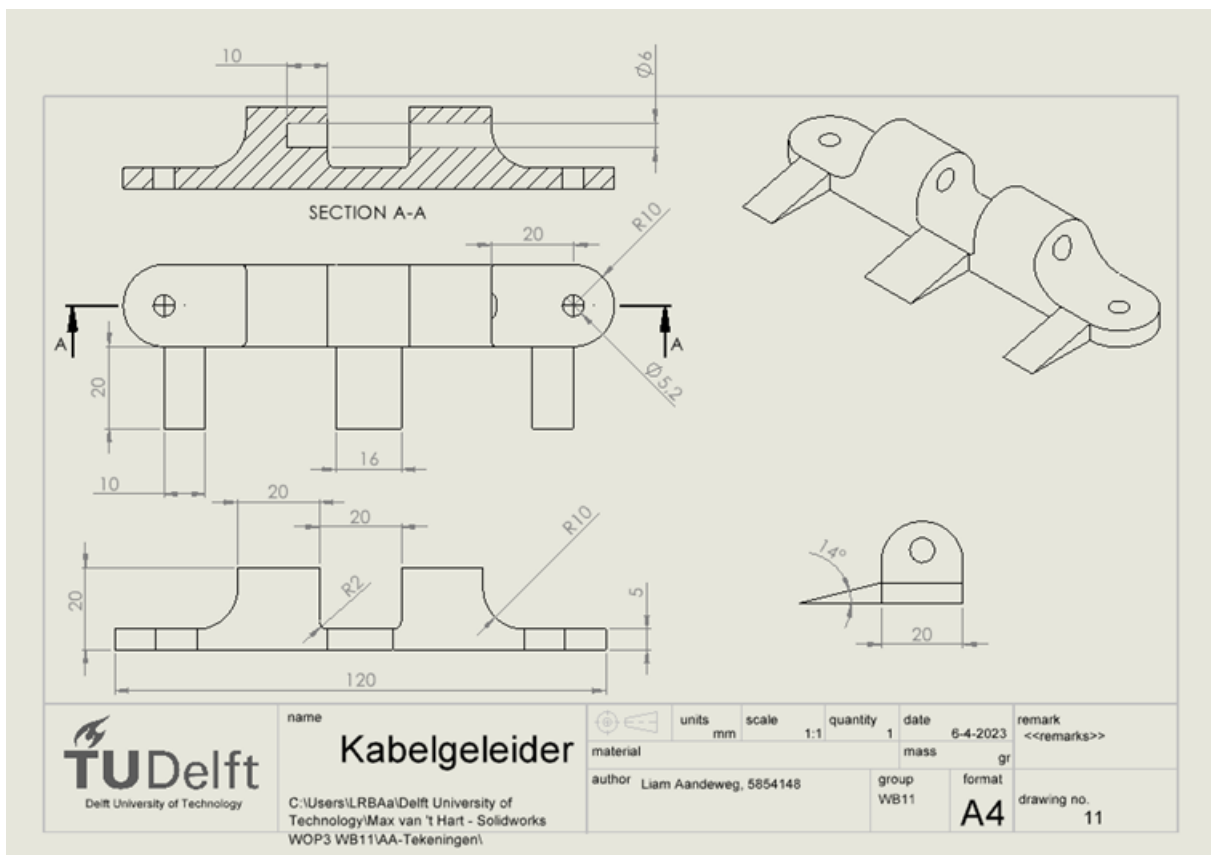
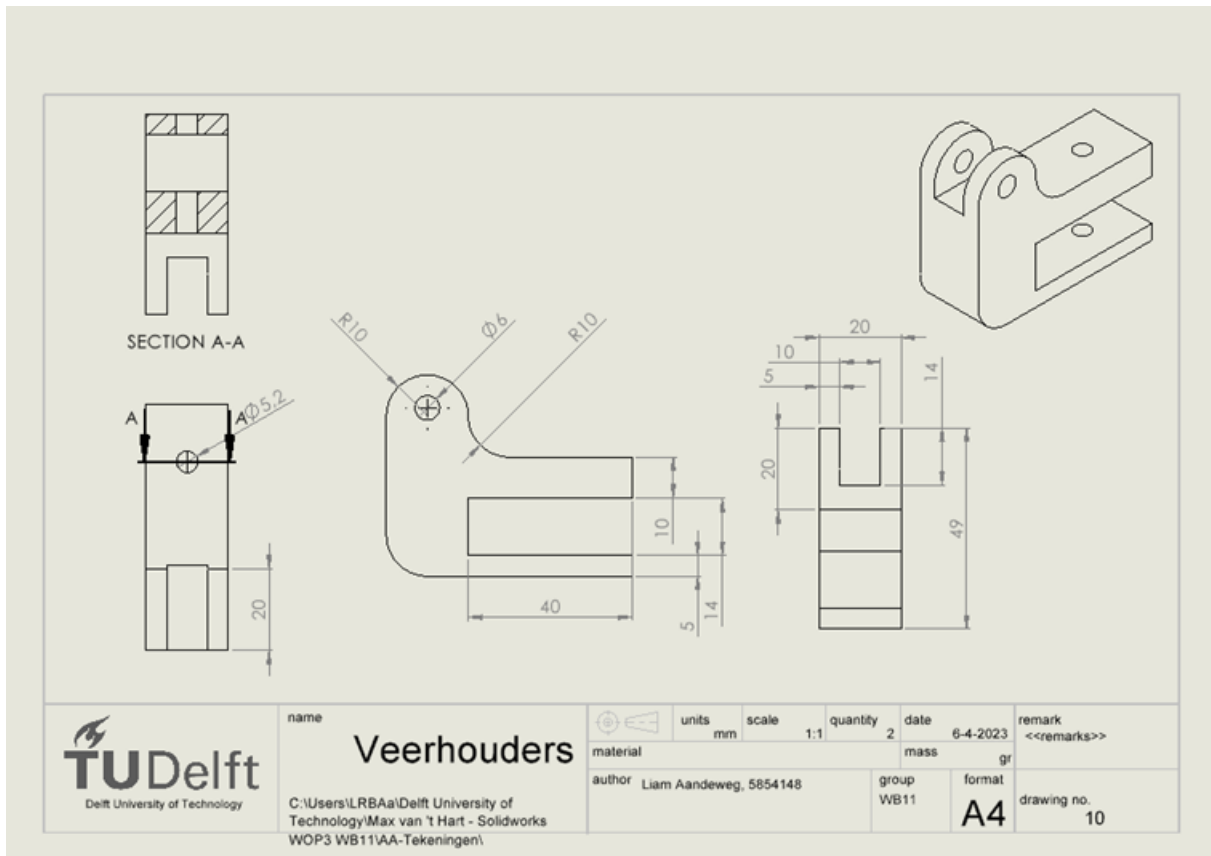


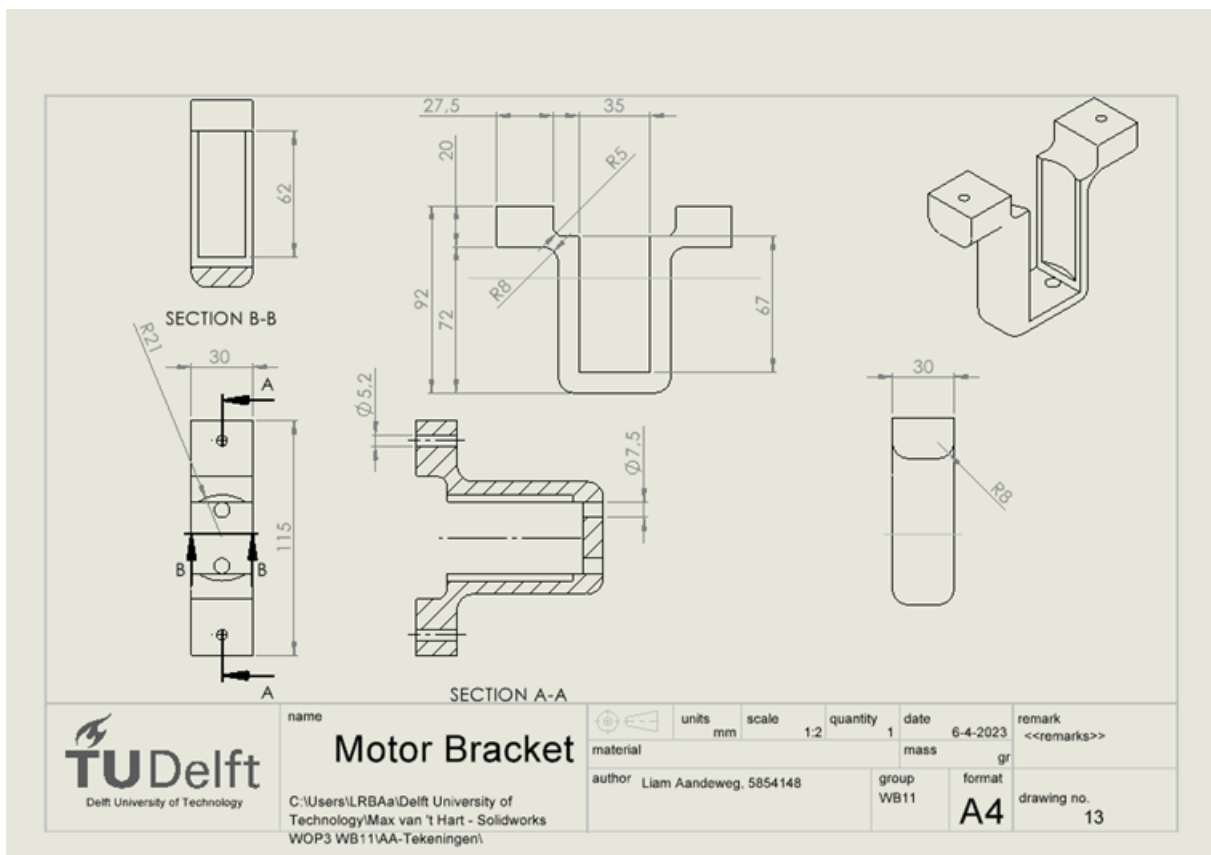
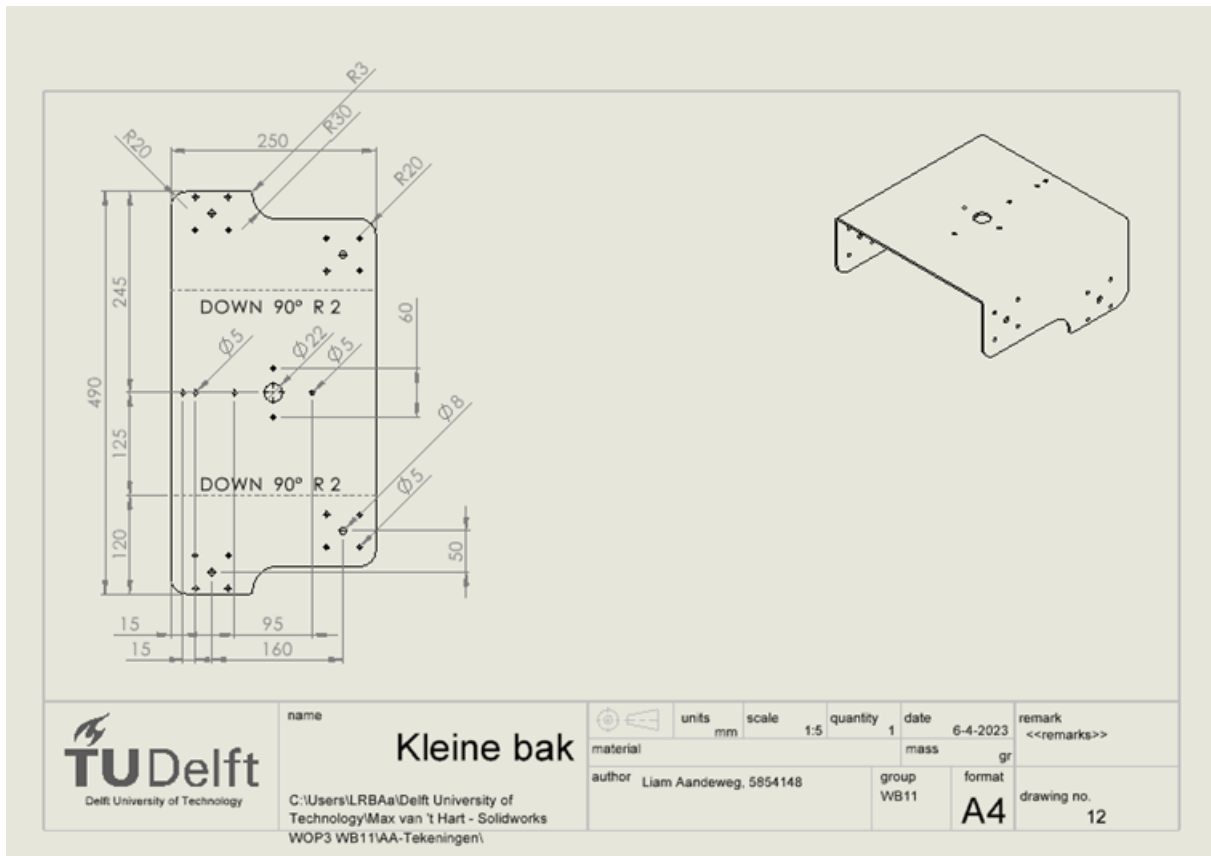


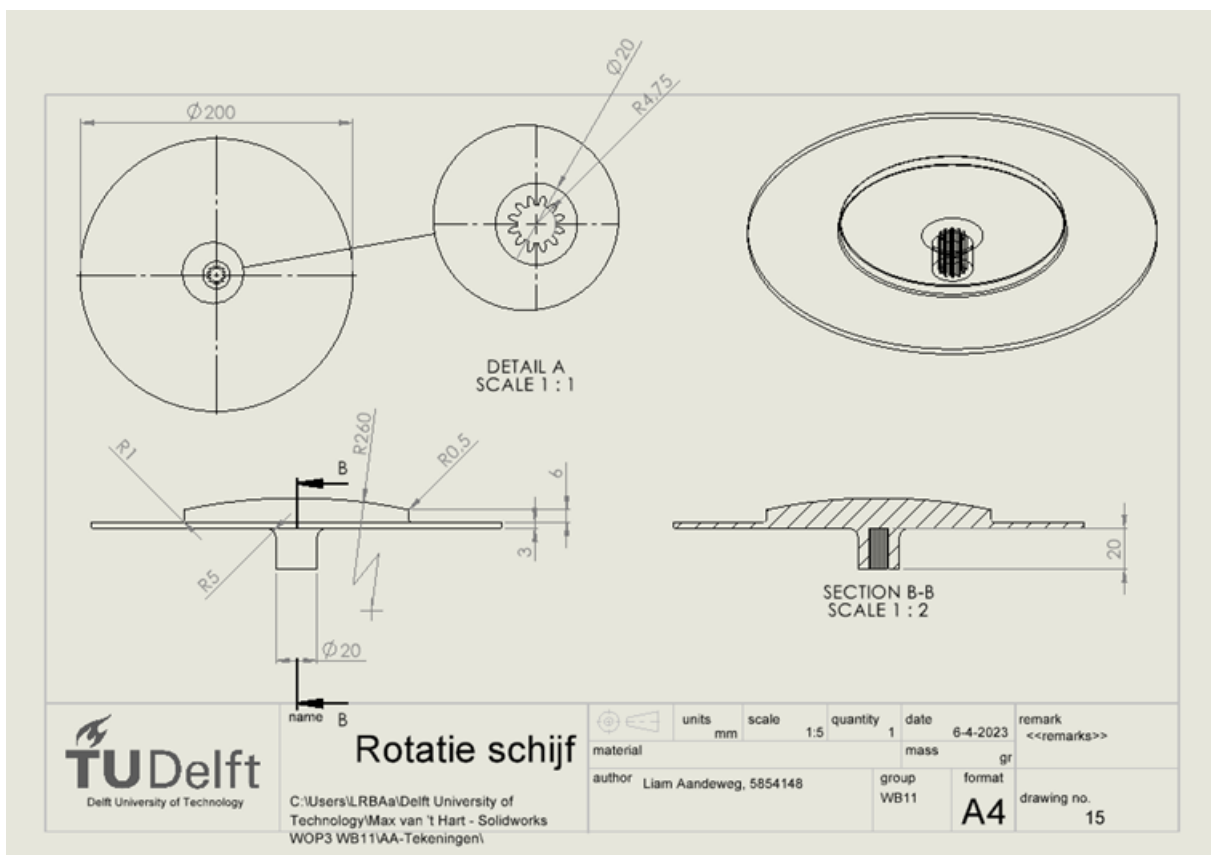
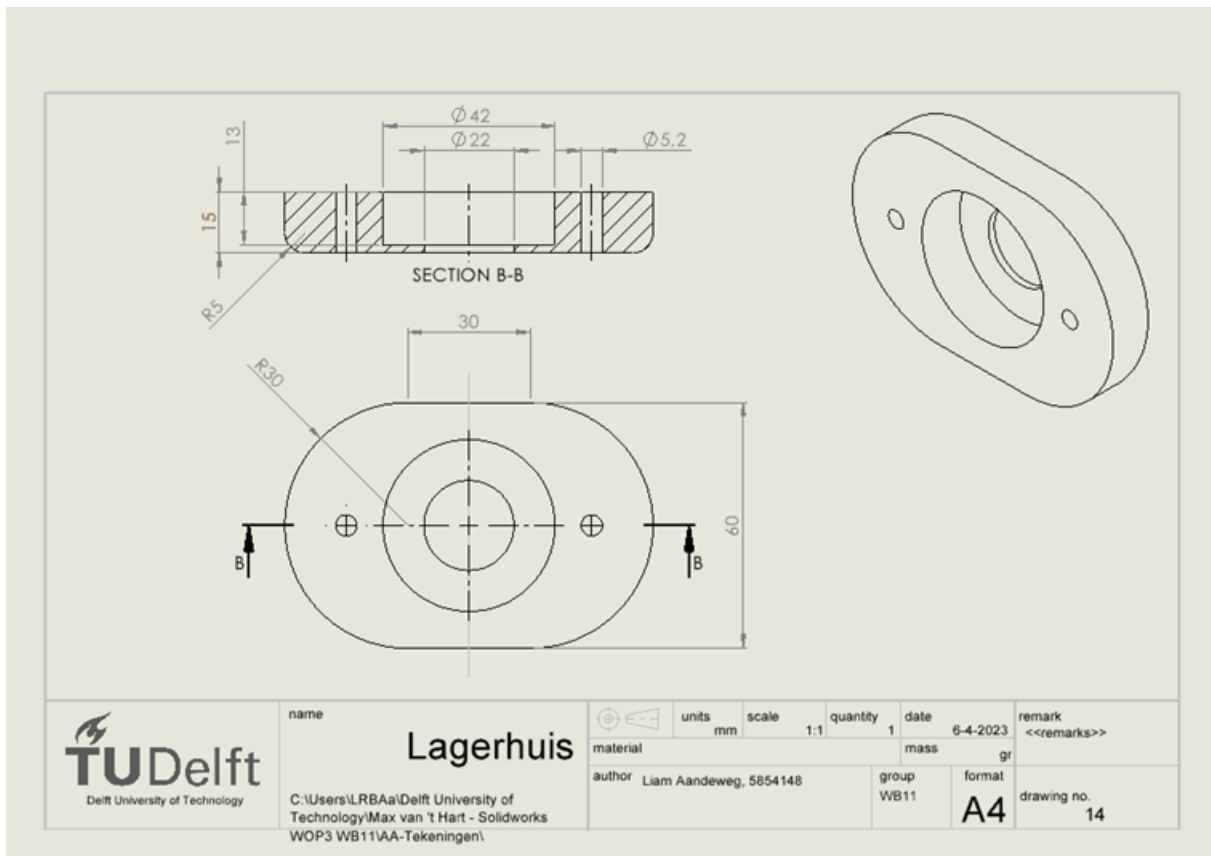


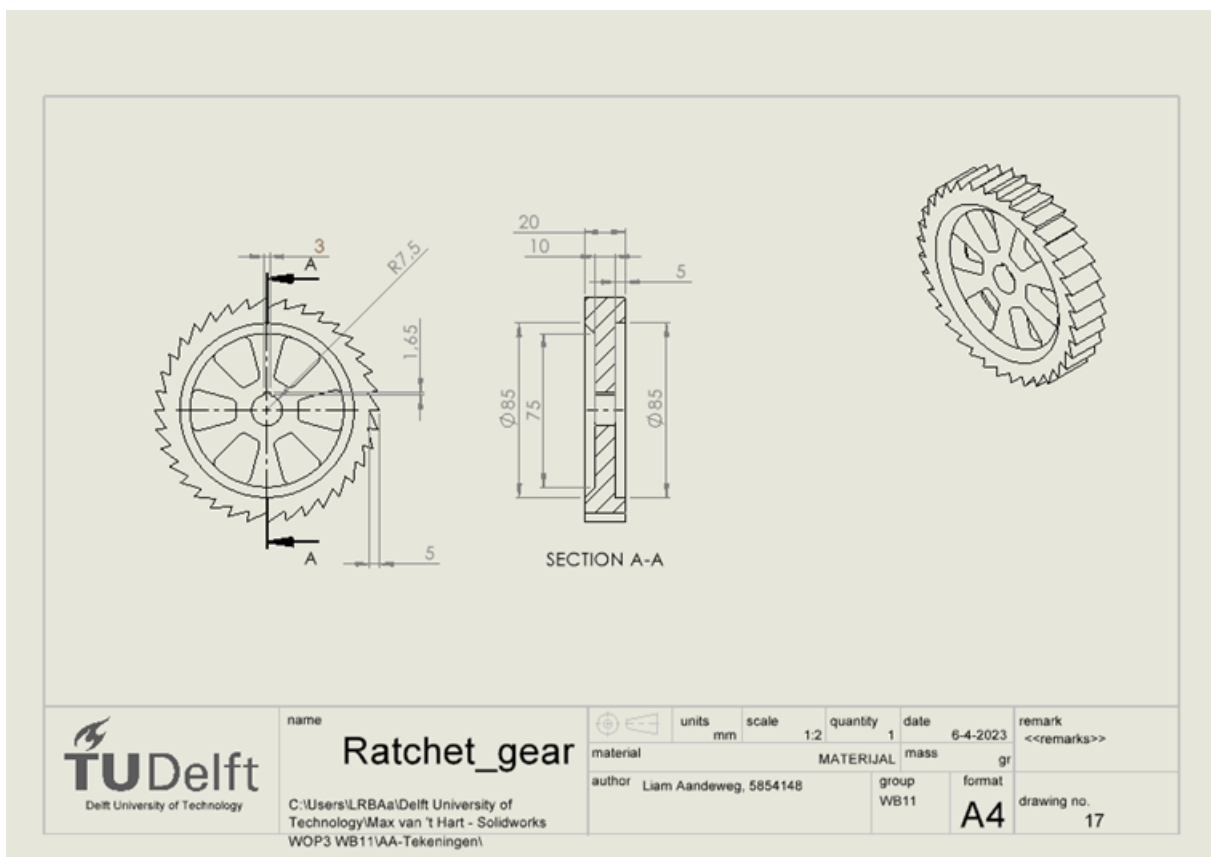
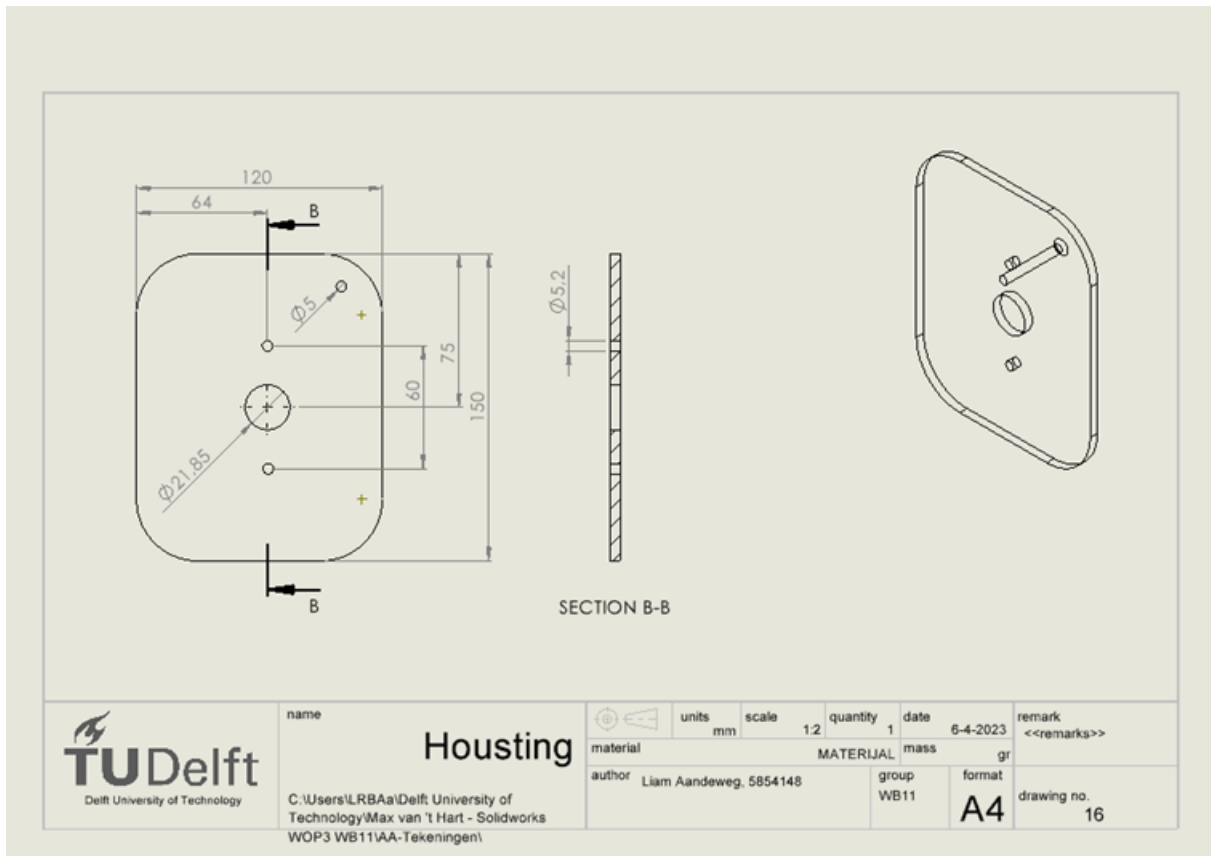


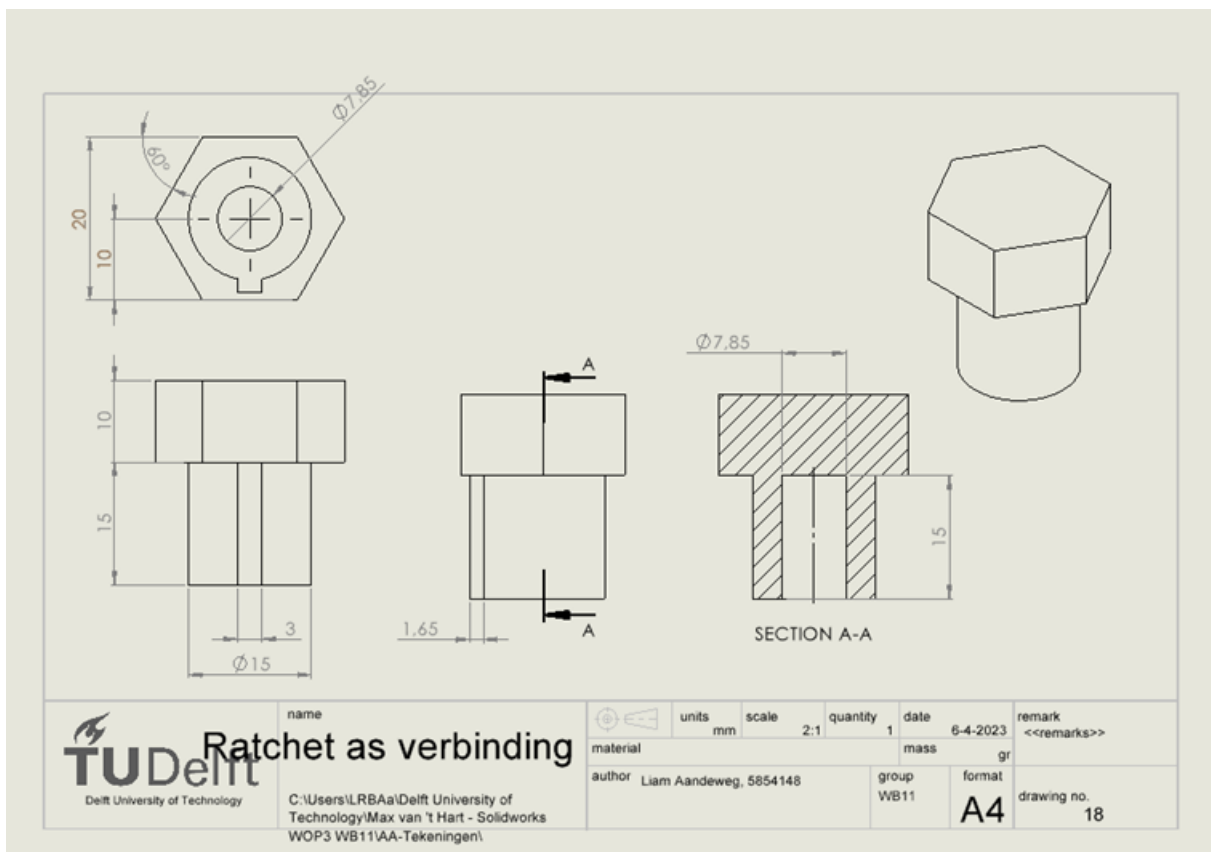


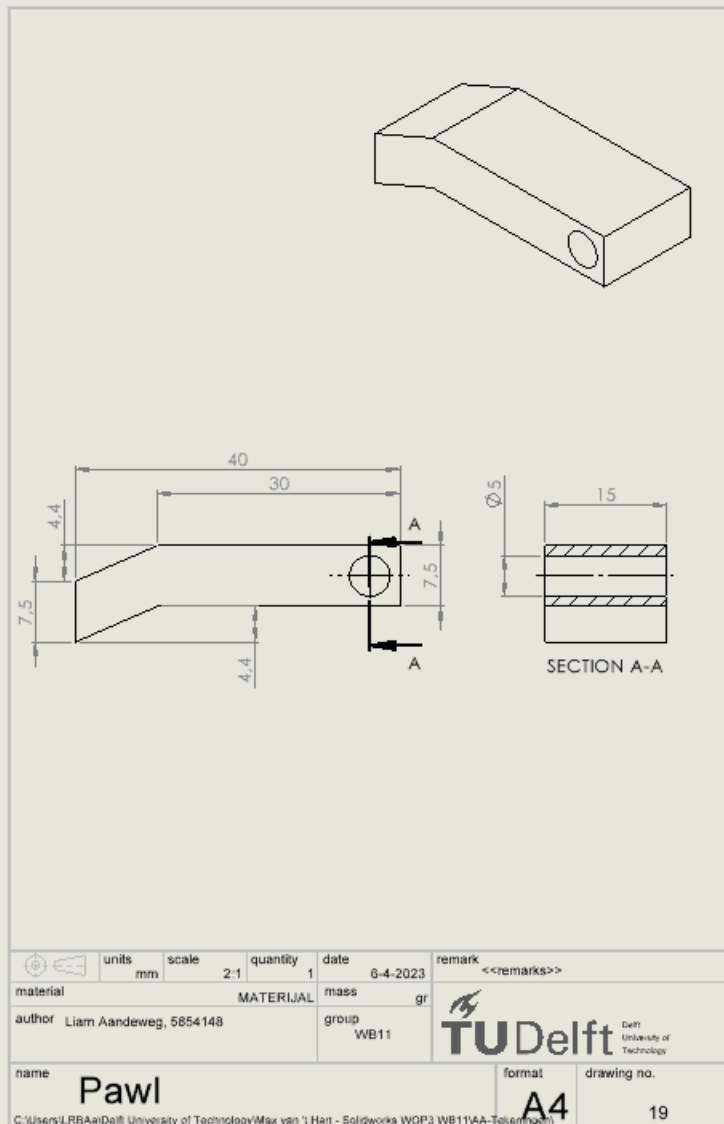


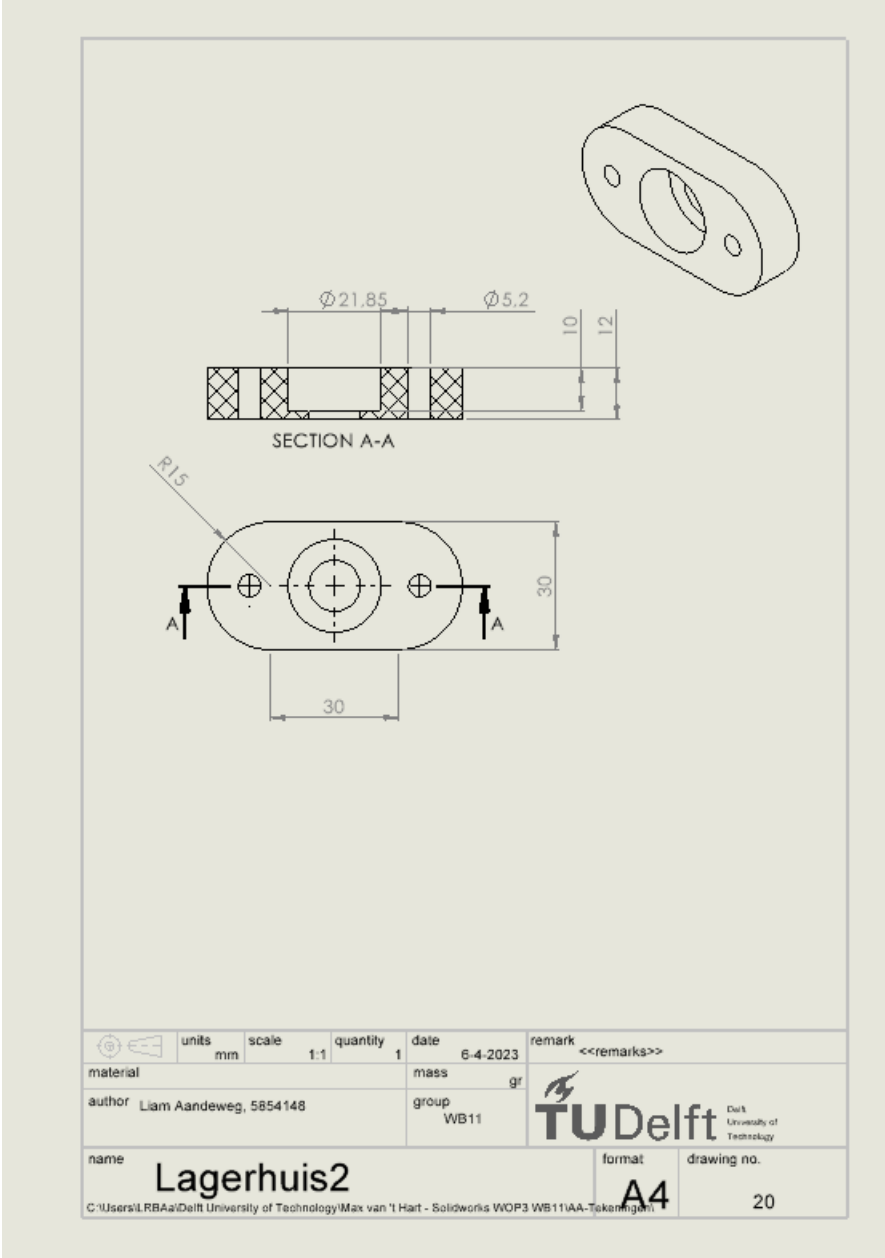


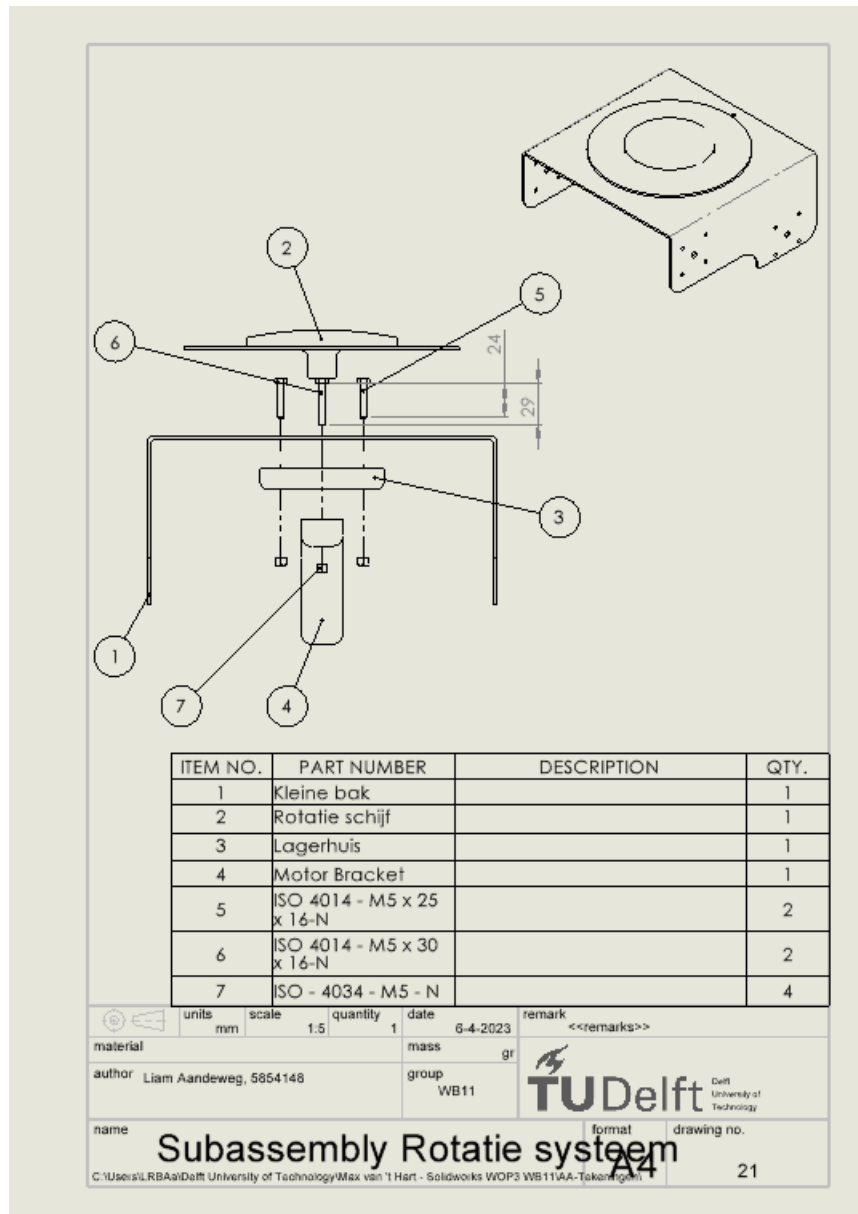


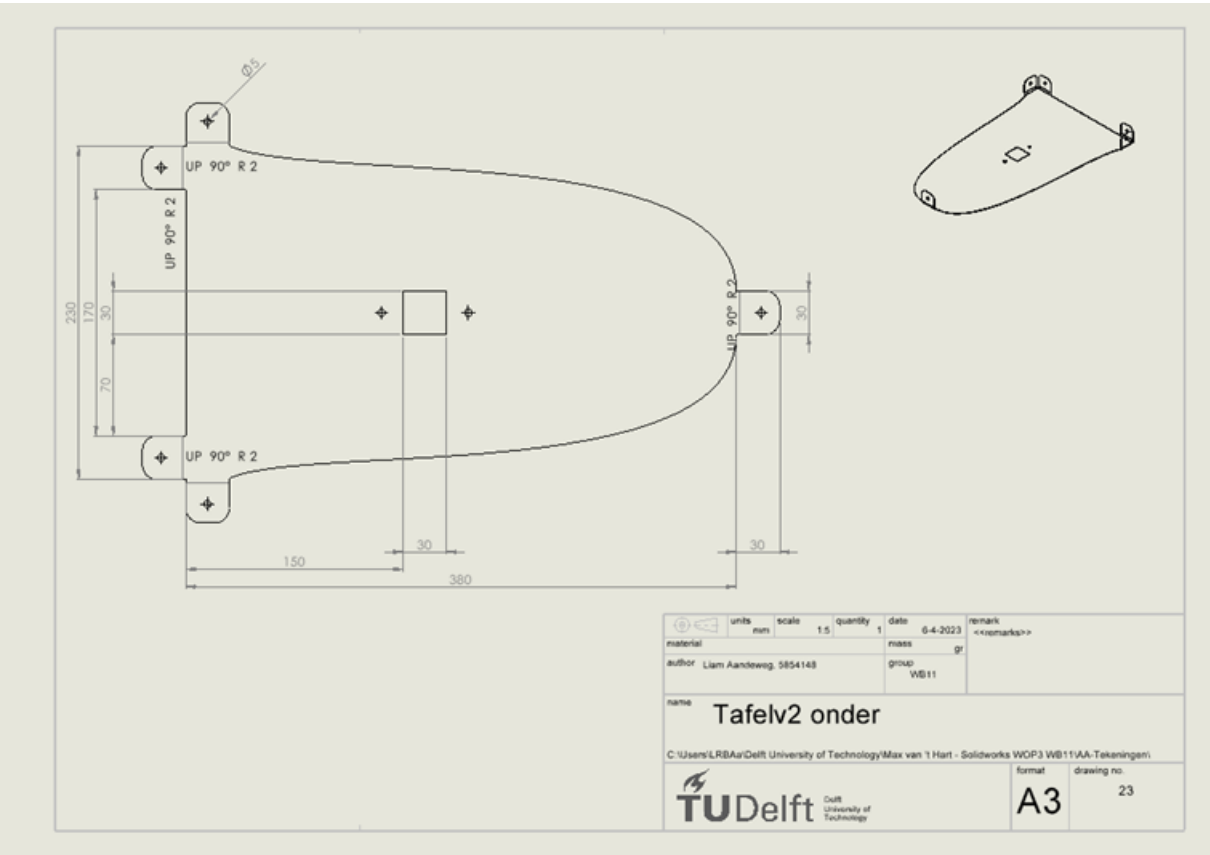
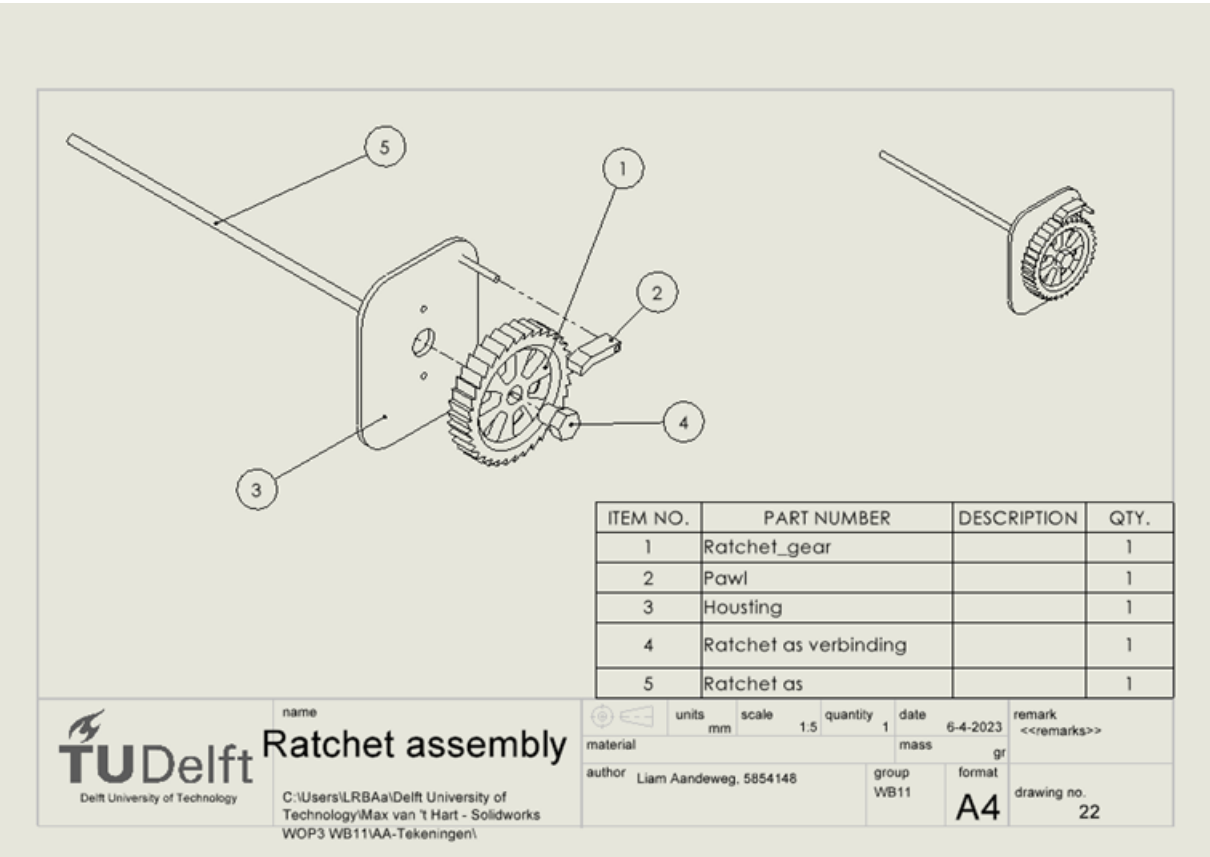












E

Notulen

Week 1	
Doelstelling	Kennismaking, opdracht analyse.
Individuele Afspraken	Goede communicatie, samenwerking en participatie
Knelpunten	We missen een groepslid.
Week 2	
Doelstelling	Ideeën bedenken, morfologische kaart maken, brainstormen
Individuele Afspraken	Iedereen moet met oplossingen komen voor de deelfuncties
Knelpunten	geen
Week 3	
Doelstelling	Isometrische tekeningen maken en concepten reduceren naar 3. Criteria tabel maken voor de drie concepten
Individuele Afspraken	Iedereen een concept bedenken en een isometrische tekening maken van het concept
Knelpunten	geen

Figuur E.1: Notulen deel 1

Week 4	
Doelstelling	Ontwerp rapport deel 1 afmaken en een redelijk idee voor eindconcept
Individuele Afspraken	In groepen aan spuugmodellen werken
Knelpunten	Nog niet gelukt om een eindconcept te kiezen
Week 5	
Doelstelling	Eindconcept uitwerken en berekeningen voor cruciale delen
Individuele Afspraken	Iedereen heeft een onderdeel gekregen om berekeningen aan te doen en de feedback in het verslag te verwerken
Knelpunten	geen
Week 6	
Doelstelling	Solidworks starten en hoofdafmetingen afronden.
Individuele Afspraken	
Knelpunten/vragen	1. Dikste plaatmateriaal vouwbaar 2. Weightsaving 3. Faal/veiligheidsanalyse

Figuur E.2: Notulen deel 2

Week 7	
Doelstelling	Solidworks afmaken, berekeningen afmaken en verslag af tot en met hoofdstuk 6
Individuele Afspraken	
Knelpunten/vragen	geen

Week 8	
Doelstelling	Verslag af
Individuele Afspraken	Iedereen een kritische punt uitkiezen en uitwerken
Knelpunten/vragen	geen

Figuur E.3: Notulen deel 3

Week 1

- Notulen van meeting komen in het verslag
- Donderdagen is standaard dag om langs te komen
- Veel schetsen om het duidelijk te maken
- Visueel verslag
- Syllabus doorlezen
- Opdracht duidelijk
- Vragen op het forum zetten.
- Voorbeeld van schriftelijk rapporteren.

Idee: Vlieg wiel aangedreven

Week 2

- Deelfuncties te lang
- Deelfunctie: ontgrendeling
- Menselijke eruit door ontgrendelknop
- Veel proefjes en experimenten
- Minimaal 1 onderdeel bio inspired
- Ideeën testen na iso tekeningen om van 5 naar 3 concepten te komen
- De 3 concepten aan de hand van criteria tabel

Week 4

- 1 concept faalanalyse
- Niet zeker over de cijfers in de faalanalyse
- **Buddycheck moet beter ingevuld worden.**
- Uiteindelijke concept verwerken gebaseerd op gekozen concept (+isometrische tekening, hoeft niet met de hand)
- Week 7&8 is maakbaarheid check

Week 5

- Greenaward
- Bio inspired: topology
- Gesprek met Florian
-

Week 6

- Bestel zo vroeg mogelijk, indien nog niet uit van wat er specifiek besteld moet worden, bestel meerdere types
- **Uiterlijk week 1 volgend kwartaal rapport naar regine voor deelname greenaward**
- Failure, chance, severity, oplossing
- Oplossing: reserveonderdelen, langere veer
- Python script in woorden uitleggen, formules en waarom die gebruikt zijn om de code te maken.

Week 7

- Maandag ipv donderdag
- Vragen kun je mailen

Figuur E.4: Notulen van de meetings met de project docent

Bibliografie

- [1] Alcomex. *T1940 BESTELLEN*. Beschikbaar op <https://webshop.alcomex.nl/trekveer-vst-o-2-50x25-50x139-00-mm-t1940> (geraadpleegd APR. 3, 2023).
- [2] b/60. *The Stabilization Power of Chicken Heads Featured in New Commercials*. Beschikbaar op <https://www.youtube.com/watch?v=LEGZ7hGaMNI> (geraadpleegd Mar. 1, 2023).
- [3] W. Crowther and J. Potts. Simulation of a spinstabilised sports disc. *Sports Engineering*, 10:3–21, 01 2007. doi: 10.1007/BF02844198.
- [4] Seeds Gallery. *CANARY ISLANDS DRAGON TREE SEEDS (DRACAENA DRACO)*. Beschikbaar op <https://www.seeds-gallery.shop/en/home/canary-islands-dragon-tree-seeds-dracaena-draco.html> (geraadpleegd Mar. 28, 2023).
- [5] Hobarts. *Eco-friendly laser cutting and 3D printing*. Beschikbaar op <https://hobarts.com/blogs/news/eco-friendly-laser-cutting-and-3d-printing#:~:text=While%20they%20definitely%20have%20an,and%20mechanical%20methods%20of%20manufacturing>. (geraadpleegd Mar. 29, 2023).
- [6] Make it. *Polylactic Acid (PLA, Polylactide)*. Beschikbaar op <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide> (geraadpleegd APR. 4, 2023), 2020.
- [7] R. McDonnel. *How To Curve Shape Your Forehand in Ultimate Frisbee*. Beschikbaar op <https://www.youtube.com/watch?v=lpjqNXyOVKY> (geraadpleegd Feb. 28, 2023).
- [8] MIT. *Environmental Risks of Mining*. Beschikbaar op <https://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/problems/mining.html#:~:text=Mining%20is%20an%20inherently%20invasive,erosion%20of%20land%20and%20habitat> (geraadpleegd Mar. 25, 2023).
- [9] NASA. *Dynamics of Flight*. Beschikbaar op <https://www.scribbr.nl/bronvermelding/generator/mappen/37spPzmcivOpIGpLmTZuau/lijsten/3t8kzzfmj3ImQfY85iZoej/citeer/online-nieuwsartikel/> (geraadpleegd Mar. 30, 2023).
- [10] NL.STEPPERONLINE. *CNC Stepper Motor Nema 23 Bipolar 2.8A 269oz.in/1.9Nm CNC Molen draai-bank Router OSM*. Beschikbaar op https://www.amazon.nl/gp/product/B00PNEPIOA/ref=ewc_pr_img_1?smid=ABVRCUH7Y5NVN&psc=1 (geraadpleegd APR. 4, 2023).
- [11] William Patrick Ryan-Johnson, Larson Curtis Wolfe, Christopher Roder Byron, Jacquelyn K. S. Nagel, and Hao Zhang. A Systems Approach of Topology Optimization for Bioinspired Material Structures Design Using Additive Manufacturing. *Sustainability*, 13(14):8013, 7 2021. doi: 10.3390/su13148013. URL <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/8013/pdf?version=1626685878>.
- [12] S. Schube. *An expert explains how to throw a frisbee properly*. Beschikbaar op <https://www.businessinsider.com/an-expert-explains-how-to-throw-a-frisbee-properly-2015-8?international=true&r=US&IR=T> (geraadpleegd Mar. 1, 2023).
- [13] Aircraft Systems. *Stability and control - aircraft aerodynamics*. Beschikbaar op <https://www.aircraftsystemstech.com/p/stability-and-control.html> (geraadpleegd Mar. 1, 2023).
- [14] A. van Beek. *Puntentelling Precisie schijfwerper*. Beschikbaar op <https://project.3me.tudelft.nl/schijfwerper/image/puntentelling.pdf> (geraadpleegd Mar. 23, 2023).
- [15] werktuigbouw.nl. *Formuleboekje*. mikrocentrum, Veldhoven, 8 edition, 2022.
- [16] A. Zeng. Robots learning to toss. Beschikbaar op <https://www.youtube.com/watch?v=-0-E1nFm6-A> (geraadpleegd Mar. 1, 2023).