



OPTIMALISATIE VAN HET PRODUCTIEPROCES VAN KATHODES

PBA in de Ontwerp-en productie

Eindwerk voorgedragen tot het behalen van
de graad en het diploma van bachelor in de Ontwerp-en
productie

Door: Wouter Brabers
Promotor hogeschool: Hilde Jansen
Promotor bedrijf: Johan Smaers

Academiejaar 2016-2017
Campus De Nayer, Jan De Nayerlaan 5, BE-2860 Sint-Katelijne-Waver



OPTIMALISATIE VAN HET PRODUCTIEPROCES VAN KATHODES

PBA in de Ontwerp-en productie

Eindwerk voorgedragen tot het behalen van
de graad en het diploma van bachelor in de Ontwerp-en
productie

Door: Wouter Brabers
Promotor hogeschool: Hilde Jansen
Promotor bedrijf: Johan Smaers

Academiejaar 2016-2017
Campus De Nayer, Jan De Nayerlaan 5, BE-2860 Sint-Katelijne-Waver

Voorwoord

De bedrijfsstage die verbonden was aan mijn bachelorproef ging door bij Nyrstar in Balen. Het was een bijzonder leerrijke ervaring. Ik heb niet alleen een kijk gekregen op het bedrijfsleven, maar ik heb bovendien de kans gekregen om in alle vrijheid enkele problemen te analyseren en aan te pakken.

Graag zou ik eerst en vooral Johan Smaers willen bedanken, mijn bedrijfspromotor en tevens opleidingscoördinator van Nyrstar, voor het aanreiken van een passend onderwerp voor mijn bachelorproef en voor zijn organisatorische tussenkomsten. Hij vond een interessant en uitdagend onderwerp, dat dicht aanleunt bij mijn opleiding.

Voor de technische en praktische ondersteuning en voor de kennis uit ervaring over de pons, de manipulator en het gehele productieproces van kathodes in het algemeen, kon ik altijd rekenen op Flip Lodewijckx, de technische operator van de kathodewerkplaats. Hij heeft mij ook enorm geholpen om theoretische kennis te toetsen aan de praktijk en hij heeft mij nauw betrokken bij het algemeen en preventief onderhoud aan het machinepark.

Gunther Engelen, de productieoperator van de kathodewerkplaats, wil ik bedanken omdat hij altijd bereid was om te helpen de hydraulische pons te monteren en demonteren en om mij te motiveren om mijn ideeën door te zetten.

Tevens een woord van dank aan Yvo Willekens, om ervoor te zorgen dat de aangepaste snijplaat op minder dan een week tijd besteld en aangekomen is, waardoor ik de resultaten nog in deze scriptie kon verwerken.

Tenslotte dank ik mijn promotor Hilde Janssen voor het geven van praktische tips gedurende mijn stage en voor elke presentatie en ook voor het nakijken van mijn technische tekeningen.

Inhoudstafel

| | |
|---|-----------|
| Voorwoord..... | 2 |
| Inhoudstafel | 3 |
| Lijst van illustraties | 5 |
| Inleiding..... | 8 |
| 1 Voorstelling van het bedrijf | 9 |
| 2 Productieproces | 10 |
| Deel I: Geluidsemisatie van de pons | 12 |
| 3 Literatuurstudie | 13 |
| 3.1 Het ponsproces..... | 13 |
| 3.2 Veersystemen | 18 |
| 3.3 Geluidshinder | 21 |
| 4 Probleemomschrijving | 22 |
| 5 Werkstrategie | 23 |
| 6 Meetresultaten & oplossingen | 24 |
| 6.1 Geluidsmeting | 24 |
| 6.2 Bestuderen van de pons-parameters | 25 |
| 6.3 Visuele voorstelling van de pons | 31 |
| 6.4 Mogelijke oplossingen..... | 32 |
| 6.5 Oplossing: aanpassen van de ponsparameters..... | 34 |
| 6.6 Praktische testen | 37 |
| Deel II: Grijpen van platen | 51 |
| 7 Literatuurstudie | 52 |
| 7.1 Grijptechnologieën | 52 |
| 7.2 Krachtwerking tussen aluminium platen..... | 58 |
| 8 Probleemomschrijving | 60 |
| 9 Werkstrategie | 61 |
| 10 Meetresultaten & oplossingen | 62 |
| 10.1 Oorsprong van het probleem | 62 |
| 10.2 Visuele voorstelling van de manipulator | 63 |
| 10.3 Mogelijke oplossingen..... | 65 |
| 11 Oplossing: Detectie d.m.v. een optische sensor..... | 70 |
| Deel III: Herontwerp van het aanvoersysteem..... | 76 |
| 12 Probleem definiërende fase..... | 77 |
| 12.1 Eisenpakketten | 77 |
| 12.2 Concepten | 82 |
| 12.3 Functies en werkwijze | 84 |
| 13 Werkwijzebepalende fase | 87 |
| 13.1 Morfologisch overzicht | 87 |
| 13.2 Kesselringmethode..... | 88 |
| 13.3 Controleberekeningen | 91 |
| 14 Vormgevende fase..... | 96 |
| 14.1 Onderdelen | 96 |
| 14.2 Hydraulisch schema | 99 |
| 14.3 Visuele voorstelling van het herontwerp..... | 101 |
| Besluit | 102 |
| Literatuurlijst..... | 103 |

| | |
|---|-----|
| Bijlagen | 105 |
| Bijlage A: Luchtfoto Nyrstar Balen | 105 |
| Bijlage B: Materiaaleigenschappen aluminium plaat | 106 |
| Bijlage C: Stempelveer DANLY | 107 |
| Bijlage D: Samenstellingstekening hydraulische cilinder | 108 |
| Bijlage E: Stempelveer met diameter 25 mm | 109 |
| Bijlage F: Stempelveer met diameter 32 | 110 |
| Bijlage G: Offerte SICK | 111 |
| Bijlage H: Technische tekening hijstap | 112 |
| Bijlage I: Technische tekening bevestiging cilinder | 113 |
| Bijlage J: FMEA van het herontwerp..... | 114 |
| Bijlage K: Tekendossier van de pons..... | 115 |

Lijst van illustraties

Figuren:

| | |
|--|----|
| Figuur 1.1: Logo Nyrstar (Nyrstar, 2017)..... | 9 |
| Figuur 1.2: Proces van zinkerts tot zink..... | 9 |
| Figuur 2.1: Ingangsproduct..... | 10 |
| Figuur 2.2: Uitgangsproduct..... | 10 |
| Figuur 2.3: Productieproces van kathodes..... | 11 |
| Figuur 3.1: Voorbeeld van een stansproces (Noble Die, 2008)..... | 13 |
| Figuur 3.2: Verschillende stadia tijdens het ponsproces (Dayton, 2017) | 13 |
| Figuur 3.3: Afschuiving op kristalniveau | 14 |
| Figuur 3.4: Doorsnede van een geponste plaat..... | 14 |
| Figuur 3.5: Voorbeelden van een cluster tool (Unipunch, 2017)..... | 15 |
| Figuur 3.6: Alternatieve stempelgeometrieën | 16 |
| Figuur 3.7: Invloed van de snijspleet op de breukzone (Lindholm, 2010)..... | 16 |
| Figuur 3.8: Voorbeeld van galling (Hughes, 2012) | 17 |
| Figuur 3.9: Stempelveer - urethaan-veer – gasveer (Century Spring corp., 2017) | 20 |
| Figuur 6.1: Geluidsmeting kathodewerkplaats | 24 |
| Figuur 6.2: Doorsnede van de ponsstempels | 25 |
| Figuur 6.3: Slijtage bij gecoate en genitreerde stempels..... | 27 |
| Figuur 6.4: Galling en slijtage bij de centrale ponsstempel..... | 27 |
| Figuur 6.5: Invloed van de snijspleet op de drop (Dayton, 2017)..... | 28 |
| Figuur 6.6: Uitzicht van de drop van 25mm | 28 |
| Figuur 6.7: Samenvatting snijspeling (MatePrecision Tooling, 2016)..... | 29 |
| Figuur 6.8: Eigenschappen van Castrol Iloform PN 221 (Castrol, sd) | 29 |
| Figuur 6.9: Hydraulische pons | 31 |
| Figuur 6.10: PELTOR Tactical-oordoppen (3M , 2015)..... | 32 |
| Figuur 6.11: Richtwaarde voor de snijspeling (Lascoe, 1988) | 35 |
| Figuur 6.12: Stripkracht in functie van de snijspeling (Lascoe, 1988) | 35 |
| Figuur 6.13: Schematische voorstelling van de snijspleet (Dayton, 2017) | 36 |
| Figuur 6.14: Ponsolie-leiding | 37 |
| Figuur 6.15: Bovenste olieleiding | 37 |
| Figuur 6.16: Hijsoog | 38 |
| Figuur 6.17: Onderste olieleiding | 38 |
| Figuur 6.18: Afsluitstuk onderste olieleiding | 38 |
| Figuur 6.19: Takelkraan | 39 |
| Figuur 6.20: Spantap | 39 |
| Figuur 6.21: Demontage van het bovenstuk van de pons deel 1 | 40 |
| Figuur 6.22: Demontage van het bovenstuk van de pons deel 2 | 40 |
| Figuur 6.23: DIN 580 hijsoog | 41 |
| Figuur 6.24: Hijstap | 41 |
| Figuur 6.25: Stempelveer ø25 voor superzware belasting | 42 |
| Figuur 6.26: Stempelveer ø25 voor extra zware belasting..... | 42 |
| Figuur 6.27: Aangepaste opspanplaat | 43 |
| Figuur 6.28: Stempelveer ø32 voor extra zware belasting..... | 43 |
| Figuur 6.29: Gebruikte veren tijdens de test | 44 |
| Figuur 6.30: Drop bij derde test | 45 |
| Figuur 6.31: Montage van centrale stempel en acht ø8 stempels | 45 |
| Figuur 6.32: Montage van centrale stempel en twaalf ø8 stempels..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figuur 6.33: Drop na vijfde test..... | 47 |
| Figuur 6.34: Drop na zesde test | 48 |
| Figuur 6.35: Aangepaste snijplaat..... | 48 |
| Figuur 6.36: Drop na de zevende test | 49 |
| Figuur 6.37: Drop na de achtste test..... | 49 |
| Figuur 7.1: Doorsnede van een pneumatische grijper (SMC, 2015) | 52 |
| Figuur 7.2: Krachtwerking op een grijper (SMC, 2015) | 52 |
| Figuur 7.3: Verschillende uitvoeringen van een grijper (SMC, 2015)..... | 53 |
| Figuur 7.4: Grijsystemen met meer van twee grijpvingers (SMC, 2015)..... | 53 |
| Figuur 7.5: Grijpen van delicate voorwerpen m.b.v. een elektrische grijper (SMC, 2015) | 54 |
| Figuur 7.6: Definitie van vacuüm (Cuykens, 2014) | 54 |
| Figuur 7.7: Werking van een eentrapsejector | 55 |
| Figuur 7.8: Werkingsprincipe van een cycloongrijper (SMC, 2015) | 57 |
| Figuur 7.9: Aantrekkingskrachten tussen deeltjes op moleculair niveau | 58 |
| Figuur 10.1: Manipulator | 63 |
| Figuur 10.2: Wheatstone bridge-schakeling | 65 |
| Figuur 10.3: Scaime AB 500kg weegcel (Scaime, 2016) | 66 |
| Figuur 10.4: Principe van diktemeting door twee ultrasoonsensors..... | 66 |
| Figuur 10.5: Pepperl+Fuchs sensor met bijhorende montagebeugel (Pepperl+Fuchs, 2017) | 66 |
| Figuur 10.6: Principe van diktebepaling met een inductieve sensor (Roland-electronics, 2017) | 67 |
| Figuur 10.7: Uitgang van een inductieve sensor bij diktebepaling (Roland-electronics, 2017) | 67 |
| Figuur 10.8: Eagle Eye AA- sensor (Roland-electronics, 2017)..... | 67 |
| Figuur 11.1: SICK WTB12-3P2461S58 reflex-taster (SICK, 2017) | 70 |
| Figuur 11.2: Verschil tussen een LED en een PinPoint-LED (SICK, 2016) | 71 |
| Figuur 11.3: Montage van de reflexsensor m.b.v. een snelspanner | 71 |
| Figuur 11.4: SICK snelspanner (SICK, 2017) | 72 |
| Figuur 11.5: Elektro-pneumatisch schema | 73 |
| Figuur 11.6: Omschakeling van het ventiel | 73 |
| Figuur 11.7: Graficet vóór aanpassing..... | 74 |
| Figuur 11.8: Ladderdiagram vóór aanpassing | 74 |
| Figuur 11.9: Graficet na aanpassing..... | 75 |
| Figuur 11.10: Ladderdiagram na aanpassing | 75 |
| Figuur 12.1: Functioneel (gebruiks)-eisenpakket (de Beer, 2006) | 77 |
| Figuur 12.2: Fabricage eisenpakket (de Beer, 2006) | 79 |
| Figuur 12.3: Milieu eisenpakket (de Beer, 2006)..... | 81 |
| Figuur 12.4: Conceptschets van het herontwerp | 82 |
| Figuur 12.5: Functieverloop van een technische installatie (de Beer, 2006)..... | 84 |
| Figuur 12.6: Functieblokschema | 85 |
| Figuur 12.7: Verloop van een deelfunctie (de Beer, 2006) | 85 |
| Figuur 13.1: Waarderingsdriehoek | 90 |
| Figuur 13.2: Krachtwerking op de draagplaat | 91 |
| Figuur 13.3: Positie van het drukvlak van de cilinders | 92 |
| Figuur 13.4: Parametrische tabel | 92 |
| Figuur 13.5: Resultaten van de stressanalyse van de draagplaat | 93 |
| Figuur 13.6: Convergentiegrafiek van de stressanalyse | 94 |
| Figuur 13.7: Krachtwerking op de bovenste aluminium plaat..... | 94 |
| Figuur 14.1: Hydraulische tweetraps telescoopcilinder (Halvewerk, 2015)..... | 96 |
| Figuur 14.2: Hydraulisch symbool van het ventiel | 96 |
| Figuur 14.3: Hydraulisch ventiel (Halvewerk, 2015) | 96 |
| Figuur 14.4: Bevestigingsonderdeel van de cilinders | 97 |
| Figuur 14.5: Snelbouwanker Fischer M16x145 (Fischer, 2013) | 97 |

| | |
|---|-----|
| Figuur 14.6: Montage van een keilbout (Fischer, 2013) | 97 |
| Figuur 14.7: Draagplaat | 98 |
| Figuur 14.8: HEB-120 profiel..... | 98 |
| Figuur 14.9: Pepperl+Fuchs NBB20-U10 (Pepperl+Fuchs, 2017)..... | 98 |
| Figuur 14.10: Hydraulisch schema van het herontwerp..... | 100 |
| Figuur 14.11: Uitgaan van de telescoopcilinders | 100 |

Tabellen:

| | |
|---|-----|
| Tabel 3.1: Invloed van een verkeerd gekozen snijspleet (Lindholm, 2010) | 17 |
| Tabel 3.2: Kleurcode van een stempelveer..... | 19 |
| Tabel 3.3: Stempelveren volgens ISO 10243..... | 19 |
| Tabel 3.4: Geluidsnormen (Inspectie SZW, 2012) | 21 |
| Tabel 6.1: Gegevens van een aluminium plaat | 25 |
| Tabel 6.2: Samenvatting toepassing van de ponsparameters | 30 |
| Tabel 6.3: Snijspeling bij non-ferro materialen (Dayton, 2017)..... | 36 |
| Tabel 6.4: Samenvatting ponstesten | 50 |
| Tabel 7.1: Vergelijking van vacuümpomp en -ejector | 55 |
| Tabel 7.2: Mogelijke uitvoeringen van een zuignap (SMC, 2015) | 56 |
| Tabel 7.3: Compatibiliteit van twee materialen (Gutierrez-Miravete, 2009) | 59 |
| Tabel 10.1: Probleemstelling bij sensoren voor diktemeting | 69 |
| Tabel 13.1: Waarderingsmatrix functionele eisen | 89 |
| Tabel 13.2: Waarderingsmatrix fabricage eisen | 89 |
| Tabel 13.3: Waarderingsmatrix milieu eisen..... | 89 |
| Tabel 13.4: Oppervlakten van de waarderingsdriehoeken | 90 |
| Tabel 13.5: Maximale zuigkracht van een zuignap (PIAB, 2015) | 94 |
| Tabel 14.1: Samenvattende tabel van benodigde onderdelen | 99 |
| Tabel 14.2: Waarheidstabel sensoren..... | 99 |
| Tabel 14.3: Onderdelen van het herontwerp | 101 |

Inleiding

Deze stage richt zich op de optimalisatie van het productieproces van kathodes die gebruikt worden voor zink-winning via elektrolyse. Specifiek gaat het hier over twee problemen die zich voordoen tijdens het productieproces.

Het eerste probleem situeert zich tijdens de eerste manipulatie van het ingangsproduct (aluminium plaat). Deze zijn per 60 gestapeld op een pallet en worden op het aanvoersysteem geplaatst. De platen dienen één voor één via een vacuümgreijper verplaatst te worden naar de hydraulische pons. Het kan gebeuren dat de vacuümgreijper twee platen opneemt, die vervolgens in het proces terechtkomen.

Dit resulteert in een gevaarlijke situatie, daar het proces hier niet op voorzien is. Het gevolg is dat de productie stilgelegd moet worden, zodat de plaat manueel verwijderd kan worden. Wanneer het probleem niet tijdig opgemerkt wordt, dienen er ook bepaalde machines (gedeeltelijk) gedemonteerd te worden om de plaat te kunnen verwijderen.

Het tweede probleem situeert zich in de volgende productiestap, namelijk de hydraulische pons. Hier komt de plaat via de manipulator terecht, waarna de pons in actie treedt en gaten drukt in de plaat. Bij het terugtrekken van deze pons ontstaat er een luide knal die niet aangenaam is voor de procesoperators.

Merk op dat de pons niet geschikt is om twee platen te ponsen. Het is dus van groot belang dat een eventuele tweede plaat zeker niet zover in het productieproces geraakt.

De oplossingsmethodiek van bovenstaande problemen zal bestaan uit het identificeren, analyseren en visualiseren van de problemen en het voorstellen van oplossingen die in de eerste plaats zorgen dat de sturing stopt bij het grijpen van meerdere platen, zodat risicovolle situaties niet meer kunnen voorvallen.

Het geluid van de pons moet binnen de wettelijke normen vallen. Bij uitbreiding zullen er aanpassingen gedaan worden aan het aanvoersysteem, zodat het proces zelf kan reageren na het grijpen van meerdere platen en de sturing niet dient te stoppen.

Deze scriptie is opgebouwd uit drie delen. In het eerste deel wordt het probleem van de pons uitvoerig onderzocht. Het tweede deel betreft de problematiek in verband met het grijpen van platen en een oplossing hiervoor, zonder grote aanpassingen te verrichten aan de manipulator. Tenslotte wordt er in deel drie de aanzet gegeven voor een herontwerp van het aanvoersysteem en worden de stappen volgens het driefasenmodel van H.H. Van de Kroonenberg doorlopen.

1 Voorstelling van het bedrijf

Nyrstar



Nyrstar is een wereldwijde onderneming die gespecialiseerd is in mijnbouw en metaalhandel en stelt ongeveer 5000 mensen te werk.

Resources for a changing world

Figuur 1.1: Logo Nyrstar (Nyrstar, 2017)

Het bedrijf ontstond op 31 augustus 2007 door de fusie van de zinksmelt-, loodsmelt- en legeringsactiviteiten van *Zinifex* (een Australisch mijnbedrijf) en *Umicore* (een Belgisch materiaaltechnologiebedrijf).

Nyrstar houdt zich vooral bezig met de productie van zink uit mijnen en het recycleren van zink uit bv. verzinkte staalplaten.

Momenteel heeft Nyrstar haar hoofdzetel in Zwitserland, met vestigingen verspreid over heel de wereld. België telt twee vestigingen, namelijk een zinksmelter in Balen en een fabriek waar legeringen worden vervaardigd in Overpelt.

Nyrstar Balen is de vestiging waar deze stage doorgaat. De fabriek zelf is ontstaan in 1889 onder de naam *Vieille Montage*, wat later *Umicore* werd.

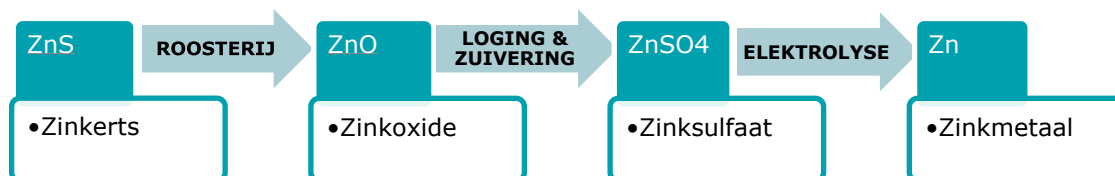
Nyrstar Balen

Nyrstar Balen vormt samen met de vestiging Overpelt één grote zinksmelter en stelt bijna 600 mensen tewerk. De vestiging staat in voor de verwerking van zinkerts tot zuiver zink.

Op het bedrijfsterrein in Balen (zie Bijlage A) bevinden zich verschillende productiehallen die ieder noodzakelijk zijn in het proces voor de bereiding van zuiver zink uit zinksulfide (zinkerts).

Kort gezegd wordt de zinksulfide in de *Roosterij* omgezet in onzuivere zinkoxide (ZnO) die vervolgens in de *Loging en Zuivering* wordt opgelost en gezuiverd. Als resultaat krijgt men dan een gezuiverde zinksulfaatoplossing ($ZnSO_4$).

In de *Elektrolyse* wordt onder invloed van elektrische gelijkstroom het zinkmetaal uit de oplossing gewonnen.

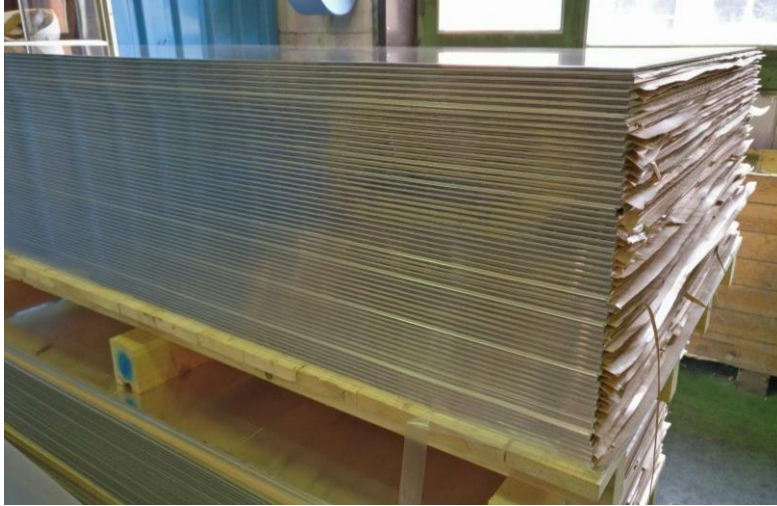


Figuur 1.2: Proces van zinkerts tot zink

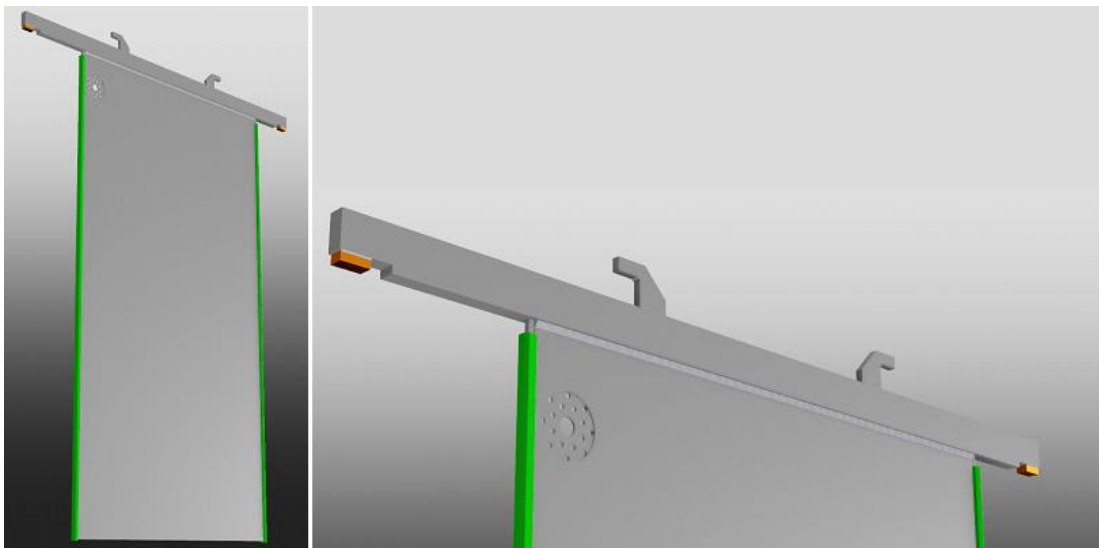
De kathodes die gebruikt worden bij de elektrolyse (zowel in Balen als in Aubry, Frankrijk) worden geproduceerd in de kathodewerkplaats (KWP) waar deze stage voornamelijk doorgaat.

2 Productieproces

In de kathodewerkplaats vindt het productieproces plaats van de kathodes. Het ingangsproduct hiervan is een stapel aluminium. Elk van deze platen wordt in verschillende productiestappen omgevormd tot het uitgangproduct, namelijk kathodes.

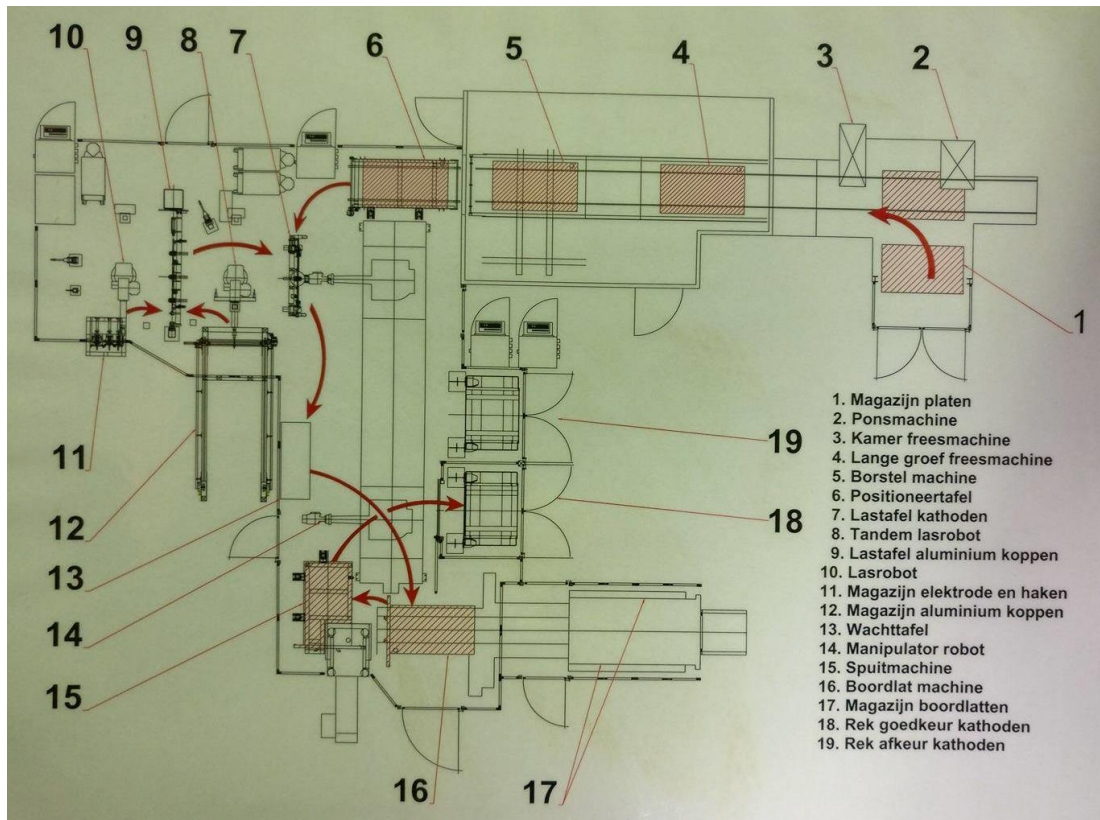


Figuur 2.1: Ingangsproduct



Figuur 2.2: Uitgangproduct

Schematisch gezien ziet het productieproces er als volgt uit:



Figuur 2.3: Productieproces van kathodes

De stapel met aluminium platen wordt met een heftruck op het aanvoersysteem geplaatst. Hier zal de manipulator met zuignappen de platen één voor één afnemen en vervoeren naar de pons.

De pons maakt gaten in de plaat die dienen om de kunststofschijs - die later in het proces gespuitsgiet wordt - te verstevigen.

Na de pons passeert de plaat langs een kamerfrees die aan de boven- en onderkant van de plaat een gat freest waarin de schijs gespuitsgiet wordt.

Vervolgens worden er langs boven en onder groeven gefreesd aan de zijkant van de plaat, waarin de boordlatten kunnen aangrijpen.

Twee lasrobots stellen de kop van de kathode samen met haken en contacten en bevestigen deze kop met een lange las aan de bewerkte plaat.

De samengestelde plaat wordt dan voorzien van boordlatten die met speciale lijm bij elkaar gehouden worden.

Tenslotte wordt de kunststofschijs in de eerder vernoemde gaten gespuitsgiet.

Men maakt gebruik van het feit dat er geen zinkafzetting kan gebeuren op de kunststof (zowel de boordlatten als de schijs). De latten zorgen ervoor dat de zink niet rondom de plaat kan komen en de schijs zorgt voor een opeenhoping van zinkafzetting langs waar de zink van de kathodes losgepeld kan worden.

Deel I:

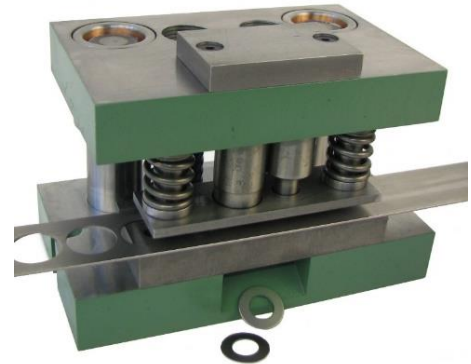
Geluidsemissie van de pons

3 Literatuurstudie

3.1 Het ponsproces

Ponsen is het scheiden van materiaal met behulp van een snijder en een matrijs, waarbij de omtrek (gesloten omtrekvorm) van de snijder en de snijplaat evenwijdig zijn aan elkaar.

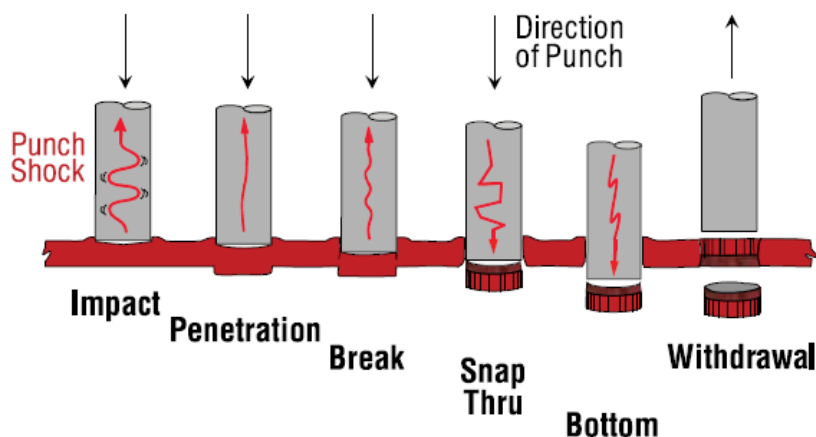
Nadat stempel en snijplaat in de ponsmachine zijn gemonteerd, wordt het plaatmateriaal op de snijplaat gelegd en beweegt de ponsstempel naar beneden. Hierdoor wordt de zogenoemde drop uit de plaat gedruwd. (Goovaerts, De Bonte, Vercaemst, & Dijkmans, 2004)



Figuur 3.1: Voorbeeld van een stansproces (Noble Die, 2008)

Het ponsen onderscheidt zich van het stansen, doordat niet het uitgedrukte materiaal maar de plaat het eindproduct vormt.

Hoewel het ponsen een simpele bewerking lijkt, worden er tijdens het proces meerdere stadia doorlopen die rechtstreeks beïnvloed worden door de ponsparameters, zoals de drukkracht, de neerhouder, de snijspleet, het gebruik van ponsolie en de eigenschappen van de ponsstempel.



Figuur 3.2: Verschillende stadia tijdens het ponsproces (Dayton, 2017)

Neerhouder

Na het ponsen wordt door het elastisch terugveren van het plaatmateriaal de gatdiameter kleiner. Door wrijving en klemming zal de plaat de neiging hebben om zich aan de stempel te hechten.

Om de snijder toch zonder beschadigingen uit het plaatmateriaal naar de beginpositie terug te kunnen trekken, is het toepassen van een neerhouder (ook wel afstroper genoemd) vaak noodzakelijk (Gales & de Nooij, 2004).

De functie van een neerhouder is het tegenhouden van de plaat, terwijl de stempel weer naar boven beweegt zodat de plaat niet uitbuigt rondom het ponsgat. Dit wordt bij hedendaagse industriële ponsen reeds standaard geïmplementeerd.

Gespecialiseerde bedrijven zoals Dayton (2017) en Punch tools (2017) geven als richtwaarde aan dat men voor de neerhouderkracht best rekening houdt met 10 tot 25% van de ponskracht, afhankelijk van het te ponsen materiaal, de hardheid en de dikte van de plaat die men wenst te ponsen.

Drukkracht

Bij een hydraulische ponsmachine wordt de nodige ponskracht voor de stempels geleverd door oliedruk van een hydraulische pomp. Deze oliedruk zal op het zuigeroppervlak (vaak cirkelvormig) drukken en voor een drukkracht zorgen volgens de formule:

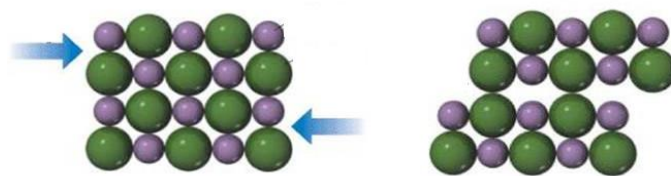
$$F = p \cdot A$$

Met F : de drukkracht [N]

p : de druk [MPa] of [N/mm²]

A : het drukoppervlak [mm²]

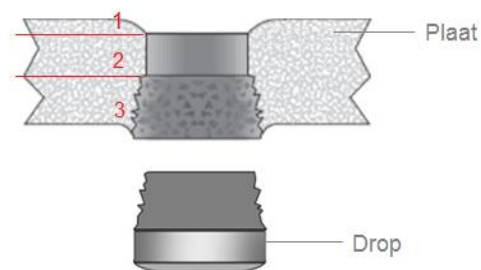
Ponsen van plaatmateriaal berust op afschuiving. Dit is het plastisch vervormen van een materiaal door een extern aangebrachte kracht die dislocaties veroorzaakt in de kristalstructuur van het plaatmateriaal.



Figuur 3.3: Afschuiving op kristalniveau

We onderscheiden drie zones in een geponste plaat:

De bovenste zone zal wegens hoge spanningsconcentraties licht afgerond worden. De tweede en belangrijkste zone is de middelste zone van zuivere afschuiving. Tenslotte hebben we de breukzone waarbij de drop als het ware afgescheurd wordt van de plaat. Deze zone wordt bereikt nadat de stempel ongeveer 30% van het plaatmateriaal heeft geponst.



Figuur 3.4: Doorsnede van een geponste plaat

Willen we berekenen wat de benodigde drukkracht is om een gat te ponsen in een plaat, dan hebben we enkele parameters nodig zoals: het materiaal en de dikte van de plaat en de diameter van de gebruikte stempel (dus ook het gat dat we wensen te bekomen).

Aan de hand van de diameter en de dikte van de plaat is het mogelijk om de grootte van het afschuifoppervlak te bepalen. Volgens de formule:

$$F_p = \pi \cdot D_{gat} \cdot t \cdot \sigma_b \cdot S_f$$

- Met F_p : de benodigde ponskracht [N]
 D_{gat} : de diameter van het gat [mm]
 t : de plaatdikte [mm]
 σ_b : de treksterkte van het plaatmateriaal [N/mm²]
 S_f : de afschuifactor [zonder eenheid]

De treksterkte van een materiaal is de maximale mechanische spanning die een materiaal bereikt als het plastisch vervormd wordt en kan bepaald worden uit het spanning-rekdiagram van dit materiaal.

De afschuifactor daarentegen is een abstractere coëfficiënt gelegen tussen nul en één die aangeeft na welke spanning in functie van de treksterkte het materiaal zal afschuiven. Deze factor is afhankelijk van meerdere materiaaleigenschappen, zoals o.a. de verstevigingscomponent.

Het product van de treksterkte en de afschuifactor zit vervat in de grootte schuifsterkte σ_s . Dit is de weerstand die een bepaald materiaal heeft tegen het afschuiven van de kristalroosters.

$$F_p = \pi \cdot D_{gat} \cdot t \cdot \tau_s$$

- Met: τ_s : de schuifsterkte [N/mm²]

Deze waarde kan teruggevonden worden in tabellen met materiaaleigenschappen van desbetreffend materiaal, maar kan ook redelijk eenvoudig getest worden met een persproef.

Ponsstempel

Zoals reeds eerder vermeld, noemt men de snijder in een ponsstelsel de stempel. Deze heeft de vorm van het gewenste gat en kan dus eender welke geometrie hebben. Meestal is een ponsgat cirkelvormig, dus speciale vormen dienen vaak op aanvraag geproduceerd te worden door een gespecialiseerd bedrijf.

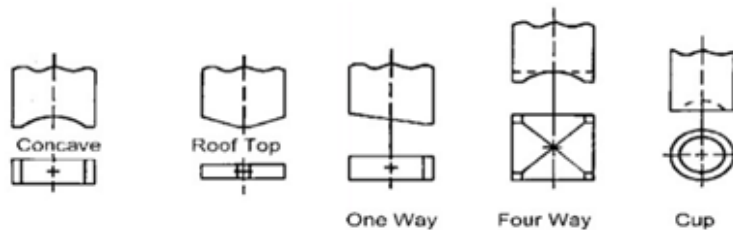
Wanneer men meerdere gaten in een plaat wenst te ponsen die voldoende dicht bij elkaar liggen, dan kan men ervoor opteren om meerdere stempels in de pons te voorzien. Dit kan het productieproces aanzienlijk verkorten. Men noemt dit in het Engels een *cluster tool*.



Figuur 3.5: Voorbeelden van een cluster tool (Unipunch, 2017)

Aangezien het plaatmateriaal grote krachten uitoefent op de stempels en een ponsproces vaak een korte cyclus heeft, is het belangrijk om rekening te houden met de slijtage van deze stempels. Men gebruikt hiervoor dus best een hard materiaal, zoals bijvoorbeeld staal. Om de levensduur van een stempel te verlengen, past men vaak een oppervlaktebehandeling of coating toe. Enkele mogelijkheden zijn: harden, nitreren, maxima coating (ZrTiN).

Als we naar de geometrie van een stempel kijken, zien we dat deze aan de onderkant vaak vlak is. Dit hoeft echter niet, want het kan in sommige toepassingen interessanter zijn om een alternatieve stempelgeometrie te hanteren. Enkele veel voorkomende zijn:



Figuur 3.6: Alternatieve stempelgeometrieën

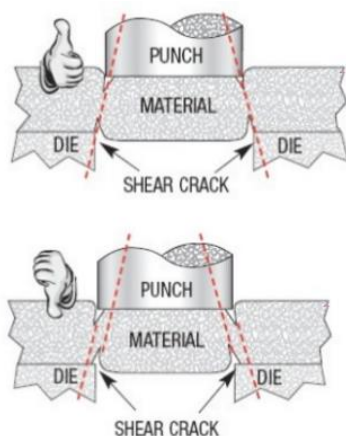
Elk van deze geometrieën hebben een ander toepassingsgebied, maar in het algemeen kan men zeggen dat ze volgende voordelen hebben:

- Verminderen van de benodigde drukkracht
- Geluidsreductie
- Verminderde schokbelasting voor de stempel en ponsinstallatie
- Vlakker plaatmateriaal na de bewerking
- Verbeterde afstroping (zie neerhouder)
- Langere levensduur van het gereedschap

Snij spleet

Een erg belangrijke parameter van het ponsproces die vaak onderschat wordt, is de snij spleet of *clearance* van de stempel. Dit is de dubbele afstand tussen de snijder en de snijplaat of simpel gezegd: de speling tussen de stempel en snijder.

Om zuivere afschuiving te bekomen is het essentieel dat de snij spleet juist bepaald wordt, zodat de breuklijnen in elkaars verlengde liggen.



Figuur 3.7: Invloed van de snij spleet op de breukzone (Lindholm, 2010)

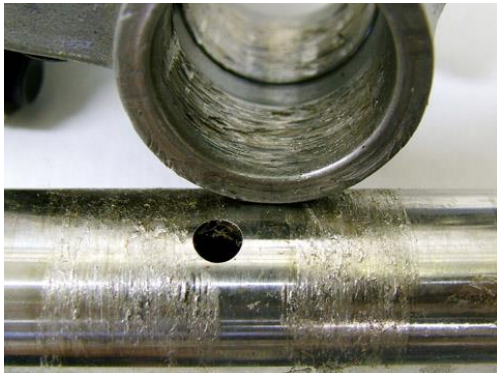
De snijspleet mag dus niet te groot worden genomen, maar zeker ook niet te klein. Gevolgen van een verkeerd gekozen snijspleet zijn samengevat in volgende tabel:

Tabel 3.1: Invloed van een verkeerd gekozen snijspleet (Lindholm, 2010)

| Te kleine snijspleet | Te grote snijspleet |
|--|--------------------------------|
| Kortere levensduur van het gereedschap | Slug pulling |
| Galling | Grotere afronding van de plaat |
| Onregelmatige afstroping | Grotere breukzone van de plaat |
| Slechte gat-kwaliteit | Slechte gat-kwaliteit |
| Extreme warmteontwikkeling | Meer braamvorming |
| Kromtrekken van de plaat | Vervorming van de plaat |

Het hechten van de drop aan de stempel noemt men *slug pulling*. Dit houdt in dat de drop vastgeklemd wordt wanneer de stempel naar boven beweegt en dit wil men te allen tijde vermijden.

Galling is het fysisch verschijnsel waarbij metaaldeeltjes van de plaat blijven kleven aan de stempel. Door de adhesie en warmteontwikkeling tussen het plaatmateriaal en de stempel worden ze als het ware vastgelast. Dit is zeer nadelig voor de levensduur van de stempel.



Figuur 3.8: Voorbeeld van galling (Hughes, 2012)

Ponsolie

Zoals bij veel metaalbewerkingprocessen het geval is, kan men bij ponsen ook gebruik maken van ponsolie. Dit zorgt voor een goede smering van de stempel en de snijder en vermindert de wrijving tussen het plaatmateriaal en de stempel. Bijkomende voordelen zijn dat de metaaldeeltjes van de plaat veel moeilijker zullen hechten en dat er minder warmteontwikkeling zal plaatsvinden. Hierdoor worden galling en slug pulling grotendeels uitgesloten.

3.2 Veersystemen

Klassieke veer

Een veer is een stuk materiaal dat uitgerekt of ingedrukt kan worden, waardoor er mechanische spanning in de veer ontstaat. Een eenvoudige veer kan van metaal zijn dat in een spiraalvorm is gewonden. Variaties in verschijningsvorm zijn afhankelijk van de toepassingen of gewenste eigenschappen. (Eriks bv, 2017)

De belangrijkste soorten klassieke veren zijn:

- **Trekveer:** Door aan de uiteinden te trekken ontstaat er een trekspanning waardoor er een steeds grotere weerstand ontstaat.
- **Drukveer:** Door op de uiteinden te duwen ontstaat er een drukspanning waardoor er een steeds grotere weerstand ontstaat.
- **Torsieveer:** Door de veer op te wikkelen ontstaat er een steeds groter wordende spanning.

Stempelveren vallen onder de categorie drukveren. Ze worden gebruikt voor speciale toepassingen, zoals in stans- en ponsgereedschappen door hun lange levensduur en mogelijkheid om grote cyclische belastingen op te vangen bij een relatief hoge frequentie.

Een belangrijk aandachtspunt bij stempelveren is de norm/fabricaat volgens welke de veren gefabriceerd moet worden. (Verenfabriek De Spiraal B.V., 2017)

Stempelveren hebben enkele belangrijke eigenschappen die een directe invloed hebben op de inzetbaarheid bij bepaalde toepassingen:

- Lengte in ongespannen toestand: dit is de lengte van de veer wanneer er geen belasting op uitgeoefend wordt.
- Lengte in gespannen toestand: soms dient een veer een voorspanning te hebben om zijn eigenschappen maximaal te kunnen benutten. De lengte die de veer dan heeft na deze voorspanning is dan wat kleiner dan de lengte in ongespannen toestand.
- Materiaal: het materiaal waaruit de veer gemaakt is heeft een grote invloed op de mechanische eigenschappen van de veer (zie veerconstante). Soms wordt de legering waaruit de veer gemaakt is tijdens de productie vacuüm ontgast¹.
- Veerconstante: geeft aan hoeveel kracht er uitgeoefend moet worden op de veer om deze één millimeter in te drukken of uit te rekken. Deze grootte wordt bijgevolg uitgedrukt in Newton per millimeter (N/mm).
- Kleur van de veer: veren worden op basis van hun belasting-niveau in een andere kleur gelakt. De kleur verschilt bij de ISO- en de US-norm zoals te zien is in tabel 2.

¹ Vacuüm ontgassen: een techniek die opgelost gas verwijdert in een vloeibare staallegering (bv. vloeibaar staal) door het verlagen van de druk in het vat waarin deze oplossing zich bevindt. Het doel hierbij is om de mechanische eigenschappen van het materiaal te verbeteren.

Tabel 3.2: Kleurcode van een stempelveer

| Belasting | ISO - norm | US - norm |
|--------------------|------------|-----------|
| Extra zwaar | Geel | Groen |
| Zwaar | Rood | Koper |
| Gemiddeld | Blauw | Rood |
| Licht | Groen | Blauw |

De veren met rechthoekige doorsnede zijn ontworpen voor perswerktuigen en matrijzenbouw. Hun specifieke vervaardiging verzekert een maximale levensduur. Er bestaan vier reeksen (bij uitbreiding zes) van krachten volgens **ISO 10243** gekenmerkt door hun kleur.

De uniformiteit van de lengte en de diameters staat een uitwisselbaarheid toe tussen de verschillende krachtreeksen.

De maximale indrukking volgens ISO 10243 wordt gegeven als percentage van de lengte van de veer in onbelaste toestand:

Tabel 3.3: Stempelveren volgens ISO 10243

| Belasting | Kleurcode | Maximale indrukking |
|--------------------|-----------|---------------------|
| Superzwaar | Brons | 15% |
| Extra zwaar | Geel | 25% |
| Zwaar | Rood | 30% |
| Gemiddeld | Blauw | 37,5% |
| Licht | Groen | 40% |
| Extralicht | Paars | 50% |

Voordelen van klassieke stempelveren zijn de lage kostprijs, hoge levensduur en kleine inbouwlengte.

Urethaan-veer

Een goed alternatief dat vaak gebruikt wordt bij o.a. ponsinstallaties zijn veren die gemaakt zijn van urethaan. Het grote verschil met klassieke, spiraalvormige veren is dat urethaan-veren niet samendrukbaar zijn, maar deformerend wanneer er een kracht op uitgeoefend wordt. Het gevolg hiervan is dat de buitenste rand bol komt te staan.

De toename van deze buitenste diameter is gelijk aan de verhouding van de indrukking van de veer en de lengte in onbelaste toestand. (Century Spring corp., 2017)

Doordat urethaan-veren gemaakt zijn uit kunststof hebben ze als voordeel dat ze heel goedkoop zijn en ongevoelig zijn voor trillingen, corrosie en magnetisme en dat ze een bijzonder efficiënte demping hebben.

De veren worden vaak lichtjes geklemd rondom de ponsstempel. De nadelen hiervan zijn dat de veren vermoeien, waardoor ze losser komen te zitten over de stempel. Ze hebben dus een constante monitoring nodig en behoeven meer onderhoud dan andere veersystemen. (Dayton, 2003)

Gas veer

Een derde manier om voorwerpen veilig te tillen, positioneren, trekken, laten zakken of het compenseren van gewicht is het gebruik van gasveren.

Een gasveer is een afgesloten energiebron en bestaat hoofdzakelijk uit een zuigerstang, afdichtingen en een cilinder die onder druk staat. Voor het vullen van de cilinder worden stikstof (N_2) en olie gebruikt en voor het uitschuiven van de zuigerstang fysieke eigenschappen. (Mparts bv, 2017)

De werking van een gasveer berust op het principe dat gassen en vloeistoffen zich in een gesloten ruimte onder gelijkmatige druk in alle richtingen verspreiden en de samendrukbaarheid van gassen.

Een meer gedetailleerde beschrijving van de werking van een gasveer valt buiten het bestek van deze literatuurstudie.

De voordelen van gasveren zijn een goede demping die tevens ook controleerbaar is in snelheid, weinig onderhoud en een vlakke veer karakteristiek. Doordat hun opbouw gecompliceerder is dan de twee voorgaande veersystemen, zijn ze duurder in aankoop prijs en minder eenvoudig te monteren.



Figuur 3.9: Stempelveer - urethaan-veer – gasveer (Century Spring corp., 2017)

3.3 Geluidshinder

"Het koninklijk besluit van 16/01/2006 betreffende de bescherming van de gezondheid en de veiligheid van de werknemers tegen de risico's van lawaai op het werk is de omzetting in Belgisch recht van de richtlijn 2003/10/EG van het Europees Parlement en de Raad van 6 februari 2003 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (lawaai) (zeventiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1 van richtlijn 89/391/EEG)." (Hoge Raad voor Preventie en Bescherming op het werk, 2006)

De werkgevers zijn ertoe gehouden de risico's voor de veiligheid en gezondheid van de werknemers, die het gevolg zijn van de blootstelling aan lawaai tijdens het werk, te evalueren en de nodige preventiemaatregelen te nemen. De vastgelegde grenswaarden, gekoppeld aan de acties die genomen dienen te worden, staan opgesomd in tabel 4.

Tabel 3.4: Geluidsnormen (Inspectie SZW, 2012)

| 80 dB tot 85 dB en/of een piekgeluidsdruk groter dan 112 Pa | Meer dan 85 dB en/of een piekgeluidsdruk groter dan 140Pa | Meer dan 87 dB |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geluidsbeoordeling ▪ Beschikbaar stellen gehoorbescherming ▪ Gelegenheid bieden tot audiometrie (gehoortest) ▪ Voorlichting | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verplicht gebruik gehoorbescherming ▪ Plan van aanpak en uitvoering (tot < 80 dB) ▪ Markering werkplekken met pictogrammen ▪ Zie verder "Minder dan 80 dB en 85 dB" | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Als met inbegrip van de dempende werking van de gehoorbescherming dit niveau wordt overschreden, moeten er meteen maatregelen genomen worden om onder dit niveau te komen ▪ Zie verder "Meer dan 85 dB" |

Volgens het KB staat een piekgeluidsdruk van 112 Pa gelijk aan 135 dB (C) en een piekgeluidsdruk van 140 Pa aan 137 dB (C). Hier bij staat de C voor een type geluidsweging die gebruikt wordt om geluidspieken aan te geven wanneer luide knallen aanwezig zijn in de omgeving. (Sonus bv, 2015)

4 Probleemomschrijving

De ponsmachine is de tweede stap in het productieproces van kathodes. Via de manipulator wordt de bovenste aluminium plaat aangevoerd van de stapel naar de pons. Daar aangekomen zal hij tegen de aanslagen gedrukt worden, zodat de sturing weet dat de plaat klaar is om geponst te worden. Deze pons werkt hydraulisch en werd door Nyrstar zelf ontworpen en geïnstalleerd vóór 1994.

Bij het starten van de cyclus zal de hydraulische cilinder uitgaan en worden er 17 gaten geponst. Wanneer de gaten helemaal doorgeponst zijn, zal er een inductieve sensor geactiveerd worden en begint de hydraulische cilinder aan zijn opwaartse beweging. Tijdens deze beweging blijft de plaat klemmen aan de stempels en op een bepaald moment wordt de plaat terug gekatapulteerd op de onderplaat van de pons. Dit zorgt voor een enorm lawaai.

5 Werkstrategie

Als eerste stap zullen we een geluidsmeting uitvoeren om de ernst van het probleem te kunnen inschatten.

Vervolgens is het handig om een visuele voorstelling van de pons te maken om te onderzoeken welke componenten de oorzaak zijn van het falen van de pons, om zo gericht te kunnen zoeken naar de gepaste oplossing(en).

Er zijn verouderde 2D-tekeningen van de ponsinstallatie beschikbaar, die herleid kunnen worden naar een 3D-model in Autodesk Inventor.

Dit model kan dan verder aangepast worden met de actuele waarden en componenten van de pons. Hier zullen dan vervolgens nieuwe 2D-tekeningen van gemaakt worden, die gebundeld worden in een productierijp tekendossier. (Bijlage K)

De mogelijke oplossingen zullen in een volgende stap met elkaar vergeleken worden en uiteindelijk zal de meest geschikte oplossing naar voor geschoven worden.

De kwaliteit van de oplossing ligt hier vooral bij zijn eenvoud, de kostprijs en het onderhoud dat nodig is om de goede werking van de pons te garanderen.

Indien mogelijk zal in het laatste stadium getest worden of het geluidsprobleem van de pons effectief opgelost is, zo niet zal de oplossing herbekeken en aangepast worden

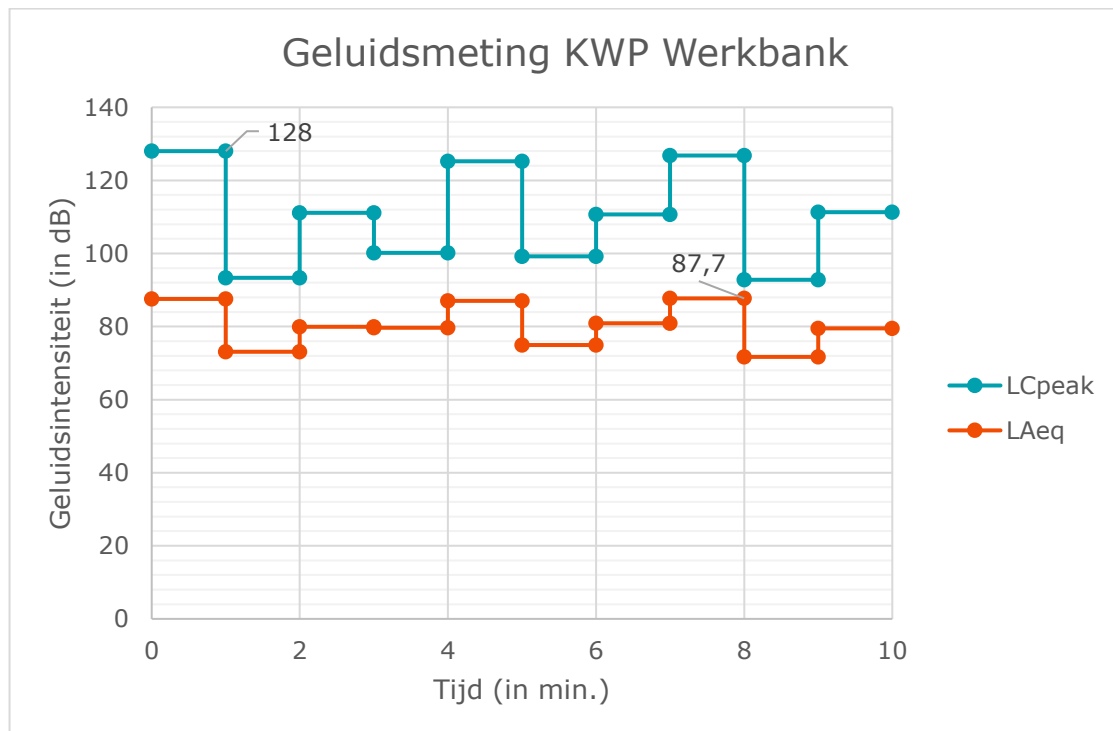
6 Meetresultaten & oplossingen

6.1 Geluidsmeting

In de kathodewerkplaats bevindt zich naast de ponsmachine een werkbank die vaak gebruikt wordt door de productiearbeiders. Het is dus zinvol hier een geluidsmeting te doen om de ernst van het probleem in te schatten.

We zullen hiervoor een *Noise dosis meter* gebruiken van het merk Brüel en Kjær (type 4448). Deze registreert de gemiddelde geluidsintensiteit die aangeduid wordt als LA_{eq} en de C-gewogen geluidspiekdruk LC_{peak} . Beide grootheden worden uitgedrukt in decibel. De meter kan vervolgens via de software *Protector* ingelezen worden door de computer.

De gemeten waarden aan de werkbank worden voorgesteld in de grafiek hieronder:



Figuur 6.1: Geluidsmeting kathodewerkplaats

Wanneer we deze waarden vergelijken met de toegelaten geluidsnormen in tabel 4, merken we dat we ons nog net in de eerste kolom bevinden. Wel is het aangeraden om een geluidsbeoordeling te doen en maatregelen te nemen om het probleem op te lossen.

Audiometrie bij verschillende werknemers uit de kathodewerkplaats heeft al aangetoond dat hun gehoor achteruit gaat door de dagelijkse blootstelling aan de hoge geluidspiekdrukken.

6.2 Bestuderen van de pons-parameters

Enkele gegevens:

Tabel 6.1: Gegevens van een aluminium plaat

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| Materiaal van de plaat | 5005-H34 aluminium |
| Dikte van de plaat | 7 mm |
| Kleine gaten | Diameter 8 mm (16x) |
| Groot gat | Diameter 25 mm (1x) |

De materiaaleigenschappen van 5005-H34 aluminium waaruit de platen zijn vervaardigd, zijn te vinden in bijlage B.

Om gericht te kunnen zoeken naar een oplossing voor het probleem zullen we eerst de ponsparameters overlopen die in de literatuurstudie aangehaald werden.

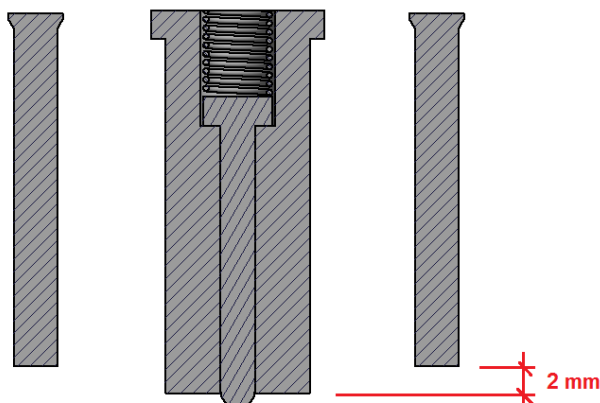
Enkele vragen die we onszelf op voorhand stellen:

*Gebruikt men ponsolie, zodat de plaat moeilijker aan de stempel blijft klemmen?
Heeft men rekening gehouden met de juiste snijspleet, zodat er niet overmatig warmte gegenereerd wordt en de plaat vasthecht aan de stempel?
Heeft men een neerhouder geïntegreerd?*

Ponskracht

Wanneer we de benodigde ponskracht willen berekenen, dan merken we dat de berekening uit de literatuurstudie iets ingewikkelder wordt, aangezien het hier om een cluster tool gaat. Men heeft bij het ontwerp op een slimme manier rekening gehouden met het intreden van de breuk na 30% geponst te hebben van de plaat. Aangezien 30% van zeven millimeter (dikte van de plaat) ongeveer gelijk is aan twee millimeter heeft men de centrale stempel van 25 millimeter twee millimeter langer uitgevoerd.

Het voordeel hiervan is dat wanneer de 16 kleinere stempels in werking treden, alle drukkracht hiervoor gebruikt kan worden aangezien de middelste stempel reeds zijn werk verricht heeft.



Figuur 6.2: Doorsnede van de ponsstempels

We zullen dus rekening moeten houden met de grootste benodigde ponskracht van de twee situaties:

$$F_{pons, dia 25} = \pi \cdot D_{gat} \cdot t \cdot \sigma_s = \pi \cdot 25 \cdot 7 \cdot 96 = 52,8 \text{ kN}$$

$$F_{p, dia 8} = 16 \cdot \pi \cdot D_{gat} \cdot t \cdot \sigma_s = 16 \cdot \pi \cdot 8 \cdot 7 \cdot 96 = 270,2 \text{ kN}$$

De hydraulische pomp van het merk Doedijns die voor deze drukkracht moet zorgen, is afgesteld op 90 bar. Met behulp van de samenstellingstekening van de hydraulische cilinder in bijlage D bekomen we:

$$F_{druk} = p \cdot A = p \cdot \pi \cdot r^2 = 9,11925 \cdot \pi \cdot 125^2 = 448,6 \text{ kN}$$

Neerhouder

Na het ontwerp van de pons aandachtig bestudeerd te hebben, blijkt dat we bij deze pons ook te maken met een systeem dat de functie heeft van een neerhouder. Na grondige analyse van de ponscyclus merken we echter dat wanneer de hydraulische cilinder omhoog beweegt en de plaat blijft klemmen, de veren ingedrukt blijven en de plaat pas los geschoten wordt vanaf het ogenblik dat vier afstootpennen op de onderkant van de behuizing van de hydraulische cilinder botsen.

Na overleg met het bedrijf blijkt dat deze pennen pas achteraf aan het ontwerp zijn toegevoegd om de plaat van de stempels te lossen. We kunnen hier dus al voorzichtig concluderen dat er een ontwerpfout zit in het neerhouder-systeem, aangezien het zijn functie niet vervult. We zullen dit dus aandachtig bestuderen.

De zes gebruikte veren in het systeem zijn van het merk DANLY (te vinden in bijlage C). De veerconstante hiervan bedraagt 83,2 N/mm. Ze worden tijdens de neergaande cyclus acht millimeter ingedrukt. De neerhouderkracht is dan gelijk aan:

$$F_{neerhouder} = 6 \cdot k \cdot \Delta l = 6 \cdot 83,2 \cdot 8 = 4 \text{ kN}$$

Met $F_{neerhouder}$: de neerhouderkracht [N]

k: de veerconstante [N/mm]

Δl : de indrukking [mm]

Dit is ongeveer gelijk aan 1,5% van de benodigde ponskracht. We mogen dus stellen dat er een ontwerpfout gebeurd is bij de keuze van de veren.

Ponsstempel

In POM-310 zien we dat er in de grote stempel nog een veermechanisme aanwezig is met een uitstoter. Wanneer de pons neergaat, zullen de uitstoter en de veer ingedrukt worden zodat er zich potentiële energie opstapelt in de veer. Wanneer de pons aan zijn opwaartse beweging begint, zal de drop als het ware weggeduwd worden, zodat de kans dat de drop aan de stempel blijft klemmen aanzienlijk wordt verkleind.

De stempels worden tweejaarlijks preventief vervangen. Men heeft twee verschillende oppervlaktebehandelingen getest: genitreerd en een gecoat. De slijtage ziet er na twee jaar als volgt uit:



Figuur 6.3: Slijtage bij gecoate en genitreerde stempels



Figuur 6.4: Galling en slijtage bij de centrale ponsstempel

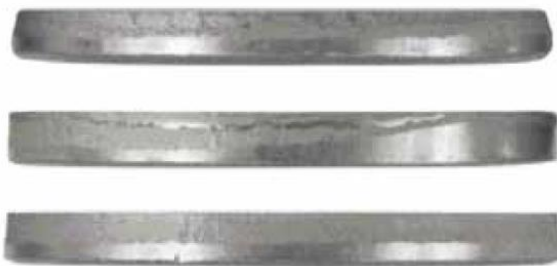
Snijpleet

Uit tekeningen POM-102 en POM-304 bepalen we dat de snijpleet gelijk is aan 0,4 mm.

Gespecialiseerde bedrijven zoals Unipunch en Dayton Lamina raden uit ervaring en uitvoerig onderzoek aan bij het ponsen van aluminium met een snijpleet ongeveer 7-13% van de materiaaldikte rekening te houden.

Willen we dus een betere gat-kwaliteit bekomen en alle nadelige effecten zoals beschreven in de literatuurstudie verminderen, dan zouden we de snijplaat van de pons moeten aanpassen om een grotere snijpleet te bekomen.

Aan de hand van drops (die uit de plaat geduwd worden) is het ook mogelijk om de toepassing van de snijpleet te controleren.



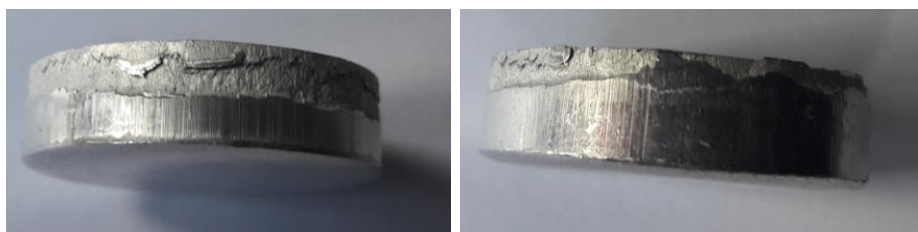
Figuur 6.5: Invloed van de snijpleet op de drop (Dayton, 2017)

De **bovenste drop** heeft een zeer ruw breukvlak, een klein glad braamvlak en een grote braam. Dit wijst op een te grote snijpleet.

De **tweede drop** heeft een onregelmatig breukvlak, een ongelijk glad braamvlak en tekenen van secundaire afschuiving. Dit is het gevolg van een te kleine snijpleet.

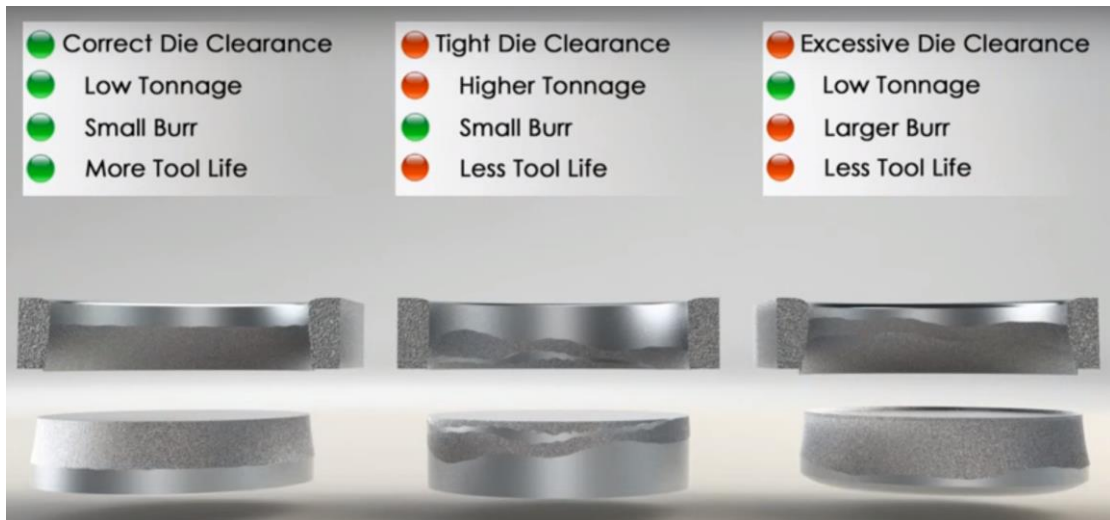
Ten slotte wijst de **derde drop** op een ideale snijpleet; er is een regelmatig breukvlak met een gelijklopend glad braamvlak van ongeveer één derde van de materiaaldikte.

Wanneer we dit vergelijken met de drops in onze toepassing, dan zien we duidelijk dat er een ongelijk breukvlak is, met een ongelijk glad braamvlak en tekenen van secundaire afschuiving.



Figuur 6.6: Uitzicht van de drop van 25mm

Dit is nogmaals een aanwijzing dat de snijpleet te klein is genomen.



Figuur 6.7: Samenvatting snijspeling (MatePrecision Tooling, 2016)

Smering

In de geleidingsplaat van de pons zit een aansluiting voor de toevoer van ponsolie die dagelijks vernieuwd wordt. Men gebruikt hiervoor **Castrol ILOFORM PN 221**.

"Low viscosity, chlorine and heavy metal free vanishing oil. It is a blend of high lubricity boundary lubrication additives, in a low odor isoparaffin hydrocarbon solvent. Iloform PN 221 is specially formulated for use in light duty sheet stamping operations where very low residues are required. It is especially recommended for use in stamping applications of sheet metal, i.e. transformer rotor sheets." (Castrol, sd)

| | |
|-----------------------------|--|
| Metal type | Aluminum, Low / Med alloy steel, Yellow Metal, Zinc Coated steel |
| Multi metals suitable | Yes |
| Ester/EP additives | Yes |
| Chlorinated paraffin free | Yes |
| Heavy metal free | Yes |
| Product type | Metal Working Fluids |
| Applicable to these sectors | Automotive Manufacture, Machinery, Metal Goods, Metals |

Figuur 6.8: Eigenschappen van Castrol Iloform PN 221 (Castrol, sd)

Samenvatting

De toepassing van de belangrijkste ponsparameters zijn in de tabel hieronder nog eens samengevat.

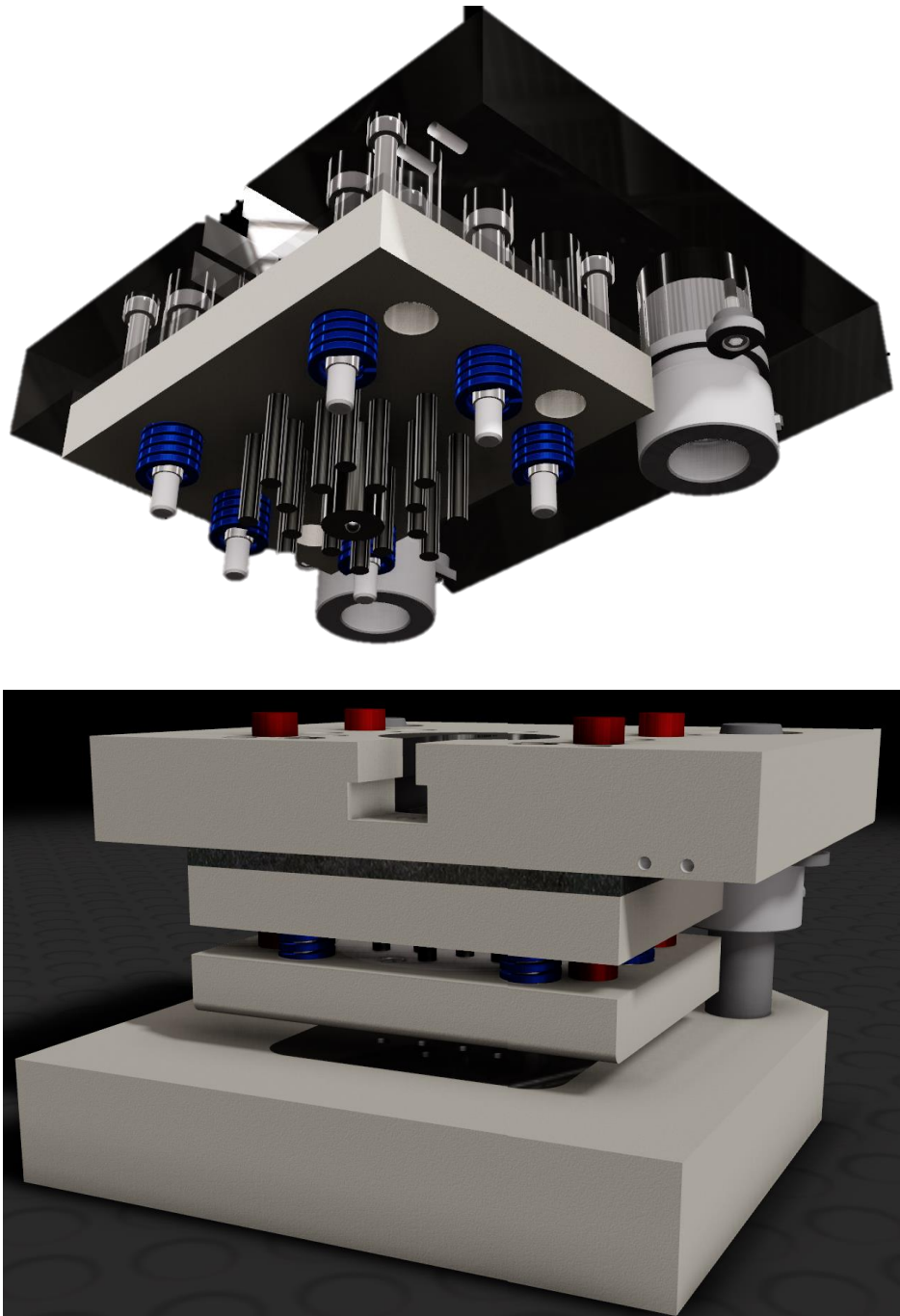
Tabel 6.2: Samenvatting toepassing van de ponsparameters

| Parameter | In orde |
|------------|---------|
| Ponskracht | OK |
| Neerhouder | NIET OK |
| Stempel | OK |
| Snijspleet | NIET OK |
| Smering | OK |

6.3 Visuele voorstelling van de pons

Aan de hand van de verouderde en deels met de hand getekende technische tekeningen werd een nieuw tekendossier opgesteld. De onderdelen werden aangepast naar de actuele afmetingen van de pons en er werd een 3D-model *as build* gemodelleerd.

Door het intekenen van alle onderdelen en het samenstellen van de pons in Autodesk Inventor was het mogelijk een beter beeld te krijgen van de werking ervan en een zicht op welke onderdelen mogelijk aan de basis lagen van het falen ervan.



Figuur 6.9: Hydraulische pons

6.4 Mogelijke oplossingen

PBM's – persoonlijke beschermingsmiddelen

Een eerste voor de hand liggende oplossing is het gebruik van PBM's in de vorm van oordopjes. Er zijn speciale oordoppen op de markt die geluidsafhankelijk zijn en die specifiek dienen om hoge geluidspiekdrukken te filteren.

Een voorbeeld hiervan zijn *PELTOR Tactical TEP-100 EU*-oordoppen van het gerenommeerde merk 3M. Deze oordoppen zijn speciaal ontwikkeld voor militair gebruik. Door hun geluidsafhankelijke technologie zijn ze in staat harde geluiden tegen te houden, maar tevens ook het omgevingsbewustzijn te verbeteren.

De industriële variant LEP-100 EU is geschikt voor industrieel gebruik en kan dus perfect dienen voor de werknemers in de kathodewerkplaats.

De oordoppen voldoen aan de essentiële eisen en andere relevante voorschriften van de PBM-richtlijn 89/686/EEG, de EMC-richtlijn 2004/108/EG en de RoHS-richtlijn 2011/65/EU. (Richtprijs €389) (3M, 2015)



Figuur 6.10: PELTOR Tactical-oordoppen (3M, 2015)

Omkasten van de ponsinstallatie

Een tweede mogelijkheid is om de ponsinstallatie te isoleren door een omkasting te plaatsen. Dergelijke geluidsisolerende omkastingen hebben een heel goede demping en worden vaak modulair opgebouwd naar wens van de klant.

Aanpassen van de ponsparameters

Zoals bij hedendaagse ponsen vaak het geval is, kan men een neerhouder of afstroper integreren in het ontwerp van de pons. De functie hiervan werd beschreven in de literatuurstudie over het ponsen.

De bedoeling van een dergelijk systeem is dat de neerhouder bij de neerwaartse beweging van de pons eerst contact maakt met de plaat en het veersysteem ingedrukt wordt tijdens het ponsen. Hierdoor accumuleert er zich potentiële energie in het veersysteem die vrij komt tijdens de opwaartse beweging van de POM onder de vorm van een terugdrukkende kracht op de plaat.

Keuze van de meest geschikte oplossing

Om te beginnen zijn geluidsafhankelijke oordoppen op korte termijn een zeer goede oplossing. De nadelen die eraan verbonden zijn hebben vooral te maken met de hoge kostprijs en het feit dat ze werken op batterij.

Dit zal voor sommigen een te groot obstakel zijn om de oordoppen consequent te gebruiken. Aangezien oordoppen volgens de geluidsnormen in dit geval niet verplicht zijn, is men dus afhankelijk van de goodwill van de werknemers om de oordoppen te gebruiken en bijgevolg is dit niet echt de ideale oplossing.

Het omkassen van de ponsinstallatie zal ook een vermindering van het geluidsniveau betekenen. Deze omkasting kan naar specifieke wens samengesteld worden en geïntegreerd in het huidige machinepark van de kathodewerkplaats. Dit zal de complexiteit ervan echter drastisch vergroten en zorgt tevens ook voor meer opbouw- en afbraakwerk tijdens een onderhoud.

Een bijkomend nadeel is dat geluidsisolering het probleem niet rechtstreeks bij de bron aanpakt, maar eerder de gevolgen ervan verdoezelt.

Het meest geschikt in deze situatie is de juiste toepassing van de ponsparameters die het probleem wel bij de bron aanpakt, in tegenstelling tot een omkasting. In het kader van deze bachelorproef zullen we hier dan ook dieper op ingaan.

6.5 Oplossing: aanpassen van de ponsparameters

Neerhouder

Zoals uit hoofdstuk 6.2 blijkt is de neerhouder te zwak ontworpen (met factor 10!). Houden we rekening met een strijkracht van 10-25% van de benodigde ponskracht en een indrukking van acht millimeter van de veren:

| | |
|--|-------------------------|
| Benodigde ponskracht F_p | 270,2 kN |
| Indrukking Δl | 8 mm |
| Aantal veren n | 6 |
| $k = \frac{f \cdot F_p}{n \cdot \Delta l}$ | |
| Percentage (f) | Veerconstant (k) |
| 10 % | 563 N/mm |
| 15 % | 844 N/mm |
| 20 % | 1126 N/mm |
| 25 % | 1407 N/mm |
| Gemiddelde | 985 N/mm |

Via Eriks bestellen we zes veren met gelijkaardige specificaties als de DANLY- veer, maar met een veerconstante van 837 N/mm voor de prijs van €30 per stuk.

Snijspleet

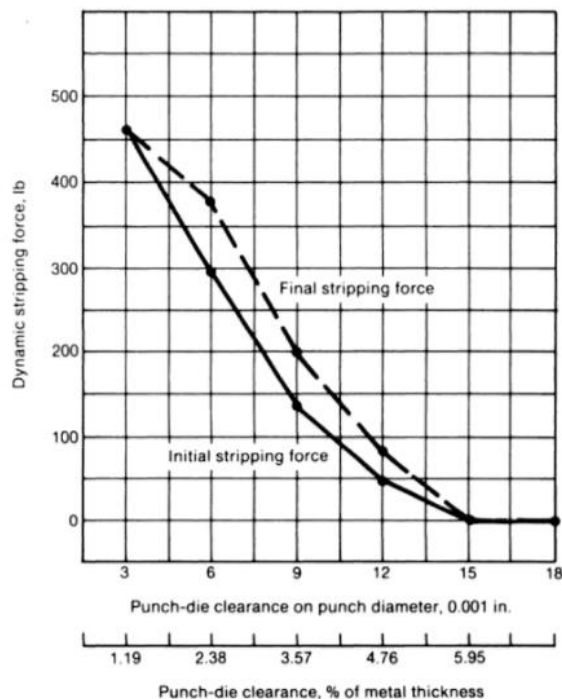
De richtwaarde die het *Handbook of Fabrication Processes* aangeeft voor zacht aluminium is de volgende:

Table 2A-1. Recommended Clearances for Punching

| Material | Total diametral clearance, % of material thickness | | |
|-----------------------|---|------|---------|
| | Minimum | Best | Maximum |
| Copper, ½ hard | 8 | 12 | 16 |
| Brass, ½ hard | 6 | 11 | 16 |
| Mild steel | 10 | 15 | 20 |
| Steel, 0.50% C | 12 | 18 | 24 |
| Aluminum, soft | 5 | 10 | 15 |
| Stainless steel | 12 | 18 | 24 |

Figuur 6.11: Richtwaarde voor de snijspeling (Lascoe, 1988)

Ook geeft Lascoe in dit boek een belangrijk verband aan tussen de snijspeling en stripkracht, de kracht die nodig is om de stempels uit de plaat te trekken.

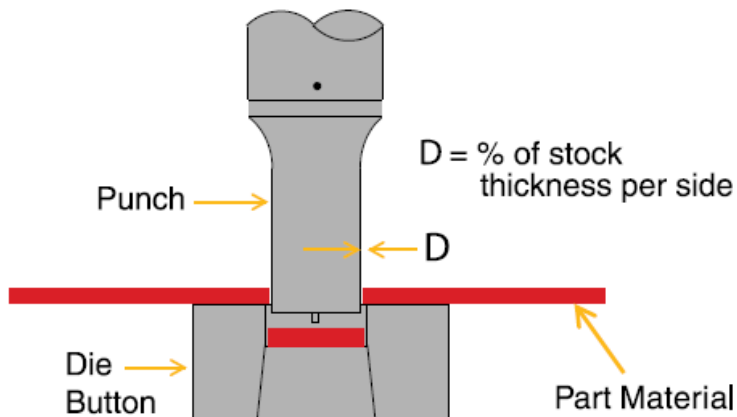


Metal: D - aluminum 24S-T3. Hardness: Rockwell B61. Thickness of metal strip: 0.126 in.

Figuur 6.12: Stripkracht in functie van de snijspeling (Lascoe, 1988)

Men kan uit deze grafiek eenvoudig afleiden dat een kleine procentuele verhoging van de snijspeling een enorme daling betekent van de benodigde stripkracht, totdat het punt van de optimale snijspeling bereikt is.

Het bedrijf Dayton heeft intensief onderzoek gevoerd naar deze meest geschikte snijspeling bij diverse materialen en heeft dit samengevat in een tabel. Het toepassen van deze waarden, uitgedrukt als percentage van de plaatdikte, leidt tot een betere gat-kwaliteit, een langere levensduur van de stempels, een verminderde drukkracht en een kleinere stripkracht, aangezien de plaat minder geneigd zal zijn om rond de stempels te klemmen.



Figuur 6.13: Schematische voorstelling van de snijspeling (Dayton, 2017)

Ook Dayton raadt een richtwaarde aan van iets minder dan 10% snijspeling.

Tabel 6.3: Snijspeling bij non-ferro materialen (Dayton, 2017)

**Other Materials—
Engineered (Jektole®) Die Clearance and Tensile Strength**

| Clearance per Side (Δ), % Material Thickness → | 3-7 % | 7-13% | 13-20% | | |
|--|-------|-------|--------|-----|-----|
| Plastics* | | | | | |
| Thermoform, Thermoset | | | | | |
| PVC, Vinyl, Polycarbonate | | | | | |
| Composites*—Fiberglass/Carbonfiber | | | | | |
| Non-Ferrous Metals | | | | | |
| Brass/Bronze | | | | | |
| Copper | | | | | |
| Aluminium | | | | | |
| Aluminum-Copper Alloys (2xxx, etc) | | | | | |
| Aluminum-Manganese Alloys (3xxx, etc) | | | | | |
| Aluminum-Silicon Alloys (4xxx, etc) | | | | | |
| Aluminum-Magnesium Alloys (5xxx, etc) | | | | | |
| Aluminum-Magnesium-Silicon Alloys (6xxx, etc) | | | | | |
| Aluminum-Zinc Alloys (7xxx, etc) | | | | | |
| Aluminum-Other Alloys (8xxx, etc) | | | | | |
| Tensile Strength (Aluminum Only) | | | | | |
| MPa | 110 | 175 | 285 | 430 | 610 |
| KSI | 16 | 25 | 41 | 62 | 88 |

| Scaling Factor— Engineered Die Clearance | | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| Thickness Scaling Factor | < 0.060" (1.5mm) | > 0.060" (1.5mm) | > 0.120" (3.0mm) |
| HSS | 1.00 | 1.20 | 1.40 |
| AHSS | 1.00 | 1.20 | 1.40 |
| UHSS | 1.00 | 1.30 | 1.40 |
| Aluminum | 1.00 | 1.03 | 1.05 |

Verder blijkt er ook een verband te bestaan tussen de snijspeling en de snelheid waarmee men pons.

“The optimal die clearance can depend on the speed of the punch. Though it may seem a little counterintuitive, a slower punch tends to require slightly more die clearance—just a few percentage points larger.” (Shuldes, 2016)

We mikken dus op een speling van rond de 10% plaatdikte of 0,7 mm.

6.6 Praktische testen

Montage en demontage van de pons

In dit hoofdstuk bespreken we alle proeven en praktische testen die we uitgevoerd hebben met de pons. Bij bijna elk van deze testen was het nodig om de pons deels of volledig te demonteren, aanpassingen te verrichten en vervolgens weer te monteren. We beginnen dus met kort alle zaken te bespreken waar men rekening mee moet houden tijdens deze demontage.

Nadat de machine vrijgegeven wordt voor onderhoud moet men er zeker van zijn dat de sturing niet meer actief is en de olieleidingen niet meer onder druk staan. Men begint dan met het loskoppelen van de leiding van de ponsolie en laat deze uitlekken in een bak.



Figuur 6.14: Ponsolie-leiding

Vervolgens demonteert men de bovenste olieleiding van de pons en draait hier een hijssoog in.



Figuur 6.15: Bovenste olieleiding



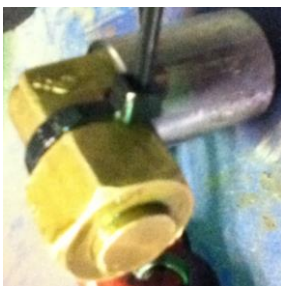
Figuur 6.16: Hijsoog

Als derde stap draait men de achterste olieleiding los die gebruikt wordt om de hydraulische cilinder omhoog te sturen en men sluit deze ingang af.

LET OP: nooit de bovenste en onderste olieleiding tegelijk losdraaien. De olie zal dan uit de onderste leiding spuiten en hierdoor loop de hydraulische cilinder leeg.



Figuur 6.17: Onderste olieleiding



Figuur 6.18: Afsluitstuk onderste olieleiding

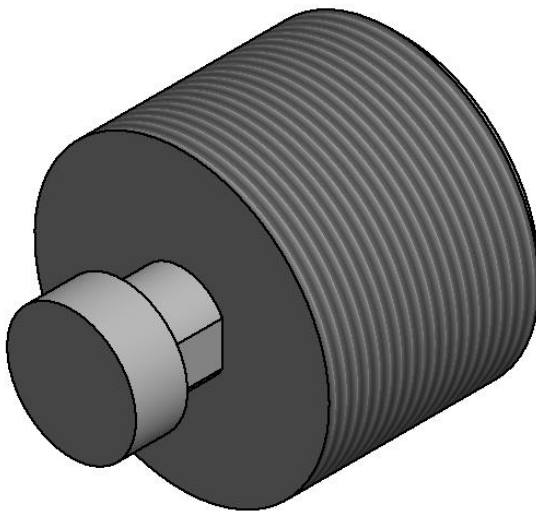
Nu kan men beginnen met de acht bouten in figuur 6.15 los te draaien. Hierna wordt er een h-sluiting bevestigd aan het hijsoog en men maakt hier de haak van de takelkraan aan vast. Het is belangrijk om te zorgen dat de takel zo goed mogelijk boven het hijsoog komt te staan, zodat het hijsoog en de haak van de takel in elkaars verlengde komen te liggen.

Vervolgens takelt men de hydraulische een klein beetje omhoog. Men verwijdert de onderlegplaatjes van de pons, het beschermkapje van de sensors en men plaats een houten blok onder de pons. Hierna laat men de takel terug zakken, zodat de pons op de houten blok rust.



Figuur 6.19: Takelkraan

In de zuiger van de hydraulische cilinder zit een spantap gedraaid die ingrijpt in de inzetprop van boven aan de pons. Terwijl men de hydraulische cilinder weer een beetje omhoog laat gaan, schuift men de spantap uit de inzetprop. De hydraulische cilinder kan nu veilig weggereden worden.



Figuur 6.20: Spantap

Nu moet het bovenstuk van de pons manueel van de leidpennen gehaald worden. Dit is het gevaarlijkste gedeelte van de demontage. Men moet hiervoor op de werkbank en de machine gaan staan. De loodzware pons rust op de houten blok en er is weinig plaats voor de vingers om de pons vast te grijpen. Aangezien er eerder tijdens de demontage met olieleidingen gewerkt werd, is het best om eerst te zorgen dat de handen niet meer vettig zijn.



Figuur 6.21: Demontage van het bovenstuk van de pons deel 1



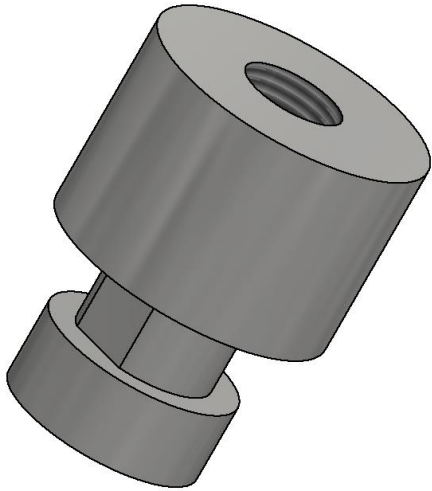
Figuur 6.22: Demontage van het bovenstuk van de pons deel 2

Aangezien men recht boven de pons moet staan om het bovenstuk van de leidpennen te kunnen heffen, zijn er weinig mogelijkheden om de voeten te plaatsen. Zoals te zien in figuur 6.21 en 6.22 is er achter de linkervoet een gat en dit maakt de demontage **levensgevaarlijk!** Ook weegt het bovenstuk meer dan 25 kg, het voorgeschreven maximale tilgewicht in ideale omstandigheden.

Een oplossing zou zijn om een onderdeel te laten maken zoals de spantap, maar met een gat met schroefdraad waarin een hijs oog gedraaid kan worden. Dit onderdeel kan dan in de inzetprop van de pons geschoven worden, zodat het geheel met de takel omhoog geheven kan worden. Dit alles is mogelijk aangezien het middelpunt van de spantap in het zwaartepunt van de pons ligt. De technische tekening van het takelonderdeel is te vinden in bijlage H.



Figuur 6.23: DIN 580 hijsoog



Figuur 6.24: Hijstap

Vergroten van de neerhouderkracht

Zoals aangehaald in hoofdstuk 6.5 bestellen we zes veren met een veerconstante van 837 N/mm. Op de website geeft men een blauwe kleur aan voor de veren, d.w.z. dat ze 37,5% ingedrukt kunnen worden.

Bij het aankomen van de veren blijkt dat ze niet blauw, maar brons zijn en volgende specificaties hebben:

| L Sede mm | d Spina mm | L _o Lungh. Libera mm | Codice | R Rigidità N/mm | XLL 10% | | Max 13% | |
|-----------------|------------------|--|---------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | S ₁ Corsa mm | F ₁ Carico N | S ₂ Corsa mm | F ₂ Carico N |
| 25 | 12,5 | 45 | 6S25045 | 837,0 | 4,5 | 3.767 | 5,9 | 4.896 |



Figuur 6.25: Stempelveer ø25 voor superzware belasting

Probleem: na de voorspanning blijft er geen indrukking meer over. We kunnen de veren dus niet gebruiken.

We bestellen vervolgens de stiffste veren die dezelfde afmetingen hebben als de oorspronkelijke veren, maar toch ver genoeg ingedrukt kunnen worden (minimaal 8 mm):

| L Sede mm | d Spina mm | L _o Lungh. Libera mm | Codice | R Rigidità N/mm | XLL 17% | | Max 25% | |
|-----------------|------------------|--|---------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | S ₁ Corsa mm | F ₁ Carico N | S ₂ Corsa mm | F ₂ Carico N |
| 25 | 12,5 | 38 | 4S26038 | 346,0 | 6,5 | 2.235 | 9,5 | 3.287 |



Figuur 6.26: Stempelveer ø25 voor extra zware belasting

$$\frac{6 \cdot 8 \cdot 346}{270000} \cdot 100\% = 6,2\%$$

Indien we zes van deze veren monteren, komen we op 6,2% van de ponskracht.

TEST 1

Doel: de neerhouderkracht vergroten van 1,5% naar 6,2% van de ponskracht

Resultaat: de plaat blijft niet liggen bij de opwaartse beweging van de pons

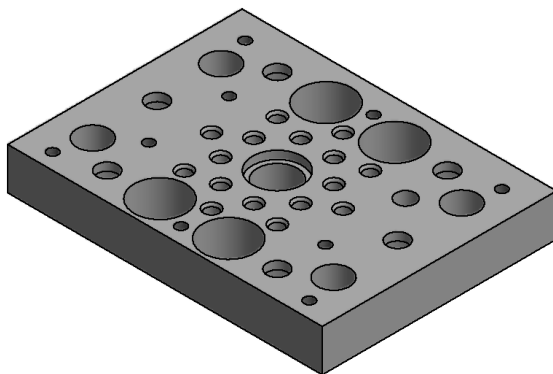
Conclusie: de neerhouderkracht is nog niet groot genoeg en/of er is te veel klemming door een verkeerde snijspeling.

Indien we de neerhouderkracht nog willen vergroten zullen we extra gaten moeten voorzien in de pons. Om zo weinig mogelijk aanpassingen te doen kunnen we vier gaten van 32 mm boren in de opspanplaat en vervolgens vier veren met onderstaande specificaties bijsteken:

| L Sede mm | d Spina mm | L _o Lungh. Libera mm | Codice | R Rigidità N/mm | XLL 17% | | Max 25% | |
|-----------------|------------------|--|---------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | S ₁ Corsa mm | F ₁ Carico N | S ₂ Corsa mm | F ₂ Carico N |
| 32 | 16 | 38 | 4S32038 | 528,2 | 6,5 | 3.412 | 9,5 | 5.018 |

De neerhouderkracht wordt dan gelijk aan 12,5% van de ponskracht:

$$\frac{6 \cdot 8 \cdot 346 + 4 \cdot 8 \cdot 528}{270000} \cdot 100\% = 12,5\%$$



Figuur 6.27: Aangepaste opspanplaat



Figuur 6.28: Stempelveer ø32 voor extra zware belasting

TEST 2

Doel: de neerhouderkracht vergroten van 6,2% naar 12,5% van de ponskracht

Resultaat: de plaat blijft niet liggen bij de opwaartse beweging van de pons

Conclusie: de neerhouderkracht is nog niet groot genoeg en/of er is nog te veel klemming van de plaat door een verkeerde snijspeling.



Figuur 6.29: Gebruikte veren tijdens de test

Aanpassing van de benodigde ponskracht

Door minder stempels te monteren in de pons verkleint de benodigde ponskracht en zal de neerhouderkracht dus procentueel stijgen. Aangezien er minder stempels zijn, is het contactoppervlak tussen de aluminium plaat en de stempels ook kleiner waardoor er minder wrijving optreedt en minder warmteontwikkeling.

Eerst halen we acht stempels van $\varnothing 8$ mm uit de pons. Hierdoor daalt de benodigde ponskracht tot 135 kN en stijgt de neerhouderkracht procentueel tot 25%.

$$F_{pons, dia 8} = 8 \cdot \pi \cdot D_{gat} \cdot t \cdot \sigma_s = 8 \cdot \pi \cdot 8 \cdot 7 \cdot 96 = 135 \text{ kN}$$

$$\frac{6 \cdot 8 \cdot 346 + 4 \cdot 8 \cdot 528}{135000} \cdot 100\% = 25\%$$

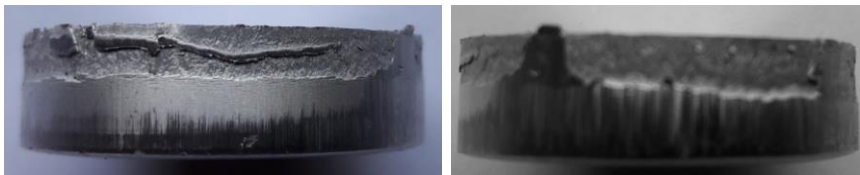
TEST 3

Doel: de benodigde ponskracht laten dalen van 270 kN naar 135 kN

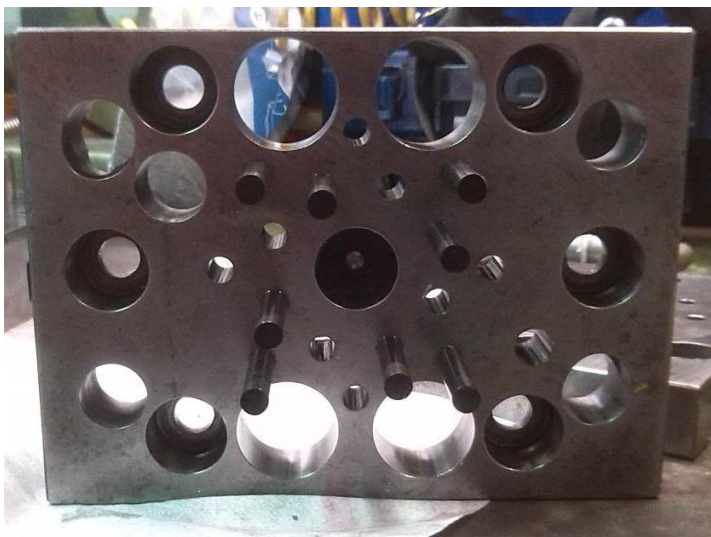
Resultaat: de plaat blijft wel liggen bij de opwaartse beweging van de pons.

Conclusie: de neerhouderkracht is groot genoeg om de plaat naar beneden gedrukt te houden.

De drop van $\varnothing 25$ mm ziet er redelijk gelijkaardig uit als voordien.



Figuur 6.30: Drop bij derde test



Figuur 6.31: Montage van centrale stempel en acht $\varnothing 8$ stempels

We steken nu vier stempels van $\varnothing 8$ mm bij, zodat we een totaal van 12 kleine stempels hebben en testen of de plaat nu nog steeds blijft liggen. De benodigde ponskracht wordt nu 202,7 kN en de neerhouder kracht neemt procentueel af tot 16,5%.

$$F_{pons, dia 8} = 12 \cdot \pi \cdot D_{gat} \cdot t \cdot \sigma_s = 12 \cdot \pi \cdot 8 \cdot 7 \cdot 96 = 202,7 \text{ kN}$$

$$\frac{6 \cdot 8 \cdot 346 + 4 \cdot 8 \cdot 528}{202700} \cdot 100\% = 16,5\%$$

TEST 4

Doel: de benodigde ponskracht laten stijgen van 135 kN naar 202,7 kN

Resultaat: bij de eerste test blijft de plaat *nét* liggen, bij de twee volgende testen niet.

Conclusie: de neerhouderkracht is *nét* niet groot genoeg om de plaat naar beneden gedrukt te houden en/of de snijspeling is te klein.



Figuur 6.32: Montage van centrale stempel en twaalf $\varnothing 8$ stempels

Aanpassing van de snijspeling

Aangezien er verschillende aanwijzingen waren dat de snijspeling tussen de stempels en de snijder te klein is, willen we een snijplaat testen met grotere gaten. Om een beter idee te krijgen hoe groot deze speling zou moeten zijn, kunnen we (met dezelfde snijplaat) deze speling procentueel groter maken door dunnere aluminium platen te ponsen.

De huidige snijspeling is 0,4 mm. Voor een plaat van 7 mm geeft dat 5,5%. We testen nu een plaat van 5 mm. De benodigde ponskracht daalt hierdoor tot 193 kN; de huidige neerhouder levert dus 17,4% van deze ponskracht.

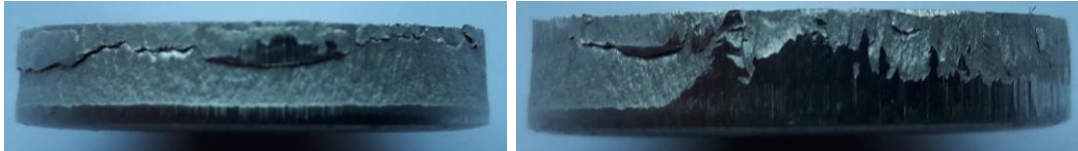
TEST 5

Doel: snijspeling vergroten van 5,5% naar 8%

Resultaat: de plaat blijft niet liggen bij de opwaartse beweging van de pons.

Conclusie: de neerhouderkracht is nog niet groot genoeg of de snijspeling is nog niet optimaal.

Wanneer we nu naar de drop kijken, zien we dat de breukzone regelmatig verloopt dan bij de plaat van 7 mm. Er zijn nog tekenen van secundaire afschuiving die erop kunnen wijzen dat de snijspeling nog niet groot genoeg is.



Figuur 6.33: Drop na vijfde test

De volgende test die we uitvoeren is het ponsen van een plaat van 3 mm. Dit geeft een snijspeling van 13,3%.

De benodigde ponskracht daalt hierdoor tot 115,8 kN; de neerhouder levert bijgevolg 29% van deze ponskracht.

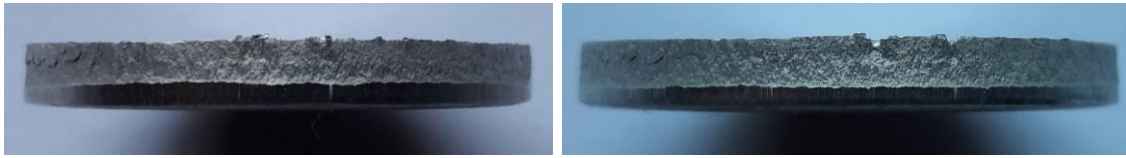
TEST 6

Doel: snijspeling vergroten van 8% naar 13,3%

Resultaat: de plaat blijft wel liggen bij de opwaartse beweging van de pons.

Conclusie: de neerhouderkracht is groot genoeg om de plaat beneden te houden en/of de snijspeling is nog niet optimaal.

De drop heeft een heel gelijklopend breukvlak en de breukzone is ongeveer twee derde van de volledige plaatdikte. Dit zijn aanwijzingen dat de snijspeling nu optimaal is.

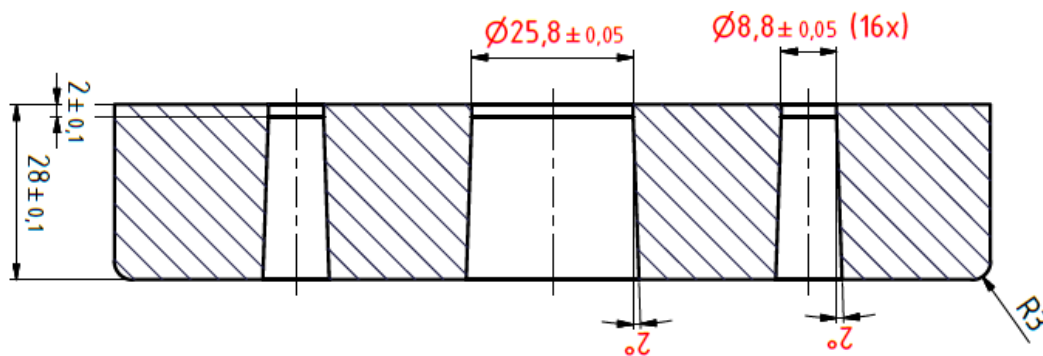


Figuur 6.34: Drop na zesde test

Als vervolg op deze testen is het heel interessant om de snijspeling te vergroten bij het ponsen van een aluminium plaat van 7 mm.

Tijdens de stilstand van de kathodewerkplaats demonteerden we een oude snijplaat die wegens lichte slijtage preventief vervangen moest worden. Hij kan dus perfect dienen voor onze test en we laten de 17 gaten 0,4 mm groter maken door Eriks. Dit komt overeen met een speling van 11,5% van de plaatdikte.

Indien onze prognose juist is zal de afval-snijplaat terug bruikbaar worden voor het bedrijf.



Figuur 6.35: Aangepaste snijplaat

Als eerste test met de aangepaste snijplaat proberen we een plaat van 5 mm te ponsen.

TEST 7

Doel: de snijspeling vergroten van 5,5% naar 16% van de plaatdikte

Resultaat: de plaat blijft niet liggen bij de opwaartse beweging van de pons

Conclusie: de neerhouderkracht is nog niet groot genoeg om de plaat beneden te houden

De drop van $\varnothing 25$ mm ziet er nu wel veel beter uit, er zijn geen tekenen van secundaire afschuiving meer, en de breuklijnen lopen heel regelmatig.



Figuur 6.36: Drop na zevende test

Aangezien de plaat van 5 mm dik niet bleef liggen, zijn we er zeker van dat een plaat van 7 mm waar de kathodes van gemaakt worden ook niet zal blijven liggen. Toch is het interessant om als laatste test zo'n plaat te ponsen en te kijken naar het effect op de drop.

Aangezien de slijpspeling nog steeds 0,8 mm is, daalt de procentuele slijpspeling van 16 naar 11,4%

TEST 8

Doel: de slijpspeling verkleinen van 16% naar 11,4% van de plaatdikte

Resultaat: de plaat blijft niet liggen bij de opwaartse beweging van de pons

Conclusie: de neerhouderkracht is nog niet groot genoeg om de plaat beneden te houden

De drop ziet er veel regelmatig uit dan de drop uit figuur 6.6. Weer geen tekenen van secundaire afschuiving en de breuklijnen lopen min of meer regelmatig. Toch zou het geen kwaad kunnen om bij de volgende revisie van de pons, de gaten in de slijplaat nog wat groter te maken zodat de slijpspeling nog wat groter wordt.



Figuur 6.37: Drop na de achtste test

Samenvatting

Tabel 6.4: Samenvatting ponstesten

| Test | F _{PONS} | F _{NEERHOUDER} | % | Plaatdikte | Snijspeling | % | Plaat blijft liggen |
|------|-------------------|-------------------------|--------|------------|-------------|--------|---------------------|
| 1 | 270 kN | 16,6 kN | 6,2 % | 7 mm | 0,4 mm | 5,5 % | NEEN |
| 2 | 270 kN | 33,5 kN | 12,5 % | 7 mm | 0,4 mm | 5,5 % | NEEN |
| 3 | 135 kN | 33,5 kN | 25,0 % | 7 mm | 0,4 mm | 5,5 % | JA |
| 4 | 203 kN | 33,5 kN | 16,5 % | 7 mm | 0,4 mm | 5,5 % | SOMS |
| 5 | 193 kN | 33,5 kN | 17,4 % | 5 mm | 0,4 mm | 8,0 % | NEEN |
| 6 | 116 kN | 33,5 kN | 29 % | 3 mm | 0,4 mm | 13,3 % | JA |
| 7 | 193 kN | 33,5 kN | 17,4 % | 5 mm | 0,8 mm | 16 % | NEEN |
| 8 | 270 kN | 33,5 kN | 12,5 % | 7 mm | 0,8 mm | 11,4 % | NEEN |

Conclusie

Uit de testen kunnen we concluderen dat de plaat blijft liggen vanaf dat de neerhouder 25% van de ponskracht benadert. De industriële vuistregel van 10 tot 25% is dus in deze toepassing een onderschatting.

Het zal bijgevolg zeer moeilijk worden om het probleem van de pons op te lossen met extra stempelveren, indien we 17 gaten willen ponsen in een plaat van 7 mm. We zouden in dat geval bijna het dubbel van de veren uit figuur 6.29 moeten monteren en daar is geen plaats voor in de opspanplaat.

Een betere alternatief zou zijn om te onderzoeken of het mogelijk is om minder gaten in de plaat te ponsen en of dit gevolgen heeft voor het vervolg van het productieproces. Men zou de pons ook kunnen aanpassen, zodat niet alle gaten in één stap geponsd worden. In deze gevallen voldoet de huidige afstroper, zal de plaat blijven liggen en is het geluidsprobleem opgelost.

Nog een andere mogelijkheid is om een nieuwe afstroper te ontwerpen die niet werkt op basis van stempelveren, maar bijvoorbeeld met uitschuivende hydraulische cilinders die de plaat naar beneden gedrukt houden tijdens de opwaartse beweging van de pons. Er zal dan wel een aanpassing nodig zijn in het PLC-programma

Uit de testen met variatie in snijspeling blijkt dat een snijspeling van 0,4 mm niet ideaal was voor deze toepassing. Om een regelmatigere drop te verkrijgen hebben we deze in de laatste test verhoogd tot 11,4%. Dit zou in de toekomst zelfs nog enkele procenten mogen stijgen. Een bijkomend voordeel uit deze testen is dat de oude, aangepaste snijplaat terug bruikbaar geworden is en dat de levensduur van de ponsstempels toegenomen is, aangezien de snijspeling beter werd toegepast.

Deel II:

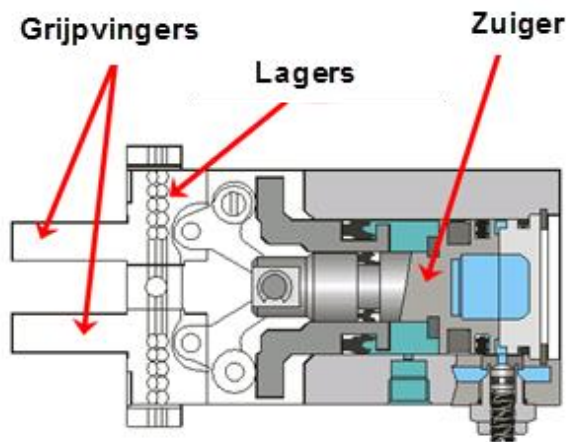
Grijpen van platen

7 Literatuurstudie

7.1 Grijptechnologieën

Pneumatisch grijpen

De meest klassieke industriële manier om voorwerpen te kunnen grijpen is op basis van een zuigerprincipe met overbrenging. De zuiger wordt dan in- en uitgestuurd door perslucht en zorgt ervoor dat de grijpvingers open en dicht kunnen bewegen.



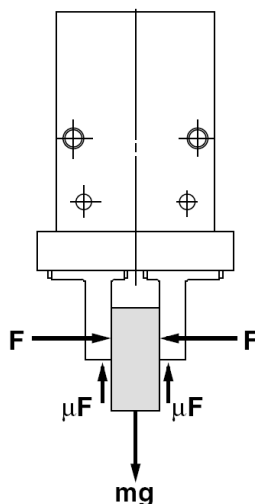
Figuur 7.1: Doorsnede van een pneumatische grijper (SMC, 2015)

Het pneumatisch grijpprincipe wordt gekarakteriseerd door:

- De grijpkracht per vinger F
- Het aantal grijpvingers n
- De wrijvingskracht μ tussen de grijpvinger en het te grijpen voorwerp
- De massa m van het object

Men kan stellen dat het object blijft hangen, indien voldaan is aan de voorwaarde:

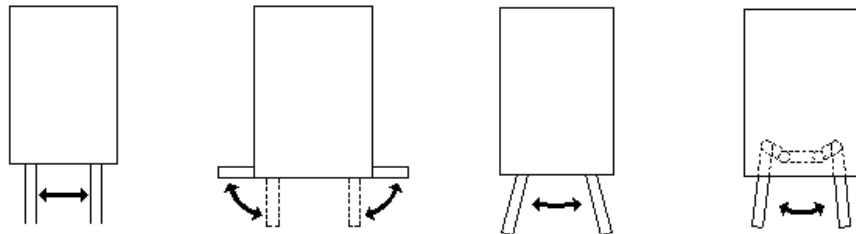
$$n \cdot \mu F > m \cdot g$$



Figuur 7.2: Krachtwerking op een grijper (SMC, 2015)

Meestal houdt men nog rekening met een veiligheidsfactor, zodat de grijpkracht zeker groot genoeg is om het voorwerp te kunnen grijpen.

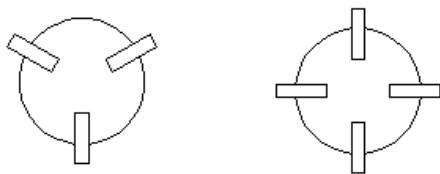
Er bestaan verschillende uitvoeringen van pneumatische grijpsystemen om objecten met een verschillende geometrie te kunnen grijpen. Zo kan men een parallel- of een 180°-grijper gebruiken om rechte werkstukken te grijpen en een hoek- of dwarspen-grijper om conische werkstukken te grijpen.



Parallel 180° hoek Hoek Dwarspen

Figuur 7.3: Verschillende uitvoeringen van een grijper (SMC, 2015)

Alle vier deze systemen maken gebruik van twee grijpvingers. Om ronde voorwerpen te kunnen grijpen, gebruikt men vaak drie of vier grijpvingers om het object optimaal te kunnen ondersteunen. Dit noemt men een drie- of vierpuntsgrijper:



3 vingers 4 vingers

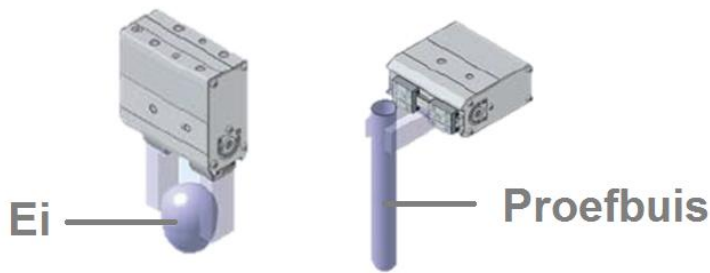
Figuur 7.4: Grijpsystemen met meer van twee grijpvingers (SMC, 2015)

Hydraulisch grijpen

Hydraulisch grijpen is volledig analoog met pneumatisch grijpen, met als grote verschil dat de zuigers in- en uit gestuurd worden d.m.v. olie onder druk. Aangezien olie in tegenstelling tot lucht niet samendrukbaar is, kan men hiermee grotere grijpkrachten bekomen.

Elektrisch grijpen

Een probleem van zowel pneumatisch als hydraulisch grijpen is dat de objecten beschadigd kunnen worden. De grootste beweegreden om over te schakelen op elektrisch grijpen is dan ook de nauwkeurig instelbare grijpkracht. Ook de positie (opening van de grijpvingers) en de snelheid zijn instelbaar bij deze methode. Hierdoor is het mogelijk zeer kwetsbare voorwerpen te grijpen.



Figuur 7.5: Grijpen van delicate voorwerpen m.b.v. een elektrische grijper (SMC, 2015)

Om veiligheidsredenen zijn elektrische grijpers erop voorzien dat zelfs bij een spanningsuitval hun grijpkracht ook behouden blijft.

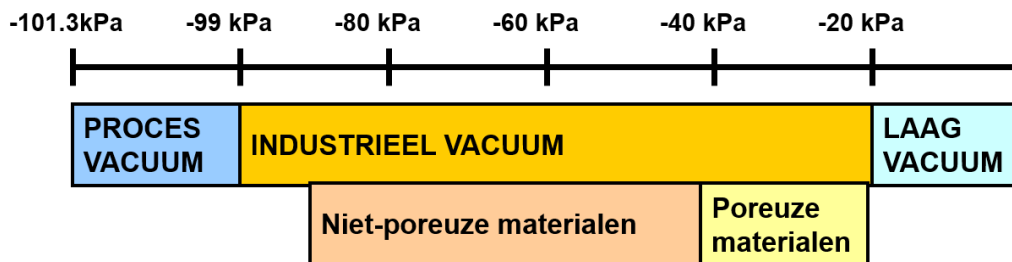
Vacuüm grijpen

Wanneer zelfs elektrisch grijpen voor beschadiging kan zorgen of het grijpen met alle voorgaande grijpsystemen te omslachtig zou zijn, kan men beslissen om over te schakelen op vacuümtechnologie.

Om de werking van een vacuüm-grijper uit te leggen, is het belangrijk om eerst te weten wat vacuüm is. Vacuüm of onderdruk is een zone tussen het absoluut luchtledige en de omgevingsdruk die bij wijze van referentie vastgelegd is op 101325 Pascal of één bar.

In de technische wereld wordt er meestal gesproken van technische druk; dit is de druk die in een bepaald systeem aanwezig is, ten opzichte van de atmosferische druk. Alle drukken boven de atmosferische druk noemt men dan bovendruk en alle drukken eronder noemt men onderdruk.

De mogelijke onderdruk loopt dus van ongeveer -101,3 kPa (het absolute luchtledige) tot 0 kPa in technische druk.



Figuur 7.6: Definitie van vacuüm (Cuykens, 2014)

Industrieel vacuüm wordt gebruikt om voorwerpen te heffen of te verplaatsen. Dit vacuüm kan opgewekt worden door een vacuümpomp die meerdere verbruikers kan voeden, of men kan ervoor kiezen om het vacuüm lokaal op te wekken door een vacuümejector.

Er zijn verschillende voor- en nadelen verbonden aan beide manieren, de belangrijkste hiervan zijn samengevat in tabel 7.1.

Tabel 7.1: Vergelijking van vacuümpomp en -ejector

| | Voordelen | Nadelen |
|----------------------|---|--|
| Vacuümejector | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geen bewegende delen ▪ Weinig onderhoud ▪ Licht en compact ▪ Lage aanschafkosten | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beperkte stroming ▪ Lage efficiëntie bij continu bedrijf |
| Vacuümpomp | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grote stroming ▪ Grote efficiëntie bij continu bedrijf | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewegende delen ▪ Meer onderhoud ▪ Hoge aanschafkosten |

De vacuümejector berust op het venturi-effect. De simpelste vorm van de vacuümejector is de eentrapsejector. Er zijn ook meertrapsejectoren op de markt met als grote voordeel dat ze een hoger vacuümdebiet leveren bij een gelijk verbruik.

Een venturi is het doelbewust aanbrengen van een vernauwing in een stromingskanaal voor vloeistof of gas. Het gevolg hiervan is dat het medium een snelheidsverhoging zal krijgen, aangezien het debiet constant blijft:

$$Q = v \cdot A = \text{constant}$$

Met: Q: het debiet in m³/s

v: de snelheid van het medium

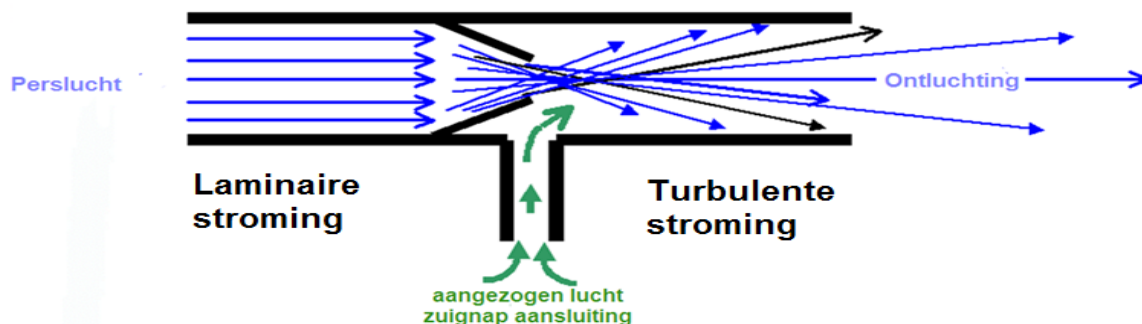
A: de doorsnede in m²

Doordat het passerende medium een snelheidsverhoging ondergaat, ontstaat er na de vernauwing een drukverlaging die gegeven wordt door de Wet van Bernoulli:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

De werking van een eentrapsejector is als volgt:

Perslucht wordt door een vernauwing gestuurd, waardoor de laminaire stroming overgaat in een turbulente stroming. Wegens het venturi-effect (zoals hierboven besproken) zal er een onderdruk gegenereerd worden en wordt er lucht aangezogen via de aansluiting van de zuignap.



Figuur 7.7: Werking van een eentrapsejector

De functie van de zuignap is om aan het te verplaatsen voorwerp te blijven hechten tijdens de manipulatie. Het spreekt dus voor zich dat er verschillende soorten zuignappen en systemen bestaan, naargelang de eigenschappen van het voorwerp dat men wenst te grijpen.

Enkele zaken waar men zeker rekening mee moet houden bij de keuze van de geschikte zuignap zijn:

- Materiaal van het voorwerp
- Massa van het voorwerp
- Ruwheid van het oppervlak
- Geometrie van het voorwerp
- Temperatuur van het systeem

De meest voorkomende types die te verkrijgen zijn:

Tabel 7.2: Mogelijke uitvoeringen van een zuignap (SMC, 2015)

| Benaming | Uitzicht | Toepassing |
|--------------------------|---|---|
| Vlak |  | Vlakke en niet vervormbare objecten |
| Vlak met ribben |  | Gemakkelijk vervormbare objecten |
| Balgzuignap |  | Oppervlakken onder een hellingshoek zonder plaats voor buffer |
| Elliptisch |  | Langwerpige voorwerpen |
| Kogelgewricht |  | Oppervlakken onder een hellingshoek |
| Hoogtecompensatie |  | Wanneer de hoogte van het voorwerp niet constant is |

Buiten deze veel gebruikte zuignappen bestaan er ook nog specialere types met een specifieke functie, zoals het verwijderen van statische elektriciteit (conductive pads), het reduceren van vlekken op het voorwerp (mark-free pads) of het grijpen van zeer kleine componenten (nozzle pads).

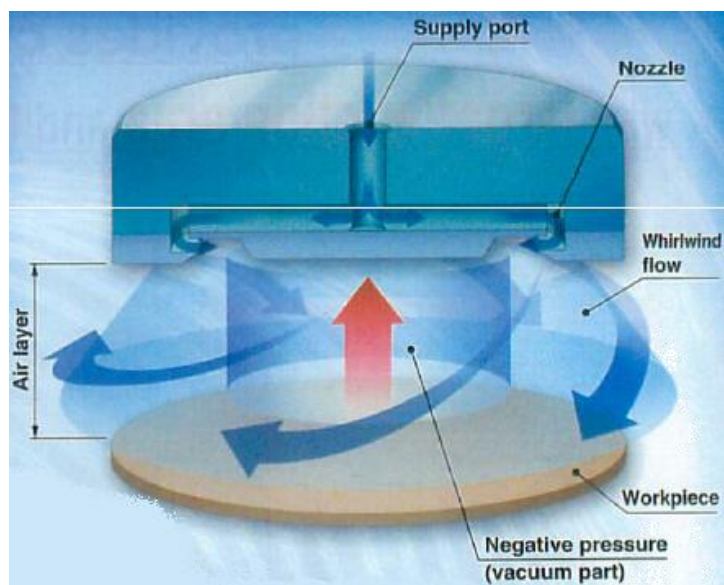
Contactloos grijpen

Een laatste mogelijkheid om voorwerpen te grijpen is door middel van een cycloongrijper. Deze wordt als laatste redmiddel ingezet wanneer men te maken heeft met krasgevoelige, zeer onregelmatige, poreuze voorwerpen of voorwerpen die flinterdun zijn.

Tijdens het grijpen is er géén contact tussen het voorwerp en de cycloongrijper.

Via kanaaltjes in de omtrek van de grijper wordt perslucht gestuurd. Hierdoor ontstaat er een wervelwind (cycloon) in de omtrek. Vervolgens krijgt men een luchtlaag tussen het object en de grijper, die naar de cycloongrijper toe getrokken wordt wegens de onderdruk die daar aanwezig is.

Belangrijk is dat er te allen tijde vermeden wordt dat er contact gemaakt wordt met het voorwerp. Men moet tijdens de manipulatie extra voorzichtig zijn bij het roteren van het voorwerp en er rekening mee houden dat het voorwerp tijdens de verplaatsing weg kan glijden.



Figuur 7.8: Werkingsprincipe van een cycloongrijper (SMC, 2015)

7.2 Krachtwerking tussen aluminium platen

Cohesie vs. adhesie krachten

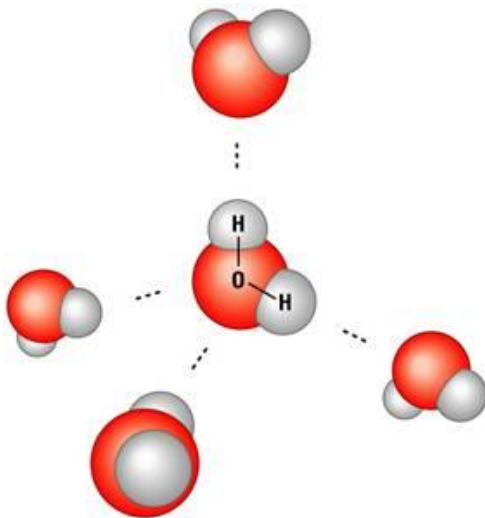
Tussen de moleculen zijn intermoleculaire krachten werkzaam, waarbij moleculen elkaar aantrekken. Deze krachten verklaren het gedrag binnenin de materie. (Demey & Ducatteeuw, 2013)

Enkele voorbeelden van intermoleculaire krachten zijn: waterstofbruggen, Vanderwaalskrachten, dipool-dipoolinteracties, londonkrachten, ... Het ontstaan en de precieze werking hiervan is minder van belang in deze literatuurstudie.

Cohesie is net zoals adhesie een gevolg van intermoleculaire krachten. Het is de aantrekkingskracht die aanwezig is tussen gelijksoortige moleculen en ze wordt groter naarmate deze moleculen dichter bij elkaar liggen.

Intermoleculaire krachten kunnen verklaard worden volgens het deeltjesmodel:

- Materie bestaat uit deeltjes, moleculen, die samengesteld zijn uit atomen
- Tussen de moleculen is er een lege ruimte
- De deeltjes zijn voortdurend in beweging



Figuur 7.9: Aantrekkingskrachten tussen deeltjes op moleculair niveau

Adhesie wordt gedefinieerd als de intermoleculaire kracht die actief is tussen ongelijksoortige moleculen.

Verwarrend genoeg, wanneer twee verschillende voorwerpen van hetzelfde materiaal met elkaar in contact staan, noemen we de kracht die ze op elkaar uitoefenen niet cohesie maar adhesie.

Wanneer de vrije oppervlakken van twee vaste materialen heel dicht in elkaars buurt komen, zullen de atomen van het ene materiaal de elektrostatische omgeving van het andere materiaal ondervinden en omgekeerd. Het resultaat is een adhesieve interactie en dit geldt ook wanneer de twee materialen van de voorwerpen gelijk zijn.

Adhesie is in bepaalde mate analoog met inwendige cohesie tussen atomen in het rooster, met als groot verschil dat adhesie het resultaat is van inter-atomische interacties tussen atomen aan of in de buurt van de vrije oppervlakken van de twee materialen.

Wanneer twee vaste materialen (bijvoorbeeld twee platen) op elkaar worden gedrukt met een bepaalde kracht, hebben ze de neiging om aan elkaar te hechten zelfs wanneer de belasting verwijderd wordt.

Er is dan een 'scheidingskracht' nodig om de twee voorwerpen los te krijgen van elkaar. (Gutierrez-Miravete, 2009)

Factoren die de grootte van de adhesie-krachten tussen twee voorwerpen beïnvloeden, zijn:

- De chemische compatibiliteit van de materialen
- De aanwezigheid van een tussenliggend laagje tussen de materialen
- De oriëntatie van de kristallen aan de oppervlakken
- De temperatuur
- De oppervlakteruwheid

De compatibiliteit van de twee materialen zit vervat in een compatibiliteitsparameter c_m :

Tabel 7.3: Compatibiliteit van twee materialen (Gutierrez-Miravete, 2009)

| Contact | Compatibility Parameter c_m |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Identical Metals | 1.0 |
| Identical Nonmetals | 1.0 |
| Compatible Metals | 0.5 |
| Compatible Nonmetals | 0.6 |
| Partially Compatible Metals | 0.32 |
| Partially Incompatible Metals | 0.20 |
| Incompatible Metals | 0.12 |
| Incompatible Nonmetals | 0.36 |
| Other Solids | 0.22 |

We zien dus dat adhesie tussen twee identieke metalen voor de grootste aantrekkende kracht zal zorgen.

8 Probleemomschrijving

De aluminium platen die gebruikt worden om de kathodes te produceren, worden lichtjes geschrinkt aangeleverd op palletten per 60. Deze worden ongeveer één keer per shift door een heftruck in een half open bak bij de manipulator geplaatst.

De platen worden door een manipulator één voor één van de stapel gegrepen met een vacuümgreiper, om vervolgens vervoerd te worden naar de pons. Af en toe gebeurt het dat de manipulator meer dan één plaat grijpt en deze platen komen dan in het proces terecht. Het grote probleem hierbij is dat de pons de twee platen (of meer) niet kan verwerken. Om grotere problemen te voorkomen, moeten de productiemedewerkers de situatie zo snel mogelijk opmerken en de productie stilleggen.

Vervolgens moeten ze de platen manueel verwijderen. Men moet hiervoor enkele delen van het machinepark, zoals de beschermkooi, gedeeltelijk demonteren om toegang te hebben tot de plaat. Indien men het probleem te laat opmerkt, komen de twee platen onder de pons terecht en dient de pons ook gedeeltelijk gedemonteerd te worden om de platen te kunnen verwijderen.

In dit geval is er door de klemming in de pons schade aan de bovenste plaat en moet deze vervolgens afgekeurd worden. Ze kan dan niet meer worden gebruikt.

Samengevat kan men zeggen dat het grijpen van meerdere platen voor een gevaarlijke situatie zorgt i.v.m. gevaar voor klemming en scherpe randen voor de productiemedewerkers, productieverlies, verloren werkuren en platen die niet meer gebruikt kunnen worden.

9 Werkstrategie

Allereerst voeren we een literatuurstudie uit om meer inzicht te krijgen in mogelijkheden en zwakke punten van bestaande grijpsystemen.

Het is ook belangrijk om de reden te achterhalen waarom er soms meerdere platen gegrepen worden.

We zullen het Ladderdiagram van de manipulator analyseren om meer inzicht te krijgen in de precieze werking en de overgangsvoorwaarden van de aanvoercyclus van de manipulator.

Vervolgens zullen we onze specifieke situatie uittekenen in Autodesk Inventor om mogelijke oplossingen in een volgende stap objectief te kunnen beoordelen en hun praktische haalbaarheid te controleren.

In de volgende stap zullen we op zoek gaan naar theoretisch mogelijke oplossingen en van elk hiervan de voor- en nadelen bespreken. We zullen dan ook moeten nagaan of ze voldoen in dit grijpsysteem en of er eventueel aanpassingen zullen moeten gebeuren aan de infrastructuur en in de PLC-sturing.

Tenslotte wordt er één oplossing naar voor geschoven die het meest geschikt is om uiteenlopende redenen, zoals de investeringskost, de nodige aanpassingen en de bedrijfszekerheid.

10 Meetresultaten & oplossingen

10.1 Oorsprong van het probleem

De kracht die verantwoordelijk is voor het feit dat meerdere platen aaneen blijven 'klevan' noemt men adhesie, zoals besproken in de literatuurstudie. Er bestaan verschillende ingewikkelde modellen om adhesie-kracht tussen twee voorwerpen te berekenen. Aangezien de analyse hiervan wegens het empirisch karakter ons veel tijd en moeite zouden kosten en ons niet echt een stap dichter bij een oplossing zou brengen, gaan we in de eerste plaats op zoek naar een manier om te kunnen detecteren wanneer de manipulator meerdere platen heeft gegrepen.

De palletten met platen worden geleverd door het bedrijf AMAG. Tussen deze platen zit dik papier geweven (vergelijkbaar met bruin kaftpapier) om een bepaalde ruwheid tussen de platen te verkrijgen, die ervoor zorgt dat er zich luchtdeeltjes kunnen opstapelen. Hierdoor vergroot de afstand tussen twee platen en wordt de adhesiekracht bijgevolg kleiner.

Uit ervaring in de kathodewerkplaats blijkt dat er ongeveer 15 keer per jaar geen stuk papier tussen twee platen ligt. Dit is de situatie die ervoor zorgt dat de platen aan mekaar hechten. Zelfs wanneer het papier tussen de platen wel aanwezig is, blijft de kans bestaan dat de manipulator meerdere platen grijpt.

In de PLC-sturing zit een wachttijd van tien seconden ingecalculerd om de kans te geven om het teveel aan platen te laten vallen. Na deze wachttijd gaat de manipulator verder met zijn aanvoercyclus en zal niets nog beletten dat de platen naar de ponsinstallatie gevoerd worden.

10.2 Visuele voorstelling van de manipulator



Figuur 10.1: Manipulator

Functies van de manipulator

De manipulator is een grijpsysteem dat in staat is om aluminium platen van de stapel te nemen d.m.v. vacuümtechnologie.

De twee zwarte kunststof rollen zijn wieltjes die aangestuurd kunnen worden door een DC-motor; ze dienen om het papier van de bovenste plaat af te rollen.

Eens het papier verwijderd is, kan de bovenste plaat gegrepen worden. Hiervoor zijn vier zuignappen aanwezig die bekrachtigd worden door een vacuümejector, die werkt bij een onderdruk van -50 kPa.

Nadat de plaat gegrepen wordt, moet hij vervoerd worden naar de pons. De manipulator kan zowel horizontaal (in de langsrichting, richting de pons) als verticaal bewegen. De verticale beweging gebeurt door een hydraulische cilinder. Deze heeft twee vaste posities, namelijk wanneer hij helemaal in is (de manipulator is dan op zijn hoogste punt) en wanneer hij zich in zijn wachtpositie bevindt boven de pons. Wanneer een van deze posities bereikt wordt, zal het overeenkomstig reed-contact schakelen.

Alle andere posities die nodig zijn bij het grijpen van platen worden verkregen door het communiceren met een inductieve sensor.

De horizontale beweging gebeurt door een pneumatische motor waarop een tandwiel bevestigd is. Wanneer de motor bekrachtigd wordt, drijft hij het tandwiel van de manipulator aan, dat vervolgens kan roteren over een tandlat. Een beweging in de andere richting is mogelijk door de draairichting van de pneumatische motor om te draaien.

10.3 Mogelijke oplossingen

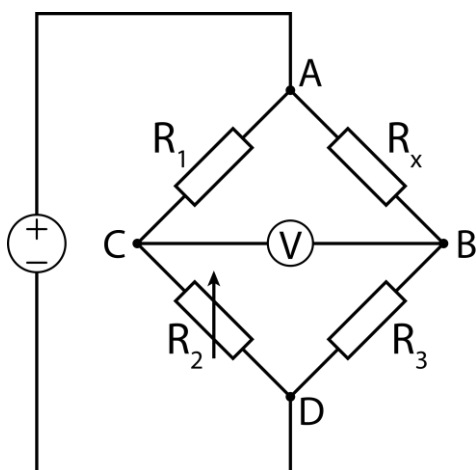
Detectie van de aanwezigheid van een vel papier

Theoretisch gezien zou het mogelijk zijn om met behulp van een inductieve sensor te detecteren of er al dan niet een vel papier aanwezig is tussen twee platen.

Gebruik van een weegcel

Een weegcel is een omvormer die een mechanische kracht kan meten en als uitgang een lineaire spanningsval geeft proportioneel met die kracht. Het is een blok metaal dat gevormd is op zo'n manier dat bepaalde delen onder hoge spanning komen te staan wanneer er een belasting op wordt uitgeoefend. Ze worden vaak gemaakt van aluminium, staal of roestvast staal.

Op deze gebieden kleeft men dunne rekstroken; dit zijn dunne strips die op zo'n manier gefabriceerd zijn, zodat ze bij de minste rek een grote verandering ondervinden in weerstand. Meestal worden er vier of een meervoud van vier van deze stroken op de weegcel bevestigd en aangesloten in een 'Wheatstone-bridge'-configuratie. Op die manier is het mogelijk om van kleine weerstandveranderingen een bruikbaar elektrisch signaal te maken. (Scaime, 2016)



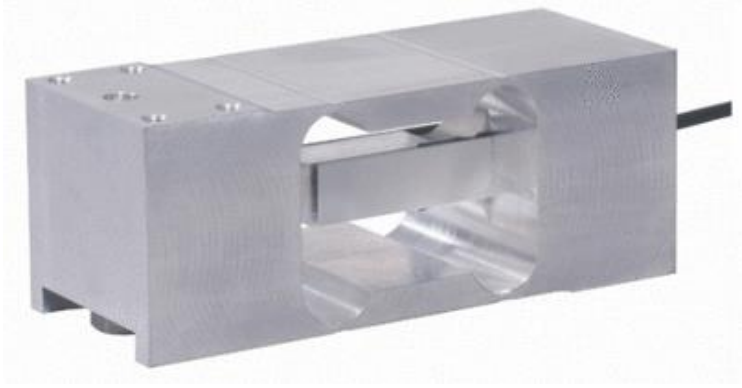
Figuur 10.2: Wheatstone bridge-schakeling

In ons geval kunnen we op twee manieren slim gebruik maken van een weegcel. De eerste manier is door een **weegbrug** te maken waarop het pallet met aluminium platen geplaatst wordt.

Aangezien de weegbrug kan meten welke kracht erop wordt uitgeoefend en dus ook hoeveel platen er op liggen, kunnen we ook bepalen hoeveel platen er werden gegrepen tijdens de verticale manipulatie. Dit is een manier om op **relatieve** wijze te meten hoeveel platen de vacuümgreijper heeft gegrepen.

Een tweede manier om een weegcel te integreren die **direct** kan wegen hoeveel platen er gegrepen werden, is door een weegcel te plaatsen tussen de ophanging van de vacuümgreijper en de cilinder die voor de verticale beweging zorgt. Om zo weinig mogelijk aanpassingen te moeten doen aan de sturing, dient het frame waaraan de manipulator bevestigd is ook verhoogd te worden met de hoogte van de weegcel.

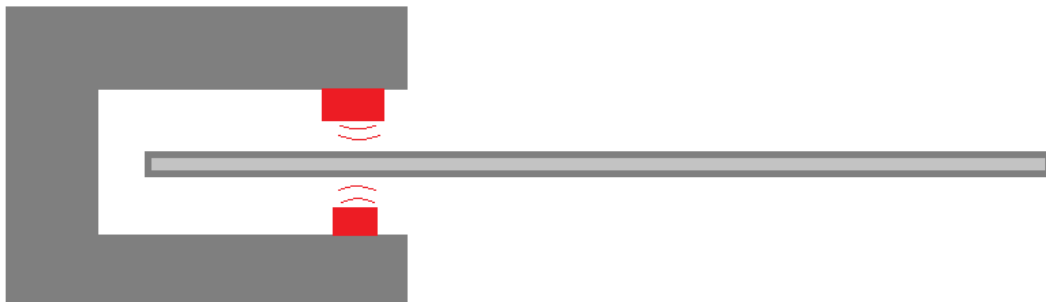
Een type dat hiervoor in aanmerking zou komen is de AB 500kg van het merk Scaime.



Figuur 10.3: Scaime AB 500kg weegcel (Scaime, 2016)

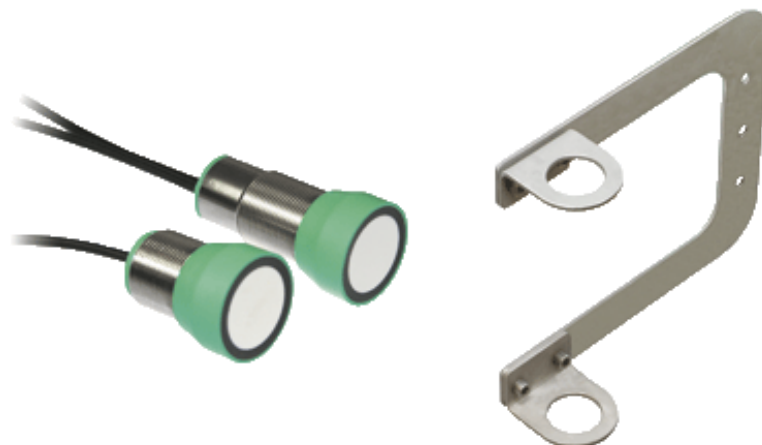
Diktebepaling door ultrasoon sensor

Een andere mogelijkheid is om twee ultrasone sensoren te monteren op een U-vorm die over de plaat schuift. Wanneer de twee sensoren een afstandsmeting doen, kan hieruit de dikte van de plaat bepaald worden. Indien er meerdere platen gegrepen werden, zullen de ultrasone geluidsgolven eerder teruggekaatst worden.



Figuur 10.4: Principe van diktemeting door twee ultrasoonsensors

Een sensor die hiervoor zou voldoen is de UDCM-30GM-085-3E3 (double sheet sensor) van het merk Pepperl+Fuchs met een meetbereik van 50 tot 150 millimeter.



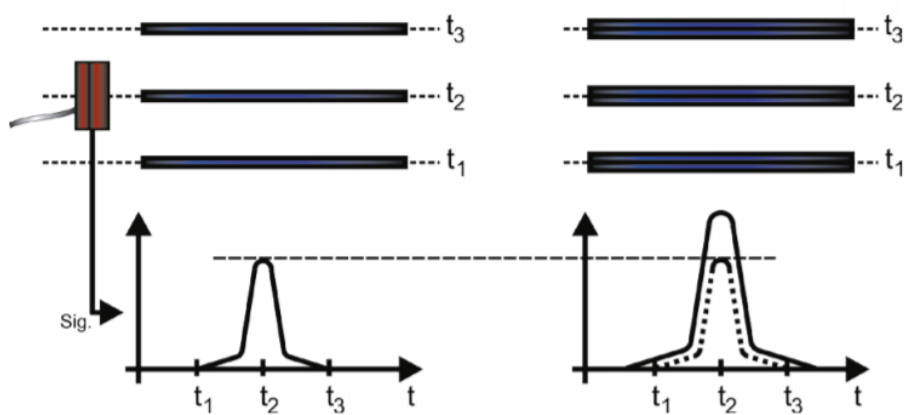
Figuur 10.5: Pepperl+Fuchs sensor met bijhorende montagebeugel (Pepperl+Fuchs, 2017)

Diktebepaling door inductieve sensor

Men zou ook een inductieve sensor kunnen installeren die speciaal ontworpen is om *sheet thickness* of plaatdikten te meten. Dit type sensoren is in staat om de structurele materiaalgrenzen van een plaat in beweging te meten en als analogo signaal door te voeren naar de PLC.



Figuur 10.6: Principe van diktebepaling met een inductieve sensor (Roland-electronics, 2017)



Figuur 10.7: Uitgang van een inductieve sensor bij diktebepaling (Roland-electronics, 2017)

De Eagle Eye AA150x100-902F8S van Roland-Electronic kan plaatdikten van 0,4 tot en met 8 millimeter meten vanop een afstand van 15 millimeter.



Figuur 10.8: Eagle Eye AA- sensor (Roland-electronics, 2017)

Detectie van meerdere platen door lasersensor

Tenslotte kunnen we ook gebruik maken van een lasersensor. Dat is een optische sensor die gemoduleerd licht uitstraalt en volgens reageert op het al dan niet teruggekaatste licht.

Ook hier zijn er weer verschillende mogelijkheden om een dergelijke sensor te implementeren en de uitgang ervan als overgangsvoorwaarde te gebruiken voor de sturing van de manipulator.

Wanneer we met een lasersensor met een diffuus werkingsprincipe de afstand zouden laten meten (op basis van looptijdprincipe) tot de onderkant van de onderste plaat die gegrepen werd, kunnen we bepalen hoeveel platen er aan de manipulator hangen. Deze stopt immers altijd op zijn hoogste punt, waardoor de afstand van de sensor tot een eventuele tweede plaat korter zou zijn. In zo'n type lasersensor zijn zender en ontvanger samengebouwd. Nadat het licht wordt uitgestraald, zal de onderkant van de plaat een deel hiervan terugkaatsen naar de sensor. Deze berekent vervolgens aan de hand van de lichtsnelheid en de looptijd hoe ver het bodemvlak van de plaat zich van de sensor bevindt.

We kunnen ook een optische sensor horizontaal monteren. Wanneer de manipulator zich op zijn hoogste punt bevindt, zal de bovenste plaat altijd op dezelfde hoogte hangen. Een eventuele tweede plaat dus ook. Door de optische sensor zo te richten dat zijn lichtstraal op de tweede plaat zou schijnen, zal zijn uitgang verschillend (0 of 1) zijn naargelang de aanwezigheid van een tweede plaat.

Keuze van de geschikte oplossing

In praktijk blijkt het niet zo eenvoudig te zijn om bovengenoemde sensoren te implementeren in deze toepassing. Aangezien het papier tussen twee platen zit, kunnen we met een sensor de aanwezigheid ervan niet detecteren.

De diktebepaling door een **ultrasoosensor** zou gebruik maken van bewegende onderdelen die het PLC-programma ingewikkelder zouden maken. Verder is het onmogelijk om te voorspellen wanneer het teveel aan platen uit zichzelf (zwaartekracht) naar beneden zou vallen en het zou dus zomaar kunnen dat de plaat dan op de sensor valt.

Hetzelfde geldt voor de **afstandsmeting tot de onderste plaat** langs onder **met een optische sensor**.

De **diktemeting met een inductieve sensor** lijkt een zeer betrouwbare oplossing, maar aangezien de platen lichtjes geschrinkt op het pallet liggen is een montage-afstand van 15 millimeter veel te weinig en dus onhaalbaar in de praktijk.

In principe zou het mogelijk zijn om de **weegcel** te monteren tussen de manipulator en de zuiger die voor de verticale beweging zorg, maar dan zou het gehele frame met de dikte van deze weegcel omhoog moeten gaan om niet het hele PLC-programma te moeten aanpassen.

Verder zou er een nieuwe ophangingsplaat geproduceerd moeten worden om de weegcel te bevestigen.

De simpelste oplossing die we kunnen vinden voor dit probleem is een **detectie van een tweede plaat d.m.v. een optische sensor**. We zullen deze hieronder dan ook verder uitwerken.

Tabel 10.1: Probleemstelling bij sensoren voor diktemeting

| Oplossing | Probleem |
|--------------------------|--|
| Weegcel | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Frame moet verhoogd worden met de hoogte van de weegcel voor minimale aanpassing aan de sturing ▪ Nieuwe ophanging tussen weegcel en verticale cilinder |
| Weegbrug | RESET-functie bij nieuwe stapel platen |
| Ultrasoon sensor | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plaat kan elk moment lossen (= sensor stuk) ▪ U-beugel moet over de plaat kunnen schuiven (=bewegende onderdelen) |
| Inductieve sensor | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Montage-afstand is maximaal 15 mm ➔ Onmogelijk met geschrante platen |

11 Oplossing: Detectie d.m.v. een optische sensor

Sensor

De optische sensor die we zullen gebruiken als overgangsvoorwaarde voor de PLC-sturing is een W12-3 reflEXTASTER van het merk SICK met een schakelafstand van 50 tot 500 mm en een lichtvlek grootte van 6 mm.



Figuur 11.1: SICK WTB12-3P2461S58 reflEXTASTER (SICK, 2017)

De reflEXTASTER valt onder de categorie van optische sensoren en werkt door middel van PinPoint-LED technologie. Dit valt ergens tussen de laser- en de LED-technologie.

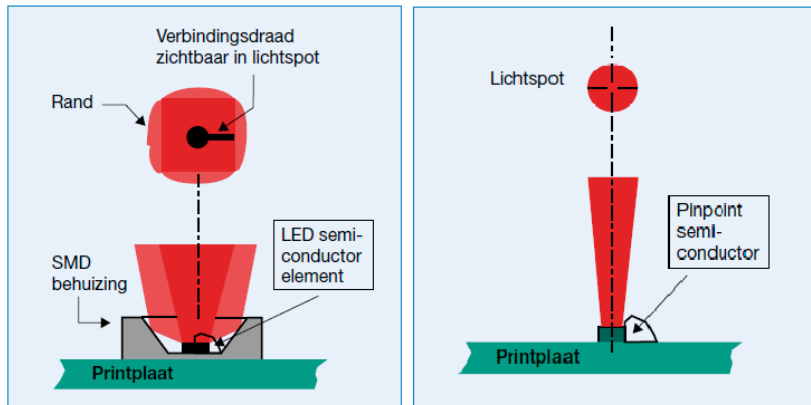
Bij een standaard LED worden de aansluitdraden op het midden van het halfgeleidermateriaal gelast. Deze las is als een 'blinde vlek' in de reflectie van het licht zichtbaar met als gevolg een niet-homogene lichtbundel met wazige randen.

Bij een PinPoint-LED wordt de elektrische aansluiting als een metaallaag op het halfgeleidermateriaal gedampt. In het midden van de metaallaag blijft een rond gaatje onbehandeld waar het licht kan uittreden.

De lichtvlek van deze lichtbron is hierdoor zeer klein, maar ook zeer homogeen met strakke randen. Dit is een groot voordeel bij nauwkeurige detecties. (SICK, 2016)

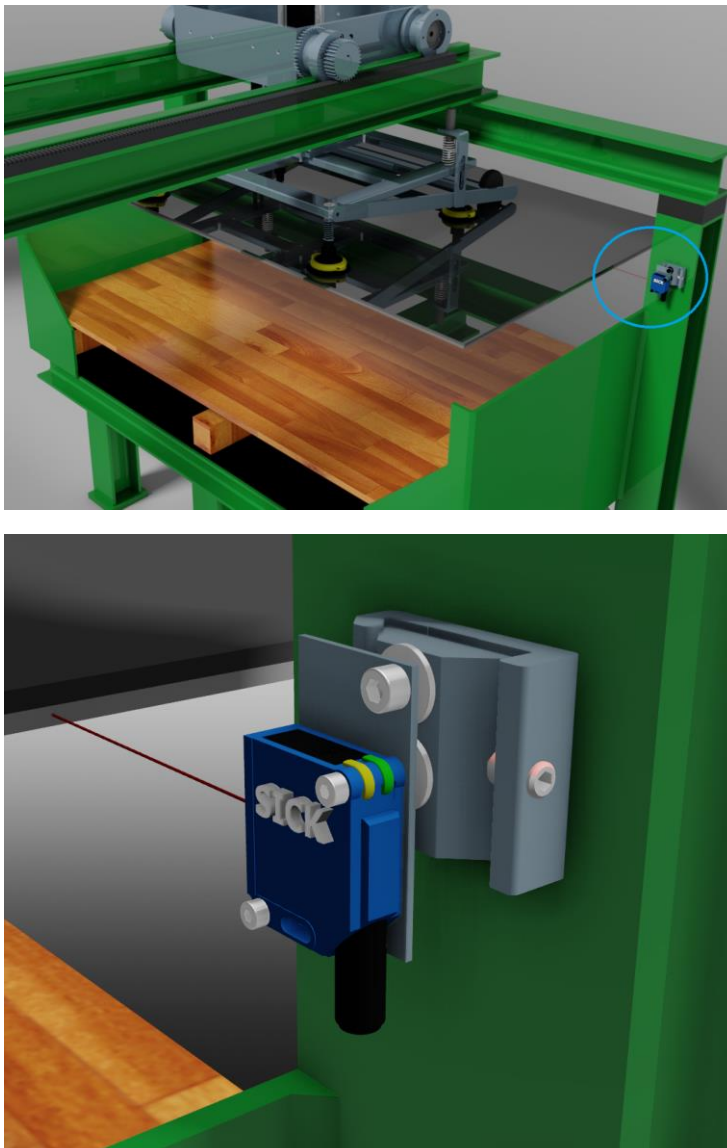
Er zijn verschillende voordelen verbonden aan deze vrij recente technologie:

- Een lichtspot die kleiner, homogener, geconcentreerder en exacter is
- Smallere lichtbundel
- Eenvoudiger uitlijning door beter zichtbare lichtspot
- Grotere reikwijdte, dus meer functiereserve dan met gewone LED's
- Betere detectie van zeer kleine objecten
- Voor PinPoint-sensoren gelden niet de veiligheidsvoorschriften die bij lasersensoren wel in acht moeten worden genomen
- De technologie kan binnen een veel ruimer temperatuurgebied worden gebruikt dan lasertechnologie (-30°C ... +60°C)
- De verwachte levensduur van de LED-lichtbron is langer dan van laser
- Prijstechnisch gunstiger dan lasersensoren



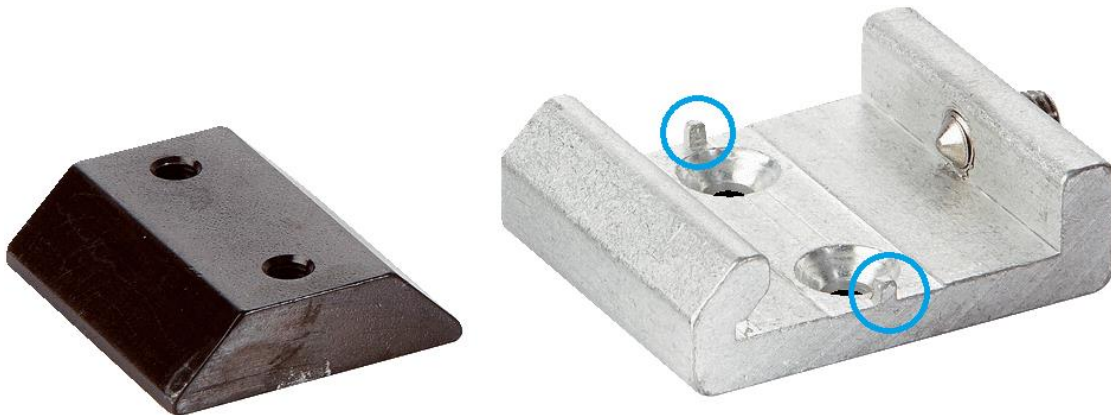
Figuur 11.2: Verschil tussen een LED en een PinPoint-LED (SICK, 2016)

Aanpassing aan de manipulator



Figuur 11.3: Montage van de reflexsensor m.b.v. een snelspanner

De sensor is bevestigd op een aluminium plaatje en een aangepaste snelspanner die ook te vinden is op de website van SICK.



Figuur 11.4: SICK snelspanner (SICK, 2017)

Door de twee uitstekende delen weg te slijpen, kan de snelspanner eenvoudig gebruikt worden om de sensor met behulp van een stelschroef en een slede in hoogte te verstellen.

De nodige materialen voor de montage zijn:

- SICK snelspanner
- Aluminium plaatje (71 x 40 x 2 mm)
- DIN 9021 rondel M6 (2x)
- DIN 912 M6x10 bout
- DIN 912 M4x25 bout
- DIN 912 M4x20 bout
- DIN 934 M4 moer

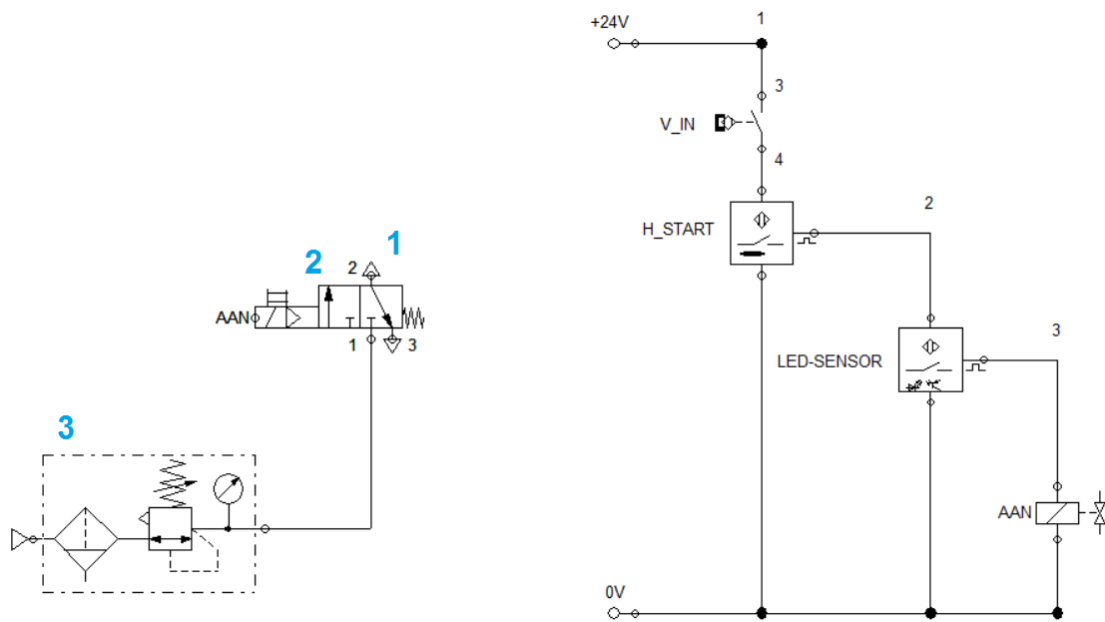
Lossen van het teveel aan platen

Wanneer we de uitgang van deze sensor (die zowel helder- als donker-schakelend gebruikt kan worden) gebruiken als overgangsvoorwaarde in de PLC, kan de sturing gestopt worden als er meerdere platen gegrepen worden.

We kunnen echter ook een stapje verder gaan en de uitgang van de sensor gebruiken om een ventiel aan te sturen dat perslucht blaast op de platen, zodat de afstand tussen de platen vergroot en de adhesiekracht bijgevolg zeer klein wordt, waardoor de platen van elkaar lossen.

Het elektro-pneumatisch schema kunnen we met behulp van de software FluidSIM samenstellen om een goed beeld te krijgen van hoe het blazen in zijn werk gaat.

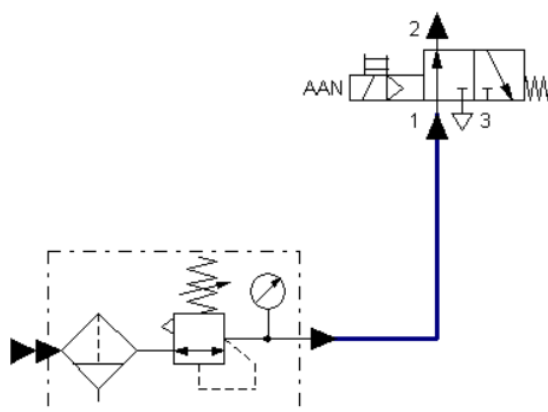
Het schema ziet eruit zoals hieronder:



Figuur 11.5: Elektro-pneumatisch schema

Aan de linkerkant hebben we het pneumatisch gedeelte. Het elektro-pneumatisch monostabiel 3/2-ventiel (2) wordt gevoed door de persluchtunit (3). Wanneer de manipulator op zijn hoogste punt staat, zal het reed-contact V_IN hoog worden. Indien hij boven de platen hangt, zal de inductieve sensor H_START hoog worden. Dit is de voorwaarde die de positie van de manipulator bepaalt wanneer de reflex-taster gecontroleerd moet worden.

Aangezien de sensor van het type PNP is, moet de spoel van het ventiel tussen de 0 V en de derde draad geschakeld worden. Indien de uitgang van de sensor hoog wordt, betekent dit dat er een tweede plaat aanwezig is. Het ventiel zal dan schakelen, zodat de persluchtblazer (1) lucht blaast op de platen. De persluchtblazer is in dit schema voorgesteld als een ontlufting.



Figuur 11.6: Omschakeling van het ventiel

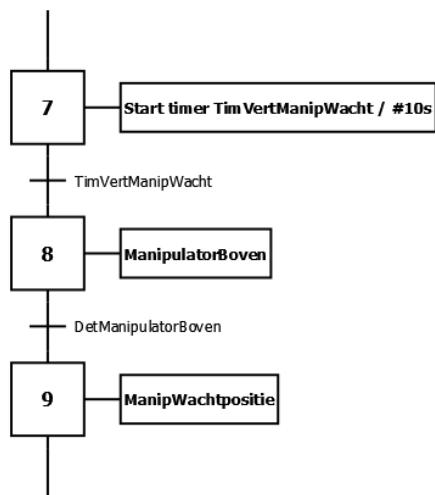
Wanneer de tweede plaat valt, zal de uitgang van de sensor weer laag worden en schakelt het ventiel (door een veermechanisme) weer, zodat de ejector stopt met blazen.

PLC-sturing

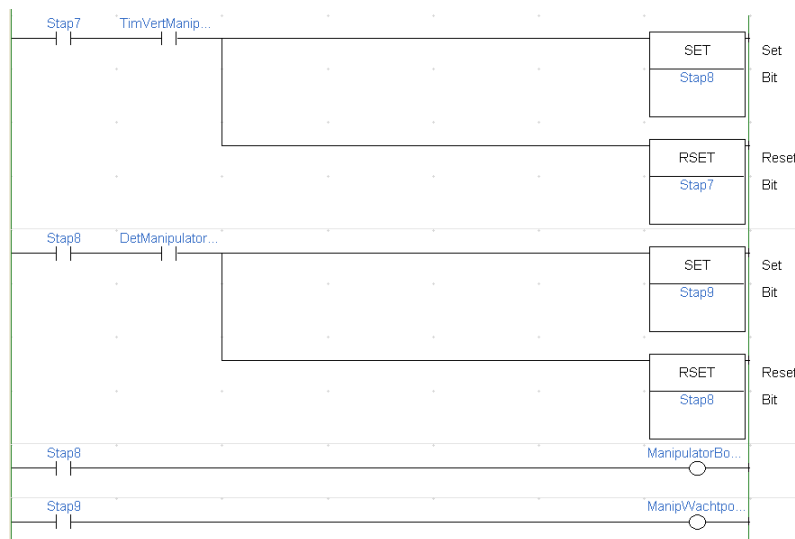
Het productieproces van de kathodes wordt gestuurd door verschillende PLC's. Deze bepalen de volgorde waarin alle actuatoren in het proces actief moeten worden.

Een grafcet is een schematische voorstelling van een PLC-programma die deze volgorde aangeeft en aan welke overgangsvoorwaarden voldaan moet zijn om naar de volgende stap te gaan.

Deze grafcet of functiediagram wordt dan vertaald in een Ladderdiagram dat geüpload wordt naar de PLC. Alle in- en uitgangen aan deze PLC hebben een uniek adres waarmee de toestand ervan geraadpleegd of veranderd kan worden. Hieronder is een stukje te zien uit de grafcet en het Ladderdiagram van de manipulator:



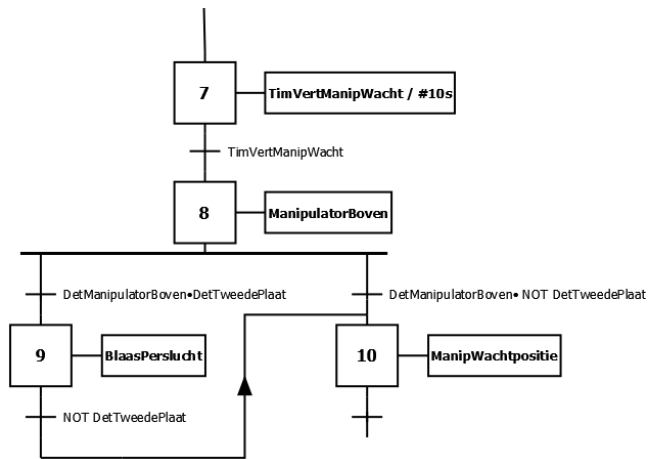
Figuur 11.7: Grafcet vóór aanpassing



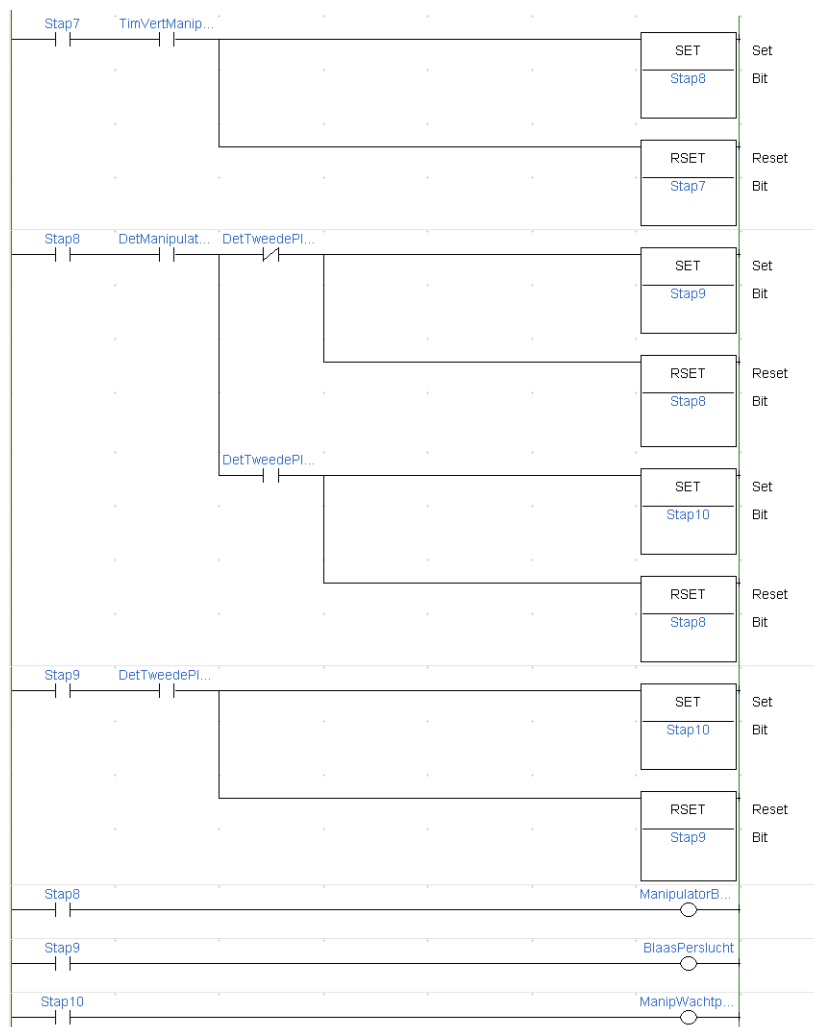
Figuur 11.8: Ladderdiagram vóór aanpassing

In woorden gezegd zal de manipulator na het aflopen van de wachttijd van tien seconden naar boven bewegen. Zodra de sensor *DetManipulatorBoven* detecteert dat de manipulator op zijn hoogste punt is, zal de pneumatische motor geactiveerd worden, zodat de manipulator naar zijn wachtpositie (bij de pons) kan bewegen.

Willen we onze aanpassingen doorvoeren in de PLC, zodat de sturing stopt zodra er een tweede plaat gegrepen werd en vervolgens perslucht blaast om deze plaat te lossen, dan veranderen de graficet en het Ladderdiagram zoals te zien hieronder. Alle acties vóór en na deze aanpassing blijven onveranderd!



Figuur 11.9: Graficet na aanpassing



Figuur 11.10: Ladderdiagram na aanpassing

Deel III:

Herontwerp van het aanvoersysteem

12 Probleem definiërende fase

We hebben in *Deel 2* een oplossing gevonden wanneer er zich tijdens de manipulatie van een aluminium plaat problemen voordoen. De sturing is er nu op voorzien dat er mogelijk meerdere platen gegrepen kunnen worden en kan hier ook automatisch op reageren, zonder dat er een tussenkomst nodig is van een procesoperator.

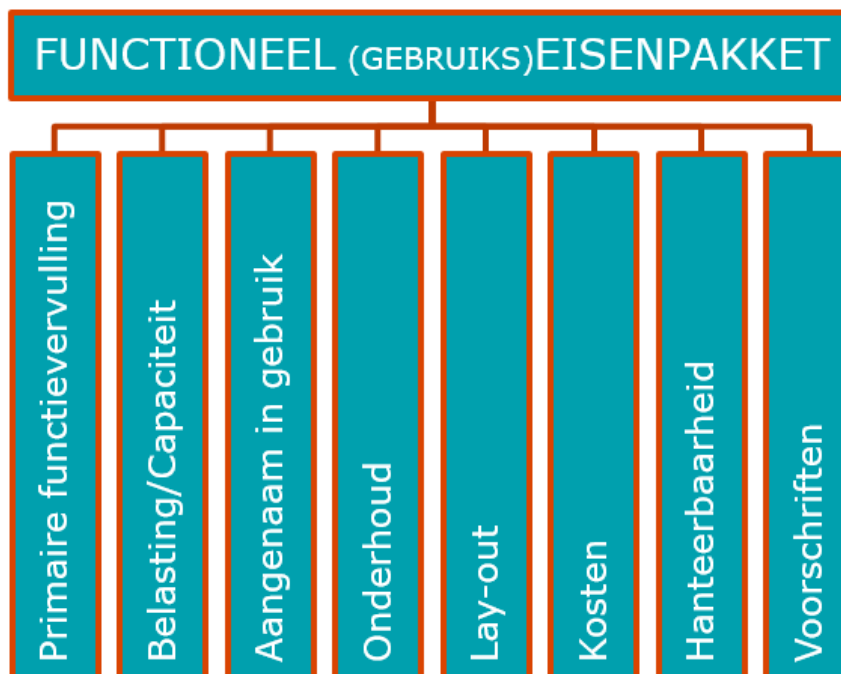
Het zou nog veiliger zijn om het probleem bij de bron aan te pakken en het aanvoersysteem te herontwerpen, zodat de kans op een foute manipulatie geëlimineerd wordt.

Om op een gestructureerde manier tot een herontwerp te komen, zullen we de ontwerpmethodiek volgens het driefasenmodel van H.H. Van de Kroonenberg werken. Dit houdt in dat er in eerste instantie een grondige analyse van het probleem wordt gemaakt. Vervolgens worden er drie eisenpakketten opgesteld, namelijk: het functioneel eisenpakket, het fabricage eisenpakket en het milieu eisenpakket. Deze eisenpakketten bieden een goede houvast bij het bepalen van de vaste en variabele eisen waaraan het herontwerp moet voldoen.

De probleemanalyse en de drie eisenpakketten vormen samen de eerste fase volgens het driefasenmodel. Men noemt dit de probleemdefiniërende fase. De werkwijzebepalende fase en de vormgevende fase vormen de twee andere fasen.

12.1 Eisenpakketten

Functioneel eisenpakket



Figuur 12.1: Functioneel (gebruiks)-eisenpakket (de Beer, 2006)

Het functioneel eisenpakket is onderverdeeld in een aantal subcategorieën en omvat alle interne en externe vereisten, alsook mogelijke wensen voor het aanvoersysteem. Belangrijk is dat elke eis slechts één kenmerk omschrijft.

Primaire functievervulling:

- Klaarleggen van één aluminium plaat voor de manipulator
- Tegenhouden van andere platen tijdens de manipulatie
- Bedrijfszekerheid
- Veiligheid: stapel moet blijven staan bij stroomuitval
- Levensduur: minimaal 25 jaar

Belasting en capaciteit:

- Energiesoort: elektrisch, pneumatisch, hydraulisch
- Capaciteit: 60 platen & pallet
- Krachten: moet minimaal 60x40 + 43kg (2600kg) kunnen dragen
- Verwerking van ca. 120 platen per shift
- Versnelling: 0,5 m/s²
- Snelheid: 3 minuten per cyclus
- Slag: minimaal 420 mm
- Temperatuur: 10°C tot 50°C (binnen gebruik)

Aangenaam in gebruik:

- Gebruiksintensiteit: dagelijks 8 uur (soms 16 uur)
- Eenvoudige / hanteerbare werking

Onderhoud:

- Driemaandelijks preventief onderhoud van slijtagegevoelige onderdelen
- Nastelbaarheid van sensoren
- Eenvoudig te reinigen met perslucht
- Repareerbaarheid
- Regelmatige smering

Lay-out:

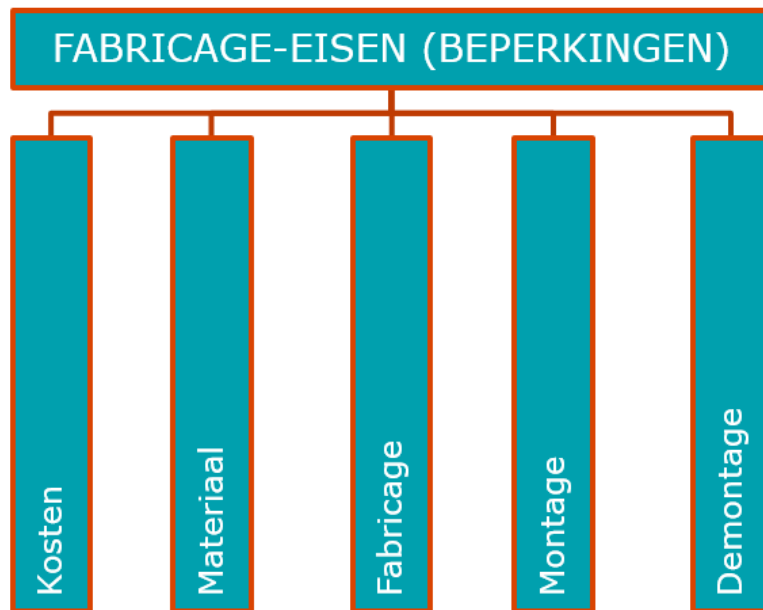
- Opstelling binnen in productiehal
- Oppervlaktebehandeling: geen
- Maximale afmetingen: niet groter dan huidig aanvoersysteem (1920x1200mm)
- Maximaal gewicht: vloer in kathodewerkplaats van 20 cm beton

Kosten:

- Economische levensduur: 10 jaar
- Energiekosten tijdens gebruik: zo laag mogelijk
- Kosten van de handelsartikelen: maximaal €2000

Voorschriften:

- NEN-EN-ISO 11200 t.e.m. 11205 (geluid van machines op de bedienpositie)
- Stroomwet
- Brandpreventie
- Machinerichtlijn

Fabricage-eisenpakket

Figuur 12.2: Fabricage eisenpakket (de Beer, 2006)

Het fabricage-eisenpakket is onderverdeeld in een aantal subcategorieën en omvat alle beperkingen en randvoorwaarden waarbinnen het product moet gerealiseerd worden. Het is dus het geheel van mogelijkheden en kwaliteiten van de productieprocessen, materialen en (de)montage.

Kosten:

- Kosten van de vormgevingstechnieken: zo laag mogelijk
- Materiaalkosten: zo laag mogelijk
- Montagekosten: zelf te monteren in twee shiften (16 uur)
- Aantal producten: 1
- Totale kost: maximaal €2000

Materiaal:

- Aluminium profielen en -platen
- Staalprofielen en -platen
- Kooponderdelen
- Maakonderdelen van staal of aluminium

Fabricage:

- Zoveel mogelijk hergebruik van huidige componenten
- Zoveel mogelijk genormaliseerde componenten gebruiken
- Gebogen onderdelen vermijden
- Aantal onderdelen: zo min mogelijk
- Beperkte interne productie: geen freesmachines en draaibanken

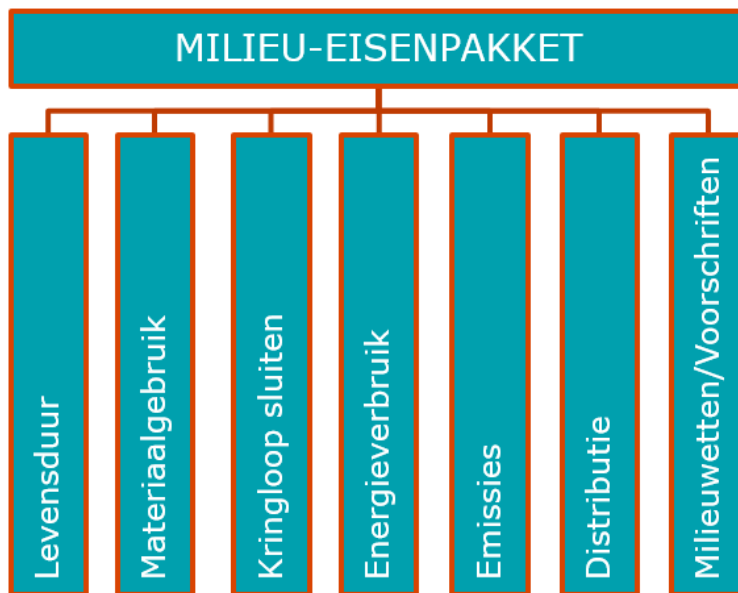
Montage:

- Handmatige montage
- Standaardgereedschap (geen speciale tools)
- Zo weinig mogelijk lassen
- Eenvoudige montage

Demontage:

- Handmatige demontage
- Geen speciale gereedschappen vereist
- Eenvoudige demontage en korte demontagetijd

Milieu-eisenpakket



Figuur 12.3: Milieu eisenpakket (de Beer, 2006)

De omgevingsfactoren 'markt' en 'overheid' dringen sterk aan op milieuverbeteringen. Er worden vanuit de overheid een hele reeks aan wetten en verplichtingen opgelegd in functie daarvan. Maar ook via de consument zelf worden eisen aan producten gesteld. Keursystemen zorgen voor een classificatie van producten.

Levensduur:

- Goede repareerbaarheid (door mekaniker)
- Bedrijfszekerheid
- Modulaire structuur

Materiaalgebruik:

- Massa waar mogelijk minimaliseren door gebruik van holle profielen
- Materiaalsoorten beperken
- Geen schadelijke stoffen

Kringloop sluiten:

- Eenvoudige demonteerbaarheid
- Recycling

Energieverbruik:

- Minimale energie-inhoud materiaal
- Minimaal energieverbruik tijdens productie
- Minimaal energieverbruik tijdens gebruik
- Minimaal energieverbruik tijdens distributie

Emissies:

- Minimaal materiaalafval
- Watervervuiling tijdens productieproces vermijden
- Luchtvervuiling tijdens productieproces beperken (afzuiging bij lassen)
- Minimaal aantal procesgangen

Distributie:

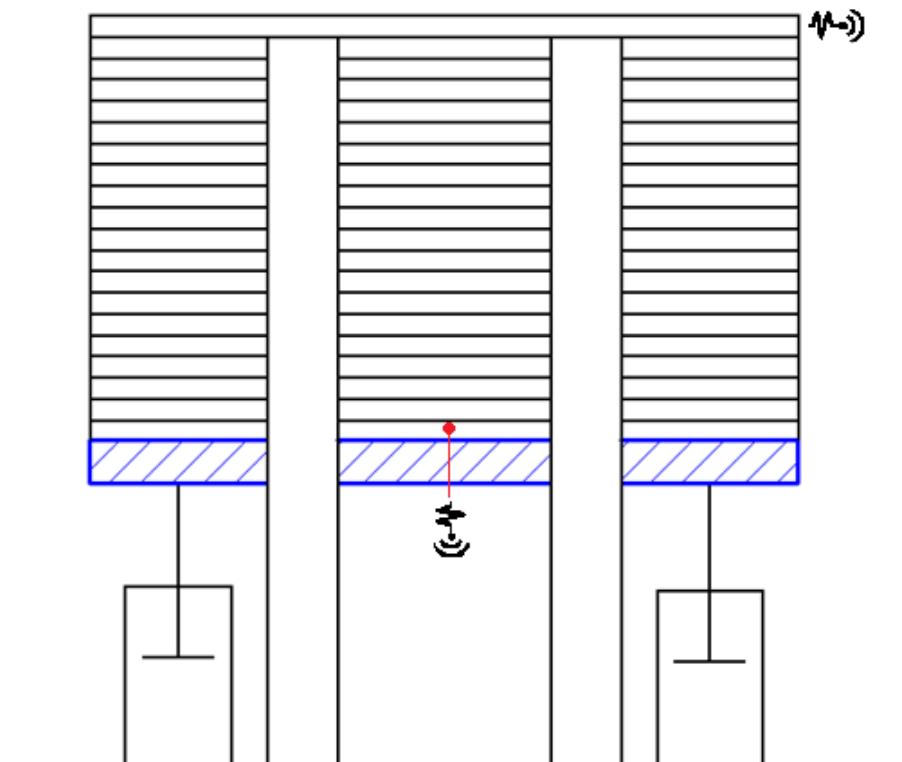
- Minimaal verpakkingsmateriaal
- Massa beperken voor transport
- Volume beperken voor transport

12.2 Concepten

Na het opstellen van de drie eisenpakketten hebben we duidelijke antwoorden gekregen op de vragen: Wat kan? Wat mag? Wat moet?

In dit deeltje werken we een conceptschets uit die de basis zal vormen voor het herontwerp en die de belangrijkste principes ervan visualiseert.

Om te zorgen dat er door adhesiekrachten geen twee platen meer aaneen blijven hangen tijdens de verticale manipulatie, is het herontwerp gebaseerd op het nemen van de bovenste kaart van een kaartspel. In plaats van de bovenste kaart met twee vingers recht omhoog te pakken, kan men met wijs- en middelvinger de kaart zijdelings wegschuiven, terwijl men met de duim de rest van de stapel tegenhoudt.



Figuur 12.4: Conceptschets van het herontwerp

Zoals te zien op figuur 12.4 wordt de stapel met aluminiumplaten geplaatst op een draagplaat (aangegeven in het blauw). Er bevinden zich twee sensoren; één sensor die detecteert of de bovenste plaat op de manipulatie-positie bevindt en één sensor die door een gat in de draagplaat kan detecteren of er een plaat op de draagplaat ligt.

Er is een hoogteregeling die in deze schets voorgesteld is door twee zuigers. Deze stuwen het geheel omhoog, tot de bovenste sensor aangeeft dat de bovenste plaat goed ligt. De manipulator zal de plaat dan horizontaal kunnen grijpen met zuignappen, terwijl de twee lange tegenhouders de overige platen tegenhouden. Vervolgens zal de bovenste sensor weer detecteren dat de bovenste plaat niet goed ligt, waardoor het geheel weer omhoog gaat.

Deze cyclus herhaalt zich tot beide sensoren detecteren dat er geen plaat aanwezig is. Het geheel zal dan omlaag gaan, zodat de lege pallet verwijderd kan worden en een nieuwe geplaatst.

De onderdelen en systemen die in de conceptschets gebruikt zijn, zijn niet bindend gekozen en werden enkel gebruikt om de basisprincipes van het nieuw aanvoersysteem uit te leggen. In de volgende stappen bij het bepalen van de deelfuncties en de werkwijze bepalende fase (het morfologisch overzicht) zal op een gestructureerde en logische manier de meest geschikte oplossing voor elke deelfunctie bepaald worden.

12.3 Functies en werkwijze

In het deel hiervoor werden aan de hand van een conceptschets alle werkingsprincipes van het aanvoersysteem uitgelegd. We zullen nu aan elk belangrijk aspect een functie toekennen. De functie van een technische installatie behelst alle handelingen en activiteiten die moeten plaatsvinden om tot een bepaald resultaat te komen.

Aan deze handelingen wordt een van de volgende aspecten toegekend:

- Materie-aspect: bewerking en verwerking van materialen
- Energie-aspect: krachten, energie en vermogen
- Informatie-aspect: sturen en regelen



Figuur 12.5: Functieverloop van een technische installatie (de Beer, 2006)

Deelfuncties

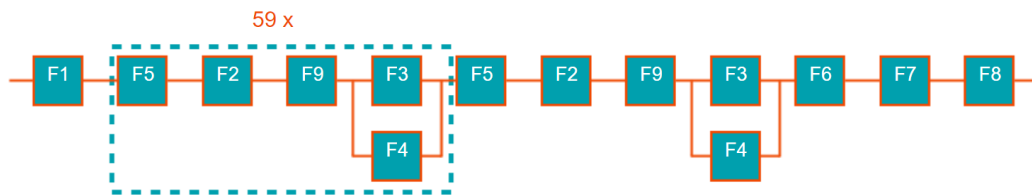
In de verschillende aspectcategorieën worden er vaak onderverdelingen gemaakt om de hoofdfunctie(s) op te delen in meer specifieke handelingen. Ze worden ook wel deelfuncties genoemd. Het geheel aan deelfuncties zorgt ervoor dat het mogelijk is een beoogd resultaat te bereiken.

| | |
|------------|---|
| F1: | Stapel platen op aanvoersysteem |
| F2: | Detectie dat de bovenste plaat goed ligt |
| F3: | Bovenste plaat wordt gegrepen |
| F4: | Overige platen worden tegengehouden |
| F5: | Stapel platen gaat omhoog |
| F6: | Detectie dat er geen tweede plaat aanwezig is |
| F7: | Stapel platen gaat naar beneden |
| F8: | Leeg pallet wordt afgevoerd |
| F9: | Stapel blijft staan |

Functieblokschema

We kunnen alle deelfuncties nu weergeven in een blokschema waarbij duidelijk wordt hoe het proces zal verlopen. Deelfuncties die in serie staan, verlopen chronologisch; deelfuncties in parallel gebeuren op hetzelfde moment.

Het functieblokschema ziet er als volgt uit:



Figuur 12.6: Functieblokschema

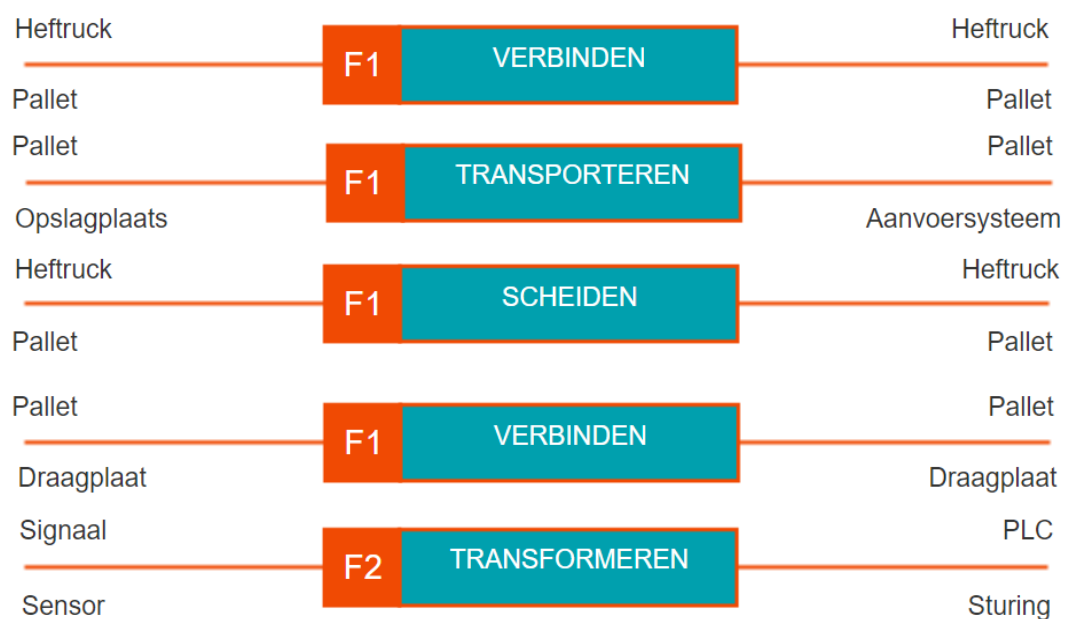
Functionele relaties

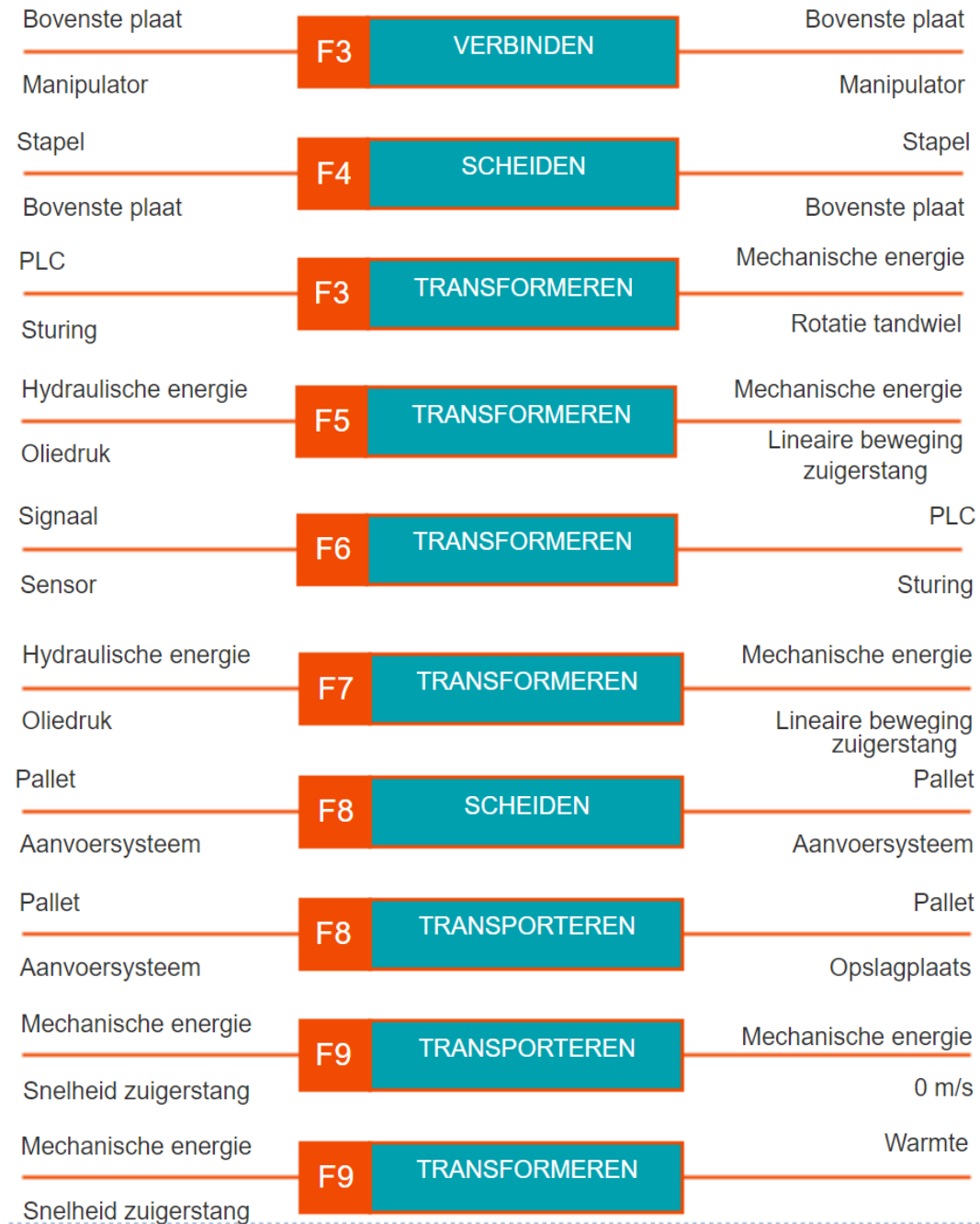
De aard van de functie is onder te verdelen in vijf categorieën, namelijk: verbinden, scheiden, accumuleren, transformeren of transporteren. Sommige deelfuncties zijn een combinatie van meerdere categorieën, waardoor er bijgevolg voor die deelfunctie meerdere functionele relaties ontstaan.



Figuur 12.7: Verloop van een deelfunctie (de Beer, 2006)

Wanneer we alle deelfuncties nu beschrijven volgens deze structuur krijgen we het geheel aan functionele relaties:






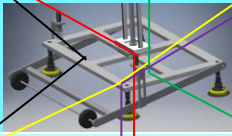
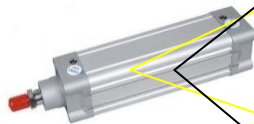
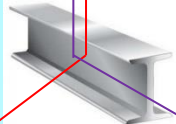
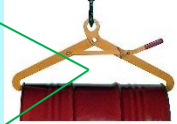


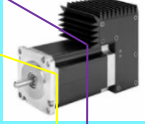





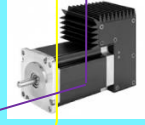




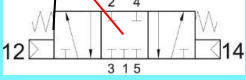




13 Werkwijzebepalende fase

13.1 Morfologisch overzicht

S1 S2 S3 S4 S5

| Functie | Alternatief 1 | Alternatief 2 | Alternatief 3 |
|---|--|--|--|
| F1: Stapel platen op aanvoersysteem |  | |  |
| F2: Bovenste plaat detecteren |  Inductieve sensor |  Capacitieve sensor |  Optische sensor |
| F3: Bovenste plaat wordt gegrepen |  | | |
| F4: Overige platen worden tegengehouden |  Persluchtcilinder |  HEB-profiel (aanslag) |  Grijper |
| F5: Stapel platen gaat omhoog |  Hydraulische cilinder |  Heftafel |  Stappenmotor |
| F6: Detecteren van een tweede plaat |  Inductieve sensor |  Capacitieve sensor |  Optische sensor |
| F7: Stapel platen gaat naar beneden |  Hydraulische cilinder |  Heftafel |  Stappenmotor |
| F8: Leeg pallet wordt afgevoerd |  | |  |
| F9: Stapel blijft staan |  Rem |  Stroom onderbreken |  3-standen ventiel |

13.2 Kesselringmethode

Een eenvoudige, maar betrouwbare manier om de bekomen oplossingen kwalitatief en kwantitatief met elkaar te vergelijken is de Kesselringmethode.

Als eerste worden de variabele eisen verzameld uit de drie eisenpakketten. Per eisenpakket wordt dan een waarderingsmatrix opgesteld, waarin voor elke oplossing bekeken wordt in welke mate aan elke eis voldaan is. Dit wordt weergegeven door een cijfer gaande van één tot vier.

Het spreekt voor zich dat niet elke variabele eis even belangrijk is als andere. Er wordt daarom per eisenpakket aan elke eis ook een weegfactor toegekend, zodat belangrijkere eisen zwaarder zullen doorwegen bij de evaluatie van elke mogelijke oplossing.

Per oplossing zullen er uiteindelijk drie waarden bekomen worden, namelijk voor de functionele-, fabricage- en milieueisen. Deze worden dan procentueel omgezet ten opzichte van de ideale oplossing. We kunnen elke oplossing vervolgens als een waarderingsdriehoek voorstellen op een radar-grafiek.

Variabele eisen:

Functioneel eisenpakket:

1. Functievervulling
2. Bedrijfszekerheid
3. Veiligheid
4. Energiesoort
5. Repareerbaarheid

Fabricage eisenpakket:

1. Aantal onderdelen
2. Fabricage kosten
3. Montage – demontage

Milieu eisenpakket:

1. Onderhoud
2. Vervangbaarheid
3. Recyclage

Tabel 13.1: Waarderingsmatrix functionele eisen

| FUNCTIONELE EISEN | WAARDERINGSMATRIX | | | | | |
|-------------------|-------------------------|------|------|------|------|--------|
| | Waardering x weegfactor | | | | | |
| EIS | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | Ideaal |
| 1 | 2x3 | 3x3 | 4x3 | 3x3 | 4x3 | 4x3 |
| 2 | 2x2 | 3x2 | 4x2 | 3x2 | 3x2 | 4x2 |
| 3 | 1x4 | 2x4 | 3x4 | 2x4 | 2x4 | 4x4 |
| 4 | 2x1 | 4x1 | 4x1 | 1x1 | 2x1 | 4x1 |
| 5 | 1x1 | 3x1 | 3x1 | 2x1 | 4x1 | 4x1 |
| Σ | 17 | 30 | 39 | 26 | 32 | 44 |
| REL Σ | 0,39 | 0,68 | 0,89 | 0,59 | 0,73 | 1 |

Tabel 13.2: Waarderingsmatrix fabricage eisen

| FABRICAGE EISEN | WAARDERINGSMATRIX | | | | | |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|--------|
| | Waardering x weegfactor | | | | | |
| EIS | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | Ideaal |
| 1 | 1x4 | 4x4 | 3x4 | 2x4 | 2x4 | 4x4 |
| 2 | 1x2 | 3x2 | 4x2 | 2x2 | 3x2 | 4x2 |
| 3 | 2x1 | 4x1 | 4x1 | 2x1 | 3x1 | 4x1 |
| Σ | 8 | 26 | 24 | 14 | 17 | 28 |
| REL Σ | 0,29 | 0,93 | 0,86 | 0,50 | 0,61 | 1 |

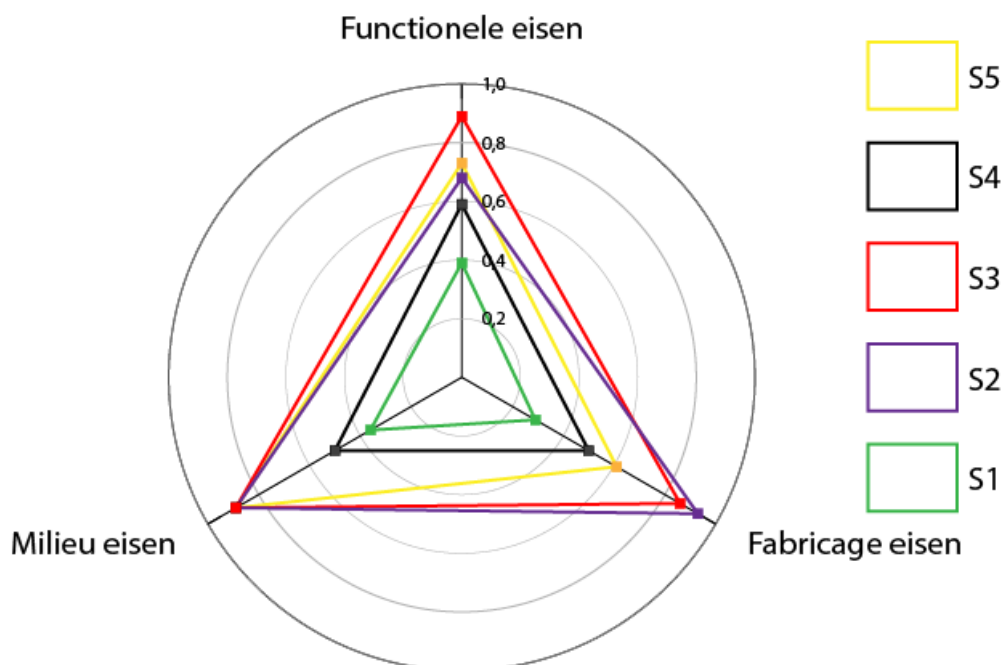
Tabel 13.3: Waarderingsmatrix milieu eisen

| MILIEU EISEN | WAARDERINGSMATRIX | | | | | |
|--------------|-------------------------|------|------|------|------|--------|
| | Waardering x weegfactor | | | | | |
| EIS | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | Ideaal |
| 1 | 2x2 | 3x2 | 3x2 | 2x2 | 3x2 | 4x2 |
| 2 | 1x4 | 4x4 | 4x4 | 2x4 | 4x4 | 4x4 |
| 3 | 2x1 | 3x1 | 3x1 | 2x1 | 3x1 | 4x1 |
| Σ | 10 | 25 | 25 | 14 | 25 | 28 |
| REL Σ | 0,36 | 0,89 | 0,89 | 0,50 | 0,89 | 1 |

Tabel 13.4: Oppervlakten van de waarderingsdriehoeken

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | Ideaal |
|---------------------------|------|------|------|------|------|--------|
| Functionele eisen | 0,39 | 0,68 | 0,89 | 0,59 | 0,73 | 1 |
| Fabricage eisen | 0,29 | 0,93 | 0,86 | 0,50 | 0,61 | 1 |
| Milieu eisen | 0,36 | 0,89 | 0,89 | 0,50 | 0,89 | 1 |
| Totale oppervlakte | 12% | 66% | 77% | 28% | 51% | 100% |

De waarderingsdriehoek hebben we samengesteld met behulp van de software Adobe Illustrator en ziet eruit zoals hieronder weergegeven:



Figuur 13.1: Waarderingsdriehoek

Uit deze waarderingshoek kunnen we afleiden dat oplossing drie het beste voldoet aan onze variabele eisen. Aangezien de uitwerking ervan ook het minst complex is zullen we deze oplossing verder uitwerken als aanzet voor een herontwerp van het aanvoersysteem.

13.3 Controleberekeningen

Hydraulische cilinder

Gegevens:

- Hoogte van de manipulator: 1170 mm
- Hoogte van een pallet: <250 mm
- Dikte van een pallet: 250 mm
- Dikte van een aluminium plaat: 7 mm
- Dikte van de draagplaat: <40 mm
- Massa van een pallet: <50 kg
- Massa van een aluminium plaat: 40 kg
- Massa van een staalplaat (40 mm): <700 kg
- Versnelling van de cilinder: <0,5 m/s²

Eisen:

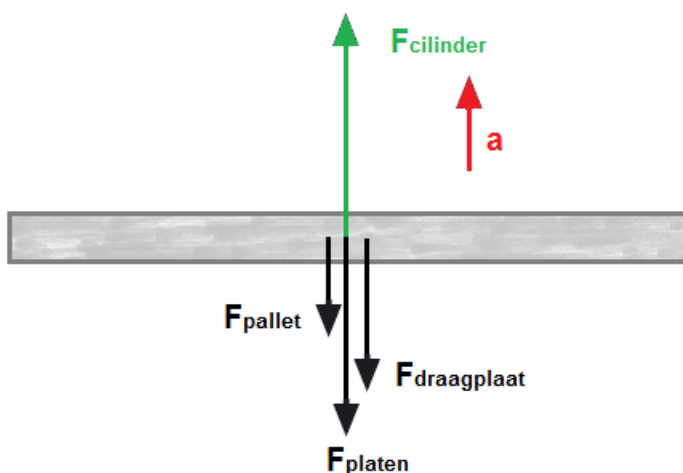
- Moet een slaglengte hebben van minimaal 60x7mm: 420 mm
- Maximale inbouwafmeting: 1170 - 420 - 250 - 40 = 460 mm
- Moet een draagkracht hebben van 3,3 ton

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$F_{cilinder} - F_{platen} - F_{pallet} - F_{draagplaat} = m_{totaal} \cdot \vec{a}$$

$$(50 + 40 \cdot 60 + 700) \cdot (9,81 + 0,5) = F_{cilinder}$$

$$F_{cilinder} = 32,5 \text{ kN (of 3,3 ton)}$$



Figuur 13.2: Krachtwerking op de draagplaat

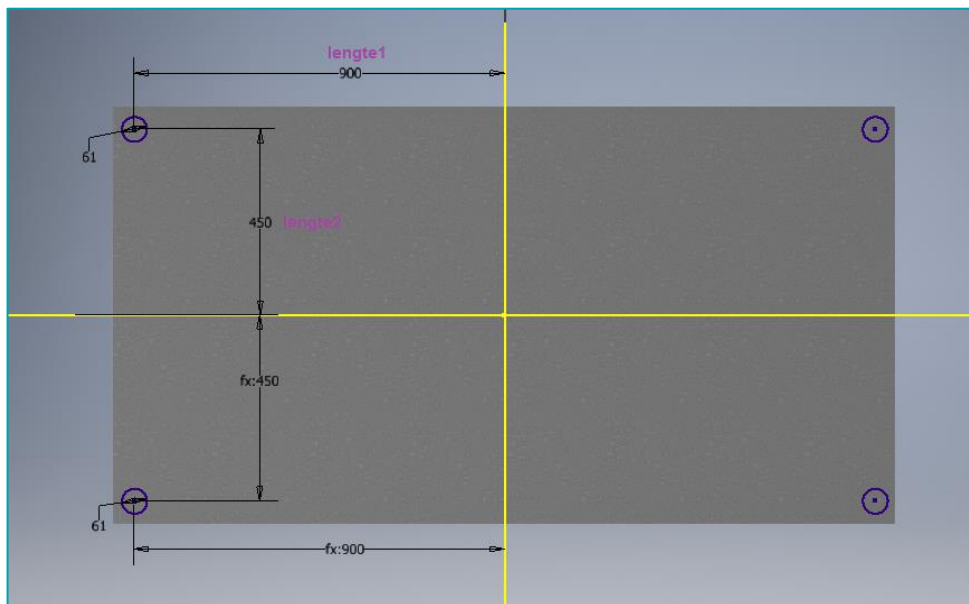
Aangezien de cilinder een kleine inbouw lengte moet hebben met een grote slaglengte, opteren we voor een telescoopcilinder. De PTM tweetraps telescoopcilinders met een slag van 595 mm hebben een draagkracht van 5,2 ton bij 180 bar.

Draagplaat

Om de krachtverdeling op de stalen draagplaat te verbeteren, monteren we **vier** hydraulische cilinders.

De nodige dikte van de plaat en de positie van de vier cilinders bepalen we aan de hand van een parametrische sterkteberekening. We laten deze vier parameters variëren met als doel:

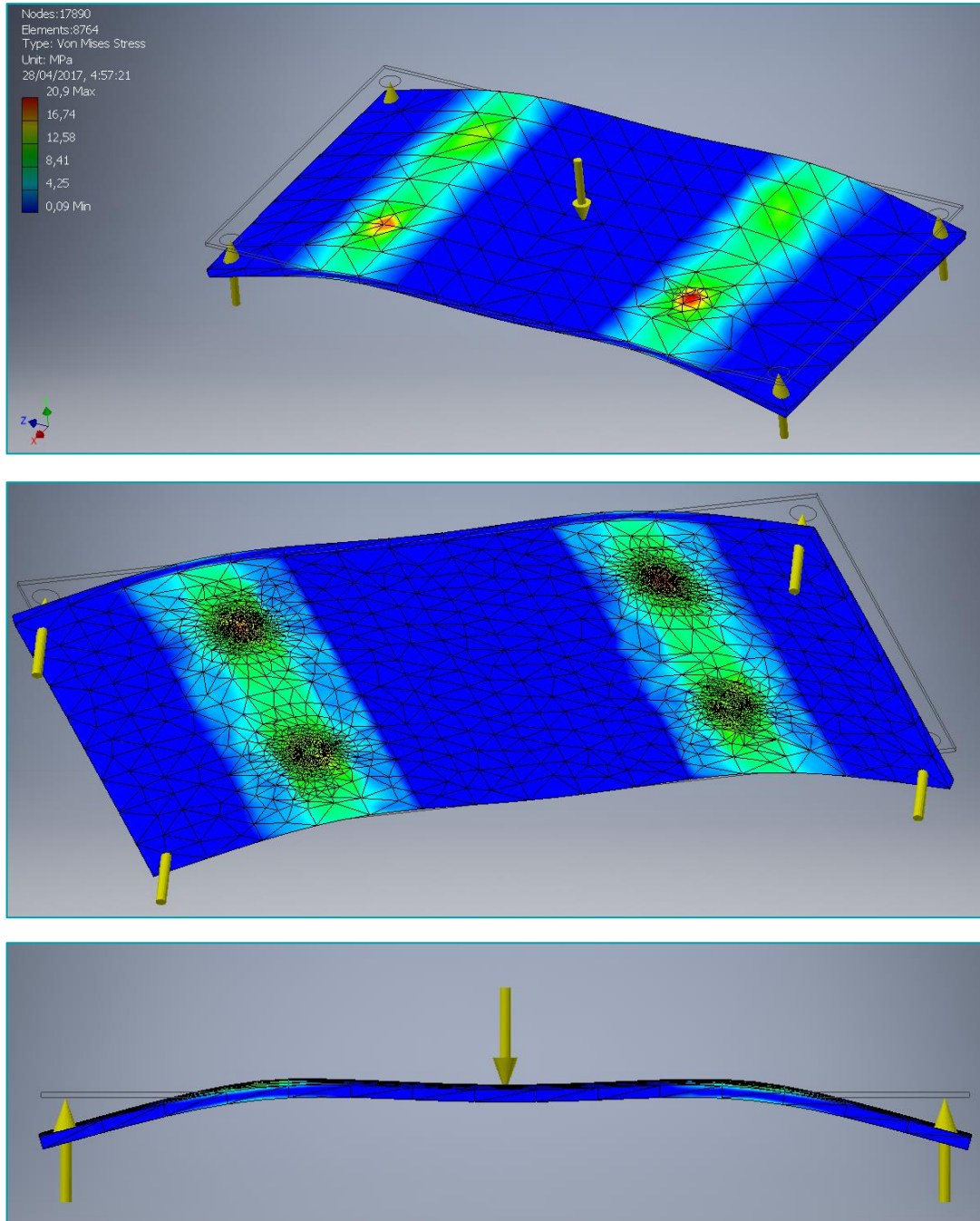
- De massa te minimaliseren
- Zorgen dat de Von-Mises spanning de toegelaten spanning van $0,7 \cdot Re_{staal} = (0,7 \cdot 207 = 144,9 \text{ MPa})$ niet overschrijdt met een veiligheidsfactor van 3



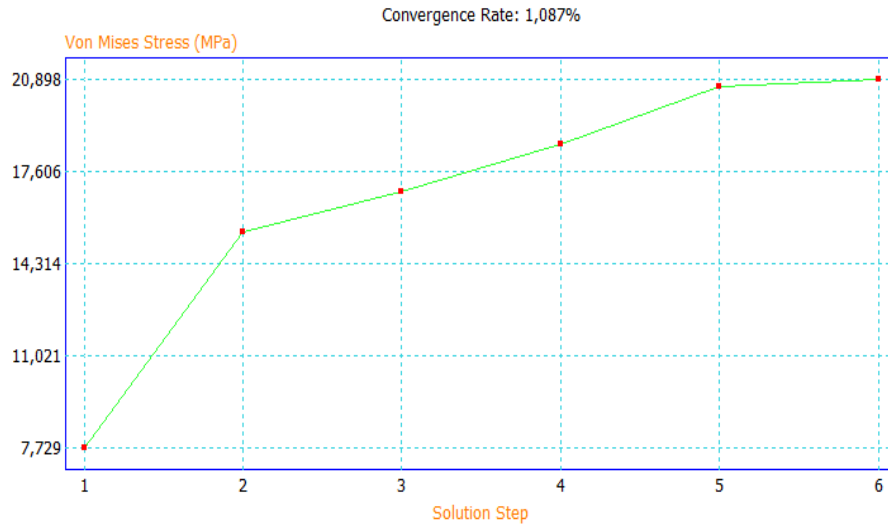
Figuur 13.3: Positie van het drukvlak van de cilinders

| Parametric Table | | | | | | |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|--------------|---------------|------|
| Design Constraints | | | | | | |
| Constraint Name | Constraint Type | Limit | Safety Factor | Result Value | Unit | |
| Mass | Minimize | | | 376,604 | kg | |
| Max Von Mises Stress | Upper limit | 144,9 | 3 | 20,8983 | MPa | |
| Max Displacement | View the value | | | 0,473016 | mm | |
| Min Safety Factor | View the value | | | 9,90511 | ul | |
| Parameters | | | | | | |
| Component Name | Feature Name | Parameter Name | Values | | Current Value | Unit |
| plaat_aanvoer | Extrusion1 | dikte | 10;15;20;25;30;35;40 | | 25 | mm |
| plaat_aanvoer | Split6 | lengte1 | 100;200;300;400;500;600;700;800;900 | | 500 | mm |
| plaat_aanvoer | Split6 | lengte2 | 50;150;250;350;450 | | 250 | mm |

Figuur 13.4: Parametrische tabel



Figuur 13.5: Resultaten van de stressanalyse van de draagplaat





Figuur 13.6: Convergentiegrafiek van de stressanalyse

Zuignappen

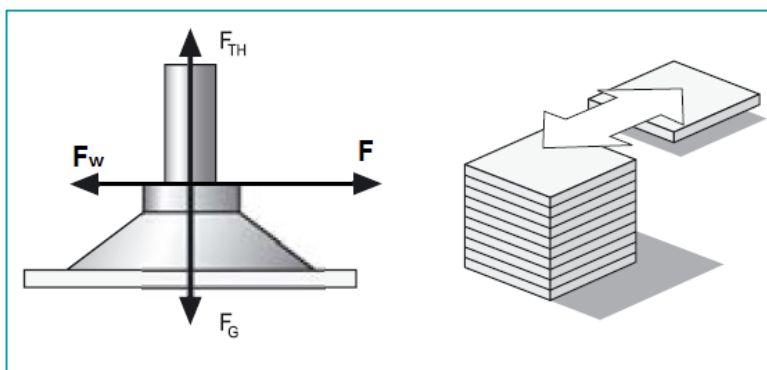
De vier zuignappen van de manipulator zijn van het type PIAB F110-0101917, met volgende gegevens:

Tabel 13.5: Maximale zuigkracht van een zuignap (PIAB, 2015)

| |  |  |
|----------------|---|---|
| -20 kPa | 140 N | 140 N |
| -50 kPa | 350 N | 208 N |
| -60 kPa | 420 N | 250 N |
| -90 kPa | 560 N | 400 N |

Deze zuignappen zullen de aluminium plaat horizontaal moeten kunnen transporteren. We zullen dus moeten nagaan of deze krachtig genoeg zijn om de wrijvingskracht tussen twee platen te overbruggen.

De vacuümejector genereert een onderdruk van 50 kPa en één zuignap heeft dus een opwaartse kracht van 350 N.



Figuur 13.7: Krachtwerking op de bovenste aluminium plaat

Uit de krachten volgens de y-as halen we:

$$+\uparrow \sum F_y = m \cdot \vec{a} = 0$$
$$F_{TH} = F_G = m \cdot g$$

Uit de krachten volgens de x-as halen we:

$$\vec{+} \sum F_x = m \cdot \vec{a}$$

$$F_w = F_{TH} \cdot \mu$$

$$F - F_w = m \cdot a$$

$$F = 40 \cdot 0,5 + 40 \cdot 9,81 \cdot 1,3 = 530 \text{ N}$$

Houden we rekening met een veiligheidsfactor van $S=1,5$:

$$F = 1,5 \cdot 530 = 795 \text{ N}$$

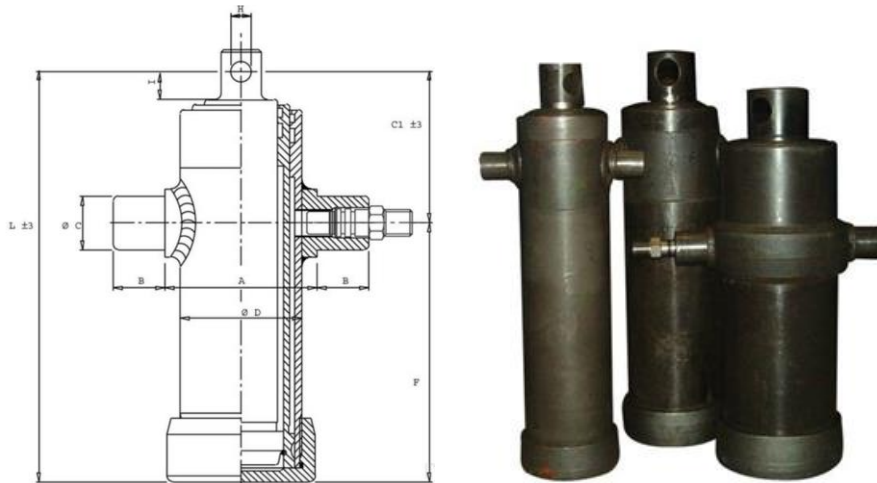
Vier zuignappen van dit type zorgen volgens tabel 13.5 voor een maximale zijdelingse kracht van **833 N** en zijn dus krachtig genoeg om een aluminium plaat horizontaal te transporteren.

14 Vormgevende fase

14.1 Onderdelen

Telescoopcilinder

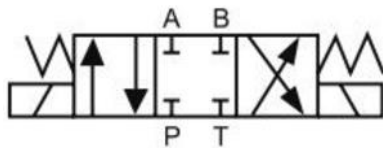
De hydraulische tweetraps telescoopcilinders die we gebruiken kunnen bij 180 bar een kracht leveren van 5,2 ton per cilinder.



Figuur 14.1: Hydraulische tweetraps telescoopcilinder (Halvewerk, 2015)

Ze hebben een inbouw lengte van ongeveer 415 mm. De breedste diameter (vanonder) is gelijk aan 105 mm.

Het hydraulisch ventiel dat we nodig hebben om de dubbelwerkende telescoopcilinders in- en uit te sturen is een normaal gesloten bistabiel elektrisch 4/3-ventiel met gesloten middenstand. We gebruiken deze omwille van het veiligheidsaspect. Wanneer de stroom uitvalt, zal het ventiel in de gesloten middenstand blijven staan, waardoor de telescoopcilinders in hun positie blijven staan, zodat er geen onverwachte bewegingen gebeuren.



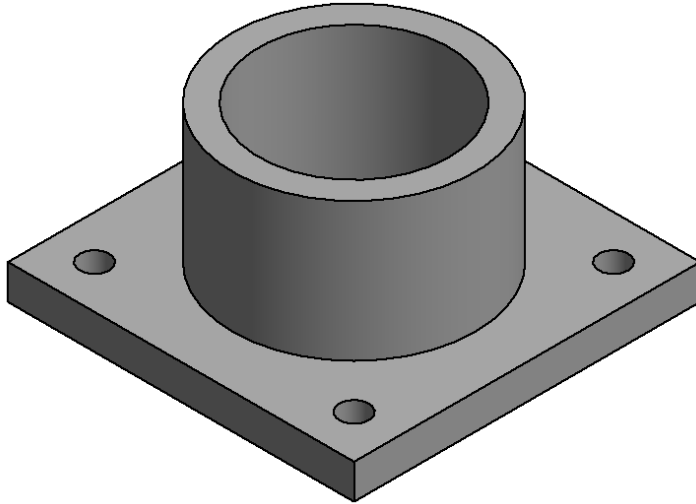
Figuur 14.2: Hydraulisch symbool van het ventiel



Figuur 14.3: Hydraulisch ventiel (Halvewerk, 2015)

Bevestiging van de cilinders

Om te verzekeren dat ze goed gepositioneerd staan onder de draagplaat, monteren we ze in een koker die met behulp van vier snelbouwankers (of keilbouten) in de vloer vastgebout kunnen worden, zoals de verticale HEB-profielen waaraan de manipulator bevestigd is. De technische tekening hiervan kan gevonden worden in bijlage I.



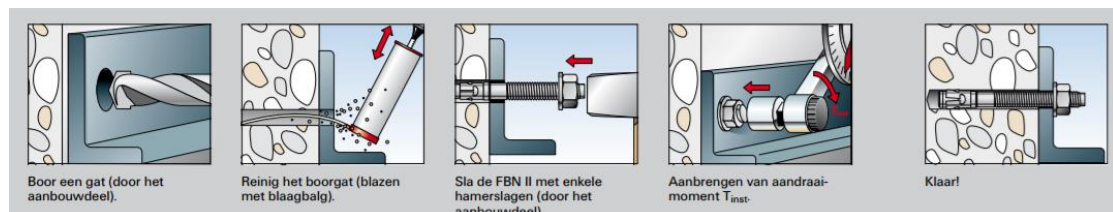
Figuur 14.4: Bevestigingsonderdeel van de cilinders

Keilbouten

De gebruikte snelbouwankers zijn van het type M16x145 mm. Een snelbouwanker of keilbout werkt volgens hetzelfde principe als een gewone plug. Eerst wordt er een gat geboord ter grootte van de dikte van de schacht. Vervolgens wordt de keilbout in het gat geplaatst. Door de ingebouwde bout aan te draaien, worden de delen in het gat gespreid zodat het geheel stevig vastgeklemd wordt. Daardoor zijn ze berekend op grote belastingen en ideaal voor deze toepassing.



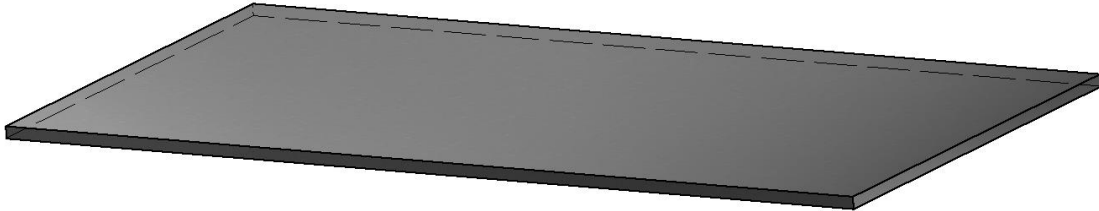
Figuur 14.5: Snelbouwanker Fischer M16x145 (Fischer, 2013)



Figuur 14.6: Montage van een keilbout (Fischer, 2013)

Draagplaat

Op de stalen draagplaat van 1000 x 1900 mm hebben we een stressanalyse uitgevoerd en hieruit hebben we een dikte van 25 mm bepaald.



Figuur 14.7: Draagplaat

Tegenhouders

De onderdelen die tijdens de horizontale manipulatie van de bovenste plaat de andere platen moeten tegenhouden, zijn twee HEB-120 profielen die net zoals de verticale HEB-120 profielen van de manipulator met keilbouten gemonteerd zijn.



Figuur 14.8: HEB-120 profiel

Sensoren

De inductieve sensoren die gebruikt worden om de aanwezigheid van de bovenste en tweede plaat te detecteren, zijn het NBB20-U10-E2-model van het merk Pepperl+Fuchs met een werkingsafstand van 20 mm.



Figuur 14.9: Pepperl+Fuchs NBB20-U10 (Pepperl+Fuchs, 2017)

Samenvatting

Tabel 14.1: Samenvattende tabel van benodigde onderdelen

| Onderdeel | Benaming | Prijs |
|---|---|-------------|
| Telescoopcilinder | PTM tweetraps telescoopcilinder 595mm | 4 x €209,99 |
| https://www.halvewerk.nl/tweetraps_telescoopcilinder_595 | | |
| 4/3-ventiel | NG 10 stuurschuif 4/3 RH06011 | €169,99 |
| https://www.halvewerk.nl/Webwinkel-Product-122455859/NG-10-stuurschuif-4-3-RH06011.html | | |
| HEB profiel | HEB 120-profiel lengte: 2500mm | €70,15 |
| http://www.limtrade.nl/heb-120 | | |
| Draagplaat | Staalplaat 2000x1000x25 | €350,84 |
| http://www.limtrade.nl/wgw-plaat-2000x1000 | | |
| Keilbout | Fischer snelbouwanker M16x145mm (20st.) | €15,56 |
| https://www.bol.com/nl/p/fischer-snelbouwanker-fbn-ii-m16-x-145mm-16-25/9200000010957852/ | | |
| TOTAAL | | € |

14.2 Hydraulisch schema

Voor de uitgangen van de twee sensoren kunnen we een waarheidstabel opstellen met de acties die vervolgens moeten uitgevoerd worden. Dit helpt ons bij het samenstellen van het hydraulisch schema:

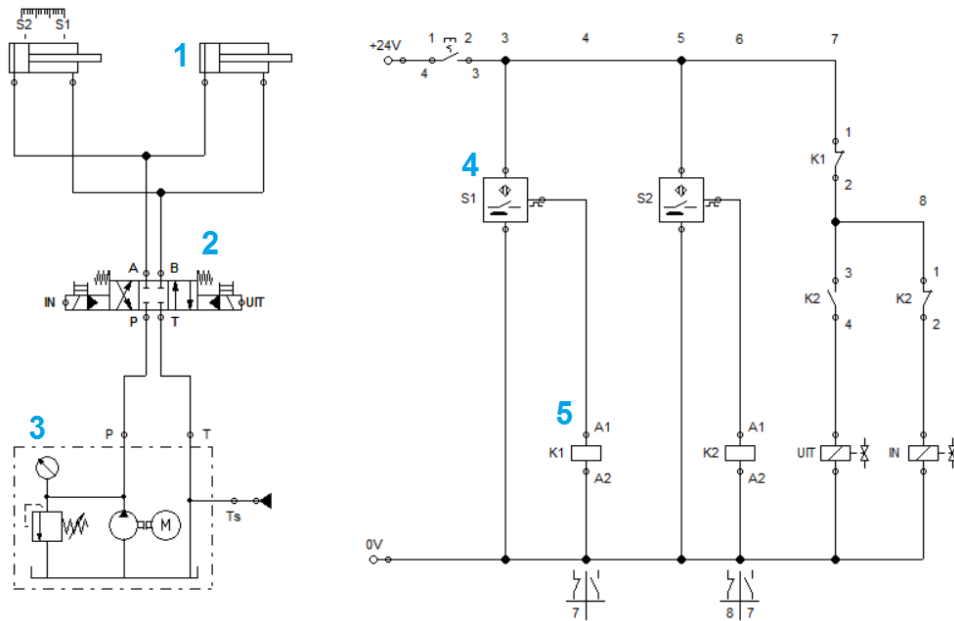
Tabel 14.2: Waarheidstabel sensoren

| Sensor 1 | Sensor 2 | Actie |
|----------|----------|----------------------------------|
| 0 | 0 | De stapel moet naar beneden gaan |
| 0 | 1 | De stapel moet omhoog gaan |
| 1 | 0 | Onmogelijk/foutmelding |
| 1 | 1 | De stapel moet blijven staan |

Met: Sensor 1 – de sensor die detecteert of de bovenste plaat goed ligt
 Sensor 2 – de sensor die detecteert of er een plaat aanwezig is

Verder moet het schema ook voorzien zijn op een spanningsuitval. In dit geval zal de stapel in zijn positie moeten blijven staan.

Het hydraulisch schema hieronder werd samengesteld met de software FluidSIM:

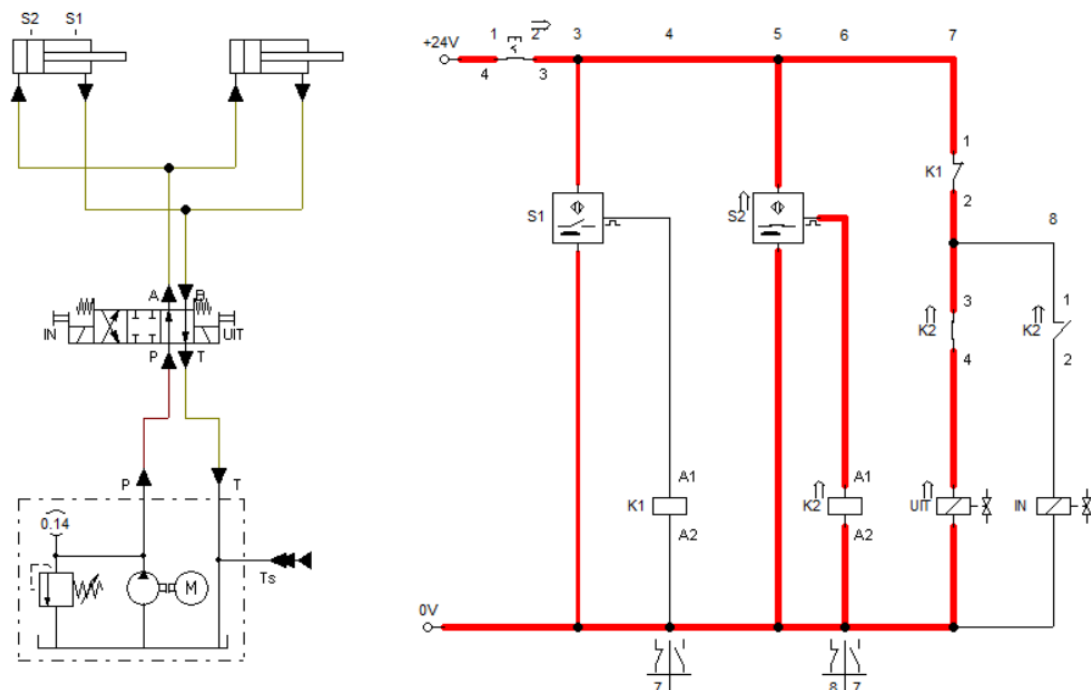


Figuur 14.10: Hydraulisch schema van het herontwerp

Voor de duidelijkheid zijn er slechts twee cilinders getekend i.p.v. vier (1). Het hydraulisch 4/3-ventiel dat elektrisch omgeschakeld kan worden (2) wordt gevoed door de hydraulische pomp-unit (3).

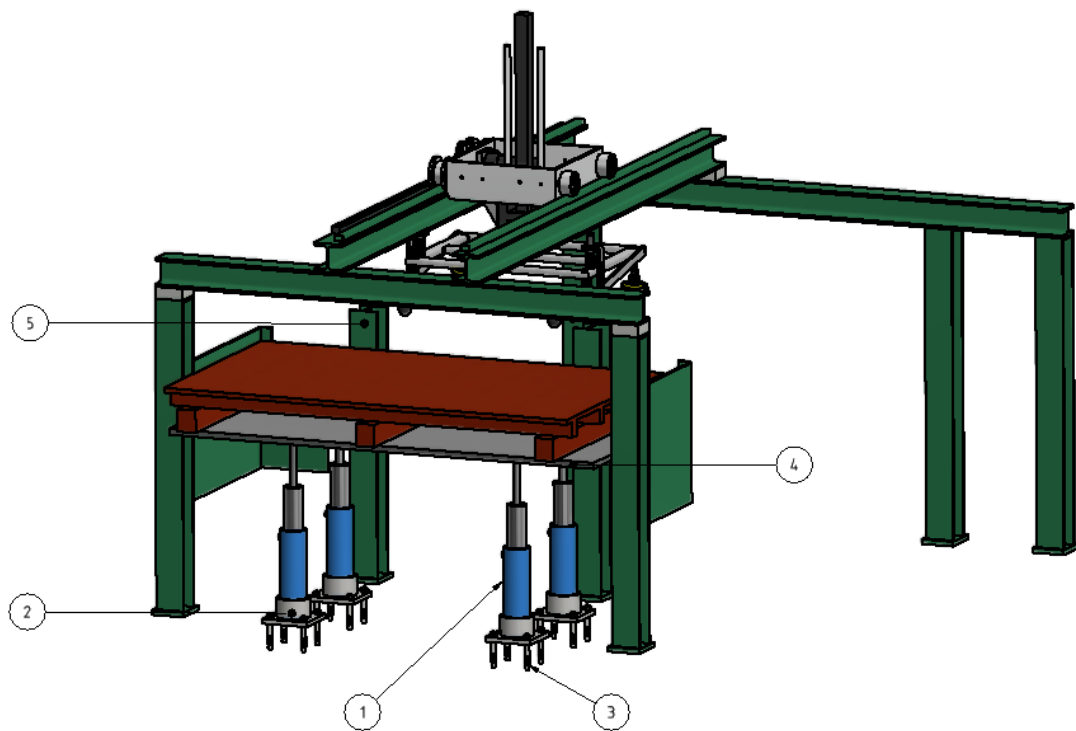
(4) is een schematische voorstelling van een inductieve sensor en (5) noemt men een contactor.

Indien sensor 1 detecteert dat de bovenste plaat nog niet goed gepositioneerd is en sensor 2 aangeeft dat er nog platen aanwezig zijn op de draagplaat, dan zal het ventiel omschakelen en krijgen we dus volgende situatie:



Figuur 14.11: Uitgaan van de telescoopcilinders

14.3 Visuele voorstelling van het herontwerp



Tabel 14.3: Onderdelen van het herontwerp

| Nummer | Onderdeel |
|--------|---------------------------------|
| 1 | PTM tweetraps telescoopcilinder |
| 2 | Bevestiging cilinder |
| 3 | Keilbout |
| 4 | Draagplaat |
| 5 | Tegenhouder |

Besluit

Deel I:

Hoewel het onderzoek en de aanpassingen aan de pons niet rechtstreeks geleid hebben tot een geluidsvermindering, hebben we toch meer inzicht gekregen in de oorzaak van het probleem. Indien dit in de toekomst verder onderzocht wordt, is de kans op het vinden van een oplossing groot. Door het groter maken van de gaten in de oude snijplaat is deze terug bruikbaar geworden, met als bijkomend voordeel dat de levensduur van de ponsstempels nu verlengd is.

Een vervolgonderzoek zou kunnen zijn om de opspanplaat van de pons te hertekenen en alle gaten te herpositioneren, om extra plaats te voorzien om nog meer stempelveren te kunnen monteren. Dit zou echter niet de ideale oplossing zijn, aangezien men dan tot 20 veren moet monteren om een neerhouderkracht van 25% van de ponskracht te benaderen. Een betere optie is om te onderzoeken of men een alternatieve afstroper zou kunnen integreren die werkt op basis van hydraulische cilinders die de aluminium plaat naar beneden gedrukt houden.

Men zou ook de pons aan kunnen passen, zodat niet alle gaten in één stap geponst worden.

Ook kan men onderzoeken of alle 17 gaten wel noodzakelijk zijn voor een goede werking van een kathode. Indien dit geen probleem vormt, kunnen er enkele stempels verwijderd worden en wordt het geluidsprobleem van de pons opgelost.

Deel II:

Na een grondige analyse van het probleem in deel twee en het afwegen van de voor- en nadelen van verschillende sensoren, hebben we een relatief eenvoudige oplossing kunnen uitwerken zonder ingrijpende veranderingen aan de machines of de sturing. Met behulp van een optische sensor is het mogelijk om de aanwezigheid van een tweede plaat te detecteren en vervolgens een persluchtblazer aan te sturen om deze plaat los te blazen. Hierdoor worden alle gevaren en verliezen die verbonden zijn aan het grijpen van meerdere platen uitgesloten.

Deel III:

In deel drie hebben we de aanzet gegeven voor een herontwerp van het aanvoersysteem dat door het toepassen van andere grijpstrategie het grijpen van meerdere platen onmogelijk maakt. Bijkomend voordeel hierbij is dat het verweven van papier tussen de aluminium platen door het bedrijf AMAG niet meer noodzakelijk is voor de bedrijfszekerheid van de manipulator. Dit kan eventueel leiden tot een lagere kostprijs van de palletten met platen.

In de toekomst kan dit herontwerp zeker verder onderzocht en verbeterd worden.

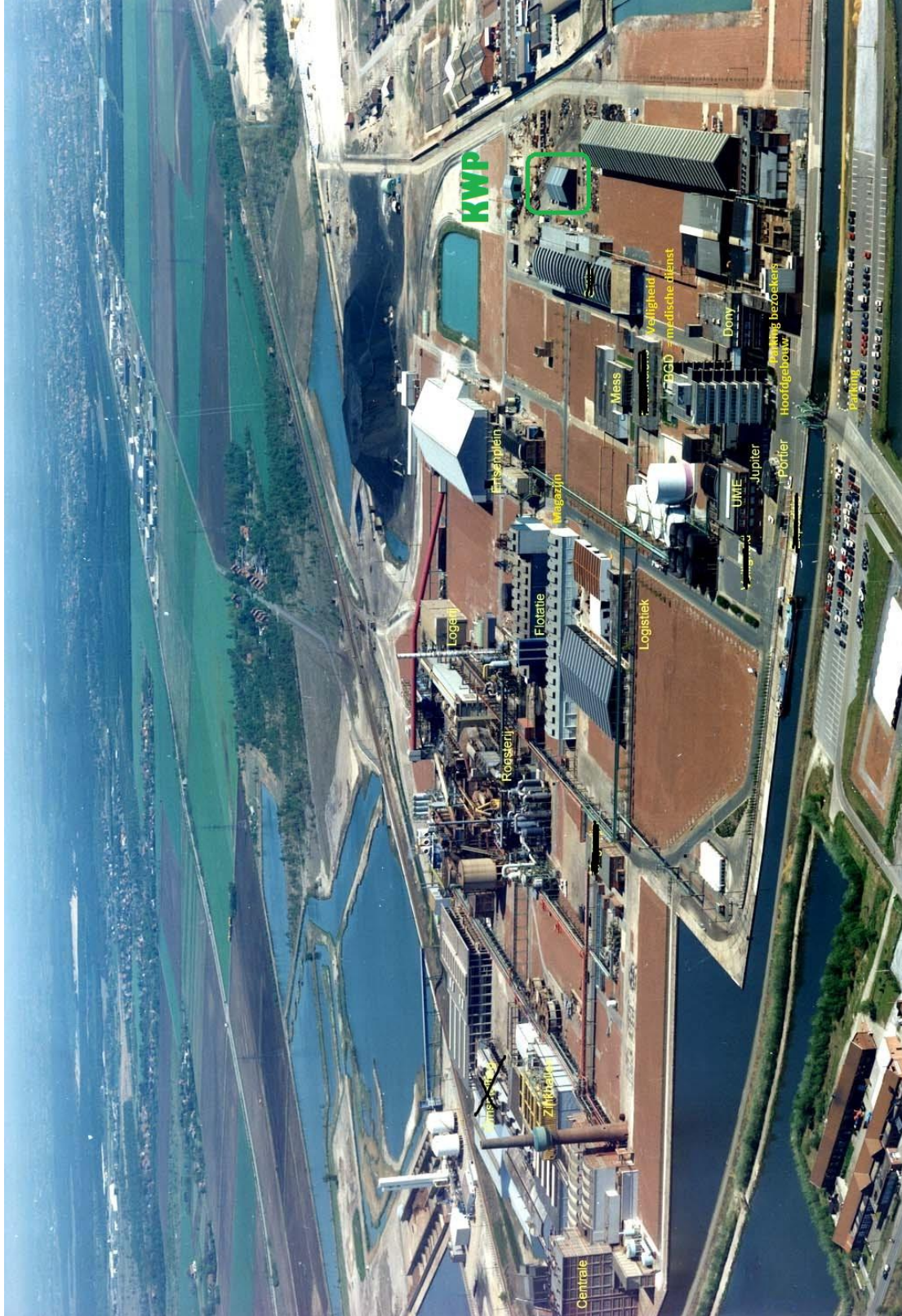
Literatuurlijst

- 3M . (2015). *PELTOR™ Tactical Oordoppen*. Opgehaald van 3M safety: http://solutions.3mnederland.nl/wps/portal/3M/nl_NL/PPE_SafetySolutions_EU/Safety/FeaturedProducts/HearingProtection/TEP100/
- Castrol. (sd). *ILOFORM PN 221*. Opgehaald van The lubricant Oracle Castrol: <https://thelubricantoracle.castrol.com/product/iloform-pn-221/industrial/en-NL>
- Century Spring corp. (2017). *Urethane springs*. Opgehaald van Century Spring: <http://www.centuryspring.com/urethane>
- Cuykens, B. (2014). *Fluidomechanika 1*. Thomas More.
- Dayton. (2003). *Stamping basics fundamentals & terminology*. Opgehaald van Dayton tech stamping: http://www.daytonlamina.com/tech/dayton_tech-stamping.pdf
- Dayton. (2017). *Dayton's Engineered Clearance*. Opgehaald van Daytonprogress: www.daytonprogress.com
- de Beer, J. (2006). *Methodisch ontwerpen*. Boom Uitgevers Amsterdam.
- Demey, M., & Ducatteeuw, F. (2013). *Quark*. De Boeck.
- Eriks bv. (2017). *Veersystemen*. Opgehaald van Eriks Schoonhoven: <http://www.elmeq.nl/typen/veer-elementen>
- Fischer. (2013). *Fischer snelbouwanker*. Opgehaald van Fischer: <http://www.fischer.nl>
- Gales, A., & de Nooij, M. (2004). Scheidingstechnieken voor dunne plaat en buis. *Tech-Info-blad*, 24.
- Goovaerts, L., De Bonte, M., Vercaemst, P., & Dijkmans, R. (2004). *Best beschikbare technieken voor de metaalverwerkende nijverheid*.
- Gutierrez-Miravete, E. (2009, november 17). *Friction and wear of materials chapter 4: Adhesion between contacting surfaces*. Opgehaald van RPI Hartford: <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/F2012/FWM/Notes/ch04.pdf>
- Halvewerk. (2015). *Telescoopcilinders*. Opgehaald van Halvewerk: https://www.halvewerk.nl/tweetraps_telescoopcilinder_595
- Hoge Raad voor Preventie en Bescherming op het werk. (2006). *Welzijn op het werk*. Opgehaald van FOD Werkgelegenheid, arbeid en overleg: <http://www.werk.belgie.be/defaultTab.aspx?id=609>
- Hughes, D. (2012). *Rocker arms*. Opgehaald van Hughesengines: <http://www.hughesengines.com/TechArticles/3rockerarms282007.php>
- Inspectie SZW. (2012). *Arbeidsrisico's in de metaalindustrie*. Rijksoverheid.
- Lascoe, O. D. (1988). *Handbook of Fabrication Processes*. ASM International.
- Lindholm, C. (2010). *Basic Punching Theory*. CLE Invest.
- MatePrecision Tooling. (2016, maart 16). Punching Holes with Optimal Die Clearance. Youtube.com, Amerika.
- Mparts bv. (2017). *Werking gasveer*. Opgehaald van mparts: <http://www.mparts.nl/mechanische-componenten/machine-elementen/gasveren/werking-gasveer>
- Noble Die. (2008). *Stripping spring units*. Opgehaald van Noble die: <https://www.nobledie.com/Products/Stripping-Spring-Units>
- Nyrstar. (2017). *Nyrstar*. Opgehaald van Nyrstar Balen/Overpelt: <http://www.nyrstarbalenoverpelt.be/>
- Pepperl+Fuchs. (2017). *Double sheet sensor*. Opgehaald van pepperl-fuchs: <http://www.pepperl-fuchs.be>
- PIAB. (2015). *Suction cups*. Opgehaald van piab: <https://www.piab.com/Products/suction-cups>

-
- Punch tools. (2017). *All about die springs*. Opgehaald van Punchtools:
http://www.punchtools.com/web_assets/pdfs/PDFKnowLibrary/diespring_pressure_formula.html
- Roland-electronics. (2017). *Roland-electronics*. Opgehaald van Double sheet detection: <http://www.roland-electronic.com/products/double-sheet-detection/single-side-systems/eagle-eye-aa/>
- Scaime. (2016). *Weighing load cells*. Opgehaald van Scaime: <http://www.nortelcoautomation.no/document-file9180?pid=Native-ContentFile-File>
- Shuldes, G. (2016, maart 2). *Sheet metal fabrication basics: 7 strategies for punching success*. Opgehaald van The fabricator: <http://www.thefabricator.com/article/punching/7-strategies-for-punching-success>
- SICK. (2016). *PinPoint overbrugt afstand tussen*. Opgehaald van SICK:
<https://www.sick.com/medias/PinPoint-technologie.pdf>
- SICK. (2017). *Reflexasters en sensoren*. Opgehaald van SICK: <https://www.sick.com/nl/nl/reflexasters-en-sensoren/reflexasters-en-sensoren/w12-3/>
- SMC. (2015). *Grijptechnologiën*.
- Sonus bv. (2015). *Weegcurven: A-, B-, C- en D-weging van niveaus*. Opgehaald van Sonus:
<https://www.sonus.nl/dutch/begrippen/toelichtingen/abcdweging.html>
- Unipunch. (2017). *Cluster tooling*. Opgehaald van Unipunch: <https://www.unipunch.com/System-Capabilities/Typical-Work-Done/Cluster-Tooling>
- Verenfabriek De Spiraal B.V. (2017). *Stempelveren*. Opgehaald van De Spiraal:
<http://www.despiraal.nl/product/stempelveren/>

Bijlagen

Bijlage A: Luchtfoto Nyrstar Balen



Bijlage B: Materiaaleigenschappen aluminium plaat

| 5005-H34 Aluminium | |
|--|---|
| 5005-H34 aluminium is a type of 5005 aluminium. It is furnished in the H34 temper. | |
| Material Properties | |
| Base Metal Price | 16 % rel |
| Brinell Hardness | 41 |
| Calomel Potential | -740 mV |
| Density | 2.7 g/cm ³ (170 lb/ft ³) |
| Elastic (Young's, Tensile) Modulus | 69 GPa (10 x 10 ⁶ psi) |
| Electrical Conductivity | 52 % IACS |
| Electrical Resistivity Order of Magnitude | -7 10 ⁸ Ω·m |
| Elongation at Break | 5.3 % |
| Melting Onset (Solidus) | 630 °C (1170 °F) |
| Modulus of Resilience (Unit Resilience) | 120 kJ/m ² |
| Poisson's Ratio | 0.33 |
| Shear Modulus | 26 GPa (3.8 x 10 ⁶ psi) |
| Shear Strength | 96 MPa (14 x 10 ³ psi) |
| Specific Heat Capacity | 900 J/kg·K |
| Strength to Weight Ratio | 59 kN·m/kg |
| Tensile Strength: Ultimate (UTS) | 160 MPa (23 x 10 ³ psi) |
| Tensile Strength: Yield (Proof) | 130 MPa (19 x 10 ³ psi) |
| Thermal Conductivity | 200 W/m·K |
| Thermal Diffusivity | 82 m ² /s |
| Thermal Expansion | 24 μm/m·K |
| Unit Rupture Work (Ultimate Resilience) | 8.0 MJ/m ² |

Alloy Composition

| | |
|----------------|--------------|
| Aluminum (Al) | 97 to 99.5 % |
| Magnesium (Mg) | 0.5 to 1.1 % |
| Iron (Fe) | 0 to 0.7 % |
| Silicon (Si) | 0 to 0.3 % |
| Zinc (Zn) | 0 to 0.25 % |
| Copper (Cu) | 0 to 0.2 % |
| Manganese (Mn) | 0 to 0.2 % |
| Residuals | 0 to 0.15 % |
| Chromium (Cr) | 0 to 0.1 % |

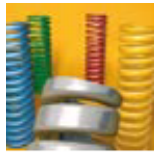
Bijlage C: Stempelveer DANLY

Sizes: 20 to 63 mm, Rectangular Wire Construction

Colour: Blue

| Hole Dia. mm | Rod Dia. mm | Free Length mm | CATALOGUE NUMBER | RATE Dekanewtons (daN) Required to Deflect 1 mm | LOAD - DEFLECTION TABLE | | | | | | | |
|--------------|----------------|----------------|------------------|---|---|---------------|--|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| | | | | | Total Deflection Recommended for Long Life (25% of C) | | Total Deflection Recommended for Average Life (30% of C) | | Maximum Operating Deflection (37.5% of C) | | Total Travel to Solid | |
| | | | | | Load daN | Deflection mm | Load daN | Deflection mm | Load daN | Deflection mm | Load daN | Deflection mm |
| A | B | C | | | | | | | | | | |
| 20 | 10 | 25 | 9 - 1204 - 210 | 9.03 | 56.4 | 6.3 | 67.7 | 7.5 | 84.7 | 9.4 | 99.3 | 11 |
| | | 32 | 9 - 1205 - 210 | 6.83 | 54.6 | 8.0 | 65.6 | 9.6 | 82.0 | 12 | 88.8 | 13 |
| | | 38 | 9 - 1206 - 210 | 5.51 | 52.3 | 9.5 | 62.8 | 11 | 78.5 | 14 | 88.2 | 16 |
| | | 44 | 9 - 1207 - 210 | 4.50 | 49.5 | 11 | 59.4 | 13 | 74.3 | 17 | 85.5 | 19 |
| | | 51 | 9 - 1208 - 210 | 3.89 | 49.6 | 13 | 59.5 | 15 | 74.4 | 19 | 81.7 | 21 |
| | | 64 | 9 - 1210 - 210 | 3.04 | 48.6 | 16 | 58.4 | 19 | 73.0 | 24 | 82.1 | 27 |
| | | 76 | 9 - 1212 - 210 | 2.48 | 47.1 | 19 | 56.5 | 23 | 70.7 | 29 | 81.8 | 33 |
| | | 89 | 9 - 1214 - 210 | 2.13 | 47.3 | 22 | 56.9 | 27 | 71.1 | 33 | 83.1 | 39 |
| | | 102 | 9 - 1216 - 210 | 1.86 | 47.4 | 26 | 56.8 | 31 | 71.0 | 38 | 81.7 | 44 |
| | | 115 | 9 - 1218 - 210 | 1.63 | 46.9 | 29 | 56.3 | 35 | 70.4 | 43 | 80.0 | 49 |
| | | 127 | 9 - 1220 - 210 | 1.47 | 46.7 | 32 | 56.0 | 38 | 70.0 | 48 | 80.9 | 55 |
| | | 140 | 9 - 1222 - 210 | 1.33 | 46.6 | 35 | 55.9 | 42 | 69.8 | 53 | 81.1 | 61 |
| | | 152 | 9 - 1224 - 210 | 1.20 | 45.6 | 38 | 54.7 | 46 | 68.4 | 57 | 79.2 | 66 |
| | | 305 | 9 - 1248 - 210 | 0.61 | 46.2 | 76 | 55.4 | 92 | 69.3 | 114 | 82.4 | 136 |
| 25 | 12.5 | 25 | 9 - 1604 - 210 | 15.1 | 94.2 | 6.3 | 113 | 7.5 | 141 | 9.4 | 166 | 11 |
| | | 32 | 9 - 1605 - 210 | 11.9 | 94.8 | 8.0 | 114 | 9.6 | 142 | 12 | 154 | 13 |
| | | 38 | 9 - 1606 - 210 | 9.34 | 88.7 | 9.5 | 106 | 11 | 133 | 14 | 149 | 16 |
| | | 44 | 9 - 1607 - 210 | 8.32 | 91.5 | 11 | 110 | 13 | 137 | 17 | 158 | 19 |
| | | 51 | 9 - 1608 - 210 | 6.89 | 87.8 | 13 | 105 | 15 | 132 | 19 | 145 | 21 |
| | | 64 | 9 - 1610 - 210 | 5.32 | 85.1 | 16 | 102 | 19 | 128 | 24 | 144 | 27 |
| | | 76 | 9 - 1612 - 210 | 4.33 | 82.3 | 19 | 98.7 | 23 | 123 | 29 | 143 | 33 |
| | | 89 | 9 - 1614 - 210 | 3.80 | 84.6 | 22 | 101 | 27 | 127 | 33 | 148 | 39 |
| | | 102 | 9 - 1616 - 210 | 3.30 | 84.2 | 26 | 101 | 31 | 126 | 38 | 145 | 44 |
| | | 115 | 9 - 1618 - 210 | 2.93 | 84.2 | 29 | 101 | 35 | 126 | 43 | 147 | 50 |
| | | 127 | 9 - 1620 - 210 | 2.64 | 83.8 | 32 | 101 | 38 | 126 | 48 | 148 | 56 |
| | | 140 | 9 - 1622 - 210 | 2.38 | 83.3 | 35 | 100 | 42 | 125 | 53 | 150 | 63 |
| | | 152 | 9 - 1624 - 210 | 2.18 | 82.8 | 38 | 99.4 | 46 | 124 | 57 | 146 | 67 |
| | | 178 | 9 - 1628 - 210 | 1.85 | 82.3 | 45 | 98.8 | 53 | 123 | 67 | 146 | 79 |
| 203 | 9 - 1632 - 210 | 1.60 | 81.0 | 51 | 97.2 | 61 | 121 | 76 | 144 | 90 | | |
| 305 | 9 - 1648 - 210 | 1.05 | 79.7 | 76 | 95.7 | 92 | 120 | 114 | 141 | 135 | | |

Bijlage E: Stempelveer met diameter 25 mm



STEMPELVEREN

ISO 10243

| Kracht-klasse | A | B | L ₀ | c | F ₁ | s ₁ | F ₂ | s ₂ | F ₃ | s ₃ | F _{st} | s _{st} | Cat. nr. |
|---------------|----|------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------|
| 1 | 25 | 12,5 | 25 | 100 | 630 | 6,3 | 750 | 7,5 | 1000 | 10 | 1190 | 11,9 | 5133 |
| 1 | 25 | 12,5 | 32 | 80,3 | 642 | 8 | 771 | 9,6 | 1028 | 12,8 | 1285 | 16 | 5134 |
| 1 | 25 | 12,5 | 38 | 62 | 589 | 9,5 | 707 | 11,4 | 942 | 15,2 | 1135 | 18,3 | 5135 |
| 1 | 25 | 12,5 | 44 | 52,9 | 582 | 11 | 698 | 13,2 | 931 | 17,6 | 1132 | 21,4 | 5136 |
| 1 | 25 | 12,5 | 51 | 44 | 563 | 12,8 | 673 | 15,3 | 898 | 20,4 | 1096 | 24,9 | 5137 |
| 1 | 25 | 12,5 | 64 | 35,2 | 563 | 16 | 676 | 19,2 | 901 | 25,6 | 1105 | 31,4 | 5138 |
| 1 | 25 | 12,5 | 76 | 28 | 532 | 19 | 638 | 22,8 | 851 | 30,4 | 1050 | 37,5 | 5139 |
| 1 | 25 | 12,5 | 89 | 24 | 535 | 22,3 | 641 | 26,7 | 854 | 35,6 | 1044 | 43,5 | 5140 |
| 1 | 25 | 12,5 | 102 | 21,1 | 538 | 25,5 | 646 | 30,6 | 861 | 40,8 | 1078 | 51,1 | 5141 |
| 1 | 25 | 12,5 | 115 | 18,7 | 539 | 28,8 | 645 | 34,5 | 860 | 46,0 | 1086 | 58,1 | 5142 |
| 1 | 25 | 12,5 | 127 | 16,7 | 531 | 31,8 | 636 | 38,1 | 848 | 50,8 | 1070 | 64,1 | 5143 |
| 1 | 25 | 12,5 | 140 | 15,3 | 536 | 35 | 643 | 42,0 | 857 | 56,0 | 1077 | 70,4 | 5144 |
| 1 | 25 | 12,5 | 152 | 14 | 532 | 38 | 638 | 45,6 | 851 | 60,8 | 1079 | 77,1 | 5145 |
| 1 | 25 | 12,5 | 178 | 12,5 | 556 | 44,5 | 668 | 53,4 | 890 | 71,2 | 1164 | 93,1 | 5146 |
| 1 | 25 | 12,5 | 203 | 10,4 | 528 | 50,8 | 633 | 60,9 | 844 | 81,2 | 1068 | 102,7 | 5147 |
| 1 | 25 | 12,5 | 305 | 7 | 534 | 76,3 | 641 | 91,5 | 854 | 122,0 | 1091 | 155,9 | 5148 |
| 2 | 25 | 12,5 | 25 | 147 | 926 | 6,3 | 1103 | 7,5 | 1382 | 9,4 | 1499 | 10,2 | 5229 |
| 2 | 25 | 12,5 | 32 | 118 | 944 | 8 | 1133 | 9,6 | 1416 | 12 | 1617 | 13,7 | 5230 |
| 2 | 25 | 12,5 | 38 | 93 | 884 | 9,5 | 1060 | 11,4 | 1330 | 14,3 | 1460 | 15,7 | 5231 |
| 2 | 25 | 12,5 | 44 | 80,8 | 889 | 11 | 1067 | 13,2 | 1333 | 16,5 | 1471 | 18,2 | 5232 |
| 2 | 25 | 12,5 | 51 | 68,6 | 878 | 12,8 | 1050 | 15,3 | 1310 | 19,1 | 1489 | 21,7 | 5233 |
| 2 | 25 | 12,5 | 64 | 53 | 848 | 16 | 1018 | 19,2 | 1272 | 24 | 1378 | 26 | 5234 |
| 2 | 25 | 12,5 | 76 | 43,2 | 821 | 19 | 985 | 22,8 | 1231 | 28,5 | 1395 | 32,3 | 5235 |
| 2 | 25 | 12,5 | 89 | 38,2 | 852 | 22,3 | 1020 | 26,7 | 1276 | 33,4 | 1452 | 38 | 5236 |
| 2 | 25 | 12,5 | 102 | 33 | 842 | 25,5 | 1010 | 30,6 | 1264 | 38,3 | 1419 | 43 | 5237 |
| 2 | 25 | 12,5 | 115 | 28 | 806 | 28,8 | 966 | 34,5 | 1207 | 43,1 | 1361 | 48,6 | 5238 |
| 2 | 25 | 12,5 | 127 | 25,9 | 824 | 31,8 | 987 | 38,1 | 1233 | 47,6 | 1391 | 53,7 | 5239 |
| 2 | 25 | 12,5 | 140 | 23,2 | 812 | 35 | 974 | 42 | 1218 | 52,5 | 1378 | 59,4 | 5240 |
| 2 | 25 | 12,5 | 152 | 20,8 | 790 | 38 | 948 | 45,6 | 1186 | 57 | 1327 | 63,8 | 5241 |
| 2 | 25 | 12,5 | 178 | 17,8 | 792 | 44,5 | 951 | 53,4 | 1189 | 66,8 | 1363 | 76,6 | 5242 |
| 2 | 25 | 12,5 | 203 | 15,8 | 803 | 50,8 | 962 | 60,9 | 1202 | 76,1 | 1397 | 88,4 | 5243 |
| 2 | 25 | 12,5 | 305 | 10,2 | 778 | 76,3 | 933 | 91,5 | 1167 | 114,4 | 1378 | 135,1 | 5244 |
| 3 | 25 | 12,5 | 25 | 364 | 1456 | 4 | 1929 | 5,3 | 2730 | 7,5 | 3094 | 8,5 | 5473 |
| 3 | 25 | 12,5 | 32 | 297 | 1901 | 6,4 | 2376 | 8 | 2851 | 9,6 | 3267 | 11 | 5326 |
| 3 | 25 | 12,5 | 38 | 219 | 1664 | 7,6 | 2081 | 9,5 | 2497 | 11,4 | 2759 | 12,6 | 5327 |
| 3 | 25 | 12,5 | 44 | 187 | 1646 | 8,8 | 2057 | 11 | 2468 | 13,2 | 2768 | 14,8 | 5328 |
| 3 | 25 | 12,5 | 51 | 156 | 1591 | 10,2 | 1997 | 12,8 | 2387 | 15,3 | 2792 | 17,9 | 5329 |
| 3 | 25 | 12,5 | 64 | 123 | 1574 | 12,8 | 1968 | 16 | 2362 | 19,2 | 2841 | 23,1 | 5330 |
| 3 | 25 | 12,5 | 76 | 99 | 1505 | 15,2 | 1881 | 19 | 2257 | 22,8 | 2604 | 26,3 | 5331 |
| 3 | 25 | 12,5 | 89 | 84 | 1495 | 17,8 | 1873 | 22,3 | 2243 | 26,7 | 2562 | 30,5 | 5332 |
| 3 | 25 | 12,5 | 102 | 73 | 1489 | 20,4 | 1862 | 25,5 | 2234 | 30,6 | 2723 | 37,3 | 5333 |
| 3 | 25 | 12,5 | 115 | 65 | 1495 | 23 | 1872 | 28,8 | 2243 | 34,5 | 2724 | 41,9 | 5334 |
| 3 | 25 | 12,5 | 127 | 57,7 | 1466 | 25,4 | 1835 | 31,8 | 2198 | 38,1 | 2666 | 46,2 | 5335 |
| 3 | 25 | 12,5 | 140 | 52,7 | 1476 | 28 | 1845 | 35 | 2213 | 42 | 2598 | 49,3 | 5336 |
| 3 | 25 | 12,5 | 152 | 47,8 | 1453 | 30,4 | 1816 | 38 | 2180 | 45,6 | 2662 | 55,7 | 5337 |
| 3 | 25 | 12,5 | 178 | 41 | 1460 | 35,6 | 1825 | 44,5 | 2189 | 53,4 | 2669 | 65,1 | 5338 |
| 3 | 25 | 12,5 | 203 | 35,8 | 1453 | 40,6 | 1819 | 50,8 | 2180 | 60,9 | 2667 | 74,5 | 5339 |
| 3 | 25 | 12,5 | 305 | 22,9 | 1397 | 61 | 1747 | 76,3 | 2095 | 91,5 | 2524 | 110,2 | 5340 |
| 4 | 25 | 12,5 | 37 | 381 | 1942 | 5,1 | 2652 | 6,7 | 3162 | 8,7 | 3505 | 9,7 | 5472 |
| 4 | 25 | 12,5 | 38 | 346 | 2249 | 6,5 | 2630 | 7,6 | 3287 | 9,5 | 4152 | 12 | 5423 |
| 4 | 25 | 12,5 | 44 | 294 | 1830 | 7,5 | 2147 | 8,6 | 2684 | 11 | 3514 | 14,4 | 5424 |
| 4 | 25 | 12,5 | 51 | 207,5 | 1805 | 8,7 | 2117 | 10,2 | 2656 | 12,8 | 3611 | 17,4 | 5425 |
| 4 | 25 | 12,5 | 64 | 161 | 1755 | 10,9 | 2061 | 12,8 | 2576 | 16 | 3445 | 21,4 | 5426 |

Bijlage F: Stempelveer met diameter 32

STEMPELVEREN

ISO 10243



| Kracht-klasse | A | B | L ₀ | c | F ₁ | s ₁ | F ₂ | s ₂ | F ₃ | s ₃ | F _{st} | s _{st} | Cat. nr. |
|---------------|----|----|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------|
| 1 | 32 | 16 | 38 | 94 | 893 | 9,5 | 1072 | 11,4 | 1429 | 15,2 | 1720 | 18,3 | 5149 |
| 1 | 32 | 16 | 44 | 79,5 | 875 | 11 | 1049 | 13,2 | 1399 | 17,6 | 1709 | 21,5 | 5150 |
| 1 | 32 | 16 | 51 | 67 | 858 | 12,8 | 1025 | 15,3 | 1367 | 20,4 | 1709 | 25,5 | 5151 |
| 1 | 32 | 16 | 64 | 53 | 848 | 16 | 1018 | 19,2 | 1357 | 25,6 | 1691 | 31,9 | 5152 |
| 1 | 32 | 16 | 76 | 44 | 836 | 19 | 1003 | 22,8 | 1338 | 30,4 | 1698 | 38,6 | 5153 |
| 1 | 32 | 16 | 89 | 37,2 | 830 | 22,3 | 993 | 26,7 | 1324 | 35,6 | 1730 | 46,5 | 5154 |
| 1 | 32 | 16 | 102 | 32 | 816 | 25,5 | 979 | 30,6 | 1306 | 40,8 | 1702 | 53,2 | 5155 |
| 1 | 32 | 16 | 115 | 29 | 835 | 28,8 | 1001 | 34,5 | 1334 | 46 | 1740 | 60 | 5156 |
| 1 | 32 | 16 | 127 | 25 | 795 | 31,8 | 953 | 38,1 | 1270 | 50,8 | 1668 | 66,7 | 5157 |
| 1 | 32 | 16 | 140 | 23 | 805 | 35 | 966 | 42,0 | 1288 | 56 | 1651 | 71,8 | 5158 |
| 1 | 32 | 16 | 152 | 21,5 | 817 | 38 | 980 | 45,6 | 1307 | 60,8 | 1688 | 78,5 | 5159 |
| 1 | 32 | 16 | 178 | 18,2 | 810 | 44,5 | 972 | 53,4 | 1296 | 71,2 | 1718 | 94,4 | 5160 |
| 1 | 32 | 16 | 203 | 15,8 | 803 | 50,8 | 962 | 60,9 | 1283 | 81,2 | 1692 | 107,1 | 5161 |
| 1 | 32 | 16 | 254 | 12,5 | 794 | 63,5 | 953 | 76,2 | 1270 | 101,6 | 1706 | 136,5 | 5162 |
| 1 | 32 | 16 | 305 | 10,3 | 786 | 76,3 | 942 | 91,5 | 1257 | 122 | 1676 | 162,7 | 5163 |
| 2 | 32 | 16 | 38 | 185 | 1758 | 9,5 | 2109 | 11,4 | 2646 | 14,3 | 3016 | 16,3 | 5245 |
| 2 | 32 | 16 | 44 | 158 | 1738 | 11 | 2086 | 13,2 | 2607 | 16,5 | 2986 | 18,9 | 5246 |
| 2 | 32 | 16 | 51 | 134 | 1715 | 12,8 | 2050 | 15,3 | 2559 | 19,1 | 3095 | 23,1 | 5247 |
| 2 | 32 | 16 | 64 | 99 | 1584 | 16 | 1901 | 19,2 | 2376 | 24 | 2822 | 28,5 | 5248 |
| 2 | 32 | 16 | 76 | 80,5 | 1530 | 19 | 1835 | 22,8 | 2294 | 28,5 | 2753 | 34,2 | 5249 |
| 2 | 32 | 16 | 89 | 69,1 | 1541 | 22,3 | 1845 | 26,7 | 2308 | 33,4 | 2792 | 40,4 | 5250 |
| 2 | 32 | 16 | 102 | 58,8 | 1499 | 25,5 | 1799 | 30,6 | 2252 | 38,3 | 2822 | 48 | 5251 |
| 2 | 32 | 16 | 115 | 51,5 | 1483 | 28,8 | 1777 | 34,5 | 2220 | 43,1 | 2796 | 54,3 | 5252 |
| 2 | 32 | 16 | 127 | 44,8 | 1425 | 31,8 | 1707 | 38,1 | 2132 | 47,6 | 2652 | 59,2 | 5253 |
| 2 | 32 | 16 | 140 | 42,3 | 1481 | 35 | 1777 | 42 | 2221 | 52,5 | 2762 | 65,3 | 5254 |
| 2 | 32 | 16 | 152 | 37,8 | 1436 | 38 | 1724 | 45,6 | 2155 | 57 | 2759 | 73 | 5255 |
| 2 | 32 | 16 | 178 | 32,5 | 1446 | 44,5 | 1736 | 53,4 | 2171 | 66,8 | 2746 | 84,5 | 5256 |
| 2 | 32 | 16 | 203 | 28,9 | 1468 | 50,8 | 1760 | 60,9 | 2199 | 76,1 | 2800 | 96,9 | 5257 |
| 2 | 32 | 16 | 254 | 21,4 | 1359 | 63,5 | 1631 | 76,2 | 2039 | 95,3 | 2587 | 120,9 | 5258 |
| 2 | 32 | 16 | 305 | 18,3 | 1396 | 76,3 | 1674 | 91,5 | 2094 | 114,4 | 2688 | 146,9 | 5259 |
| 3 | 32 | 16 | 38 | 388 | 2949 | 7,6 | 3686 | 9,5 | 4423 | 11,4 | 4850 | 12,5 | 5341 |
| 3 | 32 | 16 | 44 | 324 | 2851 | 8,8 | 3564 | 11 | 4277 | 13,2 | 4828 | 14,9 | 5342 |
| 3 | 32 | 16 | 51 | 272 | 2774 | 10,2 | 3482 | 12,8 | 4162 | 15,3 | 4842 | 17,8 | 5343 |
| 3 | 32 | 16 | 64 | 212 | 2714 | 12,8 | 3392 | 16 | 4070 | 19,2 | 4749 | 22,4 | 5344 |
| 3 | 32 | 16 | 76 | 172 | 2614 | 15,2 | 3268 | 19 | 3922 | 22,8 | 4489 | 26,1 | 5345 |
| 3 | 32 | 16 | 89 | 141 | 2510 | 17,8 | 3144 | 22,3 | 3765 | 26,7 | 4343 | 30,8 | 5346 |
| 3 | 32 | 16 | 102 | 122 | 2489 | 20,4 | 3111 | 25,5 | 3733 | 30,6 | 4490 | 36,8 | 5347 |
| 3 | 32 | 16 | 115 | 107 | 2461 | 23 | 3082 | 28,8 | 3692 | 34,5 | 4430 | 41,4 | 5348 |
| 3 | 32 | 16 | 127 | 93 | 2362 | 25,4 | 2957 | 31,8 | 3543 | 38,1 | 4129 | 44,4 | 5349 |
| 3 | 32 | 16 | 140 | 86 | 2408 | 28 | 3010 | 35 | 3612 | 42 | 4171 | 48,5 | 5350 |
| 3 | 32 | 16 | 152 | 78 | 2371 | 30,4 | 2964 | 38 | 3557 | 45,6 | 4274 | 54,8 | 5351 |
| 3 | 32 | 16 | 178 | 67,2 | 2392 | 35,6 | 2990 | 44,5 | 3588 | 53,4 | 4274 | 63,6 | 5352 |
| 3 | 32 | 16 | 203 | 59,1 | 2399 | 40,6 | 3002 | 50,8 | 3599 | 60,9 | 4285 | 72,5 | 5353 |
| 3 | 32 | 16 | 254 | 46,4 | 2357 | 50,8 | 2946 | 63,5 | 3536 | 76,2 | 4306 | 92,8 | 5354 |
| 3 | 32 | 16 | 305 | 38 | 2318 | 61 | 2899 | 76,3 | 3477 | 91,5 | 4248 | 111,8 | 5355 |
| 4 | 32 | 16 | 38 | 520 | 3172 | 6,1 | 4160 | 8 | 5148 | 9,9 | 5460 | 10,5 | 5436 |
| 4 | 32 | 16 | 44 | 424,4 | 3183 | 7,5 | 3735 | 8,8 | 4668 | 11 | 5814 | 13,7 | 5437 |

Bijlage G: Offerte SICK

Offerte



THOMAS MORE MECHELEN-
ANTWERPEN VZW
CAMPUS DE NAYER

Dhr. Wouter Brabers

JAN DE NAYERLAAN 5
2860 Sint-Katelijne-Waver

Datum : 28/04/2017

Onze referentie : 17/04/0604

Klantnummer : 2011119

Uw referentie : uw aanvraag van 28/04

:

Telefoonnummer : +32 1 5316944

Pagina : 1 / 2

Geachte heer Brabers

Wij danken u voor bovenvermelde prijsaanvraag en hebben het genoegen u hiermee onze prijzen en levertermijnen mee te delen voor:

| Pos. | Artikelnr. | Omschrijving | Aantal | Eenheids prijs | Netto eenheidsprijs | Totaal |
|------|------------|--|--------|-------------------|------------------------|----------|
| 1 | 1047850 | WTB12-3P2461S58 Reflex-taster met achtergrondonderdrukking -Special bereik: 30 .. 500mm (90% rem.), instelbaar instelling: potentiometer zender: LED, rood, Pin-point Uv: DC 10 -> 30 V uitgang: PNP, Q en Q/ (complementair) aansluiting: connector M12, 4-polig andere: metalen behuizing IP67, Tb= -40°C -> +60°C SPECIAL: voor transparante objecten http://www.sick.com/be/nl/1047850 | 1 | € 156,00 | € 156,00 | € 156,00 |
| | |  | | | | |
| 2 | 2016110 | QUICK CLAMP MOUNTING Bevestigingsbeugel met snelkoppeling Voor scanners CLV480, CLV/X490 http://www.sick.com/be/nl/2016110 | 1 | € 34,80 | € 34,80 | € 34,80 |
| | |  | | | | |

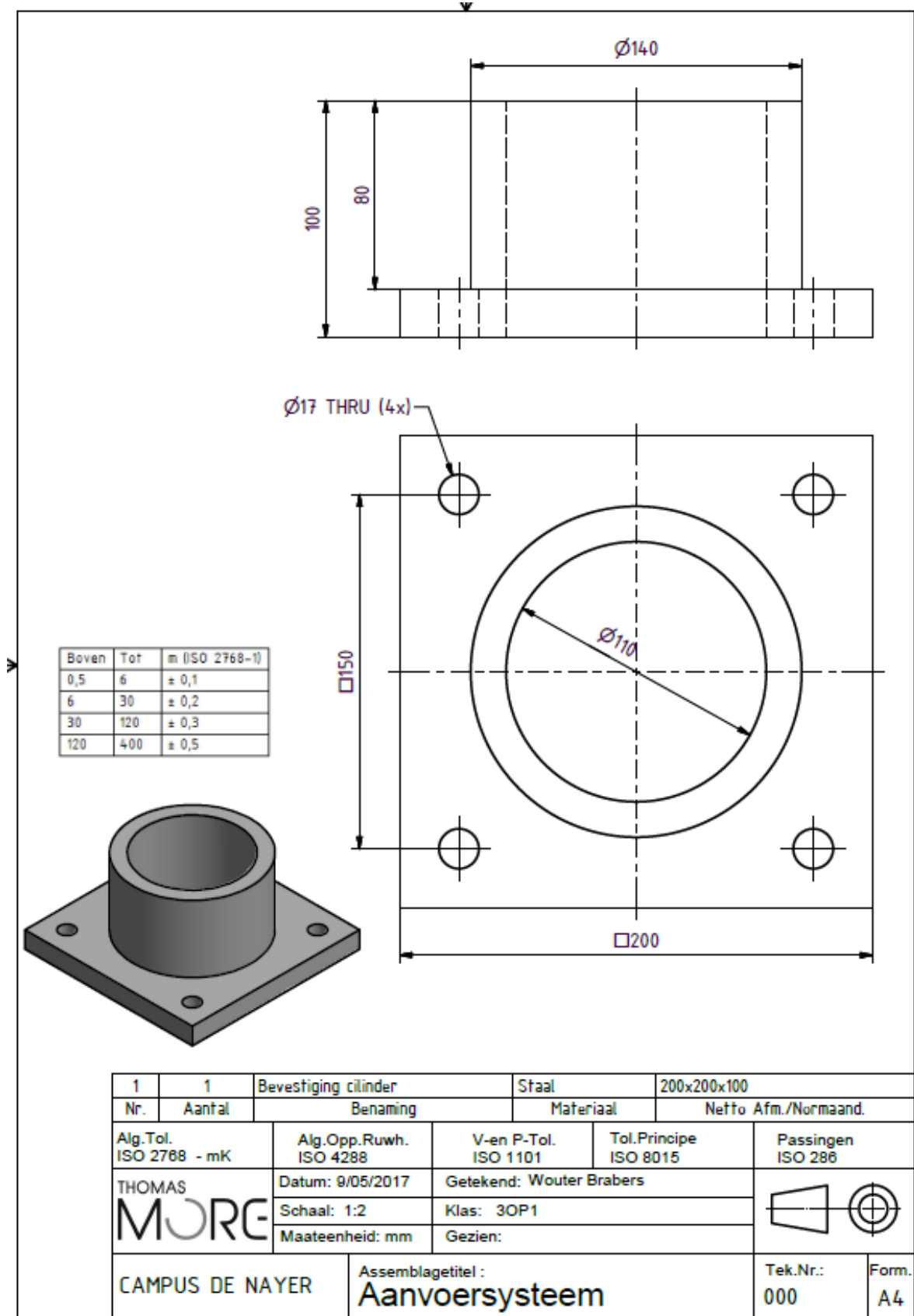
Bovenvermelde prijzen zijn speciale nettoprijzen
enkel van toepassing voor educatieve doeleinden.

Bijlage H: Technische tekening hijstap

| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |

| | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| 1 | 1 | Hijstap | Staal | Netto Afm./Normaand. | Ø50x65 |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Passingen ISO 286 | |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | | |
| THOMAS | Datum: 15/05/2017 | Getekend: Wouter Brabers | Klas: 30P1 | | |
| MORG | Schaal: 1:1 | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| | Assemblagetitel : Ponsmachine | | | | |
| CAMPUS DE NAYER | | | Tek.Nr.: 000 | Form. A4 | |

Bijlage I: Technische tekening bevestiging cilinder



Bijlage J: FMEA van het herontwerp

| nyrstar | | nyrstar | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--|---------------------------------|--|---|---|--------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|
| Resources for a changing world | | Resources for a changing world | | | | | | | | | | | | | |
| Naam: Wouter Brabers Opdeling: 30F groep 1 Onderwerp: Aanvoersysteem | | RPN 200 - RPN 100 - 199 RPN 1 - 99 | | | | | | | | | | | | | |
| Nr.: | PART | FUNCTIE | POTENTIAL FAILURE MODE | POTENTIAL CAUSES | POTENTIAL EFFECTS | DETECTION METHOD | SEV | OCC | DET | RPN | RECOMMENDED ACTION(S) | SEV | OCC | DET | RPN |
| 1 | Telescoopcilinder | Op- en neer bewegen van de stapel | LEKEN VASTZITTEN BREKEN | Inschatting levensduur/Overbelasting Onvoldoende smering/Slecht onderhouden Overbelasting / Foute dimensionering | Afnemende prestatie/Haperende werking Niet functioneren/Haperende werking Niet functioneren | Inspectie en onderhoud Prototype Sterkteberekening/datasheet | 5 8 10 | 3 4 2 | 4 4 2 | 60 128 40 | | 8 | 2 | 4 | 64 |
| 2 | Bevestigingsstuk | Bevestiging van de cilinders | VERVORMEN OXIDEREN BREKEN | Overbelasting / Foute dimensionering Slecht onderhouden/inschatting levensduur Overbelasting / Foute dimensionering | Niet stabiel/Haperende werking Slecht uitzicht Niet stabiel/Niet functioneren | Inspectie en onderhoud Corrosietest/Materiaaldatasheet Prototype | 3 2 5 | 2 3 1 | 4 3 4 | 24 18 36 | | | | | |
| 3 | Keilbouten RVS | Bevestigen van cilinders aan de grond | VERVORMEN BREKEN | Overbelasting / Foute dimensionering | Haperende werking/Niet functioneren Niet functioneren | Datasheet fabrikant Datasheet fabrikant | 7 8 | 4 3 | 3 3 | 84 72 | | | | | |
| 4 | Dragplaat | Dragend onderdeel voor de stapel | VERVORMEN OXIDEREN BREKEN | Overbelasting / Foute dimensionering Foutieve materiaalkeuze/Slecht onderhouden Overbelasting / Foute dimensionering | Niet stabiel/Haperende werking Slecht uitzicht Niet functioneren | Eindige elementen analyse Corrosietest/Materiaaldatasheet Eindige elementen analyse | 8 2 10 | 5 3 3 | 2 3 2 | 80 18 60 | | | | | |
| 5 | Tegenhouders | Tegenhouden van de stapel platen | VERVORMEN OXIDEREN BREKEN | Overbelasting / Foute dimensionering Foutieve materiaalkeuze Overbelasting / Foute dimensionering | Haperende werking Slecht uitzicht Niet functioneren | Sterkteberekening Corrosietest/Materiaaldatasheet Sterkteberekening | 5 2 10 | 5 3 2 | 3 3 3 | 75 18 60 | | | | | |



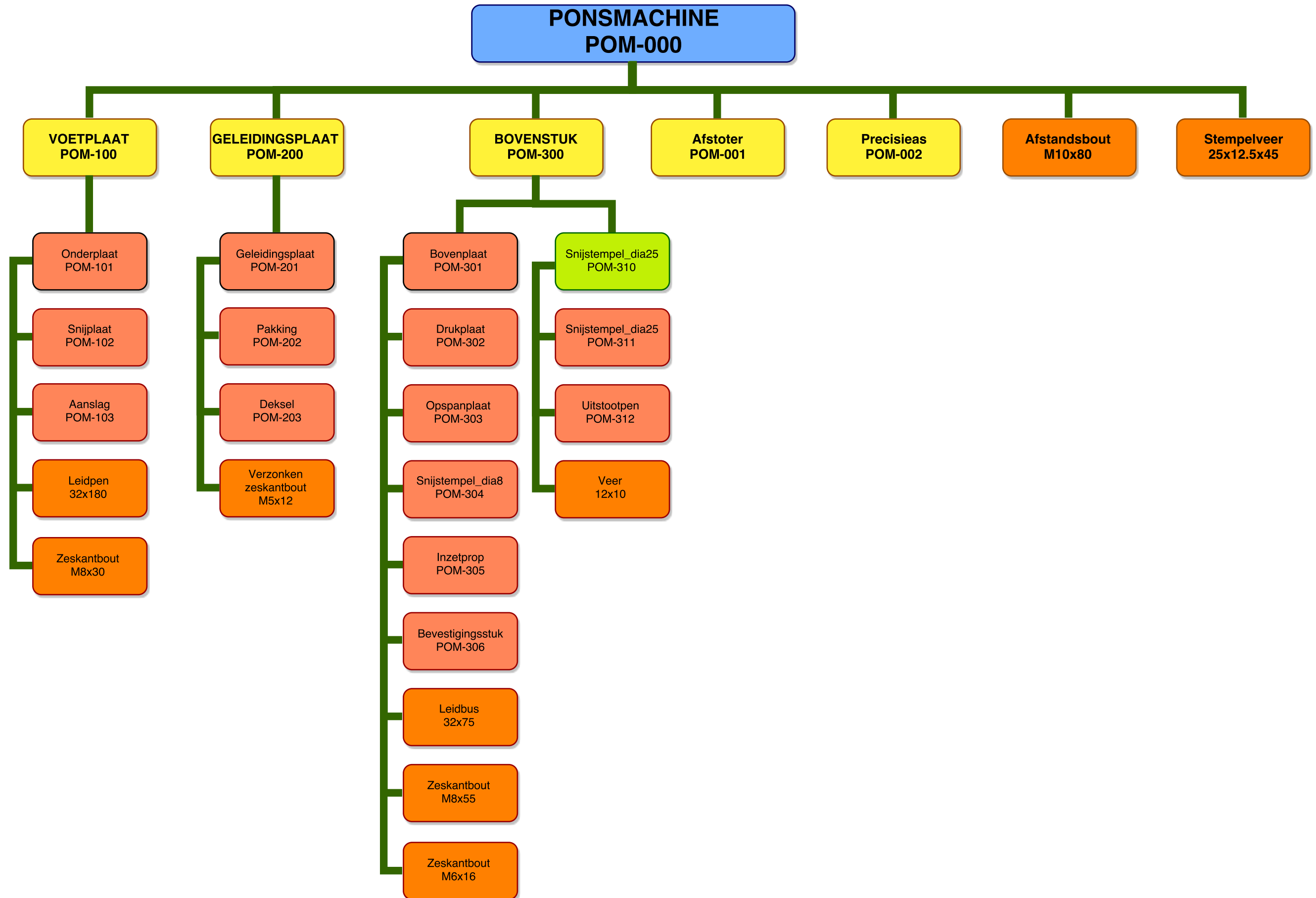
Design FMEA

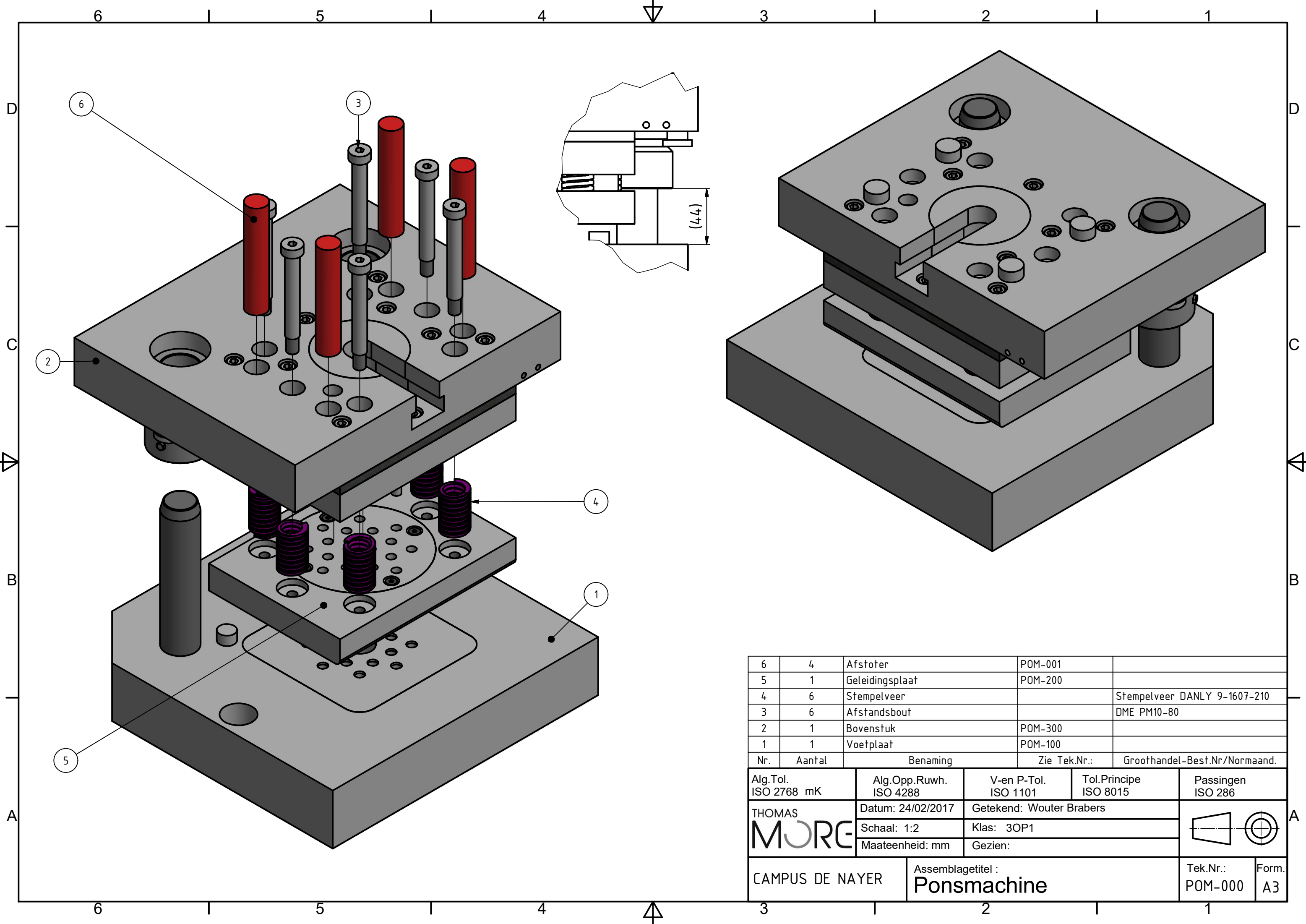
Resources for a changing world

Resources for a changing world

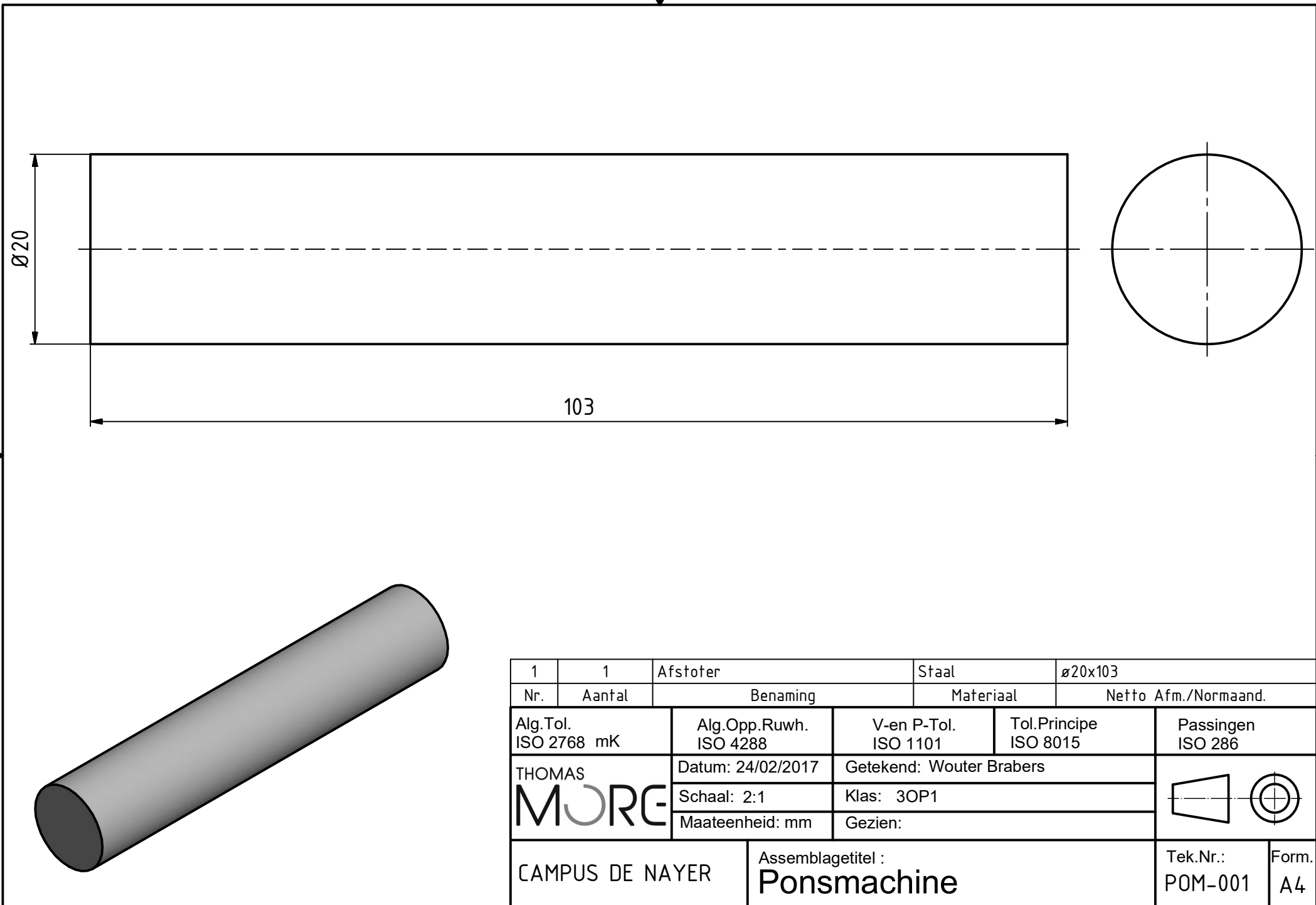
Bijlage K: Tekendossier van de pons

| | |
|----------------------------------|------------|
| Boomstructuur | 116 |
| POM-001 Afstoter | 117 |
| POM-002 Precisieas | 118 |
| POM-000 Ponsmachine | 119 |
| POM-100 Voetplaat | 120 |
| POM-101 Onderplaat | 121 |
| POM-102 Snijplaat | 122 |
| POM-103 Aanslag | 123 |
| POM-200 Geleidingsplaat | 124 |
| POM-201 Geleidingsplaat | 125 |
| POM-202 Pakking | 126 |
| POM-203 Deksel | 127 |
| POM-300 Bovenstuk | 128 |
| POM-301 Bovenplaat | 129 |
| POM-302 Drukplaat | 130 |
| POM-303 Opspanplaat | 131 |
| POM-304 Snijstempel_dia8 | 132 |
| POM-305 Inzetprop | 133 |
| POM-306 Bevestigingsstuk | 134 |
| <i>POM-310 Snijstempel_dia25</i> | <i>135</i> |
| POM-311 Snijstempel_dia25 | 136 |
| POM-312 Uitstootpen | 137 |

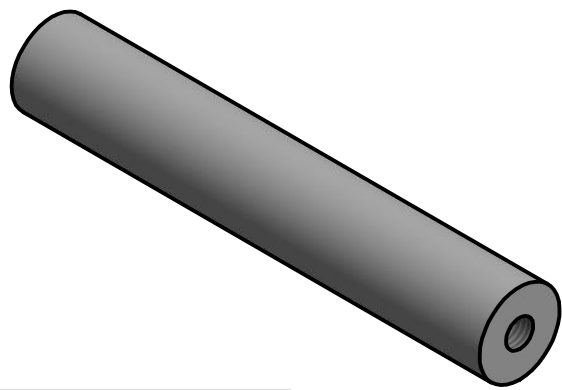
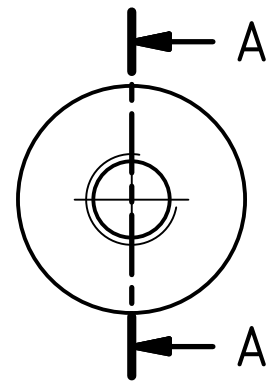
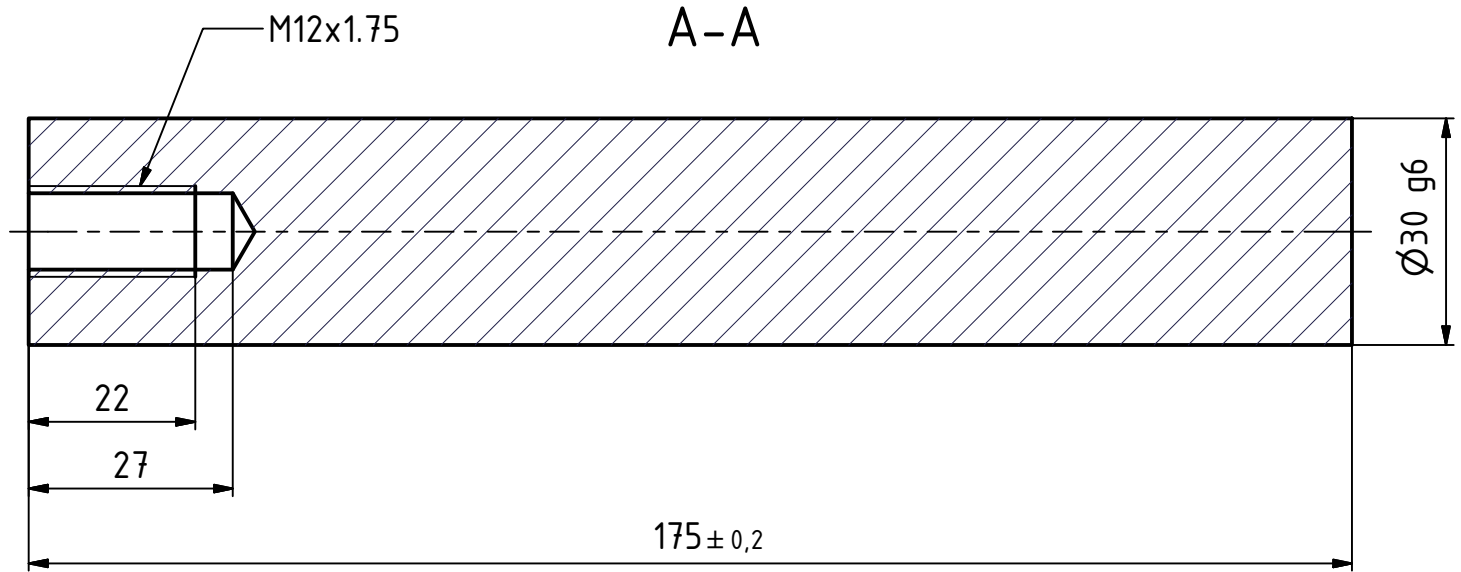




| | | | | |
|----------------------|--------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 6 | 4 | Afstoter | POM-001 | |
| 5 | 1 | Geleidingsplaat | POM-200 | |
| 4 | 6 | Stempelveer | | Stempelveer DANLY 9-1607-210 |
| 3 | 6 | Afstandsbout | | DME PM10-80 |
| 2 | 1 | Bovenstuk | POM-300 | |
| 1 | 1 | Voetplaat | POM-100 | |
| Nr. | Aantal | Benaming | Zie Tek.Nr.: | Groothandel-Best.Nr./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| MORE | | Schaal: 1:2 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | | Assemblagetitel : Ponsmachine | |
| | | | Tek.Nr.: POM-000 | Form. A3 |

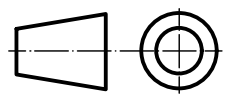


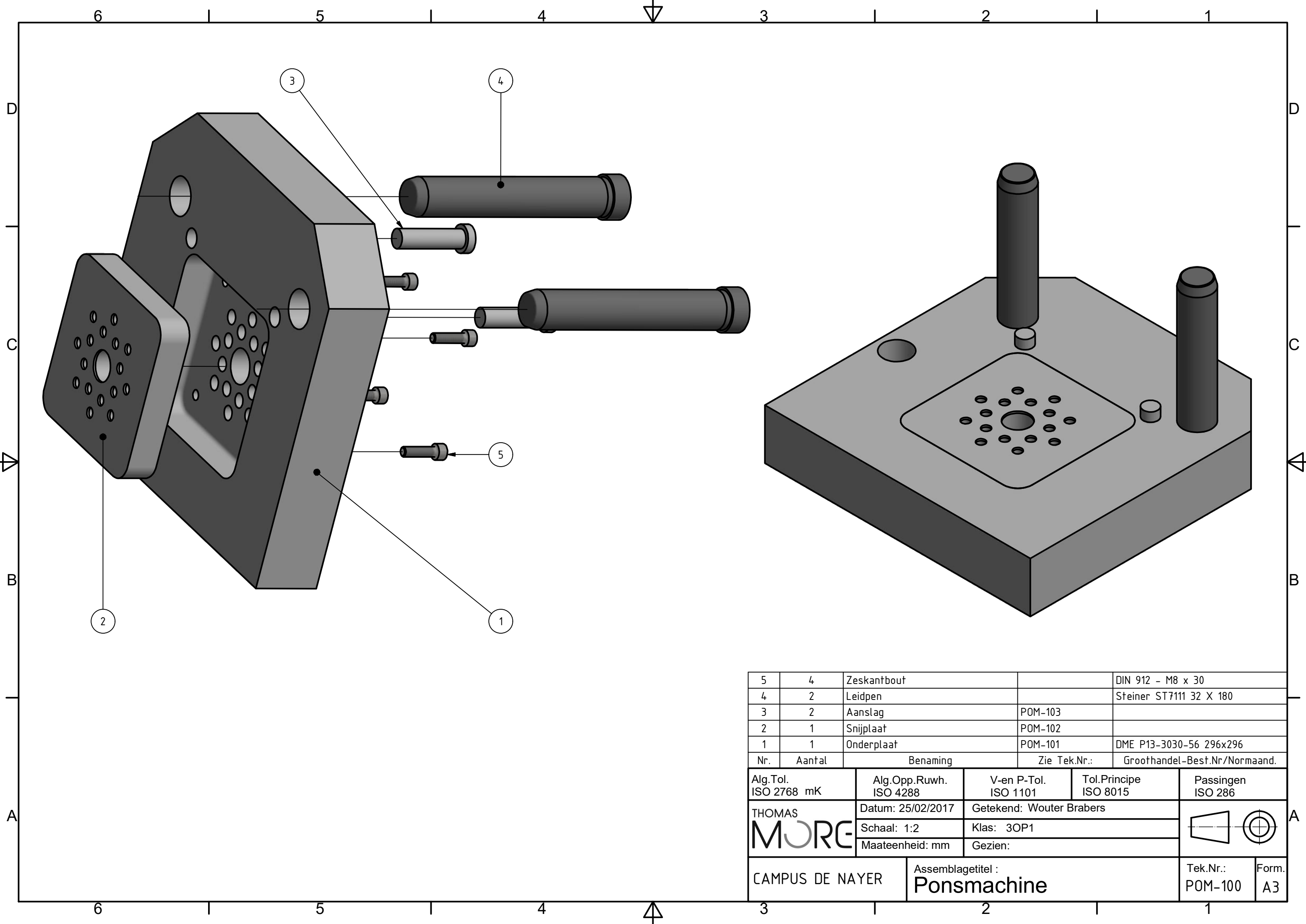
| | | | | | |
|-------------------------|--------|---------------------------|---|--------------------------|----------------------|
| 1 | 1 | Afstoter | Staal | ø20x103 | |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. | |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | Passingen ISO 286 |
| | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| | | Schaal: 2:1 | Klas: 3OP1 | | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| CAMPUS DE NAYER | | | Assemblagetitel : Ponsmachine | | Tek.Nr.: POM-001 |
| | | | | | Form. A4 |



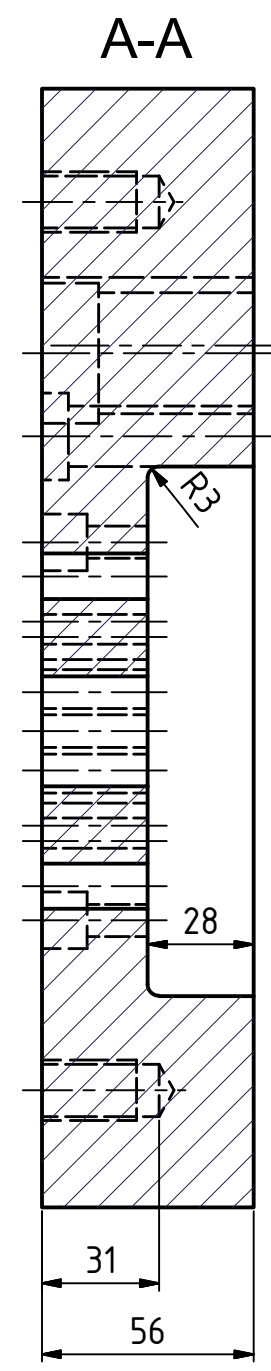
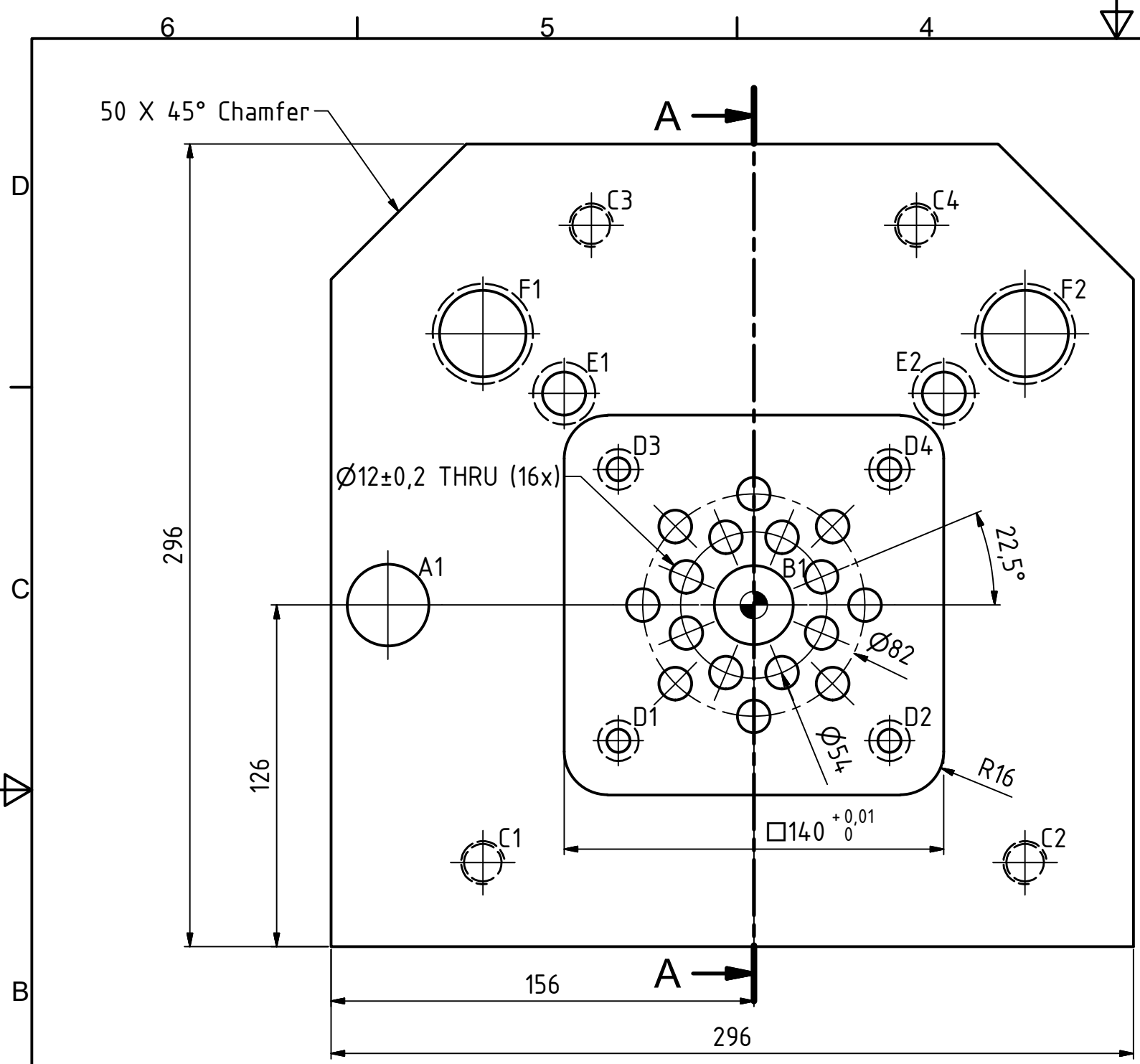
| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

| | | | | |
|-------------------------|--------|---------------------------|---|--------------------------|
| 1 | 1 | Precisieas | Staal | Ø30x175 |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| | | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | | Assemblagetitel : Ponsmachine | |
| | | | Tek.Nr.: POM-002 | Form. A4 |

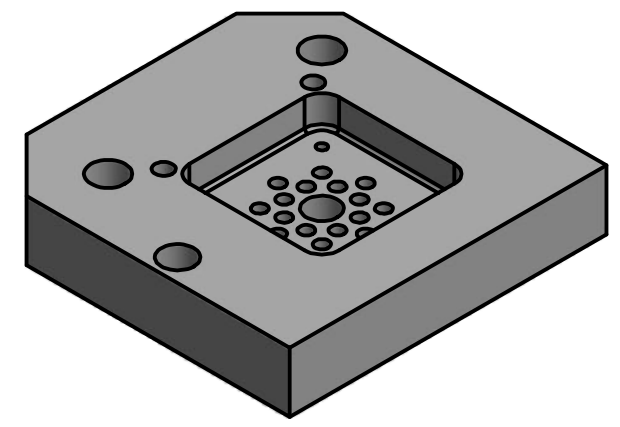




| | | | | | | |
|-------------------------|--------|---------------------------|---|--------------------------------|----------------------|-------------|
| 5 | 4 | Zeskantbout | | DIN 912 - M8 x 30 | | |
| 4 | 2 | Leidpen | | Steiner ST7111 32 X 180 | | |
| 3 | 2 | Aanslag | POM-103 | | | |
| 2 | 1 | Snijplaat | POM-102 | | | |
| 1 | 1 | Onderplaat | POM-101 | DME P13-3030-56 296x296 | | |
| Nr. | Aantal | Benaming | Zie Tek.Nr.: | Groothandel-Best.Nr./Normaand. | | |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | Passingen ISO 286 | |
| THOMAS MORE | | Datum: 25/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | | |
| | | Schaal: 1:2 | Klas: 3OP1 | | | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | | | |
| CAMPUS DE NAYER | | | Assemblagetitel : Ponsmachine | | Tek.Nr.: POM-100 | Form. A3 |

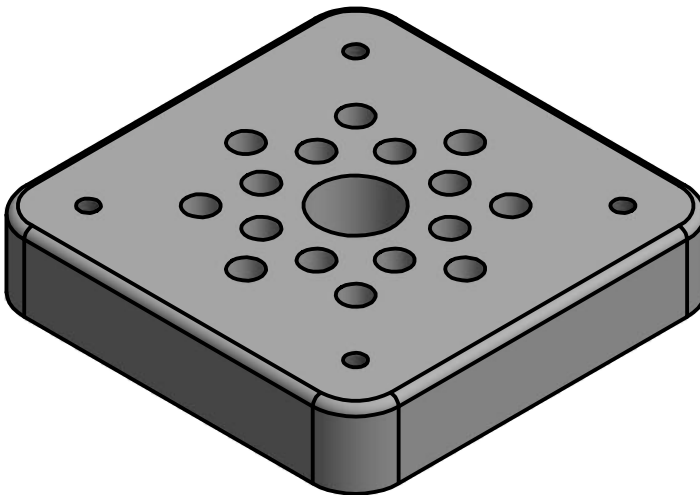
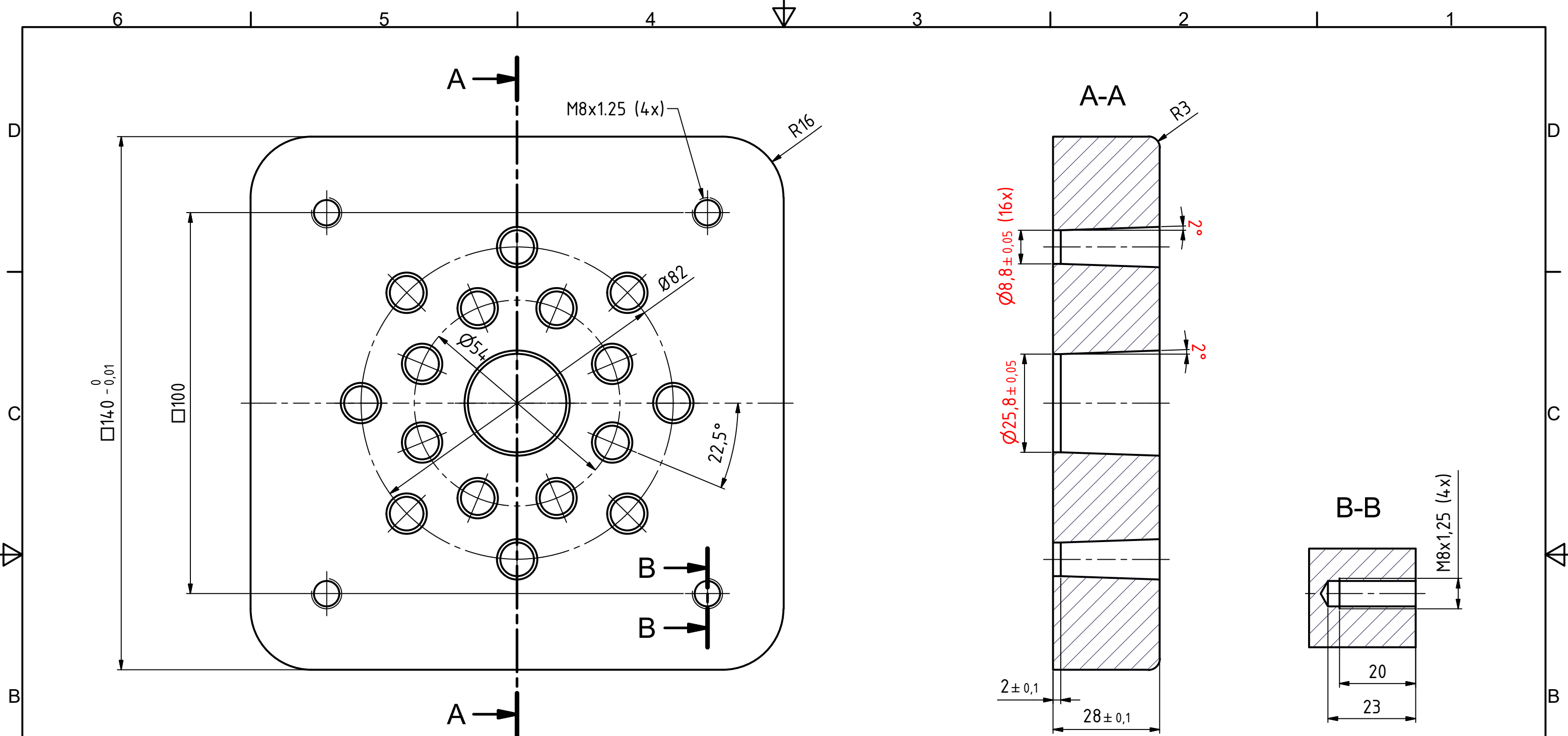


| Gatentabel | | | | |
|------------|------|------|------------|------------------------------|
| Gat | Xdim | Ydim | Tolerantie | Opmerking |
| A1 | -135 | 0 | ±0,1 | Ø30 H7 THRU |
| B1 | 0 | 0 | - | Ø29 THRU |
| C1 | -100 | -95 | ±0,1 | M16x2x25 |
| C2 | 100 | -95 | ±0,1 | M16x2x25 |
| C3 | -60 | 140 | ±0,1 | M16x2x25 |
| C4 | 60 | 140 | ±0,1 | M16x2x25 |
| D1 | -50 | -50 | ±0,1 | Ø8,5 THRU └─┬─┘ Ø15 ▽ 12 |
| D2 | 50 | -50 | ±0,1 | Ø8,5 THRU └─┬─┘ Ø15 ▽ 12 |
| D3 | -50 | 50 | ±0,1 | Ø8,5 THRU └─┬─┘ Ø15 ▽ 12 |
| D4 | 50 | 50 | ±0,1 | Ø8,5 THRU └─┬─┘ Ø15 ▽ 12 |
| E1 | -70 | 78 | ±0,1 | Ø16 H7 THRU └─┬─┘ Ø23 ▽ 7 |
| E2 | 70 | 78 | ±0,1 | Ø16 H7 THRU └─┬─┘ Ø23 ▽ 7 |
| F1 | -100 | 100 | ±0,01 | Ø32 THRU └─┬─┘ Ø37 ▽ 15 |
| F2 | 100 | 100 | ±0,01 | Ø32 THRU └─┬─┘ Ø37 ▽ 15 |



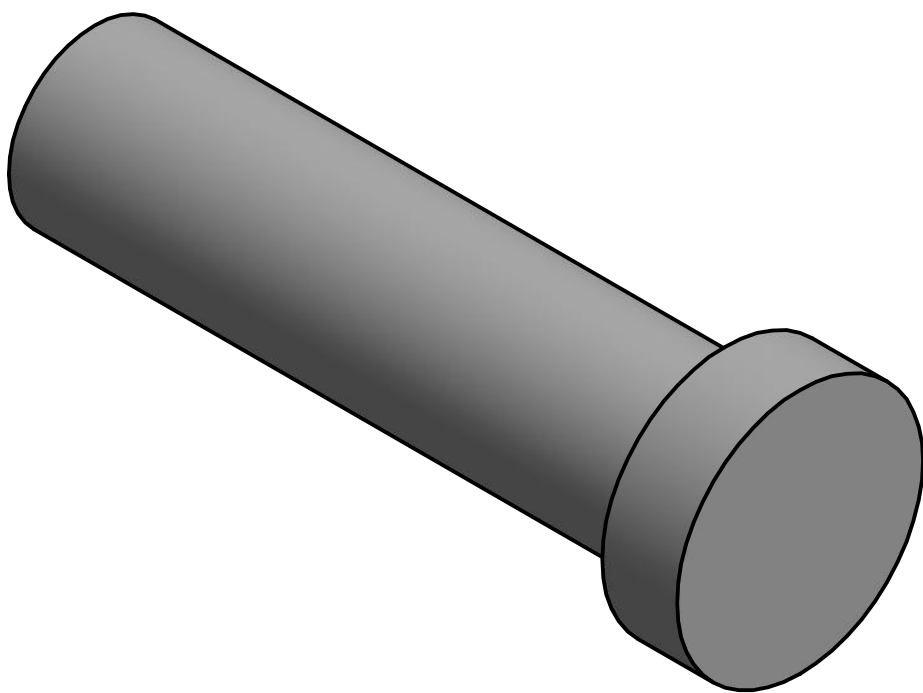
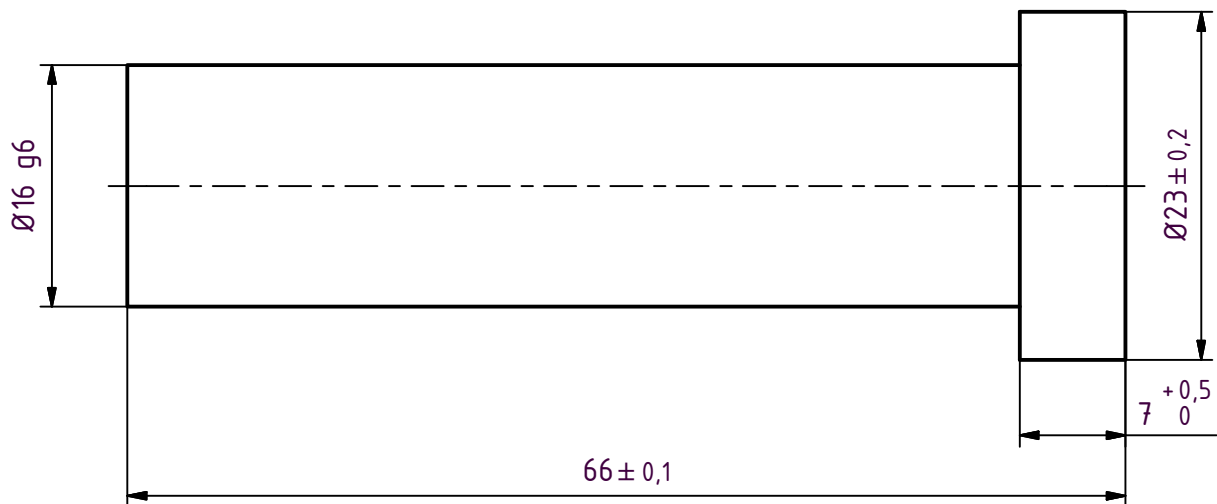
| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

| | | | | |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | 1 | Onderplaat | 1.1730 | 296x296x56 |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | Passingen ISO 286 |
| THOMAS MORE | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| | Schaal: 1:2 | Klas: 3OP1 | | |
| | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Voetplaat | | Tek.Nr.: POM-101 |
| | | | | Form. A3 |



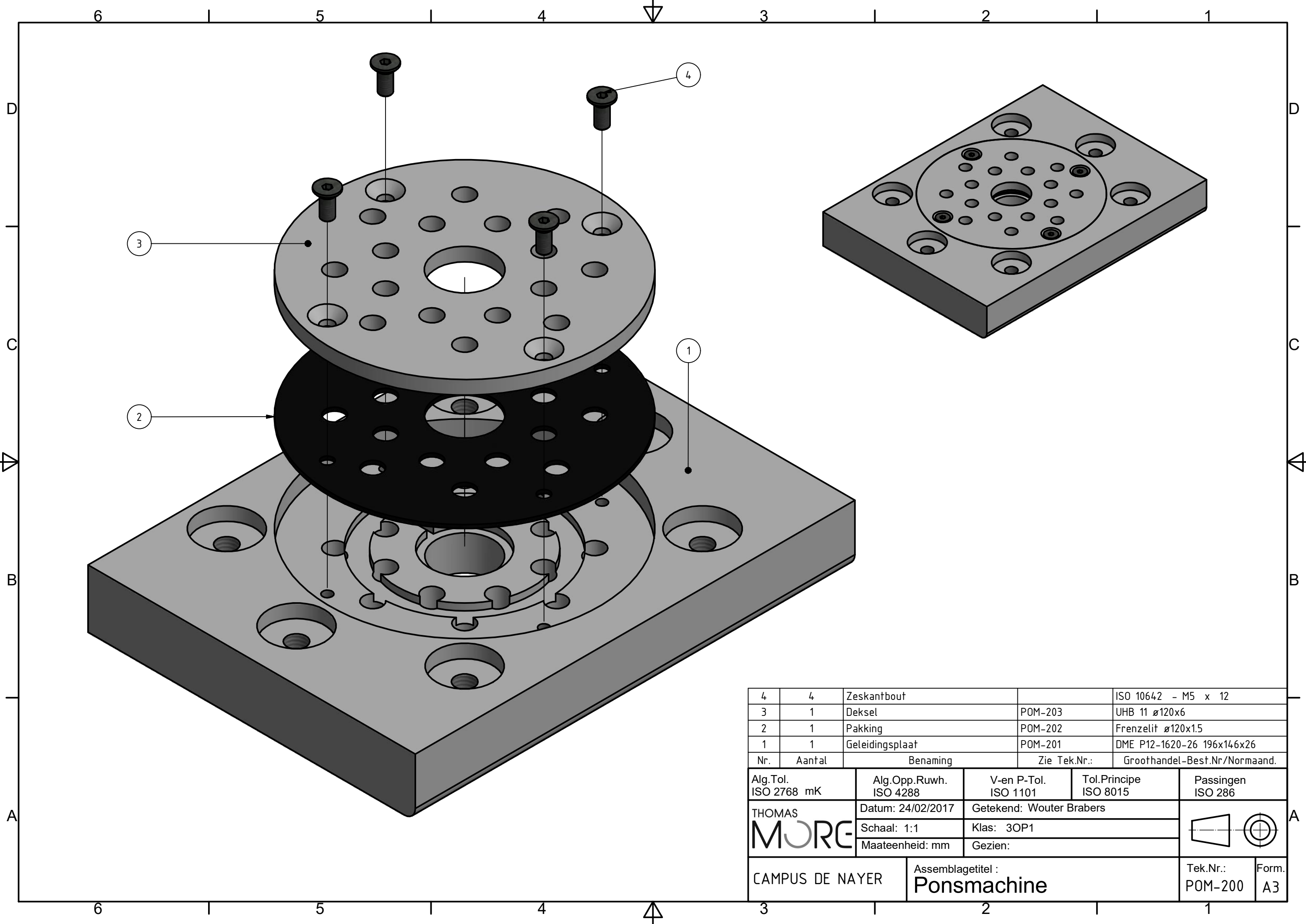
| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

| | | | | |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | 1 | Snijplaat | 1.2080 | 140x140x28 |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | Passingen ISO 286 |
| THOMAS MORE | Datum: 19/04/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | | |
| | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Voetplaat | | Tek.Nr.: POM-102 |
| | | | | Form. A3 |

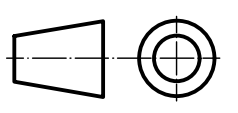


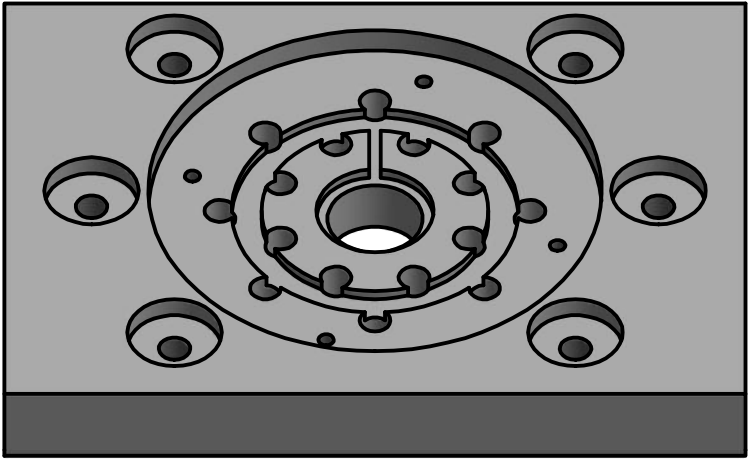
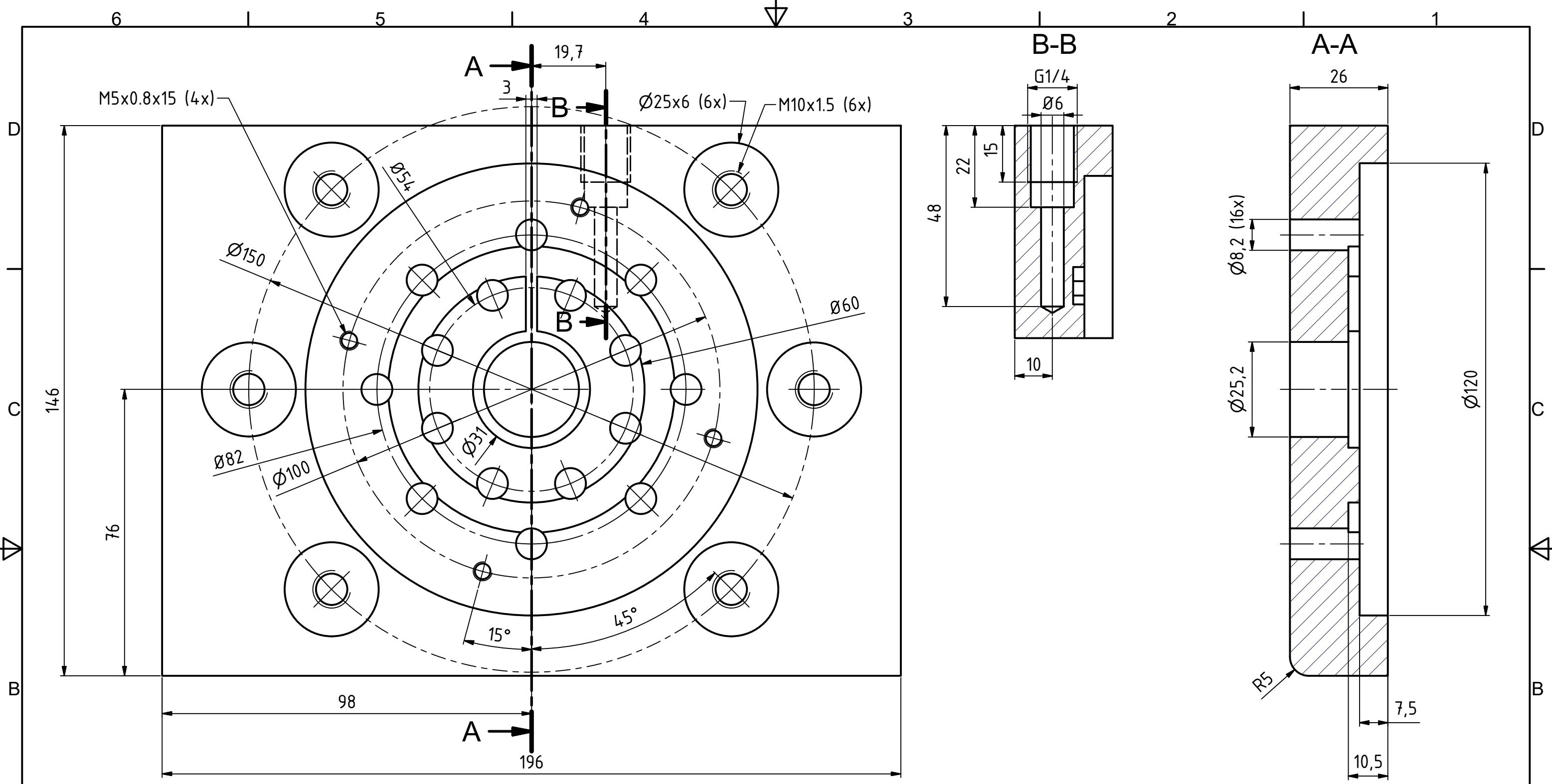
| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | $\pm 0,1$ |
| 6 | 30 | $\pm 0,2$ |
| 30 | 120 | $\pm 0,3$ |
| 120 | 400 | $\pm 0,5$ |

| | | | | |
|-------------------------|--------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | Aanslag | Staal | $\varnothing 23 \times 66$ |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| | | Schaal: 2:1 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Voetplaat | | Tek.Nr.: POM-103 |
| | | | | Form. A4 |



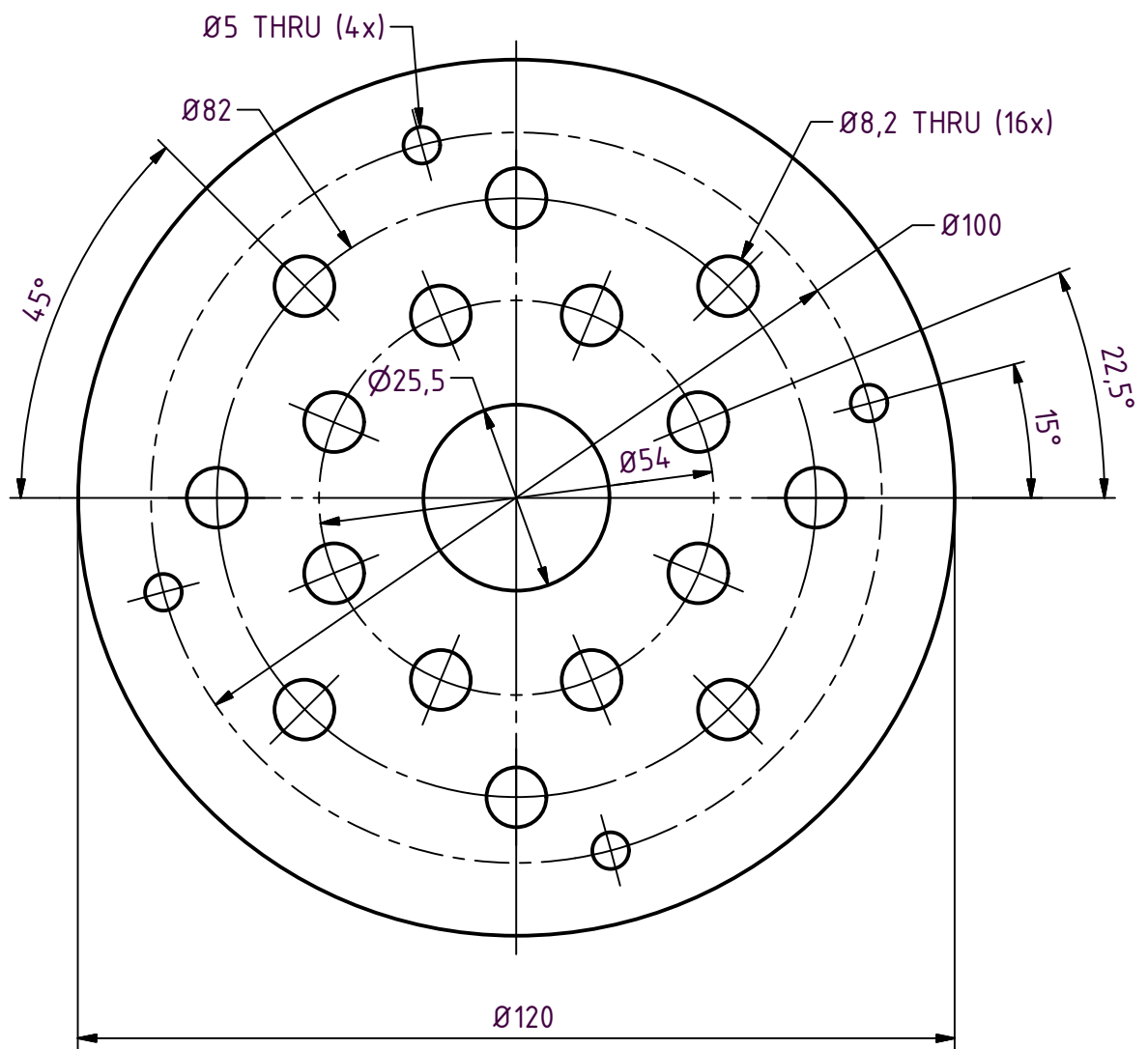
| | | | | |
|-------------------------|--------|---------------------------|---|--------------------------------|
| 4 | 4 | Zeskantbout | | ISO 10642 - M5 x 12 |
| 3 | 1 | Deksel | POM-203 | UHB 11 ø120x6 |
| 2 | 1 | Pakking | POM-202 | Frenzelit ø120x1.5 |
| 1 | 1 | Geleidingsplaat | POM-201 | DME P12-1620-26 196x146x26 |
| Nr. | Aantal | Benaming | Zie Tek.Nr.: | Groothandel-Best.Nr./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| | | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | | Assemblagetitel : Ponsmachine | |
| | | | Tek.Nr.: | Form. |
| | | | POM-200 | A3 |



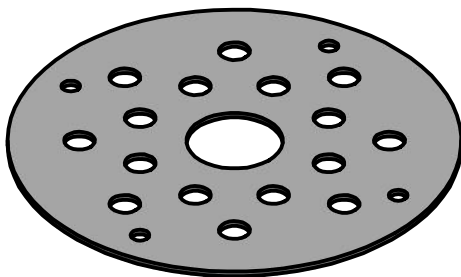


| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

| 1 | 1 | Geleidingsplaat | 1.2311 | 196x146x26 |
|----------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruw. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| MORE | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | | Assemblagetitel : Geleidingsplaat | |
| | | | Tek.Nr.: POM-201 | Form. A3 |

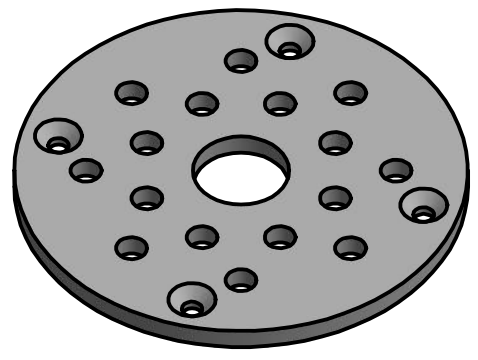
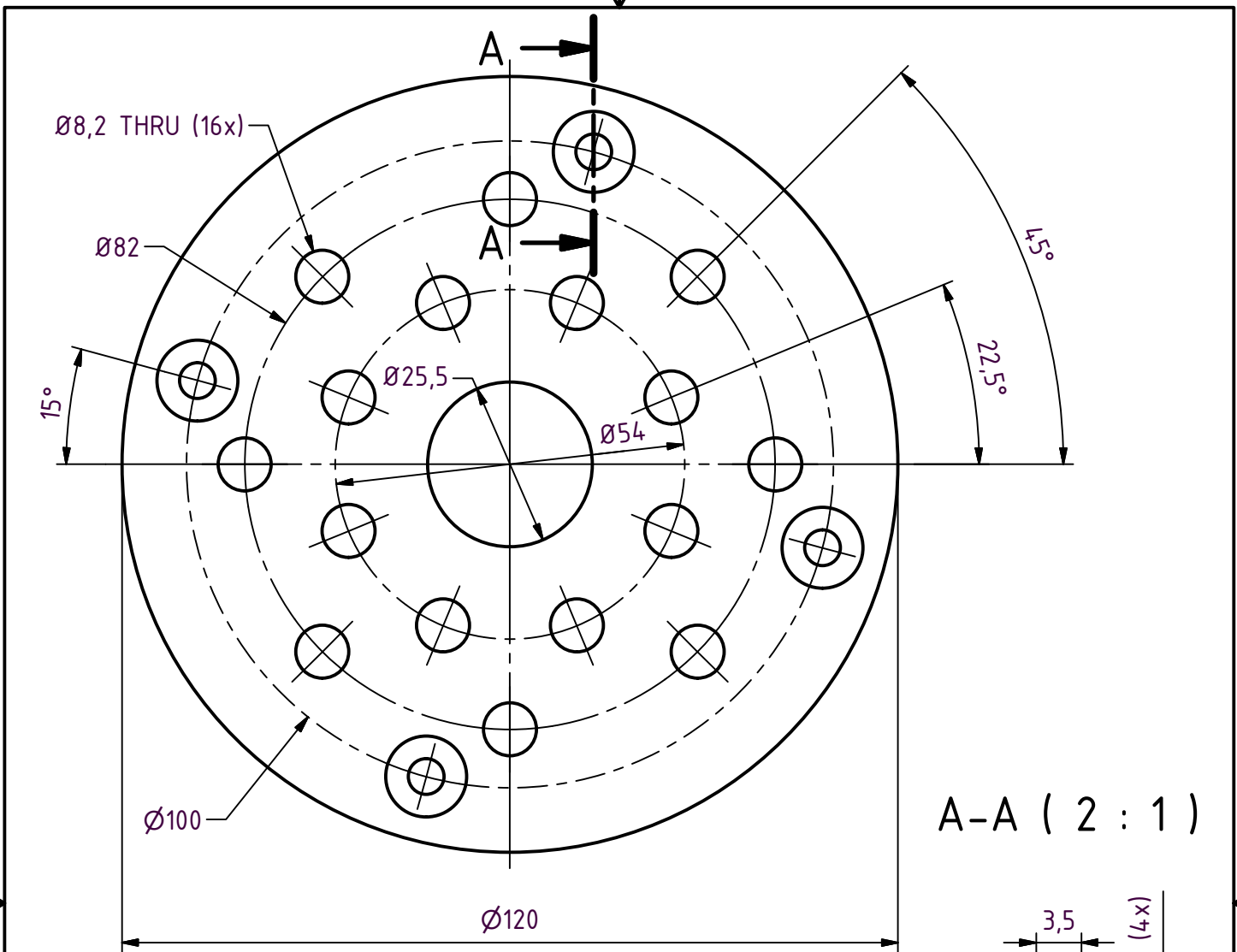


Dikte: 1,5 mm

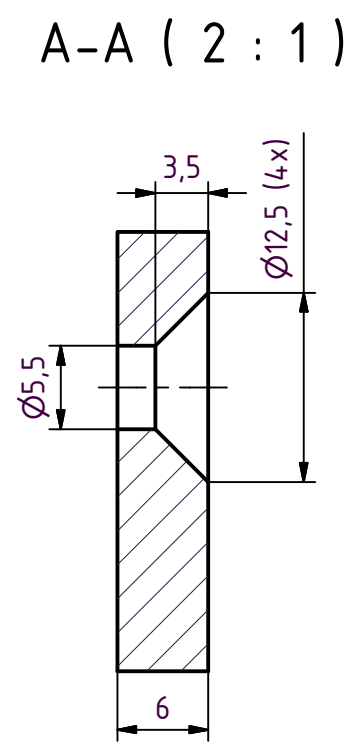


| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

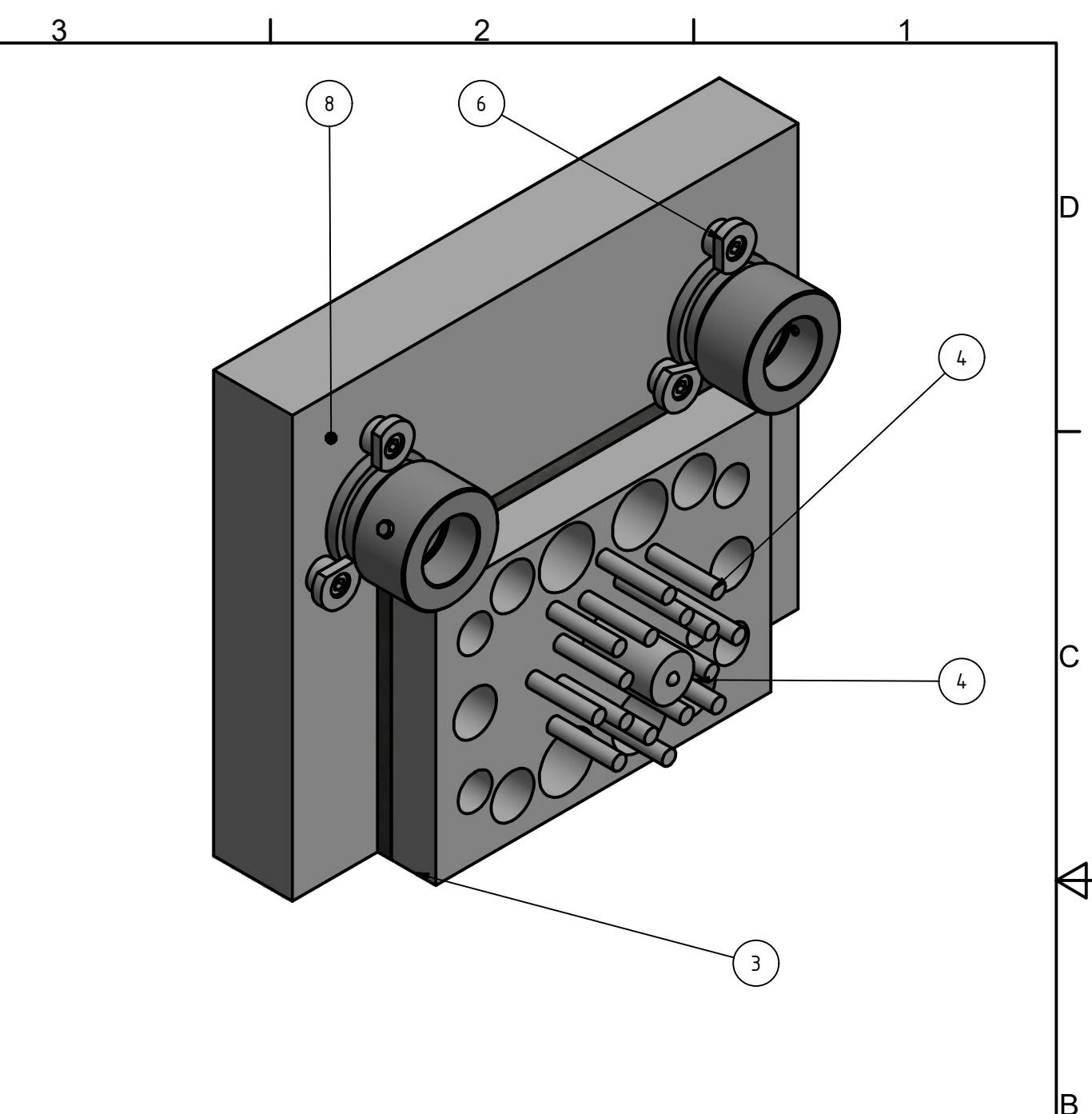
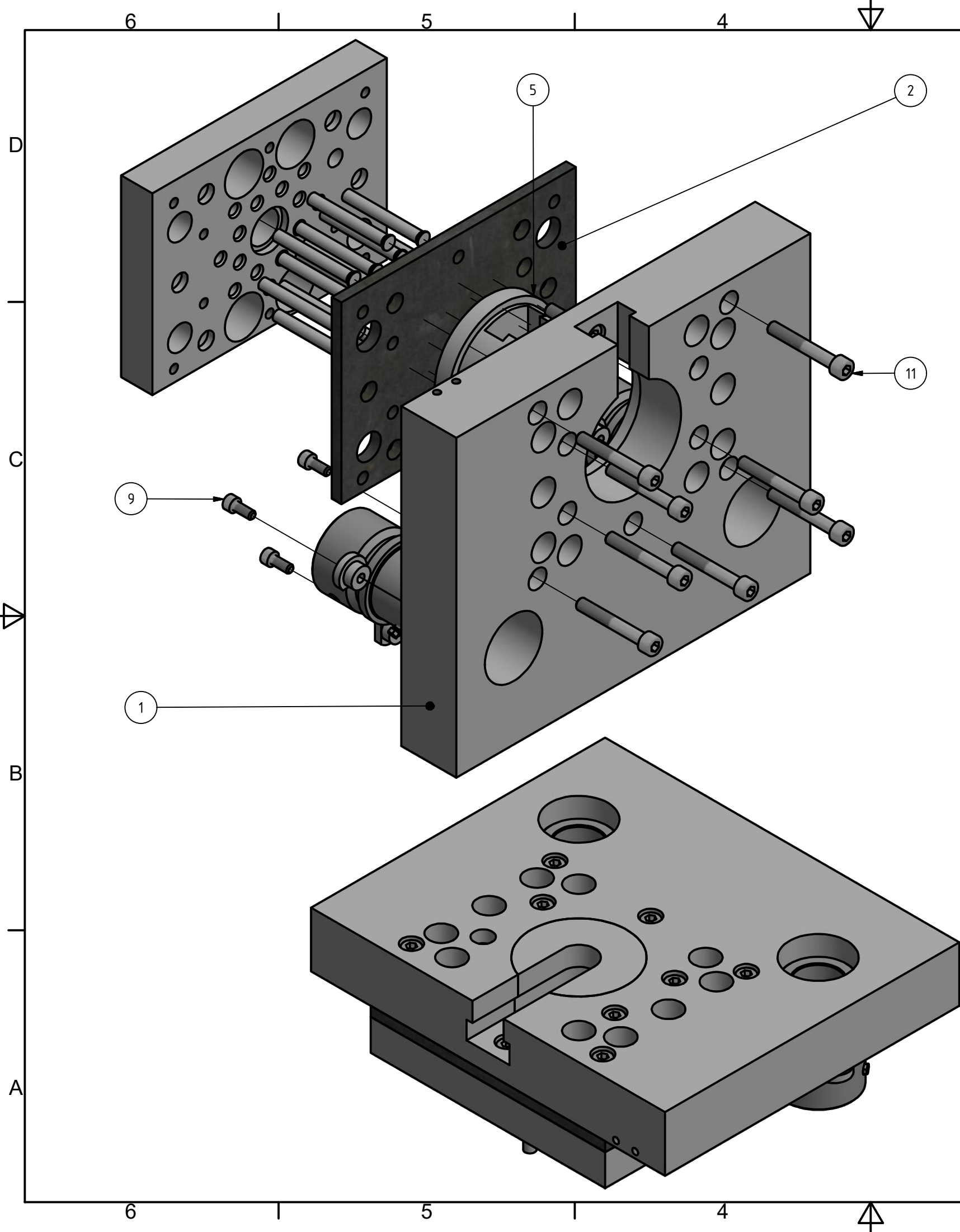
| | | | | |
|-------------------------|--------|---|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | Pakking | | Ø120x1,5 |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| | | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Geleidingsplaat | | Tek.Nr.: POM-202 |
| | | | | Form. A4 |



| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

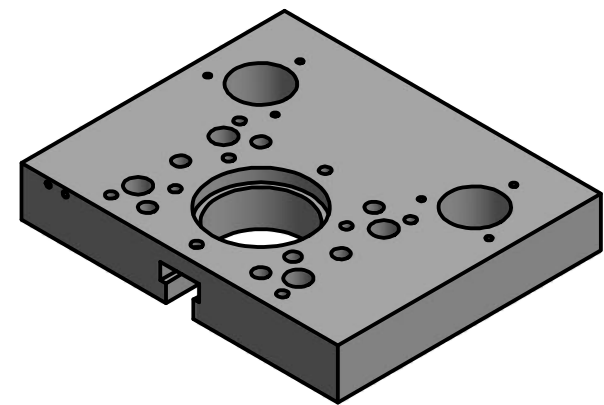
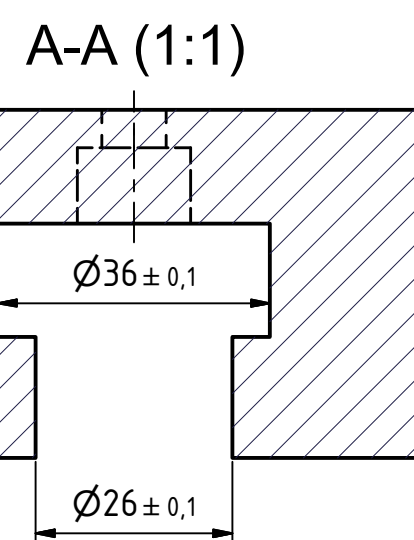
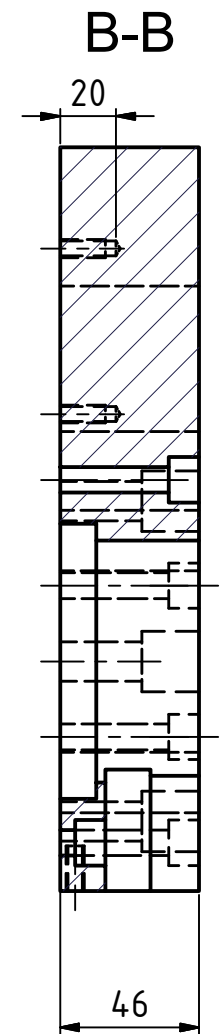
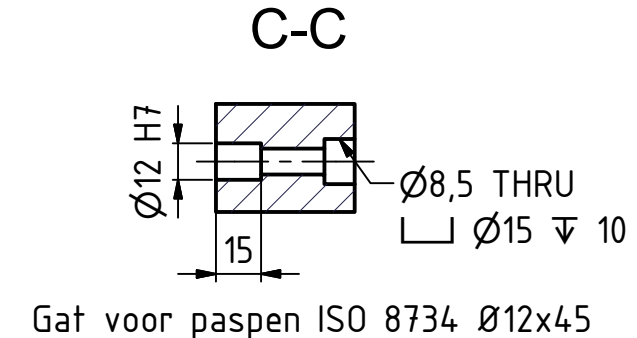
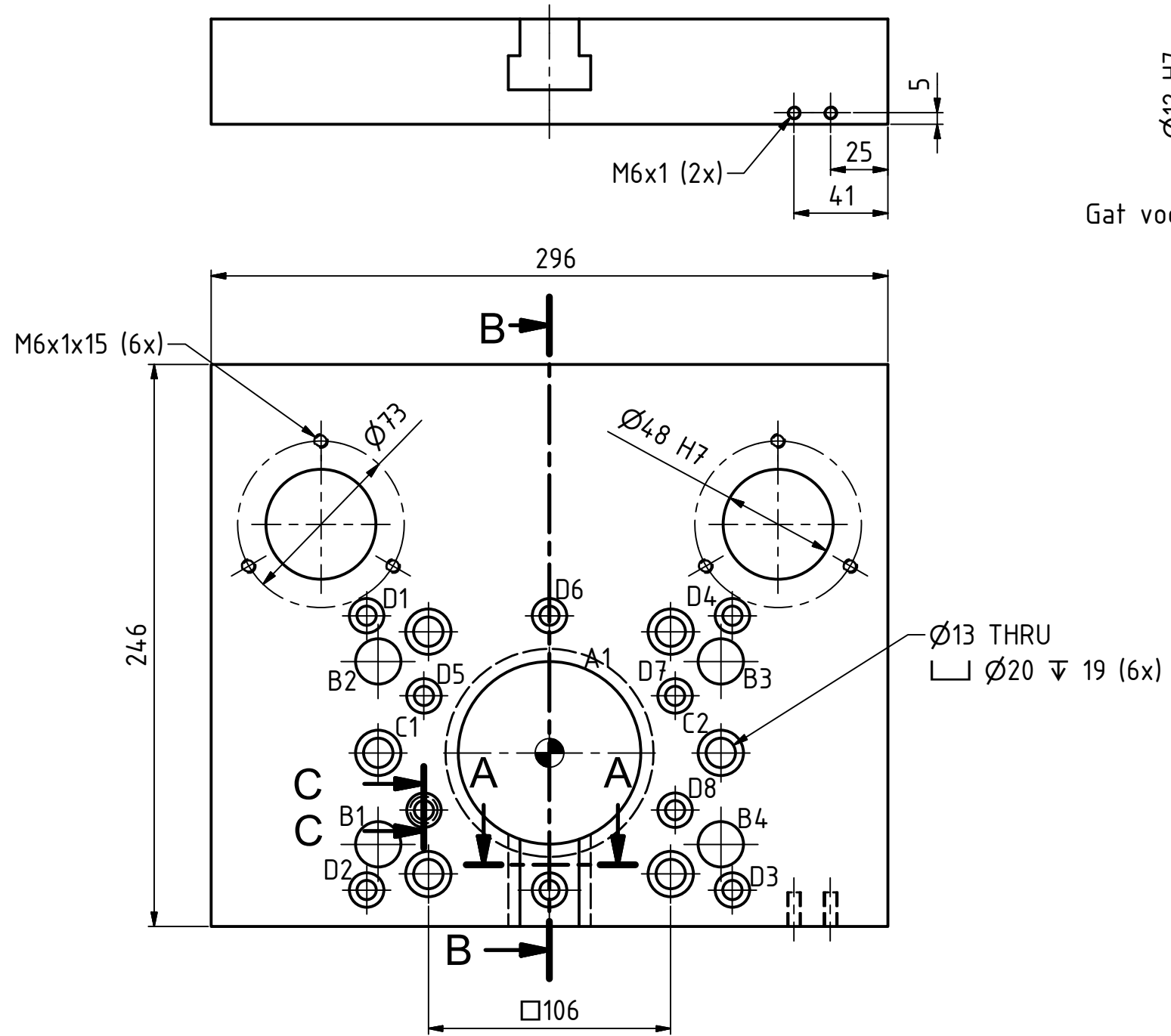


| | | | | |
|-------------------------|---------------------------|---|--------------------------|----------------------|
| 1 | 1 | Deksel | 1.1730 | Ø120x6 |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | Passingen ISO 286 |
| THOMAS MORE | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | | |
| | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Geleidingsplaat | | Tek.Nr.: POM-203 |
| | | | | Form. A4 |



| | | | | |
|-------------------------|---------------------------|---|--------------------------|--------------------------------|
| 10 | 1 | DIN 912 - M8 x 30 | | DIN 912 - M8 x 30 |
| 9 | 6 | Zeskantbout M6 | | DIN 912 - M6 x 16 |
| 8 | 2 | Leidbus | | Steiner ST7419 - 32 X 075 |
| 7 | 1 | Snijstempel_dia25 | POM-310 | |
| 6 | 6 | Bevestigingsstuk | POM-306 | |
| 5 | 1 | Inzetprop | POM-305 | |
| 4 | 16 | Snijstempel_dia8 | POM-304 | DME DS-8.00-71/HWS |
| 3 | 1 | Opspanplaat | POM-303 | DME P12-1620-26 196x146x26 |
| 2 | 1 | Drukplaat | POM-302 | |
| 1 | 1 | Bovenplaat | POM-301 | DME P12-2350-46 296x246x46 |
| Nr. | Aantal | Benaming | Zie Tek.Nr.: | Groothandel-Best.Nr./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | Passingen ISO 286 |
| THOMAS MORE | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| | Schaal: 1:2 | Klas: 3OP1 | | |
| | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Ponsmachine | | Tek.Nr.: POM-300 |
| | | | | Form. A3 |

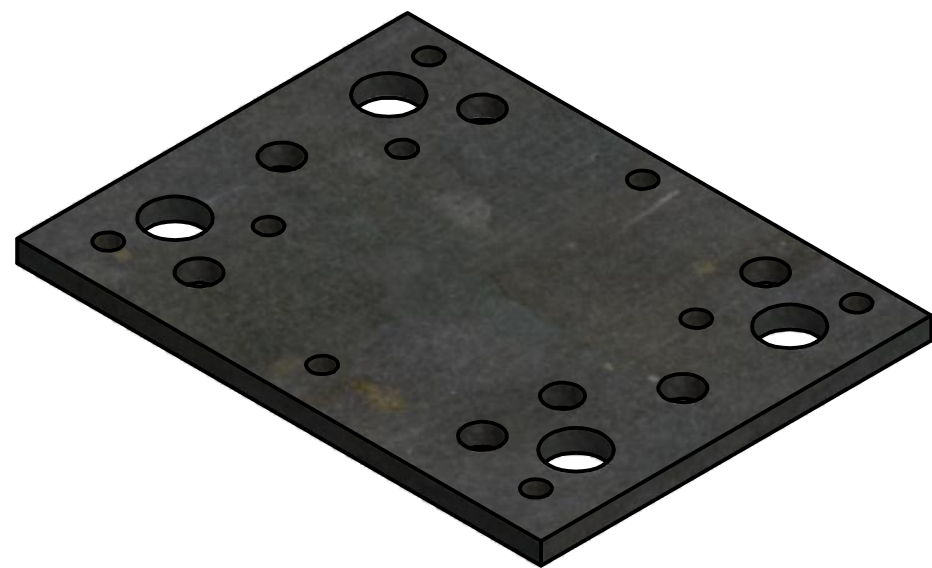
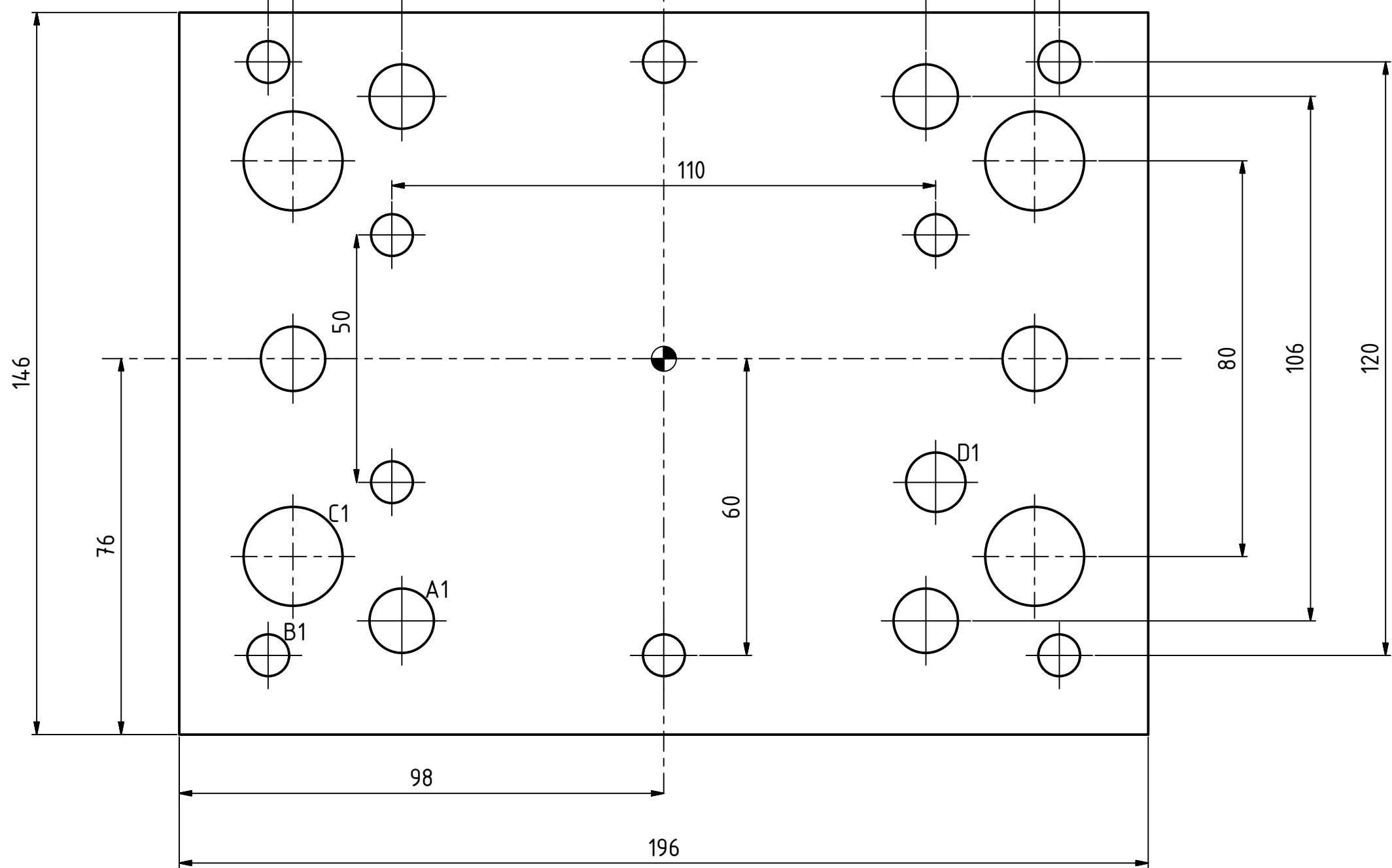
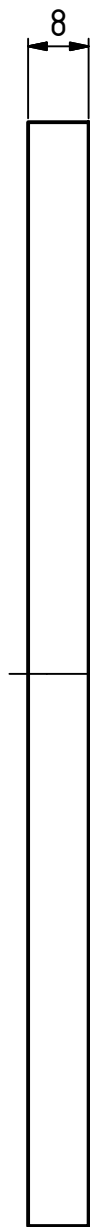
| Gatentabel | | | |
|------------|------|------|-----------------------------|
| Gat | Xdim | Ydim | Opmerking |
| A1 | 0 | 0 | Ø80 H7 THRU └─┘ Ø91 ∇ 12 |
| B1 | -75 | -40 | Ø20 THRU |
| B2 | -75 | 40 | Ø20 THRU |
| B3 | 75 | 40 | Ø20 THRU |
| B4 | 75 | -40 | Ø20 THRU |
| C1 | -75 | 0 | Ø13 THRU └─┘ Ø20 ∇ 19 |
| C2 | 75 | 0 | Ø13 THRU └─┘ Ø20 ∇ 19 |
| D1 | -80 | 60 | Ø8,5 THRU └─┘ Ø15 ∇ 10 |
| D2 | -80 | -60 | Ø8,5 THRU └─┘ Ø15 ∇ 10 |
| D3 | 80 | -60 | Ø8,5 THRU └─┘ Ø15 ∇ 10 |
| D4 | 80 | 60 | Ø8,5 THRU └─┘ Ø15 ∇ 10 |
| D5 | -55 | 25 | Ø8,5 THRU └─┘ Ø15 ∇ 10 |
| D6 | 0 | 60 | Ø8,5 THRU └─┘ Ø15 ∇ 10 |
| D7 | 55 | 25 | Ø8,5 THRU └─┘ Ø15 ∇ 10 |
| D8 | 55 | -25 | Ø8,5 THRU └─┘ Ø15 ∇ 10 |



| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

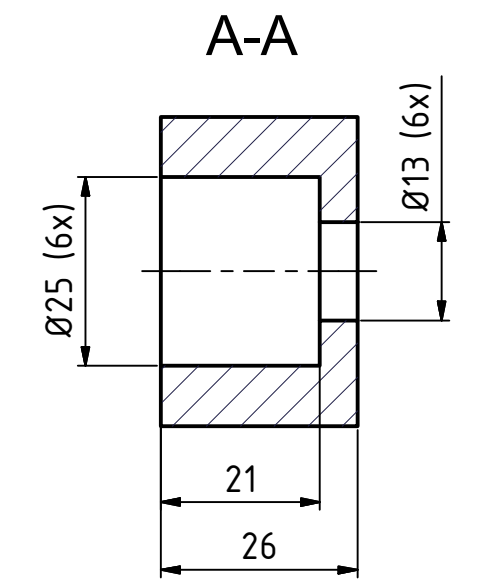
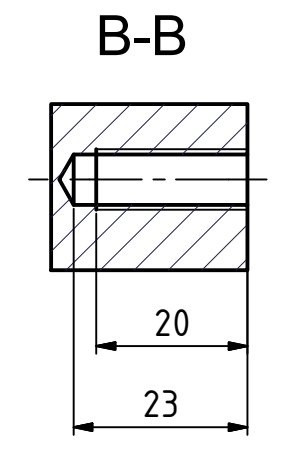
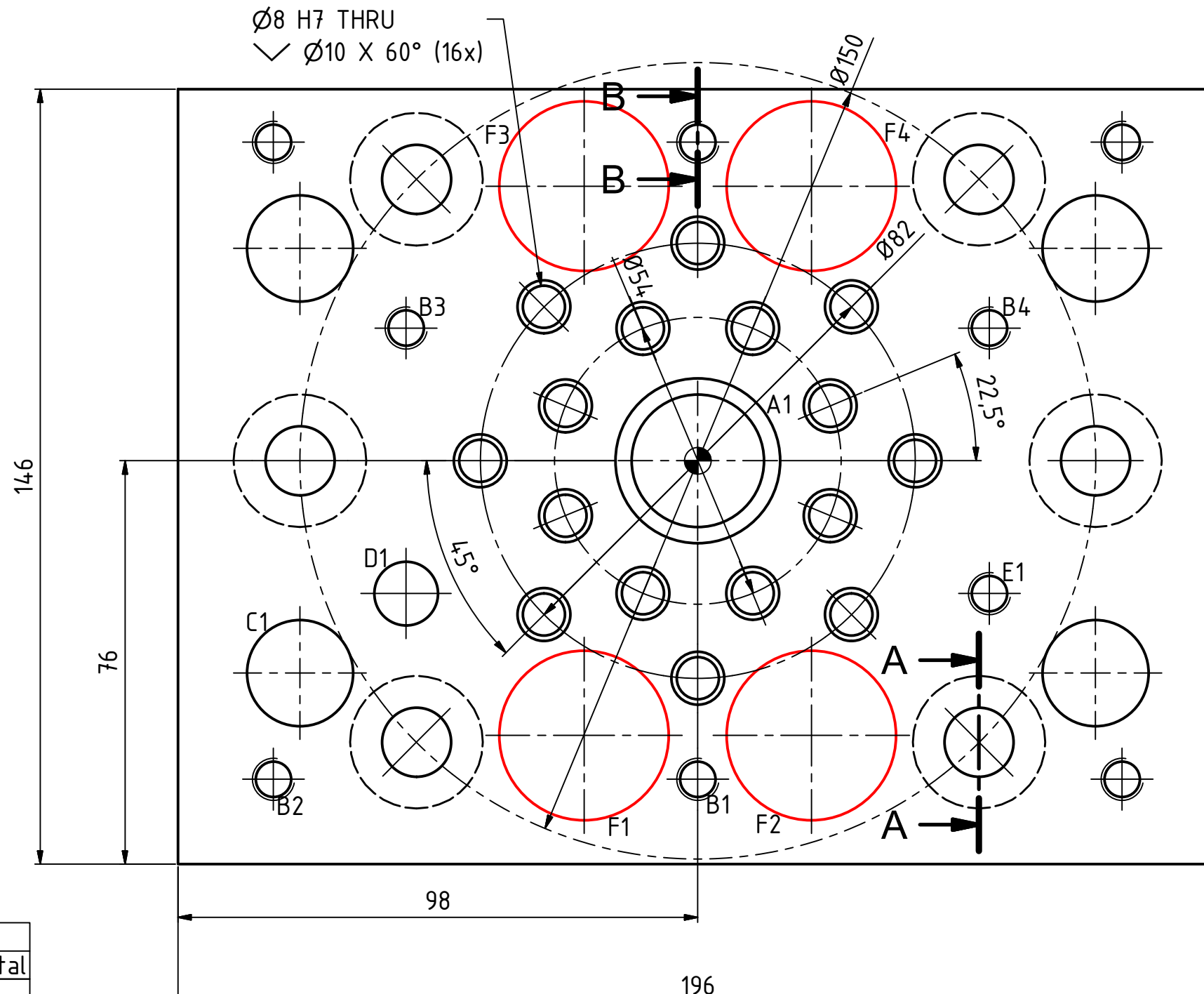
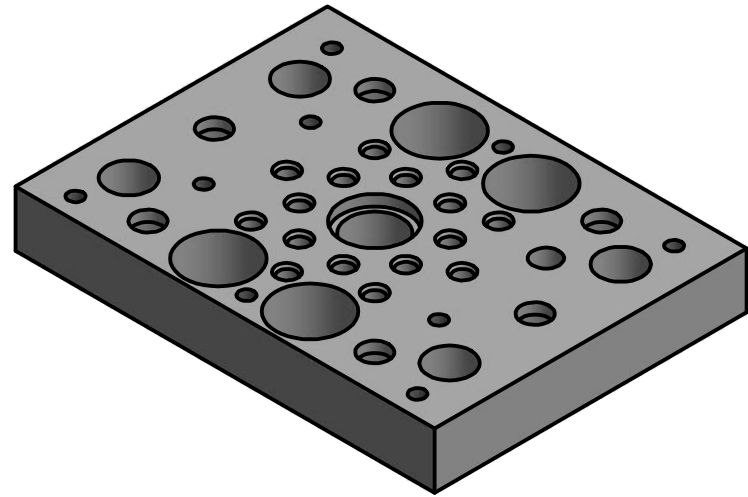
| 1 | 1 | Bovenplaat | 1.1730 | 296x246x46 |
|-------------------------|-------------------|--|-------------------------|--------------------------|
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | Passingen ISO 286 |
| | Schaal: 1:2 | Klas: 3OP1 | | |
| | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Bovenplaat | | Tek.Nr.: POM-301 |
| | | | | Form. A3 |

| Gatentabel | | |
|------------|-----------|--------|
| Gat | Opmerking | Aantal |
| A1 | Ø13 THRU | 6 |
| B1 | Ø8,5 THRU | 9 |
| C1 | Ø20 THRU | 4 |
| D1 | Ø12 THRU | 1 |



| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

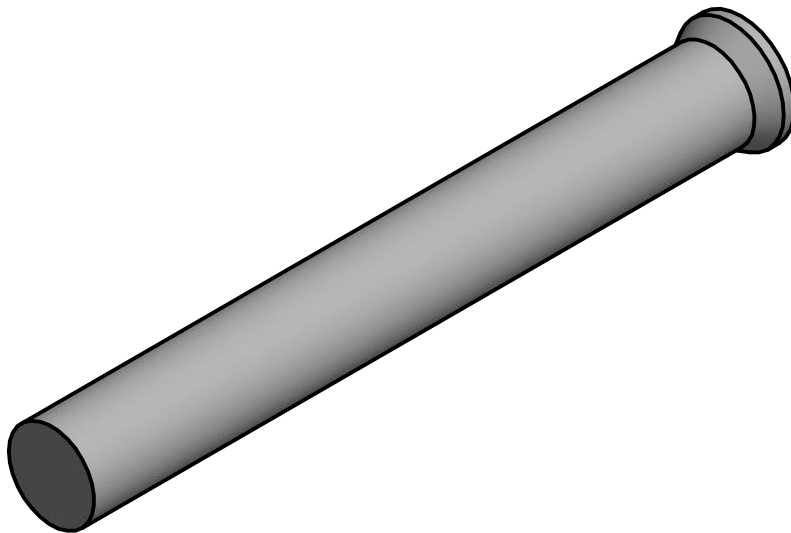
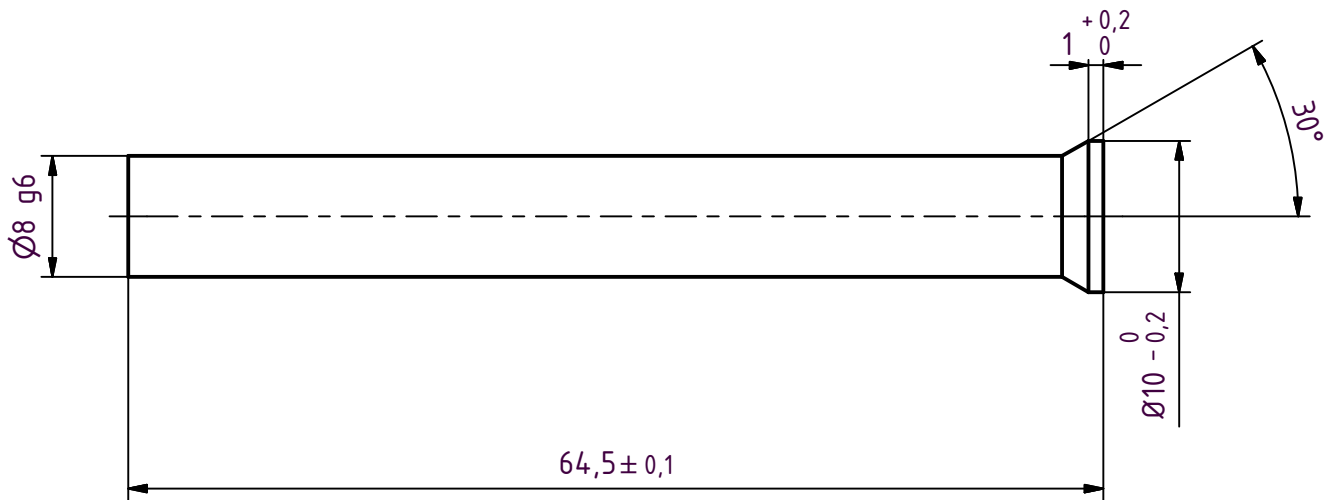
| 1 | 1 | Drukplaat | 1.2601 | 196x146x8 |
|-------------------------|-------------------|--|-------------------------|--------------------------|
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Bovenplaat | | Tek.Nr.: POM-302 |
| | | | | Form. A3 |



| Gatentabel | | | | |
|------------|-------|-------|----------------------------|--------|
| Gat | Xdim | Ydim | Opmerking | Aantal |
| A1 | 0 | 0 | Ø25 H7 THRU └─┘ Ø31 ▽ 5 | 1 |
| B1 | 0 | -60 | M8x1.25 | 2 |
| B2 | -80 | -60 | M8x1.25 | 4 |
| B3 | -55 | 25 | M8x1.25 | 1 |
| B4 | 55 | 25 | M8x1.25 | 1 |
| C1 | -75 | -40 | Ø20 THRU | 4 |
| D1 | -55 | -25 | Ø12 THRU | 1 |
| E1 | 55 | -25 | M8x1.25 | 1 |
| F1 | -21,4 | -51,7 | Ø32 THRU | 1 |
| F2 | 21,4 | -51,7 | Ø32 THRU | 1 |
| F3 | -21,4 | 51,7 | Ø32 THRU | 1 |
| F4 | 21,4 | 51,7 | Ø32 THRU | 1 |

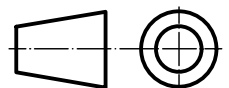
| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

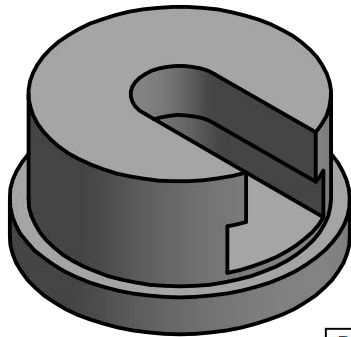
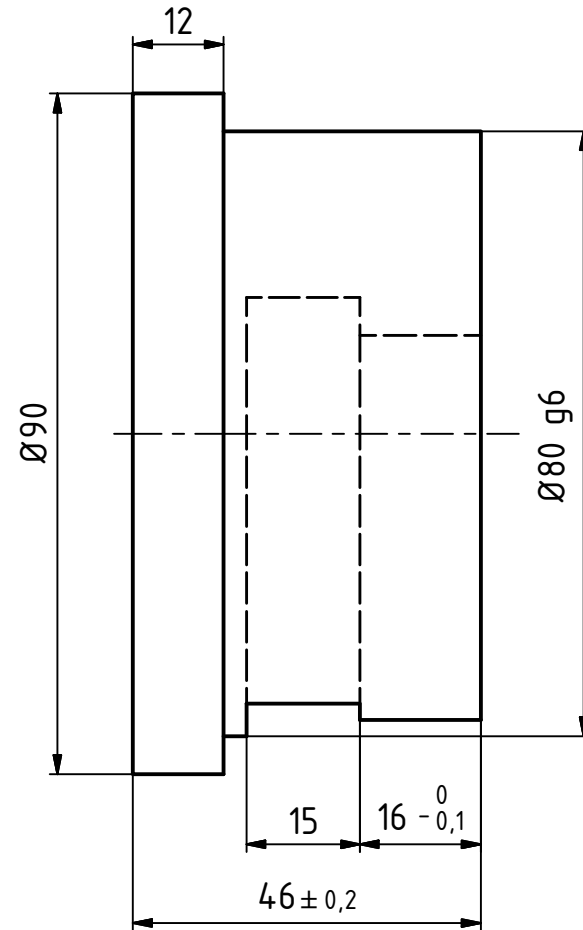
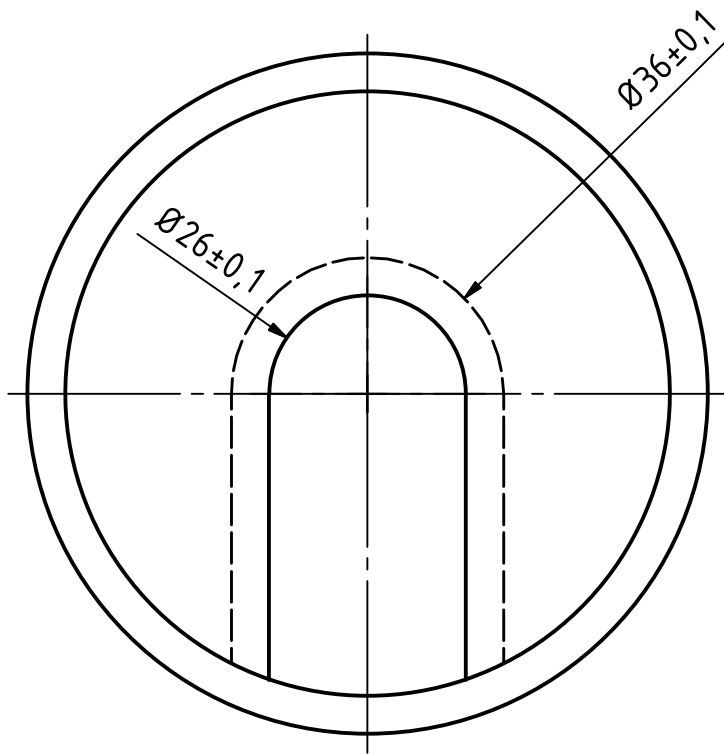
| 1 | 1 | Opspanplaat | 1.2311 | 196x146x26 |
|-------------------------|-------------------|--|-------------------------|--------------------------|
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | Datum: 19/04/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | | |
| | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Bovenplaat | | Tek.Nr.: POM-303 |
| | | | | Form. A3 |



| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | $\pm 0,1$ |
| 6 | 30 | $\pm 0,2$ |
| 30 | 120 | $\pm 0,3$ |
| 120 | 400 | $\pm 0,5$ |

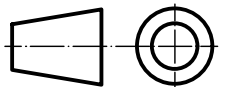
| | | | | |
|-------------------------|--------|--|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | Snijstempel_dia8 | 1.2379 | ISO 8020 A |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| | | Schaal: 2:1 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Bovenplaat | | Tek.Nr.: POM-304 |
| | | | | Form. A4 |

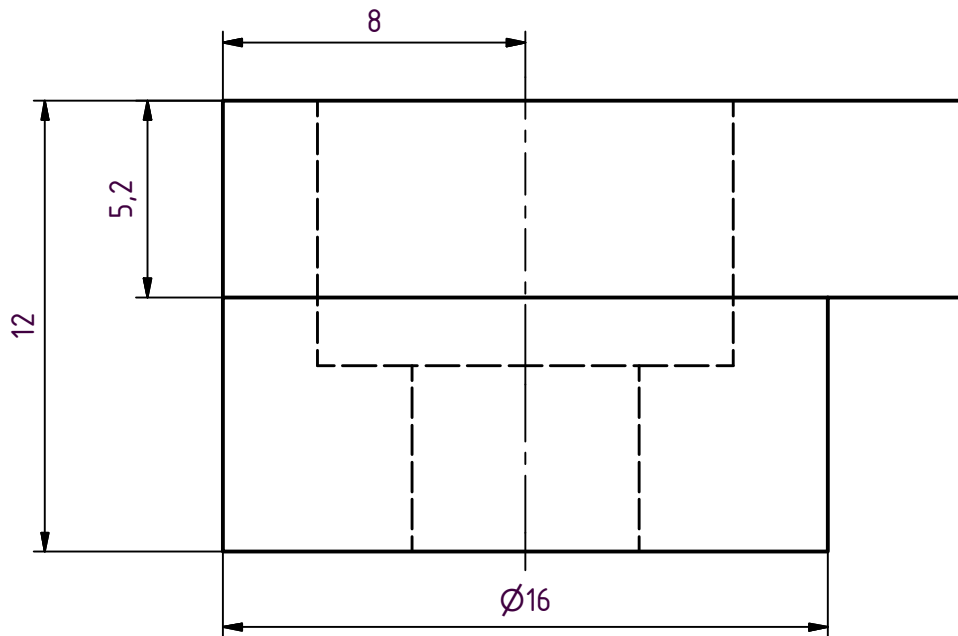




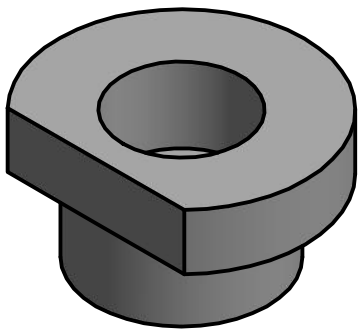
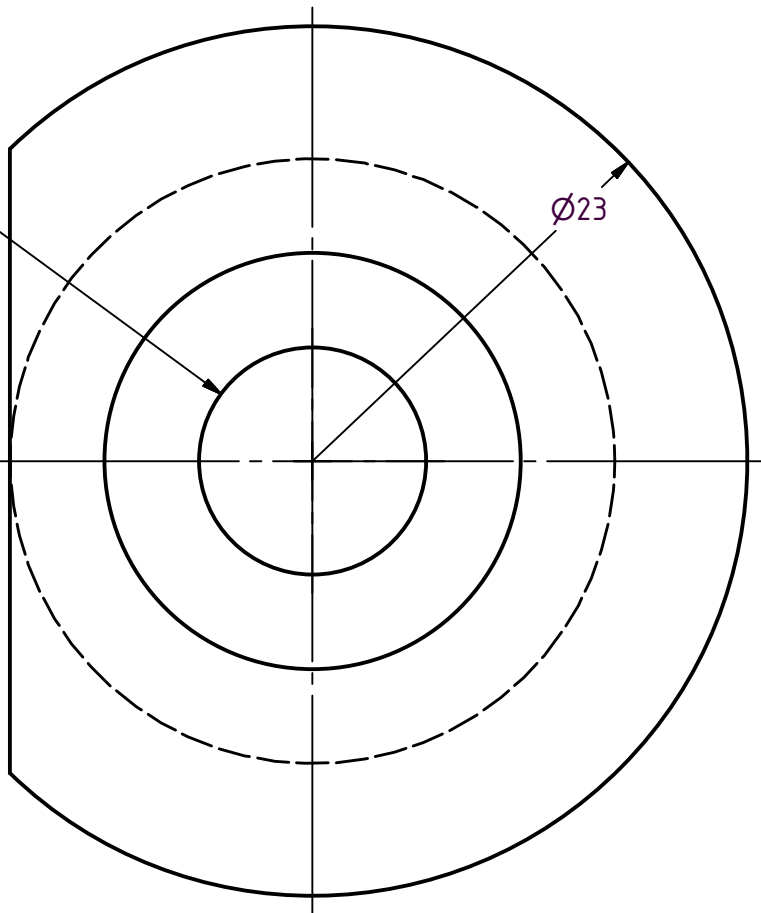
| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | $\pm 0,1$ |
| 6 | 30 | $\pm 0,2$ |
| 30 | 120 | $\pm 0,3$ |
| 120 | 400 | $\pm 0,5$ |

| 1 | 1 | Inzetprop | Staal | $\varnothing 90 \times 46$ |
|-------------------------|--------|---------------------------|--|----------------------------|
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| | | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | | Assemblagetitel : Bovenplaat | |
| | | | Tek.Nr.: POM-305 | Form. A4 |



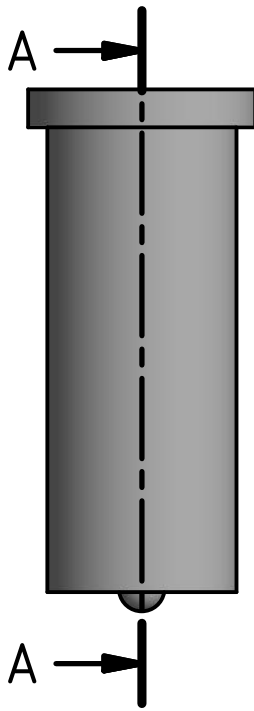


$\text{Ø}6$ THRU - $\text{Ø}11 \times 7$



| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | $\pm 0,1$ |
| 6 | 30 | $\pm 0,2$ |
| 30 | 120 | $\pm 0,3$ |
| 120 | 400 | $\pm 0,5$ |

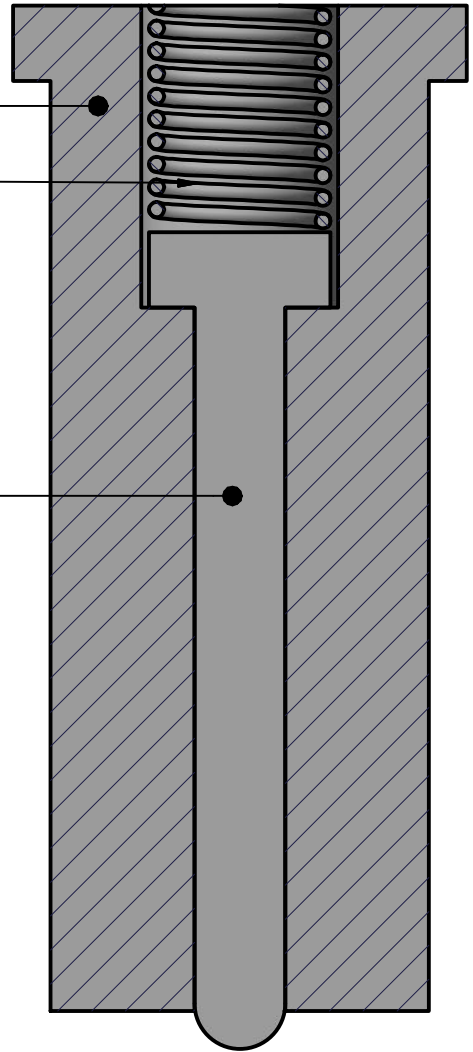
| | | | | |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 1 | Bevestigingsstuk | Staal | $\text{Ø}23 \times 12$ |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | Passingen ISO 286 |
| THOMAS MORE | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | |
| | Schaal: 5:1 | Klas: 3OP1 | | |
| | Maateenheid: mm | Gezien: | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel: Bovenplaat | | Tek.Nr.: POM-306 |
| | | | | Form. A4 |



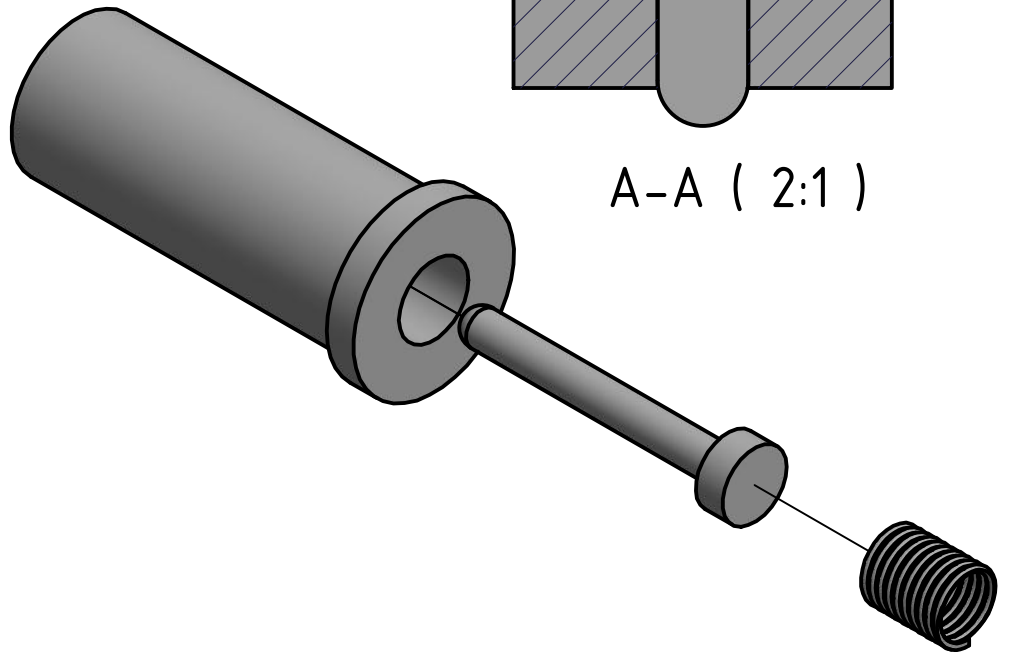
1

2

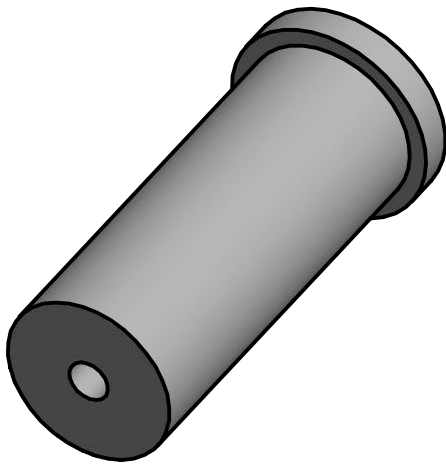
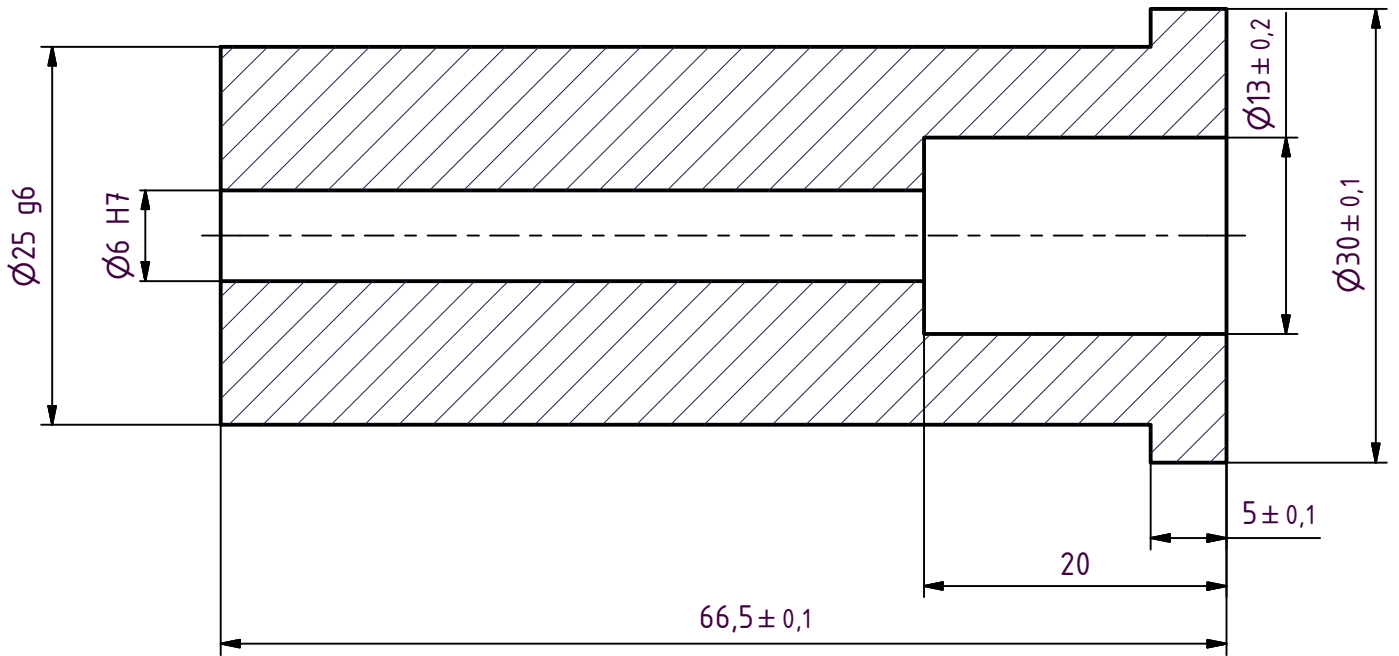
3



A-A (2:1)

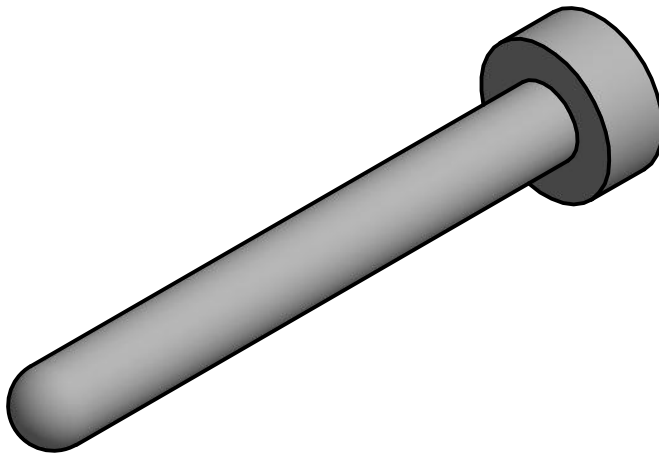
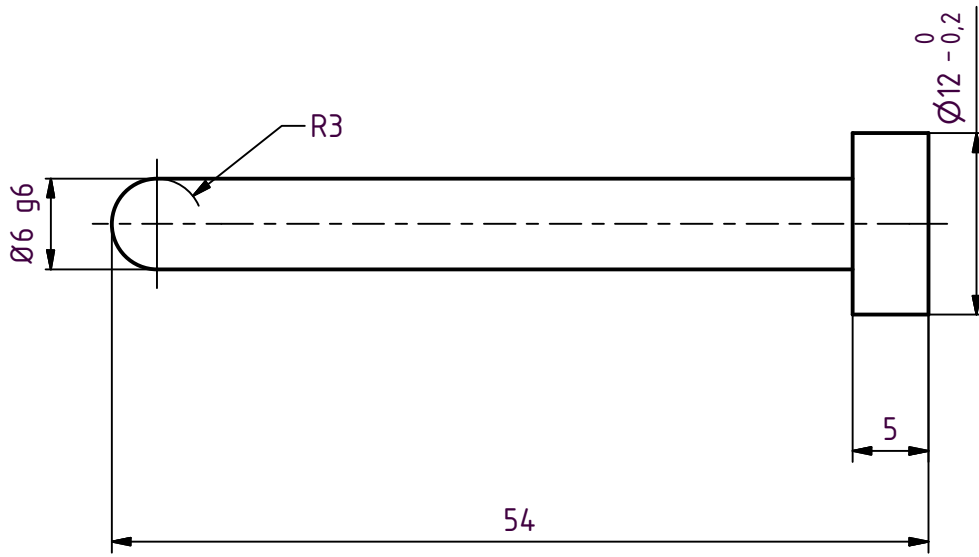


| | | | | |
|-------------------------|--------|--|--------------------------|-------------------------------|
| 2 | 1 | Veer $\varnothing 12 \times 10$ | | |
| 3 | 1 | Uitstootpen | POM-312 | |
| 1 | 1 | Snijstempel_dia25 | POM-311 | |
| Nr. | Aantal | Benaming | Zie Tek.Nr.: | Groothandel-Best.Nr/Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| | | Schaal: 1:1 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Bovenplaat | | Tek.Nr.: POM-310 |
| | | | | Form. A4 |



| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | ± 0,1 |
| 6 | 30 | ± 0,2 |
| 30 | 120 | ± 0,3 |
| 120 | 400 | ± 0,5 |

| | | | | | | |
|-------------------------|--------|---|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|
| 1 | 1 | Snijstempel_dia25 | 1.2080 | Ø30x66.5 | | |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. | | |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 | Passingen ISO 286 | |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | | | |
| | | Schaal: 2:1 | Klas: 3OP1 | | | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | | | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Snijstempel_dia25 | | | Tek.Nr.: POM-311 | Form. A4 |



| Boven | Tot | m (ISO 2768-1) |
|-------|-----|----------------|
| 0,5 | 6 | $\pm 0,1$ |
| 6 | 30 | $\pm 0,2$ |
| 30 | 120 | $\pm 0,3$ |
| 120 | 400 | $\pm 0,5$ |

| | | | | |
|-------------------------|--------|---|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | Uitstootpen | Staal | $\varnothing 12 \times 54$ |
| Nr. | Aantal | Benaming | Materiaal | Netto Afm./Normaand. |
| Alg.Tol. ISO 2768 mK | | Alg.Opp.Ruwh. ISO 4288 | V-en P-Tol. ISO 1101 | Tol.Principe ISO 8015 |
| THOMAS MORE | | Datum: 24/02/2017 | Getekend: Wouter Brabers | |
| | | Schaal: 2:1 | Klas: 3OP1 | |
| | | Maateenheid: mm | Gezien: | |
| CAMPUS DE NAYER | | Assemblagetitel : Snijstempel_dia25 | | Tek.Nr.: POM-312 |
| | | | | Form. A4 |