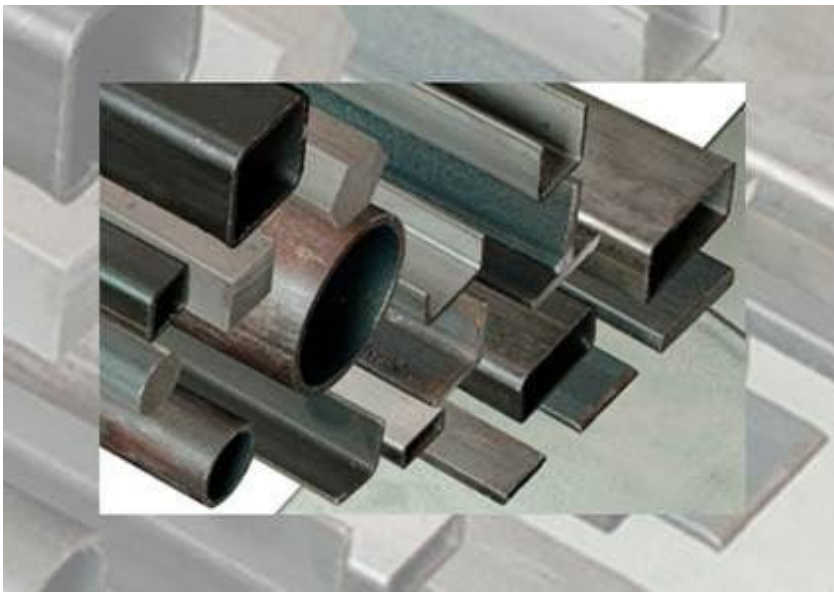




Bijlagen behorende bij het afstudeerverslag

Constructie uit plaat of profiel?

Jeremy Driehuijs 09002723

Bedrijfsbegeleider: Gertjan Vermaas
Arnold Rodenburg

Afstudeercoach: E.F. Erdurcan

Datum: 6-6-2013

Inhoudsopgave

Bijlage I: Opdracht vanuit SAS	3
Bijlage II: Berekeningen voor het verschil tussen plaat en profiel	6
Bijlage III: Tekening van een meetschijf	11
Bijlage IV: Tekeningen voor de laskosten en de laslengte	13
Bijlage V: Één berekening uitgewerkt voor een meetschijf	16
Bijlage VI: Handleiding voor het Excel document	31
Bijlage VII: Grafieken van omslagpunten voor meetschijven.....	38
Bijlage VIII: Reflectierapport.....	43

Bijlage I: Opdracht vanuit SAS

Op de volgende pagina's is de opdracht te zien welke is ontvangen vooraf aan het afstudeertraject van het afstudeerbedrijf, SAS Offshore BV.

Haagse Hogeschool - Delft
Lorentzschans 6
2728 GS Zoetermeer



Ter attentie van **Jeremy Driehuijs**

SAS WINCHES BV
Bedrijfsweg 23
2404 CB Alphen a/d Rijn
The Netherlands
Tel. +31-88 182 22 00
Fax +31-88 182 22 10
E-mail: mail@saswinches.nl
Website: www.saswinches.nl
KvK: 24428270

Datum : 30 november 2012
Uw ref. nr. : Afstuderen 2013
Ons ref. nr. : LTR_20121130_gjv_
Onderwerp : Voorstel afstudeeropdracht
Aant. pagina's:
Kopie aan : RST, MVL

Beste Jeremy ,

Bedankt voor je bezoek vandaag aan SAS Winches BV.

Wij bieden je graag de mogelijkheid om binnen de afdeling Mechanical Engineering je afstudeeropdracht uit te voeren.

In de bijlage ons voorstel voor de opdracht die we vandaag samen besproken hebben.

Met vriendelijke groet,

SAS WINCHES BV

Gertjan Vermaas
Lead Engineer Mechanical

Titel: Constructie uit plaat of profielen?
Vakgebied: Werktuigbouwkunde: Ontwerpen/Construeren
Opdracht: Afstuderen - HBO niveau

Omschrijving:

Tensioners worden opgebouwd uit profielen. De machine bestaat uit een frame waarbinnen de trackbodies bewegen. Lieren worden opgebouwd uit staalplaat. Het frame van machine bestaat uit platen met verstijvingen. Bij zwaar belaste lieren wordt het frame samengebouwd tot een 'doosconstructie'.

Als constructies groter in afmeting worden dan is de keuze voor profielen op basis van ronde buis of rechthoekige (samengestelde) koker economisch aantrekkelijker. Bij projecten wordt er nauwelijks een afweging gemaakt of een plaatconstructie of toch een open frame moet worden gekozen.

Het doel is het omslagpunt te bepalen tussen plaatconstructie of een frame op basis van profielen (vakwerkconstructie). Een analyse van de verschillende methoden van construeren met plaat of profielen is een eerste start van de opdracht.

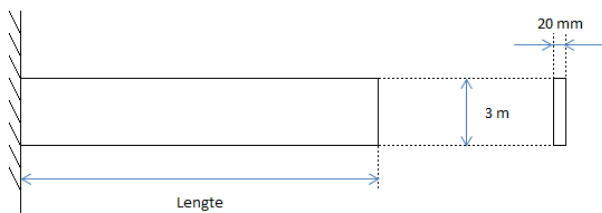
Daarna wordt een redesign uitgevoerd op de frames voor (meet)schijven voor een recent geleverd project. Meetschijven zijn een belangrijk onderdeel van de systemen die SAS levert. Een geoptimaliseerde constructie is dus gewenst waarbij het omslagpunt een praktisch hulpmiddel kan zijn.

De opdracht wordt afgesloten met een kennisdocument waarin constructieregels zijn opgenomen voor het construeren met plaat en met buis. De theorie om het omslagpunt te bepalen is op een praktische manier vertaald en voor iedere constructeur bruikbaar. Tot slot is de theorie praktisch toegepast in een herontwerp van een veelgebruikte constructie.

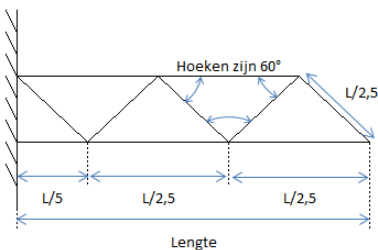
Bijlage II: Berekeningen voor het verschil tussen plaat en profiel

Om een goede vergelijking te kunnen maken van het verschil tussen een plaat, een buis en een vakwerk, is er een berekening gemaakt voor de doorbuiging. Daarnaast is er voor een plaat en een vakwerk een berekening gemaakt voor de windbelasting. Ten slotte is er voor plaat en buis een berekening gemaakt voor de laslengte, de snij lengte en voor het verfooppervlak.

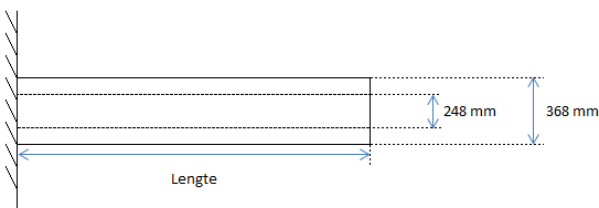
Om de vergelijking goed te kunnen uitvoeren is ervoor gekozen om het volume van de drie verschillende constructies gelijk te houden. In Figuur 1, Figuur 2, en Figuur 3 zijn de drie constructies weergegeven met de maten erin vermeld. De kracht is aan het uiteinde van de constructie geplaatst en bedraagt 50 kN en de richting van de kracht is naar beneden.



Figuur 1: Plaatconstructie



Figuur 2: Vakwerkconstructie

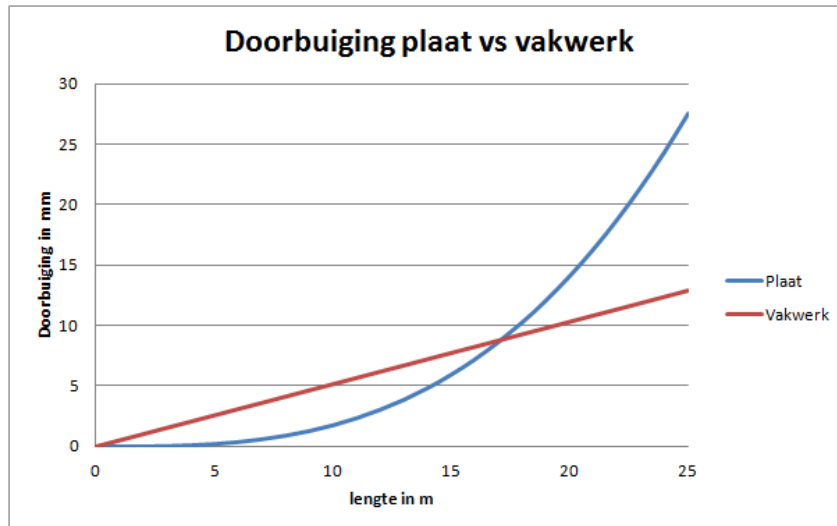


Figuur 3: Buisconstructie

Doorbuiging

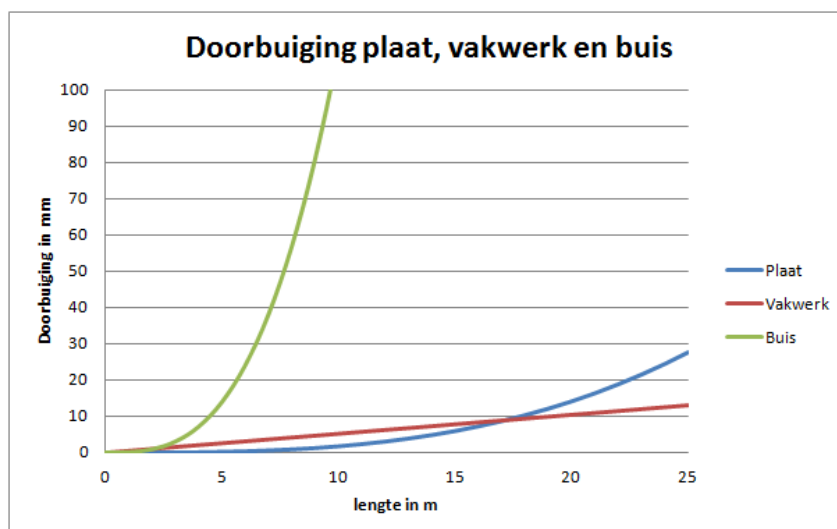
Eerst zijn er een aantal willekeurige maten voor een plaat genomen, en is de plaat berekend op buiging. Daarna is het volume van de plaat berekend, om hiermee de diameter van de staven van het vakwerk te kunnen bepalen. De staven van het vakwerk hebben, op één staaf na, allemaal dezelfde lengte (zoals ook is te zien in Figuur 2).

Hierna is ook de doorbuiging van het vakwerk berekend door middel van de Eindige Elementen Methode. De berekeningen van de doorbuiging zijn uitgevoerd zonder een lengte in te voeren, zo kan de doorbuiging in een grafiek worden uitgezet tegen de lengte. De grafiek is in Figuur 4 te zien.



Figuur 4: Doorbuiging plaat vs vakwerk

Nadat dit was gedaan is er voor gekozen dat ook een buis moet worden meegenomen met de vergelijking. Ook voor de afmetingen van de buis is van hetzelfde volume als bij de plaat en bij het vakwerk uitgegaan. De berekening voor de buis is, net zoals de berekening voor het vakwerk, ook met de Eindige Elementen Methode gedaan. Ook deze berekening is gedaan zonder de lengte mee te nemen. In Figuur 5 is de grafiek te zien waarbij ook de buis is meegenomen.



Figuur 5: Doorbuiging plaat, vakwerk en buis

Windbelasting

De windbelasting is alleen berekend voor een plaat en voor een vakwerk. De windbelasting is berekend volgens het Lloyds lifting appliances.

De windbelasting voor een plaat is berekend met afmetingen zoals te zien is in Figuur 1 en een lengte van 12 meter.

$$F_w = A * p * C_f$$

Met:

- A = Effectief oppervlak loodrecht in de windrichting in m^2
- p = Winddruk in N/m^2
- C_f = Kracht coëfficiënt in windrichting (deze moet uit een tabel worden gehaald)

$$A = h * l = 3 * 12 = 36 m^2$$

$$p = 0,613 * windsnelheid = 0,613 * 20^2 = 245,2 N/m^2$$

$$C_f = 1,55$$

$$F_w = A * p * C_f = 36 * 245,2 * 1,55 = 13682,16 N = 13,68 kN$$

Dit betekend dat de windbelasting op een plaat 13,68 kN is.

De windbelasting voor een vakwerk is berekend met afmetingen zoals te zien is in Figuur 2 en ook een lengte van 12 meter.

$$F_w = A * p * C_f * \left(\frac{1 - \eta^n}{1 - \eta} \right)$$

Met:

- A = Effectief oppervlak loodrecht in de windrichting in m^2
- p = Winddruk in N/m^2
- C_f = Kracht coëfficiënt in windrichting (deze moet uit een tabel worden gehaald)
- η = Shielding factor (deze moet uit een tabel worden gehaald)
- n = Aantal vakwerken achter elkaar

$$A = 9 * \frac{l}{2,5} * 0,07 + \frac{l}{5} * 0,07 = 9 * \frac{12}{2,5} * 0,07 + \frac{12}{5} * 0,07 = 3,192 m^2$$

$$p = 0,613 * windsnelheid = 0,613 * 20^2 = 245,2 N/m^2$$

$$C_f = 1,55$$

$$A/A_c = 0,064; a/b = 1,155 \rightarrow \eta = 0,92$$

$$n = 2$$

$$F_w = A * p * C_f * \left(\frac{1 - \eta^n}{1 - \eta} \right) = 3,192 * 245,2 * 1,55 * \left(\frac{1 - 0,92^2}{1 - 0,92} \right) = 2329,25 \text{ N} = 2,33 \text{ kN}$$

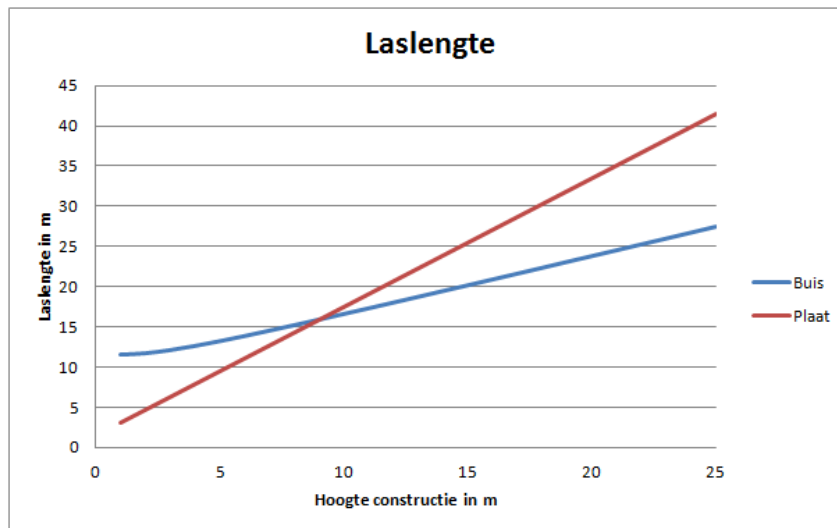
Dit betekent dat de windbelasting op een vakwerk 2,33 kN is.

De conclusie van deze berekening is dan ook dat een vakwerk veel minder windbelasting ondergaat dan een plaat.

Laslengte

De laslengte is alleen berekend voor een buis en een plaat. Bij het berekenen van de laslengte is, net zoals bij de doorbuiging, geen hoogte van de constructie ingevoerd, zodat de laslengte in een grafiek uitgezet kan worden tegen de hoogte van de constructie. De grafiek is te zien in Figuur 6.

Bij het berekenen van de laslengte voor de buis is er rekening gehouden dat er een diagonale buis wordt gebruikt en dat deze aan de rechtopstaande buis wordt bevestigd door een plaat tussen de twee buizen te lassen.

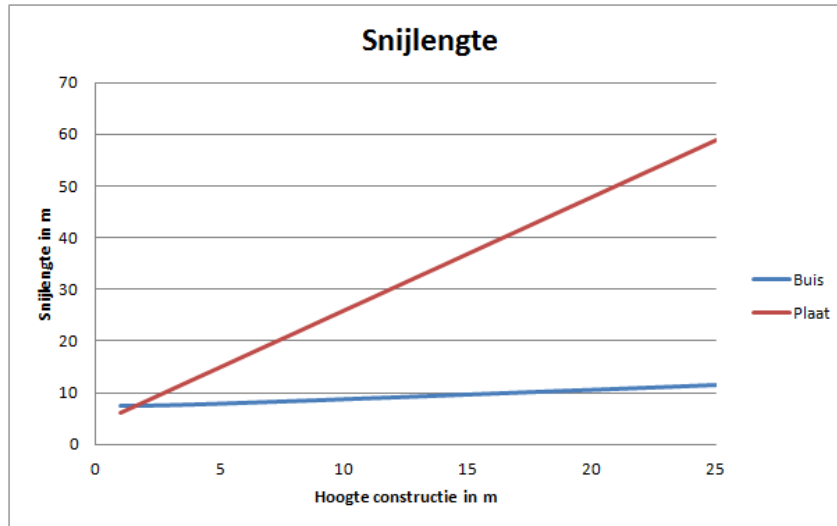


Figuur 6: Laslengte

Snij lengte

Met het berekenen van de snij lengte voor de buis, is rekening gehouden dat er een diagonale buis wordt toegepast, met bevestiging van de buizen aan elkaar door middel van een plaat.

De grafiek van de snij lengte uitgezet tegen de hoogte van de constructie is te zien in Figuur 7.

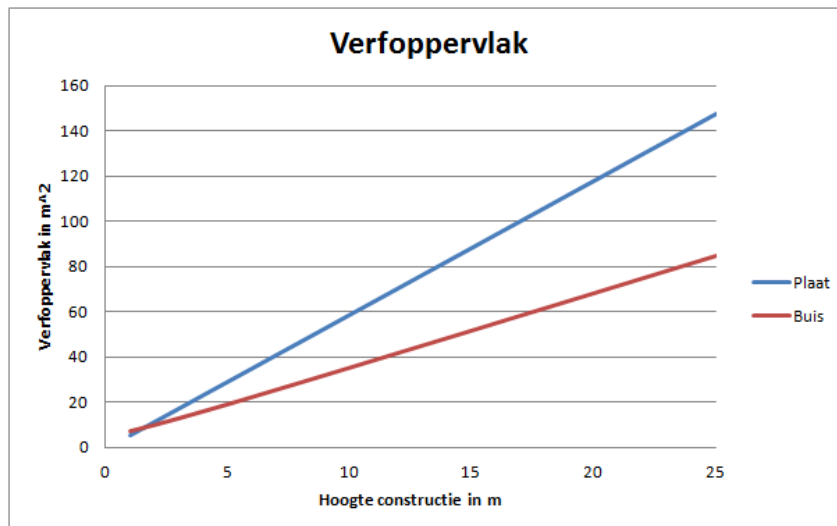


Figuur 7: Snij lengte

Conserveren

Bij het berekenen van het verfoppervlak is bij buis rekening gehouden dat er een diagonale buis wordt toegepast.

De grafiek van het verfoppervlak uitgezet tegen de hoogte van de constructie is te zien in Figuur 8.

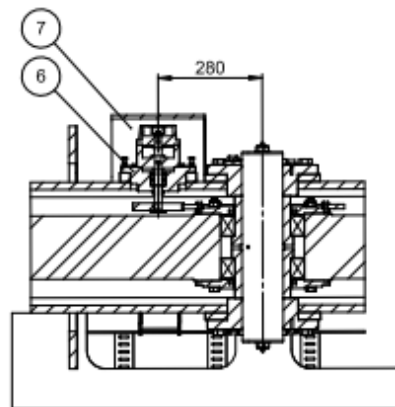


Figuur 8: Verfoppervlak

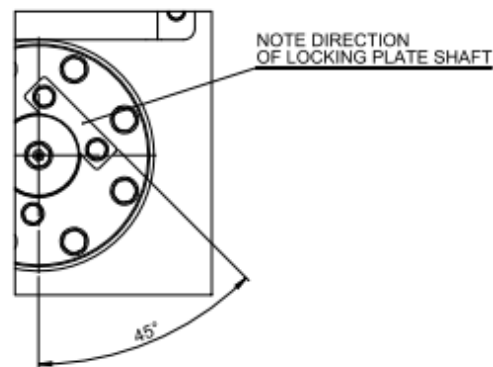
Bijlage III: Tekening van een meetschijf

Op de volgende pagina is een tekening te zien van de meetschijf die is gebruikt bij het onderzoek naar de constructies die SAS maakt.

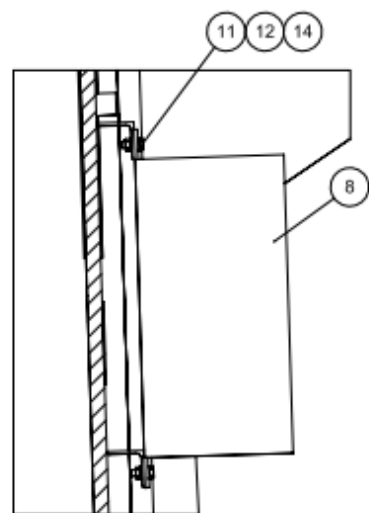
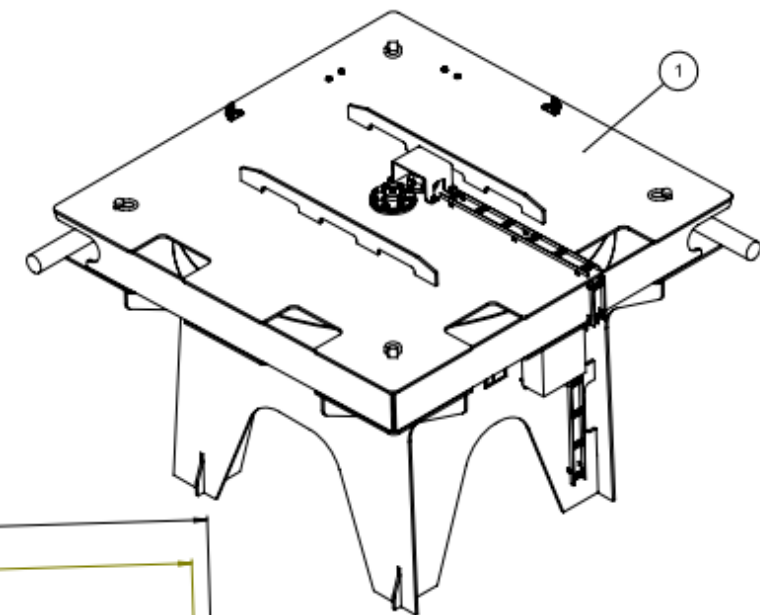
Daarnaast is deze meetschijf ook gebruikt voor de, in bijlage V, uitgewerkte berekening.



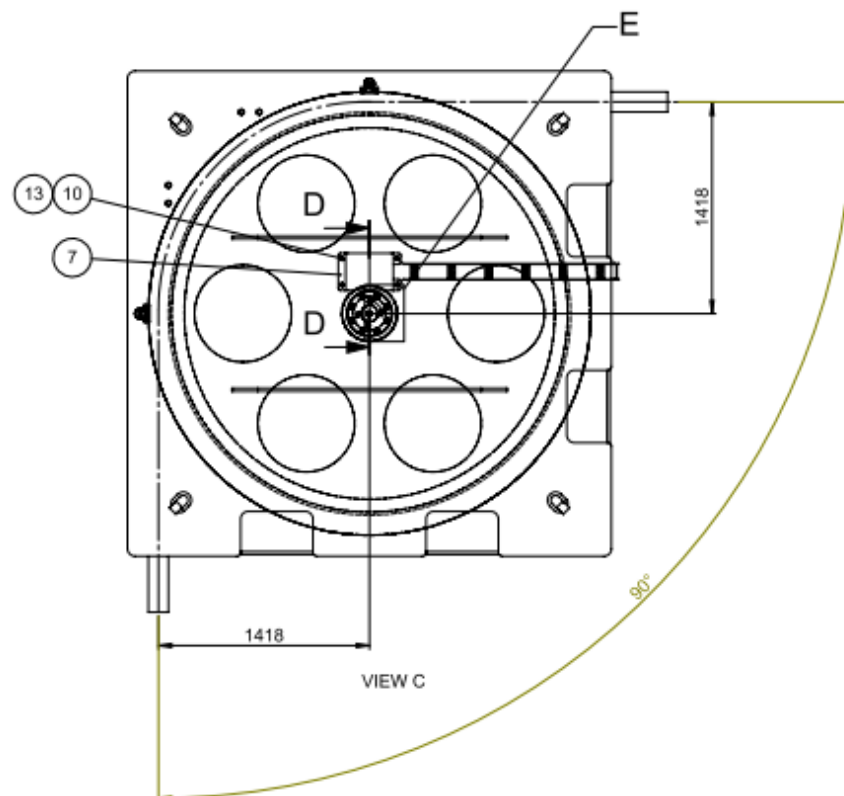
SECTION D-D
SCALE 1:10



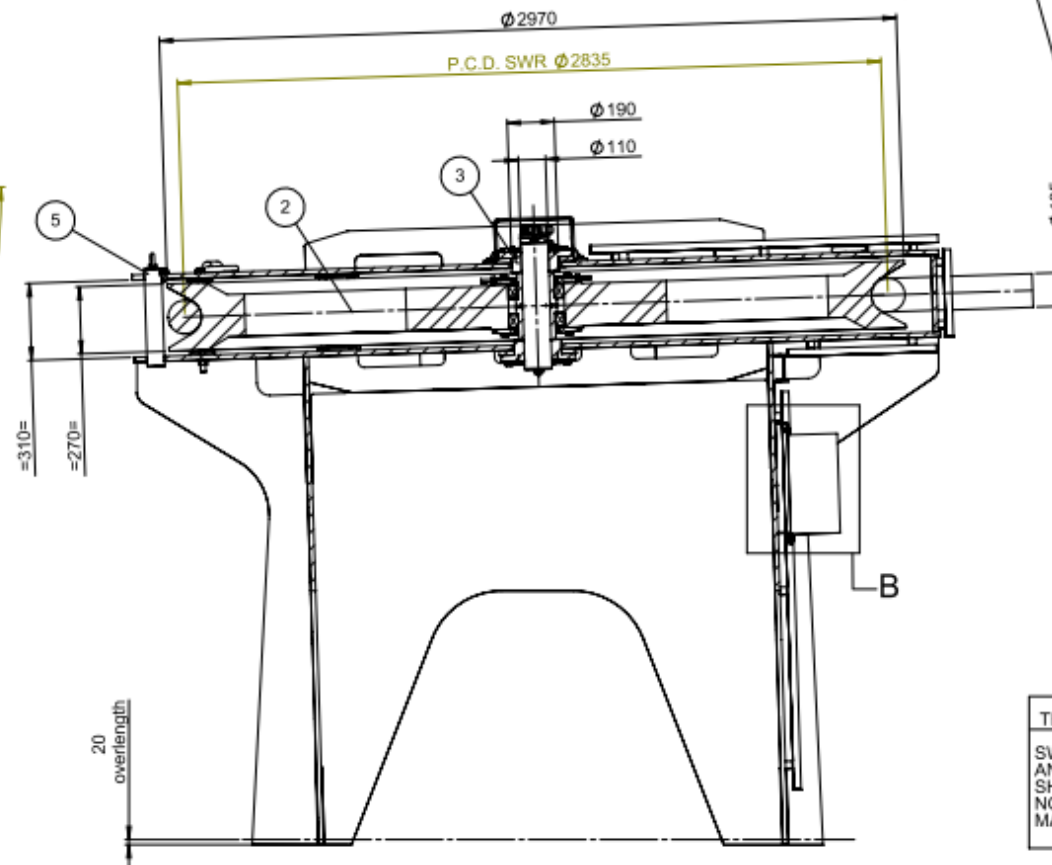
DETAIL E
SCALE 1:5



DETAIL B
SCALE 1:5



VIEW C

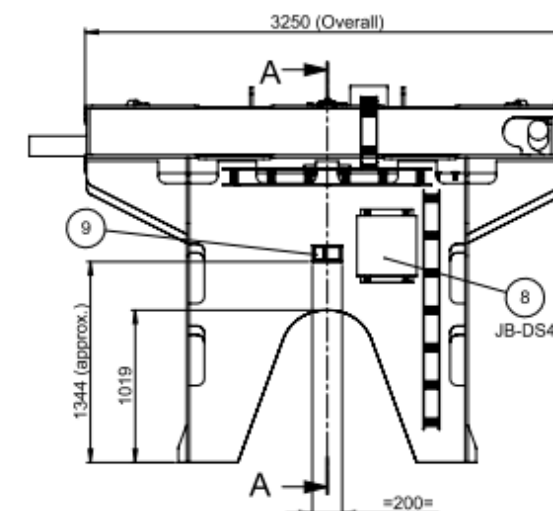
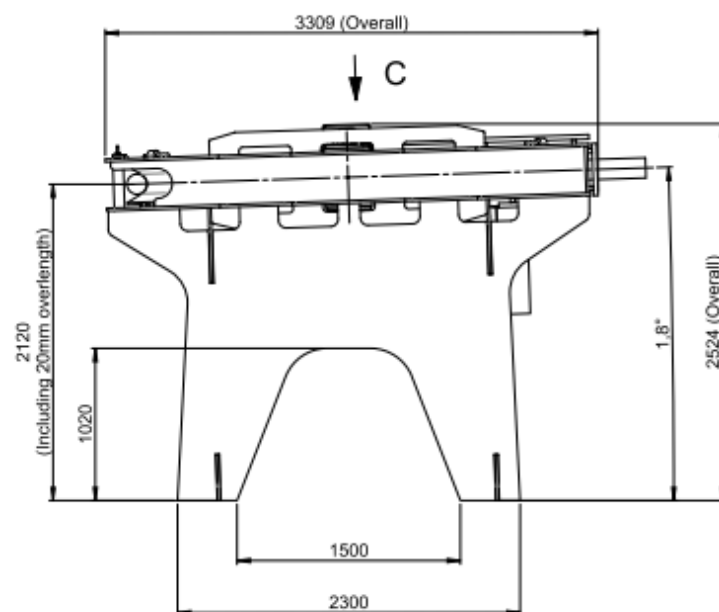
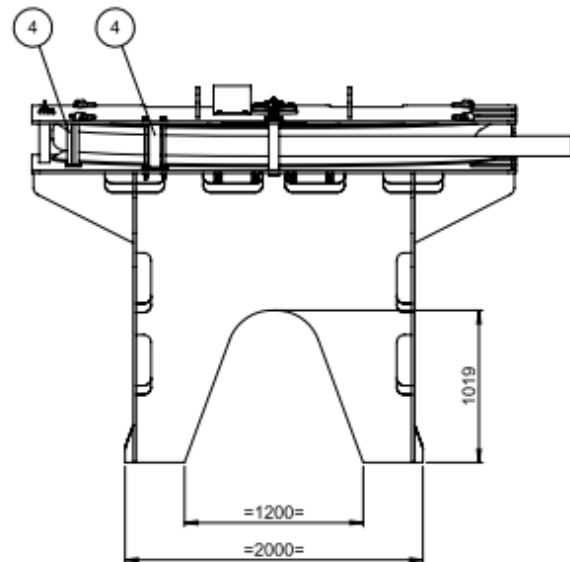


SECTION A-A
SCALE 1:15

SL 8.8	TORQUE (Dry) Nm	TORQUE (Loctite) Nm	TORQUE (Copaslip) Nm
M8	21	19	17
M10	42	38	34
M12	73	66	58
M16	180	162	144
M20	351	316	281
M24	607	546	486
M27	888	799	710
M30	1206	1085	965
M36	2108	1897	1686

NOTE:
LOCK NUTS TO BE USED WITH
COPASLIP. USE THE TORQUES FROM
COLUMN 1 (Dry).

TECHNICAL SPECIFICATIONS:			
SWR RANGE:	Ø135 (mm)		
ANGLE OF SWR:	90 (deg)		
SHEAVE PITCH DIAMETER:	Ø2835 (mm)		
NOMINAL PULL LOAD:	20 (t)		
MAXIMUM BRAKE LOAD:	25 (t)		



DIVERTER SHEAVE 4

ITEM	QTY	DESCRIPTION	SPECIFICATION	MATERIAL	SIZE	DT	DOC ID
14	4	Hex nut	M8 SL 8 ELVZ (DIN 934)	SL 8	M8	50	00000070
13	4	Plain washer	M12 SL ELVZ DIN 125-1 A	SL	M12	50	00000751
12	8	Plain washer	M8 SL ELVZ DIN 125-1 A	SL	M8	50	00000749
11	4	Hex head screw	M8x25 SL 8.8 ELVZ (DIN 933)	SL 8.8	M8x25	50	00000296
10	4	Hex head screw	M12x20 SL 8.8 ELVZ (DIN 933)	SL 8.8	M12x20	50	00000146
9	1	Type plate	Machine type Guide sheave			50	00005021
8	1	Junction box		Steel (Plain)	400x300x250	54	00023885
7	1	Plate folded	Ø=10	Ø25x3x16 (EN15525)	Ø=10	34	00024167
6	1	Rotary encoder	Double encoder			11	00023307
5	2	Locking pin				11	00015071
4	2	Guide sheaves frame	Hor. Ø135mm 25mm			11	00015028
3	1	Guide sheaves	Shaft assembly			11	00015023
2	1	Guide sheaves	Hor. Ø135mm 25mm			11	00015063
1	1	Guide sheaves frame	Hor. Ø135mm 25mm			12	00015062

DRAWN BY:	dgi	2011/05/06	MATERIAL:	
MODIFIED BY:	WV	2011/09/22	WEIGHT:	6737 kg
CHECKED BY:	WV	2011/09/22	SCALE:	1:25
RELEASED BY:	mbr	2011/09/22	STATUS:	Released
GENERAL TOLERANCES:				
MACHINING: FRACTIONAL AND DECIMAL DIMENSIONS: 1:125				
PROJECTION: FIRST ANGLE				
BREAK ALL EDGES				
Machine top assembly				
DESCRIPTION:				
Guide sheaves Hor. Ø135mm 25mm				
SAS				
Telling 1 Tel: +31 (0)20-638800 P1-9277-WA-300-M-N-117				
2803 PK Guide Fax: +31 (0)20-634443 P1-9277-W				
The Netherlands E-mail: mail@sasgroup.nl				
SIZE: A1				
DRAWING No: 01.00018982				
SHEET: 1/1				
REV: A				

Bijlage IV: Tekeningen voor de laskosten en de laslengte

Op de volgende twee pagina's zijn twee tekeningen te zien. Één tekening is van een samengestelde plaatconstructie en één tekening is van een buisconstructie. De tekeningen zijn gebruikt om meer inzicht in de laslengte van beide constructies te krijgen.

4

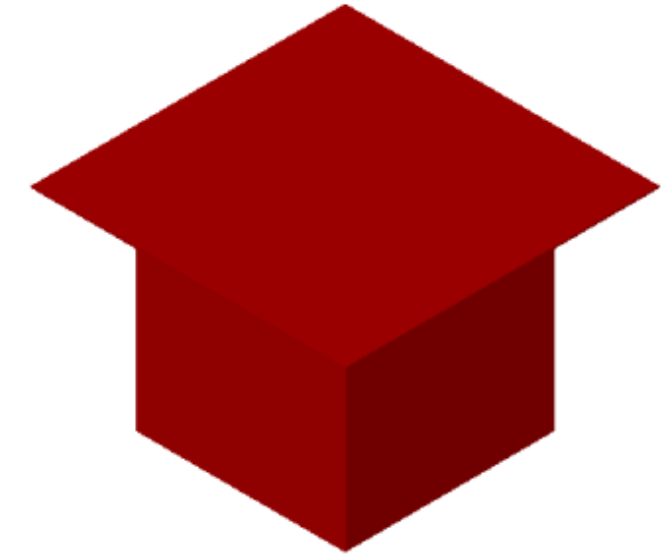
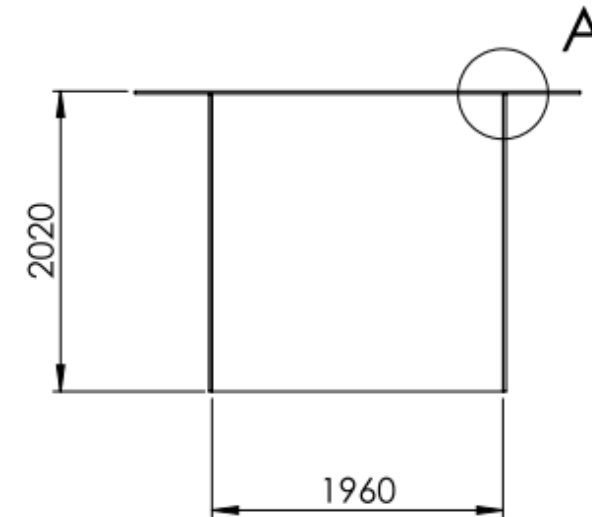
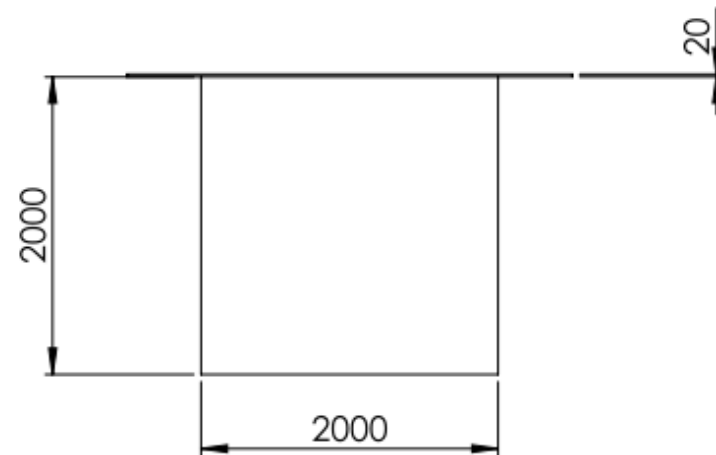
3

2

1

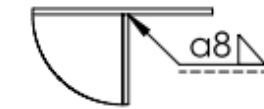
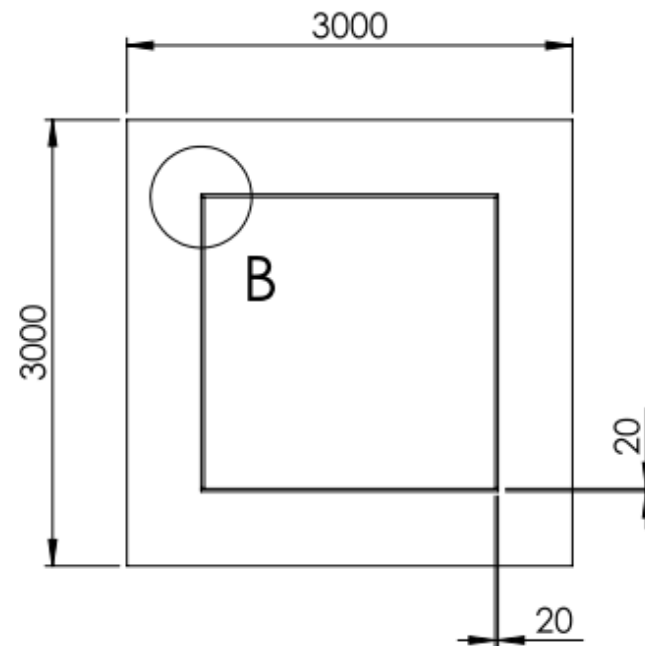
REV. DATE MODIFIED BY REVISION DESCRIPTION

C



C

B

DETAIL A
SCALE 1 : 25

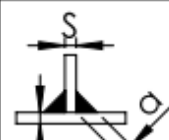
B

WELDING INSTRUCTIONS

WELDING INSPECTION ACCORDING AWS D1.1-(LATEST REVISION)

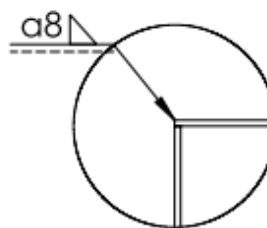
 DESIGNATED AREA TO BE CHECKED FOR LAMINATIONS
ACCORDING: EN 10160 S2E2 (SELL-072-77 CLASS 3)

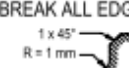
ALL WELDS ACC. TO SAS APPROVED WPS/WPQ

SINGLE SIDED WELDS CLASS 4, DOUBLE SIDE WELDS CLASS 5
UNLESS OTHERWISE INDICATED WELDING DIFFERENT SIZES OF PLATES:
THE SMALLEST PLATE THICKNESS OF THE WELDING JOINT WILL
BE TAKEN TO DETERMINE THE a-SIZE UNLESS OTHERWISE
INDICATED ON THE DRAWING.
ALL WELDING WILL BE CONTINUOUSLY AROUND THE WELDING
JOINT.

SIZE OF FILLET WELDS "a"

PLATE THICKNESS (S)	6	8	10	12	15	20	25	30	>30
CLASS 4 (1 SIDED WELD)	3	4	5	6	7	8	10	12	15
CLASS 5 (2 SIDED WELD)	3	3	4	5	6	7	8	10	12

DETAIL B
SCALE 1 : 25

DRAWN BY:	MATERIAL:	MATERIAL CODE ACCORDING TO SAS MATERIAL DATA SHEET FOR ALL ADDITIONAL REQUIREMENTS SEE SAS MATERIAL DATA SHEET
MODIFIED BY:	WEIGHT: 3905 kg	
CHECKED BY:	SCALE: 1:50	
RELEASED BY:	STATUS: New	
GENERAL TOLERANCES: MACHINED PARTS AND STRUCTURES ISO 2768 - mK WELDED STRUCTURES ISO 13920 - AE ROUGHNESS ISO 4287 - $\mu\text{m Ra}$ UNLESS STATED OTHERWISE (SEE ALSO T.P.R. DOCUMENT)	PROJECTION 	BREAK ALL EDGES 1 x 45° R = 1 mm 

DESCRIPTION:		QTY:	
 Bedrijfsweg 23 2404CB Alphen a/d Rijn The Netherlands		T: +31 (0)88-1822200 F: +31 (0)88-1822210 mail@sasoffshore.com	
SIZE: A3	DRAWING No. .	SHEET: 1/1	REV.: .

A

FORMAT SIZE: 297mm*420mm

4

3

2

1

THIS DRAWING IS BASED ON A 3D-CAD MODEL PLEASE DO NOT MODIFY

OLD ID:

4

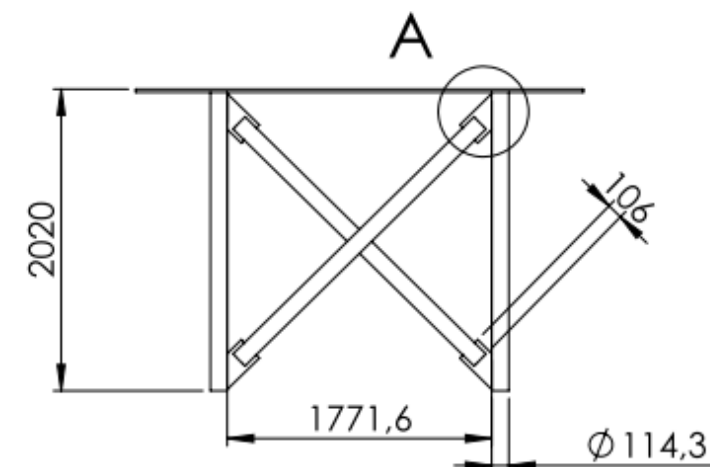
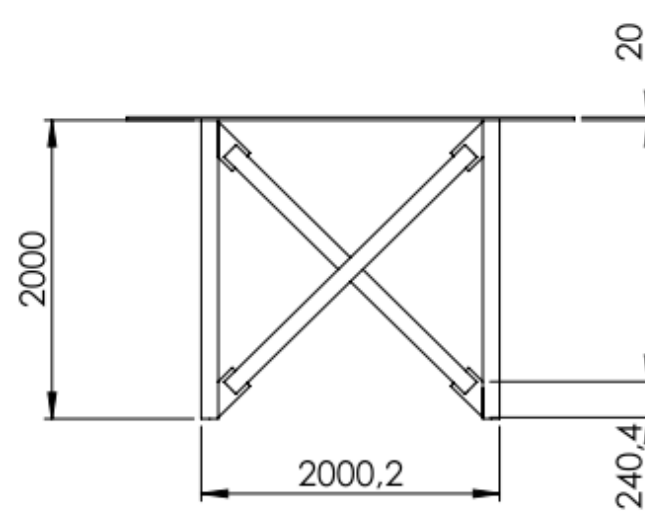
3

2

1

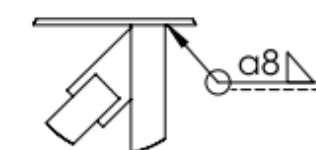
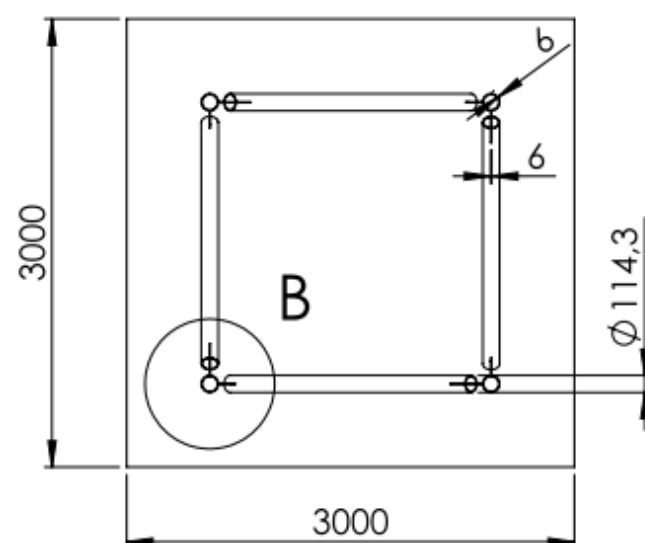
REV.	DATE	MODIFIED BY	REVISION DESCRIPTION

C



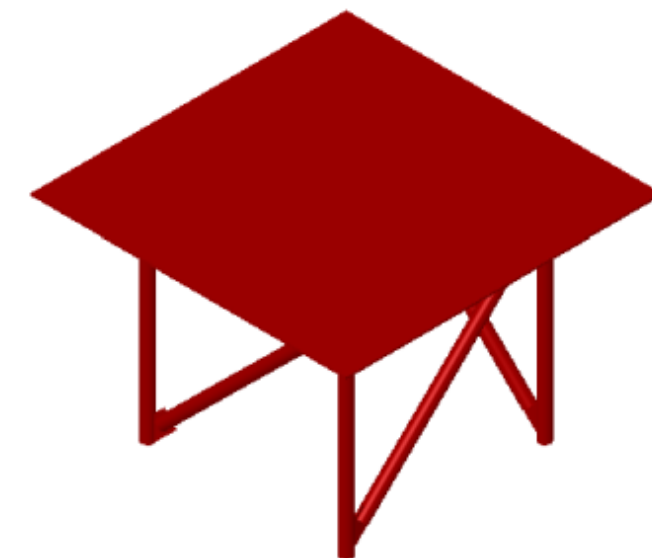
C

B



DETAIL A
SCALE 1 : 25

B



WELDING INSTRUCTIONS

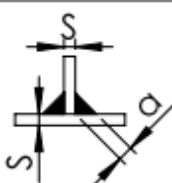
WELDING INSPECTION ACCORDING AWS D1.1-(LATEST REVISION)

SELL DESIGNATED AREA TO BE CHECKED FOR LAMINATIONS
ACCORDING: EN 10160 S2E2 (SELL-072-77 CLASS 3)

ALL WELDS ACC. TO SAS APPROVED WPS/ WPQ

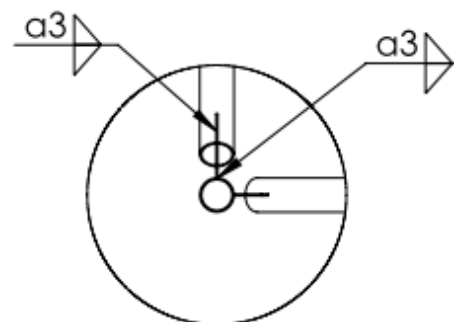
SINGLE SIDED WELDS CLASS 4, DOUBLE SIDE WELDS CLASS 5
UNLESS OTHERWISE INDICATED

WELDING DIFFERENT SIZES OF PLATES:
THE SMALLEST PLATE THICKNESS OF THE WELDING JOINT WILL
BE TAKEN TO DETERMINE THE a-SIZE UNLESS OTHERWISE
INDICATED ON THE DRAWING.
ALL WELDING WILL BE CONTINUOUSLY AROUND THE WELDING
JOINT.



SIZE OF FILLET WELDS "a"

PLATE THICKNESS (S)	6	8	10	12	15	20	25	30	>30
CLASS 4 (1 SIDED WELD)	3	4	5	6	7	8	10	12	15
CLASS 5 (2 SIDED WELD)	3	3	4	5	6	7	8	10	12



DETAIL B
SCALE 1 : 25

DRAWN BY:	MATERIAL:	MATERIAL CODE ACCORDING TO SAS MATERIAL DATA SHEET FOR ALL ADDITIONAL REQUIREMENTS SEE SAS MATERIAL DATA SHEET
MODIFIED BY:	WEIGHT: 1702 kg	
CHECKED BY:	SCALE: 1:50	
RELEASED BY:	STATUS: New	
GENERAL TOLERANCES: MACHINED PARTS AND STRUCTURES ISO 2768 - mK WELDED STRUCTURES ISO 13920 - AE ROUGHNESS ISO 4287 - µm Ra UNLESS STATED OTHERWISE (SEE ALSO T.P.R. DOCUMENT)	PROJECTION BREAK ALL EDGES 1 x 45° R = 1 mm	
DESCRIPTION:		

SAS

Bedrijfsweg 23
2404CB Alphen a/d Rijn
The Netherlands

T: +31 (0)88-1822200
F: +31 (0)88-1822210
mail@sasoffshore.com

QTY:

SIZE:
A3

DRAWING No.

SHEET: 1/1
REV.:

4

3

2

1

THIS DRAWING IS BASED ON A 3D-CAD MODEL PLEASE DO NOT MODIFY

OLD ID:

FORMAT SIZE: 297mm*420mm

A

Bijlage V: Één berekening uitgewerkt voor een meetschijf

De berekening die is uitgevoerd, is een meetschijf die ook is gebruikt bij het onderzoek naar SAS constructies. Een tekening hiervan is te vinden in bijlage III. Deze meetschijf heeft de volgende gegevens:

- Het materiaal waarvan het frame gemaakt wordt is S355:
 - $E = 210 \text{ GPa}$
 - $\sigma_{\text{vloei}} = 355 \text{ N/mm}^2$
- Veiligheidsfactor = 1,5
- $\sigma_{\text{max}} = \frac{\sigma_{\text{vloei}}}{\text{veiligheidsfactor}} = \frac{355}{1,5} = 237 \text{ N/mm}^2$
- $F = 25 \text{ ton} = 245,25 \text{ kN}$
- $h = 2 \text{ m}$
- $b = 2,3 \text{ m}$
- $l = 2 \text{ m}$
- $f_{\text{max}} = h/400 = 0,005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$

Buisconstructie

Aantal diagonalen = 1

De kracht moet gedeeld worden door twee, omdat er 2 van dezelfde constructies aan iedere kant bevind en de constructie wordt per kant berekend.

$F = 122625 \text{ N}$

De I waarde wordt bepaald door een formule van de doorbuiging, omdat dit niet precies klopt is er een factor uitgerekend uit een gemiddelde van een aantal constructies, zodat de I waarde redelijk overeen komt met de werkelijkheid. Echter is dit niet nauwkeurig genoeg en wordt er dus een Eindige Elementen berekening gedaan, om de doorbuiging uit te rekenen. Hiervoor is wel de berekende I waarde nodig. De berekende I voor de buis is dus slechts een hulpmiddel, om een richting voor het zoeken van de buis te krijgen, nadat een buis is gezocht wordt de buis berekend op doorbuiging.

$$f_{\text{max}} = \frac{F * h^3}{3 * E * I} \rightarrow I = \frac{F * h^3}{3 * E * f_{\text{max}}} = \frac{122625 * 2^3}{3 * 210 * 10^9 * 0,005} = 3,1143 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

Factor voor buis = 0,00278

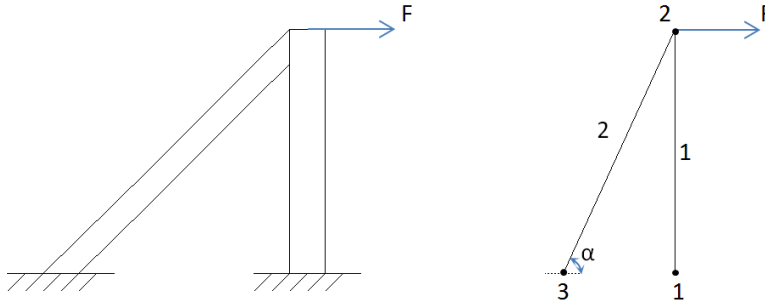
$$I_{\text{buis}} = 0,00278 * 3,1143 * 10^{-4} = 86,58 \text{ cm}^4$$

Nu kan hier een buis mee worden gezocht die aan de I waarde voldoet:

I gekozen buis = $96,34 \text{ cm}^4$

A gekozen buis = $10,67 \text{ cm}^2$

Met deze gegevens kan met de Eindige Elementen Methode de doorbuiging worden berekend.



Figuur 9: Schematische weergave buisconstructie

$$\tan \alpha = \frac{2}{2,3} \rightarrow \alpha = 41^\circ$$

$$l_2 = \sqrt{2^2 + 2,3^2} = 3,05 \text{ m}$$

Eerst wordt er een knooppuntentabel opgesteld. Hierbij moeten de coördinaten (x en y) worden ingevuld, de u waarde, v waarde en de Φ waarde (voor de verplaatsingen) en de f en M waarde (de (reactie)krachten en momenten).

n	x	y	u	v	Φ	f_x	f_y	M
1	0	0	0	0	0	f_{x1}	f_{y1}	M_1
2	0	2	u_2	v_2	Φ_2	0	122625	0
3	-2,3	0	0	0	0	f_{x3}	f_{y3}	M_3

Tabel 1: Knooppuntentabel

Daarna wordt er een elemententabel opgesteld. Hierbij moeten worden benoemd van welk knooppunt naar welk knooppunt de elementen lopen (i en j waarde). Ook moeten de a, b, bL en bL^2 waarde worden ingevuld (de formules staan erachter), deze waarde zijn nodig voor het invullen van de k matrix. Ten slotte moet de hoek van de elementen worden opgegeven en moet hiervan de sinus en de cosinus worden berekend.

e	i	j	a (EA/L)	b (EI/L ³)	bL (EI/L ²)	bL^2 (EI/L)	α	s	c
1	1	2	112022911	25289,207	50578,414	101156,829	90°	1	0
2	3	2	73507049,7	7144,99	21777,57	66376,958	41°	0,6562	0,7546

Tabel 2: Elemententabel

Als deze tabellen zijn gemaakt kunnen de k-matrices worden samengesteld.

$$K^1 = \begin{pmatrix} 12b & 0 & -6bL & -12b & 0 & -6bL \\ 0 & a & 0 & 0 & -a & 0 \\ -6bL & 0 & 4bL^2 & 6bL & 0 & 2bL^2 \\ -12b & 0 & 6bL & 12b & 0 & 6bL \\ 0 & -a & 0 & 0 & a & 0 \\ -6bL & 0 & 2bL^2 & 6bL & 0 & 4bL^2 \end{pmatrix}$$

$$K^1 = \begin{pmatrix} 303470.5 & 0 & -303470.5 & -303470.5 & 0 & -303470.5 \\ 0 & 112022911 & 0 & 0 & -112022911 & 0 \\ -303470.5 & 0 & 404627.3 & 303470.5 & 0 & 202313.65 \\ -303470.5 & 0 & 303470.5 & 303470.5 & 0 & 303470.5 \\ 0 & -112022911 & 0 & 0 & 112022911 & 0 \\ -303470.5 & 0 & 202313.65 & 303470.5 & 0 & 404627.3 \end{pmatrix}$$

$$K^2 = \begin{pmatrix} ac^2 + 12bs^2 & acs - 12bcs & -6bLs & -ac^2 - 12bs^2 & -acs + 12bcs & -6bLs \\ acs - 12bcs & as^2 + 12bc^2 & 6bLc & -acs + 12bcs & -as^2 - 12bc^2 & 6bLc \\ -6bLs & 6bLc & 4bL^2 & 6bLs & -6bLc & 2bL^2 \\ -ac^2 - 12bs^2 & -acs + 12bcs & 6bLs & ac^2 + 12bs^2 & acs - 12bcs & 6bLs \\ -acs + 12bcs & -as^2 + 12bc^2 & -6bLc & acs - 12bcs & as^2 + 12bc^2 & -6bLc \\ -6bLs & 6bLc & 2bL^2 & 6bLs & -6bLc & 4bL^2 \end{pmatrix}$$

$$K^2 = \begin{pmatrix} 41893999.2 & 36355008.1 & -85739.881 & -41893999.17 & -36355008.08 & -85739.88083 \\ 36355008.1 & 31698790.4 & 98600.863 & -36355008.08 & -31698790.39 & 98600.86296 \\ -85739.881 & 98600.863 & 265507.831 & 85739.88083 & -98600.86296 & 132753.9155 \\ -41893999 & -36355008 & 85739.8808 & 41893999.17 & 36355008.08 & 85739.88083 \\ -36355008 & -31698790 & -98600.863 & 36355008.08 & 31698790.39 & -98600.86296 \\ -85739.881 & 98600.863 & 132753.915 & 85739.88083 & -98600.86296 & 265507.831 \end{pmatrix}$$

Met de k-matrices kan de formule $k * u = F$ worden ingevuld. De k-matrices moeten hierbij worden samengevoegd tot één matrix.

$$\begin{pmatrix} 303470.5 & 0 & -303470.5 & -303470.5 & 0 & -303470.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 112022911 & 0 & 0 & -112022911 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -303470.5 & 0 & 404627.3 & 303470.5 & 0 & 202313.7 & 0 & 0 & 0 \\ -303470.5 & 0 & 303470.5 & 42197469.7 & 36355008.08 & 389210.3664 & -41893999.17 & -36355008 & 85739.88 \\ 0 & -112022911 & 0 & 36355008.1 & 143721701.2 & -98600.86296 & -36355008.08 & -31698790 & -98600.9 \\ -303470.5 & 0 & 202313.7 & 389210.366 & -98600.86296 & 670135.145 & -85739.88083 & 98600.863 & 132753.9 \\ 0 & 0 & 0 & 41893999.2 & -36355008.08 & -85739.88083 & 41893999.17 & 36355008.1 & -85739.9 \\ 0 & 0 & 0 & -36355008.1 & -31698790.39 & 98600.86296 & 36355008.08 & 31698790.4 & 98600.86 \\ 0 & 0 & 0 & 85739.8808 & -98600.86296 & 132753.9155 & -85739.88083 & 98600.863 & 265507.8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ u_2 \\ v_2 \\ \phi_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ M_1 \\ 122625 \\ 0 \\ 0 \\ f_{x3} \\ f_{y3} \\ M_3 \end{pmatrix}$$

Vervolgens kan een deel van bovenstaande matrix gebruikt worden om de verplaatsingen uit te rekenen:

$$\begin{pmatrix} 42197469.7 & 36355008.1 & 389210.366 \\ 36355008.1 & 143721701 & -98600.863 \\ 389210.366 & -98600.863 & 670135.145 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 122625 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.003745 \\ -0.00095 \\ -0.00231 \end{pmatrix}$$

Dit betekent dat de verplaatsing in de x richting 3,74 mm naar rechts is en dat de verplaatsing in de y richting 0,95 mm naar beneden is. De doorbuiging is dan:

$$f_{\max, \text{buisconstructie}} = \sqrt{3,74^2 + 0,95^2} = 3,86 \text{ mm}$$

Aan de hand van de formule $k * u = F$ kunnen ook de reactiekrachten worden berekend:

$$\begin{pmatrix} -303470.5 & 0 & -303470.5 \\ 0 & -112022911 & 0 \\ 303470.5 & 0 & 202313.657 \\ 41893999.2 & -36355008 & -85739.881 \\ -36355008 & -31698790 & 98600.863 \\ 85739.8808 & -98600.863 & 132753.915 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.003744808 \\ -0.000948853 \\ -0.002314571 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -434.03447 \\ 106293.244 \\ 668.169172 \\ 191578.965 \\ -106293.24 \\ 107.36864 \end{pmatrix}$$

Dit betekent dat er in buis 1 een drukkracht zit van 106293,24 kN en dat er in buis 2 een trekkracht

zit van: $F \text{ in buis 2} = \frac{-F_{y2}}{\sin \alpha} = \frac{106293,24}{\sin 41} = 161988,3 \text{ N}$

Hiermee kan dan de minimale I worden bepaald voor de buis door middel van de drukkracht op buis 1:

$$P_k = 106293,24 \text{ N}$$

$$\text{Veiligheidsfactor} = 4$$

$$\text{Lengte van de buis} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Kniklengte } (l_k) \text{ bij een buis aan twee kanten ingeklemd} = \text{Lengte van de buis}$$

$$P_k = \frac{\pi^2 * E * I}{l_k^2} \rightarrow I = \frac{P_k * l_k^2}{\pi^2 * E} = \frac{106293,24 * 4 * 2^2}{\pi^2 * 210 * 10^9} = 82,06 \text{ cm}^4$$

Met de trekkracht in buis 2 kan de spanning worden gecontroleerd:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{161988,3}{1066,89} = 151,83 \text{ N/mm}^2$$

Dit is onder de maximale spanning dus de spanning is goed.

De doorbuiging is lager dan de maximale doorbuiging en de I waarde van de gekozen buis is hoger dan de minimale I waarde, dus die zijn ook goed. Er zou nog een iets lagere I waarde gekozen kunnen worden, maar als er een buis wordt gekozen met één I waarde lager, dan zakt deze I waarde onder de minimale I waarde.

Vakwerkconstructie

$$\text{Aantal wandbuizen} = 1$$

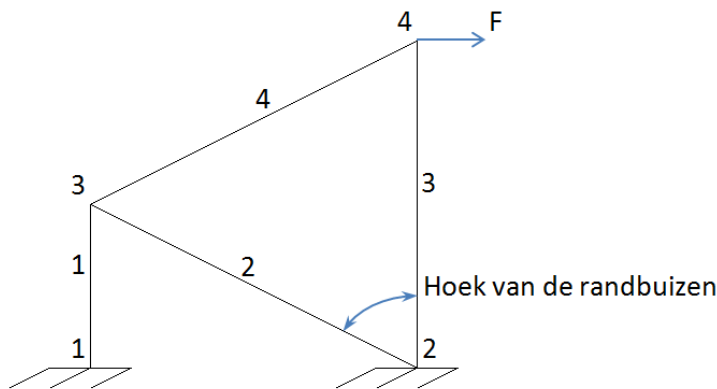
$$\text{Lengte van één wandbuis} = \frac{l}{\text{aantal wandbuizen}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Hoek van de randbuizen} = \tan^{-1} \frac{b}{\text{Lengte één wandbuis}} = \tan^{-1} \frac{2,3}{2} = 48,99^\circ$$

$$\text{Lengte randbuis} = \sqrt{b^2 + \frac{\text{Lengte één wandbuis}^2}{2}} = \sqrt{2,3^2 + \frac{2^2}{2}} = 2,51 \text{ m}$$

$$A_{\text{randbuis}} = 0,16 * A_{\text{wandbuis}}$$

$$I_{\text{randbuis}} = 0,0256 * I_{\text{wandbuis}}$$



Figuur 10: Schematische weergave vakwerkconstructie

De kracht moet gedeeld worden door twee, omdat (net zoals bij de buisconstructie) er twee van dezelfde constructies aan iedere kant bevind en de constructie wordt per kant berekend.

$$F = 122625 \text{ N}$$

Met de Eindige Elementen Methode kan de doorbuiging worden berekend. De doorbuiging wordt berekend zonder gegevens over de buizen (die in het vakwerk zitten) in te vullen, dit is gedaan omdat de constructeur dit later aan de hand van de constructie moet kiezen.

n	x	y	u	v	f _x	f _y
1	0	0	0	0	f _{x1}	f _{y1}
2	2,3	0	0	0	f _{x2}	f _{y2}
3	0	1	u ₃	v ₃	0	0
4	2,3	2	u ₄	v ₄	122625	0

Tabel 3: Knooppuntentabel

e	i	j	EA/L		α	s	c
1	1	3	210*10 ⁹	*A _{wand}	90°	1	0
2	2	3	13397197344	*A _{wand}	138,99°	0,6562	-0,7546
3	2	4	105*10 ⁹	*A _{wand}	90°	1	0
4	3	4	13397197344	*A _{wand}	41,01°	0,6562	0,7546

Tabel 4: Elemententabel

$$K = EA/L \begin{pmatrix} c^2 & sc & -c^2 & -sc \\ sc & s^2 & -sc & -s^2 \\ -c^2 & -sc & c^2 & sc \\ -sc & -s^2 & sc & s^2 \end{pmatrix}$$

$$K^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 210 \cdot 10^9 & 0 & -210 \cdot 10^9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -210 \cdot 10^9 & 0 & 210 \cdot 10^9 \end{pmatrix} * A_{wand}$$

$$K^2 = \begin{pmatrix} 76.2910^8 & -66.3410^8 & -76.2910^8 & 66.3410^8 \\ -66.3410^8 & 57.6810^8 & 66.3410^8 & -57.6810^8 \\ -76.2910^8 & 66.3410^8 & 76.2910^8 & -66.3410^8 \\ 66.3410^8 & -57.6810^8 & -66.3410^8 & 57.6810^8 \end{pmatrix} * A_{wand}$$

$$K^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 105 \cdot 10^9 & 0 & -105 \cdot 10^9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -105 \cdot 10^9 & 0 & 105 \cdot 10^9 \end{pmatrix} * A_{wand}$$

$$K^4 = \begin{pmatrix} 76.2910^8 & 66.3410^8 & -76.2910^8 & -66.3410^8 \\ 66.3410^8 & 57.6810^8 & -66.3410^8 & -57.6810^8 \\ -76.2910^8 & -66.3410^8 & 76.2910^8 & 66.3410^8 \\ -66.3410^8 & -57.6810^8 & 66.3410^8 & 57.6810^8 \end{pmatrix} * A_{wand}$$

Met de k-matrices kan de formule $k * u = F$ worden ingevuld. De k-matrices moeten hierbij worden samengevoegd tot één matrix.

$$A_{wand} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 210 \cdot 10^9 & 0 & 0 & 0 & -210 \cdot 10^9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 76.2910^8 & -66.3410^8 & -76.2910^8 & 66.3410^8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -66.3410^8 & 110.7710^9 & 66.3410^8 & -57.6810^8 & 0 & 105 \cdot 10^9 \\ 0 & 0 & -76.2910^8 & 66.3410^8 & 152.5810^8 & 0 & -76.2910^8 & -66.3410^8 \\ 0 & -210 \cdot 10^9 & 66.3410^8 & -57.6810^8 & 0 & 221.5410^9 & -66.3410^8 & -57.6810^8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -76.2910^8 & -66.3410^8 & 76.2910^8 & 66.3410^8 \\ 0 & 0 & 0 & -105 \cdot 10^9 & -66.3410^8 & -57.6810^8 & 66.3410^8 & 110.7710^9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ 0 \\ 0 \\ 122625 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Vervolgens kan een deel van de formule $k * u = F$ gebruikt worden om de verplaatsingen uit te rekenen:

$$\begin{pmatrix} 152.5810^8 & 0 & -76.2910^8 & -66.3410^8 \\ 0 & 221.5410^9 & -66.3410^8 & -57.6810^8 \\ -76.2910^8 & -66.3410^8 & 76.2910^8 & 66.3410^8 \\ -66.3410^8 & -57.6810^8 & 66.3410^8 & 110.7710^9 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 122625 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.69610^{-5} \\ 1.01610^{-6} \\ 3.48010^{-5} \\ -1.01610^{-6} \end{pmatrix} / A_{wand}$$

Dit betekent dat de verplaatsing in de x richting $3,480 \cdot 10^{-5} / A_{wand}$ m naar rechts is en dat de verplaatsing in de y richting $1,016 \cdot 10^{-6} / A_{wand}$ mm naar beneden is. De doorbuiging is dan:

$$f_{max, vakwerkconstructie} = \sqrt{(3,480 \cdot 10^{-5})^2 + (1,016 \cdot 10^{-6})^2} = \frac{3,48 \cdot 10^{-5}}{A_{wand}} m$$

Door de doorbuiging te delen door de maximale doorbuiging wordt de oppervlakte van de wandbuis verkregen. Met deze oppervlakte kan dan weer de oppervlakte van de randbuis worden berekend.

$$A_{wandbuis} = \frac{\text{Doorbuiging}}{\text{Maximale doorbuiging}} = \frac{3,48 \cdot 10^{-5}}{0,005} = 0,006962 m^2 = 69,62 cm^2$$

$$A_{randbuis} = 0,16 \cdot A_{wandbuis} = 0,16 \cdot 6962,42 = 11,14 cm^2$$

Aan de hand van de formule $k * u = F$ kunnen ook de reactiekrachten worden berekend:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 210 \cdot 10^9 & 0 & 0 \\ -76.2910^8 & 66.3410^8 & 0 & 0 \\ 66.3410^8 & -57.6810^8 & 0 & -105 \cdot 10^9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1.69610^{-5} \\ 1.01610^{-6} \\ 3.48010^{-5} \\ -1.01610^{-6} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -213260.87 \\ -122625 \\ 213260.87 \end{pmatrix}$$

Dit betekent dat er in de wandbuis 1 een trekkracht zit van 213260,87 N, in randbuis 2 een

drukkracht zit van: $F \text{ in randbuis } 2 = \frac{-F_{x2}}{\cos 90 - \text{hoek van randbuizen}} = \frac{122625}{\cos 41,01} = 162502,12 N$ en in

wandbuis 3 zit dan een drukkracht van: $F \text{ in wandbuis } 3 = F_{y2} - F_{y \text{ randbuis } 2} = F_{y2} -$

$(\tan 90 - \text{hoek van randbuizen} \cdot -F_{x2} = 213260,87 - (\tan 41,01 \cdot 122625) = 106630,43 N.$

Hiermee kan de minimale I waarde worden berekend voor de constructie door middel van de drukkracht op randbuis 2 (omdat deze drukkracht groter is dan de drukkracht in de wandbuis 3):

$$P_k = 162502,12 \text{ N}$$

$$\text{Veiligheidsfactor} = 4$$

$$\text{Lengte van de randbuis} = 2,51 \text{ m}$$

$$\text{Kniklengte (l}_k\text{) bij een buis aan twee kanten ingeklemd} = \text{Lengte van de randbuis}$$

$$P_k = \frac{\pi^2 * E * I_{randbuis}}{l_k^2} \rightarrow I_{randbuis} = \frac{P_k * l_k^2}{\pi^2 * E} = \frac{162502,12 * 4 * 2,51^2}{\pi^2 * 210 * 10^9} = 197,27 \text{ cm}^4$$

Met de trekkracht in wandbuis 1, kan de minimale A waarde worden berekend:

$$F = 213260,87 \text{ N}$$

$$A_{wandbuis} = \frac{F}{\sigma_{max}} = \frac{213260,87}{237} = 901,10 \text{ mm}^2 = 9,01 \text{ cm}^2$$

Met deze berekende waarde kunnen de afmetingen van de buizen worden opgezocht. Eerst alle waarde nog even op een rijtje:

- Minimale $A_{wandbuis}$ berekend door middel van de doorbuiging = $69,62 \text{ cm}^2$
- Minimale $A_{randbuis}$ berekend door middel van de doorbuiging = $11,14 \text{ cm}^2$
- Minimale $A_{wandbuis}$ berekend door middel van de trekkracht = $9,01 \text{ cm}^2$
- Minimale $I_{randbuis}$ berekend door middel van de drukkracht = $197,27 \text{ cm}^4$

De wandbuis moet dus voldoen aan (de hoogste minimale waarde):

- $A_{wandbuis} = 69,62 \text{ cm}^2$
- $I_{wandbuis} = \frac{I_{randbuis}}{0,0256} = \frac{197,27}{0,0256} = 7705,67 \text{ cm}^4$

De randbuis moet voldoen aan (ook de hoogste minimale waarde):

- $A_{randbuis} = 11,14 \text{ cm}^2$
- $I_{randbuis} = 197,27 \text{ cm}^4$

Met deze gegevens kunnen de buizen worden gekozen:

- De gegevens van de gekozen wandbuis komen dan op:
 - $I_{wandbuis} = 8396,14 \text{ cm}^4$
 - $A_{wandbuis} = 98,39 \text{ cm}^2$
- De gegevens van de gekozen randbuis komen dan op:
 - $I_{randbuis} = 206,68 \text{ cm}^4$
 - $A_{randbuis} = 18,02 \text{ cm}^2$

Samengestelde platen (doosconstructie)

Door het invullen van de dikte van de platen rekent het Excel document de doorbuiging en het weerstandsmoment tegen doorbuiging uit. Deze gegevens dienen dan gecontroleerd te worden door de constructeur of deze voldoen aan de eisen.

Het invullen is al gebeurd en er is dus al een ideale dikte gevonden. De uitgewerkte berekening die nu volgt is dus de berekening die iedere keer opnieuw wordt berekend als er een andere dikte wordt ingevuld door de constructeur.

Dikte van de platen = 14 mm

Eerst moeten de I en de A waarde berekend, dit is nodig om deze te controleren indien er een trekkracht of een drukkracht op de constructie wordt aangebracht. Daarnaast wordt de I waarde ook gebruikt om de doorbuiging door te rekenen.

$$A_{\text{gekozen constructie}} = b * l - b_1 * l_1 = b * l - ((b - 2 * d) * (l - 2 * d)) \\ = 2,3 * 2 - ((2,3 - 2 * 0,014) * (2 - 2 * 0,014)) = 0,12 \text{ m}^2 = 1196,16 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{gekozen constructie}} = \frac{l * b^3 - l_1 * b_1^3}{12} = \frac{l * b^3 - ((l - 2 * d) * (b - 2 * d)^3)}{12} \\ = \frac{2 * 2,3^3 - ((2 - 2 * 0,014) * (2,3 - 2 * 0,014)^3)}{12} = 0,101 \text{ m}^4 \\ = 10.052.745,65 \text{ cm}^4$$

De minimale dikte van de platen wordt berekend door de drukkracht die op de zijplaten werken. Deze drukkracht wordt veroorzaakt door de buigkracht die op de constructie staat. Voor de dikte van de platen kan worden berekend moet eerst de I waarde van een zijplaat worden berekend, dit wordt gedaan door de zijplaat te berekenen op knik.

$$Benodigde I zijplaat = \frac{\left(\frac{F_{\text{buig}} * h}{b}\right) * h^2}{\pi^2 * E} = \frac{\left(\frac{245250 * 2}{2,3}\right) * 2^2}{\pi^2 * 210 * 10^9} = 4,12 * 10^{-7} \text{ m}^4 = 41,16 \text{ cm}^4$$

Met de benodigde I voor de zijplaat, kan de minimale dikte van de platen worden berekend.

$$\text{Minimale dikte van de platen} = \left(\frac{I * 12}{l}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{4,12 * 10^{-7} * 12}{2}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,014 \text{ m} = 13,52 \text{ mm}$$

Met de berekende I waarde kan nu de doorbuiging van de gekozen constructie worden berekend:

$$f_{\text{max}} = \frac{F * h^3}{3 * E * I} = \frac{245250 * 2^3}{3 * 210 * 10^9 * 0,101} = 3,10 * 10^{-5} \text{ m} = 0,031 \text{ mm}$$

Daarna moet het benodigde weerstandsmoment tegen doorbuiging worden berekend:

$$W_{max} = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{F * h}{\sigma_{max}} = \frac{245250 * 2000}{237} = 2.072.535,21 \text{ mm}^3$$

Ten slotte moet het weerstandsmoment tegen doorbuiging van de gekozen constructie worden berekend:

$$\begin{aligned} W &= \frac{(b^3 * l) - (b_1^3 * l_1)}{6 * b} = \frac{(b^3 * l) - ((b - 2 * d)^3 * (l - 2 * d))}{6 * b} \\ &= \frac{(2,3^3 * 2) - ((2,3 - 2 * 0,014)^3 * (2 - 2 * 0,014))}{6 * 2,3} = 0,087 \text{ m}^3 \\ &= 87.415.179,58 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

De dikte van de platen ligt boven de minimale dikte van de platen, de doorbuiging is minder dan de maximale doorbuiging en het weerstandsmoment tegen doorbuiging is hoger dan het minimale weerstandsmoment tegen doorbuiging, de gekozen constructie is dus goed.

Gewicht en kosten

Nu alle afmetingen van de constructies bekend zijn, moeten het gewicht en de kosten worden berekend.

Buisconstructie

De volgende gegevens van de buis zijn bekend:

- Buiten diameter buis = 88,9 mm
- Dikte buis = 4 mm
- Gewicht buis = 8,38 kg/m
- Oppervlakte buis = 10,67 cm²
- Verfoppervlakte = 0,279 m²/m

$$Omtrek \text{ buis} = \pi * \text{buiten diameter buis} = \pi * 88,9 = 279,29 \text{ mm}$$

Om de diagonale buis aan de rechtopstaande buis te bevestigen worden platen gebruikt. Op deze manier hoeft de buis niet schuin gesneden te worden. De platen komen dan tussen de diagonale en de rechtopstaande buis te zitten.

Eerst moeten de afmetingen van de platen worden bepaald. Voor de breedte van de platen is 1,5 * de diameter van de buis aangehouden. En voor de lengte van de platen is 1,5 * de breedte van de platen aangehouden. De dikte van de platen is gelijk aan de dikte van de buis (in dit geval 4 mm). Nu hoeft alleen nog de schuine kant van de platen te worden berekend, dit is de kant die tegen de rechtopstaande platen aan komt.

$$\text{Breedte van de platen} = 1,5 * \text{buiten diameter buis} = 1,5 * 88,9 = 133,35 \text{ mm}$$

$$\text{Lengte van de platen} = 1,5 * \text{breedte van de platen} = 1,5 * 133,35 = 200,03 \text{ mm}$$

$$\text{Schuine kant van de platen} = \frac{\text{Breedte van de platen}}{\cos 90 - \tan^{-1} \frac{b}{h}} = \frac{133,35}{\cos 90 - \tan^{-1} \frac{2,3}{2}} = 176,71 \text{ mm}$$

Met deze gegevens kan het gewicht van de buisconstructie worden berekend.

$$\begin{aligned} \text{Gewicht buizen} &= ((h * \text{gewicht buis} * 2) + (\text{lengte diagonale buis} * \text{gewicht buis})) * 2 \\ &= ((2 * 8,38 * 2) + (3,05 * 8,38)) * 2 = 118,05 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gewicht platen} &= ((\text{Breedte van de platen} * \text{lengte van de platen} * \text{dikte buis} * 7800) * 2) * 2 \\ &= \left(\left(\frac{133,35}{1000} * \frac{200,03}{1000} * \frac{4}{1000} * 7800 \right) * 2 \right) * 2 = 3,33 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Gewicht constructie} = (\text{gewicht buizen} + \text{gewicht platen}) = (118,05 + 3,33) = 121,38 \text{ kg}$$

Hiermee kunnen de kosten voor het materiaal worden berekend. Bij de kosten voor het materiaal zijn de snijkosten inbegrepen.

$$\begin{aligned} \text{Materiaalkosten buizen} &= \text{gewicht buizen} * \text{materiaalkosten buis per kg} = 118,05 * 2,40 \\ &= € 283,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Materiaalkosten platen} &= \text{gewicht platen} * \text{materiaalkosten plaat per kg} = 3,33 * 1,11 \\ &= € 3,70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Materiaalkosten totaal} &= \text{materiaalkosten buizen} + \text{materiaalkosten platen} \\ &= 283,33 + 3,70 = € 287,02 \end{aligned}$$

Om de laskosten te kunnen berekenen, moet eerst de laslengte worden berekend.

$$\begin{aligned} \text{Laslengte} &= (\text{omtrek buis} * 2 + \text{schuine kant van de platen} * 4 + \text{lengte van de platen} * 8) \\ &* 2 = (279,29 * 2 + 176,71 * 4 + 200,03 * 8) * 2 = 5731,32 \text{ mm} = 5,73 \text{ m} \end{aligned}$$

De laskosten kunnen hiermee worden berekend. De laskosten per meter zijn volgens de tabel, met een dikte van 4 mm, 3,80 euro/m.

$$\text{Laskosten} = \text{laslengte} * \text{laskosten per meter} = 5,73 * 3,80 = € 21,78$$

Om de kosten voor het conserveren te berekenen, moet eerst het verfoppervlak worden berekend.

$$\begin{aligned} \text{Verfoppervlak} &= ((2 * \text{verfoppervlakte buis} * h) \\ &+ (\text{verfoppervlakte buis} * \text{lengte diagonale buis})) * 2 \\ &= ((2 * 0,279 * 2) + (0,279 * 3,05)) * 2 = 3,94 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kosten voor conserveren} &= \text{verfoppervlak} * \text{conserveerkosten per m}^2 = 3,94 * 28 \\ &= € 110,23 \end{aligned}$$

Ten slotte kunnen de totale kosten voor de buisconstructie worden berekend:

$$\begin{aligned} \text{Kosten buisconstructie} &= \text{materiaalkosten totaal} + \text{laskosten} + \text{kosten voor conserveren} \\ &= 287,02 + 21,78 + 110,23 = € 419,03 \end{aligned}$$

Vakwerkconstructie

De volgende gegevens over het vakwerk zijn bekend:

- Wandbuis:
 - Buiten diameter = 273 mm
 - Dikte = 12 mm
 - Gewicht = 77,24 kg/m
 - Oppervlakte = 98,39 cm²
 - Verfoppervlakte = 0,858 m²/m
- Randbuis:
 - Buiten diameter = 101,6 mm
 - Dikte = 6 mm
 - Gewicht = 14,15 kg/m
 - Oppervlakte = 18,02 cm²
 - Verfoppervlakte = 0,319 m²/m

Om het gewicht te berekenen moet eerst de lengte van alle buizen worden berekend.

Lengte alle wandbuizen

$$\begin{aligned}
 &= \text{lengte één wandbuis} * \text{aantal wandbuizen} + \text{lengte één wandbuis} \\
 &* (\text{aantal wandbuizen} - 1) + \frac{\text{lengte één wandbuis}}{2} = 2 * 1 + 2 * (1 - 1) + \frac{2}{2} \\
 &= 3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Lengte alle randbuizen} = \text{lengte randbuis} * 2 * \text{aantal wandbuizen} = 2,51 * 2 * 1 = 5,02 \text{ m}$$

Met deze gegevens kan het gewicht van de constructie worden berekend:

$$\begin{aligned}
 \text{Gewicht} &= ((\text{gewicht wandbuis} * \text{lengte alle wandbuizen}) \\
 &+ (\text{gewicht randbuis} * \text{lengte alle randbuizen})) * 2 \\
 &= ((77,24 * 3) + (14,15 * 5,02)) * 2 = 605,35 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Met het gewicht kunnen de kosten voor het materiaal worden berekend. Hierbij zitten ook de kosten voor het snijden inbegrepen.

$$\text{Materiaalkosten} = \text{Gewicht} * \text{materiaalkosten per kg} = 605,35 * 2,40 = € 1452,84$$

Om de laskosten te berekenen moet eerst de laslengte worden berekend.

$$\text{Omtrek randbuis} = \pi * \left(\frac{\text{Buiten diameter randbuis}}{2} \right)^2 = \pi * \left(\frac{101,6}{2} \right)^2 = 8107,32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laslengte} &= ((\text{Omtrek randbuis} * 2) * (2 * \text{aantal wandbuizen})) * 2 \\
 &= \left(\left(\frac{8107,32}{1000} * 2 \right) * (2 * 1) \right) * 2 = 64,86 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Hiermee kunnen dan de laskosten worden berekend. De laskosten zijn volgens de tabel, met een dikte van de randbuis van 6 mm, 3,80 euro/m.

$$Laskosten = laslengte * laskosten \text{ per meter} = 64,86 * 3,80 = \text{€ } 246,46$$

Om de kosten voor het conserveren te berekenen, moet eerst het verfoppervlak worden berekend.

Verfoppervlak

$$\begin{aligned} &= (\text{verfoppervlakte wandbuis} * \text{lengte alle wandbuizen} \\ &+ \text{verfoppervlakte randbuis} * \text{lengte alle randbuizen}) * 2 \\ &= (0,858 * 3 + 0,319 * 5,02) * 2 = 8,35 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kosten voor conserveren} &= \text{verfoppervlak} * \text{conserveerkosten per m}^2 = 8,35 * 28 \\ &= \text{€ } 233,74 \end{aligned}$$

Ten slotte kunnen de totale kosten voor de vakwerkconstructie worden berekend:

$$\begin{aligned} \text{Kosten vakwerkconstructie} &= \text{materiaal kosten} + \text{laskosten} + \text{kosten voor conserveren} \\ &= 1452,84 + 246,46 + 233,74 = \text{€ } 1933,04 \end{aligned}$$

Samengestelde platen (doosconstructie)

De volgende gegevens over de samengestelde platen zijn bekend:

- Hoogte voor/achterkant = 2 m
- Breedte voor/achterkant = 2,3 m
- Hoogte zijkanten = 2 m
- Breedte zijkanten = 2m
- Dikte van de platen = 14 mm

Het gewicht kan worden berekend met de $A_{\text{gekozen constructie}}$.

$$\text{Gewicht} = A_{\text{gekozen constructie}} * 7850 * h = \frac{1196,16}{10000} * 7850 * 2 = 1877,97 \text{ kg}$$

Hiermee kunnen ook de materiaalkosten worden berekend.

$$\text{Materiaalkosten} = \text{gewicht} * \text{materiaalkosten per kg} = 1877,97 * 1,11 = \text{€ } 2084,55$$

Om de laskosten te kunnen berekenen, moet eerst de laslengte worden berekend.

$$\text{Laslengte} = 2 * b + 2 * l + 4 * h = 2 * 2,3 + 2 * 2 + 4 * 2 = 16,6 \text{ m}$$

Hiermee kunnen de laskosten worden berekend. De laskosten zijn volgens te tabel, met een dikte van 14 mm, 17,00 euro/m.

$$\text{Laskosten} = \text{laslengte} * \text{laskosten per meter} = 16,6 * 17,00 = \text{€ } 282,20$$

Om de kosten voor het conserveren te berekenen, moet eerst het verfoppervlak worden berekend.

$$\text{Verfoppervlak} = b * h * 2 + l * h * 2 = 2,3 * 2 * 2 + 2 * 2 * 2 = 17,2 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Kosten voor conserveren} &= \text{verfoppervlak} * \text{conserveerkosten per m}^2 = 17,2 * 28 \\ &= \text{€ } 481,60\end{aligned}$$

Ten slotte kunnen de totale kosten voor de samengestelde platen worden berekend:

$$\begin{aligned}\text{Kosten samengestelde platen} &= \text{materiaal kosten} + \text{laskosten} + \text{kosten voor conserveren} \\ &= 2084,55 + 282,20 + 481,60 = \text{€ } 2848,35\end{aligned}$$

Constructie kiezen

Nu alle constructies zijn berekend, kan er een keuze tussen de constructies worden gemaakt. De gewichten en de kosten van alle constructies staan nog een keer op een rijtje in Tabel 5.

	Buisconstructie	Vakwerkconstructie	Samengestelde platen
Gewicht in kg	121	605	1877,97
Totale kosten in euro	419,03	1933,04	2848,35

Tabel 5: Gewichten en kosten op een rijtje

De keuze van de constructie ligt eraan wat er voor het project belangrijker is, aangezien er niet één constructie is die het goedkoopste en het lichtste is.

Als het niet uitmaakt dat de constructie 121 kg weegt dan kan er het beste voor een buisconstructie worden gekozen aangezien deze het goedkoopste is.

Maar is de buisconstructie te zwaar en maakt het niet uit dat de constructie dan duurder is, dan kan het beste voor samengestelde platen worden gekozen, aangezien deze het lichtste is.

Bijlage VI: Handleiding voor het Excel document

In deze bijlage wordt uitgelegd hoe het omslagpunt bepaald kan worden voor een constructie om zo tot de keuze tussen buis, vakwerk en samengestelde platen te komen. Om het omslagpunt te bepalen en een keuze te maken tussen plaat en profiel, moet een Excel document worden doorlopen, waarbij de constructeur een aantal gegevens over de constructie moet invullen. De stappen die moeten worden doorlopen, worden in deze bijlage uitgelegd.

Eerst moet de constructeur een schema doorlopen om te bepalen om wat voor soort constructie het gaat, ook moet het materiaal in dit schema worden gekozen. Voor de materiaalkeuze moet de treksterkte en de veiligheidsfactor worden ingevuld. Voor de keuze van de constructie kan worden gekozen tussen een opgelegde constructie en een constructie die aan één kant is ingeklemd. Indien de constructie een vastgelaste tractieler betreft, moet direct worden doorgegaan naar de tractieler (dit kan worden gekozen onder de ingeklemde constructie).

Door te klikken op de constructie naar keuze wordt er naar het volgende schema, behorende bij de constructie, gegaan. Het schema is te zien in Figuur 11.



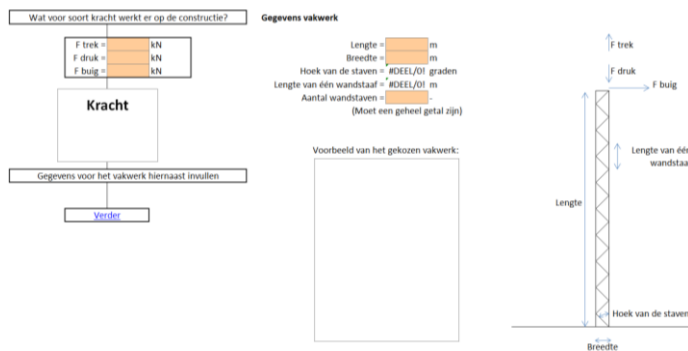
Figuur 11: Schema met de keuze van de constructie

Ingekleemde constructie

In dit deel van de bijlage wordt ingegaan op de ingeklemde constructie. In de volgende paragrafen wordt er voor de ingeklemde constructie per mogelijke kracht uitgelegd hoe de keuze tussen buis, vakwerk en samengestelde platen gemaakt kan worden. De uitleg staat ook in het Excel document zelf, zodat niet iedere keer deze handleiding erbij gepakt hoeft te worden.

Eerst moet een schema worden doorlopen waarbij de grootte van de krachten moet worden ingevuld. Daarnaast moeten ook de gegevens voor de berekening van het vakwerk worden ingevuld in dit schema. Er moet worden gecontroleerd of de hoek van de randbuizen ongeveer tussen de 30 en de 60 graden zit, dit is namelijk een optimale hoek voor vakwerken. De hoek mag hier ook van afwijken, maar dit is dan de keuze van de constructeur.

Nadat alles is ingevuld, is een voorbeeld van het gekozen vakwerk te zien en moet op verder worden geklikt om door te gaan (het juiste tabblad wordt dan weergegeven). Het schema is ook te zien in Figuur 12.



Figuur 12: Schema van een ingeklemde constructie

Drukkracht

De gegevens over de constructie worden automatisch ingevuld aan de hand van de ingevulde gegevens over het vakwerk. De cellen die moeten worden ingevuld zijn met kleur opgemaakt, zoals is te zien in het eerste schema.

Met behulp van de berekende I waarde, moet een buis worden gekozen. Voor het kiezen van de buis moet een gezocht I buis worden ingevuld, waarna Excel zelf een buis zoekt met een net iets hogere I waarde.

Nadat Excel een buis heeft gevonden, dient er nog een keer gecontroleerd te worden, of de I waarde van de gekozen buis nog steeds goed is vergeleken met de berekende I waarde. Deze berekende I waarde wordt namelijk, na het invoeren van de gezochte I buis, opnieuw berekend. Om het controleren makkelijker te maken zijn alle cellen die gecontroleerd moeten worden voorzien van een opmaak, als de waarde in de cel goed is wordt de cel groen en anders wordt de cel rood.

Daarna moeten de gegevens van de samengestelde platen (deze wordt gebruikt als omhullende 'doos' constructie) worden ingevuld. Alleen de lengte van het frame en de dikte van de platen moet worden ingevuld.

Buigkracht (of een combinatie van een buigkracht met een druk of trekkracht)

Het invullen van de gegevens voor de buigkracht gaat bijna hetzelfde als bij de drukkracht, hetgeen wat anders is zal in deze paragraaf worden uitgelegd.

Voor het kiezen van de buisconstructie moet eerst het aantal diagonalen worden gekozen. Daarna moet een buis worden gezocht met de gezochte I buis.

Als dit is ingevuld, verschijnt de doorbuiging van de gekozen buis. Deze doorbuiging moet worden vergeleken met de maximale doorbuiging.

Als de doorbuiging meer is dan de maximale doorbuiging, moet er een andere buis worden gekozen met een hogere I waarde, en moet de doorbuiging opnieuw worden vergeleken, totdat de doorbuiging onder de maximale doorbuiging ligt. Als de doorbuiging ver onder de maximale doorbuiging ligt, moet een andere buis worden gekozen met een lagere I waarde. Deze stappen moeten net zo lang worden herhaald totdat de doorbuiging van de gekozen buis dicht bij de maximale doorbuiging ligt, maar wel er onder.

Als de doorbuiging goed is moet alleen nog de I waarde en de trekspanning worden gecontroleerd.

Nadat dit is gedaan moeten de gegevens voor de samengestelde platen worden ingevuld. Ook bij de samengestelde platen moet de doorbuiging van de gekozen constructie worden vergeleken met de maximale doorbuiging, en wanneer nodig moeten de gegevens worden aangepast. Daarnaast moeten ook de samengestelde platen voldoen aan de gegeven minimale I waarde en moet de trekspanning goed zijn. Ook moet de constructie worden gecontroleerd op de W waarde (weerstandsmoment tegen buiging).

Ten slotte moeten alleen nog de buizen voor het vakwerk worden gekozen. Dit gaat net iets anders als bij de drukkracht. Het kan namelijk voorkomen dat de minimale I waarde 0 is. In dat geval moeten de buizen worden gezocht op de A waarde, dit gaat voor de rest hetzelfde als bij het zoeken op I waarde (zoals bij de drukkracht).

Als dit is ingevuld zijn alle gegevens ingevuld en moet worden doorgedaan naar het laatste schema om de keuze tussen buis, vakwerk en samengestelde platen te maken.

Trekkracht

Bij de trekkracht hoeft het minste aan gegevens te worden ingevuld.

De buizen voor de buisconstructie en voor het vakwerk worden automatisch gezocht aan de hand van de minimale A waarde, hiervoor hoeft dus niets meer te worden ingevuld.

Voor de samengestelde platen moeten de gegevens worden ingevuld en de A waarde worden gecontroleerd.

Ten slotte kan worden doorgedaan naar het laatste schema, en kan deze worden doorlopen, om tot de keuze tussen buis, vakwerk en samengestelde platen te komen.

Vastgelaste tractielier

Eerst moet een schema worden doorlopen waarbij de grootte van de krachten moet worden ingevuld. De krachten die moeten worden ingevuld, gaat iets anders als bij de ingeklemde constructie. Er kunnen nu namelijk krachten worden ingevuld op twee punten: punt 1 is linksboven en punt 2 is rechtsboven op de constructie. Daarnaast moeten ook de gegevens voor de berekening van het vakwerk worden ingevuld in dit schema en moet er een maximale dikte worden gekozen voor de constructies. Het schema is ook te zien in Figuur 15.

Wat voor soort kracht werkt er op de constructie?

De krachten op punt 1 stellen de krachten voor die linksboven op de constructie staan

De krachten op punt 2 stellen de krachten voor die rechtsboven op de constructie staan

	Punt 1	Punt 2	
F trek =			kN
F druk =			kN
F buig =			kN

Punt 1

Punt 2

Gegevens voor het vakwerk hiernaast invullen

[Verder](#)

Gegevens vakwerk

Lengte = m

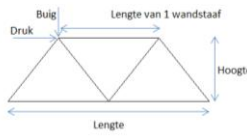
Hoogte = m

Hoek van de staven = #DEEL/01 graden

Lengte van één wandstaaf = m

Aantal onderste wandstaven = -

Maximale dikte = mm



Figuur 15: Schema van de vastgelaste tractielier

Nadat dit is gedaan, moet op verder worden geklikt om door te gaan. In dit tabblad moeten de buizen voor het vakwerk worden gekozen met de I waarde. Voor de samengestelde platen moeten de gegevens worden ingevuld en moet dit worden gecontroleerd op een aantal punten.

Ten slotte moet worden doorgegaan naar het laatste schema om tot de keuze tussen samengestelde platen en vakwerk te komen.

Opgelegde constructie

In dit deel van de bijlage wordt ingegaan op de opgelegde constructie.

Eerst moet een schema worden doorlopen waarbij de grootte van de krachten moet worden ingevuld. De krachten kunnen op drie punten worden ingevuld: punt 1 is linksboven, punt 2 is midden onderaan en punt 3 is rechtsboven op de constructie.

Daarnaast moeten ook de gegevens voor de berekening van het vakwerk worden ingevuld in dit schema. Er moet worden gecontroleerd dat het aantal wandbuizen goed is (als dit goed is wordt de cel groen), anders kan het vakwerk niet worden berekend. Ook moet de hoek van de randbuizen worden gecontroleerd.

Ten slotte is er een voorbeeld van het gekozen vakwerk te zien en moet er op verder worden geklikt om door te gaan. Het schema is ook te zien in Figuur 16.

Wat voor soort kracht werkt er op de constructie?

De krachten op punt 1 stellen de krachten voor die linksboven op de constructie staan

De krachten op punt 2 stellen de krachten voor die midden onder op de constructie staan

De krachten op punt 3 stellen de krachten voor die rechtsboven op de constructie staan

	Punt 1	Punt 2	Punt 3	
F trek =				kN
F druk =				kN
F buig =				kN

Punt 1	Punt 2	Punt 3

Gegevens voor het vakwerk hiernaast invullen

[Verder](#)

Gegevens vakwerk

Lengte = m

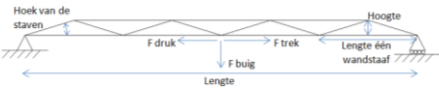
Hoogte = m

Hoek van de staven = DEEL/OI graden

Lengte van één wandstaaf = DEEL/OI m

Aantal wandstaven =

(Moet 1, 2, 4, 6 of 8 zijn, anders niet te berekenen)



Voorbeeld van het gekozen vakwerk:

Figuur 16: Schema opgelegde constructie

In het volgende tabblad moeten de buizen voor het vakwerk worden gezocht met de I of de A waarde en moeten er een aantal dingen worden gecontroleerd.

Daarna moeten de gegevens voor de samengestelde platen worden ingevuld en moeten ook hiervoor een aantal dingen worden gecontroleerd.

Als alles klopt kan worden doorgedaan naar het laatste schema. Nu hoeft alleen dit schema nog te worden doorlopen om tot de keuze tussen vakwerk en samengestelde platen te komen.

Uitkomst van het Excel document

Als de vormgeving niet bepalend is voor de keuze tussen buis, vakwerk en samengestelde platen, wordt de keuze gemaakt in het laatste schema van de desbetreffende constructie met de bijbehorende kracht.

Bij het maken van de keuze kunnen sommige constructies afvallen doordat deze te groot zijn. Bij de uitkomst is te zien welke constructies voldoen, en waar dus uit gekozen kan worden. De constructeur moet kijken wat er bij het desbetreffende project belangrijker is, de kosten of het gewicht. Want van alle constructies zijn de kosten en het gewicht gegeven, en aan de hand hiervan moet een constructie gekozen worden. Er moet hierbij wel op gelet worden dat van alle constructies de kosten en het gewicht staan weergegeven, dus ook van de constructies waar niet uit gekozen kan worden, omdat deze te groot zijn.

De kosten kunnen worden aangepast door naar het tabblad kosten te gaan. Dit zou bijvoorbeeld nodig kunnen zijn omdat de kosten zijn veranderd. Ook zijn er weegfactoren aan de kosten gehangen, ook deze kunnen worden aangepast (in het tabblad weegfactoren). Dit kan bijvoorbeeld nodig zijn als er geen lassers genoeg zijn en de laslengte dus zo kort mogelijk moet zijn (dan heeft de laskosten een hoge weegfactor nodig), standaard staan alle weegfactoren op één.

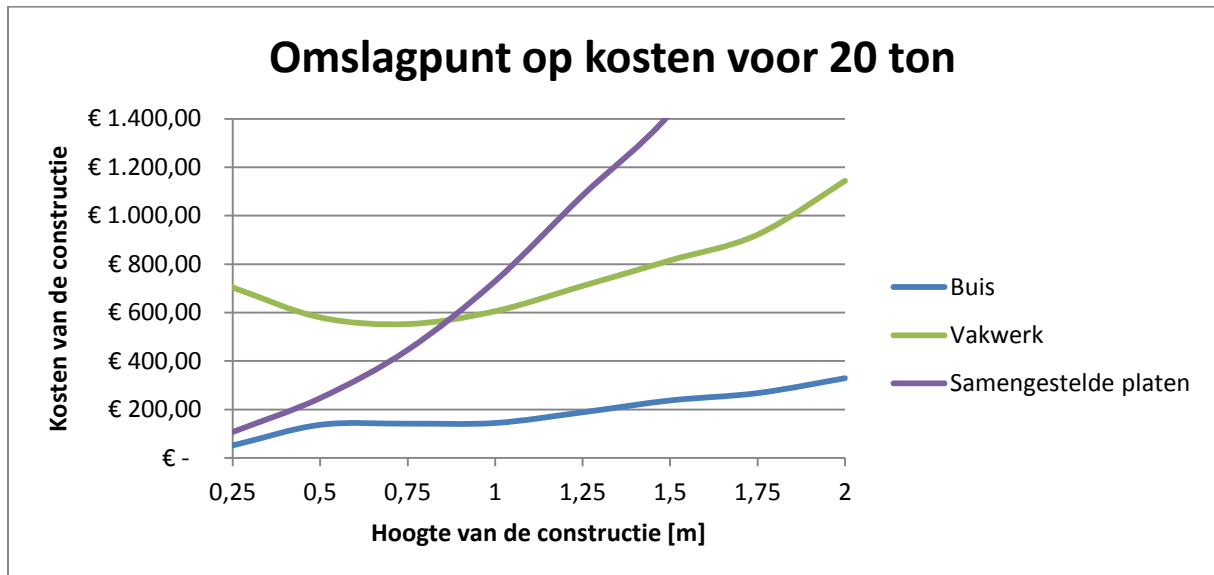
Als de keuze tussen buis, vakwerk en samengestelde platen is gemaakt, staat er aangegeven hoe de buis, vakwerk of samengestelde platen bij die constructie moet worden toegepast. Dit is gedaan zodat er bijvoorbeeld niet één buis wordt toegepast terwijl er met drie buizen is gerekend. Ook staan alle maten van de constructies in dit laatste schema.

Met de samengestelde platen constructie wordt een constructie bedoeld die uit platen is opgebouwd en het gehele frame omhuld. Een buis constructie zijn een aantal poten als frame met eventuele diagonalen. Met een plaat wordt één enkele plaat bedoeld. Ten slotte wordt met een vakwerk constructie een constructie uit samengestelde buizen bedoeld.

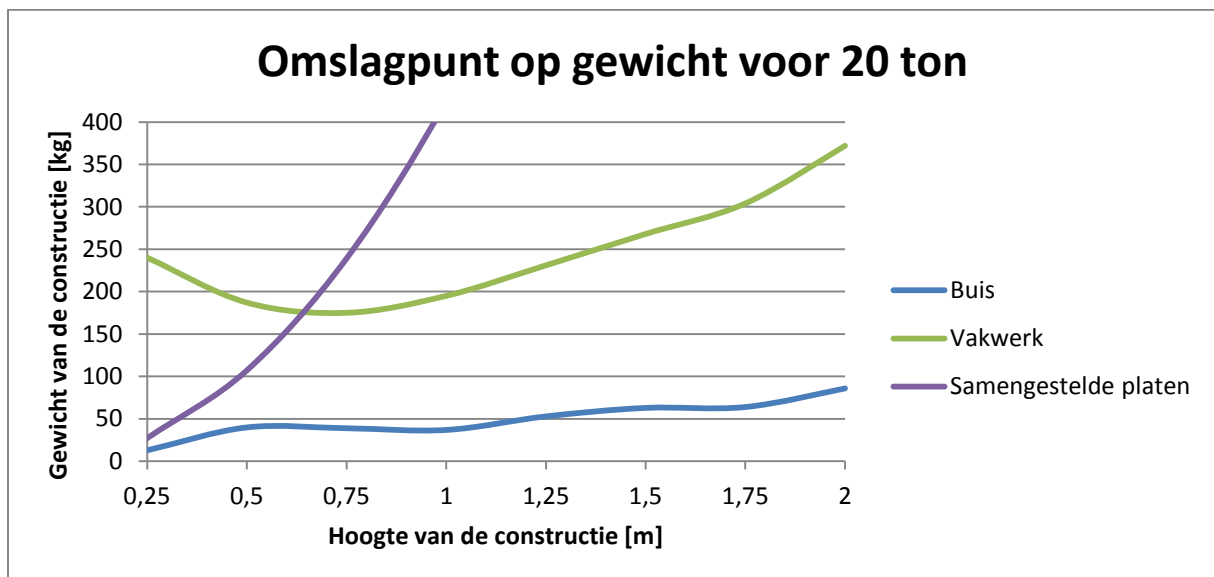
Bijlage VII: Grafieken van omslagpunten voor meetschijven

In deze bijlage worden de grafieken, waarbij de omslagpunten die voor meetschijven zijn bepaald te zien zijn, weergegeven.

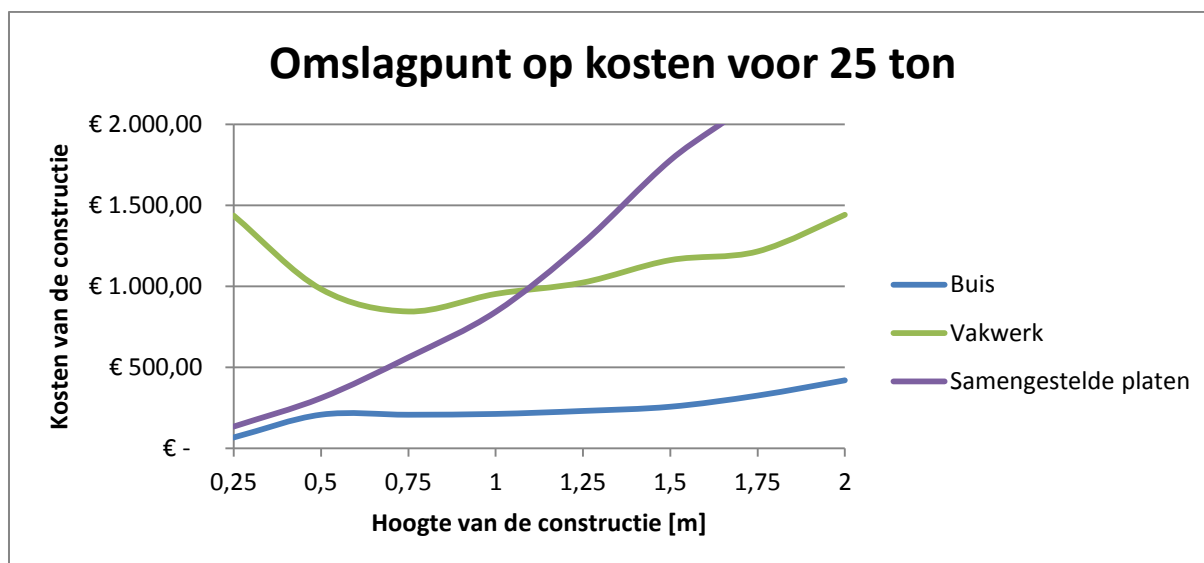
In sommige grafieken is een kleine sinus voor de buisconstructie te zien, dit heeft te maken met dat er een database is het Excel document is ingevoerd en dat deze database soms grote verschillen heeft in de range tussen twee opvolgende buizen.



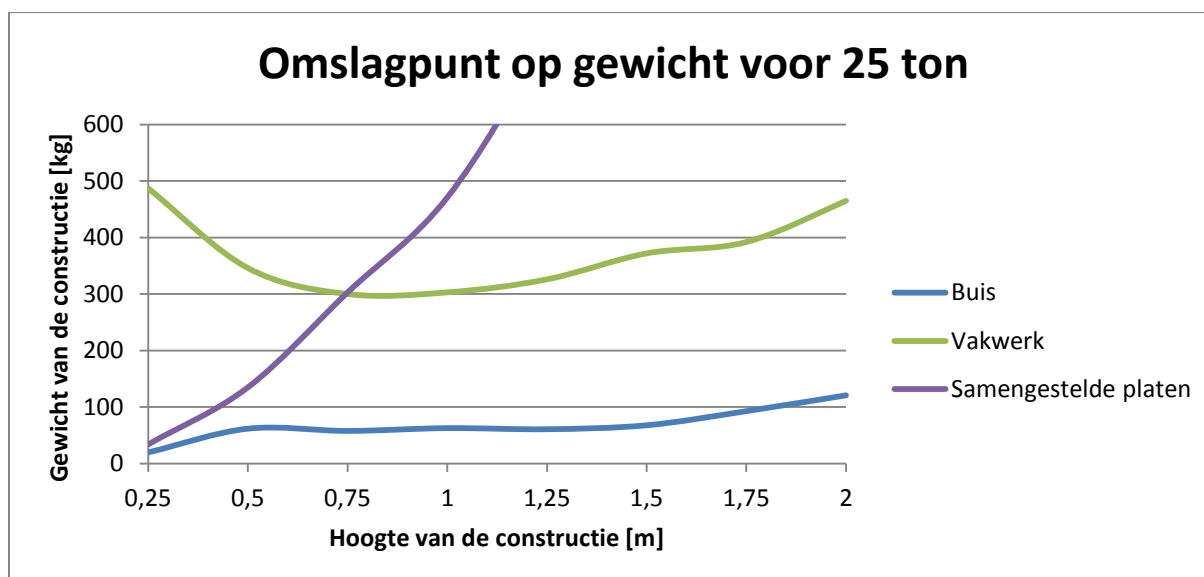
Figuur 17: Grafiek voor omslagpunt op kosten voor 20 ton



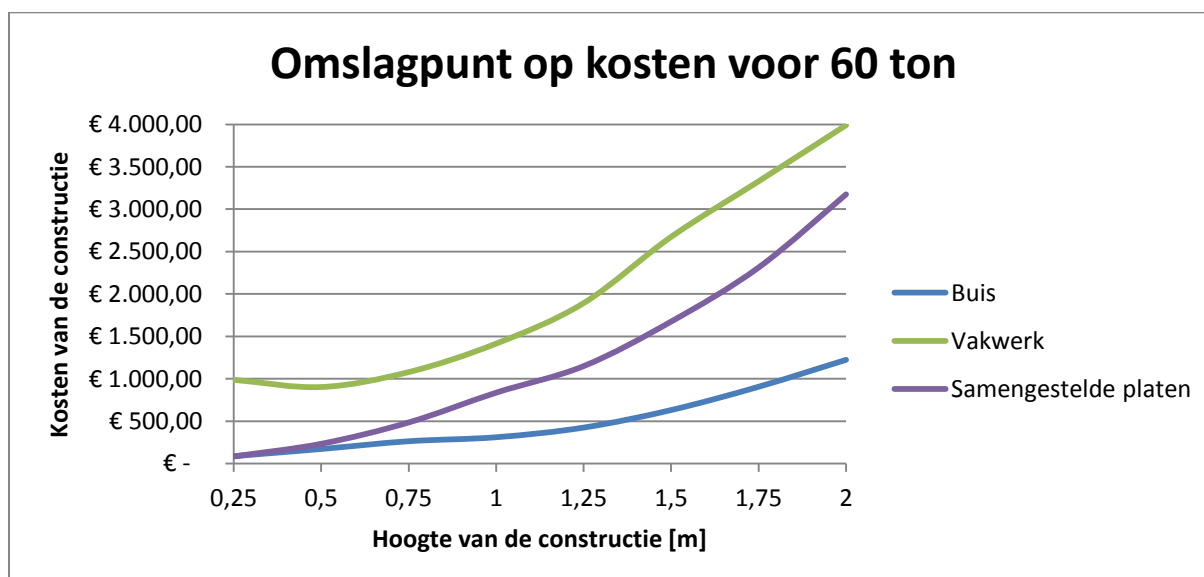
Figuur 18: Grafiek voor omslagpunt op gewicht voor 20 ton



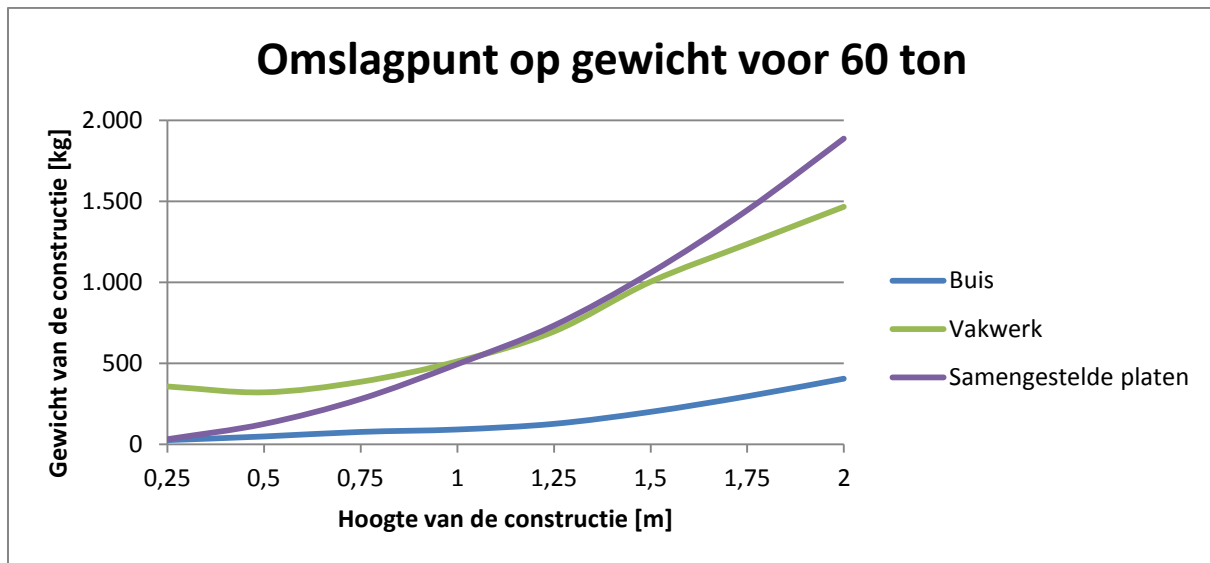
Figuur 19: Grafiek voor omslagpunt op kosten voor 25 ton



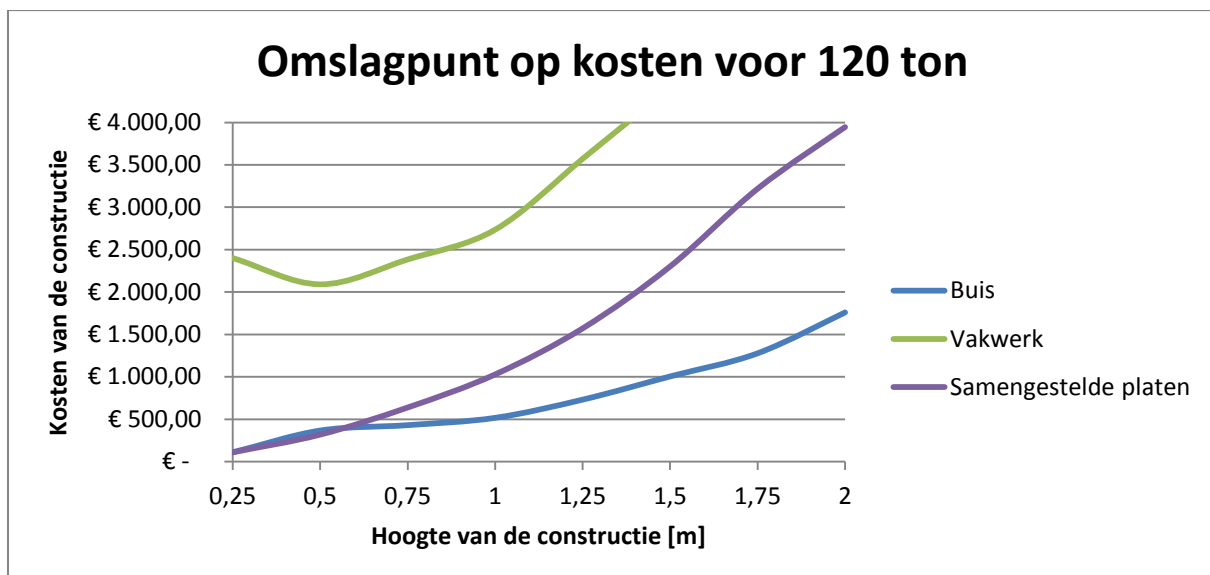
Figuur 20: Grafiek voor omslagpunt op gewicht voor 25 ton



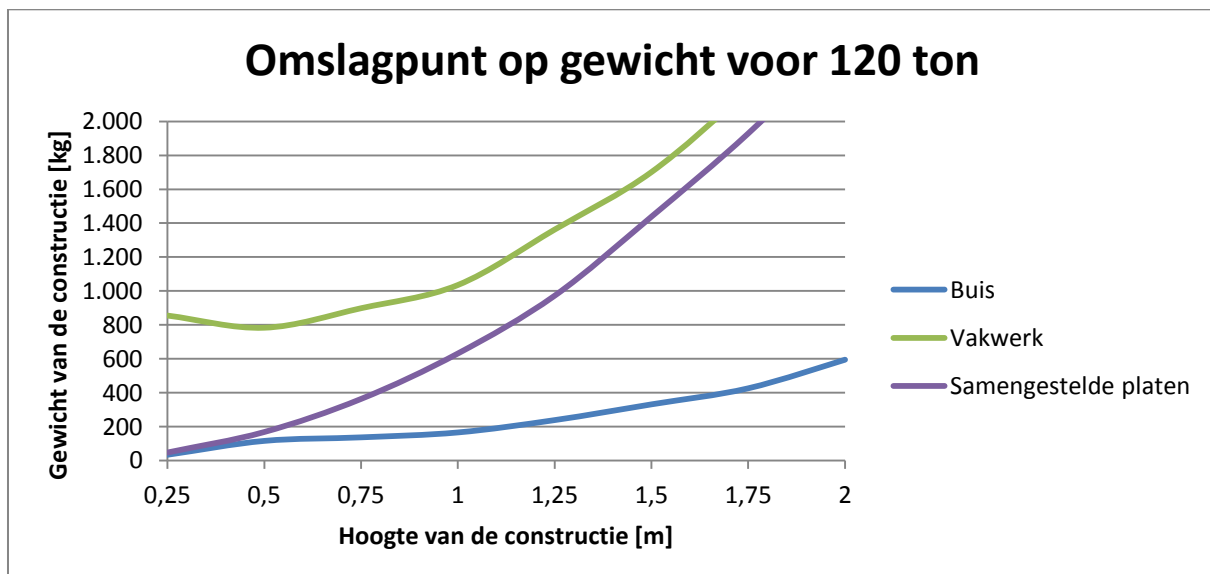
Figuur 21: Grafiek voor omslagpunt op kosten voor 60 ton



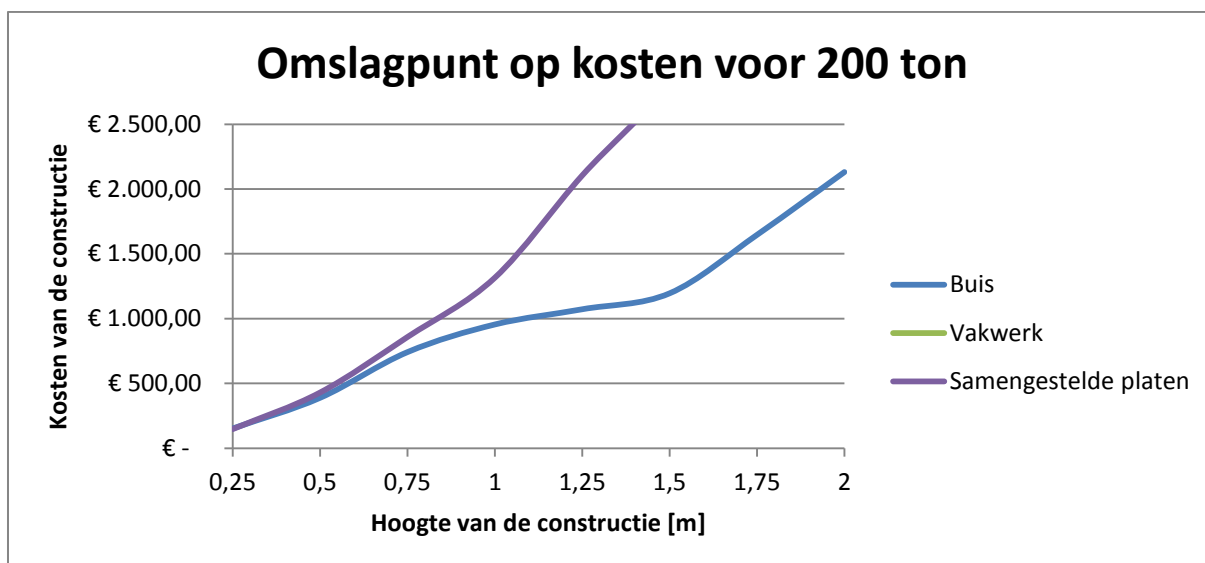
Figuur 22: Grafiek voor omslagpunt op gewicht voor 60 ton



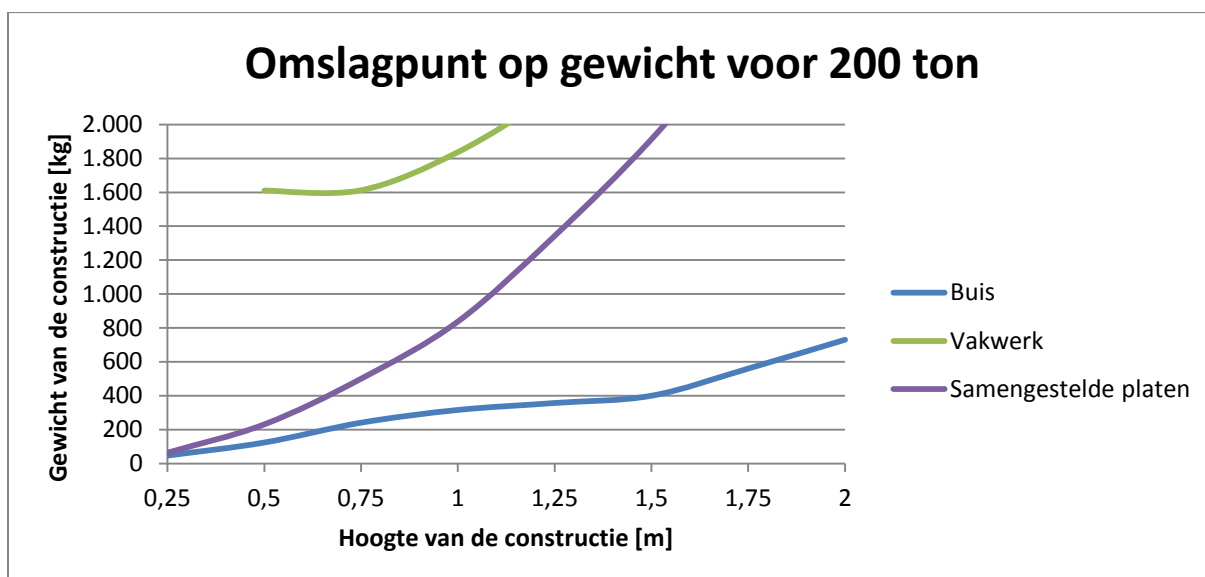
Figuur 23: Grafiek voor omslagpunt op kosten voor 120 ton



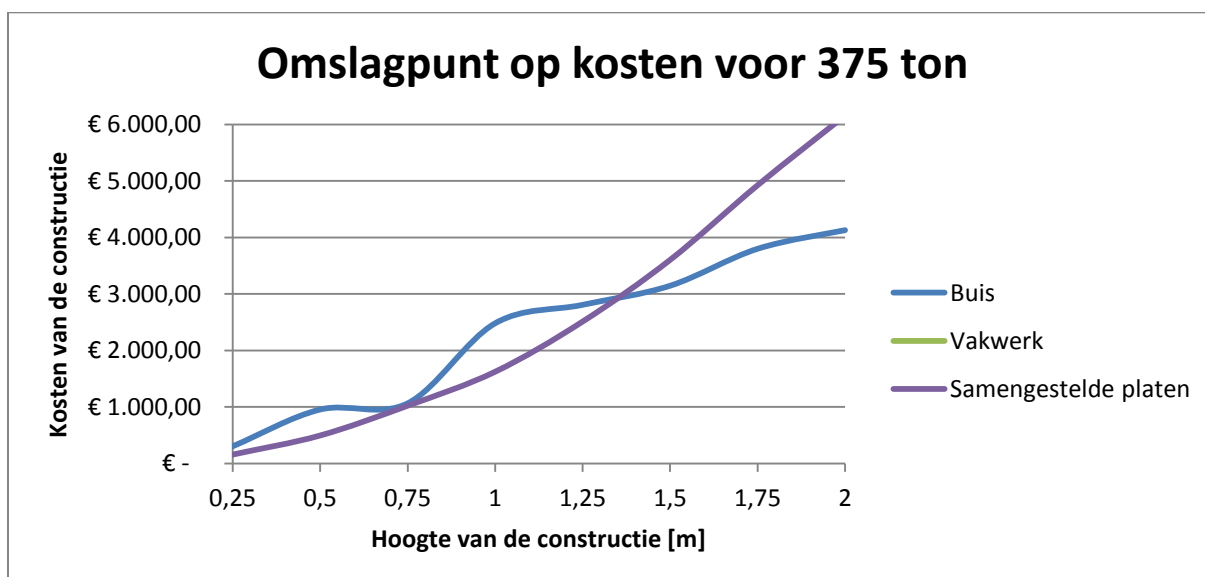
Figuur 24: Grafiek voor omslagpunt op gewicht voor 120 ton



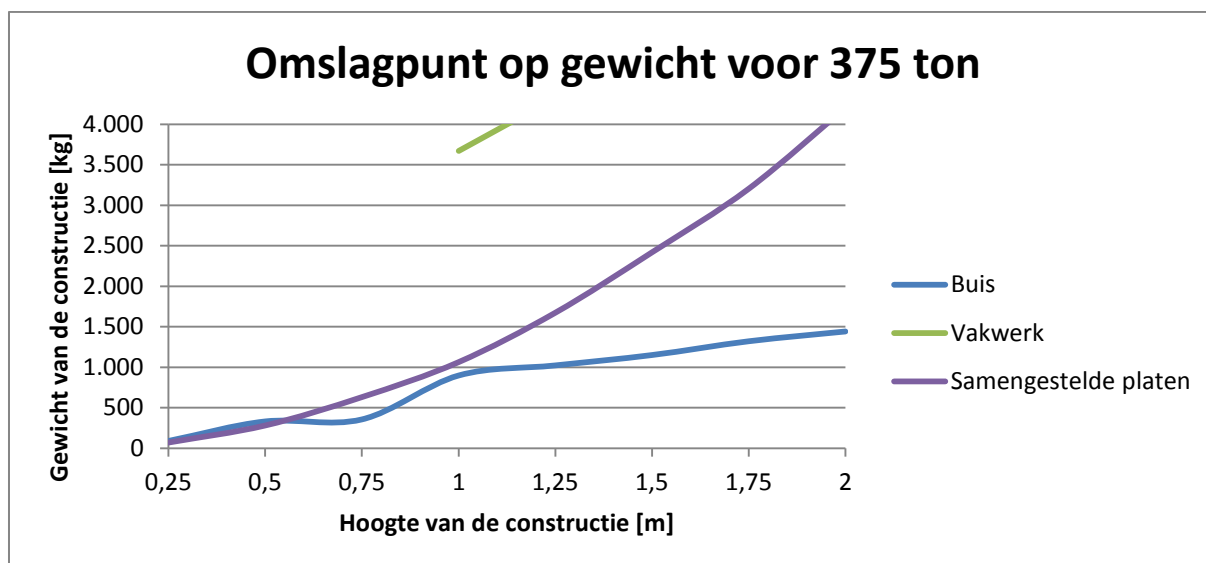
Figuur 25: Grafiek voor omslagpunt op kosten voor 200 ton



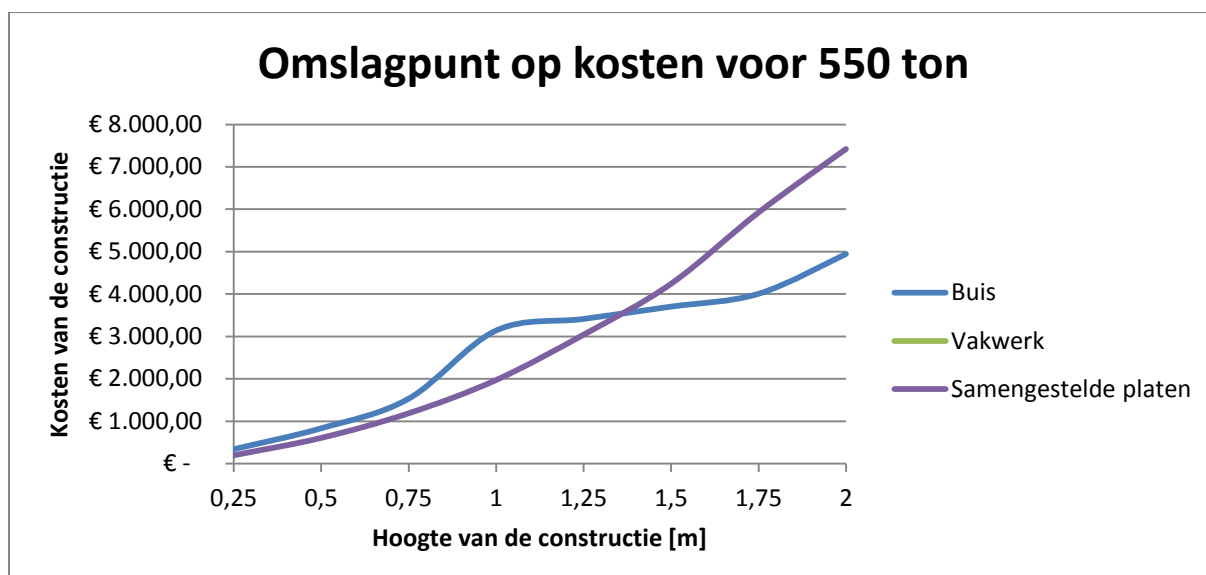
Figuur 26: Grafiek voor omslagpunt op gewicht voor 200 ton



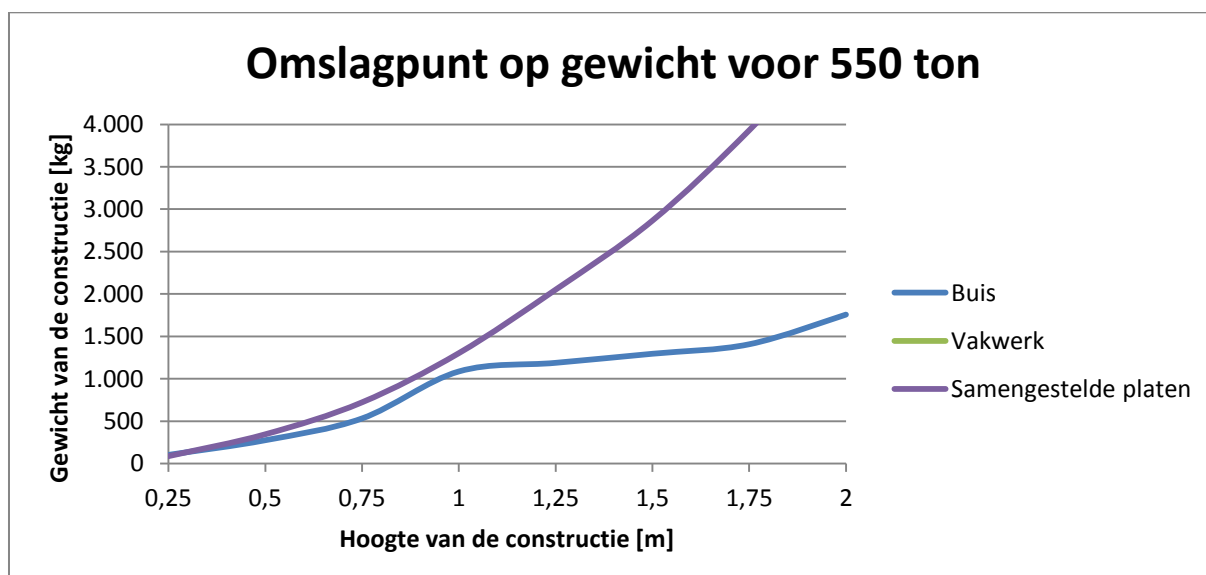
Figuur 27: Grafiek voor omslagpunt op kosten voor 375 ton



Figuur 28: Grafiek voor omslagpunt op gewicht voor 375 ton



Figuur 29: Grafiek voor omslagpunt op kosten voor 550 ton



Figuur 30: Grafiek voor omslagpunt op gewicht voor 550 ton

Bijlage VIII: Reflectierapport

In deze bijlage worden de ontwikkelingen, die tijdens het afstuderen zijn gedaan, besproken.

Competentieset

De competentieset, zoals deze is opgesteld in het plan van aanpak, is te zien in Tabel 6.

Taakrollen		Onderzoeker	Ontwerper	Adviseur	Beheerder	Projectleider	Ondernemer
Competentieset Werktuigbouwkunde & HBO Algemeen							
nr.	Competenties Werktuigbouwkunde						
1	Projectmanagement uitvoeren (organiseren, uitvoeren, verslag opstellen)						
2	Een onderzoekopdracht uitvoeren						
3	Het kunnen opstellen van een productdefinitie, PVA en PVE voor een duurzaam product of proces						
4	Het realiseren van een functioneel duurzaam product of voortbrengingsproces						
5	Het realiseren van een detailontwerp voor een duurzaam product of voortbrengingsproces						
6	Het realiseren van een prototype/model van een duurzaam product of voortbrengingsproces						
7	Het voorbereiden van een voortbrengingsproces						
8	Het produceren van een duurzaam product						
9	Het beheren of onderhouden van een product of proces						
nr.	Algemene HBO competenties						
10	Kritisch handelen (analytisch en probleemoplossend vermogen en het onderbouwen van keuzen, oordeelsvorming)						
11	Systematisch een probleem aanpakken (creatieve, plan- en projectmatige werkhouding)						
12	Samenwerken (sociaal communicatieve vaardigheden)						
13	Persoonlijke en professionele ontwikkeling						
14	Zelfverantwoordelijk werken						
15	Kunnen functioneren in een internationale en/of multiculturele context						

Tabel 6: Competentieset

Ontwikkelingen tijdens de afstudeerperiode

Tijdens deze afstudeerstage heb ik een aantal competenties opgedaan. Zo heb ik beter leren werken met SolidWorks. Hierbij heb ik beter leren werken met het simulation gedeelte, waarmee constructies worden berekend met een Eindige Elementen Methode. Door opnieuw met SolidWorks te werken heb ik mijn vaardigheden met dit programma verbeterd.

Daarnaast heb ik geleerd berekeningen goed te organiseren. Dit is handig bij grote berekeningen, omdat er dan snel iets aangepast kan worden als dit nodig is.

Ook heb ik geleerd dat het belangrijk is dat er vooraf een goede planning gemaakt wordt. Dit is belangrijk omdat er tijdens het traject dan iedere keer kan worden teruggekoppeld aan de planning. Zo kan er worden gekeken of het project nog op schema loopt, of dat een onderdeel van het project uitloopt. Hierdoor kan er op tijd worden ingegrepen als er wordt geconcludeerd dat het project teveel uitloopt en dat het project niet kan worden afgerond binnen de gestelde tijd.

Tenslotte ben ik beter geworden in het zelfstandig werken. Dit komt omdat het afstudeerproject zelfstandig moet worden uitgevoerd en er hierdoor dus ook meer zelf moet worden uitgezocht.