

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

Academiejaar 2017-2018

Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen

I-Prototyping

Portfolio

Mariën Levi

Master of Science in de

industriële wetenschappen: elektronica-ICT

INHOUDSTAFEL

1	Algemene Inleiding	1
2	PCB design/ontwerp	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Theoretische uiteenzetting.....	4
2.2.1	Reset pin op AVR's	4
2.2.2	Connecteren Programmeer lijnen.....	5
2.2.3	Kristal oscillatoren	6
2.2.4	Real Time Clock (RTC).....	7
2.3	Echtelijk PCB design/ontwerp	7
2.4	Moeilijkheden ondervonden	10
2.5	PCB files en code	10
3	Lasercutten.....	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Metalcut ontwerpen.....	11
3.3	Moeilijkheden ondervonden	14
3.4	Lasercut files	14
4	3D printen	15
4.1	Inleiding	15
4.2	Ronding module	15
4.3	Doos module.....	17
4.4	Bevestiging module	17
4.5	Ventilatiegaten module	18
4.6	Gaten module	20
4.7	Het geheel	20
4.8	OpenSCAD files	21

1 ALGEMENE INLEIDING

Het doel van het vak Prototyping bestond uit het aanleren van de basistechnieken rond de volgende disciplines:

- Lasercutten
- 3D printen
- PCB design/ontwerp

Er moest een project uitgewerkt worden waar deze 3 technieken in toegepast werden. Om deze reden werd er besloten om een geautomatiseerde zonnentank te bouwen voor waterschildpadden. In tegenstelling tot zoogdieren welke een constante lichaamstemperatuur hebben (met schommeling) en dus endothermisch zijn, zijn reptielen ectothermisch. Dit betekent dat zij geen constante lichaamstemperatuur hebben en maken gebruik van de zon om hun lichaamstemperatuur op te warmen en de grond om hun lichaam af te koelen. Het is daarom belangrijk dat reptielen genoeg toegang hebben tot warmte/zonlicht. Voor waterschildpadden is dit tevens ook belangrijk volledig op te kunnen drogen om schimmelinfecties te voorkomen.

Hieronder de specificaties van de zonnentank waarna er 3 aparte paragrafen zullen volgen welke de 3 technieken in detail bespreken:

- De lichten dienen automatisch aan en uit te gaan op bepaalde tijdstippen van de dag (hier dient rekening gehouden te worden met het opkomen/ondergaan van de zon en winter/zomeruur).
- De warmtelamp dient aan/uit te gaan afhankelijk van de temperatuur en luchtvochtigheid in de zonnentank.
- Via een LCD display dient de luchtvochtigheid en temperatuur in de zonnentank gelezen te kunnen worden alsook de watertemperatuur en op welk uur van de dag de lampen op/afspringen.
- Het frame van de tank dient uit hout gebouwd te worden.
- De wanden worden in plexiglas ontworpen, er dienen genoeg luchtgaten voorzien te zijn alsook openingen voor het voederen van de beesten en een opening voor de lamp.
- Er dient een omhulsel voor de elektronica ontworpen te worden waar de verschillende bordjes in gehuisvest worden.

Onderstaande afbeeldingen geven een snel prototyping van het frame (en de bak) weer, dit wordt echter in de toekomst verbeterd maar vraagt een lange tijd gezien alles aan elkaar gelijmd wordt (met een minimaal aantal vijzen) waardoor de ontwikkeling van de echte tank zeer traag vlot (wegens het tekort aan sergeanten en het niet meer permanent wonen bij mijn ouders). Om deze reden zal er vlak voor het examen een "follow-up" portfolio zijn wat doorgestuurd zal worden aan de docenten met een ontwikkelportfolio van het eindresultaat betreffende het frame van de zonnentank zelf.

De verschillende files kunnen op mijn Github gevonden worden (denk hierbij aan de PCB design files, 3D print files, lasercut files alsook de code welke geschreven werd voor het project) onder de volgende link:

<https://github.com/Imarien94/TurtleSunTank>.

Mariën Levi, 31/12/2017.



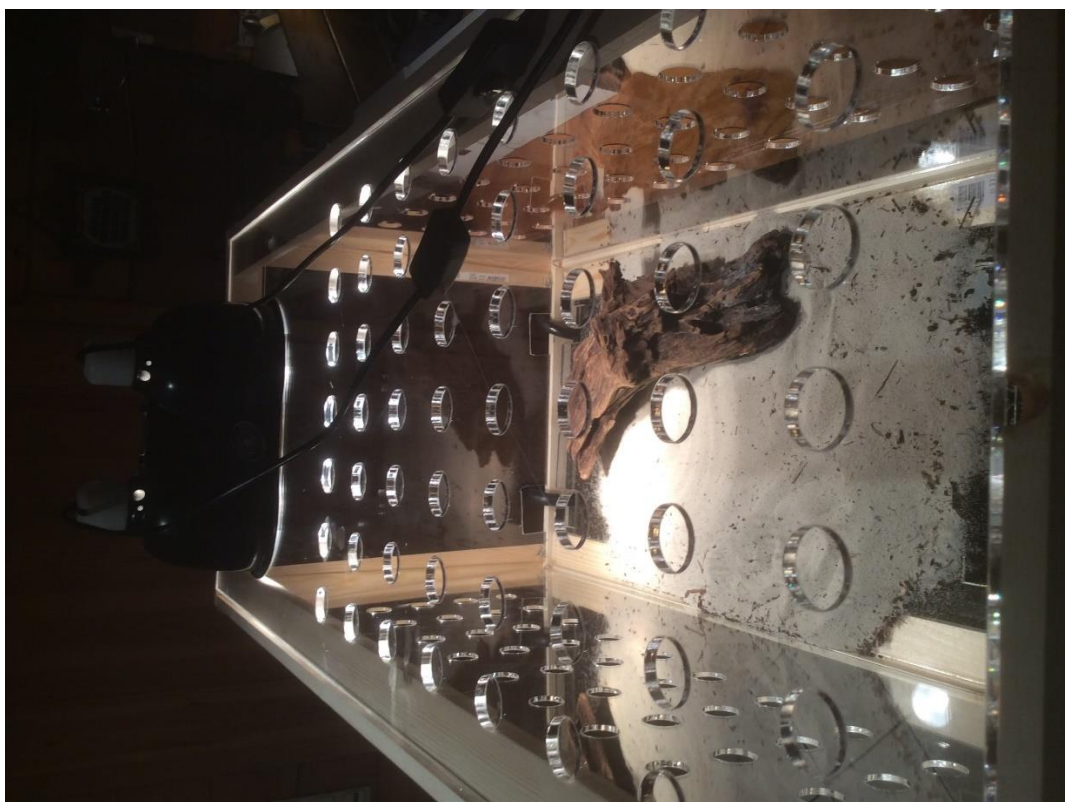
Figuur 1: prototyping zonnentank (vooraanzicht)



Figuur 2: prototyping zonnentank (zijaanzicht)



Figuur 3: prototyping zonnentank (zijaanzicht)



Figuur 4: prototyping zonnentank (bovenaanzicht)

2 PCB DESIGN/ONTWERP

2.1 INLEIDING

Voor het PCD Design/ontwerp werd er een microcontroller gebaseerd op een Atmega2560 ontworpen. De motivatie om een eigen microcontroller te ontwerpen is de volgende:

- Een gewone Arduino Mega is in omvang te groot, niet alle pinnen dienen gebruikt te worden waardoor er veel plaats uitgewonnen kan worden door zelf een microcontroller te ontwerpen en deze in grootte te reduceren.
- Er werd gebruik gemaakt van een Atmega2560 vanwege de grootte die het aan boord heeft. In de toekomst is het de bedoeling een AC-dimmingsbord toe te voegen voor de lampen (en om dit aan te sturen dient er heel wat code uitgeschreven te worden). Om deze reden voldoet een Atmega328p (standaard arduino uno) niet qua geheugengrootte.
- Gezien de tijd bijgehouden moest worden (en de wens was geen gebruik van Wi-Fi te maken) diende er een RTC mee geïmplementeerd te worden op de microcontroller, door deze zelf te ontwerpen kon de RTC mee op het bordje gezet worden wat op zijn beurt weer plaats uitspaarden.

Gezien de ervaring hierin 0.0% was, diende er eerst in het geheel ingelezen te worden. De volgende referenties werden gebruikt om een gevoel voor het geheel te krijgen:

- [Mr. Nick Gammon's How to make an Arduino-compatible minimal board](#)
- [TSJWang's DIY Arduino Mega 2560 or 1280](#)
- [FuzzyStudio's DIY Bare Minimum Arduino Mega 2560](#)

Een volgende referentie die geraadpleegd werd alvorens te beginnen aan het PCB design kwam van Atmel. Dit was een applicatie note (AVR042: AVR Hardware Design Considerations) en voorziet een draad voor de ontwerpen die gevolgd moet worden wanneer hardware ontworpen wordt die Atmel AVR microcontrollers aan boord heeft. Deze applicatie note kan gevonden worden op: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2521-AVR-Hardware-Design-Considerations_ApplicationNote_AVR042.pdf.

2.2 THEORETISCHE UITEENZETTING

In deze sectie zal een kleine theoretische uiteenzetting gebeuren van wat er geleerd werd tijdens het raadplegen van bovenstaande referenties.

2.2.1 RESET PIN OP AVR'S

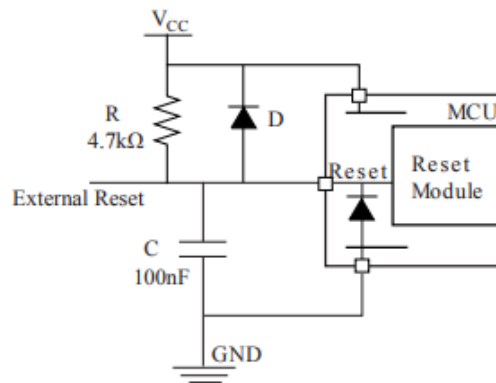
De reset pin op AVR microcontrollers is actief laag, dit wil zeggen dat de pin extern laag gezet dient te worden om de AVR te resetten. Deze pin heeft 2 doeleinden:

- Alle lijnen te verlossen door alle pinnen (uitgezonderd XTAL pinnen) in een tri-state te zetten, alle I/O registers te initialiseren en de programma teller op 0 te zetten.
- Om ervoor te zorgen dat de AVR in programmeer mode gaat.

De Reset lijn heeft een interne pull-up weerstand, echter kan in ruis rijke omgevingen deze inefficiënt zijn en een reset kan hierdoor sporadisch gebeuren. Daarom is het aan te raden een externe pull-up te gebruiken op de Reset lijn, deze voorkomt dan een ongewenst laag signaal de Reset triggert. De aangeraden weerstand hiervoor bedraagt 4.7kΩ. Om de Reset lijn van andere soorten ruis te beschermen zou er een condensator geconnecteerd moeten worden tussen de Reset pin en de grond maar wordt echter niet vereist gezien de AVR intern een laagdoorlaat filter aan boord heeft welke komaf maakt met pieken en ruis die een reset zouden kunnen veroorzaken. Indien High-Voltage/Parallel Programming (HVPP) gewenst is zou er ESD bescherming

ingebouwd moeten worden door gebruik te maken van ESD bescherming dioden, echter wordt er van deze functie geen gebruik gemaakt.

Met het bovenstaande gezegd te hebben, wordt het volgende Reset Pin circuit aangeraden:

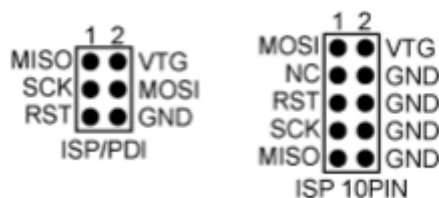


Figuur 5: aangeraden Reset Pin connecties

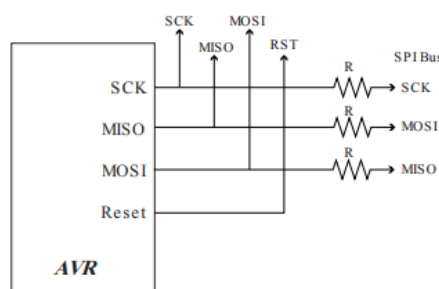
In het uiteindelijke design zullen de ESD dioden en condensator uiteindelijk wegvallen gezien deze niet specifiek nodig zijn.

2.2.2 CONNECTEREN PROGRAMMEER LIJNEN

Atmel AVR microcontrollers voorzien 1 of meerdere interfaces voor programmeren of debugging. In-System Programming (ISP) is een programmeer interface welke gebruikt wordt voor het programmeren van Flash, EEPROM, Lock-bits, ... Gezien er gebruikt gemaakt wordt van een nieuwe chip, is er geen bootloader aanwezig. Om deze op de Atmega2560 te zetten dient de Serial Peripheral Interface (SPI) programmeer interface voor ISP gebruikt te worden. Er zijn door Atmel ISP programmers 2 soorten standaarden betreffende SPI connectoren (6-pins en 10-pins):



In dit geval zal er gebruikt worden gemaakt van de 6-pin programmeer header. Indien andere apparaten geconnecteerd zijn aan de ISP lijnen is het aangeraden series weerstanden mee te plaatsen om op deze manier de programmer te beschermen. Dit wordt gedaan als volgt:



Figuur 6: bescherming van de programmer

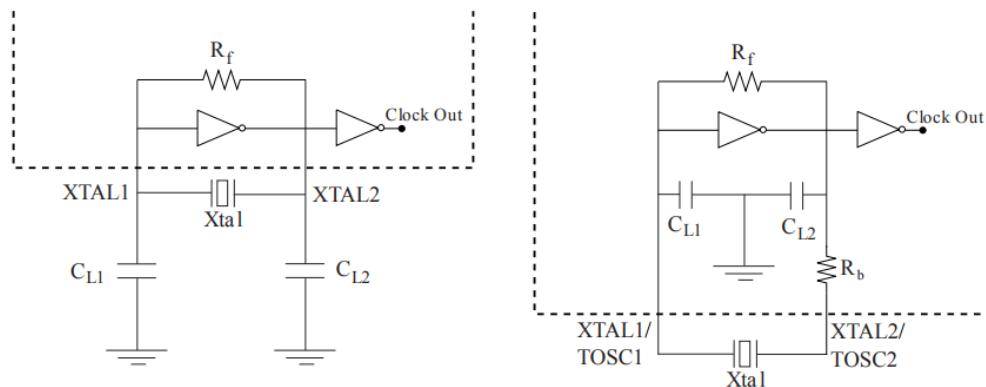
Echter is dit voor dit geval niet van toepassing en kunnen de SPI lijnen gewoon naar buiten uitgebroken worden.

2.2.3 KRISTAL OSCILLATOREN

Voor de oscillator kan er gekozen worden tussen een kristal -of keramische oscillator. Even een korte opsomming van de voor -en nadelen van beide:

- De keramische oscillatoren zijn een in lagere kost en kwaliteit variant van de kristal oscillatoren.
- De Q-factor van een keramische oscillator is lager als dat van een kristal oscillator (dit kan beide een voor -en nadeel zijn, afhankelijk van de toepassing).
- Gezien de Q-factor lager is bij een keramische oscillator kan deze gemakkelijker getuned worden in een specifieke frequentie.
- De keramische oscillator is gevoeliger aan temperatuur en load veranderingen ten opzichte van een kristal oscillator waardoor de kans van ongewenste frequentie varianties groter is.
- Keramische oscillatoren hebben een snellere start-up als kristal oscillatoren.

De parallelle resonantie wordt in circuits gebruikt die reactieve componenten bezitten (bv. condensatoren). Zo'n circuits zijn afhankelijk van de reactieve componenten en de resonantie om de fase verandering tweeweg te brengen die de oscillator start en onderhoudt op een bepaalde frequentie. Elementaire oscillator circuits die gebruikt worden voor parallelle resonanties worden voorgesteld in onderstaande afbeelding:



Figuur 7: elementaire invertier circuits equivalent aan de oscillator circuits in AVR

Het gedeelte boven de gestreepte lijn stelt een oscillator schema voor zoals deze te vinden zijn in AVR. En de ingebouwde oscillator circuits in AVR kunnen begrepen worden als een invertier gebaseerd oscillator circuit welke in bovenstaande figuur voorgesteld wordt.

De linkse variant is een oscillator circuit voor kristal en keramische oscillatoren die sneller als 400kHz zijn, de rechte is een circuit voor lage frequentie kristallen (32.768kHz) maar worden niet in AVR gebruikt. Het verhaal gaat verder met de linkse variant van het circuit.

Voor zulke circuits is het nodig om externe capacitieve ladingen aan te brengen. De grootte hiervan is afhankelijk van het kristal dat gebruikt wordt. Indien deze waarde te groot is kan het zijn dat de oscillator niet zal starten. Daarom dient er in de datasheet van de oscillator naar de waarde van de capacitieve load (C_L) gekeken te worden. De waarde van de condensatoren kan dan aan de hand van volgende vergelijking berekend worden:

$$C_L = \frac{C'_{L1} * C'_{L2}}{C'_{L1} + C'_{L2}}$$

Waarbij geldt dat:

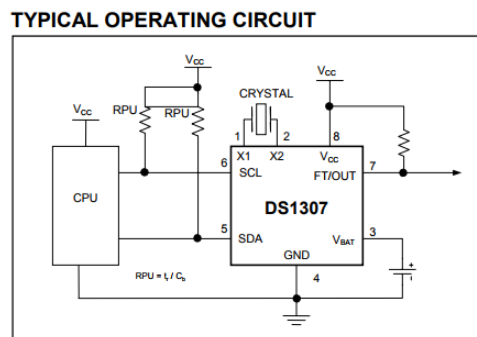
$$C'_{L1} = C_{L1} + C_{L1S} \text{ en } C'_{L2} = C_{L2} + C_{L2}$$

C_{L1} en C_{L2} verwijzen naar de externe condensatoren en C_{L1S} en C_{L2S} verwijzen naar de capaciteit van de oscillator lijnen. Indien een symmetrische layout gebruikt wordt zal gelden dat $C_{L1} = C_{L2} = C_{L1S} = C_{L2S} = C_s$ waarbij C_s genomen kan worden tussen de 5pF à 10pF. Hierdoor kunnen de externe condensatoren berekend worden als volgt:

$$C = 2 * C_L - C_S$$

2.2.4 REAL TIME CLOCK (RTC)

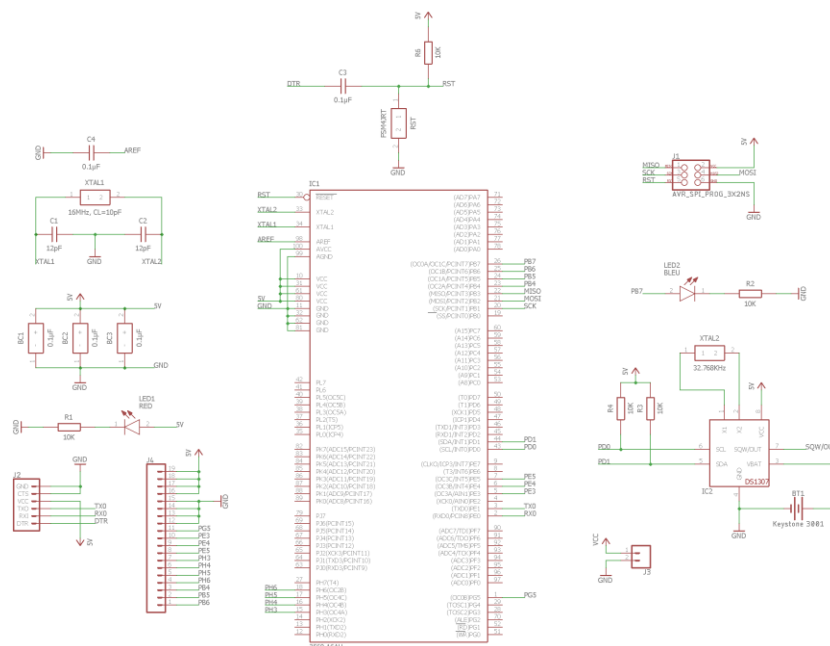
Voor de RTC werd er gebruik gemaakt van een DS1307, het schema dat hierrond gebouwd werd, werd rechtstreeks vanuit de datasheet van de corresponderende RTC gehaald. Hier waren verder geen aanpassingen nodig. Volgend schema werd geïmplementeerd:



Figuur 8: schema RTC

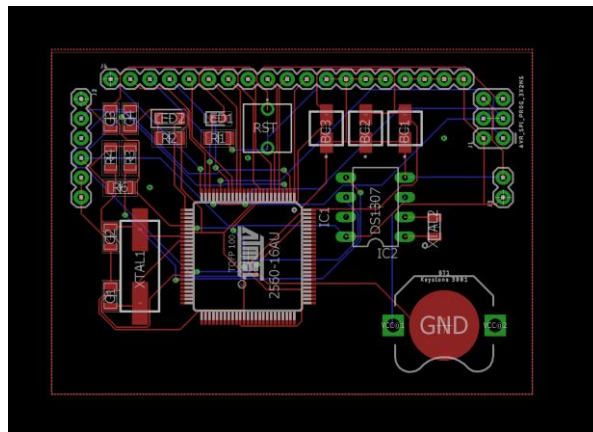
2.3 ECHTELIJK PCB DESIGN/ONTWERP

Na het verwerken van bovenstaande theorie werd het volgende initiële schema ontwikkeld:



Figuur 9: initieel schema PCB design

Wat gepaard ging met het volgende PCB design:

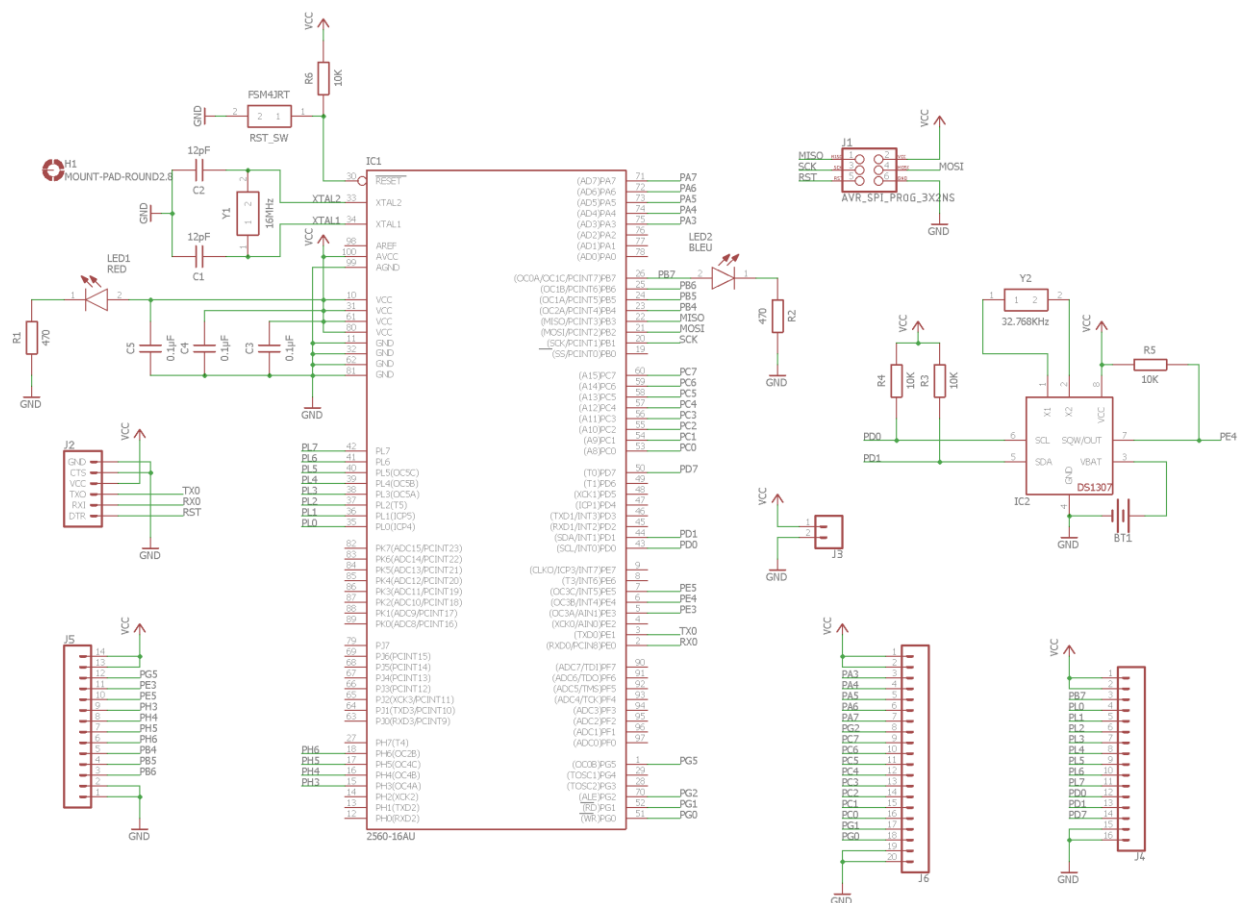


Figuur 10: initieel board design

Echter waren er met dit ontwerp een aantal problemen:

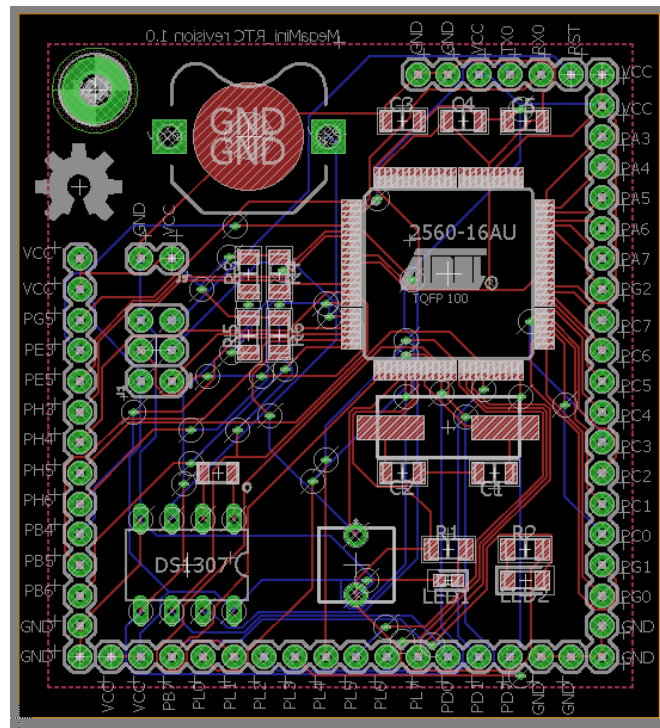
- De weerstanden op de LED's waren te hoog, hierdoor ging er te weinig stroom door de LED's.
- De ontkoppelcondensator op de reset knop was onnodig (zie puntje 2.1.1).
- Er werden te weinig digitale pinnen naar buiten gestuurd.

Met de verkregen feedback werd daarom het volgende schema ontworpen:



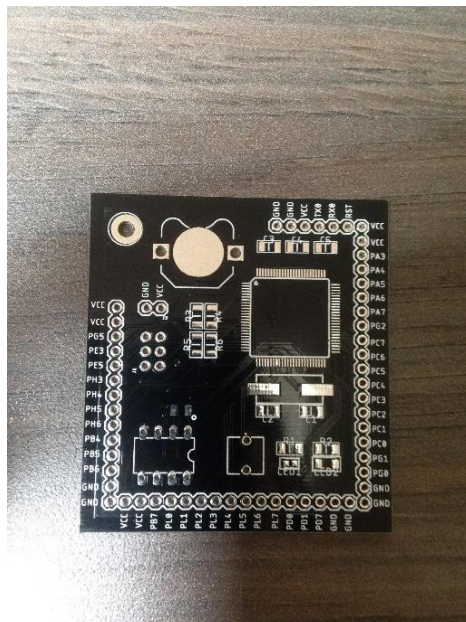
Figuur 11: finaal ontwerp schema

Dit leidde tot het volgende board design:



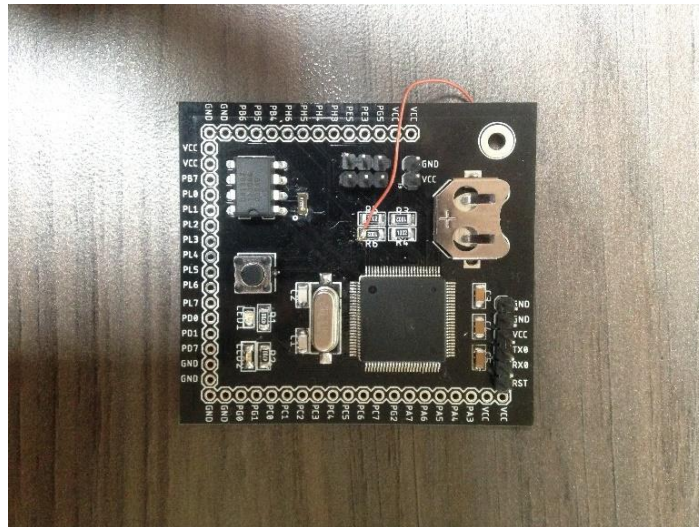
Figuur 12: finaal board design

Na productie leidde dit tot het volgende bordje:



Figuur 13: PCB na productie

En na solderen resulteerde dit in het volgende:



Figuur 14: PCB na solderen

2.4 MOEILIKHEDEN ONDERVONDEN

Over het algemeen waren er geen moeilijkheden ondervonden, er was echter 1 kleine fout in het PCB geïmplementeerd en had betrekking tot het doorverbinden van de Reset pin met de SPI header. Hierdoor diende er manueel een draadverbinding gesoldeerd te worden, echter eens deze gesoldeerd werd werkte alles naar behoren.

2.5 PCB FILES EN CODE

Zoals reeds in de inleiding vernoemd werd kunnen de schema's en de PCB board design files alsook de code gevonden worden op mijn Github onder de volgende adressen:

https://github.com/lmarien94/TurtleSunTank/tree/master/PCB_design en

<https://github.com/lmarien94/TurtleSunTank/tree/master/Code>.

Op het examen zelf zal er een demo van het geheel gegeven worden.

3 LASERCUTTEN

3.1 INLEIDING

De wanden van de zonnentank zullen in plexiglas ontworpen worden. Deze moeten voorzien worden van luchtgaten en een gat voor de verlichting alsook dient er een brug gevormd te worden opdat de schildpadden van het water gedeelte naar het land gedeelte kunnen.

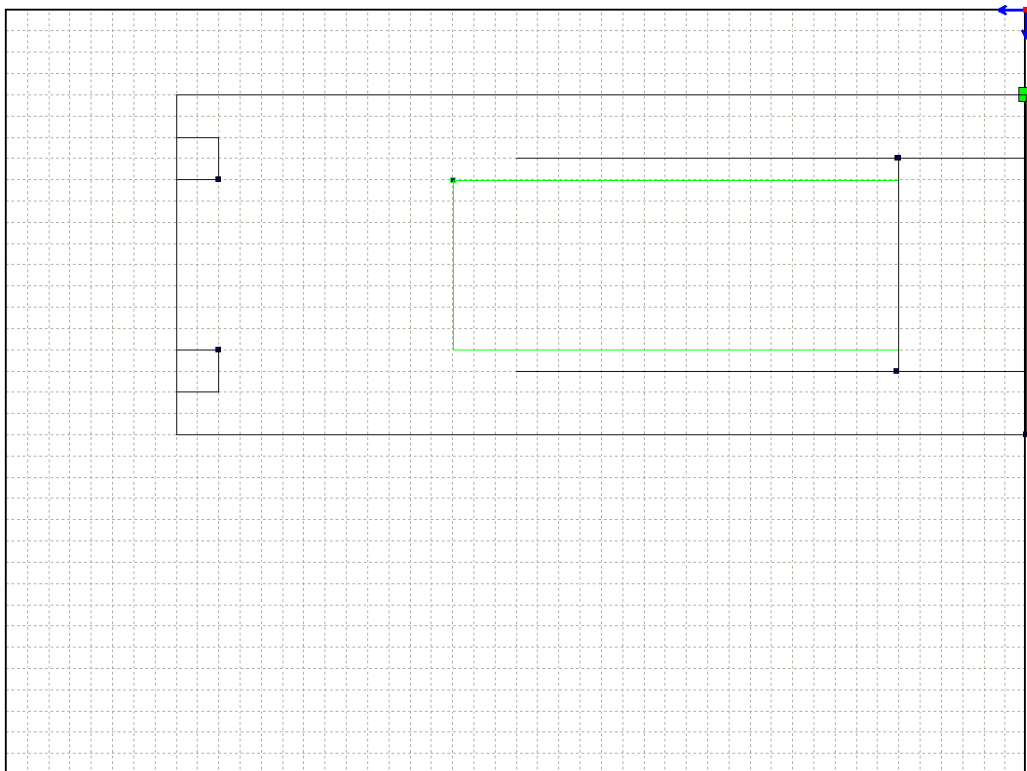
Er waren een paar aspecten waar rekening gehouden mee diende te worden:

- De dikte van de wanden zelf maakten niet veel uit gezien het houten frame het gewicht van de zonnentank overdraagt op het glazen aquarium.
- De bovenplaat diende wel dik genoeg te zijn opdat deze ondanks alle luchtgaten en gat voor de lampen toch nog structureel sterk genoeg was zodat deze niet ging doorbuigen.
- De onderplaat waar het zand op komt te liggen dient dik genoeg te zijn om doorbuiging te voorkomen maar niet te dik opdat de oploopbrug niet meer geplooid kan worden.

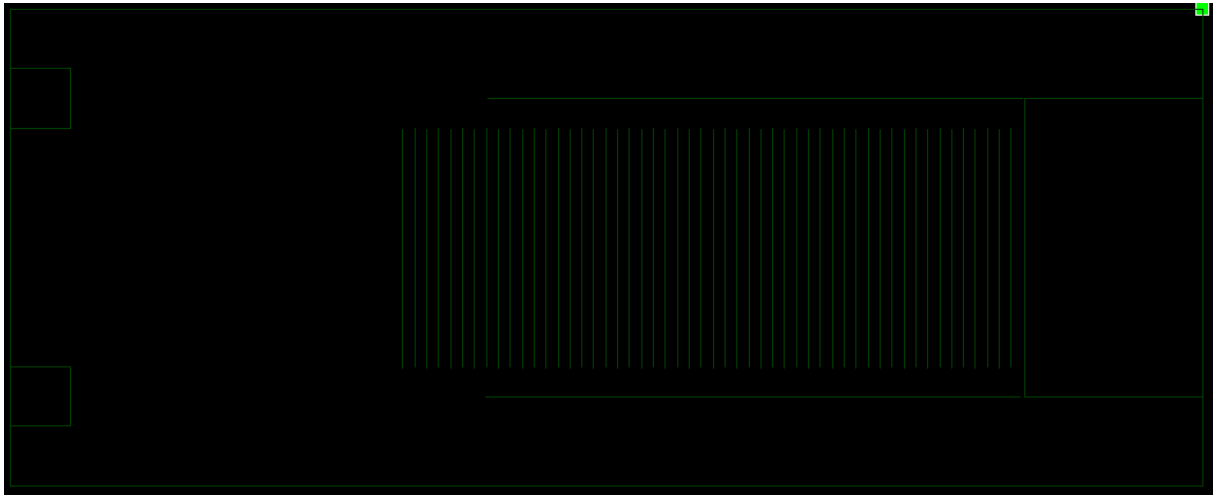
Met dit in het achterhoofd werd er besloten de zijwanden in 3mm dik plexiglas te doen waarop de boven- en onderkant gebouwd werden met 6mm plexiglas.

3.2 METALCUT ONTWERPEN

Volgende designs werden in Metalcut ontworpen:

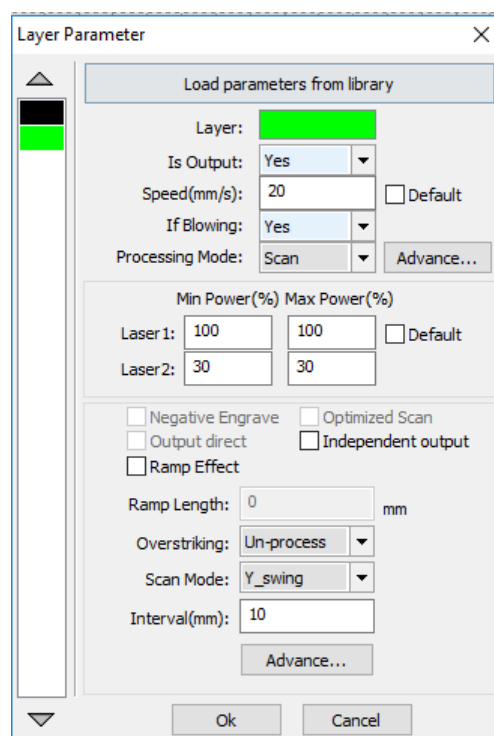


Figuur 15: bodemplaat final



Figuur 16: bodemplaat simulatie

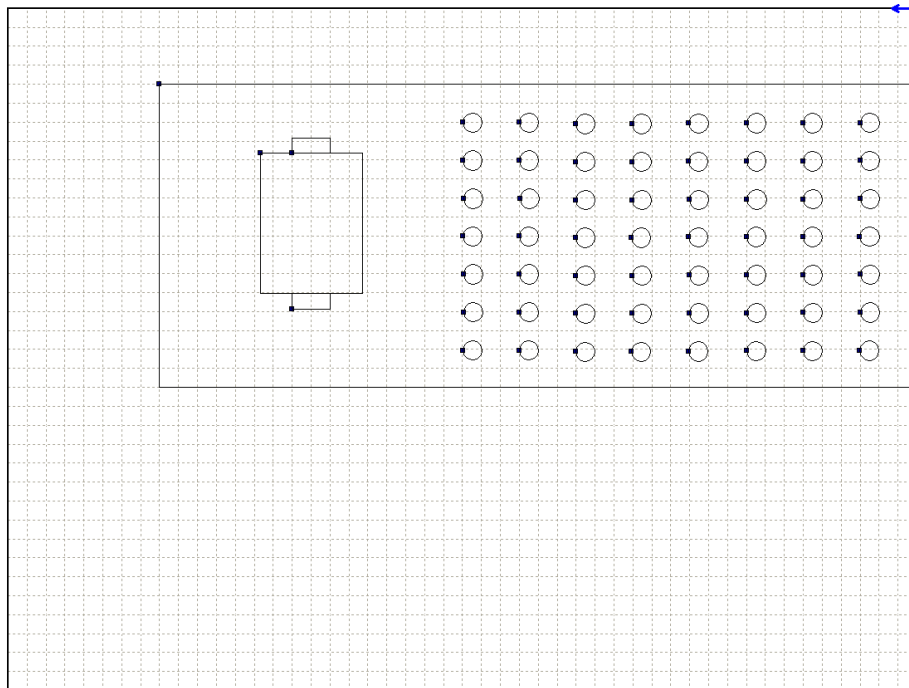
Gezien de schildpadden een goede grip nodig hadden op het bruggetje om uit het water te klimmen werden hiervoor groeven gegraveerd in het plexiglas van ongeveer een 2mm dik met 1 cm ruimte tussen elke groeve. Dit kon bereikt worden door de volgende instellingen te gebruiken:



Figuur 17: instellingen graveren

Eens het geheel af was werd er door middel van een heatgun een buiging aangebracht in het plexiglas om de brug te bekomen zoals deze te zien is op figuur 1 en 2 in de inleiding.

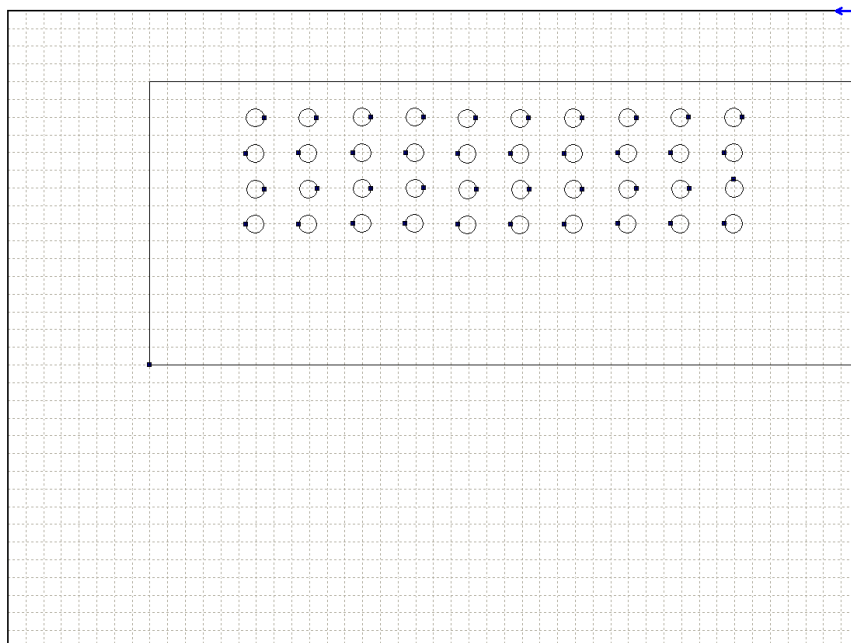
De bovenplaat zag er als volgt uit:



Figuur 18: bovenplaat finaal

Luchtgaten werden aangebracht aan de rechterkant gecombineerd met 1 groter gat waar het armatuur van de lampen op kan staan wat ervoor zorgt dat er een gat voorzien is opdat de warmte van de lampen en het UV licht de binnenkant van de zonnentank bereiken.

De grote zijplaten zagen er als volgt uit (hiervan werden 2 stuks geproduceerd):



Figuur 19: zijplaten finaal

De reden dat de luchtgaten zo hoog zitten heeft te maken met het feit dat er op deze manier geen zand door de gaten kan komen wat vuiligheid met zich mee brengt.

De kleine zijwanden dienden geen graveringen of gaten te hebben waardoor dit niets meer is als een rechthoek van 400 * 400 mm. Om deze reden zullen deze eenvoudige aspecten ook niet meer besproken worden in het portfolio.

3.3 MOEILIKHEDEN ONDERVONDEN

De voornaamste moeilijkheid van dit zat hem in de bodemplaat. Dit bruggetje diende een correcte hoek te hebben en mocht niet te lang of te kort zijn opdat de schildpadden op een comfortabele manier in en uit het water konden. Ondanks de vele probeersels was het zeer moeilijk dit in orde te krijgen.

Het eerste ontwerp zorgde ervoor dat de schildpadden niet comfortabel op het droge konden doordat het laatste stuk niet gegraveerd werd en hierdoor schoven ze er telkens af.

Het tweede (en ook finaal design dat hier mee in het portfolio opgenomen werd) zorgde ervoor dat vanwege het volledig ingraveren (ook waar de buiging plaats diende te vinden) het plexiglas structureel te zwak werd voor te verwarmen en buigen. Hierdoor brak het geheel waardoor besloten werd om de bodem van hout te maken en het idee van plexiglas achterwegen te laten.

Hoe deze bodem juist ontworpen werd en welk materiaal hierbij gebruikt werd zal omschreven worden in het "follow-up" portfolio zoals in de inleiding verteld werd.

3.4 LASERCUT FILES

Zoals reeds in de inleiding vernoemd werd kunnen de .rdl files van Metalcut gevonden worden op mijn Github onder het volgende adres: <https://github.com/lmarien94/TurtleSunTank/tree/master/Lasercutting>.

4 3D PRINTEN

4.1 INLEIDING

Voor het 3D printen zal er een behuizing ontworpen worden welke de elektronica huisvesting. Hierin dienen 2 bordjes te komen:

- Het ontworpen PCB,
- Een AC relay switch board dat gebruikt wordt voor het aan/uit schakelen van de lampen.

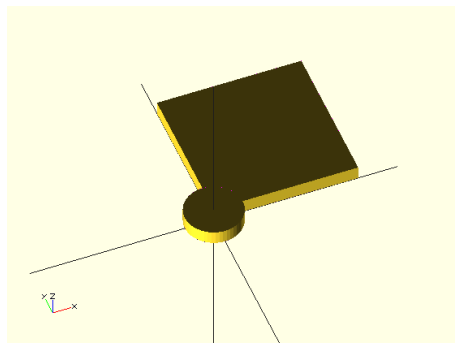
Gezien er gebruik gemaakt wordt van een AC relay switching bord is het thermische aspect belangrijk om in achtung te nemen en hiervoor zullen er in het design een reeks verluchttingsgaten voorzien worden opdat er een natuurlijke luchtstroom gecreëerd kan worden. Een ander vereiste is dat er bekabelingsgaten voorzien worden opdat de bekabeling van de lampen, sensoren en het bord zelf op een handige manier kunnen verlopen.

Het design zelf is gebaseerd op “The Ultimate Parametric Box” van Heartman. Deze behuizing was exact wat mijn vereiste waren op het meer modulair maken en aan paar aanpassingen van de code na.

Het voordeel van dit geheel is dat de behuizing symmetrisch is waardoor aanpassingen die zowel op boven als onderkant gebeuren niet 2x dienen te gebeuren maar met 1 aanpassing de gehele behuizing mee veranderd.

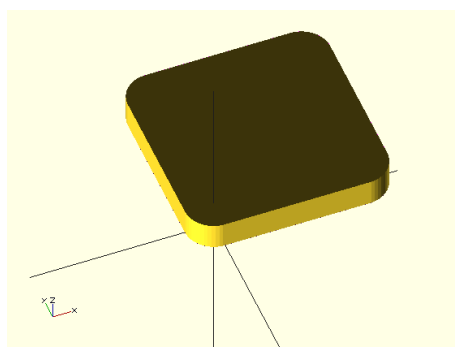
4.2 RONDING MODULE

Deze module is het meest elementaire in het gehele design. Indien deze aangeroepen wordt zal er een kubus met specifieke (door de gebruiker gedefinieerd) gemaakt worden welke afgeronde zijkanten heeft. Dit wordt bereikt d.m.v. de minkowski functie. Zoals in de OpenSCAD user Manual/Transformations omschreven staat dienen er eerst 2 objecten geïnitieëerd te worden:



Figuur 20: minkowski voorbeeld (1)

Vervolgens kan de gebruiker een minkowski optelling van beide objecten doen wat resulteert in het volgende:



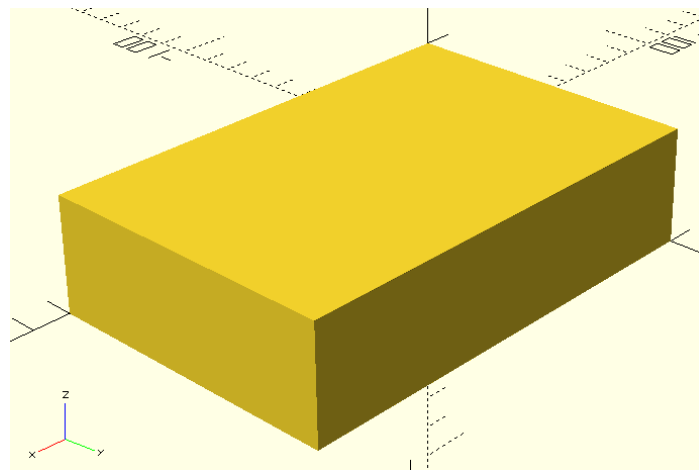
Figuur 21: minkowski voorbeeld (2)

Belangrijk is om te beseffen dat de dimensies van het geheel veranderen (gezien er een optelling gebeurt werd). Indien de cilinder een straal heeft van 2 eenheden en de kubus een breedte van 10 eenheden zal de nieuwe afmeting 14 eenheden bedragen ($10 + 2 + 2$, vanwege elke kant).

De code van de Rounding module ziet er als volgt uit:

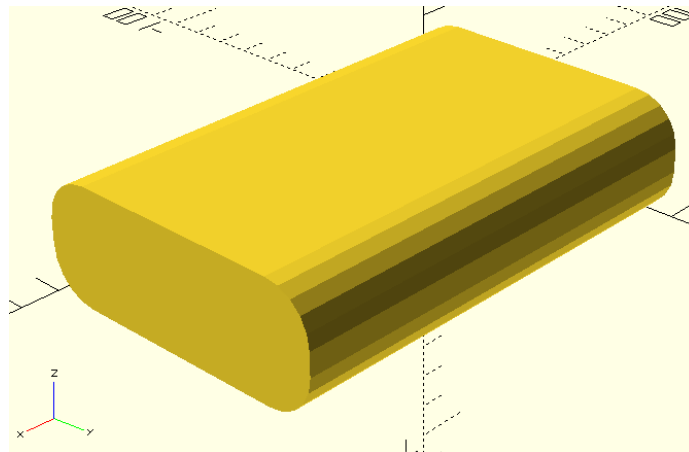
```
//Deze module zal een balk produceren en afhankelijk van de fillet waarde
//zullen de hoeken minder of meer afgerond zijn.
module ronding($a=lengte, $b=breedte, $c=hoogte) {
  translate([0,fillet, fillet]){
    minkowski() {
      cube([$a-(lengte/2), $b-(2*fillet), $c-(2*fillet)], center = false);
      rotate([0,90,0]) {
        cylinder(r=fillet, h=lengte/2, center = false);
      }
    }
  }
}
```

De ronding module met de minimale fillet waarde (0.1):



Figuur 22: ronding module met kleine fillet

De ronding module met de maximale fillet waarde (12):

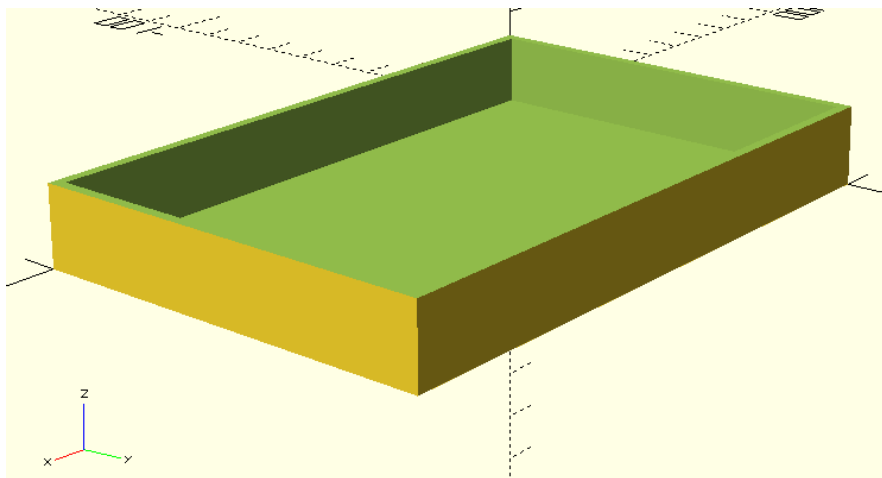


Figuur 23: ronding module met grote fillet

4.3 DOOS MODULE

Deze module zal de elementaire behuizing produceren zonder ventilatiegaten, pootjes, ... De ronding module zal aangeroepen worden en de doos module zal de ronding uithollen en ook de top afsnijden opdat er enkel een doos overblijft.

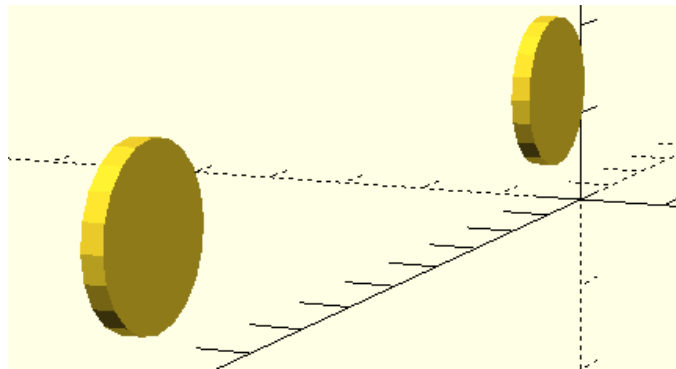
De code kan gevonden worden onder de doos module in het OpenSCAD project. En deze produceert het volgende:



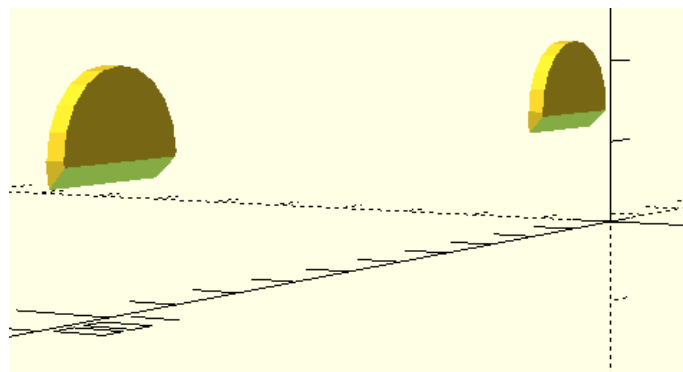
Figuur 24: doos module

4.4 BEVESTIGING MODULE

De bevestiging module zal ervoor zorgen dat er een bevestiging gemaakt worden tussen de boven -en onderkant. Hiervoor heeft de gebruiker de keuze of deze ronde of kubusvormige bevestigingen wenst. Vervolgens worden de onderkanten eraf gesneden om interferentie met de luchtgaten te voorkomen.



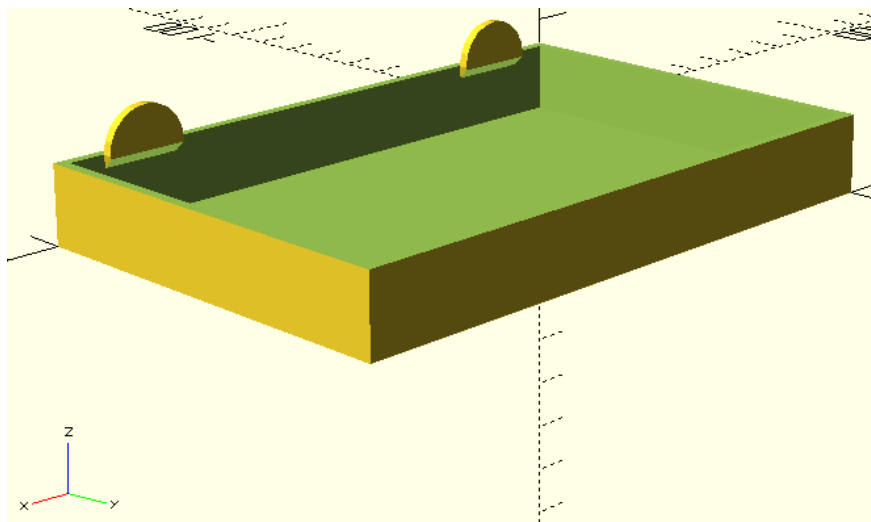
Figuur 25: bevestiging zonder afsnijding



Figuur 26: bevestiging na afsnijding

De code kan gevonden worden onder de bevestiging module in het OpenSCAD project.

Om beide aan elkaar te koppelen dient er een unie tussen de doos en bevestiging gemaakt te worden in OpenSCAD, wat resulteert in het volgende tussenresultaat:

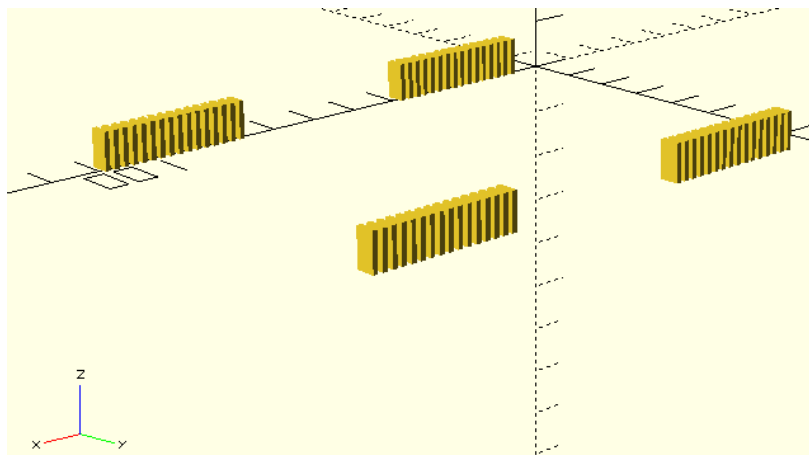


Figuur 27: behuizing met bevestiging

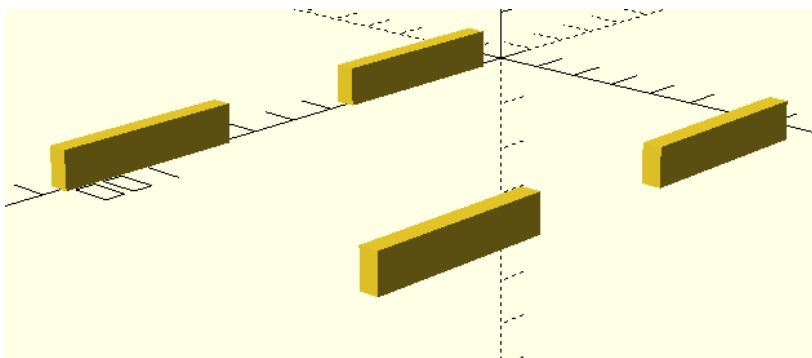
4.5 VENTILATIEGATEN MODULE

Deze module zal zorgen voor de ventilatiegaten. Er zijn 2 soorten (deze voor de onderkant en bovenkant). Het verschil tussen beide is dat de onderkant een opening heeft waar kabels door kunnen en de bovenkant heeft

smalle ventilatiegaten. Aan de hand van een parameter kan de gebruiker meegeven of er ventilatiegaten voor de onderkant of bovenkant dienen gemaakt te worden.

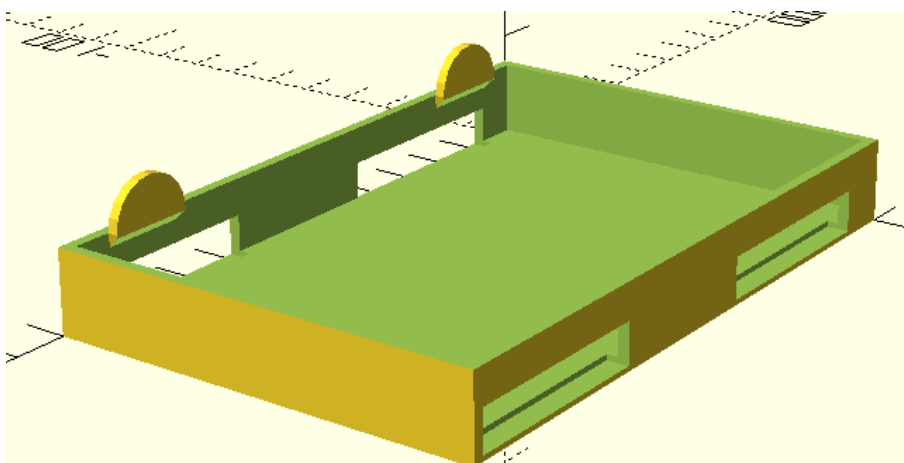


Figuur 28: ventilatiegaten voor bovenkant



Figuur 29: ventilatiegaten onderkant

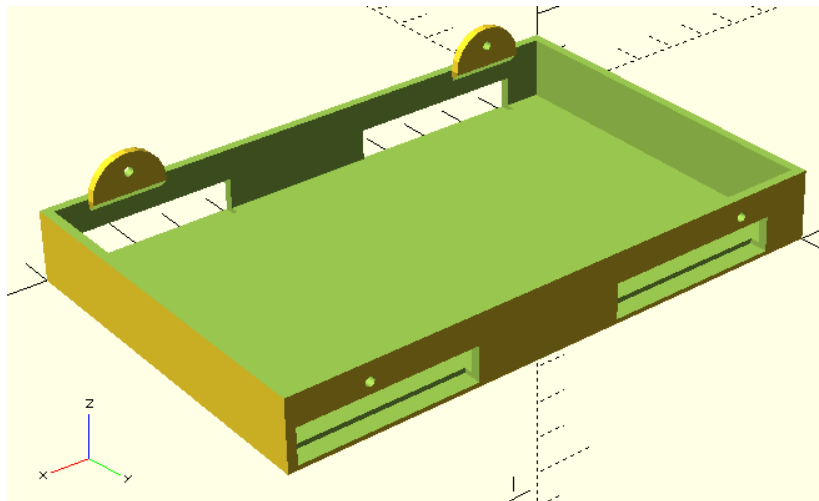
Vervolgens dienen de ventilatiegaten van het geheel afgetrokken te worden om de openingen te produceren in de behuizing, dit geeft volgend tussenresultaat:



Figuur 30: behuizing met bevestiging

4.6 GATEN MODULE

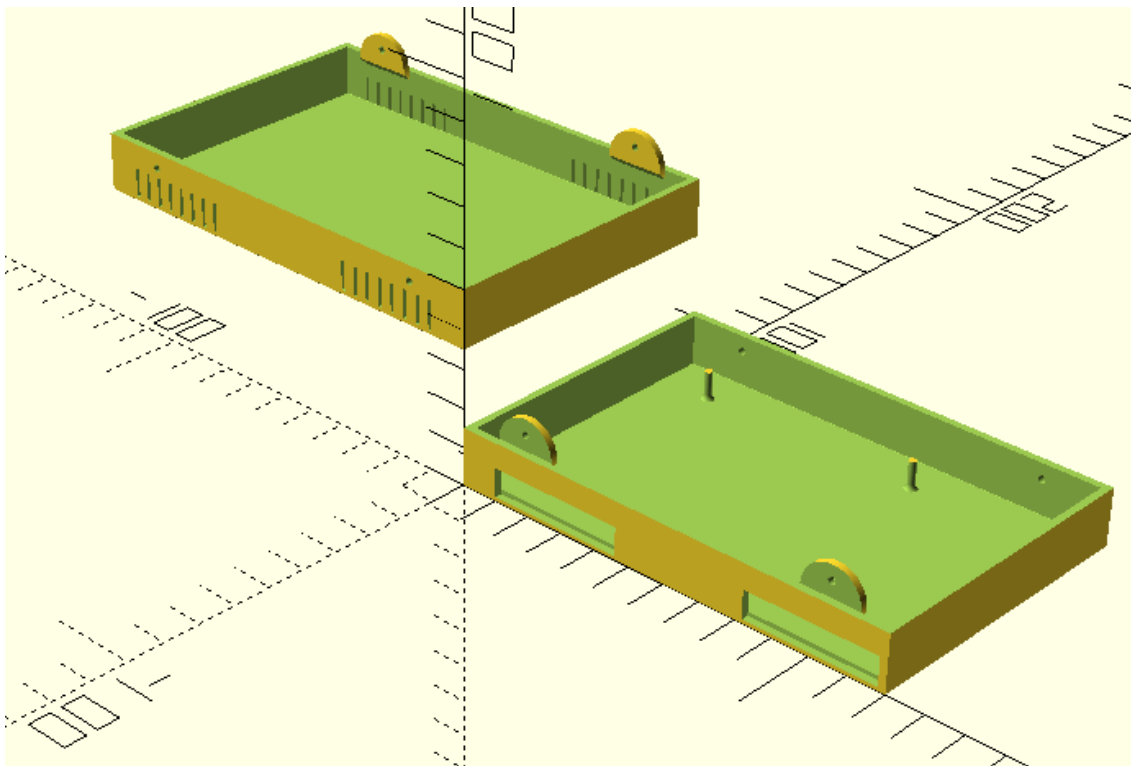
Deze module zorgt voor de gaten in de bevestigingen en de behuizing zelf opdat deze schroeven kunnen aanvaarden. Dit zijn niets meer als cilindervormige gaten met een bepaalde diameter welke afgetrokken dienen te worden van het geheel, dit resulteert in het volgende:



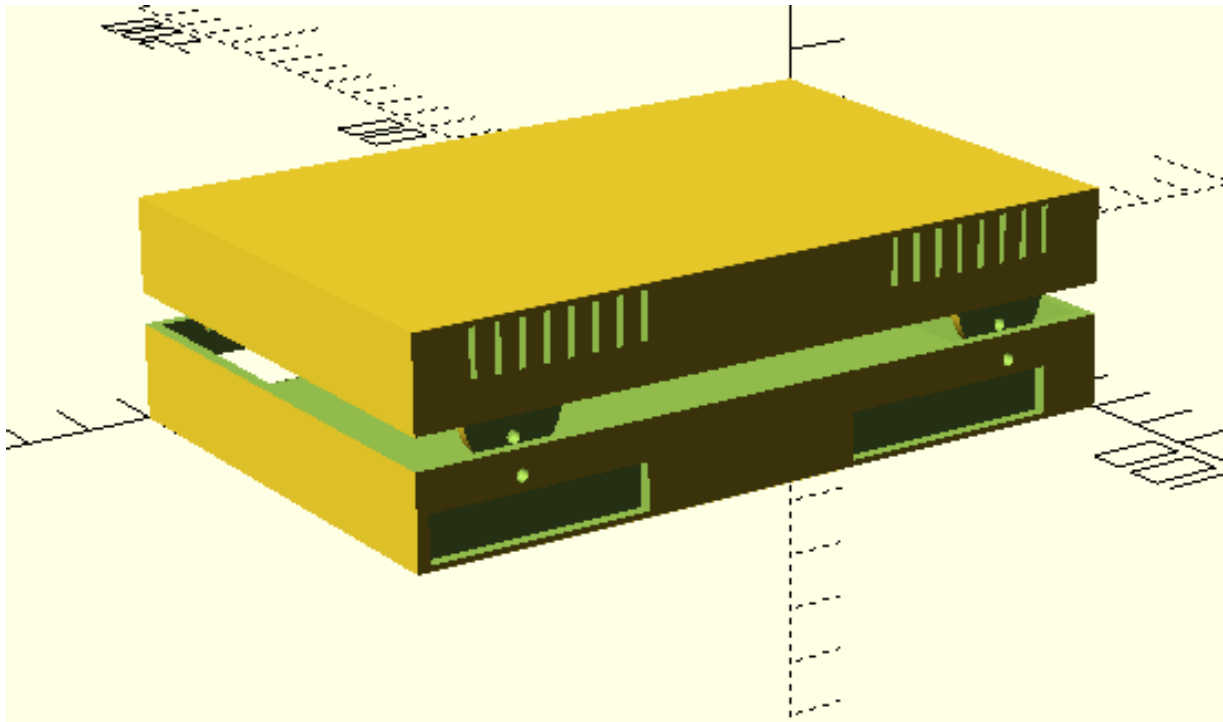
Figuur 31: behuizing met bevestigingsgaten

4.7 HET GEHEEL

Al het voorgenoemde zal resulteren in de volgende behuizing:



Figuur 32: complete behuizing (1)



Figuur 33: complete behuizing (2)

4.8 OPENSCAD FILES

Zoals reeds in de inleiding vernoemd werd kunnen de benodigde files gevonden worden op mijn Github op het volgende adres: <https://github.com/lmarien94/TurtleSunTank/tree/master/3D%20printing>.

Gezien het geheel nog niet geprint is kan ik nog niets over de echtelijke implementatie zeggen, hierop hoop ik spoedig van u een email te kunnen ontvangen dat het geheel klaar is.

