



UNIVERSITEIT TWENTE.

Bachelor Eindopdracht
Het ontwerp van een flexibel uitbreekstelsel

Opdrachtgever: D-Box
Uitvoerder: Dirk Ettema
Industrieel Ontwerpen Universiteit Twente
2012

Het ontwerp van een flexibel uitbreekstelsel

Door:

Dirk Jelle Ettema
s0199109

Bachelor Eindopdracht
Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente
16-08-2012

Uitgevoerd voor:

D-Box Verpakkingen B.V.
Malburgse Sluis 2
6833 KB Arnhem

Examencommissie:

Voorzitter: Prof. Dr. Ir. R. Ten Klooster
UT-Begeleider: Ir. M.E. Toxopeus
Bedrijfsbegeleider: dhr. M. Van der Bent

Voorwoord

Voor u ligt het verslag van mijn bachelor eindopdracht Industrieel Ontwerpen. De afgelopen 4 jaar heb ik Industrieel Ontwerpen gestudeerd aan de Universiteit Twente. De bachelorfase van deze opleiding wordt afgerond door middel van een eindopdracht waarin je geacht wordt een volledig ontwerptraject zelfstandig te doorlopen in opdracht van een bedrijf of instantie. Bij het zoeken van een opdracht heb ik gekeken naar een technisch uitdagende opdracht voor een functioneel, fysiek product. In de afgelopen jaren heb ik namelijk gemerkt dat hier mijn interesse ligt. Deze heb ik gevonden bij D-Box verpakkingen. Het bedrijf zocht naar een verbetering in het Stans- en Uitbreekproces. Dit sprak mij zeer aan en zodoende heb ik de afgelopen 3 maanden aan dit probleem gewerkt. Het was een nieuwe ervaring om volledige vrijheid te krijgen in het doen en laten binnen de opdracht. Uiteindelijk is de procesgang grotendeels hetzelfde geweest als de meeste projecten van voorgaande jaren. Het ontwerptraject, inclusief alle onderzoek, ideeën en testen, is vastgelegd in dit verslag. Tot slot wil ik nog mijn dank betuigen aan:

Michiel van der Bent, Bedrijfsbegeleider

Voor de vrijheid die ik gekregen heb en het meedenken over het ontwerproces

Marten Toxopeus, UT-Begeleider

Voor de begeleiding en feedback

De UT-Werkplaatsmedewerkers

Voor hun hulp bij de bouw van het prototype

Cosette Molijn

Voor het nakijken van het verslag

Dirk Ettema

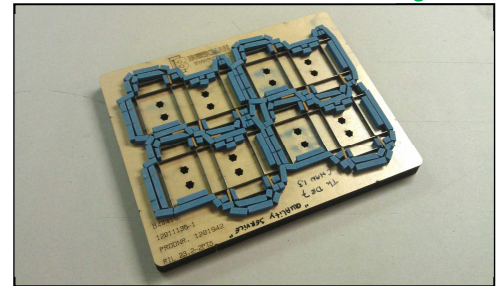
Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Inhoudsopgave	4
Samenvatting (Nederlands)	5
Samenvatting (Engels)	6
1. Inleiding	
1.1 De situatie	7
1.2 Het probleem	8
1.3 Oplossingsrichting	9
1.4 Doelstelling	9
1.5 Opzet van het project	9
2. Analysefase	
2.1 Het huidige stansproces met geautomatiseerd uitbreken	10
2.2 Het huidige stansproces met handmatig uitbreken	11
2.3 Uit te breken geometrie	12
2.4 Omstandigheden	13
2.5 Bedrijfsbezoek Dievision Stansmessen	15
2.6 Bedrijfsbezoek Beekman Stansvormen	16
2.7 Pakket van eisen en functies	17
3. Ontwerpfase	
3.1 Opzet ontwerpfase	21
3.2 Patenten	21
3.3 Ideegeneratie	22
3.4 Morfologisch schema	24
3.5 Drie Concepten	25
3.6 Afweging van de concepten	26
3.7 Afkadering verder ontwerp	26
3.8 Proof of Principle test pinnen	27
4. Uitwerkingsfase	
4.1 Het fixatiemechanisme	20
4.2 Conceptoplossingen	31
4.3 Het testen van de principes	33
4.4 Keuze uit te werken product	34
4.5 Volledige werking van het systeem	35
5. Productiefase	
5.1 Opzet productiefase	36
5.2 Productietechniek	36
5.3 CNC-Frezen en vonkboren	37
5.4 Metaalgaas	40
5.5 Testen en verbeteren prototype	43
5.6 Pinnen	44
6. Projectresultaat	
6.1 De situatie	47
6.2 Het probleem	47
6.3 Het idee	48
6.4 De twee ontwerpen	49
6.5 Overige Aspecten	51
7. Aanbevelingen en slot	
7.1 Aanbevelingen	52
7.2 Slot	52
Bijlages	
A - Opdrachtoomschrijving	
B - Plan van aanpak	
C - Productflow D-Box	
D - Patenten	
E - Morfologisch Schema	
F - Begrippenlijst	
G – Animatie Eindontwerp	

Samenvatting

Bij D-Box worden kartonnen verpakkingen geproduceerd in veel verschillende maten, vormen en seriegroottes. Deze worden veelal geproduceerd door te stansen, een techniek waarbij de platte, 2D vorm van de doos wordt uitgesneden uit een plaat karton door een stansmes (een houten plaat met stalen messen in de vorm van de betreffende doos, figuur 0.1) met grote kracht op de plaat te drukken. De plaat is vervolgens gesneden, maar de doos en het restmateriaal zitten nog aan elkaar. Dit moet gescheiden worden. Het scheidingproces heet uitbreken. De conventionele manier van uitbreken is met de hand; de gestante platen worden op een pallet gestapeld en men trekt het restmateriaal rond de dozen weg. Een andere optie is machinaal uitbreken, met een mannelijke en vrouwelijke stempel van de doos en een grote pers. De eerste optie is fysiek zwaar, kost veel tijd en is daarmee duur. De tweede optie vergt het aanschaffen van productspecifieke stempels. Gezien de kleine series die D-Box verwerkt kan dit niet altijd uit. Hier ligt dus de uitdaging om dit te verbeteren. Het doel van deze opdracht was het verbeteren van de

Figuur 0.1



Figuur 0.2



andere kant vertalen (figuur 0.2), ooit een bekende gadget.

Het pinscreen wordt in dit ontwerp gebruikt om het stempel te creëren. De juiste vorm wordt ingesteld door de pinnen op de plek van het product omhoog te zetten en de pinnen op de plek van het uit te breken materiaal omlaag te zetten. Door deze nu vast te zetten heeft men het mannelijke stempel. Dit idee is getest a.d.h.v. een klein prototype. Vervolgens is er gezocht naar een manier om de pinnen ook daadwerkelijk op hun plek te houden. De oplossing hiervoor is gevonden in een rubberlaag waar de pinnen doorheen gestoken worden. De weerstand van het rubber houdt de pinnen op hun plek. Nu dit ontwerp af is moet er gezocht worden naar een manier om dit te produceren. Het boren van de gaten waar de pinnen doorheen moesten blijkt namelijk erg kostbaar. Een alternatief is gevonden in een metaalgaasrooster. Het metaalgaas begeleidt de pinnen. Door het op de juiste manier te stapelen met het rubber wordt ook de weerstand verkregen. Uiteindelijk zijn beide ontwerpen samengevoegd in een einddocumentatie. Hierin staat een overzicht van de werking van het ontwerp en een voorstel voor twee verschillende productiemethodes (Metaalgaas en gaten boren). Daarnaast is er een prototype gemaakt van het metaalgaasontwerp, te zien in figuur 0.3. Met deze prototypes en documentatie wordt het project beëindigd en kan het idee gepresenteerd worden aan de opdrachtgever, maar ook aan toekomstige constructeurs van het ontwerp.



Figuur 0.3

Summary

At D-Box cardboard packagings are produced in many different shapes, sizes, materials and numbers. These are usually made by a manufacturing process called die-cutting. This technique creates the flat, 2d cut-out of a box or product out of a cardboard sheet by pressing a cutting die onto it. The cutting die (figure 0.4) exists out of a large wooden plate with steel knives inserted perpendicular to the woods surface. These knives are placed in the products shape. After die cutting the sheet is cut, but the product and the waste material of the sheet are still attached to each other. These have to be separated. The separation process is called 'waste stripping'. The conventional way of stripping this waste is by hand. The die cut sheets are stacked onto a pallet and workers pull the waste material away from the stack of products. Another option is automated waste stripping. In this case a male and female punch die that incorporate the products shape are used in a press to separate the product from the sheet. The first option is physically demanding and time consuming. This causes a high labor expense. The second option requires the purchase of product specific, costly punch dies. Because D-Box usually works with very small production runs, this is not always profitable. This is where improvement is sought. The objective of this project was to improve the workflow in the die-cutting and waste stripping process. By combining the efficiency of automated waste stripping with the flexibility of hand waste stripping a lot of time and money can be saved. The idea is to create a flexible punch die that can be adjusted to the product at hand. Then one can strip waste at high speed and precision, but without having to order a new punch die, avoiding delivery times and costs. For this project, only the male upper die is researched, since it is a lot more expensive than the female die.

Figure 0.4

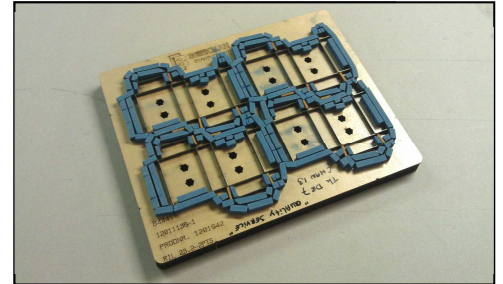
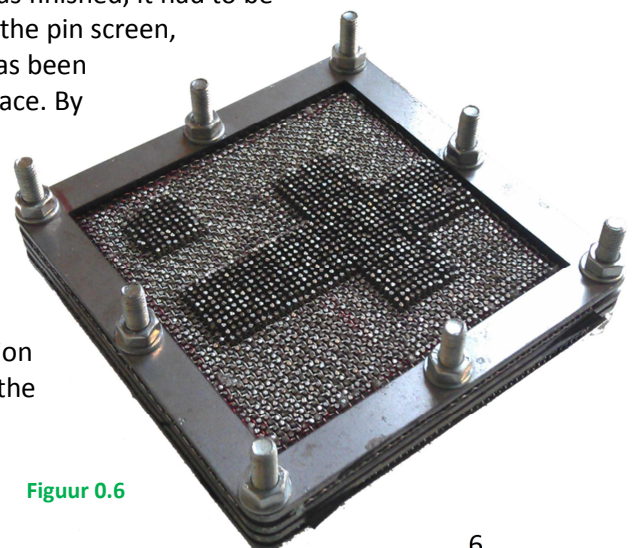


Figure 0.5



During the project different ways have been investigated to achieve the flexibility in the die. In the end, the result works with a so called 'pin screen'. A grid with pins inserted in it that can move up and down, translating a shape from one side to another. Many might now this from the once popular eponymous gadget, seen in figure 0.5.

In the design the pin screen is used to create the punch die. The shape of the product is set by pushing the pins up where the product will be located and down where the waste that has to be stripped will be. The product will be supported by the female under die. By fixing the pins in place the male punch die is made. This idea was tested with a proof of principle test. After that a design was made for fixing the pins in place. The solution was found in a thin rubber sheet clamped between two pin screens. By driving the pins through the rubber they have just the right amount of resistance to stay in place during the stripping process, but to be flexible enough to set into the right position during the set-up of the machine. Now the design was finished, it had to be produced. This posed a problem with the numerous holes of the pin screen, which would be too expensive too machine. An alternative has been found in using steel wire mesh as a grid to keep the pins in place. By stacking it in certain ways with the rubber layers and clamping it in a frame, the desired effect is created. In the end, all the conclusions of the project have been documented in the final chapter. This contains a construction proposal for both production techniques (Wire mesh and drilled holes), as well as a prototype for the wire mesh design (figure 0.6). The prototype and the documentation is the end result of the project and can now be presented to the client, but also to possible manufacturers of the design



Figuur 0.6

1. Inleiding

Aan het begin van het project is er een plan van aanpak gemaakt om een beeld te krijgen van het probleem en de te verrichten stappen. Dit plan van aanpak kunt u samen met de originele opdrachtomschrijving vinden in bijlage A en B. Hier in de inleiding wordt een samenvatting gegeven van de probleem- en doelstelling en wordt de opzet van het project weergegeven.

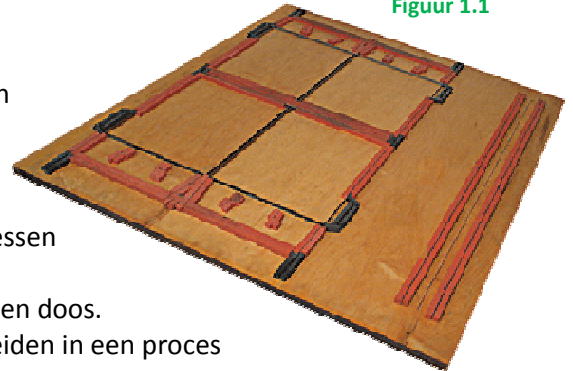
1.1 De Situatie

Bij D-box verpakkingen B.V. worden kartonnen verpakkingen gestanst uit vlakke platen karton. Dit gebeurt door een stansmes, te zien in figuur 1.1, met grote kracht op het karton te drukken m.b.v. een stansdegel, figuur 1.2. Een stansmes bestaat uit een houten plaat met daarin stalen messen in de vorm van het betreffende product. deze platen zijn productspecifiek en zijn een 2D weergave van de uitgevouwen doos. Vervolgens worden het product en het restmateriaal gescheiden in een proces

genaamd uitbreken. Dit gebeurt machinaal d.m.v. De verpakkingen worden geproduceerd in series van ongeveer 50 – 5.000 stuks met een stanssnelheid van tussen de 400 en 1.200 platen per uur.

In figuur 1.3 is de levenscyclus van een gestanst product te zien. Van de verpakking (1) wordt een 2D model gemaakt (2) hiervan wordt een stansmes gemaakt (3) en vervolgens wordt hiermee gestanst (4) en zit het product los in de plaat (5) na het uitbreken heeft men de 2D vorm van het product (6) die gevouwen of verlijmt wordt tot de 3D verpakking (7)

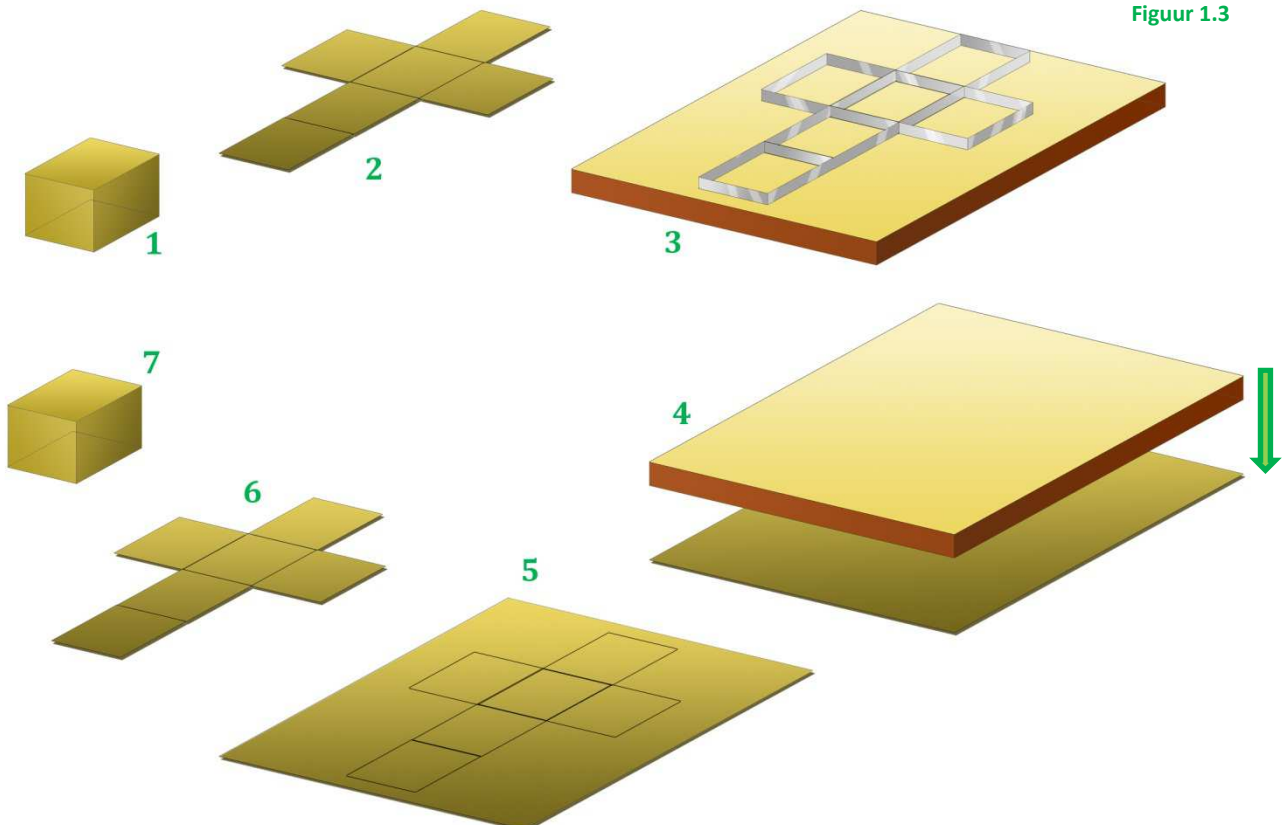
Figuur 1.1



Figuur 1.2



Figuur 1.3



1.2 Het Probleem

Bij het stansen laat het stansmes kleine bruggetjes staan, het product blijft zo vastzitten aan de kartonnen plaat. Dit is om te voorkomen dat het product blijft 'hangen' in het stansmes. Dit restmateriaal moet later echter wel verwijderd worden, dit noemt men uitbreken. Het uitbreken kan op 2 manieren:

1.2.1 Machinaal

Machinaal gebeurt dit door een uitbreekplank met een stempelvorm van het product op de gestanste kartonnen plaat te drukken, die op een 2^e uitbreekplank ligt met uitsparingen voor het restmateriaal. Hierdoor valt het restmateriaal in een bak en wordt het product doorgeschoven om op een pallet gestapeld te worden. De snelheid van het uitbreekproces is onafhankelijk van de vorm en maat van het product. Nadelen van deze techniek voor D-box zijn:

- Naast een stansmes moeten er ook nog 2 uitbreekplanken besteld worden. Dit is een investering die bij kleinere oplages niet rendabel is.
- Er is in de fabriek slechts 1 stansmachine aanwezig die een dergelijk uitbreekstation bevat.

1.2.2 Handmatig

Met de hand uitbreken (figuur 1.4 en 1.5) betekent dat er 2-4 werknemers pakken karton van de pallet met het gestanste product afbreken. Bij uitsparingen in het midden van het product worden deze afgestapeld en met de hand uitgedrukt. Een hulpgereedschap hierbij is een soort schroevendraaier om zeer kleine rondjes e.d. uit te breken. Een andere gereedschap dat gebruikt kan worden is de zogeheten 'knabbelaar', een pneumatisch aangedreven happer die in hoog tempo het restmateriaal laag voor laag afscheurt. Dit kan echter alleen bij makkelijk loslatend restmateriaal en levert ook gevaar op voor beschadiging van het product.

De Nadelen van deze techniek voor D-box zijn:

- Ongeschoolde arbeid, maar wel fysiek zwaar.
- Er zijn tot wel 4 mensen bezig met een pallet uitbreken dit betekent hoge arbeidskosten.
- Bij inkepingen/uitsparingen in het product moeten de producten van de pallet afgestapeld worden om het midden van het product te bereiken.
- Hoe complexer het product, hoe meer tijd het kost aangezien er minder lagen tegelijk uitbroken kunnen worden.
- Het stansen en uitbreken zijn losse processen, waarbij het uitbreken ook nog eens langer duurt dan het stansen. Dit zorgt voor oponthoud in de workflow.

Figuur 1.4



Figuur 1.5



1.3 Oplossingsrichting

De oplossingsrichting waarin gezocht zal worden is het flexibel maken van het machinale uitbreekstelsel. Gezocht wordt naar een manier om het uitbreekstelsel zo te construeren dat men het kan aanpassen aan het product dat wordt gestanst. Op die manier hoeft men niet voor elke order een nieuwe vorm te bestellen. Ook is het de bedoeling dat dit uiteindelijk in een apart station verwerkt wordt die achter de bestaande stansdegenen geplaatst kan worden. Dit om de koppeling tussen stansen en uitbreken zo direct mogelijk te houden.

1.4 Doelstelling

Het doel van de opdracht is het verbeteren van de workflow in het stans- en uitbreekproces door het ontwerpen van een flexibel uitbreekstelsel. Dit door middel van een uitbreekplank die aanpasbaar is aan de geometrie van het betreffende product. Dit is het hoofddoel van de opdracht. Dit wordt uitgewerkt tot in ieder geval een werkend prototype, waarbij rekening wordt gehouden met het totale stansproces en onderbrenging van het ontwerp in een apparaat/machine. Het ontwerptraject duurt 3 maanden, beginnende op 16 april 2012 en af te ronden op 16 augustus 2012. Dit is inclusief de oplevering van een prototype, projectverslag en eindpresentatie.

1.5 Opzet van het project

Het project is opgedeeld in verschillende fases om een onderscheid te maken in de verschillende stappen die gezet worden.

Aan het begin van het project is een uitgebreide analyse gedaan van de huidige situatie en de problemen. Hieruit is een programma van eisen samengesteld. Dit is de analysefase, te vinden in hoofdstuk 2. Daaropvolgend komt de ontwerpfase in hoofdstuk 3 waarin ideeën gegenereerd worden om het probleem op te lossen. Dit op basis van de kennis opgedaan in de analysefase. De ideeën worden onderzocht en uitgewerkt in hoofdstuk 4, de uitwerkingsfase. Als dan het ontwerp bekend is wordt er in de productiefase, hoofdstuk 5, gekeken naar hoe het ontwerp geproduceerd kan worden. Hieronder valt ook de bouw van een prototype. Als laatste volgt de einddocumentatie in hoofdstuk 6, waarin alle informatie met betrekking tot het ontwerp vastgelegd wordt. Dit zal gepresenteerd worden als het eindresultaat aan de universiteit en dienen om naar constructeurs toe te stappen.

2. Analysefase

Alvorens te beginnen met ontwerpen zijn de verschillende aspecten van het probleem en de huidige situatie onderzocht en geanalyseerd, om zo de benodigde informatie te verzamelen. Dit alles is samengevoegd in een pakket van eisen.

2.1 Het huidige stansproces met geautomatiseerd uitbreken

Bij D-Box is 1 machine aanwezig die automatisch stanst en uitbreekt, hier zit dus al een uitbreeksysteem in. Deze machine is te zien in figuur 2.1. Hieronder is een opsomming gemaakt van de werkstappen in dit proces

2.1.1 Instellen

- De machinebediener haalt een stansmes uit het magazijn.
- Dit stansmes wordt in de machine geplaatst.
- De machinebediener haalt een uitbreekplaat uit het magazijn.
- De uitbreekplaat wordt in de machine geplaatst.
- Een pallet met vellen wordt voor de machine geplaatst.
- Een lege pallet wordt achter de machine geplaatst.
- Een lege bak wordt onder de uitbreker geplaatst voor het afval.
- Er wordt een proefstans gemaakt.
- De bediener controleert of het product goed is en maakt eventueel aanpassingen aan de uitlijning.

2.1.2 Stansen en uitbreken

- De bediener geeft de plaat aan van de pallet.
- De machine pakt de plaat vast en plaatst deze onder het stansmes.
- Het stansmes sluit zich.
- Het stansmes opent zich.
- De machine voert de plaat door naar het uitbreekstation en positioneert hem, ondertussen wordt de volgende plaat de stans ingevoerd.
- De uitbreekplaat zakt en het product wordt uitgebroken.
- Het restmateriaal valt in een afvalbak die regelmatig geleegd wordt.
- De uitbreekplaat komt weer omhoog.
- De machine pakt de plaat vast en positioneert hem op een pallet.
- Als de pallet klaar is kan hij verwijderd worden.

2.1.3 Overig

Andere opmerkelijke punten zijn:

- Bij vastlopers wordt de machine stil gezet en moet de machinebediener de platen handmatig verwijderen, waarbij het product vaak kapot gaat.
- Als de bak voor het restmateriaal vol is moet men deze legen, waarbij een wisselsysteem wordt toegepast met 2 bakken zodat de machine kan doordraaien.
- Er is altijd 1 werknemer nodig om de producten in te voeren.



Figuur 2.1

2.2 Het huidige stansproces met handmatig uitbreken:

Een groot deel van de producten wordt gestanst op stansdegels waarbij het uitbreken achteraf gebeurt. Voor deze stansdegels wordt het flexibele uitbreeksysteem ontworpen. Een afbeelding van de stans in werking ziet u in figuur 2.2. Hieronder zijn de verschillende werkstappen opgesomd.

2.2.1 Instellen

- De machinebediener haalt een stansmes uit het stansmesmagazijn.
- Dit stansmes wordt in de stans geplaatst.
- Een aanslag wordt gemaakt.
- Er wordt een proefstans gemaakt.
- De bediener past de aanslag aan zodat de plaat karton recht ligt.
- De bediener checkt of de plaat goed uitbreekt.
- Eventuele extra bruggen worden aangebracht door met een slijptol inkepingen in het mes te maken.
- De bediener plaatst een pallet met karton/gecacheerde vellen op de rolbaan.

Figuur 2.2

2.2.2 Stansen

- De bediener pakt een plaat van de pallet.
- De bediener plaatst deze in de stans, tegen de aanslag.
- De degel sluit zich.
- De degel opent zich.
- De bediener verwijdert de plaat en plaatst deze op een pallet tegen de aanslag.
- De bediener plaatst een nieuwe plaat karton.



Verder kan de frequentie waarmee de degel sluit gevarieerd worden om het werktempo te bepalen. Ook kan de pallet in hoogte worden veresteld. Dit laatste is om de werknemers een ergonomischere houding te bieden. Ook kan een tweede bediener de plaat uitnemen, waardoor men sneller kan werken.

2.2.3 Uitbreken

- Een medewerker plaatst een pallet om uit te breken op de werkvloer.
- 2-4 medewerkers pakken stapels restmateriaal vast en breken het van de pallet af.
- Het karton wordt in een afvalcontainer gegooit.
- Bij uit te breken stukken die niet aan de rand zitten, moet de pallet afgestapeld worden in pakken van 5-50 stuks (sterk afhankelijk van productgeometrie en materiaal). Deze pakken worden vervolgens apart uitgebroken, soms m.b.v. een zogeheten 'knabbelaar' (figuur 2.3). een hydraulisch aangedreven gereedschap dat het restmateriaal wegtrekt. Hierna stapelt men het op een andere pallet weer op tegen een aanslag.
- Het uitbreken is fysiek zwaar werk en levert vaak sneeën op in de handen door het scherpe karton.

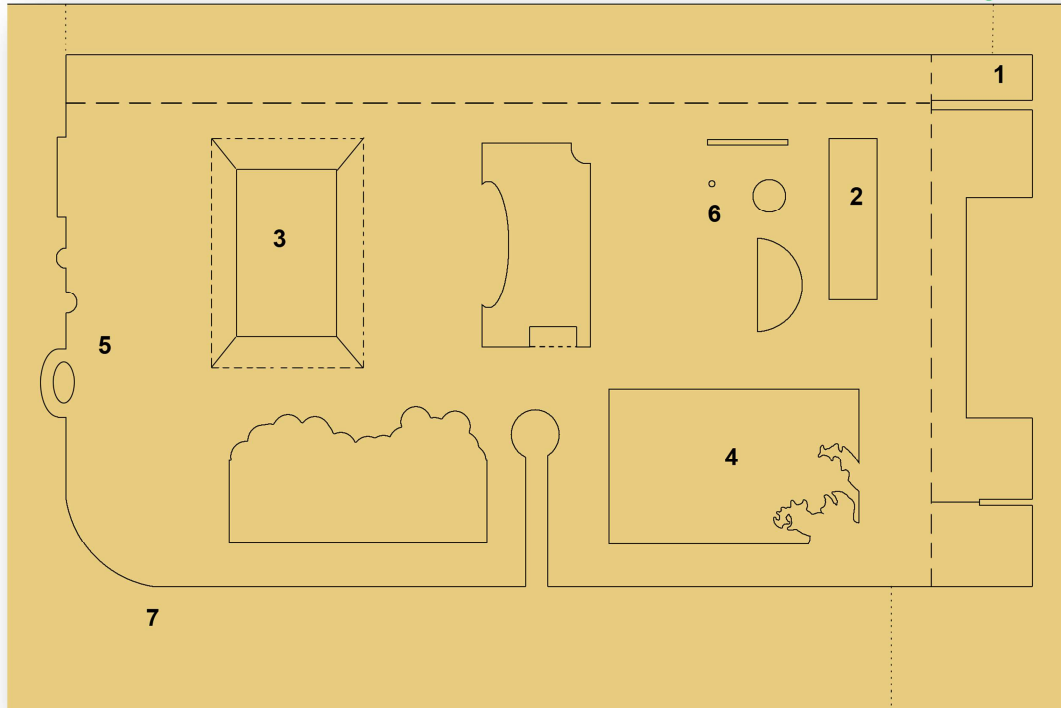
Figuur 2.3



2.3 Uit te breken geometrie

Er moeten verschillende producten uitgebroken kunnen worden door het systeem. Er is een analyse gemaakt van de verschillende vormen die zich voordoen. Dit is gedaan aan de hand van eerdere producties van D-Box. Hieruit is een voorbeeld gecreëerd waarin zoveel mogelijk vormen zijn opgenomen die gebruikt worden. De vorm is te zien in figuur 2.4

Figuur 2.4



Bij het uitbreken zijn bepaalde vormen lastiger dan anderen. Gebleken is dat de volgende vormen knelpunten zijn waar extra aandacht aan besteedt moet worden bij het ontwerp van het systeem:

- 1) De dunne stroken bij vouwflappen, de weerstand om deze er uit te halen is vrij groot terwijl het oppervlak en de sterkte van de strookjes vrij klein zijn. Er is een risico dat de strookjes afbreken en blijven zitten.

- 2) Inserts in het midden van de plaat kunnen niet van de zijkant uitgebroken worden.

- 3) Vouwlijnen moeten niet vouwen bij het uitbreken, omdat het product dan niet gestapeld kan worden op de pallet.

- 4) Sommige inserts hebben aan de ene kant een complexere geometrie dan aan de andere kant, hierdoor kan het zijn dat hij niet recht uitbreekt en vast blijft zitten.

- 5) Kleine hoekjes e.d. mogen niet van het product afbreken.

- 6) Hele kleine inserts en strookjes zijn zeer lastig uit te breken, de minimum breedte van dit soort objecten is 3mm.

- 7) Grote oppervlaktes betekenen veel uitbreekmateriaal dat afgevoerd moet worden.

2.4 Omstandigheden

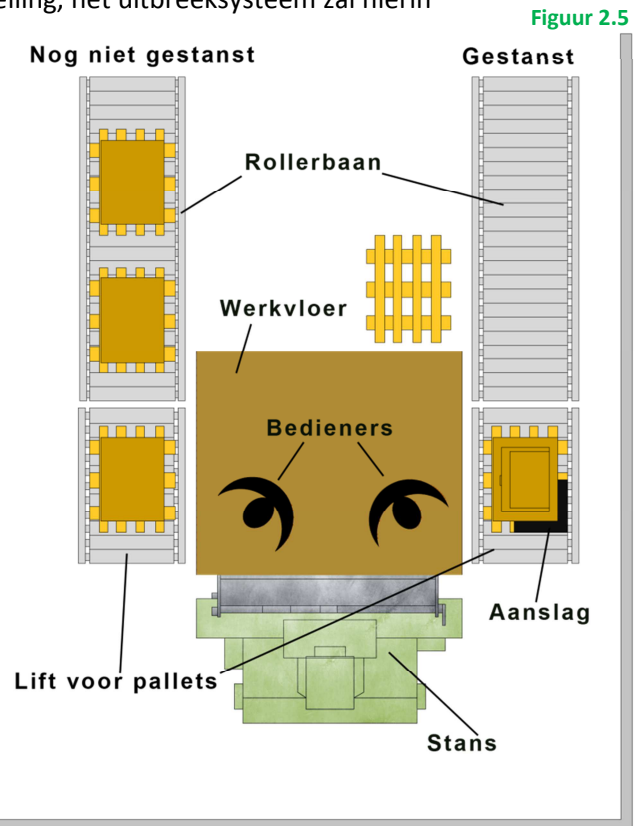
2.4.1 Layout werkplek

Het stansen gebeurt in de in figuur 2.5 afgebeelde opstelling, het uitbreeksysteem zal hierin geïntegreerd moeten worden.

Aan de ene zijde van de stans bevindt zich een rollerbaan waar de pallets met het ongestanste product op geplaatst worden. Aan het einde van de rollerbaan bevindt zich een lift zodat de bediener de platen van een comfortabele hoogte kan pakken en niet hoeft te bukken naarmate de stapel slinkt. Vervolgens pakt de bediener de plaat en legt hem in de stans, dit is in principe alle werkruimte die hij nodig heeft. Het bedieningspaneel hangt binnen handbereik. Een tweede persoon staat rechts van hem en haalt de platen uit de stans en plaatst ze op een pallet tegen een aanslag. Dit is zijn werkruimte. De pallet staat ook weer op een rollerbaan met lift. In sommige gevallen kan slechts 1 bediener beide functies vervullen. Dit is afhankelijk van het formaat van de platen en de beschikbare arbeidskracht.

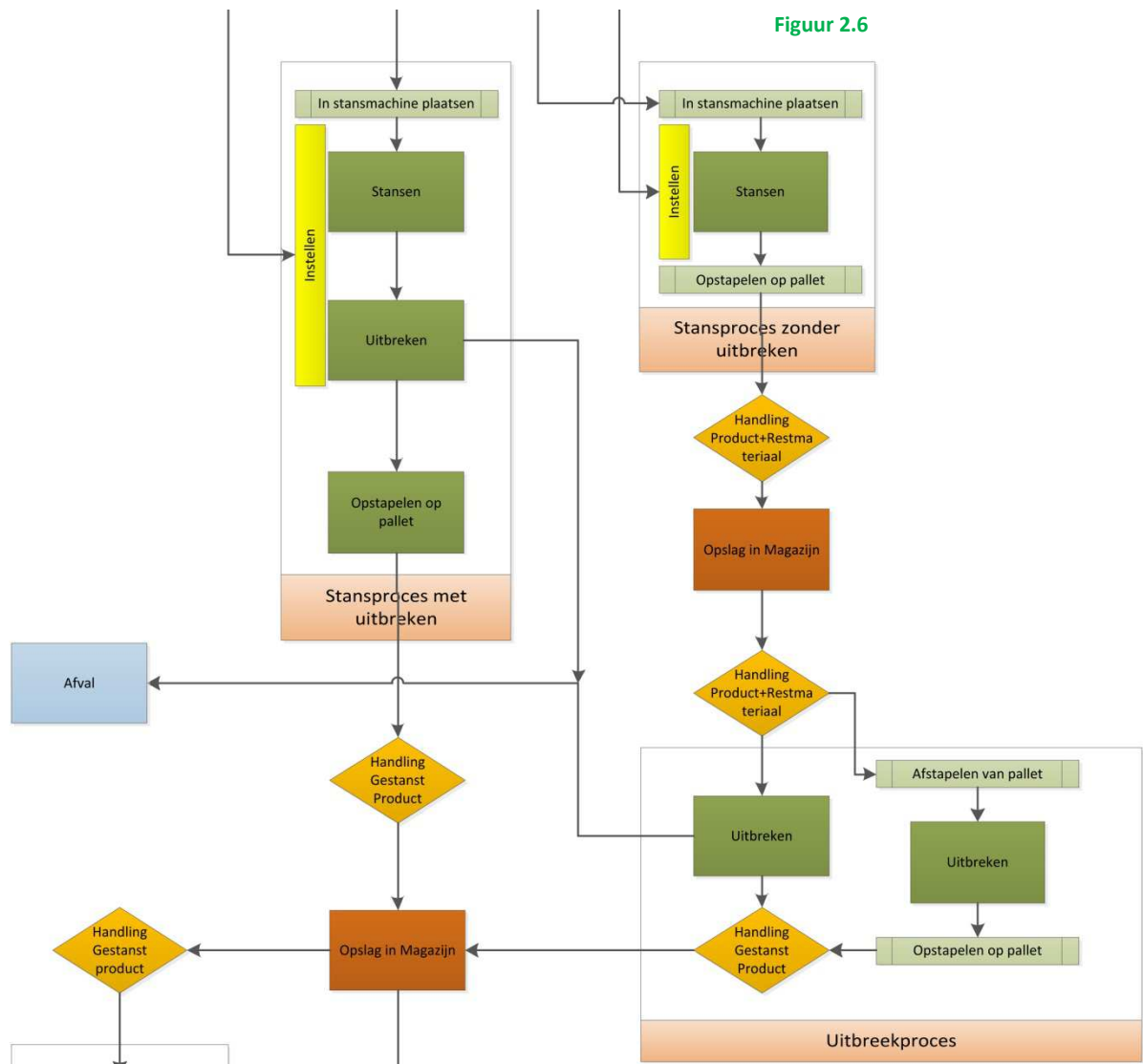
Het plan is om op de plek van de tweede rollerbaan het uitbreeksysteem te creëren zodat het binnen handbereik staat van de bedieners en het stansen en uitbreken een integraal proces wordt. Vervolgens moet het uitbreeksysteem de plaat op de pallet plaatsen. Indien dit niet mogelijk blijkt moet de bediener die de platen uitneemt dit voor zijn rekening nemen en er dus bij kunnen. Ook moet er nagedacht worden over wat er gebeurt als een product niet door het systeem uitgebroken kan worden. Eventuele oplossingen zouden dan zijn om toch ruimte te hebben voor een pallet en het ouderwetse systeem of de platen toch door het automatische systeem heen te laten gaan en gewoon niet uit te breken.

Bij de andere stans is de opzet hetzelfde, echter ontbreekt hier de rollerbaan en zetten werknemers de pallets met een palletwagen op de juiste plek. De lift is wel aanwezig.



2.4.2 Workflow D-Box

Er is een analyse gemaakt van de stappen die een product bij D-Box in de fabriek aflegt alvorens het bij de consument beland. Hiermee is er een beter overzicht over waar welk product langsgaat, en waar eventuele knelpunten liggen. In dit diagram is te zien dat het handmatig uitbreken voor een enorme vertraging in het proces zorgt, doordat er naast de geïnvesteerde uitbreektijd ook extra tijd benodigd is voor de handling, de pallets met gestanst materiaal moeten verplaatst worden van en naar het uitbreekstation. Het uitbreekproces is hierbij ook niet synchroon met het stansproces. Er bestaat dus een risico dat er pallets zoekraken of beschadigen tijdens deze extra stappen. In figuur 2.6 vindt u een deel van het workflow diagram. Het volledige diagram is te vinden in bijlage C.



2.5 Bezoek Dievision Stansmessen

Om een beter beeld te krijgen van wat belangrijk is bij het ontwerp van een stansmes/uitbreekplank is een bezoek gedaan aan het bedrijf Dievision. Dit bedrijf produceert stansmessen en uitbreekplanken voor D-Box maar ook voor belangrijke partners van D-Box als Smurfit Kappa en al zijn subdivisies. Samen met een medewerker van het bedrijf is het hele proces nagelopen.



2.5.1 Het productieproces

Als D-Box een product ontworpen heeft wordt er een tekening van gemaakt in een technisch tekenprogramma (ArtiosCAD) van het product. Hierin wordt ook gespecificeerd welk materiaal er gestanst wordt en eventueel hoe de producten op de plaat genest zijn. Daarnaast zijn er nog wat wensen t.b.v. gebruikte rubbers en messen, codes en typenummers etc. die ook op de plaat verwerkt worden.

Als de order is aangenomen bij Dievision beland deze op de ontwerpafdeling, hier worden het stansmes en eventueel de uitbreekplaten ontworpen. Alle snijgroeven waar de messen/rillijnen/rubbers in moeten komen worden gedefinieerd en uitsparingen, bevestigingspunten en handgrepen worden in het ontwerp verwerkt. Als het ontwerp klaar is wordt het doorgestuurd naar de werkvloer. Voor een uitbreekplank geldt hetzelfde proces, echter worden hier 2 delen gebruikt, een mannelijk en een vrouwelijk deel. Het mannelijke deel komt van bovenaf tijdens het uitbreken en bevat verhogingen van hout, stalen pinnen en stalen strips (verschillende combinaties) die een stempel vormen van het restmateriaal en een vrouwelijk deel dat bestaat uit een plank met uitsparingen waar het restmateriaal doorheen moet vallen. Bij Dievision worden ook roterende stansen ontworpen. Aangezien D-Box geen gebruik maakt van roterende stansen wordt hier verder niet op ingegaan.

Op de werkvloer wordt een grote plaat stevig multiplex met hittebestendige lijm op de lasersnijder gelegd. De lasersnijder plot de uitsparingen in de plaat. Dit gaat pulserend zodat er een patroon ontstaat als in figuur 2.7. Hierdoor klemt het mes als het in de stansplaat geslagen wordt. Als de lasersnijder de mesgroeven, handgrepen, informatie e.d. heeft aangebracht snijdt hij de plaat uit. Een werknemer tikt de plaat los en verwijdert de uitsparingen.

Op het volgende station worden de messen in de plaat geplaatst. Deze worden op rol geleverd en automatisch gebogen en geponst. Een werknemer tikt deze vervolgens met een leren hamer in de plaat om de messen niet te beschadigen. Bij lastige vormen worden de messen met de hand bijgewerkt. Voor de rillijnen geldt hetzelfde. Als laatste worden rubbers aangebracht naast de stansmessen. Deze zijn om het karton op zijn plek te fixeren alvorens de messen erin snijden, anders gaat het karton scheuren. De rubbers zijn in vele soorten en maten leverbaar. Dit is afhankelijk van het te stansen materiaal en de wensen van de klant. De rubbers worden geleverd in strips met plakzijde of uitgesneden m.b.v. een waterstraalsnijder.

Als het stansmes klaar is wordt het naar de klant getransporteerd.

Figuur 2.7



2.5.2 Algemene punten

- Een stans die iets duurder is maar gegarandeerd werkt is te verkiezen boven een goedkopere, waarbij vaak langere insteltijd nodig is en fouten zorgen voor machinestilstand. Ook is het verstandig de stansdegel goed te onderhouden; onnauwkeurigheid zorgt voor veel insteltijd.
- Roterend stansen gaat sneller maar is duurder en is beter geschikt voor grotere oplages (veel voedselindustrie).
- Veel keuzes van soorten rubbers en messen zijn afhankelijk van de wensen van de klant, conventies binnen het bedrijf etc. maar hebben in principe weinig invloed op het stansproces.
- Rubbers en schuim worden gebruikt om de producten te fixeren zodat ze niet scheuren en om ze af te zetten zodat ze niet blijven hangen in het stansmes
- Op de stansplaat staan kartonorientatie (golf) en serienummer e.d.
- Rondstans á € 1500,- tot € 2000,-, Vlak stans á € 300,- tot € 500,-. De prijs hiervoor komt voornamelijk uit de vele uren die zitten in het met de hand plaatsen van de messen en rubbers
- Het gebruikte hout en de messen zijn in principe altijd gelijk, of er nu 400 drukvellen mee gedaan worden of 400.000. Bij grote oplages worden er wel duurzamere rubbers gekozen.
- Roterende stansen zijn gekarteld voor een zaagbeweging in plaats van een schaarbeweging

2.5.3 Uitbreken

- Bij het uitbreken pakken pinnen eerst het restmateriaal vast en gebeurt het uitbreken op de terugweg met stalen strips. De uitsparingen in de vrouwlijke plaat zijn afgeschuind om het restmateriaal te lossen.
- Het is belangrijk dat de stukken zo recht mogelijk uitgebroken worden, als het scheef gaat blijft het hangen en zorgt het voor problemen in de machine of het product.
- Grote vlakken kan men uitbreken door een stempel van hout te maken, voor een betere drukverdeling. Dit kan vanwege de relatief lagere weerstand per materiaaloppervlakte.
- Uitbreekplaten zijn opgehangen met latten om de uitgebroken stukken voldoende ruimte te geven om er tussendoor te vallen.
- De onderste uitbreekplaat kost niet zoveel, de bovenste uitbreekplaat wel vanwege stalen inserts en het handwerk dat hierbij komt kijken.

2.6 Bezoek Beekman Stansvormen

Als aanvulling op het bezoek bij Dievision is er een bezoek gebracht aan Beekman Stansvormen, een andere leverancier van stansmessen aan D-Box.



Beekman stansvormen is een kleiner bedrijf dan Dievision. Er werken slechts 5 of 6 mensen die handmatig de stansmessen in elkaar zetten. Het proces is echter ongeveer hetzelfde; De klant kan bij Beekman binnenstappen met een uitgewerkte stansmestekening, een product of zelfs maar een idee. In dat laatste geval wordt samen met de klant en met behulp van de plotter een product ontwikkeld en een stansmes ontworpen. Als dit gebeurd is wordt de plaat in de laserplotter uitgesneden en worden de meeste messen automatisch op lengte geknipt. Dus nog niet gebogen of geponst. Dit doet de werknemer handmatig m.b.v. een voetbuigmachine, een handpons etc. Hier zit veel handwerk in. De werknemer plaatst vervolgens de messen in de plaat en plakt de rubbers. Ook deze worden met de hand op maat gemaakt. Dit gebeurt allemaal aan de hand van een mapje documenten met alle instructies. Als het mes klaar is wordt het nog eenmaal gecontroleerd en vervolgens ingepakt en opgestuurd.

Het grootste verschil met Dievision is de schaal van het proces. Het handwerk zorgt voor een lagere productiecapaciteit, maar wel een hoge flexibiliteit en betrokkenheid. Elke mes wordt zorgvuldig op maat gemaakt door slechts 1 werknemer. Het is voor Beekman heel gemakkelijk om even een vorm tussendoor te bouwen zonder dat er op tal van plekken oponthoud of verstoring optreedt. Wel is het zo dat hiervoor wat meer ervaren werknemers vereist zijn.

2.7 Pakket van Eisen en functies

2.7.1 Het te ontwerpen product

Het doel is een systeem te creëren dat het handmatig stansen combineert met het machinaal uitbreken. Er zal een apart apparaat/station komen naast de stans waar de zojuist gestanste platen handmatig ingevoerd en uitgebroken worden. Het belangrijkste van dit systeem is dat de stansvorm aan te passen is aan de geometrie van het product zonder dat er een uitbreekplank o.i.d. bestelt hoeft te worden. De voordelen van zo een systeem zijn:

- Een kostenbesparing door het achterwege blijven van de uitbreekplank.
- Een flexibeler proces door het achterwege blijven van de fabricagetijd van een uitbreekplank.
- Een betere workflow door het stansen en uitbreken te koppelen.
- Een snellere levering door sneller uitbreken.
- Een goedkoper proces door besparing op arbeidskosten.

Het ontwerp zal gebaseerd worden op de specificaties van de 3 aanwezige stansen bij D-Box van het type Cauhé en Titan.

2.7.2 Functie Overzicht

Voor het ontwerpen van het systeem is een lijst gemaakt met functie's die het systeem moet kunnen vervullen. Deze bestaat uit vijf hoofdfuncties die onderverdeeld zijn in subfuncties. Deze functies zijn vervolgens in een diagram geplaatst om de relaties t.o.v. elkaar aan te geven (figuur 2.8 en 2.9)

Hoofdfuncties

- 1 Instellen op specifiek product
- 2 Product+restmateriaal innemen
- 3 Uitbreken
- 4 Restmateriaal uitvoeren
- 5 Product uitvoeren

Subfuncties

1 Instellen op specifiek product

- 1.1 Openen/bereikbaar zijn
- 1.2 Annuleren van de vorige uitbreekvorm
- 1.3 Instellen uitbreekvorm
- 1.4 Variëren in uitbreekvorm
- 1.5 Fixeren uitbreekvorm
- 1.6 Test uitbreken

2 Invoeren

- 2.1 Product+restmateriaal fixeren
- 2.2 Product+restmateriaal in positie brengen
- 2.3 Product+restmateriaal centreren/Uitlijnen
- 2.4 Product+restmateriaal ondersteunen

3 Uitbreken

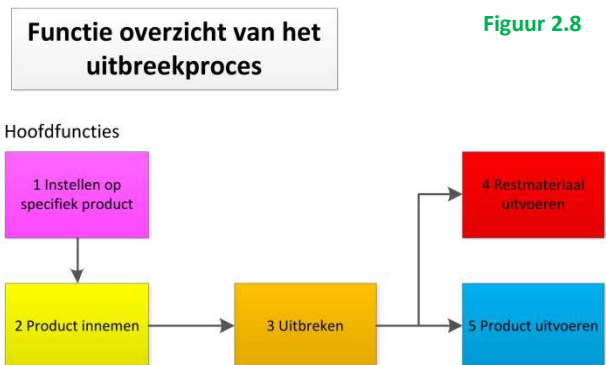
- 3.1 Verbinding tussen product en restmateriaal verbreken
- 3.2 Product van het restmateriaal scheiden
- 3.3 Product ondersteunen

4 Restmateriaal uitvoeren

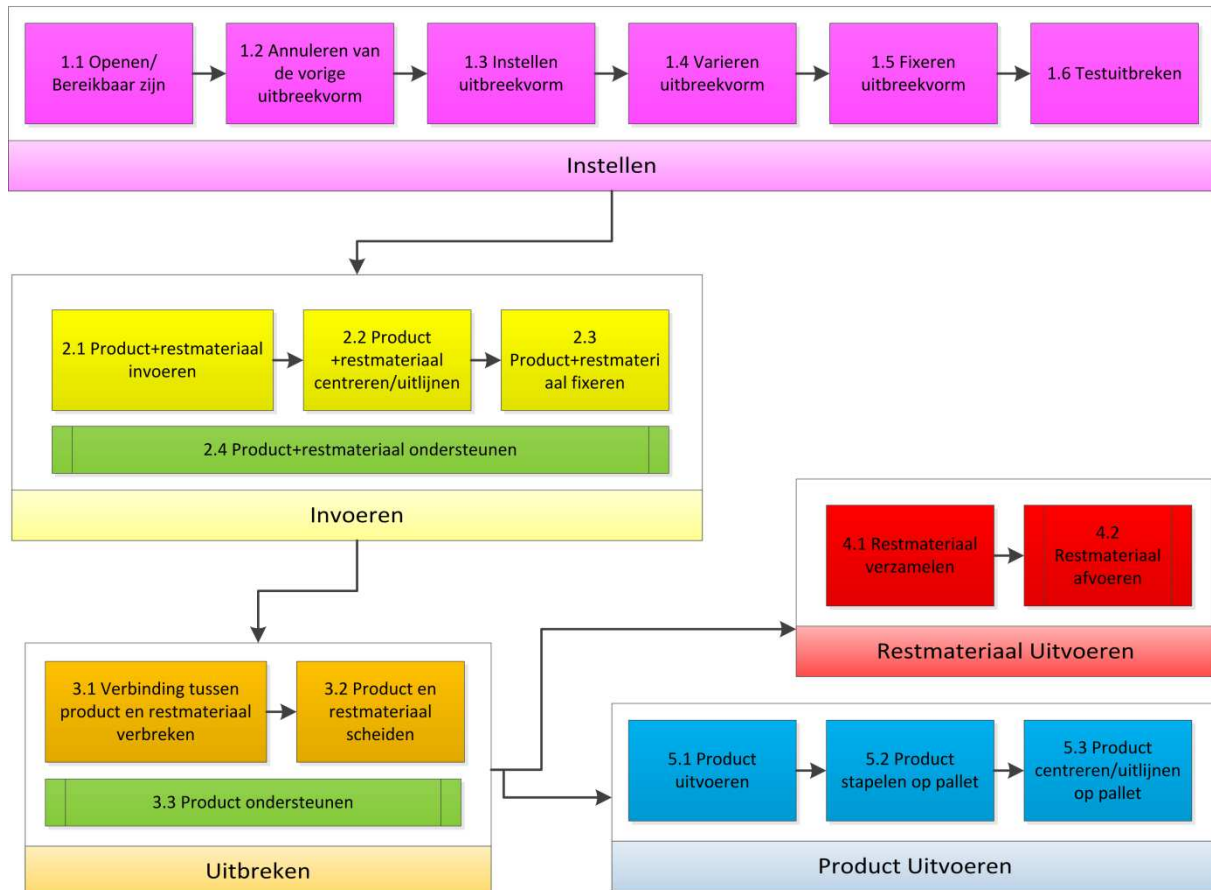
- 4.1 Restmateriaal opvangen
- 4.2 Restmateriaal afvoeren

5 Uitnemen

- 5.1 Product uitvoeren
- 5.2 Product stapelen op pallet
- 5.3 Product centreren/uitlijnen op pallet



Figuur 2.8



2.7.3 Mogelijkheden voor functieinvulling

Geautomatiseerd of handmatig: Door een machine laten uitvoeren of door personeel.

Actief of passief: Actief d.m.v. bijvoorbeeld een actuator of passief door b.v. de geometrie.

Feedback of blind: Een gecontroleerd proces dat corrigeert a.d.h.v. een sensor of een blind proces dat vooraf ingesteld wordt.

Aangestuurd of autonoom: Een proces dat door de machine uitgevoerd wordt of dat extern aangestuurd wordt.

2.7.4 Eisen en randvoorwaarden:

Naast de functie's die uitgevoerd moeten worden is er ook een lijst met eisen en randvoorwaarden waar het product aan moet voldoen. Deze zijn gespecificeerd voor de Cauhe, de grootste aanwezige stansdegel.

Workflow en snelheid

- Het systeem moet 800 stuks per uur kunnen uitbreken om de snelheid van de Cauhé stansdegel bij te houden.
- Een nieuw product moet binnen een half uur in te stellen zijn (wens: 10 minuten).
- Het systeem moet bediend kunnen worden door slechts 1 werknemer.
 - Of; Het systeem moet bediend kunnen worden door slechts 1 werknemer, die simultaan ook de stansdegel bedient.
- Het systeem moet fouten/vastlopers zoveel mogelijk voorkomen.
- Het systeem moet het afval efficiënt afvoeren, zonder dat dit het stans/uitbreekproces verstoort.
- Het systeem moet bediend kunnen worden door een ongeschoolde werknemer.
- Het systeem moet ingesteld kunnen worden door een ervaren werknemer.

Mechanica

- Het systeem moet voldoende druk kunnen uitoefenen om het product uit te breken, uitgegaan wordt van 2000N/m^2 .
- Het systeem moet voldoende stijf zijn om met grote snelheid te functioneren.
- Het systeem moet het product kunnen ondersteunen.
- Het systeem moet voldoende precies zijn om stroken en cirkels met een breedte van 3 mm uit te kunnen breken.

Maten

- Het systeem moet vellen aankunnen met een maximale grootte van 1440 mm bij 1860 mm.
- Het systeem moet producten aankunnen met een maximale grootte van 1400 mm bij 1800 mm.
- Het systeem moet platen uitbreken met een maximale hoogte van 9 mm.
- Het systeem moet platen uitbreken met een minimale hoogte van 0,8 mm.
- Het systeem moet in de fabriek passen qua hoogte, breedte en lengte en daar niet al teveel ruimte innemen (voorstel maximale lxbxh: 4x2x2 m).

Veiligheid

- Het systeem moet een veilige werksituatie bieden.
 - Het systeem moet beveiligd zijn tegen het beknellen/vastzitten van ledematen
 - Het systeem mag geen elektrische schokken e.d. veroorzaken.
- Bij het instellen moet het systeem de veiligheid van de werknemer extra waarborgen.

Kwaliteit

- Het systeem mag het product niet beschadigen.
 - Het systeem mag het product niet mechanisch beschadigen.
 - Het systeem mag het product niet excessief verhitten.
 - Het systeem mag het product niet nat maken.
- Het systeem mag het product niet bevuild (olievlekken e.d.).
- Het materiaal van het product mag op geen enkele andere plek scheuren/breken dan op de vooraf bepaalde bruggen.

Prijs

- Het systeem moet binnen 2 jaar terug te verdienen zijn
Dit betekent dat bij besparing van 2 werknemers per pallet, á € 24.000,- per jaar er € 96,000,- beschikbaar is voor de aanschaf (heel grof geschat)
- Het systeem moet betaalbaar zijn in onderhoud en gebruik.
- Het systeem moet tenminste 5 jaar meegaan zonder vervangen te hoeven worden.

2.7.5. Gegevens andere stansen:

Titan klein: maximale productmaat: 500x700mm. Snelheid: 800 – 1200 stuks per uur

Titan groot: maximale productmaat: 830x1200mm. Snelheid: 750 – 1200 stuks per uur.

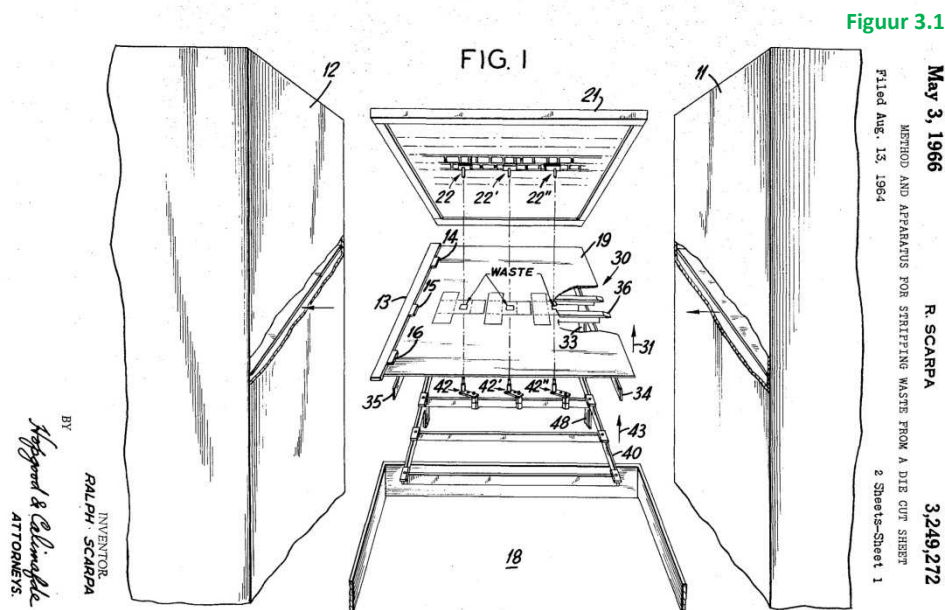
3. Ontwerpfase

3.1 Opzet ontwerpfase

Na de analysefase is er een gedegen beeld van het probleem en de situatie. In de ontwerpfase wordt er gebrainstormd over op welke manier het probleem op te lossen is. Hiervoor wordt eerst gekeken naar eventueel al bestaande oplossingen door een onderzoek naar patenten op dit gebied te doen. Vervolgens worden er d.m.v. veel schetsen en brainstormen ideeën ontwikkeld. Hieruit worden een of meerdere ideeën gekozen om mee verder te werken.

3.2 Patenten

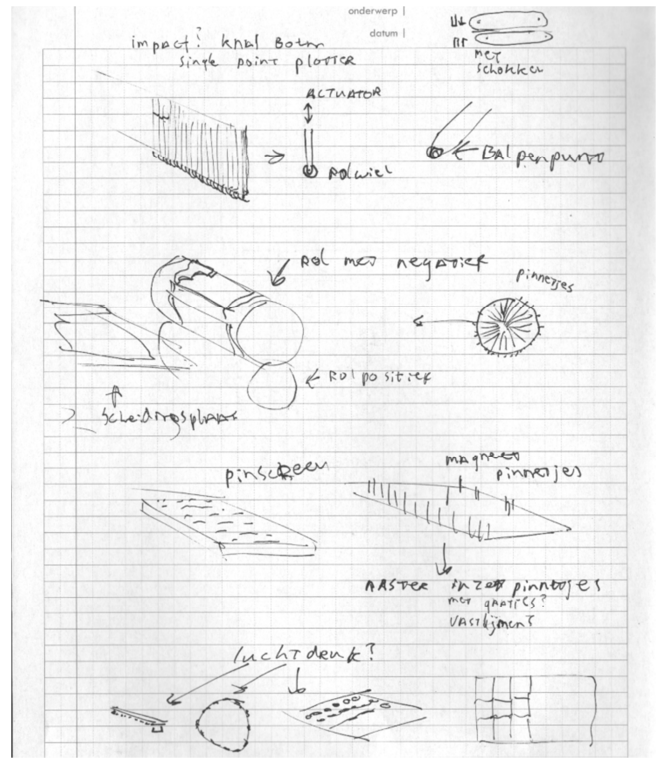
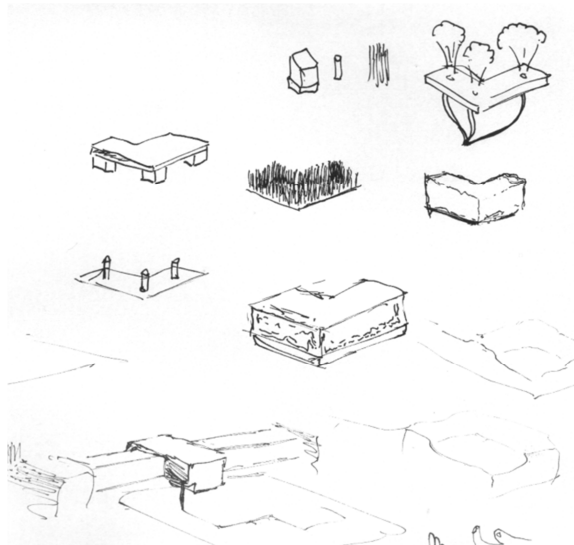
Om te voorkomen dat er iets ontworpen wordt wat al bestaat, en om inspiratie op te doen is er onderzoek gedaan naar patenten op dit gebied. Dit is gedaan middels het raadplegen van de database van het European Patent Office (EPO) en de database van het United States Patent and Trademark Office (USPTO). Hierin is vervolgens gezocht naar patenten op het gebied van stansen, rillen en uitbreken. Tot nu toe zijn er in ieder geval geen resultaten die een oplossing lijken voor het probleem van dit project. Wel hebben de gevonden patenten geholpen een indicatie te geven van waar eerdere ontwerpers allemaal over nagedacht hebben en rekening mee hebben gehouden. Zoals het patent in figuur 3.1, waar een flexibel uitbreeksysteem gecreëerd word m.b.v. positioneerbare pennen. Dit patent is echter voor bedoeld voor grote series van min of meer gelijkvormige producten. De abstracten van deze en andere patenten zijn te vinden in bijlage D.



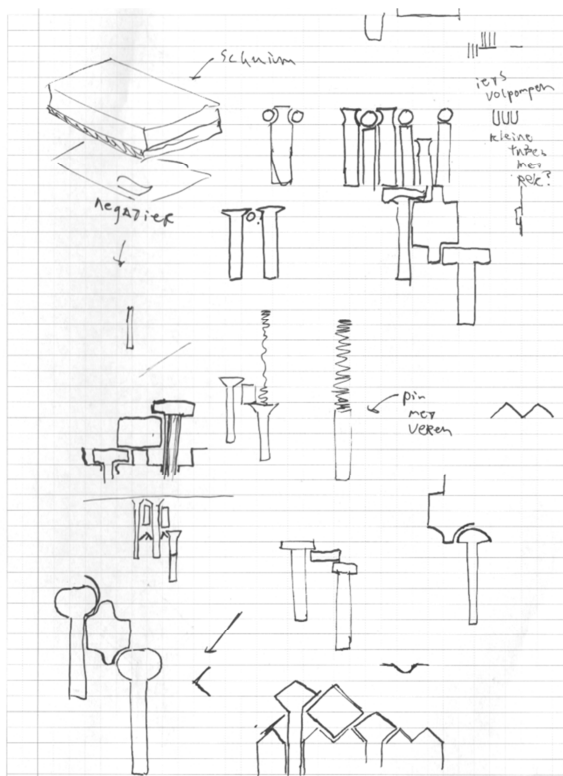
3.3 Idee generatie

Als begin van de ontwerp fase is er gekeken naar verschillende methodes om het probleem op te lossen, dit vooral d.m.v. veel schetsen en brainstormen.

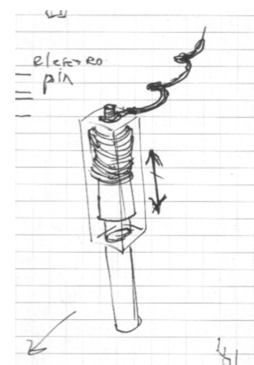
In de schetsen is onder andere gekeken naar verschillende manieren van doorvoeren van het product zoals d.m.v. handmatig inleggen, robotisch pakken of een rolmechanisme. Dit is geïnspireerd op al bestaande stans- en druktechnieken.



Ook is er nagedacht over hoe men kracht kan zetten op het uit te breken materiaal. En of het bijvoorbeeld met luchtdruk zou kunnen. Dit zou minder exact aangepast hoeven worden aan het product dan bijvoorbeeld een mechanisch uitbreekmechanisme, vanwege de automatische verdeling van de druk.



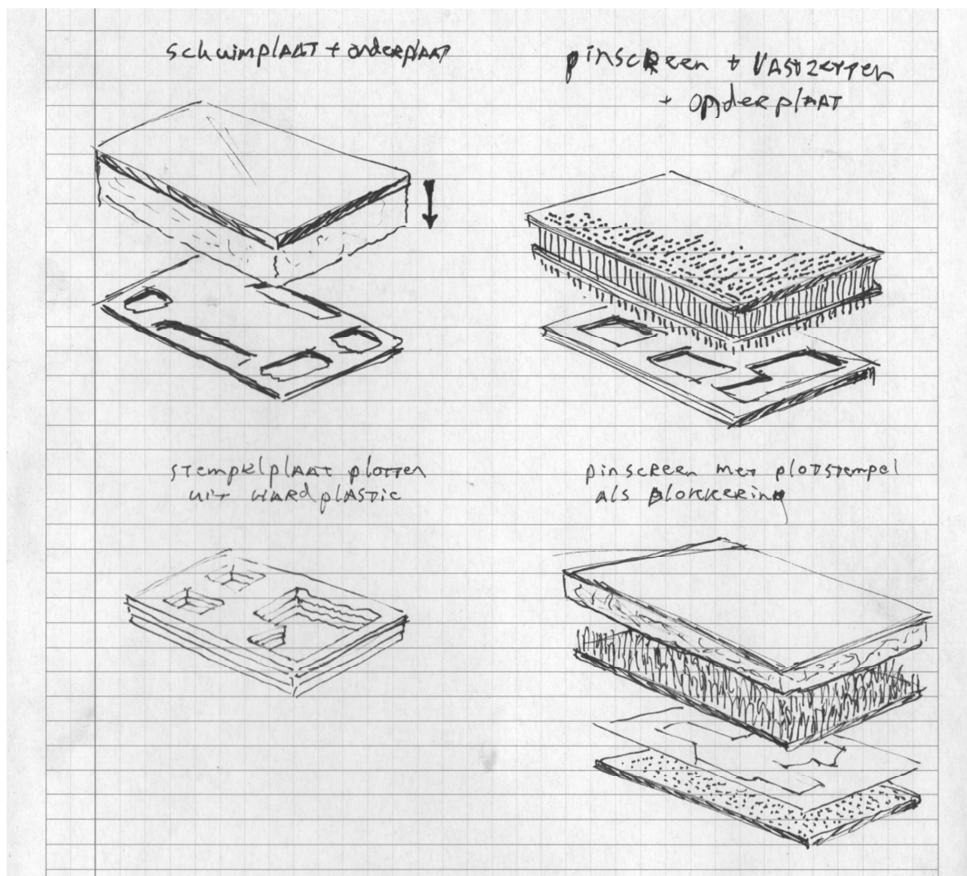
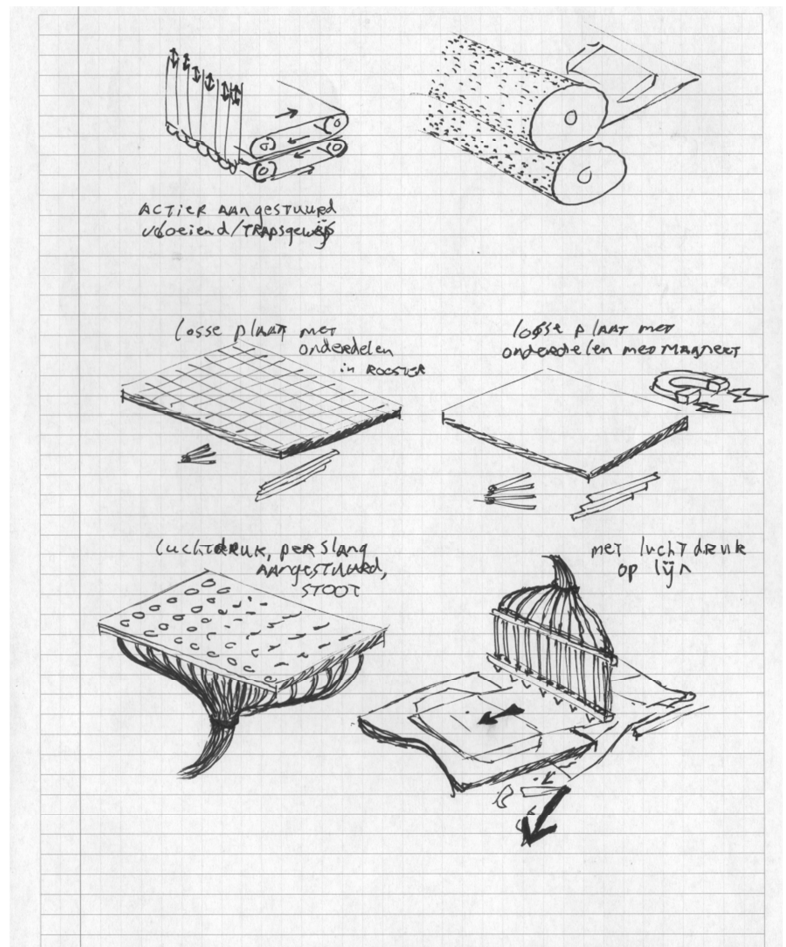
Hieronder is een idee voor het actueren van individuele pinnen. Dit zou eventueel computergestuurd kunnen. Zo kan er een heel exacte vorm worden gemaakt in een handomdraai.



3.3 Ideegeneratie

Vanuit de voorgaande schetsen zijn meer uitgewerkte tekeningen gemaakt die zich vooral toespitsten op het daadwerkelijke probleem van een flexibel middel om uit te breken. Hier onder andere te zien zijn ideeën met uitbreekpinnen/stempels die positioneerbaar zijn in een rooster of m.b.v. magneten.

Een ander idee was een serie luchtsputen op lijn die terwijl het product er onderdoorgevoerd wordt aan of uitgaan en zo het restmateriaal wegblazen.



Eén van de interessantere ideeën is die van een grote plaat met pinnen, die op gewenste hoogte vastgezet kunnen worden.

Het is misschien een mogelijkheid om met de aanwezige snijplotter stempels te plotten uit stevig kunststof.

3.4 Morfologisch schema

Het totale ontwerp bestaat uit verschillende deelproblemen, zoals bijvoorbeeld hoe daadwerkelijk uitgebroken wordt of hoe het afval afgevoerd wordt. Voor deze deelproblemen zijn verschillende oplossingen mogelijk. Om hier inzicht in te krijgen is er een morfologisch schema gemaakt. Op de verticale as bevinden zich de deelproblemen, op de horizontale as de mogelijke oplossingen. In figuur 3.3 ziet u 3 verschillende ideeën voor de hoofdbeweging van de machine. Door nu combinaties te maken van de verschillende oplossingen kunnen verschillende ontwerpen gemaakt worden. Het voordeel hiervan is dat wanneer er later complicaties optreden in het ontwerproces, er eenvoudig gekeken kan worden naar andere oplossingen voor dat deelprobleem, die misschien beter aansluiten bij het ontwerp. Omdat het schema (figuur 3.2) te groot is om hier weer te geven kunt u het vinden in bijlage E.

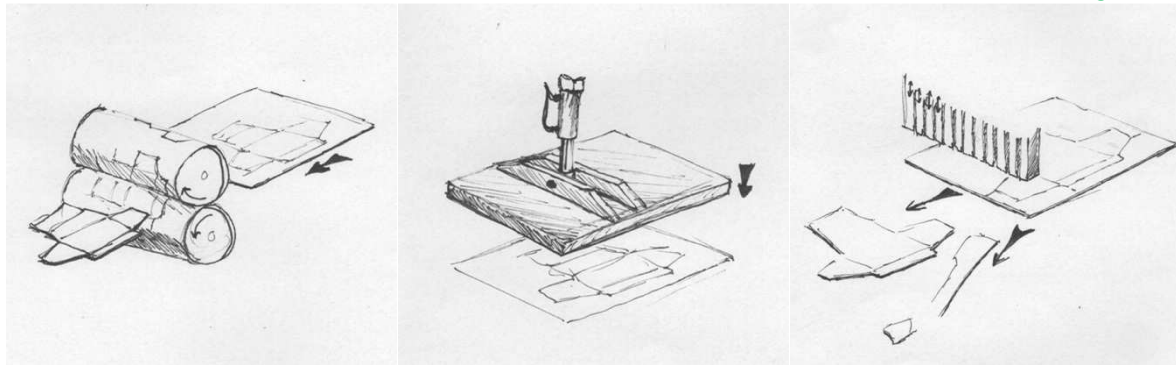
Figuur 3.2

Figure 3.2

Morphologische Symbole

Bezeichnung	Symbol 1	Symbol 2	Symbol 3	Symbol 4	Symbol 5	Symbol 6	Symbol 7	Symbol 8	Symbol 9
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									
Grundform									

Figuur 3.3



3.5 3 concepten

Er zijn 3 concepten gevormd aan de hand van het morfologisch schema om nader te bekijken. De keuzeroutes zijn te zien in figuur 3.4. De drie concepten zijn:

3.5.1 Concept 1: Pinrol

Rol met pinnen voor de vormcreatie, met daaronder een schuimrol voor de ondersteuning en een scheidingslat om het materiaal te scheiden.

3.5.2 Concept 2: Luchtdruk

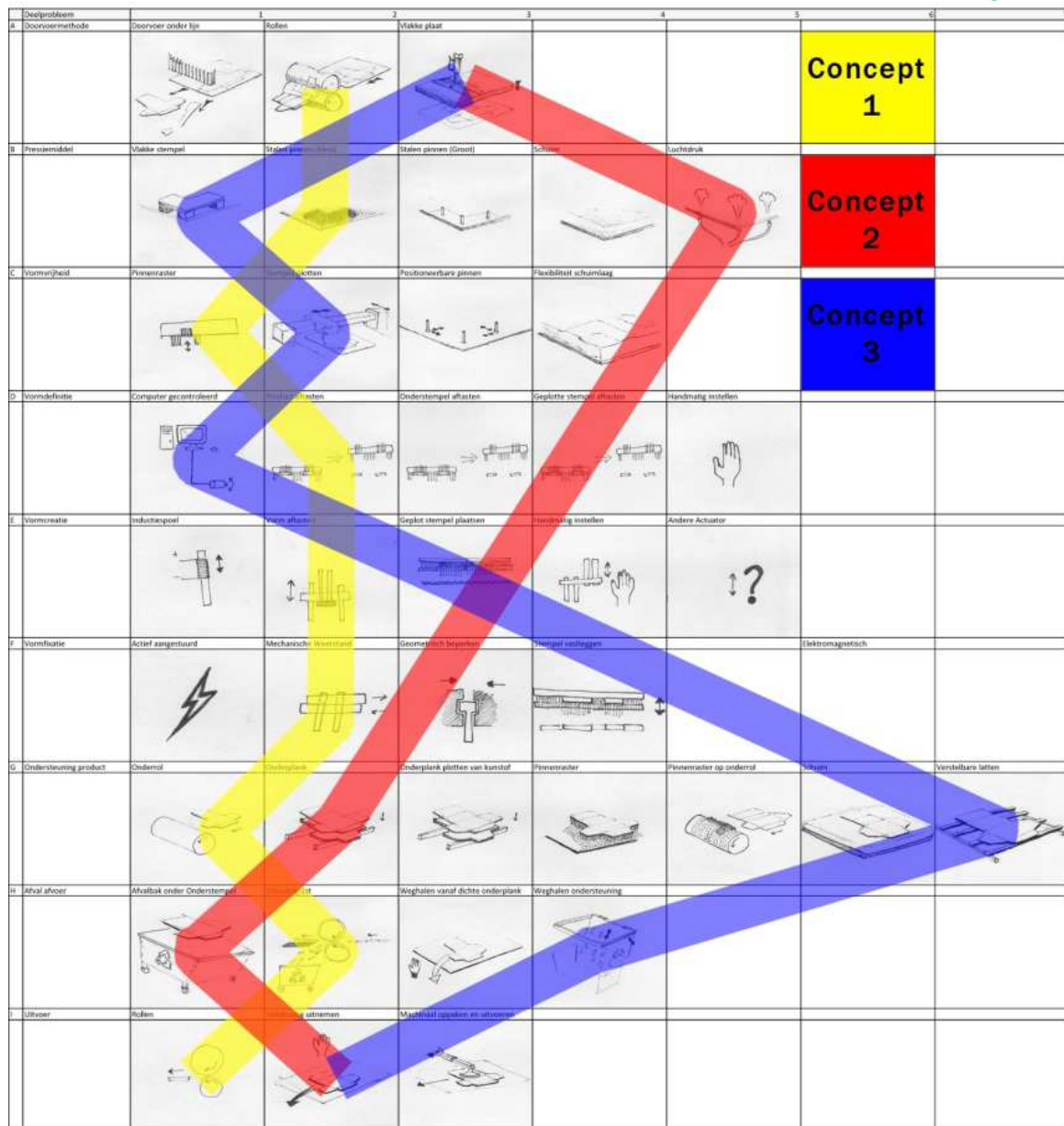
Vlak luchtdruckscherm met een houten onderplaat en handmatig inleggen en uitnemen.

3.5.3 Concept 3: Stempel

Een geplot stempel van grysboard op een onderplaat van verstelbare latten.

Morphologisch Schema

Figuur 3.4

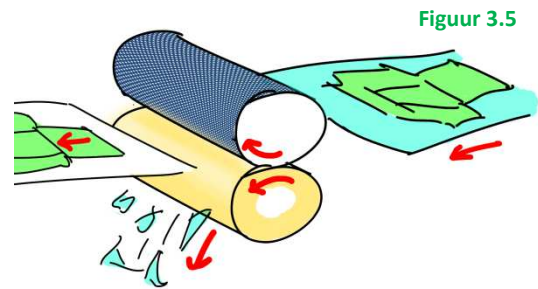


3.6 Afweging gevonden ideeën

Deze concepten zijn verder uitgetekend en overdacht met de volgende conclusies;

3.6.1 Concept 1: Pinrol

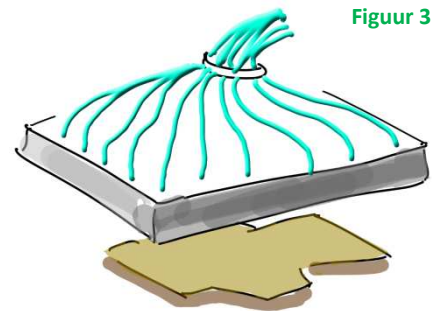
Een concept dat een hoge snelheid op kan leveren door de rolbeweging, maar waarschijnlijk duur is in productie en lastig in te stellen. Hierdoor zou dit vooral goed zijn bij grotere series. De pinnen lijken echter wel een goede mogelijkheid tot vormcreatie.



Figuur 3.5

3.6.2 Concept 2: Luchtdruk

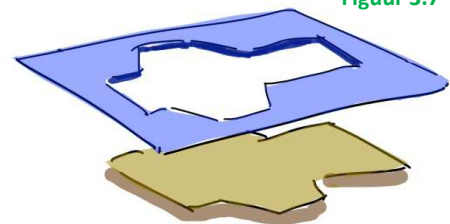
Het luchtdruckscherm kan heel mooi uitbreken door de gelijkmatige drukverdeling en de afwezigheid van fysiek contact met het product. Een nadeel is het actief aangestuurde systeem dat veel energie kost en vaak kwetsbaarder is dan mechanische systemen. Het handmatig uitleggen en de onderplaat zijn bewezen principes en daarvan is bekend dat ze goed werken.



Figuur 3.6

3.6.3 Concept 3: Stempel

Het geplotte stempel is goedkoop en eenvoudig in eigen huis te produceren. Wel is het de vraag hoe dit zich houdt bij grotere series. Ook levert het problemen op bij dozen met veel 'inserts' schermpjes in het midden e.d. omdat die dan bij het instellen met de hand gepositioneerd moeten worden.



Figuur 3.7

3.6.4 Keuze uit te werken principe

Na een afweging van de situatie is er gekozen om verder in te gaan op het pinscreen principe van concept 1 maar dan met een vlak scherm in plaats van een rol. Dit lijkt het meest vruchtbaar. Deze keuze is gebaseerd op het feit dat de technische uitdagingen bij het pinscreen het best op te lossen lijken en het waarschijnlijk een statisch systeem wordt (stevig, duurzaam). Verder is het dan alleen de plaat betreft waarin nieuwe dingen ontworpen moeten worden. De rest van de machine is dan een relatief standaard product, waarmee het ontwerp goed in te passen is in het huidige proces.

3.7 Afkadering verder ontwerp:

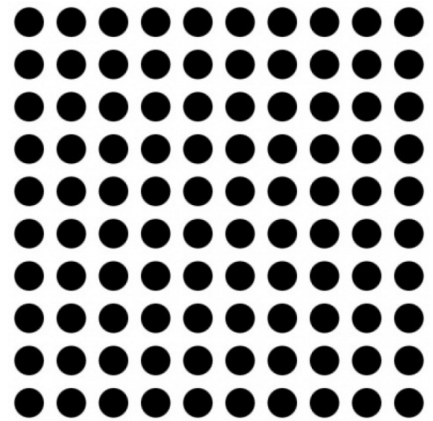
De verdere uitwerking van het ontwerp zal zich volledig toespitsen op het ontwerpen van de bovenplaat, met de mogelijkheid om deze aan te passen per doos. Voor de rest van de machine wordt uitgegaan van een pers, die gelijkend aan de stanssnelheid op en neer gaat, de bovenplaat ondersteunt en een onderstempel bevat, dat voorlopig nog op de conventionele manier zal werken.

3.8 Proof of principle uitbreken met pinnen

3.8.1 Ontwerp proof of principle test

Bij het maken van de gewone uitbreekmallen wordt veel rekening gehouden met hoe de pinnen en strips e.d. te plaatsen om te voorkomen dat stukken scheef uitbreken en vast blijven zitten in het product of de machine. De vraag is of de pinnen dit ook kunnen, en welke resolutie daarvoor nodig zou zijn. Aangezien het een wens is van de opdrachtgever om stroken karton vanaf 3 mm breed uit te kunnen breken zal het pinscreen minstens deze resolutie aan moeten kunnen. Daarom wordt voorlopig uitgegaan van een pinscreen met een zogenaamd vierkant rasterpatroon (figuur 3.8) met pinnen van 1mm met de ruimte tussen de pinnen over de verticale en horizontale richting van 1mm. Op deze manier kan men altijd minstens 1 of 2 pinnen in het uit te breken product garanderen. Dit betekent wel dat bij de grootste maat uitbreekplaat (volgens het PvE 1440 mm bij 1860 mm) er dus grofweg 700.000 pinnen nodig zijn (2 mm per pin, $720 \times 930 = 669.600$) Om nu te testen of hier daadwerkelijk mee uitgebroken kan worden is een proof of principle test nodig, die aan kan tonen dat het systeem werkt.

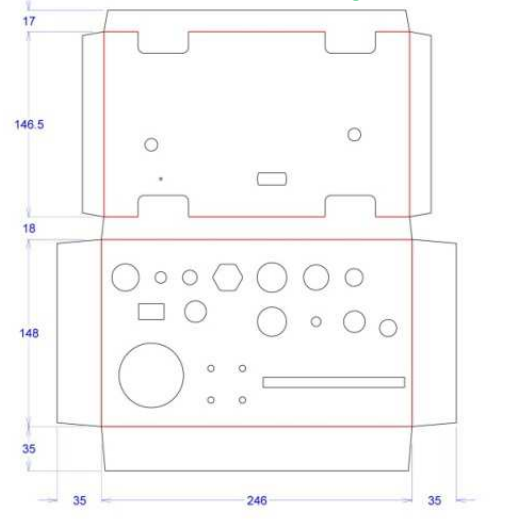
Figuur 3.8



Hiervoor wordt een pinscreen gebouwd op schaal. In de fabriek waren al kleine uitbreekplanken aanwezig die voor een eerder product gebruikt zijn. Dit waren demonstratiedoosjes voor stanstechniek en bevatten dus een veelvoud kleine en moeilijke vormen. Ideaal voor deze test. Oorspronkelijk waren deze genest met vier producten op een plaat, maar werden uitgebroken per product of stapel producten. Vanwege deze moeilijke vormen is voor dit product toen een handuitbreekstempel gemaakt, bestaande uit een boven- en onderplank. De onderplank van dat stempel zal bij deze test gebruikt worden. Het bovenstempel wordt vervangen door het 'pinscreen'. Hiervoor zijn een vijftigtal producten gestanst maar niet uitgebroken.

Het uitbreeksetje bestaat uit 2 delen; de onderplank (figuur 3.10) en de bovenplank (figuur 3.11). De bovenplank bestaat nu uit conventionele pinnen en strips. Deze zal vervangen worden door een pinscreen. Omdat hier de vorm al bekend is, is het niet nodig alle pinnen aan te brengen en deze beweegbaar te maken. In plaats daarvan worden alleen de de pinnen die benodigd zijn aangebracht in een houten plaat. Hiermee kan vervolgens uitgebroken worden.

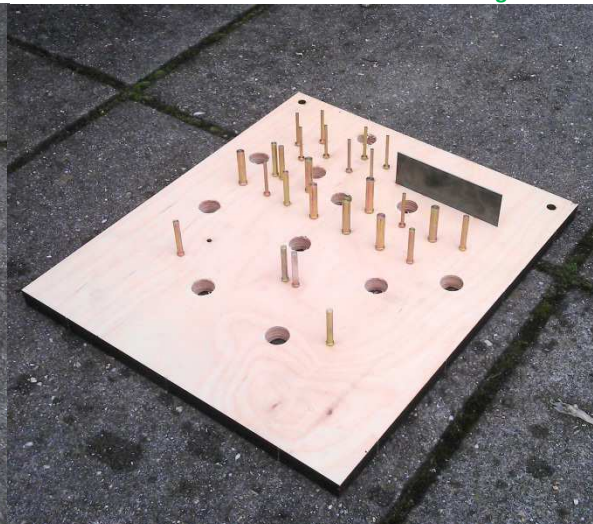
Figuur 3.9



Figuur 3.10



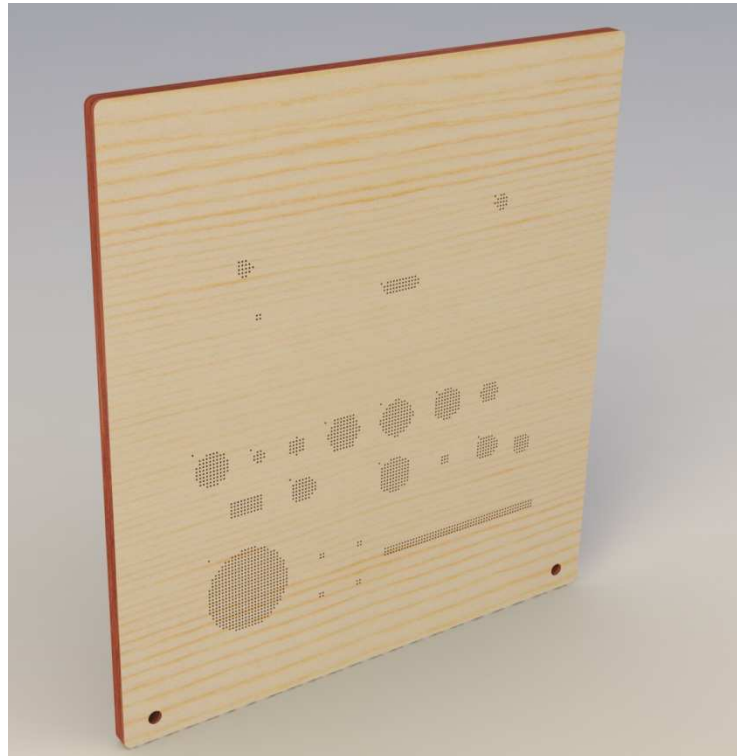
Figuur 3.11



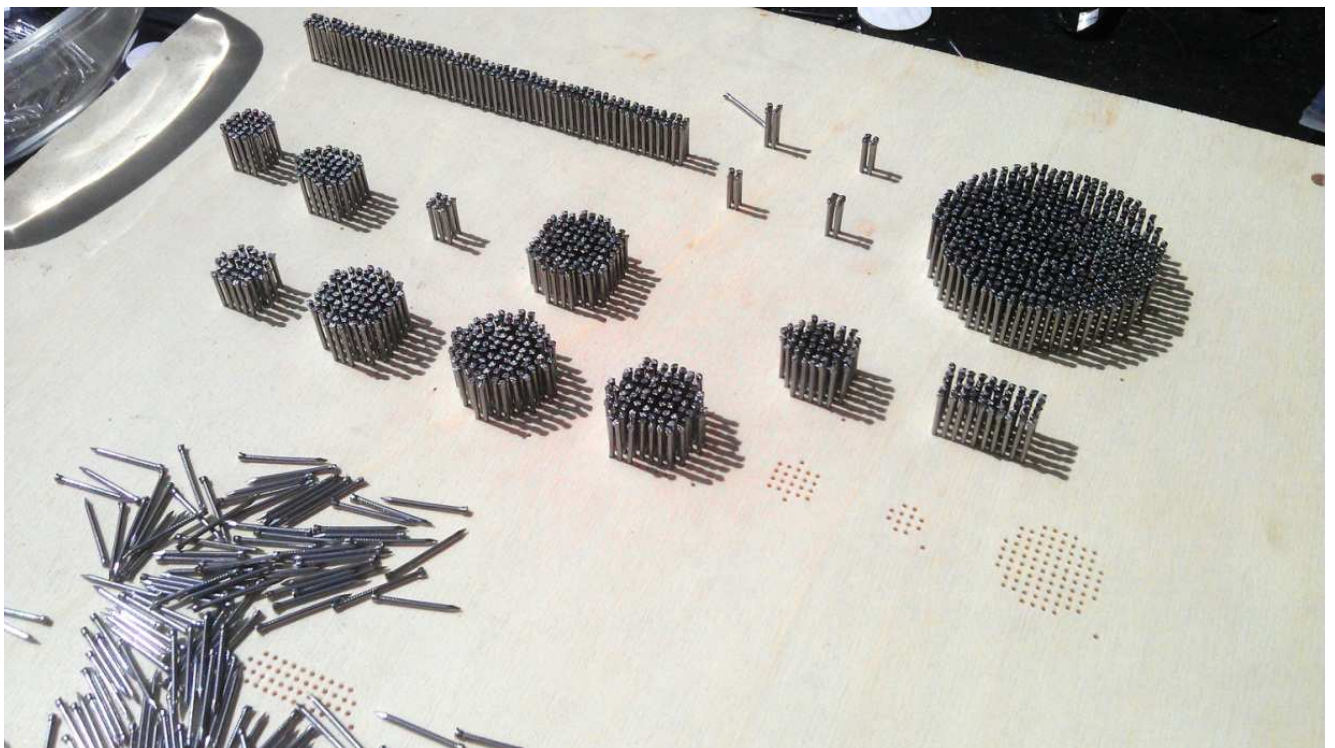
3.8.2 Bouw proof of principle test

Om de vorm goed te benaderen met de eerder gestelde resolutie zijn zo'n 1400 pinnen nodig. Om deze allemaal netjes te positioneren zijn er eerst gaten voorgeboord met de CNC-Freesmachine. Hiervoor is eerst een plank stevig multiplex aangeschaft en een 3d model gemaakt van de te boren gaten. Dit is te zien in figuur 3.12. Het 3d model werd gemaakt aan de hand van de CAD tekening van het originele product door een roosterpatroon te modelleren en dit alleen toe te passen op de plek waar de pinnen moeten komen. De gaatjes zijn vervolgens met de computergestuurde boor in de plank gemaakt en vervolgens zijn met de hand de pinnen erin getikt. Koploze stalen spijkertjes van 1mm breed en 18mm lang fungeerde hier als pinnen (figuur 3-13).

Figuur 3.12

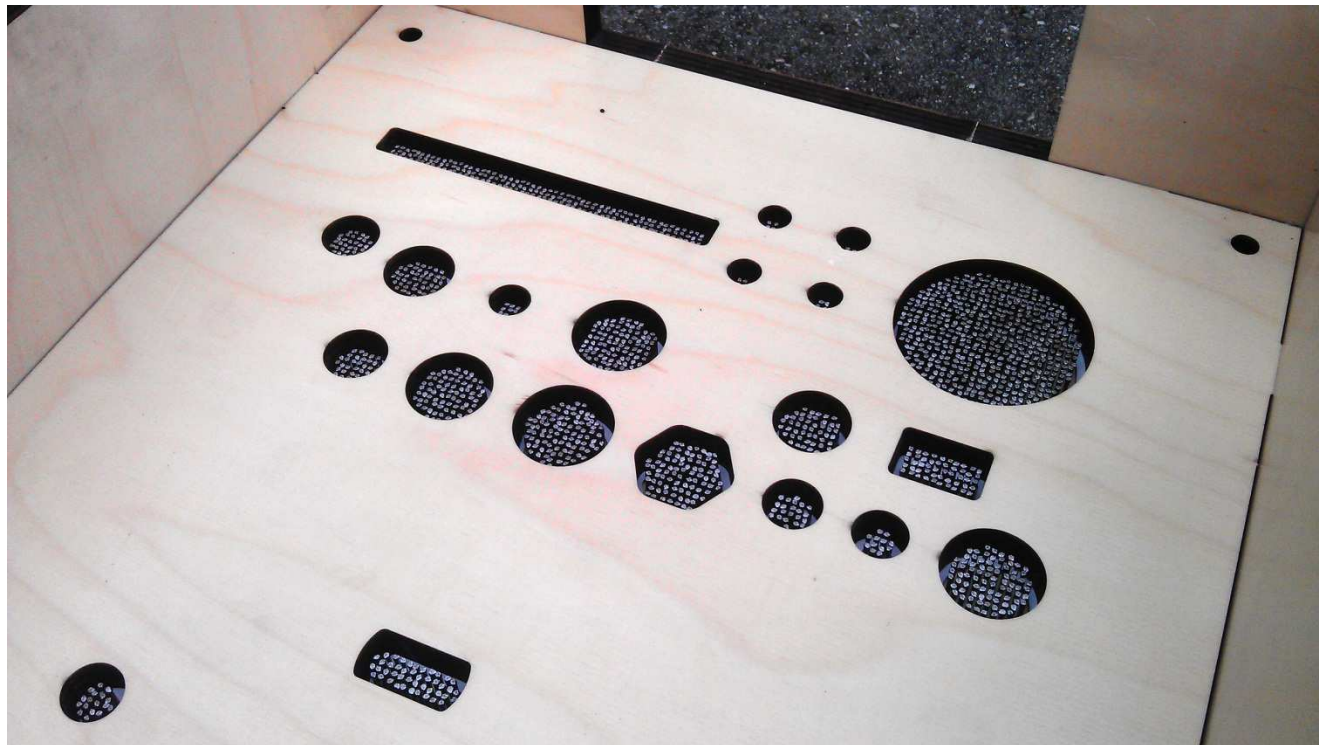


Figuur 3.13

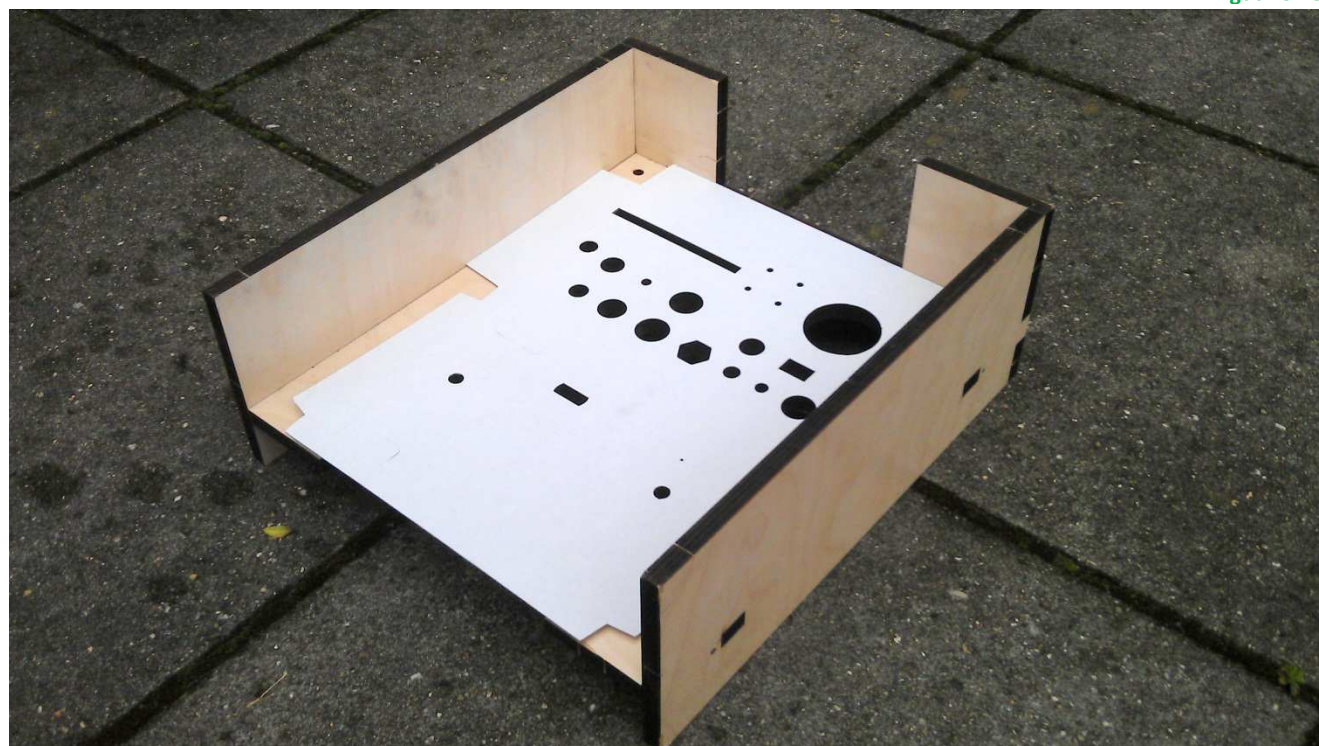


Om aan te tonen dat het pinscreen gebruikt kan worden om uit te breken zijn de gestanste doosjes uitgebroken met het testplankje (figuren 3.14 en 3.15). De losse onderdelen vielen netjes uit de gestanste doos, zelfs als er meerdere dozen tegelijk uitgebroken werden. Het bleek wel dat hele kleine onderdelen (<2mm) niet meer uitgebroken werden, maar dit valt ook buiten de eisen. Ook bleek uit de test dat deze resolutie vereist was als er kleine strookjes uitgebroken moeten worden.

Figuur 3.14



Figuur 3.15



4. Uitwerkingsfase

4.1 Het fixatiemechanisme

Nu bewezen is dat het pinscreen werkt moet er gekeken worden naar een manier om de pinnen te fixeren. Hiervoor is teruggerepen op het morfologisch schema uit de ideefase. De ideeën bestonden uit:

- Een actief aangestuurd mechanisme, waarbij elke pin individueel geactueerd zal zijn. Dit mechanisme wordt niet uitgewerkt omdat voor deze hoge dichtheid van de pinnen de aansturingsmechanismes erg klein zouden worden. Ook betekent dit bij de ongeveer 700.000 pinnen van de grootste maat uitbreekplank dat er erg veel actuators zouden komen, dit is financieel niet haalbaar.

- Het idee van mechanische weerstand bereikt het vastzitten van de pinnen door twee platen met pinnen boven elkaar te plaatsen. Door nu één van die platen een kleine translatie te geven zullen de pinnen vastzitten. Het nadeel hiervan is wel een schaarkracht op de pinnen en bij een niet perfecte uitlijning zullen de pinnen aan de ene kant zwaar belast worden en aan de andere kant totaal niet, hierom wordt dit idee niet verder uitgewerkt.

Een nieuw idee dat zich aandiende en op hetzelfde principe berust is de weerstand van pinnen die door een gat in een stuk rubber glijden. Dit is een simpeler ontwerp, maar de vraag is of het genoeg weerstand oplevert en slijtvast genoeg is. Dit moet verder uitgewerkt worden.

- Geometrisch beperken; hierbij worden de pinnen 'op slot' gezet door een strip o.i.d. die voorkomt dat de pinnen terugzakken. Dit lijkt een vruchtbaar idee vanwege de relatief simpele mechanische constructie. Dit leidt tot een duurzaam en financieel aantrekkelijk product. Wel wordt het een uitdaging om het op zo'n fijnmechanisch niveau toe te passen

- Een stempel vastleggen: hierbij wordt een al uitgebroken product of eventueel een op de snijplotter gemaakte vorm gebruikt om de pinnen te blokkeren. De vorm kan zelf niet gebruikt worden om uit te breken omdat deze niet slijtvast genoeg is. Een pinscreen ertussen zorgt ervoor dat de metalen pinnen de kracht opvangen, en het stempel ze slechts in op de goede plek houdt. Het nadeel hiervan is dat de pinnen uit zichzelf omlaag vallen. Dit zou opgelost kunnen worden door het geheel om te draaien. Het stempel onder leggen is echter geen optie omdat het product de pinnen niet mag raken (i.v.m. beschadiging drukwerk e.d.). Hiervoor moet dus een oplossing komen.

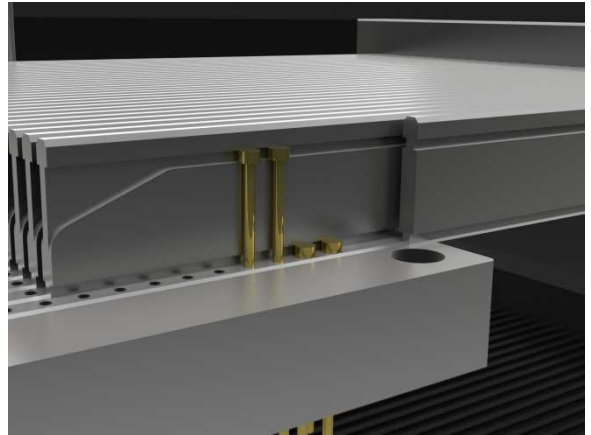
4.2 Conceptoplossingen

4.2.1 Geometrisch beperken

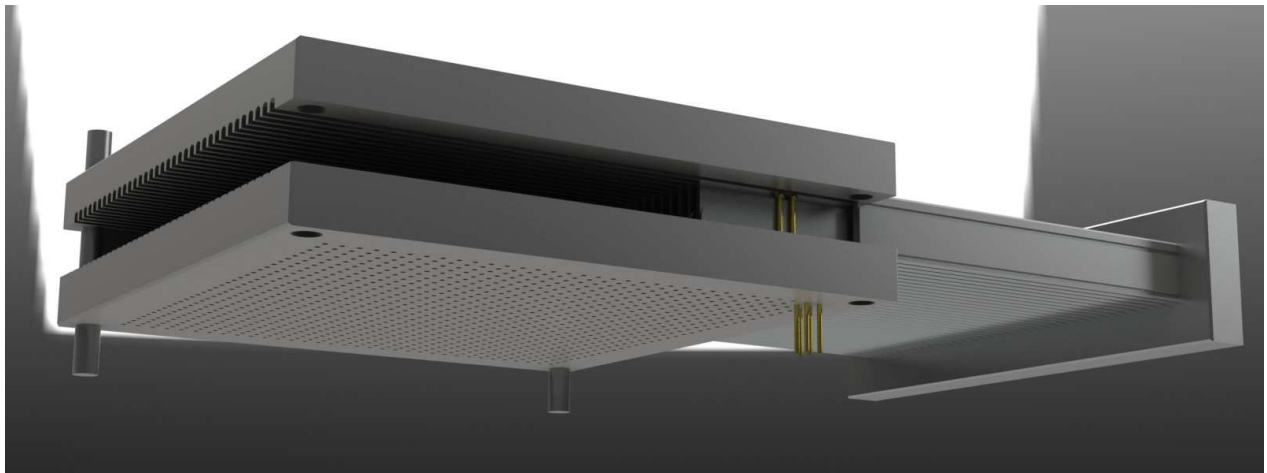
Kam:

Bij dit mechanisme wordt gebruik gemaakt van een grote kam met strips die aan de bovenkant tussen het pinrooster glijdt. De tanden van de kam bevatten sleuven waar de koppen van de pinnen invallen. Bij het instellen zakt het scherm over het onderstempel waardoor een gedeelte van de pinnen omhoog staat en een gedeelte zal gewoon omlaag hangen. Door nu de kam er tussen te schuiven vallen de pinnen of in de onderste gleuf, of in de bovenste gleuf. De machine is nu ingesteld en er kan uitgebroken worden. Bij een productwisseling verwijdert men de kam en vallen de pinnen weer in hun basispositie. In figuur 4.1 is te zien hoe de rails de omhoogstaande pinnen oppakken. De pinnen die niet omhooggeduwd worden blijven gewoon beneden. In figuur 4.2 is te zien hoe de kam vanaf de zijkant in het pinscreen schuift.

Figuur 4.1



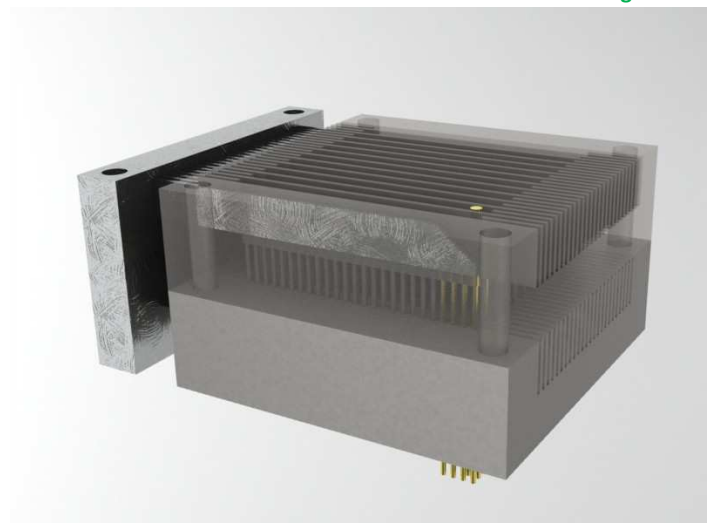
Figuur 4.2



Kam 2:

Omdat een nadeel van het eerste kamsysteem is dat de constructie erg fijnmechanisch wordt is een alternatief een gelaagd kamsysteem waarbij 2 lagen op elkaar geplaatst worden (figuur 4.3) en rij 1,3,5 enz. aangestuurd worden in de onderste laag en rij 2,4,6 enz. aangestuurd worden door de bovenste laag. Dit betekent wel een complexere constructie.

Figuur 4.3



4.2.2 Stempel

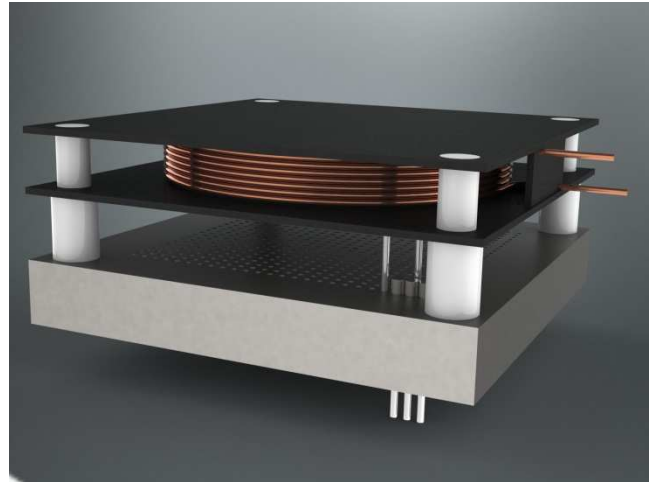
Het voornaamste probleem van het stempel is dat de pinnen op de een of andere manier tegen het stempel aan gedrukt moeten worden. Hiervoor moeten dus alle pinnen omhoog staan tenzij het stempel ze naar beneden drukt. Op een of andere manier moet dus voorkomen worden dat de pinnen door de gaten naar beneden glijden.

Magnetisme:

Door een grote magneet boven de pinnen te plaatsen worden deze omhooggetrokken tegen het stempel aan, waardoor de vorm zich aftekent in het pinscreen. Dit zou een relatief simpel systeem opleveren, echter wel met een duur magneetsysteem. Hiervoor zijn de opties om met een elektromagneet te werken of met een permanente magneet. De elektromagneet is flexibeler en doordat hij uitgezet kan worden hoeft het niet 'losgescheurd' te worden van de pinnen bij het wisselen van stempel. Het nadeel is wel een constant stroomverbruik. Ook moet onderzocht worden of het magnetisch veld homogeen genoeg gemaakt kan worden om alle pinnen gelijkmatig op te trekken.

In figuur 4.4 is een model van het magnetische pinscreen te zien. De spoel boven het scherm trekt de pennen omhoog.

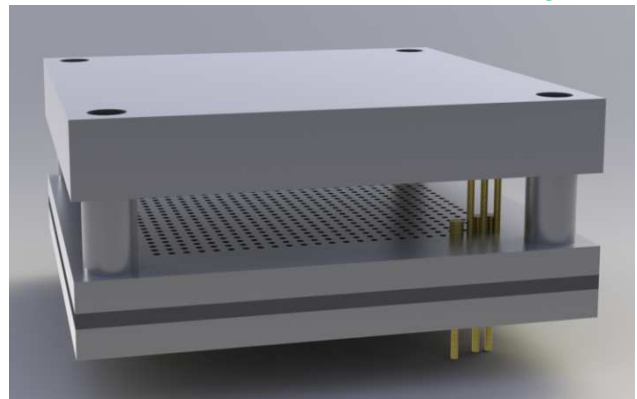
Figuur 4.4



Elastische weerstand:

Dit is een combinatie van het stempel en de weerstand, waarbij wel een stempel gebruikt wordt voor het definieren en behouden van de vorm, maar de pinnen omhooggehouden worden door weerstand die de pinnen ondervinden als ze door een rubberlaag glijden. Deze rubberlaag zit geklemd tussen 2 lagen pinscreen zodat de pinnen goed begeleid worden en het rubber stevig vastgehouden wordt. In figuur 4.5 is een dergelijke constructie gemodelleerd. Bovenop bevindt zich een afdekplaat met daaronder het pinscreen. De donkergrijze rand is de rubberlaag die er tussen geklemd zit.

Figuur 4.5



4.3 Het testen van de principes

Om voorgaande ideeën meer tastbaar te maken is in de werkplaats een klein proefstukje gemaakt voor elke techniek.

4.3.1 De kam

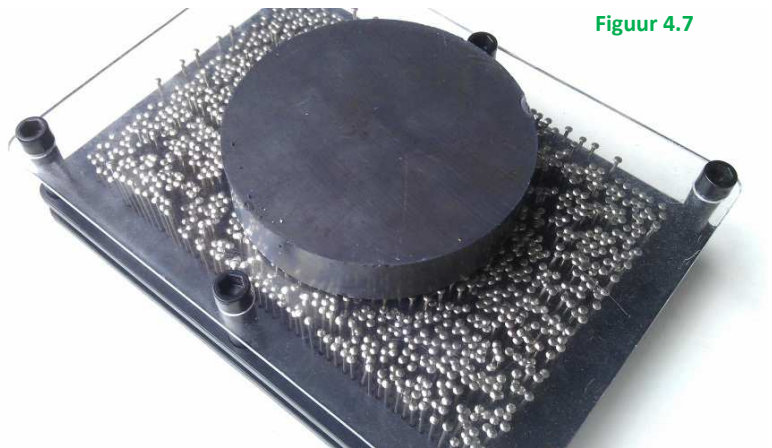
Het ontwerp voor de kam bleek in werkelijkheid een stuk lastiger te zijn doordat met reeds bepaalde resolutie en breedte van de pennen de tanden van de kam slechts 2 mm dik zouden worden. Uit een stuk plaatstaal is met verschillende bewerkingsmethoden gepoogd de tanden van de kam te maken. Dit bleek niet mogelijk te zijn door de lage stijfheid van dit dunne materiaal. Bij het bewerken verboog het of trok het krom waardoor er niet meer nauwkeurig gewerkt kon worden. Om dit fatsoenlijk te doen zouden hele dure productietechnieken nodig zijn. Ook zou dit in het uiteindelijke product leiden tot zeer fragiele componenten met een hoog risico op storingen. Dit in tegenstelling tot de eerdere verwachtingen van deze techniek. In figuur 4.6 is te zien hoe de 2mm stalen stripjes kromtrekken.



Figuur 4.6

4.3.2 Magnetisme

Door met een magneet het pinscreen op te tillen bleek dat de pinnen prima omhooggetrokken worden. Er is dan echter wel een hele grote magneet nodig. De stalen pinnen blijken ook elkaar te magnetiseren en zo is de controle over het proces kwijt (te zien in figuur 4.7). Dit zou opgelost kunnen worden door te kiezen voor pinnen die elkaar niet magnetiseren maar deze zijn een stuk duurder vanwege de hogere kosten van het materiaal en het feit dat ze niet zo wijdverbreid beschikbaar zijn. Al met al is dit dus een twijfelachtige oplossing.



Figuur 4.7

4.3.3 Elastische weerstand

Het teststukje voor de elastische weerstand bestaat uit twee aluminium plaatjes met daartussen de rubberlaag. De plaatjes zijn op elkaar geklemd alvorens de gaten te boren voor de pinnen, alsmede de gaten voor de klembouten (om ze stevig op elkaar te klemmen) en de stelpennen (cilindrische pennen die de twee platen exact boven elkaar houden). Vervolgens is het rubber ertussen geklemd en zijn de pinnen erdoorheen gestoken (figuur 4.8). De pinnen kunnen nu soepel op en neer bewegen en blijven goed hangen. Wel kost het verplaatsen van alle pinnen tegelijkertijd veel kracht. Hiervoor zal geëxperimenteerd moeten worden met verschillende soorten rubber en verschillende laagdiktes. Een positief punt van deze test is dat het rubber zijn weerstand goed blijft behouden. Ook na zo'n honderd keer heen en weer schuiven is er nog geen enkel teken van slijtage in de weerstand.



Figuur 4.8

4.4 Keuze uit te werken product

Na overleg met de opdrachtgever over de voor en nadelen van de verschillende technieken is er gekozen om met de rubberlaag verder te gaan, redenen hiervoor zijn:

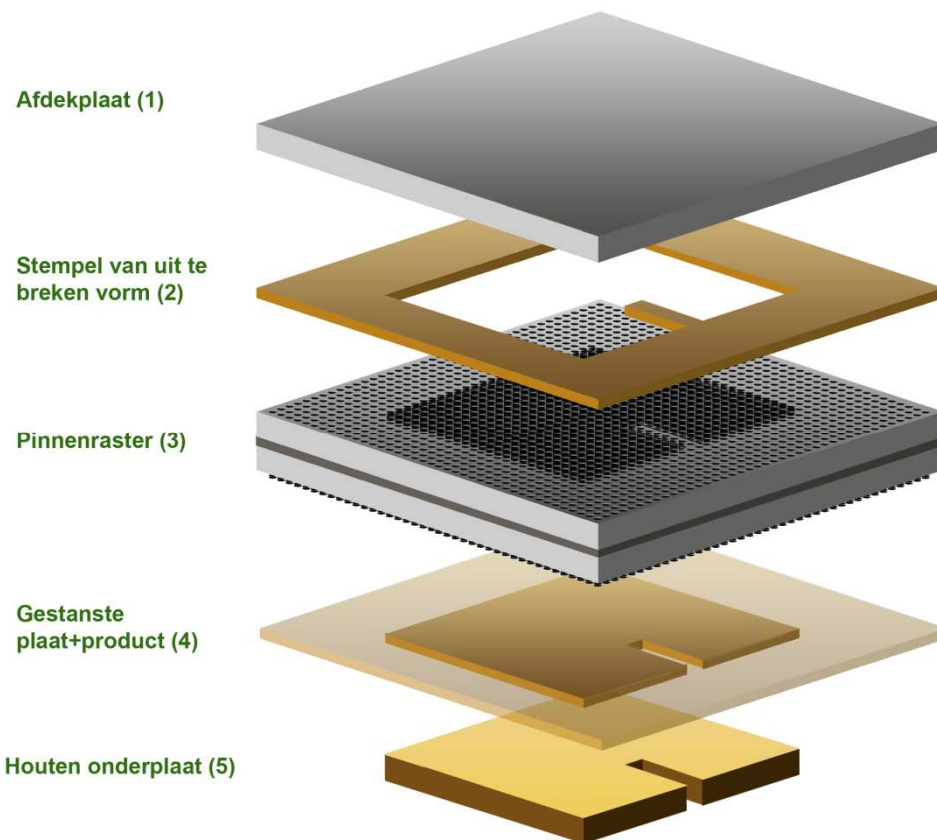
- De techniek lijkt door het simpele ontwerp het meest duurzaam te zijn.
- Tijdens het ontwerp proces kan er eenvoudig getest worden met verschillende parameters, zoals bijvoorbeeld de dikte van de rubberlaag.
- Het testmodel gaf hier met slechts simpele constructie een bevredigend resultaat.

Redenen om niet voor de andere technieken te gaan zijn:

- De kam oplossing word erg fijzinnig en daarmee kwetsbaar en kostbaar.
- De kam oplossing zou ingewikkeld gevormde pinnen vereisen, die ook kostbaar zijn.
- De magneet oplossing heeft zichzelf niet kunnen bewijzen als functionele optie
- Zelfs als de magneet oplossing werkend gemaakt betreft het een actief systeem dat constant voeding en aansturing nodig heeft, dit maakt het kwetsbaar.

Om deze redenen word de rubberlaag techniek verder uitgewerkt. Kijkend naar de doelstelling hebben we nu een uitbreker die flexibel is van vorm, maar vastgezet kan worden op de juiste instelling.

4.5 Volledige werking van het systeem



De werkstappen van het systeem zoals tot nu toe vastgesteld worden onderverdeeld in een aantal instelstappen en de werkstappen. Het is belangrijk hier goed op te blijven letten en deze zo eenvoudig en kort mogelijk te houden ten einde de beoogde geld- en tijds winst te behalen.

Instelstappen:

- Afdekplaat (1) wordt tegen het pinnenraster (3) aangeperst. Hierdoor staan alle pinnen in de onderste stand.
- Afdekplaat (1) wordt verwijderd van het pinnenraster (3).
- Het houten onderstempel (5) wordt tegen het pinnenraster (3) aangedrukt zodat de vorm zich aftekent in de pinnen.
- Het stempel van de uit te breken vorm (2) wordt bovenop het pinnenraster (3) gelegd.
- De afdekplaat (1) wordt weer teruggeplaatst. Het stempel (2) blokkeert nu de desbetreffende pinnen om omhoog te komen.

De machine is nu ingesteld en klaar om uit te breken. Dit gaat als volgt:

- Een werknemer legt een gestante plaat (4) op het houten onderstempel (5)
- De machine sluit zich, waarbij het pinnenraster (3) en de houten onderplaat (5) tegen elkaar worden gedrukt en het restmateriaal in een onderbak valt.
- De machine opent zich en de werknemer neemt het product uit.

5. Productiefase

5.1 Prototype ontwerp

Nu de werking van het systeem vastgelegd is moet er een full-scale prototype gemaakt worden om mee te testen. Dit prototype zal zich afhankelijk van de kosten beperken tot het werkzame oppervlak van de kleinst aanwezige stans (520x720 mm) of van slechts een deel daarvan (400x400 mm, hiermee kunnen de meest gangbare producten nog uitgebroken worden). Het gaat hierbij om de pinscreen constructie met afdekplaat, waar later een frame omheen geconstrueerd zal worden voor de stansbeweging.

5.2 Productietechniek

De pinscreens zijn het lastigste om te produceren, gezien de rest van het werk redelijk standaard draai- en freesbewerkingen zullen zijn. Het probleem is vooral de grote hoeveelheid gaten in de plaat en de benodigde precisie. Na onderzoek blijkt dat technieken als waterstraalsnijden en lasersnijden geen optie is vanwege de onnauwkeurigheid in gatdiameter. Er zijn nog enkele andere opties die nader onderzocht worden:

5.2.1 CNC Frezen/boren

Dit is de meest voor de hand liggende techniek, waar de plaat opgespannen wordt in een CNC-Freesbank en bewerkt wordt met een boor. Deze boor wordt aangestuurd door een computergestuurde robotarm en kan zo zeer nauwkeurig de gaatjes boren. Het voordeel is een hoge precisie en grote vormvrijheid. Het nadeel is hoge kosten omdat het apparaat elk gat apart moet boren. Hierdoor zal de freesbank voor lange tijd (enkele tientallen uren) afgehuurd moeten worden met prijzen van € 50,- tot €100,- per uur. Dit is dus waarschijnlijk een kostbare techniek.



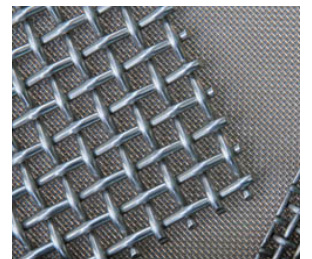
5.2.2 Vonkboren

Bij vonkboren wordt de plaat in een niet-geleidend oliebad gelegd. Vervolgens wordt de plaat negatief geladen en wordt een elektrode met het profiel van het gat die positief geladen is naar de plaat gebracht. Door dit spanningsverschil ontstaat vonkoverslag waardoor het materiaal verspaand wordt. Er wordt gebruik gemaakt van een elektrode die de vorm van het gat heeft. Bij grotere series is het mogelijk gebruik te maken van een enkele elektrode die meerdere gaten tegelijk boort. Deze techniek kan relatief snel en levert een heel mooi resultaat op. Door de gespecialiseerde machines die benodigd zijn kan het wel hoge instelkosten opleveren. Dit is dus vooral voor het grote model een eventuele oplossing.



5.2.3 Metaalgaas gebruiken als rooster

Als derde optie is er het gebruik van metaalgaas. Dit is een gaas geweven van metaaldraden en wordt veel gebruikt voor zeven en filtreren. Dit zou een relatief goedkope techniek zijn door het geringe benodigde oppervlak. De vraag is echter of het gaas voldoende stijf is om de pinnen te dragen en of het nauwkeurig genoeg is om de pinnen netjes te begeleiden.



5.3 CNC-Frezen & Vonkboren

5.3.1 Stijfheidsberekening

Bij het uitbreken is het zaak dat de plaat goed vlak blijft en niet doorbuigt onder het gewicht van de pinnen of zijn eigengewicht. Hiervoor zal een FEM-Analyse uitgevoerd worden.

Om een analyse uit te voeren zal de plaat eerst gemodelleerd moeten worden. Dit blijkt een probleem te zijn door de grote hoeveelheid gaten. Er is zo geen computer beschikbaar die de benodigde rekenkracht kan leveren. Na het proberen van enkele verschillende technieken om de benodigde reken capaciteit te verkleinen bleek de beste manier om het roosterpatroon te vervangen door een vlakke plaat. Door van een klein gebied de eigenschappen door te rekenen en deze te extrapoleren over de hele plaat, kan men met een hele eenvoudige geometrie de gehele plaat doorrekenen.

1. Allereerst wordt er een grote plaat gemodelleerd (roosteroppervlak 1200x1800 mm) die op de plek van het roosterpatroon een variable dikte heeft. Deze dikte wordt nu designparameter D.

2. Vervolgens wordt de plaat gefixeerd op de buitenste rand van 10 cm. Hier is de plaat bevestigd aan de machine. Het materiaal wordt ingesteld op machinestaal.

3. De belasting van de plaat bestaat uit 2 krachten:

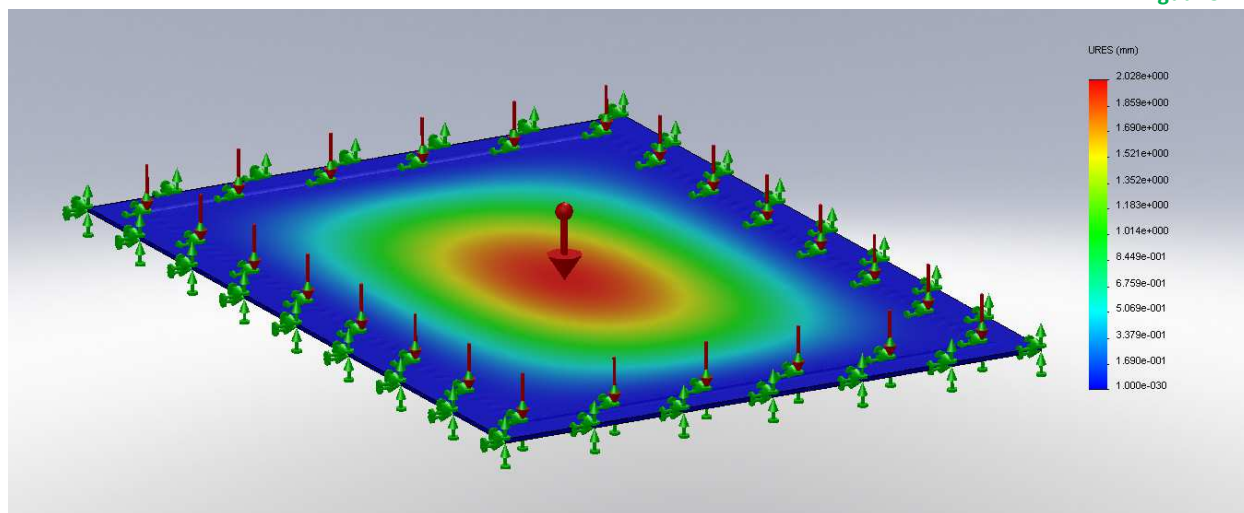
-De kracht ten gevolge van het eigengewicht van de plaat, te berekenen met $F = g \times V \times \rho$ en waarbij g de gravitatieversnelling is, V het volume van de plaat en ρ de dichtheid van het materiaal van de plaat. Deze kan automatisch toegevoegd worden in het modelleerprogramma.

-De kracht die volgt uit het gewicht van de pinnen op de plaat. Die kan gemodelleerd worden als druk. Bij 1 vierkante meter plaat zijn er $500 \times 500 = 250000$ pinnen aanwezig. Met 2 gram per stuk hebben deze dus een totaalgewicht van 500 kg. De druk die dit oplevert is 4905 N/m^2 ($500 \times 9.81 = 4905 \text{ N/m}^2$). Door deze waarde in te geven als druk van bovenaf op de plaat hebben we de kracht als gevolg van de pinnen.

4. Als eis voor de doorbuiging wordt er 2 mm opgegeven. Dit betekent dat de plaat maximaal 2mm mag doorbuigen onder de belasting. Met deze doorbuiging kan nog steeds worden uitgebroken zonder het beschadigen van het drukwerk.

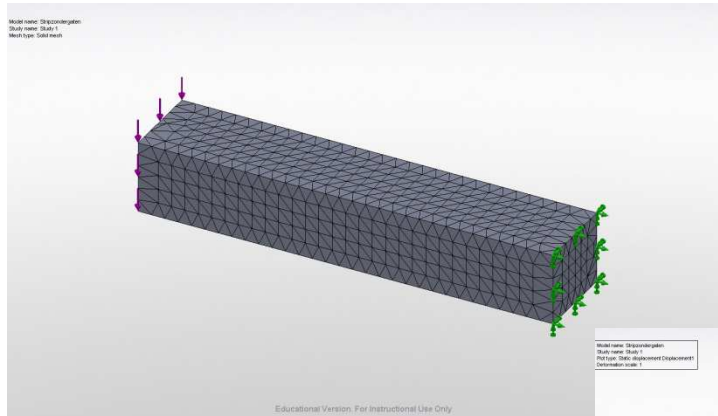
5. De plaat wordt nu 'gemesht' en doorgerekend, (FIGUUR) waarbij de computer zoekt naar een waarde van D die aan de eisen voldoet. Dit blijkt 8,5 te zijn. Dit betekent dat het roosterpatroon dezelfde sterkte moet hebben als een massieve plaat van 8,5 mm dik om niet meer dan 2 mm door te buigen. In figuur 5.1 is te zien hoe de plaat doorbuigt

Figuur 5.1

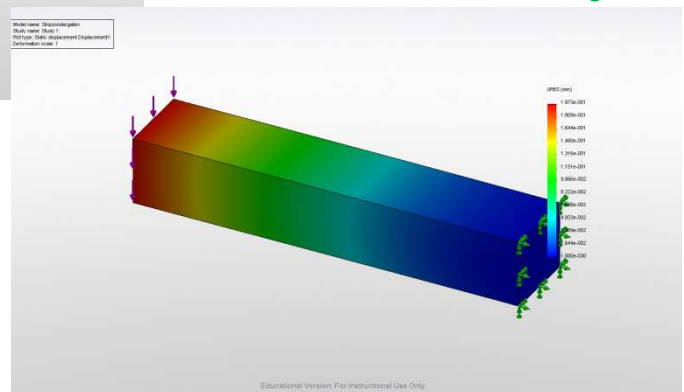


Om nu te berekenen wat dan de dikte van het rooster moet zijn worden er 2 stukjes van 10x50 mm gemodelleerd. Het eerste stripje krijgt een dikte van 8,5 mm en vervolgens wordt er een willekeurige kracht (500 N) opgezet en kijken we naar de doorbuiging. Deze blijkt $1,9 \times 10^{-1}$ mm te zijn. Vervolgens herhalen we dit proces voor de tweede strip, deze met gaten. Echter nu stellen we $1,9 \times 10^{-1}$ mm in als maximale doorbuiging en de dikte D als designparameter. Hiermee verkrijgen we de vereiste dikte voor het gatenrooster. Deze bedraagt 13,5 mm.

Figuur 5.2



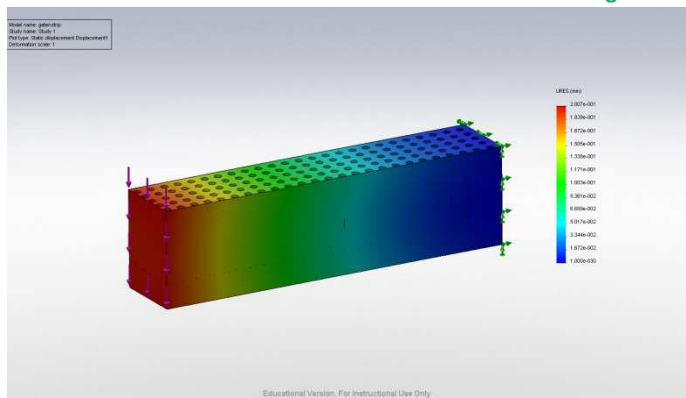
Figuur 5.3



Figuur 5.2: Allereerst de 'mesh' van de strip zonder gaten, hierin zijn ook de krachten en connecties te zien.

Figuur 5.3: Hier is de doorbuiging van de strip te zien onder invloed van de belasting. Rood betekent veel doorgebogen, blauw niet of nauwelijks.

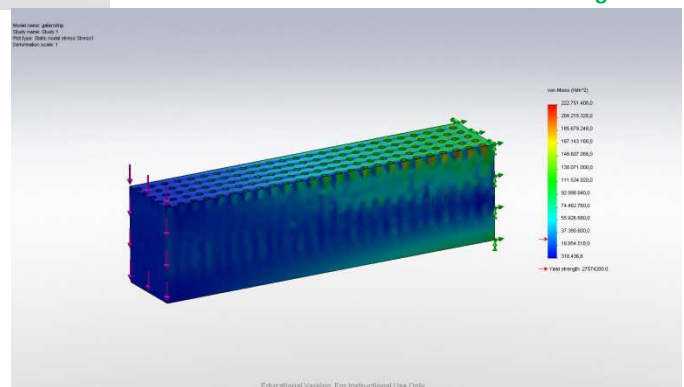
Figuur 5.4



Figuur 5.4: De doorbuiging van de strip met gaten is hier te zien.

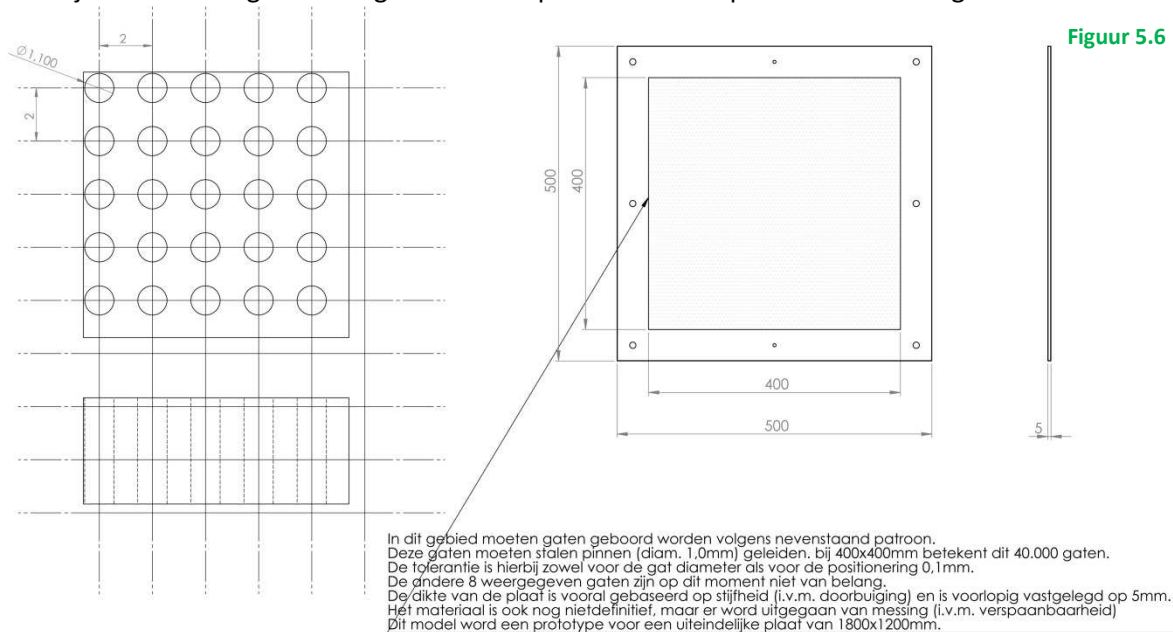
Figuur 5.5: Dit laat de spanningen in het materiaal zien. Deze concentreren zich vooral rond de gaten. Rood is hier veel spanning, blauw betekent dat het materiaal niet belast wordt.

Figuur 5.5



5.3.2 Prototype ontwerp

Bij de voorgaande test is gebleken dat het boren van gaten om de pinnen doorheen te steken prima werkt. De vraag is alleen wat dit gaat kosten op grote schaal. Voor een 400x400mm model zijn namelijk zo'n 40.000 gaten nodig. Het ontwerp voor deze testplaat is te zien in figuur 5.6.



Figuur 5.6

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES: LINEAR ANGULAR		ORDER	ORDER AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	FILE:	
CHECKED					
APPROVED					
DATE					
MATERIAL:			DWG NO: Geleidingsplaat A3		
REVISION:			SCALE: 1:1		

Het gaat hier om een simpele plaat met daarin het gatenpatroon. Omdat het een kleiner prototype betreft hoeft het geen centimeters dik staal te zijn maar kiezen we voor 5mm dik aluminium plaat. Vervolgens zijn er bij diverse bedrijven offertes aangevraagd voor het CNC-frezen. De meeste lieten echter weten niet op dit formaat zulke nauwkeurige bewerkingen uit te voeren. Ook het aluminium bleek een probleem te zijn. Vanwege de taai eigenschappen van het materiaal kan bij het boren van zulke kleine gaten het verspaande materiaal slecht afgevoerd worden. De oplossing hiervoor zou het boren in messing zijn. Dit is veel broosser en verspaand in kleinere stukken. Hierdoor kan op veel hogere snelheid geboord worden. Messing heeft qua prijs en sterkte geen echte nadelen t.o.v. aluminium, het is alleen een flink stuk zwaarder wat een extra belasting op de totale constructie betekent. Als reactie op de offertes van het vonkboren gaf het bedrijf aan dat zij er op dit moment te druk waren om nieuwe orders aan te nemen. Wat ook aangegeven werd was dat het een zeer kostbare operatie zou worden van vele duizenden euro's. Om deze reden is het vonkboren geschrapt als mogelijke techniek.

5.4 Metaalgaas

5.4.1 Prototype ontwerp

Om te weten of het metaalgaas een optie is moet er eerst een test gedaan worden. Hiervoor is een monster metaalgaas aangevraagd bij metaalgaasweverij dinxperlo. Zij specialiseren zich in het produceren van metaalgaas voor zeven en filters. Om de pinnen van 1mm soepel te begeleiden is er gekozen voor gaas met de volgende specificaties:

Plain weave / Meshnummer 16 / drd. 0.45mm / maaswijdte 1.14mm.

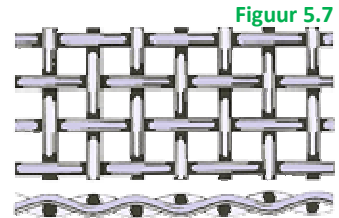
-Plain weave staat voor de weefstructuur, die in dit geval een gladde binding is. Men onderscheidt tijdens het weven de draad in de lengterichting (kettingdraad) en de draad die daar in horizontale banen tussendoor komt (inslagdraad). Bij een gladde binding zijn deze draden even dik en hun onderlinge afstand is gelijk, zoals ook te zien is in figuur 5.7. Dit betekent dat de tussenliggende gaten (zogenoeten mazen) vierkant zijn en niet rechthoekig.

-Het meshnummer is het aantal gaten per strekkende engelse duim, gemeten van de hart van de ene draad tot het hart van de andere draad. Die is in dit geval 16.

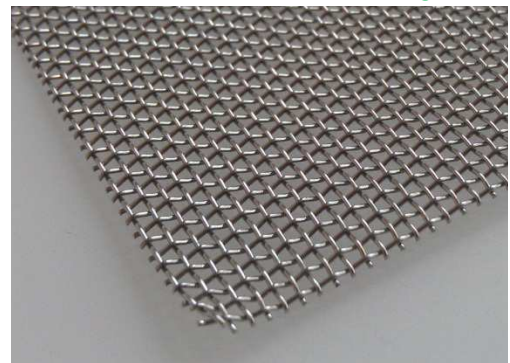
-drd. 0.45mm staat voor de draaddikte. Die is hier zo dik mogelijk gekozen binnen de standaardspecificaties en vereiste maaswijdte. Dit is om wat ruimte te creëren tussen de pinnen en zoveel mogelijk stevigheid te verkrijgen in het gaas.

-Maaswijdte is de afstand tussen de draden, gemeten over de horizontale en verticale as. Bij een gladde binding is die gelijk. De maaswijdte van het teststuk is 1,15 om te zorgen dat pinnen van 1mm er soepel doorheen glijden. Ook compenseert dit voor eventuele onnauwkeurigheden in de weefstructuur of dikte van de pinnen.

In figuur 5.8 is het gebruikte gaas te zien.

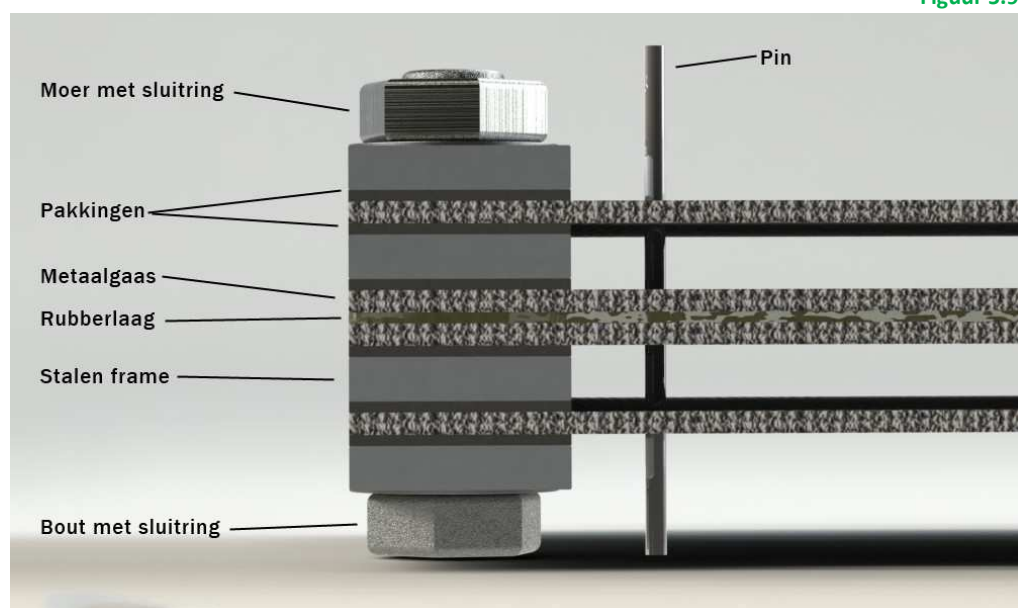


Figuur 5.7



Figuur 5.8

Het metaalgaas gebruiken om de pinnen te begeleiden vereist een frame waarin het gaas opgespannen kan worden, omdat het van zichzelf niet voldoende stevigheid heeft. Ook zal 1 laag gaas niet genoeg zijn. Dit is omdat de pinnen dan eenvoudig scheef kunnen gaan staan. Door meerdere lagen te stapelen met een kleine tussenruimte kan men de benodigde begeleiding creëren. Zie ook figuur 5.9.



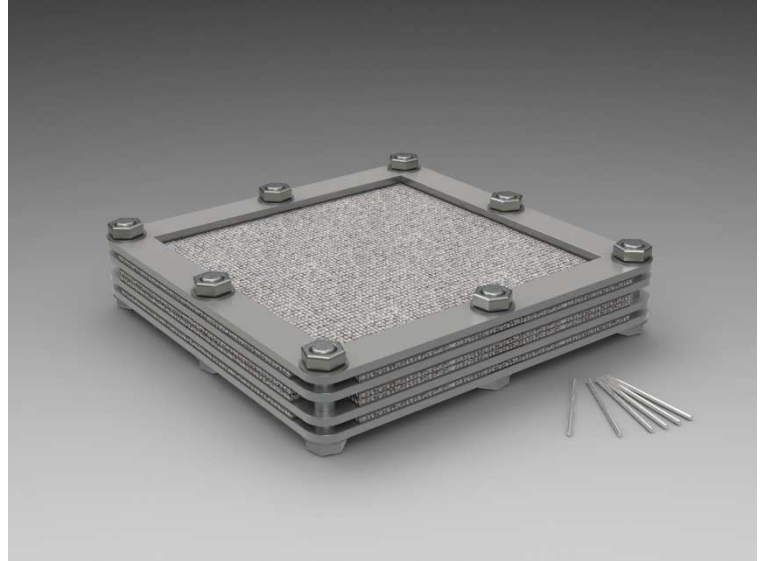
Figuur 5.9

In figuur 5.10 is het 3D model van het prototype ontwerp te zien.

Figuur 5.10

In dit prototype zullen vier lagen gebruikt worden, twee aan de uiteindes om de begeleiding te creëren en twee in het midden, dicht tegen elkaar aan om de rubberlaag vast te houden. Belangrijk is om de lagen precies goed boven elkaar te positioneren omdat de pinnen er anders niet tussendoor kunnen of scheef komen te staan. Als dit gebeurt zullen ze teveel weerstand hebben om er tussendoor te kunnen glijden.

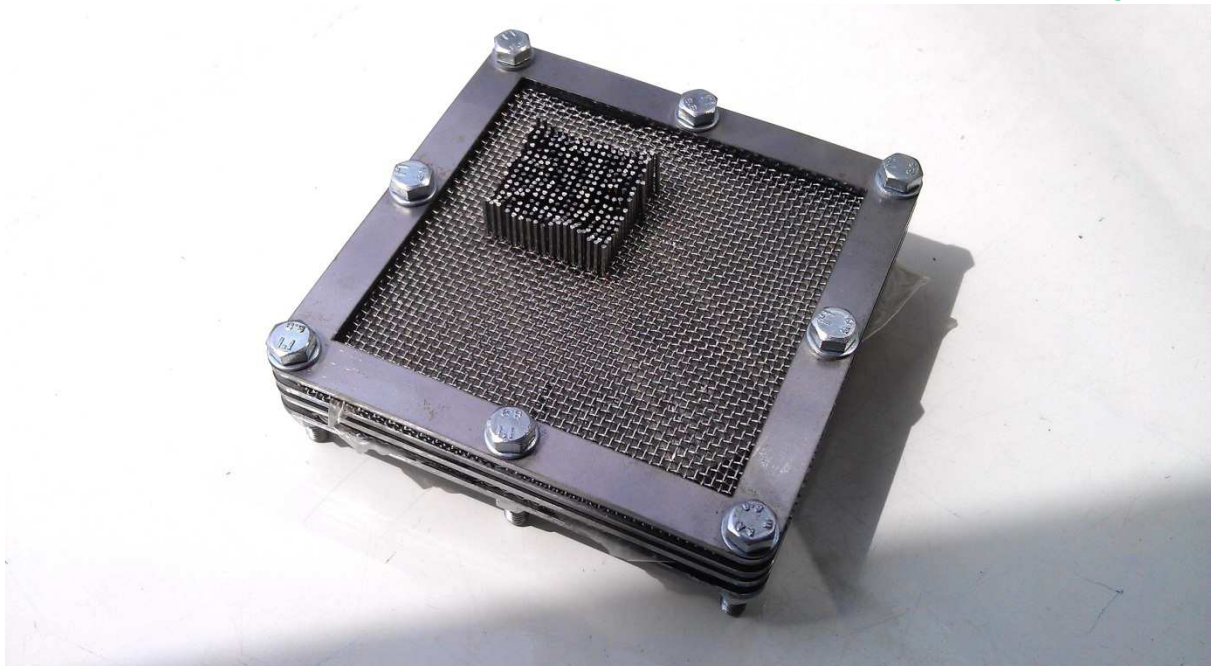
De lagen metaalgaas moeten goed vastgehouden worden tussen de frames, dit wordt bereikt door dunne stripjes rubber toe te voegen tussen het gaas en het frame. In het midden bevindt zich een rubberlaag tussen het metaalgaas om de benodigde weerstand op te leveren.



De pinnen zullen voorlopig bestaan uit op maat geknipte stukken lasdraad van 1mm diameter en 24mm lang.

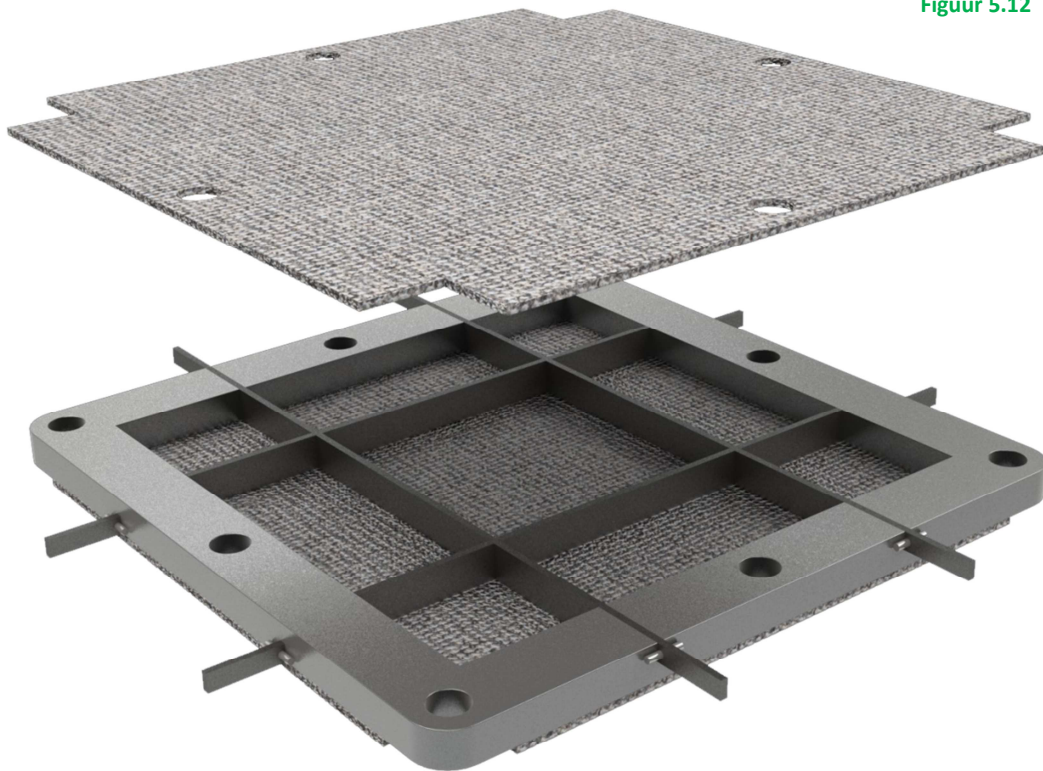
Vervolgens zijn de plaatjes uitgesneden in de lasersnijder, het rubber en het metaalgaas geknipt. Bij het in elkaar zetten is op elk stuk metaalgaas hetzelfde vierkant afgetekend met stift. Hierdoor zijn pinnen gestoken om te zorgen dat de gaaslagen zich recht onder elkaar bevinden. Door nu een gat te boren door de hele stapel worden de gaaslagen gefixeerd. De moeren worden strak aangedraaid zodat de gaaslagen goed tussen de framedelen geklemd zitten. figuur 5.11 is het resultaat, hier nog zonder alle pinnen erin.

Figuur 5.11



5.4.2 Stijfheid gaas

Het metaalgaas heeft van zichzelf niet of nauwelijks stevigheid. Dit kan problemen opleveren met de doorbuiging, zoals ook het geval was bij het CNC-gefreesde model. Door het op te spannen in een stalen frame wordt dit een stuk beter. Een andere manier om dit te verhelpen zou het toevoegen van een ribbenconstructie zijn. Door tussen de metaalgaaslagen dunne, stalen ribben toe te voegen wordt er nauwelijks extra gewicht verplaatst, maar krijgt het gaas wel veel meer stevigheid. Het nadeel hiervan is dat er op de plek van de ribben geen pinnen kunnen zijn. Hier verliest het ontwerp dus resolutie. Mits de ribben dun genoeg zijn (de dikte van 1 rij pinnen + metaalgaasdraden aan weerszijdes) is dit geen probleem. Hoe deze ribben precies geconstrueerd en bevestigd moeten worden is afhankelijk van de constructiewijze en wordt hier niet verder uitgewerkt. figuur 5.12 laat het idee zien van hoe de ribben het gaas ondersteunen.



Figuur 5.12

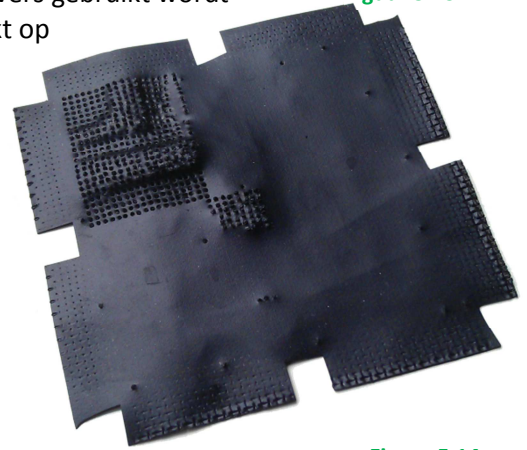
5.5 Testen & verbeteren prototype

Het metaalgaasprototype bleek goed te werken en wordt gebruikt om het idee verder te testen en uit te werken, alsmede het te presenteren naar eventuele constructeurs. Het CNC-gefreesde screen is in principe hetzelfde en kan daarnaast gepresenteerd worden.

5.5.1 Rubberlaag

Als eerste is als rubberlaag gekozen voor het vinylrubber dat voor vijvers gebruikt wordt om ze waterdicht te maken. Eenvoudig verkrijgbaar bij de bouwmarkt op meer dan groot genoeg formaat. Dit is getest met diktes van 0,5/0,25/0,1 mm. Helaas bleken deze rubberlagen té goed te werken. Door het stijve rubber was de weerstand om een pin er door te drukken wel te doen, maar moest men bij het verplaatsen van alle pinnen tegelijkertijd heel veel kracht zetten. Dit betekent dat het houten onderstempel in het uiteindelijke proces waarschijnlijk zou breken of anderszins ernstig beschadigen. Het doel van de rubberlaag is om de pinnen met minimale kracht omhoog te houden, zodat ze eenvoudig verست kunnen worden maar niet loskomen. Figuur 5.13 laat het vijverrubber zien na de test, waar duidelijk te zien waar de pinnen door het rubber zijn gegaan.

Figuur 5.13



Figuur 5.14

De oplossing hiervoor werd gevonden in condooms. Deze bestaan uit een flinterdunne latex rubberlaag. De dikte van dit latex varieert per type condoom van 40 tot 80 μm ($\mu\text{m} = 1 \text{ micrometer} = 0,001 \text{ millimeter}$).

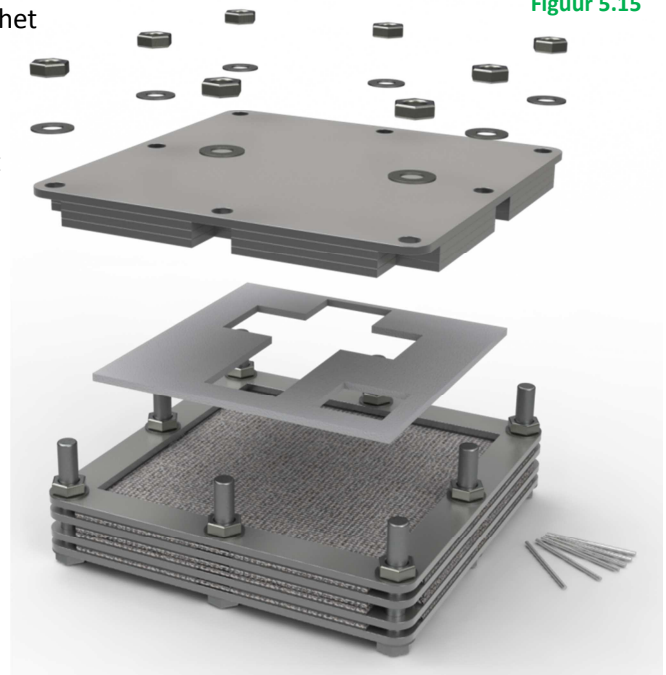
Voor deze test is een gewoon condoom (65 μm) en extra veilig condoom (75 μm , figuur 5.14) gebruikt. De tweede bleek net iets meer weerstand te hebben, maar beide werkten in principe goed. Het pinscreen is nu eenvoudig te manipuleren om in een bepaalde stand te komen, en behoud die stand ook goed.



5.5.2 Toevoegen afdekplaat

Het idee van het pinscreen werkt nu. Vervolgens is het zaak dat de pinnen in de juiste positie blijven staan. Hiervoor is een klein proef-stansplaatje gemaakt van 8x8 cm. Dit komt bovenin te liggen. Om dit stevig tegen de pinnen aan te drukken komt er een afdekplaat bovenop (figuur 5.15). Deze kan eenvoudig bevestigd worden aan de bouten die het prototype al bij elkaar houden. Om ruimte te laten voor de moeren die de constructie bijeendrukken worden er 3 laagjes toegevoegd van staalplaat, samen met de eigenlijke afdekplaat vormt dit de bovenkant. De 4 lagen worden aan elkaar gelast en op het prototype geplaatst. Het pinscreen is nu een volledig werkend model van het uiteindelijke product.

Figuur 5.15



5.6 Pinnen

De pinnen die in het rooster moeten komen moeten ergens groot ingekocht kunnen worden tegen lage prijzen. Wel is het van belang dat de pinnen allemaal exact hetzelfde zijn. Door verschillende opties te onderzoeken zijn er de volgende oplossingen gevonden:

5.6.1 Spijkers, draadnagels

Spijkers zijn relatief goedkoop en in vele soorten en maten verkrijgbaar. Voor dit ontwerp zijn spijkers nodig met een diameter van 1 mm en een lengte van 30 mm. Het nadeel is echter dat spijkers een kop hebben, waardoor ze elkaar in de weg zitten bovenin het rooster. Spijker zonder kop zijn praktisch niet te vinden. Een ander nadeel is het productieproces van spijkers. Dit levert onnauwkeurigheden op zodat niet elke spijker hetzelfde is. Er zitten gebogen exemplaren tussen alsmede dunnere en dikkere versies. Ook zijn ze niet gemaakt om soepel door een gat te glijden, maar juist om veel weerstand te hebben. De afwerking van de schacht is dan ook vrij ruw, soms zelfs bewust met ribbels ook zitten er puntjes aan het uiteinde, die het uit te breken karton vast kunnen pakken waardoor het aan het pinnenraster blijft haken.

Voordelen:

- Goedkoop
- Eenvoudig te verkrijgen
- Altijd leverbaar

Nadelen:

- Er zit een kop op
- Niet uniform
- Ruwe afwerking, kans op vastlopen
- Scherpe punt



Figuur 5.16



5.6.2 Cilindrische pennen

Cilindrische pennen zijn hardstalen pennen die vele industriële toepassingen kennen. Ze worden bijvoorbeeld gebruikt als paspennen om twee objecten exact uitgelijnd op elkaar te bevestigen (men boort een gat op de juiste plek in beide materialen, pen ertussen) of als scharnierende penverbinding tussen twee delen. Voor dit soort toepassingen zijn de toleranties heel belangrijk. De pennen zijn dus allemaal exact even groot en mooi glad afgewerkt. Het nadeel hiervan is dat ze relatief duur zijn in vergelijking met de andere onderzochte opties.

Voordelen:

- Uniform
- Gladde afwerking, glijd soepel

Nadelen:

- Relatief duur



5.6.3 Bagetnagels

Bagetnagels zijn nagels die gebruikt worden door houtbewerkers waar een mooie afwerking vereist is zonder uitstekende metalen spijkerkoppen. De voornaamste toepassing is het maken van houten lijsten voor schilderijen en foto's e.d. Men tikt de naalden tot de gewenste diepte in het hout en door een zijdelingse tik breekt de brossse nagel dan af, zodat een bijna onzichtbare verbinding overblijft. De nagels zijn erg mooi glad afgewerkt, zonder kop. Ze hebben wel een hele scherpe punt en zijn alhoewel goedkoper dan de cilindrische pennen nog steeds vrij duur. De standaardmaat heeft een diameter van 0,9 mm en een lengte van 32 mm.

Voordelen:

- Uniform
- Gladde afwerking

Nadelen:

- Scherpe punt
- Relatief duur



Figuur 5.17



5.6.4 Schietnagels van luchtdrukpistolen

In de bouw worden spijkerpistolen gebruikt op luchtdruk, die nagels in het hout schieten. Hierbij laadt men een strip met nagels in het pistool en schiet men ze een voor een in het hout. De nagels hebben net als spijkers wel een kop, maar deze kan vele malen kleiner zijn dan gewone spijkers (bijvoorbeeld schachtdiameter 1,05 en kopdiameter 1,25). Het nadeel is wel dat de nagels vierkant zijn i.p.v. rond en er dus óf een groter gat geboord zal moeten worden (met meer speling en sterkteverlies van de plaat als gevolg) óf gekozen moet worden voor de metaalgaasoplossing, waarbij de gaten sowieso al vierkant zijn. Het voordeel van deze nagels is dat ze goed leverbaar, ook in grote hoeveelheden, en erg goedkoop.

Voordelen:

- Uniform
- Veel verschillende dimensies verkrijgbaar
- Makkelijk verkrijgbaar
- Goedkoop

Nadelen:

- Vierkant



Figuur 5.18



5.6.5 Zelf knippen

Een andere optie is om de pinnen te knippen van 1 mm staaldraad. De voordelen hiervan zijn dat er geen kop op zit, de afwerking van het staaldraad glad is en dat staaldraad relatief goedkoop is. Het nadeel is echter de grote hoeveelheid pinnen die geknipt moet worden. Met de hand is dit niet te doen. Op industriële schaal zou het wel heel goedkoop kunnen zijn, maar dan worden de opstartkosten ook heel hoog. Dit zou dus vooral een optie zijn als het product massageproduceerd gaat worden.

Voordelen:

- Gladde afwerking
- Simpel te vervangen

Nadelen:

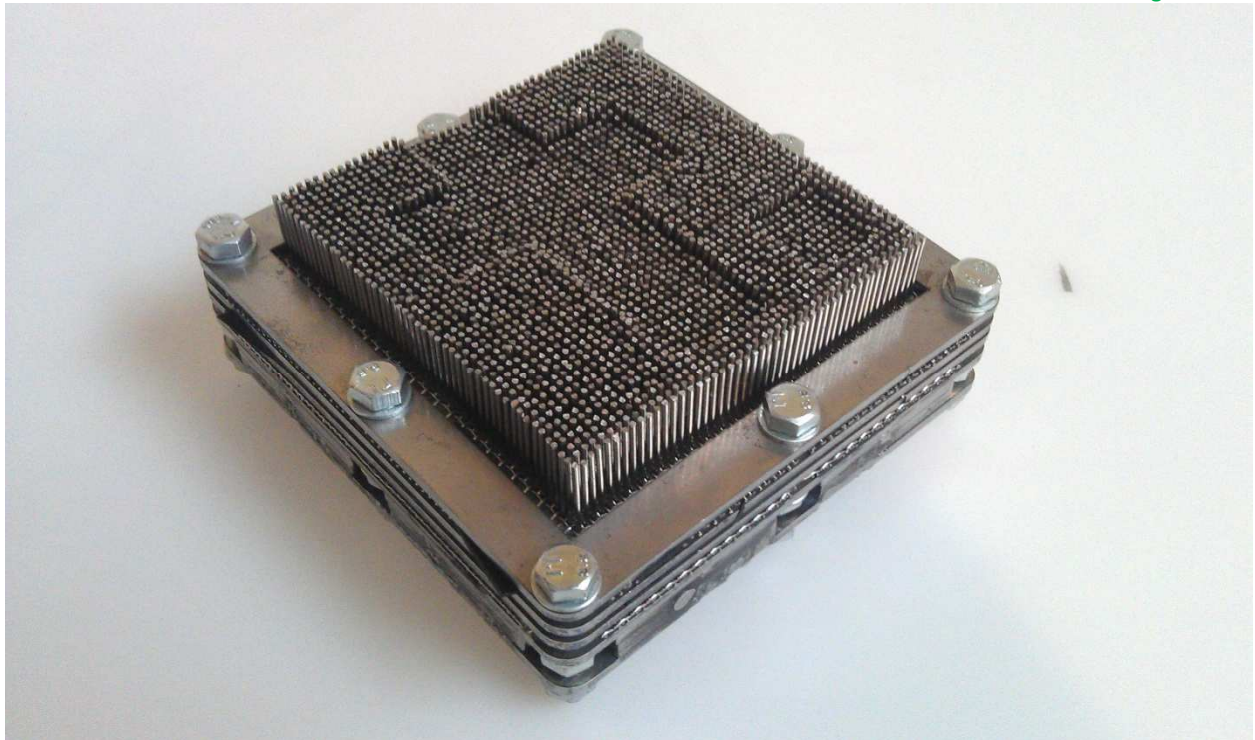
- Kost veel manuren om te maken
- Wordt meestal op rol aangeleverd, en is dus niet recht



5.6.6 Keuze pinnen

Voor de metaalgaasoptie wordt er gekozen voor de draadnagels uit een luchtdrukpistool. Deze hebben de meest gunstige maat, uniformiteit en prijs. Gezien het feit dat ze vierkant zijn moet voor de CNC-gefreesde versie een ander type pinnen gekozen worden. Eventueel zouden de gaten groter geboord kunnen worden zodat de vierkante pinnen er toch in passen. Of dit geen gevolgen heeft voor de begeleiding en slijtage moet nog onderzocht worden. Een andere goede optie is het op maat laten knippen bij een groot bedrijf, maar dit kan alleen uit voor grotere series dan op dit moment nodig is. Dit is vooral goed om naar te kijken als het ontwerp eventueel in serieproductie zou gaan. Het prototype wordt afgebouwd met zelfgeknipte pinnen van lasdraad. Een foto van het uiteindelijke prototype is te zien in figuur 5.19

Figuur 5.19

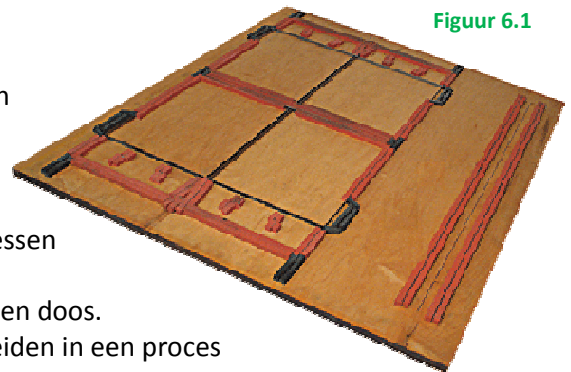


6. Projectresultaat

Nu alle aspecten van het ontwerp uitgewerkt zijn is er besloten om een einddocumentatie te maken waarin het ontwerp vastgelegd wordt en waarmee de opdrachtgever naar constructeurs kan stappen. Dit houdt in dat het (metaalgaas) prototype zodanig afgemaakt wordt dat daarmee het idee helder uitlegt kan worden, eventueel ondersteund door computeranimaties en illustraties. De constructie is opgedeeld in 2 delen. Het CNC-ontwerp met de gaten erin geboord is het meest eenvoudige ontwerp om uit te leggen. Hier wordt dan ook geen apart prototype van gemaakt. Het metaalgaasontwerp wordt ook voorgesteld aan de constructeur als optie. De ontwerpen die hier voorgesteld worden zijn gebaseerd op de kleinste stans, 520x720 mm.

6.1 De Situatie

Bij D-box verpakkingen B.V. worden kartonnen verpakkingen gestanst uit vlakke platen karton. Dit gebeurt door een stansmes, te zien in figuur 6.1, met grote kracht op het karton te drukken m.b.v. een stansdegel, figuur 6.2. Een stansmes bestaat uit een houten plaat met daarin stalen messen in de vorm van het betreffende product. deze platen zijn productspecifiek en zijn een 2D weergave van de uitgevouwen doos. Vervolgens worden het product en het restmateriaal gescheiden in een proces genaamd uitbreken. Dit gebeurt machinaal d.m.v. De verpakkingen worden geproduceerd in series van ongeveer 50 – 5.000 stuks met een stanssnelheid van tussen de 400 en 1.200 platen per uur.



Figuur 6.1

6.2 Het Probleem

Bij het stansen laat het stansmes kleine bruggetjes staan, het product blijft zo vastzitten aan de kartonnen plaat. Dit is om te voorkomen dat het product blijft 'hangen' in het stansmes. Dit restmateriaal moet later echter wel verwijderd worden, dit noemt men uitbreken. Het uitbreken kan op 2 manieren:



Figuur 6.2

6.2.1 Machinaal

Machinaal gebeurt dit door een uitbreekplank met een stempelvorm van het product op de gestanste kartonnen plaat te drukken, die op een 2^e uitbreekplank ligt met uitsparingen voor het restmateriaal. Hierdoor valt het restmateriaal in een bak en wordt het product doorgeschoven om op een pallet gestapeld te worden. De snelheid van het uitbreekproces is onafhankelijk van de vorm en maat van het product. Nadelen van deze techniek voor D-box zijn:

- Naast een stansmes moeten er ook nog 2 uitbreekplanken besteld worden. Dit is een investering die bij kleinere oplages niet rendabel is.
- Er is in de fabriek slechts 1 stansmachine aanwezig die een dergelijk uitbreekstation bevat.

6.2.2 Handmatig

Met de hand uitbreken betekent dat er 2-4 werknemers pakken karton van de pallet met het gestanste product afbreken. Bij uitsparingen in het midden van het product worden deze afgestapeld en met de hand uitgedrukt. Een hulpgereedschap hierbij is een soort schroevendraaier om zeer kleine rondjes e.d. uit te breken. Een andere gereedschap dat gebruikt kan worden is de zogeheten 'knabbelaar', een pneumatisch aangedreven happer die in hoog tempo het restmateriaal laag voor laag afscheurt. Dit kan echter alleen bij makkelijk loslatend restmateriaal en levert ook gevaar op voor beschadiging van het product.

Figuur 6.3

De Nadelen van deze techniek voor D-box zijn:

- Ongeschoolde arbeid, maar wel fysiek zwaar.
- Er zijn tot wel 4 mensen bezig met een pallet uitbreken dit betekent hoge arbeidskosten.
- Bij inkepingen/uitsparingen in het product moeten de producten van de pallet afgestapeld worden om het midden van het product te bereiken.
- Hoe complexer het product, hoe meer tijd het kost aangezien er minder lagen tegelijk uitgebroken kunnen worden.
- Het stansen en uitbreken zijn losse processen, waarbij het uitbreken ook nog eens langer duurt dan het stansen. Dit zorgt voor oponthoud in de workflow.

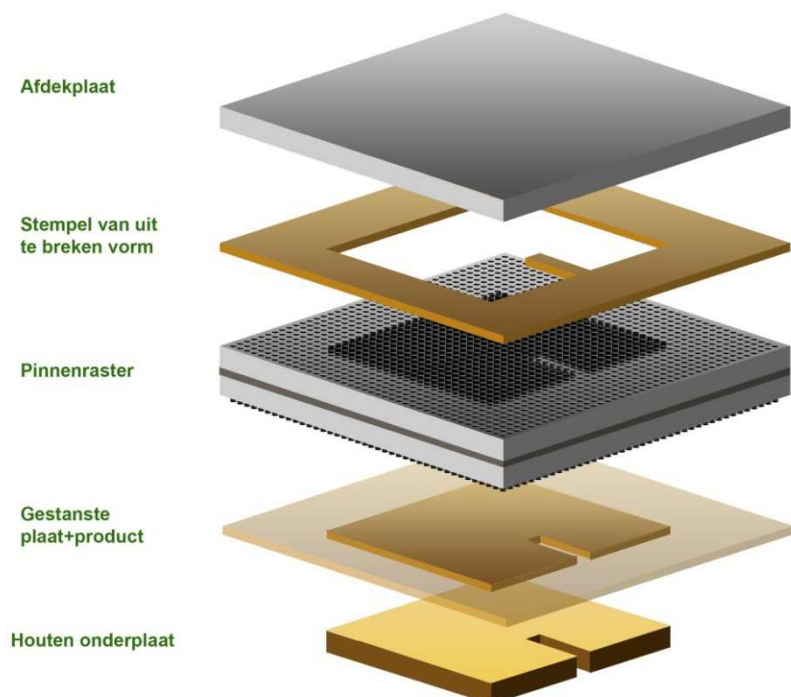


6.3 Het idee

Het idee is om een flexibel stempel te creëren zodat er machinaal uitgebroken kan worden zonder voor elke serie een nieuw stempel aan te schaffen. Dit wordt bereikt door middel van een z.g.n. pinscreen, een scherm vol met stalen pennen die de vorm van het uit te breken product aan kunnen nemen en vervolgens vastgezet worden. Dit wordt voorlopig alleen gedaan voor het bovenstempel. De onderstempels zullen nog gewoon besteld worden.

In figuur 6.4 is te zien hoe het ontwerp in elkaar steekt. De houten onderplaat ondersteunt het product. In deze houten plaat zijn net als bij de conventionele methode uitsparingen aangebracht waar het restmateriaal doorheen kan vallen. Vervolgens hangt er boven het product een pinscreen met daarin de vorm van de uitbreekplaat. Deze wordt verwezenlijkt door de pinnen, op de plek van het uit te breken product, met een grijsboard stempel naar beneden te drukken. De rest van de pinnen blijft omhoogstaan door hun weerstand in een rubberlaag die tussen de pinscreenlagen aangebracht is.

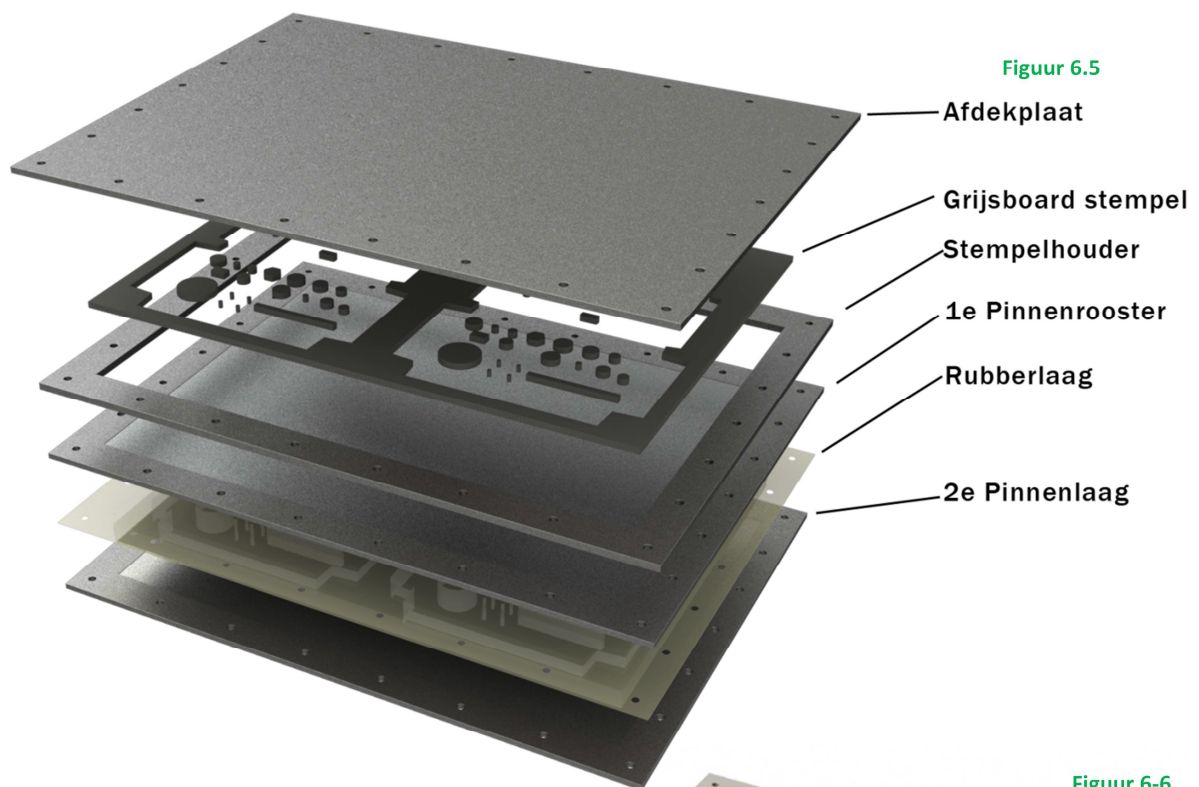
Figuur 6.4



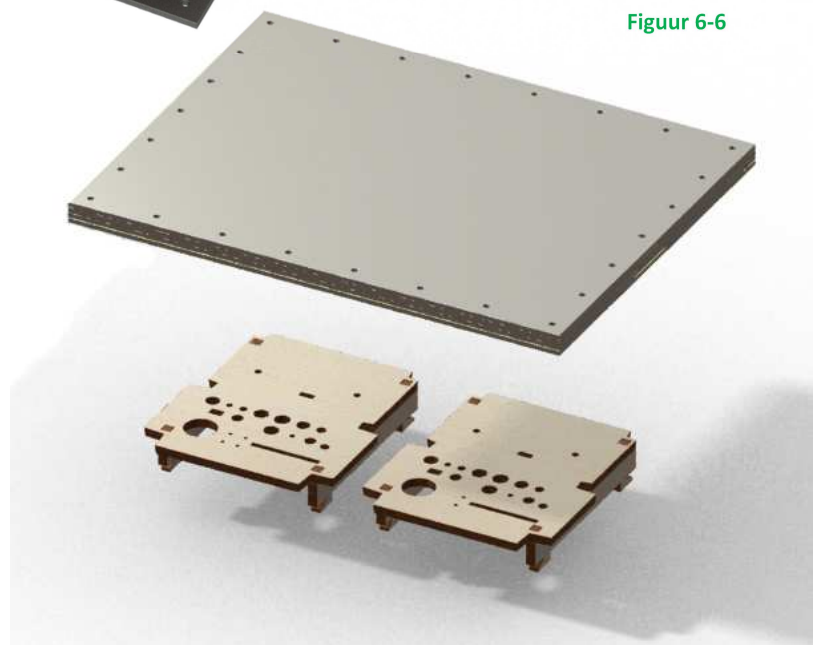
6.4 Twee ontwerpen

6.4.1 Het CNC-gefreesde ontwerp

Het ontwerp m.b.v. CNC-frezen bestaat uit 2 pinscreen lagen met daartussen een plaat rubber (figuur 6.5). Door deze pinscreen lagen zitten talloze pinnen dit op hun plek gehouden worden door een rubberlaag. Vervolgens ligt hierop een houder voor een grijsboard stempel met de vorm van het uit te breken gedeelte. Dit stempel wordt bij D-Box in huis vervaardigt. Verder moet er een afdekplaat vervaardigt worden om dit stempel er stevig op te duwen. De bovenplaten worden op elkaar bevestigd middels bouten om de rand. De afdekplaat moet hier opgedrukt worden maar wel vlug los te halen zijn bij het instellen om het stempel te wisselen. Het werkzame oppervlak van het rooster is 520x720 mm met een rand van 50 mm ter bevestiging. De plaat zal uiteindelijk bevestigd worden in een pers, boven de onderplaten (figuur 6.6)



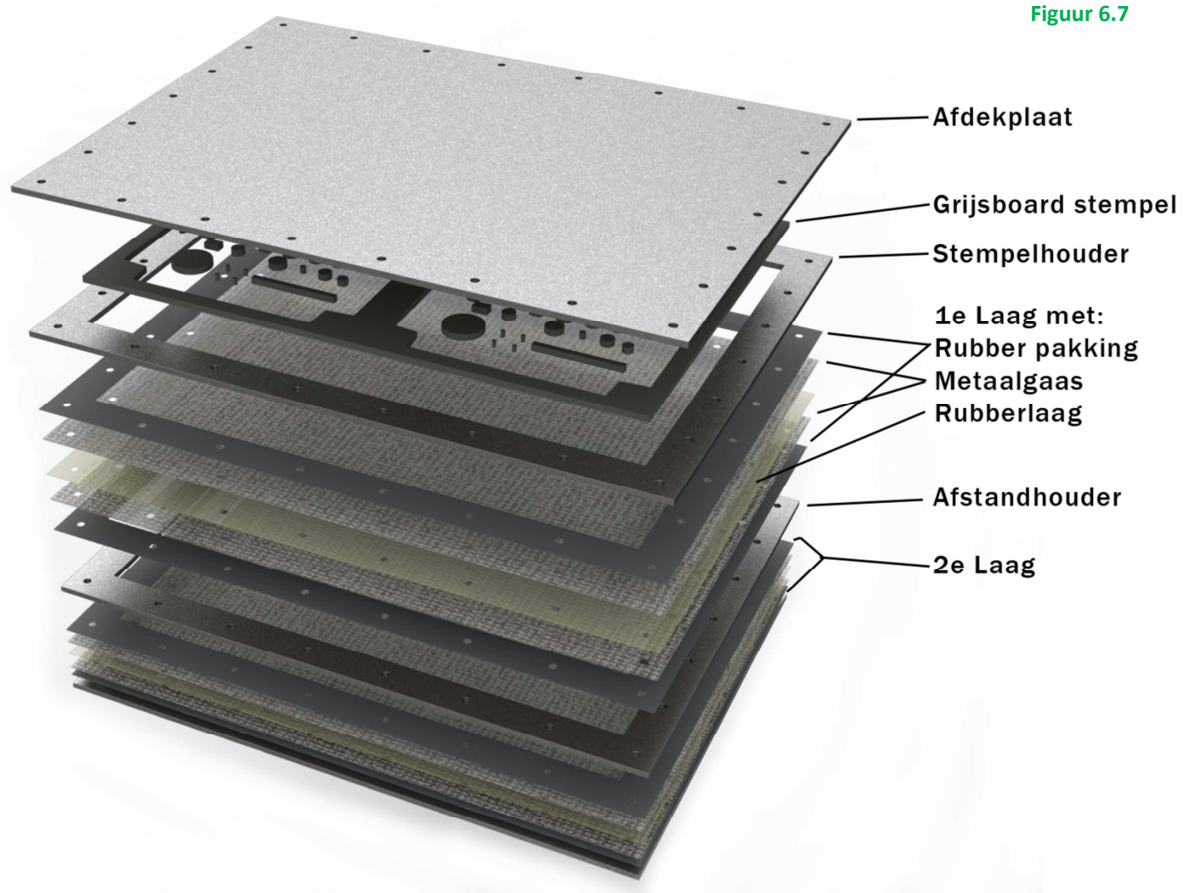
Figuur 6.5



Figuur 6-6

6.5.2 Het metaalgaasontwerp

Het metaalgaasontwerp is in principe hetzelfde als het CNC-gefreesde ontwerp, ware het niet dat het pinscreen nu geen vlakke plaat is maar een opspanning van meerdere lagen metaalgaas (zie ook het prototype). De lagen worden ingeklemd in een stalen frame met rubber pakkingen ertussen om ze op hun plaats te houden. De stapeling moet uit tenminste vier lagen bestaan. Hierbij wordt een stapeling gemaakt van twee lagen gaas met één laag rubber ertussen. Door deze stapeling te herhalen met enige tussenruimte wordt een grotere geleiding en meer weerstand gecreëerd. Ook is er zo meer zekerheid dat de pinnen blijven hangen als een van de rubberlagen uitscheurt. De frames worden d.m.v. bouten en moeren langs de rand op elkaar geklemd. Een overzicht van deze stapeling is te zien in figuur 6.7



Figuur 6.7

6.5 Overige aspecten

6.5.1 Pinnen

In het ontwerp is onderzoek gedaan naar verschillende soorten pinnen. Voorlopig lijkt de beste optie voor het metaalgaas het bestellen van nagels voor in een luchtdrukpistool, deze zijn goedkoop en in vele maten verkrijgbaar. De voorgestelde maat is 1,05-1,25 (diameter schacht) met een lengte van 30 of 40 mm.

Bij de CNC-gefreesde plaat moet eerst onderzocht worden of de nagels hiervoor ook bruikbaar zijn, anders moet er een andere optie gekozen worden.

6.5.2 Rubber

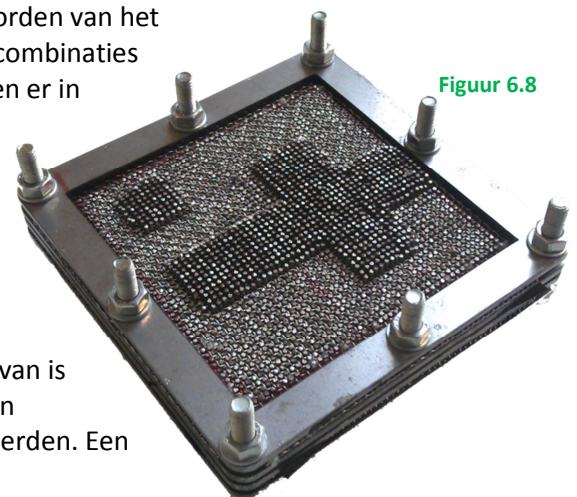
De rubber tussenlaag is er om de pinnen omhoog te houden tegen de afdekplaat aan. Dit betekent dat het genoeg weerstand op moet leveren om het gewicht van de pinnen te dragen. Aan de andere kant is het zaak deze weerstand zo klein mogelijk te houden zodat het instellen niet teveel kracht kost. Hierdoor beschadig het onderstempel niet. Voor het rubber kan een vel genomen worden van 75 μm dik latex. Dit levert genoeg weerstand op om de pinnen omhoog te houden maar laat ze desondanks soepel verplaatsen.

6.5.3 Frame

Het pinscreen moet opgehangen worden in een nog te ontwerpen constructie. Deze moet plaats bieden aan de onderplank. Dit kan grotendeels overgenomen worden van het conventionele ontwerp zoals ook te vinden in de stans/uitbreekcombinaties zoals de KLETT, aanwezig bij D-Box. Daarnaast moet het pinscreen er in geplaatst worden op zo'n manier dat hiermee een stansbeweging gemaakt kan worden. Deze stansbeweging moet zo'n 1000 N/m² druk kunnen leveren en tenminste 1200 cycli per uur aankunnen.

6.5.4 Prototype

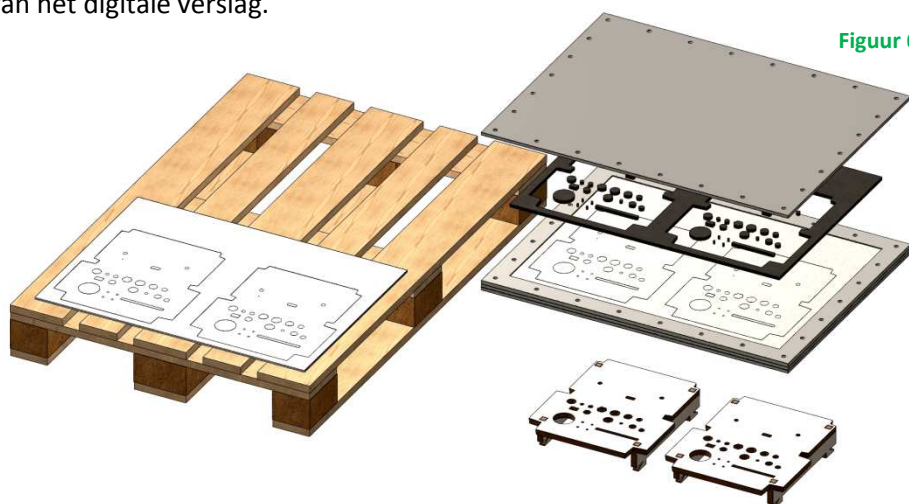
Zoals eerder beschreven is er van het metaalgaas ontwerp een prototype gemaakt van 10x10 cm. Het werkzame oppervlak hiervan is zo'n 8x8 cm. Dit prototype is compleet met afdekplaat, pinnen en stempel en kan gebruikt worden als communicatiemiddel naar derden. Een afbeelding is te zien in figuur 6.8



Figuur 6.8

6.5.5 Animatie

Om het een en ander te verduidelijken over de werking van het ontwerp is een 3d animatie gemaakt van het uiteindelijke proces. Deze is gemaakt met behulp van het 3d model van het CNC-gefreesde eindontwerp. Een screenshot van deze animatie is te zien in figuur 6.9. Ook is deze te vinden in bijlage G van het digitale verslag.



Figuur 6.9

7. Aanbevelingen en slot

7.1 Aanbevelingen

Het eindresultaat is nog geen werkbaar product. om dit uit te werken moet er nog eens goed gekeken worden naar de volgende punten;

7.1.1 CNC-frezen

Ondanks het feit dat het op dit moment te duur leek levert het vrezen wel een mooi eindresultaat op. Deze techniek geeft waarschijnlijk ook een veel hogere stijfheid dan het metaalgaas en lijkt minder last te hebben van slijtage/onregelmatigheden. Daarom zou het verstandig zijn hier meer onderzoek naar te doen.

7.1.2 Resolutie aanpassen

Een groot deel van de complicaties bij dit ontwerp komt voort uit de hoge pinnendichtheid. Het zou interessant zijn om deze resolutie eens een stuk minder te maken, bijvoorbeeld pinnen van 2 mm diameter, 2 mm uit elkaar geplaatst. Dit leidt tot 4 keer minder pinnen om gaten voor te boren. ook zou het boren makkelijker worden door een betere spaanafvoer.

7.1.3 Pinnen

Vanwege de beperkte tijd en mogelijkheden in dit project is de massaproductie niet voldoende onderzocht. Indien er later serieus geproduceerd gaat worden is het verstandig om naar een constructeur te stappen en kijken wat er op dit gebied mogelijk is.

7.1.4 Onderplaat ook flexibel maken

In dit project is er alleen gekeken naar de bovenplaat omdat deze de hoogste kostenpost was en het eenvoudigst te veranderen leek. Echter om maximale winst te halen uit het systeem moet de onderplank ook flexibel gemaakt worden. Hierdoor zal men nooit meer hoeven wachten op een uitbreekplank en wordt de maximale flexibiliteitswinst bereikt. Indien dit niet gebeurt is het misschien een optie om te kijken naar onderplanken die voor meerder (gelijksoortige) producttypen gebruikt kunnen worden.

7.2 Slot

Het resultaat van het project is in het vorige hoofdstuk weergegeven. Terugkijkend naar de originele doelstelling, het verbeteren van het stans en uitbreekproces d.m.v. een flexibel uitbreeksysteem, is die grotendeels behaald. Er ligt nu een solide concept om op werkelijke schaal mee te testen. Het idee is haalbaar na alle onderzoek en testen die tot nu toe verricht zijn. Hiermee zijn stappen gezet naar een werkbaar product. Het ontwerptraject is overzichtelijker en gestructureerder gelopen dan ik van te voren had verwacht. Uiteindelijk is het op ware schaal werkende prototype er niet van gekomen, zoals ik dat aan het begin wel gehoopt had. Dit is besloten in overleg met de opdrachtgever omdat het teveel tijd zou kosten binnen dit project zonder echt bij te dragen aan de educatieve doeleinden. Wat er allemaal wel is gebeurd is veel onderzoek naar de huidige situatie, veel schetsen, 3D modelleren en animeren, leveranciers bellen, bedrijfsbezoeken en werkplaatsuren. Een heel divers project dus waarin ik veel geleerd heb. Al met al ben ik tevreden over de loop van het project en het eindresultaat.