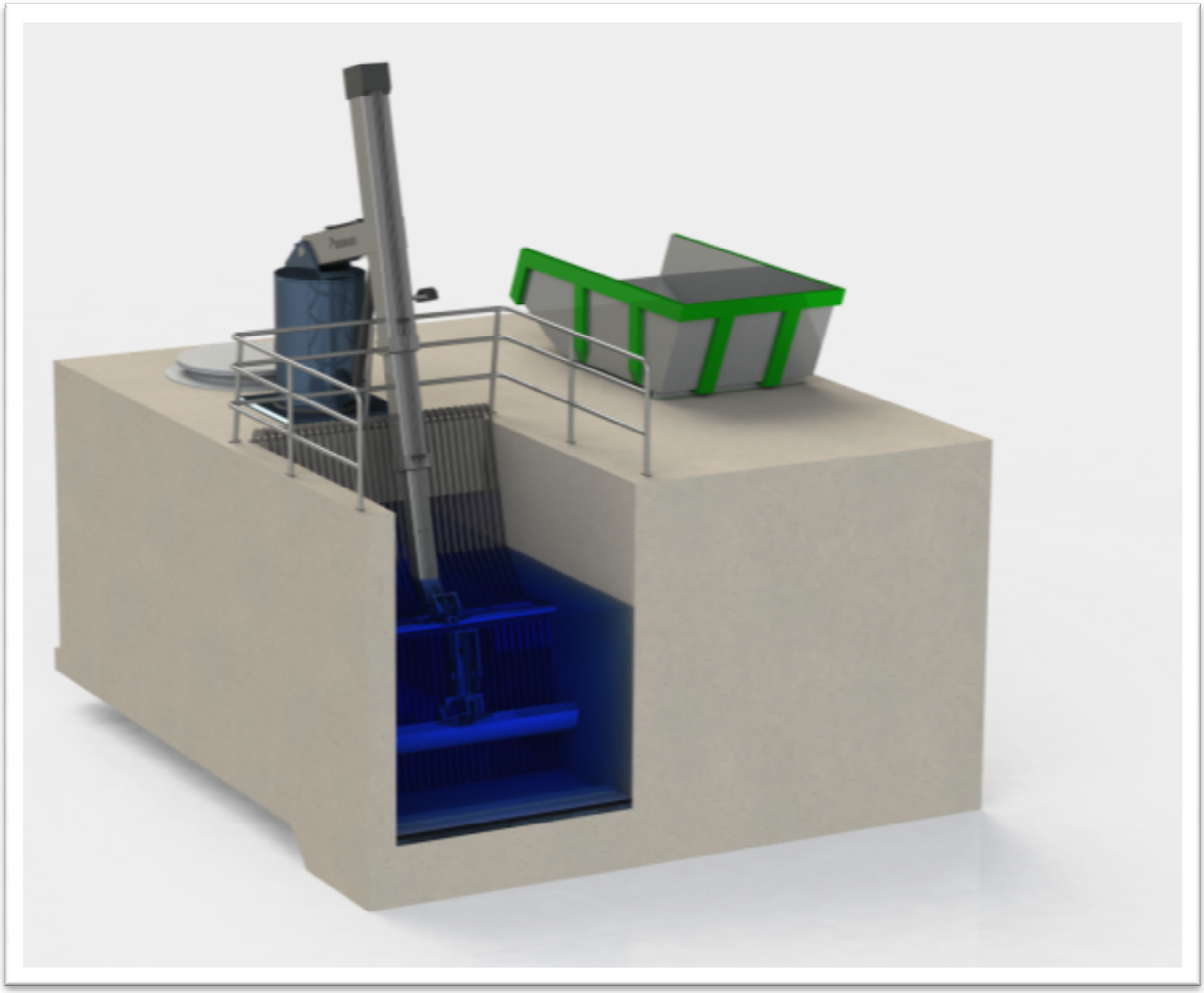
Afstudeerscriptie

Bijlagen

Uitgevoerd bij DESMAN



Erwin Hofland, Alphen aan de Rijn
19 december 2011

INHOUDSOPGAVE

I. MATERIAAL ONDERZOEK 4

I.1.1 Staal 4

I.1.2 Roestvast staal 5

I.1.3 Aluminium 6

I.1.4 Koperlegeringen 7

I.1.5 Rubbers / kunststoffen 8

II. STERKTEBEREKENINGEN FRAME 9

II.1 BEPALING DRAAIKRANSLAGER 10

II.2 BEPALING ELEKTROMOTOR EN REDUCTOR. 12

II.3 STERKTEBEREKENING CILINDERAS EN OOR 14

II.4 STERKTEBEREKENING SCHARNIER AS 16

II.4.1 Bepaling lager 18

II.5 BEVESTIGING BODEMPLAAT 19

II.6 LASVERBINDINGEN 20

III. STERKTEBEREKENINGEN MAST 22

III.1 BELASTINGEN EN BELASTINGGEVALLEN VOLGENS NEN 2018 22

III.2 DOORBUIGING VAN DE MAST. 24

III.2.1 Sectie A 26

III.2.2 Sectie B 30

III.2.3 Sectie C 33

III.2.4 Totale doorbuiging 35

III.3 BUIGSPANNING IN DE KOKERS VAN DE MAST 36

III.3.1 Buigspanning sectie A 36

III.3.2 Buigspanning sectie B 37

III.3.3 Buigspanning sectie C 38

III.4 BELASTINGEN T.G.V TRAAGHEIDSKRACHTEN UIT MASTBEWEGINGEN 39

III.4.1 De zwenkbeweging 40

III.4.2 De topbeweging 43

III.5 BELASTINGEN T.G.V WEERSINVLOEDEN 44

III.6 BELASTINGEN T.G.V HET BEDRIJFSKARAKTER 45

III.7 BELASTING EN WRIJVING OP DE GELEIDINGSBLOKKEN 46

III.7.1 Voorgedeelte 47

III.7.2 Achtergedeelte ... 48
III.8 STERKTEBEREKENING MONTAGEPLAAT TELESCOOPCILINDER ... 49
III.9 STERKTEBEREKENING FRAME CILINDER ... 51
III.10 BEPALING BELASTING IN VERTICALE KOKER ... 53
III.11 TELESCOOPCILINDER ... 55
IV. STERKTEBEREKENINGEN HARK ... 56
IV.1 BEPALING KANTELCILINER ... 56
IV.2 SCHARNIERPUNT HARK ... 57
V. GEGEVENS KROOSHEKREINIGER ... 58
VI. MACHINERICHTLIJN ... 59
VI.1 GEGEVENS MACHINE ... 59
VI.2 BEPALING MACHINE GROEP ... 59
VI.3 BEPALING BEGRENZING MACHINE ... 60
VI.4 FUNDAMENTELE VEILIGHEIDS- EN GEZONDHEIDSEISEN ... 61
VI.4.1 Alle machines ... 61
VI.4.2 Hijs- en hefinrichtingen ... 67

I. MATERIAAL ONDERZOEK

In deze bijlage wordt onderzoek gedaan naar mogelijk te gebruiken materialen bij het ontwerp van de krooshekreiniger.

I.1.1 Staal

Staal is de verzamelnaam voor ijzerlegeringen die warm vervormd kunnen worden. Staal kan in grote lijnen onderverdeeld worden in gelegeerd en ongelegeerd staal. Door het toevoegen van legeringselementen en doormiddel van warmtebehandeling kunnen speciale eigenschappen worden verkregen, zoals slijtvastheid, hardheid en taaiheid.

Over het algemeen is een niet of laag gelegeerd materiaal zacht. Een hoog gelegeerd kan abrasief (vrij zacht en relatief elastisch) of hard zijn. Des te harder het materiaal, hoe moeilijker de bewerking. Ongelegeerd staal is het meest gebruikte staal ter wereld, het is relatief sterk en goed bewerkbaar, maar is niet corrosie bestendig. Er zijn verschillende manieren om doormiddel van een coating, aantasting door corrosie tegen te gaan. Dit is in veel gevallen een gemakkelijke en redelijk goedkope oplossing, maar maakt het staal nog niet perfect. Een beschadiging in deze coating kan al snel leiden tot grote corrosie vorming.

Galvaniseren / elektrolytisch verzinkt staal

Galvaniseren is een methode om een product te bedekken met een laagje metaal, hierbij wordt gebruik gemaakt van elektriciteit. Wanneer er op deze manier zink wordt aangebracht wordt er van elektrolytisch verzinken gesproken. Bij elektrolytisch verzinken wordt de zinklaag vanuit een waterige oplossing van zink langs elektrolytische weg[1] neergeslagen. De laag is egaal en glad. De laagdikte wordt bepaald door de stroomdichtheid + tijdsduur in het zinkbad. De laagdikte is bij deze manier van verzinken verschillend, op bepaalde plaatsen (buitenzijde / uitstekende delen) is de laag dikker, dit omdat stroom de weg van de minste weerstand zoekt. Na het verzinken wordt de laag gepassiveerd, dit is een dun zinkoxidelaagje bovenop de zinklaag. Deze laag kan in verschillende standaard kleuren (blauw, geel, groen en zwart) worden aangebracht.

Thermisch verzinkt staal

Het verzinken van staal is een materiaalkundig proces waarbij een beschermlaag wordt aangebracht welke er voor zorgt dat staal beschermd wordt tegen corrosie. De beschermlaag wordt aangebracht door het product in een heet zinkbad (ca 450°C) te dompelen. Tijdens het proces ontstaat er een legering tussen het staal en zink, met daaromheen vaak nog een laagje puur zink. De laagdikte wordt bepaald door de dikte van het uitgangsmateriaal (hoe dikker het materiaal, hoe dikker de laag) De laagdikten bedragen minimaal ca. 60 *[µm]* en kunnen soms oplopen tot wel 200 *[µm]*. Als het product uit het bad wordt gehaald stolt de zinklaag. Wanneer deze laag wordt doorbroken door een beschadiging, dan treed het zink op als offeranode zodat het staal door het zink beschermd wordt. Langs randen en punten, waar producten extra gevoelig zijn voor corrosie, is de zinklaag dikker vanwege het gedrag van de vloeistof. De legeringslagen zijn bros en star, waardoor verzinkt staal niet meer vervormbaar is, omdat de zinklaag zijn beschermende werking dan niet blijft behouden. Dun plaatmateriaal (< 5 *mm*) is niet geschikt om te verzinken, ook moeten producten vaak nabewerkt worden.

De zinklaag van een thermisch verzinkt product is minder glanzend dan bij elektrolytisch verzinken en na een aantal dagen wordt dit mat-grijs. Veelal worden bevestigingsmaterialen zoals bouten en moeren verzonken.

[1] Stroom door product en vloeistof

Gescopeerd staal
Scoperen wordt ook wel vlamverzinken of vuurverzinken genoemd. Bij dit proces wordt een zink/aluminium draad in een vlam gesmolten, het dan vloeibare metaal wordt neergeslagen op het te behandelen product en hecht zich daarop als een soort schilfers. De zink/aluminium oxidelaag heeft een zeer grote dichtheid en sluit dan ook het gehele oppervlak volledig af. Hierdoor wordt een zeer effectieve bescherming tegen corrosie verkregen. Evenals thermisch verzinken hersteld de laag zich bij een kleine beschadiging door het spanningsverschil tussen de lagen. Het grote nadeel van scoperen is echter dat een behandeld stuk staal vrijwel niet meet te lassen is ook niet nadat de gescopeerde laag is weggeslepen. Het beste is te scoperen direct na het stralen van het materiaal omdat deze behandeling alleen uitgevoerd kan worden op perfect blank materiaal.

Gepoedercoat staal
Poedercoaten is naast verzinken ook een vorm om metaal te beschermen tegen corrosie. In tegenstelling tot verzinken, is het bij poedercoaten mogelijk elke gewenste Ral kleur aan te brengen. Tijdens het poedercoat proces worden zeer kleine polyester poederdeeltjes (+/- 30 µm) beschoten met negatief geladen ionen, hierdoor krijgt het poeder zelf een negatieve lading. Wanneer het product vervolgens geaard wordt, ontstaat er een magnetisch veld waarbij de negatief geladen deeltje worden aangetrokken en ontstaat er een dekkingslaag op het product van polyesterpoeder. Door het product vervolgens te verwarmen hecht de poederlaag zich op het oppervlak en ontstaat er een homogene laag. Poedercoatings zijn goed dekkend, slijt, slag en stoot-vast en daardoor beter bestand tegen beschadigingen dan natlak. Beschadigingen in de laag zijn echter niet zelf herstellend zoals bij verzinkt staal. Het is ook mogelijk om staal te verzinken en het vervolgens te poedercoaten zodat een zeer effectieve bescherming wordt verkregen, dit is echter een zeer kostbaar proces.

Natgelakt staal
Natlakken is het onder gecontroleerde omstandigheden aanbrengen van vloeibare verf door spuiten of lakken. Dit kan volgens verschillende voorschriften en in meerdere of verschillende lagen, dit kan in combinatie met thermisch verzinken en in elke Ral kleur worden aangebracht. Het staal moet van te voren eerst bewerkt worden, dit kan door schuren of stralen. Bij stralen wordt met geregelde druk grit op een metalen product gespoten met als doel vervuiling, toplagen of walshuid weg te halen. De standaard manier om op staal een natlak aan te brengen is in eerste instantie het oppervlak te bewerken, daarna een primer aan te brengen waarop vervolgens de gewenste Ral kleur wordt aangebracht.

I.1.2 Roestvast staal

Roestvast staal is een legering van hoofdzakelijk ijzer, chroom, nikkel en koolstof. Om van roestvast staal te kunnen spreken in minimaal 10,5% chroom en maximaal 1,2% koolstof nodig. Verder kunnen verschillende elementen zoals: molybdeen, titanium, mangaan, stikstof en silicium worden toegevoegd om de gewenste materiaaleigenschappen te verkrijgen.
Wanneer chroom met zuurstof in aanraking komt, vormt het een onzichtbaar laagje dichroomtrioxide. Dit laagje beschermt het onderliggende metaal tegen verdere corrosie vorming. De hoeveelheid koolstof bepaalt de hardheid van het staal, hoe meer koolstof des te harder het staal, dit is dan ook een moeilijker te bewerken.

Roestvaste staalsoorten zijn zeer gevoelig voor Chloor. Zwembadwater, bleekwater, zoutzuur en ijzertrichloride zijn zeer agressief op staal. Bij roestvast staal moet er op gelet worden dat er mede door deze factoren put corrosie op kan treden. Door de aantasting wordt de beschermde laag chroomoxide aangetast, er ontstaat aan het begin een ondiep putje waarin steeds meer ionen van het agressieve materiaal in komen. Deze putjes worden vervolgens steeds dieper en verzwakken het

materiaal. De elasticiteitsmodules van roestvast staal is lager dan gewoon staal, 195 *[GPa]* om 210 *[Gpa]*. De voordelen van roestvast staal zijn:

Corrosieweerstand : De meest voor de hand liggende eigenschap is de corrosieweerstand. De hoger gelegeerde typen roestvast staal kunnen ook in veel zure en basische milieus een lange levensduur halen.
Hittebestendigheid : Legeringen met een hoog gehalte aan chroom kunnen bij hoge temperaturen hun sterkte behouden.
Uiterlijk : Roestvast staal geeft visueel een mooie, degelijke en moderne uitstraling.
Verwerkbaarheid Met de moderne bewerkingstechnieken kan met roestvast staal goed geconstrueerd worden.
Bestendigheid : De austenitische structuur maakt roestvaststaal goed bestand tegen grote temperatuur verschillen, van heet tot temperaturen onder het vriespunt.
Waarde behoud : Bezien in een Life Cycle Cost benadering is roestvast staal een prijstechnisch goede optie.

De nadelen zijn:

Vervormbaarheid : Bij vervormen kan het niet-magnetisme verloren gaan, bij koud vervormen verminderd de zeer goede corrosie weerstand ook iets.
Uitzettingscoëfficient : Heeft een grotere uitzettingscoëfficiënt bij opwarming dan staal.
Warmte geleiding : Roestvast stalen soorten zijn slechte warmte geleiders.
Elektrische geleiding : Roestvast stalen soorten zijn slechte elektrische geleiders.

De meest gebruikte en ook de bekendste roestvaste staalsoorten behoren tot de groep: austenitische roestvaste soorten. Deze roestvaste staalsoorten behoren in de AISI-indeling tot de 300 serie met als bekende voorbeelden: AISI 304 en 316. In AISI 316 zit 2-3% molybdeen, dit materiaal zorgt ervoor dat deze roestvast stalen soort beter bestendig is in een agressieve omgeving tegen spleet, spanning en put corrosie. Dit is echter wel een duurder soort. Roestvast staal 316L (low carbon) heeft een laag koolstof gehalte zodat deze soort makkelijker te lassen is en de corrosie gevoeligheid na het lassen te beperken. Een andere manier om dit staalsoort lasbaarder te maken is door de toevoeging van titaan, 316Ti, dit is echter weer een duurdere materiaalsoort.

I.1.3 Aluminium

Aluminium wordt gewonnen uit bauxiet, bij een temperatuur van 950°C wordt met behulp van elektriciteit zuiver aluminium verkregen. Voor het produceren van aluminium is veel energie nodig waardoor het materiaal relatief duur is. Wanneer het materiaal hergebruikt wordt door recycling is er maar weinig energie nodig en vallen de productie kosten lager uit. Aluminium wordt vaak gekozen omdat het materiaal een relatief laag gewicht heeft met een hoge sterkte. Maar ook de vervormbaarheid, lasbaarheid en de corrosieweerstand van aluminium zijn voordelen van dit materiaal. Door legeringen toe te passen kan de sterkte van aluminium ook verbeterd worden. Verdere voordelen van aluminium zijn: Onbehandeld ziet het er mooi uit, het kan goed worden geëxtrudeerd en aluminium is 100% recyclebaar, dus duurzaam.

Met aluminium-zink-mangaan legeringen met toevoeging van koper wordt de hoogste treksterkte van alle verschillende legeringen behaald, 520 Mpa. In de machine bouw wordt de legering met koper en magnesium veel toegepast, deze legering resulteert in een hoge sterkte, een redelijke vervormbaarheid, een matige corrosie weerstand en met een slechtere lasbaarheid. De corrosie weerstand wordt bij deze legeringen vaak verbeterd door het materiaal na te behandelen.

Geanodiseerd aluminium
Op aluminium vormt zich van nature een beschermende oxidelaag, welke het materiaal beschermd tegen weersinvloeden. De corrosie weerstand kan echter aanzienlijk verbeterd worden door het materaal te anodiseren. Anodiseren is een methode om een oxidelaag kunstmatig aan te brengen, door het product te dompelen in een aantal baden ontstaat een betere oxide laag met betere eigenschappen dan de natuurlijke laag. In het eerste bad wordt de natuurlijke oxide laag van het aluminium verwijderd, hierbij wordt ook vet en vuil van het product verwijderd. Vervolgens wordt het eigenlijke proces van elektrisch oxideren uitgevoerd, bij dit proces komt zuurstof vrij welke zal reageren met het aluminium waardoor zich een oxide laag vormt welke 400 tot 500 keer dikker is dan een natuurlijke oxide laag.
Hydratiesealing wordt vervolgens toegepast om de coating hard te maken, door het zwavelzuur in het bad ontstaan poriën in het product welke met behulp van demiwater of stoom gesloten worden. Bij deze stap ontstaat de kristallijnen structuur in de oxidelaag welke het materiaal zeer hard maakt. Deze laag is echter erg bros en is dus niet bestand tegen deuken, buigen en overige vervormings technieken.

Gepoedercoat aluminium
Ook aluminium kan gepoedercoat worden, deze behandeling is eender aan die van staal, zie hiervoor paragraaf 2.2.1. Verder kan aluminium met tal van mogelijkheden oppervlakte behandeld worden, zoals: natlakken, vernikkelen, verchromen etc.

I.1.4 Koperlegeringen

Koperlegeringen worden hoofdzakelijk onderscheiden in kopertinlegeringen (Brons) en koperzinklegeringen (messing). Behalve tin en zink worden onder andere ook lood, aluminium nikkel en mangaan als legeringselementen toegepast.

Brons
Deze kopertin legeringen hebben een tin-gehalte van 3% tot 7,5%. Bronzen voorwerpen worden meestal gegoten, zodat naadvorming wordt voorkomen. Het materiaal is door de toevoeging van tin harder en minder buigzaam dan koper, heeft het een hoge soortelijke massa en het heeft ook een mindere buigsterkte. Door de hardheid van het materiaal slijt het minder snel en is het daarom een geschikt geleidings materiaal. Verder is brons taai en corrosie bestendig en is het goed te bewerken. Veel gebruikte bronssoorten zijn gierbrons (RG7) en gietbrons 12 (CuSn12). Gietbrons 7 is de meestgebruikte prijsgunstigste bestaande legering, door de goede loopeigenschappen wordt het materiaal veelal gebruikt als glijlager. Gietbrons 12 kan in vergelijking met het gietbrons 7 zwaarder worden belast, het materiaal heeft een zeer goede slijtvastheid en is corrosie en zeewaterbestendig. Daarnaast beschikt het over goede loopeigenschappen bij hoge snelheden.

Aluminiumbrons
Aluminiumbrons (CuAl10Ni) is een zeer harde en slijtvaste bronslegering. Het materiaal is bestand tegen zuren en zeewater. Door de eigenschappen is het materiaal zeer geschikt voor toepassingen in de hydrauliek.

Messing
Deze koperzinklegering is een waardevol materiaal, vanwege zijn hardheid en goede zelfsmerende eigenschappen. Messing is uitstekend verspaanbaar en kan met nauwe toleranties worden geproduceerd. Messing wordt ook vaak in de hydrauliek gebruikt als slijtage deel welke makkelijk te vervangen is. Er zijn drie soorten messing te onderscheiden:

Alfamessing : Bevat minder dan 40% zink, is flexibel en koud te smeden.
Bétamessing : Met naar verhouding meer zink en kan alleen heet gesmeed worden.
Wit messing : Met meer dan 45% zink, dit materiaal is te bros om algemeen bruikbaar te zijn.

I.1.5 Rubbers / kunststoffen

Rubber wordt veelal gebruikt als afdichtingsmateriaal en kunststoffen kunnen gebruikt worden als glijmateriaal. Verschillende veelgebruikte soorten worden behandeld.

Polyamide
Polyamide (Nylon) is een vochtopnemend materiaal waardoor de maatvastheid niet gewaarborgd is. Het materiaal heeft een hoge slagsterkte en taaiheid en werkt trillingsdempend. Het is een uitstekend materiaal voor mechanische onderdelen die bij verhoogde temperatuur belast worden en tevens in contact komen met olie of oplosmiddel. Het materiaal is goed verspaanbaar, tijdens het bewerken ontstaat een langspanige krul.

Polyacetaal
Polyacetaal (POM), een kunststof heeft naast goede mechanische eigenschappen (hoge sterkte, stijfheid en hardheid) een lage wrijvingscoëfficiënt. Verdere positieve eigenschappen zijn: Uitstekende verspaanbaarheid, zeer hoge maatvastheid, goede glijeigenschappen en een goede slijtageweerstand. Dit alles maakt het materiaal zeer geschikt als geleidingsmateriaal.

Polytetrafluoretheen
Polytetrafluoretheen (PTFE) is de meest toegepaste pakkinggrondstof. Deze kunststof is zeer goed bestand tegen zuren, logen, gassen en oplosmiddelen. De wrijving tussen PTFE en andere stoffen is gering. Het is een uitstekend impregneer materiaal voor afdichtingen en stopbuspakkingen. Buiten de afdicht eigenschappen heeft het materiaal ook veel voordelen, eigenschappen als de zeer lage wrijvingscoëfficiënt, mechanische sterkte en de hoge slijtvastheid zijn hier voorbeelden van.

Polyetheen
Polyetheen (PE) Deze thermoplast heeft een goede chemische bestendigheid en elektrische isolatie. Doordat dit materiaal op vele manieren verwerkbaar is en de kostprijs laag is, wordt het wereldwijd veel toegepast. Andere voordelen van dit materiaal zijn: Taai en slagvast, vettig, vochtafstotend, resistent tegen zonlicht en weersinvloeden en inzetbaar bij een temperatuur van -50°C tot +95°C.

Natuurrubber
Natuurrubber (NR) wordt voornamelijk toegepast vanwege zijn grote sterkte, taaiheid en elasticiteit. De bestandheid tegen vloeistoffen is beperkt met uitzondering van water. De toelaatbare bedrijfstemperatuur varieert van -60 tot 80°C.

Acrylnitrilbutadrieënrubber
Acrylnitrilbutadiëenrubber (NBR) is het meest toepasbare synthetische rubber met een goede bestandheid tegen water, olie en vele andere vloeistoffen. De toelaatbare bedrijfstemperatuur varieert van -30 tot 100°C.

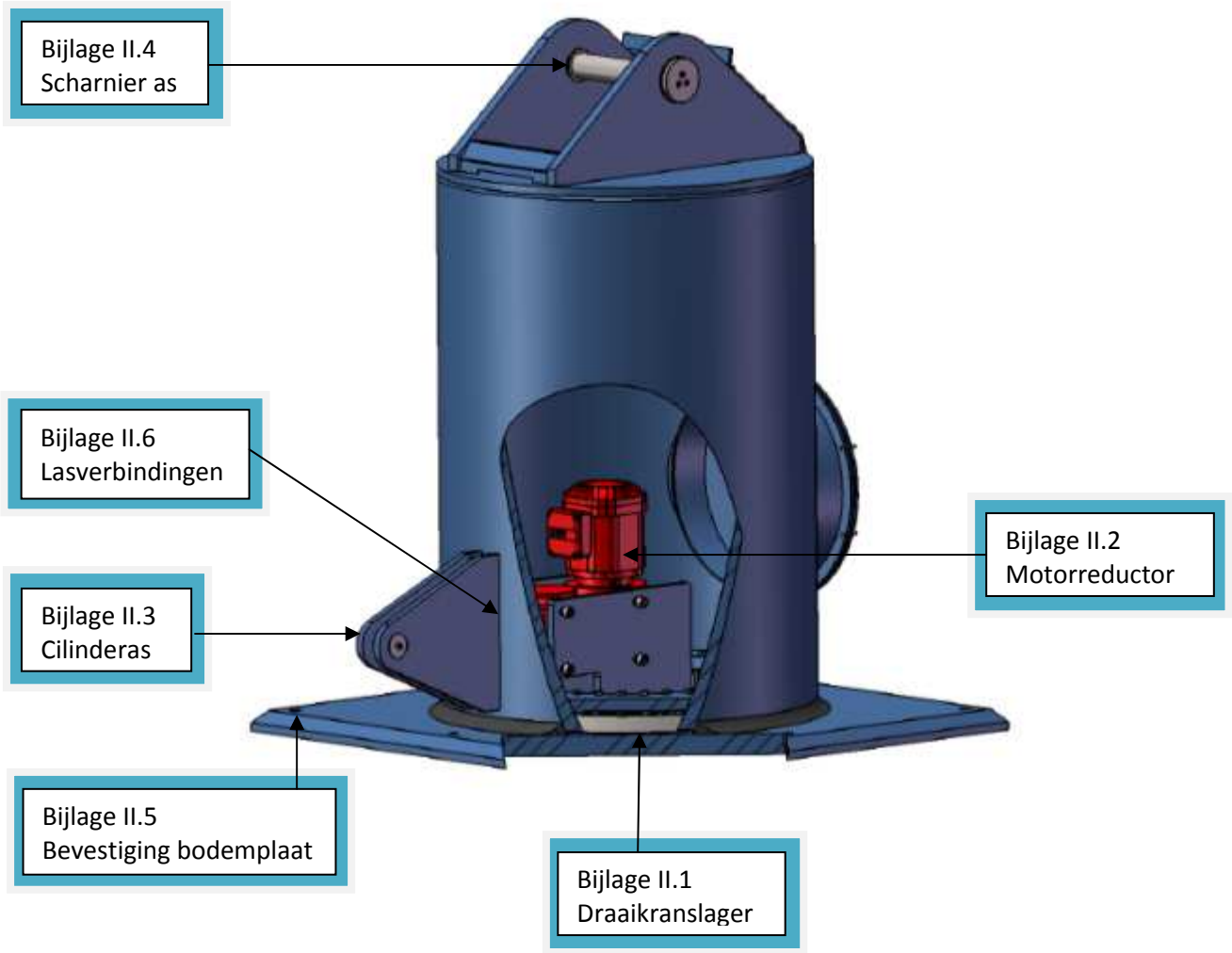
II. STERKTEBEREKENINGEN FRAME

Op het frame van de krooshekreiniger (figuur II.1) komen diverse belastingen te staan. In deze bijlage wordt het frame op diverse punten doorgerekend.

Het frame wordt op de volgende punten berekend:

- Bepaling draaikranslager;
- Bepaling elektromotor en motorreductor;
- Sterkteberekening cilinderas en oor;
- Sterkteberekening scharnier as en bepaling lager;
- Sterkteberekening bodemplaat en montage bouten;
- Lasberekening frame.

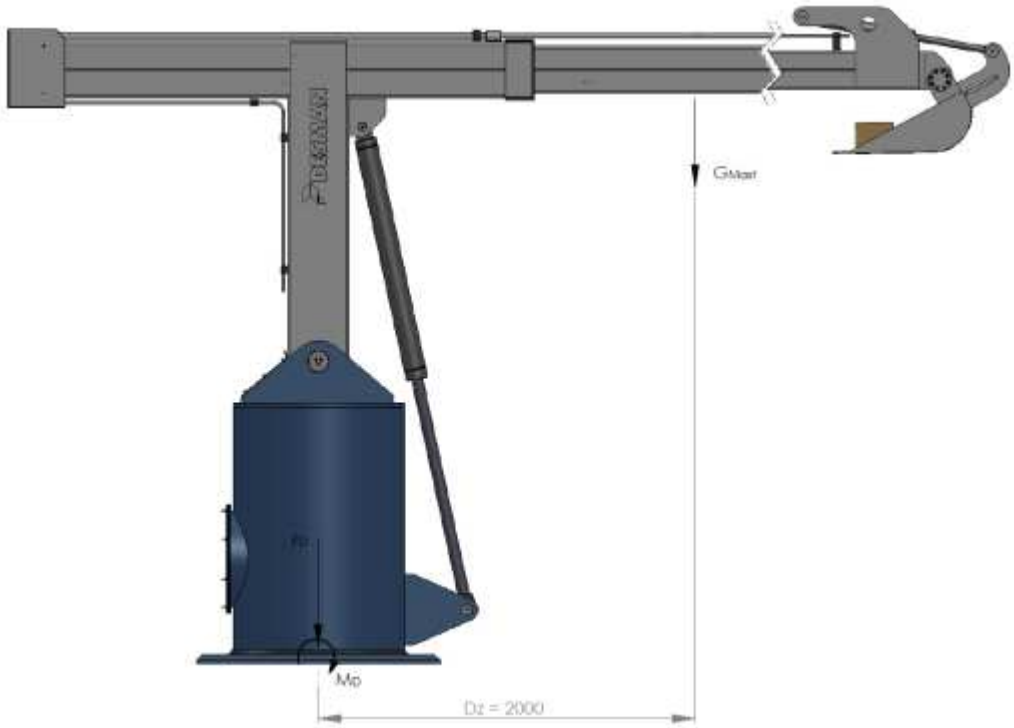
Bij de berekeningen wijken de eenheden van de grootheden af van het SI-éénheden stelsel, dit zodat duidelijke uitkomsten worden verkregen.



Figuur II.1; Frame krooshekreiniger

II.1 BEPALING DRAAIKRANSLAGER

Het draaikranslager bevindt zich onderin het frame (figuur II.2) en wordt belast door de axiale kracht ten gevolge van het eigengewicht van de bovenstaande delen. Ook treed er een moment op ten gevolge van het gewicht van de totale mast, dit gewicht grijpt aan in het zwaartepunt van de mast. De axiale belasting op het draaikranslager is in verhouding tot het moment klein. Daar het draaikranslager axiaal zwaarder belast kan worden dan wanneer er een moment op gezet wordt, is de keuze van het draaikranslager afhankelijk van de belasting ten gevolge van het moment.



Figuur II.2; bepaling moment draaikranslager

Lengte

Zwaartepunt mast (vanuit hard verticale koker)	d_z	: 2.000	*[mm]*

Gewichten

Gewicht totale arm (inclusief) last	G_{Mast}	: 13.500	*[N]*
Gewicht frame	G_{Frame}	: 12.000	*[N]*
Gewicht bodemplaat en totaal reductor	G_1	: 7.000	*[N]*

Krachten

Verticale kracht op het oor	F_D	: 18.500	*[N]*

Momenten

Moment op het draaikranslager	M_D	: 27	*[kNm]*

Bepaling F_D

$F_D = G_{Mast} + G_{Frame} - G_1$

$F_D = 13.500 + 12.000 - 7.000$

$F_D = 18.500$ *[N]*

Bepaling moment in hart draaikranslager

M_D = G_{Mast} * D_z

M_D = 13.500 * 2.000

M_D = 27 *10^6 [Nmm]

M_D = 27 [kNm]

Het gekozen draaikranslager is een TORRIANI draaikranslager (Figuur II.3) met binnenvertanding type 4.

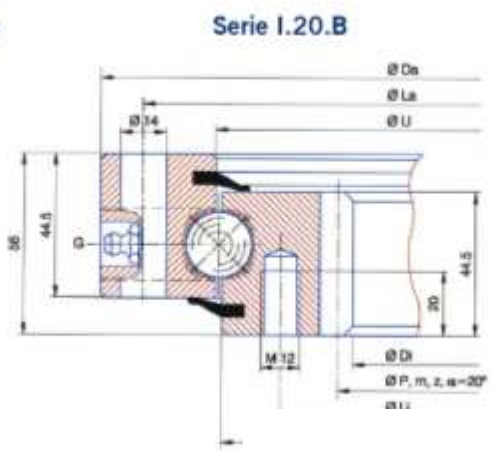
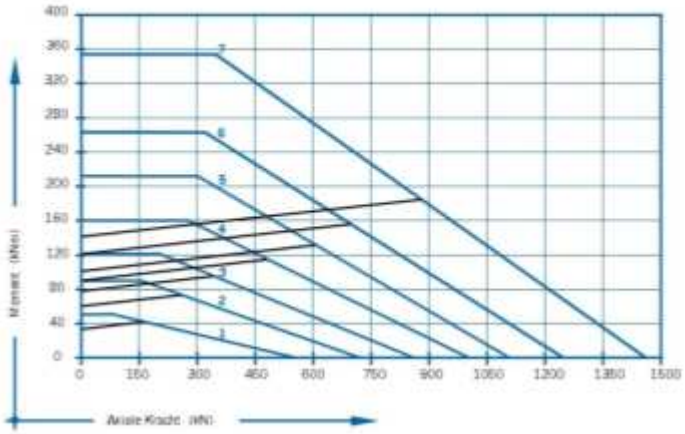


Diagram 1)	Type lager	Afmetingen			
		Da mm	U mm	C mm	Di mm
1	I.486.20.00.B	486	415.5	412.5	325
2	I.616.20.00.B	616	545.5	542.5	444
3	I.716.20.00.B	716	645.5	642.5	546
4	I.816.20.00.B	816	745.5	742.5	648
5	I.916.20.00.B	916	845.5	842.5	736
6	I.1016.20.00.B	1016	945.5	942.5	840
7	I.1166.20.00.B	1166	1095.5	1092.5	984



Figuur II.3; Keuze draaikranslager

Het gekozen draaikranslager kan een moment van 160 *[kNm]* opnemen (Figuur II.3). Het optredende moment is berekend, de veiligheidsfactor is dan:

Veiligheidsfactor draaikranslager:

$V_{Draaikranslager}$ = $M_{Toelaatbaar}$ / M_d

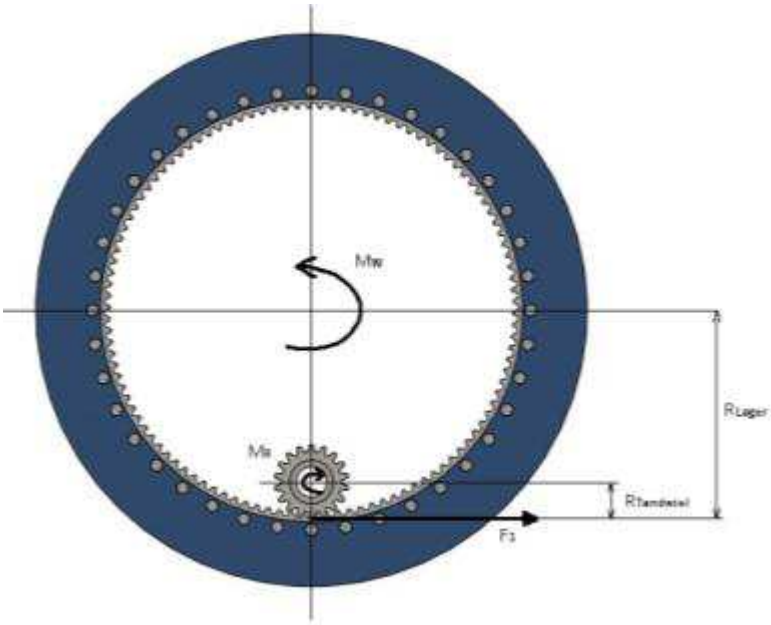
$V_{Draaikranslager}$ = 160 / 27

$V_{Draaikranslager}$ = 6

Dit is een ruime veiligheidsfactor, dit draaikranslager is echter gekozen omdat deze beter past bij de benodigde buisdiameter.

II.2 BEPALING ELEKTROMOTOR EN REDUCTOR.

Het koppel dat de motorreductor op dient te brengen volgt uit het moment welke ontstaat door de massatraagheid en de versnelling van de mast. In bijlage III.5.1 is het optredende wringmoment van de mast ten gevolge van de massatraagheid volgens NEN 2018 berekend. Dit moment treed op in het centrum van het frame (figuur II.4). Er is voor een klein tandwiel gekozen zodat het te leveren koppel van de uitgaande as van de reductor zo laag mogelijk is. Het gekozen tandwiel heeft hetzelfde moduul tanden als de draaikrans, moduul 6 met 18 tanden. Dit is een standaard tandwiel, te verkrijgen bij diverse leveranciers.



Figuur II.4; bepaling koppel motorreductor

Diameters

Steekcirkelradius draaikranslager	R_{Lager}	: 340		*[mm]*
Steekcirkelradius motortandwiel	$R_{Tandwiel}$	: 54		*[mm]*

Krachten

Kracht op buitenzijde draaikranslager	F_1	: 6.594		*[N]*

Momenten

Wringmoment t.g.v. massatraagheid mast	M_w	: 2.242	$x10^3$	*[Nmm]*
Moment te leveren door motorreductor	M_R	: 534	$x10^3$	*[Nmm]*

Snelheden

Uitgaande as motorreductor *(30 [Hz])*	V_R	: 6,3		*[omw/min]*
Uitgaande as motorreductor (50 [Hz])	$V_{R50\ Hz}$	: 9,4		*[omw/min]*

Bepaling kracht F_1

$F_1 = M_w / R_{Lager}$

$F_1 = 2.242 / 34$

$F_1 = 6.594$ *[N]*

Bepaling Koppel, uitgaande as motorreductor (M_R)

M_R = F_1 * $R_{Tandwiel}$ * *veiligheidsfactor*

M_R = *6.594 * 54 * 1,5*

M_R = *534 x10^3 [Nmm]*

M_R = *534 [Nm]*

In overleg met de opdrachtgever is de draaisnelheid van het frame (V_F) vastgesteld op 1 *[omw/min].*

Bepaling rotatiesnelheid, uitgaande as motorreductor (V_R)

V_R = (R_{Lager} / $R_{Tandwiel}$) * V_F

V_R = *(340 / 54) * 1*

V_R = *6,3 [omw/min]*

Het uitgaande toerental van de motorreductor wordt door leveranciers aangegeven bij een frequentie van 50 *[Hz]*, hierbij werkt de motor op maximaal toerental. Om de motor te ontlasten wordt middels een frequentieregelaar de motor terug geregeld tot 30 *[Hz]*, hierdoor draait de motor niet op maximaal toerental. Om de juiste reductiekast te kiezen wordt het toerental van de motor teruggerekend naar 50 *[Hz]* zodat bij een leverancier het juiste uitgaande toerental gekozen kan worden.

Bepaling rotatiesnelheid bij 50 [Hz]

Van 30 *[Hz]* naar 50 *[Hz]* = 33,3 % toename

$V_{R50\,Hz}$ = V_R + *33,3%*

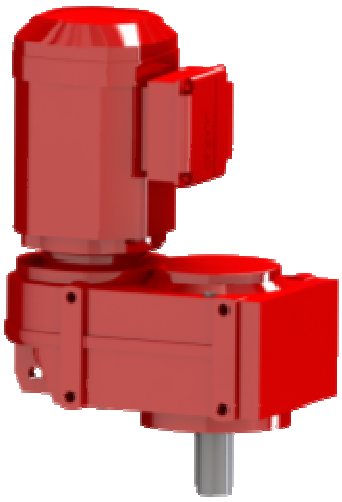
$V_{R50\,Hz}$ = *6,3 + 33,3%*

$V_{R50\,Hz}$ = *9,4 [omw/min]*

Er wordt dus een motor en reductiekast gekozen welke een koppel van 534 *[Nm]* heeft en een uitgaand toerental bij 50 *[Hz]* van 9,4 *[omw/min].* De gekozen motor (figuur II.5) is een standaard 4-polige motor met een vermogen van 0,55 *[kW]*, Doordat de overbrengingsverhouding van de reductiekast dermate groot is kan deze kleine motor toch een hoog koppel leveren.

F57DRE80M4

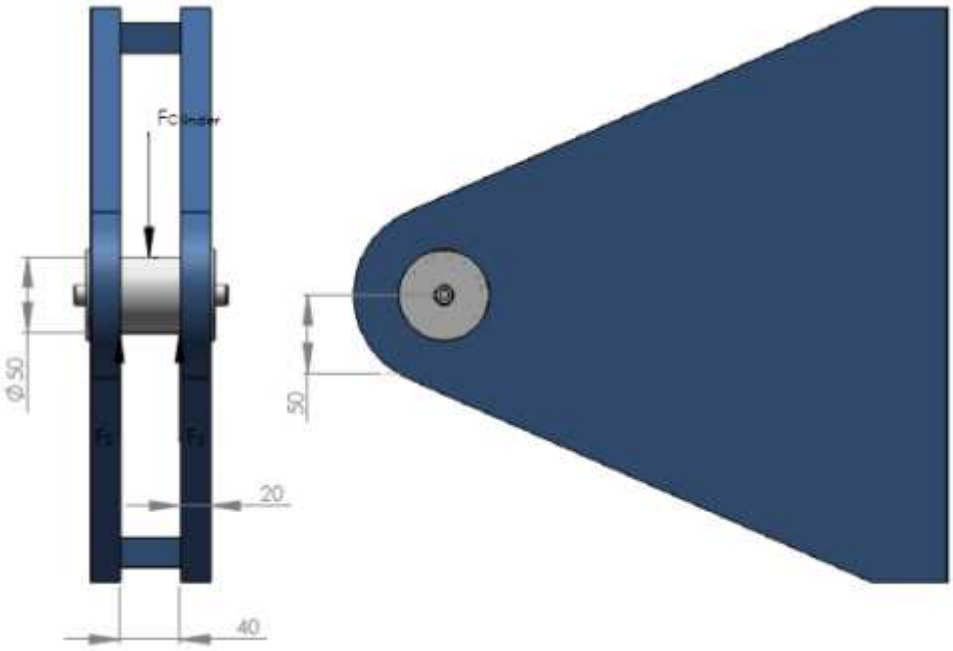
Rated motor speed	[1/min]	: 1445
Output speed	[1/min]	: 9,2
Overall gear ratio		: 157,09
Output torque	[Nm]	: 570,00
Service factor SEW-FB		: 1,05
input mounting position/IM		: M4
Terminal box position		: 90
Cable entry/connector position		: X
Output shaft	[mm]	: 35x70
Permitted output overhung load with n=1400	[N]	: 9420,00
Motor power	[kW]	: 0,55
Efficiency class		: -
Duration factor		: S1-100%
Motor voltage	[V]	: 230/400
Wiring diagram		: R13
Frequency	[Hz]	: 50
Rated current	[A]	: 2,2 / 1,27
Cos Phi		: 0,76
Thermal classification		: 130(B)
Motor protection type		: IP54
Design requirement		: IEC
Net weight	[kg]	: 37,00



Figuur II.5; gekozen motorreductor

II.3 STERKTEBEREKENING CILINDERAS EN OOR

De cilinder is met een gaffel en een as verbonden aan het oor. Dit oor bevindt zich aan de onderzijde van het frame. Wanneer de cilinder de mast omhoog drukt ontstaat er een belasting op de as en het oor van het frame. In bijlage III.8 is de kracht welke de cilinder moet leveren berekend. Deze kracht moet opgevangen worden door de cilinderas en de oren welke aan het frame zijn bevestigd (Figuur II.6).



Figuur II.6; berekening cilinderas en oren

Krachten

Kracht op de cilinder	$F_{Cilinder}$	: 129.773	*[N]*
Reactie kracht in oren	F_2	: 64.887	*[N]*

Lengte

Afstand tussen de oren	L_1	: 40	*[mm]*
Radius cilinderas	r_{as}	: 25	*[mm]*
Afstand hart gat tot onderzijde oor	$L_{gat-oor}$	: 50	*[mm]*
Dikte van het oor	t_{oor}	: 20	*[mm]*

Schuifspanning

De schuifspanning in de as	τ_{as}	: 33	*[MPa]*
De schuifspanning in de oren	τ_{oor}	: 32	*[MPa]*

Stuikspanning

Stuikspanning in het gat van het oor	σ_s	: 65	*[MPa]*

Bepaling kracht F_2

$F_2 = F_{Cilinder} / 2$

$F_2 = 139.565 / 2$

$F_2 = 69.783$ *[N]*

Afschuiving
De schuifspanning in de as:
τ = F / A

Waarbij,
τ = *Schuifspanning [N/mm²]*
F = *De optredende kracht [N]*
A = *Het af te schuiven oppervlak [mm²]*

$\tau_{as} = F_2 / 0{,}25 * \pi * (2*r)^2$
$\tau_{as} = 64.887 / 0{,}25 * \pi * (2*25)^2$
$\tau_{as} = 33\ [N/mm^2]$

Nu de as is berekend wordt het oor bekeken, de pen kan dan wel sterk genoeg zijn maar het is mogelijk dat de optredende spanning in het oor groter is. De oren waarin de as wordt gemonteerd zijn 20 *[mm]* dik, het onderliggende materiaal vanuit het hart van het gat is 50 *[mm]*. De schuifspanning in één oor wordt verdeeld over twee oppervlaktes welke zich aan de rand van het gat bevinden.

$\tau_{oor} = (F_2/2) / (L_{gat\ -\ oor} * t_{oor})$
$\tau_{oor} = (64.887 / 2) / (50 * 20)$
$\tau_{oor} = 32\ [N/mm^2]$

Stuik
Ook treed er een spanning in het gat van het oor op, ten gevolge van de stuikspanning, door deze spanning kan het gat ovaal worden gedrukt.
De stuikspanning in het oor:
$\sigma_s = F / A_{proj.}$

Waarbij,
σ_s = *Stuikspanning [N/mm²]*
F = *De optredende kracht [N]*
$A_{proj.}$ = *Het geprojecteerde oppervlak van het gat (diameter) vermenigvuldigd met de dikte van het materiaal [mm²]*

$\sigma_s = F_2 / (2*r_{as} * t_{oor})$
$\sigma_s = 64.887 / (2*25 * 20)$
$\sigma_s = 65\ [N/mm^2]$

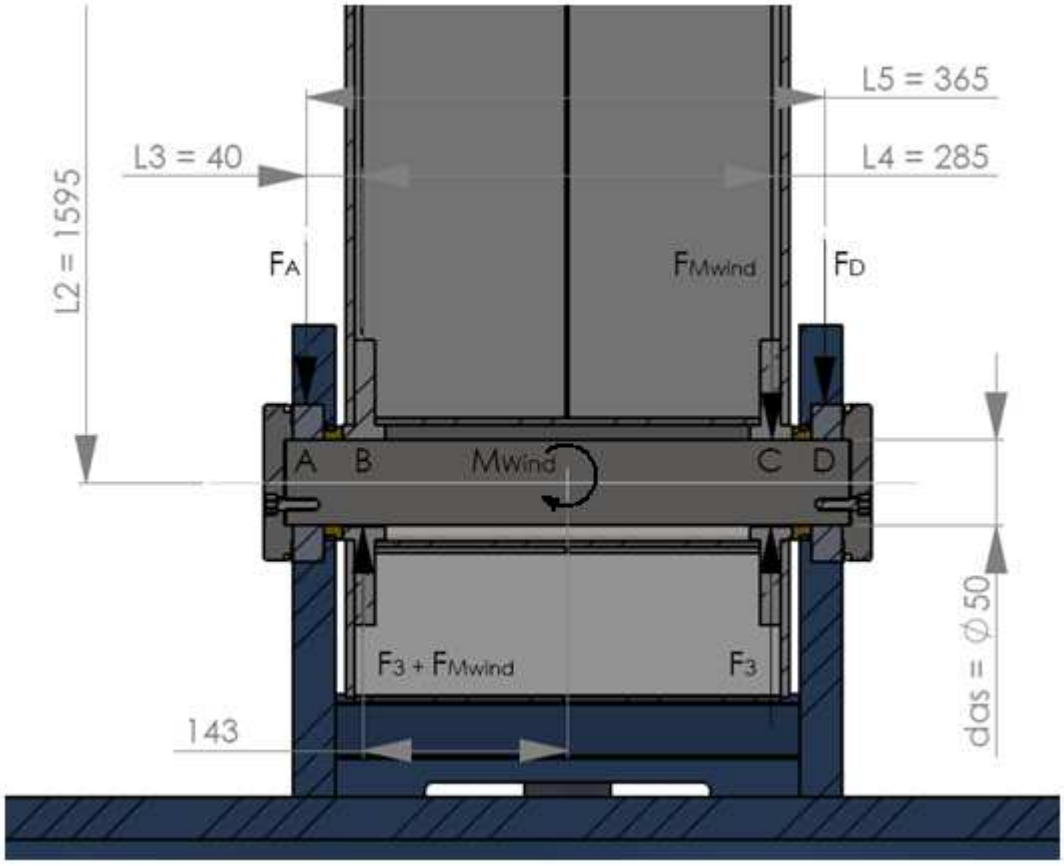
Het oor wordt het zwaarst belast, op stuik. Het oor is vervaardigd uit S235, bij dit materiaal wordt uitgegaan van een vloeigrens van 235 *[Mpa]*, wordt de spanning hoger dan zal het materiaal plastisch vervormen. De veiligheidsfactor komt in het kritische geval door de stuikspanning uit op:

Veiligheidfactor cilinder as:
$V_{as} = \sigma_{toelaatbaar} / \sigma_B$
$V_{as} = 235 / 65$
$V_{as} = 3{,}6$

Dit is een ruime veiligheidsfactor, daar de gaffels van de cilinder een gat hebben van Ø50 *[mm]* is er ook voor deze asmaat gekozen. De cilinder is aan de bovenzijde aan een zelfde oor bevestigd, de bovenstaande berekening is ook voor het oor aan de bovenzijde van toepassing.

II.4 STERKTEBEREKENING SCHARNIER AS

De scharnierende as (figuur II.7) is gemonteerd tussen de twee oren boven op het frame. In bijlage II.9 is de kracht in de verticale koker berekend, deze belasting resulteert in een trekkracht op de scharnieras. Ook de windbelasting (bijlage III.5) op de mast resulteert in een belasting op de scharnieras, dit moment wordt vertaald in twee krachten welke op de as werken. Verder wordt de as ook in het horizontale vlak belast, dit door het wringmoment ten gevolge van het massatraagheidsmoment (bijlage III.4.1).



Figuur II.7; Sterkteberekening scharnier as

Krachten

Windbelasting	F_{Wind}	: 775	*[N]*
Kracht in de mast	F_{Mast}	: 109.680	*[N]*
Kracht t.g.v. de windbelasting	F_{Mwind}	: 4.580	*[N]*
Reactie kracht	F_3	: 54.840	*[N]*
Reactie kracht op lager	F_A	: 58.793	*[N]*
Reactie kracht op lager	F_D	: 50.887	*[N]*

Lengte

Afstand aangrijpingspunt windbelasting	L_2	: 1.595	*[mm]*
Afstand tussen punt A en B	L_3	: 40	*[mm]*
Afstand tussen punt B en C	L_4	: 285	*[mm]*
Afstand tussen punt A en D	L_5	: 365	*[mm]*
Diameter van de as	d_{as}	: 50	*[mm]*

Moment

Moment op as t.g.v. windbelasting	M_{Wind}	: 13,1	x10^5	*[Nmm]*

Schuifspanning

De schuifspanning in de as	τ_{as}	: 30	*[MPa]*

Stuikspanning

Stuikspanning in het gat van het oor	σ_s	: 37	*[MPa]*

Bepaling M_{wind}

$M_{wind} = F_w * L_2$

$M_{wind} = 775 * 1.595$

$M_{wind} = 13,1 * 10^5$ *[Nmm]*

Bepaling F_{Mwind}

$F_{Mwind} = (M_{wind} / L_3) / 2$

$F_{Mwind} = (13,1 * 10^5 / 143) / 2$

$F_{Mwind} = 4.580$ *[N]*

Bepaling F_3

De trekkracht F_{Mast} op de as is berekend in bijlage 2.9, deze kracht werkt op de beide bussen welke in de koker zijn gemonteerd.

$F_3 = F_{Mast} / 2$

$F_3 = 109.680 / 2$

$F_3 = 54.840$ *[N]*

Bepaling kracht F_A

$\sum M$ *om D = 0*

$-F_A * L_5 + (F_3 + F_{Mwind}) * (L_3 + L_4) + F_3 * L_3 - F_{Mwind} * L_3 = 0$

$-F_A * 365 + (54.840 + 4.580) * (40 + 285) + 54.840 * 40 - 4.580 * 40 = 0$

$F_A = 58.793$ *[N]*

Bepaling kracht F_D

$\sum M$ *om A = 0*

$-F_D * L_5 + F_{Mwind} * (L_3 + L_4) - F_3 * (L_3 + L_4) - (F_3 + F_{Mwind}) * L_3 = 0$

$-F_D * 365 + 4.580 * (40 + 285) - 54.840 * (40 + 285) - (54.840 + 4.580) * 40 = 0$

$F_D = 50.887$ *[N]*

Wanneer de wind loodrecht op de andere zijde van de mast staat zijn de krachten F_A en F_D omgedraaid. Het moment in het horizontale vlak ten gevolge van de massatraagheid van de mast is niet apart berekend, dit moment is nog kleiner als de windbelasting en zal resulteren in een kleinere spanning in de as.

Afschuiving

De schuifspanning in de as:

$\tau = F / A$

Waarbij,

τ = *Schuifspanning [N/mm^2]*

F = *De optredende kracht [N]*

A = *Het af te schuiven oppervlak [mm^2]*

τ_{as} $= (F_3 + F_{Mwind}) / 0{,}25 * \pi * d_{as}^2$
τ_{as} $= (54.840 + 4.580) / 0{,}25 * \pi * 50^2$
τ_{as} $= 30\ [N/mm^2]$

Dit is een toelaatbare spanning in de as, voor de as kan ook een kleinere diameter worden gekozen maar omdat dit een belangrijk onderdeel van de reiniger is, die het liefst niet te zwaar belast wordt is gekozen voor deze diameter. Ook past deze diameter beter bij het uiterlijk van de krooshekreiniger.

II.4.1 Bepaling lager

Verschillende lagertypen zijn bekeken, eigenschappen en inbouwmaten van de lagers zijn vergeleken. Het benodigde lager wordt belast door een relatief hoge radiale belasting bij een zeer laag toerental. Verder dient het lager smal te zijn, omdat het lager in het oor gemonteerd wordt.

Er is gekozen voor een CARB lager van SKF, dit is een geheel nieuw type radiaal rollager, die ook wordt gebruikt in de standaard SKF lagerhuizen. Het radiale draagvermogen van dit lager is hoog bij een relatief smalle breedte en dit bij een goed zich zelf instellend vermogen van het lager. Het gekozen CARB lager (C 4910 V) heeft de volgende afmetingen en eigenschappen:

Buitendiameter	D_{Lager}	: 72	[mm]
As diameter	d_{as}	: 50	[mm]
Breedte	B_{Lager}	: 22	[mm]
Statische radiale belasting	C_o	: 125	[kN]

Het lager wordt radiaal belast met (F_a) 59 [kN]

De veiligheidfactor van het lager is dan:
V_{Lager} $= C_o / F_a$
V_{Lager} $= 125 / 59$
V_{Lager} $= 2{,}1$

Stuik
De radiale kracht op het lager veroorzaakt een stuikspanning in het gat van het oor.

De stuikspanning in het oor:
σ_s $= F / A_{proj.}$

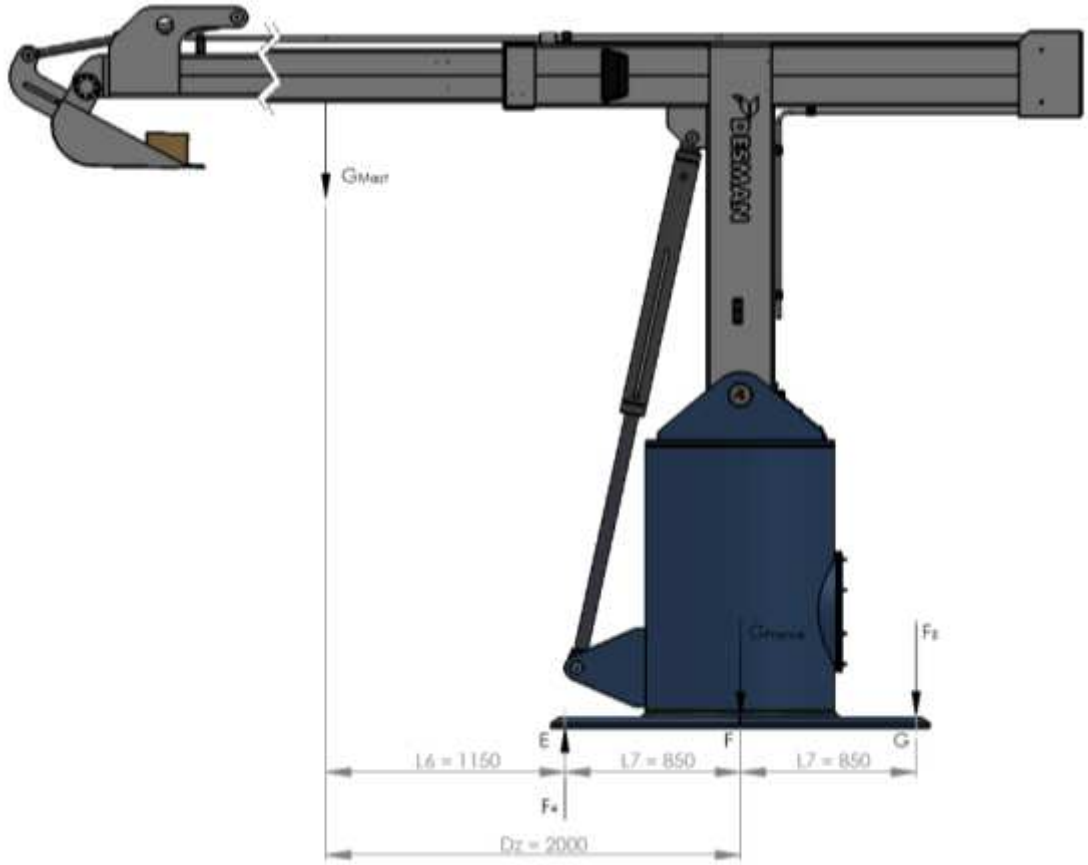
Waarbij,
σ_s = *Stuikspanning* $[N/mm^2]$
F = *De optredende kracht [N]*
$A_{proj.}$ = *Het geprojecteerde oppervalk van het gat (diameter) vermenigvuldigd met de dikte van het materiaal* $[mm^2]$

σ_s $= F_a / (D_{Lager} * B_{Lager})$
σ_s $= 58.793 / (72 * 22)$
σ_s $= 37\ [N/mm^2]$

Ook voor deze waarde geldt dat het ruim toelaatbaar is, het oor is vervaardigd uit S235 met een vloeigrens van 235 MPa. De veiligheidsfactor komt dus uit op ruim: 6.

II.5 BEVESTIGING BODEMPLAAT

Het frame van de krooshekreiniger wordt bevestigd op de betonnen vloer van het gemaal. Dit gebeurd middels zelfachterinsnijdende ankers, dit is een standaard mechanisch anker. De bodemplaat wordt in de hoeken en in het midden voorzien van montage gaten. Wanneer de mast diagonaal ten opzichte van het frame staat wordt aangenomen dat één anker belast wordt, dit is de kritische toestand (figuur II.8)



Figuur II.8; Berekening benodigd anker

Krachten

Gewicht totale arm (inclusief) last	G_{Mast}	: 13.500	*[N]*
Gewicht frame	G_{Frame}	: 12.000	*[N]*
Reactie kracht op lager	F_4	: 28.632	*[N]*
Reactie kracht op lager	F_5	: 3.132	*[N]*

Lengte

Zwaartepunt mast (vanuit hard verticale koker)	d_z	: 2.000	*[mm]*
Afstand gewicht mast tot punt E	L_6	: 1.150	*[mm]*
Afstand tussen punt E en F	L_7	: 850	*[mm]*

Bepaling kracht F_4

$\sum M$ *om G = 0*

$-G_{Mast} * (L_6 + L_7*2) + F_4 * (L_7 * 2) – G_{Frame} * L_7 = 0$

$-13.500 * (1.150 + 850*2) + F_4 * (850 * 2) – 12.000 * 850 = 0$

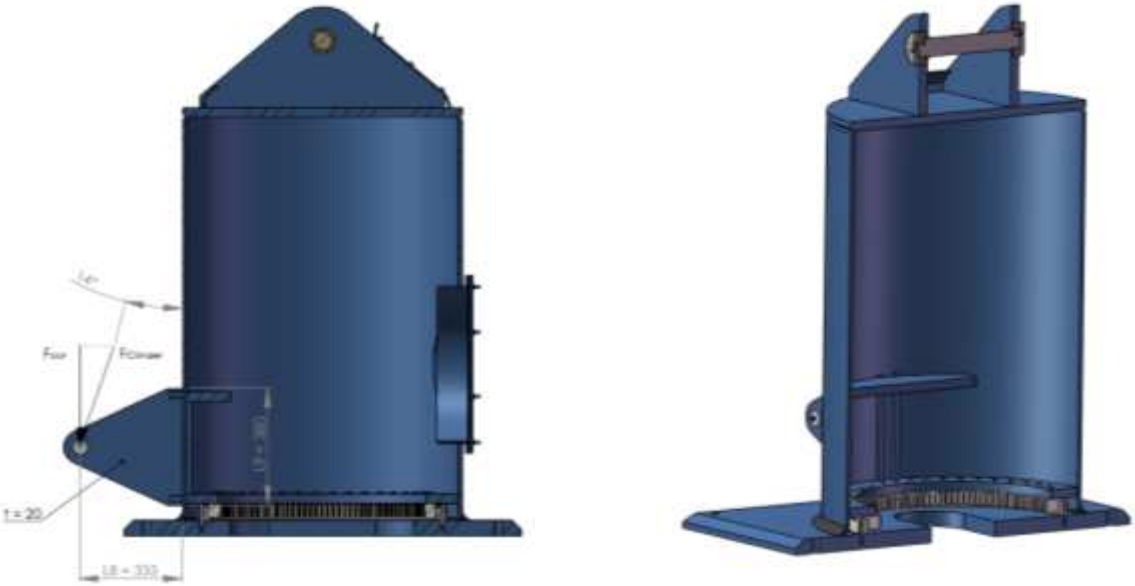
F_4 *28.632 = [N]*

Bepaling kracht F_5
∑M om E = 0
$-G_{Mast} * L_6 + G_{Frame} * L_7 + F_5 * (L_7 * 2) = 0$
$-13.500 * 1.150 + 12.000 * 850 + F_5 * (850 * 2) = 0$
$F_5 = 3.132$ *[N]*
$F_5 = 3,1$ *[kN]*

Voor deze belasting kan een klein anker worden gebruikt, maar uit het visuele oogpunt is gekozen voor een M12 Anker. Dit anker kan wanneer deze in het beton is gemonteerd een trekbelasting van 16,7 *[kN]* opnemen. De veiligheidsfactor komt dan uit op ruim: 5

II.6 LASVERBINDINGEN

Het frame (figuur II.9) wordt op diverse punten gelast, de verschillende lassen zijn bekeken en berekend. De las van de cilinder oren is echter alleen kritisch. Voor de overige lassen is de minimale lasdikte van 3 *[mm]* voldoende. Op de las van het oor staat een momtent ten gevolge van de cilinderkracht (Zie bijlage II.8), dit veroorzaakt in de las een trekspanning aan de bovenzijde en een drukspanning aan de onderzijde van het oor. De oren zijn door de buis gestoken en worden aan de binnen zijnde gelast, dit omdat de tussen ruimte zo klein is dat er aan de voorzijde geen ruimte is om tussen de oren te lassen. De buitenzijde wordt ook gelast, zover als mogelijk.



Figuur II.9; Lasberekening frame

Krachten

Kracht op de cilinder	$F_{Cilinder}$	: 129.773		*[N]*
Kracht op het oor	F_{oor}	: 125.918		*[N]*

Lengte

Afstand cilinderas tot frame	L_8	: 335		*[mm]*
Lengte oor	L_9	: 380		*[mm]*

Moment

Moment op de las	M_{Las}	: *211*	$*10^5$	*[Nmm]*

Bepaling F_{oor}

F_{oor} = $F_{Cilinder}$ * cos 14°
F_{oor} = 129.773 * cos 14°
F_{oor} = 125.918

Bepaling moment M_{las}

M_{Las} = (F_{oor}/ 2) * L_8
M_{Las} = (125.918/ 2) * 335
M_{Las} = 211 *10^5 [Nmm]

Bepaling lasdikte

$$\sigma, \tau = \frac{M}{a * l * \left(t + {}^{a}/_{\sqrt{2}}\right)} * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Waarbij,

σ, τ = Toelaatbare spanning lassterkte [N/mm^2]
M = Moment op de las [N]
a = De dikte van de las [mm]
l = Lengte van de las [mm]
t = Dikte van het oor [mm]

De rekenwaarde voor de lassterkte van S235 is 208 *[MPa],* de dikte van het oor is 20 *[mm]*

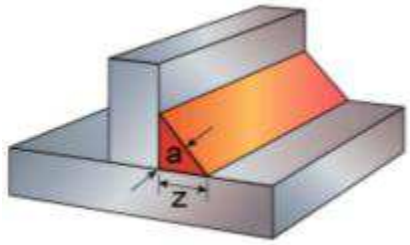
$$\sigma, \tau = \frac{M_{Las}}{a * L_9 * \left(t + {}^{a}/_{\sqrt{2}}\right)} * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$208 = \frac{211 * 10^5}{a * 380 * \left(20 + {}^{a}/_{\sqrt{2}}\right)} * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

a_{Las} = 7,5

Bij de berekening is uitgegaan dat de oren aan één zijde dubbel gelast zijn. Aan de voorzijde wordt het oor echter ook nog gelast. Mede in deze wetenschap wordt de veiligheidsfactor op 1,5 gesteld.

De dikte van de las (figuur II.10) wordt dan: 7,5 * 1,5 = 11 *[mm]*

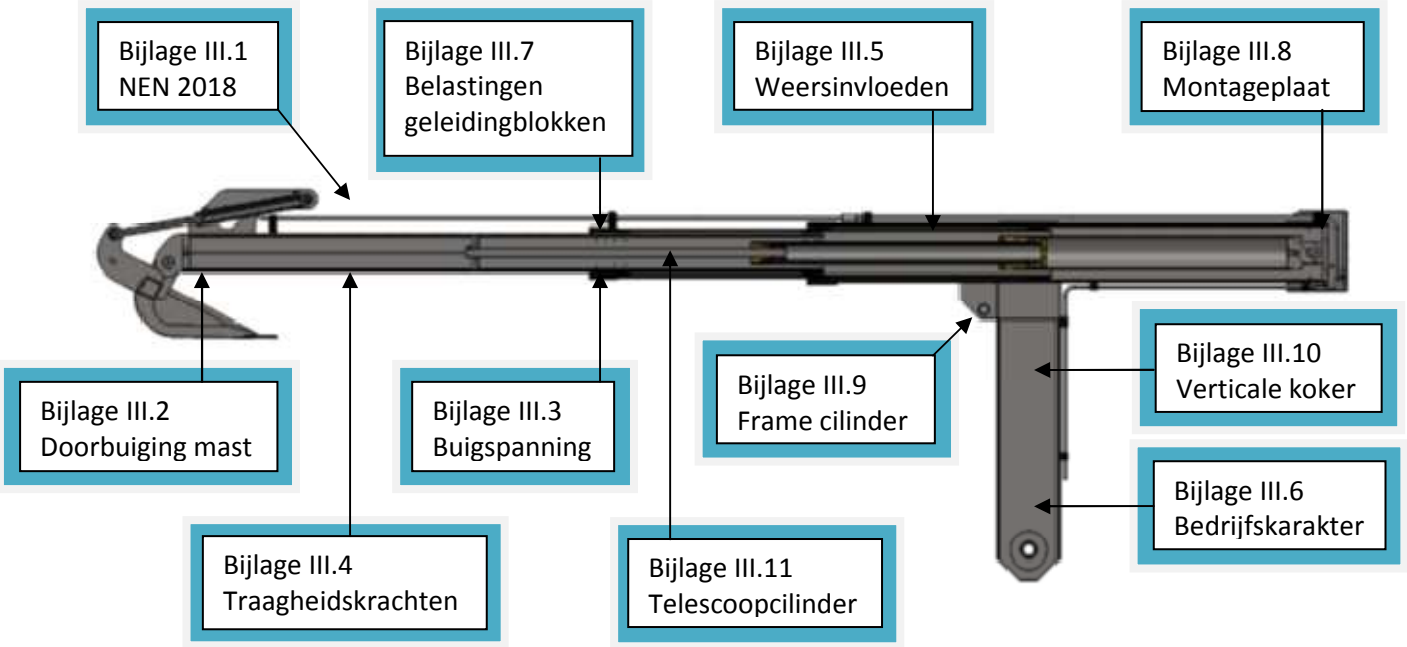


Figuur II.10; Lasdikte a

III. STERKTEBEREKENINGEN MAST

Bij de berekeningen wijken de eenheden van de grootheden af van het SI-éénheden stelsel, dit zodat duidelijke uitkomsten worden verkregen.

De berekeningen aan de mast (figuur III.1) zijn uitgevoerd volgens NEN 2018 en NEN 6786. De NEN norm 2018 van hijskranen komt het dichtst in de buurt van de te berekenen mast van de krooshekreiniger. Deze norm behandeld de belastingen en belastingscombinaties op de mast ten gevolge van diverse factoren. De NEN 6786 wordt aangehaald aangaande de vermoeiing van het berekende materiaal.



Figuur III.1; Mast krooshekreiniger

III.1 BELASTINGEN EN BELASTINGGEVALLEN VOLGENS NEN 2018

Indeling van de kraan en zijn onderdelen in groepen

Bij de berekening van de kraan en zijn onderdelen moet rekening gehouden worden met de taak die zij in bedrijf krijgt te vervullen, d.w.z. met het bedrijfskarakter; daartoe vindt indeling in groepen plaats van:

- De kraan in zijn geheel;
- Elk afzonderlijk mechanisme in zijn geheel;
- De elementen van het metalen geraamte;
- De elementen van de mechanische uitrusting.

Deze indeling vindt plaats op grond van de volgende twee criteria:

- De totale effectieve gebruiksduur van het beschouwde object;
- Het last-, belastings- of spanningsspectrum waaraan het beschouwde object is onderworpen.

De kraan in zijn geheel

Gebruiksklasse par. 3.2.2. NEN 2018

Het object valt in de gebruiksklasse A (onregelmatig gebruik met lange rusttijden), wat neerkomt op 2 $*10^5$ lastspelen over de levensduur.

Ontwerp-lastspectra par. 3.2.3 NEN 2018
Het object valt in het lastspectrum “matig” (kraan herhaaldelijk met een bedrijfslast, en in de regel met lasten variërend tussen 1/3 en 2/3 van de bedrijfslast, belast) met een factor p = 2/3.

Indeling in een kraangroep par. 3.2.4 NEN 2018
Volgens tabel 3 valt het object in de kraangroep 3.

Een afzonderlijk mechanisme in zijn geheel
Gebruiksklasse par. 3.3.2. NEN 2018
De gebruiksklasse, mede gebaseerd op de bestekseis, valt het object in de gebruiksklasse T4 (1600 tot en met 3200 uur).

Ontwerp-lastspectra par. 3.3.3 NEN 2018
Het object valt in het lastspectrum “licht” (mechanisme regelmatig maximaal belast en normaal maig belast) met een factor k_m *=0,125 tot en met 0,250.*

Indeling in een mechanismegroep par. 3.3.4 NEN 2018
Volgens tabel 7 valt het object in de mechanismegroep M4.

De elementen van de kraan
De elementen van het metalen geraamte
Gebruiksklasse par. 3.4.1.2 NEN 2018
Op basis van de tabel 9 is de gebruiksklasse 3.

De elementen van de mechanische uitrusting
Gebruiksklasse par. 3.4.2.2 NEN 2018
Op basis van de tabel 9 is de gebruiksklasse B4.

Ontwerp-lastspectra par. 3.4.2.3 NEN 2018
Het object valt in het lastspectrum “licht” (mechanisme regelmatig maximaal belast en normaal matig belast) met een factor P2 =0,125 tot en met 0,250.

Indeling in een elementengroep
Het object valt volgens tabel 12 in de elementengroep C3.

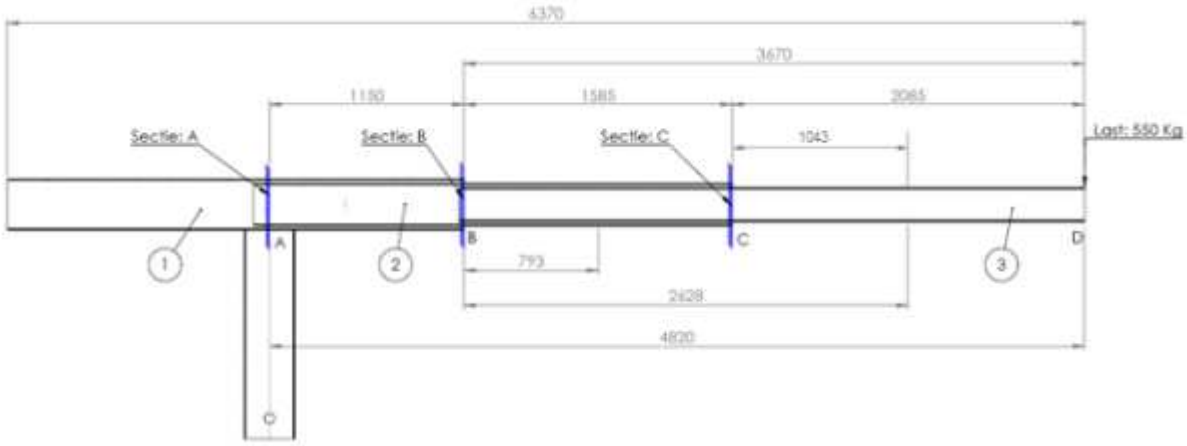
Belastingen en berekeningen
Bij de berekening van het metalen geraamte en de mechanische uitrusting van een kraan moeten de werkelijk optredende belastingen zo nauwkeurig mogelijk worden benaderd.
De stand van de kraandelen waar de ongunstigste combinatie van de belastingen wordt bereikt is maatgevend.
De spanningen worden veroorzaakt door:

- Belasting door de eigen massa, waarbij de kraan in rust wordt beschouwd;
- Belasting door de hijslast, waarbij de kraan in rust wordt beschouwd;
- Belastingen ten gevolge van traagheidskrachten uit kraan (mast)bewegingen en andere Bedrijfsinvloeden;
- Belasting ten gevolge van weersinvloeden;
- Belasting ten gevolge van het bedrijfskarakter.

De belastingen door de eigen massa en de belasting van de hijslast zijn in één keer berekend. In eerste instantie wordt de doorbuiging van de mast berekend met de daarbij horende belastingen, vervolgens wordt in elke sectie van de mast de maximale buigspanning uitgerekend.

III.2 DOORBUIGING VAN DE MAST.

In deze paragraaf wordt de doorbuiging van de mast en de belastingen die op de mast (figuur III.2) werken berekend. De belastingen ten gevolge van het eigengewicht en de last zijn in één keer berekend. In de mast bevind zich ook de hoofdcilinder, deze wordt niet meegenomen in de sterkte berekening. Dit omdat de cilinder scharnierend is bevestigd en geen stijfheid geeft tegen de doorbuiging.
De mast wordt berekend in drie secties, met elk een eigen doorbuiging ten gevolge van de last en de eigengewichten van de kokers, deze doorbuigingen inclusief het kwispeleffect[2] ten gevolge van de ontstane hoekverdraaiing worden opgeteld. Zo wordt de totale maximale doorbuiging van de mast verkregen.
De mast wordt horizontaal in uitgeschoven positie berekend, het kritieke belastingsgeval. In deze positie zijn de kokers nog deels in elkaar geschoven, dit is gunstig voor het oppervlakte traagheidsmomenten van deze delen. De POM geleidingsblokken welke zich tussen de kokers bevinden dragen de krachten tussen de kokers over. De doorbuiging mag maximaal 1/250 van de lengte van de mast zijn.



Figuur IiI.2; Afbeelding mast en overzicht maten

Doorbuiging
Toelaatbare doorbuiging, dit is een veel toegepaste vuistregel, vanuit het bedrijf wordt deze stelregel gebruikt en toegepast.

F_{Totaal} = *1/250 * L*
F_{Totaal} = *4820 / 250 = 19,3 [mm]*

Algemeen

Materiaal mast		: RVS 316	
Materiaal geleideblokken		: POM	
Elasticiteitsmodules RVS	E	: 195.000	*[MPa]*

Totale last op de tip en totaal massa

Te verplaatsen last (zwerfvuil)	M_{Last}	: 250	*[Kg]*
Massa hark	M_{Hark}	: 200	*[Kg]*
Massa kopcilinder/kopplaten	M_{Kop}	: 100	*[Kg]*
Totale belasting op de kop	M_{Totaal}	: 550	*[Kg]*
Totale massa van de mast (incl. zwerfvuil)	M_{mast}	: 1.350	*[Kg]*

[2] Hoekverdraaiing van de achterste twee secties vertalen naar een doorbuiging op het eind van de mast.

Oppervlakte traagheidsmomenten

Opp. traagheidsmoment koker 1 (300x6)	I_1	: 1016,9	$x10^5$	*[mm^4]*
Opp. traagheidsmoment koker 2 (250x6)	I_2	: 581,4	$x10^5$	*[mm^4]*
Opp. traagheidsmoment koker 3 (204x8)	I_3	: 402,2	$x10^5$	*[mm^4]*

Gewichten kokers

Koker 1	K_1	: 0,53	*[N/mm]*
Koker 2	K_2	: 0,44	*[N/mm]*
Koker 3	K_3	: 0,46	*[N/mm]*

Lengtes

Lengte sectie 1	L_1	: 1.150	*[mm]*
Lengte afstand eigengewicht	L_2	: 793	*[mm]*
Lengte afstand eigengewicht	L_3	: 2.628	*[mm]*
Lengte sectie 2 tot uiteinde mast	L_4	: 3.670	*[mm]*
Lengte sectie 2	L_5	: 1.585	*[mm]*
Lengte sectie 1	L_6	: 2.085	*[mm]*
Lengte afstand eigengewicht	L_7	: 1.043	*[mm]*

Krachten

Punt kracht uiteinde sectie 1	F_B	: 7.885	*[N]*
Puntkracht uiteinde sectie 2	F_C	: 6.459	*[N]*
Punt kracht t.g.v. de last op de tip	F_D	: 5.500	*[N]*
Kracht t.g.v. eigengewicht koker 1+2	F_1	: 1.115	*[N]*
Kracht t.g.v. eigengewicht koker 2+3	F_2	: 1.426	*[N]*
Kracht t.g.v. eigengewicht koker 3	F_3	: 959	*[N]*

Momenten

Moment op tip sectie 1	M_1	: 238	$x10^5$	*[Nmm]*
Moment op tip sectie 2	M_2	: 125	$x10^5$	*[Nmm]*
Buigmoment op sectie A	M_3	: 335	$x10^5$	*[Nmm]*
Buigmoment op sectie B	M_4	: 238	$x10^5$	*[Nmm]*
Buigmoment op sectie C	M_5	: 125	$x10^5$	*[Nmm]*

Verdeelde belastingen

Verdeelde belasting sectie A	Q_1	: 0,97	*[N/mm]*
Verdeelde belasting sectie B	Q_2	: 0,90	*[N/mm]*
Verdeelde belasting sectie C	Q_3	: 0,46	*[N/mm]*

Buigspanningen

Buigspanning in sectie A	σ_A	: 49,5	*[MPa]*
Buigspanning in sectie B	σ_B	: 51,2	*[MPa]*
Buigspanning in sectie C	σ_C	: 31,7	*[MPa]*

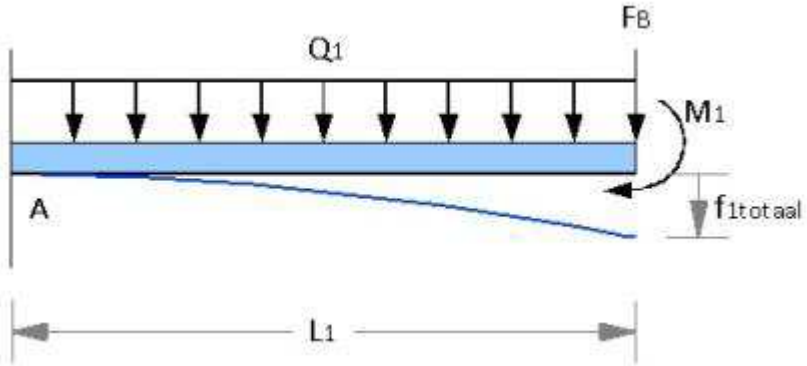
III.2.1 Sectie A

De mast (figuur III.2) wordt in eerste instantie op doorbuiging berekend, de mast is in drie secties opgedeeld om zo op een overzichtelijke manier een juiste doorbuiging te verkrijgen. Wanneer de doorbuiging van alle drie de secties bekend is wordt uiteindelijk het kwispeleffect toegepast om de uiteindelijke maximale doorbuiging van de complete mast te bepalen.

De doorbuiging in het achterste gedeelte van de mast, sectie A word in deze paragraaf berekend. Er wordt uitgegaan van een ingeklemde balk bij punt A (figuur III.3).De belastingen welke optreden op het uiteinde van de mast bestaan uit:

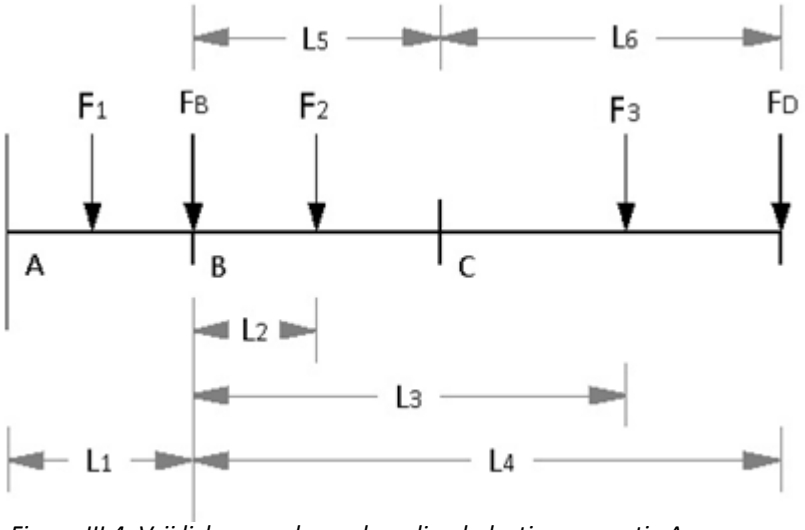
- Een moment (M_1) t.g.v. de last (F_D) en het eigengewicht van de mast.
- Kracht (F_B) t.g.v. de last en de eigengewichten van kokers
- Het eigengewicht van de kokers in sectie A.

Er wordt gebruik gemaakt van de superpositie methode om de diverse belastingen op te tellen.



Figuur III.3; Vrij lichaam schema totaal, sectie A

Om de verschillende belastingen te berekenen wordt evenwicht situatie opgesteld (figuur III.4). De krachten F_1 en F_2 vertegenwoordigen de eigengewichten van de kokers.



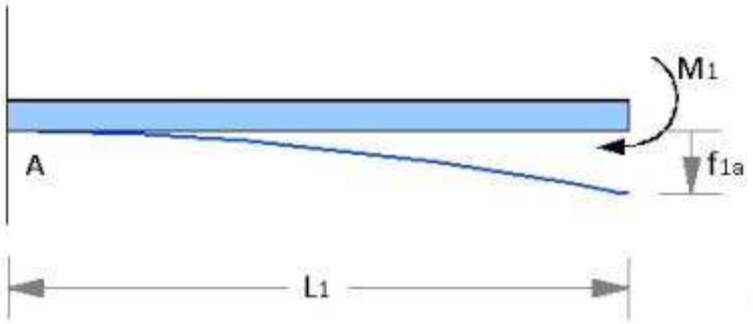
Figuur III.4; Vrij lichaam schema bepaling belastingen, sectie A

$F_1 = K_1 \times L_1 + K_2 \times L_1$
$F_1 = 0{,}53 \times 1.150 + 0{,}44 \times 1.150$
$F_1 = 1.115$ [N]

F_2 = $K_2 \times L_5 + K_3 \times L_5$
F_2 = $0{,}44 \times 1585 + 0{,}46 \times 1585$
F_2 = 1.426 [N]

F_3 = $K_3 \times L_6$
F_3 = $0{,}46 \times 2085$
F_3 = 959 [N]

De drie belastinggevallen worden gesplitst en apart berekend, onderstaand (figuur III.5) wordt het moment afgebeeld.



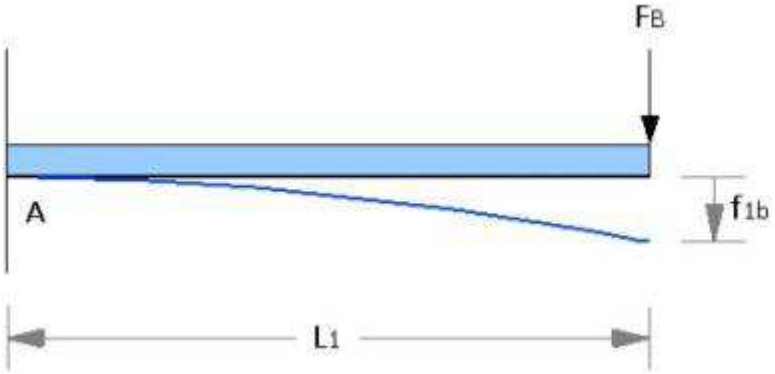
Figuur III.5; Vrij lichaam schema moment, sectie A

Bepaling van het moment M_1:
M_1 = $F_D \times L_4 + F_2 \times L_2 + F_3 \times L_3$
M_1 = $5.500 \times 3.670 + 1.426 \times 793 + 959 \times 2.628$
M_1 = 238×10^5 [Nmm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de doorbuiging t.g.v. een moment:
f_{1a} = $M_1 \times L_1^2 / 2 \times E \times (I_1 + I_2)$
f_{1a} = $238 \times 10^5 \times 1.150^2 / 2 \times 195.000 \times (1.016{,}9 + 581{,}4) \times 10^5$
f_{1a} = $0{,}50$ [mm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de helling t.g.v. een moment:
$<A_{1a}$ = $M_1 \times L_1 / E \times (I_1 + I_2)$
$<A_{1a}$ = $238 \times 10^5 \times 1.150 / 195.000 \times (1.016{,}9 + 581{,}4) \times 10^5$
$<A_{1a}$ = $8{,}78 \times 10^{-4}$ [rad]

Het belastinggeval t.g.v. de puntkracht F_B wordt onderstaand uitgewerkt (figuur III.6)



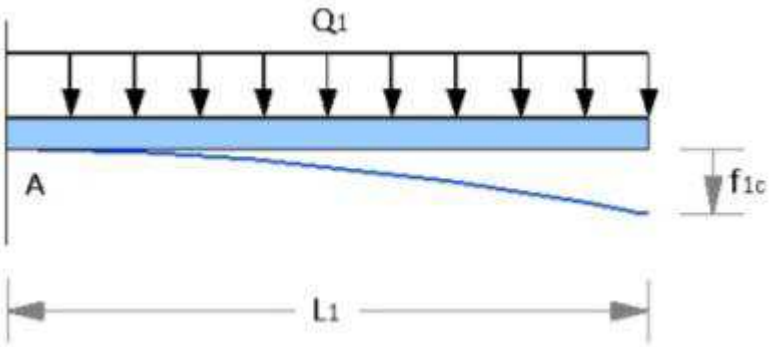
Figuur III.6; Vrij lichaam schema kracht, sectie A

F_B = $F_D + F_2 + F_3$
F_B = 5.500 + 1.426 + 959
F_B = 7.885 [N]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de doorbuiging t.g.v. een kracht:
f_{1b} = $F_B \times L_1^3 / 3 \times E \times (I_1 + I_2)$
f_{1b} = $28.611 \times 1.150^3 / 3 \times 195.000 \times (1.016,9 + 581,4) \times 10^5$
f_{1b} = 0,47 [mm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de helling t.g.v. een kracht:
$<A_{1b}$ = $F_B \times L_1^2 / 2 \times E \times (I_1 + I_2)$
$<A_{1b}$ = $7.885 \times 1.150^2 / 2 \times 195.000 \times (1.016,9 + 581,4) \times 10^5$
$<A_{1b}$ = $1,67 \times 10^{-4}$ [rad]

Het belastinggeval t.g.v. het eigengewicht wordt onderstaand uitgewerkt (figuur III.7)



Figuur III.7; Vrij lichaam schema verdeelde belasting, sectie A

De verdeelde belasting Q_1 bestaat uit de gewichten van koker 1 en 2
Q_1 = $K_1 + K_2$
Q_1 = 0,53 + 0,44
Q_1 = 0,97 [N/mm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de doorbuiging t.g.v. een verdeelde belasting:

f_{1c} $= Q_1 \times L_1^4 / 8 \times E \times (I_1 + I_2)$

f_{1c} $= 0{,}97 \times 1.150^4 / 8 \times 195.000 \times (1.016{,}9 + 581{,}4) \times 10^5$

f_{1c} $= 0{,}07$ [mm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de helling t.g.v. een verdeelde belasting:

$<A_{1c}$ $= Q_1 \times L_1^3 / 6 \times E \times (I_1 + I_2)$

$<A_{1c}$ $= 0{,}97 \times 1.150^3 / 6 \times 195.000 \times (1.016{,}9 + 581{,}4) \times 10^5$

$<A_{1c}$ $= 0{,}08 \times 10^{-4}$ [rad]

De totale doorbuiging in sectie A is dan:

f_1 $= f_{1a} + f_{1b} + f_{1c}$

f_1 $= 0{,}50 + 0{,}13 + 0.07$

f_1 $= 0{,}7$ [mm]

De totale helling in sectie A is dan:

$<A_1$ $= <A_{1a} + <A_{1b} + <A_{1c}$

$<A_1$ $= (8{,}78 + 1{,}67 + 0.08) \times 10^{-4}$

$<A_1$ $= 10{,}53 \times 10^{-4}$ [rad]

$<A_1$ $= 0{,}06°$

Deze hoek geeft een doorbuiging welke doorwerkt tot aan het einde van de mast:

$f_{1'}$ $= \tan < A \times L4$

$f_{1'}$ $= \tan < 0{,}06 \times 3.670$

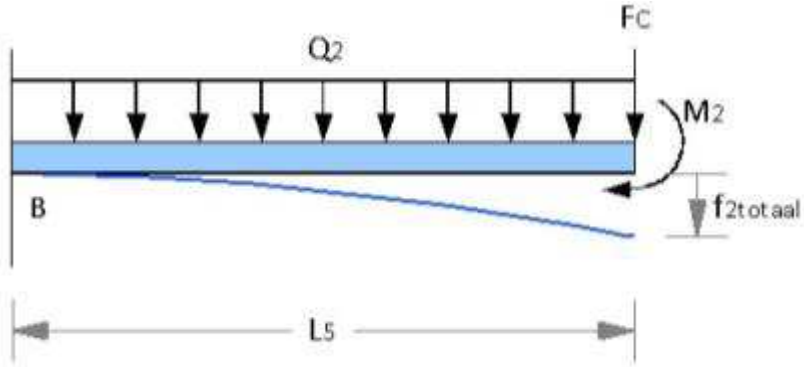
$f_{1'}$ $= 3{,}84$ [mm]

III.2.2 Sectie B

De doorbuiging in het middelste gedeelte van de mast, sectie B word in deze paragraaf berekend. Er wordt uitgegaan van een ingeklemde balk bij punt B (figuur III.8). De belastingen welke optreden op het uiteinde van de mast bestaan uit:

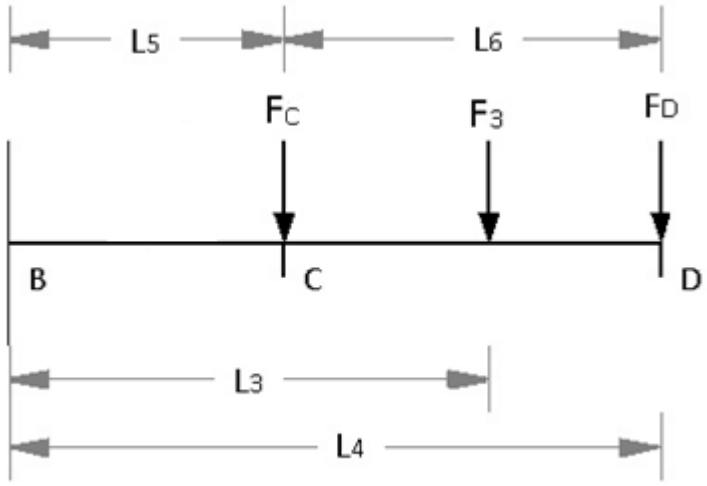
- Een moment (M_2) t.g.v. de last (F_D) en het eigengewicht van de mast.
- Een Kracht (F_C) t.g.v. de last en de eigengewichten van kokers
- Het eigengewicht van de kokers in sectie B.

Er wordt gebruik gemaakt van de superpositie methode om de diverse belastingen op te tellen.



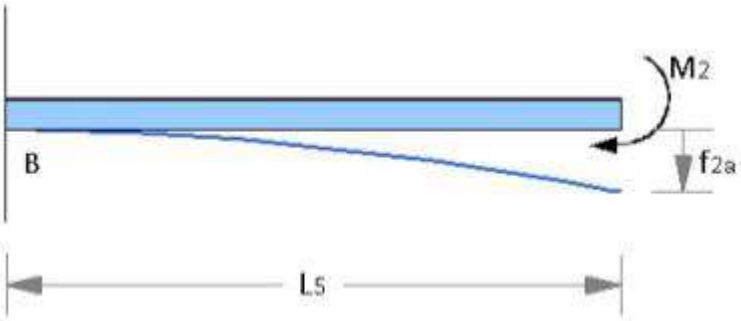
Figuur III.8; Vrij lichaam schema totaal, sectie B

Om de verschillende belastingen te berekenen wordt evenwicht situatie opgesteld (figuur III.9). De kracht F_2 vertegenwoordigt het eigengewicht van de koker.



Figuur III.9; Vrij lichaam schema bepaling belastingen, sectie B

De drie belastinggevallen worden gesplitst en apart berekend, onderstaand (figuur III.10) wordt het moment afgebeeld.



Figuur III.10; Vrij lichaam schema moment, sectie B

Bepaling van het moment M_2:

$M_2 = F_D \times L_6 + F_3 \times L_7$

$M_2 = 5.500 \times 2.085 + 959 \times 1.043$

$M_2 = 125 \times 10^5$ [Nmm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de doorbuiging t.g.v. een moment:

$f_{2a} = (M_2 \times L_5^2) / 2 \times E \times (I_2 + I_3)$

$f_{2a} = 125 \times 10^5 \times 1.585^2 / 2 \times 195.000 \times (581,4 + 402,2) \times 10^5$

$f_{2a} = 0,82$ [mm]

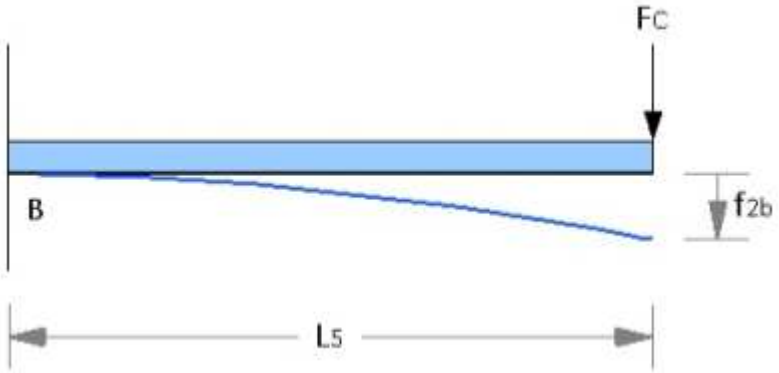
Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de helling t.g.v. een moment:

$<B_{2a} = M_2 \times L_5 / E \times (I_2 + I_3)$

$<B_{2a} = 125 \times 10^5 \times 1.585 / 195.000 \times (581,4 + 402,2) \times 10^5$

$<B_{2a} = 10,33 \times 10^{-4}$ [rad]

Het belastinggeval t.g.v. de puntkracht F_C wordt onderstaand uitgewerkt. (figuur III.11)



Figuur III.11; Vrij lichaam schema kracht, sectie B

Bepaling van de kracht F_C:

$F_C = F_D + F_3$

$F_C = 5.500 + 959$

$F_C = 6.459$ [N]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de doorbuiging t.g.v. een kracht:

$f_{2b} = F_C \times L_5^3) / 3 \times E \times (I_2 + I_3)$

$f_{2b} = 14.325 \times 1.585^3 / 3 \times 195.000 \times (581,4 + 402,2) \times 10^5$

$f_{2b} = 0,99$ [mm]

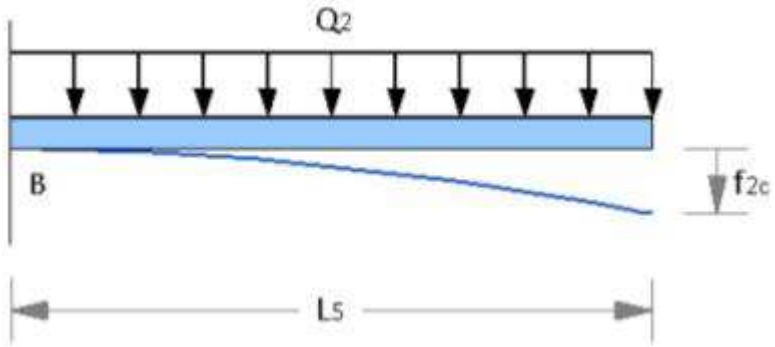
Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de helling t.g.v. een kracht:

$<B_{2b} = F_C \times L_5^2 / 2 \times E \times (I_2 + I_3)$

$<B_{2b} = 6.459 \times 1.585^2 / 2 \times 195.000 \times (581,4 + 402,2) \times 10^5$

$<B_{2b} = 4,23 \times 10^{-4}$ [rad]

Het belastinggeval t.g.v. het eigengewicht wordt onderstaand uitgewerkt. (figuur III.12)



Figuur III.12; Vrij lichaam schema verdeelde belasting, sectie B

De verdeelde belasting Q_2 bestaat uit de gewichten van koker 2 en 3:

$Q_2 = K_2 + K_3$

$Q_2 = 0,44 + 0,46$

$Q_2 = 0,90$ [N/mm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de doorbuiging t.g.v. een verdeelde belasting:

$f_{2c} = Q_2 \times L5^4 / 8 \times E \times (I_2 + I_3)$

$f_{2c} = 0,90 \times 1.585^4 / 8 \times 195.000 \times (581,4 + 402,2) \times 10^5$

$f_{2c} = 0,04$ [mm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de helling t.g.v. een verdeelde belasting:

$<B_{2c} = Q_2 \times L_5^3 / 6 \times E \times (I_2 + I_3)$

$<B_{2c} = 0,90 \times 1.585^3 / 6 \times 195.000 \times (581,4 + 402,2) \times 10^5$

$<B_{2c} = 0,31 \times 10^{-4}$ [rad]

De totale doorbuiging in sectie B is dan:

$f_2 = f_{2a} + f_{2b} + f_{2c}$

$f_2 = 0,82 + 0,45 + 0.04$

$f_2 = 1,31$ [mm]

De totale helling in sectie B is dan:

$<B_2 = <B_{2a} + <B_{2b} + <B_{2c}$

$<B_2 = (10,33 + 4,23 + 0,31) \times 10^{-4}$

$<B_2 = 14,87 \times 10^{-4}$ [rad]

$<B_2 = 0,09°$

Deze hoek geeft een doorbuiging welke doorwerkt tot aan het einde van de mast:

$f_{2'} = \tan < B \times L6$

$f_{2'} = \tan < 0,09 \times 2.085$

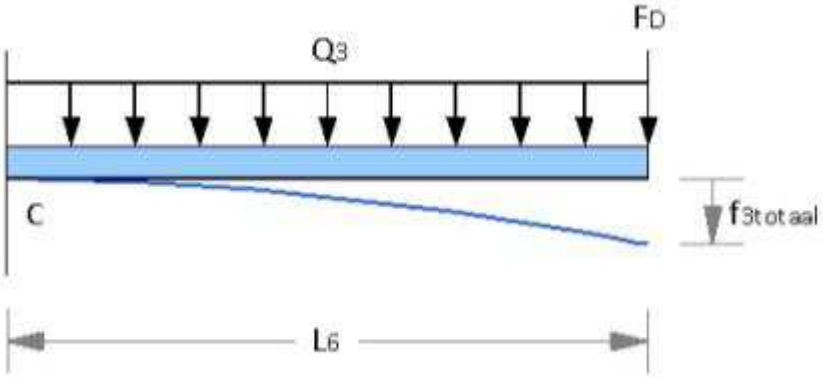
$f_{2'} = 3,28$ [mm]

III.2.3 Sectie C

De doorbuiging in het voorste gedeelte van de mast, sectie C word in deze paragraaf berekend. Er wordt uitgegaan van een ingeklemde balk bij punt C (figuur III.13). De belastingen welke optreden op het uiteinde van de mast bestaan uit:

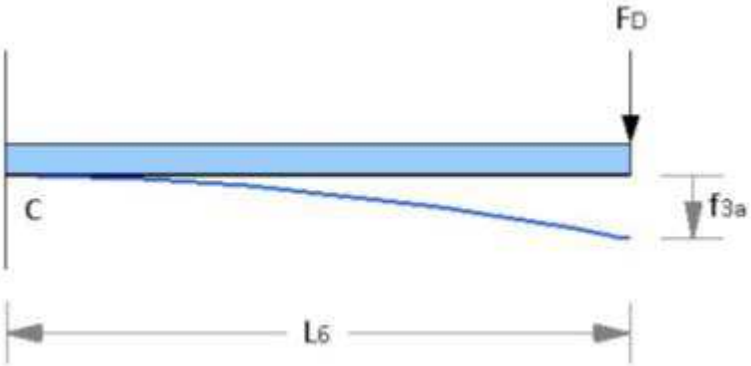
- Een Kracht (F_D) t.g.v. de last;
- Het eigengewicht van koker 3.

Er wordt gebruik gemaakt van de superpositie methode om de diverse belastingen op te tellen.



Figuur III.13; Vrij lichaam schema totaal, sectie C

De twee belastinggevallen worden gesplitst en apart berekend.
Het belastinggeval t.g.v. de puntkracht F_D wordt onderstaand uitgewerkt. (figuur III.14)



Figuur III.14; Vrij lichaam schema kracht, sectie C

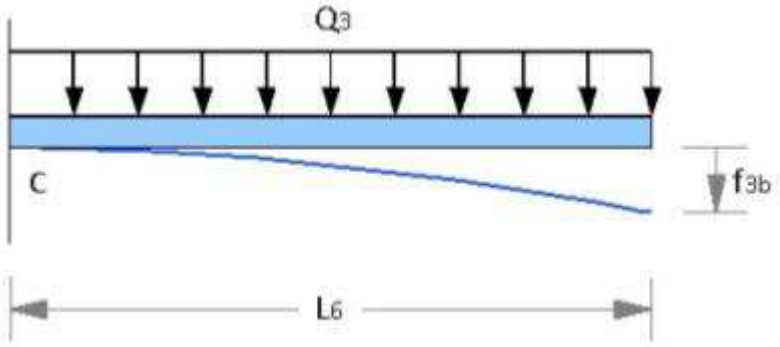
Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de doorbuiging t.g.v. een kracht:

f_{2a} $= F_D \times L_6^3 / 3 \times E \times I_3$

f_{2a} $= 5.500 \times 2085^3 / 3 \times 195.000 \times (402{,}2 \times 10^5)$

f_{2a} $= 2{,}12$ *[mm]*

Het belastinggeval t.g.v. het eigengewicht wordt onderstaand uitgewerkt. (figuur III.15)



Figuur III.15; Vrij lichaam schema verdeelde belasting, sectie C

De verdeelde belasting Q3 bestaat uit het gewicht van koker 3:

$Q_3 = K_3$

$Q_3 = 0{,}46$ [N/mm]

Formule eenzijdig ingeklemde balk, voor de doorbuiging t.g.v. een verdeelde belasting:

$f_{3b} = Q_3 \times L_6^4 / 8 \times E \times I_3)$

$f_{3b} = 0{,}46 \times 2.085^4 / 8 \times 195.000 \times (402{,}2 \times 10^5)$

$f_{3b} = 0{,}14$ [mm]

De totale doorbuiging in sectie C is dan:

$f_3 = f_{3a} + f_{3b}$

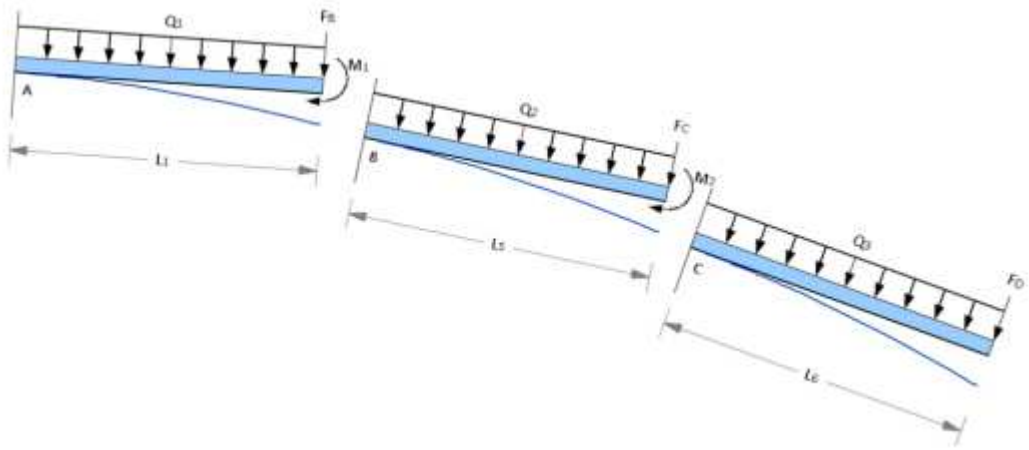
$f_3 = 2{,}12 + 0{,}14$

$f_3 = 2{,}26$ [mm]

III.2.4 Totale doorbuiging

Door het toepassen van het kwispeleffect (figuur III.16)op de mast wordt de uiteindelijke totale doorbuiging op de tip berekend.

Bij deze methode wordt van elke sectie de doorbuiging uitgezet tegen de lengte waaroor een hellingshoek ontstaat. De opvolgende sectie staat vervolgens onder een hoek en ondervind ook een doorbuiging. Wanneer deze situatie uitgezet wordt, resulteert dit in een totale doorbuiging van:



Figuur III.16 totale doorbuiging

Door het toepassen van het kwispeleffect op de mast wordt de uiteindelijke totale doorbuiging op de tip berekend:

$f_{max} = f_1 + f_1' + f_2 + f_2' + f_3$
$f_{max} = 0,7 + 3,84 + 1,31 + 3,28 + 2,26$
$f_{max} = 11,39$ *[mm]*

Groepsfactor: 1,15
$f_{Totaal} = 11,39 * 1,15$
$f_{Totaal} = 13,10$ *[mm]*

Maximale doorbuiging is : 13,10 *[mm]*
De maximaal toegestane doorbuiging bedraagt : 19,3 *[mm]*

De veiligheidsfactor komt dan uit op:

Veiligheidsfactor= 19,3 / 13,1
Veiligheidsfactor= 1,7

III.3 BUIGSPANNING IN DE KOKERS VAN DE MAST

De maximale buigspanning in de kokers van de mast wordt berekend (zie figuur III.2), dit is de spanning welke optreed door de last en het eigengewicht van de kokerdelen van de mast. De maximale spanning treed op aan het begin van elke sectie aan de bovenzijde van de kokers.

III.3.1 Buigspanning sectie A

De buigspanning in sectie A wordt berekend.
Formule om de buigspanning te berekenen:

σ = $M * c / I$

Waarbij,

σ = *Maximale normaal spanning* $[N/mm^2]$
M = *Het resulterend intern moment [N*mm]*
I = *Het traagheidsmoment van de koker* $[mm^4]$
c = *De loodrechte afstand van de neutrale lijn tot het punt dat het verst verwijderd is (buiten zijde koker) van de neutrale lijn*

Het moment bestaat uit de last maal zijn arm plus de eigengewichten van de verschillende voorgaande delen maal de arm.

M_3 = *Buigend moment in sectie A*
$M_3 = FD * (L_1+L_4) + F_3 * (L_3 + L_1) + F_2 * (L_1 + L_2) + F_1 * (L_1 / 2)$
$M_3 = 5.500*(1.150+3.670)+ 959*(2.627,5+1.150)+ 1.426*(1.150+792,5)+ 1.115*(1.150/2)$
$M_3 = 335 *10^5$ *[N*mm]*

De spanning word uitgerekend:

$\sigma_A = M_3 * c_1 / I_1$
$\sigma_A = (335 *10^5 * 150 / 1016,9 *10^5$
$\sigma_A = 49,5$ $[N/mm^2]$

Vermoeiingssterkte voor buiging par. 9.2.1. NEN 6786:

$F_{fat;b;d}$ = *Vermoeiingssterkte voor buiging*
$f_{fat;b;rep}$ = *Volgens tabel 18 par. 9.1.1.3 NEN 6786 = 170* $[N/mm^2]$
$Y_{m;fat}$ = *Volgens tabel 20 par. 9.2.1 NEN 6783 = 1,2*

$F_{fat;b;d} = f_{fat;b;rep} / Y_{m;fat}$
$F_{fat;b;d} = 170 / 1,2 = 141,6$ $[N/mm^2]$

De extra veiligheidsfactor in deze is dus: 141,6 / 49,5 = 2,9

III.3.2 Buigspanning sectie B

De buigspanning in sectie B wordt berekend:
Formule om de buigspanning te berekenen:

$\sigma = M * c / I$

Het moment bestaat uit de last maal zijn arm plus de eigengewichten van de verschillende voorgaande kokerdelen vermenigvuldigd met de bijhorende arm.

M_4 = *Buigend moment in sectie B*
$M_4 = FD * L_4 + F_3 * L_3 + F_2 * L_2$
$M_4 = 5.500 * 3.670 + 959 * 2.627,5 + 1.426 * 792,5$
$M_4 = 238 * 10^5$ [N*mm]

De spanning word uitgerekend:

$\sigma_B = M_4 * c_2 / I_2$
$\sigma_B = 238 * 10^5 * 125 / 581,4 * 10^5$
$\sigma_B = 51,2$ [N/mm^2]

Vermoeiingssterkte voor buiging par. 9.2.1. NEN 6786:

$F_{fat;b;d}$ = *Vermoeiingssterkte voor buiging*
$f_{fat;b;rep}$ = *Volgens tabel 18 par. 9.1.1.3 NEN 6786 = 170* [N/mm^2]
$Y_{m;fat}$ = *Volgens tabel 20 par. 9.2.1 NEN 6783 = 1,2*

$F_{fat;b;d} = f_{fat;b;rep} / Y_{m;fat}$
$F_{fat;b;d} = 170 / 1,2 = 141,6$ [N/mm^2]

De extra veiligheidsfactor in deze is dus: 141,6 / 51,2 = 2,8

III.3.3 Buigspanning sectie C

De buigspanning in sectie C wordt berekend:
Formule om de buigspanning te berekenen:

$\sigma = M * c / I$

Het moment bestaat uit de last maal zijn arm plus de eigengewichten van de verschillende voorgaande kokerdelen vermenigvuldigd met de bijhorende arm.

M_5 = Buigend moment in sectie C
$M_5 = FD * L_6 + F_3 * (L_6 / 2)$
$M_5 = 5.500 * 2.085 + 959 * (2.085/2)$
$M_5 = 125 * 10^5$ *[N*mm]*

De spanning word uitgerekend:
$\sigma_C = M_5 * c_3 / I_3$
$\sigma_C = 125 * 10^5 * 102 / 402,2 * 10^5$
$\sigma_C = 31,7$ *[N/mm²]*

Vermoeiingssterkte voor buiging par. 9.2.1. NEN 6786:

$F_{fat;b;d}$ = Vermoeiingssterkte voor buiging
$f_{fat;b;rep}$ = Volgens tabel 18 par. 9.1.1.3 NEN 6786 = 170 [N/mm²]
$Y_{m;fat}$ = Volgens tabel 20 par. 9.2.1 NEN 6783 = 1,2

$F_{fat;b;d} = f_{fat;b;rep} / Y_{m;fat}$
$F_{fat;b;d} = 170 / 1,2 = 141,6$ *[N/mm²]*

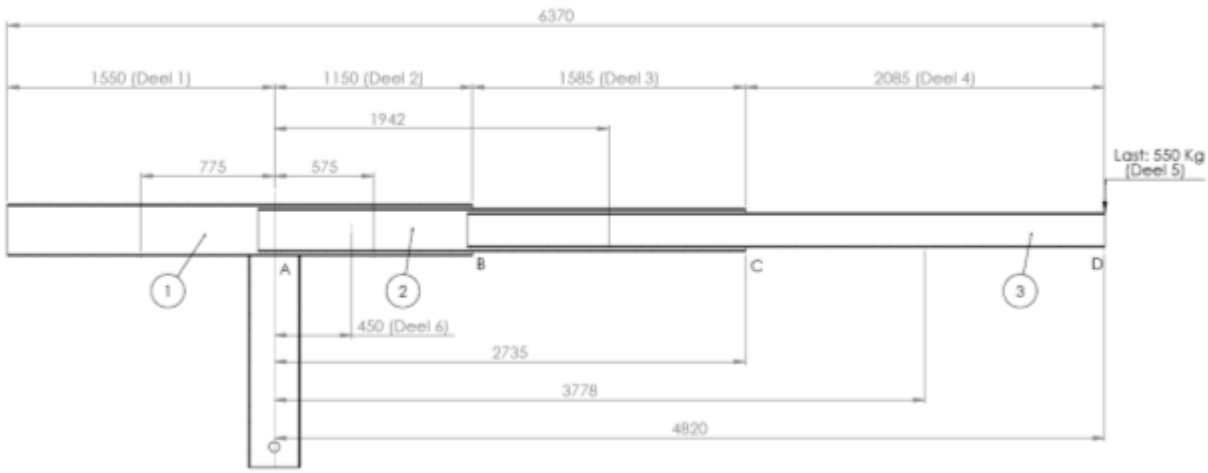
De extra veiligheidsfactor in deze is dus: 141,6 / 31,7 = 4,5

III.4 BELASTINGEN T.G.V TRAAGHEIDSKRACHTEN UIT MASTBEWEGINGEN

De belastingen ten gevolge van de traagheidskrachten van de mast worden berekend (figuur III.17)

Te onderscheiden zijn belastingen ten gevolge van:
Invloeden:

- Invloed van de zwenkbeweging;
- Invloed van de topbeweging.



Figuur III.17; Belastingen t.g.v. traagheidskrachten uit mastbeweging

Versnelling

Hoekversnelling van de mast	ω	: 0,15	*[rad/sec²]*

Gewichten kokers

Koker 1	K_1	: 0,53	*[N/mm]*
Koker 2	K_2	: 0,44	*[N/mm]*
Koker 3	K_3	: 0,46	*[N/mm]*

Lengtes

Lengte sectie 1	L_1	: 1.150	*[mm]*
Lengte sectie 2	L_5	: 1.585	*[mm]*
Lengte sectie 1	L_6	: 2.085	*[mm]*
Lengte afstand last tot verticale koker	L_8	: 4.820	*[mm]*
Lengte afstand deel 1	L_9	: 1.550	*[mm]*

Afstanden neutrale lijn

Maximale afstand vanaf neutrale lijn, koker 1	c_1	: 150	*[mm]*

Massa diverse delen

Massa deel 1	M_{deel1}	: 83,7	*[Kg]*
Massa deel 2	M_{deel2}	: 113,7	*[Kg]*
Massa deel 3	M_{deel3}	: 145,4	*[Kg]*
Massa deel 4	M_{deel4}	: 97,8	*[Kg]*
Massa deel 5	M_{deel5}	: 550	*[Kg]*
Massa deel 6	M_{deel6}	: 220	*[Kg]*

Zwaartepunt afstanden van de delen tot draaipunt mast

Zwaartepunt afstand deel 1	d_1	: 775		*[mm]*
Zwaartepunt afstand deel 2	d_2	: 575		*[mm]*
Zwaartepunt afstand deel 3	d_3	: 1.942		*[mm]*
Zwaartepunt afstand deel 4	d_4	: 3.778		*[mm]*
Zwaartepunt afstand deel 5	d_5	: 4.820		*[mm]*
Zwaartepunt afstand deel 6	d_6	: 450		*[mm]*

Massatraagheidsmomenten van de mast

Massatraagheidsmoment mast	J_{Totaal}	: 14.949		*[Kg*m²]*

Moment

Wringmoment t.g.v. massatraagheid mast	M_w	: 2.242	$x10^3$	*[Nmm]*

Schuifspanning

Gemiddelde schuifspanning verticale koker	τ	: 4,5		*[MPa]*

Normaalspanning

Maximale normaalspanning in verticale koker	$\sigma_{Verticale\ koker}$	: 3,3		*[MPa]*

III.4.1 De zwenkbeweging

De zwenkbeweging par. 4.5.1.3 NEN 2018, de traagheidskracht aan de top van de mast moet uit het maximum aanloop-, respectievelijk remkoppel van het drijfwerk worden berekend; wanneer dit koppel onbekend is dient er een versnelling, respectievelijk vertraging van a = 0,7 [m/s^2] in rekening te worden gebracht.

In eerste instantie wordt de hoekversnelling van de mast uitgerekend, het benodigde massatraagheidmoment van de mast en vervolgens het moment wat optreed in de verticale koker van de mast. Met dit berekende moment wordt de gemiddelde schuifspanning in de verticale koker berekend.

De hoekversnelling van de mast wordt berekend:

ω = a / L

Waarbij,

ω = *De hoekversnelling [rad/s²]*
a = *Versnelling van het uiteinde van de mast [m/s²]*
L = *Afstand van het uiteinde van de mast tot de verticale koker [m]*

$\omega = a / L_8$
$\omega = 0{,}7 / (4.820 * 10^{-3})$
$\omega = 0{,}15$ [rad/sec²]

Per deel van de mast (zie figuur 2.1) wordt het massatraagheidmoment berekend. In totaal worden zes delen berekend, bij ieder deel wordt de verschuivingsregel van Steiner toegepast om het totale

massatraagheidsmoment te verkrijgen. De cilinder wordt in deze berekening ook meegenomen, het zwaartepunt van de cilinder (figuur 2.1) is aangegeven.

Deel 1
De massa van het eerste kokerdeel:

M_{Deel1} = $(K_1 * L_9) / 9,81$
M_{Deel1} = $(0,53 * 1.550) / 9,81$
M_{Deel1} = $83,7$ [Kg]

Het massatraagheidsmoment wordt met de volgende formule berekend, inclusief verschuivingsregel.
J = $1/12 * M * L^2 + (M * d^2)$

Waarbij,
J = *Het massatraagheidsmoment [Kg*m²]*
M = *De massa van het te berekenen deel [Kg]*
L = *De lengte van het te berekenen deel [m]*
d = *De afstand van het zwaartepunt van het deel tot het draaipunt (verticale koker) [m]*

J_1 = $1/12 * M_{deel\ 1} * L_9^2 + (M_{deel\ 1} * d_1^2)$
J_1 = $1/12 * 83,7 * 1,55^2 + (83,7 * 0,78^2)$
J_1 = $67,2$ [Kg*m²]

Deel 2
De massa van het tweede kokerdeel:

M_{Deel2} = $(K_1 + K_2) * L_1 / 9,81$
M_{Deel2} = $(0,53 +0,44) * 1.150 / 9,81$
M_{Deel2} = $113,7$ [Kg]

Het massatraagheidsmoment wordt met de volgende formule berekend, inclusief verschuivingsregel:
J_2 = $1/12 * M_{deel\ 2} * L_1^2 + (M_{deel\ 2} * d_2^2)$
J_2 = $1/12 * 113,7 * 1,15^2 + (113,7 * 0,58^2)$
J_2 = $50,1$ [Kg*m²]

Deel 3
De massa van het derde kokerdeel:

M_{Deel3} = $(K_2 + K_3) * L_5 / 9,81$
M_{Deel3} = $(0,44 +0,46) * 1.585 / 9,81$
M_{Deel3} = $145,4$ [Kg]

Het massatraagheidsmoment wordt met de volgende formule berekend, inclusief verschuivingsregel:
J_3 = $1/12 * M_{deel\ 3} * L_5^2 + (M_{deel\ 3} * d_3^2)$
J_3 = $1/12 * 578,8 * 1,59^2 + (578,8 * 1,9^2)$
J_3 = $578,8$ [Kg*m²]

Deel 4
De massa van het vierde kokerdeel:

M_{Deel4} = $K_3 * L_6 / 9,81$
M_{Deel4} = $0,46 * 2.085 / 9,81$
M_{Deel4} = $97,8$ [Kg]

Het massatraagheidsmoment wordt met de volgende formule berekend, inclusief verschuivingsregel:
J_4 = $1/12 * M_{deel\ 4} * L_5^2 + (M_{deel\ 4} * d_4^2)$
J_4 = $1/12 * 578,8 * 1,59^2 + (578,8 * 3,78^2)$
J_4 = $1.430,9$ [$Kg*m^2$]

Deel 5
De massa van de last:
M_{Deel5} = *Massa last*
M_{Deel5} = 550 [Kg]

Het massatraagheidsmoment wordt met de volgende formule berekend, met verschuivingsregel:
J_5 = $M_{deel\ 5} * d_5^2)$
J_5 = $550 * 4,82^2)$
J_5 = $12.777,8$ [$Kg*m^2$]

Deel 6
De massa van de cilinder:
M_{Deel6} = *Massa cilinder*
M_{Deel6} = 220 [Kg]

Het massatraagheidsmoment wordt met de volgende formule berekend, met verschuivingsregel:
J_6 = $M_{deel\ 6} * d_6^2)$
J_6 = $220 * 0,45^2)$
J_6 = $44,6$ [$Kg*m^2$]

Totaal
Het totale massatraagheidsmoment van de mast wordt dan:
J_{Totaal} = $J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5 + J_6$
J_{Totaal} = $67,2 + 50,1 + 578,8 + 1.430,9 + 12.777,8 + 44,6$
J_{Totaal} = 14.949 [$Kg*m^2$]

Het wringend moment in de verticale koker wordt berekend met de volgende formule:
M_w = $J * \omega$

Waarbij,
M_w = *Het wringend moment in de verticale koker [Nm]*
J = *Het massatraagheidsmoment* [$Kg*m^2$]
ω = *De hoekversnelling* [rad/s^2]

M_w = $J_{Totaal} * \omega$
M_w = $14.949 * 0,15$
M_w = 2.242 [Nm]

De gemiddelde schuifspanning in het verticale profiel wordt dan berekend met de formule:

τ = $M_w / 2 * t * A_{omsl}$

M_w = *Het wringend moment in de verticale koker [Nmm]*
t = *De dikte van de buis [mm]*
A_{omsl} = *Het omsloten oppervlak binnen de grens die wordt gevormd door de hardlijn van de buiswand [mm²]*

$\tau = M_w / 2 * t * A_{omsl}$
$\tau = 2.242 * 10^3 / 2 * 6 * 204^2$
$\tau = 4,5\ [N/mm^2]$

Deze schuifspanning welke optreed in de verticale koker is dermate klein dat deze buitenbeschouwing gelaten kan worden.

III.4.2 De topbeweging

De topbeweging par. 4.5.1.4 NEN 2018, de traagheidskracht aan de top van de mast moet uit het maximum aanloop-, respectievelijk remkoppel van het drijfwerk worden berekend; wanneer dit koppel onbekend is dient er een versnelling, respectievelijk vertraging van a = 0,7 [m/s^2] in rekening te worden gebracht.

Voor de topbeweging geldt dezelfde maximale versnelling. Omdat de kokers symmetrisch zijn blijft het totale massatraagheidsmoment gelijk. De top beweging van de mast resulteert echter in een buigendmoment. De maximale normaal spanning in de verticale buis wordt onderstaand berekend.

Formule voor de maximale normaalspanning:
$\sigma = M * c / I$

Waarbij,
σ = *Maximale normaal spanning [N/mm²]*
M = *Het resulterend intern moment [N*mm]*
I = *Het traagheidsmoment van de koker [mm⁴]*
c = *De loodrechte afstand van de neutrale lijn tot het punt dat het verst verwijderd is (buiten zijde koker) van de neutrale lijn*

De maximale normaal spanning word uitgerekend:
$\sigma_{Verticale\ koker} = M_b * c_1 / I_1$
$\sigma_{Verticale\ koker} = (2.242 * 10^3) * 150 / 1016,9 * 10^5$
$\sigma_{Verticale\ koker} = 3,3\ [N/mm^2]$

Ook deze spanning is dermate klein dat deze verwaarloosbaar is.

III.5 BELASTINGEN T.G.V WEERSINVLOEDEN

Algemeen
De volgende invloeden zijn te onderscheiden:
a. wind en storm; invloed resp. S_w en S_s ;
b. sneeuw; invloed S_n ;
c. temperatuur; invloed S_{TE} .

Wind en storm
Aangenomen wordt dat de invloed van de wind horizontaal is. De voor een kraan ongunstigste windrichting moet in rekening worden gebracht.

Stuwdruk
De stuwdruk *q* wordt bepaald met de formule:

$q = 0,5 * \rho * V_w^2 = V_w^2 / 1,6$

Waarbij:
q = *De stuwkracht in [N/mm²]*
V_w = *De windsnelheid in [m/s]*
ρ = *De dichtheid van de lucht te stellen op 1,25 [kg/m³]*

Volgens tabel 20 van de NEN 2018 is bij wind V_w = 20 *[m/s]* en *q* = 250 *[N/m²]*

Berekening van de windinvloed
Door de wind op een constructie element of een ligger uigeoefende kracht in de windrichting bedraagt:

$F_w = A \times q \times C$

Waarbij:
F_w = *De windkracht, in [N]*
A = *De som van de projecties van de in de windrichting zichtbare en getroffen oppervlakken in [m²], Het totale oppervlak bedraagt 2 [m²]*
q = *De stuwkracht in [N/m²]*
C = *Een aerodynamische coëfficiënt, die afhangt van de vorm van het getroffen oppervlak, Voor de rechthoekige koker geldt: C = 1,55*

$F_w = A * q * C$
$F_w = 2 * 250 * 1.55 = 775$ *[N]*

Sneeuwbelasting
Belasting door sneeuw behoeft in het algemeen niet in rekening te worden gebracht. Daar de horizontale vlakken relatief smal zijn volgens NEN 2018.

Temperatuur
Spanningen, veroorzaakt door veranderingen van temperatuur of temperatuurverschillen behoeven in het algemeen niet in rekening te worden gebracht volgens NEN 2018.

III.6 BELASTINGEN T.G.V HET BEDRIJFSKARAKTER

Tijdens de bedrijfsvoering ondervindt het metalen geraamte van een kraan trillingen te gevolge van een aantal dynamische en deels onbekende invloeden, die in het voorgaande nog niet beschouwd en numeriek gewaardeerd zijn.

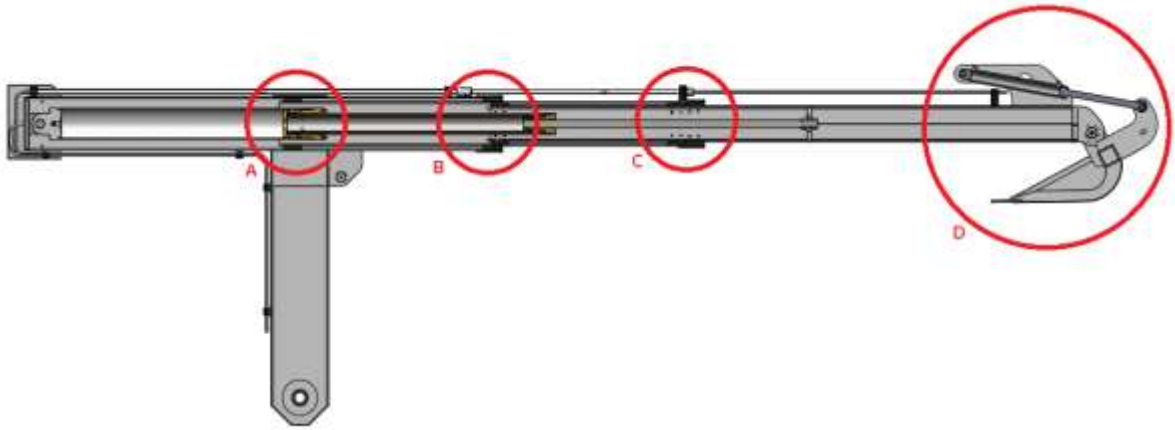
Groepsfactor M voor het geraamte
Volgens bovenstaande selectie en tabel 24 van NEN 2018 is de groepsfactor bij kraangroep 3
M = 1,05.

Groepsfactor M_m voor het mechanisme
Volgens bovenstaande selectie en tabel 25 van NEN 2018 is de groepsfactor bij mechanismegroep M4 = 1,1

Opmerking
Voor de zekerheid hebben we zowel de groepsfactor M als de groepsfactor M_m gesteld op 1,15

III.7 BELASTING EN WRIJVING OP DE GELEIDINGSBLOKKEN

In de mast zijn op diverse plekken geleidingsblokken (POM) gemonteerd. Deze blokken dienen voor de geleiding van de uitschuifbare kokers en evenals de functie om de belastingen tussen de kokers over te dragen. Om de spanning en de benodigde kracht om de wrijving op te heffen juist te kunnen berekenen wordt de mast opgesplitst in twee delen (figuur III.18). In punt B bevinden zich dubbele blokken boven elkaar, aan de achterzijde van koker 3 en aan de voorzijde van koker 1. Figuur III.2 geeft de afmetingen van de mast weer. Bij de berekening is uitgegaan van de kritieke positie toestand van de mast. Mast horizontaal, volledig uitgeschoven en volle last in de grijper.



Figuur III.18; Totale mast

Lengtes

Lengte sectie 1	L_1	: 1.150	*[mm]*
Lengte afstand eigengewicht	L_2	: 793	*[mm]*
Lengte afstand eigengewicht	L_3	: 2.628	*[mm]*
Lengte sectie 2 tot uiteinde mast	L_4	: 3.670	*[mm]*
Lengte sectie 2	L_5	: 1.585	*[mm]*
Lengte sectie 1	L_6	: 2.085	*[mm]*
Lengte afstand eigengewicht	L_7	: 1.043	*[mm]*

Krachten

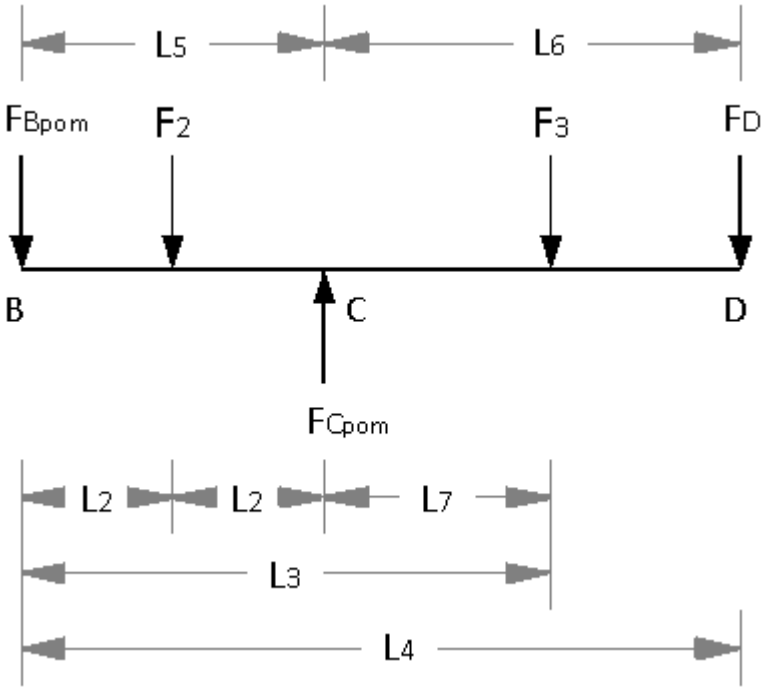
Punt kracht t.g.v. de last op de tip	F_D	: 5.500	*[N]*
Kracht t.g.v. eigengewicht koker 1+2	F_1	: 1.115	*[N]*
Kracht t.g.v. eigengewicht koker 2+3	F_2	: 1.426	*[N]*
Kracht t.g.v. eigengewicht koker 3	F_3	: 959	*[N]*
Kracht op POM blok in punt A	$F_{\mathbf{Apom}}$	: 9.328	*[N]*
Kracht op POM blok in punt B	F_{Bpom}	: 7.153	*[N]*
Kracht op POM blok in punt B	F_{Bpom1}	: 18.328	*[N]*
Kracht op POM blok in punt C	F_{Cpom}	: 15.038	*[N]*
Kracht om wrijving op te heffen	F_w	: 14.955	*[N]*

Wrijvingscoëfficiënt

Wrijvingscoëfficiënt RVS op POM-C	U_s	: 0,3

III.7.1 Voorgedeelte

Het voorgedeelte loopt van punt B t/m punt D, waarbij het geheel scharniert om punt C (figuur III.19)



Figuur III.19; Voorgedeelte mast

Bepaling kracht F_{Bpom}:

$\sum M$ *om C = 0*

$- F_{Bpom} * L_5 - F_2 * L_2 + F_3 * L_7 + F_D * L_6 = 0$

$- F_{Bpom} * 1.585 - 1.426 * 793 + 959 * 1.043 + 5.500 * 2.085 = 0$

$F_{Bpom} = 7.153$ *[N]*

Bepaling kracht F_{Cpom}:

$\sum M$ *om B = 0*

$F_2 * L_2 - F_{Cpom} * L_5 + F_3 * L_3 + F_D * L_4 = 0$

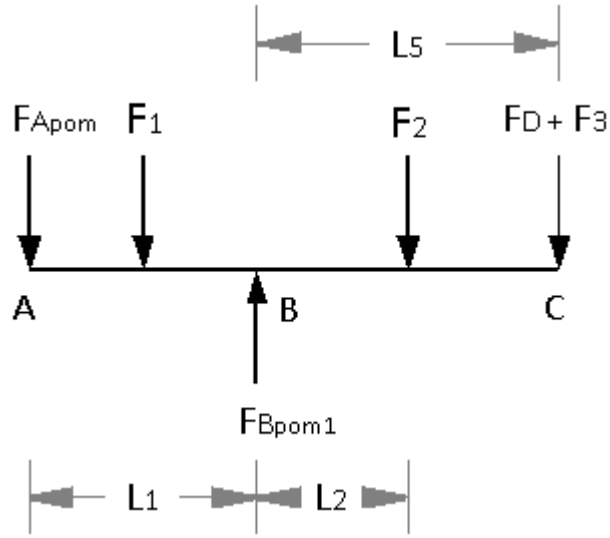
$1.426 * 793 - F_{Cpom} * 1.585 + 959 * 2.628 + 5.500 * 3.670 = 0$

$F_{Cpom} = 15.038$ *[N]*

De krachten F_{Bpom} en F_{Cpom} worden opgevangen door de POM blokken. Aangenomen wordt dat het onderste blok en het bovenste blok beiden op de helft van het oppervlak dragend zijn, dit is gelijk aan het oppervlak van één blok. De oppervlaktes van deze POM blokken zijn dermate groot dat de oppervlakte spanning op de blokken zeer klein zijn.

III.7.2 Achtergedeelte

Het achtergedeelte loopt van punt A t/m punt C, waarbij het geheel scharniert om punt B (figuur III.20) De belasting op punt C is de belasting in punt D plus de kracht F_3.



Figuur III.20; Achtergedeelte mast

Bepaling kracht F_{Apom}:

$\sum M$ *om B = 0*

$-F_{Apom} * L_1 - F_1 * (L_1/2) + F_2 * L_2 + (F_D + F_3) * L_5 = 0$

$-F_{Apom} * 1.150 - 1.115 * (1.150/2) + 1.426 * 793 + (5.500 + 959) * 1.585 = 0$

$F_{Apom} = 9.328$ *[N]*

Bepaling kracht F_{Bpom1}:

$\sum M$ *om A = 0*

$F_1 * (L_1/2) - F_{Bpom1} * L_1 + F_2 * (L_1 + L_2) + (F_D + F_3) * (L_1 + L_5) = 0$

$1.115 * (1.150/2) - F_{Bpom1} * 1.150 + 1.426 * (1.150 + 793) + (5.500 + 959) * (1.150 + 1.585) = 0$

$F_{Bpom1} = 18.328$ *[N]*

De statische wrijvingscoëfficiënt U_s van RVS op POM is 0,3. De totale kracht welke de telescoop cilinder moet leveren om de wrijving op te heffen kan nu worden bepaald. Deze waarde wordt gevonden in de som van de belastingen op de POM blokken vermenigvuldigd met de wrijvingscoëfficiënt.

$F_w = U_s * F_{pom}$

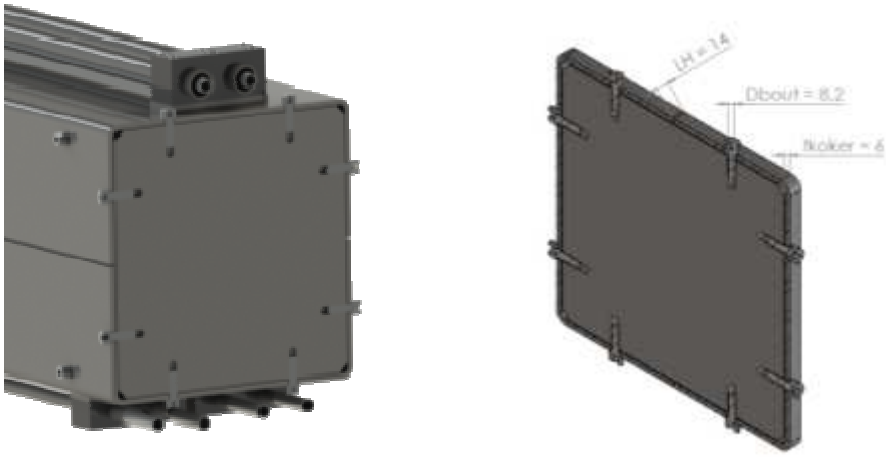
$F_w = U_s * (F_{Apom} + F_{Bpom} + F_{Bpom1} + F_{Cpom})$

$F_w = 0,3 * (9.328 + 7.153 + 18.328 + 15.038)$

$F_w = 14.955$ *[N]*

III.8 STERKTEBEREKENING MONTAGEPLAAT TELESCOOPCILINDER

De telescoopcilinder is aan de achterzijde van de mast gemonteerd op een montage plaat (figuur III.21), deze plaat wordt rondom in positie gehouden door acht bouten. Bekeken moet worden of deze bouten sterk genoeg zijn, het gat door de optredende stuikspanning niet vervormd en het achterliggende materiaal achter de bout de optredende schuifspanning op kan nemen.



Figuur III.21; Montage plaat

Krachten

Kracht om wrijving op te heffen	F_w	: 14.955	*[N]*

Lengte

Kerndiameter M10 bout	D_{bout}	: 8,2	*[mm]*
Afstand hart bout tot achterzijde koker	L_H	: 14	*[mm]*
Dikte koker	t_{koker}	: 6	*[mm]*

Schuifspanning

De schuifspanning in de bout	τ_{bout}	: 55	*[MPa]*
De schuifspanning in de koker	τ_{koker}	: 35	*[MPa]*

Stuikspanning

Stuikspanning in het gat van de koker	σ_s	: 59	*[MPa]*

Bepaling belasting op cilindermontage plaat

In bijlage II.7 is de kracht berekend welke de cilinder moet leveren om de wrijving op de geleidingsblokken te overwinnen. Dit is ook de kracht welke de cilinder moet leveren om de mast uit te sturen.

Afschuiving
De schuifspanning in de bout:
τ = F / A

Waarbij,
τ = *Schuifspanning [N/mm^2]*
F = *De optredende kracht [N]*
A = *Het af te schuiven oppervlak [mm^2]*

τ_{bout} = $(F_w / 8) / 0{,}25 * \pi * D_{bout}^2$
τ_{bout} = $(14.955 / 8) / 0{,}25 * \pi * (8{,}2)^2$
τ_{bout} = *35 [N/mm^2]*

De schuifspanning in de bout is toelaatbaar, vervolgens wordt de koker bekeken. De spanning welke optreed in het achterliggende materaal van de bout tot het einde van de koker. De koker is 6 *[mm]* dik, het achterliggende materiaal vanuit het hart van de bout is 14 *[mm].*

τ_{koker} = $(F_w / 8) / (L_H * t_{koker})$
τ_{koker} = $(14.955 / 8) / (14 * 6)$
τ_{koker} = *22 [N/mm^2]*

Stuik
Ook treed er een spanning in de gaten van de koker op, ten gevolge van de stuikspanning, door deze spanning kan het gat ovaal worden gedrukt.

De stuikspanning in het oor:
σ_s = $F / A_{proj.}$

Waarbij,
σ_s = *Stuikspanning [N/mm^2]*
F = *De optredende kracht [N]*
$A_{proj.}$ = *Het geprojecteerde oppervalk van het gat (diameter) vermenigvuldigd met de dikte van het materiaal [mm^2]*

σ_s = $(F_w / 8) / (D_{bout} * t_{koker})$
σ_s = $(14.955 / 8) / (8{,}2 * 6)$
σ_s = *38 [N/mm^2]*

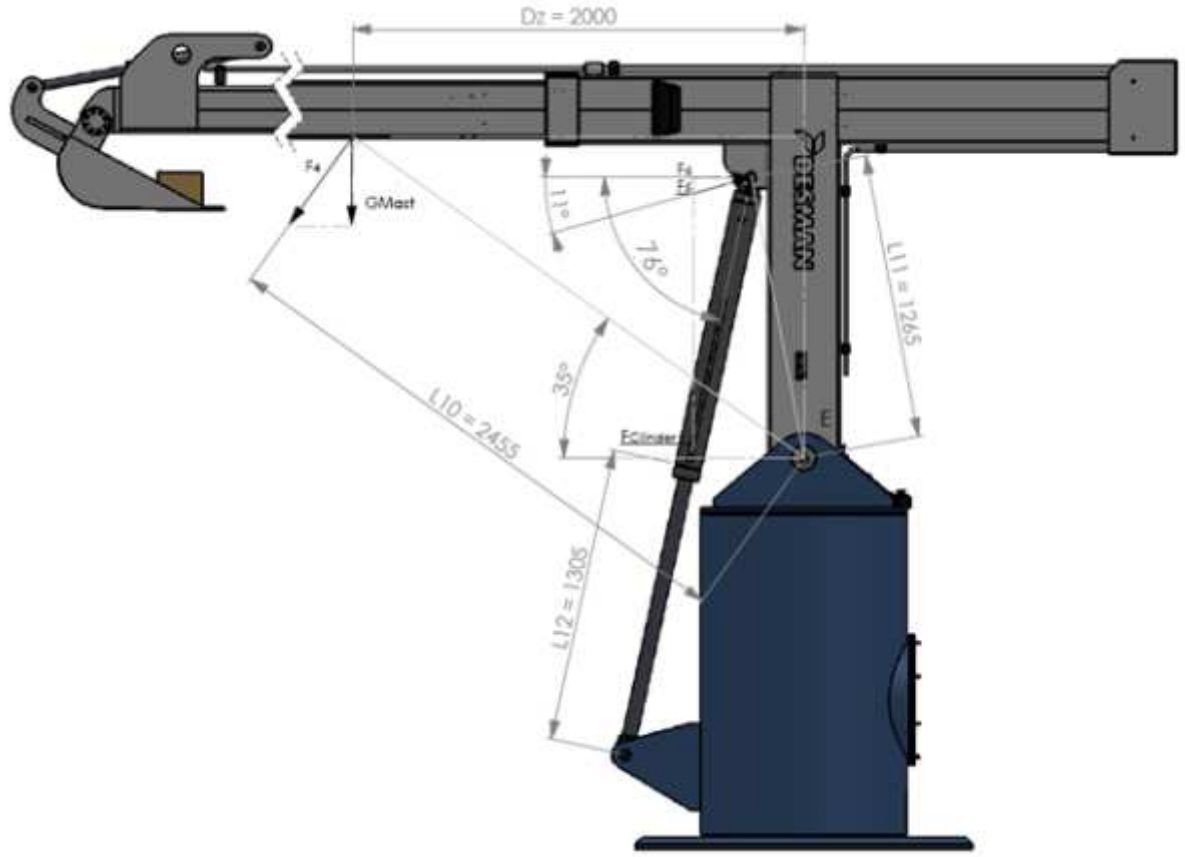
De koker wordt het zwaarst belast, op stuik. De koker is vervaardigd uit RVS, dit materiaal heeft een vloeigrens van 195 *[Mpa]*, wordt de spanning hoger dan zal het materiaal plastisch vervormen. De veiligheidsfactor komt in het kritische geval door de stuikspanning uit op:

Veiligheidfactor cilinder as:
V_{as} = $\sigma_{toelaatbaar} / \sigma_B$
V_{as} = $195 / 38$
V_{as} = 5

Dit is een ruime veiligheidsfactor, bij de stuikspanning is uitgegaan dat het complete oppervlak van het boutgat overal evenveel draagt, dit is in werkelijkheid niet zo. Door de ruime veiligheidsfactor is dit ingedekt.

III.9 STERKTEBEREKENING FRAME CILINDER

De belasting in de cilinder wordt berekend zodat de juiste cilinder bepaald kan worden (Figuur III.22). De totale massa van de mast (incl. massa last) grijpt aan in het zwaarte punt en deze ontbonden kracht (F_4) veroorzaakt een moment in punt E. De kracht F_6 heeft ook een loodrechte arm naar punt E, deze kracht resulteert in een tegengesteld moment. Wanneer deze kracht wordt ontbonden wordt de belasting in de cilinder bepaald. Om de belasting in de cilinder zo laag mogelijk te houden zijn verschillende posities bekeken, uiteindelijk is voor onderstaande opstelling gekozen (figuur III.22). De belasting op de scharnier as aan de bodemzijde van de cilinder is gelijk aan de belasting aan de stangzijde, de assen van deze scharnierpunten zijn hetzelfde. Deze as is in bijlage 1 al berekend.



Figuur: III.22 Bepaling belasting in framecilinder

Krachten

Kracht ten gevolge totaal gewicht mast	G_{Mast}	: 13.500	*[N]*
Ontbonden kracht totale massa mast	F_4	: 16.480	*[N]*
Ontbonden kracht F_6	F_5	: 31.982	*[N]*
Loodrechte kracht op scharnierpunt	F_6	: 31.395	*[N]*
Kracht op de cilinder	$F_{Cilinder}$	: 129.773	*[N]*

Lengtes

Loodrechte lengte afstand tot scharnierpunt	L_{10}	: 2.455	*[mm]*
Loodrechte lengte afstand tot scharnierpunt	L_{11}	: 1.265	*[mm]*
Lengte cilinderstang	L_{12}	: 1.305	*[mm]*
Zwaartepunt mast (vanuit hard verticale koker)	d_z	: 2.000	*[mm]*

Bepaling kracht F_4:

$F_4 = G_{Mast} / \cos 35°$
$F_4 = 13.500 / \cos 35°$
$F_4 = 16.480$ *[N]*

Bepaling kracht F_5:

$\sum M$ *om punt E*
$F_4 * L_{10} = F_5 * L_{11}$
$16.480 * 2.455 = F_5 * 1.265$
$F_5 = 31.982$ *[N]*

Bepaling kracht F_6:

$F_6 = F_5 * \cos 11°$
$F_6 = 31.982 * \cos 11°$
$F_6 = 31.395$ *[N]*

Bepaling kracht $F_{Cilinder}$:

$F_{Cilinder} = F_5 / \cos 75°$
$F_{Cilinder} = 31.395 / \cos 76°$
$F_{Cilinder} = 129.773$ *[N]*

Nu de belasting op de cilinder berekend is, kan deze worden bepaald. Uitgegaan wordt dat de cilinder werkt met een druk van 20 *[MPa].*

De diameter van de zuiger is dan:

$\sigma = F / A$
$A_{Zuiger} = F_{Cilinder} / \sigma_{Cilinder}$
$A_{Zuiger} = 129.773 / 20$
$A_{Zuiger} = 6.489$ *[mm²]*
$D_{Zuiger} = 90,9$ *[mm]*

Er wordt een boring van Ø 110 *[mm],* de diameter van de cilinder wordt dan Ø 130 *[mm]* en de stang Ø 60 *[mm],* Dit is een standaard cilindermaat en kan door diverse leveranciers worden geleverd. De kracht welke deze cilinder levert bij een druk van 20 *[MPa]* is:

$\sigma = F / A$
$F_{Cilinder} = A_{Cilinder} * \sigma_{Cilinder}$
$F_{Cilinder} = (\pi/4 * D_{Zuiger}^2) * \sigma_{Cilinder}$
$F_{Cilinder} = (\pi/4 * 110^2) * 20$
$F_{Cilinder} = 190.066$ *[N]*

De veiligheidsfactor komt dan uit op:

$V_{Cilinder} = 190.066 / 129.773$
$V_{Cilinder} = 1,5$

Het is door de lange afstand tussen de twee scharnierpunten van de cilinder mogelijk dat deze knikt. Onderstaand wordt de belasting berekend waarbij de cilinder zou knikken. Doordat de cilinder aan de onderzijde scharnierend is gemonteerd zal de volledige lengte van de cilinder (van oor tot oor) worden gebruikt bij de knikberekening.

P_{kr} $= (\pi^2 * E * I) / (K * L^2)$

Waarbij,

P_{kr} *= De kritische belasting waarbij de stang knikt, in [N]*
E = De elasticiteitmodules van RVS in [Mpa]
I = Het oppervlakte traagheidsmoment van de stang [mm^4]
K = De effectieve lengte factor, voor een scharnierend in ingeklemd uiteinde: 0,7
L = De lengte van de stang in [mm]

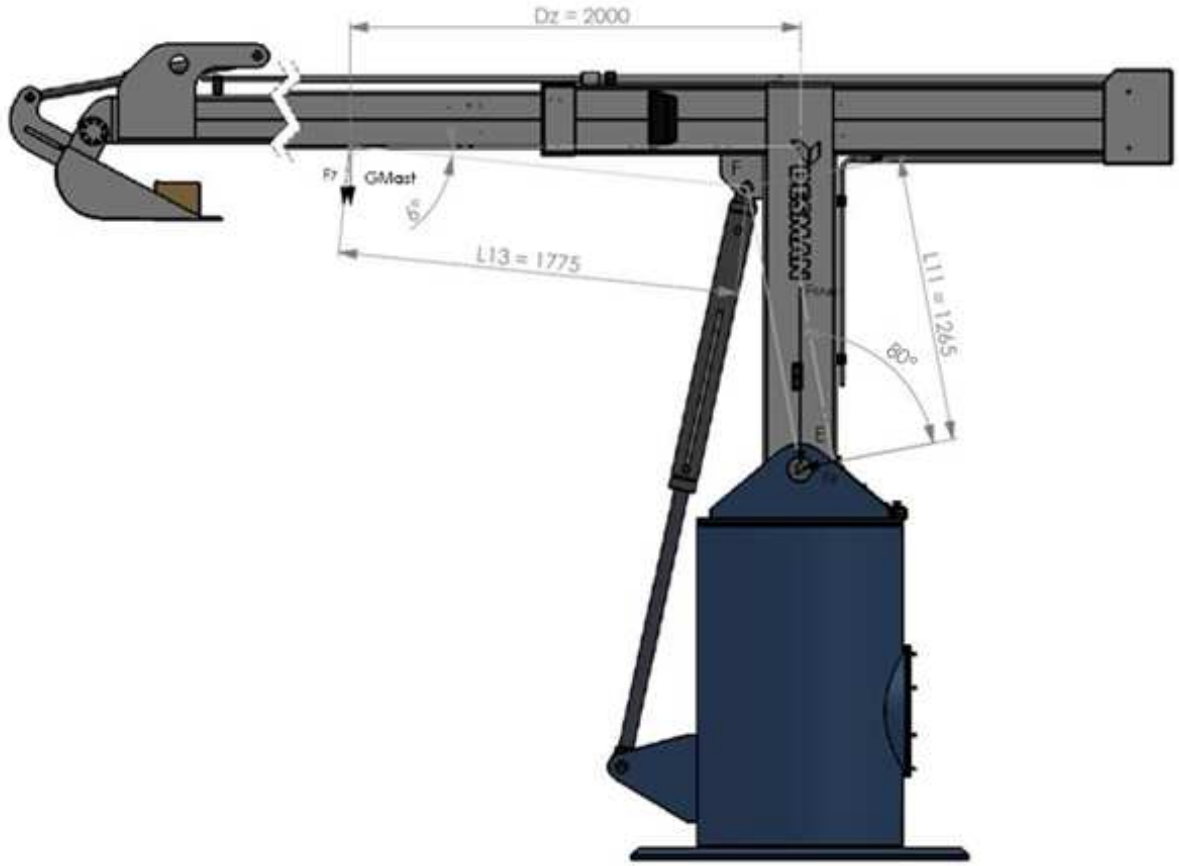
De kritische belasting waarbij de stang knikt:

$P_{kr} = \pi^2 * E * (0{,}25 * \pi * r_{stang}^4) / K *(2 * L_{12})^2$
$P_{kr} = \pi^2 * 195.000 * (0{,}25 * \pi * 30^4) / 0{,}7 * (2 * 1.305)^2$
$P_{kr} = 257 * 10^3$ [N]

De veiligheidsfactor van de knikbelasting komt uit op 2. Dit is een goede veiligheidsfactor, de hydraulische druk beveiliging op het aggregaat zal uitslaan wanneer de druk in de cilinder te hoog wordt.

III.10 BEPALING BELASTING IN VERTICALE KOKER

De verticale kracht in de mast wordt berekend (Figuur III.23) zodat de belasting op het scharnier van het frame bekend is. Door het moment om punt F te nemen wordt de kracht (F_8) bepaald. Door deze kracht te ontbinden in een verticale component wordt de neerwaartse resulterende kracht op het scharnier berekend.



Figuur: III.23; Bepaling belasting in de verticale mast

Krachten

Kracht ten gevolge totale massa mast	G_{Mast}	: 13.500	*[N]*
Ontbonden kracht F_6	F_7	: 13.574	*[N]*
Loodrechte kracht op arm tot cilinderas	F_8	: 19.046	*[N]*
Kracht in de mast	F_{Mast}	: 109.680	*[N]*

Lengtes

Loodrechte lengte afstand tot scharnierpunt	L_{11}	: 1.265	*[mm]*
Loodrechte lengte afstand tot scharnierpunt	L_{13}	: 1.775	*[mm]*
Zwaartepunt mast (vanuit hard verticale koker)	d_z	: 2.000	*[mm]*

Bepaling kracht F_7

G_{Mast} = 13.500 [N]

$F_7 = G_{Mast} / \cos 6°$

$F_7 = 13.500 / \cos 6°$

F_7 = 13.574 [N]

Bepaling kracht F_5

$\sum M$ *om punt E*

$F_7 * L_{13} = F_8 * L_{11}$

$13.574 * 1.775 = F_8 * 1.265$

F_8 = 19.046 [N]

Bepaling kracht F_{Mast}

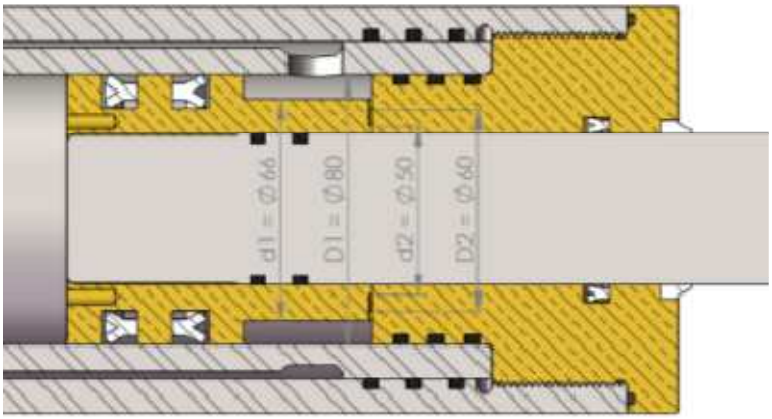
$F_{Mast} = F_8 / \cos 80°$

$F_{Mast} = 19.046 / \cos 80°$

F_{Mast} = 109.680 [N]

III.11 TELESCOOPCILINDER

De kracht welke de telescoop cilinder (figuur III.24) dient te leveren is bepaald in bijlage III.7. De totale kracht om de wrijving op te heffen is gelijk aan de te leveren kracht door de cilinder. Het kleinste zuigeroppervlak in de telescoop cilinder bepaald de druk welke benodigd is om de gestelde druk/trekkracht te verkrijgen. Het kleinste zuigeroppervlak ontstaat wanneer de cilinder in uitstand staat en weer ingetrokken wordt. Er is extra zuigeroppervlak gecreëerd op de kop van de zuiger, hier is een groef ingedraaid. Dit omdat wanneer de zuiger op de kop rust kan alleen het oppervlak van het zijgedeelte van de zuiger gebruikt worden om de zuiger terug te duwen. Dit geldt echter voor een kleine periode, wanneer de zuiger los komt van de kop wordt het gehele zuigeroppervlak gebruikt. Bij de berekening wordt uit gegaan van dit kritische geval.



Figuur III.24; Berekening werkdruk telescoopcilinder

Extra groef in zuiger

Krachten

Te leveren kracht door cilinder	F_w	: 14.955	*[N]*

Diameters

Zuigerdiameter	D_1	: 80	*[mm]*
Zuigerdiameter	d_1	: 66	*[mm]*
Groefdiameter	D_2	: 60	*[mm]*
Groefdiameter	d_2	: 50	*[mm]*

Bepaling druk oppervlak

O_{zuiger} : $\pi/4 * (D_1^2 - d_1^2) + \pi/4 * (D_2^2 - d_2^2)$

O_{zuiger} : $\pi/4 * (80^2 - 66^2) + \pi/4 * (60^2 - 50^2)$

O_{zuiger} : 2.469 *[mm]*

Bepaling benodigde druk

$\sigma_{cilinder}$ = *(Veiligheidsfactor * F) / A*

$\sigma_{cilinder}$ = *(1,5 *14.955) / 2.469*

$\sigma_{cilinder}$ = *9 [MPa]*

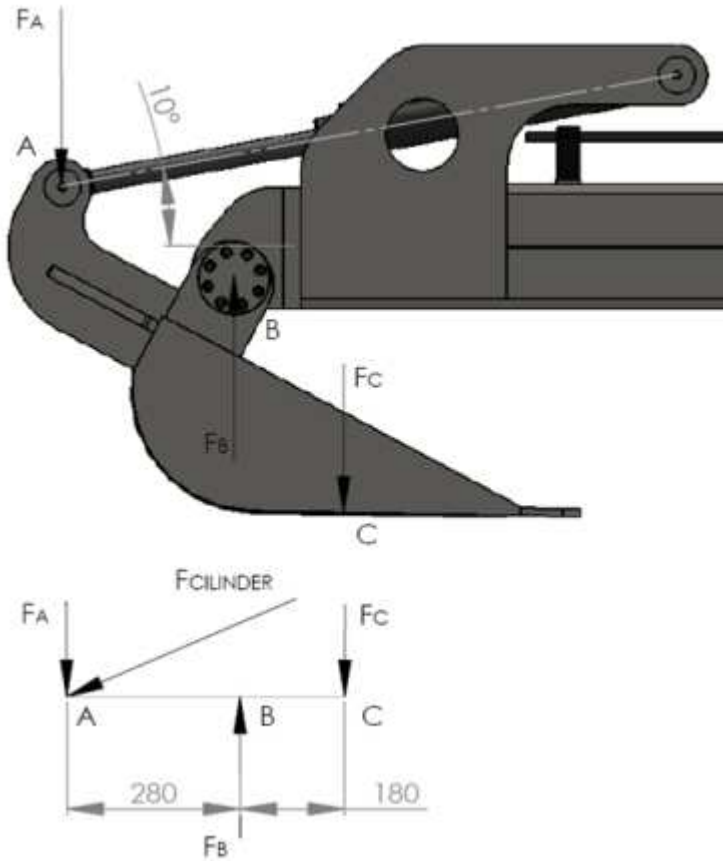
De benodigde cilinder druk komt uit op 90 *[Bar]*.

IV. STERKTEBEREKENINGEN HARK

De hark aan de voorzijde van de mast is onderhevig aan een aantal belastingen. In deze bijlage wordt een sterkteberekening van de kantelcilinder gemaakt en wordt gekeken naar het scharnier.

IV.1 BEPALING KANTELCILINER

De functie van de kantelcilinder (figuur IV.1) is de hark te kantelen, hierbij treden de volgende belastingen op: De last en het eigengewicht van de hark. Door een evenwichtsvergelijking op te stellen worden de benodigde krachten bepaald en door het ontbinden van de kracht (F_a) wordt de benodigde kracht welke de cilinder moet leveren bepaald.



Figuur IV.1; Berekening kantelcilinder

Krachten

Loodrechte kracht op punt A	F_A	: 2.893	*[N]*
Reactiekracht in het scharnier	F_B	: 7.393	*[N]*
Kracht t.g.v. de last en eigengewicht hark	F_C	: 4.500	*[N]*
Kracht in de kantelcilinder	$F_{Cilinder}$	: 16.660	*[N]*

Lengtes

Afstand van A tot B	L_1	: 280	*[mm]*
Afstand van B tot C	L_2	: 180	*[mm]*

Kracht

Te leveren kracht cilinder	$F_{Cilinder}$	: 16.660	*[N]*

Bepaling kracht F_C:

$F_C = (M_{Last} + M_{Hark}) * F_z$

$F_C = (250 + 200) * 10$

$F_C = 4.500$ *[N]*

Bepaling kracht F_A:

$\sum M$ *om punt B*

$F_c * L_2 - F_A * L_1 = 0$

$4.500 * 180 - F_A * 280 = 0$

$F_A = 2.893$ *[N]*

Bepaling kracht F_B:

$\sum F$ *horizontaal*

$- F_C + F_B - F_A = 0$

$- 4.500 + F_B - 2893 = 0$

$F_B = 7.393$ *[N]*

Bepaling kracht $F_{Cilinder}$:

$F_{Cilinder} = F_A / \sin 10°$

$F_{Cilinder} = 2.893 / \sin 10°$

$F_{Cilinder} = 16.660$ *[N]*

Wanneer er een cilinder met een boring van 60 *[mm]* en een stang van 35 *[mm]* wordt gekozen, komt de werkdruk uit op:

Bepaling benodigd oppervlak zuiger

$\sigma_{cilinder} = (Veiligheidsfactor * F_{Cilinder}) / A$

$\sigma_{cilinder} = (1,5 * 16.600) / (\pi/4 * (60^2 - 35^2))$

$\sigma_{cilinder} = 13,4$ *[Mpa]*

De benodigde druk om de cilinder terug te sturen met volle last in de hark bedraagt 134 Bar.

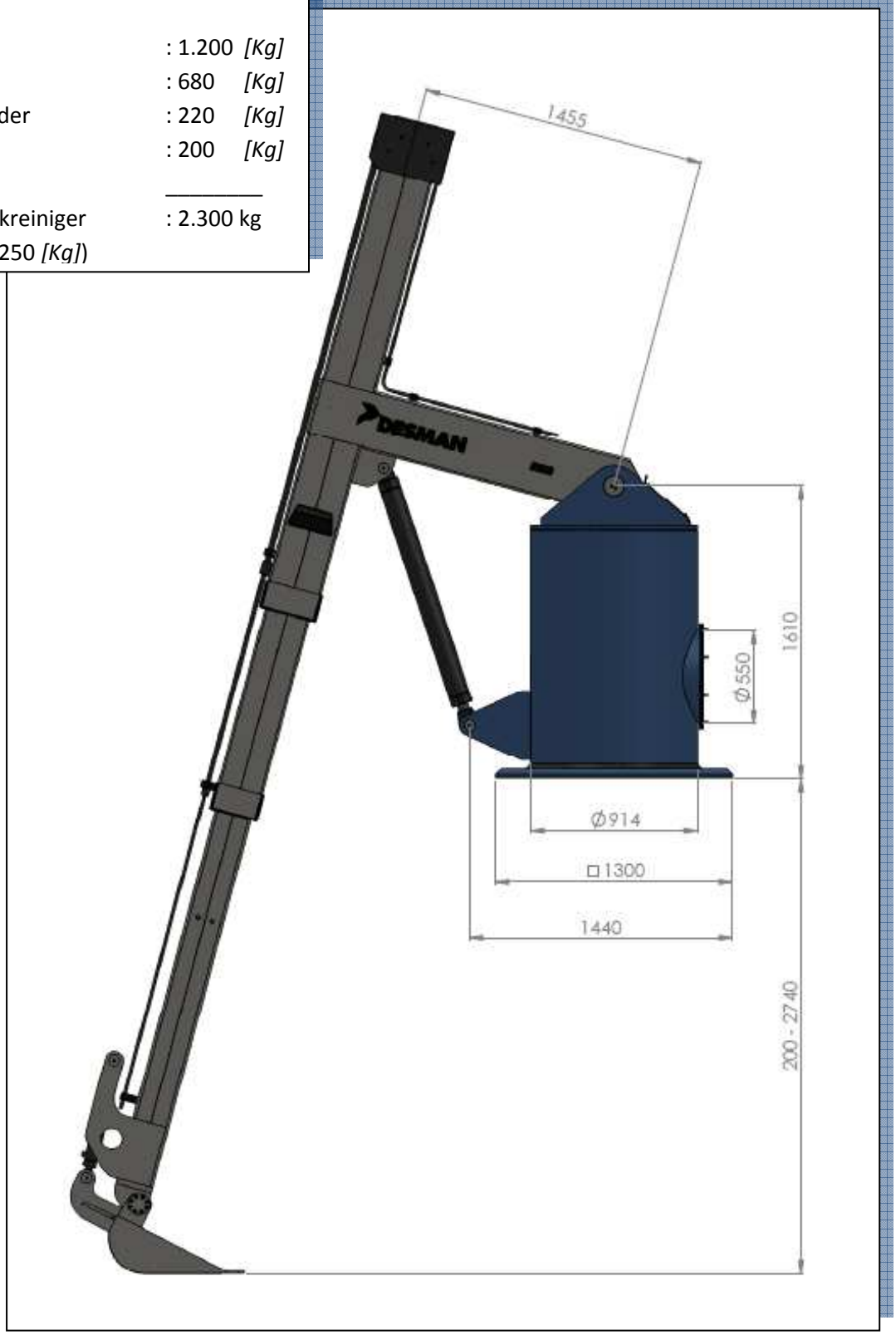
IV.2 SCHARNIERPUNT HARK

Op het scharnierpunt komt een belasting te staan welke berekend is in bijlage III.1, de as maat welke is gekozen is Ø40 *[mm]*. Deze as kan een veelvoud van de berekende kracht opnemen, toch is voor deze afmeting gekozen, voor de degelijkheid, robuustheid en het visuele aspect, van de hark.

V. GEGEVENS KROOSHEKREINIGER

Massa krooshekreiniger

Frame totaal	: 1.200	*[Kg]*
Mast	: 680	*[Kg]*
Telescoop cilinder	: 220	*[Kg]*
Grijper totaal	: 200	*[Kg]*
Totaal krooshekreiniger	: 2.300 kg	
(Exclusief last (250 *[Kg]*)		



VI. MACHINERICHTLIJN

VI.1 GEGEVENS MACHINE

Gegevens machine

Naam: *Krooshekreiniger*
Merk: *DESMAN*
Type: *DKR-2700*

Gegevens fabrikant

Naam: *DESMAN*
Tel.: *0172-494965*
Adres: *Oostgouweweg 5*
2407 AD Alphen aan de Rijn

Gegevens invuller

Naam: *Erwin Hofland*
Tel.: *n.v.t.*
Overige gegevens: *Afstudeerstudent werktuigbouwkunde*
Academy TIS Delft / De Haagse Hogeschool

VI.2 BEPALING MACHINE GROEP

1.1 Is de Machinerichtlijn van toepassing?	*Ja*
1.2 Valt de machine onder de uitzonderingen?	*Nee*
1.3 Valt de machine in de categorie 'gevaarlijk'?	*Nee*
1.8 Is de machine bedoeld om te worden ingebouwd in een groter geheel of met andere machines te worden samengebouwd tot één machine en kan deze NIET zelfstandig functioneren?	*Nee*

De machine valt in groep A

Machine valt niet onder categorie 'gevaarlijk' en kan zonder betrekking van keuringsinstantie gekeurd worden. In deze categorie vallen ongeveer 95% van alle machines.

VI.3 BEPALING BEGRENZING MACHINE

1 Beschrijving van de machine:	*Krooshekreiniger* *Elektrisch / hydraulisch aangedreven* *Voornaamste hoofd onderdelen:* *Frame* *Mast* *Hark*
2 Beschrijving van het gebruik van de machine:	*Het doel van de krooshekreiniger is het reinigen van het beoogde krooshek. Het gaat hierbij om het zwerfafval welke ontstaat en ophoopt tegen het krooshek. De maximale massa per reinigingscyclus is vastgesteld op 250 [Kg] , dit is ook de uitgangswaarde waarop de machine is ontworpen.*
3 Beschrijving van de gebruiksomgeving van de machine:	*De krooshekreiniger wordt opgesteld op een gemaal, in de buitenlucht. De bodem van het gemaal moet vlak zijn zodat de machine recht gemonteerd kan worden, dit is een vereiste voor een goede werking van de machine. De krooshekreiniger zal pas in werking treden wanneer het niveau verschil tussen de voor en achterzijde van het krooshek te groot wordt. Dit wordt middels een signaal doorgegeven waarna de krooshekreiniger aan zijn cyclus begint.*
4 Beschrijving van de gebruiker/ bediener van de machine:	*De krooshekreiniger zal automatisch in werking treden. wanneer de krooshekreiniger handmatig bedient word mag dit alleen door geschoold personeel welke daarvoor gemachtigd zijn en enige ervaring hebben met het werken van soortgelijke machines.* *Voor de eerste ingebruikname de handleiding van de krooshekreiniger doornemen en alle voorzorgs- en veiligheidsmaatregelen in acht nemen.*
5. Overig:	*Zorg ervoor dat kinderen of overige niet bekwame of geschoolde personen geen toegang krijgen tot de machine. Wanneer de machine in werking is mogen er zich geen mensen in de omgeving bevinden. Veiligheidsvoorzieningen mogen niet verwijderd of buiten werking worden gesteld. Houd de werkplek schoon en vrij van obstakels.*

VI.4 FUNDAMENTELE VEILIGHEIDS- EN GEZONDHEIDSEISEN

Bij de fundamentele veiligheids- en gezondheidseisen wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten machines. ‘Alle machines’ en ‘hijs- en hefwerktuigen’ zijn van toepassing op de krooshekreiniger.

VI.4.1 Alle machines

Beoordeling (V = in orde, X = voor verbetering vatbaar, nvt = Niet van toepassing)		

3.1.1 Functioneren van machine is mogelijk zonder blootstelling aan gevaar		*V*
De omgeving waarin de krooshekreiniger staat opgesteld is omheind met een hekwerk. op deze manier kunnen personen geen toegang krijgen tot de krooshekreiniger. Wanneer onderhoudspersoneel het omheinde gebied zal betreden zal de krooshekreiniger uitgeschakeld worden zodat deze niet plotseling in werking kan treden. Bij het ontwerp van de machine is zoveel mogelijk om de veiligheid gelet zodat het oplopen van verwondingen tot een minimum beperkt worden. Wanneer de mast draait bevind deze zich ruim 2,5 meter boven de grond zodat stootgevaar voor personen wordt uitgesloten. Verder dienen personen de gebruikelijke beschermingsmiddelen te dragen wanneer zij zich binnen de omheining begeven.		
3.1.2 Afstellen en onderhoud is mogelijk zonder blootstelling aan gevaar		*V*
Bij afstel, reparatie en onderhoud werkzaamheden aan de machine dienen alle aandrijf componenten uitgeschakeld te worden. zodat er veilig aan de machine gewerkt kan worden en dat men zeker weet dat er niets onverwachts kan gebeuren. Zodat afstel, reparatie en onderhoud werkzaamheden uitgevoerd kunnen worden zonder blootstelling aan gevaar.		
3.1.3 Risico's zijn zo veel mogelijk bij ontwerp en bouw uitgesloten		*V*
Bij het ontwerp van de machine is zo veel mogelijk gelet op de veiligheid van de machine om zo de risico's zo veel mogelijk in te perken.		
3.1.4 Beveiligingsmaatregelen zijn getroffen voor de niet uitgesloten risico's		*V*
Op punten waar risico's voor kunnen komen zijn maatregelen getroffen om deze risico's tot een minimum te reduceren.		
3.1.5 Gebruikers worden/zijn geïnformeerd over de risico's		*V*
Bij de bepaling van de begrenzing van de machine is aangegeven welke personen toegang mogen krijgen tot de krooshekreinger. Dit is geschoold personeel welke enige ervaring hebben met gelijkwaardige machines. Deze personen zijn van te voren geinformeerd over de risico's.		
3.1.6 Er is rekening gehouden met niet-normaal gebruik		*V*
De krooshekreiniger is ontworpen om een totale last aan zwerfvuil van 250 Kg te reinigen. Bij de sterkte berekeningen is een veiligheidsfactor gebruikt zodat wanneer een grotere last wordt gereinigd dit niet gelijk tot onveilige situaties leidt. Verder worden beveiligingen in besturing aangebracht welke de krooshekreiniger bij niet normaal gebruik uit zullen schakelen.		
3.1.7 Waarschuwing niet-normaal gebruik aanwezig in gebruikershandleiding		*V*
In de gebruikershandleiding moet aangegeven staan voor welke producten de machine geschikt is, voor alle overige doelen is de machine niet geschikt en is de fabrikant niet verantwoordelijk voor de gevolgen.		

3.1.8 Er is rekening gehouden met (belemmeringen door) gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen		*V*
De benodigde beschermingsmiddelen belemmeren de gebruiker/bediener niet bij het gebruik van de machine.		
3.1.9 Machine wordt geleverd met onderdelen nodig voor bescherming tegen gevaar		*V*
Er zijn maatregelen getroffen om bepaalde draaiende of bewegende delen waar gevaar voor klemming etc. voor kan komen af te schermen. Ook zijn hekwerken gemonteerd aan de rand van het gemaal om valgevaar te voorkomen. *Alle persoonlijke veiligheidsartikelen zoals: veiligheidsschoenen, veiligheidsbril, en eventueel gehoorbescherming en eventueel hoofdbescherming dienen door het onderhoudspersoneel zelf aangeschaft te worden. deze artikelen worden niet bij de machine meegeleverd.*		
3.1.10 De bij de bouw gebruikte materialen van de machine leveren geen gevaar		*V*
Bij de bouw gebruikte materialen leveren geen gevaar op. Voornamelijk bestaat de machine uit staal en roestvast staal, overige onderdelen of aanstuur componenten bestaan uit normaal, niet gevaarlijk materiaal.		
3.1.11 De gebruikte en ontstane producten tijdens functioneren van machine leveren geen gevaar		*V*
Het te verplaatsen medium bestaat uit natuurlijk zwerfvuil zoals: bladeren, takken. kroos etc, dit zijn natuurlijke producten en leveren geen gevaar op.		
3.1.12 Machine is voorzien van voldoende verlichting voor alle werkzaamheden		*V*
Op de machine is een lamp aangebracht welke voor voldoende verlichting zorgt.		
3.1.13 Er is rekening gehouden met het veilig kunnen hanteren van machine of delen daarvan		*V*
Alle onderdelen op de machine welke door de bediener gebruikt moeten worden zijn of zodanige manier ontworpen dat de gebruiker deze veilig en makkelijk kan bedienen/gebruiken.		
3.1.14 Er zijn voorzieningen getroffen voor heffen en/of oppakken van machine of delen daarvan		*V*
Alle grote/zware onderdelen zijn voorzien van draadgaten zodat deze m.b.v. hijsogen makkelijk verplaatst of gehesen kunnen worden.		
3.1.15 Onder de beoogde gebruiksomstandigheden zijn hinder, vermoeidheid en fysieke en psychische belasting waarmee de bediener wordt geconfronteerd tot het minimum beperkt.		*nvt*
3.1.16 De bedienerspost is zo ontworpen en gebouwd dat ieder risico door uitlaatgassen en/of zuurstofgebrek wordt vermeden.		*nvt*
3.1.17 Bedieningsposten die een integrerend deel van de machine uitmaken zijn zo ontworpen dat zitplaatsen kunnen worden geïnstalleerd.		*V*
In de buitenopstellingskast aan de achterzijde van de machine is voldoende ruimte om zitplaatsen te installeren.		
3.1.18 Ontwerp bedieningssysteem is veilig en betrouwbaar zodat geen gevaarlijke situaties kunnen ontstaan		*nvt*

3.1.19 Het bedieningsorgaan is: - duidelijk zichtbaar en herkenbaar - zo geplaatst dat bediening veilig, zonder aarzeling of tijdverlies en zonder misverstanden kan plaatsvinden - zo ontworpen dat bediening een logisch verband heeft met het effect ervan		*nvt*
3.1.20 Als bedieningsorgaan geschikt is voor meerdere verrichtingen, dan is werking daarvan duidelijk aangegeven		*nvt*
3.1.21 Bij ontwerp bedieningsorgaan is rekening gehouden met ergonomie		*nvt*
3.1.22 Machine is voorzien van signaleringsinrichtingen die waarneembaar zijn vanaf bedieningspost		*nvt*
3.1.23 Vanaf bedieningspost zijn personen in gevaarlijke zone waarneembaar. Indien onmogelijk, is er een geluids- en/of lichtsignaal. Blootgesteld persoon heeft voldoende tijd om gevarenzone te verlaten of middelen om inschakelen machine te verhinderen.		*nvt*
3.1.24 In werking stellen van de machine kan alleen door bewuste handeling		*nvt*
3.1.25 Bij meerdere bedieningsorganen kunnen de bedieners elkaar niet in gevaar brengen		*nvt*
3.1.26 Machine kan op veilige wijze worden stopgezet		*nvt*
3.1.27 Bewegende delen kunnen worden stopgezet		*nvt*
3.1.28 De stopopdracht heeft voorrang op de startopdracht		*nvt*
3.1.29 Machine heeft daadwerkelijk FUNCTIONELE noodstopinrichting(en)		*nvt*
3.1.30 Gekozen bedieningswijze heeft voorrang op alle andere bedieningssystemen, behalve de noodstop		*nvt*
3.1.31 Elke stand van keuzeschakelaar kan vergrendeld worden, bijv. t.b.v. afstelling en onderhoud		*nvt*
3.1.32 Elke stand keuzeschakelaar komt overeen met één bedieningswijze		*nvt*
3.1.33 Om gebruik door bepaalde bedieners te beperken zijn er andere bedieningsmiddelen aangebracht		*nvt*
3.1.34 Bij uitgeschakelde beveiligingsvoorzieningen maakt de functiekeuzeschakelaar: - alle andere bedienings- of bedrijfsmodi onmogelijk; - uitschakelen uitsluitend mogelijk als bedieningsorganen onafgebroken in dezelfde stand worden gehouden.		*nvt*
3.1.35 Vanaf bedieningspost is functioneren van de onderdelen te beheersen (o.a. door vrij zicht)		*nvt*

3.1.36 Schommelingen energievoorziening leiden niet tot gevaren		*nvt*
3.1.37 Bij normaal gebruik heeft machine voldoende stabiliteit		*V*
Sterkte brekingen zijn uitgevoerd op de belaste delen van de krooshekreiniger, bij normaal gebruik heeft de krooshekreiniger voldoende stabiliteit en zal deze zonder problemen functioneren.		
3.1.38 Gevaar voor breuken tijdens gebruik is uitgesloten		*V*
Tijdens gebruik zullen er zich geen personen in het omheide gebied bevinden. Lichamelijk letsel is daardoor uitgesloten. Voor onderhoudspersoneel welke toegang hebben tot het werkgebied gelden aparte eisen, welke gevaar voor lichamelijk letsel tot een minimum beperken.		
3.1.39 Materiaal heeft voldoende weerstand (slijtage, corrosie, enz.)		*V*
Het gekozen materiaal voor de afzonderlijke onderdelen is zo gekozen dat op de slijtage plekken de slijtage wordt gereduceerd, ook zijn de stalen delen van de krooshekreiniger gecoat om corrosie tegen te gaan wat de levensduur van de machine verlengt. Verder bestaat de mast en de grijper compleet uit roestvast staal.		
3.1.40 In de gebruikershandleiding staan aard en frequentie van inspecties en onderhoud opgenomen		*nvt*
3.1.41 Bij breuk van bewegende delen worden de stukken opgevangen		*V*
Er is geen regeling getroffen om gebroken onderdelen op te vangen, echter de machine staat opgesteld in omheind gebied waardoor deze delen geen schade aan kunnen richten.		
3.1.42 Leidingen zijn bestand tegen krachten en zijn stevig bevestigd		*V*
Leidingen zijn stabiel en stijf middels leidingsteunen tegen het frame bevestigd.		
3.1.43 Gevaar vallende of uitgeworpen voorwerpen is voorkomen		*V*
De machine bevind zich tijdens bedrijf en een afgesloten gebied, vallende of uitgeworpen delen kunnen dus geen schade/verwondingen bij personen veroorzaken.		
3.1.44 Gevaar door oppervlakken, scherpe kanten, hoeken is voorkomen		*V*
Bij het ontwerp van de machine zijn scherpe kanten en hoeken afgeschuind, waar dit niet het geval is omdat het simpelweg niet mogelijk was staat het aangegeven. En hier worden dan pictogrammen aangebracht.		
3.1.45 Bij gecombineerde machine is gebruik van afzonderlijk deel mogelijk zonder gevaar door andere delen		*nvt*
3.1.46 Bij gecombineerde machine kan ieder niet afgeschermd deel afzonderlijk in werking worden gesteld		*nvt*
3.1.47 Gevaar door verschillende draaisnelheden is voorkomen		*V*
De krooshekreiniger zal werken bij een constante draaisnelheid, deze snelheid wordt begrenst door de vertragingskast (motorreductor).		
3.1.48 Gevaar door bewegende delen is voorkomen		*V*
De aandrijf onderdelen van het frame zijn in het frame verwerkt en dus afgesloten. Verder beweegt de complete mast, de krooshekreiniger is tijdens bedrijf compleet afgesloten door een omheining		
3.1.49 Keuze van beveiliging tegen gevaar door bewegende delen is gebaseerd op bestaande risico		*V*
Bewegende delen zijn zoveel mogelijk afgeschermd		

3.1.50 Gevaar door niet-gecontroleerde bewegingen is voorkomen		*V*
Wanneer de krooshekreiniger tot stilstand is gebracht, moet iedere verschuiving vanuit die stilstandpositie door ongeacht welke andere oorzaak dan het hanteren van de bedieningsorganen, worden voorkomen of dusdanig zijn dat ze geen enkel gevaar oplevert.		
3.1.51 Afschermingen en beveiligingsinrichtingen: - zijn stevig uitgevoerd- worden stevig op hun plaats gehouden - brengen geen bijkomende gevaren met zich mee - kunnen niet eenvoudig omzeild of buiten werking worden gesteld		*V*
Bewegende delen zijn in het vaste frame van de krooshekreiniger verwerkt, deze afscherming zal geen extra gevaar opleveren.		
3.1.52 Vaste afschermingen kunnen alleen met gereedschap worden geopend		*V*
Vaste afschermingen zijn zodanig gemonteerd dat gereedschap en een fysieke handeling nodig is om deze bescherming te verwijderen.		
3.1.53 Bij beweegbare afschermingen met blokkeervoorziening kan bewegend deel niet zonder dat scherm op gang worden gebracht		*nvt*
3.1.54 Instelbare afschermingen kunnen gemakkelijk worden ingesteld (zonder gereedschap)		*nvt*
3.1.55 Beveiligingsinrichtingen zijn zo ontworpen dat bediener nooit de bewegende delen kan bereiken		*nvt*
3.1.56 Voor afstellen beveiligingsinrichting is een bewuste handeling nodig (bijv. door gereedschap)		*nvt*
3.1.57 Gevaar in verband met elektriciteit wordt voorkomen		*nvt*
3.1.58 Optreden van statische elektriciteit wordt (zoveel mogelijk) voorkomen		*nvt*
3.1.59 Gevaar door andere dan elektrische energie wordt voorkomen		*nvt*
3.1.60 Mogelijke gevaren door montagefouten zijn op machine en/of in gebruikershandleiding vermeld		*V*
Wanneer mogelijke gevaren door montage fouten op kunnen treden staan deze vermeld in het rapport. De krooshekreiniger wordt voor ingebruikname uitvoerig getest zodat montagefouten aan het licht komen.		
3.1.61 Gevaar door contact met extreme temperaturen wordt voorkomen		*V*
Er zijn geen onderdelen in de krooshekreiniger welke extreme temperaturen bereiken.		
3.1.62 Gevaar van brand of oververhitting wordt voorkomen		*V*
De machine is zodanig ontworpen en gebouwd dat elk risico van brand of oververhitting veroorzaakt door de machine wordt vermeden.		
3.1.63 Gevaar voor ontploffing wordt voorkomen		*V*
De krooshekreiniger staat tijdens werking opgesteld in een afgesloten omgeving, de motor in het frame is zodanig beschermd door dik plaat materiaal dat als er een motor zou ontploffen dit geen gevolgen heeft voor de omgeving of inspecterend personeel.		
3.1.64 Gevaar door geluidsoverlast wordt zoveel mogelijk beperkt		*V*
In de krooshekreiniger zijn geen onderdelen welke geluidsoverlast produceren, de pomp en het aggregaat worden derhalve opgesteld in een gesloten kast.		

3.1.65 Gevaar door trillingen wordt zoveel mogelijk beperkt		*V*
De machine staat opgesteld op een vlakke fundatie ondergrond en produceert tijdens bedrijf haast geen trillingen.		
3.1.66 Uitstraling door machine wordt zoveel mogelijk beperkt		*nvt*
3.1.67 Uitwendige straling kan werking machine niet verstoren		*nvt*
3.1.68 Stralingsgevaar door gebruik laserapparatuur wordt voorkomen		*nvt*
3.1.69 Gevaar uitworp van afvalstoffen wordt vermeden door deze op te vangen		*V*
Er is een container geplaatst waarin het afval gedeponeerd wordt, deze container wordt regelmatig geleegd.		
3.1.70 Bij opgesloten raken in de machine is hulp vragen mogelijk		*nvt*
3.1.71 Gevaar dat personen uitglijden, struikelen of vallen van machine, wordt voorkomen		*nvt*
3.1.72 Bliksemafvoer naar grond is aangebracht		*nvt*
3.1.73 Afstelling, onderhoud en reiniging aan de machine levert geen gevaar		*V*
Tijdens afstelling, onderhoud en reiniging zal de krooshekreiniger uitgeschakeld worden zodat geen gevaar ontstaat.		
3.1.74 Bedienersposten en plaatsen waar onderhoud wordt verricht zijn veilig te bereiken		*nvt*
3.1.75 Afsluiten van krachtbron(nen) is mogelijk		*nvt*
3.1.76 Vergrendeling inrichting(en) is mogelijk		*nvt*
3.1.77 Noodzaak voor ingrijpen van bediener is zo veel mogelijk beperkt en kunnen zonder gevaar uitgevoerd worden		*V*
Bediener kan op afstand ingrijpen (buiten opstellingskast) en hoeft zich niet te begeven tot de in werking zijnde krooshekreininger. Wanneer de krooshekreiniger is stop gezet kan er ingegrepen worden aan het mechanische deel van de machine.		
3.1.78 Schoonmaken van inwendige delen is zonder gevaar mogelijk		*V*
Krooshekreiniger zal uitgeschakeld worden wanneer onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd dienen te worden. Dit is dan zonder gevaar mogelijk.		
3.1.79 Bedieningsinformatie is makkelijk te begrijpen		*nvt*
3.1.80 Bij gebrekkige werking machine wordt een passend geluids- of lichtsignaal gegeven		*nvt*
3.1.81 Alarmen kunnen gemakkelijk opgemerkt worden en getest worden op goede werking		*nvt*
3.1.82 Waarschuwingen voor overige (rest)gevaren zijn aangebracht op machine		*V*
Tijdens het in werking zijn van de krooshekreiniger mag niemand zich in het afgesloten gebied begeven.		

VI.4.2 Hijs- en hefinrichtingen

Beoordeling (V = in orde, X = voor verbetering vatbaar, nvt = Niet van toepassing)		

3.4.1 Machine is onder alle omstandigheden voldoende stabiel		*V*
Sterkte berekeningen zijn volgens de geldende normen uitgevoerd, veiligheidsfactoren zijn toegepast om de stabiliteit te garanderen.		
3.4.2 Voorzieningen ter voorkoming van ontsporing zijn aangebracht		*nvt*
3.4.3 Alle delen zijn van voldoende mechanische sterkte		*V*
Sterkte berekeningen zijn volgens de geldende normen uitgevoerd, veiligheidsfactoren zijn toegepast zodat alle belaste delen ruim voldoen aan de mechanische sterkte.		
3.4.4 Machine voldoet aan statische beproevingscoëfficiënt van 1,5 voor met mankracht bediende machines en 1,25 voor aangedreven machine		*V*
De minimale veiligheidsfactor waar mee gewerkt is, is 1,5. Vaak is de veiligheidfactor hoger.		
3.4.5 Machine voldoet aan dynamische beproevingscoëfficiënt van 1,1		*V*
De dynamische veiligheidsfactor is hoger dan de gestelde waarde.		
3.4.6 Diameter van schijven, trommels en rollen zijn afgestemd op kabels of kettingen		*nvt*
3.4.7 Zijdelings aflopen van kabels en kettingen is niet mogelijk		*nvt*
3.4.8 Gebruikscoëfficiënt van kabels en uiteinden is minimaal 5		*nvt*
3.4.9 Gebruikscoëfficiënt van hijskettingen is minimaal 4		*nvt*
3.4.10 De juiste proeven op de kabels en kettingen zijn verricht		*nvt*
3.4.11 Bij hijs- of hefhulpstukken is rekening gehouden met veroudering		*nvt*
3.4.12 Gebruikscoëfficiënt van kabel en uiteinden is 5		*nvt*
3.4.13 Kabels hebben alleen aan uiteinden een splits of lus		*nvt*
3.4.14 Gebruikscoëfficiënt van kettingen is 4		*nvt*
3.4.15 Kettingen van gelaste schalmen zijn van het type korte schalmen		*nvt*
3.4.16 Gebruikscoëfficiënt van kabels of banden van textielvezel is minimaal 7		*nvt*
3.4.17 Kabels of stroppen van textielvezel hebben geen knopen, splitsen of verbindingen behalve aan uiteinde strop of aan verbinding van strop zonder einde		*nvt*
3.4.18 Gebruikscoëfficiënt van alle metalen delen van een strop is 4		*nvt*
3.4.19 Maximale werklast van meerwegstrop is berekend op basis van gebruikscoëfficiënt van zwakste draad, aantal draden en verminderingsfactor afhankelijk van gebruik		*nvt*

3.4.20 Voor punten van vragen 3.4.12 t/m 3.4.18 zijn de passende proeven verricht		*nvt*
3.4.21 Inrichtingen voor beheersen van bewegingen werken zodanig dat machine veilig blijft		*nvt*
3.4.22 Ongecontroleerde amplitude van beweging wordt voorkomen door speciale inrichting welke waarschuwt als deze in werking treedt		*nvt*
3.4.23 Gevaar voor botsing is voorkomen		*V*
Krooshekreiniger bevind zich in een afgesloten omgeving en tijdens ontwerp is naulettend gekeken dat inwendige delen van de reiniger niet met elkaar botsen.		
3.4.24 Machine kan onverwachte/onbedoelde bewegingen van last aan		*V*
Veiligheidsfactoren zijn toegepast, de krooshekreiniger zal een grotere last kunnen verplaatsen dan is opgegeven.		
3.4.25 Tijdens normaal gebruik is het onmogelijk om last met alleen frictierem te laten zakken		*nvt*
3.4.26 Ontwerp van grijporganen is dusdanig dat onverwacht vallen van de last wordt vermeden		*V*
De hark van de krooshekreiniger is dusdanig ontworpen dat het opgeschepte vuil in erin blijft zitten.		
3.4.27 Er is voldoende zicht vanuit bedieningsplaats op behandeling van lasten		*V*
Er is voldoende zicht op de werkplek van de krooshekreiniger.		
3.4.28 Last, drager of contragewicht vormt geen gevaar voor raken van personen		*V*
Tijdens in het in werking zijn van de krooshekreiniger zullen er zich geen personen in het afgesloten gebied bevinden.		
3.4.29 Bewegingen van de drager gebeurd langs starre geleiders		*V*
De geleiding van de mast is star aan de mast bevestigd.		
3.4.30 Tijdens toegang tot drager en laden en lossen blijft de drager stationair		*nvt*
3.4.31 Het niveauverschil tussen drager en stopplaats levert geen struikelgevaar op		*nvt*
3.4.32 Contact met de drager en/of bewegende delen van de drager wordt voorkomen		*V*
Tijdens in het in werking zijn van de krooshekreiniger zullen er zich geen personen in het afgesloten gebied bevinden.		
3.4.33 Er wordt voorkomen dat de last van de drager kan vallen		*V*
De hark van de krooshekreiniger is dusdanig ontworpen dat het opgeschepte vuil in erin blijft zitten.		
3.4.34 Alle passende maatregelen zijn genomen om te waarborgen dat de machine of gereedschap hun gespecificeerde functies veilig kunnen verrichten		*V*
Tijdens het ontwerp van de krooshekreiniger zijn maatregelen getroffen, zodoende dat deze mechanische veilig kan werken.		
3.4.35 Tijdens beweging van de machine wordt de besturing blijvend bediend of indien geen gevaar bestaat mogelijk andere besturing		*nvt*
3.4.36 Bij kabels geleide installatie worden de kabels door tegengewicht of door de inrichting gespannen gehouden		*nvt*
3.4.37 Op ieder hijs- en hefgereedschap zijn de gegevens aangebracht		*nvt*

3.4.38 Alle vereiste identificatiegegevens en markeringen zijn leesbaar en onuitwisbaar aangebracht		*V*
Markeringen zijn dusdanig aangebracht dat deze ten alle tijde leesbaar zijn.		
3.4.39 Gegevens over maximale werklast zijn aangebracht op machine		*V*
Op de type plaat van de krooshekreiniger zijn alle benodigde specificaties vermeld.		
3.4.40 Op machine is vermeld dat heffen personen verboden is		*nvt*
3.4.41 Alle bovenstaande gegevens zijn leesbaar en onuitwisbaar aangebracht		*V*
3.4.42 Alle hijs- of hefgereedschappen hebben een gebruikershandleiding		*nvt*
3.4.43 De gebruikershandleiding van de machine bevat tevens: - de technische kenmerken - inhoud van onderhoudsboekje indien deze niet meegeleverd wordt - werkwijze indien zicht bediener op last onvoldoende is		*nvt*