Odisee
DE CO-HOGESCHOOL

Ontwerp Productie Technologie

Bachelorproef

Cluster (Bio)Technologie

Ramses De Vuyst

Professionele Bachelor Ontwerp- en productietechnologie

Academiejaar 2023/2024

Ontwikkeling van een gereedschap voor (de)montage olie- en waterpompen van DV36-motoren

Berekeningen, ontwerp en uitwerking ter optimalisatie van montage van pompen en bijhorende pomphuizen

Anglo Belgian Corporation

Wiedauwkaai 43

9000 Gent

Technologiecampus Gent

Gebr. De Smetstraat 1 | 9000 Gent
T. 09 265 86 10 | E. info.gent@odisee.be

Abstract

Development of mounting tools for water and oil pumps of DV36 engines

Calculations, design, and optimization of mounting hardware for water and oil pump assembly

R. De Vuyst

Anglo Belgian Corporation is a manufacturer of internal combustion engines ranging in power levels between 600kWm and 10,400kWm. The largest engines in their lineup are the DV line, currently existing in both a V12 and V16 configuration. In order to efficiently and safely mount and dismount the water and oil pump assemblies of these engines, custom tooling must be designed as the heaviest component in these assemblies, the water pump housing, weighs 304 kg. This makes it impossible to (un)install this component by hand. The DV line of engines features an overhang above these assemblies, which means the traditional method of lifting components using a crane above the engine cannot be used.

Currently there is no standardized way of mounting the water and oil pump assemblies, and they are mounted solely by relying on the ingenuity of the assembly crew. The tooling designed in this document is meant to be shipped out to customers to provide a safe and reliable method of installation.

This tooling must be as compact as possible as there is not a lot of room to work with, especially when the engines are installed in their homes in a boat, nuclear power plant or other genset applications.

In order to guarantee safe operation, this tooling complies with all requirements stated by Anglo Belgian Corporation and is certified for safe use by an external entity.

Keywords: engine block, oil pump, water pump, mounting hardware, crane

Abstract

Ontwikkeling van een gereedschap voor (de)montage olie- en waterpompen van DV36-motoren

Berekeningen, ontwerp en uitwerking ter optimalisatie van montage van pompen en bijhorende pomphuizen

R. De Vuyst

Anglo Belgian Corporation is een fabrikant van interne verbrandingsmotoren met vermogens tussen de 600 kWm en 10,400 kWm. De grootste motoren binnen hun line-up zijn die van de DV-reeks, die momenteel bestaat uit een V12 en V16 configuratie. Om de montage en demontage van de water- en oliepompassemblies vlot te laten verlopen, dienen hiervoor op maat gemaakte tools ontworpen te worden aangezien het zwaarste onderdeel uit deze assemblies, het waterpomphuis, 304 kg weegt. Dit maakt het onmogelijk dit onderdeel met de hand te (de)monteren. De DV-reeks van motoren heeft een overhang boven deze onderdelen, wat betekent dat deze niet met een kraan boven de motor gehesen kunnen worden.

Momenteel is er geen gestandaardiseerde manier om de water- en oliepompassemblies te monteren, en wordt er beroep gedaan op de vindingrijkheid van de monteurs. De tools ontworpen in dit document zijn bestemd om aan klanten geleverd te worden om een veilige en betrouwbare manier van installatie te voorzien.

Deze tools moeten zo compact mogelijk zijn aangezien er zeer beperkte ruimte beschikbaar is, zeker wanneer de motoren geïnstalleerd zijn in een boot, kerncentrale of andere genset-toepassingen.

Om veilige werking van de tools te garanderen, voldoen deze aan alle richtlijnen gesteld door Anglo Belgian Corporation, en worden deze gecertificeerd voor veilig gebruik door een extern bedrijf.

Sleutelwoorden: motorblok, oliepomp, waterpomp, montagegereedschap, kraan

Voorwoord

Dit project is het slotstuk van mijn opleiding Ontwerp- en Productietechnologie. Deze bachelorproef bevat de documentatie van mijn 15-weekse stage waarin alle aspecten van deze opleiding aan bod kwamen.

Anglo Belgian Corporation nam oorspronkelijk geen stagiairs aan dit jaar aangezien ze zeer snel aan het uitbreiden zijn, en er eigenlijk niet echt plaats voor stagiairs was. Ik mag dan ook van geluk spreken dat ik beroep heb kunnen doen op CEO Tim Berckmoes, die mij alsnog een stageplaats wou aanbieden omdat hij merkte dat ik oprecht gepassioneerd ben door alles wat met interne verbrandingsmotoren te maken heeft. Hiervoor ben ik hem zeer dankbaar.

Het is ook dankzij deze passie voor interne verbrandingsmotoren dat ik voor een stage bij Anglo Belgian Corporation gekozen heb.

De drukke agenda's binnen het bedrijf zorgden ervoor dat ik vooral op mezelf aangewezen was. Hoewel ik niet zo nauw met hem samenwerkte, wist mentor Dany vanGoethem zich steeds vrij te maken wanneer nodig. Ik wil hem graag bedanken voor zijn vertrouwen in mijn capaciteiten als ontwerper. Zijn aanpak was zeer hands-off en hij stuurde vooral bij waar nodig. Dit zorgde soms voor wat onzekerheid, maar gaf me wel veel voldoening aangezien ik alles zelf gedaan heb en ik met trots kan zeggen dat het afgewerkte project compleet mijn eigen ontwerp is.

Graag wil ik docent Dirk Pieters bedanken voor zijn begeleiding bij het opstellen van deze bachelorproef. Binnen ABC wil ik graag Ir. Edward Belderbos en Ir. Luc Mattheeuws bedanken voor hun hulp bij het opstellen en interpreteren van EEM-simulaties en berekeningen. Verder wil ik ook mijn dank uiten aan de collega's van het Design team, met specifieke aandacht voor Lars Wollaert en Koen Gevaert. Zij waren mijn grootste hulpen i.v.m. softwarepakket CATIA en alles ontwerp gerelateerd.

Ten slotte bedank ik graag nog brigadier Nico VandenAbeele voor zijn gezelschap in mijn anders vaak toch wat eenzame bureautje. Zijn goedlachsheid maakte mijn dagen altijd net wat aangenamer.

Inhoud

1. Verklaring van ontwerp 16
1.1. Probleemstelling 16
1.2 Algemeen concept 19
1.3 Conceptuele schetsen 20
1.4 Mogelijke en gekozen oplossingen 22
1.4.1 Aantal tools 22
1.4.2 Bewegingssysteem 23
1.4.2.1 Bevestiging aan CAC 23
1.4.2.2 Beweging in X-richting 25
1.4.2.3 Beweging in Y-richting 28
1.4.3 Montage 29
1.4.3.1 Montagetool voor waterpomphuis 29
1.4.3.2 Montagetool voor water- en oliepompen 31
1.4.3.3 Montagetool voor oliethermostaat 32
1.5 EEM-simulaties en berekeningen 32
1.5.1 Veiligheidsfactor 32
1.5.2 Lasberekeningen 32
1.5.3 EEM-Simulaties 37
1.5.3.1 Loopkatgeleiding 37
1.5.3.1.1 Simulatie-instellingen 37
1.5.3.1.2 Boutverbindingen 42
1.5.3.1.3 Simulatieresultaten 43
1.5.3.2 Bevestigingslat waterpomphuis 49
1.5.3.2.1 Berekening minimale dikte 49
1.5.3.2.2 Simulatie-instellingen 50
1.5.3.2.3 Boutverbindingen 51
1.5.2.2.4 Simulatieresultaten 52
1.5.3.3 Dwarsbalk 54
1.5.3.3.1 Simulatie-instellingen met last op eindeloop 54

1.5.3.3.2 Simulatie-instellingen met last in het midden 56
1.5.3.3.3 Boutinstellingen 57
1.5.3.3.4 Simulatieresultaten 57
1.5.3.4 Montagetool oliethermostaat 61
1.5.3.4.1 Simulatie-instellingen 61
1.5.3.4.2 Boutinstellingen 63
1.5.3.4.3 Simulatieresultaten 64
2. Verklaring van de tekeningen 66
2.1 Verschillen in conventies 66
2.2 Coderingsregels van de tekeningen 67
2.3 Samenstellingstekeningen 68
645.084.7700.01 Duwloopkat samenstelling 68
645.084.1500.01 Montagetool olie waterpompen 68
645.084.7800.01 Dwarsbalk met duwloopkat 69
645.084.1600.01 Montagetool waterpomphuis 69
645.084.1700.01 Montagetool oliethermostaat 69
2.4 Stuktekeningen 70
645.084.7701.01 Montageblok duwloopkat 70
645.084.1501.01 Spacer blok 70
645.084.1601.01 Bevestigingslat waterpomphuis 70
645.084.1602.01 Bus 70
645.084.1701.01 Montageplaat oliethermostaat 70
2.5 Lastekeningen 71
945.084.8400.01 Lassamenstelling geleidingslat RP 71
945.084.8401.01 U-profiel 71
945.084.8402.01 Geleidingsplaat 71
945.084.8403.01 Eindplaatje voor 71
945.084.8404.01 Eindplaatje achter 71
645.084.8400.01 Lassamenstelling geleidingslat FP 71
645.084.8600.01 Dwarsbalk 72
945.084.8601.01 I-profiel 72

945.084.8602.01 Eindplaatje 72
3 Kostprijsberekening 73
Conclusie 74
Bibliografie 76
Bijlagen 79
Bijlage 1: Stagegegevens 80
Bijlage 2: Machinerichtlijn [28] 81
Bijlage 3: Offertes 82
Bijlage 4: Vuistregels lasberekeningen [15] 84
Bijlage 5: Cursus lastechnologie [29] 84
Bijlage 6: Cursus sterkteleer [16] 85
Bijlage 7: Standaard aanhaalmomenten [19] 86
Bijlage 8: Secties [27] 86
Bijlage 9: Tabellenboek voor metaaltechniek [17] 87
Bijlage 10: DIN 1026-2 [30] 88
Bijlage 11: Datasheets aankooponderdelen 89
11.1 POWERTEX PPT-S2 Duwloopkat [5] 89
11.2 Pewag PLBW Hijsoog [12] 90
11.3 AL Oogbout Gr.8 [21] 91
11.4 PRSJ POWERTEX Gesloten spanschroef gaffel-gaffel metrisch [22] 92

Figurenlijst

Figuur 1: 12DV36-motor achter vorkheftruck 16
Figuur 2: Voorkant van DV36-motor....17
Figuur 3: Beperkte plaats tussen CAC en waterpomphuis....18
Figuur 4: Boutgaten onderaan CAC 19
Figuur 5: Conceptschets van geleidingssysteem.... 20
Figuur 6: Conceptschets met C-profiel en interne loopkat....21
Figuur 7: Packagingproblemen....22
Figuur 8: Zwaartepunt oliethermostaat buiten montagepunten 23
Figuur 9: HIWIN Geleidingsrail [1].... 24
Figuur 10: Boutafstand CAC 24
Figuur 11: Lasconstructie.... 24
Figuur 12: UPN vs UPE [3]....25
Figuur 13: Massa en zwaartepunt van waterpomphuis met thermostaat en inlaatflens 26
Figuur 14: POWERTEX PPT-S2 duwloopkat [6] 27
Figuur 15: Loopkat met montageblokje....27
Figuur 16: Montagetool met dwarsbalk voor pompmontage.... 28
Figuur 17: Montageblokje met M16 bouten.... 29
Figuur 18: Bevestigingspunten waterpomphuis.... 29
Figuur 19: Bussen voor boutbevestiging....30
Figuur 20: Montagetool voor waterpomphuis 31
Figuur 21: Schets lasberekening 33
Figuur 22: Neutrale lijnen afzonderlijke componenten 33
Figuur 23: Krachtwerking op lasnaden....34
Figuur 24: Onderbroken las 35
Figuur 25: Aangrijpingspunten belasting op loopkatgeleiding 37
Figuur 26: CAC-simulatieblokje 38
Figuur 27: Simulatieresultaat UPE100-profiel....39
Figuur 28: Mesh UPE120-profiel 40
Figuur 29: Mesh control kritische zone geleidingslat 40

Figuur 30: Mesh control boutgaten geleidingslat....41
Figuur 31: Mesh control loopvlakken geleidingslat....41
Figuur 32:Instellingen voor boutsimulatie aan CAC....42
Figuur 33: Spanningsconcentraties binnen UPE120-constructie....43
Figuur 34: Close-up fijner vermaasde zone UPE120-constructie....43
Figuur 35: Spanningsconcentraties rond sluitring aan UPE120-constructie....44
Figuur 36: Maximale doorbuiging geleidingslat....44
Figuur 37: Pin/Bolt Check geleidingslat....45
Figuur 38: Diagonale versteviging d.m.v. draadspanner....46
Figuur 39: Mesh control hijsoog geleidingslat....47
Figuur 40: Spanningsconcentraties in geleidingslat met diagonale versteviging....47
Figuur 41: Maximale doorbuiging geleidingslat met diagonale versteviging....48
Figuur 42: Kracht binnen diagonale draadspanner....48
Figuur 43: Dwarskracht- en momentlijnen bevestigingslat....49
Figuur 44: Aangrijpingspunten krachten op bevestigingslat....50
Figuur 45: Fixed Geometry bevestigingslat....50
Figuur 46: Mesh control rond boutgaten van bevestigingslat....51
Figuur 47: Simulatieresultaat bevestigingslat....52
Figuur 48: Close-up spanningsconcentratie bevestigingslat....53
Figuur 49: Boutcontrole bevestigingslat....53
Figuur 50: Last in eindeloop op dwarsbalk....54
Figuur 51: Fixed geometry dwarsbalk....55
Figuur 52: Mesh control rond loopvlakken....55
Figuur 53: Mesh control rond sluitringen....56
Figuur 54: Last in midden op dwarsbalk....56
Figuur 55: Boutinstellingen dwarsbalk....57
Figuur 56: Spanningsconcentraties last op eindeloop dwarsbalk....57
Figuur 57: Doorbuiging last op eindeloop dwarsbalk....58
Figuur 58: Boutsimulatie last op eindeloop dwarsbalk....58
Figuur 59: Spanningsconcentraties last in midden dwarsbalk....59
Figuur 60:Doorbuiging last op midden dwarsbalk....60

Figuur 61: Boutsimulatie last in midden dwarsbalk 60
Figuur 62:Simulatieopstelling montagetool oliethermostaat 61
Figuur 63: Belaste zone hijsoog 61
Figuur 64: Mesh control rond boutgaten 62
Figuur 65: Mesh control in hoekradius 62
Figuur 66: Boutinstellingen montagetool oliethermostaat 63
Figuur 67: Spanningsconcentraties binnen montagetool oliethermostaat 64
Figuur 68: Boutsimulatie oliethermostaat 65

Tabellenlijst

Tabel 1: Vergelijking montagemethodes aan CAC....25
Tabel 2: Vergelijking soorten duwloopkatten....27
Tabel 3: Lasberekening....36
Tabel 4: Verschillen in tekenconventie....66
Tabel 5: Structuur codering naamgeving....67
Tabel 6: Structuur motorcodes....67
Tabel 7: Kostprijsberekening aankooponderdelen....73

Afkortingenlijst

Afkorting	Betekenis
ABC	Anglo Belgian Corporation
DV	Diesel V-configuratie
EEM	Eindige elementen methode
HFO	Heavy Fuel Oil
CAC	Charge air cooler, zie begrippenlijst
PCV	Positive Crankcase Ventilation, zie begrippenlijst

Begrippenlijst

Begrip	Betekenis
DV-motor	Interne verbrandingsmotor in een V-configuratie. Kan draaien op diesel, HFO en biobrandstoffen
16DV36	De V16 variant van de DV-motor. Bevat 16 cilinders met diameter 365 mm
12DV36	De V12 variant van de DV-motor. Bevat 12 cilinders met diameter 365 mm
EEM-simulatie	Simulatie van een CAD-model met eindige elementen methode
Render	3D model omzetten naar fotorealistisch beeld
CATIA	CAD Softwarepakket van Dassault Systèmes
Charge air cooler	Koeler die de gecomprimeerde lucht uit de turbo's afkoelt vooraleer deze naar de inlaat van de cilinder gaat.
Positive Crankcase Ventilation	Carterventilatie: laat overdruk t.g.v. blowby af uit de carter
Blowby	Gassen die in de carter terechtkomen wegens imperfecte afsluiting van de verbrandingskamer
Mesh	Weergave van een onderdeel bestaande uit driehoekige oppervlakjes, gebruikt binnen EEM-simulaties
Mesh control	Bepaalde zone in de mesh met hogere resolutie, meestal op de punten waar de hoogste spanningen zich bevinden

Fixed Geometry	Geometrie die binnen de EEM-simulatie als *fixed* beschouwd wordt. Deze geometrie kan binnen de simulatie niet bewegen.
Linkage rod	Starre staafverbinding

Inleiding

Deze bachelorproef is gekoppeld aan een 15-weekse stage bij Anglo Belgian Corporation. Dit is een bedrijf gevestigd op de Wiedauwkaai te Gent met een 350-tal werknemers dat zich profileert als fabrikant van interne verbrandingsmotoren voor industriële en maritieme toepassingen. ABC biedt een groot gamma aan motoren, gaande van zescilinders met een output van 1000 kWm tot zestiencilinders met een output van 10400 kWm. Het bedrijf is momenteel zeer intensief bezig met de ontwikkeling van deze motoren om alternatieve brandstoffen toe te staan, zoals bijvoorbeeld methanol en waterstofgas. Hierdoor kunnen ze hun klanten garanderen dat er oplossingen beschikbaar zijn die voldoen aan de alsmaar striktere emissienormen.

Tijdens deze stage draaide ik mee als mechanisch ontwerper binnen de afdeling Engineering.

De opdracht van dit eindwerk bestaat uit het ontwerpen van montagegereedschappen voor de water- en oliepompassemblies van de motoren uit de DV-reeks. Deze opdracht wordt gegeven door begeleidende stagementor Dany vanGoethem.

Hoewel er al een aantal DV-motoren verkocht zijn, zijn deze nog deels in ontwikkeling. Dit betekent dat er nog enkele uitdagingen te overwinnen zijn, waaronder bijvoorbeeld het ontwerpen van montagegereedschappen.

Momenteel is er geen op maat gemaakt montagegereedschap beschikbaar en worden de water- en oliepompen alsook de bijhorende huizen ge(de)monteerd door te vertrouwen op de vindingrijkheid van de monteurs. Het resultaat is dat deze montage niet veilig kan verlopen en dat de monteurs een verhoogd risico lopen omdat de pompen zouden kunnen vallen, bepaalde bevestigingspunten het zouden begeven, etc.

Het montagegereedschap in kwestie moet een maximaal gewicht dragen van 304 kg, het gewicht van het waterpomphuis met bijhorende inlaatflens. Dit gereedschap kan toegepast worden bij zowel de 12DV36 als 16DV36 motoren.

Er wordt geen concreet budget vooropgesteld door de stagementor. Het is echter wel de bedoeling dat dit gereedschap meegeleverd wordt met de motoren en niet enkel voor intern gebruik bestemd is, dus dient het zo goedkoop mogelijk te zijn. Vele overwegingen binnen het ontwerp zijn bij gevolg ook gekozen met dit in het achterhoofd.

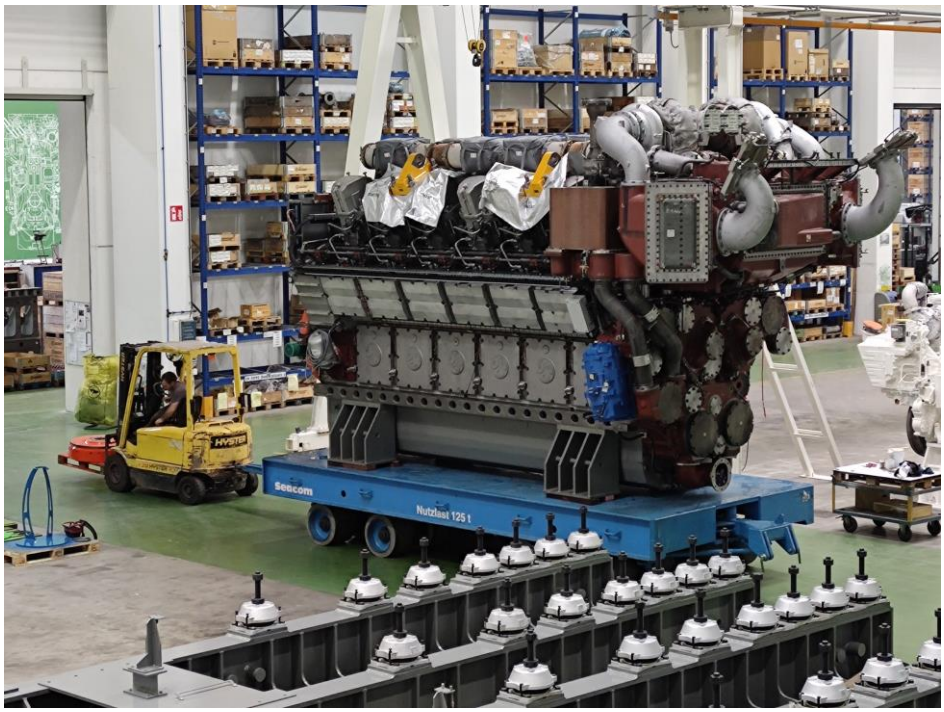
Tijdens de voorstudie worden verschillende montagemogelijkheden onderzocht. Bij dit onderzoek wordt gekeken naar maakbaarheid, kostprijs en effectieve werking van het gereedschap. Er wordt inspiratie opgedaan bij bestaande kranen en montagegereedschappen.

Dit rapport omvat de voorstudie, berekeningen, concepten en het uiteindelijke ontwerp van het montagegereedschap.

1. Verklaring van ontwerp

1.1. Probleemstelling

De opdrachtgever is een fabrikant van interne verbrandingsmotoren met vermogens tussen de 1000 kWm en 10400 kWm. Deze motoren hebben verschillende toepassingen, waaronder de aandrijving van schepen, treinen, generatoren en andere specifieke toepassingen. Het gamma bestaat uit verschillende motoren, waarbij de DV-lijn de grootste is. Deze DV-lijn bestaat uit een V12 en V16, met respectievelijk 7800 kW en 10400 kW als vermogen. Deze motoren zijn behoorlijk omvangrijk, zo is de 16DV36 maar liefst bijna 9 m lang, 4 m breed en 5 m hoog.



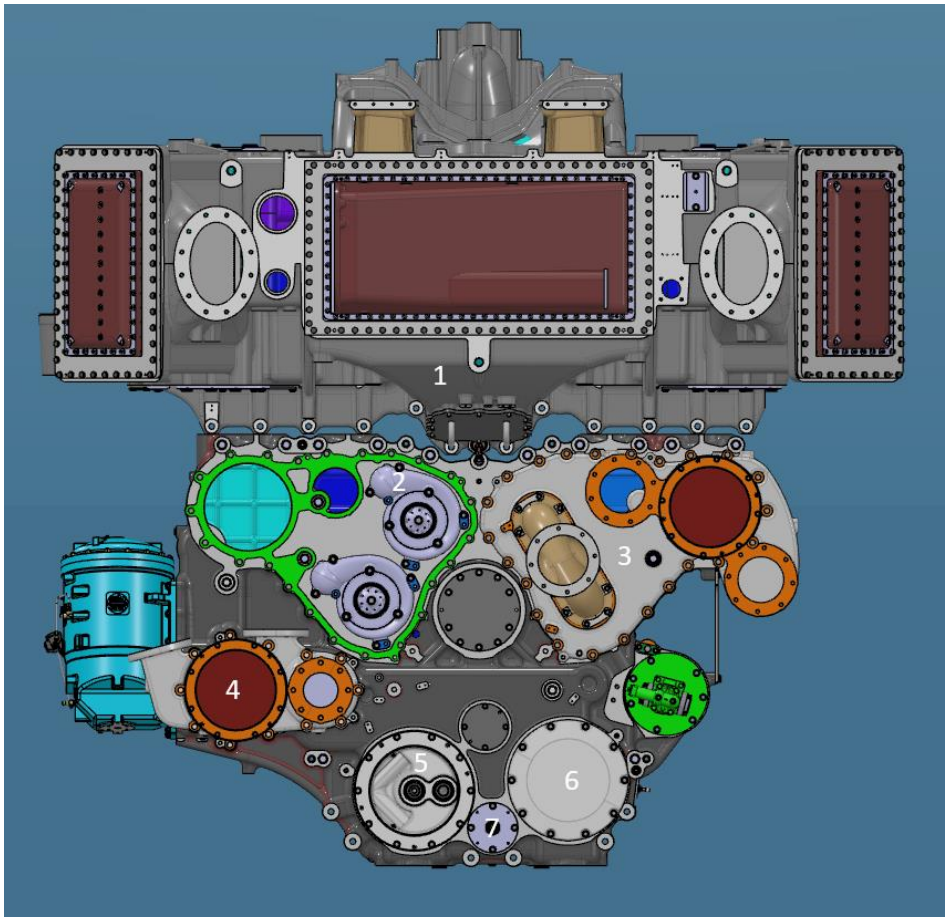
Figuur 1: 12DV36-motor achter vorkheftruck

De montage van motoren van dit formaat noodzaakt speciale gereedschappen en hijswerktuigen. Voor de meeste delen van de motor zijn deze al ontwikkeld, maar nog niet voor de olie- en waterpompen. Dit betekent dat deze momenteel gemonteerd worden door katrollen te bevestigen op punten die hier niet voor ontworpen zijn, zoals bijvoorbeeld buizen van de CAC of de I-profielen van het frame van de testbank.

De opdrachtgever wenst eenvoudige tools te hebben waarmee deze montage veilig en betrouwbaar kan verlopen. Deze tools moeten zo veel mogelijk uit standaardonderdelen bestaan en zo simpel mogelijk zijn, aangezien deze meegeleverd worden met de motoren die onder andere bestemd zijn voor schepen, waar het een hele logistieke uitdaging kan zijn om kwijtgespeelde of kapotte onderdelen te vervangen.

Het gebruik van standaardonderdelen zorgt er dus voor dat de beschikbaarheid van de tool maximaal blijft, zelfs wanneer er een aantal onderdelen ontbreken of kapot zijn.

Dit gereedschap moet het mogelijk maken om de pompen en bijhorende huizen van de motor te verwijderen, waarna ze overgenomen kunnen worden door een kraan of op een karretje gezet kunnen worden. In Figuur 2 is een render zichtbaar van de voorkant van de DV-motoren. Voor de scope van dit project is dit het enige relevante deel van de motor. In de legende zijn de onderdelen die voor dit project van belang zijn terug te vinden. De onderdelen die door de montagetools ge(de)monteerd moeten worden zijn in de legende onderlijnd.

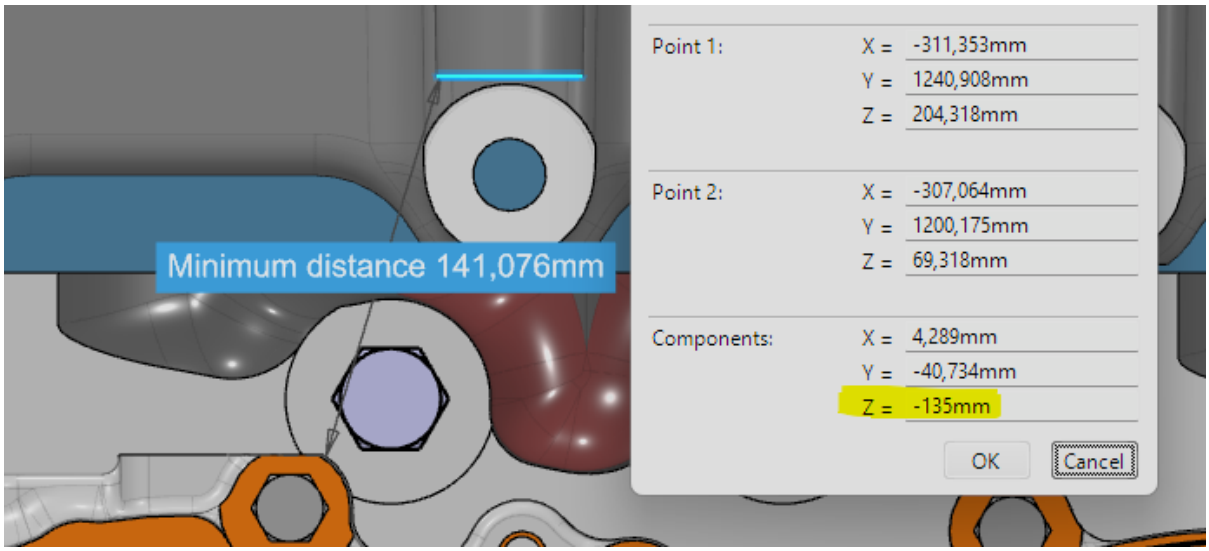


Figuur 2: Voorkant van DV36-motor

Legende:

1. CAC
2. Waterpomp
3. Waterpomphuis met waterthermostaat en inlaatflens
4. Oliethermostaat
5. Oliepomp
6. Oliepompdeksel
7. PCV valve cover

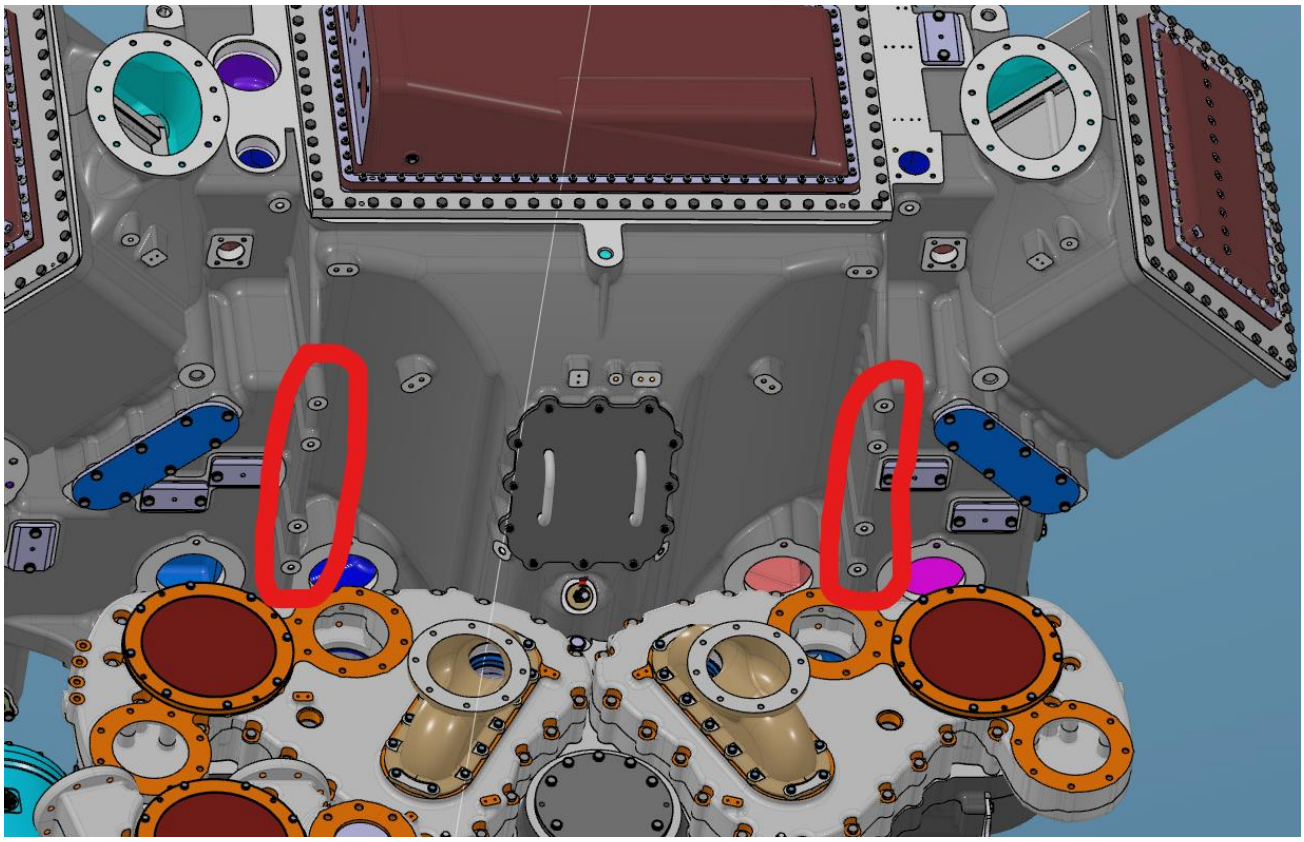
De grootste uitdaging bij dit ontwerp is de beperkte plaats beschikbaar om een tool te plaatsen tussen het waterpomphuis en de montagepunten aan de CAC. Op het nauwste punt bedraagt deze ruimte slechts 135 mm, gemarkeerd te zien in Figuur 3.



Figuur 3: Beperkte plaats tussen CAC en waterpomphuis

1.2 Algemeen concept

Om deze tool zo flexibel mogelijk te maken wordt meteen aan een systeem analoog aan een XY-tafel gedacht, waarbij er een katrol gemonteerd wordt op een dwarsbalk die op zijn beurt verbonden is aan twee balken. Dit is geïnspireerd door het bewegingssysteem van een 3D-printer waarbij de printkop vrij kan bewegen in het XY-vlak. Dit komt perfect uit aangezien er aan de onderzijde van de CAC 8 boutgaten voorzien zijn waaraan deze balken vastgemaakt kunnen worden. Deze zijn in Figuur 4 zichtbaar en zijn in het rood omcirkeld.

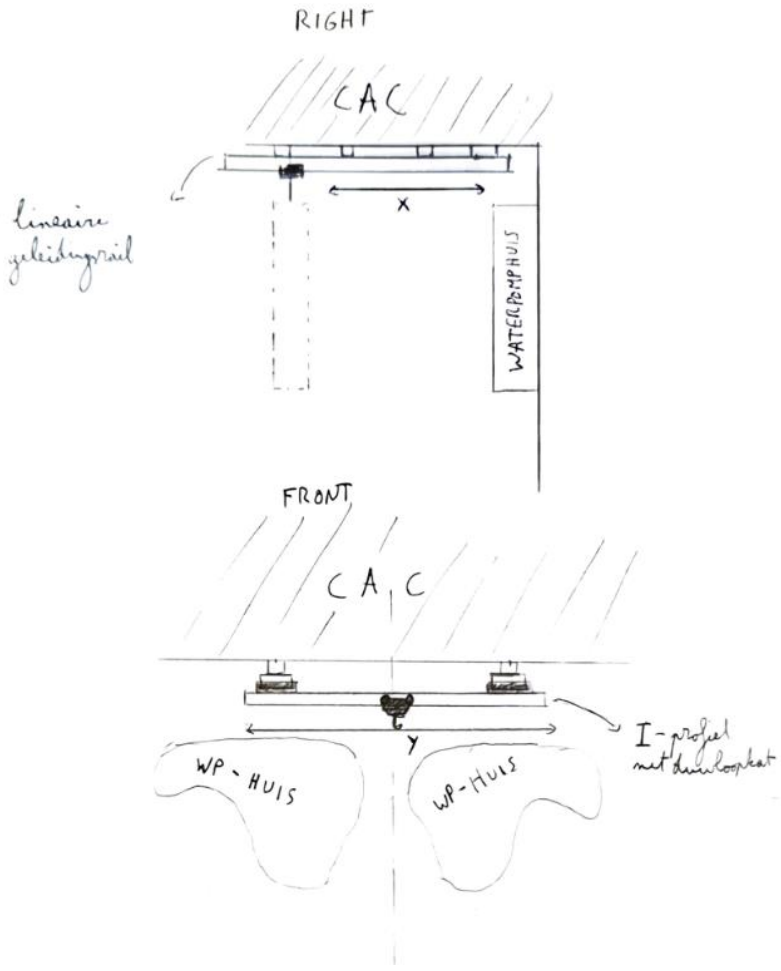


Figuur 4: Boutgaten onderaan CAC

1.3 Conceptuele schetsen

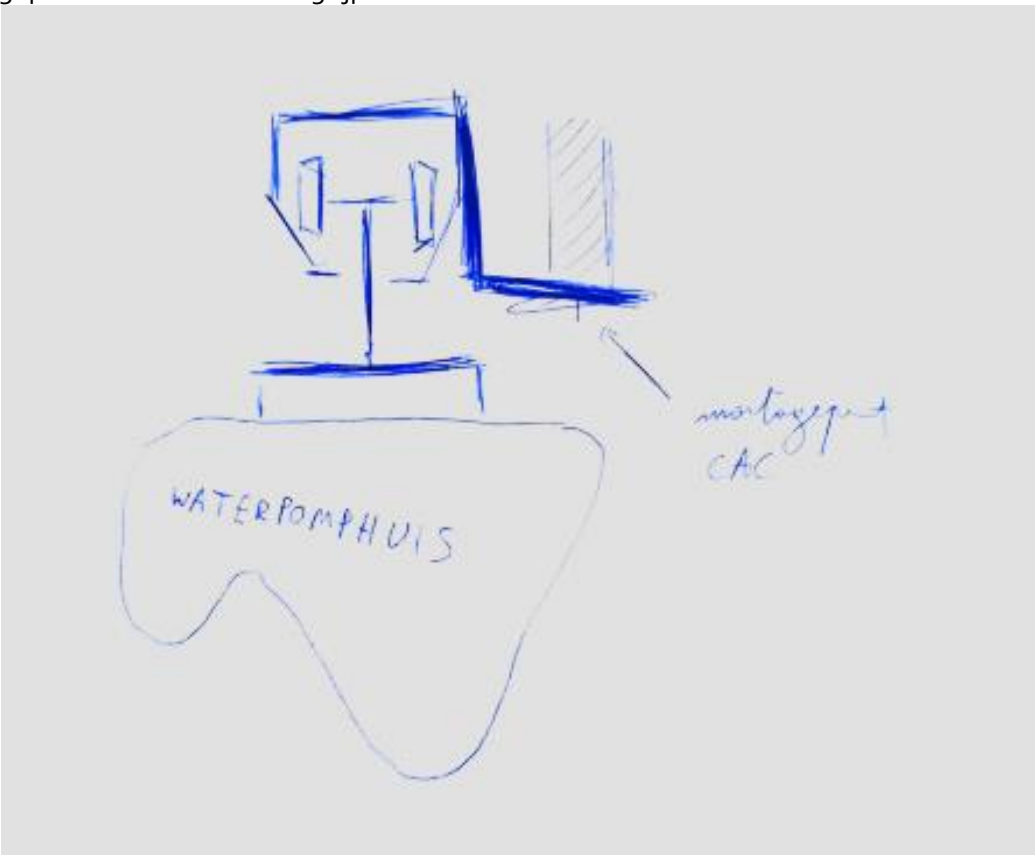
Dit project begint door een aantal conceptschetsen te maken en de voor- en nadelen van de verschillende opties af te wegen. Hierdoor wordt er ook meteen een beeld gevormd over welke onderdelen commercieel aangekocht kunnen worden en welke op maat gemaakt moeten worden. Het uiteindelijke ontwerp kan afwijken van deze schetsen, de schetsen zijn vooral bedoeld om een idee te geven van de opstelling.

Het initiële idee bestaat uit 2 lineaire geleidingsrails waaraan dwars een balk bevestigd is met een duwloopkat erop. Dit is te zien in Figuur 5. Deze constructie wordt aan de voorziene boutgaten onder de CAC bevestigd, te zien in Figuur 4. In Figuur 5 worden ook de X- en Y-richting van de montagegereedschappen gedefinieerd.



Figuur 5: Conceptschets van geleidingssysteem

In overleg met de monteurs wordt ook onderstaande schets opgesteld, waarbij er gebruik gemaakt wordt van een C-profiel met interne loopkat dat aan een hoekijzer gelast is. Dit zou ervoor zorgen dat er meer plaats gecreëerd wordt tussen de CAC en het waterpomphuis, maar na enig onderzoek blijkt dit geen goede oplossing te zijn omdat deze C-profielen met interne loopkat niet beschikbaar zijn met voldoende hoge maximale belasting, er problemen zijn met de locaties van de zwaartepunten, en er extra momenten optreden omdat de last niet rechtstreeks onder de montagepunten aan de CAC aangrijpt.

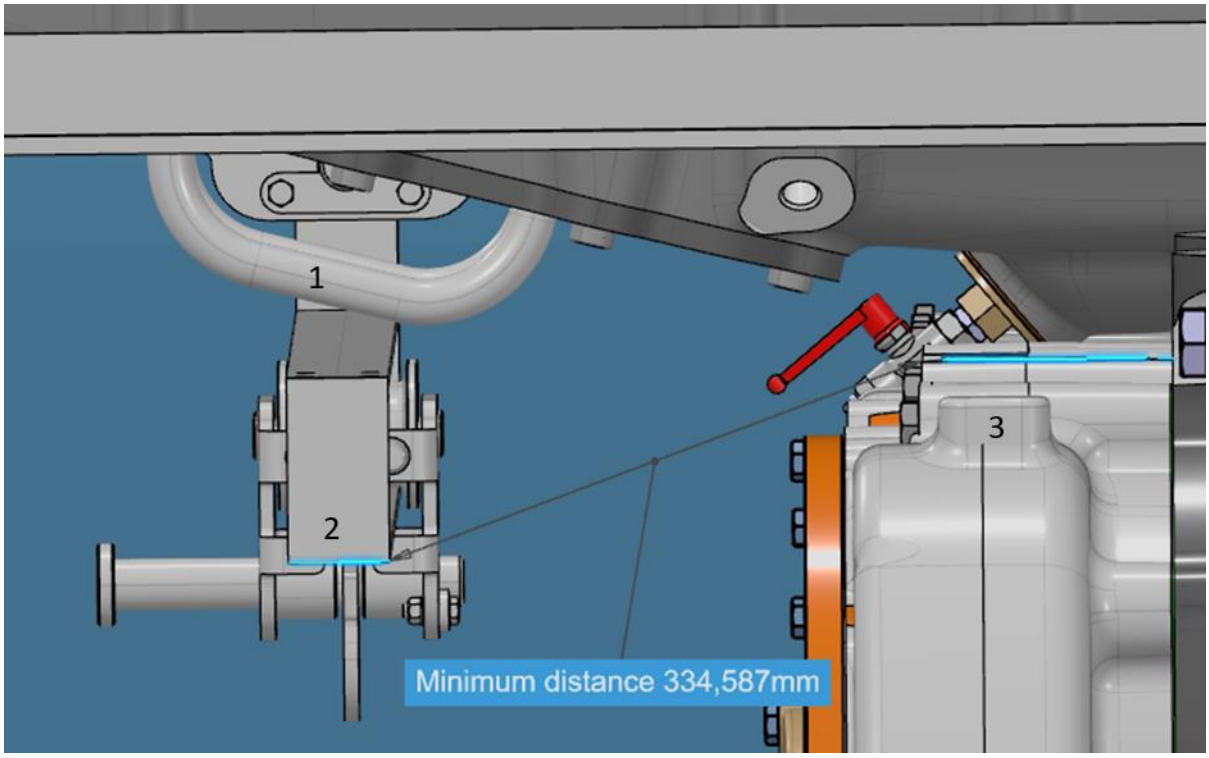


Figuur 6: Conceptschets met C-profiel en interne loopkat

1.4 Mogelijke en gekozen oplossingen

1.4.1 Aantal tools

Met efficiëntie in het achterhoofd is het oorspronkelijke idee om alle onderdelen met één en dezelfde montagetool te (de)monteren. Tijdens de uitwerking van deze tool blijken er echter enkele beperkingen te zijn waardoor dit niet mogelijk is. Wanneer er slechts één tool gebruikt wordt zou deze te laag komen om het waterpomphuis te demonteren, omdat deze tool onder een deksel met handvaten moet kunnen passeren en deze handvaten lager liggen dan de montagepunten van het waterpomphuis. Dit is te zien in Figuur 7. Hierdoor is genoodzaakt een aparte tool te ontwikkelen voor de (de)montage van het waterpomphuis.



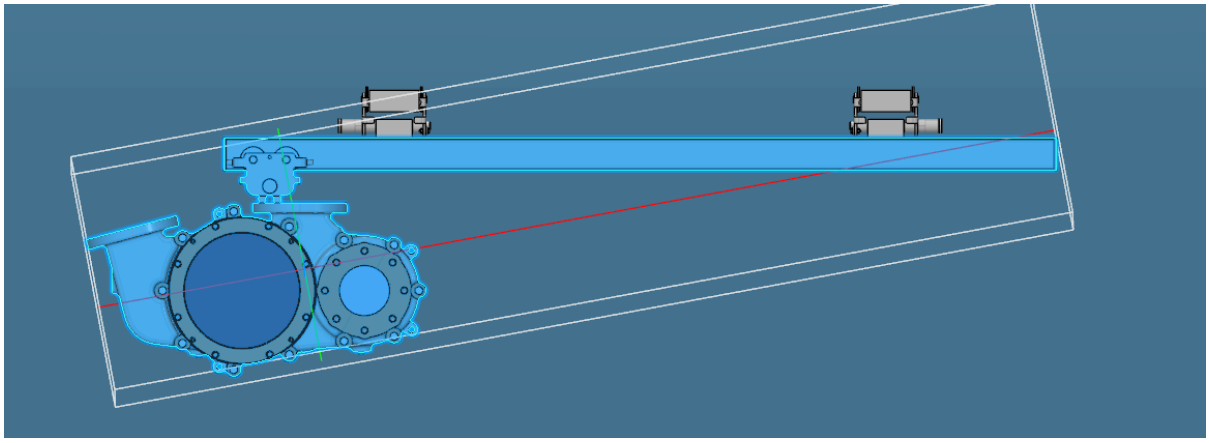
Figuur 7: Packagingproblemen

Legende:

1. Handvaten onderaan deksel CAC
2. Toolconcept
3. Waterpomphuis

Verder is er ook nog het probleem dat de oliethermostaat buiten de montagepunten voor de X-rails ligt. Aangezien deze oliethermostaat 195 kg weegt zal er bijgevolg een groot moment ontstaan. Dit moment moet ofwel opgevangen kunnen worden door de X-rails, of er moet met tegengewichten gewerkt worden om het zwaartepunt van de constructie tussen de montagepunten te krijgen.

Tegengewichten zijn onpraktisch juist omdat het extra gewichten zijn die de monteurs moeten versleuren, en de constructie zou ook onveilig kunnen worden wanneer de monteurs deze gewichten zouden vergeten. Daarom wordt dit uitgesloten en zal het moment dus of door de X-rails opgevangen moeten worden of zal de (de)montage van de oliethermostaat met een aparte tool moeten gebeuren. Het zwaartepunt van de constructie bestaande uit de dwarsbalk en oliethermostaat wordt weergegeven als het snijpunt tussen de rode en gele lijnen in Figuur 8.



Figuur 8: Zwaartepunt oliethermostaat buiten montagepunten

In overleg met de stagementor wordt de keuze gemaakt om een aparte tool te ontwikkelen voor de oliethermostaat. In totaal worden er dus 3 verschillende tools ontwikkeld.

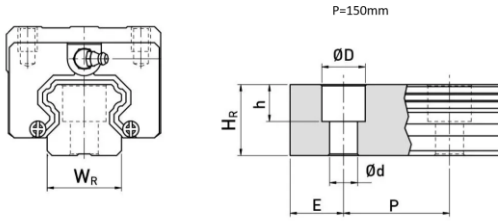
1.4.2 Bewegingssysteem

1.4.2.1 Bevestiging aan CAC

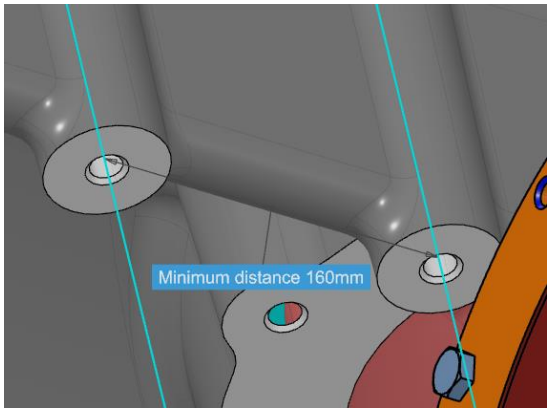
Het eerste idee is om lineaire geleidingsrails aan de CAC te bevestigen en hieraan op zijn beurt een stalen I-profiel met katrol te bevestigen. Hoewel niet optimaal zouden deze lineaire rails in X-richting enig moment van de oliethermostaat kunnen opvangen.

De boutgaten in de CAC zijn voorzien van M16 schroefdraad, dus wordt er gezocht naar lineaire rails die deze bouten accepteren. Lineaire geleidingsrails hebben een aantal gestandaardiseerde formaten en het formaat dat M16 bouten accepteert is size 65 [1]. Het blijkt echter dat de afstand tussen de boutgaten van de rails slechts 150 mm bedraagt [1] terwijl deze bij de CAC 160 mm bedraagt. Dit betekent dat de rails niet rechtstreeks op de CAC gemonteerd kunnen worden en dat er een adapter voorzien moet worden.

Op zijn beurt betekent dit dat de constructie dan minder compact wordt, wat het voornaamste voordeel van lineaire rails tenietdoet.



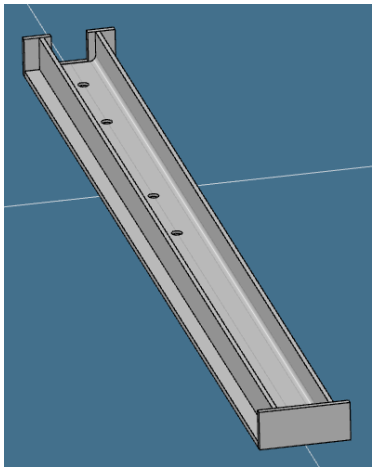
Figuur 9: HIWIN Geleidingsrail [1]



Figuur 10: Boutafstand CAC

Een alternatieve oplossing hiervoor is om ook in X-richting staalprofielen met een duwloopkat te plaatsen. Dit brengt de kostprijs ook aanzienlijk naar beneden.

De grootste uitdaging bij dit ontwerp is de beperkte plaats tussen de montagepunten aan de CAC en de bovenkant van het waterpomphuis. Hierdoor zou het niet mogelijk zijn om rechtstreeks onder de voorziene boutgaten I-profielen te monteren. Daarom wordt er geopteerd voor een lasconstructie bestaande uit een UPE-profiel, waaraan langs de onderzijde een vlakke plaat wordt gelast om als loopvlak van de duwloopkatten te dienen, en twee eindplaatjes aan gelast worden als eindeloop. Het gebruik van dit profiel laat ook toe om de boutgaten op de juiste plaats te boren. Merk op dat het om UPE-profielen gaat en niet de meer voorkomende UPN-profielen. De UPE-profielen zijn lichter per meter, en hebben in de belastingsrichting van deze toepassing een ongeveer 20% hoger weerstandsmoment tegen buiging [2].



Figuur 11: Lasconstructie

De rechte flenzen laten ook toe een UPE100-profiel te gebruiken voor dit ontwerp terwijl een UPN100-profiel niet zou passen. Gezien de beperkte inbouwruimte van de tool is dit van groot belang.

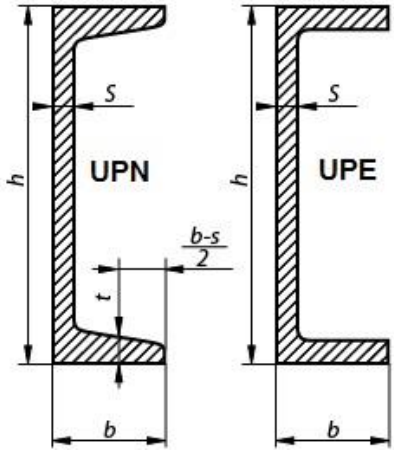
Het kiezen voor UPE-profielen met duwloopkatten heeft als neveneffect echter wel dat de oliethermostaat niet met deze tool ge(de)monteerd kan worden, daar de loopkatten het moment niet kunnen opvangen. Er zal zoals eerder vermeld dus een aparte tool voor de oliethermostaat ontwikkeld moeten worden. Het significante verschil in kostprijs met de lineaire geleidingen zorgt er wel voor dat dit nog steeds de meest prijsefficiënte oplossing is, en dit in combinatie met de beperkte inbouwruimte zorgt ervoor dat de UPE100-profielen de beste optie zijn.

Tabel 1: Vergelijking montagemethodes aan CAC

	Voordeel	Nadeel
Lineaire geleiding	Stijf, compact, vangt momenten op	Duur, niet verkrijgbaar met juiste boutafstand
IPE100	Stijf, geen nabewerking	Past niet
UPN100	Goedkoop, beschikbaar	Schuine flenzen, zwaarder, past niet zonder nabewerking
UPE100	Goedkoop, compact, hoog weerstandsmoment	Mindere beschikbaarheid

De in het geel aangeduide optie is degene die effectief in het ontwerp verwerkt wordt.

In Figuur 12 zijn doorsnedes van de UPN- en UPE-profielen zichtbaar.

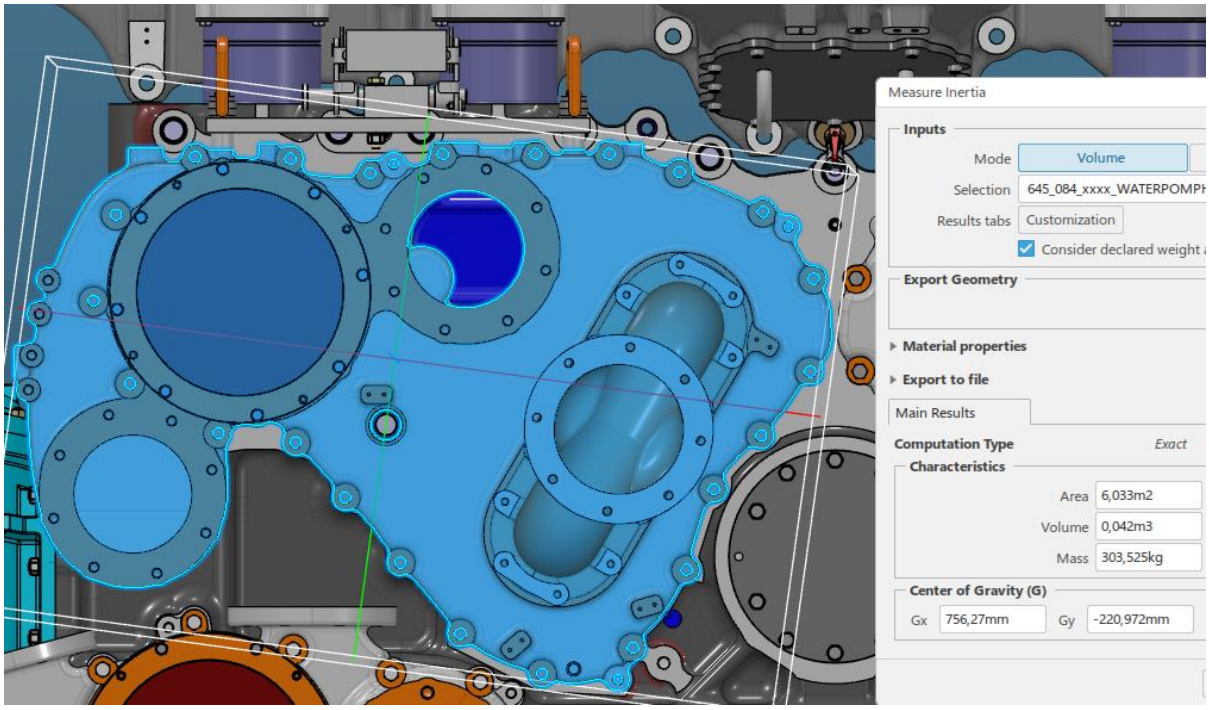


Figuur 12: UPN vs UPE [3]

1.4.2.2 Beweging in X-richting

Om de tool in X-richting te bewegen wordt gebruik gemaakt van duwloopkatten die vrij bewegen op de montagerails. Er is een breed gamma aan duwloopkatten beschikbaar met verschillende maximale belastingen, elk met hun eigen afmetingen en montagesystemen. De zwaarste belasting die één enkele loopkat zal moeten ondergaan is tijdens de (de)montage van het waterpomphuis. Hierbij wordt slechts één enkele loopkat belast met het volle gewicht van dit gietstuk (304 kg). Het zwaartepunt van het waterpomphuis ligt onder de montagepunten, wat ervoor zorgt dat er hier geen problemen zijn met eventueel optredende momenten.

Het zwaartepunt wordt in Figuur 13 weergegeven als het snijpunt tussen de gele en rode lijn.



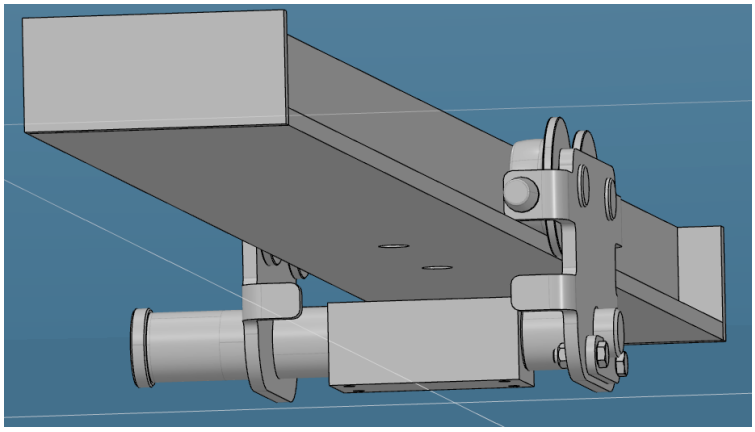
Figuur 13: Massa en zwaartepunt van waterpomphuis met thermostaat en inlaatflens

De massa van het waterpomphuis met thermostaat en inlaatflens bedraagt 304 kg. Daarom wordt gekozen voor duwloopkatten met een maximale belasting van 500 kg. Er worden 3 types loopkat met elkaar vergeleken van fabrikanten Mitari [4], POWERTEX [5] en Manutan [6]. Deze worden vergeleken op montagesysteem en hoogte, aangezien het ook bij deze keuze cruciaal is om zo compact mogelijk te werken.

Uit deze vergelijking komt de POWERTEX PPT-S2 [5] loopkat naar voren als de meest geschikte loopkat voor de toepassing. Dit is de meest compacte optie en is het makkelijkst aan te passen aan de toepassing. Zowel de Manutan [6] als Mitari [4] gebruiken een oogbout die langs de ene zijde linkse en langs de andere zijde rechtse schroefdraad bevat. Zo kan de flensbreedte ingesteld worden door deze bout aan te draaien. De POWERTEX [5] gebruikt echter een systeem met een gladde as, en er wordt gebruik gemaakt van sluitringen om de afstand tussen de flenzen te bewaren. Dit is gunstig voor dit ontwerp omdat er dan geen schroefdraad moet getapt worden bij een verbindingsstuk of speciale assen op lengte gedraaid moeten worden. De sluitringen die de afstand tussen de flenzen bewaren kunnen vervangen worden door een montageblokje waaraan de rest van de montagetool komt te hangen.

Figuur 14: POWERTEX PPT-S2 duwloopkat [6]

In Figuur 15 is een render van de POWERTEX-loopkat te zien, gemonteerd op het staalprofiel met het montageblokje dat de afstand tussen de loopkatflenzen bepaalt.



Figuur 15: Loopkat met montageblokje

In Tabel 2 worden de verschillende opties voor loopkatten op een rijtje gezet. De in het geel aangeduide optie is degene die effectief in het ontwerp verwerkt wordt.

Tabel 2: Vergelijking soorten duwloopkatten

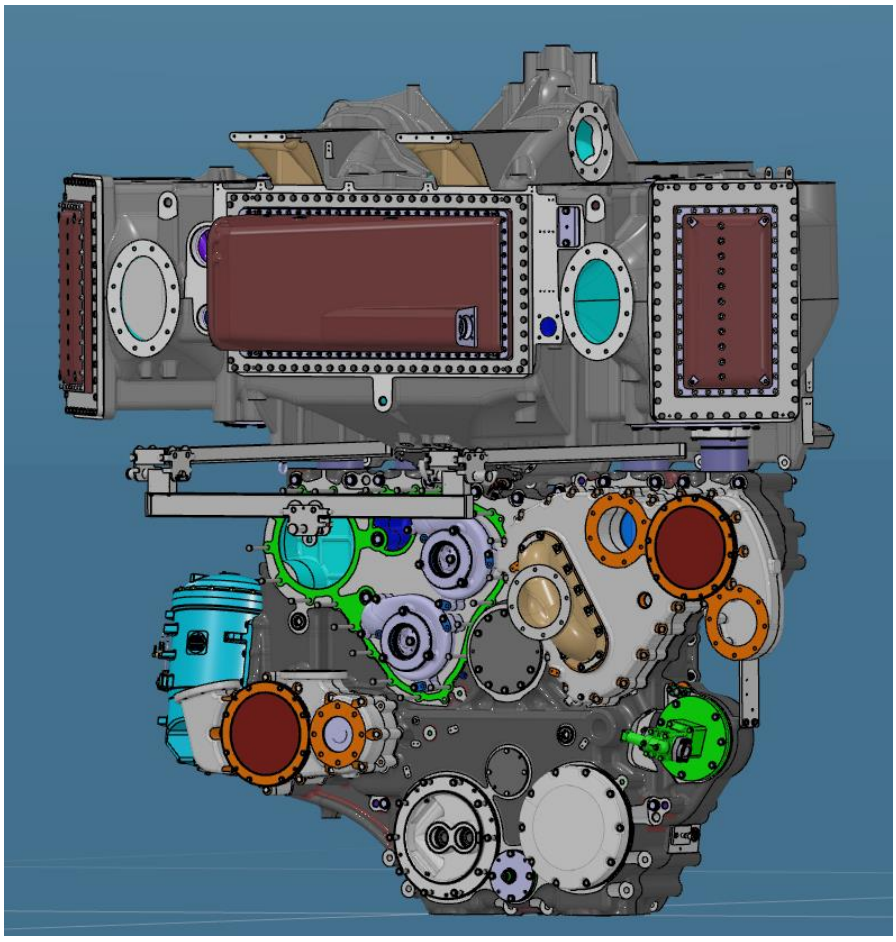
	Hoogte [mm]	Montagestijl
Manutan A148389 [6]	173	Oog met L/R draad
Mitari MLK500 [4]	158	Oog met L/R draad
POWERTEX PPT-S2 16.05PPTS2005B [5]	150	Gladde as

1.4.2.3 Beweging in Y-richting

Dit is enkel van toepassing voor de tool die de pompen zelf (de)monteert aangezien er hier een dwarsbalk loopt die beweging in Y-richting mogelijk maakt.

Hoewel er in Y-richting wel de mogelijkheid is om lineaire rails te gebruiken is dit hier niet strikt noodzakelijk. Daarom wordt er geopteerd om ook in Y-richting gebruik te maken van duwloopkatten op een staalprofiel gezien de lagere kostprijs. Voor deze toepassing wordt een IPE100-profiel gekozen aangezien deze bij zowat elke leverancier goedkoop verkrijgbaar zijn.

Ook hier wordt gebruik gemaakt van een POWERTEX PPT-S2 [5] duwloopkat. Hierdoor wordt het aantal unieke onderdelen tot een minimum gehouden. Het IPE100-profiel wordt verbonden aan het montageblokje doormiddel van 8 M8x70 DIN 931 [7] bouten. Om dit profiel laag genoeg te hangen om aan het deksel onderaan de CAC te kunnen passeren (zie Figuur 7 p22), wordt er gebruik gemaakt van een spacerblokje met 4 doorgangsgaten.

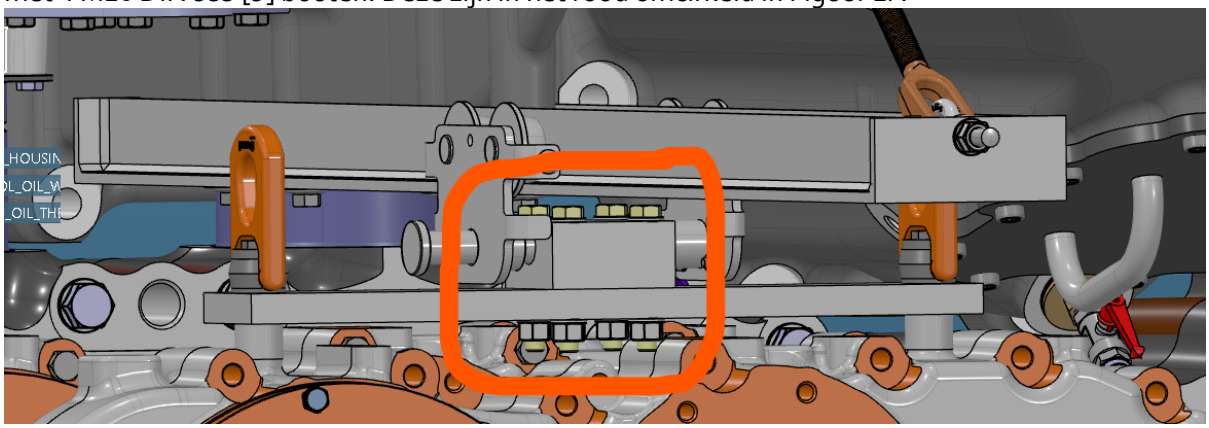


Figuur 16: Montagetool met dwarsbalk voor pompmontage

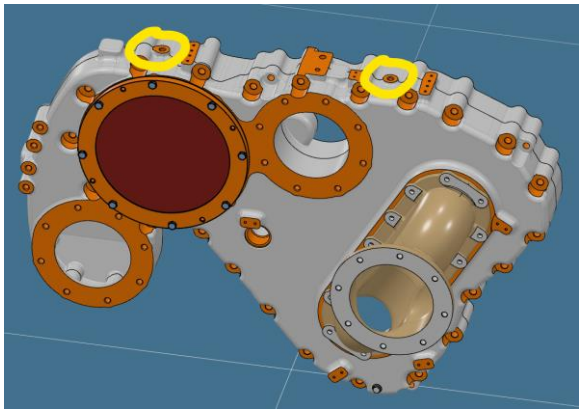
1.4.3 Montage

1.4.3.1 Montagetool voor waterpomphuis

Zoals eerder vermeld en zichtbaar in Figuur 4 p19, worden de X-geleidingen verbonden aan de CAC doormiddel van M16 DIN 6921 [8] bouten. Vervolgens worden de katrollen op hun loopvlak geplaatst en worden deze verbonden met de rest van de tool doormiddel van een montageblokje met 4 M16 DIN 933 [9] bouten. Deze zijn in het rood omcirkeld in Figuur 17.



Figuur 17: Montageblokje met M16 bouten



Het waterpomphuis is aan de bovenzijde voorzien van twee gaten met M16 schroefdraad. Deze gaten zijn er geplaatst als bevestigingspunten voor hijsogen en zijn hiernaast in Figuur 18 in het geel omcirkeld. Deze bevestigingspunten zijn zeer gunstig geplaatst aangezien het zwaartepunt van deze constructie bestaande uit de thermostaat, het waterpomphuis en bijhorende inlaatflens centraal tussen deze gaten ligt. Het waterpomphuis zal dus niet geneigd zijn om te roteren wanneer deze van de motor gehaald wordt.

Figuur 18: Bevestigingspunten waterpomphuis

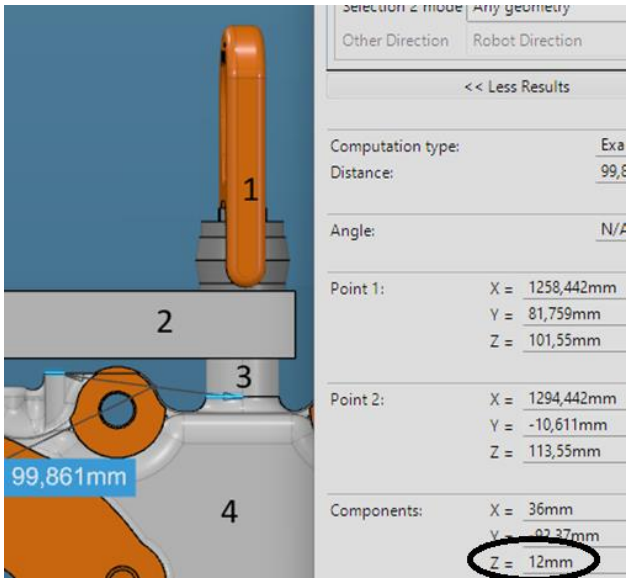
Het waterpomphuis wordt aan de loopkat verbonden doormiddel van een lat met doorgangsboringen die vastbout aan het montageblokje van de loopkat doormiddel van 4 M16 DIN 933 [9] bouten. Deze lat wordt op zijn beurt verbonden met het waterpomphuis doormiddel van oogbouten.

Voor deze oogbouten bestaan een aantal normen, waaronder DIN 580 [10] die specifiek over hijsogen gaat. Het probleem met bouten die aan deze norm voldoen is dat deze niet lang genoeg zijn voor deze toepassing. Er bestaan echter ook oogbouten die volgens DIN444 [11] genormeerd zijn. Deze zijn langer, maar zijn eerder als scharnierpunt bedoeld en niet voor hijstoepassingen ontworpen. Daarom zijn deze vaak slechts van hardheidsklasse 4.6, wat niet voldoende is voor deze toepassing.

In de leverancierslijst van ABC staat echter ook Mennens Hijstechniek, die Pewag PLBW M16 oogbouten [12] beschikbaar hebben. Dit zijn oogbouten bedoeld voor hijstoepassingen die in een aantal bestaande lengtes verkrijgbaar zijn, maar ook op maat te verkrijgen zijn. Dit is zeer handig voor deze toepassing aangezien er met een beperkte inbouwruimte gewerkt wordt. Er wordt binnen dit ontwerp dan ook gebruik gemaakt van deze op maat gemaakte oogbouten.

Deze oogbouten doen niet alleen dienst als bevestigingsmethode aan de tool maar bieden ook meteen enkele punten aan om het waterpomphuis mee te hijsen eens deze voorbij de obstructie van de CAC gepasseerd is. Om de oogbouten correct op moment aan te kunnen draaien moeten er enkele bussen tussen de onderkant van de bevestigingslat en de bovenkant van de boutgaten geplaatst worden, daar de bovenkant van de boutgaten niet de hoogste punten op het gietstuk zijn. Mochten deze bussen er niet zijn zou de lat tegen het bovenste punt getrokken worden en is de voorspanning in de bout niet te voorspellen uit het gebruikte aanhaalmoment.

Hieronder zichtbaar in Figuur 19 ligt het hoogste punt van het waterpomphuis 12 mm hoger dan de bovenkant van de boutgaten. Dit verklaart de noodzaak van de bussen. Bijhorende legende is ook van toepassing op Figuur 20.

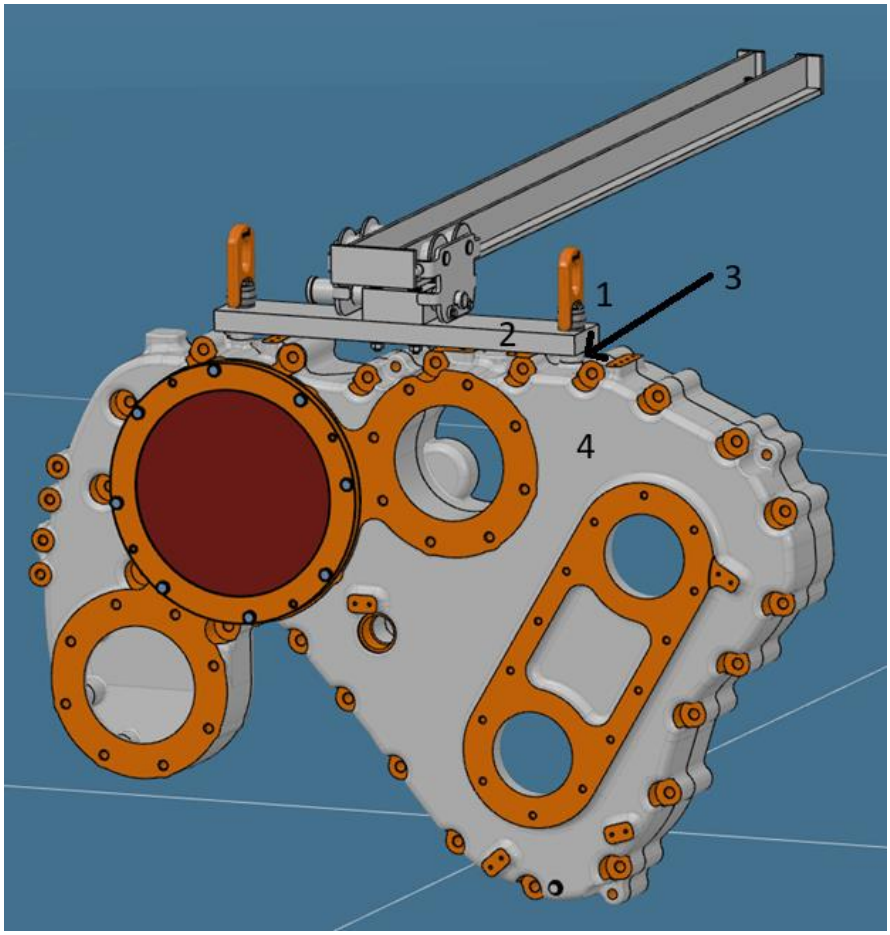


Figuur 19: Bussen voor boutbevestiging

Legende:

1. Pewag PLBW M16 oogbout [12]
2. Bevestigingslat
3. Bus
4. Waterpomphuis

Figuur 20 geeft een compleet beeld van de montagetool voor de waterpomphuizen. In deze figuur staat de tool in eindeloopositie.



Figuur 20: Montagetool voor waterpomphuis

1.4.3.2 Montagetool voor water- en oliepompen

Deze tool bestaat uit 2 constructies met loopkatten die aan weerszijden van de CAC bevestigd worden. Ook hier gebeurt dit met 4 M16 DIN 6921 [8] bouten per constructie. Eens deze bevestigd zijn worden de linker en rechter loopkat met elkaar verbonden doormiddel van een IPE100-profiel. Dit profiel wordt aan beide loopkatten bevestigd doormiddel van 4 M8x70 DIN 931 [7] bouten per kant die door een spacerblokje lopen en vervolgens in de montageblokjes aan de loopkatten vastgezet worden.

Op dit IPE100-profiel wordt een loopkat geplaatst die de beweging van de tool in Y-richting mogelijk maakt. Aan deze loopkat kan een takel bevestigd worden om de olie-en waterpompen te (de)monteren. Deze takel kan bevestigd worden aan de water- en oliepompen door gebruik te maken van M16 DIN 580 [10] oogbouten. Deze kunnen vastgedraaid worden in de gaten waarmee de pompen normaalgezien aan de motor bevestigd worden.

1.4.3.3 Montagetool voor oliethermostaat

De tool voor het (de)monteren van de oliethermostaat is zeer eenvoudig. Deze bestaat namelijk uit een driehoekige constructie met twee doorgangsgaten en één getapt gat waar een M16 DIN 580 [10] hijsoog in gedraaid wordt. De positie van dit hijsoog is gekozen zodanig dat deze boven het zwaartepunt van de oliethermostaat komt te liggen. Aan dit hijsoog kan een takel verbonden worden om de oliethermostaat te (de)monteren.

1.5 EEM-simulaties en berekeningen

1.5.1 Veiligheidsfactor

Om sterkteberekeningen te maken moet er eerst een veiligheidsfactor op buiging afgesproken worden. Deze dient als marge voor eventueel verkeerd gebruik of om productiefouten op te vangen.

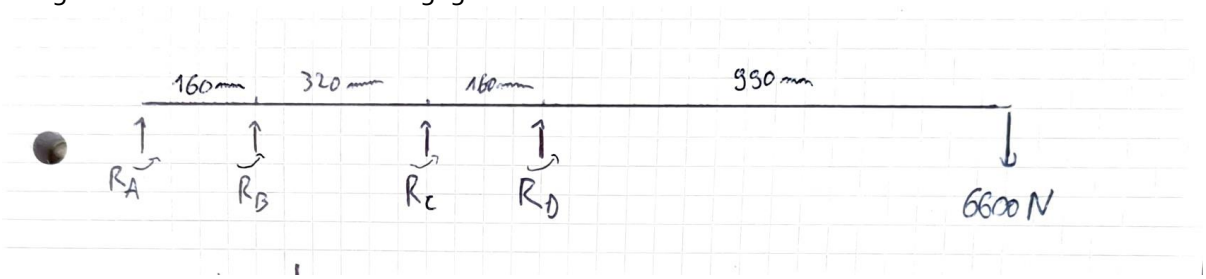
Het bepalen van de veiligheidsfactor voor deze toepassing is niet eenvoudig. De in dit document ontworpen montagegereedschappen vallen onder de EN 13001-reeks van normen [13]. Dit zijn zeer algemene normen voor kranen. Het probleem met deze normen is echter dat er voor de bepaling van de veiligheidsfactor zeer complexe en omslachtige berekeningen nodig zijn, die verschillende factoren in rekening nemen die in dit ontwerp niet van toepassing zijn. Er bestaat echter ook EN16851, een norm voor "Light Crane Systems" [14]. Deze norm versimpelt een aantal zaken uit de EN13001-reeks [13], maar leidt ons nog steeds te ver voor deze toepassing. Aangezien de montagetools slechts bestemd zijn voor zeer occasioneel gebruik wordt daarom in overleg met preventieadviseur Thierry Maes en de stagementor besloten om een algemene veiligheidsfactor van 2 toe te passen. In de praktijk betekent dit dat de tool het dubbele van zijn werkelijke maximale belasting aan moet kunnen vooraleer er permanente buiging in de constructie optreedt. Deze veiligheidsfactor is voldoende om de gereedschappen gekeurd te krijgen door een externe entiteit aangezien de machinerichtlijn 2006/42/CE (Bijlage 2: Machinerichtlijn) zegt dat de constructie getest moet worden met een statische beproevingscoëfficiënt van 1,5.

Om deze veiligheidsfactor toe te passen worden alle simulaties uitgevoerd met het dubbele van de maximale belasting, en wordt de zwaartekracht in rekening gehouden met valversnelling 20 m/s².

1.5.2 Lasberekeningen

Dit zijn de berekeningen om de minimale keeldoorsnede en lasnaadlengte te bepalen voor de lasconstructie van de geleidingslat.
De lasnaaddikte wordt bepaald volgens de vuistregels van het Belgisch Instituut voor Lastechniek (Bijlage 4: Vuistregels lasberekeningen). Voor een dubbele hoeklas in S355 geldt de regel $a = 0{,}6 * t$ met t de plaatdikte. De dikte van de gelaste platen bedraagt 10 mm, wat a = 6 mm als resultaat geeft.
Voor de berekeningen wordt er beroep gedaan op de cursus Sterkteleer (Bijlage 6: Cursus sterkteleer).

In Figuur 21 wordt een schets weergegeven van de constructie.



Figuur 21: Schets lasberekening

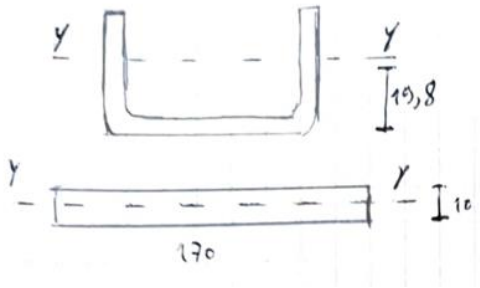
Met de formule $g = u + i - 3d$ (Bijlage 6: Cursus sterkteleer) kan de graad van statische onbepaaldheid bepaald worden.
In deze formule is g de graad van onbepaaldheid, u het aantal uitwendige reactiekrachten, i het aantal inwendige reactiekrachten en d het aantal losstaande delen.
Ingevuld voor deze constructie geeft dit: $g = 8 + 0 - 3 * 1 = 5$.
De constructie heeft dus een statische onbepaaldheid van 5e graad.
Hoewel het hier om een statisch onbepaalde constructie gaat, kan gezegd worden dat het maximale interne moment rond de bout dichtst bij de belasting zal liggen (punt D op Figuur 21). Dit is dan ook het gekozen punt om de berekeningen op uit te voeren.

De spanning binnen de dubbelzijdige hoeklas is te bepalen met het Von Mises spanningscriterium, hier in overleg met ir. Edward Belderbos omgevormd tot:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{(\sigma_{buig}^2 + 3\tau_v^2)}$$

Om deze spanningen te berekenen is het genoodzaakt eerst de neutrale lijn en het traagheidsmoment van de constructie rond deze neutrale lijn te bepalen.

De ligging van de neutrale lijn bepalen gebeurt door het gewogen gemiddelde te nemen van de posities van de neutrale lijnen van zowel het UPE-profiel als de plaat die er langs de onderzijde aangelast wordt. In Figuur 22 worden de neutrale lijnen van de afzonderlijke componenten weergegeven.



Figuur 22: Neutrale lijnen afzonderlijke componenten

De formule voor het bepalen van de neutrale lijn:

$$y' = \frac{A_{plaat} * y_{plaat} + A_{UPE} * y_{UPE}}{A_{tot}}$$

Met y' de afstand van de onderkant van de lasconstructie tot de neutrale lijn, alle A de oppervlakten van de doorsnedes in mm² en y de afstand van de onderzijde van het component tot de neutrale lijn binnen dat component.
Ingevuld wordt dit:

$$\frac{170\ mm * 10\ mm * 5\ mm + 1540\ mm^2 * (19{,}8\ mm + 5\ mm)}{170\ mm * 10\ mm + 1540\ mm^2} = 14{,}41\ mm$$

Het traagheidsmoment van het UPE120-profiel bedraagt $55{,}4 * 10^4\ mm^4$ (Bijlage 10: DIN 1026-2).
Het traagheidsoment van de plaat kan berekend worden met [17]:

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{170 * 10^3}{12} = 1{,}4 * 10^4\ mm^4$$

Nu y' en de traagheidsmomenten van de stukken gekend zijn, kunnen de traagheidsmomenten van beide stukken rond y' berekend en opgeteld worden om zo het traagheidsmoment van de complete constructie rond y' te bekomen. Om deze traagheidsmomenten te berekenen wordt gebruik gemaakt van de stelling van Steiner die luidt als volgt:

$$I_{y'} = I_y + d^2 * A$$

met $I_{y'}$ het traagheidsmoment rond de nieuwe as, I_y het traagheidsmoment rond de oorspronkelijke as, d de afstand tussen de 2 assen in mm en A de oppervlakte van de doorsnede in mm².

Voor het UPE-profiel wordt dit:

$$I_{y'UPE} = 55{,}4 * 10^4\ mm^4 + (19{,}8\ mm - 4{,}41\ mm)^2 * 1540\ mm^2 = 91{,}4 * 10^4\ mm^4$$

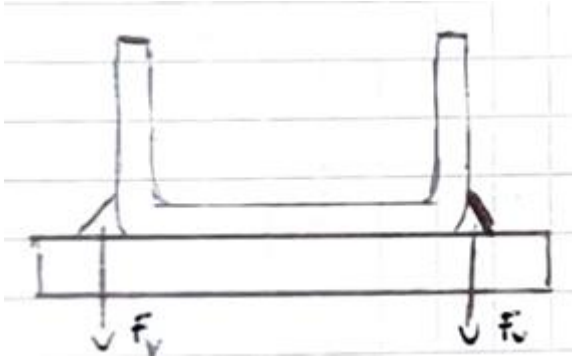
Voor de plaat wordt dit:

$$I_{y'plaat} = 1{,}4 * 10^4\ mm^4 + (14{,}41\ mm - 5\ mm)^2 * 1700\ mm^2 = 16{,}5 * 10^4\ mm^4$$

Wanneer deze bij elkaar opgeteld worden geeft dit:

$$I_{y'} = (91.9 + 16.5) * 10^4 = 108.4 * 10^4\ mm^4$$

De lassen zullen belast worden zoals te zien in Figuur 23.



Figuur 23: Krachtwerking op lasnaden

Er kan gezegd worden dat $F_v = \frac{F_{belasting}}{2} = \frac{6600\ N}{2} = 3300\ N$. Hierin is de last van 6600N de som van het gewicht van het waterpomphuis met inlaatflens en thermostaat, en het eigengewicht van de tool, rekening houdend met veiligheidsfactor 2.
De schuifspanning ten gevolge van deze kracht F_v kan bepaald worden met:

$$\tau_v = \frac{F_v}{A}$$

Waarin A de oppervlakte is van de lasnaad in het verticale vlak. In het verticale vlak is dit de oppervlakte van een rechthoek met als hoogte de hoogte van de lasnaad en als breedte de lengte van de lasnaad langs het UPE-profiel. Wanneer geweten is dat de keeldoorsnede van de lasnaad 6 mm bedraagt, kan de hoogte berekend worden met de stelling van Pythagoras:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

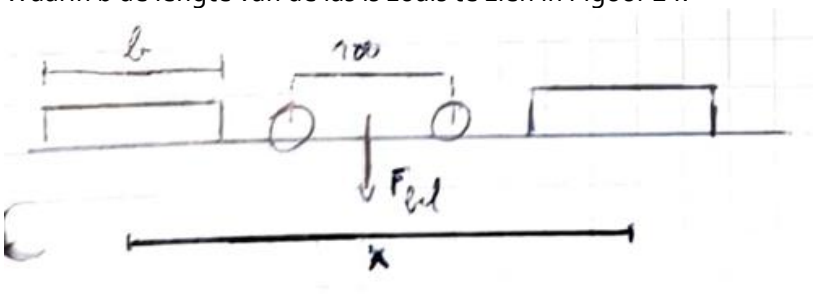
Aangezien de doorsnede van de lasnaad een gelijkbenige driehoek is wordt dit:

$$h = \sqrt{2 * 6^2} = 8{,}49\ mm$$

De schuifspanning kan nu bepaald worden als

$$\tau_v = \frac{F_v}{A} = \frac{F_v}{b * h}$$

Waarin b de lengte van de las is zoals te zien in Figuur 24.



Figuur 24: Onderbroken las

De buigspanning binnen deze onderbroken lassen kan berekend worden met:

$$\sigma_{buig} = \frac{M * y}{I} = \frac{F_{bel} * \frac{x}{2} * y}{I}$$

Waarin x de afstand tussen de middelpunten van de onderbroken las is, zoals te zien in Figuur 24.
De spanning in de lassen is dus afhankelijk van twee variabelen, de laslengte b en de afstand tussen de lassen x. Om deze reden wordt een Excel sheet opgemaakt zodat de spanningen getest kunnen worden in functie van deze parameters.

Voor de laslengte wordt 120 mm gekozen en voor de afstand tussen de lassen 200 mm, wat volgend resultaat geeft:

Tabel 3: Lasberekening

Fbelasting [N]	6600
Fv [N]	3300
a [mm]	6
h [mm]	8,49
b [mm]	120
τv [N/mm^2]	3,24
Itot [mm^4]	1084000
y	4,41
afstand tussen lassen x [mm]	200
σbuig tussen lassen[N/mm^2]	2,69
σtot onderbroken lassen[N/mm^2]	6,22
afstand tot last [mm]	940
σbuig eindeloop[N/mm^2]	25,24
σtot eindeloop [N/mm^2]	25,86

Deze berekeningen worden nagekeken en goedgekeurd door lasingenieurs Jo Van de Velde en Dieter Bogaert.

1.5.3 EEM-Simulaties

Om na te gaan of de ontworpen constructie wel degelijk sterk genoeg is om de belasting op te vangen, wordt gebruik gemaakt van EEM-simulaties. Hierbij wordt er een mesh gemaakt van de belaste onderdelen, bestaande uit driehoekige oppervlakjes, waar vervolgens de krachten op gesimuleerd worden. De simulatie zal dan de spanningsconcentraties in deze driehoekige oppervlakjes berekenen en deze waarden grafisch weergeven doormiddel van kleurschakeringen. Hierdoor wordt een visuele weergave van de spanningsconcentraties, alsook de doorbuiging van het materiaal bij belasting bekomen.

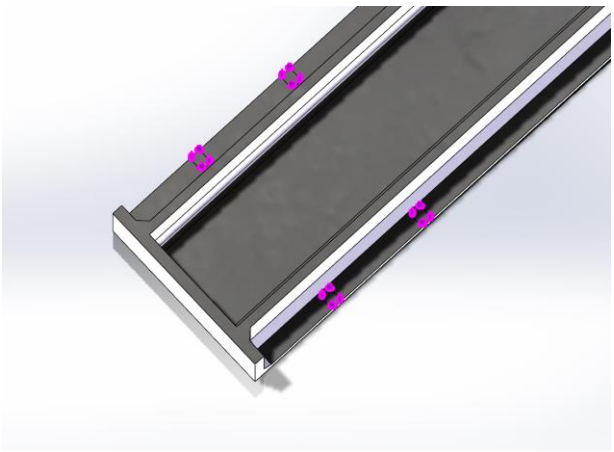
De grootte van deze oppervlakjes kan ingesteld worden door de gebruiker. Om de simulaties vlot te doen verlopen wordt eerst met een grote meshgrootte gesimuleerd en daarna wordt er gekeken naar de regio's met de hoogst oplopende spanningsconcentraties. Vervolgens wordt er in deze gebieden een *mesh control* toegepast. Dit betekent dat de mesh in deze gebieden geregenereerd wordt met een kleinere elementgrootte, wat een nauwkeuriger resultaat geeft in deze zones.

Voor de simulaties in dit document wordt gebruik gemaakt van de simulatiemogelijkheden van SolidWorks, aangezien er binnen ABC een zeer beperkt aantal licenties zijn voor het simuleren binnen CATIA.

1.5.3.1 Loopkatgeleiding

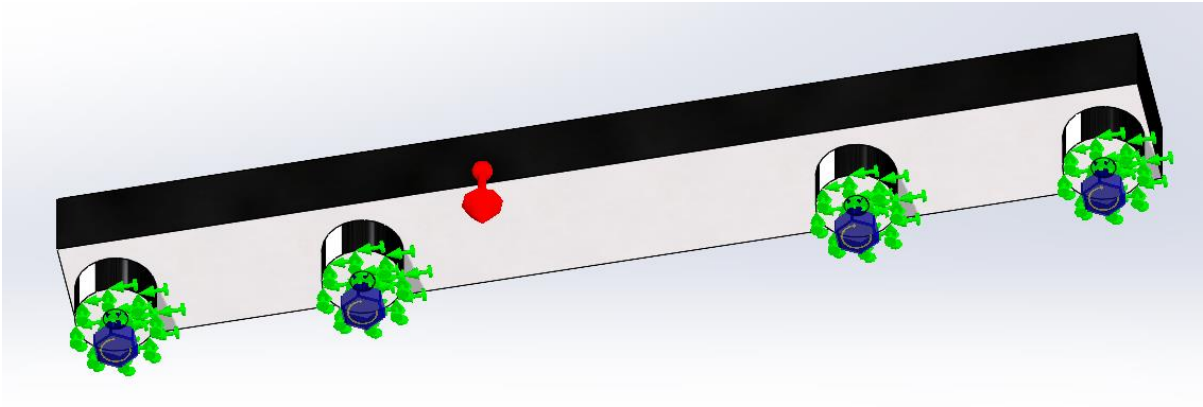
1.5.3.1.1 Simulatie-instellingen

De maximale belasting binnen de loopkatgeleiding treedt op tijdens de (de)montage van het waterpomphuis. Wanneer de tool met het waterpomphuis op eindeloop staat zal er 304 kg aan komen te hangen met daarbovenop nog eens het eigengewicht van de tool zelf. Dit zorgt voor een totale belasting van 323 kg. Voor de simulaties wordt dit afgerond en wordt gerekend met een belasting van 6600 N. Merk op dat de veiligheidsfactor dus al verwerkt zit in deze belasting. Deze 6600 N grijpt in op de loopvlakken van de wielen van de duwloopkat zoals te zien in Figuur 25.



Figuur 25: Aangrijpingspunten belasting op loopkatgeleiding

Om een accurate simulatie te maken van de verbinding tussen de geleidingslat en de CAC wordt er voor de montagepunten een simpel blokje gemaakt dat de montagepunten aan de CAC moet voorstellen. Het zou ook mogelijk zijn om een STEP-file van de CAC te importeren en hiermee te werken, maar aangezien dit een zeer complex stuk is zou dit de simulatie sterk vertragen, en de spanningen binnen de CAC zelf zijn niet relevant voor deze simulaties. Het nagemaakte blokje met de nodige *Fixed Geometry* constraints is te zien in Figuur 26. De groene pijlen duiden de vlakken aan die als *fixed* beschouwd worden. De rode pijl duidt de richting van de zwaartekracht aan.



Figuur 26: CAC-simulatieblokje

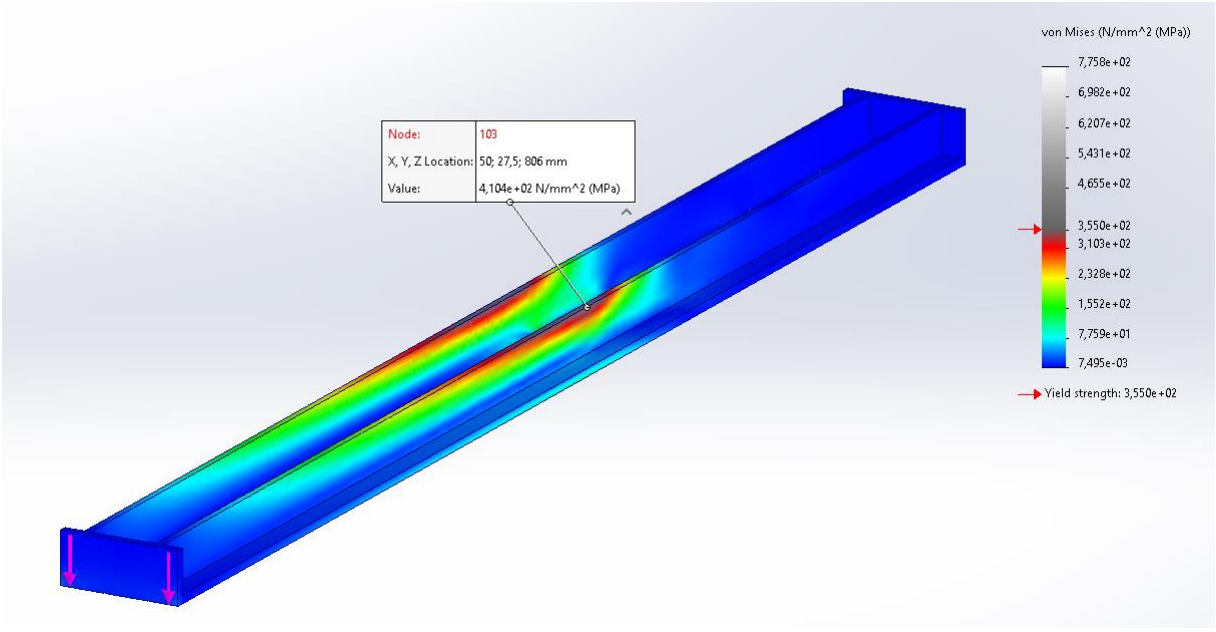
Dit blokje is voorzien van gaten met M16 schroefdraad getapt tot 29 mm diep, net zoals op de CAC, en de raakvlakken tussen de tool en het montageblokje zijn identiek in afmetingen aan die die op de CAC terug te vinden zijn.

Intuïtief kan men aanvoelen dat het UPE100-profiel waarschijnlijk niet sterk genoeg is voor deze toepassing. Daarom wordt er even "quick & dirty" gesimuleerd met versimpelde instellingen.

"Quick & dirty" betekent binnen deze context dat de aangrijpingspunten van de krachten, alsook de montagepunten van de bouten versimpeld gesimuleerd worden. Bij deze simulatie worden er ook geen mesh parameters gewijzigd en wordt de constructie vermaasd met standaardinstellingen. Dit resultaat is dus onvoldoende accuraat om echt op te vertrouwen, maar geeft al een ruwe indicatie van de spanningen binnen de constructie.

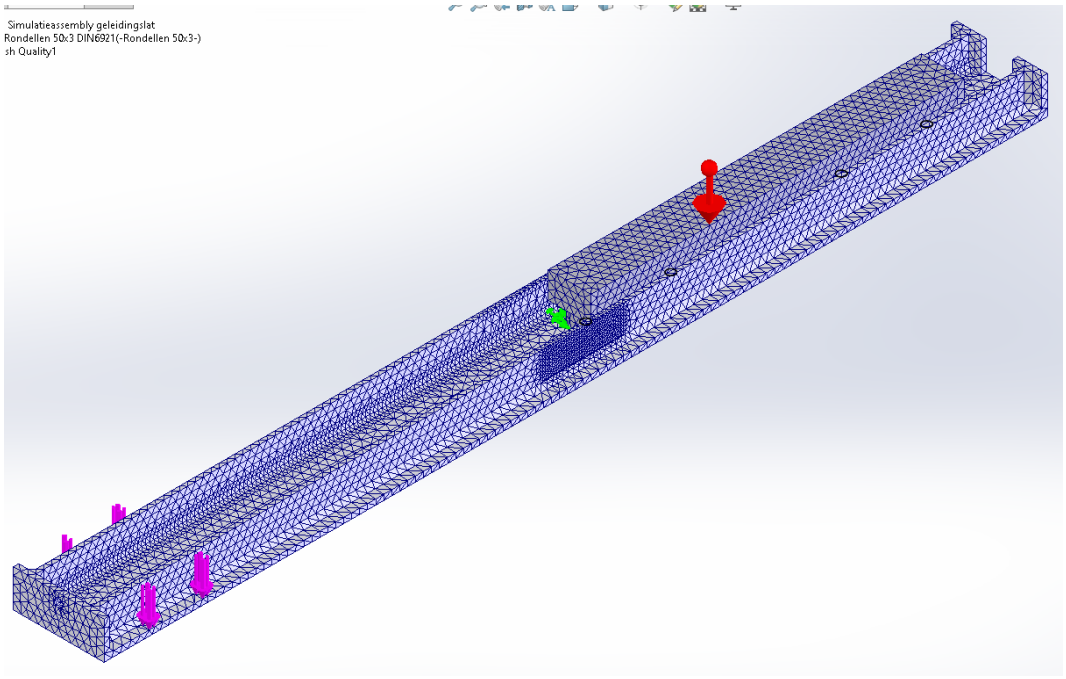
In Figuur 27 is te zien dat de maximale spanning binnen dit UPE100-profiel 410 MPa bedraagt, wat zo een 15% hoger ligt dan de vloeigrens van S355 staal, die op 355 MPa ligt [18]. Dit zou een permanente vervorming van het gereedschap tot gevolg hebben en is dus niet veilig.

Het ontwerp wordt daarom aangepast naar een UPE120-profiel, en hierop worden nieuwe simulaties uitgevoerd.



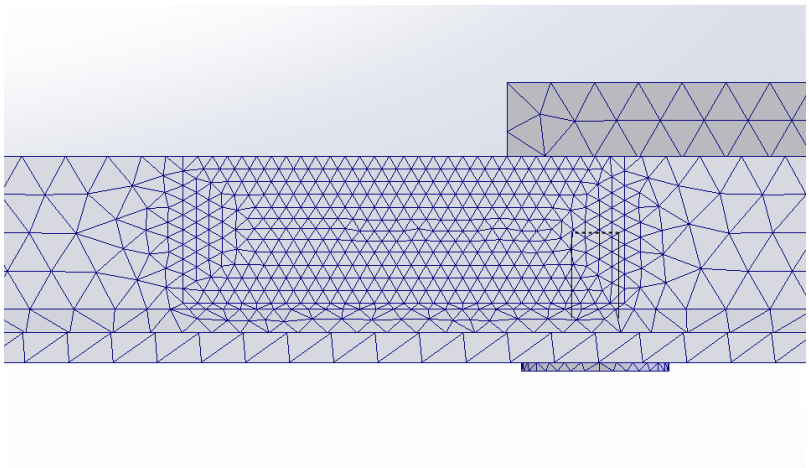
Figuur 27: Simulatieresultaat UPE100-profiel

Voor de simulatie op het UPE120-profiel wordt een mesh van de constructie gemaakt. Deze is te zien in Figuur 28. Merk op dat de elementgrootte in deze mesh niet overal constant is. Op de zones die hogere spanningen te verdragen krijgen zijn *mesh controls* toegepast. Dit betekent dat de elementgrootte binnen deze zones verkleind wordt om zo een meer gedetailleerd beeld te krijgen van de spanningen binnen deze zones.



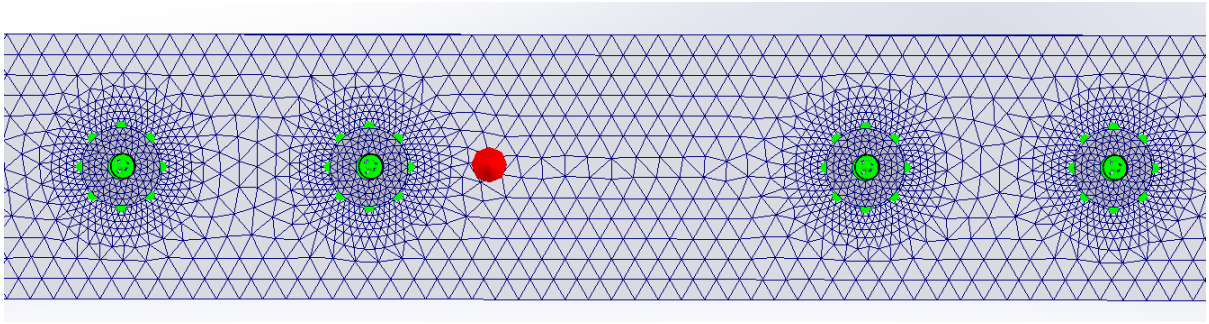
Figuur 28: Mesh UPE120-profiel

Een eerste mesh control wordt toegepast op de zone waarin zich bij de UPE100-simulatie de hoogste spanningsconcentraties bevinden.

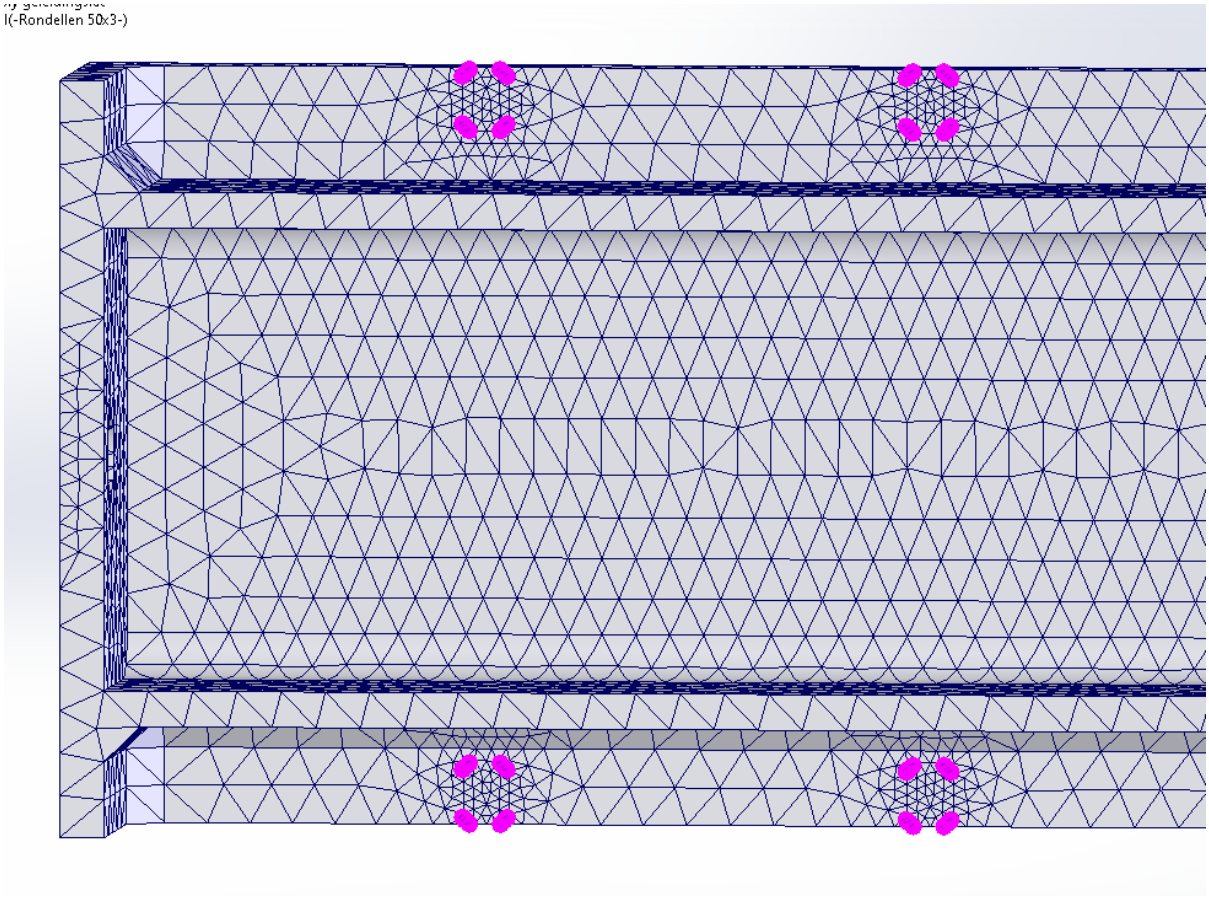


Figuur 29: Mesh control kritische zone geleidingslat

Een tweede mesh control wordt toegepast rond de sluitringen en de boutgaten waarmee de constructie aan de CAC bevestigd wordt.



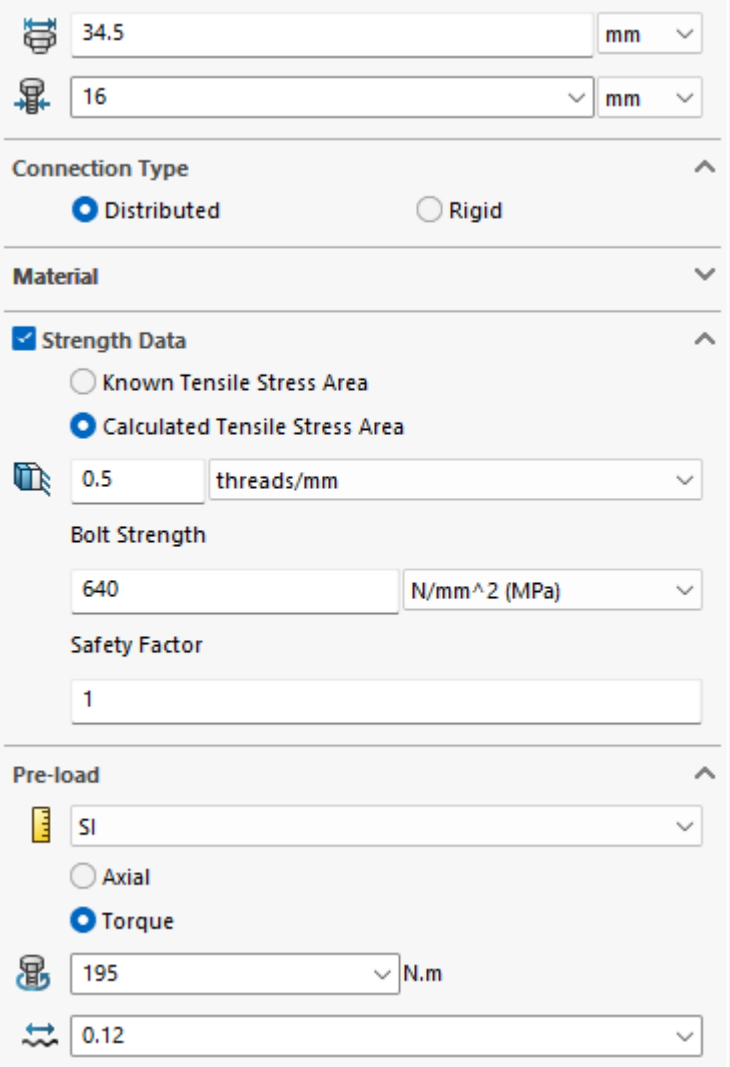
Figuur 30: Mesh control boutgaten geleidingslat



Figuur 31: Mesh control loopvlakken geleidingslat

1.5.3.1.2 Boutverbindingen

Aangezien er in deze gereedschappen grote momenten optreden is het van groot belang om te controleren of de boutverbindingen sterk genoeg zijn om de last op te vangen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de ingebouwde functies binnen het simulatiepakket van SolidWorks.



Figuur 32:Instellingen voor boutsimulatie aan CAC

Om de boutverbindingen goed te kunnen simuleren worden de sluitringen aan de assembly toegevoegd met een *Contact* relatie tussen de sluitringen en de geleidingslat. De boutverbindingen worden aangemaakt met de instellingen uit Figuur 32 hiernaast. Merk op dat de gesimuleerde kopdiameter 34.5 mm bedraagt. Intuïtief kan men aanvoelen dat er grote momenten in deze bouten zullen optreden ten gevolge van de buiging van de geleidingslat. Daarom wordt er gekozen om M16 bouten volgens DIN 6921 [8] te gebruiken, aangezien deze een geflensde kop hebben. Hierdoor wordt de spanning die de boutkop uitoefent op de geleidingslat over een groter oppervlak verdeeld.

Het aanhaalmoment van 195 Nm en wrijvingsfactor 0,12 worden uit een intern document van ABC gehaald (Bijlage 7: Standaard aanhaalmomenten). De 0,5 threads/mm is als volgt afgeleid van de spoed van een M16 bout:

$\frac{threads}{mm} = \frac{1}{spoed}$ Met spoed p=2 mm.

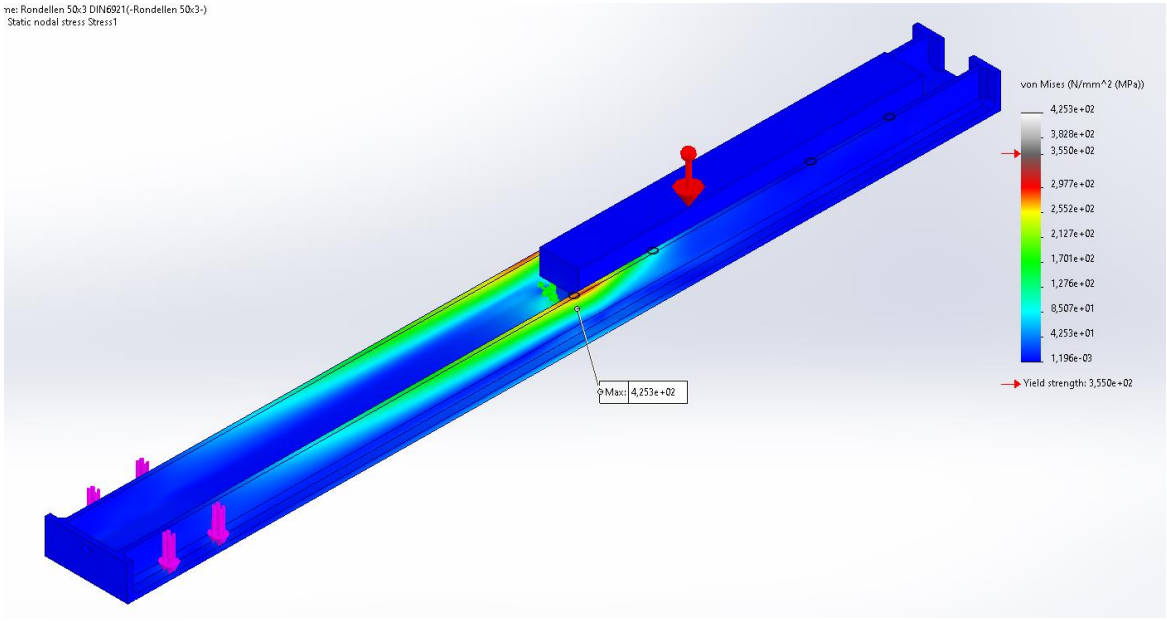
De spanning van 640 N/mm² is de vloeispanning voor bouten van gr8.8, afgeleid als volgt:

Bouten van Gr8.8 bezitten een breukgrens 800 MPa [20]. De vloeigrens van deze bouten bedraagt 80% van 800 MPa, wat 640 MPa (= N/mm²) als resultaat geeft.

De simulatie gebeurt met een belasting van 6600 N en een valversnelling van 20 m/s². Dit betekent dus dat de veiligheidsfactor hierin al verwerkt is en dat de gesimuleerde veiligheidsfactor van de bouten verdubbeld moet worden om de werkelijke veiligheidsfactor te bekomen.

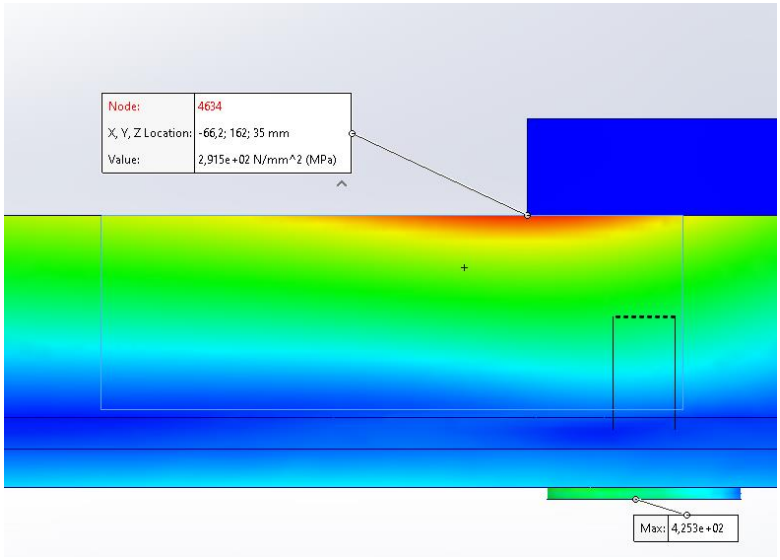
1.5.3.1.3 Simulatieresultaten

In Figuur 33 zijn de spanningsconcentraties binnen de constructie te zien wanneer de simulatie gedraaid wordt met bovenstaande instellingen. Hier is al te zien dat de maximale spanning op 425 MPa ligt, wat te hoog is.



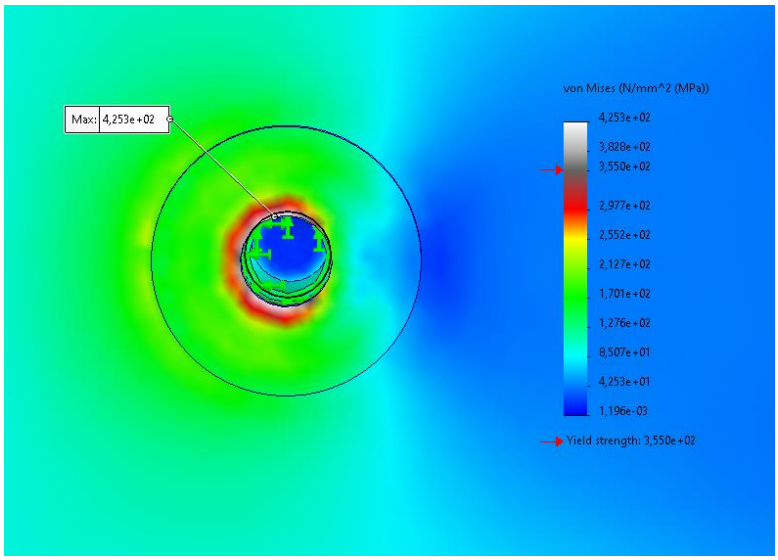
Figuur 33: Spanningsconcentraties binnen UPE120-constructie

Binnen de fijner vermaasde kritische zone blijkt de maximale spanning 292 MPa te bedragen, zichtbaar in Figuur 34. Dit ligt een stuk beneden de 355 MPa, dus hieruit kan besloten worden dat de constructie zelf voldoende sterk is. Wat hier echter ook zichtbaar is, is dat de maximale spanning van 425 MPa zich bevindt in de sluitring die het dichtst bij de belasting gelegen is.



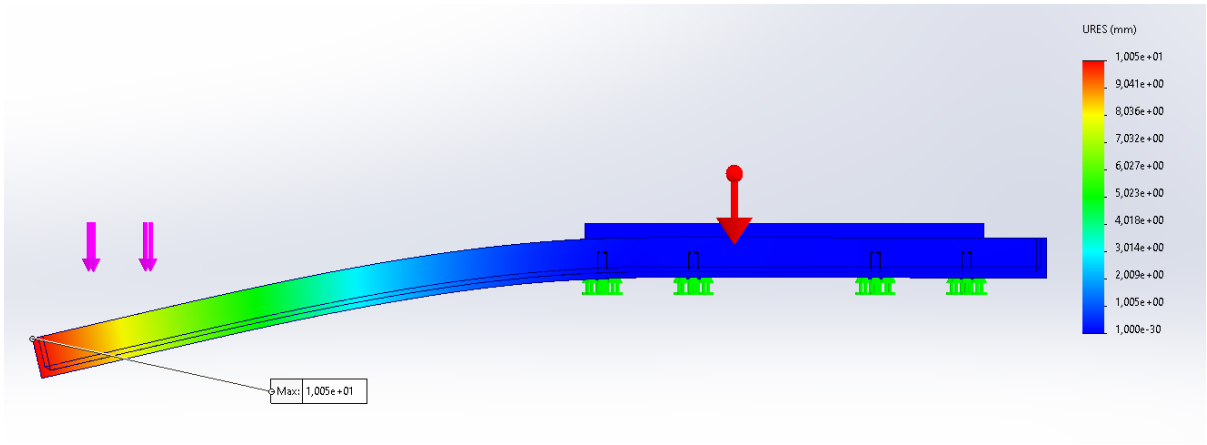
Figuur 34: Close-up fijner vermaasde zone UPE120-constructie

Bij het onderzoeken van de spanningsconcentraties rond de sluitring is in Figuur 35 te zien dat er in de sluitring permanente vervorming zal optreden. De hoogste spanningsconcentraties liggen zoals intuïtief verwacht rond het linkerdeel van de sluitring aangezien de belasting zich op grote afstand links van deze sluitring bevindt, en deze hierdoor dus een groot moment zal moeten opvangen.



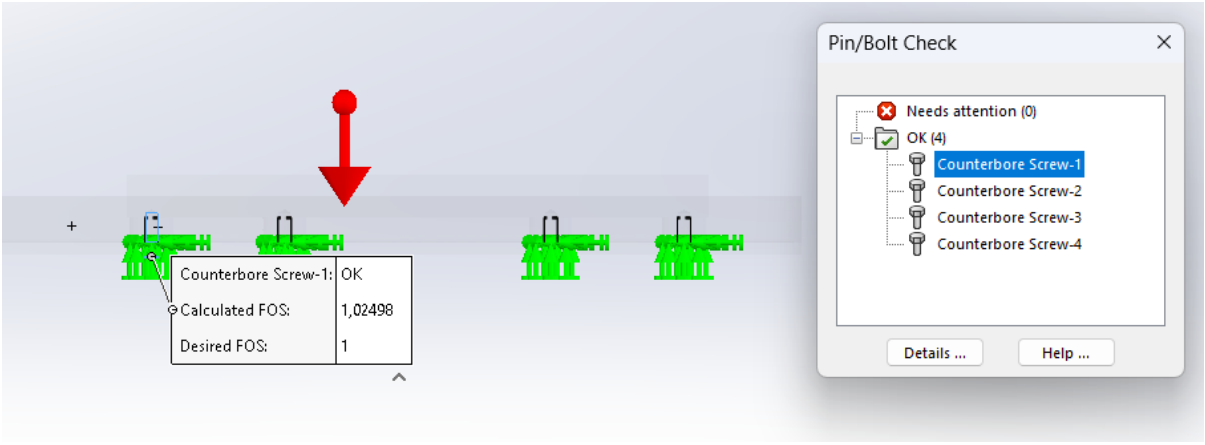
Figuur 35: Spanningsconcentraties rond sluitring aan UPE120-constructie

Gezien de grote hefboom binnen de constructie is het ook van groot belang om de doorbuiging bij belasting te onderzoeken. Indien de geleidingslat veel doorbuigt zal het voor de monteurs moeilijk worden om de katrol met daaraan het waterpomphuis vlot te verplaatsen. In Figuur 36 is te zien dat de maximale doorbuiging van de geleidingslat bij een belasting van 6600 N 10 mm bedraagt. Deze doorbuiging zou al voor problemen kunnen zorgen, zeker wanneer er in rekening gehouden wordt dat het loopvlak ook nooit perfect recht zal zijn.



Figuur 36: Maximale doorbuiging geleidingslat

Volgens de ingebouwde *Pin/Bolt Check* functie van SolidWorks zouden alle 4 de bouten waarmee de constructie aan de CAC verbonden wordt voldoende sterk moeten zijn. Dit is te zien in Figuur 37.

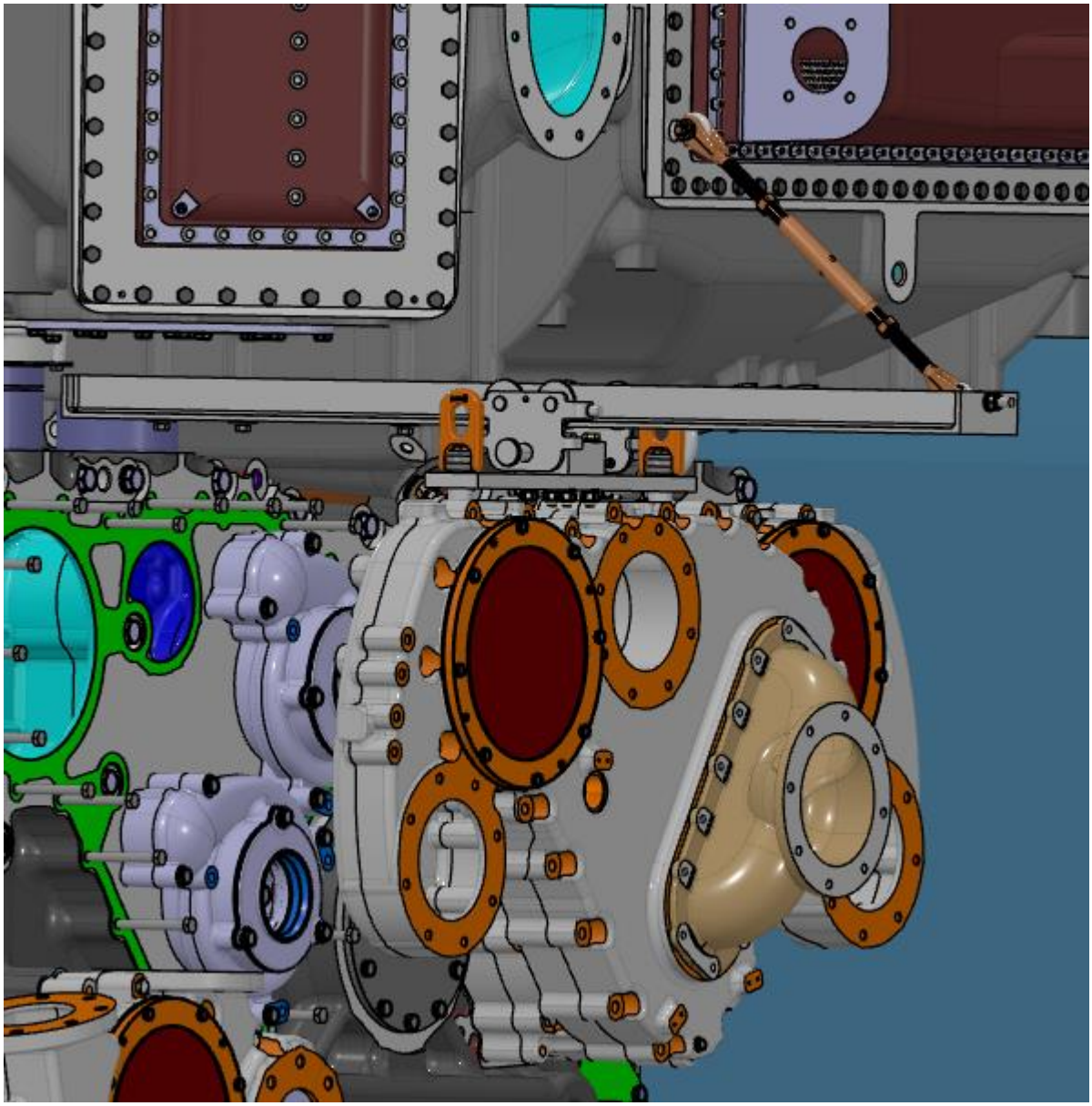


Figuur 37: Pin/Bolt Check geleidingslat

Na overleg met ir. Luc Mattheeuws blijkt echter dat de bout die het dichtste bij de belasting ligt (Counterbore Screw-1 in Figuur 37) onvoldoende sterk is en zal breken bij belasting aangezien deze het merendeel van het moment moet opvangen. Uit dit overleg blijkt ook dat het aanhaalmoment van 195 Nm niet correct is voor deze toepassing, en dat het correcte aanhaalmoment handmatig berekend moet worden. Het is echter zo dat het hier gaat om een statisch onbepaalde constructie. De berekeningen om binnen zulke constructie de reactiekrachten te bepalen zijn zeer complex, en uit tijdsoverwegingen wordt besloten hier niet verder op in te gaan.

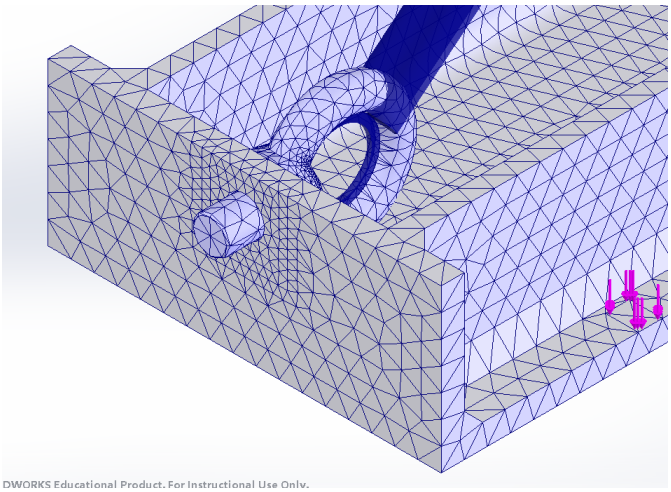
Dankzij de vaststelling dat de bouten onvoldoende sterk zijn, en met de maximale doorbuiging van 10 mm wordt de beslissing gemaakt om de constructie diagonaal te verstevigen. Dit gebeurt doormiddel van een hijsoog (Bijlage 11.3 AL Oogbout Gr.8 aan het uiteinde van de constructie waaraan een draadspanner (Bijlage 11.4 PRSJ POWERTEX Gesloten spanschroef gaffel-gaffel metrisch) verbonden wordt, die op zijn beurt verbonden is aan een hijsoog bevestigd aan de CAC. Deze toegevoegde versteviging is hieronder te zien in Figuur 38.

Merk op dat het hier niet om DIN 580 [10] genormeerde hijsogen gaat, maar hijsogen met een langere aslengte. Dit is noodzakelijk omdat deze eerst door de dichtingsplaat moeten vooraleer deze vastgeschroefd kunnen worden in de CAC.



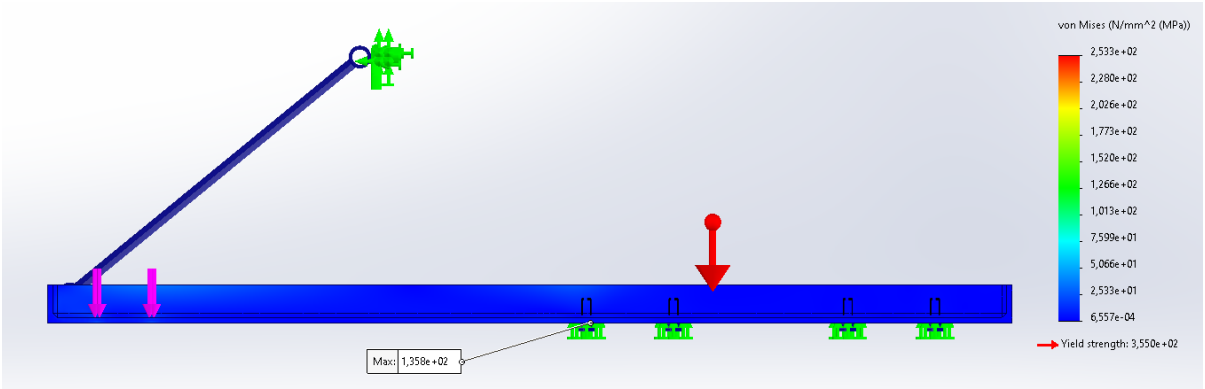
Figuur 38: Diagonale versteviging d.m.v. draadspanner

De simulaties worden opnieuw uitgevoerd na toevoeging van deze versteviging. De meshgrootte en mesh controls blijven hetzelfde, met uitzondering van een extra mesh control rond de zone waarin het hijsoog bevestigd wordt aan de geleidingslat, te zien in Figuur 39. De diagonale versteviging zelf wordt gesimuleerd aan de hand van een *Linkage rod* connector binnen SolidWorks.



Figuur 39: Mesh control hijsoog geleidingslat

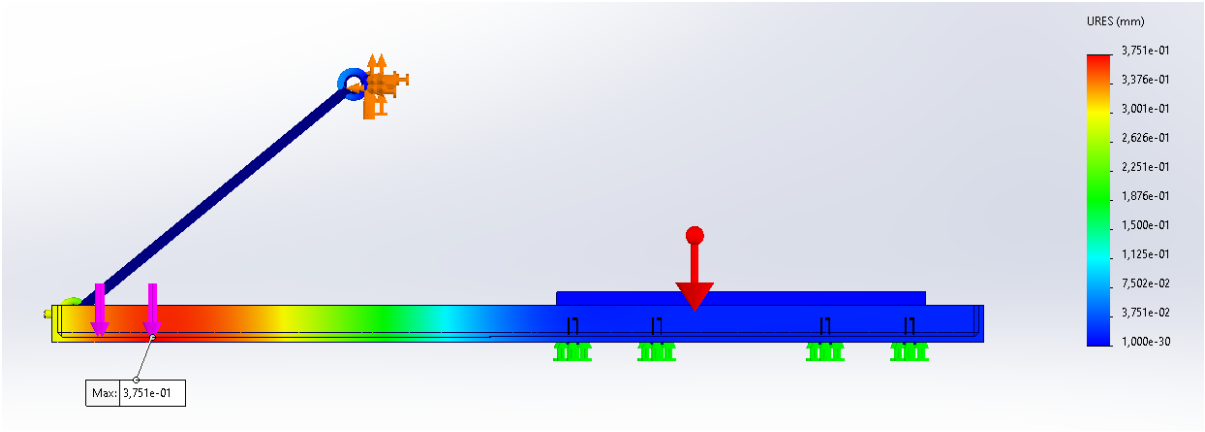
Met de toegevoegde versteviging geeft de simulatie volgend resultaat:



Figuur 40: Spanningsconcentraties in geleidingslat met diagonale versteviging

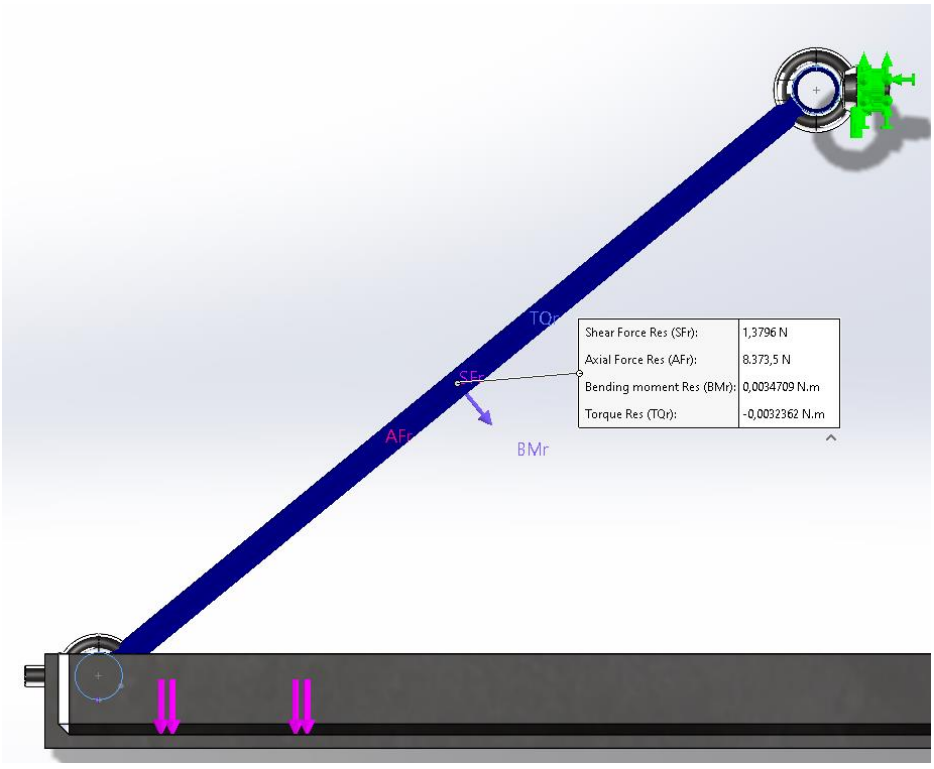
De maximale spanning binnen de constructie bedraagt nu 136 MPa, wat minder dan de helft van de vloeigrens van S355 is. Hieruit kan dus besloten worden dat de constructie meer dan voldoende sterk is voor deze belasting. Het toevoegen van deze versteviging geeft ook wat ademruimte voor eventuele interne spanningsconcentraties ten gevolge van het lassen van de constructie.

Ook de maximale doorbuiging wordt gereduceerd van 10 mm naar slechts 0.37 mm. Dit is te zien in Figuur 41.



Figuur 41: Maximale doorbuiging geleidingslat met diagonale versteviging

Binnen de diagonale draadspanner treedt er een maximale kracht op van 8.37 kN, te zien in Figuur 42. Dit komt overeen met zo een 837 kg, wat ver beneden de maximale belasting van 2,2 ton [22] voor de draadspanner ligt. Deze is dus ook voldoende sterk voor deze belasting.



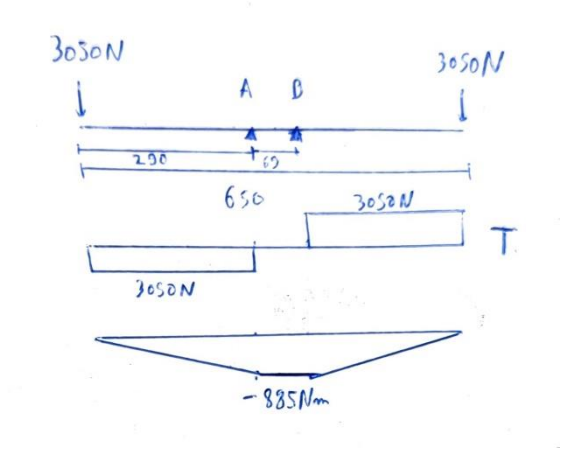
Figuur 42: Kracht binnen diagonale draadspanner

De diagonale versteviging lost zowel het probleem van de brekende bouten als de diagonale doorbuiging op.

1.5.3.2 Bevestigingslat waterpomphuis

1.5.3.2.1 Berekening minimale dikte

Om de minimale dikte van de bevestigingslat te bepalen wordt een handmatige berekening gemaakt.



Figuur 43: Dwarskracht- en momentlijnen bevestigingslat

Voor de buigspanning in een object geldt:

$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$ Met M_b $[Nmm]$ het buigmoment en W $[mm^3]$ het weerstandsmoment tegen buiging.

σ_b Moet te allen tijde kleiner zijn dan σ_{toel}. Dit is de maximale toelaatbare spanning in het materiaal vooraleer er permanente vervorming in optreedt. Voor S355 staal, het materiaal waaruit deze lat vervaardigd wordt, geldt $\sigma_{toel} = 355\ \frac{N}{mm^2}$ [18].

Er kan dus gezegd worden dat $\sigma_b \leq 355\ \frac{N}{mm^2}$.

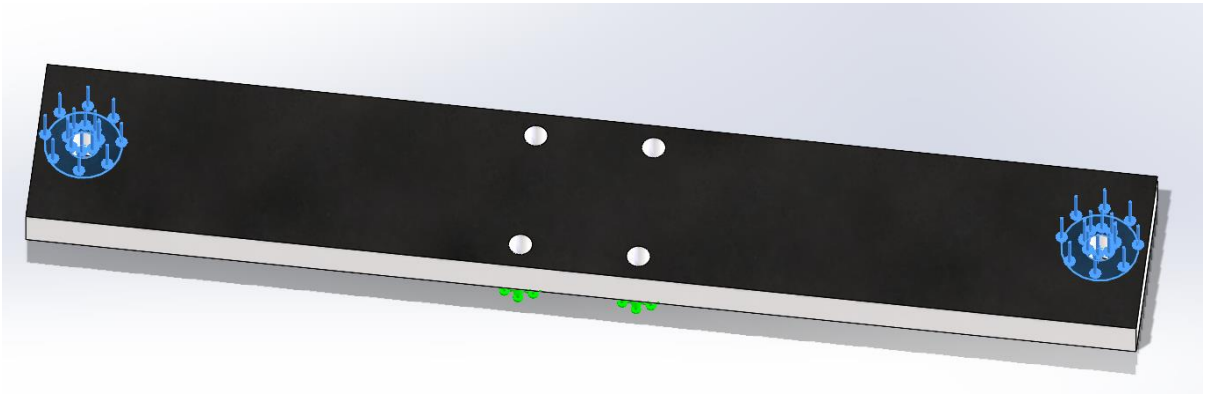
Wanneer $\sigma_b = \frac{M_b}{W} \leq 355 \frac{N}{mm^2}$ en $W = \frac{b*h^2}{6}$, kan gezegd worden dat $\sqrt{\frac{M_b*6}{b*355\frac{N}{mm^2}}} \leq h$.

Ingevuld wordt dit in deze situatie $\sqrt{\frac{885*10^3\ Nmm*6}{105\ mm*355\ \frac{N}{mm^2}}} \leq h$ wat als uitkomst levert dat $h \geq 12mm$.

In het ontwerp wordt gewerkt met een dikte $h = 25\ mm$, dus zou dit voldoende sterk moeten zijn. Ter controle worden er EEM-simulaties uitgevoerd op de lat.

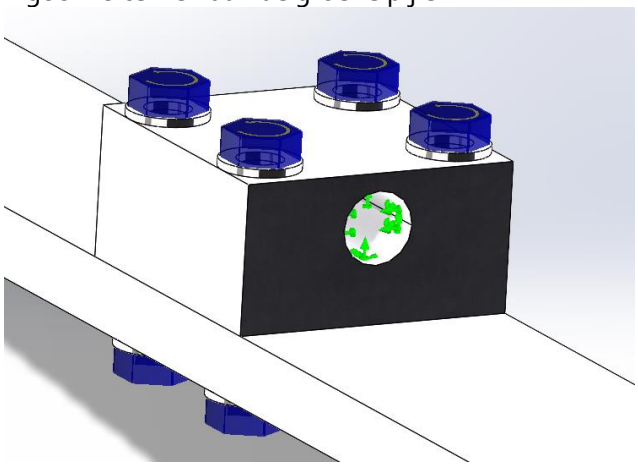
1.5.3.2.2 Simulatie-instellingen

Voor deze simulatie worden de contouren van de hijsogen getekend met de *Split line* functie binnen SolidWorks. De kracht van 6600 N wordt verdeeld over de twee oppervlakken zoals hieronder te zien in Figuur 44.



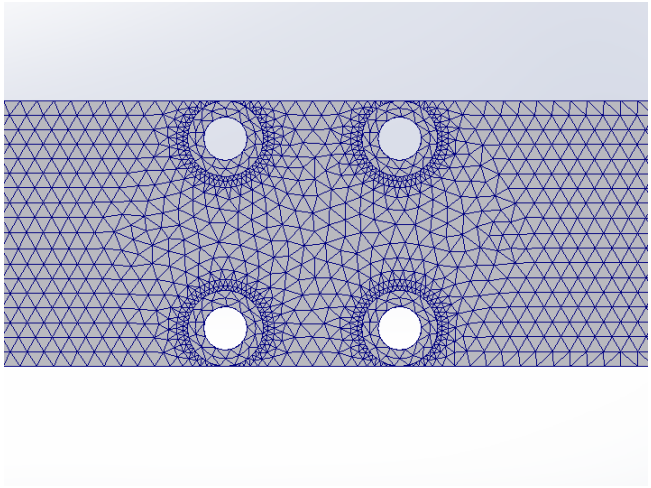
Figuur 44: Aangrijpingspunten krachten op bevestigingslat

Deze lat wordt binnen de simulatie vastgezet aan het montageblokje met gesimuleerde boutverbindingen en het montageblokje wordt als *Fixed Geometry* genomen. Dit is hieronder in Figuur 45 te zien aan de groene pijlen.



Figuur 45: Fixed Geometry bevestigingslat

Aan de mesh van de bevestigingslat wordt slechts één mesh control toegevoegd, namelijk rond de boutgaten waarmee de lat aan het montageblokje verbonden wordt. Dit is te zien in Figuur 46.



Figuur 46: Mesh control rond boutgaten van bevestigingslat

1.5.3.2.3 Boutverbindingen

Om het aantal nodige gereedschappen bij montage te beperken, wordt ook hier voor M16 bouten gekozen. Voor deze toepassing zijn deze eigenlijk sterk overgedimensioneerd. Daarom wordt besloten het aanhaalmoment manueel te berekenen in plaats van de waarde te gebruiken uit het standaarddocument van ABC (Bijlage 7: Standaard aanhaalmomenten). Dit is vrij eenvoudig aangezien dit een statisch bepaalde constructie is, en hierdoor worden onnodig hoge spanningsconcentraties vermeden.

Voor deze berekening wordt ervan uitgegaan dat de symmetrie binnen de constructie en de symmetrische belasting ervoor zorgen dat de last gelijk verdeeld wordt over de 4 bouten, en dat een monteur met een steeksleutel ongeveer 20 kg kracht kan zetten.

Wanneer het eigengewicht van de tool opgeteld wordt bij de maximale belasting, bedraagt deze totale belasting 6600 N. Wegens symmetrie kan gezegd worden dat elke bout $\frac{6600\ N}{4} = 1650\ N$ zal opvangen.

Het aanhaalmoment van een bout bedraagt:

$$T = c * D * F$$

Met c wrijvingsfactor (hier = 0.12 [19]), D diameter van de bout en F de voorspanning binnen de bout.

Voor een M16 bout wordt er een steeksleutel van maat 24 mm gebruikt. De lengte van een FACOM-steeksleutel voor M16 bedraagt 267 mm [23].

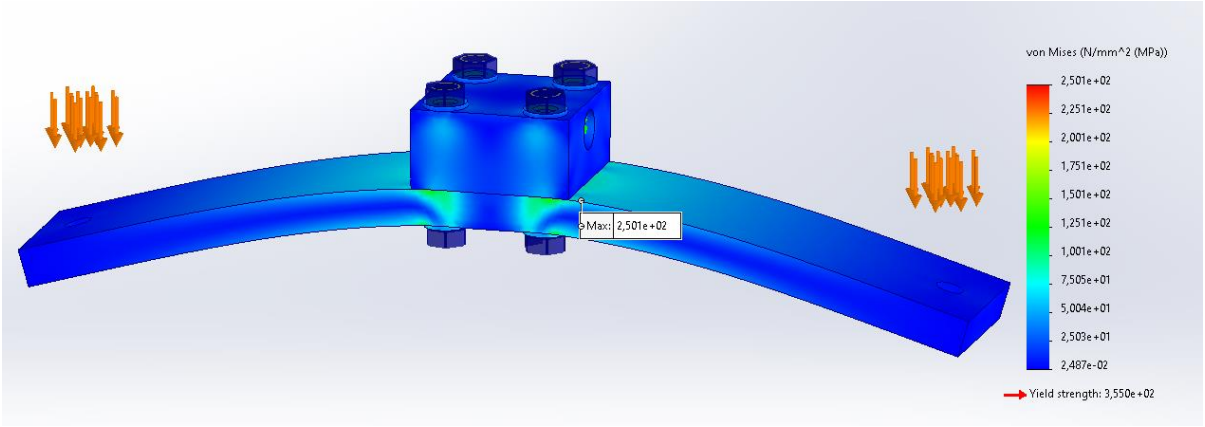
Met deze gegevens kunnen we stellen dat $T = 20\ kg * 10\ \frac{N}{kg} * 0.267\ m = 53.4\ Nm$

Voor $T = 50\ Nm$ geldt: $F = \frac{T}{cD} = \frac{50\ Nm}{0.12*0.016\ m} = 26\ kN$ voorspanning. Deze voorspanning ligt een pak hoger dan de minimale voorspanning van 1650 N.

Uit deze berekening kan besloten worden dat de bouten meer dan voldoende voorspanning hebben wanneer ze "handvast" met een moment van 50 Nm aangedraaid worden.

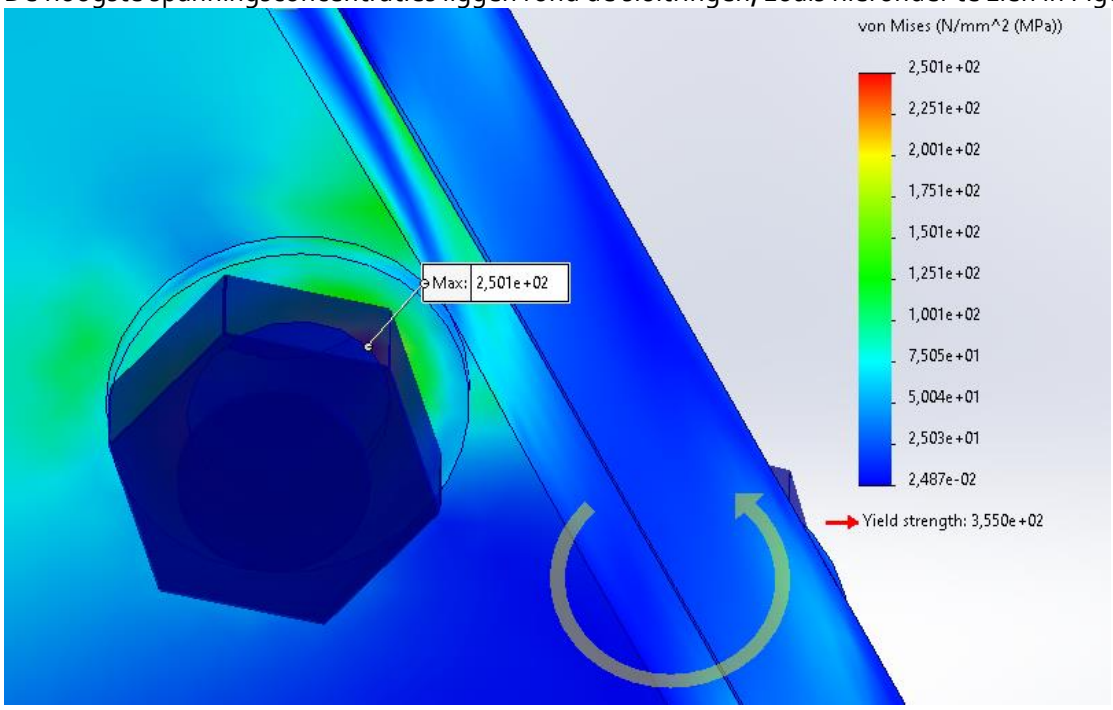
1.5.2.2.4 Simulatieresultaten

Wanneer de simulatie uitgevoerd wordt is zichtbaar dat er een maximale spanning van 250 MPa aanwezig is binnen de constructie. Zoals verwacht liggen de spanningsconcentraties vooral onder het montageblokje aangezien het hier is dat de momenten van de belasting opgevangen worden. De maximale spanning van 250 MPa ligt ver onder de vloeigrens van 355 MPa voor S355 staal [18], wat dus betekent dat deze constructie sterk genoeg is voor de beoogde belasting.



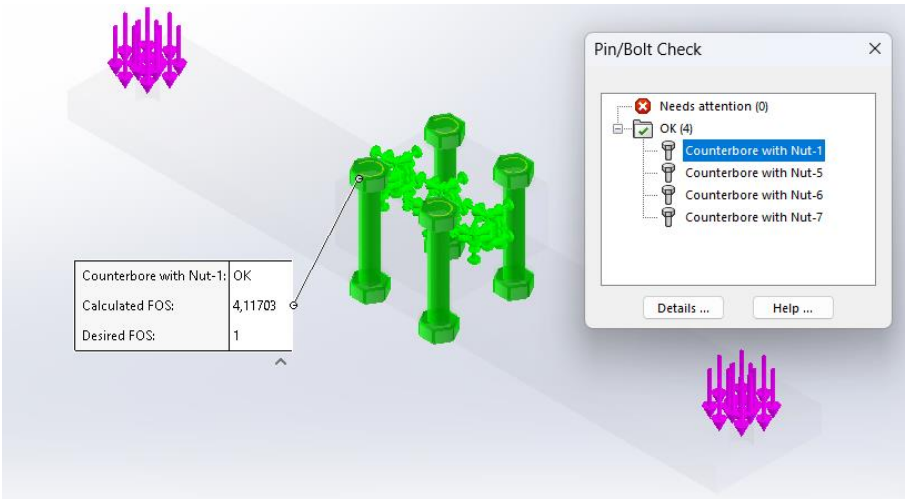
Figuur 47: Simulatieresultaat bevestigingslat

De hoogste spanningsconcentraties liggen rond de sluitringen, zoals hieronder te zien in Figuur 48.



Figuur 48: Close-up spanningsconcentratie bevestigingslat

Wanneer in de simulatieresultaten de bouten onderzocht worden met een *Pin/Bolt Check*, is in Figuur 49 te zien dat er een minimale veiligheidsfactor van 4,1 aanwezig is. Aangezien veiligheidsfactor 2 al verwerkt zit in de belasting is de werkelijke veiligheidsfactor 8,2. Zelfs indien de *Pin/Bolt Check* binnen SolidWorks niet al te betrouwbaar is, is deze veiligheidsfactor zodanig groot dat de bouten als veilig beschouwd kunnen worden.



Figuur 49: Boutcontrole bevestigingslat

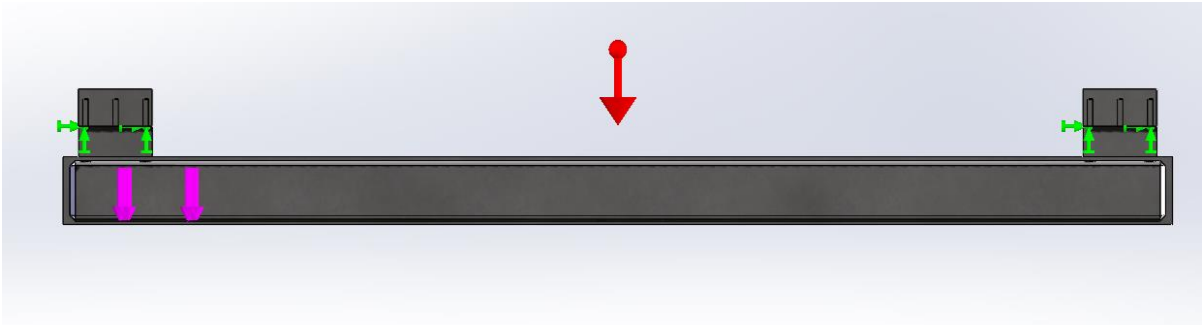
1.5.3.3 Dwarsbalk

De dwarsbalk krijgt aanzienlijk lagere belastingen te zien dan de geleidingsrails. De maximale belasting bedraagt hier 203 kg. Dit is de massa van de oliepomp. In de simulaties wordt de belasting weer verdubbeld en wordt er afgerond gerekend met 4100 N.

Aangezien de last zich langs deze dwarsbalk kan bewegen worden er twee situaties gesimuleerd. In de eerste simulatie wordt de last op eindeloop geplaatst en in een tweede simulatie wordt de last in het midden van de dwarsbalk geplaatst. Dit zijn de twee uiterste scenario's, en als de dwarsbalk in deze simulaties sterk genoeg blijkt zal deze ook voldoende sterk zijn om de last om het even waar langs de dwarsbalk te plaatsen.

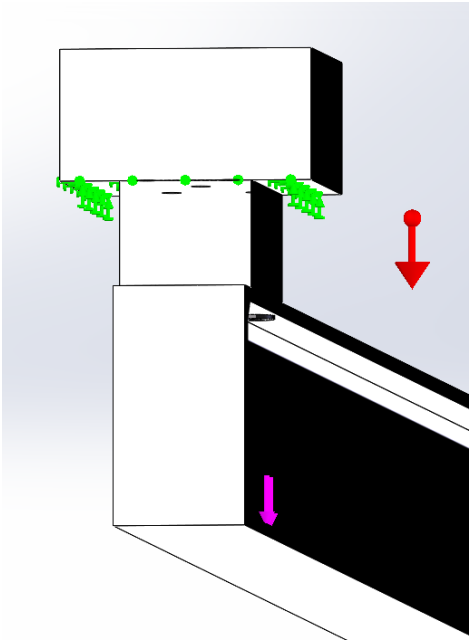
1.5.3.3.1 Simulatie-instellingen met last op eindeloop

De last wordt in de simulatie op eindeloop geplaatst zoals te zien in Figuur 50. De aangrijpingspunten van de last zijn de raakvlakken van de wielen van de loopkat in eindeloop.



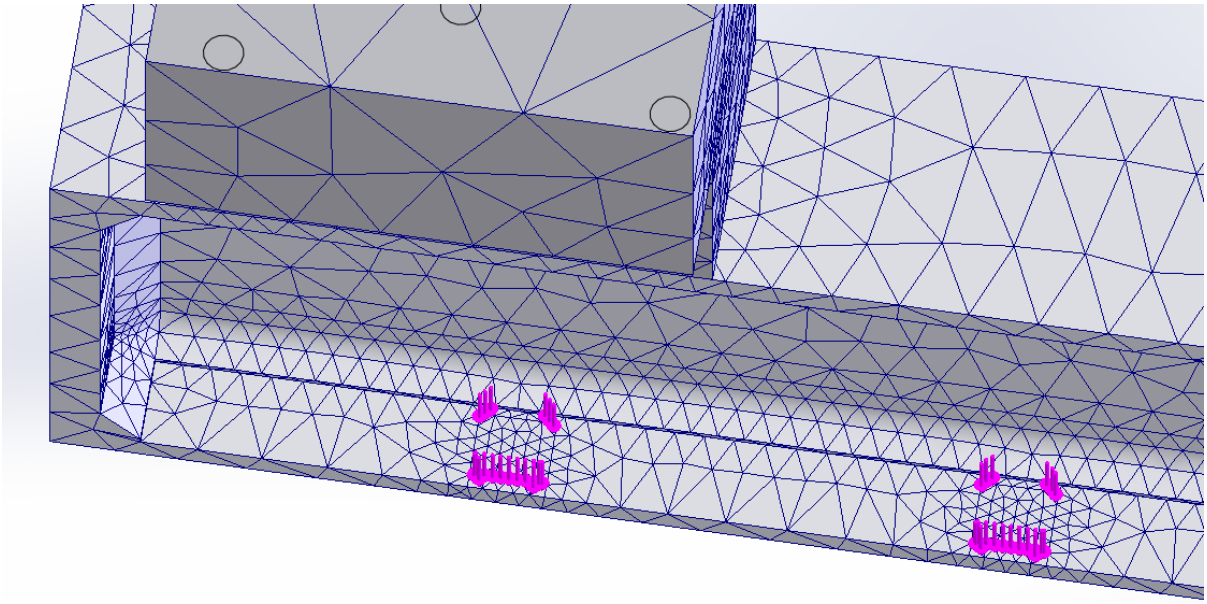
Figuur 50: Last in eindeloop op dwarsbalk

Het IPE100-profiel wordt aan de montageblokjes van de loopkatten verbonden met M8x70 DIN 931 bouten [7]. Hiertussen zitten ook nog spacerblokjes om het IPE100-profiel voldoende laag te laten hangen. De onderzijden van de montageblokjes aan de loopkatten worden als *fixed geometry* beschouwd. Dit is te zien aan de groene pijlen in Figuur 51.



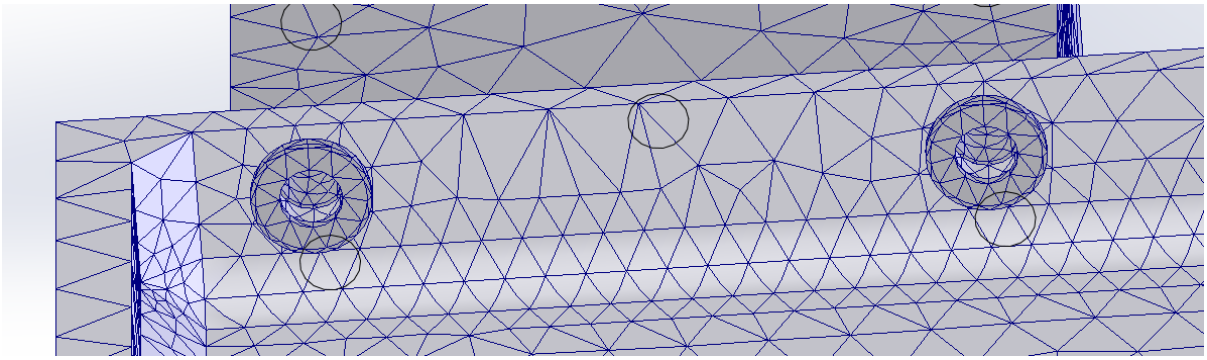
Figuur 51: Fixed geometry dwarsbalk

Voor deze simulatie worden twee *mesh controls* toegepast. De eerste bevindt zich rond de loopvlakken van de loopkat, te zien in Figuur 52.



Figuur 52: Mesh control rond loopvlakken

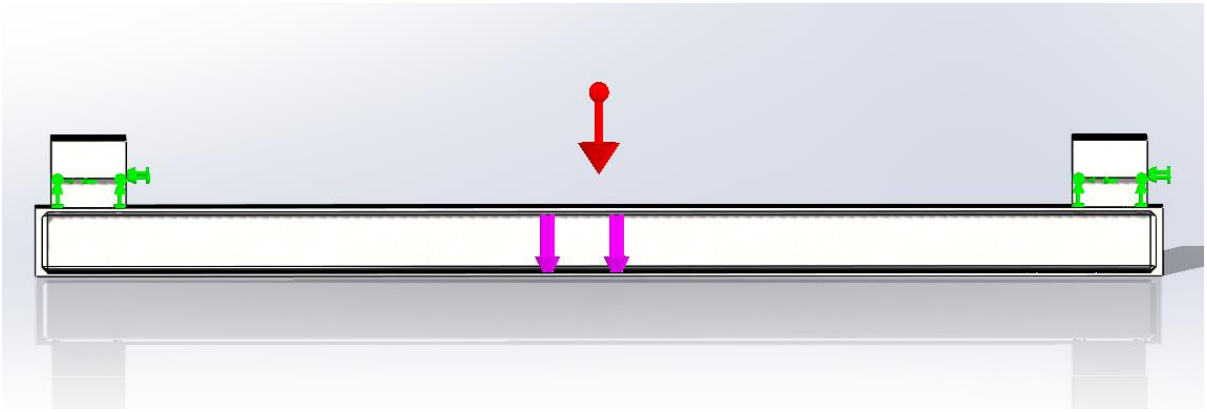
De tweede mesh control wordt rond de sluitringen toegepast, te zien in Figuur 53.



Figuur 53: Mesh control rond sluitringen

1.5.3.3.2 Simulatie-instellingen met last in het midden

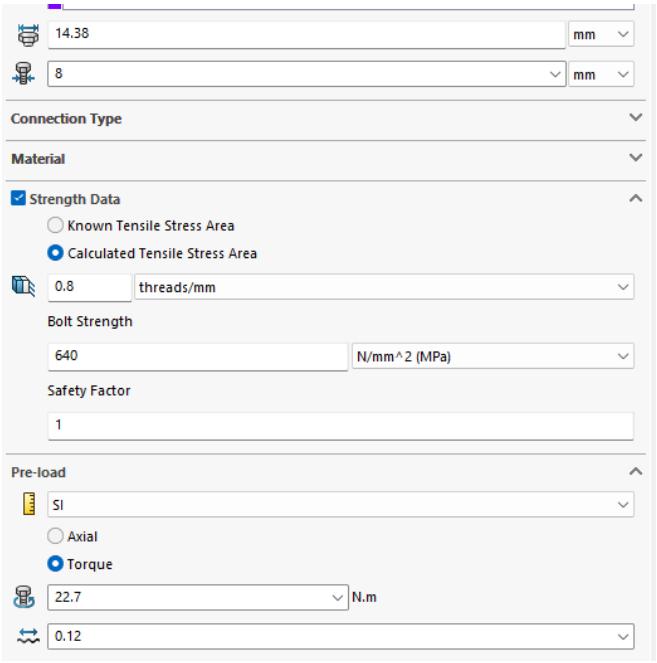
De last wordt in het midden van de balk geplaatst zoals te zien in Figuur 54.



Figuur 54: Last in midden op dwarsbalk

Zowel de mesh controls als de *fixed geometries* blijven hetzelfde als in de situatie met de last op eindeloop.

1.5.3.3.3 Boutinstellingen



De 8 M8 boutverbindingen worden gesimuleerd met de instellingen hierboven te zien in Figuur 55. Ook hier gaat het om bouten van gr8.8 met vloeispanning 640 $\frac{N}{mm^2}$. Het aanhaalmoment van 22.7 Nm en de wrijvingsfactor 0.12 worden uit het interne document van ABC gehaald (Bijlage 7: Standaard aanhaalmomenten).

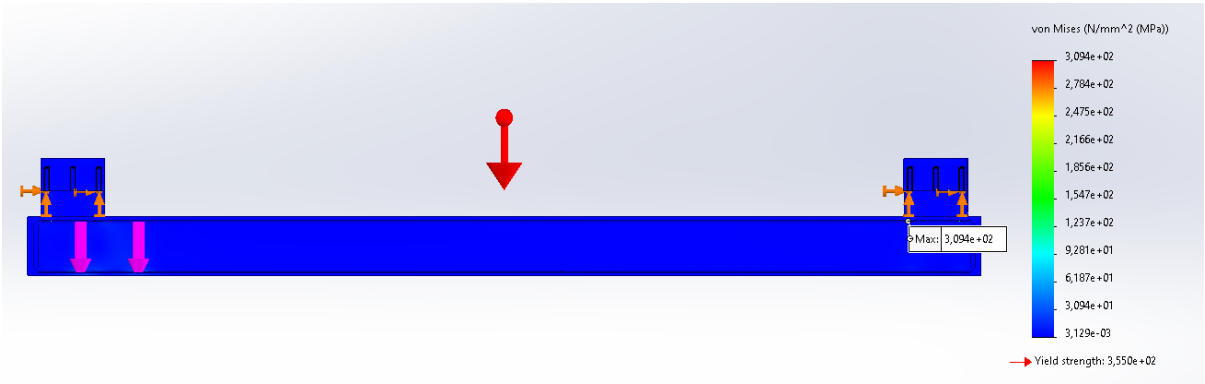
De waarde van 0.8 threads/mm wordt als volgt bepaald: $\frac{threads}{mm} = \frac{1}{spoed}$ Met spoed p=1.25 mm.

Figuur 55: Boutinstellingen dwarsbalk

1.5.3.3.4 Simulatieresultaten

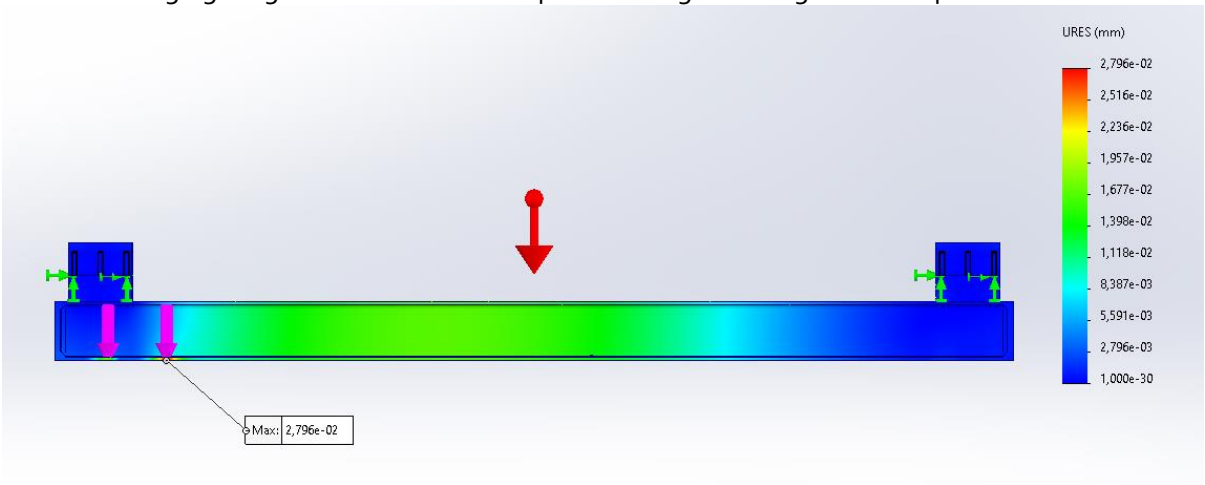
1.5.3.3.4.1 Resultaat met last op eindeloop

Met de last op eindeloop is te zien dat de spanningsconcentraties doorheen de constructie algemeen zeer laag liggen. Het IPE100-profiel wordt dan ook in zijn sterkste richting belast. De spanningsconcentraties over heel de balk zijn nagenoeg constant, met verhoogde concentraties rond de sluitringen aan de andere zijde dan waar de last aangrijpt.



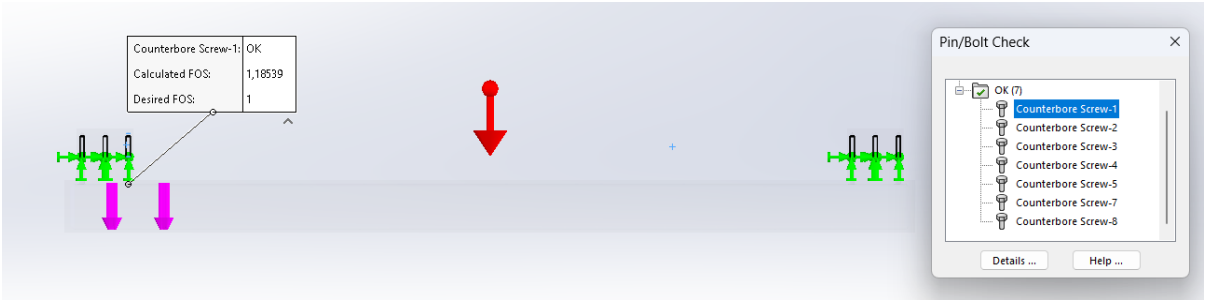
Figuur 56: Spanningsconcentraties last op eindeloop dwarsbalk

Ook de doorbuiging zal maximaal $3 * 10^{-2}\ mm$ bedragen en is dus vrijwel verwaarloosbaar klein. Deze doorbuiging zal geen invloed hebben op de werking van het gereedschap.



Figuur 57: Doorbuiging last op eindeloop dwarsbalk

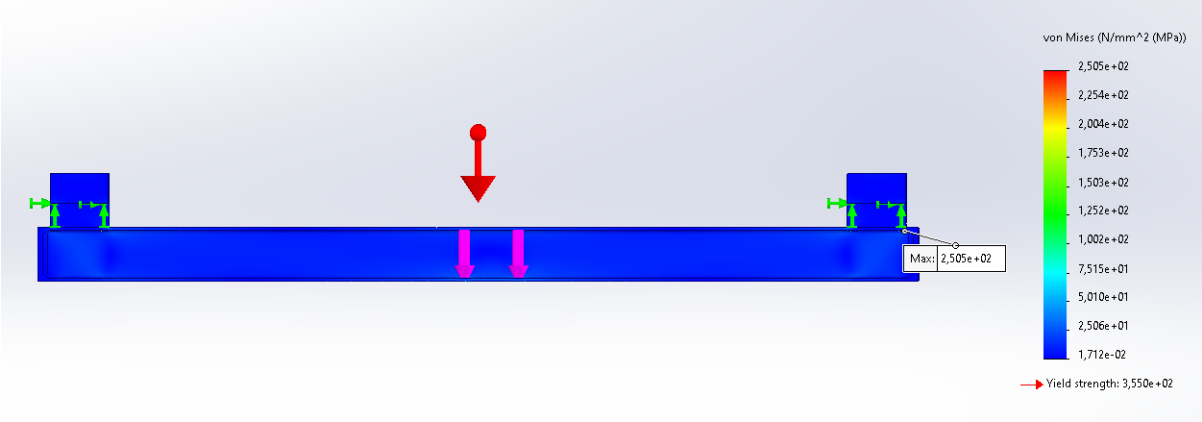
Wat de boutverbindingen betreft hebben deze allemaal een zogezegde veiligheidsfactor van 1,18. Aangezien deze simulatie met dubbele belasting gebeurt is de werkelijke veiligheidsfactor dus eigenlijk 2,36. Volgens de simulatie voldoen deze bouten dus om de belaste constructie te dragen. Ook hier wordt wegens tijdsgebrek gewerkt met de opgegeven aanhaalmomenten uit het interne document (Bijlage 7: Standaard aanhaalmomenten). Gezien de onbetrouwbaarheid van deze simulatie is het dus aan te raden het aanhaalmoment van deze bouten manueel te berekenen en dit nog met een ingenieur binnen ABC te bespreken vooraleer het gereedschap in productie gebracht wordt.



Figuur 58: Boutsimulatie last op eindeloop dwarsbalk

1.5.2.3.3.2 Resultaat met last in het midden

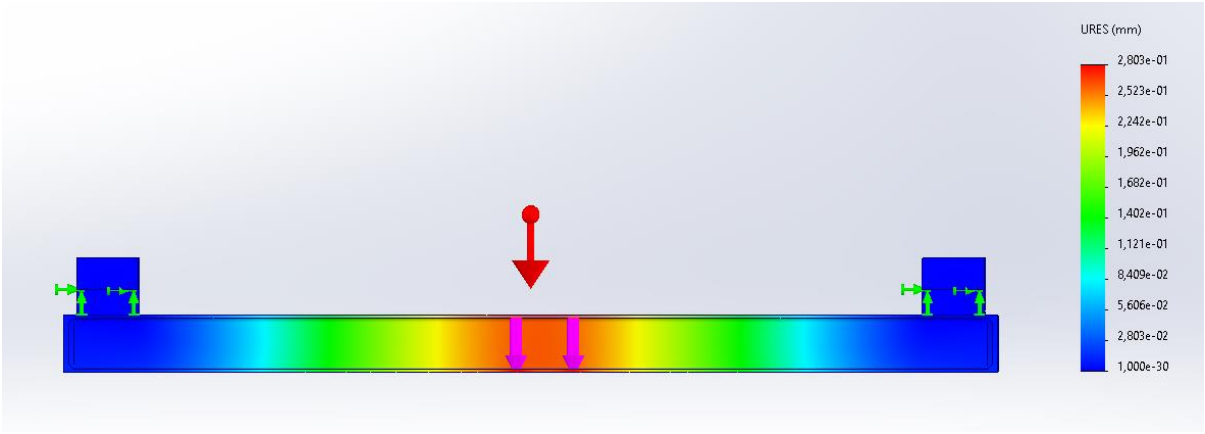
Aangezien de last in het midden ligt, wordt intuïtief verwacht dat deze last beter gespreid wordt over de bouten. Dit wordt bevestigd met het simulatieresultaat in Figuur 59.



Figuur 59: Spanningsconcentraties last in midden dwarsbalk

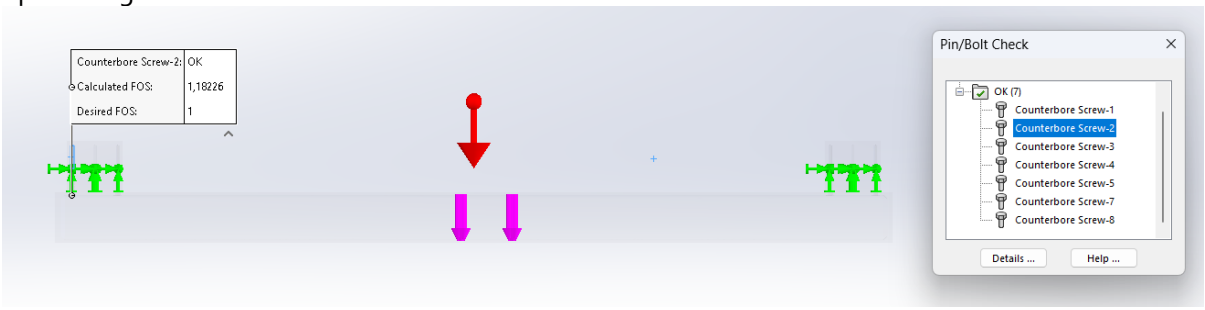
Ook hier blijven de spanningsconcentraties doorheen heel de constructie zeer laag, met een maximum in de sluitringen. In deze situatie ligt dit maximum echter een stuk lager, wegens de eerder vermelde reden. De spanningen in de constructie liggen dus ver beneden de 355MPa, dus is de constructie voldoende sterk.

De doorbuiging van de balk zal met de last in het midden groter zijn dan met de last op eindeloop. Dit wordt bevestigd in Figuur 60. De maximale doorbuiging bedraagt hier 0,3 mm, wat geen invloed zal hebben op de werking van het gereedschap.



Figuur 60:Doorbuiging last op midden dwarsbalk

Ook hier tonen de bouten volgens de simulatie een veiligheidsfactor van 1,18. Volgens de simulatie zijn deze bouten dus voldoende sterk om de belaste constructie te dragen. Ook hier geldt echter de opmerking i.v.m. het manueel berekenen van de aanhaalmomenten.



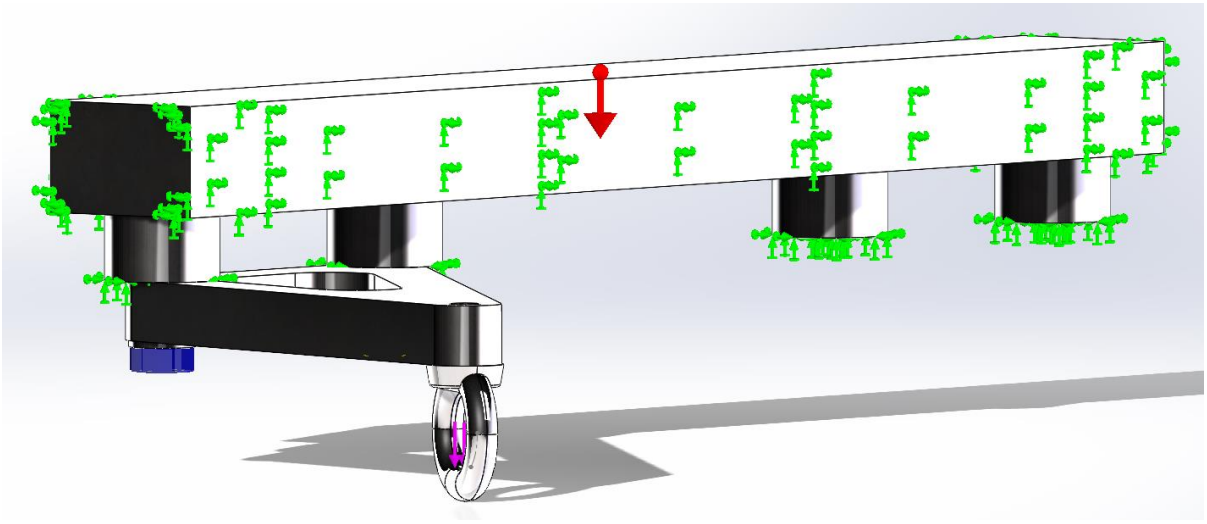
Figuur 61: Boutsimulatie last in midden dwarsbalk

1.5.3.4 Montagetool oliethermostaat

Deze montagetool is enkel bedoeld om de oliethermostaat te monteren. De maximale last op deze tool bedraagt 195 kg, wat de massa van deze oliethermostaat is. In de simulatie wordt deze massa afgerond en wordt gerekend met 4000 N.

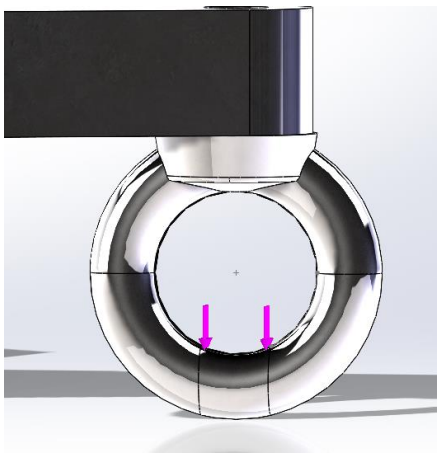
1.5.3.4.1 Simulatie-instellingen

Voor deze simulatie wordt opnieuw gebruik gemaakt van het CAC-simulatieblokje uit Figuur 26 op p38. Dit blokje wordt als *fixed geometry* ingesteld. De tool wordt aan dit simulatieblokje verbonden met 2 M16 boutverbindingen. Er wordt een zwaartekracht van 20 m/s² toegepast op heel de constructie.



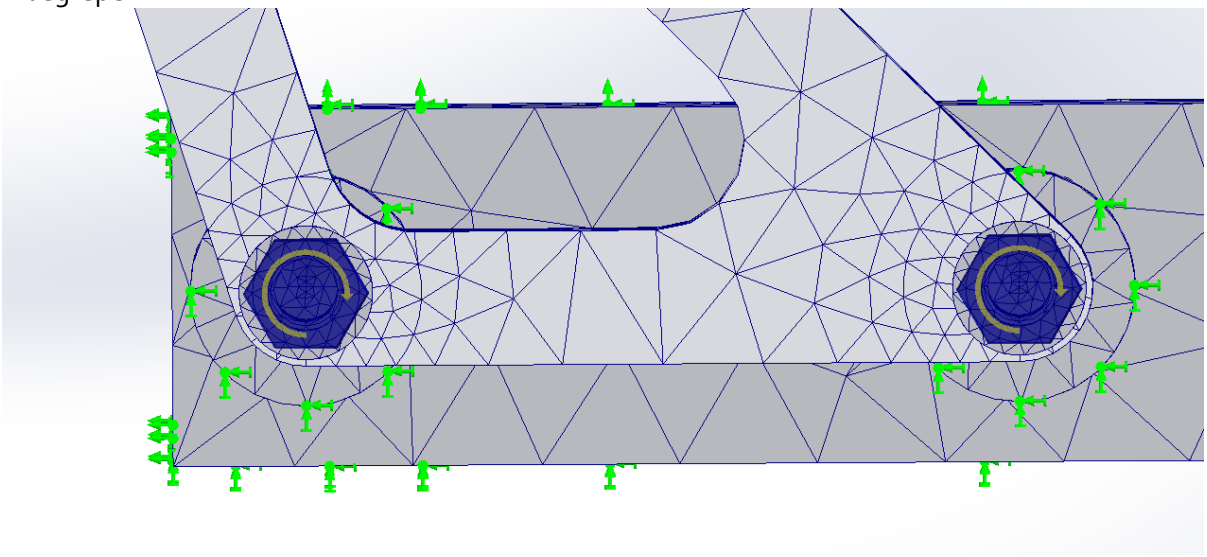
Figuur 62:Simulatieopstelling montagetool oliethermostaat

Om de belasting accuraat na te bootsen grijpt deze slechts in op een deel van het DIN 580 [10] hijsoog. Dit deel van het hijsoog wordt afgebakend door gebruik te maken van de *Split line* functie, en op deze zone wordt de belasting aangeduid.



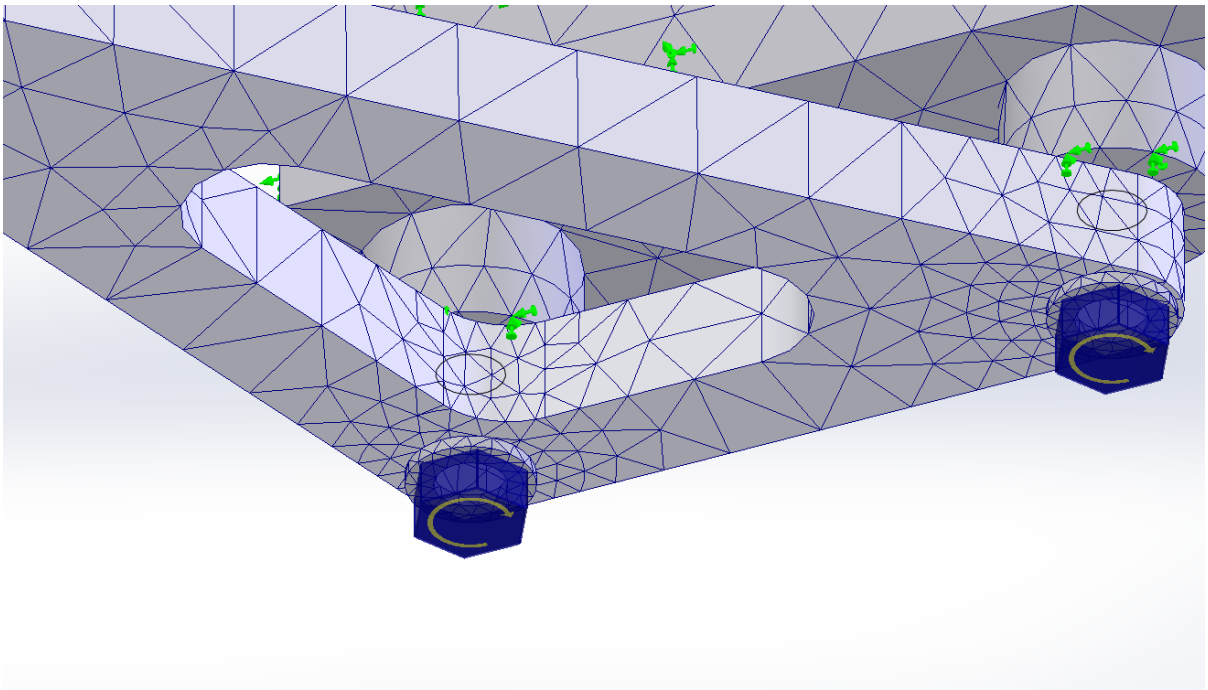
Figuur 63: Belaste zone hijsoog

Er worden bij deze simulatie 2 mesh controls toegepast. De eerste ligt rond de montageoppervlakken waarmee de tool aan de CAC bevestigd wordt. Hierin zijn de sluitringen ook inbegrepen.



Figuur 64: Mesh control rond boutgaten

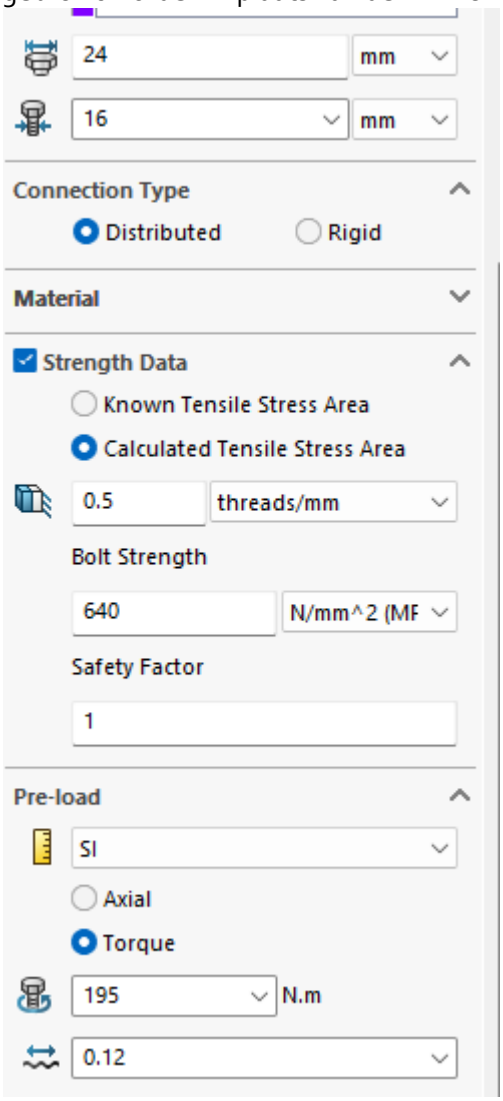
De tweede mesh control wordt toegepast aan de binnenzijde van de uitgefreesde kamer, aangezien hier hoogstwaarschijnlijk grote spanningen in zullen voorkomen.



Figuur 65: Mesh control in hoekradius

1.5.3.4.2 Boutinstellingen

De boutinstellingen blijven hier nagenoeg hetzelfde als in Figuur 32 op p42. Het verschil is de kopdiameter van de bouten, die hier 24mm bedraagt. Dit omdat er hier ISO 4014 [24] bouten gebruikt worden in plaats van de DIN 6921 [8] flensbouten bij de geleidingslat.

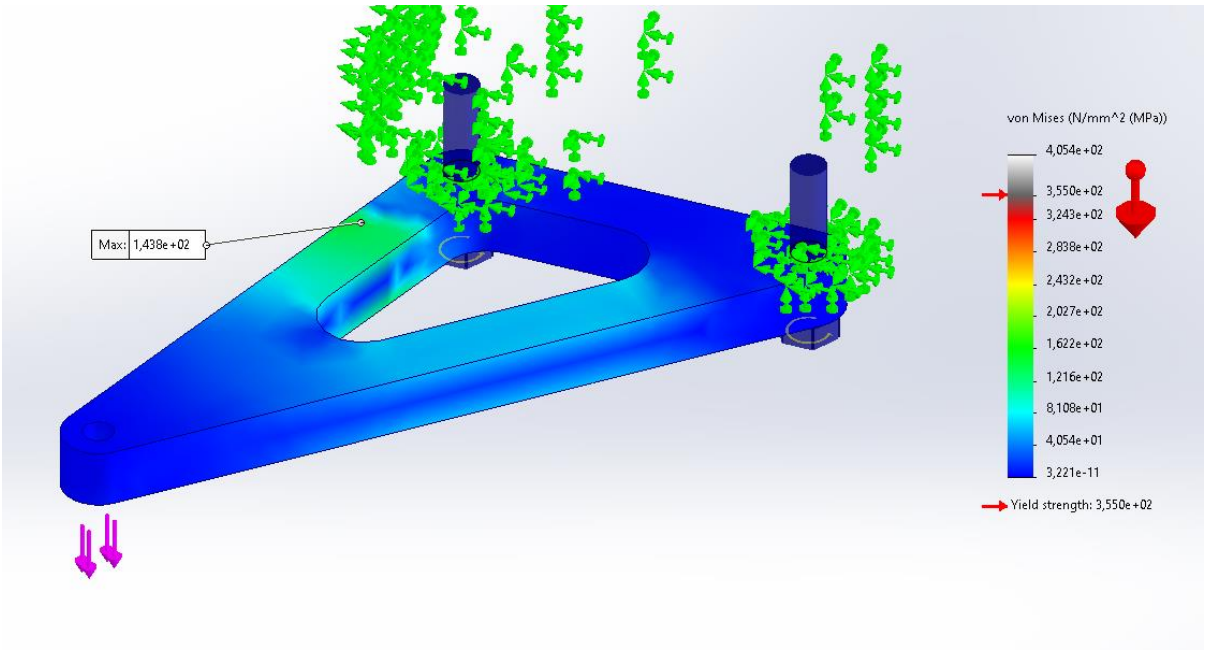


Ook hier wordt gewerkt met een aanhaalmoment van 195 Nm afkomstig uit het interne document van ABC (Bijlage 7: Standaard aanhaalmomenten). Het moment dat in werkelijkheid gebruikt zal worden is dus nog na te rekenen en te bepalen.

Figuur 66: Boutinstellingen montagetool oliethermostaat

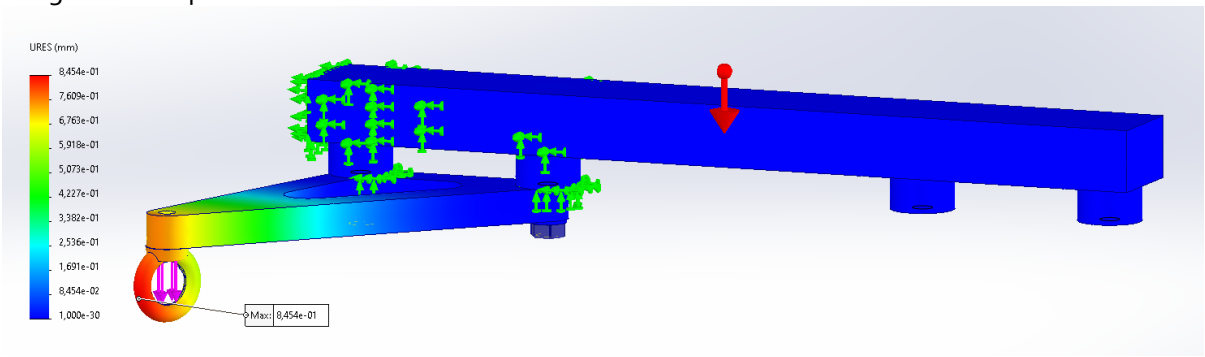
1.5.3.4.3 Simulatieresultaten

De spanningsconcentraties binnen de montagetool blijven allemaal mooi binnen de grens van 355MPa. De hoogste spanning bevindt zich vlak naast een van de montagepunten aan de CAC en bedraagt hier 144MPa. Het gereedschap zal dus voldoende sterk zijn om deze belasting mee te hijsen.



Figuur 67: Spanningsconcentraties binnen montagetool oliethermostaat

Op vlak van doorbuiging gebeurt er ook niets alarmerend. De maximale doorbuiging in de constructie zal minder dan 1mm bedragen, en zal dus ook geen impact hebben op de werking van het gereedschap.



Wat de bouten betreft is er ook hier een veiligheidsfactor van 1,18 aanwezig. Rekening houdend met de dubbele belasting geeft dit werkelijke veiligheidsfactor 2,36. Hier nogmaals dezelfde opmerking, het is aan te raden het aanhaalmoment van deze bouten manueel te berekenen maar wegens tijdsgebrek wordt dit niet gedaan en wordt gewerkt met de waarden uit de standaard (Bijlage 7: Standaard aanhaalmomenten).

Figuur 68: Boutsimulatie oliethermostaat

2. Verklaring van de tekeningen

2.1 Verschillen in conventies

Binnen Anglo Belgian Corporation worden er een aantal conventies gehanteerd die niet overeenstemmen met de conventies uit ISO 128 [25] die binnen de opleiding Ontwerp- en Productietechnologie gebruikt worden. In samenspraak met de stagementor worden alle tekeningen volgens de conventies binnen ABC gemaakt met de bedrijfsspecifieke sjablonen. In Tabel 4 worden de voornaamste verschillen in conventie weergegeven. Merk op dat er binnen ABC geen standaard vorm- en plaatstoleranties toegepast worden. In de tekeningen in dit dossier wordt ISO 2768mK (Bijlage 9: Tabellenboek voor metaaltechniek) toegepast tenzij anders vermeld. De tekeningen worden ook niet volgens DIN 824 [26] gevouwen.

Tabel 4: Verschillen in tekenconventie

Beschrijving	**ABC**	**OPT**
Info stuk (naam, grootte, materiaal, etc)	Titelhoek	BOM
Ruwheden	Rechts bovenaan tekening, algemene ruwheid zonder "Ra"	Kader in titelhoek
Standaard maattoleranties	Stelsel in titelhoek ≠ ISO2768m	Variant van ISO 2768 in titelhoek
Standaard vorm- en plaatstoleranties	**GEEN**	Variant van ISO 2768 in titelhoek
Lasaanduiding	Genummerd met verwijzing naar WPS	Lasaanduiding met info en procesnummer
Volgorde samenstellingsnummering	Nummering volgt BOM chronologisch gesorteerd op stukcode	Nummering stijgt wijzersin
Kruisende maatlijnen	Te vermijden, toegestaan als de leesbaarheid niet belemmerd wordt	Vermijden waar mogelijk
Schaal	Kan veranderen i.f.v. duidelijkheid	Zelfde als origineel aanzicht
Lasaanduiding	Lassen worden vol zwart aangeduid op de tekening	Pijl op tekening

2.2 Coderingsregels van de tekeningen

De naamgeving van de tekeningen gebeurt volgens de interne regels van ABC. Deze codering is noodzakelijk om vlot de link te leggen tussen de tekeningen en het binnen het bedrijf gebruikte inventarisprogramma LN.

De codering bestaat uit 4 delen:

Tabel 5: Structuur codering naamgeving

645	**084**	**1700**	**01**
Engine code	Section	(Sub)assembly	Revision

De eerste 3 cijfers geven de motorcode aan. Deze zijn als volgt gestructureerd:

Tabel 6: Structuur motorcodes

640	DL
643	Complete 6DL
644	Complete 8DL
645	DV
646	Complete 12DV
648	Complete 16DV

De montagetools ontworpen binnen dit document zijn bestemd voor zowel de 12DV als 16DV-motoren. Deze krijgen dus code 645. Er bestaan ook 9xx codes. Deze zijn bedoeld voor halffabricaten en worden vooral toegepast bij lasconstructies of gietstukken die nog nabewerking nodig hebben. Deze volgen dezelfde structuur als de 6xx codes.

Het tweede deel van de code geeft de sectie aan. Hiervoor bestaat er een intern document binnen ABC (Bijlage 8: Secties). De montagetools uit dit document krijgen code 084, wat de code is voor "*Special tools for users and service stations*".

Het derde deel van de code geeft de (sub)assembly aan. Assemblies van het eerste niveau krijgen een code beginnend met 1. Het volgende cijfer hang af van wat er nog beschikbaar is in LN. De twee laatste cijfers zijn gereserveerd voor onderdeelnummering binnen deze assembly. Subassemblies beginnen met 7 en hebben dezelfde codestructuur als de bovenliggende assemblies. De hieronder liggende subassemblies krijgen een code beginnende met 8 en volgen nogmaals dezelfde structuur. Zo is een stuk met code 645.084.7701.01 bijvoorbeeld het eerste stuk binnen de subassembly met code 645.084.7700.01.

Het vierde deel van de code duidt het revisienummer aan. Aangezien deze montagetools bestaan uit volledig nieuwe ontwerpen zal dit deel van de code voor alle onderdelen 01 zijn.

2.3 Samenstellingstekeningen

645.084.7700.01 Duwloopkat samenstelling

Dit is de samenstelling bestaande uit de geleidingslat, trolley met montageblokje en alle montagehardware hierrond. Deze samenstelling wordt als eerste besproken omdat deze terugkomt als subsamenstelling in de andere samenstellingen.

Deze samenstellingstekening bestaat uit een voor- en zijaanzicht. Het vooraanzicht wordt gebruikt om de locatie van het montageblokje aan te geven. Dit is meteen ook het enige niet aangekochte onderdeel met uitzondering van de lasconstructie.

Deze tekening wordt gemaakt op schaal 1:2 en er wordt gebruik gemaakt van een *Broken view* om alle aanzichten op A0 formaat te doen passen.

Op vraag van de stagementor wordt het aanhaalmoment van de bouten waarmee de constructie aan de CAC bevestigd wordt aangeduid met een pijl. Het aanhaalmoment van 195 Nm wordt echter tussen haakjes aangeduid omdat dit niet nagerekend is en nog aangepast zal moeten worden eens de tools in productie komen.

Detailaanzicht A wordt gegeven om de componenten weer te geven die in het zijaanzicht achter de lasconstructie verborgen zijn.

Per instructie van de stagementor krijgen de draadspanner en duwloopkat 8000-codes, wat naar subassemblies verwijst. Dit wordt gedaan omdat deze als 1 item ingegeven worden in LN, maar zelf wel uit meerdere onderdelen bestaan. De niet DIN-genormeerde oogbouten krijgen de code 645.084.7702.01 aangezien deze slechts 1 onderdeel bevatten.

645.084.1500.01 Montagetool olie waterpompen

Dit is de samenstelling voor de tool die verantwoordelijk is voor de (de)montage van de olie- en waterpompen.

Alles is goed zichtbaar op het vooraanzicht, dus is dit het enige aanzicht dat gebruikt wordt voor deze tekening. In deze tekening komt de hierboven vermelde 7700 samenstelling tweemaal aan bod. Aan deze samenstelling wordt langs weerszijden een spacer blok verbonden, waardoor de dwarsbalk laag genoeg komt te hangen om overal te passeren. Deze dwarsbalk wordt onder de spacer blokken gehangen en worden vervolgens vastgemaakt doormiddel van 8 M8x70 DIN 931 bouten [7]. Er is een plaatselijke doorsnede aangebracht om te tonen hoe deze bouten door de spacers lopen en vastgeschroefd worden in de montageblokjes van de duwloopkatten. Detailaanzicht A wordt aangebracht om de bouten en sluitringen aan te duiden. Op dit detailaanzicht wordt ook het provisionele aanhaalmoment van 22.7 Nm aangeduid. Ook hier is dit tussen haakjes aangeduid omdat dit aanhaalmoment nog nagerekend moet worden.

In de rechter bovenhoek is er een aanzicht van de voorkant van de motor aangebracht op schaal 1:15. In dit aanzicht is te zien hoe dit gereedschap bevestigd wordt aan de CAC.

645.084.7800.01 Dwarsbalk met duwloopkat

Deze tekening bevat de samenstelling van de duwloopkat op de dwarsbalk die gebruikt wordt in de 1500-samenstelling. Op deze tekening zijn twee *Broken views* aangebracht om de constructie in te korten om op het blad te passen. Doorsnede A-A wordt gegeven om te tonen hoe de loopkat op het I-profiel bevestigd wordt. Op deze doorsnede wordt de loopkat niet doorgesneden aangezien dit een aankooponderdeel is. Er wordt ook een extra aanzicht gegeven op schaal 1:5.

645.084.1600.01 Montagetool waterpomphuis

Dit is de samenstellingstekening voor het gereedschap om de waterpomphuizen te (de)monteren. Deze samenstellingstekening bestaat uit een vooraanzicht, projectie op schaal 1:5 en een projectie op schaal 1:10 waarin het gereedschap aan de motor gemonteerd is.

De samenstelling bestaat uit de 7700 samenstelling, die met 4 M16 DIN 933 [9] bouten doorheen de doorgangsgaten in het montageblokje bevestigd wordt aan de bevestigingslat. Door deze bevestigingslat lopen langs weerszijden hijsogen en hieronder zijn enkele bussen aangebracht. Er is een plaatselijke doorsnede aanwezig om te tonen hoe de M16 DIN 933 [9] bouten volledig door het montageblokje gaan.

Ook op deze samenstelling worden de aanhaalmomenten van de bouten aangeduid. Hier staan deze niet tussen haakjes omdat deze al nagerekend zijn. Het aanhaalmoment van de oogbouten komt uit de specificaties van de fabrikant [12].

645.084.1700.01 Montagetool oliethermostaat

Deze samenstellingstekening geeft het montagegereedschap weer voor de oliethermostaat. Deze samenstelling bestaat uit een montageplaat, hijsoog en de bouten om de montageplaat te bevestigen aan de CAC.

De tekening bestaat uit een zijaanzicht waarin een plaatselijke doorsnede aangebracht is om de schroefdraad van het hijsoog weer te geven, en een projectie van het hele gereedschap op schaal 1:2.

2.4 Stuktekeningen

Tenzij anders vermeld voldoen onderstaande onderdelen aan alle standaardtoleranties die meegegeven worden in de titelhoek, alsook de standaard vorm- en plaatstoleranties uit ISO 2768-mK (Bijlage 9: Tabellenboek voor metaaltechniek).

645.084.7701.01 Montageblok duwloopkat

Deze stuktekening bevat de montageblok waaraan de rest van de gereedschappen komen te hangen. Dit is een blokje vervaardigd uit S355JR waarin enkele gaten aangebracht worden. Er wordt bewust gebruik gemaakt van overgedimensioneerde doorgangsgaten om wat speling te geven bij de montage. Deze ruime toleranties zorgen er voor dat deze stukken goedkoper zijn om te produceren dan nauw getolereerde stukken. Er worden twee doorsnedes gegeven om de locaties en dieptes van de gaten weer te geven.

645.084.1501.01 Spacer blok

Dit is een zeer simpel blokje, vervaardigd uit S355JR met 4 doorgangsgaten van Ø10 mm. Dit zijn doorgangsgaten voor M8 bouten, dus zijn de standaardtoleranties nogmaals voldoende voor de toepassing. Er wordt een doorsnede aangebracht om aan te duiden dat de doorgangsgaten doorheen heel de dikte van het blokje lopen.

645.084.1601.01 Bevestigingslat waterpomphuis

Deze bevestigingslat kan uitgesneden worden uit een plaat S355JR met als dikte 25 mm. De ruwheid Ra 6.3 wordt toegepast op de boutgaten, terwijl de uiteinden van de plaat een hogere Ra van 24 krijgen. Deze keuze wordt gemaakt zodat het productieteam de vrijheid heeft om dit stuk van een langere lat af te zagen, en er geen nabewerking vereist is op de zaagoppervlakken voor deze toepassing. De boven- en onderzijde krijgen een symbool dat aangeeft dat er geen materiaal verwijderd moet worden aangezien deze dimensie niet strikt nauwkeurig hoeft te zijn. Dit zorgt voor een vermindering in nodige nabewerking en zal dus ook een lagere kostprijs tot gevolg hebben.

645.084.1602.01 Bus

Deze bus wordt vervaardigd uit een staaf S235JRC+C aangezien deze niet onder trek belast wordt. De bus wordt vervaardigd door een stuk van een staaf met Ø40 mm af te zagen, van daar ook de hoger dan gewoonlijke Ra van 12.5. De mantel van de bus hoeft niet nabewerkt te worden en hierdoor worden dus ook kosten gespaard. Er is een doorgangsgat aanwezig waardoor het hijsoog zal lopen vooraleer deze vast gezet wordt op het waterpomphuis.

645.084.1701.01 Montageplaat oliethermostaat

Deze montageplaat, uitgevoerd in S355JR, heeft een hoge Ra waarde omdat dit een stuk is dat zich perfect leent tot uitsnijden met een autogeen installatie, laser of waterjet. Nogmaals is nabewerking hier niet strikt noodzakelijk en wordt dit niet gedaan om kosten te drukken. De buitenmaten van het stuk worden tussen haakjes meegegeven ter informatie. Er zijn twee doorgangsgaten aanwezig die als montagepunten aan de CAC dienen, en er is één getapt gat met M16 schroefdraad, bestemd voor een DIN 580 [10] hijsoog.

2.5 Lastekeningen

945.084.8400.01 Lassamenstelling geleidingslat RP

Dit is de RP (rough part) samenstelling van de geleidingslat. Hierop worden alle onderdelen uit de lasconstructie weergegeven, alsook hoe deze aan elkaar gelast moeten worden. Om de warmte-inbreng en dus ook de kromming van het stuk zo veel mogelijk te beperken wordt er gewerkt met een onderbroken las. De lengte van deze lassen, alsook de afstand tussen deze lassen werden berekend in 1.5.2 Lasberekeningen. Het is belangrijk om het stuk voldoende tijd te geven om af te koelen tussen het leggen van de verschillende lassen. De manier waarop de lassen gelegd worden is gedefinieerd in een WPS (welding specification). Deze is intern aan het bedrijf en is ook geheim, van daar dat deze niet meegegeven wordt als bijlage.

945.084.8401.01 U-profiel

Dit is het UPE120-profiel waarrond de lasconstructie opgebouwd is. Er wordt een zijaanzicht gegeven om duidelijk te maken dat het om een UPE-profiel gaat, en de buitenmaten worden tussen haakjes meegegeven. De hoge Ra van 24 dient als aanduiding dat dit profiel gezaagd mag worden.

945.084.8402.01 Geleidingsplaat

Deze plaat doet dienst als loopvlak van de duwloopkatten, en wordt onderaan het U-profiel gelast. Deze plaat wordt uitgesneden uit een grotere plaat met dikte 10 mm en wordt niet nabewerkt.

945.084.8403.01 Eindplaatje voor

Dit plaatje dient als eindeloop voor de duwloopkatten. Deze kan uit dezelfde plaat gesneden worden als stuk 945.084.8402.01. Op de hoekpunten wordt een afronding aangebracht om te voorkomen dat de monteurs zich kwetsen aan de scherpe hoeken.

945.084.8404.01 Eindplaatje achter

Dit plaatje dient als eindeloop voor de duwloopkatten aan de achterzijde van de constructie. Er is een inkeping voorzien zodat dit plaatje vlot aan de montagepunten aan de CAC kan passeren. Deze inkeping wordt afgerond om eventuele kerfwerking tegen te gaan. Ook dit stuk kan uit dezelfde plaat gesneden worden als de twee voorafgaande onderdelen, en ook hier worden de hoeken afgerond.

645.084.8400.01 Lassamenstelling geleidingslat FP

Dit is de FP (finished part) samenstelling van de geleidingslat. Hier worden de positie en diameter van de doorgangsgaten waarmee de constructie aan de CAC bevestigd wordt gegeven. Hier zouden de loopvlakken van de katrol eventueel vlak gefreesd kunnen worden maar in overleg met hoofd van productie Johan Van de Velde blijkt dit niet noodzakelijk voor een goede werking van het gereedschap zo lang de lasspatten correct verwijderd worden. Er wordt dan ook gekozen om dit niet te doen vanwege de extra kostprijs.

645.084.8600.01 Dwarsbalk

In deze tekening wordt de lassamenstelling van de dwarsbalk weergegeven. Binnen ABC is het aanvaardbaar om bij lassamenstellingen alle onderdelen apart bij op de samenstellingstekening te zetten, en dat is ook wat er hier gedaan is. Helemaal bovenaan wordt de lassamenstelling weergegeven. Hierin worden doormiddel van twee doorsnedes de 4 lassen aangegeven waarmee de eindplaatjes aan het I-profiel gezet worden. Deze lassen worden gelegd volgens een interne WPS waar naar verwezen wordt in het kadertje rechts onderaan dit aanzicht. De keelhoogte van de lassen wordt bepaald volgens de vuistregels van het Belgisch Instituut voor Lastechniek, die zeggen dat de keelhoogte voor een dubbele hoeklas in S355 ongeveer 0,6 * de plaatdikte bedraagt [15]. Voor de eindplaat van 10 mm dik geeft dit dus een keeldoorsnede a = 6 mm.

945.084.8601.01 I-profiel

Dit onderdeel bestaat uit een I-profiel waarin 8 doorgangsgaten van Ø10 mm aangebracht worden. Doorsnede C-C geeft aan dat deze gaten enkel door de bovenste flenzen lopen. De buitenafmetingen van het I-profiel worden tussen haakjes meegegeven en dit profiel wordt op lengte afgezaagd, van daar ook de hoge Ra van 24.

945.084.8602.01 Eindplaatje

Dit zijn de eindplaatjes die aan de uiteinden van het I-profiel gelast worden om als eindeloop van de loopkat te dienen. Dit plaatje wordt uit een grotere plaat met dikte 10 mm uitgesneden en hoeft niet verder nabewerkt te worden. Er mag dus een grote Ra van 24 aanwezig zijn.

3 Kostprijsberekening

Hoewel de stuktekeningen niet op tijd af zijn om hiervoor nog prijsoffertes te krijgen voor de deadline, kan er al een kostprijsberekening gemaakt worden van de aankooponderdelen. Standaardonderdelen zoals moeren, bouten en sluitringen worden in bulk aangekocht en de prijs van deze onderdelen is verwaarloosbaar ten opzichte van de rest van de kosten, dus de prijs van deze onderdelen wordt hier niet in rekening genomen.

Tabel 7: Kostprijsberekening aankooponderdelen

Onderdeel	Kostprijs €/stuk	Aantal	Totale kostprijs (excl. BTW)
Powertex duwloopkat 500 kg. S2 Model PPT-S2, flensbreedte 130-215 mm.	€ 138,80	2	€ 277,60
Powertex duwloopkat 500 kg. S2 Model PPT-S2, flensbreedte 50-135 mm.	€ 95,40	1	€ 95,40
DSR UP M16 L=80mm	€ 82,15	2	€ 164,30
Excel gr. 80 oogbout AL16R	€ 23,10	4	€ 92,40
POWERTEX Spanschroef M22 gaffel/gaffel werklast 2200kg	€ 41,40	2	€ 82,80
TOTAAL			€ 712,50

Alle offertes voor bovenstaande onderdelen zijn terug te vinden in Bijlage 3: Offertes.

De maakonderdelen en lasconstructies zouden extern uitgevoerd worden, dus worden er hiervoor geen offertes aangevraagd voor de ruwe materialen.

Conclusie

Dit dossier omvat het ontwerp van montagegereedschappen voor de olie- en waterpompen van de DV36-motoren binnen Anglo Belgian Corporation. Het doel was om gereedschappen te ontwikkelen die deze pompen, alsook de behuizingen errond, op een veilige en ergonomische manier kunnen (de)monteren.

De ontworpen montagegereedschappen voldoen om de beoogde lasten te dragen. Hierbij worden alle veiligheidsfactoren in rekening gehouden zoals overeengestemd met de stagementor. Dit betekent ook dat deze gereedschappen zonder enig probleem door een externe entiteit gekeurd kunnen worden voor veilig gebruik.

De bekomen gereedschappen bestaan uit een minimumaantal maakonderdelen, en de maakonderdelen die er zijn bestaan zo veel mogelijk uit eenvoudig plaatstaal. Hoewel er geen exacte kostprijsberekeningen gemaakt kunnen worden wegens tijdsgebrek, kan besloten worden dat deze maatregelen de kostprijs van de gereedschappen zo veel mogelijk drukken, zoals gevraagd door de opdrachtgever. Aangezien er geen specifiek budget vooropgesteld werd kan ook niet vergeleken worden of de kostprijs van de gereedschappen hierbinnen valt.

De gereedschappen bieden de monteurs van de serviceafdeling, en later ook de klanten, de mogelijkheid om de water- en oliepompen van de DV36-motoren op een veilige en betrouwbare manier te (de)monteren.

Algemeen kan dus gezegd worden dat de opdracht tot een goed einde gebracht werd, en dat de opdrachtgever zoals gewenst de ontwerpen heeft voor bruikbare, betaalbare montagegereedschappen, klaar om een eerste prototype te bouwen.

Nawoord

Wegens enkele onvoorziene omstandigheden (vb. het corrupteren van een USB-stick met simulatieresultaten) werd wat achterstand opgebouwd en zijn een aantal zaken incompleet gebleven. Zo werd bijvoorbeeld geen montagehandleiding meer opgesteld. De werking van de gereedschappen is echter voldoende simpel zodanig dat deze handleiding zonder enig probleem door een andere medewerker binnen het bedrijf geschreven kan worden.

Ikzelf vind het spijtig dat de aanhaalmomenten van de boutverbindingen niet op tijd meer berekend konden worden. Dit is het enige aandachtspunt waardoor het project nog "incompleet" blijft, hoewel ik er alle vertrouwen in heb dat dit gewoon een kwestie van narekenen is en dat er geen wijzigingen meer zullen moeten gebeuren aan het ontwerp zelf vooraleer dit in productie gebracht wordt.

Er werd te veel tijd besteed aan het uitpluizen van normeringen, terwijl dit niet strikt noodzakelijk bleek. Dit is te wijten aan de communicatie, die toch vooral eenrichtingsverkeer was van mij uit. Ik zat helemaal alleen in een bureau in een andere fabriekshal dan de rest van de ontwerpers, dus de drempel om vragen te stellen lag hierdoor vrij hoog. Ik was er vol van overtuigd dat mijn ontwerpen absoluut moesten voldoen aan de normen, terwijl dit helemaal niet het geval bleek en de machinerichtlijn het enige is waaraan de ontwerpen echt moeten voldoen. De normen werden dus achterwege gelaten, maar dit heeft me wel 2 werkweken gekost.

Het tijdstekort verhinderde niet dat de essentie van de opdracht, het ontwerpen van montagetools voor de olie- en waterpompen van de DV36-motoren tot een goed einde werd gebracht. Het grootste struikelblok was de extreem beperkte inbouwruimte van 135 mm. Hierdoor leek het soms alsof er geen oplossing mogelijk was, en bleek er altijd wel iets niet te kloppen. Zo kon ik bijvoorbeeld de lasconstructie verstevigen zodat ze niet brak, maar dan werd ze weer te zwaar om vlot monteerbaar te zijn. Hierdoor was ik genoodzaakt zeer iteratief te werk te gaan en alles zo veel mogelijk te optimaliseren.

Uit het iteratief werken ben ik tot de vaststelling gekomen dat dit niets voor mij is. Ik ben iemand die nood heeft aan snelle, tastbare resultaten, iets waar er hier geen sprake van was. Hierdoor voelde ik me vaak gedemotiveerd om verder te blijven werken aan één en hetzelfde project. Mijn sterkte ligt eerder in de conceptfase, waar ik mijn creativiteit volledig tot uiting kan brengen en unieke oplossingen kan bedenken.

Zelf ben ik heel tevreden over het eindresultaat en heb ik er vertrouwen in dat mijn gereedschappen een grote hulp zullen zijn voor de monteurs binnen het bedrijf, maar ook voor de klanten wereldwijd die onderhoud willen verrichten aan hun motoren. Dit werd meermaals beaamd door de monteurs, die naar eigen zeggen al jaren op deze gereedschappen wachten, en het is dan ook zeer fijn te horen dat ik met deze stage een werkelijk verschil gemaakt heb.

Bibliografie

[1] „Hiwin linear guide rail HGR 65 R H | Tuli-shop.com," [Online]. Available: https://www.tuli-shop.com/hiwin-linear-guide-rail-hgr-65-r-h. [Geopend 15 Februari 2024].

[2] „UPE-profielen, een interessant alternatief voor UNP," [Online]. Available: https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgu/u-profiel_7_upe_als_alternatief_voor_upn_www_mcb_nl.pdf. [Geopend 5 maart 2024].

[3] „U-Profiel, UPN-balk, UNP-balk, UPE-balk," [Online]. Available: https://www.joostdevree.nl/shtmls/u-profiel.shtml. [Geopend 15 maart 2024].

[4] M. H. „Trolley | MLK | 500 kg | Flange width: 50-220 mm," Mitari Hijstechniek BV, [Online]. Available: https://www.mitari.nl/trolley-mlk-500-kg-flange-width-50-220-mm?___store=mitari_en_EN. [Geopend februari 2024].

[5] Mennens België, „duwloopkat | Mennens België," [Online]. Available: https://www.mennensbelgium.be/producten/hef-hijsmateriaal/takels-lieren/loopkatten/ppt-s2-powertex-duwloopkat-p372874. [Geopend februari 2024].

[6] Manutan NV, „Loopkat - Hefvermogen 500 en 2000 kg - Manutan Expert - Manutan.be," [Online]. Available: https://www.manutan.be/nl/mab/nl-loopkat-hefvermogen-500-en-2000-kg-manutan. [Geopend februari 2024].

[7] Deutsches Institut Für Normung e.V., *DIN 931 Sechskantschrauben,* Berlijn: Beuth Vertrieb GmbH, 1970.

[8] Deutsches Institut Für Normung e.V., *DIN 6921 Sechskantschrauben mit Flansch,* Berlijn: Beuth Vertrieb GmbH, 1983.

[9] Deutsches Institut Für Normung e.V., *DIN 933 Sechskantschrauben,* Berlijn: Beuth Vertrieb GmbH, 1970.

[10] Deutsches Institut Für Normung e.V., *DIN 580 Ringschrauben,* Berlijn: Beuth Vertrieb GmbH, 1972.

[11] Deutsches Institut Für Normung e.V., *DIN 444 Augenschrauben,* Berlijn: Beuth Vertrieb GmbH, 1971.

[12] Mennens België, „Expert in staalkabels, hef- & hijsmateriaal & valbeveiliging | Mennens België," [Online]. Available: https://www.mennensbelgium.be/producten/plbw-wartelend-hijsoog-pewag-gr-10-p93055. [Geopend 20 Februari 2024].

[13] International Organization for Standardization, „NBN EN 13001-1," Mei 2015. [Online]. Available: https://edu.mynbn.be/pdfMeta/RO/534923?l=E. [Geopend Maart 2024].

[14] International Organization for Standardization, „NBN EN 16851:2017+A1," Januari 2021. [Online]. Available: https://edu.mynbn.be/pdfMeta/584072. [Geopend Maart 2024].

[15] Belgish Instituut voor Lastechniek, „Poster "Vuistregels voor lasparameters bij het MAG-lassen van staal"," [Online]. Available: https://bil-ibs.be/publicatie/poster-vuistregels-voor-lasparameters-bij-het-mag-lassen-van-staal. [Geopend Mei 2024].

[16] i. M. Juwet, ALGEMENE STERKTELEER VOOR DE MACHINEBOUW, Gent, 2011.

[17] B. W. W. De Clippeleer, TABELLENBOEK VOOR METAALTECHNIEK, Hamburg: Plantyn, 2019.

[18] A. Constructalia, „S355 Structural steel grades," [Online]. Available: https://constructalia.arcelormittal.com/en/steel-grades/s355. [Geopend 9 Mei 2024].

[19] Anglo Belgian Corporation, *STANDARD TIGHTENING TORQUE TABLE FOR V12/V16,* Gent: Anglo Belgian Corporation, 2021.

[20] Fasteners Plus, „Understanding Markings and Grades on Nuts and Bolts," Fasteners Plus, 9 Juni 2022. [Online]. Available: https://www.fastenersplus.com/blogs/blog/understanding-the-different-markings-on-fasteners. [Geopend 13 April 2024].

[21] Mennens België, „AL oogbout Gr.8 | Mennens België," [Online]. Available: https://www.mennensbelgium.be/producten/al-oogbout-gr-8-p106547?categoryId=491823#. [Geopend 2 Mei 2024].

[22] Mennens België, „Expert in staalkabels, hef- & hijsmateriaal & valbeveiliging | Mennens België," [Online]. Available: https://www.mennensbelgium.be/producten/ladingzekering/spanschroeven/prsj-powertex-gesloten-spanschroef-gaffel-gaffel-metrisch-p300110?categoryId=491800#. [Geopend 3 Mei 2024].

[23] FACOM, „1.440.24," [Online]. Available: https://www.facom-gereedschap.nl/nl/artnr/144024/ringsteeksleutel-ogv-24-mm. [Geopend 30 april 2024].

[24] International Organization for Standardization, „NBN EN ISO 4014," Juli 2022. [Online]. Available: https://edu.mynbn.be/pdfMeta/600199. [Geopend 28 Mei 2024].

[25] Deutsches Institut Für Normung e.V., *ISO 128 Allgemeine Grundlagen der Darstellung,* Berlijn: Beuth Verlag GmbH, 1999.

[26] Deutsches Institut Für Normung e.V., *DIN 824 Faltng auf Ablageformat,* Berlijn: Beuth Verlag GmbH, 1981.

[27] Anglo Belgian Corporation, *Sections,* Gent.

[28] Publicatieblad van de Europese Unie, *RICHTLIJN 2006/42/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD,* NBN, 2006.

[29] T. Lenoir, Lastechnologie, Gent, 2015.

[30] Deutsches Institut Für Normung e.V., DIN 1026-2: 2002-10, Berlijn: Beuth Verlag GmbH, 2002.

Ramses De Vuyst
Professionele Bachelor Ontwerp- en productietechnologie
Academiejaar 2023/2024

Ontwikkeling van een gereedschap voor (de)montage olie- en waterpompen van DV36-motoren

Berekeningen, ontwerp en uitwerking ter optimalisatie van montage van pompen en bijhorende pomphuizen

Bijlagen

Anglo Belgian Corporation
Wiedauwkaai 43
9000 Gent

Bijlage 1: Stagegegevens

STAGIAIR

Ramses De Vuyst

OPLEIDING

Ontwerp- en productietechnologie

ACADEMIEJAAR

2023/2024

STAGEPERIODE

12/02/2024 - 31/05/2024

STAGEBEGELEIDER

Dirk Pieters

STAGEPLAATS

Anglo Belgian Corporation

Wiedauwkaai 43

9000 Gent

STAGEMENTOR

Dany vanGoethem

dvg@abc-engines.com

Bijlage 2: Machinerichtlijn [28]

De machine en de hijs- of hefgereedschappen moeten zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat zij de overbelasting waaraan zij bij statische beproeving worden blootgesteld, zonder blijvende vervorming of kennelijk defect kunnen doorstaan. Bij de berekeningen van de sterkte moet worden gebruikgemaakt van de waarden van de statische-beproevingscoëfficiënt, die zodanig wordt gekozen dat een adequaat veiligheidsniveau is gewaarborgd. Deze coëfficiënt heeft in de regel de volgende waarden:

a) met fysieke kracht bediende machines en hijs- of hefgereedschappen: 1,5;

b) andere machines: 1,25.

De machine moet zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat zij zonder defect de dynamische beproeving, die wordt verricht met de maximale werklast vermenigvuldigd met de dynamische-beproevingscoëfficiënt, kan doorstaan. Deze dynamische-beproevingscoëfficiënt wordt zodanig gekozen dat een adequaat veiligheidsniveau is gewaarborgd; deze coëfficiënt bedraagt in de regel 1,1. Deze proeven worden in de regel uitgevoerd met de aangegeven nominale snelheden. Wanneer de bedieningskring van de machine meerdere gelijktijdige bewegingen toelaat, moeten de proeven worden uitgevoerd onder de ongunstigste omstandigheden, hetgeen over het algemeen het geval is wanneer de bewegingen worden gecombineerd.

Bijlage 3: Offertes

Offertenr: 202401918
Gelieve bij bestelling dit offertenr. te vermelden.

MENNENS

Aan	Van
Firma : Anglo Belgian Corporation Abc NV	Uw contact : Nathalie Vereecken
Att. :	18/04/2024 8:44
Tel :	T. +32 3 253 23 23
Email :	sales@mennensbelgium.be

Uw ref. : Duwloopkat / PLBW

Voorwaarden

Levertijd : overeen te komen
Verzending : DAP BE > 1500 EUR
Betaling : Netto 30 dagen faktuurdatum
: vanaf € 10.000 (indien geen voorafbetaling): 50% bij bestelling & 50% bij levering
: buitenlandse bedrijven altijd 100% voorafbetaling
1ste bestelling : orderwaarde minimaal € 250
BTW : exclusief 21%
Keuring : conform CE-reglementering / keuring EDTC op aanvraag
Geldigheid : 14 dagen
Kost : administratiekost bij bestelling < €250 : €25
Speciaal voor u op maat gemaakte producten kunnen niet teruggenomen worden.
Algemene verkoopsvoorwaarden.

Wist u dat sustainability heel belangrijk is voor ons bedrijf? Meer info vindt u op de site van ons moederbedrijf.
Mennens Belgium is gecertificeerd volgens VCA / ISO 9001 & ISO 14001.**
Begin 2023 ontvangen we ook onze certificatie voor ISO 45001 en de Safety Culture Ladder trede 2.

In onze prijzen is uw korting reeds verrekend

Product	Aantal	Prijs €/st
Powertex duwloopkat 500 kg. S2 Model PPT-S2, flensbreedte 130-215 mm.	2	138,80
Powertex duwloopkat 500 kg. S2 Model PPT-S2, flensbreedte 50-135 mm.	1	95,40
Pewag hijsoog Winner Profilift beta PLBW 1,6T M16 x 24 mm Hijsoog grade 100	2	77,50
DSR UP M16 L=80mm - Thread : M 16 - Specific length : 80 mm - WLL 90° : 2.00 t - Safety factor : 5	2	82,15
DSR UP M16 L=75mm - Thread : M 16 - Specific length : 75 mm - WLL 90° : 2.00 t - Safety factor : 5	2	150,15

Lifting Solutions Group
Axel Johnson International

LIFTING KNOW HOW

Mennens Belgium nv
Vitshoekstraat 10 – havennr. 1037
2070 Zwijndrecht – Belgium
BTW: BE 0434.388.071
www.mennensbelgium.be

Page 1 van 1

Offre : 202402668
Indiquer ce numéro sur votre commande svp

MENNENS

A	De
Société : Anglo Belgian Corporation Abc NV Att. :	Votre contact : Nathalie Vereecken 16/05/2024 9:34 T. +32 3 253 23 23 sales@mennensbelgium.be

Votre ref: AL oogbout / spanschroef Powertex

Conditions

Délai : à convenir
Livraison : DAP BE > 1500 EUR
Paiement : Netto 30 dagen faktuurdatum
: De € 10.000 (quand pas paiement anticipé): 50% commande – 50% livraison
: Les entreprises étrangères doivent toujours payer 100% d'avance
1ère commande : min. € 250
TVA : excl. 21%
Réception : avec CE // réception Vinçotte sur demande (pas inclus)
Validité : 14 jours
Frais : frais administrative pour commande < €250 : €25

Les produits fabriqués sur mesure ne seront pas repris.
Conditions de vente.

Saviez-vous que la durabilité est très importante pour notre entreprise ? Vous pouvez trouver plus d'informations sur le site de notre société mère.
Mennens Belgium est certifiée selon les normes VCA / ISO 9001 & ISO 14001.**
Au début de 2023, nous recevrons également notre certification pour la norme ISO 45001 et l'échelon 2 de l'échelle de la culture de la sécurité.

Votre réduction est déjà incluse dans nos prix

Produit	Quantité	Prix €/p
Excel gr. 80 oogbout AL16R M16 x 2,00 - WLL 1500 kg	4	23,10
POWERTEX Spanschroef M22 gaffel/gaffel werklast 2200kg	2	41,40

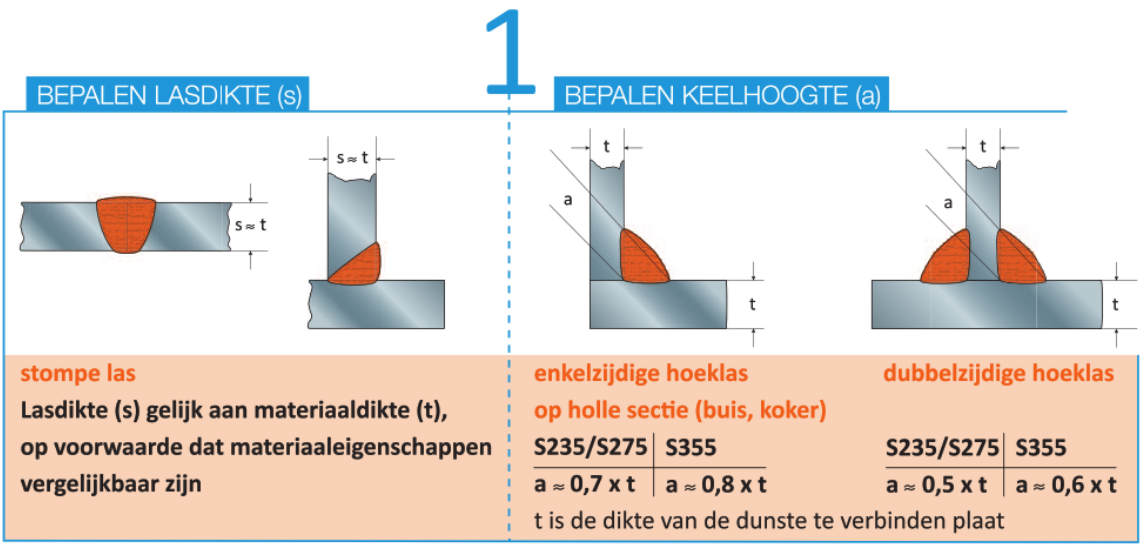
Lifting Solutions Group
Axel Johnson International

LIFTING KNOW HOW

Mennens Belgium nv
Vitshoekstraat 10 – havennr. 1037
2070 Zwijndrecht – Belgium
TVA: BE 0434.388.071
www.mennensbelgium.be

Page 1 van 1

Bijlage 4: Vuistregels lasberekeningen [15]



stompe las
Lasdikte (s) gelijk aan materiaaldikte (t), op voorwaarde dat materiaaleigenschappen vergelijkbaar zijn

enkelzijdige hoeklas op holle sectie (buis, koker)

S235/S275	S355
a ≈ 0,7 x t	a ≈ 0,8 x t

dubbelzijdige hoeklas

S235/S275	S355
a ≈ 0,5 x t	a ≈ 0,6 x t

t is de dikte van de dunste te verbinden plaat

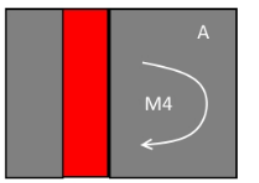
Bijlage 5: Cursus lastechnologie [29]

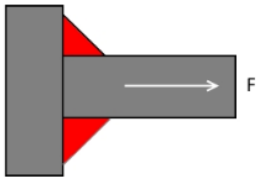
$$\sigma_{tot} = \sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))} \qquad (13.1)$$

Deze totale spanning dient kleiner of even groot te zijn als de toelaatbare spanning.

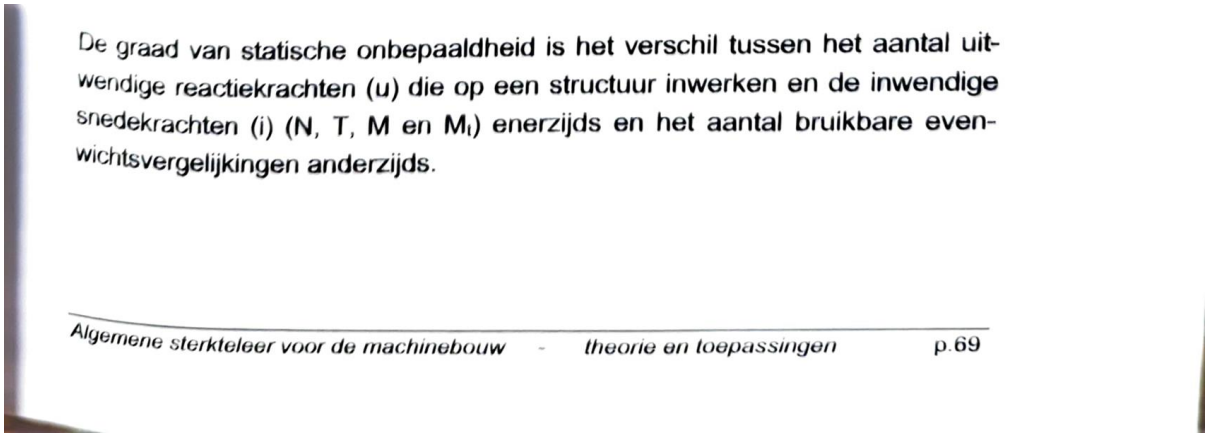
13.2.4 *Basisgeval 4: een buigmoment M4 in het vlak van plaat A*

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{3\sqrt{2}M}{L_{eff}^2 2a_{eff}} \qquad (13.5)$$





Bijlage 6: Cursus sterkteleer [16]



De graad van statische onbepaaldheid is het verschil tussen het aantal uitwendige reactiekrachten (u) die op een structuur inwerken en de inwendige snedekrachten (i) (N, T, M en M_t) enerzijds en het aantal bruikbare evenwichtsvergelijkingen anderzijds.

Algemene sterkteleer voor de machinebouw - theorie en toepassingen p.69

Het tellen van het aantal (on)bekende reactiekrachten, het aantal inwendige snedekrachten en het aantal bruikbare evenwichtsvergelijkingen kan gebeuren door de structuur vrij te maken.
Hiertoe brengt men een snede aan voor elke kracht door de omgeving uitgeoefend en voor elke kracht die door een verbinding binnen de structuur uitgeoefend wordt. Op die manier bekomt men een structuur die losstaat van de omgeving en zelf bestaat uit een aantal (d) losstaande delen.

De graad van statische onbepaaldheid g_s wordt dus voor vlakke staafstructuren :

$g_s = u + i - 3d$ en voor ruimtelijke staafstructuren : $g_s = u + i - 6d$.

Bijlage 7: Standaard aanhaalmomenten [19]

	NOMINAAL AANSPANKOPPEL VOOR SCHACHTBOUTEN NOMINAL TIGHTENING TORQUE FOR SHANK BOLTS								
	MONTAGE ASSEMBLY	MET MOLYKOTE OP DRAAD EN KOP WITH MOLYKOTE ON THREAD AND HEAD			MET LOCTITE WITH LOCTITE			DROOG DRY		
	WRIJVINGSCOEF. (GEMIDDELD) FRICTION COEF. (AVERAGE)	0.08			0.10			0.12		
	KLASSE/GRADE	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
	DRAAD THREAD SIZE	KOPPEL/TORQUE [Nm]	KOPPEL/TORQUE [Nm]	KOPPEL/TORQUE [Nm]	KOPPEL/TORQUE [Nm]	KOPPEL/TORQUE [Nm]	KOPPEL/TORQUE [Nm]	KOPPEL/TORQUE [Nm]	KOPPEL/TORQUE [Nm]	KOPPEL/TORQUE [Nm]
STANDAARD DRAAD STANDARD THREAD PITCH	M5	4.3	6.3	7.3	4.9	7.2	8.4	5.5	8.1	9.5
	M6	7.3	10.7	12.5	8.4	12.3	14.4	9.4	13.8	16.1
	M8	17.6	25.8	30.2	20.3	30	34.9	22.7	33.4	39.1
	M10	34.7	51	60	40.1	60	69	45.1	66	77
	M12	60	89	104	70	103	120	79	115	135
	M16	148	218	255	173	254	297	195	286	335
	M20	299	425	598	348	496	580	393	560	655
	M24	516	735	860	602	857	1002	679	967	1131
	M30	1021	1454	1702	1194	1700	1989	1350	1922	2249

Bijlage 8: Secties [27]

080-085	Spare parts - Tools - Instruction plates
80	Spare parts (normal)
81	Spare parts (according classification societies)
82	Spare part sets (in function of engine components)
83	Standard tools
84	Special tools for users and service stations
85	Company and instruction plates

Bijlage 9: Tabellenboek voor metaaltechniek [17]

Basistoleranties voor nieuwe constructies

DIN ISO 2768 1, 2: 1991-06

Basistoleranties voor lineaire maten en hoekmaten, vrijemaattoleranties.
voor onderdelen die vervaardigd worden door verspanen en vervormen

Nauwkeurigheidsgraad	Nominale maten in mm							
	vanaf 0,5 t.e.m. 3	meer dan 3 t.e.m. 6	meer dan 6 t.e.m. 30	meer dan 30 t.e.m. 120	meer dan 120 t.e.m. 400	meer dan 400 t.e.m. 1000	meer dan 1000 t.e.m. 2000	meer dan 2000 t.e.m. 4000
	maximale afwijkingen voor lineaire maten in mm							
f fijn	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	–
m middelmatig	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c grof	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v zeer grof	–	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

Nauwkeurigheidsgraad	Nominale maten in mm			Nominale maten voor hoeken: de lengte van het kortste been in mm				
	vanaf 0,5 t.e.m. 3	meer dan 3 t.e.m. 6	meer dan 6	tot 10	meer dan 10 t.e.m. 50	meer dan 50 t.e.m. 120	meer dan 120 t.e.m. 400	meer dan 400
	Afwijkingen voor afrondingsstralen en hoogten van afschuiningen in mm			Hoekmaatafwijkingen in graden				
f (fijn)	± 0,2	± 0,5	± 1	± 1°	± 30'	± 20'	± 10'	± 5'
m (middelmatig)								
c (grof)	± 0,4	± 1	± 2	± 1°30'	± 1°	± 30'	± 15'	± 10'
v (zeer grof)				± 3°	± 2°	± 1°	± 30'	± 20'

Aanduiding op de tekening bv. voor nauwkeurigheidsgraad "middelmatig": **ISO 2768-m**

Basistoleranties voor vorm en plaats

voor onderdelen die vervaardigd worden door verspanen en vervormen

Nauwkeurigheidsgraad	Nominale maten in mm						Basistolerantie voor de loop
	t.e.m. 10	meer dan 10 t.e.m. 30	meer dan 30 t.e.m. 100	meer dan 100 t.e.m. 300	meer dan 300 t.e.m. 1 000	meer dan 1 000 t.e.m. 3 000	
	Basistolerantie voor rechtheid en vlakheid in mm						
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,2
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6	0,5

Nauwkeurigheidsgraad	Nominale maten voor het kortste been in mm				Nominale maten in mm			
	t.e.m. 100	meer dan 100 t.e.m. 300	meer dan 300 t.e.m. 1 000	meer dan 1000 t.e.m. 3 000	t.e.m. 100	meer dan 100 t.e.m. 300	meer dan 300 t.e.m. 1 000	meer dan 1000 t.e.m. 3 000
	Basistolerantie voor loodrechtheid				Basistolerantie voor symmetrie			
H	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1	0,6	0,6	0,8	1
L	0,6	1	1,5	2	0,6	1	1,5	2

Aanduiding op de tekening (voorbeelden)

Bijlage 10: DIN 1026-2 [30]

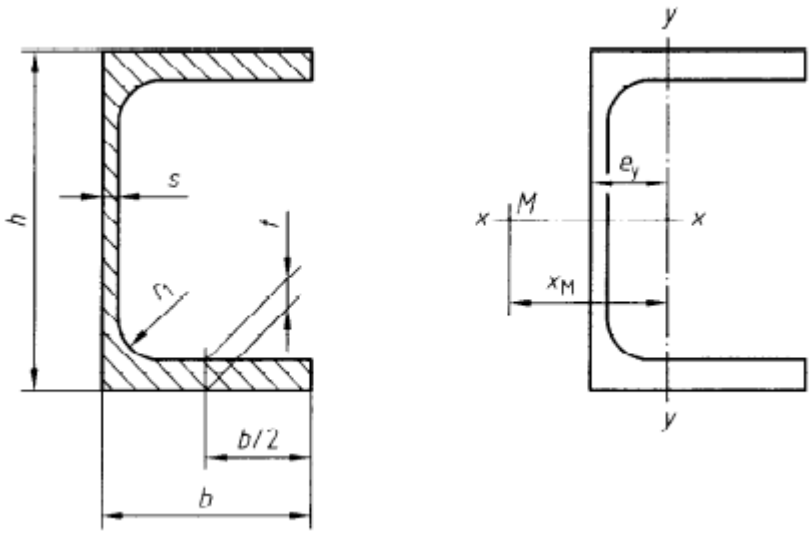


Table 1: Dimensions, mass and static parameters for steel channels with parallel flanges

Section size	Section geometry					Section area, in cm²	Mass, in kg/m	Surface area, in m²/m	Static parameters[1] about x – x axis			about y – y axis					Dimension e_y, in cm	
UPE	h	b	s	t	r_1	A	G	U	J_x cm⁴	W_x cm³	i_x cm	J_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm	S_x[2] cm³	s_x[3] cm		x_M[4] cm
80	80	50	4	7	10	10,1	7,90	0,343	107	26,8	3,26	25,5	8,0	1,59	15,6	6,87	1 82	3,71
100	100	55	4,5	7,5	10	12,5	9,82	0,402	207	41,4	4,07	38,3	10,6	1,75	24,0	8,62	1,91	3,93
120	120	60	5	8	12	15,4	12,1	0,460	364	60,6	4,86	55,5	13,8	1,90	35,2	10,3	1,98	4,12
140	140	65	5	9	12	18,4	14,5	0,520	600	85,6	5,71	78,8	18,2	2,07	49,4	12,1	2.17	4,54
160	160	70	5,5	9,5	12	21,7	17,0	0,579	911	114	6,48	107	22,8	2,22	65,8	13,9	2.27	4,76
180	180	75	5,5	10,5	12	25,1	19,7	0,639	1 350	150	7,34	144	28,6	2,39	86,5	15,7	2,47	5,19
200	200	80	6	11	13	29,0	22,8	0,697	1 910	191	8,11	187	34,5	2,54	110	17,4	2,56	5,41
220	220	85	6,5	12	13	33,9	26,6	0,756	2 580	244	8,90	247	42,5	2,70	141	19,1	2,70	5,70
240	240	90	7	12,5	15	38,5	30,2	0,813	3 600	300	9,67	311	50,1	2,84	173	20,8	2,79	5,91
270	270	95	7,5	13,5	15	44,8	35,2	0,892	5 250	389	10,8	401	60,7	2,99	226	23,3	2,89	6,14
300	300	100	9,5	15	15	56,6	44.4	0,988	7 820	522	11,8	538	75,6	3,08	307	25,5	2,89	6,03
330	330	105	11	16	18	67,8	53.2	1,043	11 010	667	12,7	682	89,7	3,17	396	27,8	2,90	6,00
360	360	110	12	17	18	77,9	61.2	1,121	14 830	824	13,8	844	105	3,29	491	30,2	2,97	6,12
400	400	115	13,5	18	18	91,9	72.2	1,218	20 980	1 050	15,1	1 050	123	3,37	631	33,2	2,98	6,06

Section area, surface area and static parameters have been calculated from the dimensions given in the table.

[1] J = moment of inertia, W = section modulus, i = radius of gyration.
[2] S_x = moment of first order of half the cross section.
[3] $s_x = J_x : S_x$ = distance between centres of compression and tension.
[4] x_M = distance of shear centre (M) from $y - y$ axis.

Bijlage 11: Datasheets aankooponderdelen

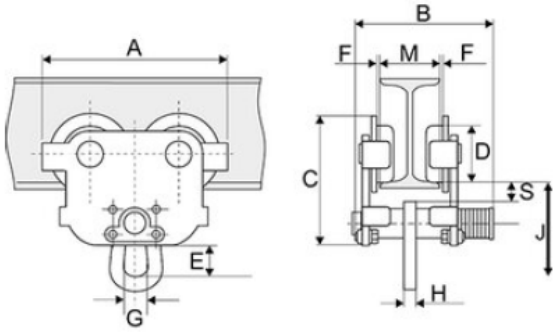
11.1 POWERTEX PPT-S2 Duwloopkat [5]

Dimensions

WLL (ton)	Beam width M (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	J (mm)	L (mm)	S (mm)
0,5	50-135	205	198	150	55	30	1,5 – 2	28	8	111	239	27
0,5	130-215	205	278	150	55	30	1,5 – 2	28	8	111	319	27
0,5	215-300	205	363	150	55	30	1,5 – 2	28	8	111	404	27
1	55-140	242	211	174	68	30	1,5 – 2	32	10	118	254	28
1	140-215	242	286	174	68	30	1,5 – 2	32	10	118	329	28
1	215-300	242	371	174	68	30	1,5 – 2	32	10	118	414	28
2	65-155	270	238	194	80	49	1,5 – 2	40	12	147	277	27
2	150-230	270	313	194	80	49	1,5 – 2	40	12	147	352	27
2	230-300	270	383	194	80	49	1,5 – 2	40	12	147	422	27
3	90-160	325	246	234	100	60	2 – 3	49	14	177	287	29
3	160-230	325	316	234	100	60	2 – 3	49	14	177	357	29
3	230-300	325	386	234	100	60	2 – 3	49	14	177	427	29
5	90-180	370	280	267	110	79	2 – 3	59	16	219	320	29
5	180-230	370	330	267	110	79	2 – 3	59	16	219	370	29
5	230-300	370	400	267	110	79	2 – 3	59	16	219	440	29
10	124-305	442	-	396	136	137	2 – 3,5	92	30	190	525	45

Safety factor: 4:1
Dynamic test coefficient: WLL x 1,5
Generally according to EN 13157

Bekijk maattekening - 16.05PPTS2005B



A	205
B	278
C	150
D	55
E	30
F	1,5 - 2
G	28
H	8
J	111
S	27

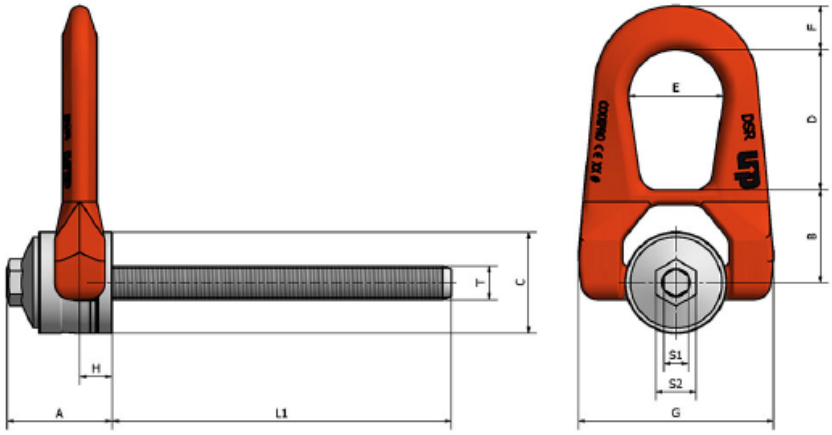
11.2 Pewag PLBW Hijsoog [12]

Merk op dat dit hijsoog in de offerte vervangen werd door een DSR UP hijsoog met dezelfde specificaties, maar met een op maat gemaakte as met lengte 80 mm.

CODIPRO GROUP ALIPA

Page 1 / 2

ITEM N° 1 (20240417-BE0049-1)



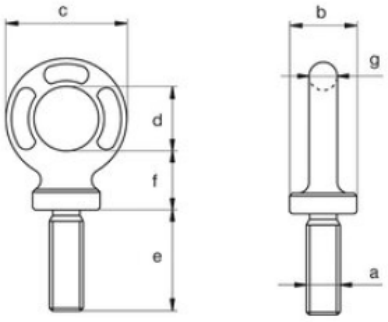
DESCRIPTION

REFERENCE	DSR_UP_DIVERS_DSR2
DIAMETER T	M 16
WLL AT 90°	2.00 t
WLL AT 0°	2.70 t
SAFETY FACTOR	5
L1	80 mm
LENGTH UNTHREADED PART	0 mm
TORQUE	50 Nm
A	45 mm
B	40 mm
C	45 mm
D	53 mm
E	38 mm
F	17 mm
G	76 mm
H	13 mm
S1	8 mm
S2	20 mm
WEIGHT	0.98 kg

11.3 AL Oogbout Gr.8 [21]

MENNENS | Lifting Solutions Group

Bekijk maattekening - 11.40GPAL16R



a	16
b	36
c	65
d	35
e	53
f	30
g	14

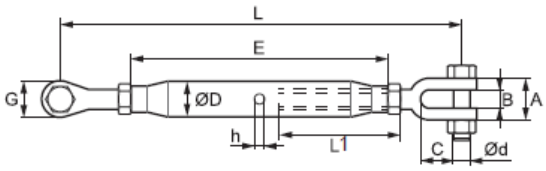
11.4 PRSJ POWERTEX Gesloten spanschroef gaffel-gaffel metrisch [22]

POWERTEX

POWERTEX Spanschroef gesloten huis Gebruikersinstructies (NL)

WAARSCHUWING

- Niet-naleving van de voorschriften in deze montage-instructies kan ernstige gevolgen hebben, zoals risico op verwonding.
- Lees en begrijp deze instructies alvorens gebruik.



Draad	WLL ton	A	B	C	D mm	E	G	d	h	L1 mm	L min. mm	L max. mm	Gewicht kg
M6*	0,2	19	7 $^{+0,8}_{-0,5}$	16	14,5	100	12	M5	6,5	54	180	255	0,13
M8*	0,32	23	9 $^{+0,8}_{-0,5}$	22	17,2	108	14	M6	8,5	59	210	285	0,25
M10	0,5	26	10 $^{+1,0}_{-0,5}$	21	17,2	150	17	M8	7	79	250	360	0,3
M12	0,7	33	13 $^{+1,0}_{-0,5}$	26	21,3	195	22	M10	8	106	330	480	0,65
M16	1,2	42	18 $^{+1,0}_{-0,5}$	32	27	230	26	M12	8	122	395	580	1,25
M20	1,5	50	20 $^{+1,0}_{-0,5}$	38	34	270	32	M16	12	145	460	680	2,2
M22	2,2	44	25 $^{+1,5}_{-0,8}$	50	34	295	46	M20	12	160	500	720	3,3
M24	3,2	51	28 $^{+1,5}_{-0,8}$	54	42	325	52	M22	12	175	555	800	4,6
M33	4,8	62	38 $^{+1,5}_{-1,0}$	71,5	50	370	60	M27	12	220	700	970	8,5
M39	6	79	45 $^{+1,5}_{-1,0}$	83,5	60,3	400	75	M33	16	230	780	1060	15
M45	8,5	94	50 ±2	86	76	400	85	M39	16	235	800	1050	21
M52	11	98	58 ±2	97,5	76	400	92	M45	16	240	825	1050	24

**M6 en M8 Niet voor hijstoepassingen.*

Tolerantie ±5%.

Algemeen: Voor het spannen van touwen, kabels en dergelijke. Met borgmoeren. Splijtpen roestvrij AISI 304.
Alle takelschroeven zijn individueel getest en genummerd.
Stempeling: M6 + M8: POWERTEX, 0,2T of 0,32T, batchnummer (geen CE en WLL)
M10-M52: POWERTEX, WLL xxT, CE, batchnummer.
Penbout: Thermisch verzinkt + Blauw geverfd RAL5017.
Moer op de bout: Thermisch verzinkt + rood geverfd RAL3018.
Kwaliteit/klasse: 4.6
Afwerking: Thermisch verzinkt (M6 en M8 elektrolytisch verzinkt).
Veiligheidsfactor: 5:1.

5. Temperatuurbereik: -20°C - +200°C.

6. Probeer nooit de binnenbreedte van een eindstuk te verminderen door op de gaffelogen te drukken of door rondellen/afstandshouders op de ogen te lassen - deze handeling maakt het testcertificaat ongeldig.

7. **Voor het hijsen!** Pas de lengte niet aan onder belasting.

Einde van het gebruik/Afvoer
POWERTEX-spanschroeven moeten altijd worden gesorteerd/verwijderd als algemeen staalschroot.
Het hoofdmateriaal is C15 en thermisch verzinkt. De splijtpen is AISI