

2019 • 2020

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Het verwijderen van kevers uit peulvruchten op veldniveau,
onafhankelijk van het oogstmoment

PROMOTOR :
ing. Eric CLAESEN

PROMOTOR :
Dhr. Harry STALS

COPROMOTOR :
ing. Rik CEYSSENS

Sven Janssen, Kristof Steijvers

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

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



KU LEUVEN



KU LEUVEN

2019 • 2020

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Het verwijderen van kevers uit peulvruchten op veldniveau,
onafhankelijk van het oogstmoment

PROMOTOR :

ing. Eric CLAESEN

PROMOTOR :

Dhr. Harry STALS

COPROMOTOR :

ing. Rik CEYSSENS

Sven Janssen, Kristof Steijvers

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



KU LEUVEN

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op de opdracht, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten.

Woord vooraf

Om onze opleiding tot industrieel ingenieur elektromechanica met een finaal project af te sluiten zijn we op zoek gegaan naar een masterproefonderwerp dat aansluit bij onze interesses en affiniteit met de landbouw. Dit hebben we gevonden bij Greenyard Prepared in Bree. De fabriek kampt steeds meer met kevers in de versge oogste groenten, deze moeten dan verwijderd worden in het productieproces. Hierdoor daalt de productiecapaciteit. Onze opdracht bestond dan ook uit het onderzoeken van de mogelijkheid om een landbouwmachine te bouwen die op grote werkbreedtes kevers verwijderd uit peulvruchten in het veld. In dien dit mogelijk was mochten we ook een 3D-ontwerp van een machine prototype maken.

Het bijzondere van deze opdracht is de verschillende invalshoek die we beide hebben met de opdracht. Sven is als jobstudent tewerkgesteld in de fabriek van Greenyard Prepared en kent dus het productieproces en de problematiek. Kristof werkt als jobstudent mee aan de oogst van de groenten en is bijgevolg ook op de hoogte van de keverproblematiek.

Om deze opdracht te verwezenlijken hebben we hulp gekregen van Rik Ceyskens en Harry Stals van Greenyard Prepared, hiervoor willen we hun bedanken. Verder willen we ook een woord van dank uitspreken naar onze interne promotor Eric Claesen.

Verder bedanken we Limoco en Loonbedrijf Weltjens Bocholt voor hun medewerking aan dit project.

Tot slot willen we alle docenten bedanken die onze vragen in de loop van het project hebben beantwoord.

Sven Janssen
Kristof Steijvers

Juni 2020

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF	3
LIJST VAN TABELLEN.....	7
LIJST VAN FIGUREN	9
ABSTRACT	11
ABSTRACT IN ENGLISH.....	13
1 INLEIDING.....	15
1.1 SITUERING	15
1.2 PROBLEEMSTELLING	15
1.3 DOELSTELLINGEN	16
1.4 MATERIAAL EN METHODE	17
1.5 VOORUITBLIK.....	17
2 LITERATUURSTUDIE	19
2.1 BIOLOGIE EN BEHEERSING VAN DE COLORADOKEVER	19
2.1.1 <i>Biologie van de CPB.....</i>	<i>19</i>
2.1.2 <i>Pestmanagement.....</i>	<i>20</i>
2.2 FYSISCHЕ CONTROLE VAN DE CPB	21
2.2.1 <i>Stromulch</i>	<i>21</i>
2.2.2 <i>Thermische controlemethodes.....</i>	<i>21</i>
2.2.3 <i>Pneumatische controlemethodes.....</i>	<i>22</i>
2.2.4 <i>Vergelijking thermisch en pneumatisch.....</i>	<i>25</i>
2.3 CONCLUSIE.....	26
3 PNEUMATISCH SYSTEEM.....	27
3.1 LUCHTDEBIET	27
3.1.1 <i>Metingen</i>	<i>27</i>
3.1.2 <i>Resultaten.....</i>	<i>28</i>
3.2 INSECTENSCHIEDING	29
3.2.1 <i>Principe.....</i>	<i>29</i>
3.2.2 <i>Dimensionering.....</i>	<i>30</i>
3.3 ZUIGMONDEN	32
3.4 VENTILATOR	32
3.4.1 <i>Drukopbouw</i>	<i>32</i>
3.4.2 <i>Ventilatorselectie</i>	<i>34</i>
4 MACHINEONTWERP.....	35
4.1 INSECTENZUIGER.....	35
4.1.1 <i>Gewichtsverdeling.....</i>	<i>36</i>
4.2 CHASSIS	37
4.2.1 <i>Wielophanging.....</i>	<i>37</i>
4.2.2 <i>Banden en assen</i>	<i>39</i>
4.2.3 <i>Trekhaak en steunpoot.....</i>	<i>40</i>
4.3 CYCLONENOPBOUW	41
4.3.1 <i>Cyclonen en kleppen.....</i>	<i>41</i>
4.3.2 <i>Ventilatoren.....</i>	<i>43</i>
4.3.3 <i>Frame</i>	<i>44</i>
4.3.4 <i>Bunkerschot.....</i>	<i>45</i>

4.4	INSECTENBUNKER.....	46
4.4.1	<i>Bunkeropbouw.....</i>	46
4.4.2	<i>Transportband.....</i>	47
4.5	ZUIGBOOM.....	52
4.5.1	<i>De zuigmonden.....</i>	52
4.5.2	<i>Het frame van de zuigboom.....</i>	55
4.5.3	<i>Zuigslangen.....</i>	58
4.5.4	<i>Het hefsysteem.....</i>	59
4.5.5	<i>Inklappen van de zuigboom naast de machine.....</i>	65
4.5.6	<i>Omhoog klappen van de secties van 6 m.....</i>	66
4.5.7	<i>Naar beneden klappen van de sectie van 1,5m.....</i>	68
4.6	GENERATOR.....	74
4.6.1	<i>Generatordimensionering.....</i>	74
4.6.2	<i>Generatorkeuze.....</i>	75
4.7	STURING.....	76
4.7.1	<i>Elektrisch.....</i>	77
4.7.2	<i>Hydraulisch.....</i>	81
5	BESLUIT.....	83
	BIBLIOGRAFIE.....	85
	BIJLAGEN.....	89

Lijst van tabellen

Tabel 1: Vaste eisen.....	16
Tabel 2: Componenten HS	21
Tabel 3: Componenten openvlamsysteem	22
Tabel 4: Temperatuur en blootstellingstijd	22
Tabel 5: Invloed van rijsnelheid en levensstadium op het aantal verwijderde kevers, gemiddeld over alle gebruikte technieken	25
Tabel 6: Invloed van de controletechniek en het levensstadium op het aantal verwijderde kevers, gemiddeld over alle rijsnelheden	26
Tabel 7: Afmetingen zuiger.....	28
Tabel 8: Resultaten debietmeting	29
Tabel 9: Cycloondimensies	31
Tabel 10: Controleparameters cycloon	31
Tabel 11: Drukopbouw statisch.....	33
Tabel 12: Zwaartepunt en gewichtsverdeling.....	36
Tabel 13: Dynamische aslasten	39
Tabel 14: Resultaten zuigboom dicht.....	62
Tabel 15: Resultaten zuigboom open.....	62
Tabel 16: Hoeken hefarm.....	63
Tabel 17: Reactiekrachten hefarm	65
Tabel 18: Generatorvereisten	75

Lijst van figuren

Figuur 1: Levensstadia van de CPB	19
Figuur 2: Integrated pest management.....	20
Figuur 3: Spuitkop HS	21
Figuur 4: Openvlamsysteem.....	22
Figuur 5: Bug-Vac in een aardbeieveld.....	24
Figuur 6: Ploeger blaaszuigstelsysteem.....	25
Figuur 7: Afzuiger spinaziemaaiër	27
Figuur 8: Ventilator	28
Figuur 9: Anemometer	28
Figuur 10: Pitotbuis	28
Figuur 11: Principeschets cycloon	30
Figuur 12: Afmetingsverhoudingen cycloon.....	30
Figuur 13: Zuigmondconstructie	32
Figuur 14: Ventilator karakteristiek	34
Figuur 15: Insectenzuiger open stand	35
Figuur 16: Insectenzuiger transportstand.....	35
Figuur 17: VLS zwaartepunt	36
Figuur 18: Chassis	37
Figuur 19: Wielophanging	38
Figuur 20: VLS wielarm	38
Figuur 21: Dwarsnivellering	39
Figuur 22: Spoorbreedte 1,9 m.....	40
Figuur 23: Spoorbreedte 2,1 m.....	40
Figuur 24: Trekhaak.....	40
Figuur 25: Steunpoot	40
Figuur 26: Cyclonenopbouw	41
Figuur 27: Kleppen.....	42
Figuur 28: Roterende luchtsluis.....	42
Figuur 29: Geleidingen	42
Figuur 30: Vooraanzicht geleiding	43
Figuur 31: Ventilatorconfiguratie	43
Figuur 32: Uitlaten ventilator	43
Figuur 33: Ventilator met verloop	44
Figuur 34: Ventilator koppeling	44
Figuur 35: Frame cyclonenopbouw	44
Figuur 36: Bovenste tussenverbinding.....	44
Figuur 37: Bevestiging cycloon.....	45
Figuur 38: Bunkerschot voorkant	45
Figuur 39: Bunkerschot achterkant.....	45
Figuur 40: Insectenbunker.....	46
Figuur 41: Bunkerframes	47
Figuur 42: Bunkerlade	47
Figuur 43: Bunkerbevestiging	47
Figuur 44: Bunkerafdichting	47
Figuur 45: Bunkerdeksel.....	47
Figuur 46: Dekselbevestiging.....	47
Figuur 47: Transportband.....	48
Figuur 48: Geleidingsprofielen transportband.....	48

Figuur 49: Transportbandbasis	48
Figuur 50: Zijkant transportband	48
Figuur 51: Spanlager SKF TU25TF	49
Figuur 52: Spaninrichting	49
Figuur 53: Rol transportband.....	49
Figuur 54: Asborging transportband.....	50
Figuur 55: Bevestiging hydromotor.....	50
Figuur 56: Zuigboom open.....	52
Figuur 57: Zuigboom dicht	52
Figuur 58: Zuigmond 1,5 m	53
Figuur 59: Verdeelvinnen.....	53
Figuur 60: Cirkelverdeling	53
Figuur 61: Weerstandscoefficienten	55
Figuur 62: Frame 1,5 m.....	55
Figuur 63: Frame 6 m	56
Figuur 64: Frame 3 m	56
Figuur 65: Dwarsdoorsnede frame	57
Figuur 66: Slangsteunen.....	59
Figuur 67: Hefstelsel.....	59
Figuur 68: Slijtbus	59
Figuur 69: Gaffel	60
Figuur 70: Massamiddelpunt zuigboom open	60
Figuur 71: Massamiddelpunt zuigboom dicht	61
Figuur 72: VLS zuigboom.....	61
Figuur 73: Hoeken hefarm	63
Figuur 74: VLS hefarm	64
Figuur 75: Scharnier inklappen naast de machine	66
Figuur 76: Cilinder inklappen naast de machine	66
Figuur 77: Cilinder omhoog klappen	67
Figuur 78: Mechanisme uiteinde zuigboom.....	69
Figuur 79: Mechanisme uiteinde zuigboom open.....	69
Figuur 80: Mechanisme uiteinde zuigboom dicht	69
Figuur 81: Krachtenanalyse scharniermechanisme open	70
Figuur 82: Krachtenanalyse scharniermechanisme dicht.....	71
Figuur 83: Cilinder met gaffel	73
Figuur 84: Motorgegevens	74
Figuur 85: Generator.....	75
Figuur 86: Stekkeraansluitingen.....	75
Figuur 87: Technische gegevens generator	76
Figuur 88: Schema ISOBUS-systeem.....	77
Figuur 89: ISOBUS-systeem Deutz.....	77
Figuur 90: Principeschets generator.....	78
Figuur 91: Kabel van generator naar machine.....	79
Figuur 92: Kabel naar de motor.....	79
Figuur 93: Schema kabels	80

Abstract

Greenyard Prepared in Bree verwerkt verse groenten en fruit tot conserven in blik en glas. Een probleem tijdens de reiniging van versge oogste peulvruchten is de aanwezigheid van kevers, wat de productiecapaciteit doet dalen.

Het doel van deze masterproef is onderzoeken of de verwijdering van de kevers in het groenteveld, onafhankelijk van de oogst mogelijk is op een werkbreedte van achttien meter. Indien dit kan is een bijkomend doel de dimensionering en het 3D CAD-ontwerp van een machineprototype waarmee dit kan gebeuren.

Als eerste wijst een literatuurstudie uit dat afzuigen de meest efficiënte verwijderingstechniek is.

Het benodigde luchtdebiet en de minimale luchtsnelheid aan de zuigmond zijn bepaald op basis van debietmetingen op een bestaande afzuiger van drie meter.

Tot slot resulteert het 3D-ontwerp in een getrokken landbouwmachine die toegestaan is op de openbare weg. De machine zuigt op basis van op maat geconstrueerde zuigmonden de kevers uit de gewassen en vangt ze op. De gebruikte ventilatoren zijn geëigend voor vuile lucht en worden elektrisch aangedreven. Scheiding van de kevers uit de luchtstroom gebeurt met cycloontechnologie. Verder is bodemvolging op de zuigmonden als optie voorzien. De machineopbouw staat toe om de werkbreedte uit te breiden tot 21 m.

Abstract in English

Greenyard Prepared in Bree processes fresh fruit and vegetables into canned and glass preserves. A problem during the cleaning of freshly harvested legumes is the presence of beetles, which reduces production capacity.

The aim of this master thesis is to investigate whether the removal of beetles in the vegetable field, independent of the harvest, is possible at a working width of eighteen meters. If this is possible, an additional objective is the dimensioning and 3D CAD design of a machine prototype which can remove the beetles.

First, a literature study indicates that suction is the most efficient removal technique. The required air flow rate and the minimum air velocity at the suction mouths was determined based on flow measurements on an existing three-meter wide machine.

Finally, the 3D design results in a trailed agricultural machine that removes the beetles out of the crops based on custom-made suction mouths. The used fans are suitable for dirty air and are electrically driven. Separation of the beetles from the air stream is done by cyclone technology. In addition, boom height control on the suction mouths is provided as an option. The machine structure allows the working width to be extended to 21 m.

1 Inleiding

1.1 Situering

Het filiaal Greenyard Prepared van de Greenyard groep verwerkt groenten en fruit tot conservenproducten en sauzen. In hal A van Greenyard Prepared gebeurt de verwerking van de groenten en fruit in blik en glas. In hal C worden er sauzen, soepen en bereide maaltijden gemaakt. In hal B worden de producten gelabeld en verpakt. Deze opdracht heeft betrekking tot de activiteiten in hal A, waar de versge oogste groenten gereinigd en bereid worden tot het eindproduct.

De oogst van de groenten gebeurt door een loonwerker die na het oogsten de groenten in containers naar de fabriek brengt. Doordat het oogstvenster zich vaak beperkt tot slechtst enkele weken, en er maar een paar uur mag zijn tussen de oogst en de verwerking van de groenten, wordt er ook 's nachts geogst en verwerkt.

1.2 Probleemstelling

Omdat het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen steeds strenger gereguleerd wordt, zijn er meer en meer insecten aanwezig op de groentegewassen. Zo vormen de kevers in de peulvruchten een aanzienlijk probleem voor Greenyard. De kevers gaan tijdens de oogst mee de oogstmachine in en belanden zo in de conservenfabriek. Dit is een probleem voor de hele conservenindustrie, er mogen nooit insecten in het afgewerkt conservenproduct belanden.

Tijdens de verwerking van de groenten worden de insecten en andere onzuiverheden verwijderd met elektronische apparatuur. Wanneer er veel insecten aanwezig zijn in de groenten, moet de apparatuur de tijd krijgen om alle insecten te verwijderen. Hierdoor moet het debiet door de installatie dalen en daalt dus de productiecapaciteit. Greenyard Prepared wil dat de insecten al verwijderd worden voor de oogst van de groenten, zodanig dat het risico op insecten in de verwerking gereduceerd wordt.

Een eerste oplossing voor een gelijkaardig probleem in spinazie werd gevonden in de vorm van een afzuigstelsel. Deze is bevestigd op de spinaziemaaiër. Tijdens de oogst van de spinazie worden dan de insecten afgezogen. De werking van dit stelsel is goed onder ideale omstandigheden. Het resultaat van de afzuiger is namelijk sterk afhankelijk van het oogstmoment. In droge omstandigheden is het resultaat tevredenstellend maar in natte of vochtige omstandigheden werkt deze afzuiging niet optimaal. Omdat er ook 's nachts en in de regen geogst wordt belanden onder deze omstandigheden nog altijd veel insecten in de fabriek.

Om het probleem op te lossen vraagt Greenyard Prepared dan ook om een studie te doen naar een manier waarop kevers verwijderd kunnen worden uit de peulvruchten op het veld, onafhankelijk van het oogstmoment. Op deze manier kunnen de insecten een korte tijd voor het oogsten verwijderd worden, waardoor er ook tijdens het oogsten minder insecten aanwezig zullen zijn.

1.3 Doelstellingen

De hoofddoelstelling van deze masterproef is het zoeken van een manier om kevers te verwijderen uit de peulvruchten op veldniveau. Belangrijk hierbij is dat het verwijderen kan gebeuren onafhankelijk van het oogstmoment om niet afhankelijk te zijn van de omstandigheden tijdens de oogst.

Een eerste doelstelling is het uitvoeren van een literatuurstudie waarin enerzijds meer informatie vergaard wordt over de verschillende soorten kevers. Anderzijds spitst deze literatuurstudie zich toe op technieken die in de biologische landbouw gebruikt worden om insecten te verwijderen uit gewassen.

Een tweede doelstelling is het aftoetsen van de eventueel gevonden technieken op de eisen van Greenyard Prepared zoals vermeld in Tabel 1. Hier wordt vooral de implementatie van de techniek in vraag gesteld. Omdat de techniek toepasbaar moet zijn in de peulvruchten en losgekoppeld moet zijn van het oogstmoment, wil dit zeggen dat er een extra veldbewerking nodig is voor de oogst. Hieruit volgt dat de techniek op grote werkbreedtes toepasbaar moet zijn om zo weinig mogelijk beschadigingen aan te brengen tijdens de passage door het gewas. Een alternatief hierop is het gebruik van rijpaden.

Tabel 1: Vaste eisen

Vaste eisen	Variabele eisen
Gewassen:	Zo veel mogelijk insecten verwijderen
Peulvruchten:	
▪ Erwtten	Passend aan standaard trekker
▪ Bonen	
▪ Flageolets	Werkbreedte: 18 m of 21 m.
▪ Tuinbonen	
Insecten:	
Kevers:	
▪ Lieveheersbeestjes	
▪ Coloradokever	
▪ Andere keversoorten	
Loskoppelen van het oogstmoment.	
Afmetingen van de machine: wettelijke beperkingen i.v.m. wegtransport.	

Een derde doelstelling is het ontwerp van een machine op basis van een eventueel gevonden of ontwikkelde techniek. Indien het implementeren niet mogelijk is volgens de eisen van het bedrijf wordt dat ook als een antwoord op de onderzoeksvraag gezien.

1.4 Materiaal en methode

Om kennis op te doen van bestaande systemen gaan we een literatuurstudie uitvoeren via elektronische bronnen, om te kijken of er al onderzoeken zijn gebeurd om dit probleem op te lossen. Ter aanvulling is een bezoek aan Agritechnica gepland om te overleggen met ervaringsdeskundigen uit de sector.

Hiernaast bestuderen we de afzuiger op de spinaziemaaier om te zien welke zuigkracht gehaald wordt en met welk vermogen.

Daarna zullen berekenmethodes gebruikt worden om te beslissen welke techniek implementeerbaar is naar de wensen van Greenyard Prepared.

Indien er een techniek bestaat die implementeerbaar is, kan er een concept uitgewerkt worden voor de bouw van een machine of een prototype.

1.5 Vooruitblik

Als eerste is een bronnenstudie uitgevoerd waarin verschillende methodes om kevers te verwijderen worden toegelicht.

Daarna is op basis van de spinaziemaaier de minimaal nodige zuigsnelheid en het daarbij horende luchtdebiet gemeten en berekend. Uitgaande van deze gegevens is het volledige pneumatische systeem gedimensioneerd om met een werkbreedte van achttien meter kevers te kunnen verwijderen.

Laatst wordt het 3D CAD-ontwerp van een prototype machine uitvoerig besproken.

2 Literatuurstudie

De literatuurstudie biedt een dieper inzicht in de keverproblematiek en de Coloradokever in het bijzonder. Daarna zijn de fysische controletechnieken voor Coloradokevers besproken.

Coloradokevers komen hoofdzakelijk voor op aardappelplanten. Indien er in het volgende jaar peulvruchten op het aardappelveld gezaaid worden zijn de Coloradokevers aanwezig in het aardappelopschot dat tussen de peulvruchten zal uitkomen. Op basis van deze studie zal geconcludeerd worden dat de pneumatische technieken het best in aanmerking komen als verwijderstechniek.

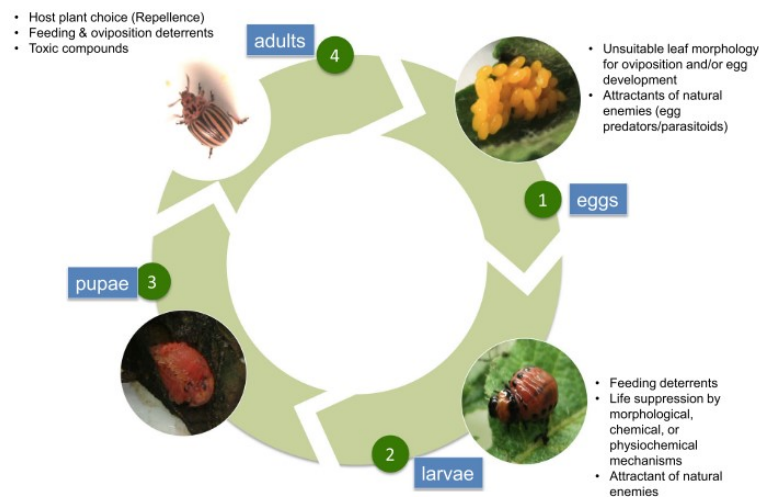
2.1 Biologie en beheersing van de coloradokever

Dit hoofdstuk gaat kort in op één van de veel voorkomende kevers, namelijk de coloradokever of CPB (Colorado potato beetle). De CPB komt vaak voor in de vorm van hardnekkige plagen en zorgt in de conservenfabriek voor problemen zoals de probleemstelling vermeld.

Met behulp van het artikel ‘Managing the Colorado potato beetle; the need for resistance breeding’ [1], wordt de biologie van de kever kort besproken. Daarna wordt integrated pestmanagement uitgelegd.

2.1.1 Biologie van de CPB

De levenscyclus van de CPB bestaat uit het eistadium gevolgd door vier larvestadia, vier popstadia en een volwassen stadium. Het begint met een volwassen CPB die overwinterd en in de lente 20 tot 60 eitjes legt. Een kevervrouwtje kan tot drie generaties voortbrengen per jaar en tot 800 eitjes leggen in haar leven. Na een periode van vier tot twaalf dagen komen de larven uit de eitjes. Ze beginnen zich onmiddellijk te voeden met bladeren van de aardappelplant. Wanneer ze volledig gevoed zijn gaan de kevers over naar het popstadium in de grond. Na vijf tot zeven dagen ontpoppen de kevers in een volwassen stadium. Onderstaande figuur illustreert de levensstadia van de coloradokever.

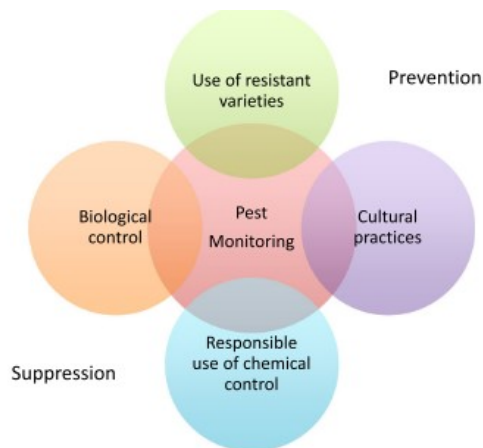


Figuur 1: Levensstadia van de CPB [1]

Welke plant de kevers kiezen als gastplant hangt af van verschillende factoren zoals diversiteit in vegetatie, plantgrootte en reuksignalen. Verder blijkt dat beschadigde bladeren de aantrekking van volwassen kevers kunnen verhogen. Het eetgedrag van de kevers wordt sterk beïnvloed door de sterol fracties die vrijgelaten worden door het blad van de aardappelplant. Met chemische pesticiden kan dit beïnvloed worden.

2.1.2 Pestmanagement

Als alternatief voor insecticiden om de CPB te controleren dient IPM (Integrated pest management). IPM bestaat uit twee delen. Enerzijds het preventiedeel waarin gezocht wordt naar resistente aardappelrassen. Dit is voor de probleemstelling van deze studie niet van toepassing. Anderzijds is er het onderdrukkingsdeel waarin biologische controle van de CPB naar de voorgrond wordt gebracht. Het gebruik van pesticide kan in additie tot de biologische controle ook bijdragen aan de onderdrukking van de CPB. Het biologisch controleren van de kevers krijgt hierin duidelijk de voorkeur aangezien de keverpopulaties snel resistentie ontwikkelen tegen insecticiden. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van IPM.



Figuur 2: Integrated pest management [1]

De biologische controle van het IPM bestaat ten eerste uit het gebruik van natuurlijke vijanden van de coloradokever zoals grondkevers. In onze toepassing verschuift dit het probleem van coloradokevers naar grondkevers die ook in de fabriek terecht kunnen komen. Ten tweede kunnen fysische controlemiddelen de kevers op biologische wijze verwijderen.

Voorbeelden hiervan zijn:

- Fysische barrières;
- Stromulch;
- Thermische controle;
- Pneumatische controle.

2.2 Fysische controle van de CPB

Het tweede hoofdstuk geeft een overzicht van de meest voorkomende fysische controlemethodes van de CPB. Het gebruik van stro [2], thermische controlemethodes [3], [4] en pneumatische controlemethodes [3], [5], [6], [7] tegen de CPB worden besproken. Aangezien het gebruik van fysieke barrières niet effectief blijkt [8] wordt dit buiten beschouwing gelaten.

2.2.1 Stromulch

Uit veldexperimenten blijkt dat de kolonisatie van de coloradokever door overwinterde volwassen kevers bemoeilijkt wordt door het inwerken van stromulch in de grond. Het tijdstip waarop de kevers opduiken is gelijk, maar het aantal kevers is significant lager. Het stro voorkomt dat de kevers een geschikte overwinterplaats vinden door de lage bodemtemperatuur onder het stro. Ook verhindert het stro de reactie van de kevers op vluchtige stoffen uitgestoten door de aardappelplant [2] waardoor ze niet aangetrokken worden door de bovengrond. De immigratie van kevers uit naburige percelen is niet te beïnvloeden met stromulch. Doordat deze techniek eenvoudig uit te voeren is kan het een optie zijn om voor het planten van aardappelen stromulch in de bodem te verwerken. Ook voor de zaai van de peulvruchten het jaar nadien kan dit nog eens gebeuren op niveau van een proefveld.

2.2.2 Thermische controlemethodes

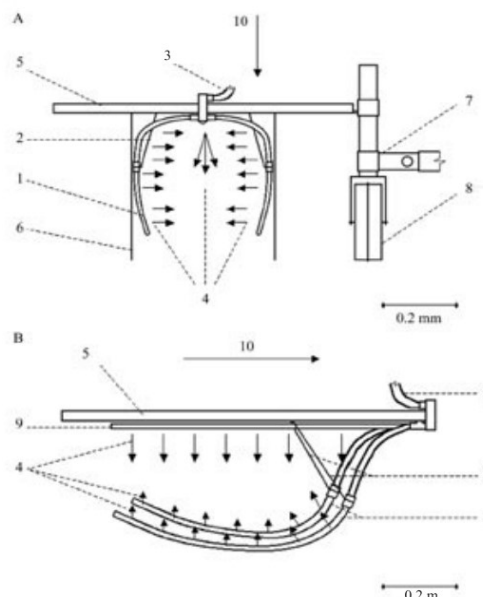
Eerst wordt de opbouw van verschillende thermische systemen besproken. Vervolgens is er een vergelijking van deze systemen volgens temperatuur. Al deze systemen zijn gericht op het doden van de CPB en andere insecten. Het verwijderen van de insecten uit de gewassen zal apart van de thermische techniek moeten gebeuren. Het op de grond blazen van de insecten is ook een optie maar de kans bestaat dat de oogstmachine ze terug oppikt. Ook de thermische beschadiging van de peulvruchten moet in rekening gebracht worden.

2.2.2.1 Hot water steam (HS)

Een prototypemachine is gebouwd met een 900 liter watertank op een trailer. Het water wordt op hoge druk door het systeem gepompt en verwarmd door een vlam onder de boiler. De brandstof hiervoor is propaan. De spuitkop waardoor de stoom naar de planten gevoerd wordt is afgebeeld op onderstaande figuur.

Tabel 2: Componenten HS [4]

Nr.	Verklaring
1	Geperforeerde buis
2	Hoogteaanpassing buis
3	Aanvoer heet water
4	Uitlaat heet water en stoom
5	Cover
6	Aanpasbare zij-covers
7	Giek
8	Ontlastingswiel
9	Top-geperforeerde pijp
10	Werkingsrichting



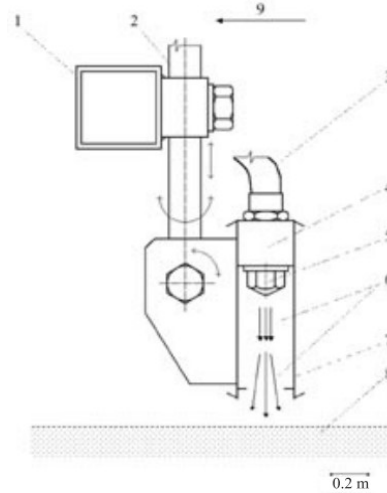
Figuur 3: Spuitkop HS [4]

2.2.2.2 Openvlamsysteem

Dit is een gedragen systeem door een tractor en werkt met propaanbranders die op het gewas gericht worden. Figuur 4 toont de opbouw van de brander.

Tabel 3: Componenten openvlamsysteem [4]

Nr.	Verklaring
1	Frame
2	Stalen buis
3	Propaan aanvoer
4	Brander
5	Spuitkop
6	Vlam
7	Cover
8	Grond
9	Werkingsrichting



Figuur 4: Openvlamsysteem[4]

2.2.2.3 Vergelijking HS en openvlamsysteem

In 'Evaluation of methods for controlling Colorado potato beetles' [3] worden veldexperimenten uitgevoerd met beide systemen. In een eerste test wordt de temperatuur en blootstellingstijd van de plant aan de techniek gemeten bij verschillende snelheden. Tabel 4 toont de resultaten.

Tabel 4: Temperatuur en blootstellingstijd [3]

Driving speed (km/h)	Hot water steam		Open flame	
	Temperature achieved (°C)	Exposure time (s)	Temperature achieved (°C)	Exposure time (s)
1.0	49	2.88	not tested	not tested
1.5	44	1.92	186	0.07
2.5	35	1.15	157	0.04
3.5	33	0.82	111	0.03

Het openvlamsysteem stelt de planten duidelijk bloot aan hogere temperaturen, maar voor een veel kortere tijd. De blootstellingstijden bij het heetwatersysteem zijn beduidend langer omdat het water op de plant aanwezig blijft. Dit is van belang voor het al dan niet overleven van de plant na de behandeling. Een nadeel van beide technieken is het propaanverbruik voor het creëren van de warmte.

2.2.3 Pneumatische controlemethodes

Het meeste onderzoek blijkt zich te richten op de pneumatische controlemethodes. Er wordt gebruik gemaakt van blaas, zuig, en blaaszuigprincipes. Eerst worden de aerodynamica en de benodigde krachten om een kever te doen lossen van het blad besproken [5]. Daarna toont dit hoofdstuk verschillende voorbeelden van systemen zoals de Beetle Eater, Bio-collector en de Bug-Vac [5]. Hiernaast wordt ook het blazerzuigersysteem van Ploeger kort besproken [7]. Tot slot worden experimenteel verkregen resultaten van de thermische en pneumatische controlemethodes met elkaar vergeleken.

2.2.3.1 Aerodynamica

Om de benodigde zuig of blaas parameters te bepalen is het belangrijk de dragcoëfficiënt van het te bewegen object te kennen. Deze dimensieloze grootte wordt ook de weerstandcoëfficiënt genoemd en is een maat voor de weerstandskracht die een object biedt tegen de stroming.

$$C_D = \frac{m \cdot g}{\frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot v_t^2 \cdot A_{\perp}}$$

Met:

C_D = Drag Coëfficiënt

m = Massa insect [kg] [5]

g = Gravitatie [m/s^2]

v_t = Terminale snelheid [m/s]

ρ_a = Dichtheid lucht [kg/m^3]

A_{\perp} = Geprojecteerde oppervlakte insect [m^2]

Bovenstaande formule illustreert dat de dragcoëfficiënt afhankelijk is van de geprojecteerde oppervlakte van de kever op de luchtstroom. Hoewel elke kever een andere vorm heeft is het volgens [5] toch mogelijk de weerstandcoëfficiënt van de kevers te bepalen. Dit door de kever te benaderen door gekende vormen zoals bijvoorbeeld een bol en vervolgens correctiefactoren in acht te nemen. Op deze manier komt de weerstandcoëfficiënt van een volwassen CPB uit op 0,35, bij een terminale snelheid van 12,5 m/s. Dit is de minimale snelheid nodig om de kever aan te trekken. De terminale snelheden van een volwassen kever en het vierde, derde en tweede larvestadium zijn respectievelijk 9,4, 9,5, 7,3 en 5,9 m/s. Hieruit blijkt dat larven uit het tweede en derde stadium gemakkelijker af te zuigen zijn dan larven uit het vierde stadium en volwassen kevers.

Om de luchtstroom te simuleren met als doel een optimale zuigmond te ontwerpen bestaan er numerieke simulatiemodellen. De methode voor het opstellen van een eindige elementenmodel kan geraadpleegd worden in [9]. Resultaten en voorbeeld zuigmondconfiguraties worden verder besproken in [10].

2.2.3.2 Lostrekkraft van een CPB

De kracht nodig om een CPB los te trekken van een blad is situatieafhankelijk. Volwassen coloradokevers hebben een betere greep op de onderkant en de rand van het blad. Verder gebruikt de CPB haken om een beter greep te hebben op de plant. Een volwassen CPB kan met deze greep een weerstand bieden tot twintig keer zijn eigengewicht. Gecombineerd met de locatie van de kever wil dit zeggen dat de CPB een kracht kan weerstaan van 41 mN aan de onderkant van het blad en 11 mN aan de bovenkant van het blad. Dit komt overeen met een trekgewicht van 4,1 en 1,1 gram.

2.2.3.3 Beetle eater

Een eerste voorbeeld van een machine op het pneumatische principe is de Beetle eater. De machine is ontworpen door James Syzal Sr. Het patent is gekocht door Thomas Equipment Ltd. De kostprijs bedroeg in 2001 41 700 Canadese dollars. Het benodigde tractorvermogen is 45 kW en rijnsnelheden tussen 8 en 9,6 km/h werden aangenomen. De lucht wordt gegenereerd door twee ventilatoren die elk zuigkracht voorzien voor één zuigmond. Deze zuigmonden zijn uitgevoerd als rechthoeken met een lengte van 25,4 cm en een breedte van 7,6 cm. De gehaalde zuigsnelheid van 480 km/h lijkt ons twijfelachtig. De snelheid is veel hoger dan de volgende voorbeelden. De effectiviteit van de machine

wordt tussen 15 en 50 % aangegeven. Om dit te behalen moet de machine het gewas in hoogte volgen [5].

2.2.3.4 *Bio-Collector*

Een tweede voorbeeld is ontwikkeld door Bio-land Technik (Mühlhausen, Duitsland). Deze machine kan CPB's verwijderen met een capaciteit van meer dan één hectare per uur. Dit bij een rijnsnelheid van zes km/h. De luchtstroom van deze machine bedraagt 25 km/h [3]. De effectiviteit van deze machine is 80 – 99 % voor volwassen coloradokevers en 75 – 80 % voor larven. Dit is tegenstrijdig met de theorie waarin geconcludeerd werd dat larven beter af te zuigen zijn dan volwassen kevers. De kostprijs van deze machine bedroeg in 2001 14000 Canadese dollars [5].

2.2.3.5 *Bug-Vac*

De Bug-Vac is een derde machine voor het pneumatisch verwijderen van kevers in aardappelen en aardbeien zoals te zien is in Figuur 5. De machine is ontwikkeld door E. Show (Discoll, Californië) in 1986. De effectiviteit van deze machine is vergelijkbaar met chemische pesticiden. Een machine uitgerust met drie zuigmonden werd getest in aardbeien en koste minstens twintig jaar geleden 83 000 Canadese dollars. De luchtsnelheid werd afgesteld op 12,5 m/s. Bladschade bij deze snelheid is verwaarloosbaar klein [5].



Figuur 5: Bug-Vac in een aardbeinveld[6].

2.2.3.6 *Ploeger blaaszuigsysteem.*

Oogstmachinefabrikant Ploeger bouwt op zijn spinaziemaaier een zuigsysteem om insecten uit de spinazie te verwijderen tijdens de oogst zoals de machine op Figuur 6. Uit het interview met Roger Doggen [7] blijkt dat Ploeger na een studie de zuiger heeft doorontwikkeld naar een blazerzuigersysteem. Dit om een circulaire luchtstroom te verkrijgen. De insecten worden van de plant geblazen en vervolgens opgezogen. De effectiviteit van dit principe is niet kwantitatief getest.



Figuur 6: Ploeger blaaszuigsysteem [11].

2.2.4 Vergelijking thermisch en pneumatisch

In 'Evaluation of methods for controlling Colorado potato beetles' [3] worden verschillende technieken met elkaar vergeleken. Een eerste vergelijking werd al eerder gemaakt tussen de temperaturen en blootstellingstijden van hot steam en open vlam thermische controle. Ook op de effectiviteit van het verwijderen van CPB's werden deze technieken met elkaar vergeleken. Echter wordt in deze tests de pneumatische techniek in de vorm van een bio collector ook meegenomen. De variabelen in deze tests zijn dus enerzijds de controletechniek (PCM), maar verder ook de rijnsnelheid (DS) en het levensstadium van de coloradokever (LS). De testen zijn uitgevoerd in een proefveld met aardappelplanten van 250-300 mm hoog. In Tabel 5 worden de resultaten van alle combinaties weergegeven. Hierbij wordt het aantal verwijderde kevers uitgemiddeld over alle controletechnieken met uitzondering van de test met rijnsnelheid 1 km/h. Deze test werd namelijk enkel uitgevoerd met de HS-methode. Uit de resultaten blijkt dat het percentage gedode kevers daalt bij het verhogen van de rijnsnelheid. De beste resultaten werden gehaald met de HS-methode bij 1 km/h. Echter zijn de CPB's dan nog niet verwijderd uit het gewas. Verder daalt het aantal gedode coloradokevers naarmate het levensstadium toeneemt.

Tabel 5: Invloed van rijnsnelheid en levensstadium op het aantal verwijderde kevers, gemiddeld over alle gebruikte technieken [7]

Life stage (LS)	Driving speed (DS)	Total no. of CPB	% of CBP killed
L ₁₋₂	1.0 km/h	216	63 a
	1.5 km/h	1214	55 b
	2.5 km/h	1743	46 d
	3.5 km/h	1099	38 e
L ₃₋₄	1.0 km/h	327	52 bc
	1.5 km/h	653	48 cd
	2.5 km/h	1007	39 e
	3.5 km/h	649	37 e
Adult	1.0 km/h	135	55 b
	1.5 km/h	426	47 cd
	2.5 km/h	445	38 e
	3.5 km/h	432	27 f

Wanneer de effectiviteit van de verschillende methodes met elkaar vergeleken wordt, gemiddeld over alle rijnsnelheden worden de resultaten uit Tabel 6 bekomen. De resultaten bevestigen dat naarmate het levensstadium toeneemt, iedere techniek minder kevers verwijderd. In de larfstadia is de

openvlamtechniek de beste bestrijding tegen de kevers. De volwassen kevers worden beter verwijderd met de HS-techniek of de Pneumatische techniek.

Tabel 6: Invloed van de controletechniek en het levensstadium op het aantal verwijderde kevers, gemiddeld over alle rijnsnelheden [3]

Life stage	Pest control method	Total no. of CPB	% of CBP killed
L ₁₋₂	Pneumatic collector	880	33 e
	Open flame	1946	56 a
	Hot water steam	1446	45 c
L ₃₋₄	Pneumatic collector	591	40 d
	Open flame	1058	45 bc
	Hot water steam	987	41 d
Adult	Pneumatic collector	494	29 e
	Open flame	405	50 b
	Hot water steam	539	40 d

2.3 Conclusie

Een eerste conclusie is dat de levensstadia van een coloradokever een belangrijke parameter zijn in hun verwijdering. Verder bestaan er verschillende preventie en onderdrukkingstechnieken voor de coloradokever in het kader van integrated pest management. Binnen de onderdrukkingstechnieken wordt er een opsplitsing gemaakt in verschillende verwijderprincipes. Het thermisch en pneumatisch verwijderen van de kevers lijkt de meest haalbare optie. Het inwerken van stromulch voor het planten van de aardappelen en het volgende jaar voor het zaaien van de peulvruchten is te overwegen op testniveau. Het percentage overlevende kevers in het perceel wordt dan verwacht lager te liggen. Er is echter geen controle over keverpopulaties die immigreren vanuit naburige percelen. Verder blijkt het thermisch doden van de kevers efficiënter dan de pneumatische techniek. Hiertegenover staat dat de kevers bij een pneumatische controletechniek verwijderd worden uit het gewas. De thermische techniek zal dus gevolgd moeten worden door een tweede techniek om de insecten alsnog te verwijderen uit het gewas. Het op de grond blazen van de thermisch gedode insecten kan ook een optie zijn. Een bijkomend nadeel van de thermische controlemethodes is het eventueel beschadigen van de peulvruchten afhankelijk van de temperatuur en de duur van blootstelling. Ook het propaanverbruik van de branders wordt gezien als een nadeel t.o.v. het pneumatisch verwijderen van de insecten.

3 Pneumatisch systeem

In dit hoofdstuk wordt het volledige pneumatische systeem beschreven, nodig om de insecten af te zuigen en te scheiden. Hiervoor wordt eerst de benodigde zuigsnelheid aan de zuigmond en het overeenkomstige luchtdebiet berekend op basis van een voorbeeldmachine. Daarna wordt de scheidingstechniek om de insecten uit de luchtstroom te halen toegelicht. Vervolgens wordt de zuigmondconstructie uitgelegd. Het hoofdstuk eindigt met de ventilatorselectie op basis van de eerder besproken systeemcomponenten.

3.1 Luchtdebiet

Om de benodigde zuigsnelheid voor het verwijderen van kevers te bepalen wordt vertrokken van een bestaande afzuiger op de oogstmachine voor spinazie. De werkbreedte van deze machine is drie meter. De luchtsnelheid van deze machine kan dan vergeleken worden met de literatuurstudie en zal als maatstaf aangehouden worden voor de ontwikkeling van een prototype.

3.1.1 Metingen

De bestaande afzuiger is te zien in Figuur 7. De zuiger verplaatst lucht door een hydraulisch aangedreven ventilator zoals Figuur 8 illustreert. De lucht wordt aangezogen aan de onderkant van de constructie door een smalle opening over de breedte van de machine. De uitgang van de ventilator is een ronde buis. Als eerste zijn de belangrijkste afmetingen van het toestel opgemeten. Daarna is de luchtsnelheid gemeten met een anemometer LCA 6000 van Airflow-instruments (Figuur 9). Deze heeft een meetbereik van 0 tot 30 m/s, de resolutie is 0,01 m/s. Hiernaast is de snelheid ook gemeten met een pitotbuis voorzien van een digitale uitlezing (Figuur 10). Deze heeft een meetbereik van 0-500 Pa (0-26,7 m/s), de resolutie is hier 1 %.



Figuur 7: Afzuiger spinaziemaaiër



Figuur 8: Ventilator



Figuur 9: Anemometer



Figuur 10: Pitotbuis

3.1.2 Resultaten

Tabel 7 geeft de belangrijkste afmetingen van de afzuiger weer.

Omdat meerdere metingen van de luchtsnelheid met de pitotbuis in de ronde sectie achter de ventilator geen betrouwbaar resultaat opleverden zijn deze niet verder onderzocht. Het meten van de luchtsnelheid ter hoogte van de zuigmond aan de onderkant van de zuiger is met beide toestellen niet mogelijk. De constructie laat niet toe met de pitotbuis ter hoogte van de spleet te meten. Bij de anemometer doet ditzelfde probleem zich voor, en bijkomend is het schoepenwiel van de meter te groot t.o.v. de spleet.

Verder is de luchtsnelheid aan de uitgang van de ventilator (ronde doorsnede) gemeten met de anemometer. Het experiment bevat ook metingen waarin de zuigmond deels of volledig afgesloten wordt om de invloed hiervan in kaart te brengen. De resultaten uit Tabel 8 werden bekomen.

Tabel 7: Afmetingen zuiger

Diameter uitgang [m]	0,565
Lengte zuigmond [m]	2,98
Breedte zuigmond [m]	3
Diameter ventilator [m]	0,55
# Schoepen	10
Schuinstand Schoepen	6/4,

Tabel 8: Resultaten debietmeting

Anemometer	Snelheid [m/s]	Oppervlakte [m ²]	Debiet [m ³ /s]	Debiet [m ³ /h]
Alles open	12,18	0,251	3,05	10993,51
Klepjes dicht (normale werking)	13,8	0,251	3,46	12455,71
Spleet half dicht	10	0,251	2,51	9025,87
Spleet zo goed als dicht	7,5	0,251	1,88	6769,41

Tijdens het normale werkingsregime bedraagt het luchtdebiet 3,46 m³/s. De lichtsnelheid in de zuigmond kan berekend worden doordat het luchtdebiet constant blijft. Hierbij wordt er een zuigfactor in rekening gebracht omdat de zuigmond niet de enige opening is waar de zuiger lucht kan aanzuigen. Er zijn namelijk ook nog klepjes aan de zijkant van de zuiger.

$$\text{Debiet: } Q = 3,46 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Oppervlakte zuigmond:

$$A = 0,03 \cdot 2,98 = 0,0894 \text{ m}^2$$

Aanzuigfactor : 0,85

Snelheid:

$$v = \frac{0,85 \cdot 3,46}{0,0894} = 32,90 \text{ m} / \text{s}$$

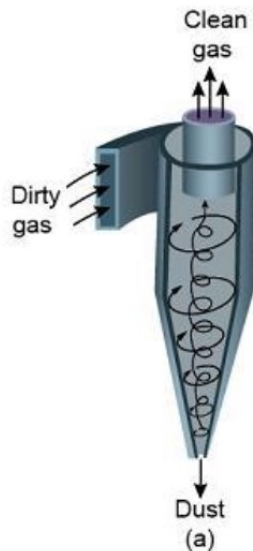
De snelheid van 32,90 m/s ter hoogte van de aanzuig komt in grootteorde overeen met de meeste machines uit de literatuurstudie. Verder is deze snelheid groter dan de terminale snelheid van 12,5 m/s waardoor de kevers aangetrokken zullen worden.

3.2 Insectenscheiding

Dit hoofdstuk beschrijft het scheidingsproces van de afgezogen lucht. Deze lucht zal stof, kevers en andere onzuiverheden bevatten. Omdat het van groot belang is dat de insecten niet terug in het veld geblazen worden is een scheiding noodzakelijk.

3.2.1 Principe

Om de afgezogen insecten te verwijderen uit de luchtstroom alvorens de lucht terug uit het circuit geblazen wordt, is cycloontechnologie gebruikt. Figuur 11 toont de principewerking van een cycloon [12]. De vuile afgezogen lucht komt binnen op de omtrek van de cycloon en zal een helicoïdale, neerwaartse beweging maken. De deeltjes in de lucht zullen onderaan in de cycloon blijven terwijl de zuivere lucht aan de bovenste uitlaat van de cycloon terug weg kan. Het voordeel van deze technologie is de continue werking en constante drukval. Er bestaan ook alternatieven zoals filterdoeken. Deze doeken moeten tijdig gezuiverd worden en hebben een drukverlies afhankelijk van hun verstopping. Om deze redenen is gekozen voor het gebruik van cyclonen. Nadelig voor de implementatie van de cycloon in een machine is de minimale lengte die nodig is voor een goede reiniging.

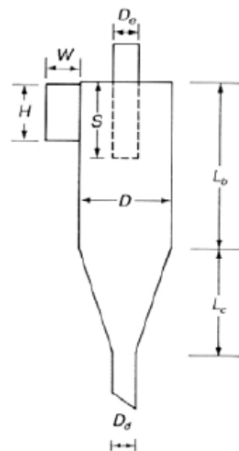


Figuur 11: Principeschets cycloon [12]

3.2.2 Dimensionering

Om de dimensies van de cycloon te bepalen is gebruik gemaakt van “Design and fabrication of cyclone separator” [12]. In functie van de deeltjesgrootte en de throughput doorheen de cycloon zijn er verhoudingen gedefinieerd voor de dimensies van de cycloon zoals Figuur 12 illustreert.

Cyclone Type	High Efficiency		Conventional		High Throughput	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Body Diameter, D/D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Height of Inlet, H/D	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
Width of Inlet, W/D	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
Diameter of Gas Exit, D_g/D	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
Length of Vortex Finder, S/D	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
Length of Body, L_b/D	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
Length of Cone, L_c/D	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0
Diameter of Dust Outlet, D_d/D	0.375	0.4	0.25	0.4	0.375	0.4



Figuur 12: Afmetingsverhoudingen cycloon [12]

Belangrijk bij het dimensioneren van de cycloon is de in- en uitlaatsnelheid. Deze moet klein genoeg zijn om te voorkomen dat de deeltjes mee door de luchtuitlaat worden uitgeblazen. Om deze reden is het luchtdebiet van 3,46 m³/s gehalveerd naar 1,73 m³/s. De snelheden in de cycloon halveert hierdoor bij dezelfde cycloondimensies. Deze beslissing heeft als nadeel dat het luchtdebiet van 1,73 m³/s slechts toereikend is voor 1,5 meter werkbreedte. Voor een werkbreedte van achttien meter zijn er dus twaalf cyclonen nodig. Een alternatief om de luchtsnelheden in de cycloon te reduceren is het opschalen van de cycloon. De benodigde cycloonlengte wordt dan echter te groot om machine te maken die over de weg getransporteerd mag worden.

Op basis van de afmetingsverhoudingen voor high throughput, het luchtdebiet van 1,73 m³/s en een cycloondiameter van 0,6 m worden de cycloondimensies uit Tabel 9 bekomen. Sommige afmetingen

werden getuned om de snelheid te verkleinen of om de cycloon passend te maken op andere standaardonderdelen.

Tabel 9: Cycloondimensies

Parameters		Standaard	Tuned	
Inlaathoogte	H	0,48	0,55	m
Inlaatbreedte	W	0,21	0,21	m
Cycloondiameter	D	0,6	0,6	m
Uitlaatdiameter	D _e	0,45	0,45	m
Uitlaatlengte	S	0,51	0,58	m
Stofuitlaatdiameter	D _d	0,24	0,24	m
Rechte cycloonlengte	L _b	1,02	1,02	m
Schuine cycloonlengte	L _c	1,2	1	m

Ter controle van bovenstaande afmetingen worden de volgende parameters van de cycloon berekend [12]:

$$\# \text{Omwentelingen helix: } N = \frac{1}{H} \cdot \left(L_b + \frac{L_c}{2} \right)$$

$$\text{Inlaatsnelheid: } v_{in} = \frac{Q}{H \cdot W}$$

$$\text{Kleinste afgescheiden deeltje } (\eta = 50\%): d_p = \left[\frac{9 \cdot \mu \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot N \cdot v_{in} (\rho_p - \rho_g)} \right]^{1/2}$$

$$\text{Drukval: } \Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho_g \cdot V_i^2 \cdot H_v$$

$$\text{Met: } H_v = K \cdot \frac{H \cdot W}{D_e^2}$$

$$\text{Uitlaatsnelheid: } v_{uit} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D_e^2}{4}}$$

De bekomen resultaten worden getoond in Tabel 10:

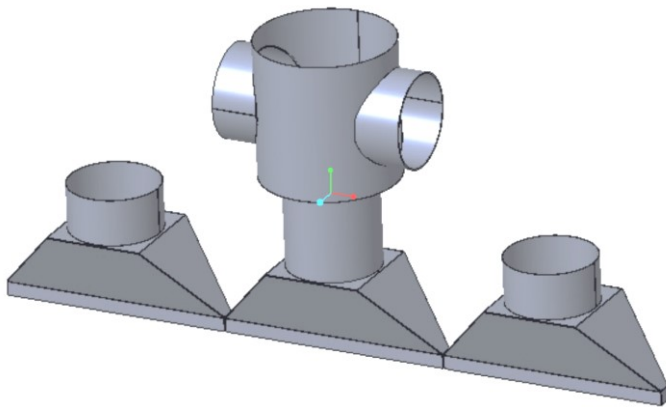
Tabel 10: Controleparameters cycloon

# Omwentelingen	N	2,76	#	Constanten			
Inlaatsnelheid	v _{in}	14,98	m/s	Gas viscositeit	μ	2E-05	kg/(ms)
Kleinste effectieve deeltje	d _p	0,00017218	m	Stofdichtheid	ρ _p	5,73	kg/m ³
Parameter voor drukval	H _v	8,56	#	Luchtdichtheid	ρ _a	1,293	kg/m ³
Drukval cycloon	P	1240,92	Pa	Constante voor drukval	K	15	
Uitlaatsnelheid	V _u	10,88	m/s	Debiet	Q	1,73	m ³ /s

3.3 Zuigmonden

Uit het hoofdstuk insectenscheiding is gebleken dat voor iedere anderhalve meter een cycloon nodig is. Om deze reden worden de zuigmonden ook in repetitieve delen van anderhalve meter geconstrueerd. Deze delen zullen later in secties van anderhalve, drie en zes meter worden samengebouwd tot een achttien meter breed geheel.

Elke zuigmond van anderhalve meter wordt op zijn beurt opgesplitst in drie zuigmonden van elk een halve meter zoals Figuur 13 illustreert. De luchtaanvoer wordt ook verdeeld over deze drie delen waardoor de luchtstroom gelijkmatiger verdeeld wordt over de anderhalve meter. Hiermee bekomen we een betere luchtverdeling dan de afzuiger van Ploeger. De aanzuigspleet van de zuigmond die over het gewas zal bewegen heeft een breedte van drie centimeter, vergelijkbaar met de zuiger van Ploeger. Op de buisaansluiting van de zuigmond past flexibele buis met een diameter van 300 mm, hierdoor wordt de luchtsnelheid in de buis beperkt tot 25 m/s. Verdere details over de zuigmonden en hun luchtverdeling volgt in hoofdstuk 4.



Figuur 13: Zuigmondconstructie

3.4 Ventilator

De ventilatorselectie steunt enerzijds op het benodigde debiet en drukopbouw, anderzijds is de ventilatorgeometrie van belang aangezien er in de aangezogen lucht deeltjes aanwezig zullen zijn. Er is gekozen om ook de ventilator per sectie van anderhalve meter te dimensioneren.

3.4.1 Drukopbouw

De drukopbouw die de ventilator moet leveren is de som van alle drukverliezen in het systeem. De belangrijkste verliezen zijn te wijten aan de zuigmond, de buizen, de cycloon en de dynamische druk.

Het drukverlies in de cycloon is in de vorige sectie bepaald en bedraagt 1240,92 Pa. Elke ventilator is aangesloten op één cycloon aangezien de dimensionering gebeurt voor anderhalve meter.

De statische drukval in de zuigmond wordt als volgt benaderd:

Inlaat zuigmond:

$$\begin{aligned}
 A &= l \cdot b \\
 &= 1,5 \cdot 0,03 \\
 &= 0,045 \text{ m}^2 \\
 Q &= 1,73 \text{ m}^3 / \text{s} \\
 v &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{1,73}{0,045} \\
 &= 38,44 \text{ m / s} \\
 P &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,293 \cdot 38,44^2 \\
 &= 955,3 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Uitlaat zuigmond:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \\
 &= \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4} \\
 &= 0,0707 \text{ m}^2 \\
 v &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{1,73}{0,0707} \\
 &= 24,47 \text{ m / s} \\
 P &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,293 \cdot 24,47^2 \\
 &= 387,1 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Statisch drukverschil: $\Delta P = 955,3 - 387,1 = 568,2 \text{ Pa}$

Om vervolgens het drukverlies in de buizen te bepalen is er volgens de fluidummechanica een iteratieve berekening nodig aangezien de stroming turbulent is. De turbulentie zorgt ervoor dat de wrijvingsfactor f beschreven wordt door de Colebrook vergelijking:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Het is deze impliciete vergelijking die om een iteratieve oplossingsstrategie vraagt. Na overleg met afzuigspecialist Limoco N.V. [13] is gebleken dat voor veel toepassingen dit probleem omzeild wordt. Het drukverlies in de buizen is dan ook bepaald met een online softwaretool [14]. Met een buisdiameter van 30 cm, een luchtsnelheid van 25 m/s en een maximale buislengte van 10 m werd een drukverlies van 225 Pa bekomen.

Tot slot is ook de dynamische druk in de ventilator van belang. Deze druk staat op elke ventilator karakteristiek gegeven. Afhankelijk van de ventilatorkeuze zal de drukopbouw dus nog licht wijzigen. Tabel 11 geeft een overzicht van de tot nu toe berekende drukvallen. Om zeker te zijn dat de ventilator genoeg drukopbouw kan leveren wordt er een veiligheidsfactor van anderhalf meegenomen.

Tabel 11: Drukopbouw statisch

	Druk [Pa]
Zuigmond	568,00
Buis	225,00
Cycloon	1240,92
Dynamisch	?
Som	2033,92
Veiligheidsfactor	1,50
TOTAAL [Pa]	3050,88

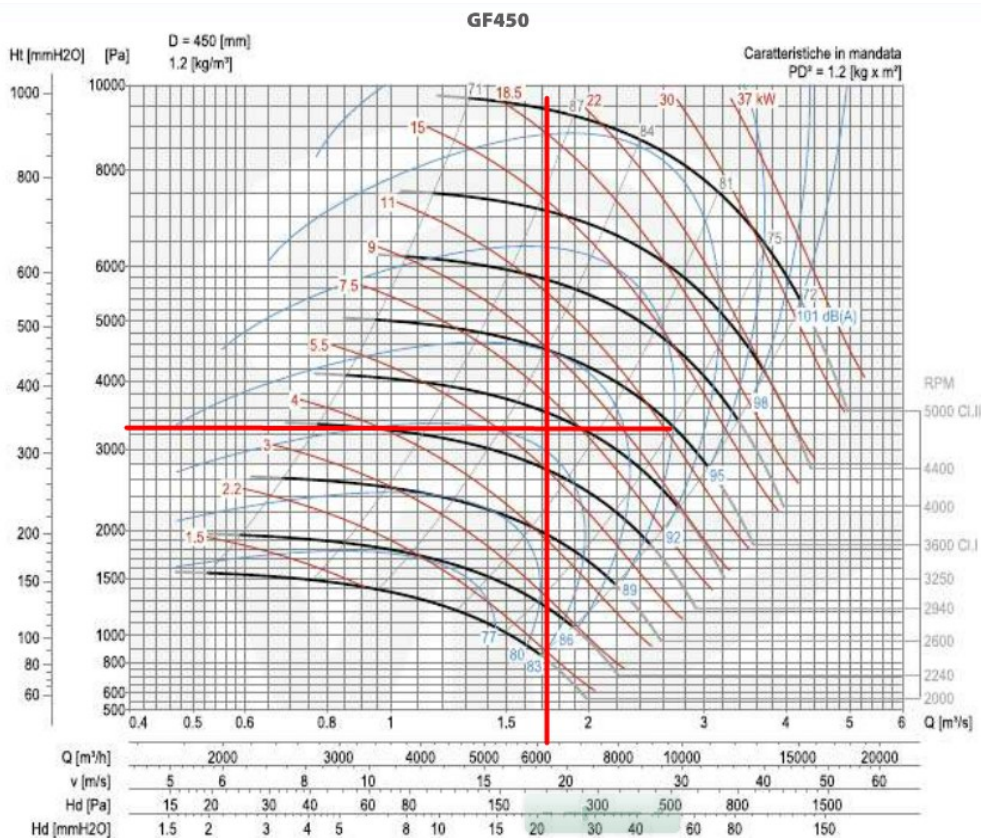
3.4.2 Ventilatorselectie

Nu de drukopbouw en het debiet gekend zijn kan de ventilator geselecteerd worden. Het is hierbij belangrijk dat de ventilator geëigend is voor vuile lucht. Niet zomaar elke waaivorm kan namelijk deeltjes in de luchtstroom verdragen. Om dit te verzekeren zijn de gebruiksrichtlijnen van de fabrikant strikt opgevolgd. Aangezien de benodigde drukopbouw (3050,88 Pa + dynamisch) groot is voor een axiale ventilator zoals gebruikt door de Ploeger machine, is de overstap gemaakt naar een radiale ventilator. De bekomen ventilator is de MZ Aspiratori GF-450 [15]. Figuur 14 Toont de ventilator karakteristiek van het toestel. Het snijpunt van de rode lijnen duidt bij benadering het werkingpunt aan. De onderste horizontale as geeft het dynamisch drukverlies weer, dit bedraagt 220 Pa. De totale drukopbouw van de ventilator komt zo met veiligheidsfactor aan 3381 Pa.

De rode krommen in de ventilator karakteristiek geven het benodigd aandrijfvermogen van de ventilator weer. Het werkingpunt bevindt zich tussen de 5,5 en 7,5 kW. Indien we uitgaan van een worstcasescenario waarin de ventilator 7,5 kW verbruikt, is het totale ventilatorvermogen voor een werkbreedte van achttien meter gelijk aan:

$$12 \cdot 7,5 = 90 \text{ kW}$$

$$90 \cdot 1,36 = 122,4 \text{ pk}$$



Figuur 14: Ventilator karakteristiek [15]

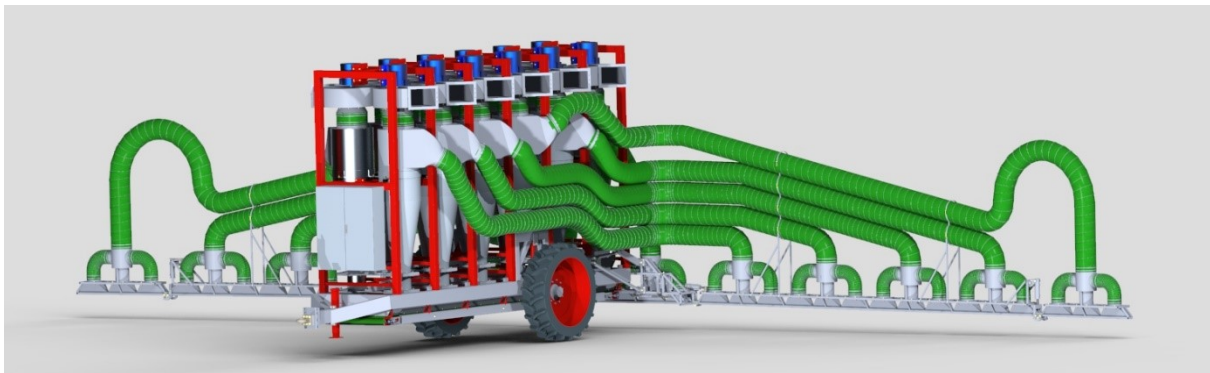
4 Machineontwerp

Deze sectie bespreekt het 3D CAD-ontwerp van een prototype machine met behulp van PTC Creo-Parametric. De eerste paragraaf licht de algemene eigenschappen van de machine toe. Vervolgens worden de deelassemblages in detail besproken. De laatste paragrafen informeren over de generatorkeuze en de machinesturing. Deze worden niet als een aparte deelassemblages beschouwd.

4.1 Insectenzuiger

Het CAD-ontwerp heeft geleid tot een getrokken insectenzuigmachine met een werkbreedte van 18 m zoals in Figuur 15 en Figuur 16. Door ontwerpkeuzes zoals een modulaire opbouw is een uitbreiding naar 21 meter werkbreedte mogelijk. De mogelijkheid tot uitbreiding heeft ook invloed op andere ontwerpkeuzes zoals vermeld in de volgende paragrafen. Verder is het belangrijk dat de machine over de weg getransporteerd mag worden. Daarom zijn een maximale transporthoogte en breedte van respectievelijk 4 m en 3 m in acht genomen. Hiernaast houdt het ontwerp ook rekening met de optionele mogelijkheid om de boom met de zuigmonden automatisch te sturen. De cilinders en de constructie zijn hierop voorzien.

De machine bestaat uit vier deelassemblages: het chassis, de cyclonenopbouw, de insectenbunker en de zuigboom. Deze worden in de volgende paragrafen toegelicht.



Figuur 15: Insectenzuiger open stand

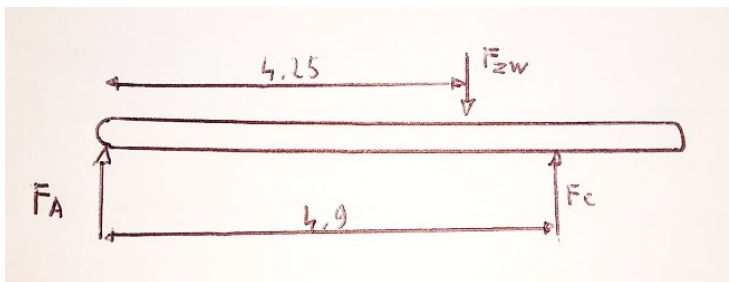


Figuur 16: Insectenzuiger transportstand

4.1.1 Gewichtsverdeling

Belangrijk voor de stabiliteit van de machine is de gewichtsverdeling. Het zwaartepunt moet tussen de trekhaak en de wielen liggen en mag zeker niet achter de wielen liggen. Dan zou de tractor namelijk omhoog gelift kunnen worden. De hoogte van het zwaartepunt ligt best ook zo laag mogelijk om omkantelen te voorkomen. De ligging van het zwaartepunt t.o.v. de trekhaak is met behulp van Creo-parametric bepaald en wordt weergegeven in Tabel 12.

Als eerste wordt gewichtsverdeling bestudeerd voor de transportstand van de machine zoals in Figuur 16. Het bekomen vrijlichaamsschema is te zien in Figuur 17. De lengte van de momentarmen volgen uit de ligging van het zwaartepunt. Het gewicht van de machine bedraagt 7300 kg, de afstand van de trekhaak tot de wielas is 4,9 meter.



Figuur 17: VLS zwaartepunt

De gewichtsverdeling tussen de trekhaak en de wielen wordt als volgt berekend:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_A - 7300 \cdot 9,81 + F_c = 0$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -7300 \cdot 9,81 \cdot 4,5 + F_c \cdot 4,9 = 0$$

$$\rightarrow F_A = 9500N \text{ en } F_B = 62113N$$

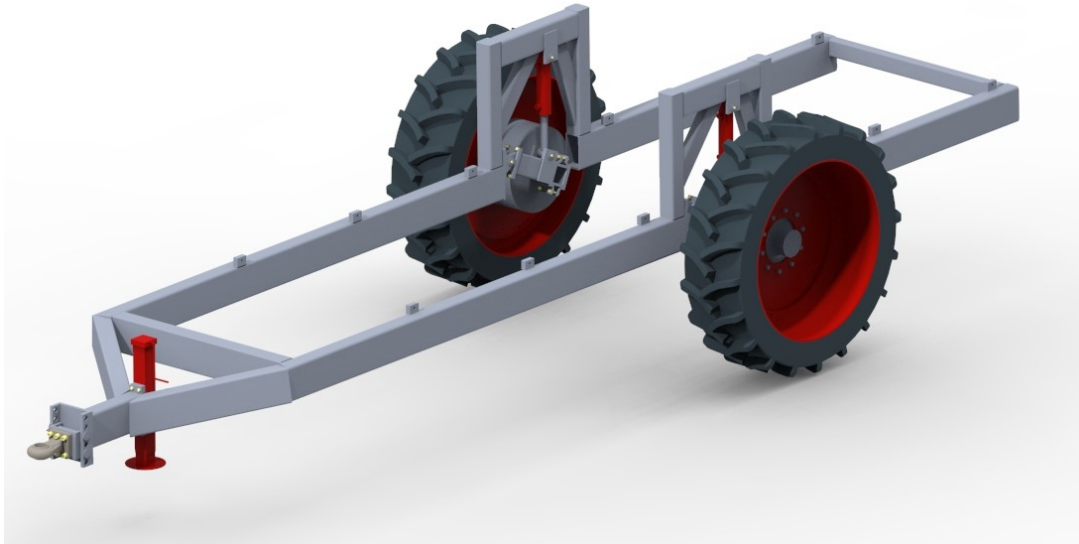
Deze analyse is ook uitgevoerd in de stand waarin de zuigboom opengeklapt en omhoog staat. Het zwaartepunt ligt dan namelijk verder naar achteren.

Tabel 12: Zwaartepunt en gewichtsverdeling

Transportstand	
Hoogte t.o.v. grond [m]	1,85
Lengte vanaf trekhaak [m]	4,25
Gewicht op de trekhaak [kg]	968
Gewicht op de wielen [kg]	6332
Opengeklapt	
Hoogte t.o.v. grond [m]	1,85
Lengte vanaf trekhaak [m]	4,5
Gewicht op de trekhaak [kg]	596
Gewicht op de wielen [kg]	6704

4.2 Chassis

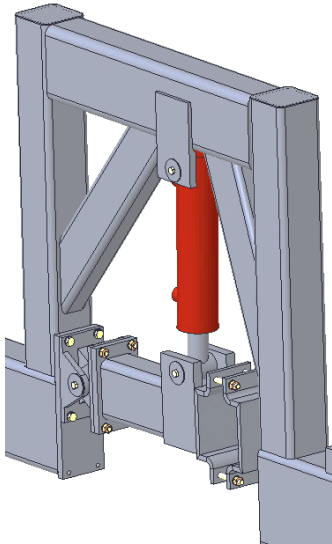
Een eerste deelassemblage van de getrokken machine is het chassis. Zoals besproken in hoofdstuk drie zal de machine gebruik maken van twaalf cyclonen. Dit heeft als gevolg dat de afmetingen te groot zijn om de machine in de heflift van de tractor te bevestigen. Er is dus gekozen om de insectenzuiger als getrokken landbouwmachine te maken. Om de deelassemblages aan elkaar en aan de tractor te koppelen wordt gebruikt gemaakt van een wielchassis zoals in Figuur 18.



Figuur 18: Chassis

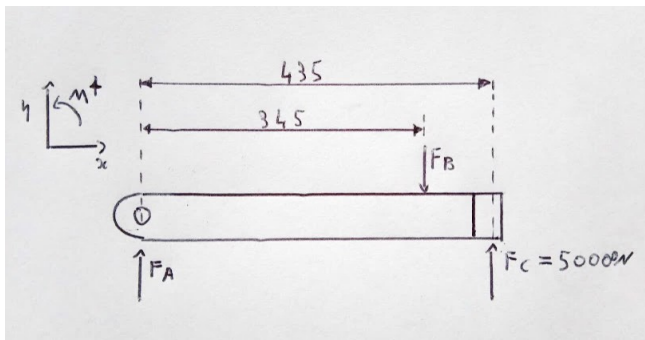
4.2.1 Wielophanging

De machine heeft een hoogte van 3,7 m. Dit heeft als gevolg dat er 30 cm bodemvrijheid is bij een maximale transporthoogte van 4 m. Om in het veld de bodemvrijheid te vergroten zijn de wielen in hoogte regelbaar. Het apart regelen van de wielen heeft als voordeel dat de machine vlak gesteld kan worden op schuine ondergronden. Om dit te realiseren is het chassis uitgerust met twee scharnierende armen die elk aangestuurd worden door een dubbelwerkende hydraulische cilinder. Er wordt dus gebruik gemaakt van twee aparte aseindes i.p.v. één doorlopende as onder de machine. Figuur 19 toont de wielophanging. Het scharnierpunt is uitgevoerd als twee gaffels die t.o.v. elkaar kunnen scharnieren over een as. De scharnieras zal met bouten op de uiteindes vastgezet worden zodat de gaffels niet slijten. Over de scharnieras is een vervangbare bus geplaatst om slijtage aan het chassis te beperken.



Figuur 19: Wielophanging

Om de cilinder te dimensioneren wordt uitgegaan van een aslast van 50 000 N (dynamisch) zoals in het vrijlichaamsschema (VLS) uit Figuur 20. Door deze overdimensionering is het zeker dat de cilinder sterk genoeg is voor een eventuele uitbreiding van de machine naar een werkbreedte van 21 m. In de berekening wordt de cilinderkracht als verticaal beschouwd. Afhankelijk van de hoekstand van de scharnierende arm zal de cilinderkracht licht afwijken van zijn verticale stand. Dit wordt buiten beschouwing gelaten omdat de afwijking steeds kleiner dan 5° is en het gewicht al overgedimensioneerd is.



Figuur 20: VLS wielarm

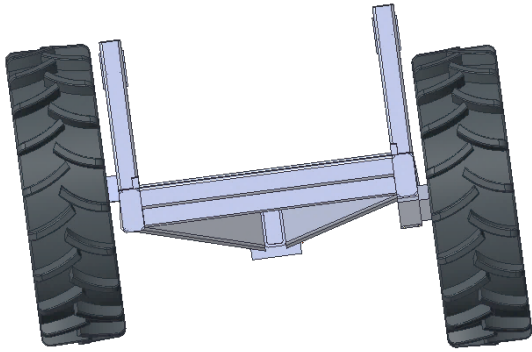
$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_A - F_B + 50000 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -F_B \cdot 0,345 + 50000 \cdot 0,435 = 0$$

$$\rightarrow F_A = 13044 \text{ N en } F_B = 63044 \text{ N}$$

Op basis van deze berekening wordt een cilinder [16] gekozen met een drukkracht van 69200 N op een werkdruk van 180 bar. De slag van de cilinder bedraagt 200 mm. Door de extra armlengte kan met deze cilinder een hoogteverschil van 265 mm gerealiseerd worden.

Met een hoogteverschil van 265 mm op een spoorbreedte van 1,9 m kunnen schuinstanden tot 14% uitgevlat worden zoals Figuur 21 toont. Het voordeel van de uitvlakking is dat de kans op omvallen sterk gereduceerd wordt. Het zwaartepunt van de machine ligt namelijk op 1,85 m hoogte. Door ervoor te zorgen dat de machine altijd vlak staat wordt de stabiliteit verbeterd en de verkleint de kans op omvallen.



Figuur 21: Dwarsnivellering

Uit bovenstaande berekening volgt een kracht in het scharnierpunt van 13044 N. Op basis hiervan kan de minimale diameter van de scharnieras bepaald worden. Er is uitgegaan van een stalen scharnierpin met een vloeigrens van 305 MPa [17] en een veiligheidsfactor van 3. De as wordt berekend op basis van afschuiving en stuik. De grootste minimale diameter is bepalend.

Afschuiving:

$$\bar{\sigma} = \sigma$$

$$\frac{305}{3} = \frac{13044}{\frac{\pi \cdot d_{\min}^2}{4}}$$

$$\rightarrow d_{\min} = 12,8 \text{ mm}$$

Stuik:

$$\bar{\sigma} = \sigma$$

$$\frac{305}{3} = \frac{13044}{B_{\text{gaffel}} \cdot d_{\min}} \text{ met } B_{\text{gaffel}} = 50 \text{ mm}$$

$$\rightarrow d_{\min} = 2,6 \text{ mm}$$

Er zal een asdiameter van 32 mm gekozen worden. Hierdoor kan de scharnieras hergebruikt worden om de cilinder te bevestigen en wordt het aantal verschillende onderdelen beperkt.

4.2.2 Banden en assen

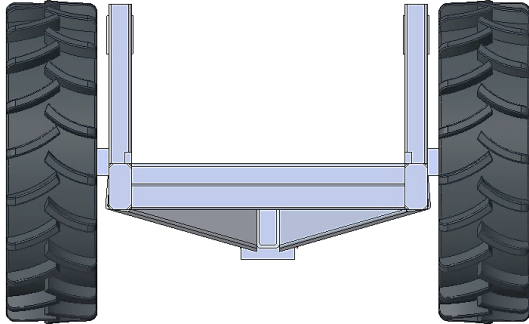
Om het wegtransport van de machine veilig uit te kunnen voeren is gebruik gemaakt van luchtgeremde asseindes. Deze kunnen besteld worden bij BPW [18]. De dynamische aslasten van de gekozen as zijn weergegeven in Tabel 13. Elk aseind kan de helft van deze last dragen.

Tabel 13: Dynamische aslasten

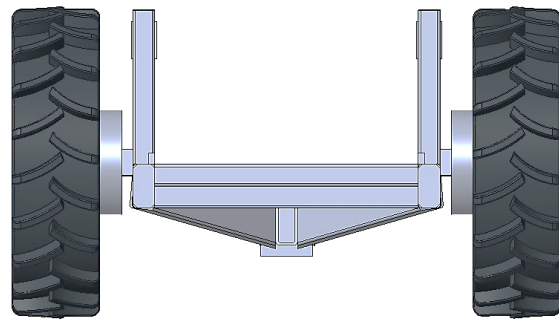
Snelheid [km/h]	Aslast [kg]
65 km/h	10000
40 km/h	10500
25 km/h	13000

De machine zal gedragen worden door banden met een diameter van 1,4 m en een breedte van 40 cm. De gewenste spoorbreedte van de machine is niet eenduidig vastgelegd. De schade die toegebracht wordt aan het gewas is minimaal wanneer de bestaande spuitgangen in het veld hergebruikt kunnen worden. De machine zal echter bij verschillende landbouwers gebruikt worden. Niet alle landbouwers hebben hun tractor en spuittoestel op dezelfde spoorbreedte staan. Hierdoor zijn de spuitgangen dus niet bij iedere landbouwer hetzelfde. Veel voorkomende spoorbreedtes in de landbouw zijn 1,8 m en 2,1 m. Om hieraan tegemoet te komen werden de velgen uit twee delen ontworpen. De offset van de velg in de band kan dan zo gemaakt worden dat de spoorbreedte verandert wanneer het rechtse wiel links geplaatst wordt, en het linkse wiel rechts. Een alternatief hiervoor is een telescopische as waarmee de spoorbreedte traploos gewijzigd kan worden. Voor dit alternatief is in deze machine geen

plaats doordat de insectenbunker zich tussen het chassis bevindt. Doordat de cilinder van de wielophanging dubbelwerkend is uitgevoerd kan een bandenwissel versneld worden uitgevoerd. Door het chassis te ondersteunen met assteunen en vervolgens de wielen met de cilinder omhoog te bewegen komen de wielen los van de grond zonder dat de machine opgekrikt moet worden. Door de velgen met offset uit te voeren krijgt de machine een spoorbreedte van 1,9 of 2,1 meter zoals respectievelijk in Figuur 22 en Figuur 23. De spoorbreedte van 1,8 m kan niet gehaald worden wegens plaatsgebrek. Het chassis kan namelijk niet versmald worden door de cyclonen en de bunker.



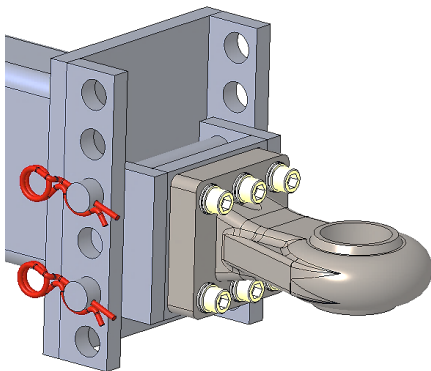
Figuur 22: Spoorbreedte 1,9 m



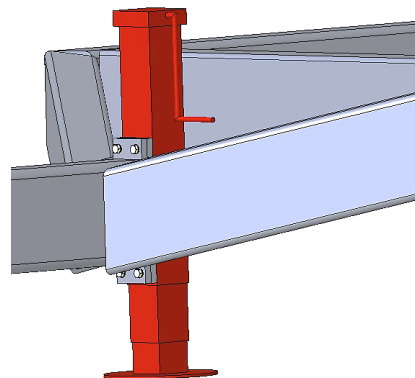
Figuur 23: Spoorbreedte 2,1 m

4.2.3 Trekhaak en steunpoot

De machine wordt aan de tractor gekoppeld via een vaste trekhaak. Hiervoor zijn echter verschillende alternatieven zoals een trekoog, maar ook een bolkoppeling. Belangrijk bij de keuze van de trekhaak is dat de machine afhankelijk van de hoogte waarop de wielen staan een andere hoek maakt met de tractor in de lengte richting. Wanneer de wielen op de laagste stand staan kan de machine bijvoorbeeld vlak staan, wanneer de wielen dan omhoog gestuurd worden zal de machine schuin naar achteren afhellen. De trekhaak moet dit hoekverschil dus kunnen opvangen. Daarom is gekozen voor een trekhaak met een inwendig kogelgewricht of rotule [19]. Deze kan schuinstanden tot 16,5 graden opvangen en heeft een draagvermogen van 3000 kg. Om de machine aan verschillende tractoren goed te laten passen is de trekhaak voorzien van een hoogteregeling zoals Figuur 24 illustreert. Om het afkoppelen van de machine van de tractor te vergemakkelijken is er ook een steunpoot [20] voorzien. De poot zoals in Figuur 25 heeft een slag van 30 cm en kan via een spindel in hoogte verdraaid worden.



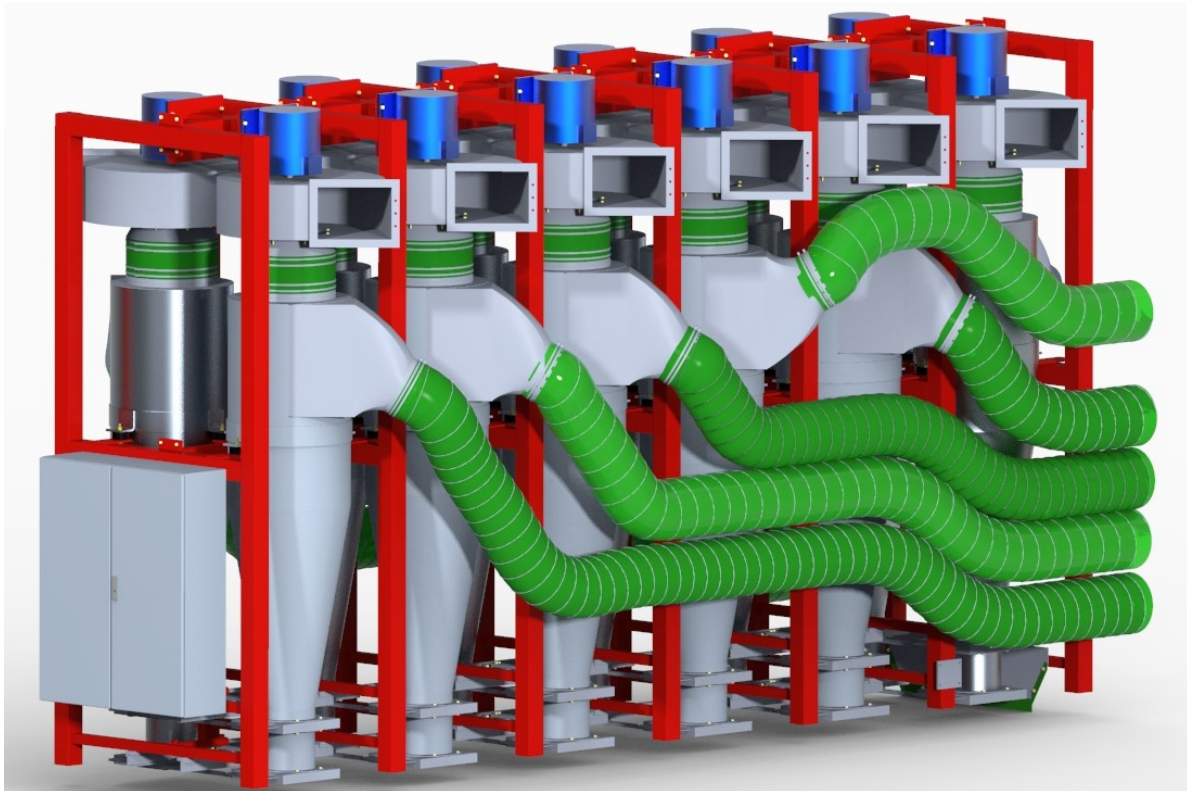
Figuur 24: Trekhaak



Figuur 25: Steunpoot

4.3 Cyclonenopbouw

Een volgende deelassembleage die op het chassis wordt bevestigd is de cyclonenopbouw. Deze bestaat uit de cyclonen en de ventilatoren. Verder zijn er geleidingen voorzien voor het openen en sluiten van de kleppen die later besproken worden. De volledige opbouw is modulair opgebouwd zodat een uitbreiding voor een grotere werkbreedte zonder problemen mogelijk is. Figuur 26 toont de cyclonenopbouw.



Figuur 26: Cyclonenopbouw

4.3.1 Cyclonen en kleppen

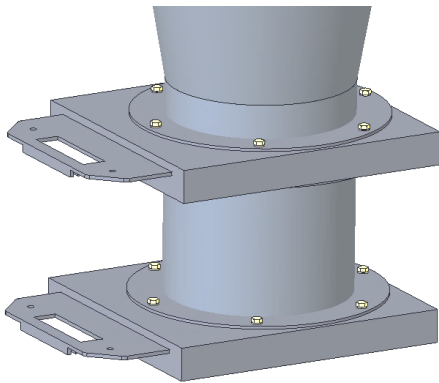
De cyclonen en schuifkleppen vormen het hart van de cyclonenopbouw. Het dimensioneren van de cyclonen is reeds besproken in hoofdstuk drie, de constructie wordt gerealiseerd met plaatwerk.

Om de insecten die de cycloon uit de luchtstroom scheidt op te vangen is elke cycloon voorzien van twee kleppen [21] zoals in Figuur 27. De cycloon aan de onderkant geopend laten zodat de kevers eruit vallen is geen optie omdat er dan lucht aangezogen kan worden via de onderkant. Door de schuifkleppen dubbel uit te voeren kan de cycloon geleeigd worden zonder een nieuwe luchttoevoer te creëren. In normale werking zal enkel de bovenste klep geopend zijn. De kevers stapelen zich op tussen beide kleppen. Daarna sluiten en openen respectievelijk de bovensten en de onderste klep. De insecten vallen uit de cycloon en de bovenste klep vrijwaart het gesloten luchtcircuit in de cycloon. Na een korte tijd zal de ruimte tussen de kleppen leeg zijn en sluit de onderste klep, de bovenste klep wordt dan weer geopend.

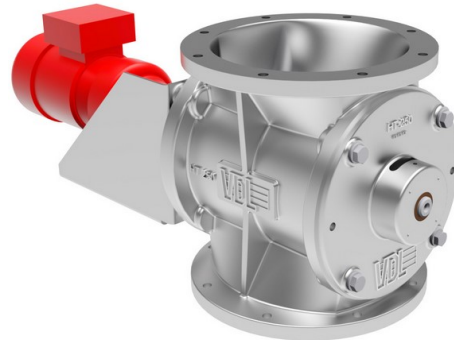
De kleppen worden met behulp van flenzen aan de cycloon bevestigd. Tussen de schuiven en de flenzen is een pakking voorzien om het geheel luchtdicht te houden.

Een alternatief voor de kleppen is het plaatsen van een roterende luchtsluis [22] onder elke cycloon. Dit toestel vraagt echter een grotere inbouw lengte waardoor de machinehoogte vergroot. Verder vraagt

elke sluis een aparte aandrijving. De kleppen kunnen per twaalf synchron geopend worden door één actuator. Om deze redenen is gekozen om de roterende sluis zoals in Figuur 28 niet te gebruiken.

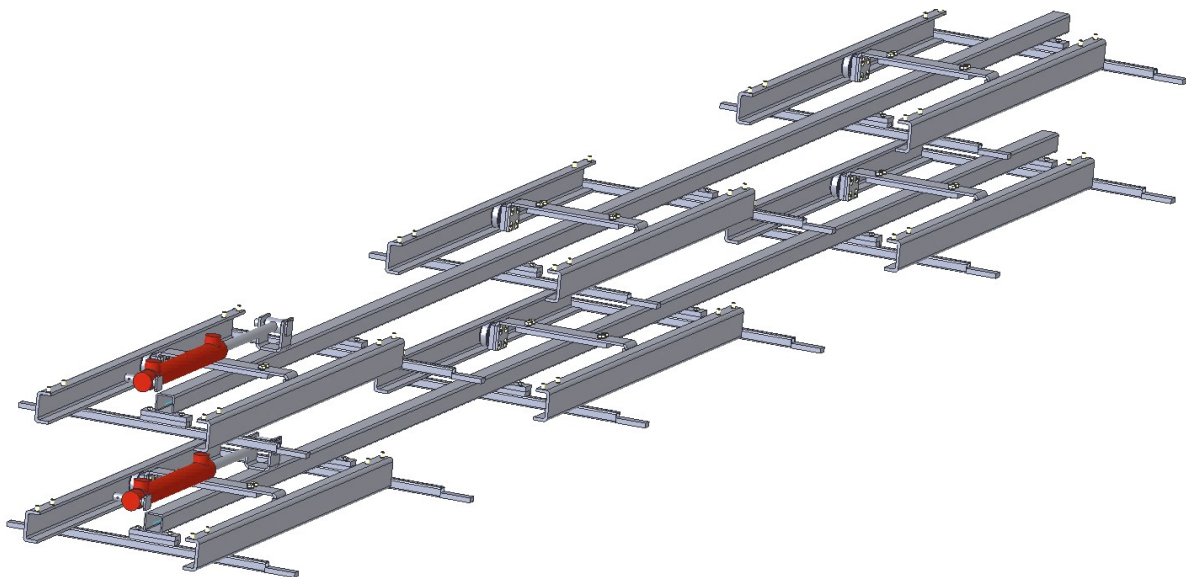


Figuur 27: Kleppen



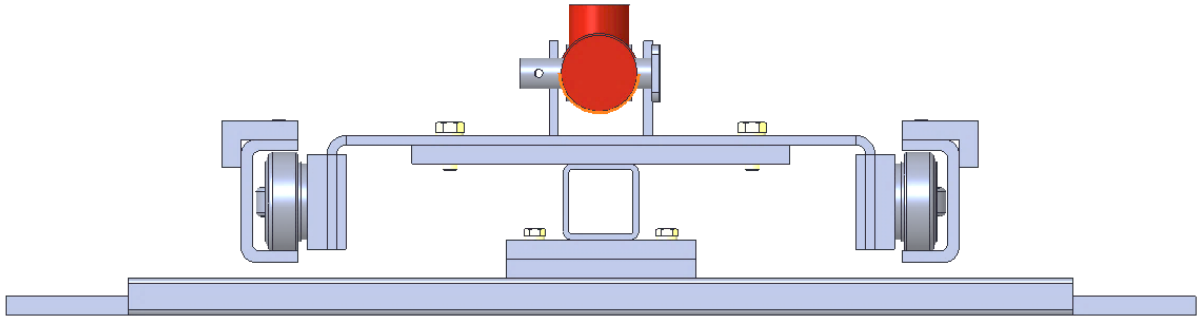
Figuur 28: Roterende luchtsluis [22]

Omdat de bovenste kleppen van alle cyclonen synchron mogen bewegen, net zoals de onderste kleppen van alle cyclonen worden deze gekoppeld. In de machine worden geleidingen voorzien om de kleppen te openen zoals in Figuur 29. Er worden twee actuatoren gebruikt: één cilinder [23] voor het bewegen van de bovenste kleppen, en één cilinder voor het bewegen van de onderste kleppen.



Figuur 29: Geleidingen

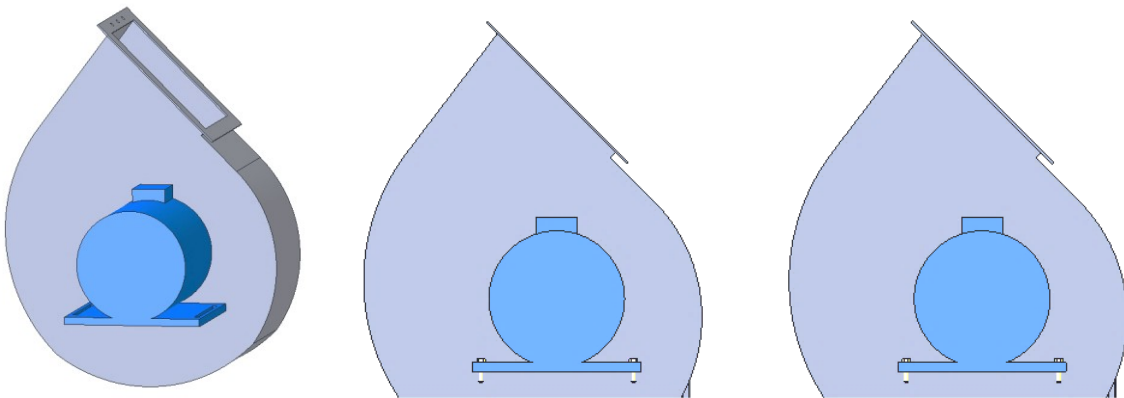
Elke geleiding bestaat uit twee geleidingsprofielen waarin karretjes met combirollen bewegen. De combirollen kunnen zowel in de axiale als in de radiale richting krachten opvangen. Dit voorkomt dat de geleiding vastloopt. De geleidingsprofielen (U-vorm) zullen later via lasplaatjes met een aanslag aan een frame worden bevestigd. Door de aanslagen is een goede uitlijning van de geleidingsprofielen verzekerd. In Figuur 30 zijn de lasplaatjes ter bevestiging van de U-profielen en de combirollen zichtbaar. De onderste horizontale stang in Figuur 30 zal de verbinding vormen tussen de kleppen.



Figuur 30: Vooraanzicht geleiding

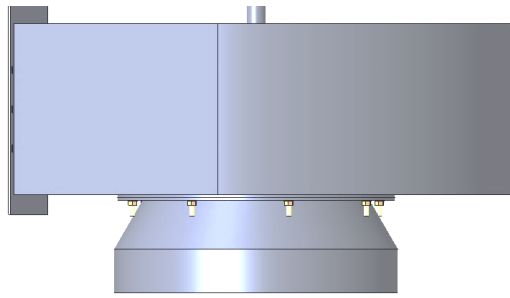
4.3.2 Ventilatoren

De ventilatordimensionering is besproken in hoofdstuk drie. De ventilatoren zullen aangekocht worden in een configuratie waarin de ventilator en de motorbevestiging een hoek van 45° vormen zoals in Figuur 31. Door deze configuraties achter elkaar te plaatsen wordt voorkomen dat de uitlaat van een ventilator wordt gehinderd door de ventilator ervoor zoals duidelijk wordt in Figuur 32.

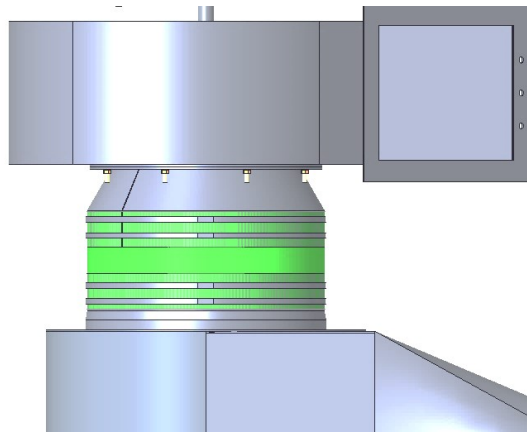


Figuur 31: Ventilatorconfiguratie Figuur 32: Uitlaten ventilator

De ingangsdiameter van de ventilator is 360 mm. De ingang van de cycloon heeft een diameter van 450 mm. Daarom wordt met behulp van een flens een 30° verloop op de ventilator bevestigd. Tussen de ventilator en de flens wordt een pakking voorzien. Zoals Figuur 33 illustreert bestaat het verloop over een schuin deel (30°) en een recht deel. Het rechte deel is gebruikt voor het koppelen van de ventilator op de cycloon. Deze koppeling zal gebeuren met een flexibele luchtslang met een diameter van 450 mm. De koppeling wordt weergegeven in figuur 23. De flexibele slang is in het groen weergegeven en wordt met slangklemmen op het vlakke deel van het verloop en op de cycloon vastgemaakt. Door de ventilator niet vast aan de cycloon te bevestigen wordt voorkomen dat trillingen van de ventilator en zijn elektromotor worden doorgegeven aan de cycloon.



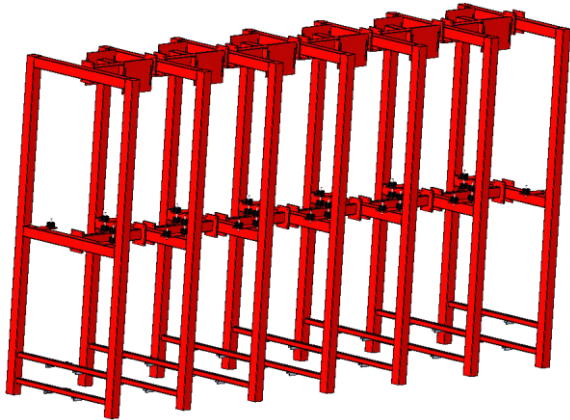
Figuur 33: Ventilator met verloop



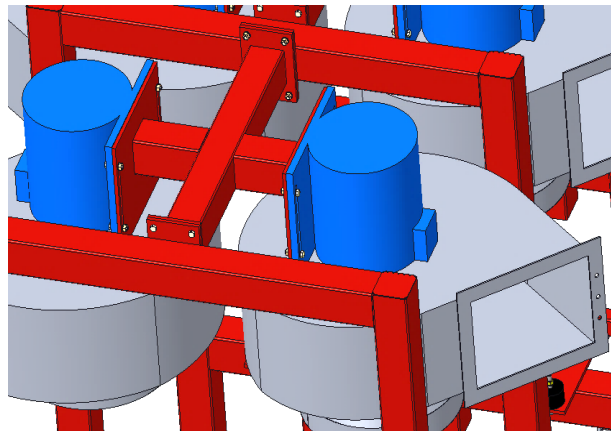
Figuur 34: Ventilatorkoppeling

4.3.3 Frame

Om de tot hertoe besproken onderdelen tot één geheel te maken is het frame uit Figuur 35 ontworpen. Het frame bestaat uit zeven gelaste portalen die met tussenverbindingen aan elkaar geschroefd worden. Elk portaal heeft een breedte van 1,4 m gemeten op de buitenkant van de profielen. De profielen hebben een afmeting van 100x100x3. De lengte van de zeven portalen bedraagt 5,74 m. Door de tussenverbindingen in het midden te plaatsen kunnen de cyclonen en de ventilatoren eenvoudig langs de zijkant in het frame geplaatst worden. De bovenste tussenverbindingen vormen ook de bevestiging voor de ventilatoren zoals in Figuur 36. Om de sterkte van de constructie te garanderen wordt ook op de helft van de hoogte van elk portaal een tussenverbinding tussen de portalen geschroefd.

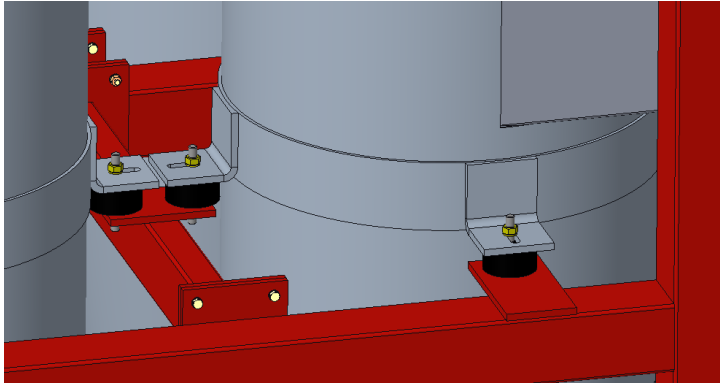


Figuur 35: Frame cyclonenopbouw



Figuur 36: Bovenste tussenverbinding

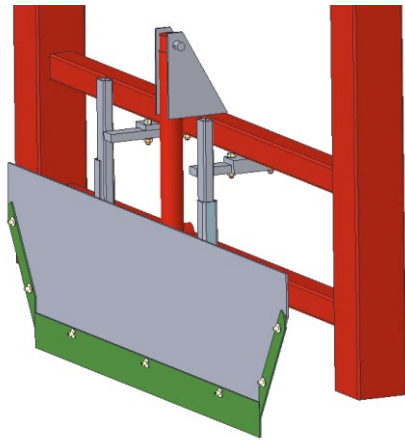
Elk portaal is voorzien van steunen waarop de cyclonen bevestigd zijn. Ook op de tussenverbinding in het midden zitten deze steunen. Elke cycloon wordt op drie plaatsen met het frame verbonden. Hiervoor zijn ook aan de cycloon drie steunvoeten gelast. Omdat het lassen van een dikkere steun op het plaatwerk van de cycloon niet eenvoudig is wordt de cycloon eerst verstevigd met een ring. Hierop zijn dan de steunvoeten gelast. In elk steunpunt steunt de cycloon op een silent block. Deze rubberen veerblokken dempen de doorgegeven trillingen van het frame naar de cycloon om het plaatwerk te sparen. Elke silent block heeft een stijfheid van 700 N/mm. Dit is stijf genoeg om het gewicht van een cycloon te dragen, en licht genoeg om trillingen te dempen. Figuur 37 toont de bevestiging van een cycloon, de silent blocks zijn in het zwart weergegeven.



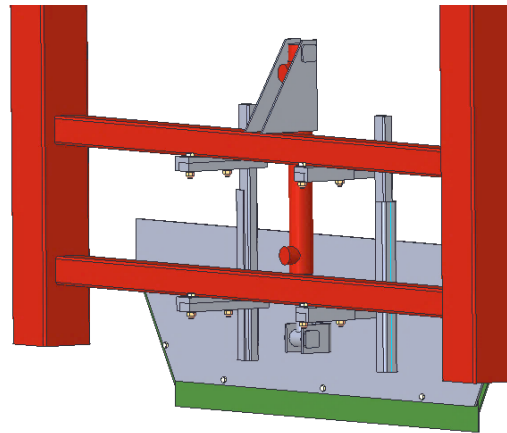
Figuur 37: Bevestiging cycloon

4.3.4 Bunkerschot

Tot slot maakt ook het bunkerschot deel uit van de cyclonenopbouw. Het bunkerschot dient om de insectenbunker uit het volgende hoofdstuk af te sluiten. Voor het leegmaken van de bunker wordt het schot verticaal geopend. Het schot is aan de cyclonenopbouw bevestigd omdat deze zich er perfect toe leent. Het plaatsen van extra balken en geleidingen aan de bunker is nu overbodig, het frame van de cyclonenopbouw kan perfect dienen als bevestiging voor het schot. Het schot is voorzien van rubberen lappen om een goede afsluiting van de bunker te garanderen. Deze lappen zijn in het groen weergegeven op onderstaande figuren. Verder wordt het schot geopend met een hydraulische cilinder [23]. De geleidingen bestaan uit profielen die in elkaar schuiven met kleine speling.



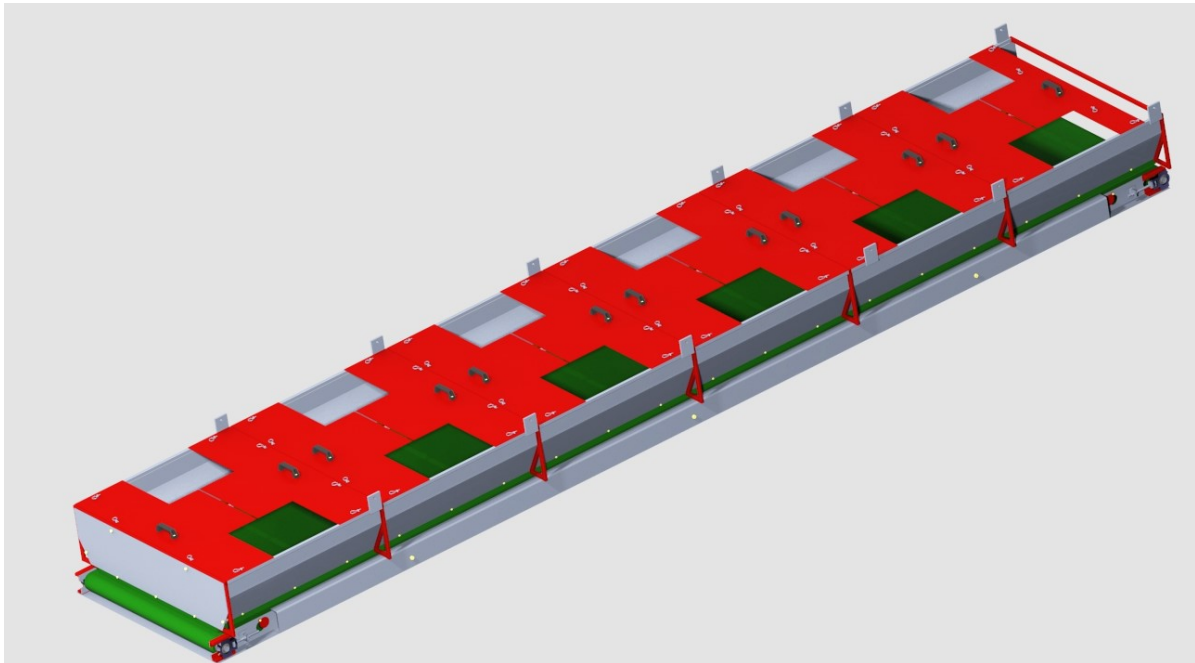
Figuur 38: Bunkerschot voorkant



Figuur 39: Bunkerschot achterkant

4.4 Insectenbunker

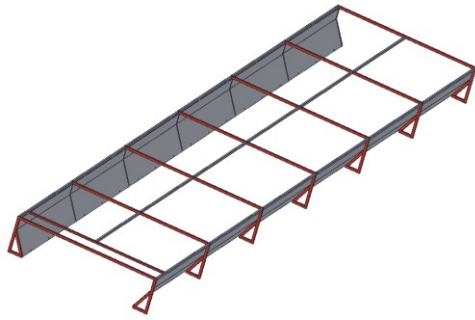
De insectenbunker uit Figuur 40 is een volgende deelassemblage van de machine. Wanneer de onderste schuifklep van de cycloon opent vallen de insecten uit de cycloon in de bunker die zich onder de cyclonenopbouw bevindt. Door de bodem van de bunker uit te rusten als transportband kan de bunker gemakkelijk geleegd worden. De bunker heeft een inhoud van 1,9 m³. Het vergroten van de bunker is mogelijk door de hoogte te vergrootten. Dit komt echter ten nadele van de bodemvrijheid tijdens het wegtransport van de machine. Verder kan in de bunker een camera voorzien worden om te monitoren hoe vol de bunker is.



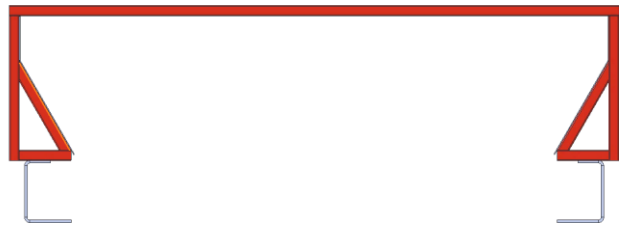
Figuur 40: Insectenbunker

4.4.1 Bunkeropbouw

De bunker is opgebouwd uit 7 frames die met elkaar verbonden zijn door profielen in de lengterichting en de opstaande bunkerwand. Figuur 41 toont de opbouw, de bunkerwand plooit aan de onderzijde naar binnen om meer ruimte te creëren voor de transportband. Aan de onderzijde van de frames worden twee U-profielen geplaatst. Deze U-profielen zullen dienen als lade om de transportband in te schuiven. Hierdoor kan de transportband gemakkelijk in- en uitgebouwd worden aan de onderkant van de machine. In de opstaande flank van elk U-profiel zijn drie boutgaten voorzien om de transportband te bevestigen na het inschuiven.

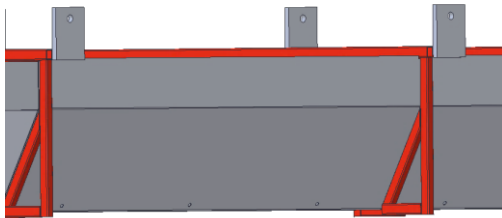


Figuur 41: Bunkerframes

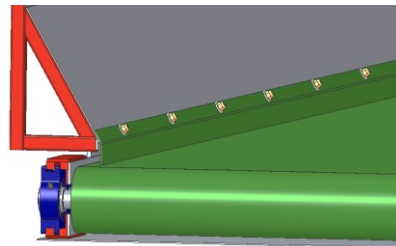


Figuur 42: Bunkerlade

De insectenbunker zal later aan het chassis bevestigd worden. Hiervoor is de bunker voorzien van twaalf lasplaatjes met boutgaten zoals Figuur 43 illustreert. De bunker kan dan met boutmoerverbindingen eenvoudig aan het chassis verankerd worden. Verder zijn alle wanden van de bunker voorzien van een bandafdichting om een goede afdichting met de transportband te verzekeren. Figuur 44 toont de bunkerafdichting.



Figuur 43: Bunkerbevestiging

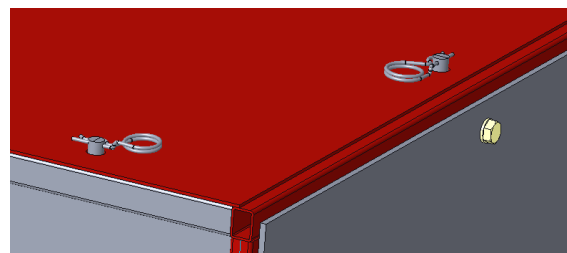


Figuur 44: Bunkerafdichting

Aan de bovenzijde van de bunker zijn deksels voorzien. Deze zorgen ervoor dat de bunker volledig dicht is. De keuze voor deksels volgt uit het feit dat de bunker geopend moet kunnen worden voor onderhoud of om te poetsen. De deksels zijn bevestigd door penverbindingen en geborgd door een R-clips (DIN11024). Hierdoor kunnen de deksels gemakkelijk geopend worden. De deksels en hun bevestiging zijn afgebeeld in Figuur 45 en Figuur 46.



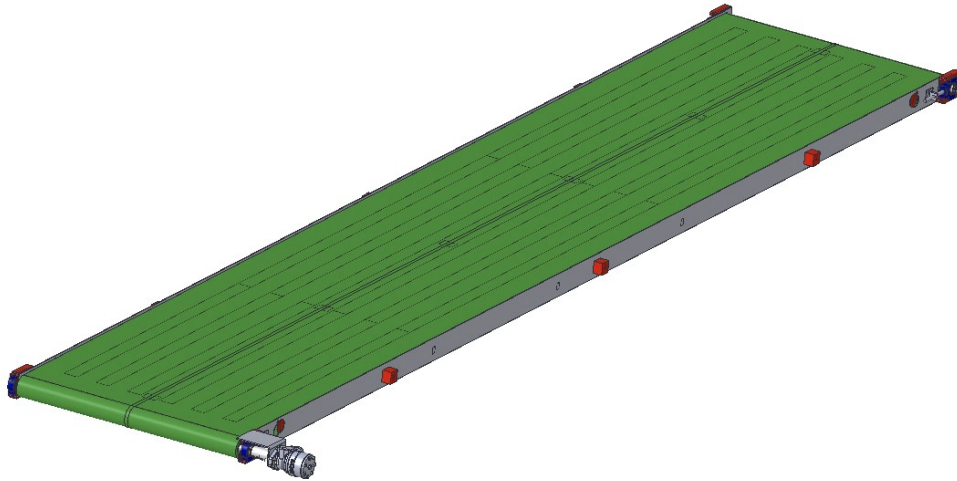
Figuur 45: Bunkerdeksel



Figuur 46: Dekselbevestiging

4.4.2 Transportband

Als bunkerbodembodem wordt een transportband voorzien. De transportband heeft een breedte van één meter en een lengte gelijk aan de bunkerlengte. Door deze band als lade in de bunker te schuiven wordt de montage vergemakkelijkt.

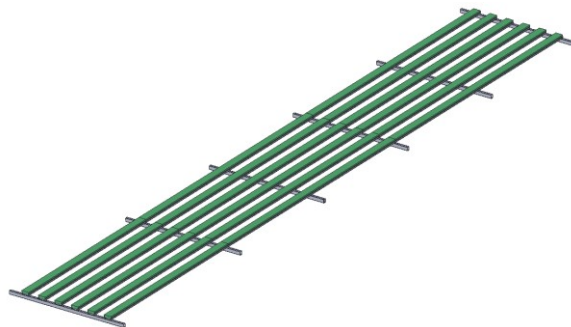


Figuur 47: Transportband

De basis voor de transportband wordt gevormd door geleidingsprofielen van Mata [24]. Deze geleidingen bestaan uit een stalen C-profiel waarin kunststofgeleidingen geschoven zijn zoals in Figuur 48. Hierdoor kan de transportband ondersteund worden zonder grote wrijving. Een alternatief voor deze profielen is om de transportband te ondersteunen met rollen. Omdat de transportband enkel draait op het moment dat de bunker gelegeerd wordt zal de slijtage beperkt blijven en is er gekozen voor de profielen i.p.v. rollen. Door zes van deze geleidingsprofielen naast elkaar te verdelen wordt de transportbandbasis uit Figuur 49 bekomen.



Figuur 48: Geleidingsprofielen transportband



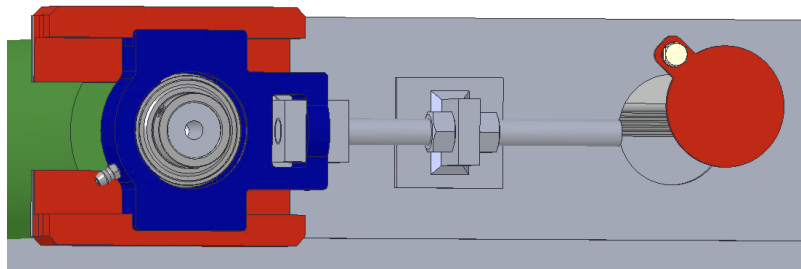
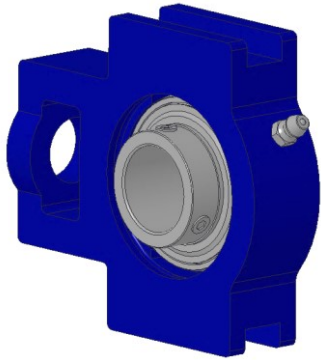
Figuur 49: Transportbandbasis

De zijkant van de transportband is als plaatwerk voorzien. Aan het uiteinde van deze plaat worden de lagerbevestigingen en spaninrichtingen voorzien. Verder is in elke hoek van de transportband een rond kijkgat voorzien. Dit kan dienen om de rol en de binnenkant van de transportband te reinigen met water. Tot slot zijn op elke zijkant drie blokjes met een M12 draadgat bevestigd. Deze dienen om de transportband vast te zetten in de lade. Figuur 50 geeft een overzicht van de zijkant.



Figuur 50: Zijkant transportband

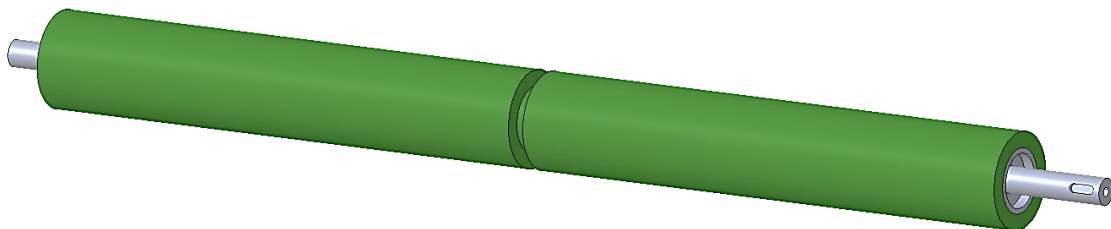
Voor de lagering van de transportbandrollen wordt gebruik gemaakt van spanlagers van het type SKF TU25TF [25] zoals afgebeeld in Figuur 51. Deze lagerhuizen zijn voorzien van geleidingen om de transportband gemakkelijk te kunnen spannen. Dit is noodzakelijk om de wrijving tussen de rol en het tapijt te verhogen. Verder wordt de spaninrichting gebruikt om ervoor te zorgen dat het tapijt in het midden van de transportband blijft draaien. Het kogellager in het lagerhuis heeft een asdiameter van 25 mm en heeft op de binnenring twee schroeven om de as te borgen tegen axiale verplaatsingen. Door dit spanlager te gebruiken kan de spaninrichting eenvoudig worden voorzien worden met behulp van moeren en een draadstang zoals in Figuur 52.



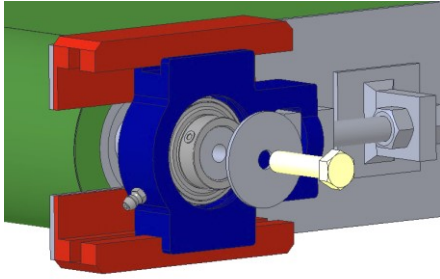
Figuur 52: Spaninrichting

Figuur 51: Spanlager SKF TU25TF

Het tapijt van de transportband bestaat uit kunststof (PU), heeft een dikte van twee millimeter en een breedte van één meter. In het tapijt kunnen indien nodig drie koordlagen ingebracht worden [26]. Verder voorzien we in het midden van het tapijt een stuursnaar. Deze helpt het tapijt om in het midden van de transportband te blijven lopen. De rollen hebben een buitendiameter van 90 mm. Ze zijn opgebouwd uit een as van 25 mm dikte waarover een dikwandige buis met buitendiameter 60 mm gelast is. Over deze buis wordt dan nog een kunststof laag voorzien waarin de uitsparing voor de stuursnaar gemaakt is. De aangedreven rol heeft een spiegleuf opdat de motor zijn koppel kan overdragen. Figuur 53 toont de aangedreven rol. Verder heeft elke rol op zijn uiteindes een M10 draadgat. Dit gat is voorzien om, ondanks de borgschroefjes van het lager, de as voldoende axiaal te borgen. Er kan dan een bout met een grote sluitring in het gat gedraaid worden die zich klemt op de binnenring van het lager waardoor de rol geen axiale beweging meer kan maken. Figuur 54 illustreert dit principe.



Figuur 53: Rol transportband



Figuur 54: Asborging transportband

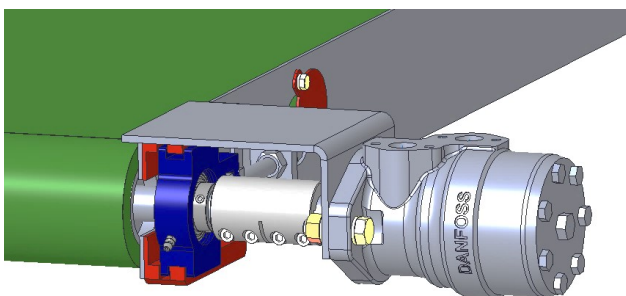
De aandrijving van de transportband gebeurt door een hydromotor. Deze motor is gemakkelijk te koppelen aan het hydraulische systeem van de tractor. Om het benodigde motorkoppel te berekenen wordt de inhoud van de bunker als 1500 kg begroot. Het gewicht is als voorzorg groot genomen omdat er in droge omstandigheden wel eens stof en fijn zand kan meegezogen worden. Verder heeft de wrijvingscoëfficiënt tussen de band en de geleidingsprofielen (kunststof – kunststof) een waarde van 0,4 [27].

Het koppel is dan:

$$\begin{aligned} \text{Trekkraft: } F_t &= F_n \cdot \mu \\ &= 1900 \cdot 9,81 \cdot 0,4 \\ &= 5886 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{koppel: } T &= F_t \cdot \frac{d_{rol}}{2} \\ &= 5886 \cdot \frac{0,090}{2} \\ &= 265 Nm \end{aligned}$$

Op basis van bovenstaande berekening is de OMR 250 van Danfoss gekozen als hydromotor [28]. De hydromotor wordt met behulp van een starre askoppeling [29] op de rol bevestigd. De askoppeling heeft ook spiegleuven om het koppel over te brengen. Onderstaande figuur toont de bevestiging van de hydromotor.



Figuur 55: Bevestiging hydromotor

Tot slot kan op basis van de trekkraft in het tapijt de trekspanning in het tapijt brekend worden. Het tapijt bestaat uit PU (polyurethaan) en heeft een elasticiteitsgrens van 50 MPa volgens [30].

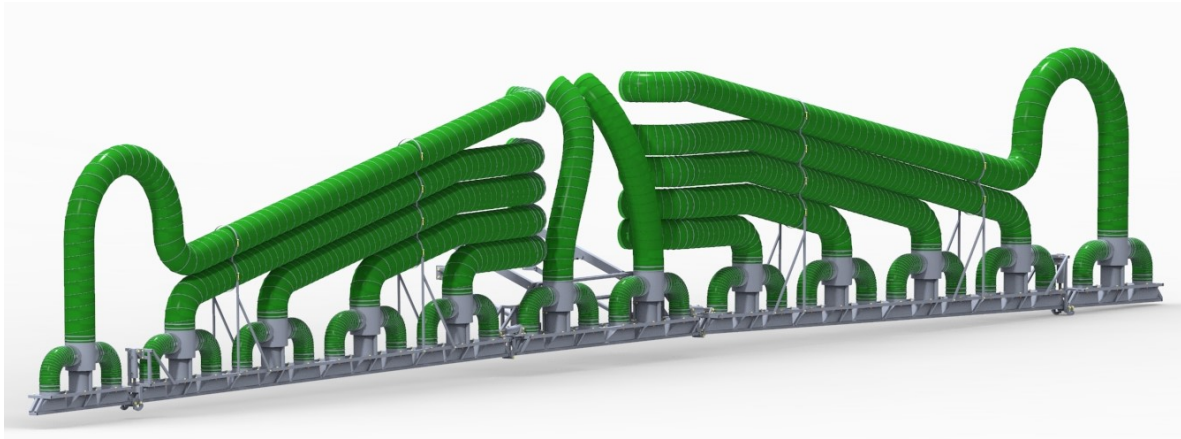
De trekspanning is dan:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{5886}{2 \cdot 1000} \\ &= 2,95 \text{ MPa}\end{aligned}$$

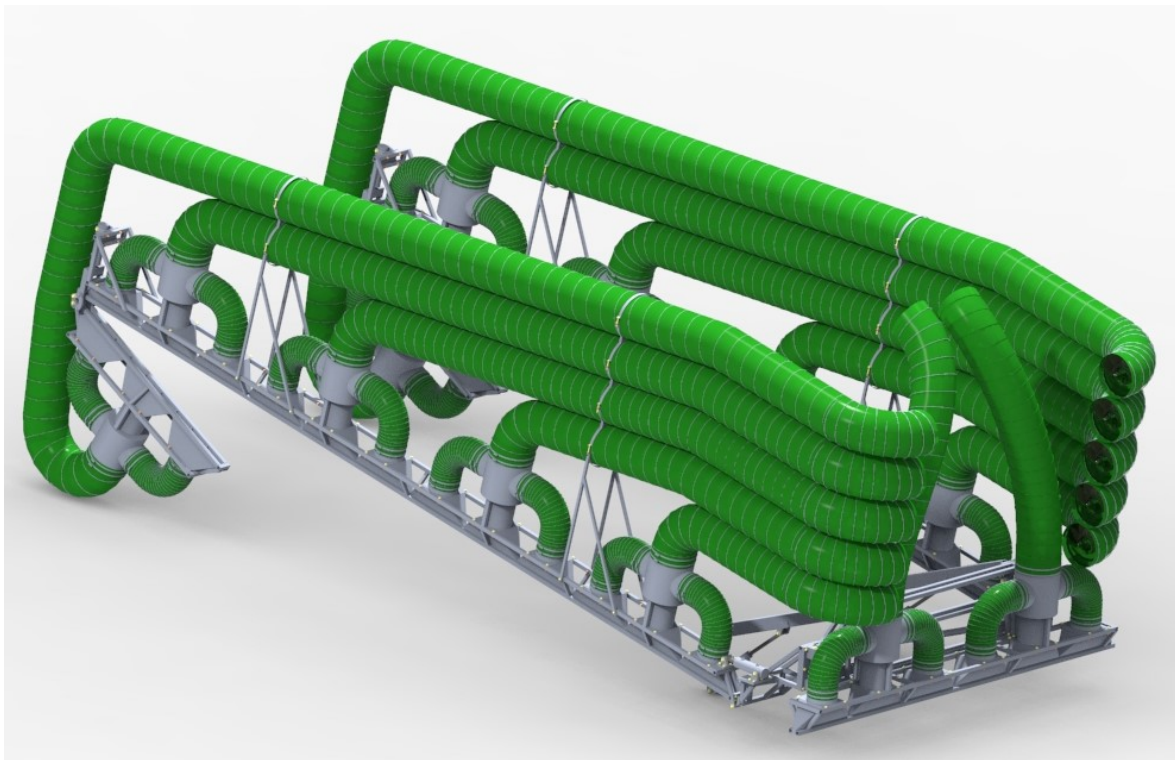
Deze berekening laat de buigspanning ter hoogte van de rol buiten beschouwing. De trekspanning is zeer ver verwijderd van de toelaatbare spanning. Er is dus ruimte voor buigspanningen en koordlagen in het tapijt zijn niet nodig.

4.5 Zuigboom

De zuigboom bestaat uit telkens twee delen van 6 m inklapbaar naast de machine, twee delen van 1,5 m die inklapbaar zijn onder de delen van 6 m en een deel van 3 m recht achter de machine. Deze secties zitten aan elkaar bevestigd met een aantal scharnieren. De gehele zuigboom kan omhoog en omlaag bewegen doormiddel van een hefsysteem.



Figuur 56: Zuigboom open

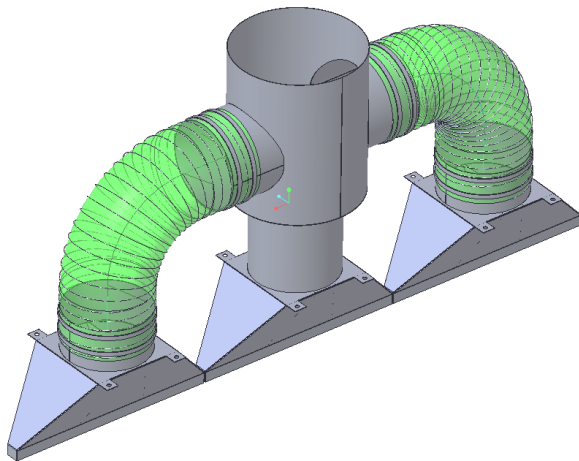


Figuur 57: Zuigboom dicht

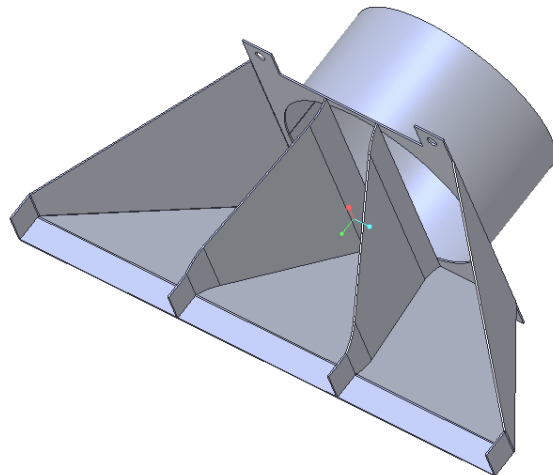
4.5.1 De zuigmonden

Een sectie van 1,5 m bestaat uit drie zuigmonden van elk 0,5 m. De lucht wordt verdeeld over de drie zuigmonden door een verdeler. Doordat de buitenste twee zuigmonden verbonden worden met een buis van diameter 200 mm zal er een extra weerstand zijn ten opzichte van de zuigmond in de midden. In de verdeelbuis is er daarom een diafragma voorzien zodat de middelste zuigmond een even grootte weerstand heeft als de twee buitenste zuigmonden. Hieronder volgt de berekening hiervan. De zuigmonden zijn gemaakt uit plaatstaal van 1,5 mm dik. De zuigmonden worden bovenaan vast gebout

op het frame van de zuigboom en onderaan zit het frame passend rond de zuigspleet. Op die manier zullen de zuigmonden nooit mechanisch belast worden. De vorm van de zuigmonden is zo gevormd dat ze het debiet van de ronde buis met diameter 200 mm evenredig gaan verdelen over de zuigspleet van 3 cm breed en 0,5 m lang. Het verloop van 200 mm naar 3 cm gebeurt door een wand onder een hoek van 60°. Deze hoek werd ons aangeraden door Limoco [13], omdat de lucht zich vanzelf goed verdeelt bij een hoek groter als 60°. Het verloop van 200 mm naar 0,5 m gebeurt onder een hoek van 42°. Deze hoek is kleiner dan 60°, de lucht gaat zich dus niet vanzelf goed verdelen. Om dit op te lossen zijn er vinnen geplaatst die de ronde sectie in 3 gelijke delen verdeelt en de lengte van 0,5 m in 3 gelijke delen verdeelt. De positie van de vinnen is in onderstaande paragraaf uitgerekend. Figuur 58 geeft een zuigmond sectie van 1,5m weer en in Figuur 59 zijn de verdeelvinnen te zien.



Figuur 58: Zuigmond 1,5 m



Figuur 59: Verdeelvinnen

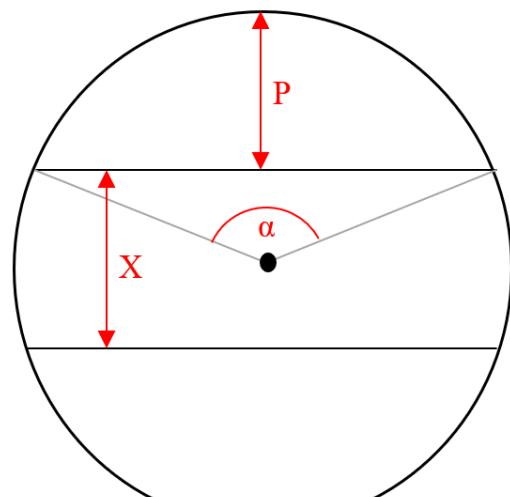
4.5.1.1 Berekening van de positie van de vinnen

De oppervlakte van de cirkel wordt eerst door drie gedeeld. Daarna wordt er een koorde getekend. De oppervlakte tussen de koorde en de cirkelboog moet dan gelijk zijn aan één derde van de cirkel oppervlakte. Vervolgens is de hoek bepaald die de uiteinden van de koorde maken met het middelpunt van de cirkel (hoek alfa). Daarna kan de afstand van de koorde tot de cirkelboog bepaald worden met behulp van de hoek. Tot slot kan de onderlinge afstand tussen de koorde eenvoudig berekend worden door die afstand twee keer van de diameter van de cirkel af te tellen. De diameter van de cirkel is 197 mm.

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = \frac{197^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 30480,5 \text{ mm}^2$$



Figuur 60: Cirkelverdeling

$$\frac{A}{3} = \frac{D^2}{8} \cdot (\alpha - \sin(\alpha)) \frac{30480,5}{3} = \frac{197^2}{8} \cdot (\alpha - \sin(\alpha))$$

→ Uitwerken naar α geeft:

$$\alpha = 2,605 \text{ rad}$$

$$P = (\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1) \cdot \frac{D}{2}$$

$$P = (\cos\left(\frac{2,605}{2}\right) - 1) \cdot \frac{197}{2}$$

$$P = 72,4$$

$$X = D - 2 \cdot P$$

$$X = 197 - 2 \cdot 72,4$$

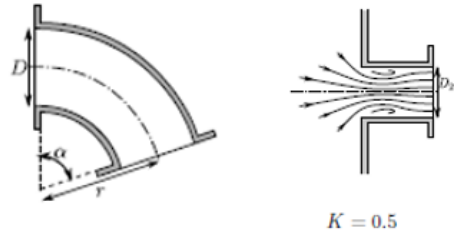
$$X = 52$$

4.5.1.2 Berekening van het diafragma

Om een even grootte weerstand te krijgen over het diafragma en de buis wordt er gekeken naar de weerstandscoefficiënt van de buis en het diafragma. Als deze gelijk zijn zal ook de luchtweerstand van de twee gelijk zijn. Om de weerstand van de buis te berekenen is de diameterverhouding en de buigradius van de buis belangrijk. De diameter van de buis is 200 mm en de radius van de bocht is ook 200 mm de verhouding is dus 1. De gekozen buis is aan de binnen kant glad, a.d.h.v. de eerste tabel van Figuur 61 [31] is de weerstandscoefficiënt van de bocht als 0,21 bepaald. Verder wordt er nog een extra weerstandscoefficiënt van 0,5 in rekening gebracht voor de koppeling van de buis aan de verdeelblok. De weerstandscoefficiënt van het diafragma is een samenstelling van situatie 2 en 3 uit Figuur 61 [31]. Hierbij is de ingangsdiameter 200 mm en de uitgang 300 mm hiertussen zit het diafragma. De combinatie van de twee moet dus een weerstandscoefficiënt van ongeveer 0,71 hebben, de som van 0,21 en 0,5. Er is gekozen voor een diafragma met een diameter van 160 mm dan zal de weerstandscoefficiënt uit tabel 3 0,17 zijn en de weerstandscoefficiënt uit tabel 2 0,51 dit komt neer op 0,68 wat goed de 0,71 benaderd.

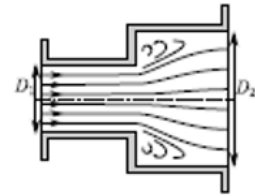
$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

r/D	1	2	4	6	10
K glad	0.21	0.14	0.11	0.09	0.11
K ruw	0.51	0.30	0.23	0.18	0.20



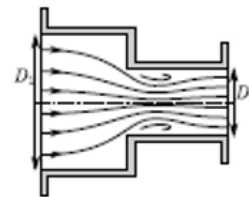
$$h_L = K \frac{v_1^2}{2g}$$

D_2/D_1	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	5.0	∞
K	0.00	0.09	0.24	0.37	0.48	0.56	0.79	0.92	1.00



$$h_L = K \frac{v_2^2}{2g}$$

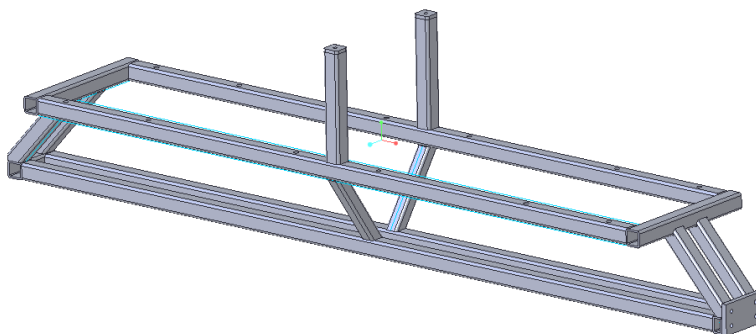
D_1/D_2	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	5.0
K	0.00	0.15	0.24	0.30	0.35	0.38	0.44	0.48



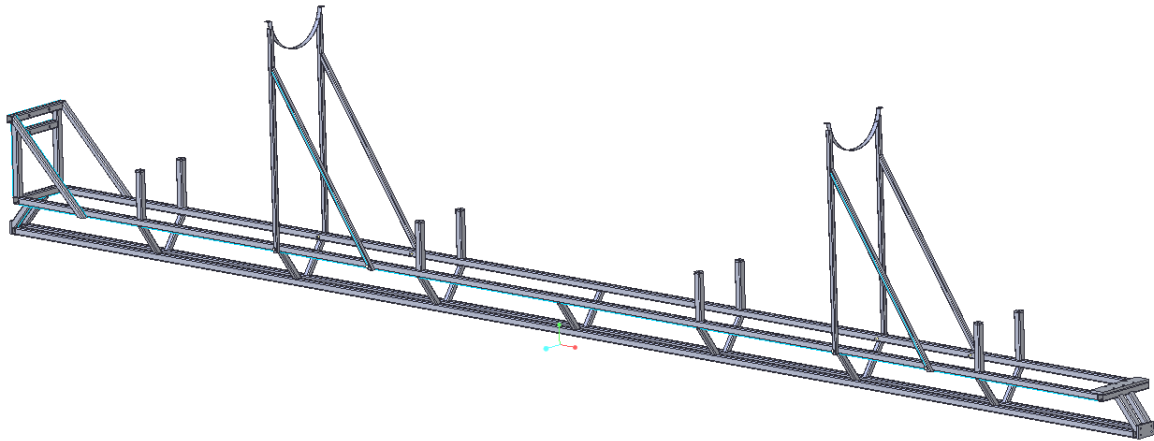
Figuur 61: Weerstandscoefficienten [31]

4.5.2 Het frame van de zuigboom

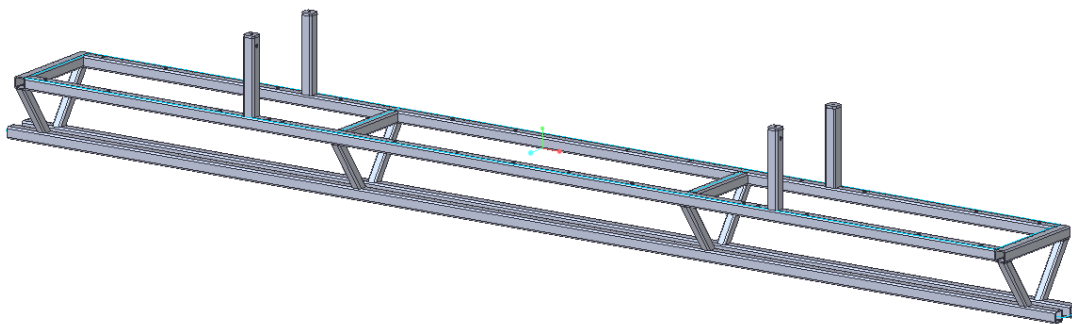
Het frame van de zuigboom is samengesteld uit kokers van 30 x 30 x 3 en is te zien in Figuur 62. De frames voor de sectie van 6 m en 1,5 m zijn constructie-gewijs hetzelfde. Het frame van 6 meter heeft wel een extra opbouw voor het bevestigen van de cilinder voor het naar beneden klappen van de sectie van 1,5 m. Op het frame van 6 m zijn ook nog supports gebouwd waarin de afzuigbuizen vastgezet worden. Dit alles is te zien in Figuur 63. Bij het frame van 3 m zijn de kokers aan de zijkant weggelaten om binnen de 3 m transportbreedte te blijven. Ter vervanging hiervan zijn er wel extra dwarsbalken voorzien aan de bovenkant. Figuur 64 geeft de sectie van 3 m weer. Hieronder volgt nog een sterkteberekening op doorbuiging van de sectie van 6 m.



Figuur 62: Frame 1,5 m



Figuur 63: Frame 6 m



Figuur 64: Frame 3 m

4.5.2.1 Sterkteberekening sectie 6m

De berekening wordt vereenvoudigd in de zin dat het gewicht van de sectie van 6 m gezien wordt als een verdeelde belasting van 1650 N. De sectie van 1,5 m en zijn bevestiging wordt als een puntlast van 580 N voorgesteld op het einde van het frame. Als eerste moet het traagheidsmoment van het frame opgesteld worden. Dit gebeurt met de formule van Steiner. Steiner wordt toegepast voor één koker. Het bekomen traagheidsmoment kan dan maal 4 gedaan worden om het traagheidsmoment van het frame te bekomen. Vervolgens wordt het buigmoment berekend en de daarbij ontstane buigspanning. Door superpositie kunnen de momenten van de bovenstaande belastingsgevallen opgeteld worden. De maximum momenten van beide gevallen treden namelijk op dezelfde plaats op. Als laatste wordt gekeken hoeveel het einde van het frame doorbuigt. Dit kan ook gebeuren met het superpositieprincipe. In Figuur 65 zijn de afmetingen van het frame te zien die nodig zijn om Steiner toe te passen. Het weerstandsmoment kan vervolgens bepaald worden door het traagheidsmoment te delen door de afstand van het zwaartepunt tot de uiterste vezel van het frame. Verder is het traagheidsmoment van een koker van 30 x 30 x 3 volgens het MCB boek 35000 mm^4 [32] en de oppervlakte van de dwarsdoorsnede 301 mm^2 . De effectieve lengte van het frame is 6067mm.

$$I = I_z + d^2 \cdot A$$

$$I = 35000 + 78,5^2 \cdot 301$$

$$I = 189 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_{tot} = I \cdot 4$$

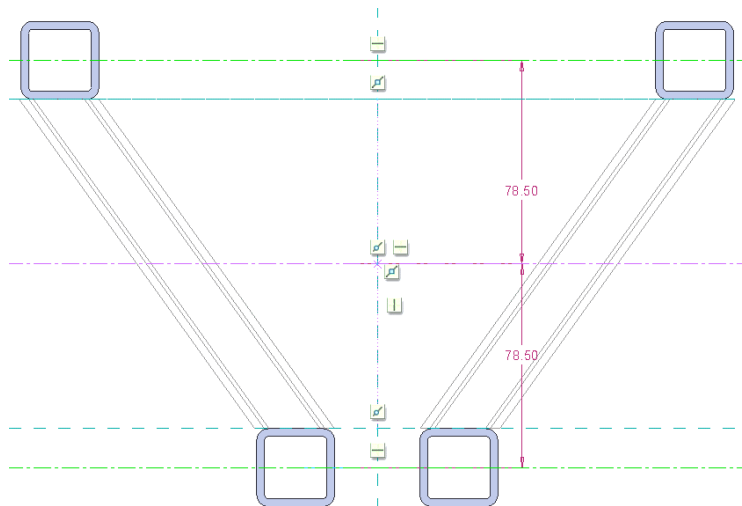
$$I_{tot} = 189 \cdot 10^4 \cdot 4$$

$$I_{tot} = 756 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W = \frac{I_{tot}}{e}$$

$$W = \frac{756 \cdot 10^4}{78,5 + 15}$$

$$W = 80849 \text{ mm}^3$$



Figuur 65: Dwarsdoorsnede frame

Moment van de verdeelde belasting:

$$M_{vb} = \frac{F \cdot l}{2}$$

$$M_{vb} = \frac{1650 \cdot 6067}{2}$$

$$M_{vb} = 5005275 \text{ Nmm}$$

Moment van de puntbelasting:

$$M_{pb} = F \cdot l$$

$$M_{pb} = 580 \cdot 6067$$

$$M_{pb} = 3518860 \text{ Nmm}$$

$$M_{max} = M_{vb} + M_{pb}$$

$$M_{max} = 5005275 + 3518860$$

$$M_{max} = 8524135 \text{ Nmm}$$

Maximale buigspanning

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$$

$$\sigma = \frac{8524135}{80849}$$

$$\sigma = 105,4 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Het materiaal van de kokers is S235JRH, dit heeft een vloeigrens van 235 N/mm². Als er een veiligheidsfactor van 2 in rekening wordt gebracht dan moet de spanning dus onder de 117,5 N/mm² blijven. De berekende spanning blijft hier onder, het frame is dus sterk genoeg. Voor de berekening van de doorbuiging is de elasticiteitsmodulus nodig, deze is 210000 N/mm².

Doorbuiging van de verdeelde belasting:

$$f_{vb} = \frac{F \cdot l^3}{8 \cdot E \cdot I}$$

$$f_{vb} = \frac{1650 \cdot 6067^3}{8 \cdot 21000 \cdot 756 \cdot 10^4}$$

$$f_{vb} = 29 \text{ mm}$$

Doorbuiging van de puntbelasting:

$$f_{pb} = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$f_{pb} = \frac{580 \cdot 6067^3}{3 \cdot 21000 \cdot 756 \cdot 10^4}$$

$$f_{pb} = 27 \text{ mm}$$

$$f_{tot} = f_{vb} + f_{pb}$$

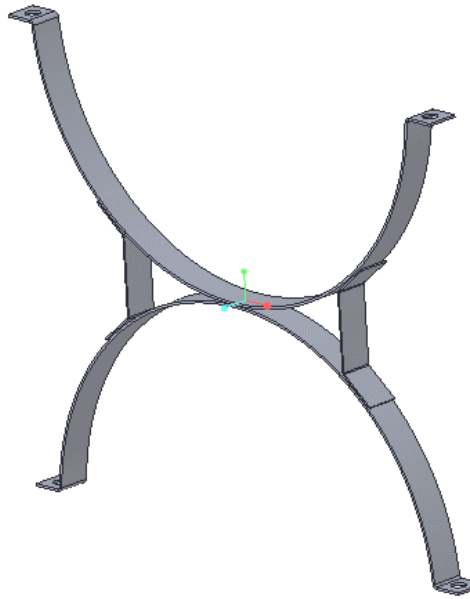
$$f_{tot} = 29 + 27$$

$$f_{tot} = 56 \text{ mm}$$

Een doorbuiging van 5,6 cm lijkt veel, maar op een afstand van 6m is dit aanvaardbaar. Doordat de boom kan scharnieren kan de boom in rusttoestand een beetje omhoog gekanteld worden. Daardoor zal de doorbuiging uitgemiddeld worden. Als dit toch een probleem zou vormen voor bepaalde toepassingen dan kan het frame wat hoger gemaakt worden, hierdoor gaat het traagheidsmoment toenemen.

4.5.3 Zuigslangen

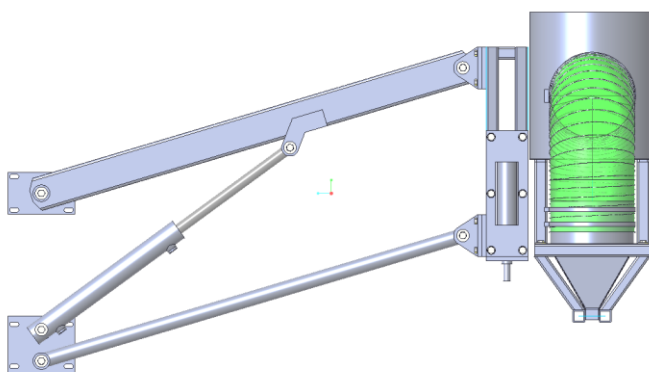
De slangen die de zuigmonden met de cyclonen verbinden hebben een binnendiameter van 300 mm. Deze lopen over de boom heen en gaan zo naar de cyclonen. De slangen zitten op twee tussenpunten bevestigd op de zuigboom. Deze zijn te zien op de figuur van vorige paragraaf. Omdat er op veel plaatse meerdere buizen boven elkaar liggen is er een tussenstuk voorzien, dit is te zien in Figuur 66. Het tussenstuk bestaat uit 2 halve cirkels en 2 steuntjes. De halve cirkels en steuntjes worden aan elkaar verbonden doormiddel van puntlassen.



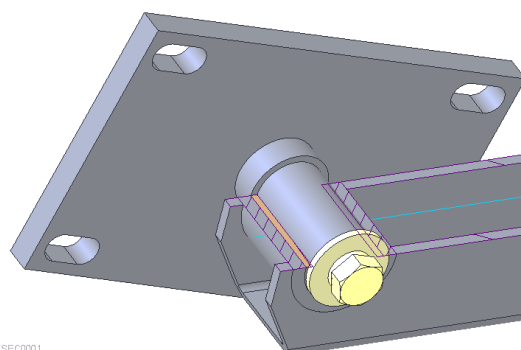
Figuur 66: Slangsteunen

4.5.4 Het hefsysteem

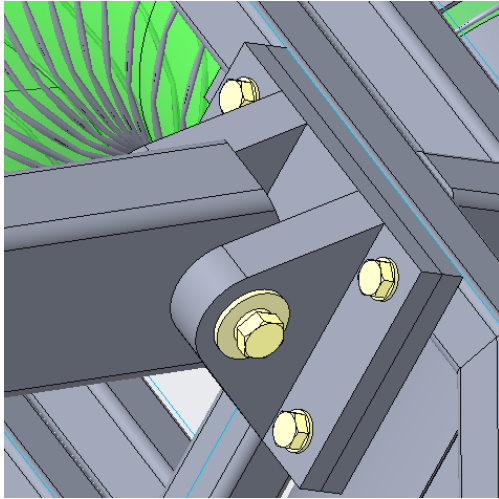
Het hefsysteem bestaat uit een parallelle balk en stang aan weerszijde van de machine. Het geheel wordt omhoog en omlaag bewogen door twee cilinders. Dit is te zien in Figuur 67. De cilinders zijn van het type C03. De stangen en de balk zitten vast doormiddel van gaffels en assen. Deze gaffels worden tegen de lasplaatjes van het hefframe aan gebout. De as die door de gaffel zit is in de gaffel geklemd door bouten aan weerszijde van de as. Hierdoor zal de as niet draaien in de gaffel en zal de gaffel dus ook niet slijten. In de arm is een slijtbus voorzien die dus vervangen kan worden mocht deze verslijten. Aan de zijde van de cyclonen worden een koppeling met plaat en vaste as tegen het frame aan gebout. De as zit door de plaat heen en wordt dan aan weerszijde van de plaat vast gebout. Deze koppeling heeft sleufgaten zodat deze naar voor of naar achter kan schuiven. Hierdoor kan tijdens het monteren de boom recht gehangen worden. Ook in deze koppeling zit er een bout in de as. Die zorgt ervoor dat de arm niet van de as af kan gaan. Figuur 69 toont de gaffel en Figuur 68 toont de koppeling aan de cycloon zijde.



Figuur 67: Hefstelsysteem



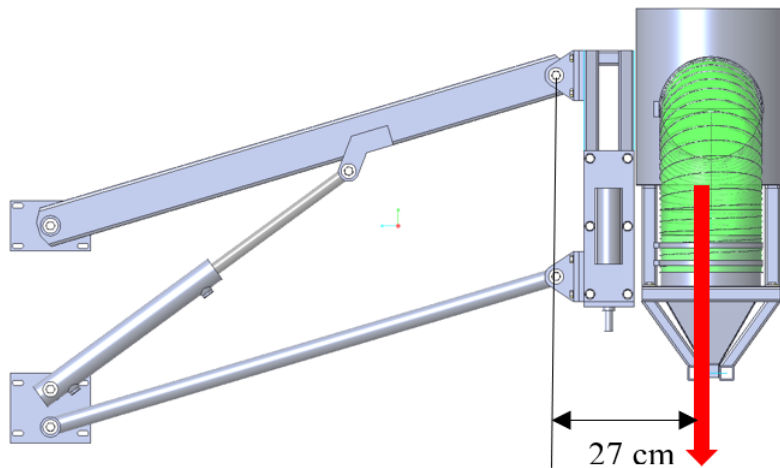
Figuur 68: Slijtbus



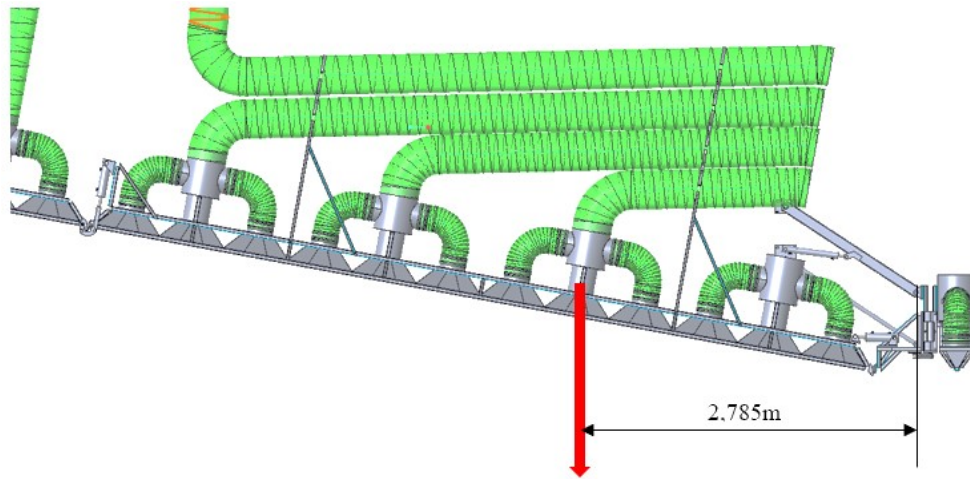
Figuur 69: Gaffel

4.5.4.1 Berekening van de cilinder

Om de cilinders te dimensioneren is er een berekening uitgevoerd die de krachten die op de cilinders inwerken bepaalt. Dit is gedaan voor vijf verschillende standen van het hefsysteem: helemaal boven, horizontaal, en helemaal beneden. Verder zijn ook de standen halverwege de horizontale stand en de bovenste of onderste stand uitgerekend. Voor de cilinderberekening moet eerst het massamiddelpunt van de boom bepaald worden. Het massamiddelpunt is door Creo berekend en staat op 27 cm van de scharnieren als de boom open is, dit is te zien op Figuur 70. Als de boom dicht is bevindt het zwaartepunt zich op 2,785 m van de scharnieren, dit is te zien op Figuur 71. Het gewicht van de boom is 663 kg.

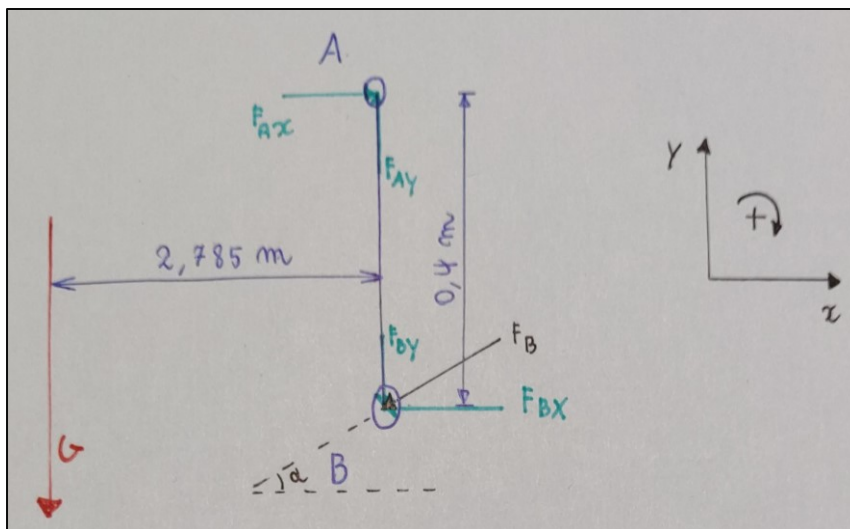


Figuur 70: Massamiddelpunt zuigboom open



Figuur 71: Massamiddelpunt zuigboom dicht

Vervolgens wordt de boom vrijgemaakt van de stangen. Dit is te zien in Figuur 72. Hierbij zal punt B alleen een reactiekracht in de richting van de stang kunnen opvangen omdat deze stang verder niet ondersteunt is door een cilinder zoals in punt A. Deze reactiekracht zal dus variëren in functie van hoek die het hefsysteem maakt (alfa). De reactiekrachten zijn berekend voor de boom in open en in dichte stand. Als eerst zijn de evenwichtsvergelijkingen opgesteld, samen met de verhouding van F_{bx} en F_{by} afhankelijk van de hoek alfa. Deze vergelijkingen zijn opgelost in Excel, op deze manier kan de berekening herhaald worden voor verschillende waarden voor alfa. De resultaten voor een ingeklapte boom zijn te vinden in Tabel 14. Deze berekeningen zijn ook gedaan in de configuratie als de boom open staat. Deze resultaten staan in Tabel 15. Er wordt nu meteen duidelijk dat de gesloten stand doorslaggevend is, met deze gegevens wordt dus ook verder gewerkt.



Figuur 72: VLS zuigboom

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{ax} - F_{bx} = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{ay} - F_{by} - 663 \cdot 9,81 = 0$$

$$F_{ay} - F_{by} - 6504 = 0$$

$$\sum M_a = 0$$

$$F_{bx} \cdot 0,4 - 663 \cdot 9,81 \cdot 2,785 = 0$$

$$F_{bx} \cdot 0,4 - 18114 = 0$$

$$\tan(\alpha) = \frac{F_{by}}{F_{bx}}$$

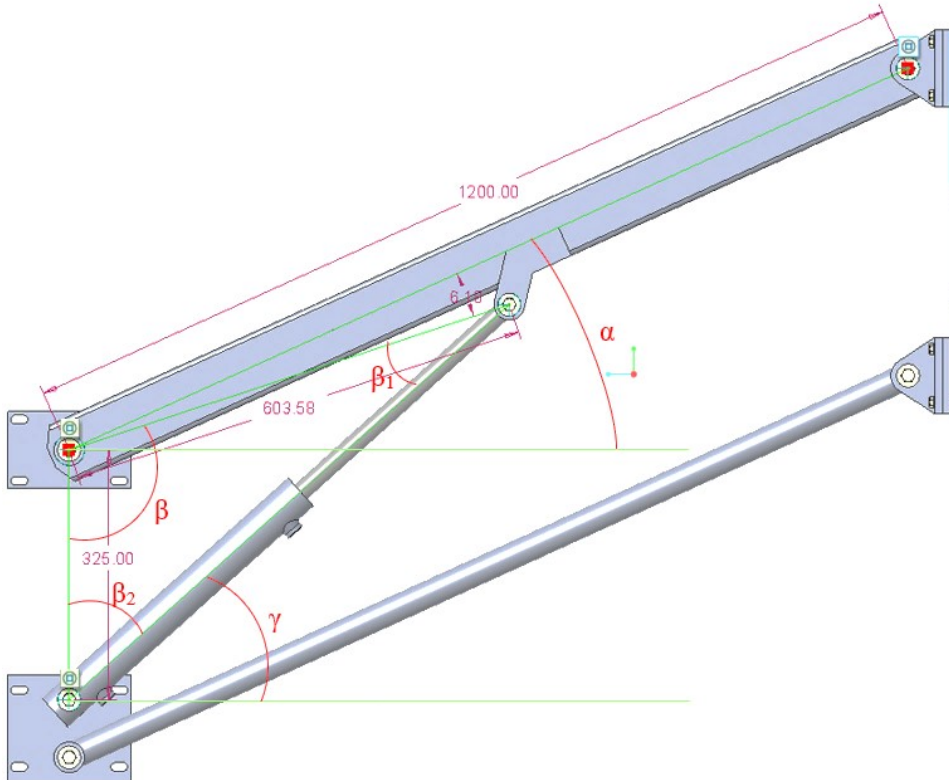
Tabel 14: Resultaten zuigboom dicht

alfa graden	alfa rad	Fax	Fay	FbX	Fby
25,00	0,44	45284,31	27620,45	-45284,31	-21116,42
20,00	0,35	45284,31	22986,17	-45284,31	-16482,14
15,00	0,26	45284,31	18637,92	-45284,31	-12133,89
10,00	0,17	45284,31	14488,88	-45284,31	-7984,85
5,00	0,09	45284,31	10465,89	-45284,31	-3961,86
0,00	0,00	45284,31	6504,03	-45284,31	0,00
-5,00	-0,09	45284,31	2542,17	-45284,31	3961,86
-10,00	-0,17	45284,31	-1480,82	-45284,31	7984,85
-15,00	-0,26	45284,31	-5629,86	-45284,31	12133,89
-20,00	-0,35	45284,31	-9978,11	-45284,31	16482,14
-25,00	-0,44	45284,31	-14612,39	-45284,31	21116,42
-30,00	-0,52	45284,31	-19640,88	-45284,31	26144,91

Tabel 15: Resultaten zuigboom open

alfa graden	alfa rad	Fax	Fay	FbX	Fby
25,00	0,44	-439,02	6299,31	439,02	204,72
20,00	0,35	-439,02	6344,24	439,02	159,79
15,00	0,26	-439,02	6386,39	439,02	117,64
10,00	0,17	-439,02	6426,62	439,02	77,41
5,00	0,09	-439,02	6465,62	439,02	38,41
0,00	0,00	-439,02	6504,03	439,02	0,00
-5,00	-0,09	-439,02	6542,44	439,02	-38,41
-10,00	-0,17	-439,02	6581,44	439,02	-77,41
-15,00	-0,26	-439,02	6621,67	439,02	-117,64
-20,00	-0,35	-439,02	6663,82	439,02	-159,79
-25,00	-0,44	-439,02	6708,75	439,02	-204,72
-30,00	-0,52	-439,02	6757,50	439,02	-253,47

Vervolgens wordt de heffende balk vrijgemaakt. Hiervoor is het nodig om nog een aantal hoeken te berekenen. De hoeken worden uitgedrukt in functie van alfa en in Excel worden dan de hoeken berekend. Figuur 73 toont de hoeken van de hefarm. Om de hoek gamma te berekenen moet de hoek bèta 2 gekend zijn. Om deze te berekenen lossen we het stelsel op met de eigenschap dat alle hoeken opgeteld gelijk moeten zijn aan pi radialen. Verder geldt de sinusregel van hoek bèta 1 en zijn overeenkomstige zijde en bèta 2 en zijn overeenkomstige zijde. De resultaten van de hoeken zijn te zien in Tabel 16.



Figuur 73: Hoeken hefarm

$$\beta = \frac{\pi}{2} + \alpha - \frac{6,18^\circ}{360^\circ} \cdot 2\pi$$

$$\begin{cases} \beta_1 \beta_2 \\ \frac{603,58}{\sin(\beta_2)} \frac{325}{\sin(\beta_1)} \rightarrow \beta_2 \end{cases}$$

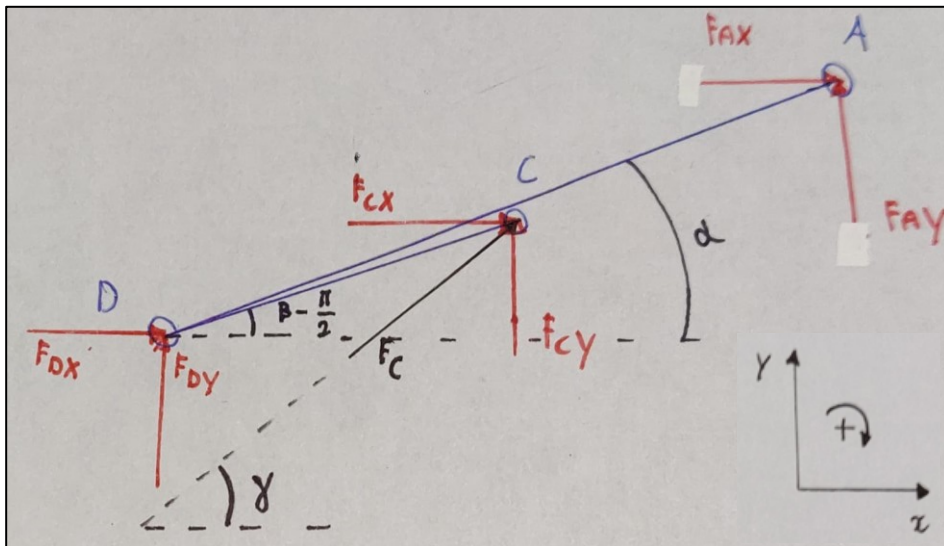
$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \beta_2$$

Tabel 16: Hoeken hefarm

alfa graden	alfa rad	beta rad	beta2 rad	gamma rad
25,00	0,44	1,898	0,833	0,738
20,00	0,35	1,811	0,896	0,675
15,00	0,26	1,724	0,960	0,611
10,00	0,17	1,637	1,026	0,545
5,00	0,09	1,549	1,093	0,477
0,00	0,00	1,462	1,162	0,408
-5,00	-0,09	1,375	1,233	0,337
-10,00	-0,17	1,288	1,307	0,264
-15,00	-0,26	1,200	1,383	0,187
-20,00	-0,35	1,113	1,463	0,108
-25,00	-0,44	1,026	1,546	0,025
-30,00	-0,52	0,938	1,636	-0,065

Nu de hoeken Alfa, Bèta en Gamma gekend zijn kan de balk vrijgemaakt worden, dit is te zien in Figuur 74. Ook kunnen nu de evenwichtsvergelijkingen opgesteld worden. Omdat het oplossen van

deze berekening gebeurt met een stelsel met meerdere onbekende is het moeilijk om dit in excel te doen. Daarom is er besloten om de situaties te bekijken waarin α 25°, 15°, 0°, -15° en -30° is. Dit komt neer op de eerder besproken 5 situaties. De situaties zijn uitgerekend met de solve functie van het Ti-nspire rekenmachine. De verhouding van de x-component en y-component van de reactiekracht van de cilinder hangt af van hoek γ dit is dus een extra vergelijking voor het stelsel. De waarde voor F_{ax} blijft gelijk ongeacht de hoek α . De waarden voor F_{ay} , de hoeken β en γ zijn afhankelijk van hoek α en worden dus uit vorige berekening gehaald en ingevuld. De totale reactiekracht voor een punt wordt berekend door de vierkantswortel te nemen van de som van de kwadraten van de x en y-componenten. De uitkomsten worden weergegeven in Tabel 17.



Figuur 74: VLS hefarm

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{dx} + F_{cx} + F_{ax} = 0$$

$$F_{dx} + F_{cx} - 45285 = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{dy} + F_{cy} + F_{ay} = 0$$

$$\sum M_d = 0$$

$$F_{cx} \cdot \sin\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right) \cdot 603 - f_{cy} \cdot \cos\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right) \cdot 603 + F_{ax} \cdot \sin(\alpha) \cdot 1200 - F_{ay} \cdot \cos(\alpha) \cdot 1200 = 0$$

$$F_{cx} \cdot \sin\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right) \cdot 603 - f_{cy} \cdot \cos\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right) \cdot 603 - 54342000 \cdot \sin(\alpha) - F_{ay} \cdot \cos(\alpha) \cdot 1200 = 0$$

$$\tan(\gamma) = \frac{F_{cy}}{F_{cx}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{dx} + F_{cx} - 45285 = 0 \\ F_{dy} + F_{cy} + F_{ay} = 0 \\ F_{cx} \cdot \sin\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right) \cdot 603 - f_{cy} \cdot \cos\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right) \cdot 603 - 54342000 \cdot \sin(\alpha) - F_{ay} \cdot \cos(\alpha) \cdot 1200 = 0 \\ \tan(\gamma) = \frac{F_{cy}}{F_{cx}} \end{array} \right.$$

Tabel 17: Reactiekrachten hefarm

alfa graden	Fcx	Fcy	Fc	Fdx	Fdy	Fd
25,00	21741	19760	29379,05	23542	7860	24819,46
20,00			0			0
15,00	23162	16216	28274,32	22122	2422	22254,19
10,00			0			0
5,00			0			0
0,00	24014	10392	26166,12	21270	-3888	21622,43
-5,00			0			0
-10,00			0			0
-15,00	23184	4399	23597,65	22100	-10029	24269,13
-20,00			0			0
-25,00			0			0
-30,00	20800	-1350	20843,76	24484	-18291	30561,85

We zien nu dat de cilinders een kracht van 30 kN moeten kunnen leveren. De druk die de hydraulische groep van een tractor kan leveren is 200 bar (20 N/mm²) [33]. Nu dit gegeven bekend is kan de diameter van de cilinders berekend worden. Aangezien het 2 cilinders zijn kan de kracht gedeeld worden door 2.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{D^2 \cdot \pi}{4}}$$

$$D = \sqrt{\frac{F \cdot 4}{p \cdot \pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{15000 \cdot 4}{20 \cdot \pi}}$$

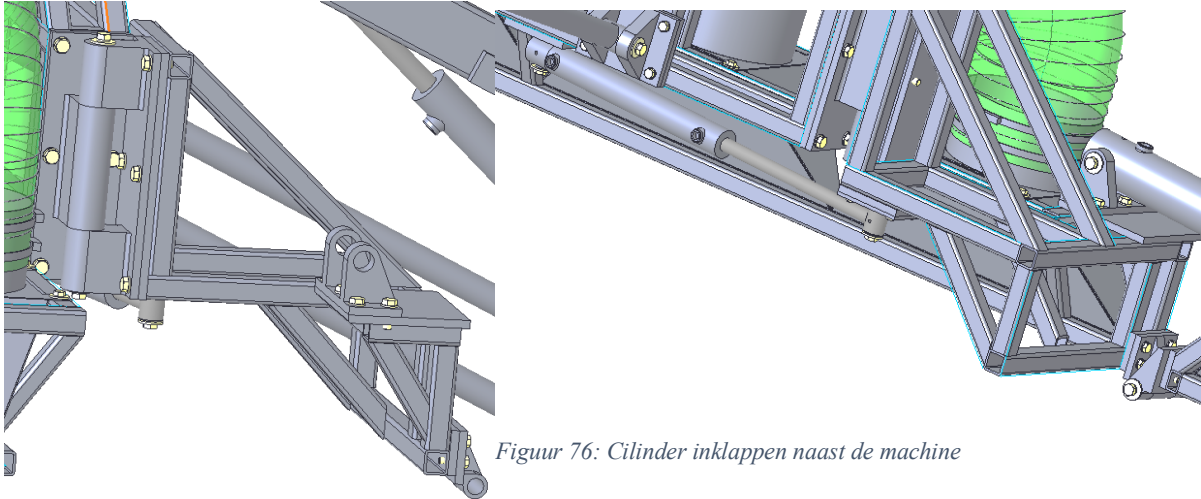
$$D = 30,9 \text{ mm}$$

De eerstvolgende beschikbare diameter is 40 mm en is dus gekozen voor de toepassing. De slaglengte is 300 mm hiermee kan de boom voldoende omhoog en omlaag bewegen. Doordat de diameter van de cilinders 40 mm is kunnen ze samen een kracht van 50 kN genereren.

4.5.5 Inklappen van de zuigboom naast de machine

Het inklappen gebeurt doormiddel van een scharnier met een lengte van 300 mm en is te zien in Figuur 75. Verder zit de as die doorheen het scharnier gaat vast in de buitenste delen van het scharnier. Dit is ook weer gedaan doormiddel van een boutverbinding zoals bij de voorgaande scharnieren. In het middelste deel van het scharnier zit ook weer een slijtbus. Het inklappen gebeurt met een cilinder van type C03 die een slag heeft van 250 mm met deze slag kan het scharnier 90 graden draaien. Dit is te zien in

Figuur 76. De diameter van de cilinder is 30mm dit is ruim voldoende omdat de cilinder niet echt een tegenwerkende kracht heeft enkel een zeer kleine wrijvingskracht van het scharnier.



Figuur 76: Cilinder inklappen naast de machine

Figuur 75: Scharnier inklappen naast de machine

4.5.5.1 Afschuifspanning van de as van het scharnier

De as heeft een diameter van 25 mm. De afschuifvlakken liggen op 15 mm van het middelpunt van het scharnier. Het gewicht van de sectie van 6 m en 1,5 m is 257 kg. Het zwaartepunt is gesitueerd op 3,85 m in de x-richting van het scharnier en 0,19 m in de y-richting. Met deze gegevens kan de afschuifspanning berekend worden. Het materiaal van de as is C45 en heeft een minimum vloeigrens van 305 N/mm² [17]. Mits een veiligheidsfactor van 2 moet de spanning dus onder de 152,5 N/mm² blijven.

$$\sum M_a = 0$$

$$Fg \cdot \sqrt{3,85^2 \cdot 0,19^2} - F \cdot 2 \cdot 0,015 = 0$$

$$257 \cdot 9,81 \cdot \sqrt{3,85^2 \cdot 0,19^2} - 2 \cdot F \cdot 0,015 = 0$$

$$F = 61475 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{D^2 \cdot \pi}{4}}$$

$$\sigma = \frac{61475}{\frac{25^2 \cdot \pi}{4}}$$

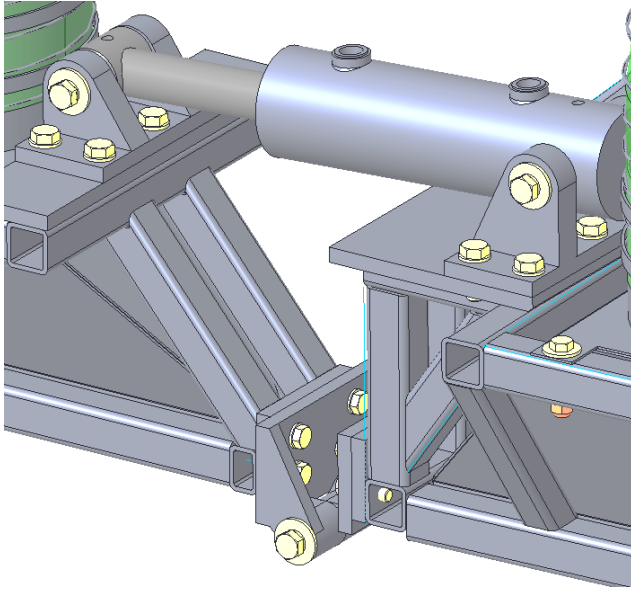
$$\sigma = 125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

De afschuifspanning blijft onder de vooropgestelde 152,5 N/mm² en is dus sterk genoeg.

4.5.6 Omhoog klappen van de secties van 6 m

Het omhoog klappen van de zuigboom gebeurt aan beide zijden met een scharnier en een cilinder, deze zijn te zien in Figuur 77. De scharnieren zijn vast gebouwd op het frame van de sectie van 6 m en op het frame van het inklapmechanisme. Dit geldt ook voor de cilinder. Door het scharnier zit een as met een diameter van 20 mm en zit op dezelfde manier vast aan buitenste delen van het scharnier als voorgaande scharnieren. Door de constructie van deze scharnieren en de positionering van de cilinder

kan de boom 5 graden naar beneden bewegen en 10 graden naar boven. De cilinder is opnieuw van het type C03.



Figuur 77: Cilinder omhoog klappen

4.5.6.1 Berekening van de cilinder

Het zwaartepunt van de sectie van 6 m en 1,5 m ligt op 3,9 m van het scharnier en weegt 226 kg. De momentarm van de cilinder is 280 mm. Zoals bij de vorige berekening is de oliedruk 200 bar. Omdat in dit geval de cilinder ook moet trekken moet de diameter van de zuigerstang van het zuigeroppervlak worden afgetrokken om zo het oppervlak te krijgen waarop de druk inwerkt.

$$\sum M_a = 0$$

$$Fg \cdot 3,9 - F \cdot 0,28 = 0$$

$$226 \cdot 9,81 \cdot 3,9 - F \cdot 0,28 = 0$$

$$F = 30881N$$

$$p = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{p}$$

$$A = \frac{30881}{20}$$

$$A = 1544 \text{ mm}^2$$

De eerstvolgende cilinder die in aanmerking komt is een cilinder met zuigerdiameter van 60 mm en zuigerstang diameter van 30 mm. Dit komt neer op een oppervlakte van 2120 mm². Met deze oppervlakte kan de cilinder een kracht genereren van 42,4 kN. Dit is ruim voldoende voor deze toepassing. Om de draaihoek van het scharnier te realiseren moet de cilinder een slag van 100 mm hebben.

4.5.6.2 Berekening van de afschuifspanning van de as van het scharnier

De as van het scharnier moet in de y-richting het gewicht van de boom opvangen, dit is 226kg. Verder is er in de x-richting de trekkracht van de cilinder, deze is 30881N. Door deze twee krachten samen te stellen kennen is de afschuifkracht van de as gekend. Omdat het scharnier uit een gaffel bestaat moet de as op 2 plaatsen tegelijk afschuiven waardoor de dwarsdoorsnede van de as 2 keer geteld dient te worden. De diameter van de as is 20 mm en is gemaakt van C45 dat een minimum vloeigrens van 305 N/mm² heeft [17]. Mits een veiligheidsfactor van 2 moet de spanning dus onder de 152,5 N/mm² blijven.

$$F = \sqrt{Fx^2 + Fy^2}$$

$$F = \sqrt{30881^2 + (226 \cdot 9,81)^2}$$

$$F = 30961 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{2 \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4}}$$

$$\sigma = \frac{30961}{2 \cdot \frac{20^2 \cdot \pi}{4}}$$

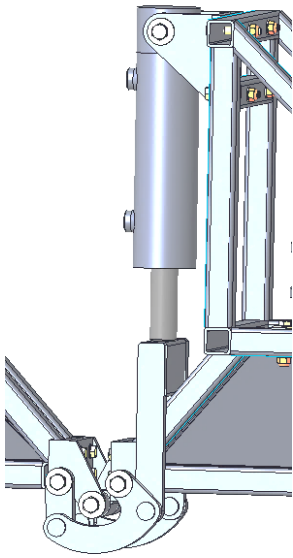
$$\sigma = 49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

De spanning blijft ruim onder de vooropgestelde toelaatbare spanning. De as zou eigenlijk veel kleiner gekozen kunnen worden, maar voor stabiliteitsredenen wordt deze toch op diameter 20 mm gehouden.

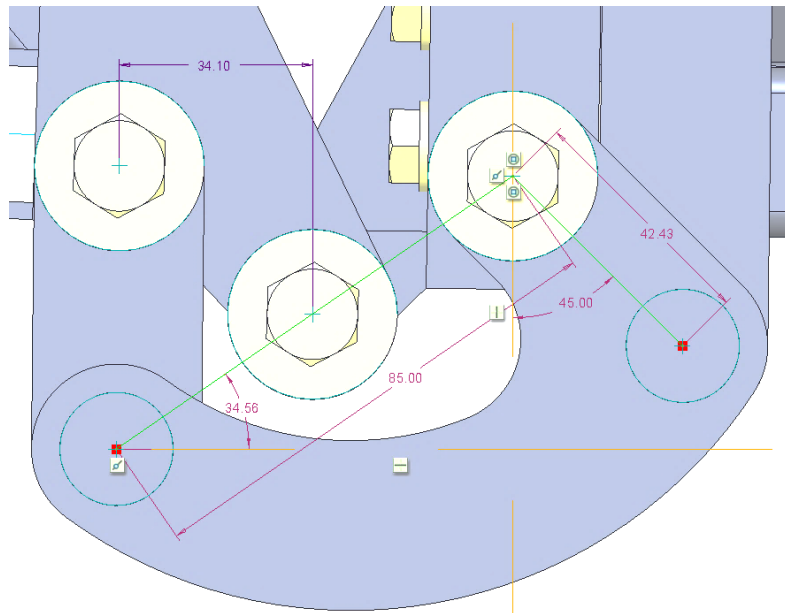
4.5.7 Naar beneden klappen van de sectie van 1,5m

Om de zuigboom compacter te maken is er gekozen om het stuk van 1,5 m in te laten klappen onder het stuk van 6 m. Wanneer de werkbreedte zou uitgebreid worden naar 21 meter worden deze delen namelijk 3 m i.p.v. 1,5 m. Het compact inklappen is dan zeker een must. Omdat de boomeindes meer dan 90 graden moeten draaien en dit niet makkelijk is om met een cilinder te doen is er een speciaal mechanisme bedacht. Omdat de zuigboom juist boven of net tegen het gewas komt mag dit mechanisme niet te ver onder de boom uitsteken. Het moet in die zin dus compact zijn. Het hiervoor bedachte mechanisme is te zien in Figuur 78. Omdat dit mechanisme zo compact is, is er maar een kleine hefboom om het gewicht omhoog te duwen. Een krachtenanalyse in het mechanisme is dus noodzakelijk om een juiste cilinder te kunnen kiezen. Het gewicht van het deel van 1,5 m is 38,8 kg en ligt op 768 mm van het scharnierpunt. De maten van het mechanisme in open toestand zijn te zien in Figuur 79. Als de boom dicht is dan staat het deel van 1,5 m in een hoek van 20° met het deel van 6 m. hierdoor verandert de hefboom afstand van het scharnier. In open toestand was dit 34,1 mm en in gesloten toestand zal dit maar 25,4 mm zijn. De hefboom van het zwaartepunt wordt hierdoor wel kleiner. De hoeken in gesloten toestand zijn te zien in Figuur 80. Verder zijn de assen in het mechanisme geborgd door circlipsen. De cilinder is met het mechanisme verbonden doormiddel van een gaffel. Deze gaffel is op de cilinder vast gelast omdat dit een starre verbinding moet zijn. Het type cilinder is daarom ook van het C00 type. Dit is een cilinder zonder aankoppelpunt aan het begin en einde van de cilinder. Aan deze cilinders mag er dus op bepaalde plaatsen gelast worden om hem vast

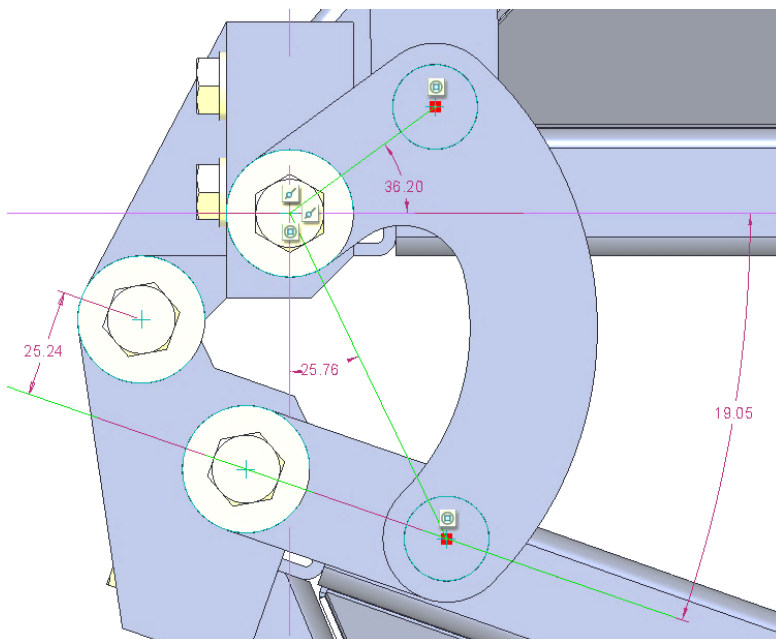
te maken. Het aankoppelpunt van de zuiger kan aangekocht worden en op de cilinder gelast worden. De gaffel kan daarom ook rechtstreeks op de as vast gelast worden.



Figuur 78: Mechanisme uiteinde zuigboom



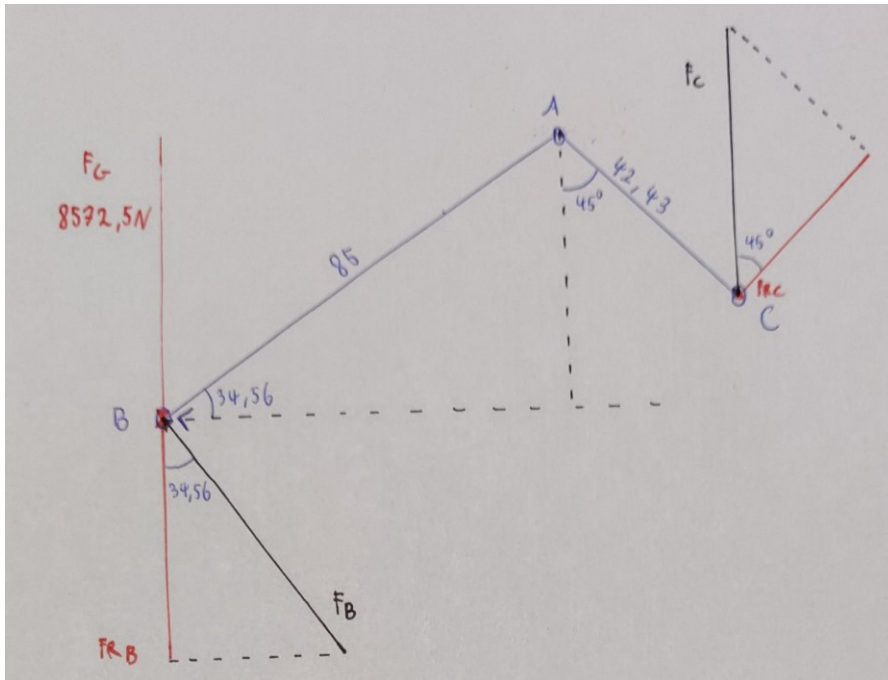
Figuur 79: Mechanisme uiteinde zuigboom open



Figuur 80: Mechanisme uiteinde zuigboom dicht

4.5.7.1 Krachtenberekening van het mechanisme in open toestand

Als eerste zal de kracht berekend worden die het scharnier moet uitoefenen op de hefboom. Daarna zullen de reactiekrachten in het scharnier ingetekend worden. Hierna kan aan de hand van de maten van het scharnier de grootte van de krachten die de cilinder moet leveren bepaald worden.



Figuur 81: Krachtenanalyse scharniermechanisme open

$$\sum M_o = 0$$

$$Fg \cdot 768 - F \cdot 34,1 = 0$$

$$38,8 \cdot 9,81 \cdot 768 - FG \cdot 34,1 = 0$$

$$FG = 8572,5 \text{ N}$$

$$Frb = FG$$

$$Frb = 8572,5 \text{ N}$$

$$Fb = \frac{Frb}{\cos(34,56^\circ)}$$

$$Fb = \frac{8572,5}{\cos(34,56^\circ)}$$

$$Fb = 10409 \text{ N}$$

$$Frc = \frac{Fb \cdot 85}{42,43}$$

$$Frc = \frac{10409 \cdot 85}{42,43}$$

$$Frc = 20853 \text{ N}$$

$$Fc = \frac{Frc}{\cos(45^\circ)}$$

$$Fc = \frac{20853}{\cos(45^\circ)}$$

$$Fc = 29191 \text{ N}$$

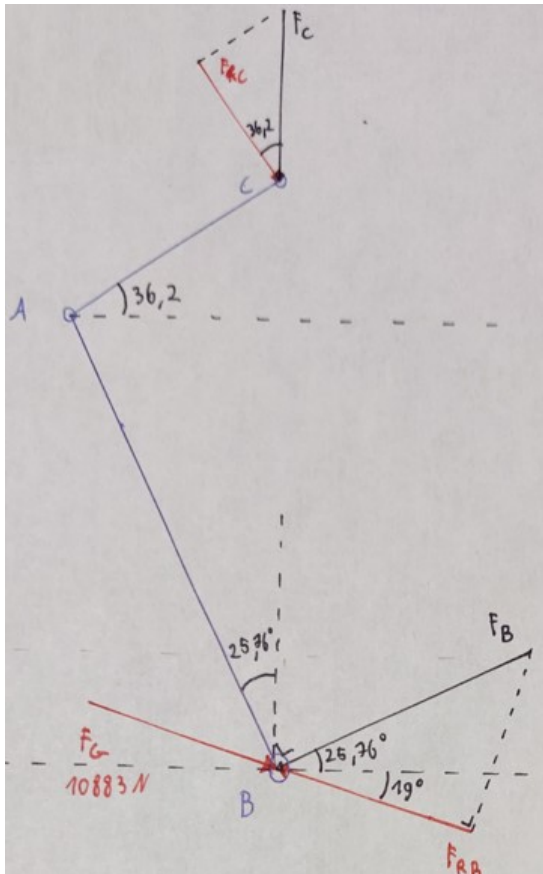
4.5.7.2 Krachtenberekening van het mechanisme in gesloten toestand

$$\sum M_o = 0$$

$$F_g \cdot 768 \cdot \cos(20^\circ) - FG \cdot 25,24 = 0$$

$$38,8 \cdot 9,81 \cdot 768 \cdot \cos(20^\circ) - FG \cdot 25,24 = 0$$

$$FG = 10883 \text{ N}$$



Figuur 82: Krachtenanalyse scharniermechanisme dicht

$$F_{rb} = F_g$$

$$F_{rb} = 10883 \text{ N}$$

$$F_b = \frac{F_{rb}}{\cos(25,76^\circ + 19,05^\circ)}$$

$$F_b = \frac{10883}{\cos(44,81^\circ)}$$

$$F_b = 15340 \text{ N}$$

$$F_{rc} = \frac{F_b \cdot 85}{42,43}$$

$$F_{rc} = \frac{15340 \cdot 85}{42,43}$$

$$F_{rc} = 30732 \text{ N}$$

$$F_c = \frac{Frc}{\cos(36,2^\circ)}$$

$$F_b = \frac{30732}{\cos(36,2^\circ)}$$

$$F_b = 38083 \text{ N}$$

We zien duidelijk dat de kracht in ingeklapte toestand groter is. Als de boom ingeklapt is moet de cilinder trekken. Er moet dus ook weer rekening worden gehouden met de zuigerstang diameter. Rekening houdend met de druk van 200 bar kan de oppervlakte van de zuiger bepaald worden.

$$p = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{p}$$

$$A = \frac{38083}{20}$$

$$A = 1904 \text{ mm}^2$$

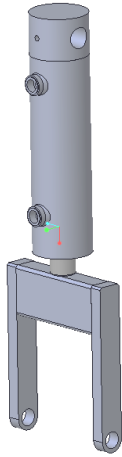
De eerstvolgende cilinder die in aanmerking komt is een cilinder met zuigerdiameter van 60 mm en zuigerstangdiameter van 30 mm. Dit komt neer op een oppervlakte van 2120 mm². Met deze oppervlakte kan de cilinder een kracht genereren van 42,4 kN. Dit is voldoende om de boom ingeklapt te houden.

4.5.7.3 Verdere sterkteberekeningen

Het scharnier is dubbel uitgevoerd waardoor de kracht die de cilinder levert door 2 wordt gedeeld voor elk deel van het scharnier. De assen in het mechanisme zijn ook 20 mm dik waardoor de situatie vergelijkbaar is met voorgaande berekening van de scharnieras. De kracht is 35% groter als in voorgaande berekening daardoor kunnen we stellen dat de spanning ook 35% groter wordt, dit komt dan neer op een spanning van 66 N/mm². Dit is lager dan de vooropgestelde toelaatbare spanning van 152,5 N/mm². De diameter wordt dus gelijk genomen aan de vorige scharnieras.

De scharnieras bij dit scharnier is dezelfde als in het vorige scharnier. Bij dit scharnier is er echter een nog kleinere kracht en zal deze as ook hier zeker sterk genoeg zijn.

Ten slotte is er nog de gaffel die de cilinder met het scharnier verbindt, deze is te zien in Figuur 83. Hierbij is het rechthoekig profiel dat op de cilinder vast gelast zit onderhevig aan buiging. Hier is er daarom ook een ontwerpberekening gedaan op doorbuigspanning om zo een gepast profiel te kiezen. De oplegpunten staan 127 mm uit elkaar en de over te brengen kracht is 42,4 kN. Het materiaal van de koker is S355JOH en heeft een vloeigrens van 355 N/mm² en een elasticiteitsmodulus van 210000 N/mm². Rekening houdend met een veiligheidsfactor van 2 moet de spanning onder de 177,5 N/mm² blijven.



Figuur 83: Cilinder met gaffel

$$M_b = \frac{L}{4} \cdot F$$

$$M_b = \frac{127}{4} \cdot 42400$$

$$M_b = 1346200 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M_b}{W}$$

$$W = \frac{M_b}{\sigma}$$

$$W = \frac{1346200}{177,5}$$

$$W = 7584 \text{ mm}^3$$

Het gekozen profiel is een rechthoekig profiel van 60 x 40 x 3 en heeft een weerstandsmoment van 8460 mm³ en een traagheidsmoment van 254000 mm⁴ volgens het MCB boek [32]. Met het traagheidsmoment kan de doorbuiging bepaald worden.

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

$$f = \frac{42400 \cdot 127^3}{48 \cdot 210000 \cdot 254000}$$

$$f = 0,035 \text{ mm}$$

Het profiel gaat bijna niet doorbuigen.

4.6 Generator

De ventilatoren die geselecteerd zijn in hoofdstuk drie beschikken over een elektrische aandrijving. De meeste landbouwmachines worden echter hydraulisch aangedreven. Dit omdat de implementatie hiervan als eenvoudig gezien wordt en het een vertrouwde aandrijftechniek is. Een groot nadeel van een hydraulische aandrijving is de energiedissipatie in de leidingen door warmte. Om deze reden is de elektrische ventilatoraandrijving behouden. De elektrische energie zal gegenereerd worden door een generator aangedreven door de PTO (power take-off) van de tractor. Dit is een aparte uitgang aan de versnellingsbak van de tractor waarmee werktuigen aangedreven worden. Standaard heeft elke tractor een PTO aan de achterkant, optioneel hebben de meeste tractoren ook een PTO aan de voorkant. In overleg met Greenyard is beslist om de generator aan de voorkant van de tractor in de heflift te hangen. Hierdoor hoeft de generator niet op het chassis van de insectenzuiger te komen en blijft de machine compact.

4.6.1 Generatordimensionering

De generatordimensionering gebeurt a.d.h.v. de motorgegevens [34] uit de onderstaande figuur en het aantal motoren. Het aantal motoren bedraagt twaalf, indien de machine uitgebreid wordt naar een werkbreedte van 21 m zal het aantal motoren toenemen tot veertien.

Dati elettrici / Electrical data			
Potenza nominale (kW)	7,5	Potenza nominale (HP)	10
Nominal power (kW)		Nominal power (HP)	
Tensione (V)	400	Frequenza (Hz)	50
Voltage (V)		Frequency (Hz)	
Poli	2	Fasi	3
Poles		Phase	
Velocità a pieno carico (rpm)	2910	Classe di isolamento	F
Full load speed (rpm)		Insulation class	
Rendimento al 100%	88%	Fattore di potenza al 100%	0,84
Efficiency at 100%		Power factor at 100%	
Corrente nominale (A)	15	Corrente di spunto (I_{sp}/I_N)	7
Rated current (A)		Starting current (I_{sp}/I_N)	

Figuur 84: Motorgegevens

Met de gegevens uit Figuur 84 is het totale actief en schijnbaar vermogen berekend. Ook de totale nominale stroom is bepaald.

$$\begin{aligned}
 S_{tot} &= \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{nom} \cdot n \\
 &= \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 15 \cdot 12 && \text{Uitbreiding: } S_{tot} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 15 \cdot 14 \\
 &= 124,7 \text{ kVA} && = 145,5 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{tot,elektrisch} &= \frac{P \cdot n}{\eta} \\
 &= \frac{7,5 \cdot 12}{0,88} && \text{Uitbreiding: } P_{tot,elektrisch} = \frac{7,5 \cdot 14}{0,88} \\
 &= 102,3 \text{ kW} && = 119,3 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$I_{nom,tot} = I_{nom} \cdot n$$

$$= 15 \cdot 12$$

$$= 180 A$$

$$\text{Uitbreiding: } I_{nom,tot} = 15 \cdot 14$$

$$= 210 A$$

Tabel 18 vat de berekende waarden samen. Dit zijn de vereisten waaraan de generator moet voldoen om de machine aan te drijven.

Tabel 18: Generatorvereisten

	18 m	21 m
S totaal [kVA]	124,7	145,5
I nominaal totaal [A]	180,0	210,0
P totaal [KW]	102,3	119,3

Het benodigde elektrische vermogen bedraagt dus 102,3 kW voor de machine met achttien meter werkbreedte. Dit komt overeen met 140 pk. Wanneer er rekening wordt gehouden met 10-15% rendementsverliezen van de generator zal de tractor 160 pk moeten leveren op de PTO. Net zoals bij de ventilatorselectie wordt hier uitgegaan van de worst-case 7,5 kW per motor. In praktijk zal het gevraagde vermogen lager zijn zoals Figuur 14 bij de ventilatorselectie illustreert. De rode vermogenskrommen op deze figuur geven aan dat het werkpunt tussen 5,5 en 7,5 kW zal liggen. De werkelijke waarde zal ongeveer 6,5 kW zijn per motor. Verder moeten ook de andere functies van de machine nog met energie verzorgd worden. Het tractorvermogen wordt dan ook begroot op 200 pk.

4.6.2 Generatorkeuze

Op basis van bovenstaande berekeningen wordt de NSGL 160 generator van het merk Schneberger [35] geselecteerd. Dit is een PTO-aangedreven generator die eenvoudig aan de tractor gekoppeld kan worden via de driepuntshef. Figuur 85 en Figuur 86 tonen respectievelijk de generator en zijn verschillende stekkeransluitingen.



Figuur 85: Generator



Figuur 86: Stekkeraansluitingen

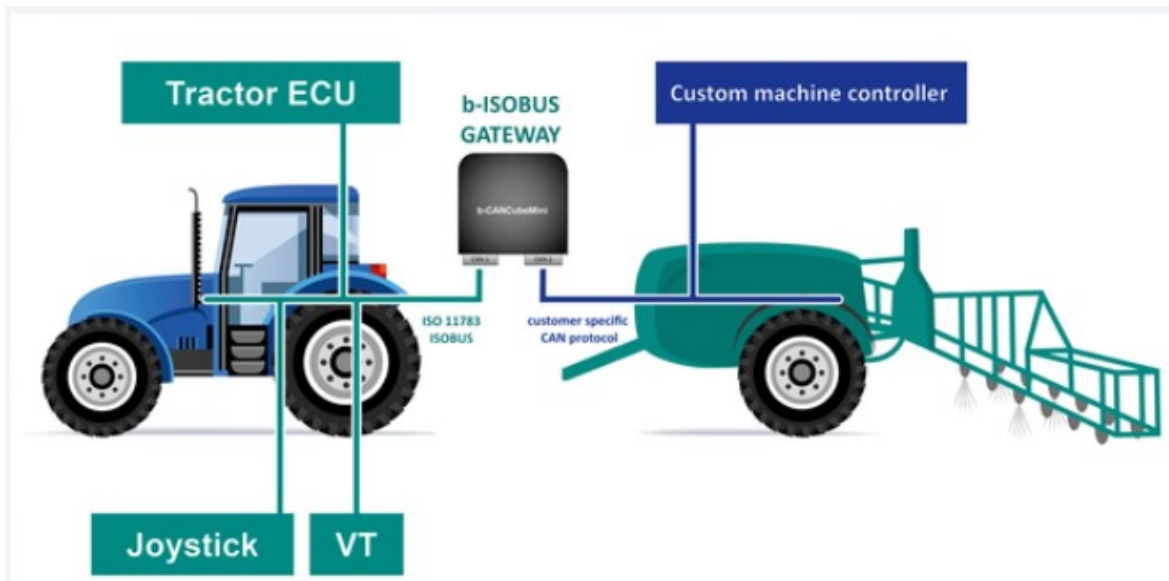
De gedetailleerde technische gegevens van de generator zijn opgesomd in Figuur 87. De generator voldoet aan de nominale stroom, het nominaal actief en schijnbaar vermogen benodigd voor de machine. Verder is de generator voorzien van een kortsluitbeveiliging van 5 maal 230 A, 1150A.

Technische Daten	NSGL 30	NSGL 42	NSGL 50	NSGL 63	NSGL 85	NSGL 130	NSGL 160
Leistung	24 kW	36 kW	40 kW	52 kW	74 kW	104 kW	128 kW
Spannung	3~ 400V +N						
Strom	43,4 A	65 A	72,3 A	93,9 A	134,4 A	187,9 A	231,2 A
verbauter Generator	30 kVA	45 kVA	50 kVA	65 kVA	93 kVA	130 kVA	160 kVA
Einschaltdauer	S1 100%*						
Steckdose Feldbetrieb	2x Schuko, CEE 5x16A, CEE 5x32A, CEE 5x63A			2x Schuko, CEE 5x16A, CEE 5x32A, CEE 5x63A, CEE 5x125A		2x Schuko, CEE 5x16A, CEE 5x32A, CEE 5x63A, CEE 5x125A	
Steckdose Hausbetrieb	CEE 5x63A 1h			CEE 5x125A 1h		250A DS2 5 polig	
Schutzart	Schaltk. IP54, Generator IP 44						
Maße LxBxH	120 x 80 x 115 cm			143 x 100 x 120 cm		170 x 110 x 160cm	
Gewicht	289 kg	314 kg	350 kg	530 kg	575 kg	650 kg	720 kg
3 Punkt	Kategorie 2			Kategorie 2 und 3		Kategorie 3	
Höhe Unterlenkerbolzen	33 cm			37 cm			

Figuur 87: Technische gegevens generator

4.7 Sturing

De scope van deze studie ligt voornamelijk op het 3D CAD-ontwerp van het prototype. Omdat een zinvol mechanisch ontwerp rekening houdt met de nodige stuurtechnische componenten is de sturing ook beperkt beschreven. De vermogenscomponenten van de elektrische aandrijving worden besproken. Voor het hydraulische circuit worden de belangrijkste functionaliteiten toegelicht. Verder is er een aanzet gegeven hoe deze functionaliteiten te implementeren op de machine. De sturing kan bijvoorbeeld geïmplementeerd worden via het ISOBUS-systeem van de tractor. Een schematische voorstelling en een display hiervan zijn te zien in Figuur 88 [36] en Figuur 89 [37]. Indien de tractor hier niet over beschikt is een aparte bedieningskast noodzakelijk. Als het ISOBUS-systeem aanwezig is dan kan de operator alles bedienen via het scherm van het ISOBUS-systeem in de tractor. Hierop kan dan ook de machine gevisualiseerd weergegeven worden en kan de nodige feedback van de machine naar de operator toe weergegeven worden. De knoppen in de tractor op de joystick en dergelijke kunnen via het ISOBUS-systeem ook toegewezen worden om functies van de machine te bedienen. In het geval van een extra stuurkastje zullen hier de knoppen op moeten komen om de machine te starten en te regelen. Verder dienen hier enkele lampjes op te zitten alsook een aantal 7-segment displays om de toestand van de machine te zien alsook de toerentallen van de motoren te kunnen aflezen.



Figuur 88: Schema ISOBUS-systeem



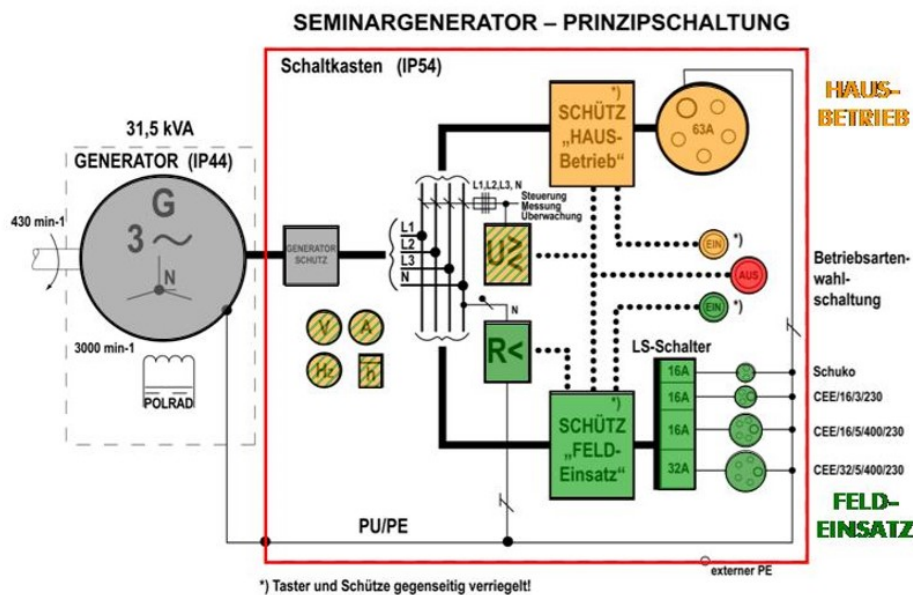
Figuur 89: ISOBUS-systeem Deutz

4.7.1 Elektrisch

Om het elektrische vermogen van de generator over te dragen naar de ventilatormotoren is het elektrisch circuit uit bijlage 1 opgesteld. Dit is een eerste aanzet naar het volledig elektrische schema. De generator zal hierin dienen als bron. De motoren zullen per twee via een frequentieregelaar aangestuurd worden. Op deze manier kunnen de motoren per twee langzaam opstarten. Dit vermijdt problemen met hoge opstartstromen van de motoren aan de generator. Verder heeft het werken met meerdere kleine frequentieregelaars voordelen t.o.v. het installeren van één grote voor alle motoren. Enerzijds is het goedkoper om een klein frequentieregelaar (15 kW) in stok te houden in vergelijking met een frequentieregelaar van 105 kW in geval van een panne. Anderzijds is bij uitval van een kleine frequentieregelaar onmiddellijk duidelijk dat de fout zit bij één van de twee motoren die de betreffende regelaar aanstuurt. Indien één grote regelaar alle motoren zou aansturen kan de fout bij één van de

twalf motoren liggen. De gekozen frequentieregelaars zijn van het type MCLTPB0150-5A3-4-10 van SEW [38].

Verder heeft de generator een isolatiebeveiliging, spanningsbewaking en frequentiebewaking. De aanwezige beveiligingen zijn echter afhankelijk van de bedrijfsvorm waarin de generator gebruikt wordt. De generator kan enerzijds in hausbetrieb en anderzijds in feldbetrieb geschakeld worden. Uit de technische gegevens uit Figuur 87 blijkt dat in hausbetrieb één grote stekker (250A) gebruikt kan worden. In feldbetrieb moet het vermogen verdeeld worden over meerdere kleinere stekkers. Om een keuze te maken tussen de twee bedrijfsvormen dient de schakeling van beide vormen verder bestudeerd worden. Figuur 90 [39] toont de principeschakeling van de generator. De figuur heeft echter betrekking op een kleinere generator waardoor de stromen weergegeven in de figuur kleiner zijn dan de geselecteerde generator. De schakeling is analoog aan de grote (NSGL-160) generator.



Figuur 90: Principeschema generator

Het prinsipeschema bevestigt dat voor hausbetrieb één grote stekker gebruikt kan worden. In het geval van de NSGL-160 generator kan deze stekker tot 250A stroomsterkte aan. Deze stekker is afgezekerd op 230A volgens Schneeberger [35]. Echter gaat hausbetrieb uit van een aanwezige aarding. De machine kan echter niet geaard worden en zal dus in feldbetrieb gebruikt moeten worden. Deze bedrijfsvorm voorziet een isolatiebewaking om veilig in het veld te kunnen werken zonder permanente aarding. Omdat er geopteerd wordt om met één grote kabel en stekker te kunnen werken zal de fabrikant een grote stekker met bijhorende automaat installeren aan de feldbetriebschakeling. Of een isolatiebewaking voorzien in de hausbetriebstand. Generatorfabrikant Schneeberger geeft aan dat dit geen probleem is.

Verder voorziet het elektrisch schema automaten voor iedere frequentieregelaar. De automaten worden ook teruggekoppeld naar de sturing. Verder mogen de frequentieregelaars geen te lage spanning ontvangen tijdens het opstarten van de generator. Dit omdat ze vaak in fout gaan als ze een te lage spanning hebben ontvangen. Om deze reden moet in de sturing dus voorzien worden dat de voeding pas op de drives gezet wordt als de generator op toeren is gekomen. Het ISOBUS-systeem kan dit makkelijk controleren omdat dit volledig geïntegreerd zit in de tractor.

Er is ook een lastscheider voorzien om het geheel af te kunnen schakelen, hierbij moet de lastscheider de maximumstroom van 231 A kunnen onderbreken.

Vervolgens wordt er een noodstop voorzien, deze wordt uitgevoerd samen met een noodstoprelais. Het noodstopcircuit is op het moment dubbel uitgevoerd doormiddel van twee reeksen van contactoren die het vermogen naar de drives onderbreken. Er is gekozen om voor elke drive aparte contactoren [40] te voorzien omdat de contactoren die de volledige stroom kunnen schakelen alleen met spoelspanning 230V te krijgen zijn. Deze spanning hebben we niet rechtstreekt ter beschikking op de machine. Meerder kleine contactoren is daarom dus een goed alternatief. Als er later een risicoanalyse wordt gemaakt op de machine kan de noodstopkring nog veranderen. Belangrijk bij de noodstop is dat het signaal van de noodstop ook wordt doorgegeven naar de tractor (zeer eenvoudig via het ISOBUS-systeem). Het transportbandje van de bunker wordt namelijk rechtstreeks door de hydrauliegroep van de tractor gestuurd. Indien er zich een probleem voordoet bij de transportband moet het bedienen van de noodstop ook het bandje kunnen stoppen. Anders creëert de noodstop een vals gevoel van veiligheid. Als blijkt uit de risicoanalyse dat het transportbandje toch een groot gevaar is dan zal er ook een hardware matige onderbreking van de hydrauliek ingebouwd moeten worden.

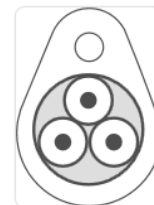
Naast de vermogenscomponenten zullen ook kleine stuurrelais nodig zijn om het hydraulisch circuit te bedienen. Onder andere voor de implementatie van de hoogteregeling van de zuigboom is dit nodig. Hiervoor is een 24 V voeding van 10A voorzien [41].

Op pagina 3 van het elektrisch schema staat een voorstelling van de tot nu toe zekere aansluitingen die op het ISOBUS-systeem moeten komen. Uitzonderd de cilinders op de zuigboom omdat dit met een speciaal systeem aangestuurd wordt, dit wordt besproken in het hydraulisch deel.

Om de vermogenkabels van de machine te dimensioneren is er gebruik gemaakt van de softwaretool Ecodial Advance Calculation BE V4.8. Hierin is een krachtbron voorzien die overeenstemt met de generator. De kabel die van de generator naar de machine loopt wordt voorgesteld door een kabel die op bepaalde plaatsen wordt vastgemaakt aan of ondersteund wordt door de tractor. Er wordt een lengte van 10m mee gegeven, dit is ruim geteld. De maximale luchttemperatuur wordt gehouden op 40 °C. Figuur 91 geeft de instellingen voor deze kabel weer in het programma.

3. Results

Reference number	17
Reference method	E
Description	Multi-core cables suspended from or incorporating a support wire

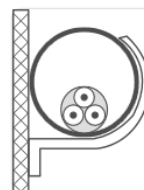


Figuur 91: Kabel van generator naar machine

Vervolgens wordt er een tak met een motor gemaakt die de eigenschappen van de gekozen motoren op de machine heeft. Om te kijken hoe dik de kabel naar de motor moet zijn wordt weer de manier van inbouwen ingegeven. Deze kabels zullen door buizen die op de machine bevestigd zijn lopen. Verder is als lengte van de langste kabel 10m genomen en ook weer een maximum luchttemperatuur van 40 °C. Figuur 92 geeft de instelling weer die overeenkomt met de situatie.

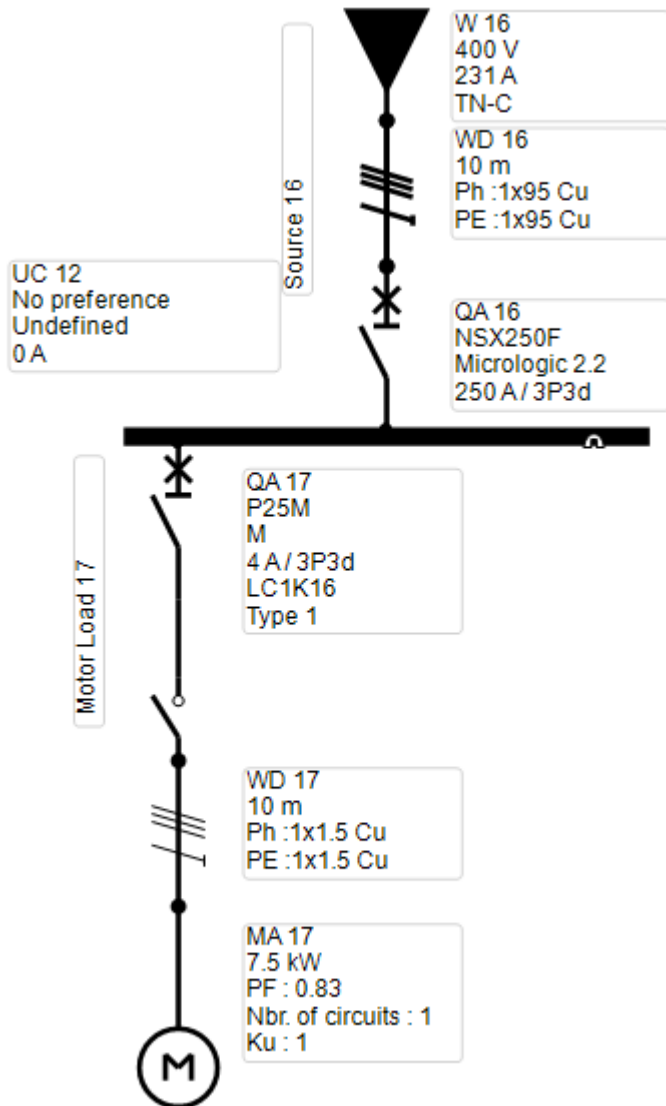
3. Results

Reference number	3A
Reference method	B
Description	Multi-core cables in surfaced mounted conduits



Figuur 92: Kabel naar de motor

Figuur 93 geeft het schema weer met de uitkomsten van het programma. Voor de kabel van de generator naar de machine wordt een kabel van 95 mm² per geleider voorgesteld. Dit is een vrij dikke kabel en zal dus ook vrij duur zijn, maar omdat we met een synchrone last werken over de drie lijndraden kan de nuldraad weggelaten worden. Hierdoor wordt er een ader uitgespaart. In de kabel zullen dus de drie lijndraden zitten en de aarding. De gekozen kabel is daarom van het type H07RN-4G95. Voor de kabels naar de motoren wordt een kabel met een doorsnede van 1,5 mm² voorgesteld. In werkelijkheid wordt dit type kabel vrijwel alleen gebruikt voor verlichtingskringen van huizen. Daarom wordt er ook geopteerd om een maat dikker te kiezen namelijk 2,5 mm². Deze doorsnede is veel voorkomend in de industrie voor relatief kleine vermogens. Dit geeft ons een kabel van het type XVB 4G2,5.



Figuur 93: Schema kabels

Tot slot wordt aan de hand van de inbouwruimte van elke component een elektriciteitskast [42] op de machine geplaatst. De kast heeft een breedte van 1 m en een hoogte van 1,3 m. De diepte van de kast bedraagt 30 cm.

4.7.2 Hydraulisch

Met uitzondering van de ventilatormotoren vragen alle actuatoren op de machine hydraulische energie. Deze componenten zijn reeds in de vorige hoofdstukken toegelicht. De hydraulische energie kan door de tractor geleverd worden. Tractoren in de benodigde vermogensklasse leveren een oliedebiet met een grootteorde van 100-200 l/min [33]. Veel hangt af van het merk, type en de optionele uitrusting van de tractor. De beschikbare oliedruk wordt op 200 bar aangehouden [33]. Door een ventielenblok te koppelen aan de tractor worden alle actuatoren bestuurd. Een tractor heeft immers te weinig ventielen om alle actuatoren rechtstreeks te koppelen. Eventueel kan de hydromotor van de bunkerband wel rechtstreeks op de tractor gekoppeld worden om het oliedebiet via de tractor te kunnen regelen. Dit vereenvoudigt het ventielenblok.

Als eerste moeten de cilinders die de kleppen van de cyclonenopbouw bedienen bestuurd worden. Belangrijk hierbij is dat eerst de bovenste schuifkleppen gesloten zijn voor de onderste kleppen opengaan. De bovenste kleppen mogen pas openen wanneer de onderste kleppen volledig gesloten zijn. Op deze manier kan de ventilator nooit lucht trekken aan de onderkant van de cycloon. Deze sturing kan gerealiseerd worden door de cilinders in functie van de tijd te bedienen.

De lediging van de insectenbunker gebeurt met twee hydraulische actuatoren. Enerzijds een hydraulische cilinder om het bunkerschot te openen. Daarnaast is er een hydromotor om de transportband te laten draaien.

Verder is een aansturing van de wielcilinders van het chassis noodzakelijk. Een automatische niveauregeling is nodig om de machine in het veld continu vlak te stellen. Daarnaast moet ook een manuele regeling voorzien worden. Hiermee zal de machine in zijn geheel verhoogd of verlaagd kunnen worden om de maximale transporthoogte van 4 m niet te overschrijden. Door met de machine over ongelijke ondergrond te rijden zullen er schokken ontstaan in het hydraulische circuit. Ter bescherming van het circuit moeten gasdrukaccumulatoren voorzien zijn.

Tot slot is er de besturing van de zuigboom. De cilinders om de zuigboom langs de machine te klappen zullen tijdens de werking van de machine niet permanent gestuurd zijn. Enkel tijdens het open- en dichtklappen van de boom zijn deze cilinders benodigd. De cilinders van het parallellogram en de cilinders tussen de boomsecties kunnen optioneel wel continu gestuurd worden om het gewasoppervlak automatisch te volgen. Op deze manier is de afstand tussen de zuigboom en het gewas minimaal en zal de zuiger het meest effectief zijn. Doordat de boom opgebouwd is uit meerdere secties zijn deze ook apart stuurbaar. Zo is ook in heuvelachtig gebied een goede gewasvolging gegarandeerd. Boomsturingssystemen kunnen aangekocht worden bij verschillende fabrikanten waaronder Norac [43]. Radarsensoren bewaken hier de hoogte tot het gewas, indien de hoogte niet met de gewenste waarde overeenstemt stuurt het Norac-systeem bij. Dit door hydraulische servoventielen aan te sturen zodat de boom in kleine stappen beweegt.

5 Besluit

Op basis van literatuuronderzoek concludeert deze studie dat kevers het best pneumatisch verwijderd worden. Bijgevolg zullen ook andere insecten meegezogen worden. Verder toont de literatuurstudie aan dat het levensstadium van de kevers een invloed heeft op het verwijderen. Larven hebben een lagere terminale snelheid dan volwassen kevers en zullen bijgevolg gemakkelijker afgezogen worden.

Metingen op een referentiemachine tonen aan dat de luchtsnelheid aan de zuigmonden grootteorde 30 m/s moet zijn om de kevers effectief af te zuigen. In combinatie met een zuigmondbreedte van drie centimeter is een luchtdebiet van 12456 m³/h nodig per drie meter werkbreedte. Om de kevers en andere partikels te filteren uit de luchtstroom moet een scheidingstechniek toegepast worden. Cycloontechnologie krijgt hier de voorkeur op filtersystemen met mazen. Dit omdat de drukval bij een cycloon constant is en de werking continu is. Filtersystemen op basis van doeken met mazen hebben een drukval afhankelijk van hun verstopping en moeten frequent gereinigd worden. Het nadeel van cyclonen is de hoogte die nodig is om een effectieve scheiding te bekomen. Door het grote luchtdebiet volstaat één cycloon-ventilatorcombinatie slechts voor anderhalve meter werkbreedte.

Het prototypeontwerp toont aan dat het afzuigen en scheiden via cyclonen implementeerbaar is op een werkbreedte van 18 m in de vorm van een getrokken landbouwmachine. Uitbreiding tot 21 m werkbreedte is ook mogelijk door een modulaire opbouw van de machine. De ontworpen machine is toegestaan op de openbare weg, onder andere door zijn maximum breedte en hoogte van respectievelijk drie en vier meter. Een onafhankelijke wielophanging zorgt voor een vlakstelling van de machine in heuvelachtig gebied. Ook de bodemvrijheid kan hiermee vergroot worden in het veld. Verder zorgt een bunker met transportband voor een buffering van de afgezogen deeltjes tijdens het afzuigen.

De boom met de zuigmonden bestaat uit secties en kan dichtgeklapt worden langs de machine. Het dichtklapmechanisme is zo ontworpen dat het ook gebruikt kan worden als intelligente hoogteregeling. Door de hoogte van de boom t.o.v. het gewas per sectie te regelen kan het afzuigen efficiënter gebeuren. Om dit te implementeren dient een boomsturingssysteem aangekocht te worden.

Aandrijving van de actuatoren gebeurt hydraulisch en elektrisch. De hydraulische energie kan rechtstreeks verzorgd worden door de tractor. De elektrische energie wordt geleverd door een PTO aangedreven generator op de fronthef van de tractor.

Voortgaand op dit machineontwerp dient de sturing nog verder uitgewerkt te worden zodat alle functionaliteiten van de machine kunnen werken. Veiligheid dient hierbij in acht genomen te worden, in het bijzonder voor het elektrische circuit. Hiertoe kan een uitgebreide veiligheidsanalyse een goede hulp zijn. Verder kan als test één cycloon-ventilatorcombinatie gebouwd worden. Door deze te koppelen aan een zuigmond van anderhalve meter breed kan de zuigkracht van de machine in het veld getest worden.

Bibliografie

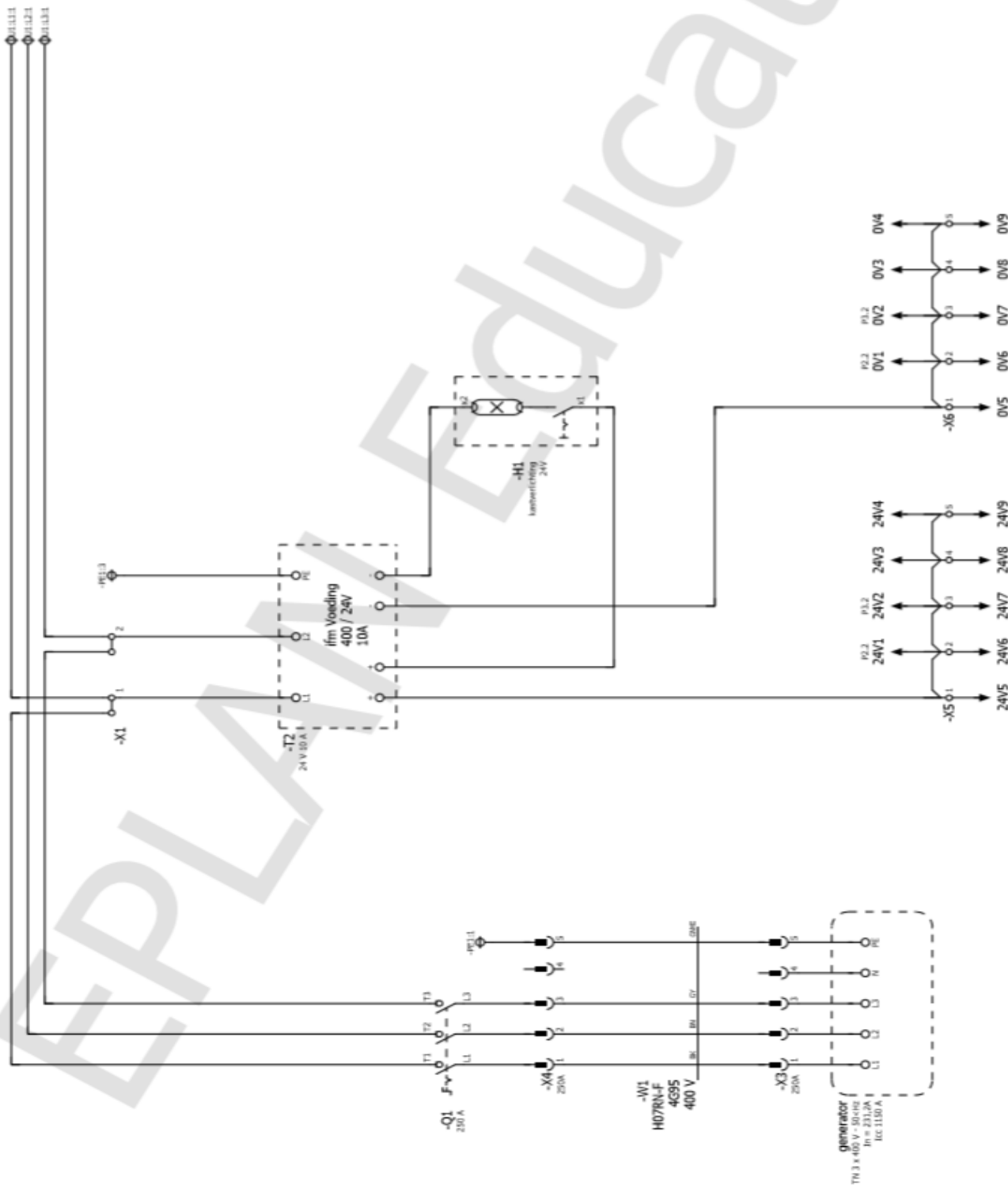
- [1] A. Maharijaya and B. Vosman, "Managing the Colorado potato beetle; the need for resistance breeding," *Euphytica*, vol. 204, no. 3, pp. 487–501, Aug. 2015.
- [2] G. W. Zehnder and J. Hough-Goldstein, "Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) Population Development and Effects on Yield of Potatoes With and Without Straw Mulch," *J. Econ. Entomol.*, vol. 83, no. 5, pp. 1982–1987, Oct. 1990.
- [3] N. M. Rifai, T. Astatkie, M. Lacko-Bartosova, and P. Otepka, "Evaluation of thermal, pneumatic and biological methods for controlling Colorado potato beetles (*Leptinotarsa decemlineata* Say)," *Potato Res.*, vol. 47, no. 1–2, pp. 1–9, Mar. 2004.
- [4] M. N. Rifai, J. Miller, J. Gadus, P. Otepka, and L. Kosik, "Comparison of infrared, flame and steam units for their use in plant protection," *Res. Agric. Eng.*, vol. 49, no. 2, pp. 65–73, 2003.
- [5] M. Khelifi, C. Laguë, and B. Lacasse, "Pneumatic Control of Insects in Plant Protection," in *Physical Control Methods in Plant Protection*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001, pp. 261–269.
- [6] C. Vincent and G. Boiteau, "Pneumatic Control of Agricultural Insect Pests," in *Physical Control Methods in Plant Protection*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001, pp. 270–281.
- [7] S. Janssen and K. Steijvers, "Interview Roger Doggen," 2019.
- [8] G. Boiteau and R. S. Vernon, "Physical Barriers for the Control of Insect Pests," in *Physical Control Methods in Plant Protection*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001, pp. 224–247.
- [9] M. Khelifi, J. L. Robert, and C. Laguë, "Modeling airflow inside and around hoods used for pneumatic control of pest insects. Part I: Development of a finite element model," *Can. Agric. Eng.*, vol. 38, no. 4, pp. 265–271, 1996.
- [10] M. Khelifi, J. L. Robert, and C. Laguë, "Modeling airflow inside and around hoods used for pneumatic control of pest insects. Part I: Development of a finite element model," *Can. Agric. Eng.*, vol. 38, no. 4, pp. 265–271, 1996.
- [11] "_Q4A6946.jpg (JPEG-afbeelding, 1772 × 1181 pixels) - Geschaald (77%)." [Online]. Available: https://f.jwwb.nl/public/z/t/l/temp-ulvjejnchazdscgxuekc/hv5bi6/_Q4A6946.jpg. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [12] K. Bashir, "(PDF) Design and fabrication of cyclone separator." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/312160127_Design_and_fabrication_of_cyclone_separator. [Accessed: 13-Apr-2020].
- [13] "Limoco - Onze oplossingen." [Online]. Available: <https://www.limoco-industries.be/onze-oplossingen>. [Accessed: 16-May-2020].
- [14] "Softwaretool Kanalenberekening." [Online]. Available: <https://kennisbank.isso.nl/docs/tool/rekentool/kanalen/softwaretool-kanalenberekening>. [Accessed: 13-Apr-2020].
- [15] "CATALOGUS ventilator MZ." [Online]. Available: <http://www.mzaspiratori.eu/zentrifugalventilatoren/mitteldruck/gf-serie>. [Accessed: 27-Mar-2020].

- [16] “Dubbelwerkende cilinder | 70x40x200 | Hydrauliek24.nl.” [Online]. Available: <https://www.hydrauliek24.nl/dubbelwerkende-cilinder-70x40x200-met-bevestiging>. [Accessed: 17-May-2020].
- [17] W. Dax, G. K., W. Häffner, H. Itschner, and G. Kotsch, *TABELLENBOEK voor METAALTECHNIEK*. 2000.
- [18] “BPW: Products that are built for efficiency in transport.” [Online]. Available: <https://www.bpw.de/en/products>. [Accessed: 17-May-2020].
- [19] “00.652.181.1 - Flansch.” [Online]. Available: https://www.scharmuller.at/de/zugoesen/flansch/00.652.181.1-32197.html?product_title=652181&search_option=type¤t_site=1&product_main_site=4728. [Accessed: 17-May-2020].
- [20] “Simol Steunpoot - STRDG7063SF | 500 mm | 290 mm | 80 x 80 mm | 225 mm - Techniekwebshop.nl.” [Online]. Available: <https://www.techniekwebshop.nl/simol-steunpoot-strdg7063sf-80-x-80-225-mm-220-mm-21-kg-276-mm.html>. [Accessed: 16-May-2020].
- [21] “Slide Gate Valve for Dry Particle Processing: Mucon | Kemutec.” [Online]. Available: <https://www.kemutecusa.com/products/mucon-valves-components/mucon-slide-gate-valves/>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [22] “Luchtsluis HT.” [Online]. Available: <https://www.vdlindustrialproducts.com/nl/producten/bulkhandling/roterendesluisen/ht>. [Accessed: 26-Apr-2020].
- [23] “Dubbelwerkende cilinder | 32x20x300 | Hydrauliek24.nl.” [Online]. Available: <https://www.hydrauliek24.nl/dubbelwerkende-cilinder-32x20x300-met-bevestiging>. [Accessed: 17-May-2020].
- [24] “Type CF / Murtfeldt - Prestaties in kunststoffen.” [Online]. Available: <https://www.mata.nl/producten/geleidingen-leibanen-en-profielen/profielen-voor-overbrenging-en-transport/type-cf/>. [Accessed: 17-May-2020].
- [25] “TU 25 TF.” [Online]. Available: [https://www.skf.com/group/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/take-up-ball-bearing-units/productid-TU 25 TF?system=metric](https://www.skf.com/group/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/take-up-ball-bearing-units/productid-TU%2025%20TF?system=metric). [Accessed: 17-May-2020].
- [26] “P.U. transportbanden | Producten | Zeeland Belting Service BV.” [Online]. Available: <https://www.zbsbv.nl/nl/producten/pu-transportbanden>. [Accessed: 17-May-2020].
- [27] H. Wittel, D. Muhs, D. Jannasch, and J. Voßiek, *Roloff/Matek machineonderdelen Tabellenboek*. .
- [28] “MOTOR DANFOSS OMR-250 SALIDAS TRASERAS EJE DE 25 Ref – 151-6196 - Danfoss.” [Online]. Available: <http://danfoss.cohimar.com/producto/motor-danfoss-omr-250-salidas-traseras-eje-de-25/>. [Accessed: 17-May-2020].
- [29] “Datenblatt_Torqmax_MCLX-F_2019_en.png (PNG-afbeelding, 2481 × 3508 pixels) - Geschaald (19%).” [Online]. Available: https://www.orbit-antriebstechnik.de/fileadmin/user_upload/orbit/Datenblaetter_englisch/Starre_Kupplungen/Datenblatt_Torqmax_MCLX-F_2019_en.png. [Accessed: 17-May-2020].
- [30] Granta, “CES EDUPACK 2019.” 2019.
- [31] B. Baeten, *Fluidummechanica*. 2017.

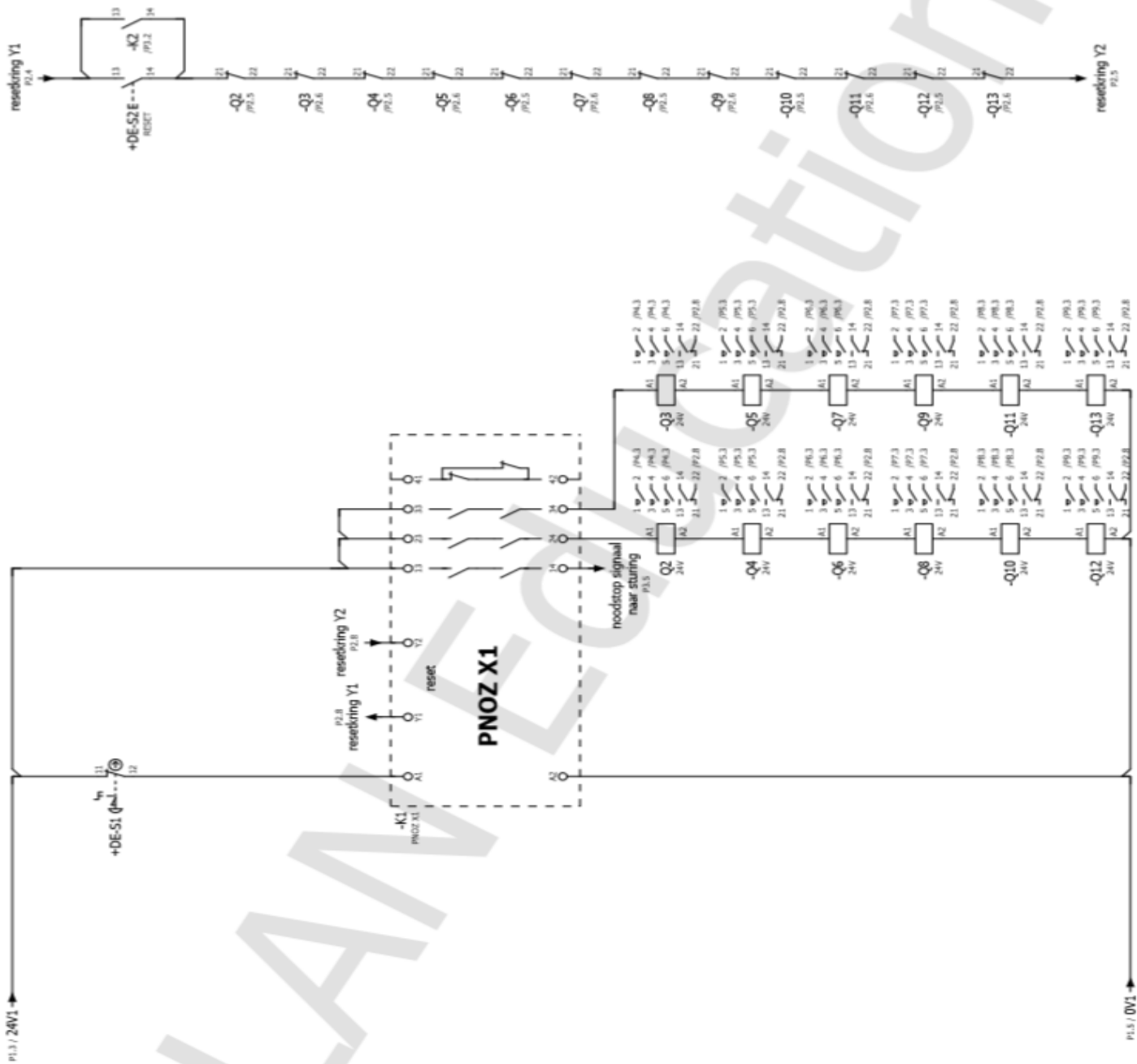
- [32] MCB, *HET MCB BOEK*, 11e druk. Valkenswaard, 2016.
- [33] "PDF - Deutz-Fahr AgroTron TTV 6190 - Deutz-Fahr - Machine Specificaties - Machine specificaties van tweedehands en gebruikte machines - Werktuigen.be." [Online]. Available: <https://www.werktuigen.be/machine-specificaties/viewpdf/L3VzZXJmaWxlcy9maWxlL1BERi83MTU3L0RldXR6IFNlcmllNIRUVi90TCSwZGY=.pdf/95594/>. [Accessed: 14-May-2020].
- [34] "Three-Phase Motors - TN Series - MT." [Online]. Available: <https://www.electricmotorsmt.com/en/products/electric-motors/three-phase-motors/tn.aspx?idC=61688&LN=en-US>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [35] "Serie NSGL | Schneeberger Generatoren GmbH." [Online]. Available: https://schneeberger.at/serie_nsgl. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [36] "b-ISOBUS CAN Gateway." [Online]. Available: <https://www.b-plus.com/en/products/isobus-solutions/b-isobus-can-gateway>. [Accessed: 25-May-2020].
- [37] "iMonitor3 - DEUTZ-FAHR." [Online]. Available: <https://www.deutz-fahr.com/de-de/produkte/connected-farming-systems/imonitor3>. [Accessed: 25-May-2020].
- [38] "MOVITRAC® LTP B standard inverter in IP55/NEMA 12k | SEW-EURODRIVE." [Online]. Available: https://www.sew-eurodrive.be/products/inverter_technology/wall_mounting/standard_inverters_movitrac_ltp-b_in_ip55/standard_inverters_movitrac_ltp-b_in_ip55.html. [Accessed: 23-May-2020].
- [39] M. Nadlinger, "Notstromversorgung in der landwirtschaft," 2015.
- [40] "LC1D32BD - contactor 32 A AC-3 - 3 polen 1 NO 1 NC - 24 V DC | Schneider Electric Belgium." [Online]. Available: <https://www.se.com/be/nl/product/LC1D32BD/contactor-32-a-ac-3---3-polen-1-no-1-nc---24-v-dc/?range=664-tesys-d>. [Accessed: 25-May-2020].
- [41] "Siemens Data sheet 6EP1334-3BA10."
- [42] "Compact enclosures AE Stainless steel - 1019.600." [Online]. Available: <https://www.rittal.com/il-en/product/show/variantdetail.action?productID=1019600>. [Accessed: 24-May-2020].
- [43] "Products - NORAC Systems - Topcon Agriculture." [Online]. Available: <http://www.norac.ca/products/>. [Accessed: 14-May-2020].

Bijlagen

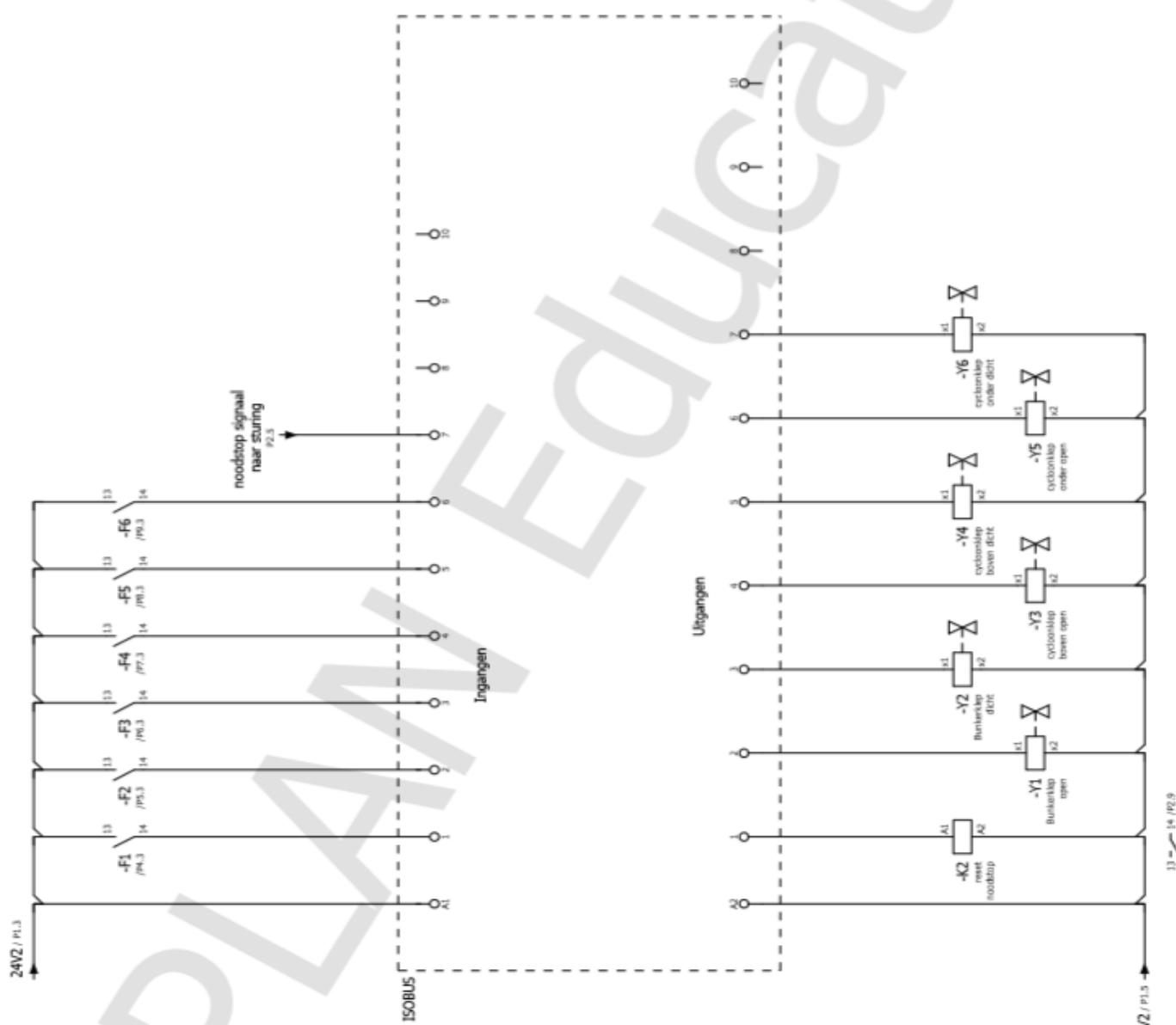
Bijlage 1: Elektrisch schema.....88



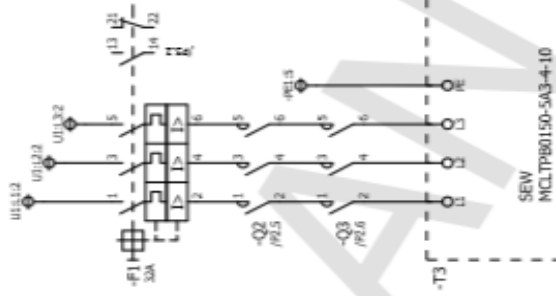
W11979	Titels	Naam	Ontsp.	Locoer	Bev.	25-3-2020	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	inkomende voeding	ITC_0050	P1	Reel
	Versaving van		Versaving door				Projectsjabloon met coderingsstructuur volgens IEC-norm				P2	Reel



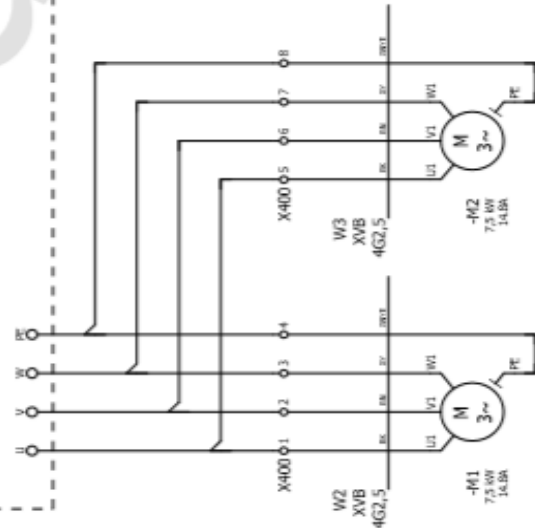
Wijziging	Datum	Nam	Projectjabloon met coderingsstructuur volgens IEC-norm Verwijzen aan	EDLAN EDLAN Software & Service GmbH & Co. KG	noodstop	IEC_0001	-	+	P1	P2
	15-3-2020	1978								



P2		EPLAN		ISOBUS-systeem	
Datum: 25-5-2020		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Projectjabloon met coderingsstructuur volgens IEC-norm	
Tijds: 5:28		Verwijzing aan:		Verwijzing door:	
Gegeve:		Naam:		IEC_norm	
Ontpr:		Naam:		Blad	
				Blad	
				P3	
				P4	



SEW
MCLTP60150-5A3-4-10
Frequency Inverter MCVTRAC® LTP-B / IP55/ NEMA-12K housing / 15kW; 3x380-480V; 30A



Wijziging		Datum	Naam	Oorspr.	Geoorf.	Bev.	Datum

EPLAN
 Projectsjabloon met coderingsstructuur volgens IEC-norm
 Versiogram zien

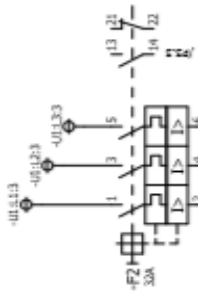
EPLAN Software & Service
 GmbH & Co. KG

drive 1

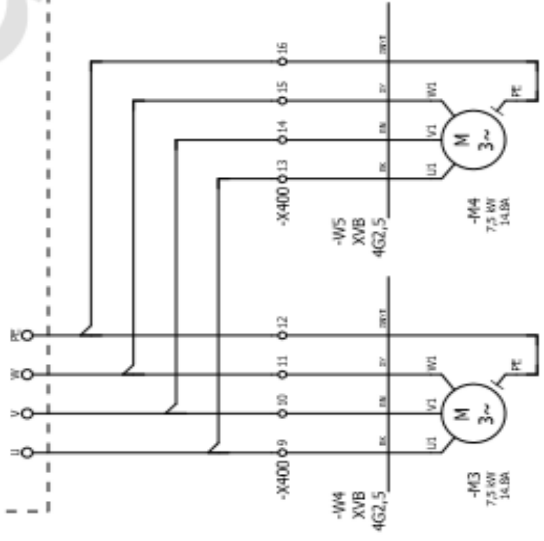
IEC_10001

PS

		-	+
Blad	Blad		
9	10		

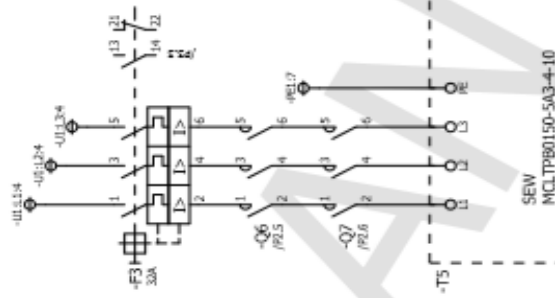


SEW
MCLTP80150-5A3-4-10
Frequency Inverter MOVITRAC® LTP-B / IP55/NEMA-12K housing / 15kW; 3x380-480V; 30A



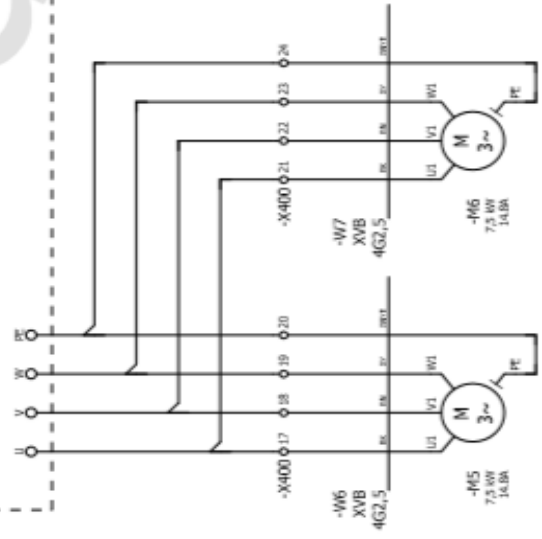
EPLAN Education

Datum		25-5-2020	EPLAN	EPLAN Software & Service		drive 2	PG
Rev.		001		GmbH & Co. KG			
Gecebr			Projektsjabloon met coderingsstructuur volgens IEC-norm				
Oceger			Verwijzing van				
Naam			Verwijzing naar				
Wijziging				IEC_p001			
P5							
P6							

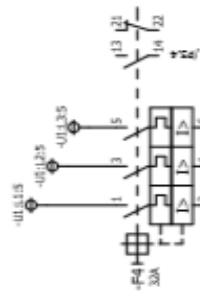


SEW
MCLTP80150-5A3-4-10

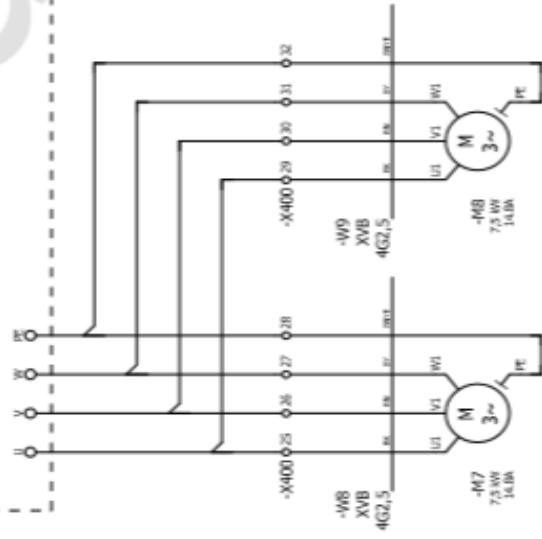
Frequency Inverter MOVTRAC® LTP-B / IP55/NEMA-12K housing / 15kW; 3x380-480V; 30A



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
EPLAN Education									
P5									
EPLAN									
Datum: 25-5-2020									
Blz.: SWEN									
Geogr.:									
Ontgr.:									
Naam:									
Verwijzing van:									
Verwijzing naar:									
IEC_1001									
drive 3									
EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG									
P7									

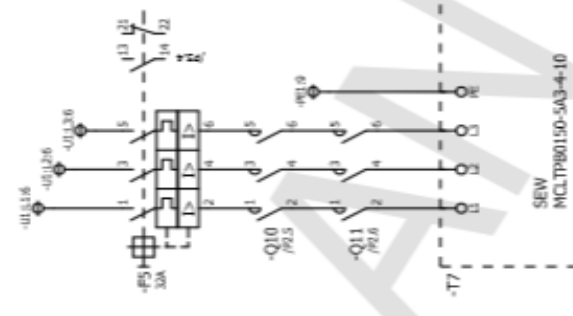


SEW
MCLTP80150-5A3-4-10
Frequency Inverter NOVTRAC® LTP-B / IP55/NEEMA-12K Housing / 15kW; 3x380-480V; 30A

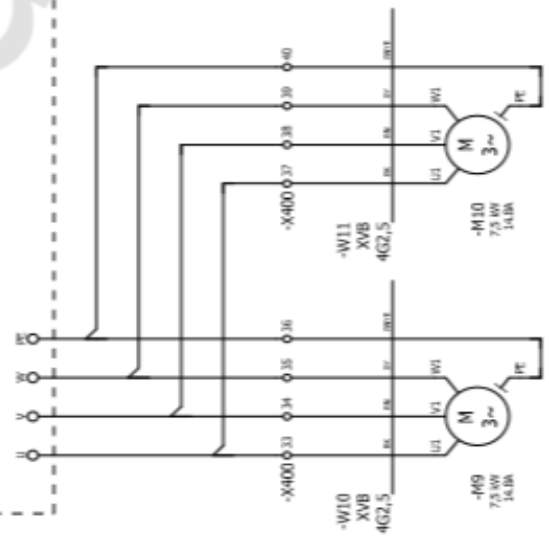


EPLAN Education

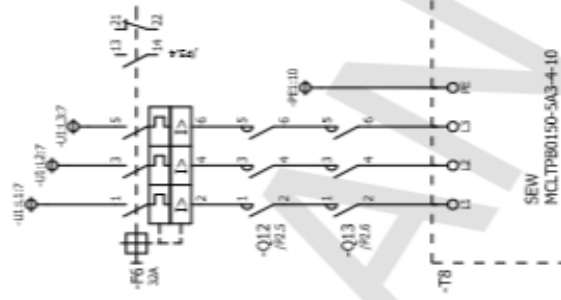
EPLAN		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		drive 4		P6	
Datum	25-5-2020						
Ben.	SWN						
Gecekt						IC_1001	
Ontpr.						P7	
Naam						P8	
Bestand							
Revisie							
Verrijkt door							
Verrijkt door							



SEW
MCLTP80150-5A3-4-10
Frequency Inverter MOVTRAC® LTP-B / IP55/NEMA-12K housing / 15kW; 3x180-480V; 30A

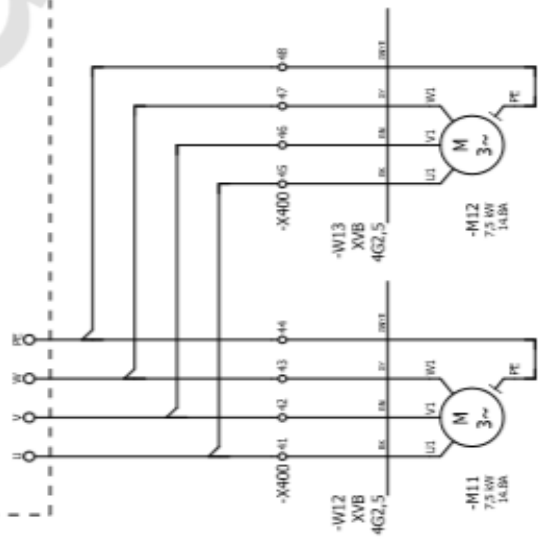


Wijziging	Datum	Naam	Ontwerp	Gecorr.	Bev.	Bev.	Bev.
EPLAN				EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG			
25-5-2020				drive 5			
SWN							
Projectjabloon met coderingsstructuur volgens IEC-norm							
Verwijzing van				Verwijzing naar			
p7				p9			



SEW
MCLTP80150-5A3-4-10

Frequency Inverter MOVTRAC® LTP-B / IP55/NEMA-12K housing / 15kW; 3x380-480V; 30A



EPLAN Education

Wijziging	Datum	Naam	Omschr.	Gecorr.	Scha.	Datum	25-5-2020	EPLAN	Projectjabloon met coderingsstructuur volgens IEC-norm Verwijzing van	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	drive 6	=	+	IEC_1801	Blad	van	9
																Blad	