

Faculteit Industriële
Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
elektromechanica

Masterthesis

Onderzoek, ontwerp en implementatie van een boormodule ter optimalisatie van een
bestaande verwerkingseenheid voor aluminium extrusie profielen

Frederick Grosemans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

PROMOTOR :

ing. John BIJNENS

PROMOTOR :

Gert PEETERSEM

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen | Agoralaan Gebouw H - Gebouw B | BE 3590 Diepenbeek

Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE 3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE 3500 Hasselt



2023
2024

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
elektromechanica

Masterthesis

Onderzoek, ontwerp en implementatie van een boormodule ter optimalisatie van een bestaande verwerkingseenheid voor aluminium extrusie profielen

Frederick Grosemans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

PROMOTOR :

ing. John BUNENS

PROMOTOR :

Gert PEETERSEM



KU LEUVEN

Woord vooraf

Na een bewogen en boeiende studententijd aan de UHasselt en de KULeuven, presenteer ik met trots mijn masterthesis over het optimaliseren van een bestaande machine voor het bedrijf LASE in Herk-de-Stad. Deze masterthesis vormt een uitstekende samenvatting van alles wat ik de afgelopen jaren heb geleerd. Voor elke ontwerpkeuze kon ik teruggrijpen naar de kennis die ik heb opgedaan tijdens mijn studie. Dit is één van de redenen waarom ik dit onderwerp heb gekozen. Een andere reden is de praktische toepasbaarheid ervan. LASE is een vertrouwde naam in de machinebouw en door mijn masterproef bij dit bedrijf te doen, kreeg ik de kans om van dichtbij mee te maken wat het betekent om een ingenieur te zijn. Deze ervaring heeft mijn ontwikkeling als ingenieur zeker bevorderd.

Doordat ik het eerste semester op Erasmus ben geweest, had ik slechts enkele maanden om mijn masterthesis af te ronden. Zonder de hulp van bepaalde personen was me dit niet gelukt. Daarom wil ik allereerst ing. John Bijnens bedanken voor zijn assistentie bij het schrijven van de scriptie en voor het verstrekken van de benodigde software. Ook wil ik general manager Gert Peetersem danken voor het bieden van deze kans om mijn masterproef binnen het bedrijf uit te voeren en voor alle steun en begeleiding tijdens het ontwerpproces van de machine. Verder wil ik alle medewerkers van LASE bedanken voor hun ondersteuning en expertise gedurende deze periode.

Ook wil ik alle docenten van de opleiding industriële ingenieurswetenschappen bedanken voor het delen van de kennis die ik nodig heb gehad voor het voltooien van deze thesis.

Tot slot wil ik mijn ouders, familie, medestudenten en alle mensen om mij heen bedanken voor hun steun tijdens het schrijven van deze masterproef en voor hun ondersteuning gedurende mijn gehele studententijd.

Frederick Grosemans
Diepenbeek, juni 2024

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst met tabellen	7
Lijst met figuren	11
Verklarende woordenlijst	13
Abstract	15
Abstract in English	17
1 Inleiding	19
1.1 Situering	19
1.2 Probleemstelling	22
1.3 Doelstellingen	22
1.4 Methode	23
1.5 Vooruitblik	24
2 Bronnenstudie	25
2.1 Inleiding	25
2.2 Resultaten van de bronnenstudie	25
2.2.1 Ingangsbuffer	25
2.2.2 Aanvoer	30
2.2.3 Zaagmachine	32
2.2.4 Afvoer	34
2.2.5 Uitgangsbuffer	35
2.3 Conclusie	38

3	Ontwerpfase	39
3.1	Functieblokschema	39
3.2	Ontwerprichtlijnen	40
4	Basisframe	41
4.1	Inleiding	41
4.2	Mechanische opzet	42
4.2.1	Verbinding met bestaande machine	42
4.2.2	Basisplaat	44
4.2.3	Lineaire geleiding	45
4.2.4	Verbindingen tussen de verschillende componenten	48
4.2.5	Speciaal ontworpen boorkop	52
4.3	Pneumatische opzet	53
4.3.1	Booreenheid	53
4.4	Elektrische opzet	54
4.4.1	Aandrijving lineaire geleiding	54
4.4.2	Sensoren	57
4.5	Krachtberekeningen	58
4.5.1	Boutverbinding	58
5	Inklemming	61
5.1	Inleiding	61
5.2	Mechanische opzet	62
5.2.1	Basisplaat inklemming	62
5.2.2	Verbinding met basisframe	63
5.2.3	Ondersteunende as	65
5.3	Pneumatische opzet	67
5.3.1	Pneumatische cilinders	67
5.3.2	Pneumatische componenten	68
5.3.3	Sensoren	69
5.4	Krachtberekening	70
5.4.1	Doorbuiging van een getrapte as	70

6	Spaanafvoer	73
6.1	Inleiding	73
6.2	Mechanische opzet	74
6.3	Pneumatische opzet	75
7	Productiefase	77
7.1	Inleiding	77
7.2	Lineaire modules	77
7.2.1	Basis	78
7.2.2	Lagers	79
7.2.3	Spindel	80
7.2.4	Aanvullende componenten	81
7.2.5	Prijsbepaling	81
7.3	Ondersteunende as	82
8	Eindresultaat	83
8.1	Mogelijke verbeteringen	84
9	Besluit	85
	Literatuurlijst	88
A	Bijlage - 2D-weergave: boorkoppen	89
B	Bijlage - Berekeningen: koppel aan de spindel	91
C	Bijlage - Berekeningen: boutverbindingen	93
D	Bijlage - Berekeningen: doorbuiging	95
E	Bijlage - 2D-weergave: kogelomloopsindel	97
F	Bijlage - Datasheet: kogelomloopsindel	99
G	Bijlage - Berekeningen: doorbuiging na aanpassingen	101

Lijst van tabellen

1.1	Overzicht van het bijkomende eisenpakket	23
4.1	Configuratie van de lineaire modules	47
4.2	Weergave berekende koppels bij het aandrijven van de lineaire module	56
4.3	Indexeren van de boutlocaties	59
4.4	Berekenen van de minimum bout afmetingen	60

Lijst van figuren

1.1	Grondplan van het verwerkingssysteem in werkingstoestand [1]	20
1.2	Verwerkingssysteem in werkingstoestand [2]	20
1.3	Huidige situatie van de aanvoer	21
1.4	Huidige situatie van de ingangsbuffer	21
1.5	Huidige situatie van de zaag	21
1.6	Huidige situatie van de uitgangsbuffer	21
1.7	Gebruikte methode van ontwerpen	23
2.1	Grondplan van de machine in werkingstoestand	26
2.2	3D-model van de ingangsbuffer	26
2.3	Functieblokschema ingangsbuffer	27
2.4	Riemen voor het transporteren van de profielen in de ingangsbuffer	27
2.5	Systeem gebruikt voor het opspannen van de riemen bij optreden rek	28
2.6	Systeem voor het inklemmen van de profielen in de ingangsbuffer	28
2.7	Systeem voor het instellen van de inklemming in de ingangsbuffer	29
2.8	Systeem voor het opspannen van de ketting in de ingangsbuffer	29
2.9	3D-model van de aanvoer	30
2.10	Functieblokschema aanvoer	30
2.11	Ondersteunende rollen in de aanvoer	31
2.12	Motorsysteem voor het instellen van een aanslag in de aanvoer	31
2.13	Mechanisme voor het positioneren van de profielen in de breedte	31
2.14	Mechanisme voor het vastklemmen van de profielen in de aanvoer	32
2.15	Motor, gearbox en tandwiel opstelling	32
2.16	Schematische weergave zaagmachine (bovenaanzicht)	32
2.17	Schematische weergave zaagmachine (zijaanzicht)	33
2.18	Instelbare aanslagen gebruikt in de zaagmachine	33

2.19	3D-model van de afvoer	34
2.20	3D-model van de uitgangsbuffer	35
2.21	Functieblokschema uitgangsbuffer	35
2.22	Riemen voor het transporteren van de profielen in de uitgangsbuffer	36
2.23	Mechanisme gebruikt voor het ophangen van de riemen	36
2.24	Aandrijving van de riemen in de uitgangsbuffer	37
2.25	Systeem voor het aanspannen van de ketting in de uitgangsbuffer	37
2.26	Askoppeling gebruikt voor het verbinden van de assen in de uitgangsbuffer	37
2.27	3D-model van de bestaande machine	38
3.1	Functieblokschema van de te ontwerpen boormodule	39
4.1	Resultaat ontwerpfase basisframe	41
4.2	Bestaand frame waar de nieuwe module op bevestigd wordt	42
4.3	3D-model bevestiging afstandskoker op lasplaten	43
4.4	3D-model lasplaten op bestaand frame voor bevestiging boormodule	43
4.5	3D-model basisplaat	44
4.6	Opstelling lineaire geleidingsmodules	45
4.7	Sketch die de bewegingsrichtingen van de boren weergeeft	46
4.8	3D-model verbinding lineaire module met basisplaat	48
4.9	3D-model verbinding tussen booreenheid en lineaire module	49
4.10	3D-model verbinding tussen booreenheid en lineaire module met verlengde tussen- plaat	49
4.11	3D-model verbinding tussen motor en lineaire module	51
4.12	Alternatief ontwerp voor de verbinding tussen motor en lineaire module [14] . . .	51
4.13	De in te stellen hoeken bij het ontwerpen van een boorkop [17]	53
5.1	Resultaat ontwerpfase inklemming	61
5.2	3D-model basisplaat inklemming	62
5.3	3D-model afstandskoker gebruikt voor het bevestigen van de inklemming aan het basisframe	63
5.4	Weergave van het zwaartepunt automatisch bepaald met Creo (Y-richting)	64
5.5	Weergave van het zwaartepunt automatisch bepaald met Creo (X-richting)	64
5.6	3D-model van de as en rol voor het ondersteunen van de profielen	65

5.7	3D-model van de bewerkte as	66
5.8	3D-model van de opstelling van cilinders	67
5.9	3D-model van de opstelling van cilinders	69
5.10	2D-weergave van de afmetingen van de as en de positie van de krachten	70
6.1	3D-model van de spaanafvoer	73
6.2	2D-weergave van de uitgevouwen spaanafvoer	74
6.3	3D-model van het tweede onderdeel van de spaanafvoer	75
7.1	3D-model nieuwe lineaire module	77
7.2	3D-model basis lineaire module	78
7.3	3D-model van de flensopstelling voor het fixeren van de hoekcontactlager	79
7.4	3D-model van de flensopstelling voor het fixeren van de hoekcontactlager	80
7.5	Prijslijst voor één lineaire module	81
7.6	3D-model van de nieuwe bevestiging voor de ondersteunende as	82
7.7	3D-model van de nieuwe ondersteunende as	82
8.1	3D-model van de volledige uitgewerkte boormodule	83
8.2	3D-model van de volledige uitgewerkte boormodule geïntegreerd in de bestaande machine	84

Verklarende woordenlijst

CNC	Computer Numerical Control. Deze afkorting wordt gebruikt wanneer er gesproken wordt over computer aangestuurde machines.
3D	Driedimensionaal.
CAD	Computer aided design. Deze afkorting wordt gebruikt wanneer er gesproken wordt over het ontwerpen van onderdelen in 3D.
Polyurethaan coating	Een coating gemaakt uit polyurethaan hars die de onderdelen beschermt tegen slijtage en corrosie.
Bondige sensor	Een bondige sensor is een sensor die volledig is ingebouwd in zijn behuizing. Dit zorgt ervoor dat het gebruikt kan worden in een opstelling met beperkte ruimte en zorgt voor een kleiner meetgebied.
Preload	Preload op een spindel verwijst naar een altijd aanwezige statische belasting die wordt toegepast om ervoor te zorgen dat de rollende elementen constant in nauw contact blijven met de loopbanen.

Abstract

Dit onderzoek draagt bij aan het herontwerpen van een bestaande machine bij LASE om het bewerken van aluminium extrusieprofielen te automatiseren. Bij het ontwerpen wordt rekening gehouden met eenvoud bij productie en montage, kosteneffectiviteit en kwaliteit.

Het bedrijf maakt gebruik van aluminium extrusieprofielen van verschillende afmetingen voor machineconstructies. Momenteel worden deze profielen handmatig op maat gezaagd en voorzien van gaten op specifieke locaties, wat arbeidsintensief is en meetfouten kan veroorzaken. Om deze redenen is automatisering van het proces noodzakelijk, waarbij de profielen met een nauwkeurigheid van $\pm 0,1$ mm gezaagd dienen te worden en de gaten geboord moeten worden met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5$ mm.

Het bedrijf werkt al langer aan dit probleem en heeft om deze reden een tweedehandszaagmachine gekocht. Deze bevat echter niet de mogelijkheid om gaten in de profielen te boren en moet dus verder ontworpen worden. Het nieuwe ontwerp van de machine omvat mechanische, pneumatische en elektrische componenten, waarbij programma's zoals Creo en FluidDraw worden gebruikt.

Om de gaten te boren, worden vier elektrisch/pneumatische boorunits gebruikt die, om aan de gestelde nauwkeurigheidseisen te voldoen, worden gepositioneerd aan de hand van lineaire modules. Pneumatische DFM-cilinders klemmen de profielen. Ten slotte worden de spanen, die geproduceerd worden tijdens het boren, afgevoerd met behulp van een geplooid trechter.

Na nog enkele verfijningen, is het ontwerp klaar voor productie.

Abstract in English

This research contributes to the redesign of an existing machine at LASE to automate the processing of aluminum extrusion profiles. The design prioritises simplicity in production and assembly, cost-effectiveness, and quality.

The company uses aluminium extrusion profiles of various sizes for machine constructions. Currently, these profiles are manually cut to size and drilled with holes at specific locations, which is labour-intensive and prone to measurement errors. For these reasons, automating the process is necessary, with profiles needing to be cut with an accuracy of ± 0.1 mm and holes drilled with an accuracy of ± 0.5 mm.

The company has been dealing with this issue for some time and has purchased a second-hand machine. However, this machine does not have the capability to drill holes in the profiles and therefore requires further design work. The new machine design includes mechanical, pneumatic, and electrical components. Programs such as Creo and FluidDraw are used for the design.

To meet the specified requirements, four electric/pneumatic drilling units are used which can assume different positions thanks to linear modules. These modules ensure that the drilling units are positioned with the required accuracy. Pneumatic DFM cylinders are used to hold the profiles in place. Finally, the chips produced during drilling are removed using a specially designed tray.

The design is in its final stage and, after some fine tuning, ready for production.

Hoofdstuk 1

Inleiding

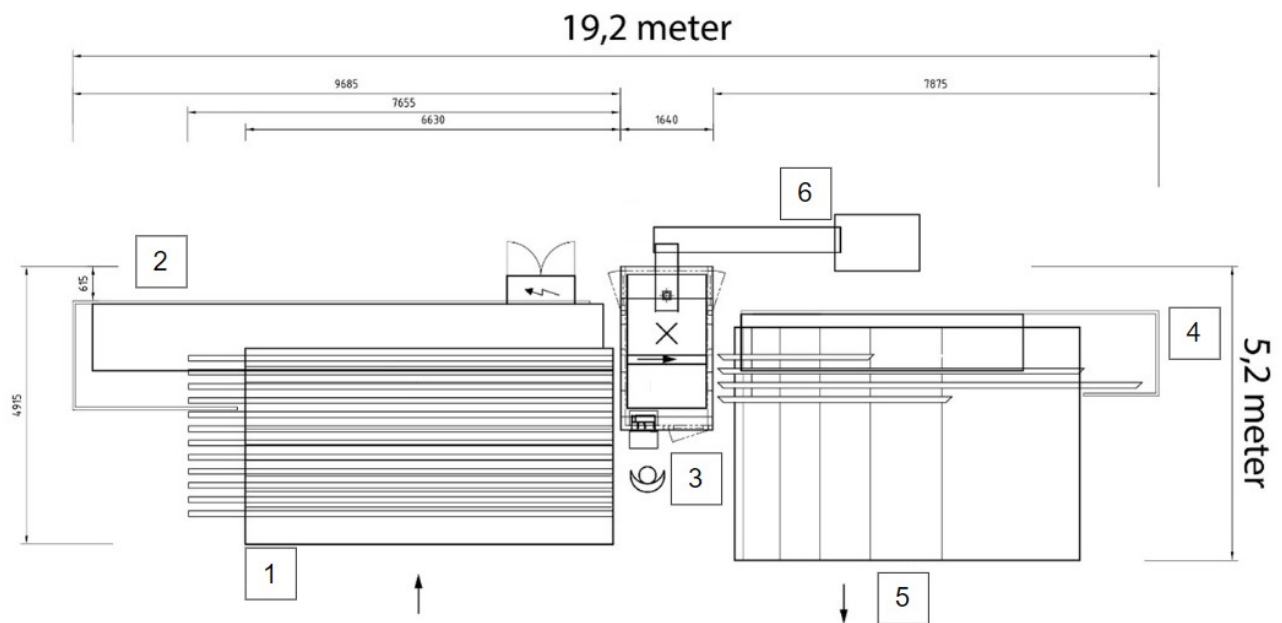
1.1 Situering

Het bedrijf LASE in Herk-de-Stad is een gespecialiseerde machinebouwer die zich toelegt op het ontwerpen en vervaardigen van op maat gemaakte machines voor gebruik in de automobielin-dustrie . Een cruciaal aspect van de productie van deze machines is het gebruik van stevige en gemakkelijk te bewerken basis. Daarom maakt het bedrijf gebruik van aluminium extrusie profielen, waarvan de grootte afhangt van de toepassing.

Op dit moment worden de bewerkingen van deze profielen handmatig uitgevoerd op twee ver-schillende machines, wat een zeer tijdsintensief proces is dat menselijke arbeid vereist en de kans op fouten vergroot. Om deze problemen aan te pakken, heeft het bedrijf geïnvesteerd in een tweedehands automatisch aluminiumbewerkingssysteem, met bouwjaar 2007, dat het volledige proces moet automatiseren. Het originele doel van de machine was om aluminium raamprofielen op maat te verwerken.

De machine bestaat uit zes onderdelen. Het eerste deel is de invoerbuffer waar de profielen klaargelegd worden om naar het bewerkingsgedeelte te worden gevoerd. Vervolgens worden de profielen op de juiste hoogte geplaatst en via een gemotoriseerde arm naar de zaag gebracht. In het derde deel worden de profielen op maat gezaagd, zowel loodrecht als onder een hoek. Na het zagen haalt een tweede arm de afgesneden stukken uit de zaagmachine en plaatst ze op de uitvoerbuffer. Dankzij de opbouw van de uitvoerbuffer is het mogelijk om een diverse reeks lengtes op te vangen. Een extra onderdeel van de machine is de spanenafvoer, die de spanen tijdens het zagen opvangt en transporteert naar een verzamelbak achter de machine. Zoals eerder vermeld, is het mogelijk om verschillende afmetingen te verwerken, variërend van 45 x 45 mm tot 180 x 90 mm, waarbij de lengte altijd 6 m is. Figuur 1.1 geeft een overzicht van het grondplan in zijn operationele staat. Het bufferen en het verplaatsen van de profielen worden als één geheel gezien, maar in de praktijk zijn dit twee individuele onderdelen. Figuur 1.2 geeft de machine in operationele staat weer.

De werkingstoestand van de machine en hoe de machine er nu uit ziet komen niet overeen. Figuur 1.3 tot en met figuur 1.6.



Figuur 1.1: Grondplan van het verwerkingssysteem in werkingstoestand [1]



Figuur 1.2: Verwerkingssysteem in werkingstoestand [2]



Figuur 1.3: Huidige situatie van de aanvoer



Figuur 1.4: Huidige situatie van de ingangsbuffer



Figuur 1.5: Huidige situatie van de zaag



Figuur 1.6: Huidige situatie van de uitgangsbuffer

1.2 Probleemstelling

Zoals eerder vermeld, is de aangekochte machine tweedehands. Dit betekent dat de machine niet aan de huidige specificaties voldoet, maar wel als een goede basis dient voor verdere ontwikkeling. Het doel is om de machine om te bouwen en uit te breiden zodat het voldoet aan alle eisen.

Bij het ombouwen van de machine komen een aantal problemen kijken. Allereerst is er een gebrek aan documentatie. Er zijn enkel elektrische schema's en een handleiding beschikbaar. Dit maakt het moeilijk om mechanische aanpassingen te maken vanwege het ontbreken van 3D-modellen.

Ten tweede verschillen de aluminium raamprofielen en de extrusieprofielen in afmetingen. De maximale afmetingen van de extrusieprofielen zijn groter dan die van de raamprofielen. Dit kan problemen veroorzaken bij het positioneren van de profielen voor de zaagbewerking, aangezien de machine niet is afgesteld op deze grotere afmetingen.

Het grootste probleem is dat de machine momenteel niet is uitgerust om alle bewerkingen op de profielen uit te voeren. Naast het zagen is het noodzakelijk dat de machine de profielen ook van gaten kan voorzien. Het toevoegen van deze extra bewerking zal het gehele proces veranderen, wat mogelijk voor complicaties kan zorgen.

1.3 Doelstellingen

Het doel van dit project is om de bewerking van extrusieprofielen volledig te automatiseren. Ingenieurs slaan hun tekeningen van de profielen op een server op en het personeel in de werkplaats moet enkel de juiste profielen op de invoer plaatsen. Na bewerking moeten de profielen enkel van de uitvoer worden verwijderd en zijn ze klaar voor assemblage. De machine moet in staat zijn de tekeningen te interpreteren om de gewenste lengte en diameter van de gaten te bepalen waardoor menselijke interventie, zoals het vervangen van een boorkop of het instellen van afmetingen, overbodig wordt.

Aangezien assemblage een zekere mate van nauwkeurigheid vereist, moet de machine ook aan deze precisievereisten voldoen. Voor het zagen is een nauwkeurigheid van $\pm 0,1$ mm vereist en voor het boren is een plaatsnauwkeurigheid van $\pm 0,5$ mm. Deze nauwkeurigheden zullen voldoende zijn voor de productie, aangezien de extrusieprofielen worden gebruikt voor het bevestigen van onderdelen en niet voor uiteindelijke uitlijning ervan. Naast de twee belangrijkste eisen zijn er nog enkele bijkomende eisen waar rekening mee gehouden moet worden bij het uitwerken van de machine. Tabel 1.1 geeft deze eisen weer.

Tabel 1.1: Overzicht van het bijkomende eisenpakket

Omschrijving	Invulling
Bewerkingstijd	2 snijbewerkingen per minuut of 1 snijbewerking en 1 boorbewerking per minuut
Kostprijs van het project	50 000 euro
Veiligheid	Volgens de algemene machinerichtlijnen
Onderhoud	Schoonmaken van de machine: 5 minuten per dag Onderhoud aan de machine: 1 uur per maand
Assemblage	Maximaal 1 week voor het assembleren van de machine

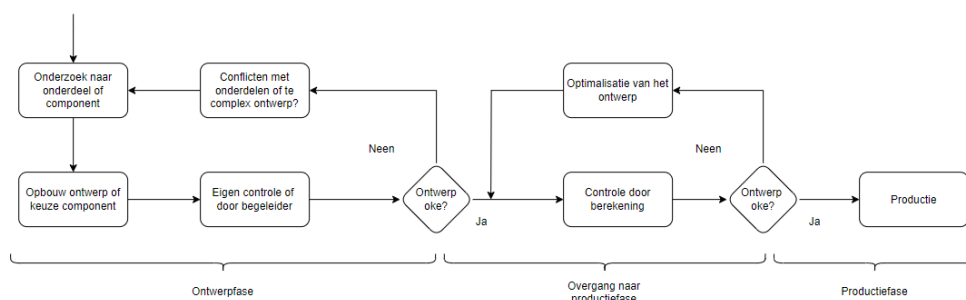
Het uitbreiden van de machine vereist geen ontwikkeling van nieuwe technieken. Bestaande componenten en principes worden gecombineerd en geconfigureerd om aan de gewenste specificaties te voldoen. Dit vereenvoudigt de realisatie van het project, geholpen door de expertise van LASE als machinebouwer.

Hoewel het project zo snel mogelijk moet worden voltooid, is er geen specifieke deadline vastgesteld omdat het een intern project is. Bij het ontwerpen van de machine moeten aan de veiligheidseisen worden voldaan die ook binnen het bedrijf worden toegepast voor machineontwerp. Er zijn geen verdere beperkingen opgelegd.

1.4 Methode

Om het project te realiseren, wordt er in verschillende fases gewerkt. In de eerste fase is het essentieel om de tweedehandsmachine volledig te onderzoeken. Dit omvat het grondig begrijpen van de mechanische structuur en de gebruikte componenten. Om een basis te leggen voor verdere ontwikkeling, zal de hele machine worden opgemeten en vervolgens in 3D worden gemodelleerd met behulp van het CAD-programma Creo. Hierdoor kunnen aanpassingen in een later stadium in 3D worden gevisualiseerd voordat ze worden uitgevoerd.

Nadat de bestaande machine in kaart is gebracht, moet de nieuwe boormodule worden ontworpen. Voor het ontwerpen van de onderdelen en de keuze van de componenten wordt er steeds een stappenplan herhaald. Figuur 1.7 geeft dit stappenplan weer.



Figuur 1.7: Gebruikte methode van ontwerpen

In eerste instantie wordt online of in voorgaande projecten onderzoek gedaan naar hoe een component het best kan worden uitgevoerd. Na voldoende onderzoek wordt een eerste ontwerp gemaakt dat vervolgens gecontroleerd wordt door een eigen evaluatie wanneer het wordt toegevoegd aan een grotere assemblage of door een begeleider binnen het bedrijf.

Als een ontwerp wordt afgekeurd, wordt er geanalyseerd waarom het niet voldoet. Dit kan zijn vanwege een te complex ontwerp of omdat het conflicten veroorzaakt met andere onderdelen. In dergelijke gevallen wordt opnieuw onderzoek gedaan naar alternatieve mogelijkheden of naar mogelijke aanpassingen.

Indien het ontwerp wel voldoet, worden waar nodig verdere berekeningen uitgevoerd. Voor cruciale componenten, zoals de sterkte van bouten of het benodigde koppel voor een motor, zijn dergelijke berekeningen essentieel.

Wanneer het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen, wordt het beschouwd als klaar voor productie. Als het ontwerp echter niet voldoet aan de eisen, wordt het geoptimaliseerd totdat het wel voldoet.

Na het mechanische ontwerp van de boormodule worden de elektrische en pneumatische componenten gecontroleerd en geïmplementeerd. Hierbij wordt beoordeeld of de bestaande componenten nog voldoen aan de specificaties en geschikt zijn voor de nieuwe werkwijze van de machine.

Voor de productie van de benodigde onderdelen beschikt LASE over alle vereiste machines en technieken.

1.5 Vooruitblik

Eerst wordt een bronnenstudie uitgevoerd om inzicht te krijgen in de bestaande machine. Hierbij worden de structuur en de gebruikte componenten geanalyseerd om een duidelijk beeld te krijgen van de werking van de tweedehandsmachine. Deze analyse ondersteunt het ontwerp van de aanvullende systemen.

Vervolgens wordt het ontwerp van de boormodule besproken. Voor elk onderdeel van de module wordt gedetailleerd uitgelegd hoe deze mechanisch, pneumatisch en elektrisch is opgebouwd. Elke ontwerpkeuze wordt onderbouwd en waar nodig worden berekeningen aangeboden ter validatie van deze keuzes.

Tijdens de overgang naar de productiefase zijn enkele problemen opgetreden die optimalisaties in het ontwerp noodzakelijk maakten. In het hoofdstuk productiefase worden deze aanpassingen specifiek besproken. Ten slotte wordt een overzicht gegeven van de resultaten en de mogelijke verbeteringen die nog aan de machine kunnen worden toegevoegd.

Hoofdstuk 2

Bronnenstudie

2.1 Inleiding

Voor aanvang van het ontwerpproces is een diepgaand begrip van het onderwerp van essentieel belang. De bestaande machine zal stapsgewijs worden geanalyseerd om een grondig inzicht te verwerven in de operationele werking, de toegepaste componenten en de redenering achter de selectie van deze componenten. De literatuurstudie vervult een dubbele rol: enerzijds biedt deze inzicht in de werking van de machine en de oplossingen voor specifieke uitdagingen en anderzijds levert deze fundamentele informatie die als basis kan dienen voor ontwerpbeslissingen. Het feit dat de machine fysiek beschikbaar is op het bedrijf verschaft een waardevol voordeel, aangezien dit directe toegang biedt tot informatie in vergelijking met louter online onderzoek.

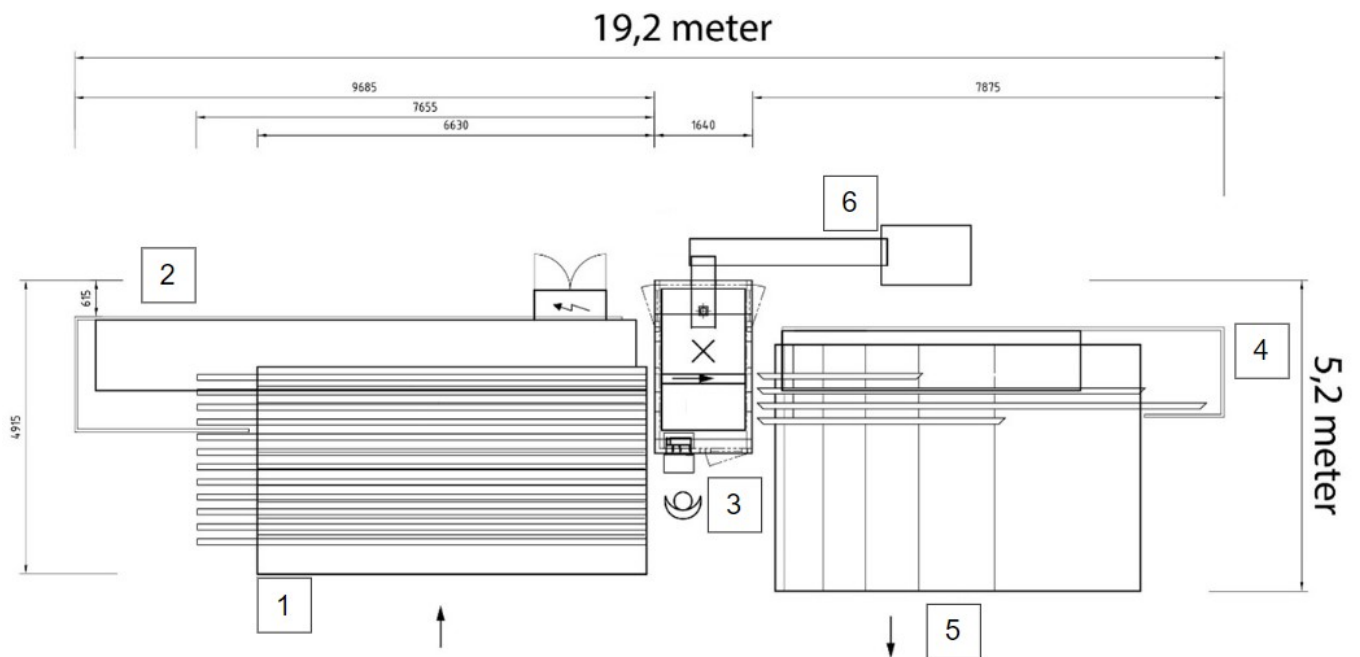
2.2 Resultaten van de bronnenstudie

Dit hoofdstuk biedt een uitvoerige analyse van de huidige situatie, inclusief een functieblok-schema, om elk aspect van het proces in kaart te brengen.

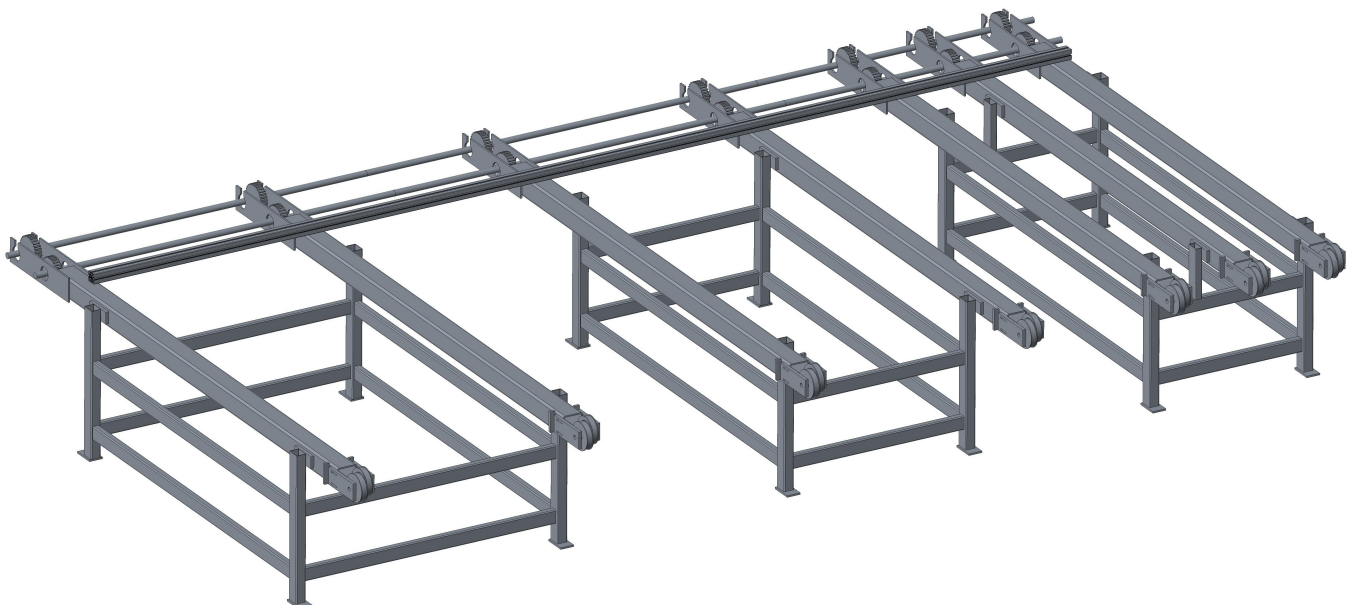
In de huidige configuratie bestaat de machine uit zes hoofdonderdelen, zoals geïllustreerd in figuur 1.1. Ten eerste worden de aluminium profielen in een ingangsbuffer (1) geplaatst, waarna ze worden getransporteerd naar de aanvoer (2). Hier duwt de aanvoer de profielen naar de zaagmachine (3), waar ze op maat worden gesneden. Na het snijden worden ze uit de zaag verwijderd door de uitvoer (4) en op een uitgangsbuffer (5) geplaatst. De aluminium spanen worden verzameld en afgevoerd met behulp van een transportband (6).

2.2.1 Ingangsbuffer

In de eerste fase van het onderzoek werd de ingangsbuffer geanalyseerd. Het doel van de buffer is om een aantal profielen op te slaan en ze vervolgens automatisch, één voor één, aan te voeren. Het buffersysteem heeft een lengte van 6630 mm, een breedte van 4000 mm en een werkhoogte van 950 mm. Zoals geïllustreerd in figuur 2.2, bestaat de buffer uit drie systemen. De technologie voor elk systeem zal hetzelfde zijn, waarbij alleen het frame en de dimensies verschillen. Deze opzet maakt het mogelijk om profielen van verschillende lengtes te ondersteunen.



Figuur 2.1: Grondplan van de machine in werkingstoestand
[1]



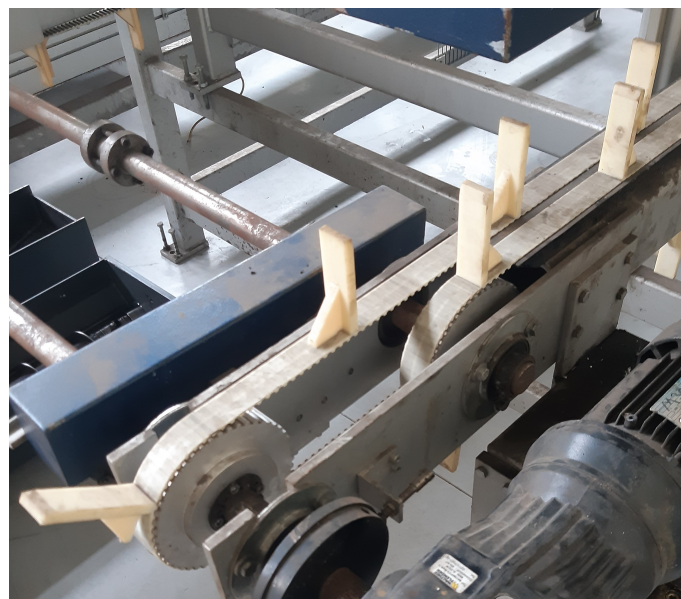
Figuur 2.2: 3D-model van de ingangsbuffer

Een functieblokschema biedt een waardevol inzicht in het maken van ontwerpkeuzes, hoewel in dit geval veel van deze keuzes reeds gemaakt zijn. Echter zal het overzicht worden gebruikt om te begrijpen hoe elke functie binnen de machine is ingevuld. Figuur 2.3 illustreert dit schema.



Figuur 2.3: Functieblokschema ingangsbuffer

De profielen worden aanvankelijk door een arbeider in het systeem geplaatst. Hierna worden ze verder getransporteerd tot aan de aanvoer. Voor dit transport wordt gebruik gemaakt van twee aangedreven riemen, vervaardigd uit kunststof, wat de mogelijkheid biedt om de profielen zonder beschadiging te verplaatsen. Figuur 2.4 illustreert de gebruikte riemen.



Figuur 2.4: Riemen voor het transporteren van de profielen in de ingangsbuffer

Bij het gebruik van dergelijke riemen is een geschikte aandrijving essentieel. Gezien de aanzienlijke massa van een tiental profielen op de riemen, is een hoog koppel vereist terwijl het toerental laag moet blijven. Om aan deze eisen te voldoen, is gekozen voor een elektromotor (type BA 71A4 B5) in combinatie met een gearbox. Om de rotatie van de gearbox over te brengen naar de riemen, is de keuze gevallen op vertande tandwielen.

Bij het gebruik van riemen treedt na verloop van tijd rek op. Indien hier geen rekening mee wordt gehouden, kan het systeem niet optimaal functioneren. Om dit fenomeen tegen te gaan, moet een systeem worden geïmplementeerd om de riemen opnieuw op te spannen. Dit wordt geïllustreerd in figuur 2.5.



Figuur 2.5: Systeem gebruikt voor het opspannen van de riemen bij optreden rek

Zoals afgebeeld in de voorgaande figuren, zullen twee riemen worden gebruikt voor het transport. Aangezien de zaagsneden van tevoren zijn ingesteld, is het van cruciaal belang dat de positie van de profielen behouden blijft tijdens het transport. Om dit te waarborgen, moeten de profielen worden ingeklemd, zoals weergegeven in figuur 2.6. Voor het bewerken van verschillende dimensies van profielen moet de breedte van de inklemming kunnen worden aangepast. Dit wordt gerealiseerd door middel van een wiel waarmee één van de riemen kan worden gedraaid. Dit is te zien in figuur 2.7.



Figuur 2.6: Systeem voor het inklemmen van de profielen in de ingangsbuffer



Figuur 2.7: Systeem voor het instellen van de inklemming in de ingangsbuffer

Zoals eerder vermeld, wordt er gebruik gemaakt van twee riemen waarvan er één verstelbaar is. Beide riemen moeten echter worden aangedreven door dezelfde motor. Ze worden daarom met elkaar verbonden. Dit wordt gerealiseerd door middel van een kettingoverbrenging waarbij twee tandwielen met elkaar worden verbonden. Net zoals bij de riemen kan een ketting in de loop van de tijd doorbuigen. Het is daarom belangrijk om deze op te spannen. Voor het opspannen van de ketting wordt er gebruik gemaakt van een SPANN-BOX [3] omdat dit een zeer compacte oplossing is en ook omdat het de mogelijkheid biedt om af te lezen hoe ver de ketting al is opgespannen. De SPANN-BOX is voorzien van een kleurencode, variërend van groen tot rood, waarbij groen aangeeft dat de ketting normaal functioneert en rood aangeeft dat de ketting te strak is gespannen of al te vaak is opgespannen. Dit is een indicatie dat de ketting moet worden vervangen. In figuur 2.8 is dit systeem te zien.

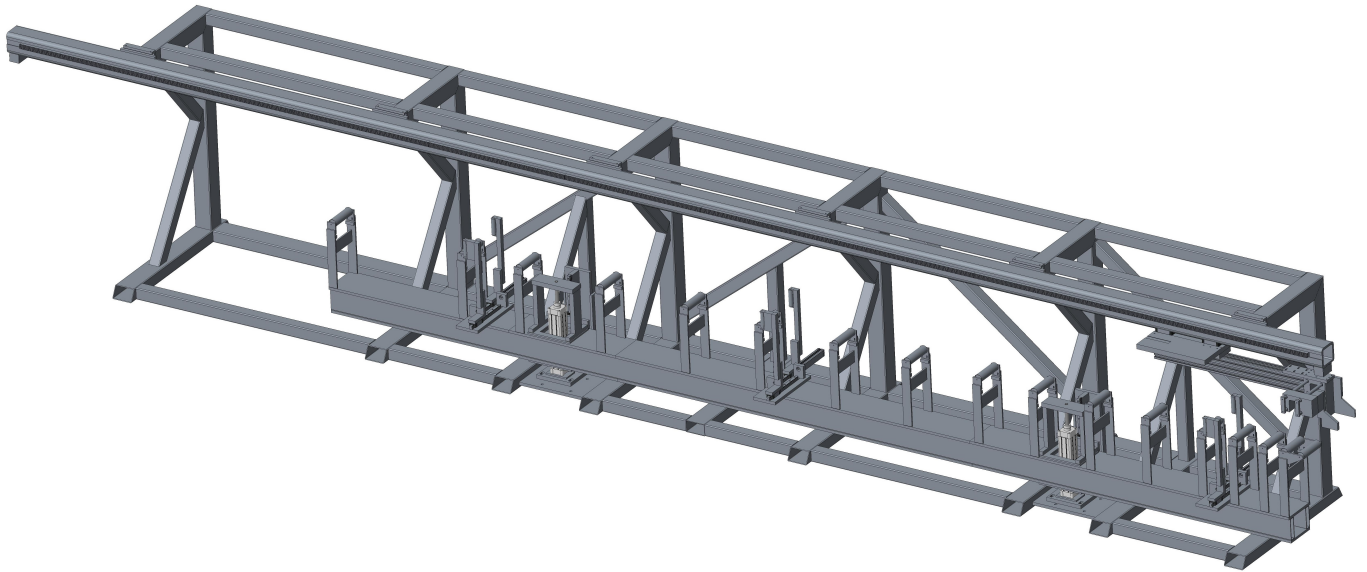
Ten slotte worden de verschillende assen met elkaar verbonden via een conisch spanelement. Deze koppeling zorgt voor een eenvoudige maar sterke verbinding [4].



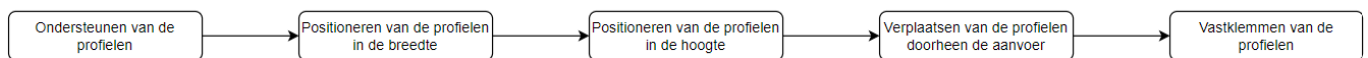
Figuur 2.8: Systeem voor het opspannen van de ketting in de ingangsbuffer

2.2.2 Aanvoer

De volgende stap is het aanvoeren van de profielen naar de zaagmachine. Dit is naast de zaag het belangrijkste onderdeel, omdat het instaat voor het bepalen van de lengte en de nauwkeurigheid van de snede. Figuur 2.9 geeft een schets van hoe de aanvoer eruit ziet en figuur 2.10 geeft opnieuw het functieblokschema weer.



Figuur 2.9: 3D-model van de aanvoer



Figuur 2.10: Functieblokschema aanvoer

Na het bufferen van de profielen belanden ze in de aanvoersectie waar de primaire functie het positioneren van de profielen is voor verdere verwerking in de zaagmachine. De aanvoermodule heeft de taak om de profielen te klemmen en ze in de juiste positie te brengen voor de zaagsnede. Voor het eenvoudig verplaatsen van de profielen worden metalen rollen gebruikt, zoals weergegeven in figuur 2.11. Het buffergebied bevindt zich boven de standaardpositie van de aanvoer om voldoende ruimte te bieden voor verdere verplaatsing van de profielen binnen het systeem. Zodra de profielen correct zijn gepositioneerd, wordt het gehele systeem opgetild door pneumatische cilinders. Gezien de variabiliteit in profielafmetingen, is het van belang om de hoogte van de profielen aan te passen. Dit wordt gerealiseerd door een servomotor die een aanslag uitschuift, waardoor de cilinder nauwkeurig naar de gewenste hoogte kan bewegen. De aanpassing van de hoogte wordt weergegeven in figuur 2.12. Nadat de profielen correct zijn gepositioneerd, worden ze horizontaal aangepast door middel van een pneumatische cilinder, om ze in de optimale positie te brengen voor het klemmen door de arm. Dit positioneringssysteem is afgebeeld in figuur 2.13. Een combinatie van een servomotor, een gearbox en een tandwiel-tandheugelmechanisme staat garant voor een nauwkeurige en consistente verplaatsing. Ten slotte wordt een pneumatische cilinder aan de voorkant van de arm gemonteerd om de profielen te klemmen. Dit systeem wordt afgebeeld in figuur 2.14 en 2.15.



Figuur 2.11: Ondersteunende rollen in de aanvoer



Figuur 2.12: Motorsysteem voor het instellen van een aanslag in de aanvoer



Figuur 2.13: Mechanisme voor het positioneren van de profielen in de breedte



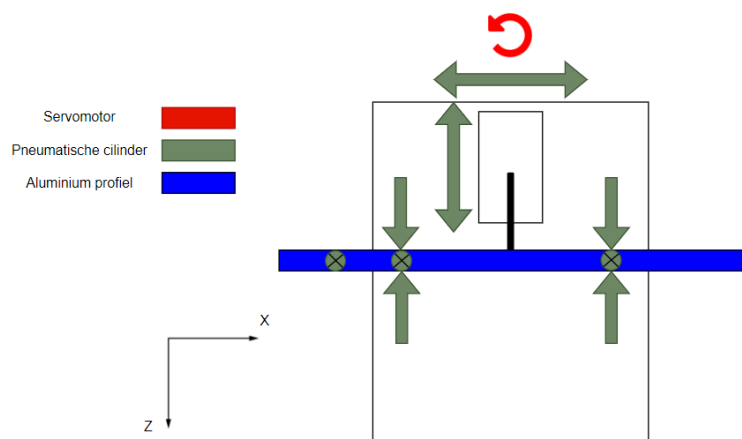
Figuur 2.14: Mechanisme voor het vastklemmen van de profielen in de aanvoer



Figuur 2.15: Motor, gearbox en tandwiel opstelling

2.2.3 Zaagmachine

In het derde deel van de machine bevindt zich het essentiële onderdeel, namelijk de zaagunit. In deze sectie wordt geen functieblokschema gegeven, maar een schema dat de verschillende configuraties van de zaag en de aanslagen illustreert om de correcte snede te verkrijgen. Gezien de diversiteit aan posities van de componenten zullen meerdere aanzichten worden besproken. Figuur 2.16 geeft het bovenaanzicht weer en figuur 2.17 geeft het zijaanzicht weer.

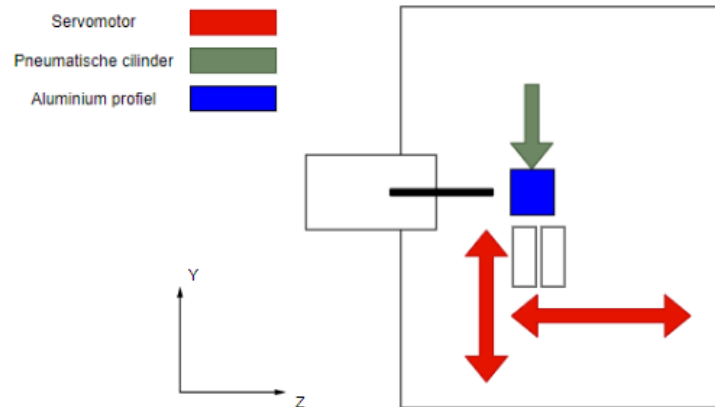


Figuur 2.16: Schematische weergave zaagmachine (bovenaanzicht)

Aan de hand van dit schema wordt duidelijk dat er op verschillende manieren wordt gepositioneerd. De zaag wordt verplaatst met behulp van pneumatische cilinders voor zowel bewegingen in de X en Z-richting. Pneumatische cilinders hebben over het algemeen een lagere nauwkeurigheid dan servomotoren [5], maar omdat de positionering wordt uitgevoerd via de arm in de aanvoer en niet door middel van deze cilinders, vormt de lagere nauwkeurigheid geen probleem.

De zaag moet ook onder een hoek kunnen zagen en moet daarom kunnen roteren. Hoewel een pneumatische actuator een mogelijke oplossing zou kunnen zijn, is dit niet de meest geschikte optie. Aan de hand van een servomotor kan er eenvoudig een nauwkeurige rotatie worden geprogrammeerd.

In aanvulling op het positioneren van de zaag, is het ook noodzakelijk om het profiel stevig te fixeren tijdens het zagen om ongewenste bewegingen te voorkomen. Zoals te zien is in de figuur, wordt het profiel aan beide zijden op twee plaatsen vastgezet om verschuivingen in de Z-richting te voorkomen. Bovendien wordt het profiel op drie plaatsen in de Y-richting vastgeklemd. Deze klemming wordt weergegeven met een groene cirkel. Deze fixatie wordt mogelijk gemaakt door een speciaal ontworpen klemmechanisme waarvoor ook pneumatische cilinders worden gebruikt. Hun rol is echter beperkt tot het stevig tegen de nauwkeurige aanslagen drukken en niet daadwerkelijk de profielen positioneren.



Figuur 2.17: Schematische weergave zaagmachine (zijaanzicht)

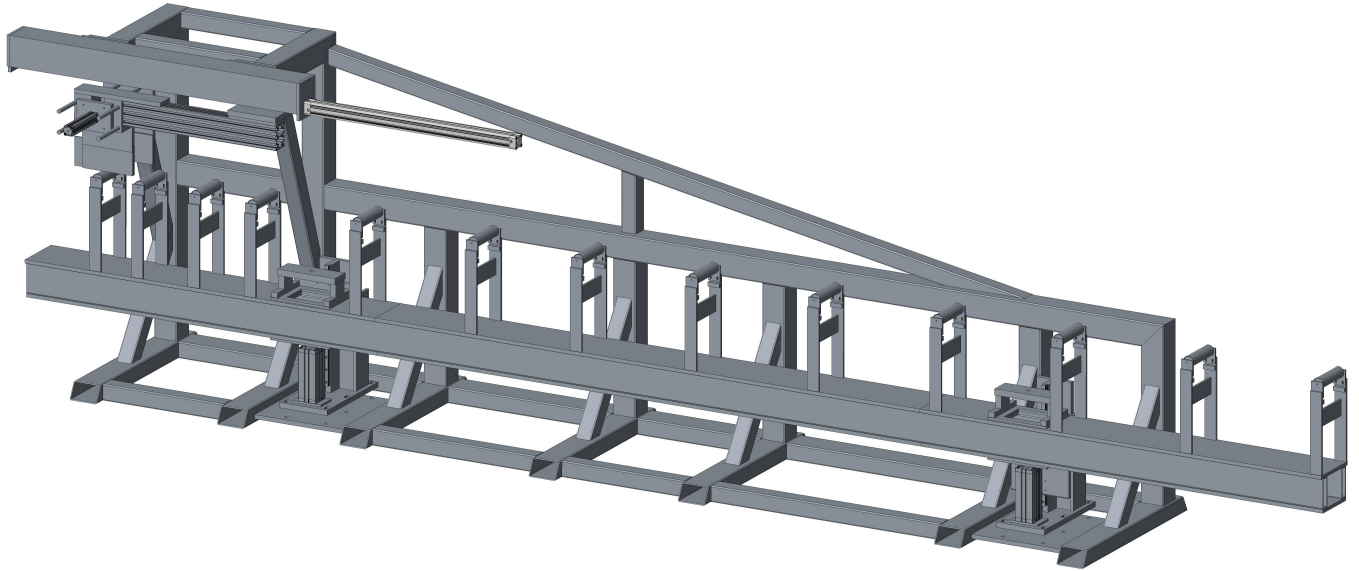
In het zijaanzicht worden de ondersteunende aanslagen in vereenvoudigde vorm weergegeven. Gezien de variërende afmetingen van de profielen, dienen deze onderdelen zich in zowel de Y- als de Z-richting te kunnen verplaatsen. Het linkeronderdeel beweegt uitsluitend verticaal. Het rechterdeel kan zowel verticaal als horizontaal bewegen aangezien zowel de hoogte als de breedte van de profielen kan variëren. Deze aanslagen fungeren als referentiepunten voor de snedes waarbij nauwkeurigheid van cruciaal belang is. Daarom wordt een servomotor gebruikt om de bewegingen te realiseren. Figuur 2.18 illustreert de instelbare aanslagen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de randen zichtbaar zijn waar de profielen tegen worden gedruwd.



Figuur 2.18: Instelbare aanslagen gebruikt in de zaagmachine

2.2.4 Afvoer

Na het verzagen van de profielen moeten ze uit de machine worden gehaald en worden afgevoerd. Dit gebeurt op een gelijkaardige manier als de aanvoer. Een arm met een klemmechanisme zal in de zaag bewegen, het profiel vastklemmen en uit de machine trekken. In figuur 2.19 is de afvoer te zien. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het een gelijkaardige opbouw heeft als de aanvoer.



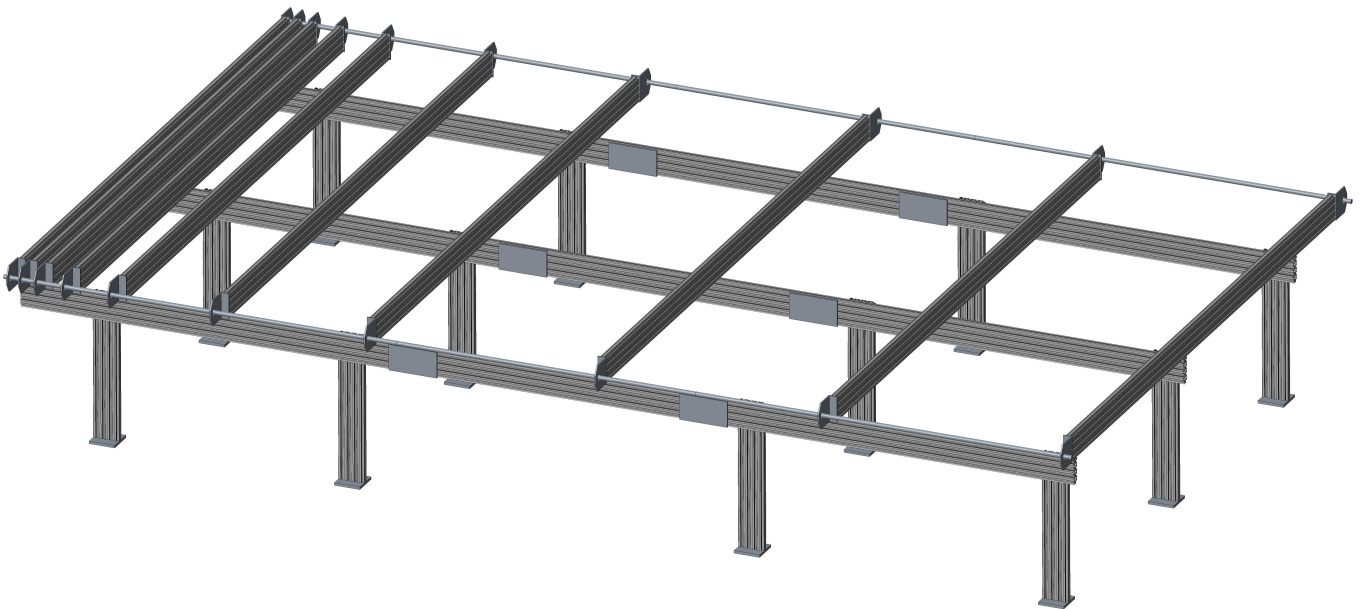
Figuur 2.19: 3D-model van de afvoer

Toch zijn er enkele verschillen met de aanvoer zoals geïllustreerd in figuur 2.19. Opvallend is dat de afvoer kleiner is vanwege de afgenomen lengte van de profielen. Hierdoor zullen ook de gebruikte cilinders van kleiner formaat zijn. Verder zal de arm, die wordt gebruikt om de profielen te verplaatsen anders, worden geconstrueerd. In de aanvoer werd een motor met tandwiel gebruikt terwijl hier een lange pneumatische cilinder wordt ingezet. Aangezien de positie van de profielen niet langer van belang is, volstaat een cilinder. Dit resulteert in een kostenefficiënter en eenvoudiger systeem waarbij bovendien het mechanisme kleiner kan worden gerealiseerd. Het gehele systeem zal, net zoals bij de aanvoer, in staat zijn om omhoog en omlaag te bewegen om de bewerkte profielen op de uitgangsbuffer te plaatsen. De andere mechanismes zoals het instellen van de aanslag, het positioneren van de profielen in de breedte zullen hetzelfde zijn als eerder besproken in de aanvoer.

2.2.5 Uitgangsbuffer

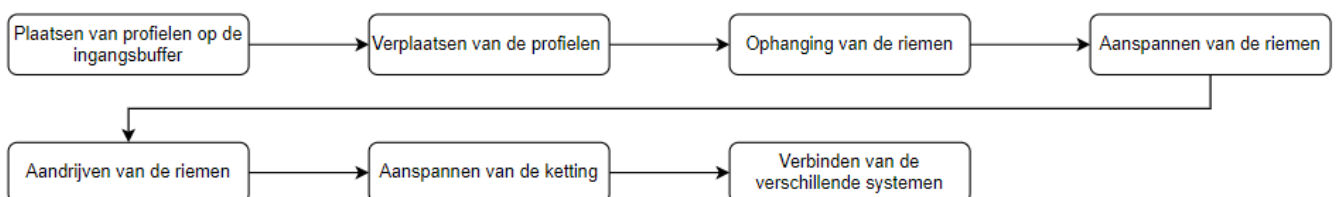
Bij het automatiseren van profielbewerking is het essentieel om een buffer te hebben voor de opslag van profielen zodat een aanzienlijke hoeveelheid bewerking kan plaatsvinden zonder menselijke tussenkomst. Dit is het doel van de uitgangsbuffer, zoals geïllustreerd in figuur 2.20. Een opvallend verschil is dat dit systeem is opgebouwd uit standaard aluminium profielen in plaats van vierkante stalen buizen. Dit is mogelijk vanwege het verschil in massa dat de buffer moet kunnen ondersteunen. Bij de ingang zullen de profielen steeds hun volledige lengte en dus de volledige massa in de buffer hebben terwijl bij de uitgang steeds kleinere stukken worden opgeslagen.

Een mogelijke situatie is wanneer het aluminium extrusieprofiel met een afmeting van 100 mm x 100 mm, een lengte van 6000 mm en een massa van 13,52 kg/m wordt bewerkt [6]. Als er tien van deze profielen op de ingangsbuffer liggen, moet de buffer een massa van 811,2 kg kunnen ondersteunen. In een maximale situatie worden de profielen in gelijke delen van steeds 1/3 van de lengte gezaagd. Als de uitgangsbuffer ook maar tien stukken kan opslaan, moet deze buffer een massa van 270,4 kg kunnen ondersteunen, wat overeenkomt met 1/3 van de massa in de ingangsbuffer. Omdat het zagen van profielen in 1/3 van de lengte al aanzienlijk is, zal de uitgangsbuffer in normale omstandigheden waarschijnlijk minder massa dienen te ondersteunen.



Figuur 2.20: 3D-model van de uitgangsbuffer

Om een dieper inzicht te verkrijgen in de volledige werking, wordt ook het functieblokschema, zoals weergegeven in Figuur 2.21, besproken.



Figuur 2.21: Functieblokschema uitgangsbuffer

De eerste stap omvat het plaatsen van de profielen op de buffer. Dit zal op dezelfde manier gebeuren als het uitnemen van profielen uit de ingangsbuffer. De afvoer zal de profielen op een systeem van met ketting aangedreven riemen plaatsen. Deze riemen zullen de profielen verder transporteren. Om een soepele geleiding van de riemen te garanderen, worden ze op een glijmateriaal gelegd. Dit systeem wordt weergegeven in figuur 2.22.



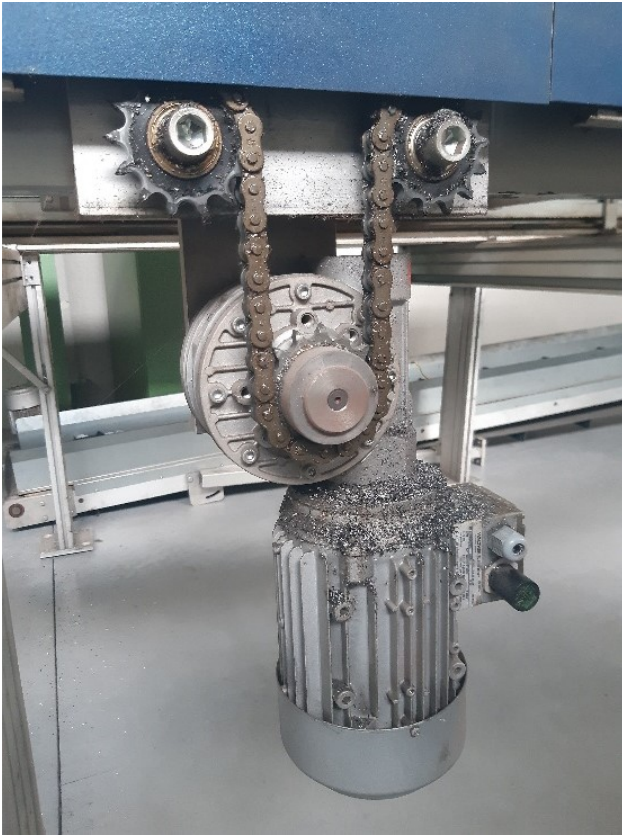
Figuur 2.22: Riemen voor het transporteren van de profielen in de uitgangsbuffer

In de derde fase van het overzicht worden de riemen met het systeem bevestigd zoals weergegeven in figuur 2.23. In tegenstelling tot de aanvoer worden de riemen niet extra aangespannen omdat ze niet direct verbonden zijn met een motor. In plaats daarvan zijn ze verbonden met een tandwiel dat via een ketting is gekoppeld aan een motor. Hierdoor is een strakke riem niet essentieel.



Figuur 2.23: Mechanisme gebruikt voor het ophangen van de riemen

Daarentegen is het van belang dat de ketting, die zorgt voor de overbrenging, wel kan worden aangespannen. De mechanismen van de aandrijving worden geïllustreerd in figuur 2.24 en 2.25. Hierbij zullen de tandwielen op een vaste positie staan, terwijl de motor en gearbox kunnen verschuiven om de ketting aan te spannen.

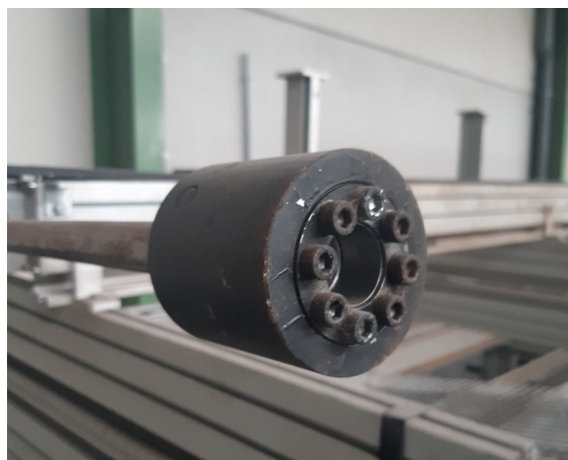


Figuur 2.24: Aandrijving van de riemen in de uitgangsbuffer



Figuur 2.25: Systeem voor het aanspannen van de ketting in de uitgangsbuffer

Net zoals bij de ingangsbuffer zullen verschillende assen het gehele systeem aandrijven omdat het eenvoudiger is om verschillende assen te verbinden dan één lange as te gebruiken. De diverse onderdelen worden verbonden via een starre askoppeling zoals geïllustreerd in figuur 2.26.



Figuur 2.26: Askoppeling gebruikt voor het verbinden van de assen in de uitgangsbuffer

2.3 Conclusie

Door de uitgevoerde bronnenstudie kon een volledig 3D-model van de machine worden gegenereerd, zoals weergegeven in figuur 2.27. Dit model biedt de mogelijkheid om tijdens de ontwerp-fase aanpassingen te visualiseren en te verfijnen voordat ze daadwerkelijk worden geïmplementeerd. Deze benadering biedt tevens het voordeel dat bij het ontwerpen van de boormodule rekening kan worden gehouden met de integratie ervan in het totale systeem, wat een gestroomlijnd ontwerpproces mogelijk maakt.



Figuur 2.27: 3D-model van de bestaande machine

Verder heeft de bronnenstudie een heldere documentatie van de gebruikte componenten opgeleverd. Waar mogelijk wordt het aanbevolen om dezelfde componenten te handhaven, wat de aansluitingsprocedure voor programmeurs en elektriciens vereenvoudigt. Dit draagt niet alleen bij aan operationeel gemak, maar vergemakkelijkt ook het bestel- en reparatieproces, doordat uniformiteit in componenten de uitvoering van deze taken vereenvoudigt.

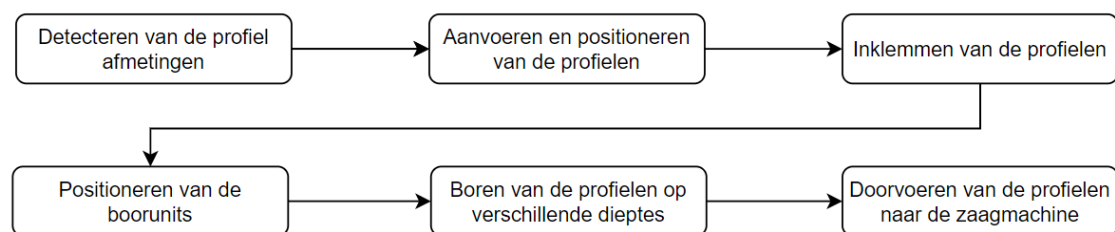
Hoofdstuk 3

Ontwerpfase

Na het uitvoeren van de bronnenstudie kan de ontwerpfase beginnen. In deze fase wordt de bestaande machine aangepast naar de nieuwe richtlijnen en wordt er een boormodule ontworpen voor het bewerken van de profielen. Dit hoofdstuk geeft een eerste beeld van hoe de module er zal uitzien en welke richtlijnen er worden gevolgd tijdens het ontwerp.

3.1 Functieblokschema

Om een overzicht te krijgen van de functies en vereisten waaraan de module moet voldoen, wordt een functieblokschema opgesteld. Figuur 3.1 toont dit schema.



Figuur 3.1: Functieblokschema van de te ontwerpen boormodule

De eerste twee functies worden vervuld door de uitgebreide tweedehandsmachine. Softwarematig worden de 3D-modellen van de profielen geanalyseerd, waardoor de afmetingen van de profielen en de posities van de gaten kunnen worden bepaald. Het aanvoeren van de profielen zal plaatsvinden met behulp van de arm zoals uitgelegd in hoofdstuk 2.2.2.

In de derde stap moet een systeem worden ontwikkeld dat ervoor zorgt dat de profielen niet kunnen bewegen tijdens het boren. Het is cruciaal dat de inklemming zo dicht mogelijk bij de boorunits plaatsvindt. Voordat het boren kan beginnen, moeten de boorunits naar de juiste positie worden verplaatst. Aangezien de profielen verschillende afmetingen hebben, is de positie van de boorunits nooit hetzelfde. Na het positioneren moeten de profielen daadwerkelijk worden geboord. Door de variërende afmeting zal de diepte waarop geboord wordt ook niet hetzelfde zijn. Het is daarom essentieel dat deze dieptes instelbaar zijn. De profielen worden voorzien van gaten met een diameter van 10 of 19 mm, waardoor er een mogelijkheid moet zijn om deze verschillende diameters te boren.

Na het boren moeten de profielen verder door de machine worden getransporteerd. Hiervoor wordt opnieuw de arm uit hoofdstuk 2.2.2 gebruikt. Er moet echter een voorziening zijn zodat de arm door de boormodule kan bewegen zonder dat er lengte verloren gaat.

3.2 Ontwerprichtlijnen

Tijdens het ontwerpproces worden de richtlijnen die binnen het bedrijf van kracht zijn, gevolgd. Voor mechanische bewerkingen zijn er richtlijnen die doorheen het hele ontwerp frequent aan bod komen. Deze richtlijnen zijn:

- Blinde gaten
 - Minimum diepte schroefdraad: $1,5 \times D$ in staal en $3 \times D$ in aluminium.
 - Minimum boordiepte: bepaald aan de hand van richtlijnen op p. 220 in [7].
 - Sterkteklasse: altijd klasse 8.8.
- Doorvoergaten
 - Doorvoerdiameter: Er wordt steeds gekozen voor een middelmatige doorvoerdiameter ten op zichte van de nominale diameter.
- Passingen: Binnen LASE zijn er standaard passingen vastgelegd die gebruikt moeten worden per specifieke toepassing.
- Materiaal: Binnen LASE zijn standaard materialen vastgesteld die gebruikt moeten worden per specifieke toepassingen.

De combinatie van doorvoergaten en schroefgaten komt vaak voor. Bij deze configuratie wordt de lengte van de bout zo gekozen dat ze tot het einde van het schroefgat reikt. In situaties waarbij sprake is van wisselende belasting, bevindt de hoogte spanning zich aan het einde van de draad. Het beperken van de boutlengte tot slechts het midden van het materiaal kan resulteren in vermoeiingsbreuken.

Bij het ontwerpen van componenten wordt consequent rekening gehouden met de productie-eenvoud. Er wordt gestreefd naar uniformiteit in het ontwerp om productiefouten te minimaliseren, wat betekent dat kleine variaties worden vermeden. Bovendien kan het voorkomen dat een grotere dikte wordt gekozen dan strikt noodzakelijk, omdat de exacte dikte niet op voorraad is. Dit principe geldt ook voor de keuze van de bouten. Voor LASE is het eenvoudiger om in een plaat slechts twee verschillende diameters te bewerken, waarbij één overgedimensioneerd is, dan om vijf verschillende diameters te bewerken voor bouten die exact aan de gevraagde krachten voldoen.

Bij de selectie van elektrische en pneumatische componenten voor vergelijkbare taken wordt geprobeerd om steeds dezelfde component te selecteren. Ook als dit leidt tot overdimensionering voor specifieke toepassingen. Dit bevordert het gemak van onderhoud en de beschikbaarheid van reserveonderdelen, omdat uniforme procedures kunnen worden gevolgd voor iedere component.

Bovendien is er aandacht besteed aan productie- en montage-eenvoud tijdens het ontwerpproces. Wanneer er nog meer specifieke richtlijnen worden gevolgd, zal dit bij de ontwerpkeuzes verder worden toegelicht.

Hoofdstuk 4

Basisframe

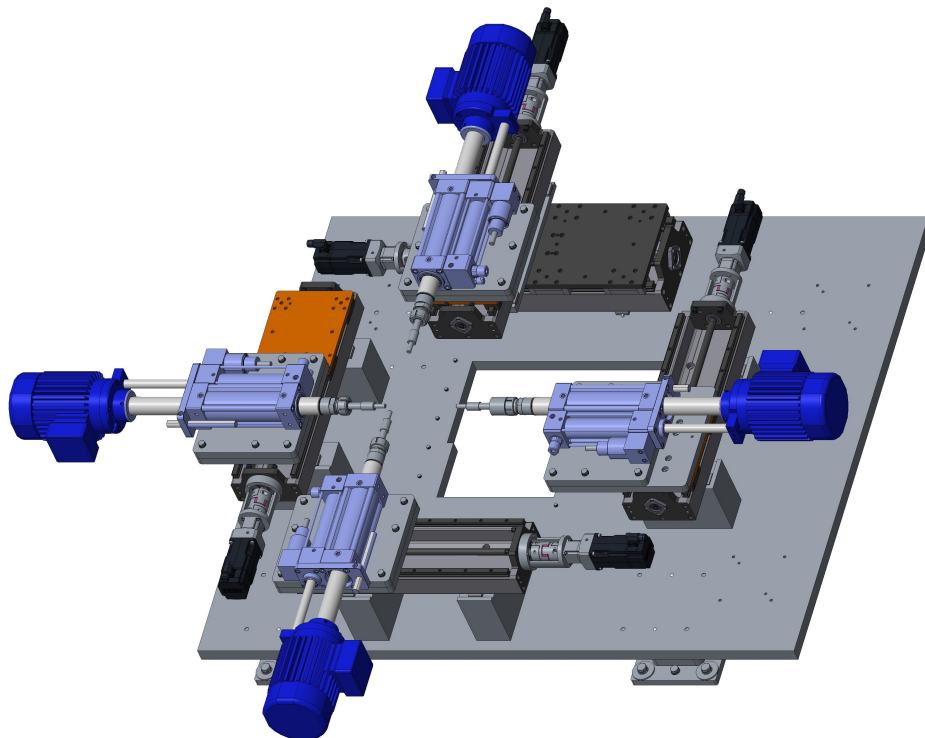
4.1 Inleiding

Het eerste onderdeel van de boormodule is het basisframe, dat zoals de naam al aangeeft, de basis voor de gehele boormodule. Het dient als verbindingspunt met het bestaande frame en biedt een stevige basis voor de bevestiging van alle componenten.

De componenten die op het basisframe worden gemonteerd, hebben als hoofddoel het boren van gaten in de aangevoerde profielen. Dit wordt bereikt door middel van boormodules die zijn gemonteerd op lineaire geleidingssystemen, waardoor ze de gewenste posities kunnen innemen.

Op dit basisframe zullen ook de spaanafvoer en de inklemming worden bevestigd.

Figuur 4.1 toont het resultaat van de ontwerpfase voor het basisframe.



Figuur 4.1: Resultaat ontwerpfase basisframe

4.2 Mechanische opzet

4.2.1 Verbinding met bestaande machine

Het eerste deel van het basisframe omvat de verbinding tussen de basisplaat en de bestaande machine. De boormodule zal tegen het frame van de zaag worden bevestigd omdat dit reeds een solide basis biedt voor verdere uitbreiding. Het ontwerpen van een geheel nieuw frame zou te veel ruimte in beslag nemen en te kostbaar zijn. Figuur 4.2 toont het bestaande frame, waarop nog veel kabelgoten aanwezig zijn aan de zijkant. Deze kunnen echter worden verplaatst om te beginnen met een vlak frame.



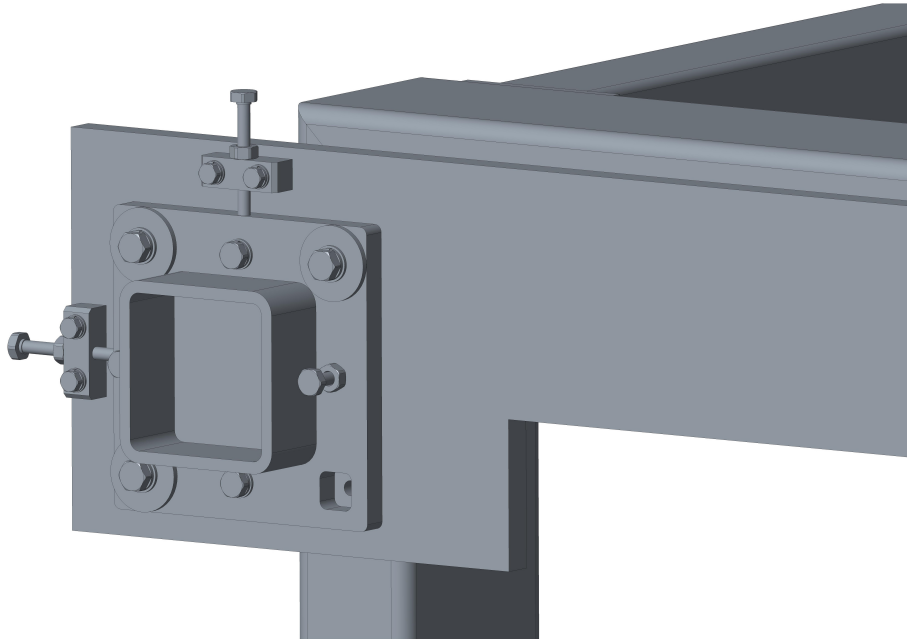
Figuur 4.2: Bestaand frame waar de nieuwe module op bevestigd wordt

De boormodule zal niet direct aan het frame worden bevestigd vanwege andere vaste onderdelen die in de weg zitten. Ook zou het dan niet meer mogelijk zijn om de positie van de boormodule af te stellen. Om dit toch mogelijk te maken, zullen er drie platen aan het bestaande frame worden gelast, waarna er afstandskokers op worden bevestigd. Figuur 4.3 illustreert het systeem van de lasplaat en de afstandskoker. De figuur is een doorsnede van de werkelijke situatie, waarbij de bouten rechtsonder zijn weggelaten voor een duidelijkere weergave van hoe het systeem zal functioneren.

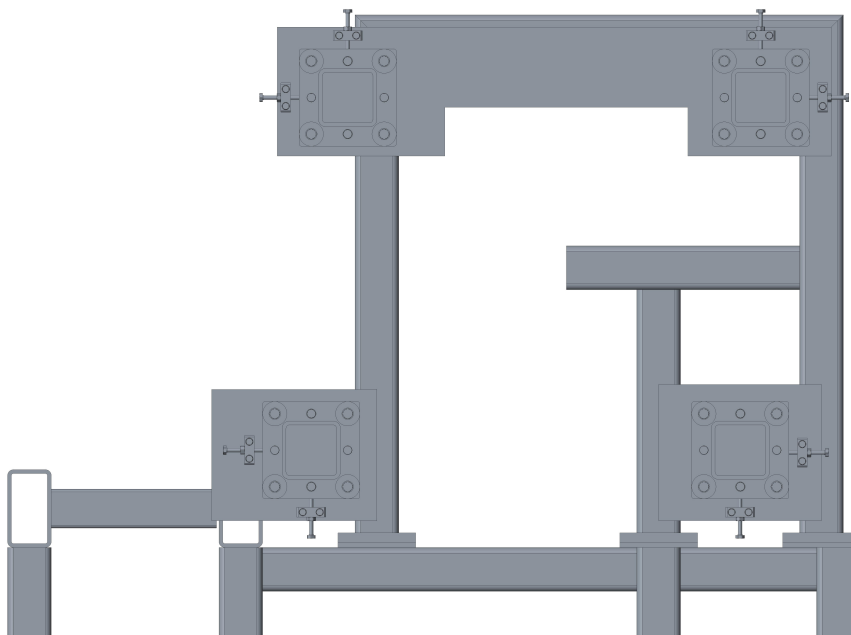
In de figuur is te zien dat de gaten geen eenvoudige doorvoergaten zijn, maar eerder vierkante gaten. Dit maakt het mogelijk om de onderste voet te verplaatsen en de gehele boormodule af te stellen. De ronde schijf onder de bout trekt het geheel tegen de lasplaat aan. Dit systeem wordt op de vier hoeken toegepast, zoals te zien is in figuur 4.4.

Naast het positioneren in hoogte en breedte, is het ook belangrijk dat de boormodule in diepte kan worden afgesteld. Dit is ook te zien in figuur 4.3. Een bout bevindt zich in een getapt gat en bij het aandraaien zal het geheel omhoog komen doordat de bout tegen de lasplaat wordt gedraaid. De moer wordt gebruikt om de bout op zijn gewenste positie te houden.

Om de montage van de twee delen te vergemakkelijken, zijn er twee nominale gaten voorzien. Het doel van deze gaten is om een eerste verbinding te maken zodat het afstellen nadien eenvoudiger verloopt.



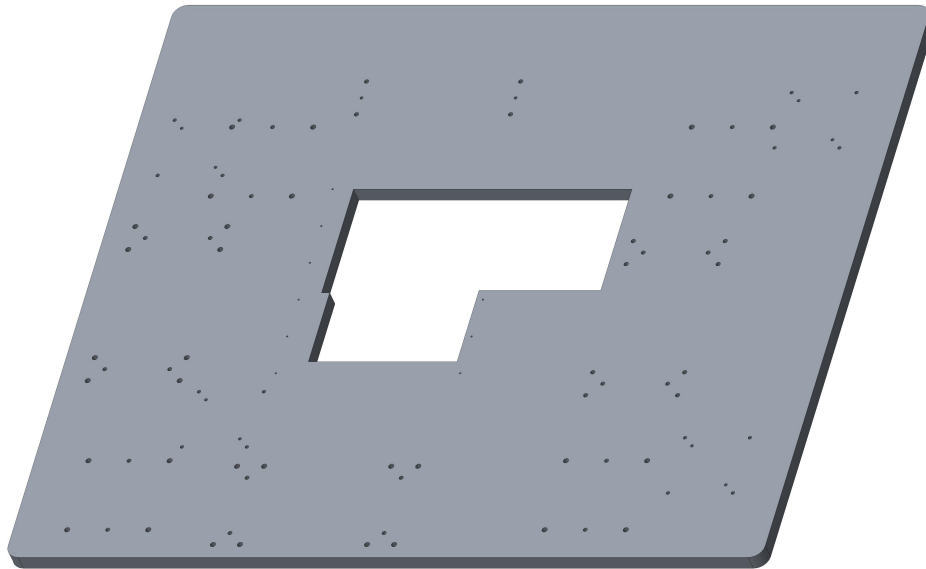
Figuur 4.3: 3D-model bevestiging afstandskoker op lasplaten



Figuur 4.4: 3D-model lasplaten op bestaand frame voor bevestiging boormodule

4.2.2 Basisplaat

De basisplaat vormt het fundament voor zowel het basisframe als de gehele boormodule. Daarom moet deze plaat groot en sterk zijn. Voor deze toepassing is gekozen voor een gegoten aluminium Plancast-plaat met een dikte van 35 mm, een lengte van 1400 mm en een breedte van 1200 mm. De keuze voor een Plancast-plaat is gebaseerd op de gunstige mechanische eigenschappen voor deze toepassing [8]. Een gegoten plaat is aanzienlijk spanningsarmer dan een gewalste plaat, wat betekent dat er bij het bewerken minder kans is op vervorming door interne spanningen. Daarnaast heeft de plaat een hoge vlakheid. Vanwege de grote afmetingen is het voor LASE niet mogelijk om de plaat zelf vlak te frezen, waardoor de vlakheid van essentieel belang is. Figuur 4.5 toont de basisplaat.



Figuur 4.5: 3D-model basisplaat

Zoals te zien is op figuur 4.5 bevat de plaat aanzienlijk veel gaten. Deze zullen om dezelfde reden niet met een freesmachine worden vervaardigd. LASE beschikt zelf over meerdere machines die wel in staat zijn om platen van deze grootte te bewerken. Zo is er een waterjetsnijder, een plasmasnijder en een lasersnijder. Voor deze toepassing is het belangrijk dat de machine een dikte van 30 mm kan bewerken en dat de bewerkingen van hoge nauwkeurigheid zijn. Aan de hand van deze specificaties is de waterjetsnijder de beste oplossing [9]. De machine die binnen het bedrijf beschikbaar is, is de Flow Mach 200 met een werkruimte van 4000 x 2000 mm, een nauwkeurigheid van $\pm 0,064$ mm en een herhaalbaarheid van $\pm 0,025$ mm [10].

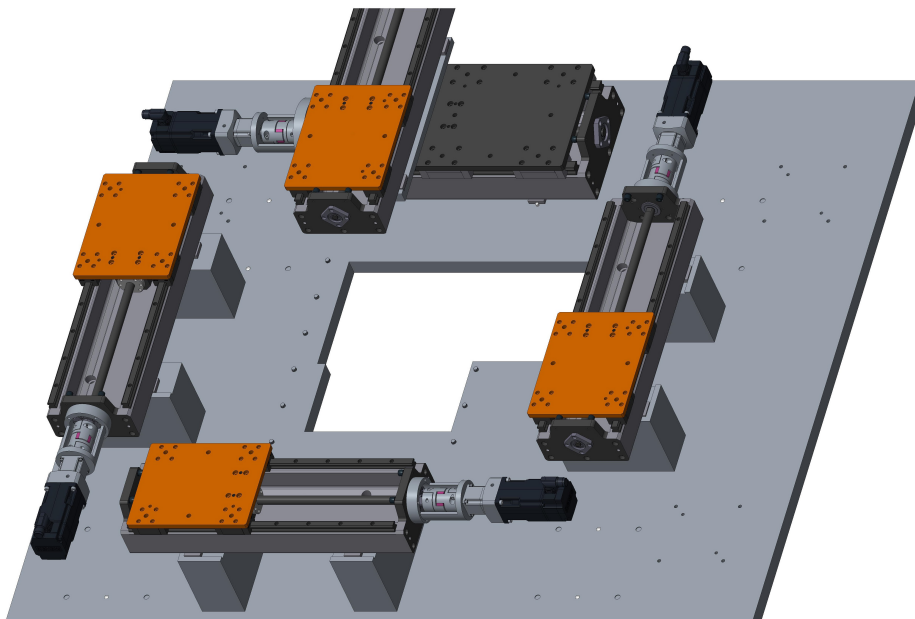
Alle gaten in de basisplaat zullen volledig door de plaat worden gesneden. Hierdoor kan de hele plaat worden afgewerkt met de waterjetsnijder. Nadien is het echter nog noodzakelijk om bepaalde gaten van schroefdraad te voorzien. Om de productie te vereenvoudigen, wordt geprobeerd om zoveel mogelijk dezelfde diameter te gebruiken. Het gebruik van doorvoergaten met schroefdraad heeft ook als voordeel dat de bouten die onderdelen aan de onderkant van de plaat bevestigen, niet in conflict komen met de bouten die onderdelen aan de bovenkant van de plaat bevestigen.

Op de figuur is ook te zien dat er een groot gat in het midden van de plaat aanwezig is. Dit gat biedt ruimte voor de arm van de bestaande machine. Door de integratie van de boormodule komen de aanvoer en de zaag verder uit elkaar te staan. Aangezien dit aspect niet was voorzien in het oorspronkelijke ontwerp, zou de arm nu te kort zijn om de profielen door te voeren als het gat er niet was. Alle componenten die later op de basisplaat worden gemonteerd, mogen deze afbakening ook niet overschrijden.

Dit gat bepaalt ook de positie van de basisplaat. De linkeronderhoek wordt in het verlengde van de hoek geplaatst die door de vaste aanslagen van de zaagmachine wordt gevormd. Deze hoek is ook te zien in 2.18. Om enige speling te creëren zodat de profielen en de arm nergens tegen botsen, wordt een marge van 25 mm voorzien.

4.2.3 Lineaire geleiding

De belangrijkste componenten die op het basisframe bevestigd zijn, zijn de lineaire geleidingsmodules. Deze modules zullen instaan voor het positioneren van de booreenheden. Omdat de profielen verschillende afmetingen hebben, moeten er heel diverse posities kunnen ingenomen worden. Dit deel zal uitleg geven over de bewegingsrichtingen, de gekozen lineaire systemen en een krachtenberekening. Figuur 4.6 geeft de uiteindelijke opstelling na de ontwerpfase weer.



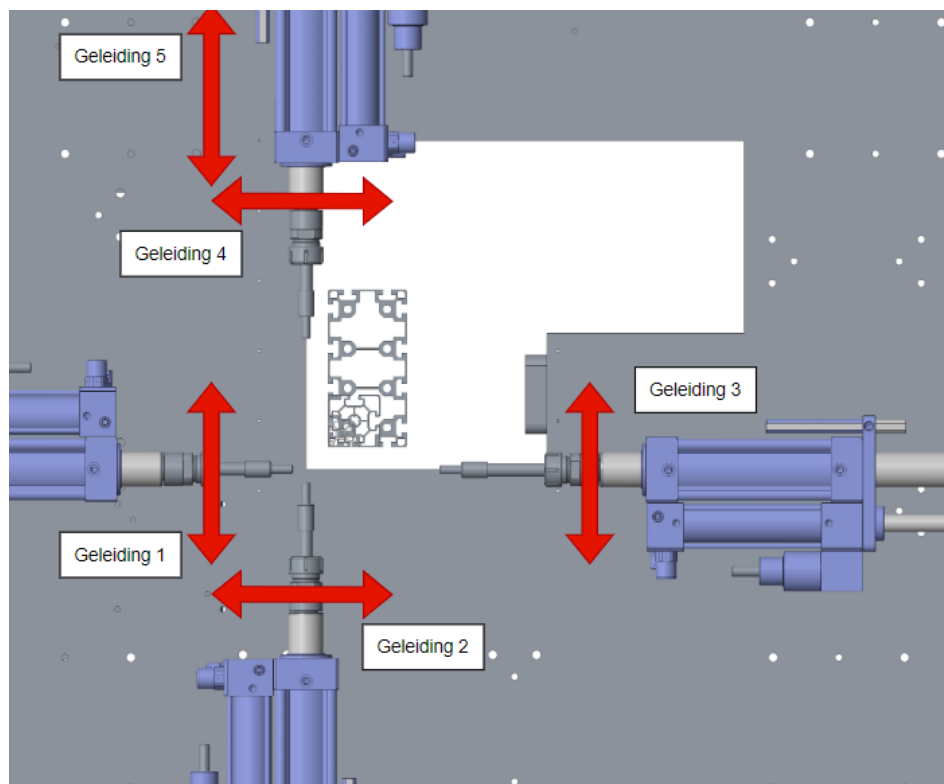
Figuur 4.6: Opstelling lineaire geleidingsmodules

Positionering

Voor het bepalen van het type geleiding en de opstelling is het belangrijk om een overzicht te maken van hoe de booreenheden moeten bewegen. Figuur 4.7 toont de bewegingsrichtingen. In deze figuur zijn de profielen getekend op de posities waarin ze zich daadwerkelijk zullen bevinden. Voor het correct positioneren van de boor volstaat het dat drie booreenheden in één richting bewegen. Voor de vierde en bovenste booreenheid is echter een extra beweging noodzakelijk.

De gekozen booreenheden hebben een slag van 125 mm of 160 mm. Als de bovenste booreenheid op dezelfde manier als de andere drie op de geleiding wordt bevestigd, zou de slag te klein zijn. Een mogelijke oplossing is om de boor lager te plaatsen, zodat de slag voldoende is, maar dit zou conflicten veroorzaken. Het eerste conflict betreft de boor en de te bewerken profielen. Zoals te zien is in figuur 4.7, kan de boor tegen de grootste profielen botsen. Daarom is het noodzakelijk dat de boor omhoog kan bewegen. Dit kan worden opgelost door de boor pneumatisch in te trekken, maar dit leidt tot een tweede conflict. Zoals eerder uitgelegd, moet de arm ook door de boormodule kunnen bewegen. Als de boor niet wordt verplaatst en alleen pneumatisch wordt ingetrokken, zal de arm tegen de booreenheid botsen. Om dit probleem op te lossen zonder extra conflicten te veroorzaken, wordt een extra geleiding geïnstalleerd die de gehele boorunit naar boven kan verplaatsen, weg van het gat.

In een vorig ontwerp werd ook voor de rechtse booreenheid een tweede bewegingsrichting overwogen, maar na nader onderzoek bleek dat het voldoende zou zijn als de booreenheid een slag van 160 mm had en zover mogelijk naar binnen werd verschoven. Dit had als voordeel dat een volledige geleidingsmodule kon worden geëlimineerd, wat gunstig is voor zowel de totale kostprijs als de montage.



Figuur 4.7: Sketch die de bewegingsrichtingen van de boren weergeeft

Type lineaire modules

Nu de gewenste bewegingen en de positie van de booreenheden zijn gedefinieerd, kan een lineaire geleiding worden geselecteerd. Er bestaan talloze configuraties voor dit soort modules, maar om de keuze te beperken, wordt gekeken naar de lineaire modules van het bedrijf Vansichen. Dit bedrijf levert complete modules van verschillende types. Voor deze toepassing is het type KK-HD gekozen. Dit type verplaatst de booreenheden met behulp van een kogelomloopspindel. Het type KK-HD kan verder worden geconfigureerd op basis van de lengte en diameter van de spindel. Tabel 4.1 geeft de gekozen configuraties weer voor elke module. De module-index correspondeert met de index in figuur 4.7.

Tabel 4.1: Configuratie van de lineaire modules

Index	Diameter (mm)	Slaglengte (mm)	Lengte (mm)	Type
1	16	230	550	KK-HD-180-15-1610
2	16	160	450	KK-HD-180-15-1610
3	16	230	550	KK-HD-180-15-1610
4	20	200	450	KK-HD-225-20-2010
5	16	160	450	KK-HD-180-15-1610

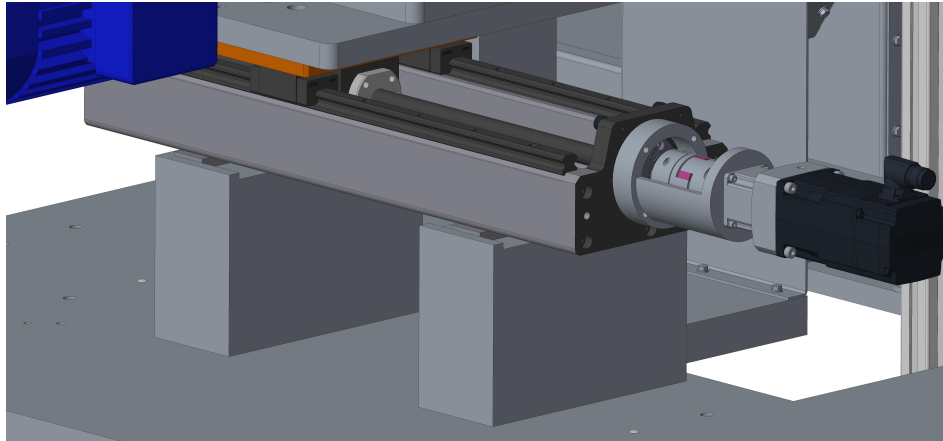
De spoed van alle modules zal gelijk zijn, namelijk 5 mm. Deze keuze is gemaakt om een maximale verplaatsing van 9,6 m/min te kunnen bereiken bij een toerental van 2000 tr/min [11]. De slaglengtes worden bepaald door de maximale afmetingen van de profielen. Voor geleiding 2 en 5 zal deze slaglengte kleiner zijn dan voor 1 en 3 omdat de maximale breedte van de profielen kleiner is dan de maximale hoogte. De slaglengte van geleiding 4 wordt bepaald door de benodigde lengte om de booreenheid uit het afgebakende gebied te verwijderen.

Merk ook op dat de diameter van de spindel van geleiding 4 groter zal zijn. Dit is noodzakelijk omdat geleiding 4 een tweede module moet kunnen ondersteunen. De vergrote diameter maakt het mogelijk om grotere krachten op te vangen. De lengte van de module wordt bepaald door de lengte van de sledes. De berekening van de krachten wordt verder toegelicht in hoofdstuk 4.5.

4.2.4 Verbindingen tussen de verschillende componenten

Verbinding lineaire modules met basisplaat

De lineaire systemen dienen uiteraard ook met de basisplaat te worden verbonden. Het is van essentieel belang dat de booreenheden allemaal op gelijke afstand van de basisplaat worden geplaatst. Dit voorkomt dat het profiel herhaaldelijk moet worden verplaatst tijdens de bewerking. Dit resulteert in een minder complex programmeringssysteem en een verminderde kans op fouten. Om deze reden worden op maat gemaakte aluminium blokken gebruikt om de benodigde afstand te garanderen. Figuur 4.8 toont deze blokken.



Figuur 4.8: 3D-model verbinding lineaire module met basisplaat

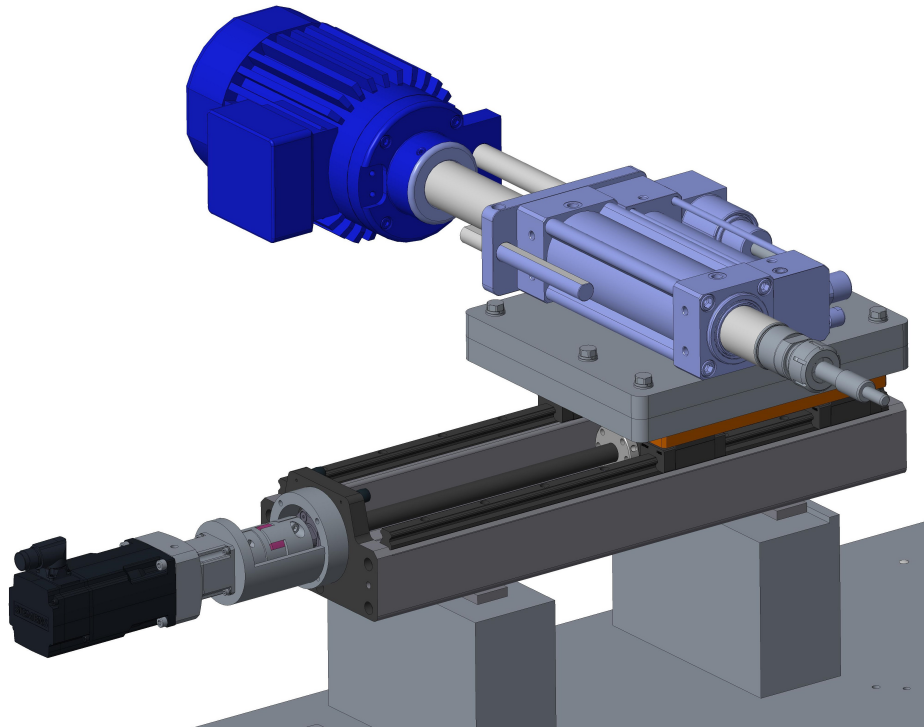
Zoals eerder vermeld, is het niet mogelijk om in de basisplaat te frezen. Daarom worden in plaats van aanslagen, paspennen gebruikt. Deze zullen ervoor zorgen dat de aluminium blokken op de correcte positie staan.

Verbinding booreenheden met lineaire modules

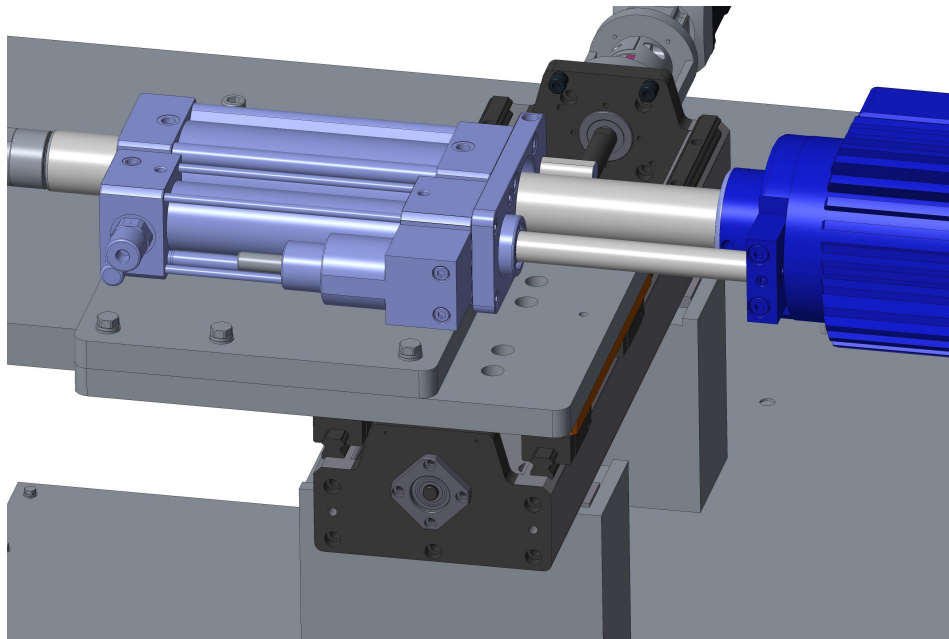
Om de booreenheden te verbinden met de lineaire modules, worden twee tussenplaten gebruikt. Dit zorgt ervoor dat twee aparte systemen met elkaar worden verbonden. Het eerste systeem omvat een tussenplaat met daarop de booreenheid. Het tweede systeem omvat een tussenplaat met daaronder de sledeplaat en de gehele lineaire module. Bij montage worden de twee systemen met elkaar verbonden door middel van bouten en paspennen. Figuur 4.9 toont de gekozen oplossing voor de verbinding tussen de booreenheden en de lineaire modules.

Er zijn twee redenen waarom er voor dit ontwerp is gekozen. De eerste reden is onderhoudsvriendelijkheid. Wanneer er onderhoud nodig is aan de booreenheid of de lineaire module, kunnen de twee systemen eenvoudig van elkaar worden losgemaakt. Als de booreenheid rechtstreeks op de slede zou worden bevestigd, zou bij onderhoud de sledeplaat van de module moeten worden verwijderd. Dit is niet gunstig omdat dit kan leiden tot schade of uitlijningsproblemen.

De tweede reden is dat de twee tussenplaten het mogelijk maken de booreenheid vrij te positioneren. Als de booreenheid rechtstreeks op de sledeplaat zou worden bevestigd, zou deze binnen de grenzen van de module moeten blijven. Met de toevoeging van de twee platen is dit geen probleem. Figuur 4.10 toont de opstelling met deze aangepaste tussenplaat.



Figuur 4.9: 3D-model verbinding tussen booreenheid en lineaire module



Figuur 4.10: 3D-model verbinding tussen booreenheid en lineaire module met verlengde tussenplaat

In deze configuratie was het noodzakelijk om de booreenheid verder naar voren te plaatsen. Het was echter niet mogelijk om de geleiding zelf naar voren te verplaatsen omdat deze dan binnen de afgebakende zone zou komen te liggen. Door deze kleine aanpassing van de tussenplaat en het vergroten van de slag van de booreenheid, was het niet nodig om een extra geleiding toe te voegen om de booreenheid juist te positioneren.

Verbinding motor met lineaire modules

Om de lineaire module aan te drijven, wordt er gebruik gemaakt van een servomotor die zijn vermogen zal overbrengen door middel van een askoppeling. Het is niet mogelijk om de servomotor rechtstreeks op de module aan te sluiten. Om ervoor te zorgen dat de verbinding voldoet aan alle eisen, wordt deze zelf ontworpen.

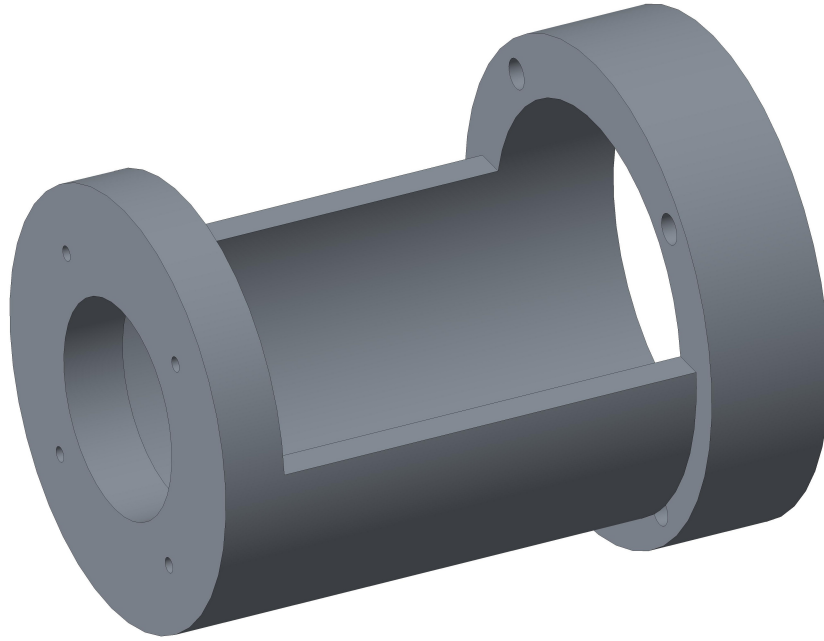
Voordat de verbinding zelf kan worden ontwikkeld, moet de askoppeling worden geselecteerd omdat deze het ontwerp zal beïnvloeden. Voor een koppeling zijn er veel verschillende mogelijkheden, maar voor deze toepassing wordt er gekozen voor een klauwkoppeling aangezien er slechts relatief kleine krachten moeten worden overgebracht en omdat de diameter van de assen zal verschillen [12]. De motoras en de geleidingsas hebben respectievelijk een diameter van 10 mm en 13 mm. De gekozen koppeling is de KNK-02 van het bedrijf NOZAG [13].

Bij het ontwerpen van dit onderdeel is het belangrijk dat er rekening wordt gehouden met enkele criteria. Deze criteria zijn:

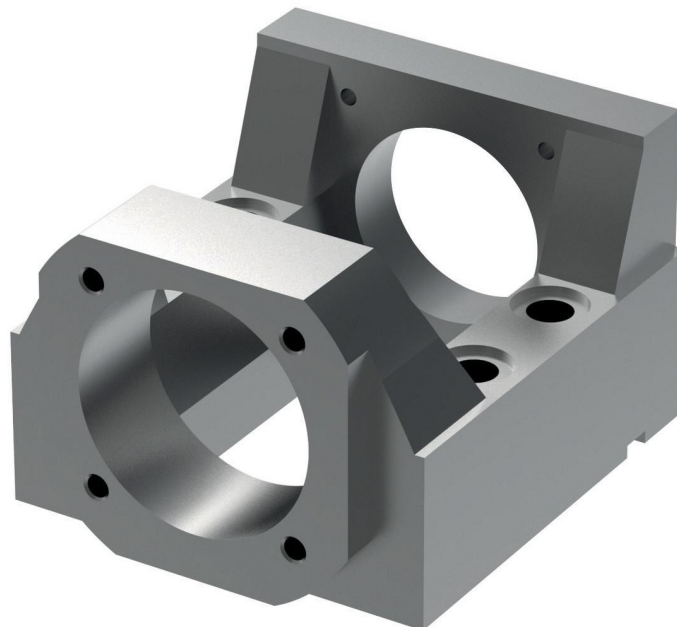
- De verbindingsgaten voor de geleiding moeten op een cirkel met een diameter van 70 mm zitten.
- De verbindingsgaten voor de motor moeten op een cirkel met een diameter van 50 mm zitten.
- Een vrije ruimte van minstens 44,5 mm is noodzakelijk voor de askoppeling.
- Een minimum lengte van minstens 66 mm is noodzakelijk voor de askoppeling.
- Er moet mogelijkheid tot onderhoud zijn.

Figuur 4.11 toont het verbindingstuk. Dit onderdeel zal als een draaistuk vervaardigd worden.

Een ander veelvoorkomend ontwerp is te zien in figuur 4.12. Er was enige twijfel over het gebruik van deze verbindingstechniek, maar dit zou leiden tot extra onnodige freesbewerkingen en een te complex ontwerp voor deze specifieke toepassing.



Figuur 4.11: 3D-model verbinding tussen motor en lineaire module



Figuur 4.12: Alternatief ontwerp voor de verbinding tussen motor en lineaire module [14]

4.2.5 Speciaal ontworpen boorkop

Het bewerken van de aluminium profielen omvat het boren van blinde gaten met een diameter van 10 mm of 19 mm. Het is wenselijk om deze bewerking met dezelfde tool uit te voeren om frequent wisselen te vermijden. Hoewel automatisering technisch haalbaar is, zou dit het systeem onnodig complex maken.

De gekozen oplossing omvat het ontwerpen van een trapboor. Dit maakt het mogelijk om twee diameters te boren met slechts één boor. Bij het ontwerpen van zo'n boor ontstaan verschillende ontwerp vragen die beantwoord moeten worden en die ook van invloed zijn op bijvoorbeeld de dimensionering van de booreenheid.

- Wat zijn de dimensies van de boorkop?
- Uit welk materiaal moet de boorkop gemaakt worden en is een coating noodzakelijk?
- Wat is de geometrie?
- Hoe wordt de boor opgespannen?

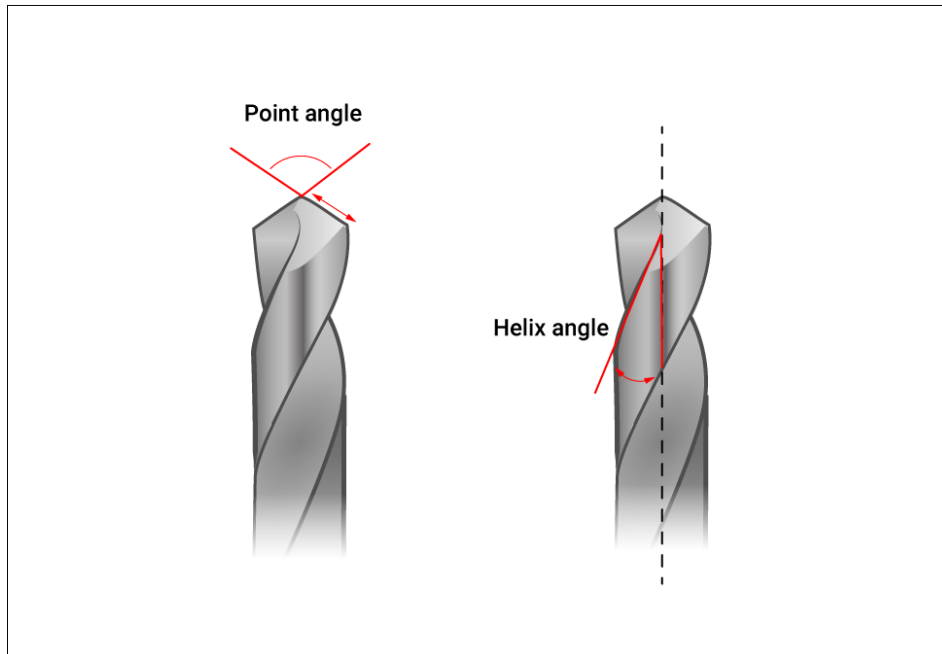
De eerste twee vragen zijn eenvoudig te beantwoorden. De vereiste diameters zijn 10 mm en 19 mm. De lengte van elk deel wordt bepaald door de afmetingen van de aluminium profielen. Uit de datasheet [6] blijkt dat een afstand van 22,5 mm nodig is om tot het midden van de grootste profielen (90 x 180) te boren. Dit vormt dan ook de minimale lengte van de boor. Om een veilige marge te behouden, zal het voorste deel van de boor een lengte hebben van 25 mm en het achterste deel van de boor een lengte van 30 mm.

Het materiaal waaruit de aluminium profielen worden gemaakt is een speciale aluminium legering namelijk de 6000 serie [15]. Voor dit type van legering is het beste snijmateriaal HSS [16] en dus wordt de boor uit dit materiaal gemaakt. Bij het boren van dit materiaal met een HSS boor is het gebruik van een coating niet noodzakelijk.

Naast het materiaal en de coating, zal de geometrie van de boor ook een aanzienlijke invloed hebben op het snijgedrag. Belangrijke kenmerken zijn onder meer de helix- en punthoek. Figuur 4.13 toont deze hoeken. Deze worden bepaald door verschillende factoren, maar de belangrijkste is het materiaal zelf. Bij de keuze van de boor is er niet één juiste oplossing, daarom moeten de belangrijkste factoren worden overwogen.

Een eerste overweging is het fenomeen van het weglopen van de boor. Een lange boor kan meer gevoelig zijn voor dit fenomeen en moet daarom worden aangepakt. In een automatische opstelling is het niet mogelijk om eerst een centergat te maken om de boor op zijn plaats te houden. Een alternatieve oplossing is het gebruik van een boor met een punthoek van 135° en een gespleten punt die voorkomt dat de boor wegloopt.

Een tweede factor is het type spanen. Bij het bewerken van het materiaal is het van belang dat de spanen gemakkelijk kunnen worden afgevoerd. Een geschikte helixhoek is daarom cruciaal. Voor aluminium, dat lange spanen produceert, is een hoek van 35° de meest geschikte optie [18]. Bijlage A geeft de 2D-weergave van de ontworpen boorkop.



Figuur 4.13: De in te stellen hoeken bij het ontwerpen van een boorkop [17]

4.3 Pneumatische opzet

4.3.1 Booreenheid

Zoals eerder vermeld, zullen pneumatische booreenheden worden gebruikt. Deze keuze werd gemaakt vanwege de noodzaak om op verschillende dieptes te kunnen boren. Hoewel het mogelijk zou zijn om de beweging aan te drijven met een elektromotor, is deze precisie overbodig aangezien het gaat om blinde gaten.

In het verleden heeft het bedrijf al naar dergelijke eenheden gezocht en is toen uitgekomen bij de B060D van het bedrijf Robomatic [19]. Na onderzoek blijkt dat deze booreenheden ook geschikt zijn voor deze toepassing.

Zoals te zien is in bron [19], zijn er nog verschillende mogelijkheden om de motor te dimensioneren en dan specifiek het toerental en het vermogen. De gaten die gemaakt moeten worden zijn van diameter 10 mm en 19 mm. Omdat het materiaal een lage treksterkte heeft, moet er volgens de richtlijnen terug te vinden in [7] een snijsnelheid gebruikt worden van 87 m/min. Deze snijsnelheid kan worden omgezet naar een toerental aan de hand van volgende formule.

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (4.1)$$

Met:

- n: toerental in 1 min^{-1} ;
- V_c : snijsnelheid in m/min;
- d: diameter van de boor in mm.

Bij toepassing van deze formule moet de boor een toerental kunnen aannemen van minimaal $1457,52 \text{ min}^{-1}$ en maximaal $2769,3 \text{ min}^{-1}$. Uit de datasheet blijkt dat deze motor de vereiste toerentallen aankan. Het is echter wel noodzakelijk om een frequentieregelaar voor de motor te installeren zodat het toerental kan worden aangepast afhankelijk van de diameter die geboord moet worden.

4.4 Elektrische opzet

In het hoofdstuk over de elektrische opzet worden alle componenten besproken die op elektrisch vlak ervoor zorgen dat alle onderdelen op het basisframe kunnen functioneren. Binnen het bedrijf is nog een andere student bezig met het uitwerken van de elektrische aansturing van deze opdracht. Bepaalde ontwerpkeuzes in dit deel zijn dan ook gemaakt in overleg met de andere student.

4.4.1 Aandrijving lineaire geleiding

In de bestaande zaagmachine zijn verschillende elektromotoren aanwezig. Omdat de besturing van deze motoren verouderd is, moet deze vervangen worden. Een andere student binnen LASE is hiermee bezig. In overleg met deze student is besloten om voor de nieuwe elektromotoren hetzelfde type te gebruiken. Dit vereenvoudigt de aansturing en aansluiting van de motoren. De gekozen motor is de SIMOTICS S-1FK2. De motor heeft een nominaal koppel van $1,27 \text{ Nm}$ en een nominaal toerental van 3000 min^{-1} .

Om te controleren of de gekozen motor aan de eisen voldoet, moet het te leveren koppel worden berekend. Er zijn twee soorten koppels waarmee de motor moet worden vergeleken: het maximumkoppel en het effectieve koppel. Voordat deze waarden kunnen worden vergeleken, moeten de specifieke koppels worden berekend. Dit gebeurt met behulp van de volgende formules [20] [21].

Koppel door wrijving als gevolg van een externe belasting

Het bepalen van het koppel als gevolg van een toegevoegde last gebeurt met behulp van de volgende formule. De axiale belasting varieert bij de lineaire modules, waardoor alleen de grootste belasting in beschouwing wordt genomen. De grootste axiale belasting treedt op bij geleiding 5 (zie figuur 4.7). Hier vindt het boren in axiale richting plaats en moet rekening worden gehouden met een extra kracht van 1500 N voor het boren.

$$T_a = \frac{F_a \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad (4.2)$$

Met:

- T_a : koppel als gevolg van een externe belasting;
- F_a : axiale belasting;
- P : spoed van de gekozen spindel;
- η : efficiëntie van de spindel (0,90 % - 0,95 %).

Koppel door preload op de spindel

Bij het gebruik van een kogelomloopspindel zal er enige speling zijn op de kogels. Door een preload toe te passen, verdwijnt deze speling wat zorgt voor een betere herhaalbaarheid. Het is echter belangrijk dat de preload niet te groot is, omdat dit extra wrijving en warmte kan veroorzaken. Dit heeft een negatief effect op de levensduur van de spindel. Daarom is het cruciaal om de juiste preload te kiezen. De volgende formule geeft weer hoe deze berekend kan worden.

$$T_d = \frac{K_p \cdot F_{pr} \cdot P}{2000 \cdot \pi} \quad (4.3)$$

Met:

- T_d : preload koppel;
- K_p : preload wrijvingscoëfficiënt (0,3);
- F_{pr} : preload kracht;
- P : spoed van de spindel.

Om deze formule te kunnen uitrekenen, moet eerst de preload kracht worden berekend. De preload kracht is een bepaald percentage van de maximale dynamische kracht. Deze waarde is terug te vinden in de datasheet van de spindel. $F_{pr} = 0,05 \cdot C_{dyn}$ voor een enkelvoudige moer op de spindel.

Koppel door acceleratie

Bij het gebruik van een motor vindt er altijd eerst een versnelling plaats om de last van stilstand naar de gewenste snelheid te brengen. Dit zorgt voor een extra koppel. Voor het berekenen van het koppel door acceleratie zijn de volgende formules nodig.

$$T_{a'} = J \cdot \omega \quad (4.4)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot t} \quad (4.5)$$

$$J = J_M + \frac{1}{2} \cdot m_r \cdot \left(\frac{d_n}{2000} \right)^2 + m_l \cdot \left(\frac{P}{2000 \cdot \pi} \right)^2 \quad (4.6)$$

Met:

- $T_{a'}$: koppel voor acceleratie;
- J : totale traagheidsmoment;
- ω : hoekversnelling;
- n : toerental van de motor;
- t : tijd nodig voor het accelereren naar de gewenste snelheid;

- J_M : traagheidsmoment van de motor;
- m_r : massa van het roterend onderdeel;
- d_n : nominale diameter van de spindel;
- m_l : massa van de bewegende onderdelen.

Het totale koppel en selectie gearbox

Na het berekenen van alle specifieke koppels is het mogelijk om een totaal koppel te berekenen. Dit kan simpelweg door alle specifieke koppels steeds met elkaar op te tellen. Aan de hand van deze waardes is het mogelijk om na te gaan of de motor geschikt is voor deze opstelling. Tabel 4.2 geeft deze waardes weer.

Tabel 4.2: Weergave berekende koppels bij het aandrijven van de lineaire module

Situatie	T_a	T_d	$T_{a'}$	T_{totaal}
Normale werking	0,491	0,039	0	0,530
Boren	1,748	0,039	0	1,787
Versnellen	0,491	0,039	0,872	1,402

Zoals te zien is in de tabel, is het gevraagde koppel zowel voor de versnelling als voor het boren te groot. Dit probleem kan echter eenvoudig worden opgelost door een planetaire tandwielkast tussen de motor en de spindel te plaatsen. Deze tandwielkast verhoogt het koppel en verlaagt het toerental. De verhouding kan worden bepaald aan de hand van het toerental van de motor en het vereiste toerental van de spindel. Eerder werd gespecificeerd dat de spindel een maximale verplaatsing van 19,8 m/min moet kunnen realiseren. Met behulp van formule 4.1 kan deze snelheid worden omgezet naar een toerental. De snijsnelheid komt hierbij overeen met de verplaatsingssnelheid van de slede.

Het vereiste toerental van de spindel bedraagt 320 min^{-1} , wat een maximale tandwielkastverhouding van 9 vereist. Om enige marge te behouden, wordt gekozen voor een verhouding van 6. Met deze verhouding en de efficiëntie van de tandwielkast kan het nieuwe koppel worden berekend. Dit gebeurt met behulp van de volgende formule [22] p. 819.

$$T_2 = -i_{12} \cdot T_1 \cdot \eta_{12} \quad (4.7)$$

Met:

- T_2 : koppel aan het uiteinde van de gearbox;
- T_1 : koppel aan de ingang van de gearbox;
- i_{12} : gearbox verhouding;
- η_{12} : efficiëntie van de gearbox.

Wanneer de motor op nominaal toerental werkt, zal het koppel aan het uiteinde van de tandwielkast 7,39 Nm bedragen. Het maximale koppel kan oplopen tot 21,83 Nm. Dankzij de tandwielkast

is er voldoende koppel om de spindel aan te drijven en wordt het toerental voldoende verlaagd om de gewenste snelheid te bereiken. Aan de hand van deze specificaties wordt er gekozen voor de Wanshsin WAB042 planetaire tandwielenkast met een verhouding van 6 [23].

4.4.2 Sensoren

Bij het aansturen van de lineaire geleiding met de zojuist besproken elektrische motor is het noodzakelijk om deze eenmalig een vaste positie te geven zodat deze vervolgens steeds weet waar hij zich bevindt. Ook zal het noodzakelijk zijn een systeem te voorzien zodat de slede nooit voorbij een maximale positie kan bewegen. Om deze twee problemen op te lossen wordt er gebruik gemaakt van een inductieve sensor. De sensor zal op de lineaire module worden bevestigd en zodra de sledeplaat over een vooraf ingesteld punt beweegt, zal de motor stoppen.

Bij het selecteren van de sensor moeten enkele belangrijke criteria in overweging worden genomen. De eerste eigenschap is de schakelafstand die bepaalt wat de maximale afstand is tussen de sensor en het te detecteren object. De tweede eigenschap betreft de inbouwconfiguratie van de sensor in het materiaal. Voor sommige toepassingen is het gunstiger dat de sensor zich voorbij het materiaal bevindt waarin hij is bevestigd, om verstoring van het magnetisch veld te voorkomen [24]. De laatste eigenschap is de inbouwgrootte waarbij moet worden gecontroleerd of de geselecteerde sensor en zijn kabel daadwerkelijk kunnen worden geïmplementeerd.

Het bedrijf hanteert zijn eigen standaard inductieve sensor, namelijk de NI10U-M12-AP6X-H1141 [25]. Deze sensor heeft een inbouwgrootte van M12 en wordt bondig ingebouwd in een plastic omhulsel. Het is noodzakelijk dat er geen spanen op de sensor blijven liggen omdat dit anders een foutief signaal zou veroorzaken. Het plastic omhulsel zorgt ervoor dat er geen interferentie met de sensor optreedt.

Bepalen van de positie bij de lineaire geleiding

De lineaire geleiding zorgt ervoor dat de boorunits nauwkeurig op hun juiste positie worden geplaatst. Het is dus essentieel dat deze positie nauwkeurig wordt bepaald. Door de combinatie van inductieve sensoren en een motor met een absolute encoder is dit eenvoudig te realiseren. De inductieve sensoren markeren een nulpunt van waaruit de motor altijd exact kan bepalen waar hij zich bevindt. Dankzij de absolute encoder zal de motor ook na een stroomuitval zijn positie blijven kennen.

Bepalen van de positie van de boorunit

Om de diepte van de boorunit te bepalen, wordt een inductieve sensor gebruikt die op de cilinder is geplaatst. Deze sensor maakt het mogelijk om de positie van de cilinder nauwkeurig te volgen.

4.5 Krachtberekeningen

In dit gedeelte worden de berekeningen uitgevoerd ter validatie van de gemaakte ontwerpkeuzes. Hierbij wordt onderzocht of de gekozen boutverbindingen correct gedimensioneerd zijn.

4.5.1 Boutverbinding

Tijdens het verbinden van alle componenten en onderdelen wordt bijna uitsluitend gebruikgemaakt van boutverbindingen. Op deze manier kan eenvoudig een sterke verbinding worden gerealiseerd. Het is echter noodzakelijk dat de voorgeschreven normen worden gevolgd, zodat de gekozen bout in staat is om de aanwezige krachten op te vangen.

Voor het controleren van een boutverbinding worden er twee eigenschappen gecontroleerd. De minimaal benodigde doorsnede en de toelaatbare vlaktedruk op het te bevestigen materiaal. Om deze eigenschappen te controleren, wordt de werkwijze uit hoofdstuk 8.3.9, uitgeschreven in het verkregen theorieboek tijdens de lessen machineonderdelen [22], gevolgd.

In de eerste stap wordt de spanningsdoorsnede A_s bepaald. Deze geeft de minimale doorsnede die de bout nodig heeft om de krachten op te vangen. Dit gebeurt aan de hand van de volgende formule.

$$A_s = \frac{F_B + F_{K1}}{\frac{R_{p0,2}}{\kappa \cdot k_A} - \beta \cdot E_s \cdot \frac{f_z}{l_k}} \quad (4.8)$$

Met:

- A_s : vereiste spanningsdoorsnede;
- F_B : axiale bedrijfslast op de schroef;
- F_{K1} vereiste klemkracht;
- $R_{p0,2}$: 0,2%-rekgrens van het schroefmateriaal;
- E_s : E-modulus van het schroefmateriaal;
- f_z : zetting;
- l_k : klemlengte van de ingeklemde delen;
- k_A : aanhaalfactor afhankelijk van de aandraaimethode;
- β : vervormbaarheidsfactor;
- κ : reductiefactor.

Nadat de spanningsdoorsnede bepaald is, kan aan de hand van de tabellenboek de vereiste nominale schroefdraaddiameter bepaald worden. Tot slot moet er nog een laatste controle plaatsvinden waarbij de vlaktedruk onder de boutkop, moer of rondel wordt bepaald. Dit gebeurt aan de hand van volgende formule.

$$p_G \geq \frac{F_{sp}/0,9}{A_P} \quad (4.9)$$

Met:

- F_{sp} : de spankracht van de bout bij 90% van de toelaatbare minimale rekgrens van het schroefmateriaal;
- A_P : oppervlakte van het dragende deel;
- p_G : toelaatbare vlaktedruk, afhankelijk van het materiaal van de geklemde delen en van de aanhaalmethode.

Aan de hand van de opgestelde formules kunnen alle bouten worden berekend en kan worden gecontroleerd of de gebruikte bouten geschikt zijn voor de toepassing. Omdat veel parameters uit tabellen komen, worden deze extra toegelicht in bijlage C. Om een duidelijk beeld te krijgen van welke bouten er worden berekend, geeft tabel 4.3 een index aan elke positie.

Tabel 4.3: Indexeren van de boutlocaties

Index	Locatie
1	Verbinding gehele boormodule met het zaagframe
2	Verbinding inklemming met de basisplaat
3	Verbinding lineaire modules met de basisplaat
4	Verbinding spaanafvoer met de basisplaat
5	Verbinding tussenplaten bij de boorunits
6	Verbinding inklemming wanneer de gehele module wordt verplaatst

Tabel 4.4 geeft de uitkomsten weer voor elke index. In de tweede kolom staan de eerder gekozen bouten die gecontroleerd moeten worden. De derde kolom geeft de minimale diameters weer en hun overeenkomstige nominale maat. In de vijfde kolom worden de vlaktedrukken weergegeven voor de minimale diameter uit de derde kolom. De vlaktedruk wordt meteen gecontroleerd ten opzichte van de maximaal toelaatbare waarde van 490 N/mm² voor constructiestaal of 325 N/mm² voor de Plancast-plaat. De laatste waarde is eerder een schatting, omdat de exacte waarde voor de Plancast-plaat niet te beschikking is. Bij het berekenen van de vlaktedruk wordt de oppervlakte van het draagvlak gebruikt. Alle berekende bouten worden bevestigd met behulp van een sluitring, wat resulteert in een groter draagoppervlak dan bij gebruik van alleen de bout. Op basis van alle berekende eigenschappen wordt uiteindelijk een minimale vereiste afmeting voor de bout bepaald.

Bij index 6 zullen de bouten van de inklemming een tweede keer worden berekend. Wanneer de boormodule moet worden bevestigd op de bestaande machine, wordt deze verplaatst met behulp van hijsogen die op de poten van de inklemming zijn bevestigd. Dit betekent dat tijdens het hijsen aan één kant van de poot het gewicht van de inklemming hangt, zoals berekend bij index 2, maar dat aan de andere kant het gewicht hangt van de basisplaat, de lineaire modules en de spaanafvoer. In hoofdstuk 5.2.2 worden de poten en de hijsogen verder toegelicht.

Tabel 4.4: Berekenen van de minimum bout afmetingen

Locatie	Type bout	A_s (mm^2)	p_G (N/mm^2)	Minimaal vereiste type bout
1	Zeskantbout M12 x 55	$17,58 \approx M8$	$142,53 < 490$	M8
2	Zeskantbout M10 x 50	$4,31 \approx M4$	$162,93 < 490$	M4
3	Zeskantbout M10 x 65	$4,63 \approx M4$	$162,93 < 325$	M4
4	Zeskantbout M4 x 14	$-0,06 \approx M1$	$505,37 > 490$	M4
5	Zeskantbout M8 x 40	$5,51 \approx M4$	$162,93 < 325$	M4
6	Zeskantbout M 10 x 50	$14,05 \approx M6$	$140,04 < 490$	M6

Op basis van de twee tabellen kan geconcludeerd worden dat de gekozen bouten allemaal voldoende sterk zijn ontworpen. Het overdimensioneren van de bouten gebeurt om verschillende redenen. De eerste reden is de zekerheid dat het systeem sterk genoeg zal zijn. Het prijsverschil tussen een M8-bout en een M12-bout bedraagt minder dan €0,50, afhankelijk van de leverancier. Door deze kleine extra kost te maken, is er altijd zekerheid dat het ontwerp voldoende sterk is en niet onmiddellijk defect raakt bij onverwachte situaties. De tweede reden is het gemak tijdens de montage. Wanneer in de basisplaat vier verschillende maten zitten, moet de monteur steeds zoeken naar de juiste diameter voor elk gat. Daarom is het praktischer om bouten te overdimensioneren als dit het aantal verschillende gaten vermindert.

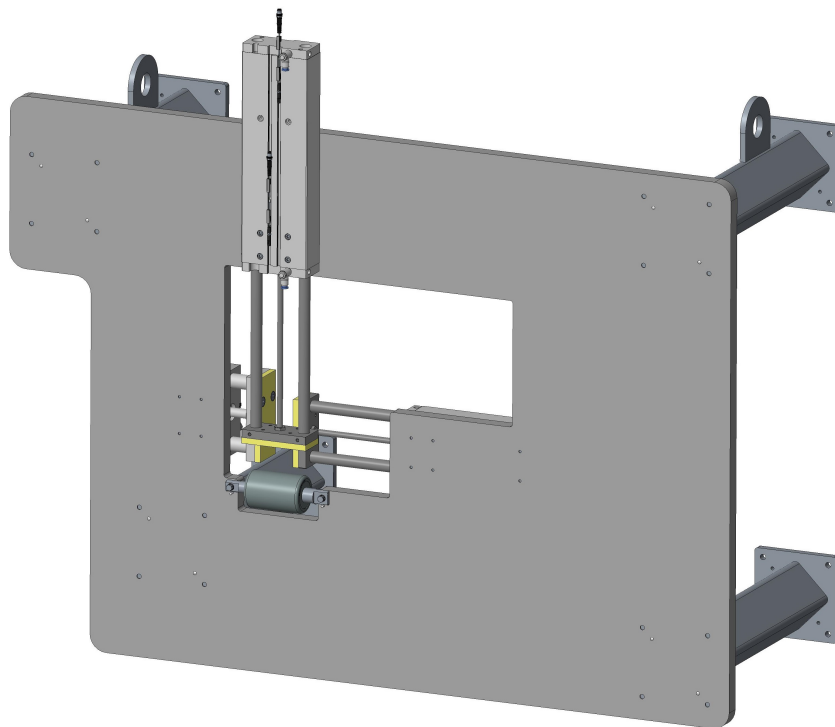
Omdat bij het verplaatsen van de gehele machine grote krachten op de poten van de inklemming komen, moeten deze groter worden uitgevoerd dan voor de normale inklemming. Er wordt gekozen voor een M10-bout. Om consistentie in het ontwerp te behouden, worden alle bouten bij deze poot als M10 gekozen en ook voor het bevestigen van de lineaire modules wordt een M10-bout gebruikt.

Hoofdstuk 5

Inklemming

5.1 Inleiding

De tweede component van de boormodule betreft de inklemming. Het primaire doel van dit element is om de aluminium profielen vast te klemmen tijdens het boorproces zodat ze niet kunnen verschuiven. Gezien de reeds aanwezige onderdelen op het basisframe, vereist de plaatsing van de inklemming een specifieke afstand tot de basisplaat. Figuur 5.1 geeft het resultaat van de ontwerpfase voor de inklemming.

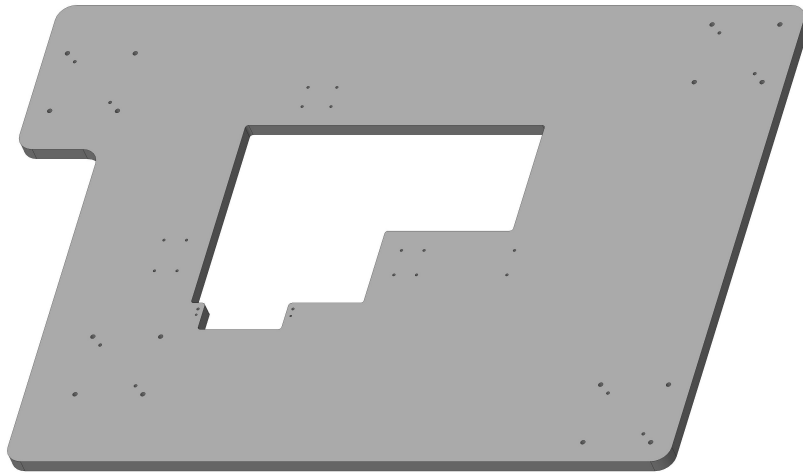


Figuur 5.1: Resultaat ontwerpfase inklemming

5.2 Mechanische opzet

5.2.1 Basisplaat inklemming

Net zoals bij het basisframe wordt eerst een basisplaat geproduceerd waarop verder kan worden gebouwd. Opnieuw wordt er voor een Plancast-plaat gekozen met een dikte van 25 mm en afmetingen van 1325 x 950 mm. Zoals bij het basisframe is deze plaat te groot om te bewerken op de aanwezige CNC-machines en zal daarom bewerkt worden door middel van een waterjetsnijder. Figuur 5.2 toont de basisplaat van de inklemming.



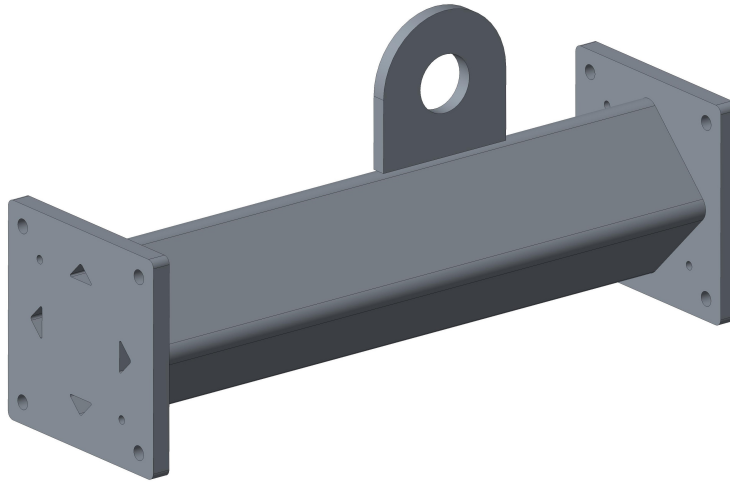
Figuur 5.2: 3D-model basisplaat inklemming

De plaat heeft niet dezelfde rechthoekige vorm als die van het basisframe. Dit komt doordat de positie van de afstandskokers afhangt van de positie van de lineaire modules. De afstandskokers worden daarom geplaatst op de beschikbare posities. Om gewicht te besparen, zijn de overige delen weggelaten. Bovendien zal de plaat voorzien worden van een gat in het midden zodat de arm erdoorheen kan bewegen.

Op deze plaat zullen de klemmende cilinders en de as, die de profielen moeten ondersteunen, geplaatst worden.

5.2.2 Verbinding met basisframe

Net zoals bij de verbinding tussen het basisframe en de bestaande machine wordt er opnieuw gebruik gemaakt van afstandskokers. De afstandskokers zijn opgebouwd uit twee lasplaten met een dikte 15 mm die later worden vlakgefreesd tot een dikte van 13 mm. Deze worden tegen een stalen koker van 90 x 90 x 8 mm gelast. Figuur 5.3 geeft de afstandskoker weer.



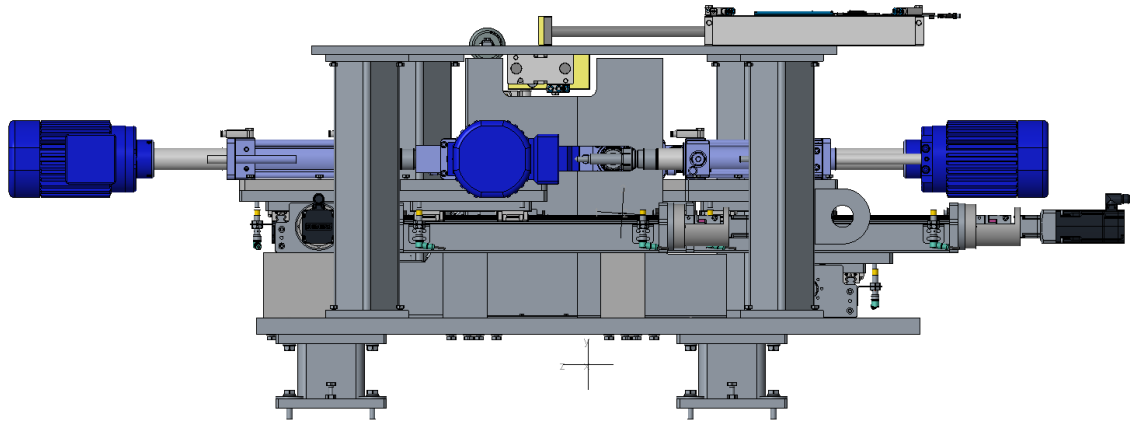
Figuur 5.3: 3D-model afstandskoker gebruikt voor het bevestigen van de inklemming aan het basisframe

Voor de bevestiging van de afstandskokers worden paspennen en bouten gebruikt. De bouten worden met het basisframe en de inklemming verbonden door middel van schroefdraad. Er is hier geen voorziening om de kokers nog in de breedte of hoogte te verstellen omdat als de onderdelen met de vereiste nauwkeurigheid worden vervaardigd ze al op hun beoogde positie staan. Om deze reden volstaat het om enkel de gehele module te regelen zoals uitgelegd in hoofdstuk 4.2.1.

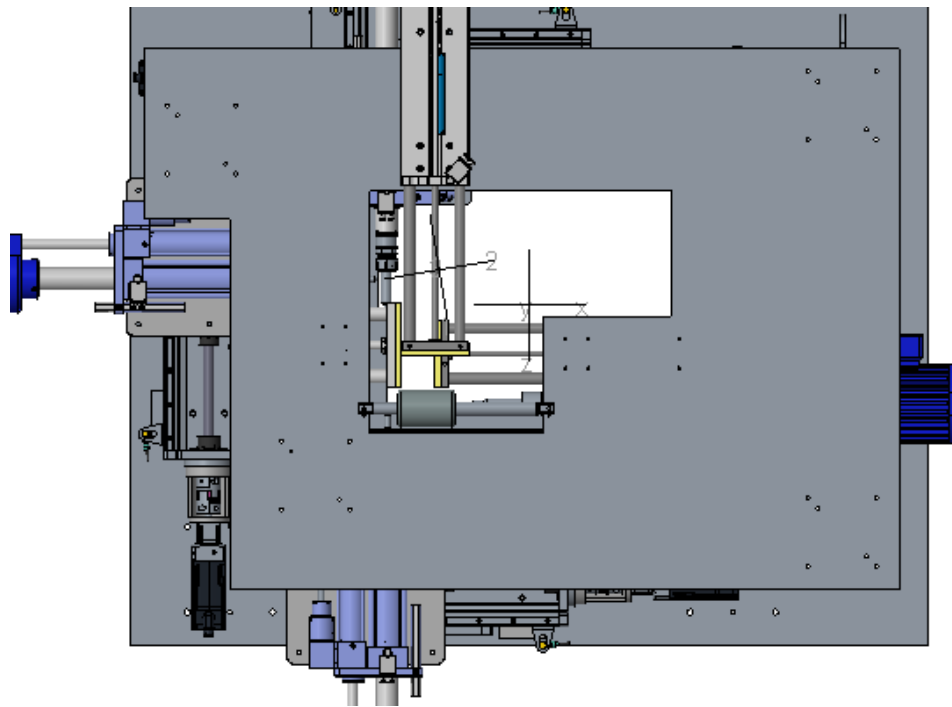
De kokers tussen de lasplaten zijn onder een hoek van 45° geplaatst zodat de spanen, die ontstaan bij het bewerken van de profielen, niet op de kokers kunnen blijven liggen. Dit draagt bij aan het zelfreinigende vermogen van de machine.

Nadat de onderdelen van de afstandskoker aan elkaar gelast zijn, wordt het geheel gegalvaniseerd om een bescherm laag aan te brengen en om het corrosiebestendig te maken. De koker wordt hiervoor in een bad met een zinkoplossing geplaatst en vervolgens opgehangen om te drogen. Omdat de mogelijkheid bestaat dat deze oplossing in de koker terechtkomt, moet er een manier zijn om deze te verwijderen. Daarom worden vier driehoekige gaten in de basisplaat aangebracht. Er is gekozen voor driehoekige gaten zodat, ongeacht hoe de koker wordt opgehangen, de oplossing er altijd uit kan lopen. Dit principe wordt ook toegepast bij de afstandskokers bij het basisframe.

Uiteindelijk is er op de afstandskoker een mogelijkheid toegevoegd om de gehele module te verplaatsen. Omdat de boormodule tegen de bestaande machine hangt, is het niet mogelijk om deze onderdeel voor onderdeel op te bouwen. Daarom wordt de module na montage in zijn geheel verplaatst en tegen de bestaande machine bevestigd. De locatie van het oog wordt bepaald door de automatische tool beschikbaar in Creo. Bij het bepalen van het zwaartepunt is de massa van belang. Tijdens het ontwerpen van elk individueel onderdeel wordt het gebruikte materiaal gespecificeerd, waardoor de massa van elk onderdeel en dus van de gehele machine bekend is. Figuur 5.4 en figuur 5.5 geven het zwaartepunt van de machine weer.



Figuur 5.4: Weergave van het zwaartepunt automatisch bepaald met Creo (Y-richting)



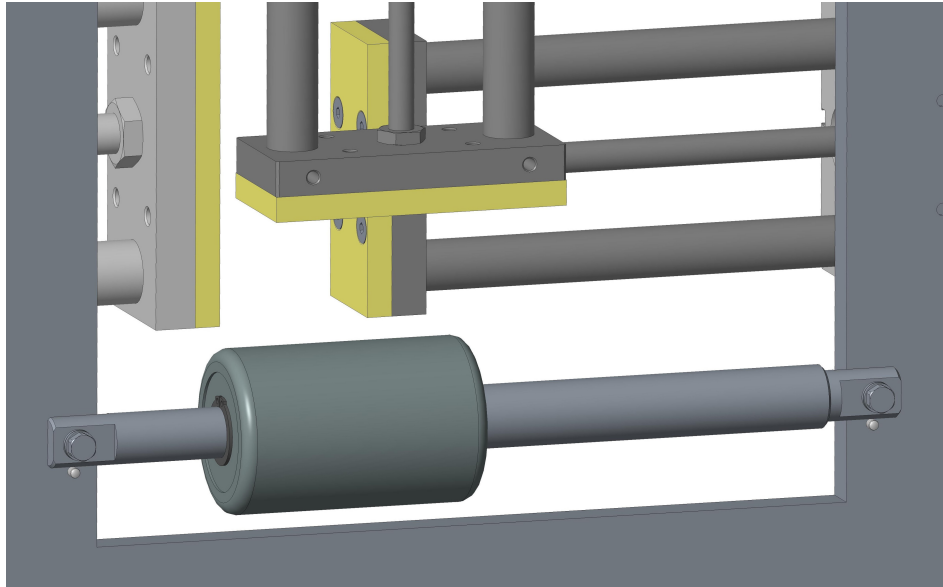
Figuur 5.5: Weergave van het zwaartepunt automatisch bepaald met Creo (X-richting)

Uit figuur 5.4 blijkt dat het zwaartepunt zich op dezelfde hoogte bevindt als de rails van de lineaire modules. De hijsogen zijn dan ook op deze hoogte geplaatst. Hierdoor wordt verzekerd dat de machine niet kantelt wanneer deze aan de hijsogen wordt opgetild. In figuur 5.5 blijkt ook dat het zwaartepunt in de X-richting niet gelijk ligt met het midden van de machine.

Door de opstelling van de lineaire modules is het niet mogelijk om de poten zo te plaatsen dat het zwaartepunt precies in het midden tussen de twee poten ligt. Desondanks is het mogelijk om de last te hijsen zonder dat deze gaat roteren. Het belangrijkste is dat de hijshaak zich boven het zwaartepunt van de module bevindt. Wanneer er twee kettingen met verschillende lengtes worden gebruikt, kan de last stabiel getakeld worden.

5.2.3 Ondersteunende as

Wanneer er in de aluminium profielen wordt geboord, dienen deze te worden ingeklemd. Zoals te zien is in figuur 5.1 wordt dit langs drie kanten uitgevoerd met uitzondering van de onderkant. Dit is omdat de profielen een constante ondersteuning nodig hebben om gemakkelijk door de module te kunnen worden gevoerd. Een eenvoudige oplossing voor dit probleem is om een as op te hangen waar rollen op zijn bevestigd zoals weergegeven in figuur 5.6.



Figuur 5.6: 3D-model van de as en rol voor het ondersteunen van de profielen

Bij het ontwerpen van de ondersteunende as moet er met enkele criteria rekening worden gehouden. Deze criteria zijn:

- De as dient te kunnen rollen voor een vlotte doorvoer.
- Het contact tussen de as en de profielen mag geen schade veroorzaken aan de profielen.
- De as moet profielen van maximaal 90 mm kunnen ondersteunen.
- De as moet voldoende sterk zijn om de krachten van het profiel en de inklemming te kunnen weerstaan.

Het initiële ontwerp voor de ondersteuning omvatte een as die aan beide zijden van de opening werd bevestigd met behulp van lagers. Dit ontwerp bracht echter diverse nadelen met zich mee. Zo ontbrak er nog een beschermende laag om schade aan de profielen te voorkomen. Het aanbrengen van deze laag zou kostbaar en technisch complex zijn en bovendien zou de gehele as moeten worden bewerkt, terwijl slechts een breedte van 90 mm nodig is. Daarnaast zou het gebruik van lagers extra onderdelen toevoegen waar een defect kan ontstaan.

Een verbeterd ontwerp omvat het plaatsen van een beschermde rol op een stilstaande as op de gewenste locatie. Dit vereenvoudigt de bevestiging aan de basisplaat en biedt bescherming aan de profielen. De gebruikte rol is de VK TK 065 100 020 van het bedrijf Vulkoprin en heeft een breedte van 100 mm [26]. De rol is oorspronkelijk ontworpen als palletrol voor een heftruck waardoor ze in staat is om aanzienlijke krachten te weerstaan. De rol heeft een draagvermogen van 575 kg en is standaard voorzien van een polyurethaan coating die de profielen beschermt tegen mogelijke beschadigingen.

Om de gekozen rol te ondersteunen, wordt een as bewerkt, zoals weergegeven in Figuur 5.7.



Figuur 5.7: 3D-model van de bewerkte as

Wanneer een lager op een as gemonteerd wordt, bestaan er verschillende configuraties die effect hebben op de passingskeuze. In deze opstelling zal het huis van de rol en dus de buitenring van de lager roteren. De binnenring van de lager zal stilstaan. Voor deze configuratie moet de stilstaande binnenring een losse passing hebben met de as en moet de buitenring een vaste passing hebben met het huis [7]. De diameter van de as moet een passing hebben van g6. Deze waarde komt uit de standaarden die binnen LASE gebruikt worden.

Om de rol op zijn positie te fixeren, wordt een getrapte as gebruikt. Dit ontwerp zorgt ervoor dat de rol aan de ene zijde tegen een aanslag vaststaat en aan de andere zijde met een borgring wordt geborgd. Bij het ontwerpen van een getrapte as moeten enkele richtlijnen gevolgd worden [22]. De volgende richtlijnen zijn van belang voor dit ontwerp:

- De verhouding tussen de trappen in de as mag $D/d = 1,4$ niet overschrijden.
- De overgang tussen de trappen moet een afronding hebben tussen $r = d/20$ en $d/10$.
- Om de rol tegen axiale verschuiving te borgen, wordt bij voorkeur een borgring aan het uiteinde van de as toegepast vanwege de hoge kerfwerking van de benodigde groef.

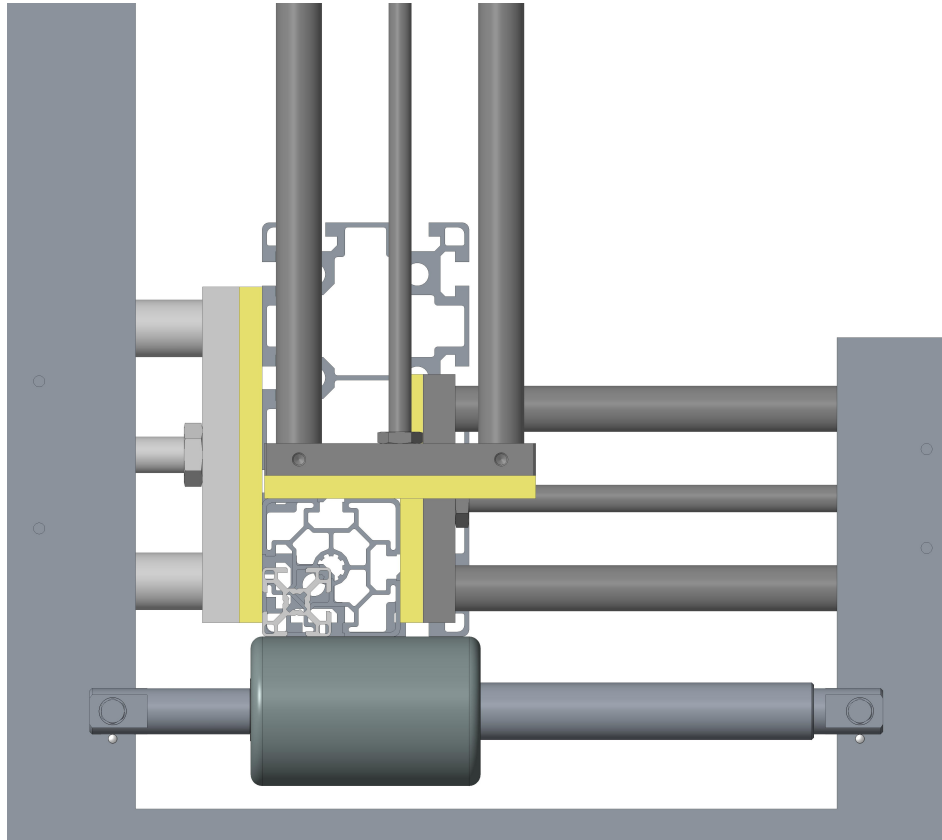
Om aan de richtlijn te voldoen, wordt de as opgebouwd met een diameter die overgaat van 20 mm naar 25 mm. De afronding op deze overgang bedraagt 1 mm. Door de opbouw en de bevestiging van de as is het ondanks de hogere kerfwerking toch beter om een borgring te plaatsen. De borgring zal op een afstand van 71 mm van het einde van de as bevestigd zijn.

Om de as te bevestigen op de plaat worden aan beide uiteinden vlakken gefreesd zodat de as met behulp van bouten aan de basisplaat kan worden verbonden. Omdat de as tevens als een soort aanslag zal fungeren, is het van belang dat deze zich op de juiste positie bevindt. Om dit te waarborgen, wordt de as op twee paspennen geplaatst. Er was echter onvoldoende ruimte om de paspennen ook door het vlak in de as te laten gaan. Dit is eveneens geïllustreerd in figuur 5.6.

5.3 Pneumatische opzet

5.3.1 Pneumatische cilinders

Tijdens het boren is het belangrijk dat de profielen niet kunnen bewegen. Om dit te garanderen wordt er gebruik gemaakt van pneumatische cilinders. Figuur 5.8 toont de opstelling van deze cilinders.



Figuur 5.8: 3D-model van de opstelling van cilinders

Zoals te zien is in figuur 5.8 worden er drie cilinders gebruikt: twee zullen langs de zijkanten klemmen en één langs boven. Bij het klemmen langs de zijkant is het niet mogelijk om een vaste aanslag te gebruiken omdat deze de beweging van de arm zou belemmeren. Daarom wordt deze vaste aanslag vervangen door een cilinder die, indien nodig, aan de kant zal gaan. Alle cilinders die in deze toepassing gebruikt worden, zijn DFM geleidingscilinders van het bedrijf FESTO. Door dit type te gebruiken is het niet nodig om nog extra ondersteunende componenten voor de zuiger toe te voegen.

De grootte van de cilinders wordt bepaald door zowel de te overbruggen afstand als de te leveren kracht. Voor de bovenste cilinder zal de tegenwerkende kracht enkel de booreenheid zijn die een theoretische kracht kan uitoefenen van 1120 N bij een druk van 6 bar. Dit houdt echter geen rekening met het feit dat de boorkop is ontworpen om bij een zo laag mogelijke druk te kunnen boren. Er moet ook een afstand van minstens 306 mm worden overbrugd. Daarom is gekozen voor de DFM-40-320-P-A-GF [27]. Een cilinder met een diameter van 40 mm levert een theoretische kracht van 754 N bij een druk van 6 bar. Aangezien de booreenheid niet alleen duwt maar ook effectief boort, zal de effectieve druk kleiner zijn, wat voldoende is.

Bij de zijdelingse klemming wordt op een vergelijkbare manier geredeneerd. In deze opstelling moet echter ook rekening worden gehouden met het feit dat de twee cilinders elkaar niet zullen wegduwen. Daarom zal de cilinder die de vaste aanslag vervangt, groter worden uitgevoerd met een diameter van 50 mm. Voor deze toepassing volstaat het type DFM-50-50-P-A-GF met een slag van 50 mm en een theoretische kracht van 1178 N bij een druk van 6 bar [28]. De andere cilinder in deze opstelling is de DFM-40-250-P-A-GF. Deze moet een afstand overbruggen van minstens 206 mm, dus een slag van 250 mm is vereist. De cilinder kan ook een theoretische kracht leveren van 784 N bij een druk van 6 bar. In vergelijking met de booreenheden zal deze kracht voldoende zijn en in vergelijking met de verstelbare aanslag is deze kracht niet te hoog.

5.3.2 Pneumatische componenten

Naast de cilinders zijn er nog tal van pneumatische componenten nodig om het systeem te laten functioneren zoals smoorventiel met terugslagkleppen, ventieleilanden en verzorgingseenheden. Binnen het bedrijf worden hiervoor specifieke richtlijnen gehanteerd die ook in dit geval van toepassing zijn.

Smoorventiel met terugslagklep

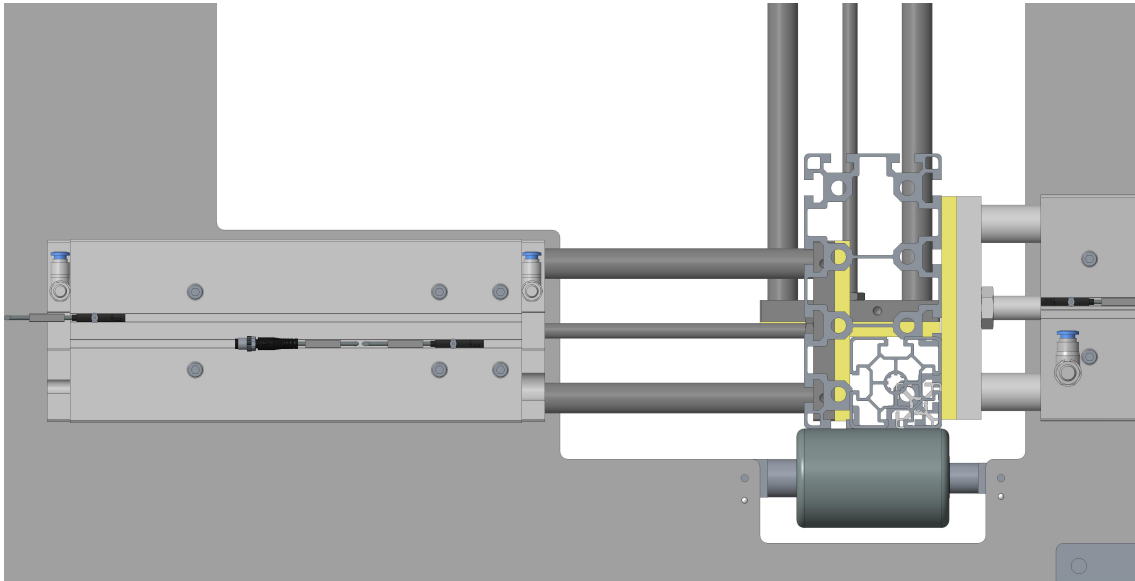
Voor het aansturen van de pneumatische cilinders wordt aanvankelijk gekozen voor een regelbaar smoorventiel met terugslagkleppen en twee 3/2 normaal gesloten ventielen. Deze configuratie zou problemen zoals het afzakken en het wegschieten van de cilinder door resterende druk verhelpen. Na verder onderzoek blijkt echter dat deze problemen niet van toepassing zijn op dit ontwerp. Het afzakken van de cilinder vormt geen probleem, aangezien er geen componenten zijn die schade kunnen oplopen wanneer de verticale cilinder zou afzakken. Ook de resterende druk in de cilinder is geen probleem, omdat een arbeider eerst een deur moet openen voordat hij bij de cilinder kan. Hierdoor wordt alle lucht eerst uit de cilinders gehaald voordat iemand toegang heeft. Om deze redenen wordt uiteindelijk gekozen voor een standaard smoorventiel met terugslagklep, aangestuurd met een 5/2 bi-stabiel ventiel.

Luchtverzorging

Om ervoor te zorgen dat de perslucht in de gewenste kwaliteit wordt aangeleverd aan de cilinders, moet deze eerst door een luchtverzorgingsunit worden geleid. Binnen LASE zijn hiervoor bepaalde standaarden vastgesteld. Op basis van deze standaard is gekozen voor de luchtverzorgingseenheid MSB6-1/2:C4:J4:D4:A1:F8 WP van FESTO.

5.3.3 Sensoren

Bij het gebruik van pneumatische cilinders is het van belang dat de cilinder juist wordt gepositioneerd. Om hieraan te voldoen wordt er gebruik gemaakt van naderingssensoren. Figuur 5.9 geeft de opstelling van deze sensoren weer.



Figuur 5.9: 3D-model van de opstelling van cilinders

De cilinder moet drie posities kunnen innemen. Twee van deze posities worden bepaald door de naderingssensoren die op de cilinder zijn geïnstalleerd. Deze sensoren geven respectievelijk de homepositie en de eindslagpositie weer. Dit is cruciaal voor het functioneren van de machine, zodat kan worden aangetoond dat de cilinders zich niet in de weg bevinden voor de arm die door de boormodule moet bewegen. De derde positie is waar de cilinder tegen het profiel zit. Omdat de profielen verschillende afmetingen hebben, is het niet mogelijk om overal naderingssensoren te plaatsen.

Het gebruik van een analoge sensor zou exact aangeven waar de cilinder zich bevindt, maar dit is te complex en het volstaat om de cilinder vanuit de homepositie volledig uit te sturen. De andere componenten zijn ontworpen om de kracht van een constant drukkende cilinder te weerstaan.

Dit systeem wordt toegepast op de cilinder die bovenaan klemt en langs één zijkant. Voor de verschuifbare aanslag wordt de cilinder vanuit de homepositie naar de tweede naderingssensor gestuurd. Hier is het essentieel dat de cilinder stopt in deze eindpositie, omdat dit de positie bepaalt waar de gaten worden geboord.

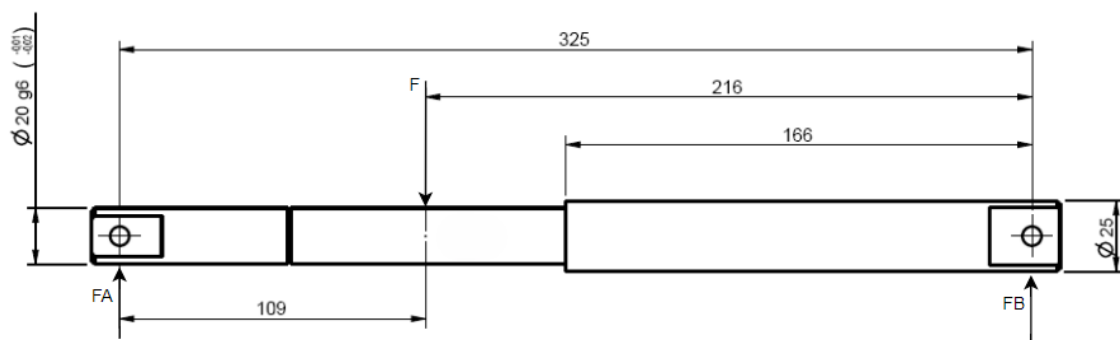
5.4 Krachtberekening

In dit gedeelte worden de berekeningen uitgevoerd ter validatie van de gemaakte ontwerpkeuzes. Hierbij wordt onderzocht of de ontworpen as voldoende sterk is ontworpen.

5.4.1 Doorbuiging van een getrapte as

Eén van de doelstellingen van dit project is om de gaten met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5$ mm te boren. Om aan deze eis te voldoen, is het essentieel dat er aanslagen zijn die een vaste referentie bieden. Bij de inklemming is een vaste aanslag niet mogelijk en is deze vervangen door een getrapte as. Door het hoge gewicht van de grootste profielen en de grote kracht van de cilinder bestaat de mogelijkheid dat de as doorbuigt. Om te garanderen dat de doorbuiging niet te groot is en de nauwkeurigheid behouden blijft, moet dit aspect worden gecontroleerd. Om de doorbuiging te berekenen wordt de werkwijze uit hoofdstuk 11.3.2 toegepast [22].

Bij het berekenen van de doorbuiging in deze toepassing worden er enkele veronderstellingen gemaakt. Zo zal de kracht aangrijpen in het midden van de rol en niet worden gezien als twee krachten die aangrijpen op de positie van de lagers in de rol. Ook moet er verondersteld worden dat het afvlakken van de uiteindes van de as geen effect zal hebben op de doorbuiging. De afmetingen van de as en de posities van de krachten worden weergegeven in figuur 5.10.



Figuur 5.10: 2D-weergave van de afmetingen van de as en de positie van de krachten

In de figuur is te zien dat de kracht niet in het midden van de as ligt, waardoor de reactiekrachten F_A en F_B niet gelijk zijn. Voor de belasting wordt uitgegaan van de zwaarste belasting: het zwaarste profiel en de maximale kracht van de cilinder. De maximale kracht die de cilinder kan leveren is 754 N. Het zwaarste profiel heeft een massa van 103,2 kg, wat overeenkomt met 1012,39 N. Deze belasting zal nooit volledig op de ondersteunende as komen te liggen, omdat het profiel steeds contact heeft met en/of de aan- en afvoer. Uit eerder onderzoek van de bestaande machine blijkt dat het profiel steeds wordt ondersteund door 11 metalen rollen. Door het toevoegen van de ondersteunende as wordt de belasting slechts 80 N.

Aan de hand van de belasting kunnen de reactiekrachten worden berekend. De grootte van de krachten is respectievelijk 554 N en 280 N.

Voor het bepalen van de doorbuiging van een getrapte as moet de doorbuiging van elk afzonderlijk deel eerst individueel worden berekend. De doorbuiging van de afzonderlijke delen wordt berekend tussen de reactiekracht en het aangrijpingspunt van de externe kracht. Vervolgens kan de totale doorbuiging worden bepaald. Alle berekeningen worden weergegeven in bijlage A.

$$f_A = \frac{6,79 \cdot F_A}{E} \cdot \left(\frac{a_1^3}{d_{a1}^4} + \frac{a_2^3 - a_1^3}{d_{a2}^4} \right) \quad (5.1)$$

$$f_B = \frac{6,79 \cdot F_B}{E} \cdot \left(\frac{b_1^3}{d_{b1}^4} + \frac{b_2^3 - b_1^3}{d_{b2}^4} \right) \quad (5.2)$$

$$f = f_A + \frac{a}{l} \cdot (f_B - f_A) \quad (5.3)$$

De doorbuiging van de as bedraagt 0,2375 mm bij een puntbelasting op positie $X = 109$ mm. Deze waarde is relatief groot in vergelijking met de maximale boortolerantie van $\pm 0,5$ mm. Ter referentie kan de richtlijn uit [22] worden gebruikt, die aangeeft dat de toelaatbare vervorming voor algemene machinebouw $l/3000$ mag bedragen. Voor deze toepassing komt dit neer op 0,1083 mm. De huidige as voldoet dus niet aan deze richtlijn.

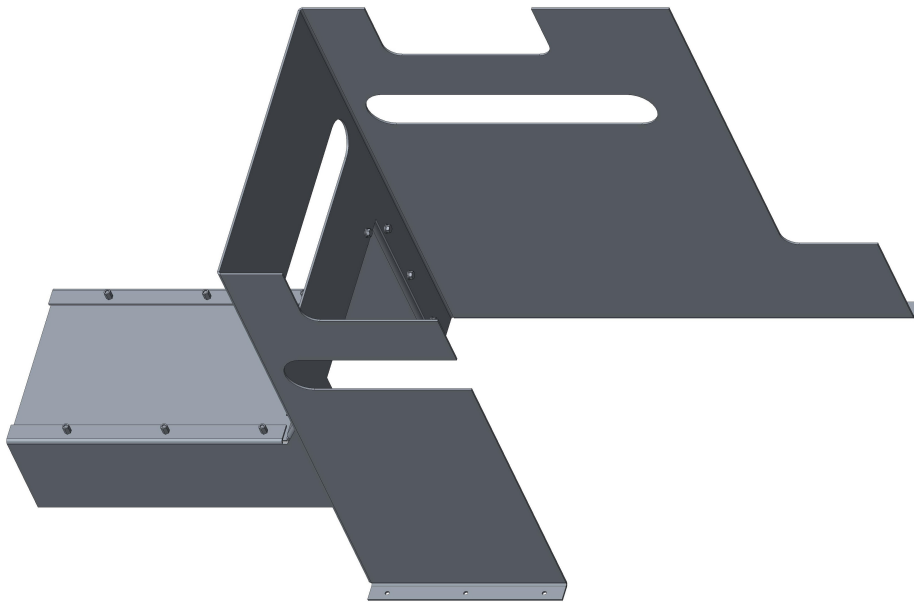
Om de doorbuiging te verminderen, zijn verschillende oplossingen mogelijk. Theoretisch kunnen de kracht worden verminderd, de diameter worden vergroot of de lengte van de as worden verkleind. In de praktijk zijn de eerste twee aanpassingen echter niet eenvoudig uitvoerbaar. De maximale kracht die de cilinder kan leveren, kan niet worden aangepast en vormt daarom geen geschikte oplossing. Het vergroten van de diameter van de as is mogelijk, maar dit vereist ook een grotere rol en aanzienlijke aanpassingen aan het ontwerp. De meest haalbare optie is de derde: de lengte van de as verkorten door de plaat op de positie van de as naar binnen te brengen. Hierdoor kan de as korter worden uitgevoerd, wat de doorbuiging vermindert. Deze aanpassing wordt uitvoerig besproken in hoofdstuk 7.4. De berekeningen voor de doorbuiging van de as zijn weergegeven in bijlage D en F.

Hoofdstuk 6

Spaanafvoer

6.1 Inleiding

Het derde grote onderdeel van de boormodule is de spaanafvoer. Bij het bewerken van de aluminium profielen komen er veel spanen vrij. Aangezien er gebruik wordt gemaakt van spindels om de boren te verplaatsen, is het ongunstig als hier spanen in terecht zouden komen. Daarom is het belangrijk dat deze worden afgeschermd. De spindels zullen zelf al afgesloten zijn, maar voor extra bescherming zal er nog een aanvullende afscherming worden voorzien. Figuur 6.1 toont deze afscherming.

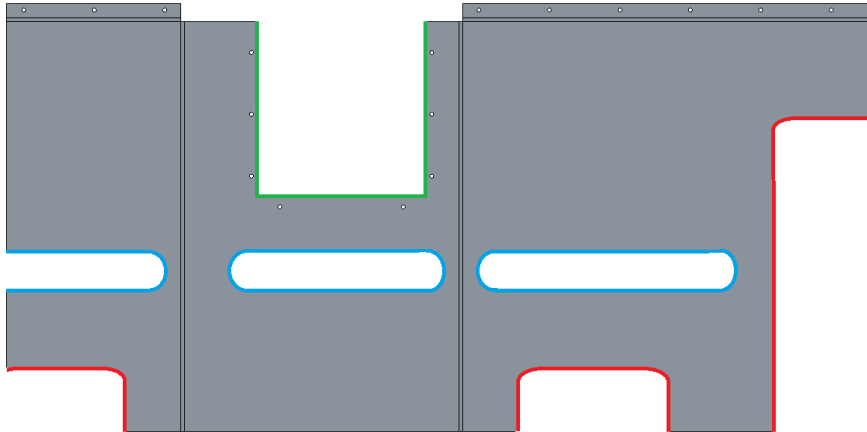


Figuur 6.1: 3D-model van de spaanafvoer

6.2 Mechanische opzet

De spaanafvoer zal gemaakt worden uit verschillende plooistukken die vervolgens door middel van blindklinkmoeren aan elkaar worden bevestigd. LASE beschikt zelf over een plooiemachine namelijk de DURMA AD-S 40220.

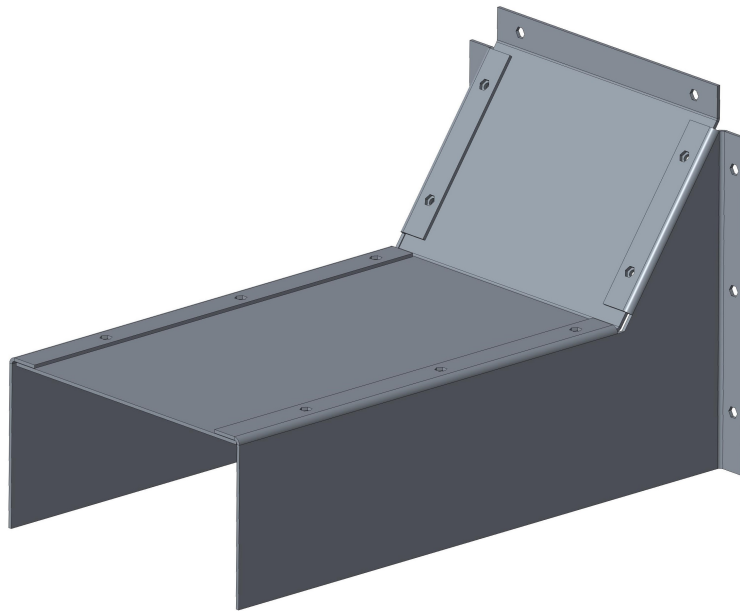
Het eerste onderdeel is een geplooid plaat die tegen de basisplaat wordt bevestigd. Figuur 6.2 toont een uitgevouwen weergave van dit onderdeel waarin de verschillende soorten uitsparingen in kleur zijn aangegeven. De dubbele lijnen in de figuur geven de plooielijn weer.



Figuur 6.2: 2D-weergave van de uitgevouwen spaanafvoer

In figuur 6.2 zijn drie soorten uitsparingen te zien, elk met hun eigen functie. De eerste soort, aangegeven met rood, zijn uitsparingen die andere componenten zoals de pneumatische cilinders en de lineaire module toelaten door de afscherming te bewegen. De tweede soort, aangeduid met blauw, zorgen ervoor dat de boorunits vrij kunnen bewegen. Deze uitsparingen hebben een relatief grote diameter omdat de hele boor en niet enkel de boorkop hierdoor moet bewegen. Door deze grote diameter is het mogelijk dat er spanen doorheen komen. Voor de middelste gleuf is dit het grootste probleem omdat deze bij montage naar beneden is gericht. Het gebruik van plastic borstels, zoals bij hout-CNC-machines, is hier niet mogelijk omdat de spanen hierin kunnen blijven kleven en ophopen. Dit kan de boorkoppen beschadigen. De laatste soort, aangeduid met groen, is een uitsparing die een doorgang naar het tweede onderdeel van de spaanafvoer biedt.

Het tweede onderdeel is de trechter zelf. Deze bestaat uit drie delen. Door de schuine kant in het systeem is het onmogelijk om dit onderdeel uit één plaat te produceren. De schuine kant is echter wel noodzakelijk om de spanen over een groter oppervlak af te voeren. Het vergroten van het gat, en dus de trechter in het algemeen, is niet mogelijk omdat de trechter onder de lineaire module moet worden gemonteerd.



Figuur 6.3: 3D-model van het tweede onderdeel van de spaanafvoer

Voor de connectie van alle onderdelen wordt er gebruik gemaakt van blindklinkmoeren. Deze worden in één van de onderdelen geperst en daarna zal het dienst doen als een vaste schroefdraad waar een ander onderdeel aan kan worden vastgemaakt. Het is zeker bij dunne platen voordelig omdat het hier niet mogelijk is om schroefdraad in de plaat te tappen. Ook zorgen de blindklinkmoeren ervoor dat er niet gewerkt moet worden met moeren wat de assemblage vereenvoudigt.

6.3 Pneumatische opzet

Ondanks de schuine kant in het systeem is het nog steeds mogelijk dat er spanen in de bak blijven liggen. Het aanbrengen van een volledige schuine kant aan het eerste deel van het systeem zou het produceren van de spaanafvoer te complex maken. Om dit probleem op te lossen, kunnen blaasmonden worden geïnstalleerd die na elke cyclus de bak leegblazen. Aangezien tijdens de ontwerpfase nog niet bekend is of dit daadwerkelijk een groot probleem vormt, worden deze blaasmonden voorlopig niet aan het ontwerp toegevoegd. Het kan voldoende zijn dat de operator aan het einde van de dag de bak handmatig schoonmaakt met een blaaspistool.

Hoofdstuk 7

Productiefase

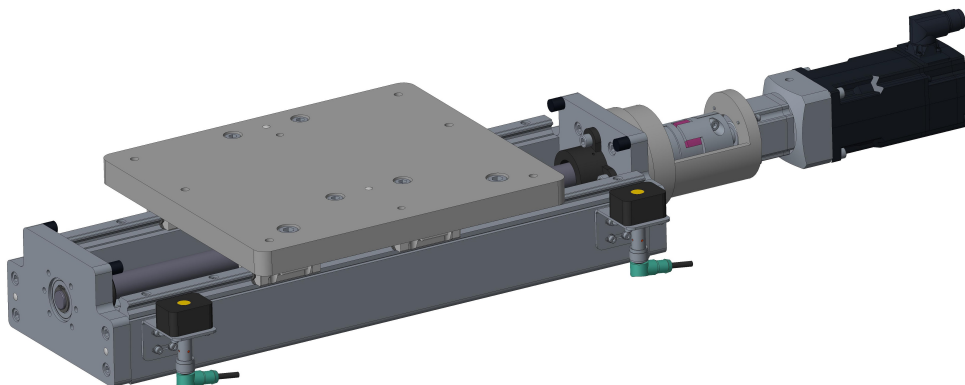
7.1 Inleiding

In de ontwerpfase is een machine ontwikkeld op basis van het functieblokschema. Tijdens deze fase is gebruik gemaakt van online informatie, cursussen en advies van de medewerkers van LASE om een zo optimaal mogelijk ontwerp te realiseren.

Vervolgens wordt het volledige ontwerp opnieuw doorgenomen en geoptimaliseerd. Voor elk onderdeel wordt er waar nodig een leverancier gezocht en een offerte aangevraagd en waar nodig worden controle berekeningen gemaakt. Tijdens het verfijnen zijn enkele problemen opgetreden. Zo is er geen leverancier gevonden voor de lineaire module en voldoet de ondersteunende as niet aan de gevraagde eisen. Deze aanpassingen zullen worden besproken. De productiefase biedt tevens inzicht in de kwaliteit van het initiële ontwerp.

7.2 Lineaire modules

Omdat er geen geschikte leveranciers voor de lineaire module zijn gevonden, is besloten om deze zelf te ontwikkelen indien dit financieel voordelig is. In dit gedeelte worden de gemaakte keuzes toegelicht die zijn genomen tijdens het ontwikkelen van de eigen lineaire geleidingsmodules. Figuur 7.1 toont het resultaat van de ontwikkelde geleidingsmodule.



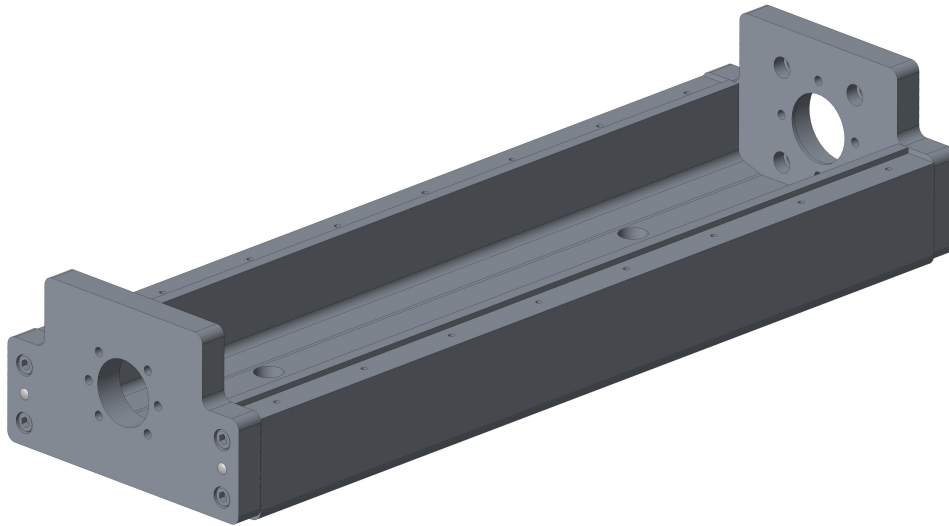
Figuur 7.1: 3D-model nieuwe lineaire module

7.2.1 Basis

De basis wordt opgebouwd uit een stalen extrusiebalk die wordt bewerkt naar de gevraagde specificaties. Het voordeel van het gebruik van deze balk is dat het niet nodig zal zijn om de gehele kamer uit te frezen. Dit frame dient als ondersteuning voor alle componenten en zorgt voor een gemakkelijke verbinding met de rest van de machine.

De eerste componenten die op het frame moet worden aangebracht, zijn de lineaire rails. Aan elke kant van het frame wordt een aanslag gefreesd, omdat de rails een hoge mate van positie-nauwkeurigheid vereisen. Deze aanslag zorgt ervoor dat de rails parallel aan elkaar komen te staan en maakt het mogelijk om de breedte van de geleiding nauwkeurig te behouden.

Aan beide uiteinden van het frame worden ook twee platen bevestigd via een boutverbinding en paspennen. De paspennen zijn essentieel omdat de platen de spindel en dus ook de lagers zullen bevatten. Het is daarom van groot belang dat de twee platen correct gepositioneerd zijn ten opzichte van elkaar en van de eerder gefreesde aanslag. Figuur 7.2 toont het resultaat van de bewerkte basis.



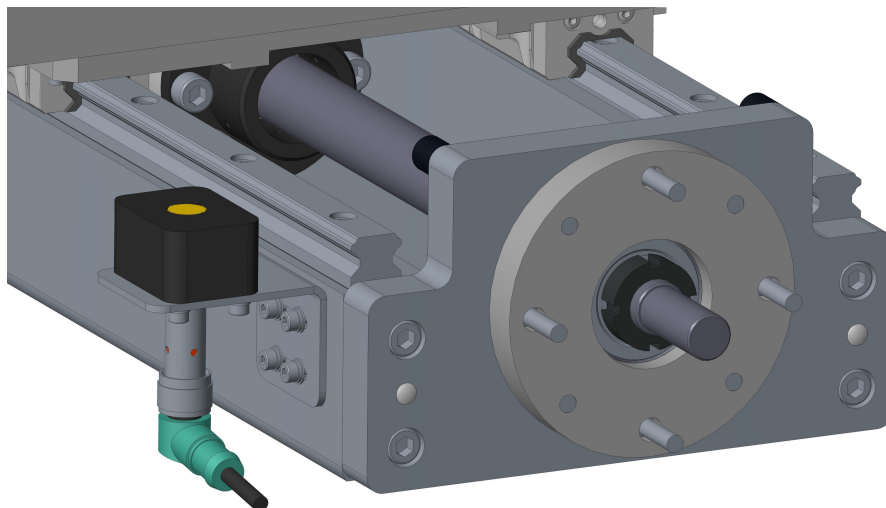
Figuur 7.2: 3D-model basis lineaire module

7.2.2 Lagers

Bij het ontwerp van de lageropstelling wordt gekozen voor een vaste-ondersteunende configuratie met een dubbel hoekcontactlager als vaste lager en een groefkogellager als de ondersteunende. Deze configuratie biedt meerdere voordelen. Door de spindel aan de ene kant vast te zetten en aan de andere kant te laten bewegen, kan de spindel vrij uitzetten bij thermische expansie. Hierdoor kan schade door knik worden voorkomen. Daarnaast heeft het gebruik van het dubbel hoekcontactlager het voordeel dat de spindel naast radiale belastingen ook axiale belastingen kan opvangen, wat van groot belang is aangezien de modules verticaal worden geplaatst.

De ondersteunende lager wordt geplaatst in een gat zonder aanslagen en met een losse passing. Hierdoor kan de lager vrij bewegen in de axiale richting [29]. De lager en de spindel worden met elkaar verbonden door middel van een aanslag op de spindel en een borgring. Voor deze toepassing wordt een groefkogellager van het type SKF 6202-2RSH [30] gebruikt.

De vaste lager wordt geplaatst in een gat met een aanslag aan de ene kant en een flens aan de andere kant. Deze combinatie zorgt ervoor dat de lager volledig gefixeerd is en axiaal niet kan bewegen. Het gat heeft een overgangspassing. De spindel wordt met de lager verbonden door middel van een aanslag en een moer die met schroefdraad op de spindel tegen de lager wordt gedraaid. Voor deze toepassing wordt een dubbele hoekcontactlager van het type SKF 3302 A-2RS1TNS MT33 [31] gebruikt. Figuur 7.3 toont deze opstelling.



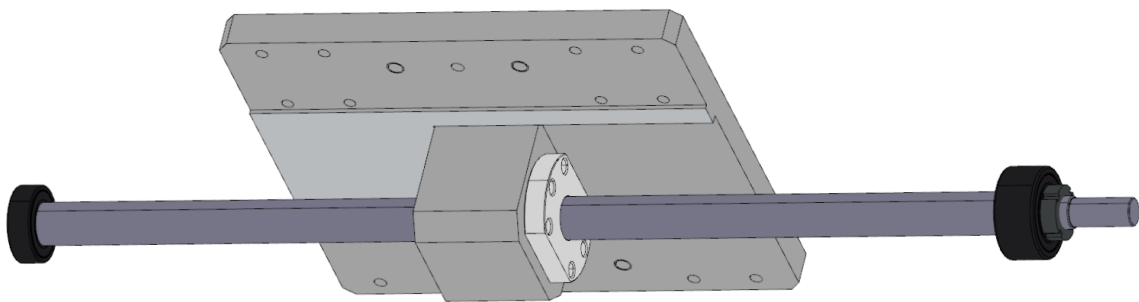
Figuur 7.3: 3D-model van de flensopstelling voor het fixeren van de hoekcontactlager

7.2.3 Spindel

De belangrijkste component van de lineaire module is de spindel. Deze wordt nu zelf ontworpen om aan de eisen van de eerdere ontwerpkeuzes te voldoen. Hoewel de eerder opgebouwde modules als geheel niet geschikt zijn voor deze toepassing, bevatten ze nuttige informatie die gebruikt kan worden bij het ontwerpen van een eigen module. In de ontwerpfase werd een spindel met een diameter van 16 mm of 20 mm, een spoed van 5 mm gekozen en een modulebreedte van 157,2 mm. In de zelfontwikkelde modules zal elke spindel een diameter van 20 mm en een spoed van 5 mm hebben. Dit minimaliseert de kans op fouten bij de montage. Met behulp van de tool van HIWIN is het mogelijk de spindel volledig naar de gevraagde eisen te configureren. Bijlage X toont een 2D-weergave van de spindel met de bewerkte uiteinden volgens de specificaties in hoofdstuk 7.2.2. De berekeningen in hoofdstuk 4.4.1 blijven geldig omdat dezelfde dimensies voor de spindel worden gehanteerd.

Om de rotatiebeweging om te zetten in een lineaire beweging wordt gebruik gemaakt van een kogelmoer. De moer wordt met behulp van een bewerkte aluminium blok aan de sledeplaat bevestigd. De sledeplaat is voorzien van een gefreesde baan, zodat de aluminium blok op de gewenste plaats kan worden gepositioneerd. Er zal alleen een aanslag aan de voorzijde worden voorzien vanwege montage redenen. Bij het monteren wordt de sledeplaat eerst op de lineaire karren geplaatst en daarna over de moer geschoven. Als er gewoon een vierkant wordt uitgefreesd, moet de sledeplaat op de blok worden geplaatst, wat de arbeider onzeker maakt over de juiste positie vanwege beperkt zicht. De hoeken van het uitgefreesde vlak worden voorzien van afrondingen zodat de frees deze bewerking kan uitvoeren.

De spindel werkt in een omgeving met veel spanen. Deze kunnen, wanneer ze in de moer terechtkomen, de spindel beschadigen. Er moet dus bescherming worden voorzien. Het toevoegen van een vouwbeugel zou ervoor zorgen dat de lengte van de module groter moet worden genomen om dezelfde slag te behouden. Een alternatief is om alleen een vouwbalg rond de spindel te plaatsen. De vouwbalg wordt aan de kogelmoer en de zijplaten van de module bevestigd. Omdat deze volledig onder de sledeplaat is gepositioneerd, gaat er geen lengte verloren en is de spindel goed beschermd.



Figuur 7.4: 3D-model van de flensopstelling voor het fixeren van de hoekcontactlager

7.2.4 Aanvullende componenten

Om de lineaire module naar behoren te laten werken, worden er nog enkele kleinere onderdelen besproken.

- Sensoren: Het principe van de inductieve sensoren, zoals uitgelegd in hoofdstuk 4.4.2, zal ook hier worden gebruikt.
- Lineaire componenten: De andere lineaire componenten zoals de rails en de karren hebben een bouwmaat van 15 van het bedrijf THK.
- Bouten: Alle bouten, behalve voor de lineaire componenten en de sensoren, zijn van maat M6. Dit wordt gedaan voor een eenvoudige montage en productie.

7.2.5 Prijsbepaling

Het zelf produceren van de lineaire module is enkel interessant als het ook financieel rendabel is. Om deze reden wordt de aankoop prijs bepaald van ieder onderdeel. Er wordt een een lijst opgemaakt voor een lineaire module met en zonder motor en gearbox. De bewerkingskosten worden niet meegerekend. Tabel 7.5 toont de prijs van alle onderdelen.

Lineaire module zonder motor/gearbox				
Onderdeel	Prijs/stuk	Aantal	Totaal	
Lineaire rails: THK HSP 15-460L	€ 164,48	2	€ 328,96	
Lineaire wagens: THK -LM-Wagon HSR 15 CUU	€ 30,00	4	€ 120,00	
Lineaire spindel: HIWIN Ø20, spoed 5, lengte 550	€ 55,00	1	€ 55,00	€ 91/m
Ballnut voor op spindel	€ 124,00	1	€ 124,00	
Ondersteunende lager: SKF 6202-2RSH	€ 6,72	1	€ 6,72	
Vaste lager: SKF 3302_A-2RS1TNS_MT33	€ 102,80	1	€ 102,80	
Inductieve sensor: Turck Bi4U-M12-AP6X-H1141	€ 108,44	2	€ 216,88	
Basis profiel: FARO U-profiel 157,2	€ 108,92	1	€ 108,92	€ 236,79/meter
Aluminium platen: AL5083_3-3547 (20 mm)	€ 1,40	5,3	€ 7,42	€ 1,40/kg
Staal platen: S235JR_1-0037	€ 1,20	2,6	€ 3,12	€ 1,20/kg
Prijs voor 1 module zonder motor en gearbox			€ 1.073,82	

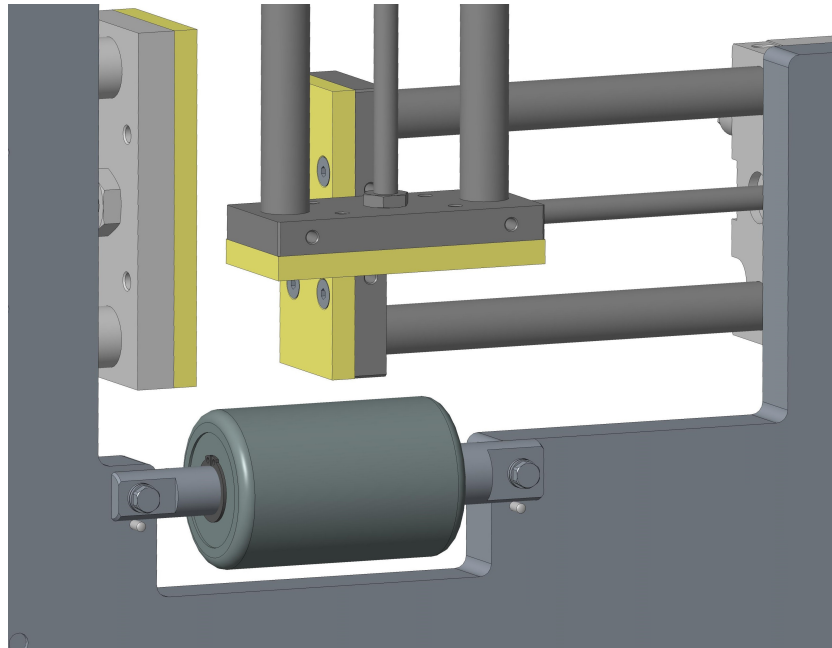
Lineaire module met motor/gearbox				
Onderdeel	Prijs/stuk	Aantal	Totaal	
Lineaire module zonder motor/gearbox	€ 1.073,82	1	€ 1.073,82	
Motor: Siemens 1Fk2203-4AG10-2MA0	€ 1.282,60	1	€ 1.282,60	
Gearbox: Wanshin WAB042 ratio 6 (Prijs niet exact)	€ 300,00	1	€ 300,00	
Koppeling: Nozag KNK-02 (Prijs niet exact)	€ 50,00	1	€ 50,00	
Prijs voor 1 module met motor en gearbox			€ 2.706,42	

Figuur 7.5: Prijslijst voor één lineaire module

De prijslijst toont dat de productie van de vijf lineaire modules een totaalbedrag van €5369,10 bedraagt. Ter vergelijking zijn er prijzen opgevraagd voor vergelijkbare modellen, welke variëren van €30.000 tot €50.000 voor vijf modules. Hieruit blijkt dat het aanzienlijk voordeliger is om de lineaire modules intern te produceren.

7.3 Ondersteunende as

In hoofdstuk 5.4.1 werd de doorbuiging op de as berekend. Hier bleek dat deze de opgegeven machinerichtlijnen zou overschrijden. Om de doorbuiging te verminderen werd er gekozen om de plaat van de inklemming aan te passen zodat de as korter gemaakt kan worden. Figuur 7.6 en figuur 7.7 tonen deze aanpassingen.



Figuur 7.6: 3D-model van de nieuwe bevestiging voor de ondersteunende as



Figuur 7.7: 3D-model van de nieuwe ondersteunende as

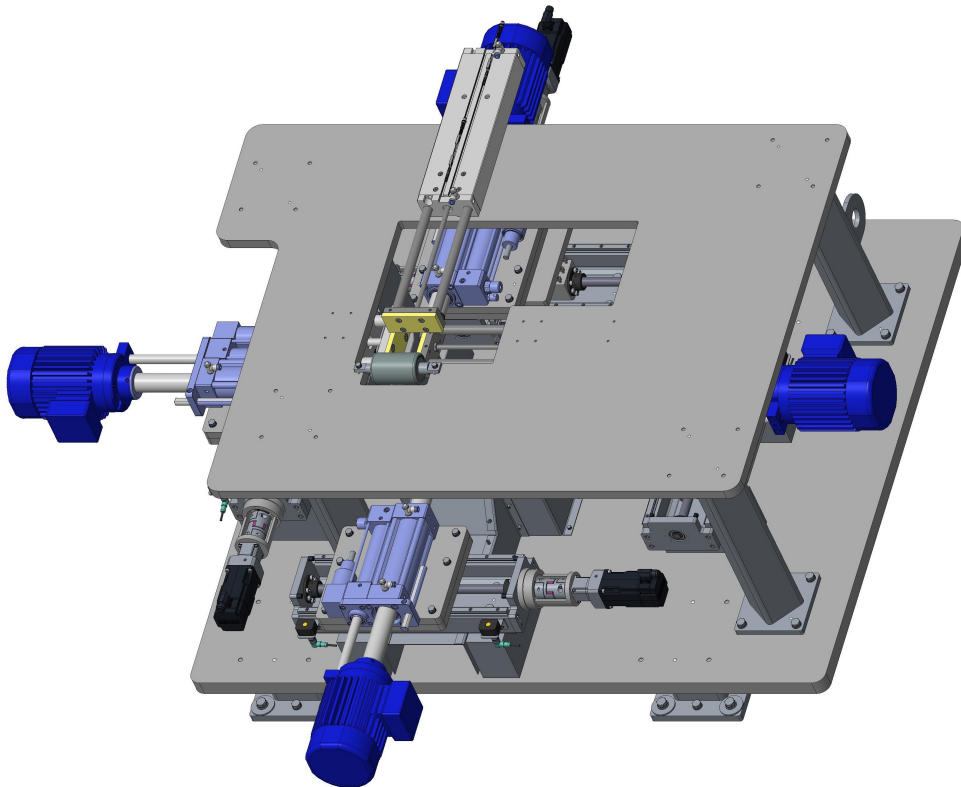
Het aanpassen van de as en de bevestiging ervan biedt meerdere voordelen. Ten eerste zal de doorbuiging nu onder de opgestelde machinerichtlijn van 0,1083 mm blijven; de doorbuiging is verminderd van 0,2375 mm naar 0,0536 mm. Ten tweede wordt de borgring nu meer naar de buitenkant van de as geplaatst in plaats van in het midden. Hoewel dit het probleem van kerfwerking niet volledig oplost, vormt het wel een verbetering. Tot slot zal de bewerkingstijd verminderen. De extra bewerkingen in de plaat hebben geen invloed op de bewerkingstijd, aangezien deze met de waterjet worden uitgesneden. Echter doordat de as bijna de helft wordt ingekort, zal de productietijd wel aanzienlijk afnemen.

Hoofdstuk 8

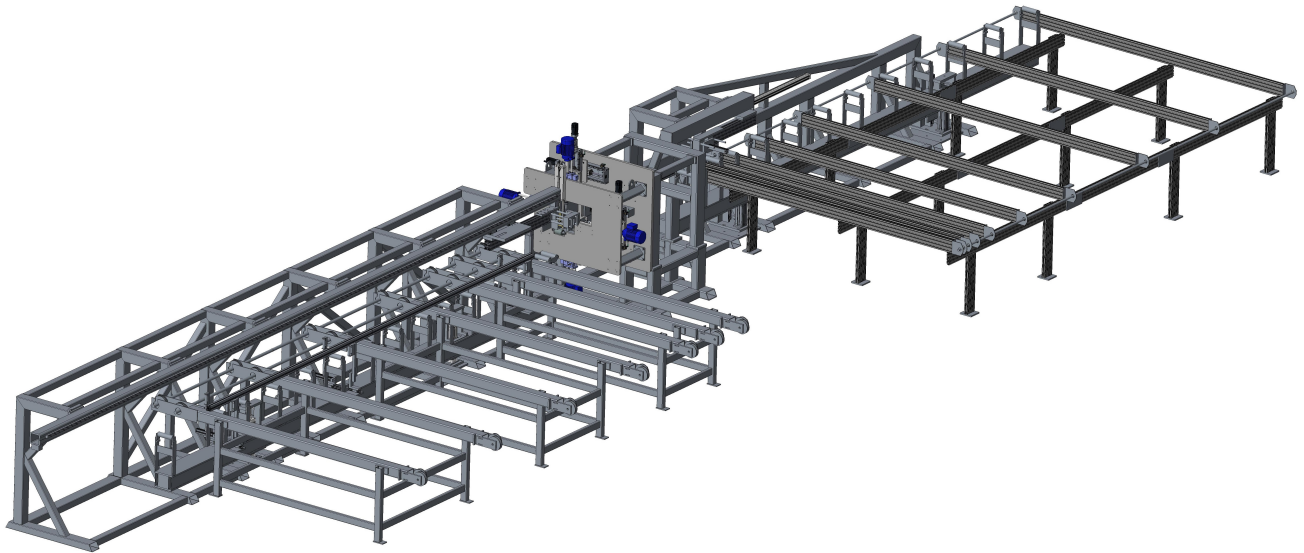
Eindresultaat

Doorheen deze masterproef is de gehele boormodule vanaf de basisplaat verder opgebouwd. Bij het toevoegen van elk onderdeel is zorgvuldig gekeken naar de samenhang en mogelijke ontwerp-wijzigingen om te voorkomen dat onderdelen elkaar zouden hinderen. Dit omvatte onder andere het creëren van uitsparingen in de spaanafvoer om ruimte te bieden aan de pneumatische cilinders en het gebruik van getapte doorvoergaten in plaats van moer-boutverbindingen. Dit zorgt ervoor dat onderdelen zowel langs boven als langs onder met de basisplaat verbonden konden worden. Het afzonderlijk ontwerpen van elk onderdeel en vervolgens samenvoegen zou tot veel aanpassingen leiden, waardoor een geleidelijke opbouw de voorkeur kreeg.

Figuur 8.1 toont de volledige assemblage van de boormodule en het eindresultaat van deze masterproef. Figuur 8.2 toont de boormodule geïntegreerd in de bestaande machine.



Figuur 8.1: 3D-model van de volledige uitgewerkte boormodule



Figuur 8.2: 3D-model van de volledige uitgewerkte boormodule geïntegreerd in de bestaande machine

8.1 Mogelijke verbeteringen

Het eindresultaat van deze masterproef is een volledig uitgewerkte machine die vrijwel klaar is voor productie. Toch zijn er nog enkele verbeteringen mogelijk om een volledig dossier voor het bedrijf te creëren, dat kan worden gebruikt om de machine te produceren. De volgende verbeterpunten kunnen worden opgesomd:

1. Automatisering van het ontwerp en productieproces

Een belangrijk aspect van deze masterproef is de volledige automatisering van de bewerking van de aluminium profielen. Hiervoor moeten ingenieurs de ontwerpen van de profielen kunnen opslaan op de server, zodat de arbeider aan de machine een lijst van te maken onderdelen kan opvragen. Momenteel ontbreekt dit systeem. Het ontwerpen en programmeren van een dergelijk systeem zou een waardevolle verbetering zijn.

2. Identificatie en labeling van profielen

Wanneer de profielen uit de machine komen, is het voor de volgende arbeider niet duidelijk welk profiel er nu bewerkt is. Een verbetering zou zijn om automatisch een label met het stuknummer op het profiel te bevestigen. Dit stuknummer moet overeenkomen met het nummer in het programma dat de profielen bewerkt, waardoor identificatie en traceerbaarheid worden verbeterd.

3. Uitwerken van 2D-tekeningen en pneumatische schema's

Voordat de machine daadwerkelijk in productie kan gaan, zijn gedetailleerde 2D-tekeningen en pneumatische schema's nodig. Deze zijn essentieel voor de techniekers om alles correct aan te sluiten en de onderdelen te vervaardigen. Bovendien kunnen de 2D-tekeningen helpen bij het identificeren van kleine mankementen in het ontwerp.

Hoofdstuk 9

Besluit

Terugblikkend op het doel van deze masterproef, was het oorspronkelijke streven om een bestaande machine van het bedrijf LASE aan te passen en uit te breiden zodat deze in staat is om het bewerken van aluminiumprofielen volledig te automatiseren. Belangrijke eisen waren onder meer de nauwkeurigheid van de bewerkingen, met een vereiste nauwkeurigheid van $\pm 0,5$ mm voor boren en $\pm 0,1$ mm voor zagen. De geboorde gaten moesten een diameter hebben van 10 mm en 19 mm. Bovendien was eenvoud in assemblage en kostenbeheersing van groot belang.

Om aan deze eisen te voldoen, is een methodische aanpak gehanteerd, waarbij voortdurende controle en aanpassing van ontwerpkeuzes centraal stonden. Cruciale onderdelen zijn onderworpen aan berekeningen zoals het benodigde koppel voor de spindel, de sterkte van boutverbindingen en de doorbuiging van ondersteunende assen. Ontwerprichtlijnen die binnen het bedrijf gelden, zijn gevolgd om ervoor te zorgen dat het ontwerp aan alle interne eisen voldoet.

Na het vaststellen van richtlijnen en een werkingsprincipe zijn alle onderdelen ontworpen aan de hand van een functieblokschema. Een basisframe werd ontwikkeld als fundament voor de gehele boormodule waarin vijf zelf ontworpen lineaire modules werden geïntegreerd. Deze modules worden aangedreven door servomotoren en kogelomloopsindels. Deze configuratie is in staat om de booreenheden met de vereiste nauwkeurigheid te bewegen. De boormodules zijn uitgerust met speciaal ontworpen boorkoppen om boorbewerkingen voor verschillende diameters met één tool uit te voeren.

Het basisframe biedt tevens ondersteuning voor inklemming en spaanafvoer. De inklemming klemt de profielen langs twee zijden vast en biedt ondersteuning tijdens het bewerken. Hijsogen zijn voorzien voor het verplaatsen van de boormodule na assemblage als één geheel. De spaanafvoer zorgt voor de afvoer van spanen die vrijkomen tijdens het boren.

Deze masterproef resulteert in een volledig ontworpen machine, waarbij de nadruk ligt op eenvoudige assemblage en financiële haalbaarheid. Met de voltooiing van de 2D-tekeningen en de pneumatische schema's kan het ontwerp als afgerond en klaar voor productie worden beschouwd.

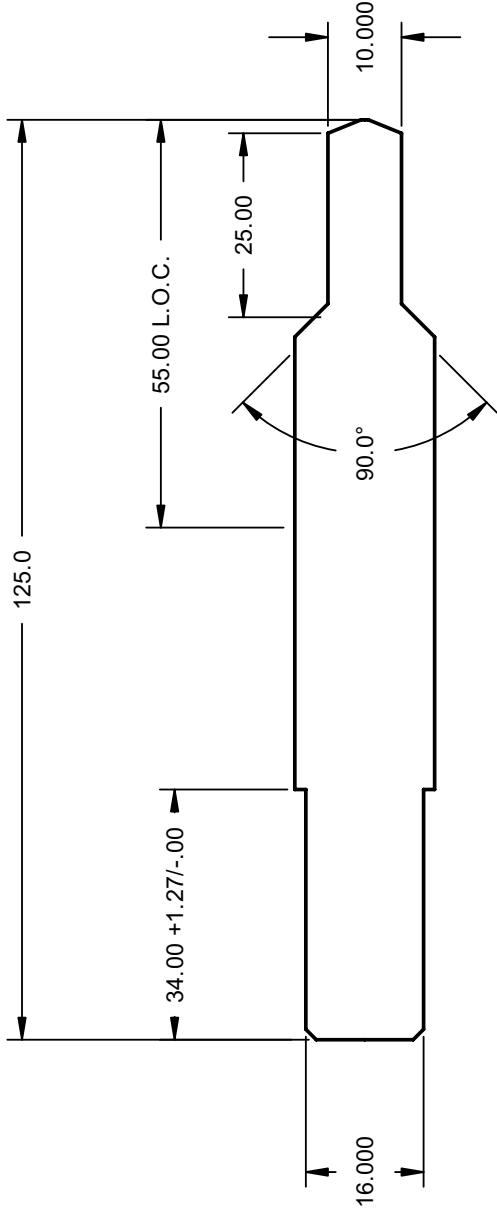
Literatuurlijst

- [1] *Bedrijfshandleiding zaagcentrum SZ-AF*. Nickelstraße 18, Duitsland: Ingenieurbüro und Maschinenbau GmbH, 2007.
- [2] “Gebruikte Cirkelzaagmachines & Doorslijpmachines, BJM - Alu profile saw center CNC N° 11259,” *APT International*. https://www.aptint.com/nl/tweedehands-machines/cirkelzaagmachines-doorslijpmachines/bjm-alu-profile-saw-center-cnc_11259 [Geraadpleegd mei. 2024].
- [3] Murtfeldt Kunststoffe GmbH \& Co. KG, “Tensioning Systems,” *Spann -Box® Size 0 Datasheet*. [Geraadpleegd mrt. 2024].
- [4] “Conisch spanelement,” *Techniekgids.nl*. <https://techniekgids.nl/conisch-spanelement/>, [Geraadpleegd mrt. 2024].
- [5] J. Tang, “Pneumatic Actuators vs Electric Actuators: Which is Better?,” *Oriental-motor*. <https://blog.orientalmotor.com/pneumatic-actuators-vs-electric-actuators-which-is-better> [Geraadpleegd mrt. 2024].
- [6] Easy Systems, “ISB-profile-range_en,” *ALUMINIUM PROFILE SYSTEM SERIES 40 Datasheet*. [Geraadpleegd mei 2024].
- [7] R. Gomeringer, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan, and F. Wieneke, *Tabellenbuch Metall*. Haan-Gruiten: Europa Lehrmittel, 48 ed., 2019.
- [8] CMD-Aluminium, “Aluminium brochure,” *Aluminium plaat op maat gezaagd*. [Geraadpleegd mei 2024].
- [9] “What is the Difference Between Plasma Cutting, Waterjet, and Laser Cutting?,” *Sunrise*. <https://www.sunrise-metal.com/difference-between-cast-aluminum-and-extruded-aluminum/> [Geraadpleegd apr. 2024].
- [10] “FLOW Mach 200 Waterjet Cutting Machine,” *Performance Waterjet*. <https://www.performancewaterjet.com.au/mach-200> [Geraadpleegd apr. 2024].
- [11] Vansichen, “Lineaire modules,” *KK-HD Datasheet*. [Geraadpleegd mrt. 2024].
- [12] A. Velling, “Types of Couplings,” *Fractory*. <https://fractory.com/types-of-couplings/> [Geraadpleegd apr. 2024].
- [13] Nozang, “Kupplungen / Accouplements / Couplings,” *Klemmnabenkupplungen KNK*, 2014. [Geraadpleegd apr. 2024].

- [14] “L1408 - Motor Bracket (MBA),” *Automotion Components*. <https://www.automotioncomponents.co.uk/en/catalog/linear-components/lead-screws-ball-screws/bearing-supports/bearing-supports/l1408/g+m+c+s+a> [Geraadpleegd apr. 2024].
- [15] Sunrise, “Difference Between Cast Aluminum and Extruded Aluminum,” *Sunrise Metal - Aluminium Die Casting Expert*. <https://www.sunrise-metal.com/difference-between-cast-aluminum-and-extruded-aluminum/> [Geraadpleegd apr. 2024].
- [16] “A-Z guide for Drilling Aluminium,” *Tool Shop Parweld*. <https://ruko.shop/blogs/ruko-shop-blog/drilling-aluminium-guide> [Geraadpleegd apr. 2024].
- [17] R. Shashikanth, “PCB Drilling: The Dos and the Dont’s,” *Sierra Circuits*. <https://www.protoexpress.com/blog/no-chilling-when-it-comes-to-pcb-drilling/> [Geraadpleegd apr. 2024].
- [18] “10 CNC Drill Geometries Every Machinist Must Know - In The Loupe,” *Harvey Performance Company*. <https://www.harveyperformance.com/in-the-loupe/10-cnc-drill-geometries-every-machinist-must-know/> [Geraadpleegd apr. 2024].
- [19] “Betriebsanleitung Bohreinheit B060 D.” Harmoniehof 37-1 Amsterdam Nederland.
- [20] RWH, “Ball screw technical data,” [Geraadplaagd mei. 2024].
- [21] HIWIN, “Ballscrews and accessories,” [Geraadplaagd mei. 2024].
- [22] Herbert Wittel, Dieter Jannasch, Joachim Voßiek, and Christian Spura, *ROLOFF / MATEK MACHINEONDERDELEN*. Amsterdam, Nederland: Boom, 6 ed., 2021.
- [23] Wanshsin, “WAB series — Helical Gear Planetary Gearbox,” *WAB042 Planetary Gearbox*. <http://www.wanshsin.com.cn/planetary-gearbox/WAB.html> [Geraadpleegd mei 2024].
- [24] SICK, “Hoe & wat: niet-optische sensoren,” [Geraadplaagd mei. 2024].
- [25] TURCK, “Inductive sensor,” *Datasheet NI10U-M12-AP6X-H1141*. [Geraadplaagd mei 2024].
- [26] Vulkoprin, “Vulkollan palletrollen,” *Datasheet VK TK 065 100 020*. [Geraadpleegd mrt. 2024].
- [27] Festo, “Geleidingscilinder DFM-40- -B,” [Geraadpleegd mrt. 2024].
- [28] Festo, “Geleidingscilinder DFM-50-50-P-A-GF,” [Geraadplaagd mrt. 2024].
- [29] SKF, “Selecting fits | SKF,” <https://www.skf.com/my/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-interfaces/selecting-fits>, [Geraadpleegd jun. 2024].
- [30] SKF, “SKF Groefkogellagers,” *6202-2RSH Groefkogellager met afdichting*. [Geraadpleegd jun. 2024].
- [31] SKF, “SKF Dubbele hoekcontactlager,” *SKF 3302-A-2RS1TNS-MT33 Dubbele hoekcontactlager met afdichting*. [Geraadpleegd jun. 2024].

Bijlage A

Bijlage - 2D-weergave: boorkoppen



NOTE: INTERNAL SHARP
CORNERS WILL HAVE SMALL
WHEEL RADIUS R.005 MAX

TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED BY CUSTOMER

SHANK ϕ	h6
$\angle$	+/- .15'
.XXX	+/- .0003
.XXX	+/- .001
.XX	+/- .005
O.A.L	+/- .05
	+/- .0005

CUSTOMER APPROVAL - SIGN AND DATE



10 MM DIA X 19 MM DIA HSS
STEP DRILL W/ 16MM SHANK
2 FLUTE 35° HELIX
UNCOATED FOR ALUM

DRAWN BY: CJD

3313 E. Goodland Dr. Appleton, WI 54911
800.734.2573 | 920.734.2573 | Fax: 920.734.1749
sales@ValleyTool.net | www.ValleyTool.net

PART# LSG042524

DATE: 4/25/24

DO NOT SCALE

REV: NONE

Bijlage B

Bijlage - Berekeningen: koppel aan de spindel

Berekening koppel aan de spindel

→ Koppel door wrijving T_{oi} (formule 4.2)

↳ In normale werking

$$T_{oi} = \frac{F_{oi} \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{539,55 \text{ N} \cdot 5 \text{ mm}}{2000 \cdot \pi \cdot 0,95} = 0,452 \text{ Nm}$$

↳ Tijdens het boren

$$T_{oi} = \frac{F_a \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{2039,55 \text{ N} \cdot 5 \text{ mm}}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = 1,708 \text{ Nm}$$

→ Koppel door preload op de spindel T_{ol} (formule 4.3)

$$T_{ol} = \frac{K_p \cdot F_{pr} \cdot P}{2000 \cdot \pi} = \frac{0,3 \cdot 0,05 \cdot 16400 \text{ N}}{2000 \cdot \pi} = 0,039 \text{ Nm}$$

→ Koppel door acceleratie $T_{a'}$ (formule 4.4-4.6)

$$\begin{aligned} J &= J_M + \frac{1}{2} \cdot m_r \cdot \left(\frac{d_m}{2000} \right)^2 + m_l \cdot \left(\frac{P}{2000 \cdot \pi} \right)^2 \\ &= 3,7 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2 + \frac{1}{2} \cdot 1,393 \text{ kg} \cdot \left(\frac{20 \text{ mm}}{2000} \right)^2 + 55 \text{ kg} \cdot \left(\frac{5 \text{ mm}}{2000 \cdot \pi} \right)^2 \\ &= 1,415 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot t} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3000 / \text{min}}{60 \cdot 0,5} = 628,32 \text{ rad/s}^2$$

$$\begin{aligned} T_{a'} &= J \cdot \omega = 1,415 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 \cdot 9,81 \cdot 628,32 \text{ rad/s}^2 \\ &= 0,872 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Bijlage C

Bijlage - Berekeningen: boutverbindingen

Locatie	Spanningsdoorsnede	Totale dwarskracht (N)	Dwarskracht per schroef (N)
Verbinding gehele boormodule met het zaagframe	17,58	14715	919,69
Verbinding inklemming met de basisplaat	4,31	2452,5	153,28
Verbinding lineaire modules met de basisplaat	4,63	2971,5	371,44
Verbinding spaanafvoer met de basisplaat	-0,06	196,2	21,80
Verbinding tussenplaten bij de boorunits	5,51	2000	333,33
Verbinding inklemming wanneer de gehele module wordt verplaatst	14,05	8000	500,00

Vereiste klemkracht (N)	Aantal schroeven	Klemlengte	Wrijvingscoëfficiënt
1839,38	16	17	0,5
306,56	16	13	0,5
742,88	8	35	0,5
43,60	9	2	0,5
666,67	6	20	0,5
1000,00	16	13	0,5

0,2% reksgrens (N/mm ²)	E-modulus (N/mm ²)	Zetting	Aanhaalfactor	Vervormbaarheidsfactor	Reductiefactor
640	210000	0,011	3	0,8	1
640	210000	0,011	3	0,8	1
640	210000	0,011	3	0,8	1
640	210000	0,011	3	0,8	1
640	210000	0,011	3	0,8	1
640	210000	0,011	3	0,8	1

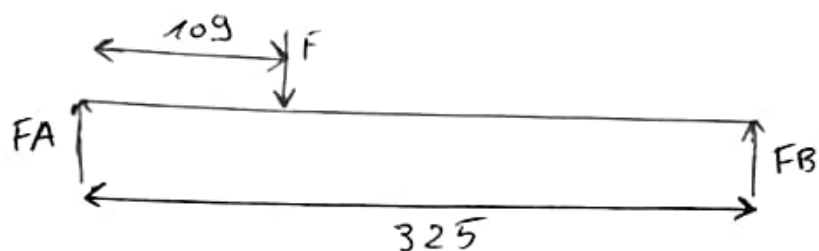
Locatie	Toelaatbare velddruk	Eerder berekende diameter	Spankracht	oppervlakte draagbaar deel	Materiaal
Verbinding gehele boormodule met het zaagframe	142,53	M8	18600	145	staal
Verbinding inklemming met de basisplaat	162,93	M4	7200	49,1	staal
Verbinding lineaire modules met de basisplaat	162,93	M4	7200	49,1	Plancast
Verbinding spaanafvoer met de basisplaat	505,37	M1	7200	15,83	staal
Verbinding tussenplaten bij de boorunits	162,93	M4	7200	49,1	aluminium platen
Verbinding inklemming wanneer de gehele module wordt verplaatst	140,04	M6	10200	80,93	staal

Bijlage D

Bijlage - Berekeningen: doorbuiging

Berekening doorbuiging van de ondersteunende as (reerie 1)

→ Bepalen van de reactiekrachten met $F = 834 \text{ N}$



$$\sum M_A = 0 \quad -F \cdot 109 \text{ mm} + F_B \cdot 325 \text{ mm} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad F_A + F_B = F$$

$$\begin{cases} F_A + F_B = 834 \text{ N} \\ -834 \text{ N} \cdot 0,109 \text{ m} + F_B \cdot 0,325 \text{ m} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_A = 554,29 \text{ N} \\ F_B = 279,71 \text{ N} \end{cases}$$

→ Bepalen van de doorbuiging

$$f_A = \frac{6,79 \cdot 554,29 \text{ N}}{210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{(325 - 109)^3}{20^4 \text{ mm}} + \frac{109^3 \text{ mm} - 159^3 \text{ mm}}{20^4 \text{ mm}} \right)$$
$$= 0,145 \text{ mm}$$

$$f_B = \frac{6,79 \cdot 279,71 \text{ N}}{210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2} \cdot \left(\frac{166^3 \text{ mm}}{25^4 \text{ mm}} + \frac{2 \cdot 16^3 \text{ mm} - 166^3 \text{ mm}}{20^4 \text{ mm}} \right)$$
$$= 0,416 \text{ mm}$$

$$f = f_A + \frac{\alpha}{l} \cdot (f_B - f_A)$$

$$= 0,145 \text{ mm} + \frac{109 \text{ mm}}{325 \text{ mm}} \cdot (0,416 \text{ mm} - 0,145 \text{ mm})$$

$$= 0,2375 \text{ mm}$$

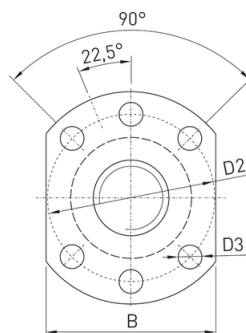
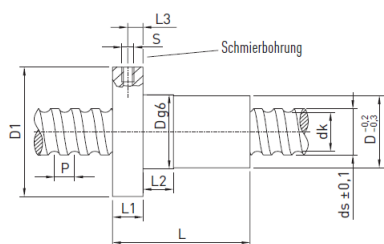
Bijlage E

Bijlage - 2D-weergave:
kogelomloopsindel

Bijlage F

Bijlage - Datasheet: kogelomloopsindel

Moerbenaming R20-05K4-FSCDIN



Eigenschappen configuratie: R20-05K4-FSCDIN-466-540-0,052

Soort spil		Gewalst
Nominale diameter		20
Stijging		5
Trajectfluctuatie		52 µm/ 300 mm
Moermontage		Met axiale speling 0,04 mm Gemonteerd

Moerbenaming R20-05K4-FSCDIN / Spindelbenaming R20-05-466-540-0,052

Spindeldiameter	ds	19,6	mm
Stijging	P	5	mm
Moerdiameter	Dg6	36	mm
Flensbuitendiameter	D1	58	mm
Centreerdiameter	D2	47	mm
Boringdiameter	D3	6,6	mm
Boorbeeld		1	
Moerlengte	L	40	mm
Flensbreedte	L1	10	mm
Passinglengte	L2	10	mm
Afstand smeerboring	L3	5	mm
Smeerboring	S	M6	mm
Flensbreedte	B	44	mm
Kerndiameter	dk	16,9	mm
Dynamisch draaggetal	Cdyn	16400	N
Statisch draaggetal	C0	32.740	N
Axiale speling		0,04	mm
Massa		0,28	kg/St.

Details voor uw bestelling:

R20-05K4-FSCDIN-466-540-0,052

E1: 14

E2: 60

Flansch Richtung Ende 2

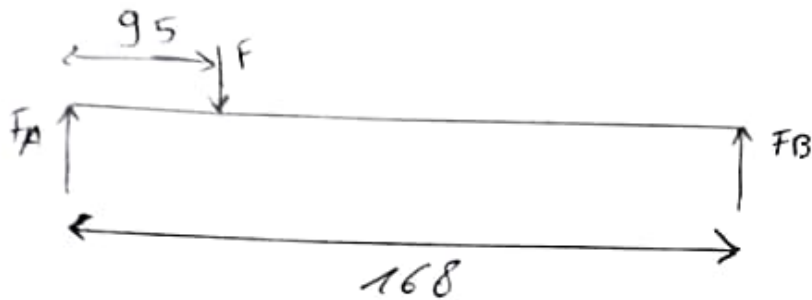
Bitte im Bestellfalle Zeichnung beil

Bijlage G

Bijlage - Berekeningen: doorbuiging na aanpassingen

Berekening doorbuiging van de ondersteunende as (vertie 2)

→ Bepalen van de reactiekrachten met $F = 834 \text{ N}$



$$\sum M_A = 0 \quad -F \cdot 95 \text{ mm} + F_B \cdot 168 \text{ mm} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad F_A + F_B = F$$

$$\begin{cases} F_A + F_B = 834 \text{ N} \\ -834 \text{ N} \cdot 0,095 \text{ m} + F_B \cdot 0,168 \text{ m} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_A = 558 \text{ N} \\ F_B = 282 \text{ N} \end{cases}$$

→ Bepalen van de doorbuiging

$$f_A = \frac{6,79 \cdot 558 \text{ N}}{210 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2} \cdot \left(\frac{133^3 \text{ mm}}{20^4 \text{ mm}} + \frac{95^3 \text{ mm} - 133^3 \text{ mm}}{20^4 \text{ mm}} \right)$$
$$= 0,0965 \text{ mm}$$

$$f_B = \frac{6,79 \cdot 282 \text{ N}}{210 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2} \cdot \left(\frac{35^3 \text{ mm}}{25^4 \text{ mm}} + \frac{73^3 \text{ mm} - 35^3 \text{ mm}}{20^4 \text{ mm}} \right)$$
$$= 0,0206 \text{ mm}$$

$$f = f_A + \frac{a}{l} \cdot (f_B - f_A)$$

$$= 0,0965 \text{ mm} + \frac{95 \text{ mm}}{168 \text{ mm}} \cdot (0,0206 \text{ mm} - 0,0965 \text{ mm})$$

$$= 0,053 \text{ mm}$$