



# BRU2484 Versterking

Ontwerprapport stalen klemconstructie

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam  
Referentie: INFR180842-BRU2484-RAP002  
Revisie: 0  
Datum: 24-03-2022

**Iv-Infra b.v.**

Ingenieursbureau met Passie voor Techniek



Titel document: BRU2484 Versterking

Ondertitel document: Ontwerprapport stalen klemconstructie

Referentie: INFR180842-BRU2484-RAP002

Revisie: 0

Datum: 24-03-2022

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam

Projectnummer opdrachtgever:

Project: INFR180842

Opgesteld door: 5.1.2,e Iv-Infra b.v.

Paraaf: 5.1.2,e

5.1.2,e Iv-Infra b.v.

Paraaf: 5.1.2,e

5.1.2,e Gemeente Amsterdam

Paraaf: 5.1.2,e

Gecontroleerd door: 5.1.2,e Gemeente Amsterdam

Paraaf: 5.1.2,e

Goedgekeurd door: 5.1.2,e Iv-Infra b.v.

Paraaf: b/a 5.1.2,e



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1.	Onderwerp	6
1.2.	Uiteenzetting en scope	8
1.3.	Doel van dit document en leeswijzer	8
1.4.	Samenwerking en verantwoordelijkheden	8
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten en randvoorwaarden</b>	<b>9</b>
2.1.	Documenten	9
2.1.1.	Geraadpleegde documenten	9
2.1.2.	Opleverstukken	10
2.2.	Ontwerpbeschrijving	11
2.3.	Ontwerplevensduur, gevolgklasse en uitvoeringsklasse	14
2.4.	Materiaalfactoren	14
2.5.	Materiaalkwaliteiten	15
2.5.1.	Staal	15
2.5.2.	Voorspanstaven	16
2.6.	Belastingen en belastingcombinaties	17
2.7.	Gebruikte software	17
<b>3</b>	<b>Rekenmodellen</b>	<b>18</b>
3.1.	Algemene beschrijving	18
3.2.	Elementen en elementennet	19
3.3.	Projectie, Randvoorwaarden en Bijzonderheden	20
3.3.1.	Projectie	20
3.3.2.	Randvoorwaarden	20
3.3.3.	Bijzonderheden	20
3.4.	Belastingen	21
<b>4</b>	<b>Constructieve beschouwingen</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Resultaten toetsing</b>	<b>23</b>
5.1.	Sterkte	23
5.1.1.	Belastingcombinatie UGT A Montage	23
5.1.2.	Belastingcombinatie UGT B	26
5.1.3.	Belastingcombinatie UGT C	28
5.2.	Vervorming	30
5.3.	Stabiliteit	31
5.4.	Staal beton interactie	32
5.5.	Tolerantiesbeschouwing	35
5.5.1.	Geval 1: Afwijking opleggingen over lengte van evenaar	36
5.5.2.	Geval 2: Afwijkingen in inpassing drukkokerlengte	37
5.6.	Verschillen in klemkracht	38
5.6.1.	Montage	38



5.6.2.	UGT B met temperatuurverlaging	38
5.6.3.	UGT C met temperatuurverhoging	38
5.7.	Controle Voorspanstaven	38
<b>6</b>	<b>Lasberekeningen</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Raakvlakken</b>	<b>40</b>
7.1.	Controle betonconstructie	40
7.2.	Inpassing klemconstructie	40
<b>8</b>	<b>Conclusie</b>	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>Risico's en Aandachtspunten</b>	<b>43</b>
9.1.	Risico's	43
9.1.1.	Overmatige klemkracht en splijten beton	43
9.1.2.	Onvoldoende klemkracht	43
9.1.3.	Lijmankers interfereren met wapening	43
9.1.4.	Diameter staaf valt buiten ETA	43
9.1.5.	Veiligheid en gezondheidsrisico's	43
9.2.	Aandachtspunten Uitvoerings Ontwerp	44
9.2.1.	Afwijkingen dimensies betonconstructie	44
9.2.2.	Vaststellen slipverlies en klemkracht en leering voor uitvoering op bouwplaats	44
9.2.3.	Inpassing alternatief spansysteem	44
9.2.4.	Montagevoorzieningen	44
9.2.5.	Conservering staalconstructie	44
9.2.6.	Conservering beton	45
9.2.7.	Inpakken en afscherming klemconstructie	45
9.3.	Aandachtspunten Uitvoering	45
9.3.1.	Montage en werkplan	45
9.3.2.	Windverband	45
9.3.3.	Spansysteem werkplan	45
9.3.4.	Aanbrengen en kalibreren Monitoringssysteem	46
9.3.5.	Naspannen en bijwerken conservering	46
9.3.6.	Uitvoering en Toleranties	46
9.3.7.	Levering staal met Z-kwaliteit	46
9.3.8.	Laspoorten	46
9.3.9.	Check op dubbelingen	46
9.4.	Randvoorwaarde voor gebruik	47
9.4.1.	Lastbeperking	47
9.4.2.	Aanvaarvoorziening	47
9.4.3.	Aanrijdvoorziening	47
9.5.	Aandachtspunten voor onderhoud	47
9.5.1.	Inspectie	47
9.5.2.	Monitoring klemkracht en naspannen	47



<b>1</b>	<b>Bijlagen: TOM</b>	<b>48</b>
<b>2</b>	<b>Bijlagen: Toetsing Beton</b>	<b>49</b>
<b>3</b>	<b>Bijlagen: Globale berekening</b>	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>Bijlagen: Kolom stabiliteit</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>Bijlagen: FEM Rapportage</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>Bijlagen: Lasberekeningen</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>Bijlagen: Thermische berekening</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>Bijlagen: Materiaal eigenschappen</b>	<b>55</b>



# 1 Inleiding

---

## 1.1. Onderwerp

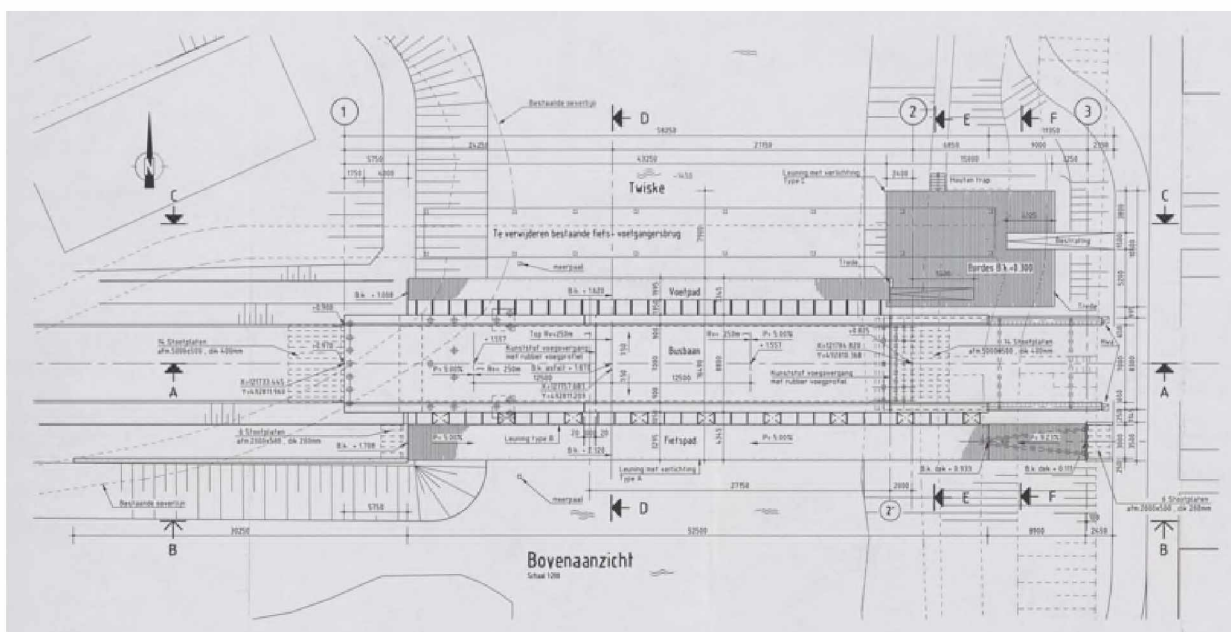
Het onderwerp van dit rapport is Brug BRU02484 (bouwjaar 2005), De Marie Thomas Tonnenbrug, in de Gemeente Amsterdam. Het betreft een betonnen verkeersbrug, welke aan beide zijden is voorzien van een aanhangend fietspad. De belasting uit het fietspad wordt via stalen consoles, verdeeld over de lengte van de brug, afdragen aan de betonnen hoofdconstructie van de brug. Oorspronkelijk werd de brug gebruikt door normaal wegverkeer, daarna enkel nog door busverkeer, wat gereguleerd wordt door een bussluis. Aan deze brug zijn recent schades aangetroffen. De schades gaven aanleiding de brug per 7 februari 2022 af te sluiten voor alle verkeer over en onder de brug op de watergang 't Twiske. Deze schades betreffen diagonale scheuren ter plaatse van de nok opleggingen aan beide zijden van de brug aan het einde van het uitkragende Westelijke landhoofd. Zie Figuur 3.

De schades van de brug zijn door constructeurs van Iv-Infra en Ingenieursbureau Amsterdam geanalyseerd en onderling besproken d.d. 8 februari 2022. Conclusies daarbij waren:

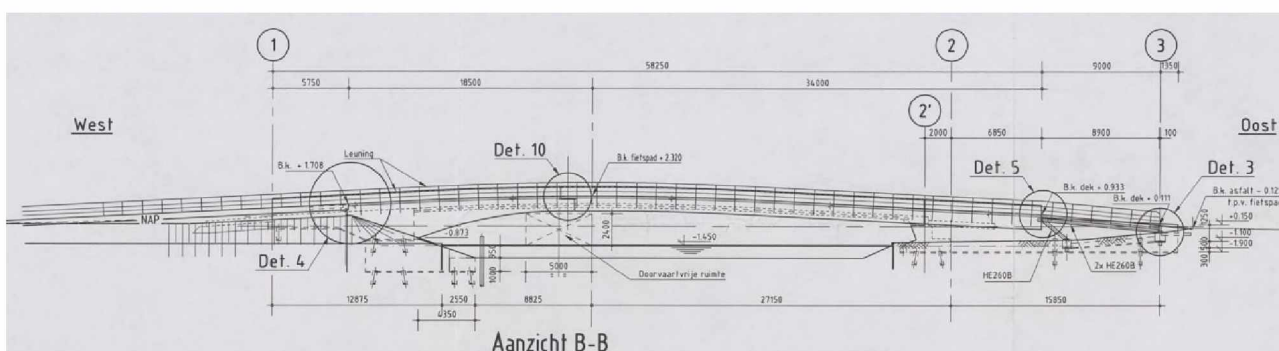
- In de ontwerpberekening is (fors) meer ophangwapening berekend dan op tekening is weergegeven.
- De brug dient sowieso versterkt te worden, zodanig dat deze weer functioneel wordt voor gebruik door Bussen, fietsers en voetgangers.

Dit heeft zich vertaald in de uitvoering van een nader onderzoek naar de wapeningsconfiguratie en scheurvorming van de nokconstructie. Zie referentie: Tabel 2-1, ref. 1 voor nadere toelichting en beeldvorming van de schades en het resultaat van dit onderzoek.

Voor de versterking zijn enkele alternatieven opgesteld en afgewogen in een Trade Off Matrix (ref. Bijlage 1). Hieruit volgde de keuze voor een versterking in de uitvoering van een uitwendige stalen klemconstructie. Toegepast direct achter de nokoplegging van de hoofdliggers van het uitkragende Westelijke landhoofd. In totaal worden er twee klemconstructies uitgevoerd. Eén per hoofdligger. Via excentrische voorspanning zorgt de klemconstructie samen met de aanwezige ophangwapening voor de opvang van het totaal aan belasting uit het inhangende brugdeel. Naast de versterking zullen de aanwezige scheuren nog gedicht gaan worden om aantasting van de wapening verder te voorkomen. Overzicht van de brug is aangegeven in Figuur 1, Zijaanzicht in Figuur 2 en verduidelijking van het detail van de oplegging van het inhangdeel in Figuur 3.



Figuur 1: Overzicht aanzicht



Figuur 2: Zijaanzicht (Het betreffende detail met schade bevindt zich binnen de cirkel aangegeven met Det. 10)



Figuur 3: Locatie oplegpunt met schade op tekening en indicatieve foto van geconstateerde schade.



## 1.2. Uiteenzetting en scope

De scope van dit rapport betreft het Definitief Ontwerp van de versterkingsmaatregel en de constructieve toetsing van de 'Klemconstructie', verder toegelicht onder de paragraaf Ontwerpbeschrijving in hoofdstuk 2.2. De nokopleggingen aan beide zijden van de brug dienen te worden versterkt. Er zullen daartoe twee klemconstructies uitgevoerd en geplaatst worden. De constructies zijn identiek, echter spiegel symmetrisch in uitvoering. Er wordt er daarom maar één uitgewerkt in dit rapport. De klemconstructie bevindt zich voor een deel in het theoretische doorvaartprofiel onder de brug, zie Figuur 2. Er zullen voorziening getroffen worden om aanvaring te voorkomen. De oplossing en uitwerking hiervan zijn geen onderdeel van dit rapport. De klemconstructie is zodanig ontworpen dat deze buiten het profiel van de Step Barrier-vorm van de hoofdligger blijft. Een aanrijding wordt hierdoor minder aannemelijk. Aanrijding kan hier echter niet mee worden uitgesloten. Daartoe wordt er nog een additionele afschermdende voorziening voorzien om aanrijding van de klemvoorziening te voorkomen. De oplossing en uitwerking van deze voorzieningen zijn geen onderdeel van dit rapport.

Voor het verkrijgen van een duurzame oplossing worden de opgetreden scheuren rond de nok van de versterking gedicht. De oplossing en uitwerking van deze voorzieningen zijn geen onderdeel van dit rapport. Uit inspectie bleek dat er nog een aantal zaken bij deze brug nader onderzocht dienen te worden. Deze zaken staan los van de versterkingsmaatregel en vallen buiten de scope van dit document.

## 1.3. Doel van dit document en leeswijzer

Het doel van dit document is presentatie van het ontwerp van de versterkingsmaatregel en het aantonen van de constructieve technisch haalbaarheid resulterend in een definitief ontwerp. De haalbaarheid van het ontwerp is gebaseerd op het spansysteem 'VSL, SAS Threadbar' van preferente leverancier VSL, onderdeel van aannemer Heijmans. Het ontwerp is robuust gemaakt om als alternatief het systeem, Freyssibar+ te kunnen faciliteren mocht er bij UO onvoorziene complicaties rond de toepassing van VSL zijn. Hoofdstuk 2 beschrijft de uitgangspunten en randvoorwaarden gehanteerd als basis voor het ontwerp. Het ontwerp van de klemconstructie is gebaseerd op een vereiste klemkracht. Die klemkracht volgt uit een belastingopgave en aanverwante toetsing van de betonconstructie, vastgelegd en onderbouwd in Bijlagen 2. Hoofdstuk 3 gaat in op de uitgevoerde constructieve beschouwingen van de stalen klemconstructie. Hoofdstuk 4 beschrijft het rekenmodel wat is hierbij is toegepast. Hoofdstuk 5 presenteert het resultaat van de toetsingen. Hoofdstuk 6 beschrijft de lasberekening. Hoofdstuk 7 gaat in op de raakvlakken ten behoeve van afstemming tot een integraal ontwerp met de overige objecten binnen het systeem van de brug. Hoofdstuk 8 omvat de vaststelling van de te hanteren klemkracht en de noodzakelijke voorspankracht op basis van een beoordeling van de constructieve veiligheid van het gehele systeem volgend uit een integrale beschouwing van de toetsresultaten van de bestaande betonconstructie en de stalen klemconstructie. Hoofdstuk 9 benoemt de risico's en aandachtspunten voor het uitvoeringsontwerp en uitvoering.

## 1.4. Samenwerking en verantwoordelijkheden

Het ontwerp en dit document zijn integraal tot stand gekomen en uitgewerkt binnen een coöperatie van de Ingenieursbureaus Iv-Infra b.v. en Gemeente Amsterdam. Waarin Iv-Infra verantwoordelijk is voor de uitwerking van de staalconstructie en IB Amsterdam voor de aangeleverde uitgangspunten ten aanzien van belasting en toetsing van de betonconstructie. De eindverantwoordelijkheid ligt bij Ingenieursbureau Amsterdam.



## 2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

### 2.1. Documenten

#### 2.1.1. Geraadpleegde documenten

Tabel 2-1: Diversen

Nr.	Document	Versie / datum
1	INFR180842-BUR2484-RAP001-VO	0 / 9 maart 2022
2	VSL-Thread-Bar-Systems-Technical-Catalogue_2007.pdf	2007
3	BW-K01; Bestekwijziging constructie. Aanzichten en doorsneden	0 / 13 februari 2003
4	K124; Detailtekening Busbaan Wapening Landhoofd as 1	1 / 18 november 2003
5	K016; Detailtekening Voetpad Bovenaanzicht en aanzichten	0 / 25 mei 2003
6	ETA-05-0122_SAS-1050-Post-tensioning-bar-tendon-system	2018

Tabel 2-2: Normen en richtlijnen

Nr.	Normen en richtlijnen	Omschrijving
1	NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 (nl) & NB:2011 (nl)	Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp
2	NEN-EN 1991-1-1+C1:2011 (nl) & NB:2011 (nl)	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-1: Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
3	NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011 (nl) & NB:2011 (nl)	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-4: Windbelastingen
4	NEN-EN 1991-1-5+C1:2011 (nl) & NB:2019 (nl)	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-5: Thermische belasting
5	NEN-EN 1991-1-7+C1+A1:2015 (nl) & NB:2019 (nl)	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-7: Algemene belastingen – Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen
6	NEN-EN 1991-2+C1:2015 (nl) & NB:2019 (nl)	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen
7	NEN-EN 1993-1-1+C2+A1:2016 (nl) & NB:2016 (nl)	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
8	NEN-EN 1993-1-8+C2:2011 (nl) & NB:2011 (nl)	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen
9	NEN-EN 1993-1-9+C2:2012 (nl) & NB:2011 (nl)	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-9: Vermoeiing
10	NEN-EN 1993-1-10+C2:2012 (nl)	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-10: Materiaaltaaiheid en eigenschappen in dikterichting
11	NEN-EN 1993-2+C1:2011 (nl) & NB:2011 (nl)	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 2: Stalen bruggen
12	VOBB 2021 (NEN6786-1 2021)	Voorschriften voor het ontwerp van beweegbare bruggen



Nr.	Normen en richtlijnen	Omschrijving
13	NEN-EN1090-2:2018	Het vervaardigen van staal- en aluminiumconstructies. Deel 2: Technische eisen
14	NEN8700	Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeur.

### 2.1.2. Opleverstukken

Tabel 2-3: Rapporten DO

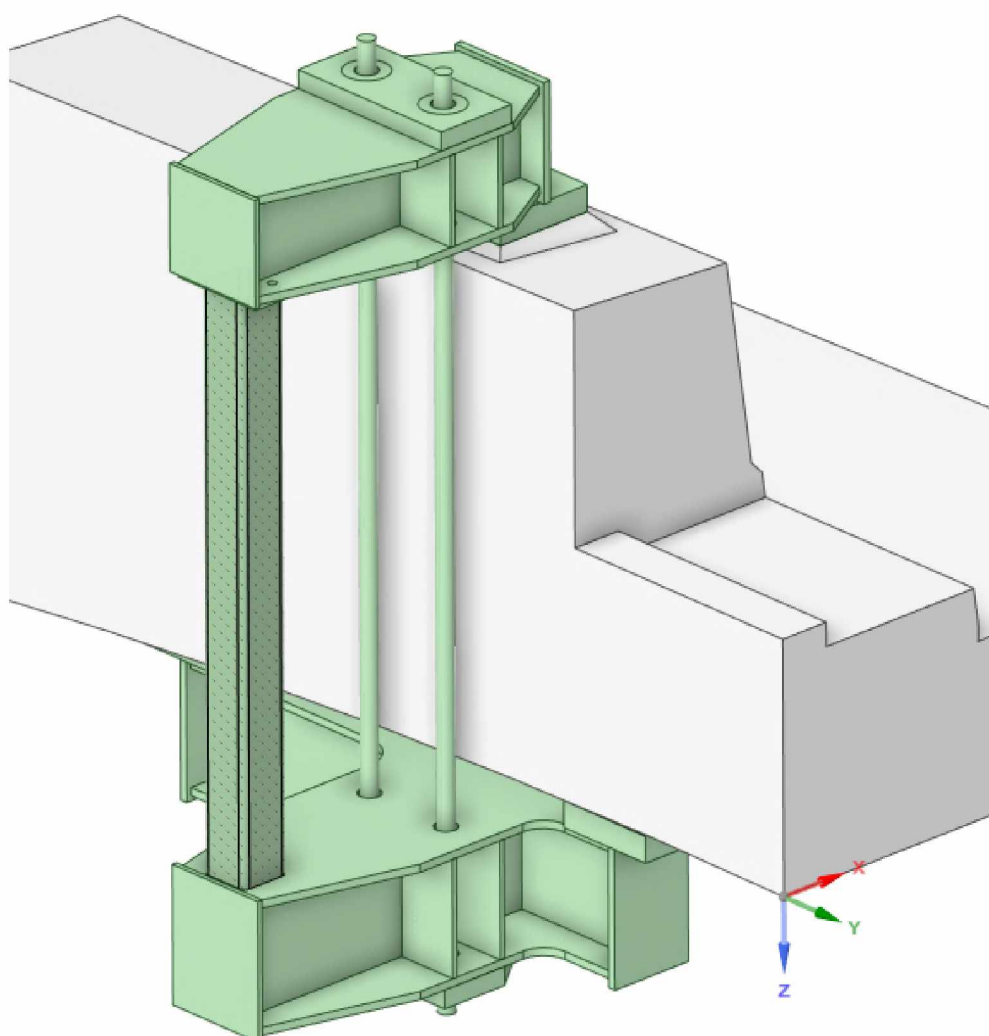
Nr.	Documentnummer	Omschrijving
1	INFR180842-BRU2484-RAP002	Ontwerprapport stalen klemconstructie

Tabel 2-4: Tekeningen DO

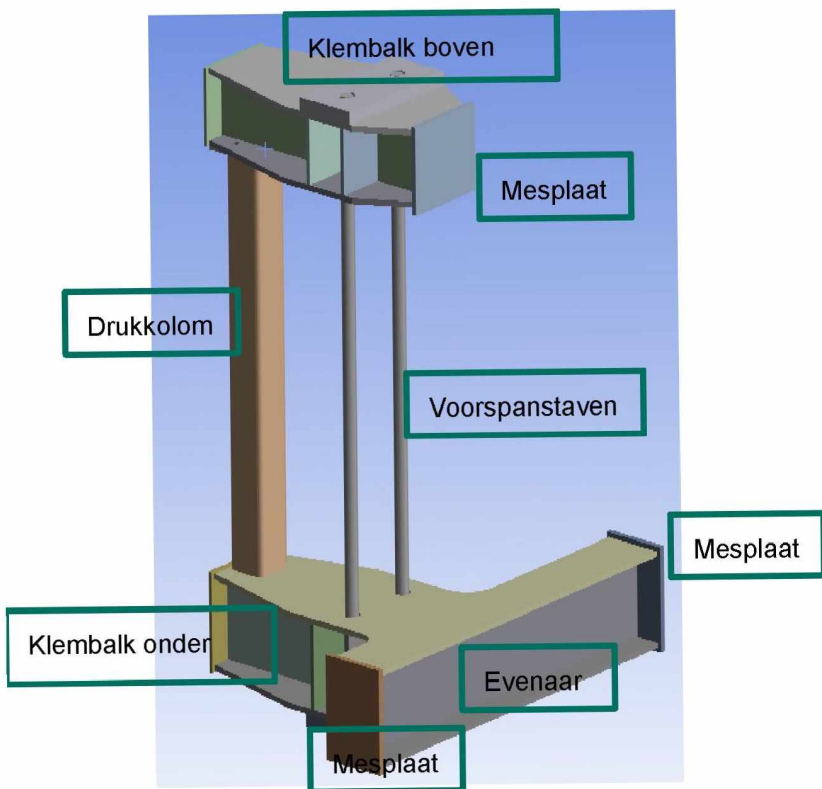
Nr.	Documentnummer	Omschrijving
1	INFR180842-BRU2484-TEK001	Overzichtstekening
2	INFR180842-BRU2484-TEK002	Samenstelling Klem Constructie/ Losse Onderdelen

## 2.2. Ontwerpbeschrijving

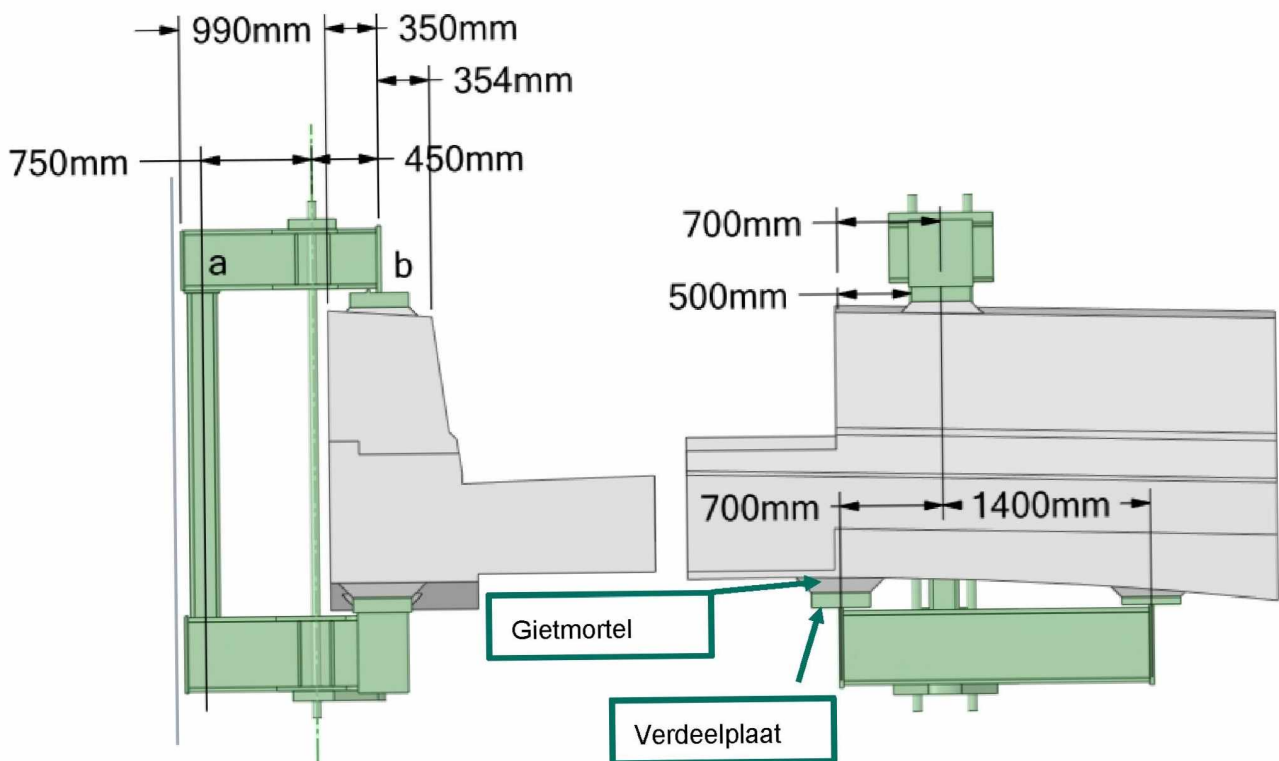
De versterking bestaat uit een uitwendige stalen klemconstructie, toegepast direct achter de nokoplegging van de hoofdliggers van het uitkragende Westelijke landhoofd. In totaal worden er twee klemconstructies uitgevoerd. Eén per hoofdligger. Via excentrische voorspanning zorgt de klemconstructie samen met de aanwezige ophangwapening voor de opvang van het totaal aan belasting uit het inhangende brugdeel. Navolgende Figuur 4 t/m Figuur 6 geven een beeld van de klemconstructie en uit welke onderdelen deze is opgebouwd. De afbeeldingen zijn indicatief met niet alle details zichtbaar. Voor een volledig beeld van constructie inclusief afmetingen en detaillering wordt verwezen naar de tekeningen genoemd onder Tabel 2-4: Tekeningen DO. Figuur 5 geeft de benaming van de onderdelen die we door de rest van dit rapport hanteren. Navolgend een beschrijving van de opbouw van de constructie met toelichting.



Figuur 4: Isometrisch overzicht klemconstructie



Figuur 5: Nomenclatuur Klemvoorziening



Figuur 6: Dwars- en langsaanzicht van de totale samenstelling



- Het principe bestaat uit het introduceren van een klemkracht doormiddel van externe voorspanning vergelijkbaar met het principe van een lijmkleem.
- Uit vooronderzoek volgt de wens voor een “evenaar” constructie en de configuratie van afstanden van de aanlegvlakken, gegeven in Figuur 6. Op deze wijze wordt het meest effectief een drukdiagonaal gecreëerd door de nek van de vertanding met afdoende afstand tot de rand van de beton om afboeren van de beton te voorkomen. Ref. onderbouwning in bijlage 2.
- Er is een hoge voorspankracht nodig om de gewenste klemkracht te bereiken. De kracht is te hoog voor een enkele staaf. De klemkracht wordt geleverd door voorspanning van twee spanstaven. Type: VSL SAS D65, zie paragraaf 2.5.2.
- De voorspanning wordt omgezet naar een klemkracht op de beton en een druk op de kolom.
- Dit gebeurt via samengestelde kokerbalk boven en onder. Gekozen is voor een samengestelde koker vanwege de noodzakelijk plaatdikte onder de hoge kracht en de aanwezigheid van 2 spanstaven.
- De drukkolom is boven en onder met een boutverbindingen met 2 x M30 8.8 verbonden met de samengestelde kokers. Dit biedt mogelijkheden voor montage in geheel of afzonderlijke delen.
- Tussen de kolom en de bovenste koker is in basis een vulplaatje aanwezig van 10 mm. Bij de opleveringen schrijven we afdoende plaatjes van dikte 6-8-10 mm voor. Hierdoor kan in de praktijk de inwendige lengte van de klemvoorziening worden afgesteld met een maximale afwijking van 2 mm.
- De voorspanstaven dragen via de moer hun kracht of op de kokerbalken via een verdeelplaat. Die verdeelplaten zijn vast gelast aan de kokerbalken. Hun afmeting van 650 mm is afgeleid van de verdeelplaten die horen bij het VSL systeem (oorspronkelijk 325mmx325 mm). (Merk op dat het hier gaat om de verdeelplaten onder de moeren van de voorspanstaven en niet de verdeelplaten voor de inleiding van de kracht in de beton.) Dit oppervlak is afdoende om het hydraulische vijzel hierop te laten afdrukken. De voorspanstaven dienen gelijktijdig gespannen te worden. Het ontwerp is gebaseerd op de toepassing van holle vijzels. De uitwendige afmetingen van het vijzel van het VSL systeem zijn te groot om twee vijzels naast elkaar te plaatsen. Rekening gehouden moet worden dat een vijzel vanaf de bovenzijde van het frame wordt gespannen en de andere staaf vanaf de onderzijde. De vijzels dienen hydraulisch gekoppeld te worden, zodat ze een gelijke verlenging ondergaan.
- De lengte van de spanstaven zijn zodanig dat deze op te lengen zijn met een koppelmoer om het trekken met de vijzels mogelijk te maken.
- De betonconstructie is in geen enkele richting vlak. Het bovenvlak heeft een verkanting in dwarsrichting. De onderzijde van de beton heeft een toog. Op de beton worden voor het verkrijgen van een goede inleiding van de belasting vanuit de klemconstructie afzonderlijke stalen verdeelplaten gesteld.
- De verdeelplaten worden waterpas en binnen nader gestelde toleranties in hoogte ten opzichte van elkaar afgesteld op M16 (8.8) ingeboorde lijmanker. Daarna worden deze met een hoogwaardige drukvaste mortel ondergoten.
- De mortel wordt getest of deze afdoende druksterkte heeft voordat de klemkracht wordt aangebracht. De minimum vereiste karakteristieke druksterkte bij aanbrengen klemkracht is:  
 $f_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$ .
- De dikte en lengte van de verdeelplaten zijn afgestemd met de grootte van de belasting en de dikte van de mortel. Uit bijlage 2 volgende de afmetingen van de platen (resp. 450 mm x 450 mm en 280 mm x 450 mm).



- De krachtsinleiding van het klemframe op de verdeelplaten gebeurt via zogenoemde mesplaten. Deze mesplaten zorgen voor een heldere krachtoverdracht met enige rotatiemogelijkheid. Tevens bieden zij de mogelijkheid om een hoge tolerantie nauwkeurigheid te verkrijgen na het lassen van de samenstelling.
- De dikke verdeelplaat boven en boven zijn 100 mm dik en hebben een sparing van 15 mm, waar in de mesplaten met enige speling gevangen wordt. Hiermee wordt een juiste installatie en locatie van de lastinleiding geborgd en als zekering van de constructie wanneer deze nog niet volledig is opgespannen.
- Op de bovenflens van de onderste samengestelde koker wordt een stelmogelijkheid voorzien tegen de betonnen dekrand.
- Overmaatse gaten in de verdeelplaten zorgen voor het binnen tolerantie positioneren van de verdeelplaten binnen de toepassing met lijmankers.
- Het gewicht van het totaal is ca. 3 ton. Nadere opgave via tekening, ref. Tabel 2-4: Tekeningen DO .
- Het voorspanstelsysteem heeft een verlies door met name het zetten van de staaf in de moer. Dit betekent dat op de beton en de rest van de klemconstructie tijdens het spannen tijdelijk een hogere spanning opgelegd wordt om uiteindelijk na het zetten van de moer de gewenste klemkracht over te houden. Belangrijk aandachtspunt is het garanderen van de gewenste klemkracht op de betonconstructie, rekening houdend met de werkelijke verliezen doch het voorkomen van overmatige klemkracht. Dit moet geborgd zijn in een werkplan. Voor alle aandachtspunten en risico's zie hoofdstuk 9.
- De klemconstructie dient gemonteerd te worden tussen de consoles van het fietspad door. De minimaal aanwezige vrije ruimte tussen de rand van de geïnstalleerde klemconstructie en de rand van het fietspad is 50 mm. Ref. Paragraaf 7.2.

### 2.3. Ontwerplevensduur, gevolgklasse en uitvoeringsklasse

- Ontwerp-/restlevensduur constructie: 100 jaar (NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019/NB)
- Gevolgklasse bestaande constr: CC2\*
- Gevolgklasse nieuwe constr: CC3
- Uitvoeringsklasse: EXC 3 (NEN-EN 1993-1-1 NB Tabel NB.C.1)

\* Volgens NEN-EN 1990:2019/NB Bijlage A2 Tabel NB.11 – 2.1 valt de brug gezien de gewenste ontwerplevensduur onder klasse 4 en daarmee in Consequence Class 3. In geval van 50 jaar zou dat CC2 zijn. Voor deze brug wordt vermeend dat CC2 een juiste inschaling is volgend tabel NB.23 -B1 en NB.24-B1, gezien het gebruik van de brug als busbaan en de kans dat meer dan 500 mensen tegelijkertijd gevaar lopen klein is. CC2 is het minimale niveau waarvoor de belasting op de brug op verbouwniveau volgens NEN8700 wordt uitgelegd. Dit is de basis waarop de noodzakelijke klemkracht en daarmee de voorspanning is bepaald. De overige belastingen op de nieuwbouw voorziening volgen CC3.

### 2.4. Materiaalfactoren

Voor staalconstructies worden de onderstaande toegepast:

- Algemeen:  $\gamma_{M;0} = 1,0$
- Stabiliteit:  $\gamma_{M;1} = 1,0$
- Sterkte van verbindingen:  $\gamma_{M;2} = 1,25$



## 2.5. Materiaalkwaliteiten

### 2.5.1. Staal

De staalconstructie zal worden uitgevoerd in sterkteklasse S355. De materiaal eigenschappen conform de norm NEN-EN1993-1-1 worden weergegeven in Figuur 7.

**Tabel 3.1 — Nominale waarden van de vloeigrens  $f_y$  en de treksterkte  $f_u$  voor warmgewalst constructiestaal**

Norm en staalsoort	Nominale dikte van het element $t$ [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
<b>S 355</b>	<b>355</b>	<b>490</b>	<b>335</b>	<b>470</b>
S 450	440	550	410	550

Figuur 7: Sterkte eigenschappen staal

De volgende staalkwaliteiten dienen minimaal te worden toegepast:

- Koker  $t = 12,5$ mm: S355JR warmgewalst
- Platen  $t \leq 25$  mm: S355JR (toegepaste platen 20 mm)
- Platen  $t \geq 25$  mm: S355J0 (toegepaste platen 30/40 mm)
- Platen  $t \geq 40$  mm: S355J2 (verdeelplaten 50 mm)
- Platen  $t = 100$  mm: S355NL (verdeelplaten 100 mm)

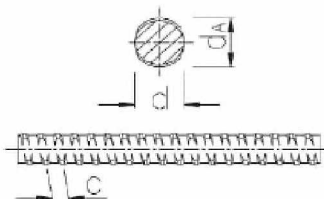
Leveringsconditie voor de Z-kwaliteit van de platen als onderdeel van de gelaste klemconstructie: Z15.

De verdeelplaten behoeven geen Z-kwaliteit.



## 2.5.2. Voorspanstaven

Het Definitief Ontwerp is gebaseerd op de toepassing van het navolgende systeem, ref. Tabel 2-1-5:



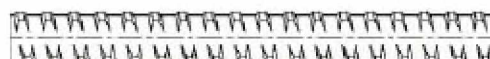
**VSL-SAS Thread Bar** (d: Nominal Diameter)

VSL-SAS Thread bar is a high tensile alloy steel bar with coarse right-hand thread over its full length. The system is proven worldwide and offers versatility in a range of applications.

Manufactured in accordance with the DIN standards, the system also offers general conformance with BS4486. The system also got ETA approval. The thread bars are hot rolled quenched and tempered, followed by stretching (further tempering) operation to achieve the necessary performance.

Thread bar configurations				
System	Type of Thread	Rolling process	MAX. Bar Length	Architectural Components available
SAS Thread Bars 18mm - 75mm	Fully threaded (right hand)	Hot Rolled	11.85m	No

### VSL SAS THREAD BAR CHARACTERISTICS



Dimensions (mm)			Nominal Area (mm <sup>2</sup> )	Nominal Mass (kg/m)	Nominal Tensile Strength / Load (MPa / kN)		Nominal Proof Stress (Mpa)	Minimum Elongation at max force %
d	dA	C						
18	21	8	241	1.96	1050	255	950	5
26.5	31	13	551	4.48	1050	580	950	5
32	37	16	804	6.53	1050	845	950	5
36	42	18	1020	8.27	1050	1070	950	5
40	46	20	1257	10.21	1050	1320	950	5
47	53	21	1735	14.10	1050	1820	950	5
57	64	21	2581	20.95	1035	2671	835	4
65	72	21	3331	27.10	1035	3447	835	4
75	82	24	4448	35.90	1035	4572	835	4

Figuur 8: Extract uit Productinformatie VSL

Rekenwaarde van de E-modules: 195.000 MPa



## 2.6. Belastingen en belastingcombinaties

De klemconstructie wordt belast door enkel eigen gewicht (ca. 3 ton) van de klemconstructie en de gezamenlijke voorspanning in beide staven van  $2 \times 2300 = 4600$  kN. Deze voorspanning is bepaald in de globale berekening, ref. bijlage 3 en volgt uit de gewenste klemkracht op de betonconstructie. Volgens opgave Gemeente Amsterdam bedraagt dit druk op de bovenzijde van de betondoorsnede van 2500 kN, welke wordt kortgesloten via de evenaar naar de twee steunpunten onder de betondoorsnede naar verhouding van de afstanden. Bijlage 2 geeft een volledig onderbouwing voor de totstandkoming van deze klemkracht. De klemkracht is het product van de optredende belastingen op de nokoplegging van het ingehangen brugdeel uit eigen gewicht en verkeersbelasting inclusief belastingfactoren met aftrek van de capaciteit van de aanwezige ophangwapening. Het uitgangspunt hierin is CC2 Verbouwniveau, ref. paragraaf 2.3.

Voor de klemconstructie wordt CC3 aangehouden met de bijbehorende belastingfactoren.

Beschouwd is de montagesituatie tijdens het aanspannen waarbij initieel de voorspanning hoger is vanwege later optredend verlies. In de gebruikssituatie is de aanwezige voorspanning na verlies in rekening gebracht. Aanvullend wordt temperatuur in rekening gebracht, aangezien deze belangrijk effect heeft op de voorspanning en klemkracht. De temperatuurbelasting is bepaald in bijlage 7.

Zoals uitgelegd onder paragraaf 1.2 wordt er niet gerekend met aanvaring of aanrijding.

Tabel 2-5 - Belastingcombinaties

Belastingscombinatie factoren Belasting	BGT	UGT A Montage	UGT B	UGT C
Eigen gewicht	1,0	1,4	1,25	1,25
Voorspanbelasting	1,0	1,15	1,0	1,0
Temperatuur minimum			1,65	
Temperatuur maximum				1,65

## 2.7. Gebruikte software

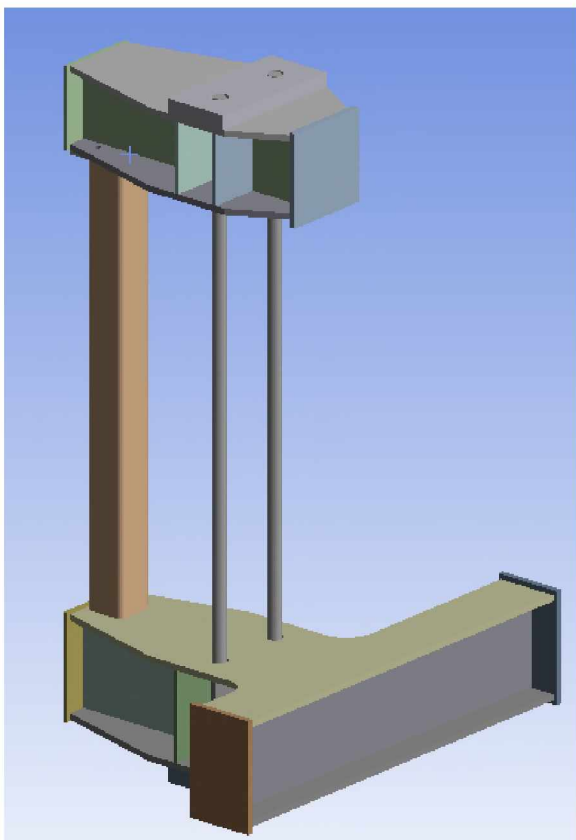
De volgende software is toegepast:

- Ansys Mechanical
- Ansys SpaceClaim
- Microsoft Excel

## 3 Rekenmodellen

---

Binnen Ansys is een rekenmodel opgesteld. Dit hoofdstuk geeft een korte toelichting van het 3D-rekenmodel.



Figuur 9: Overzicht 3D model

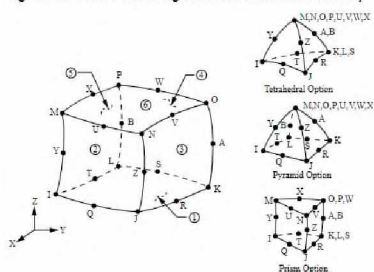
### 3.1. Algemene beschrijving

Het model is opgebouwd uit volume plaat modellen, met volumen elementen, waaraan het materiaal staal is toegekend S355 toegekend, met de daaraan gekoppelde kenmerken als E-modules en vloeigrens e.d. De voorspanstaven zijn in de berekening versimpeld vertegenwoordigd als balk elementen en worden gebruikt om de voorspanning aan te brengen via een 'Bolt Pre-tension'. De voorspanstaven hebben een E-modules van 195.000 MPa. In het basismodel heeft de constructie drie stijve randopleggingen. Dit zijn de drie randvlakken van de mesplaten. Een en ander nader toegelicht op de volgende pagina. In een aanvullende beschouwing zijn de betonconstructie en de verdeelplaten met mortel meegenomen in het model, ref. paragraaf Staal beton interactie 5.4.

### 3.2. Elementen en elementennet

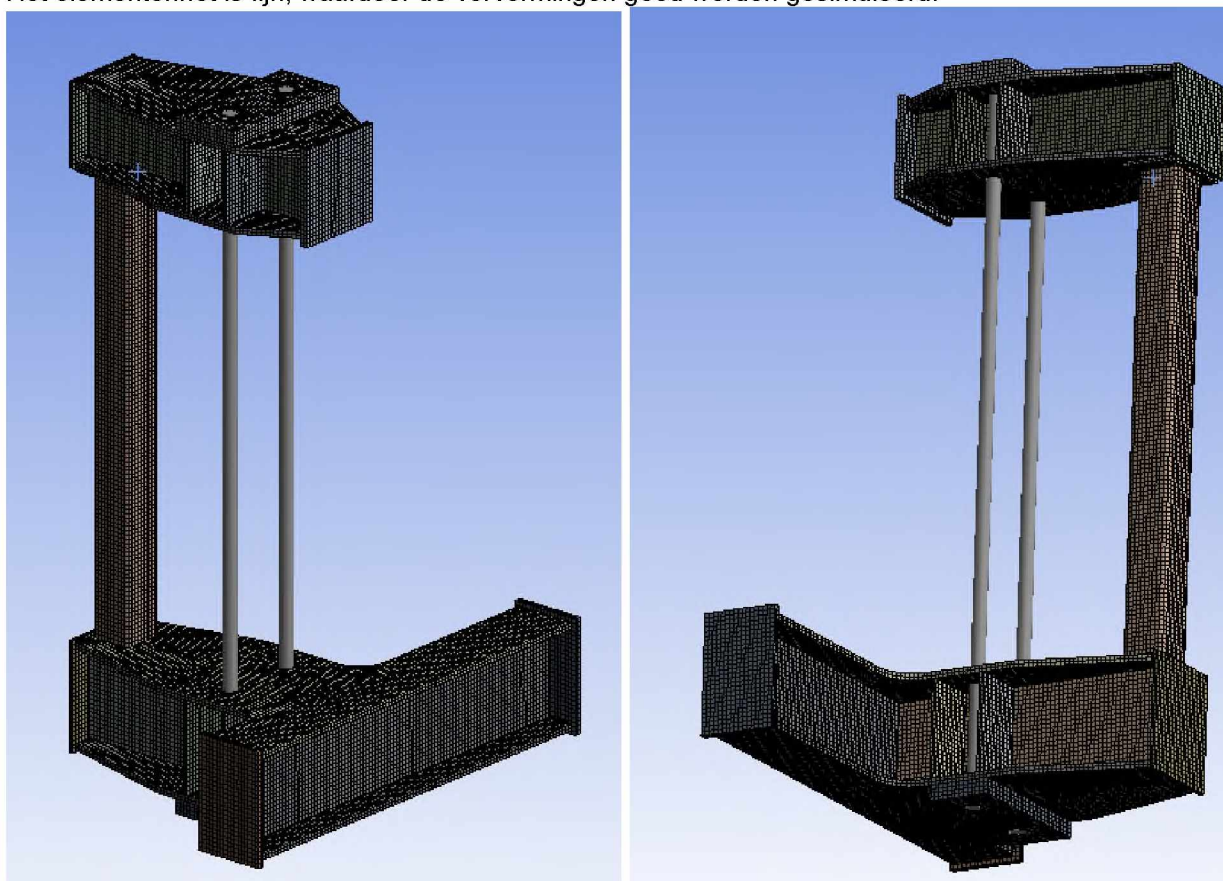
Hogere orde Hexahedrol volume (solid186) elementen zijn gebruikt in de simulatie met 2 elementen over de dikte van de volumes. Deze elementen geven een hoge nauwkeurigheid op de resultaten.

Figure 186.1: SOLID186 Homogeneous Structural Solid Geometry



Figuur 10: Solid186, kwadratische element.

Het elementennet is fijn, waardoor de vervormingen goed worden gesimuleerd.



Figuur 11: Elementennet in 2 aanzichten

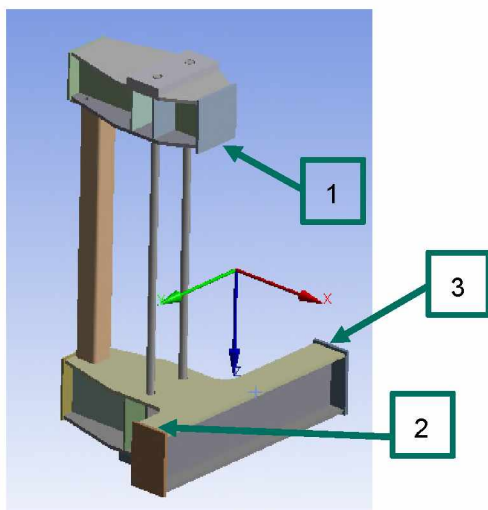


### 3.3. Projectie, Randvoorwaarden en Bijzonderheden

#### 3.3.1. Projectie

De projectie van het model is gelijk qua richting aan die in de werkelijkheid. De langszijde is in de Y-richting. De dwarsrichting is in de X-richting.

#### 3.3.2. Randvoorwaarden



Figuur 12: Randvoorwaarden

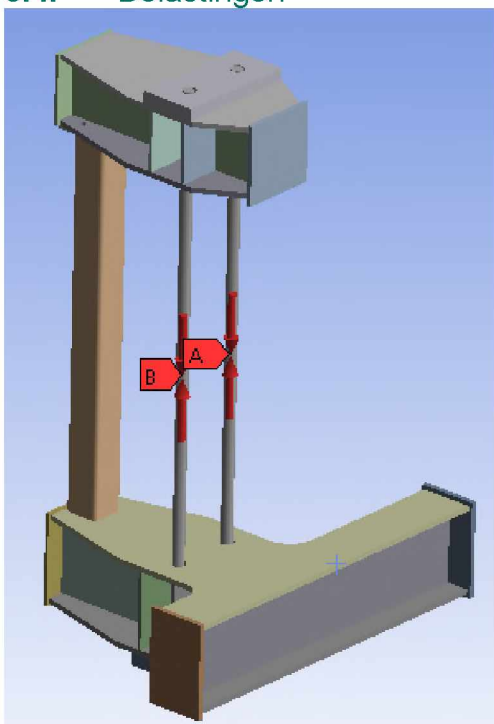
Basis randvoorwaarden:

- 1: Mesplaat aan bovenzijde beton:
  - o Verplaatstingsvast in alle richtingen
  - o Rotatievast om de X-as, andere rotaties zijn vrij
- 2: Mesplaat aan onderzijde:
  - o Verplaatstingsvast in alle richtingen
  - o Rotatievast om de Y-as, andere rotaties zijn vrij
- 3: Mesplaat aan onderzijde:
  - o Verplaatstingsvast in X en Z richting, Y is vrij
  - o Rotatievast om de Y-as, andere rotaties zijn vrij

#### 3.3.3. Bijzonderheden

In de platen zijn de gaten D86 voor de doorvoer van de voorspanstaven opgenomen. De aansluiting van de voorspanstaven met de verdeelplaten, de verdeelplaten met de samengestelde kokers en de drukkoker met de samengestelde koker is uitgevoerd middels lineaire trek/druk contacten. Gecontroleerd is of deze onder druk blijven. De aansluiting van de drukkoker met de samengestelde koker aan de bovenzijde is gemodelleerd zoals in werkelijkheid. De onderzijde wordt in praktijk het zelfde uitgevoerd maar is vereenvoudigd gemodelleerd met een directe aansluiting. Aangezien de contacten hier over hele doorsnede onder druk blijven geeft dit geen ander resultaat.

### 3.4. Belastingen



Figuur 13: Opgelegde voorspanning

#### Basis belastingen:

- 1: Eigengewicht:
  - o Eigengewicht werkt in de +Z-richting
- 2: Voorspanning (zie Figuur 13):
  - o Voorspanning werkt in de richting van de spanstaven.
  - o 2300kN per staaf voor verliezen.
  - o 2000kN per staaf na verliezen.
  - o Een gedetailleerde bepaling van de voorspankracht is opgenomen in de Bijlagen: Globale berekening
- 3: Thermische Belasting:
  - o Uitzetting  $T_{e;max} = 47,2deg \rightarrow T_{ed;max} = 77,8$
  - o Krimpen  $T_{e;min} = -30,8deg \rightarrow T_{ed;min} = -50,8$
  - o Start temperatuur  $T_0 = 10deg$
  - o Een gedetailleerde bepaling van de temperaturen is opgenomen in de Bijlagen: Thermische berekening



## 4 Constructieve beschouwingen

---

De volgende beschouwingen zijn uitgevoerd op de klemconstructie. Toelichting en resultaten zijn gegeven onder hoofdstuk 5.

- Sterkte
  - o Toetsing van de optredende spanningen
    - Globale ontwerpbeurt controle in bijlage 3.
    - Toetsing op detailniveau binnen het Ansys rekenmodel.
- Vervormingsgedrag
- Stabiliteit
  - o Globale knik van de kolom
  - o Lokale plooi
- Tolerantiebeschouwing
  - o Gevoeligheid en Invloed op resultaten
    - 5 mm onderling verschil in lengterichting.
    - 2 mm verschil in het vlak van de klemconstructie dwars op de brug. Als gevolg van de vulplaten verschil veelvoud van 6-8-10 mm.
- Interactie klemconstructie met betondoorsnede
  - o Invloed op resultaat als de betondoorsnede meegenomen wordt met een aanname van de E-modules voor de mortel en beton en indicatie druklijn verloop.
- Verschillen in klemkracht
- Controle voorspanstaven

## 5 Resultaten toetsing

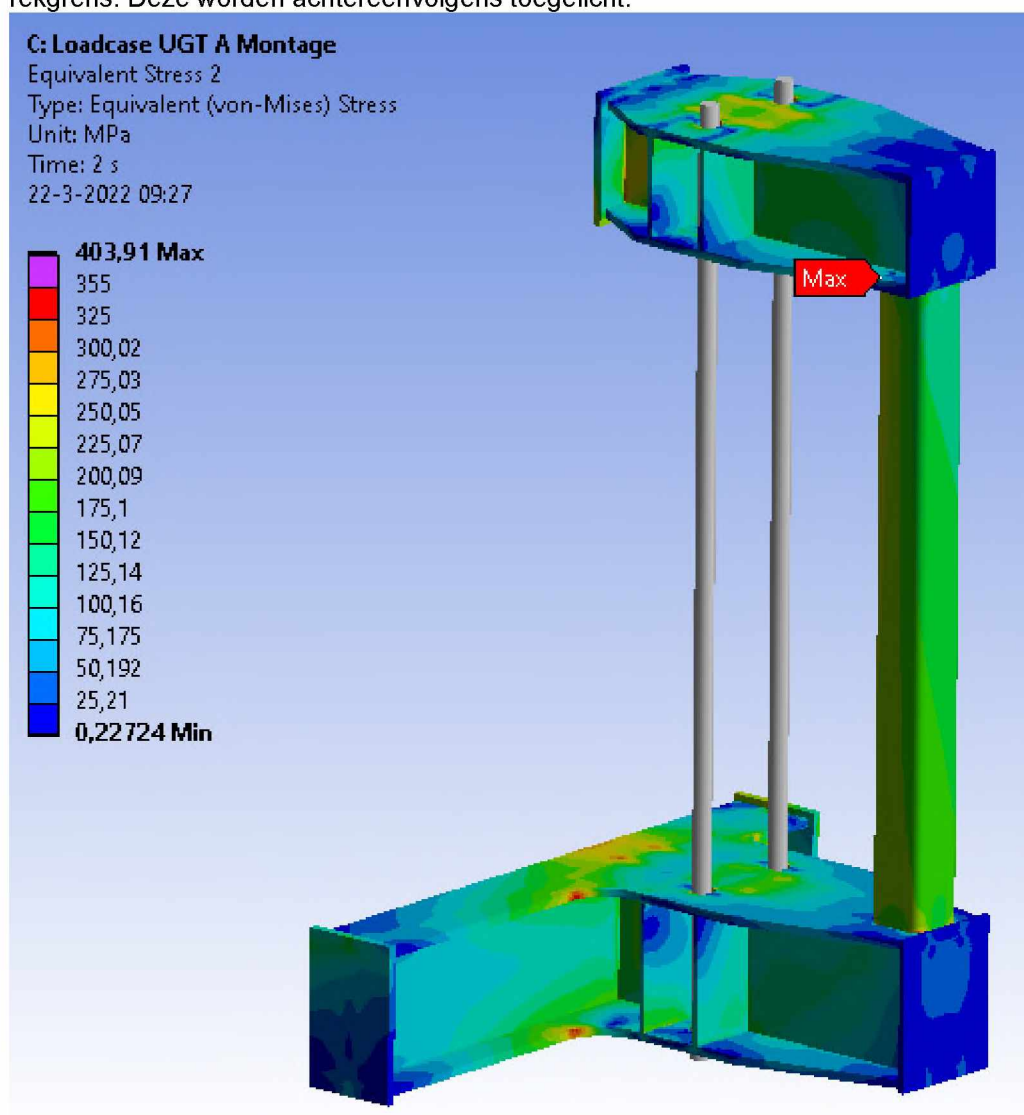
### 5.1. Sterkte

De volgende situaties zijn gecontroleerd.

- Voorspanning van voorspanstaven met eigen gewicht. UGT Montage
- Voorspanning van voorspanstaven met eigen gewicht en minimum temperatuur. UGT A
- Voorspanning van voorspanstaven met eigen gewicht en maximum temperatuur. UGT B

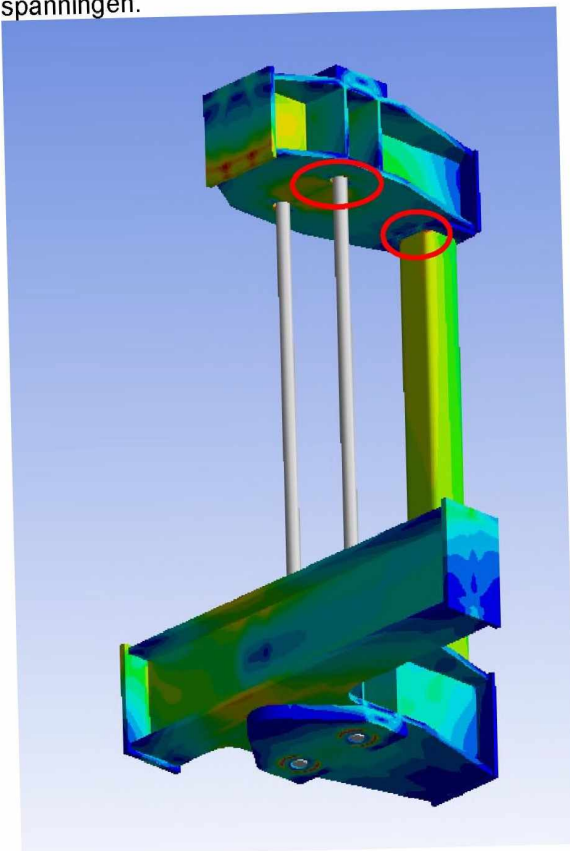
#### 5.1.1. Belastingcombinatie UGT A Montage

Globale spanningen blijven onder het vloeicriterium van  $f_{y,d} = 355$  MPa, zie Figuur 14: Globale Spanningen. Er zijn enkele lokale spanningsgebieden die zich boven deze vloeispanning uitkomen, doch onder de rekgrens. Deze worden achtereenvolgens toegelicht.



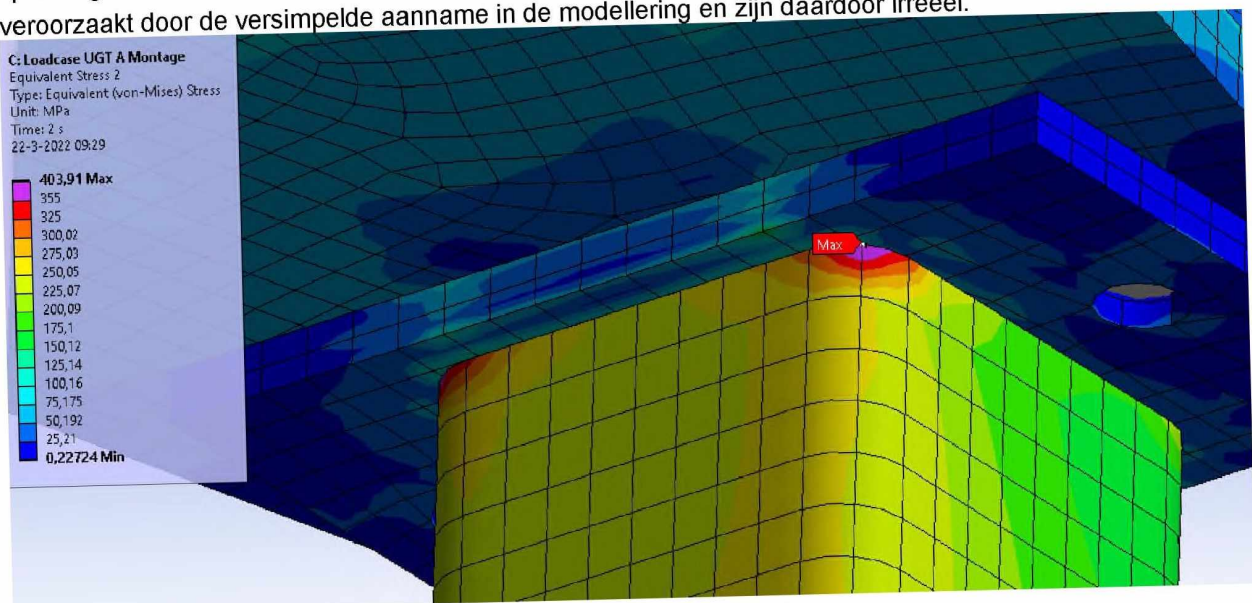
Figuur 14: Globale Spanningen

De locatie van deze hoge berekende spanningen zijn weergegeven in Figuur 15: Locaties van singuliere spanningen.

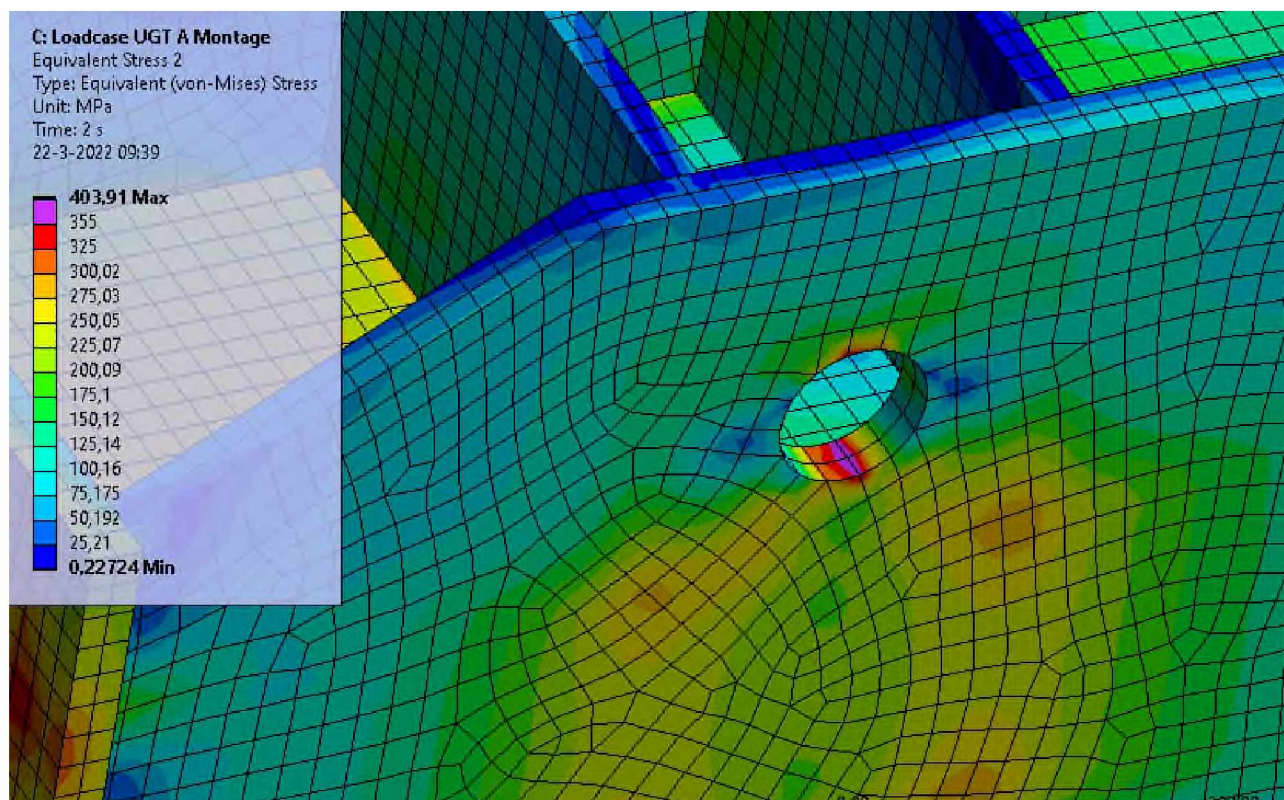


Figuur 15: Locaties van singuliere spanningen

In Figuur 16: Lokale singuliere spanning en Figuur 17: Lokale singuliere spanningen is te zien dat de spanningen heel lokaal boven het vloeicriterium uitkomen. De hoge spanningen in deze details worden veroorzaakt door de versimpelde aanname in de modellering en zijn daardoor irreëel.



Figuur 16: Lokale singuliere spanningen



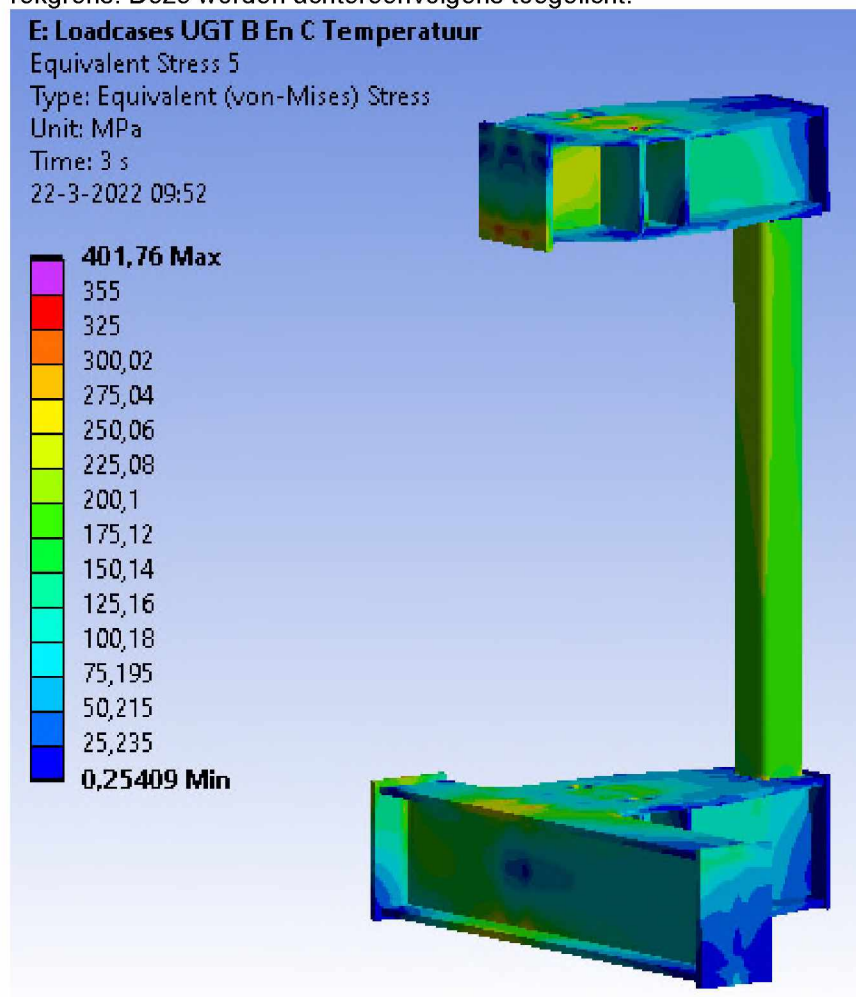
Figuur 17: Lokale singuliere spanningen

Tabel 6: Reactie krachten

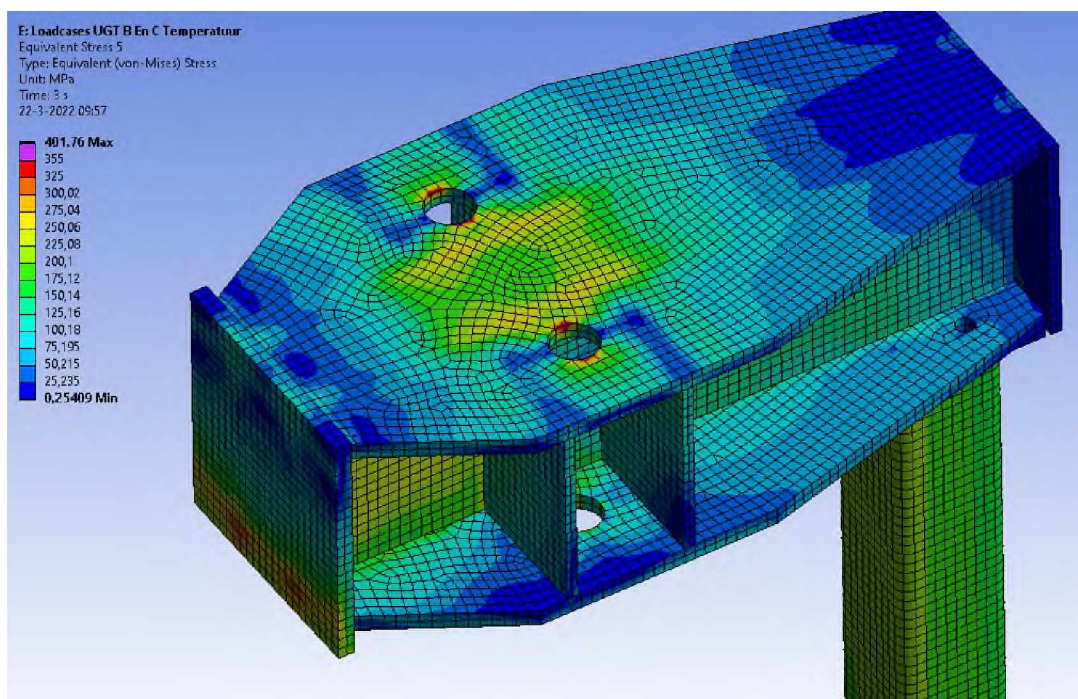
Reactie krachten	kN
Mesplaat boven	2859
Kolomdruk	1758
Mesplaat evenaar korte arm	1886
Mesplaat evenaar lange arm	936

### 5.1.2. Belastingcombinatie UGT B

Globale spanningen blijven onder het vloeicriterium van  $f_{y,d} = 355$  MPa. Zie Figuur 18: Globale Spanningen. Er zijn enkele lokale spanningsgebieden die zich boven deze vloeispanning uitkomen, doch onder de rekgrens. Deze worden achtereenvolgens toegelicht.



Figuur 18: Globale Spanningen



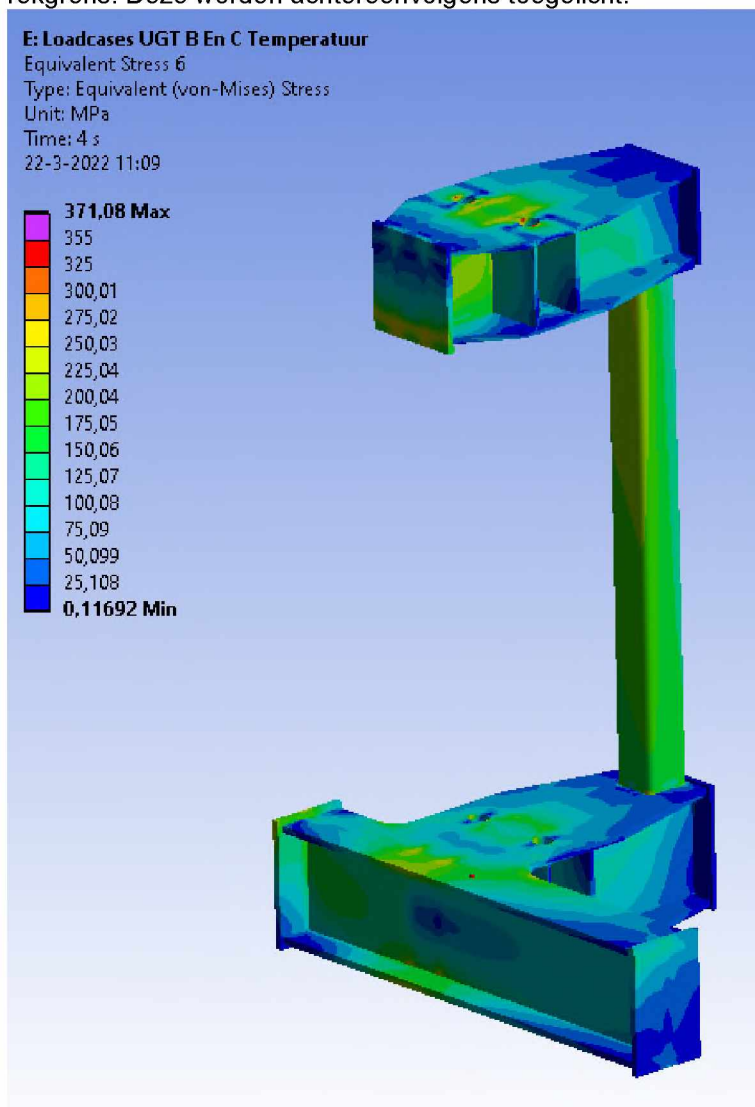
Figuur 19: Lokale singuliere spanningen

Tabel 7

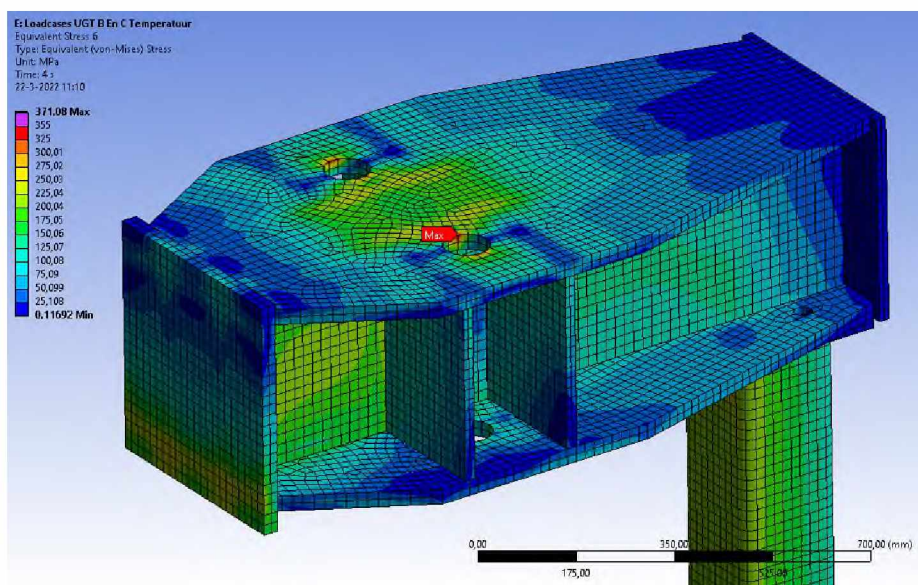
Reactie krachten	kN
Mesplaat boven	2658
Kolomdruk	1604
Mesplaat evenaar korte arm	1754
Mesplaat evenaar lange arm	870

### 5.1.3. Belastingcombinatie UGT C

Globale spanningen blijven onder het vloeicriterium van  $f_{y,d} = 355$  MPa, zie Figuur 20: Globale Spanningen. Er zijn enkele lokale spanningsgebieden die zich boven deze vloeispanning uitkomen, doch onder de rekgrens. Deze worden achtereenvolgens toegelicht.



Figuur 20: Globale Spanningen



Figuur 21: Lokale singuliere spanningen

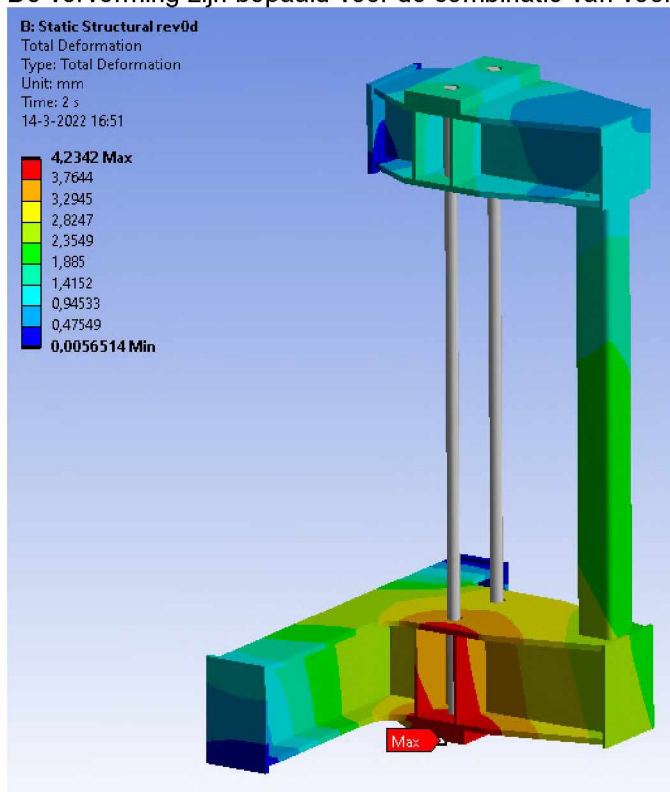
Tabel 8

Reactie krachten	kN
Mesplaat boven	2290
Kolomdruk	1417
Mesplaat evenaar korte arm	1507
Mesplaat evenaar lange arm	749



## 5.2. Vervorming

De vervorming zijn bepaald voor de combinatie van voorspankracht en eigen gewicht.



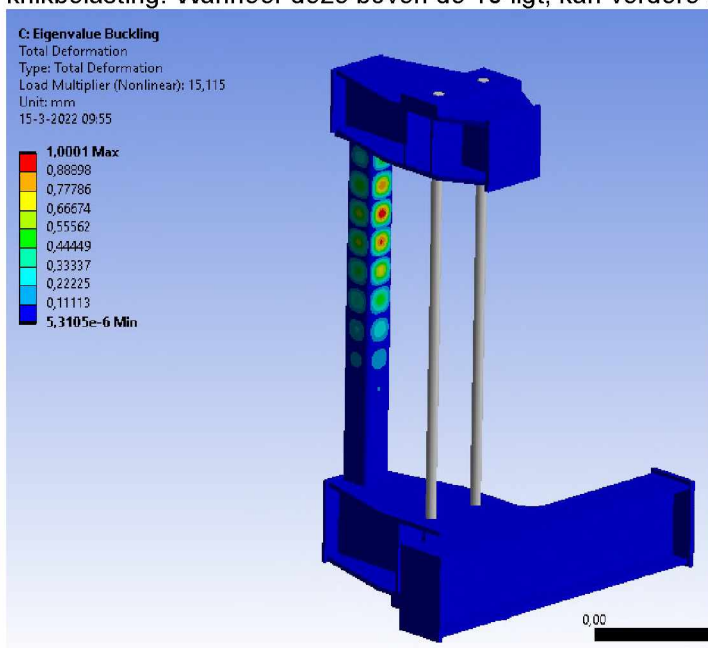
Figuur 22: Vervorming tgv voorspanning en eigengewicht

De maximale vervormingen is 3-4 mm. Het vervormingsplaatje toont een kleine verdraaiing van de onderste balk, Dit verschil is af te leiden uit de niet symmetrische lengteverdeling van de evenaar aan de onderzijde.

### 5.3. Stabiliteit

In de bijlage 3 is een kniktoets uitgevoerd van de op druk belaste kolom met een drukkracht van 1758 kN op de kolom van 200 mm x 200 mm x wanddikte van 12,5 mm.  $UC = 0,66 < 1$ ; Voldoet.

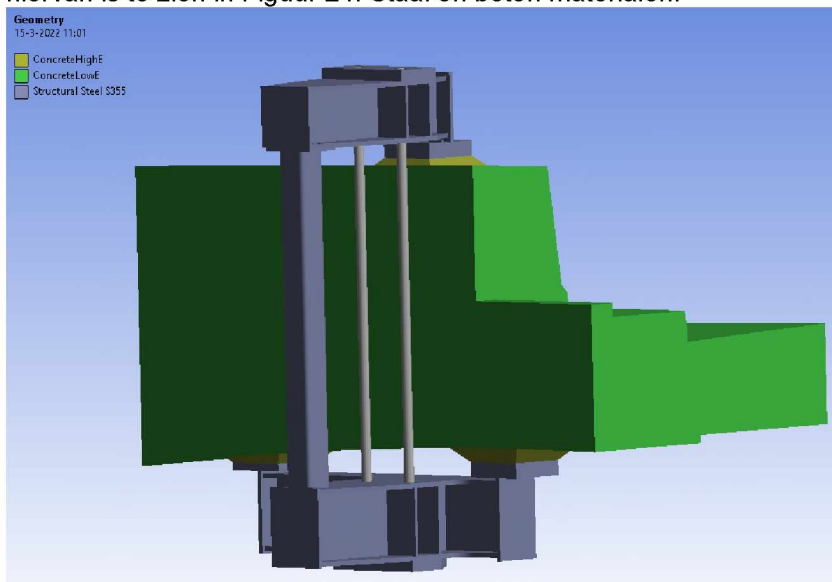
De profielklasse van de lijven onder druk vallen onder klasse 1, waardoor zij niet gevoelig zijn voor lokale plooi. Dit wordt bevestigd door een aanvullend knik analyse uitgevoerd met de zelfde belasting situatie als hiervoor beschreven. De laagste eigenwaarden van de gehele constructie bevinden zich in de drukkolom en geven een knikwaarde van 15. Deze waarde is de vergrotingsfactor voor het bepalen van de kritische knikbelasting. Wanneer deze boven de 10 ligt, kan verdere analyse achterwege blijven.



Figuur 23: Staal en beton materialen

## 5.4. Staal beton interactie

Om een indicatie te krijgen hoe efficiënt de klem druk zal doorgeven aan de tussen liggende betonnen constructie is er een simulatie uitgevoerd van de klem constructie samen met het beton. Een overzicht hiervan is te zien in Figuur 24: Staal en beton materialen.

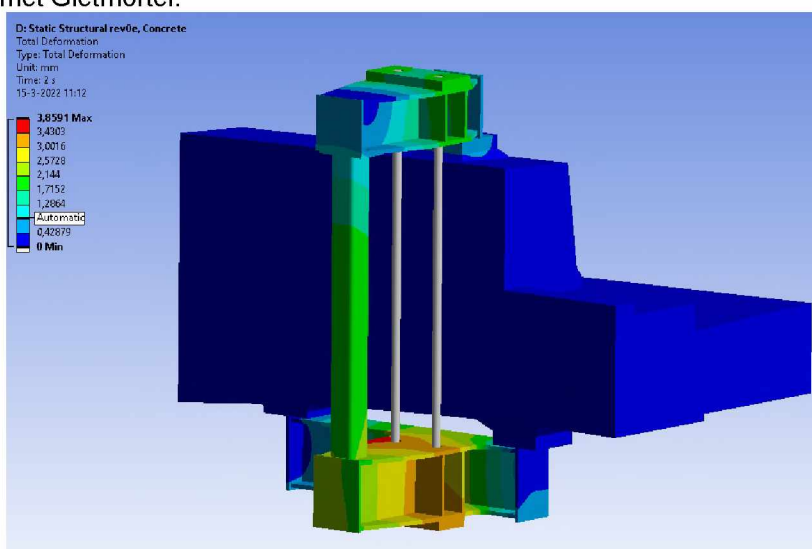


Figuur 24: Staal en beton materialen

Het beton materiaal bestaat uit twee onderdelen met elk een eigen stijfheid. Het ondersabelen materiaal heeft een grotere druksterkte en daardoor een hogere elasticiteit modules.

- Gietmortel → Elasticiteit Modules : 42.000 Mpa (beige aanduiding)
- Betondrsn. → Elasticiteit Modules : 29.000 Mpa (groene aanduiding)

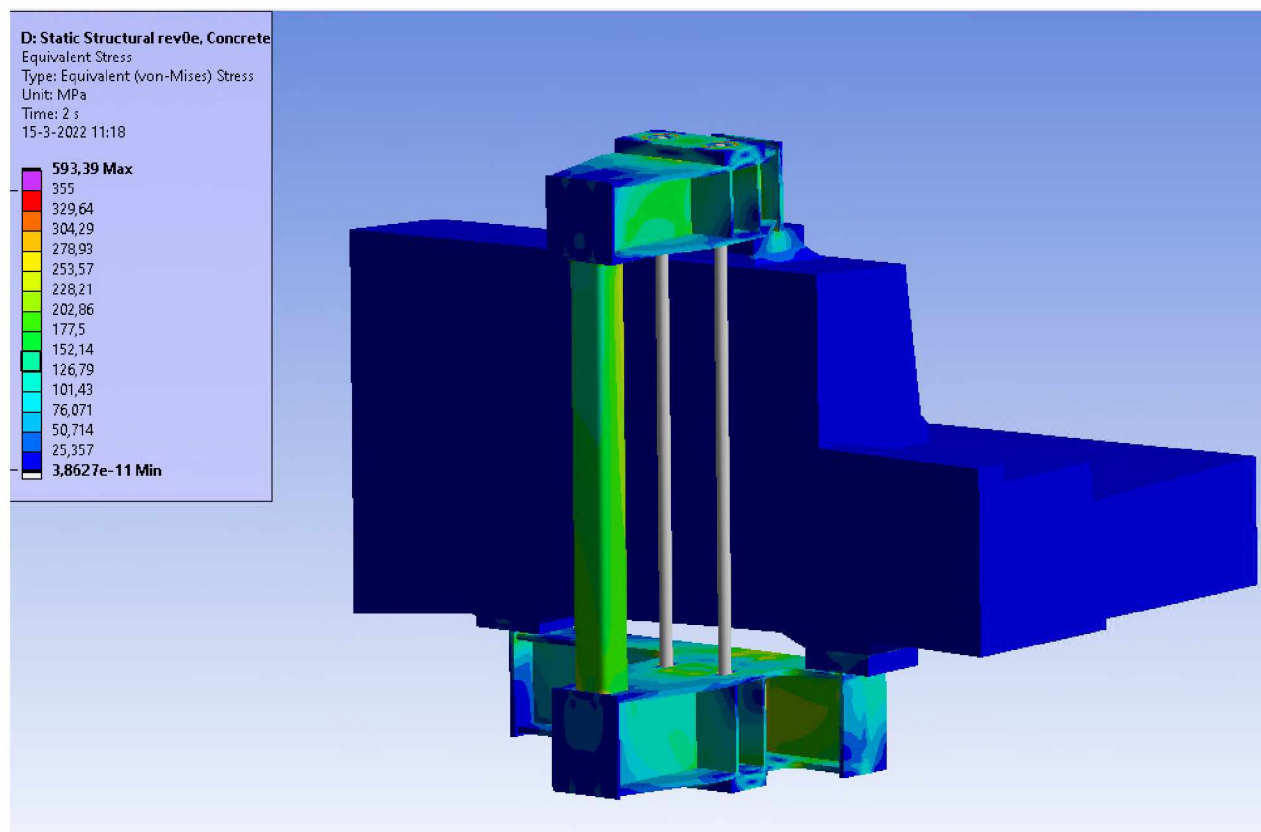
Dezelfde voorspanning is gehanteerd in de voorspanstaven als al eerder aangegeven van 2300 kN per staaf. In deze situatie is eigengewicht niet meer genomen om mogelijk neven effecten van beton gewicht niet te introduceren. De totale vervormingen zijn te zien in onderstaande figuur. Deze is iets een fractie minder dan volgt uit de analyse zonder beton. Dit verschil kan toegekend worden aan de indrukking van de beton met Gietmortel.



Figuur 25: Totale vervormingen Staal en beton.

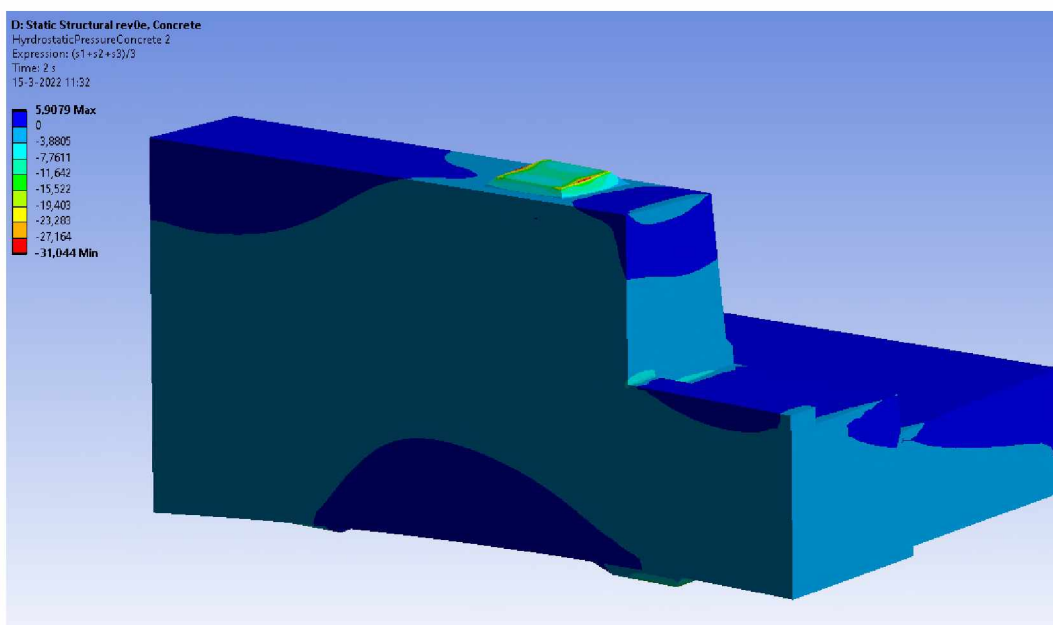


Het spanningsbeeld (Figuur 26: Spanningen) in de globale staal constructie is ook gelijkwaardig aan de voorgaande berekeningen. Wel zijn er hogere spanningen op de mesplaten. Deze hoge spanningen worden gevonden in de rand van de lijn veroorzaakt door het contact. In de berekening kunnen we deze deels aanduiden als singulier maar tevens zullen deze in de praktijk zich herschikken en dus lager zijn gezien de minimale rotatie. De gemiddelde spanning is:  $2859 \text{ kN} / (400 \times 30) = 238 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$ .

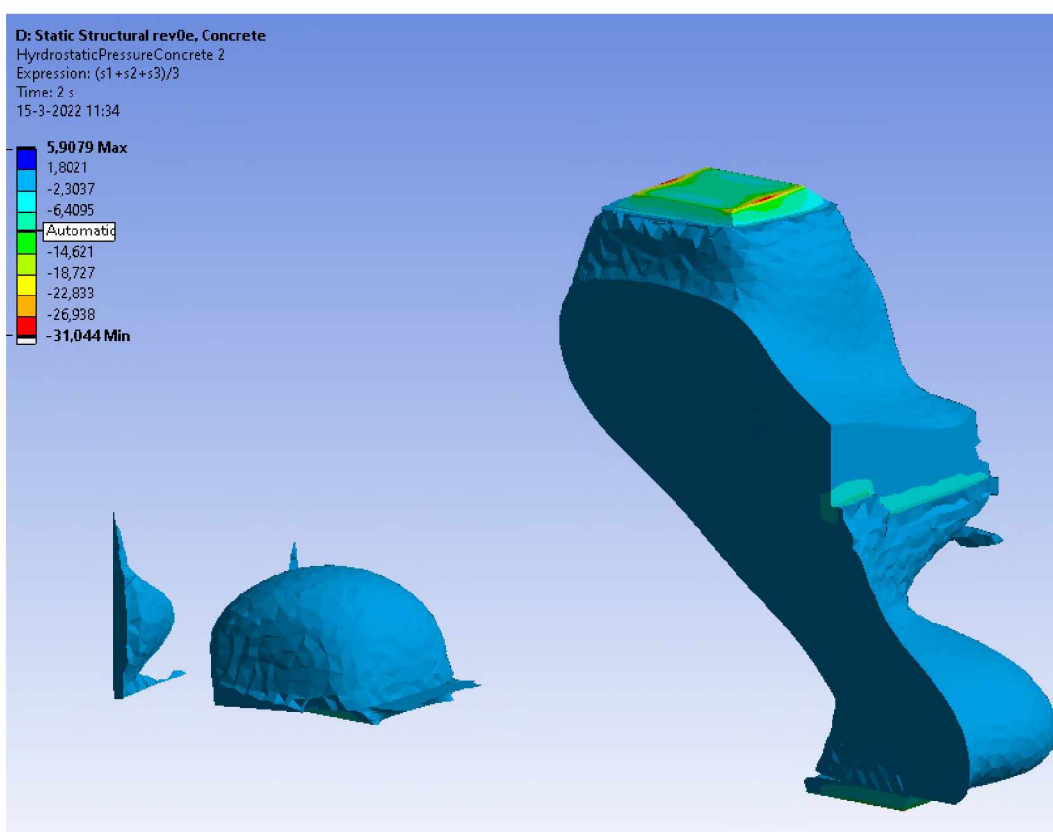


Figuur 26: Spanningen

De betondrukken afgegeven door de klem zijn te zien in Figuur 27: Totale betondruk en Figuur 28: Betondruk zone. Hierin is duidelijk de spreiding te zien over de breedte van de doorsnede en het ontstaan van een drukdiagonaal opgelegd door de voorspanning. De betondruk lokaal op de Gietmortel is ca. 14 MPa. De abrupte overgang van randbelasting uit mesplaat zorgt voor een logische spanningspiek. Deze is ruim onder de capaciteit van de mortel. In het Ansysmodel is de verdeelplaat 400 mm x 400 mm. Deze wordt uitgevoerd 450 mm x 450 mm, daarmee zal de spanning nog iets lager worden en zullen de pieken op de rand van de mortel lager worden. De gemiddelde spanning is  $2300 \text{ kN} / (450^2) = 11,4 \text{ MPa}$ . Deze neemt zoals te zien is snel af over de dikte van de mortel. De dikte/breedte verhouding van de stalen verdeelplaten voldoen aan de spreiding volgens NEN6786-1:2017+C1:2020 art. 11.5.4 (2):  $B = d+5t$ .  
 $(450-30)/5 = 84 \text{ mm}$  (100mm -15 groef).  
 $(280-30)/5 = 50 \text{ mm}$ .  
De gemiddelde dikte van de mortelvoeg is kleiner dan 20% van de breedte van de plaat, volgens art. 11.5.4 (5).



Figuur 27: Totale betondruk

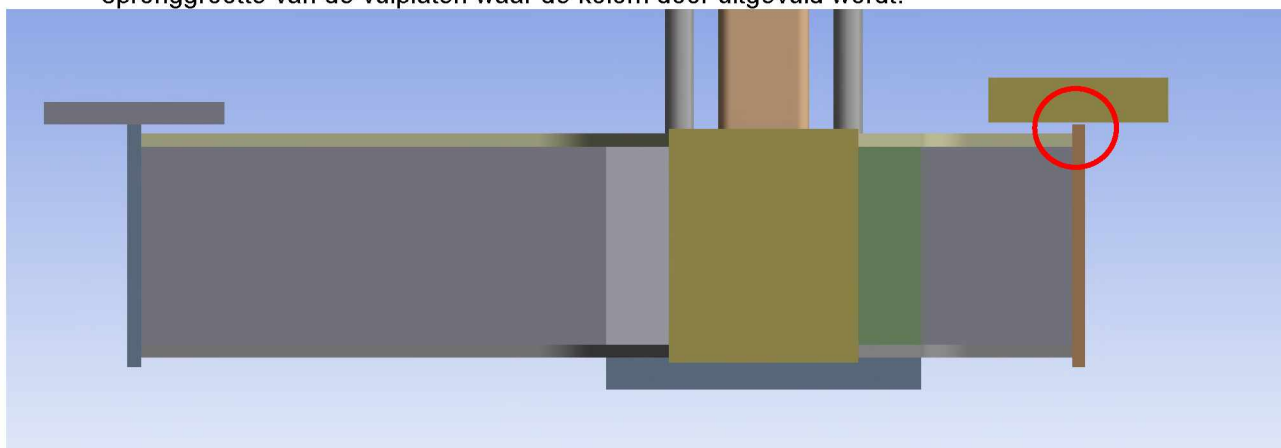


Figuur 28: Betondruk zone

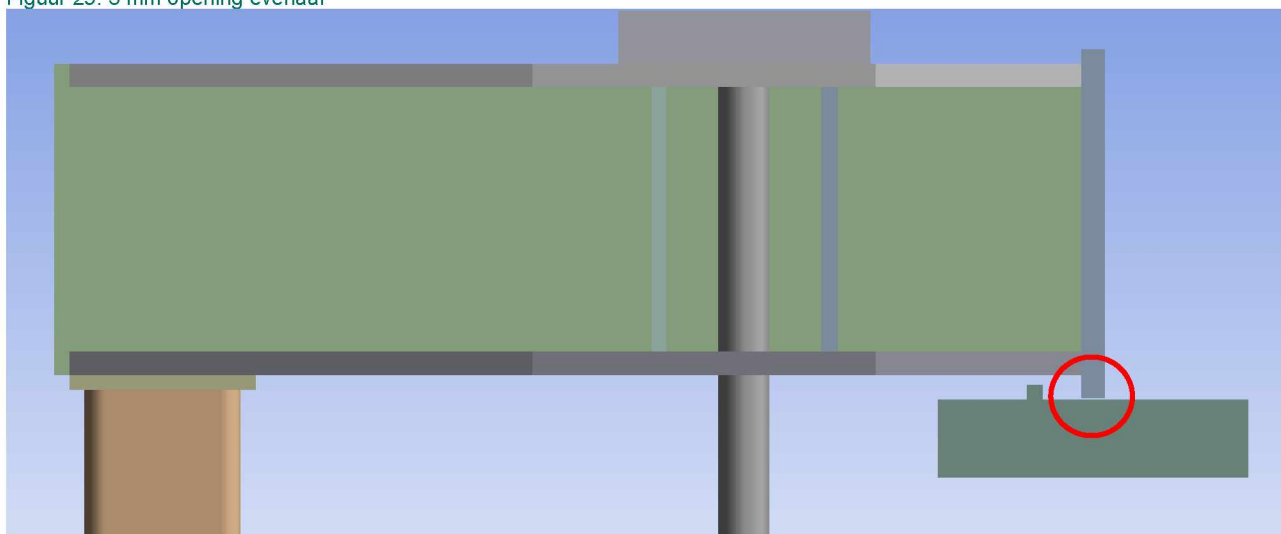
## 5.5. Tolerantiesbeschouwing

Voor de bepaling van toelaatbare toleranties zijn er een 2-tal simulaties uitgevoerd van mogelijke afwijkingen:

1. Afwijking 5 mm van een van de aanlegvlakken aan de onderzijde evenaar. Dit is een vertaling van het totaal aan mogelijke afwijkingen zoals hoogteligging van de verdeelplaten onderling, hoogteligging van de mesplaten, maar ook onrechtheid van de samengestelde koker.
2. Afwijking van 2 mm over de samengestelde koker aan de bovenkant. Die zijn oorsprong vind in de spronggrootte van de vulplaten waar de kolom door uitgevuld wordt.



Figuur 29: 5 mm opening evenaar



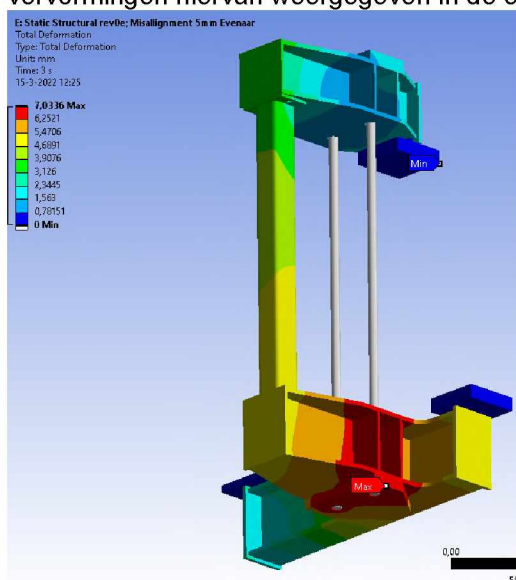
Figuur 30: 2 mm opening samengestelde koker boven

In de navolgende paragrafen zijn beide gevallen afzonderlijk beschouwd. Globaal hebben de afwijkingen geen invloed op de klemconstructie. Enkel lokaal op het contactvlak van de krachtsinleiding van de mesplaat worden de spanningen hoger, maar die zullen herverdelen. De gevallen zouden samen kunnen optreden, waardoor de effecten opgeteld dienen te worden. De conclusie is daarom dat we de tolerantie in lengte over de evenaar willen minimaliseren. De 5 mm wordt beperkt tot 2 mm. Opgebouwd uit 1 mm toelaatbaar in het onderlinge verschil van de hoogteligging van de verdeelplaten en 1 mm op de paralleliteit tussen de mesplaatranden boven en onder die contact maken met de verdeelplaten. De tolerantie in hoogte (geval 2) blijft praktisch op 2 mm als maximaal haalbaar volgend uit het samenstellen van vulplaten.



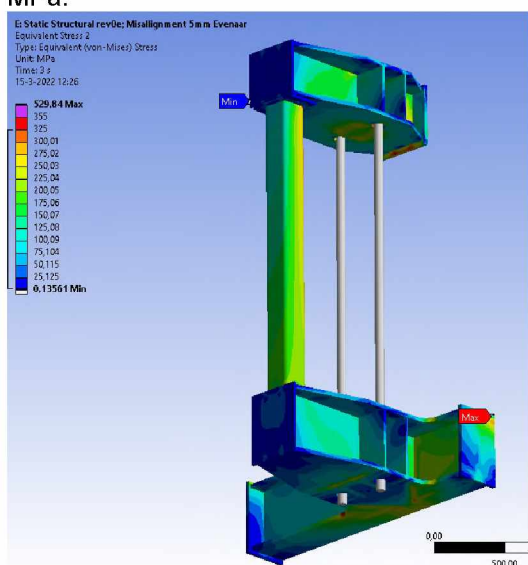
### 5.5.1. Geval 1: Afwijking opleggingen over lengte van evenaar

Zoals in Figuur 29: 5 mm opening te zien is wordt d.m.v. het introduceren van een onnauwkeurigheid een opening van 5 mm aangebracht. Tgv de voorspanning zal deze afstand eerst worden verkleind tot de mesplaat aan ligt en druk kan gaan doorgeven aan de stelplaat. In Figuur 31: Vervormingen zijn de vervormingen hiervan weergegeven in de eindsituatie.



Figuur 31: Vervormingen 5 mm opening

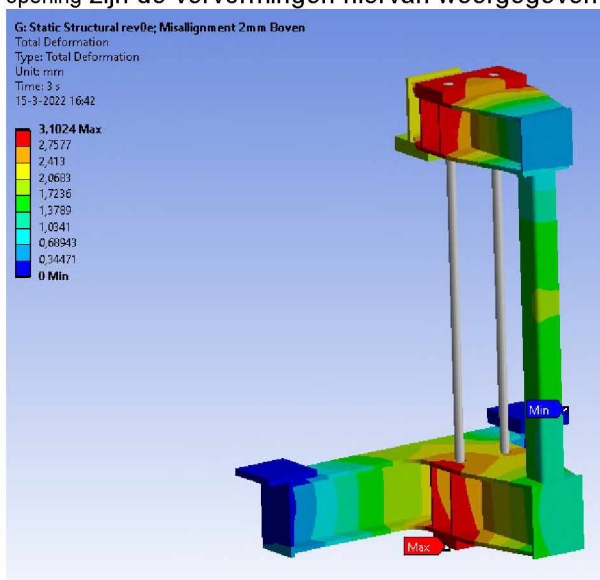
De globale spanningen in Figuur 32: Globale spanningen zijn hogere waarden te zien in vergelijking met de berekening uit paragraaf 5.1. Maar deze zijn een gevolg van het contact tussen de mesplaat en de stelplaat. Deze hoge spanningen worden gevonden in de rand van de lijn veroorzaakt door het contact. In de berekening kunnen we deze deels aanduiden als singulier. Tevens zullen deze spanningen lokaal herverdelen gezien de minimale rotatie. De gemiddelde spanning is:  $2859 \text{ kN} / (400 \times 30) = 238 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$ .



Figuur 32: Globale spanningen

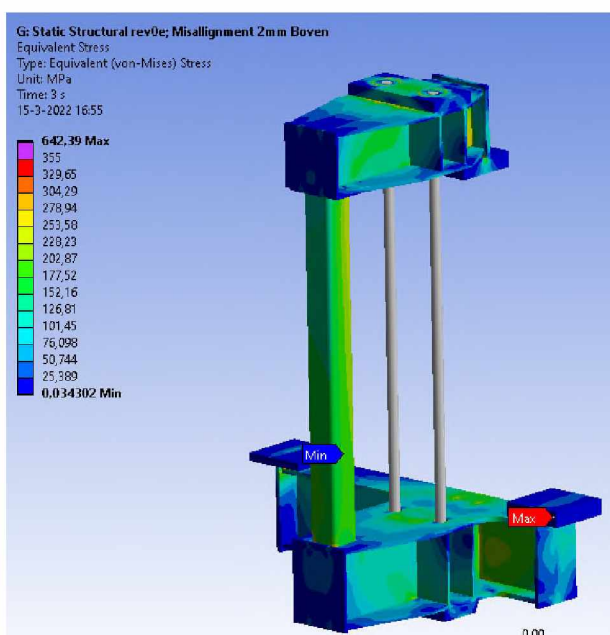
### 5.5.2. Geval 2: Afwijkingen in inpassing drukkokerlengte

Zoals in Figuur 30: 2 mm opening samengestelde koker boven te zien is wordt d.m.v. het introduceren van een onnauwkeurigheid een opening van 2mm aangebracht. Tgv de voorspanning zal deze afstand eerst worden verkleind tot de mesplaat aan ligt en druk kan gaan doorgeven aan de stelplaat. In Figuur 33: Vervormingen 2mm opening zijn de vervormingen hiervan weergegeven in de eindsituatie.



Figuur 33: Vervormingen 2mm opening

Net zoals in de voorgaande paragraaf zijn in Figuur 34: Globale Spanningen hogere spanningswaarden te zien in vergelijking met de berekening uit paragraaf 5.1. Ook hier zijn deze een gevolg van het contact tussen de mesplaat en de stelplaat. Deze hoge spanningen worden ook weer gevonden op de rand. In de berekening kunnen we deze deels aanduiden als singulier. Tevens zullen deze spanningen lokaal herverdelen zijn.



Figuur 34: Globale Spanningen



## 5.6. Verschillen in klemkracht

Hieronder is berekend wat het verschil is in klemkracht volgend uit de diverse condities beschouwd onder paragraaf 5.1.

### 5.6.1. Montage

Delta =  $2859 / 2500 \rightarrow + 15\%$ .

Dit is de additionele voorspanning die na het spannen als verlies optreed.

### 5.6.2. UGT B met temperatuurverlaging

Delta =  $2658 / 2500 \rightarrow + 7\%$ .

Grootste aandeel in de verhoging van de rekenwaarde van de klemkracht hier is temperatuurverlaging van het staal.

### 5.6.3. UGT C met temperatuurverhoging

Delta =  $2290 / 2500 \rightarrow - 9\%$ .

Grootste aandeel in de verlaging van de rekenwaarde van de klemkracht hier is temperatuurverhoging van het staal.

## 5.7. Controle Voorspanstaven

Voorspanstaaf : D65

Breuk Capaciteit: Nominale spanning / trekkracht : 1035 MPa / 3447 kN

Toets Capaciteit : Nominale Proof spanning / trekkracht : 835 MPa / 2780 kN (max. 80% voorspannen)

Optredend maximaal rekenwaarde trekkracht : 2300 kN (tijdens Montage)

UC =  $2300 / 2780 = 0,67$  t.o.v. Breuk Capaciteit 100%.

UC =  $2300 / 2780 = 0,83$  t.o.v. Toets Capaciteit 80%.



## 6 Lasberekeningen

---

In een afzonderlijke bijlagen zijn lasberekeningen gemaakt. Ref. Bijlage 6.

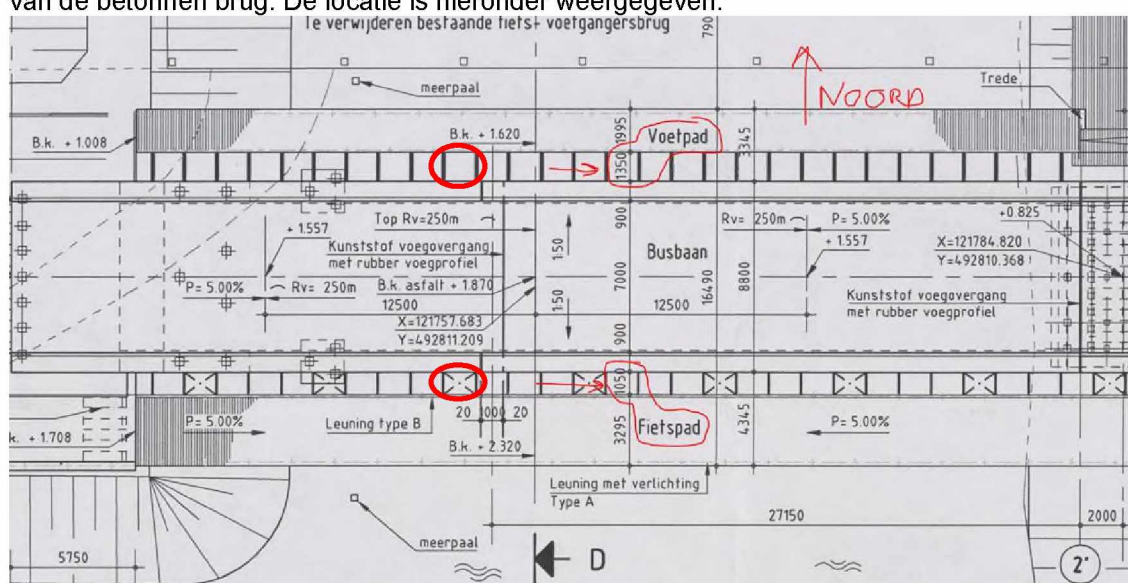
# 7 Raakvlakken

## 7.1. Controle betonconstructie

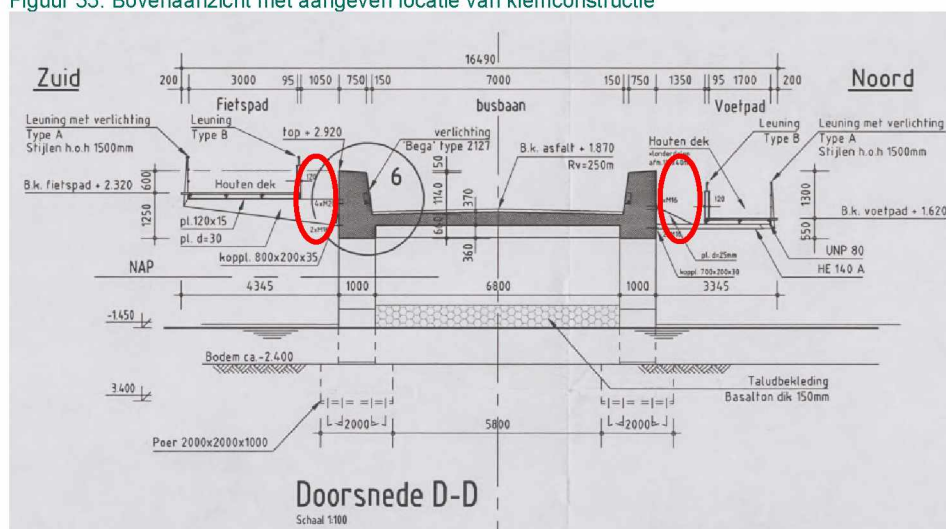
Dit hoofdrapport beschrijft het DO en aanverwante toetsing van de klemconstructie. Een beeld is gegeven van de werking van puur de voorgespannen klemconstructie op de betonconstructie in paragraaf 5.4. Verdere toetsingen de betonconstructie onder de totale belasting vanuit het ingehangen brugdek inclusief die opgelegd uit de klemconstructie is getoetst in bijlage 2.

## 7.2. Inpassing klemconstructie

Beide klemconstructies worden in breedte richting aangebracht tussen de reling van het fietsbrug en de rand van de betonnen brug. De locatie is hieronder weergegeven.



Figuur 35: Bovenaanzicht met aangeven locatie van klemconstructie



Figuur 36: Doorsnede met aangeven locatie van klemconstructie



De minimale vrije maten zijn ingemeten ter plaatse en wijken iets af van tekening:

Zuidzijde: 104 cm

Noordzijde: 133 cm.

De breedte van de klemconstructie in geïnstalleerde positie is 990 mm. Hierdoor is er een minimale vrije ruimte tussen fietsbrug en klemconstructie van 5 cm. Dit is afdoende speling.

Aan de Zuidzijde is een windverband aanwezig tussen de consoles. Gecontroleerd wordt via tekening INFR180842-BRU2484-TEK001 of de klemconstructie hiervan vrij blijft. Het kan zijn dat het windverband dan verplaatst moet worden, maar het lijkt erop dat het enkel tijdelijk verwijderd moet worden bij installatie. Dit is een aandachtspunt voor uitvoering.



## 8 Conclusie

---

Bijlage 2 toets de betonconstructie onder het samenspel van belasting uit de klemconstructie, de langsvorspanning en uitwendige belastingen vanuit het inhangdeel op de nok. De toets is gebaseerd op een veronderstelde nominale klemkracht van 2500 kN. De constructie voldoet. Echter als gevolg van het opklemmen treden er verhoogde splijtkrachten op. Dit is aangegeven als risico onder paragraaf 9.1.1. Als we deze kunnen reduceren zou dat wenselijk zijn. De Unity Check op de toets van de gezamenlijke capaciteit van de klemkracht en de aanwezige ophangwapening versus de optredende krachten volgend uit de opgelegde belasting is  $UC = 0,85$ . Zowel tijdens montage als in gebruik treden er verhogingen van de klemkracht op. De voorspanstaven ondergaan een verlies aan voorspanning door met name het zetten van de moer na het spannen. Dit betekent dat initieel er meer (klem)kracht op de betonconstructie komt dan de 2500 kN tijdens montage. Dit is ongunstig voor de splijtkracht. Het verlies is ingeschat op 15% in het ontwerp, maar kan afwijken. Na montage over de gebruiksduur treden er temperatuurfluctuaties op de klemconstructie op. Dit veroorzaakt ca. 7% verhoging ofwel 9% verlaging van de klemkracht. Deze verlaging door temperatuur was niet meegenomen in de beschouwing in bijlage 2, maar als we dat nu doen wordt de  $UC = [(1329/1,09)+747] = 0,90$ . Met deze resultaten op een rij is er besloten dat het toelaatbaar is een lagere nominale klemkracht vast te stellen. **De nominale klemkracht wordt gesteld op 2300 kN.**

Dit betekent nominaal 9% minder klemkracht. De UC op de gezamenlijke capaciteit van klemvoorziening en ophangwapening wordt hierdoor  $UC = 0,94 < 1,0$ ; Voldoet.

Inclusief verhoging van 7% door temperatuur blijft de klemkracht onder de 2500 kN. Een lagere nominale klemkracht laat tevens toe om een hogere initiële voorspankracht ten aanzien van verliezen toe te staan. Dit blijft echter gezien het risico tot een minimum beperkt te moeten blijven.

Aanzet voor richting van de instelwaarde van de nominale klemkracht (exclusief temperatuurvariaties) mag na spannen bij installatie en over de gebruiksduur een spreiding hebben van 2% en niet zakken tot meer dan 5% (inclusief temperatuur is de theoretische interventiewaarde 14%). In dat geval dient er nagespannen te worden. Genoemde waarden zijn indicatief en moeten definitief worden vastgesteld in UO als onderdeel van een op te stellen meet- en monitoringsplan.



## 9 Risico's en Aandachtspunten

---

### 9.1. Risico's

De volgende risico's zijnesignaleerd:

#### 9.1.1. Overmatige klemkracht en splijten beton

Het aanbrengen van de voorgespannen klemconstructie op de einden van de langsliggers betekent een nieuwe belasting op de constructie die leidt tot bijkomende splijtkrachten in dwarsrichting in de eindzone van de langsbalken, zonder dat de daarvoor cf. regelgeving gedimensioneerde en uitgevoerde wapening aanwezig is. Bezwijken als gevolg hiervan wordt niet waarschijnlijk geacht, maar dient toch als risico te worden aangegeven. Om deze reden is de nominale klemkracht terug gebracht naar 2300 kN en dient er voor gezorgd te worden dat de verliezen van voorspanning aantoonbaar geminimaliseerd worden, waardoor niet onnodig grootte klembelasting op de betonconstructie wordt aangebracht.

#### 9.1.2. Onvoldoende klemkracht

Het voorspanstelsel waar de klemvoorziening op is ontworpen kent door de grove spoed van de voorspanstaven een redelijk verlies aan voorspanning door het zetten van de staaf in de moer. Dat er verlies optreedt is zeker. Berekende en werkelijk optredende verliezen kunnen sterk verschillen. De grootte is sterk afhankelijk van de wijze van en aandacht bij uitvoering. Belangrijk is dat dit verlies niet groter wordt dan het gehanteerde uitgangspunt. Dit heeft te maken met direct hieraan gekoppelde het verlies aan klemkracht en daarmee de draagkracht van de versterking van de brug. Verder aandachtspunt voor uitvoering om aan te tonen dat het verlies is aangetoond en fundamenteel de nominale klemkracht in praktijk gecontroleerd aanwezig is.

#### 9.1.3. Lijmankers interfereren met wapening

In geen beding mag er door aanwezige wapening geboord worden. Als maatregel wordt daartoe vereist om de wapening door middel van scannen in kaart te brengen aan zowel boven als onderzijde van de betondoorsnede. De boring van het theoretische ankerpatroon in de beton en in verdeelplaten wordt hierop chronologisch aangepast. In de vulplaten worden overmaatse gaten geboord die in 5 mm rondom speling voorzien. In de bovenzijde wordt de boordiepte beperkt tot 50 mm, zodat de stelankers buiten de theoretische wapeningslijn blijft. Aangezien het hier om stelankers gaat en verder geen belasting hoeft over te dragen is dat geoorloofd.

#### 9.1.4. Diameter staaf valt buiten ETA

Het systeem van VSL voldoet volgens de brochure aan de ETA richtlijnen. De Richtlijn zelf (ref. Tabel 2-1: Diverse; 6) tot een diameter van 42 mm. Nagegaan moet worden in UO wat dit voor consequenties heeft in de toepassing met grotere diameter.

#### 9.1.5. Veiligheid en gezondheidsrisico's

De klemvoorzieningen zijn zware constructies met excentrische zwaartepunten ten opzicht van de oplegvlakken. Na het voorspannen ontstaat door de klemkracht een stabiele situatie. Tijdens montage kunnen onverwachte bewegingen plaatsvinden. Wat tot vallen of verknelling kan leiden. In de basis zijn daarom in het ontwerp in de verdeelplaten groeven opgenomen om tijdens montage extra fixatie tegen verschuiven te hebben en dient er in UO voorziening uitgewerkt te worden genoemd onder paragraaf 9.2.4.



Deze maatregelen zijn niet sluitend. Het werkplan dient te worden opgesteld rekening houdend met V&G. Hieruit volgen mogelijk meer maatregelen en voorzieningen.

## 9.2. Aandachtspunten Uitvoerings Ontwerp

### 9.2.1. Afwijkingen dimensies betonconstructie

Er zijn aanwijzingen dat in de praktijk enkele essentiële afmetingen van de betondoorsnede die van invloed zijn op de dimensionering van de klemconstructie enigszins afwijken van wat nu is gehanteerd volgend uit beschikbare tekeningen. De betonconstructie dient daarom aan beide zijden van de brug rond de beoogde positie van de klemvoorzieningen ingemeten te worden. Het Uitvoeringsontwerp moet hierop volgend mogelijk in dimensies mogelijk aangepast worden indien dit niet binnen de reeds opgenomen pakket van stelvullingen mogelijk is. Denk hierbij aan langere drukkolom en voorspanstaven.

### 9.2.2. Vaststellen slipverlies en klemkracht en leering voor uitvoering op bouwplaats

Het voorgestelde spansysteem met grove spoed kent in basis relatief veel verlies en vraagt aandacht. Het alternatieve systeem Freyssibar+ heeft een fijne spoed die in basis minder verlies zouden moeten kennen. Voor elke toepassing van spansystemen is het wenselijk dat deze gedekt zijn door de ETA-richtlijnen. Indien dit niet het geval is moet nagegaan worden wat hier als alternatief pad voor mag worden doorlopen. Belangrijk is de relatie tussen voorspanning en klemkracht en de optredende verliezen vast te stellen door middel van het uitvoeren van testen (3 x) in een gelijkwaardige proefopstelling gebruikmakend van een van de gefabriceerde klemconstructies. Hierbij gebruik makend van loadcellen en rekstrookjes). De resultaten dienen overgenomen te worden in een spanprotocol als onderdeel van het werkplan en gekoppeld te worden aan het monitoringsplan bij uitvoering en gebruik. Dit omvat de definitief vast te stellen limietwaarden voor instelling van de klemkracht en moment tot noodzakelijk overgaan tot naspannen, waar in hoofdstuk 8 de theoretische interventiewaarden volgend uit constructieve toetsing zijn gegeven. Uit de test kan ook lering getrokken worden om verrassingen bij uitvoering op de bouwplaats te minimaliseren.

### 9.2.3. Inpassing alternatief spansysteem

Het Definitieve Ontwerp is gebaseerd op het spansysteem 'VSL, SAS Threadbar' van preferente leverancier en onderdeel van aannemer Heijmans. Het ontwerp is robuust gemaakt om als alternatief het systeem, Freyssibar+ te kunnen faciliteren mocht er bij UO onvoorziene complicaties rond de toepassing van VSL zijn. Het verkozen systeem mag niet leiden tot afwijken van het hele systeem DO.

### 9.2.4. Montagevoorzieningen

Afhankelijk van het werkplan van de montage zijn hijsogen en of andere voorzieningen noodzakelijk. Hier wordt met nadruk gewezen op het voorkomen van veiligheids- en gezondheidsrisico's. Vanuit veiligheid en het sturen naar juiste rechte positionering van de klemconstructie en juiste inleiding van krachten via een instelbare afstandhouder met de betonconstructie is gewenst. Deze kan gelast worden op de bovenflens van de onderste klembalk. Deze is nog uit te werken in UO.

### 9.2.5. Conservering staalconstructie

Geadviseerd wordt uitvoering van de stalen onderdelen in een Duplex systeem; Thermische verzinken met een natlak, die voldoet aan Corrosie Class 5 volgens NEN-EN-ISO12944-2. De eindlak moet uitgevoerd worden in nader met Opdrachtgever af te stemmen lichte kleurstelling wit of licht grijs (bijv. RAL 7032 of 7035) om onnodig opwarming te voorkomen.

Mogelijke afwijkende bescherming van de voorspanstaven en het voorzien van kappen over de staafeinden



Elke spanstaaf is aan de binnenzijde van de onderste klembalk voorzien van een extra moer met sluitring te voorkomen van indringing van water in het boutgat. Deze oplossing mogelijk optimaliseren binnen de doelstelling afhankelijk van de uiteindelijke uitwerking van het spansysteem.

#### **9.2.6. Conservering beton**

In de voorgespannen betonconstructie is aanzienlijke scheurvorming opgetreden; te nemen maatregelen om de duurzaamheid van de constructie te verzekeren dienen in het UO te worden bepaald en ter goedkeuring bij de OG te worden aangeboden.

#### **9.2.7. Inpakken en afscherming klemconstructie**

De bovenkant van de klemconstructie is bereikbaar vanaf fietspad. In UO dient nader beschouwd te worden in overleg met Opdrachtgever of de constructie afdoende "huffer proof" is en of deze nog voor overklimbaarheid moet worden afgeschermd. Het inpakken van de klemconstructie is mogelijk een oplossingsrichting die tevens nog een additionele mogelijkheid geeft voor het beperken van de temperatuur fluctuatie van de staalconstructie.

### **9.3. Aandachtspunten Uitvoering**

#### **9.3.1. Montage en werkplan**

Een uitgebreid werkplan moet opgesteld worden hoe de klemconstructies aan te brengen met focus op V&G en constructieve veiligheid. Hierbij rekening houdend met:

- Geldende Wegafsluiting voor verkeer
- Gewicht en zwaartepunt van de constructie elementen (in geheel of afzonderlijk) afhankelijk van de wijze van montage.
- Stabiliteit van het geheel over alle stappen van de montage heen. Voorkomen van vallen of verschuiven

Aanwezigheid in de directe nabijheid van de klemconstructies dient zoveel mogelijk beperkt te worden. Met name bij het voorspannen van de klemconstructie dient aanwezigheid van personen onder de brug, de klemconstructies en/of hulpwerk volledig te worden uitgesloten.

#### **9.3.2. Windverband**

Aan de zuidzijde wordt montage verhinderd door de aanwezigheid van een windverband. Deze mag (tijdelijk) verplaatst te worden, maar dient ten alle tijden aanwezig te zijn evt. tijdelijk in alternatieve vorm.

#### **9.3.3. Spansysteem werkplan**

Een uitgebreid werkplan moet opgesteld worden waarin wordt uiteengezet hoe de voorspanning aangebracht wordt en de gewenste voorspankracht en klemkracht aantoonbaar aanwezig is na het optreden van spanningsverlies. Afhankelijk van ruimtebeslag vijzels beide boven of boven en onder tegelijk voorspannen. De beide vijzels moeten hydraulisch gekoppeld zijn zodat er geen verschilkracht tussen de ankers ontstaat.

De klemconstructie zal i.v.m. tijdsafhankelijke kruip moeten worden nagespannen. Gesteld wordt dat zowel bij het initiële voorspannen als bij het naspannen er gedurende korte tijd mag worden overspannen ter compensatie van spanverliezen tgv. het zetten van de ankers; De grootte van die verliezen moet geminimaliseerd worden en daarmee de overspanning. Deze waarden dienen voor aanvang te worden afgestemd met opdrachtgever.



Om de maximale verandering in de klemkracht tgv. temperatuurwisselingen te minimaliseren dient het voor- of naspannen van de klemmen te gebeuren bij een buitentemperatuur van  $T = 10^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$  en bewolkt weer (geen opwarming staalwerk door directe zonbestraling).

Als gevolg van het mogelijk met enige vertraging dichtdrukken van aanwezige scheuren na het aanspannen van de klemconstructie kan het zijn dat naspannen relatief kort na aanbrengen van de eerste voorspanning moet worden uitgevoerd. Richtlijn voor noodzaak tot naspannen: bij afname klemkracht tot 95% van de oorspronkelijke nominale waarde van 2300 kN.. De afname wordt gevolgd en vastgesteld door een monitoringssysteem op basis van rekstrookmetingen. Interventiewaarden worden definitief vastgesteld in spanprotocol en monitoringsplan in UO

#### **9.3.4. Aanbrengen en kalibreren Monitoringssysteem**

Een monitoringssysteem wordt voorzien, die op basis van rekstrookmetingen aan de voorspanstaven, het verloop van de voorspanning geeft in de tijd. Dit systeem moet ook in de testopstelling worden voorzien. Dit om een sluitende relatie tussen test en praktijk te bewerkstelligen wat betreft voorspanning en klemkracht. Het systeem wordt gekalibreerd zijn en moet fijn genoeg zijn om verschillen door voertuigpassages ook te kunnen waarnemen. Het systeem moet een actief meetsysteem zijn dat een signaal doorgeeft op een nader af te stemmen device met Opmachtgever, bij het bereiken van een nader definitief vast te stellen grenswaarde (zie paragraaf 9.3.3). De meetfrequentie dient afgestemd te worden met Opmachtgever.

#### **9.3.5. Naspannen en bijwerken conservering**

Bijwerken conservering na het (na)spannen rond de contactvlakken van de klemconstructie met de verdeelplaten en duurzame afwerking en bescherming van voorspanstaven.

#### **9.3.6. Uitvoering en Toleranties**

De klemconstructies dient uitgevoerd te worden volgens NEN-EN1090-2 EXC.3. Er zijn aanvullend toleranties gesteld via DO-tekening voor de lassamenstelling en de afstelling.

#### **9.3.7. Levering staal met Z-kwaliteit**

Leveringsconditie voor de Z-kwaliteit van de platen als onderdeel van de gelaste klemconstructie: Z15. De verdeelplaten behoeven geen Z-kwaliteit.

#### **9.3.8. Laspoorten**

Het is niet toegestaan laspoorten toe te voegen. Hoeken van verstijvingsschotten pas maken zodat ze netjes over de reeds uitgevoerde doorgaande lassen vallen zonder overmatige speling en vervolgens netjes rondom aflassen volgens tekening.

#### **9.3.9. Check op dubbelingen**

Platen die loodrecht op de plaat getrokken worden moeten qua leveringsconditie voldoen aan eisen ten aanzien van Z-kwaliteit volgens NEN-EN 1993-1-10, ref. paragraaf 9.3.7. Hoog belaste onderdelen en onderdelen die bij lokaal bezwijken leiden tot bezwijken van de hoofdconstructie of leiden tot niet beschikbaarheid, moeten ter plaatse van de las bovendien ultrasoon worden onderzocht op dubbelingen en andere fouten. Hier wordt specifiek bedoeld op de volledig aangesloten lassen van de mesplaten op de klembalken.



## 9.4. Randvoorwaarde voor gebruik

### 9.4.1. Lastbeperking

Er wordt een lastbeperking tot maximaal 30 ton voorgeschreven; toepassing bord C21 '30 ton' (daarmee is een maximaal voertuiggewicht van 30 ton met aslasten tot 15 ton toegelaten (NEN8701, tabel B.1)).

### 9.4.2. Aanvaarvoorziening

Om aanvaring van de klemconstructies te voorkomen dient voor aanvang gebruik vaarweg dient voorzieningen getroffen te worden vanaf beide vaarrichtingen.

### 9.4.3. Aanrijdvoorziening

Om aanrijding van de klemconstructies te voorkomen dient voor openstelling gebruik brug voor verkeer aanvullende voorzieningen getroffen te worden. Deze dienen vrij te blijven van de klemconstructies zelf, ook tijdens een aanrijding.

## 9.5. Aandachtspunten voor onderhoud

### 9.5.1. Inspectie

Regelmatige inspectie van de stalen klemconstructies en de betonconstructie ter plaatse is vereist, waarbij met name gelet moet worden op nieuwe scheurvorming in het beton en veranderingen in bestaande scheuren. Op termijn ook letten op corrosie van de stalen klemconstructies, met name bij de ankerstaven en verdeelplaten. Het advies is sowieso elke 5 jaar de conservering te herzien.

De regelmaat van de inspecties volgt uit de bevindingen. Wanneer geen grote gebreken worden geconstateerd de onderlinge Delta T verdubbelen. Beginnend bij: 1 maand, Delta van 2 maanden, Delta 4 maanden, etc., één jaar, 2 jaar, 5 jaar. Overgaand naar reguliere inspectie.

### 9.5.2. Monitoring klemkracht en naspannen

Interventiewaarden zijn definitief vastgesteld in spanprotocol en monitoringsplan in UO.

Richtlijn voor noodzaak tot naspannen: bij afname klemkracht tot 95% van de oorspronkelijke waarde van 2300 kN is naspannen noodzakelijk. Dit wordt gevolgd en vastgesteld door een monitoringssysteem op basis van rekstrookmetingen. Om de maximale verandering in de klemkracht tgv. temperatuurwisselingen te minimaliseren dient het voor- of naspannen van de klemmen te gebeuren bij een buitentemperatuur van  $T = 10^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$  en bewolkt weer (geen opwarming staalwerk door directe zonbestraling).

Als gevolg van het mogelijk met enige vertraging dichtdrukken van aanwezige scheuren na het aanspannen van de klemconstructie kan het zijn dat naspannen relatief kort na aanbrengen van de eerste voorspanning moet worden uitgevoerd. Uitvoering dient te gebeuren op basis van het spanprotocol bij de initiële uitvoering. Een werkplan dient op gesteld te worden en ingediend te worden ter goedkeuring bij Opdrachtgever.



# 1 Bijlagen: TOM

---

beschouwing varianten opvangconstructie oplegnok brug 2484

variant 1

opvangen van de troglijger door een juk op palen

constructief (score : 2+ / 9 -)

variant 2

klemconstructie achter tandoplegging v/h uitkragende landhoofd (landhoofd west) ter vervanging ophangwapening

constructief (score 9+ / 2 -)

Variant 3 (Ingebracht door IV infra dd 24/02)

opvangen nok landhoofd door een juk op palen

constructief

algemeen : NB het vervangen van de oplegblokken bij de nok is ook in de huidige situatie een punt van aandacht (dd 24/02 AA,ET)

	score
- algemeen : door wijziging krachtsafdracht bij nok zullen diverse onderdelen van de brug nader beschouwd moeten worden (zie onderstaande punten ) (AA)	
- Landhoofd wordt ontlast; evt. bezwijken nok geen risico meer voor constructieve veiligheid (ET)	
- stabiliteit jukken borgen (ET)	
- afdracht langskrachten via 'verdeling' oplegblokken / paaljukken (ET)	
- handhaven verticale spanning op paaljukken (ontspanning door consolidatie grond onder ppn) > regelmatig controleren 'vizeldruk' tpv opleggingen paaljukken	
- controle langs balken van de brug: (ET) (nieuwe ) oplegzone (vizel/oplegblok) onder balken tpv paaljukken detaillering oplegzone controle oplegging dek aan westzijde in nieuwe situatie	
- Bestaande oplegging bij nok kan spanningsloos zijn (verkeerslast op einde uitkraging); voldoet niet aan ontwerpvoorwaarden (minimale oplegdruk, mogelijk niet plaatsvast zijn van oplegblokken)	
- ontlasten uitkragende oplegging (=westelijke LH) geeft andere krachtwerking in LH (wordt voor ca 2000 kN ontlast !)	
- door wijziging krachtsafdracht zal ook het uitkragende landhoofd ( op hoofdlijnen) beschouwd moeten worden (AA) ; verticale stabiliteit van het landhoofd, door het ontlasten van de tand, worden ook de schoorpalen in de voorste rij van het landhoofd ook ontlast, ik denk zelfs redelijk fors, waardoor het landhoofd wat minder weerstand krijgt tegen horizontale vervormingen (HG) ,	
- geldt voor deze oplossing ook ivm oplegdrukken handhaven bij tandoplegging (AA)	
nvt	

+	- geldt niet bij deze oplossing (AA) / alleen lokale beïnvloeding krachtswerking (geen integrale analyse vereist) constructief inzichtelijk (ET) Hier zal toch ook de gehele constructie herberekend moeten worden. (op basis van signalen vanuit onderzoek)
+	- krachtswerking bij tandoplegging ongewijzigd, landhoofd niet ontlast (AA)
+	nvt
+	nvt
+	nvt
+	nvt
+	nvt
+	nvt
+	nvt
+	nvt
-	- Slechts gedeeltelijke ontlasting van ophangwapening (ca. 80%) door voorspanning (ET)
-	- Inleiding grote klemkracht op einden langs balken in zone spankoppes, inclusief inkassing tbv. dwarsvoorspanning: (ET) constructief niet optimaal, detaillering aanwezige wapening in principe niet passend, kans op afboeren betonranden, ... voorsnog sterke voorkeur voor 'sandwich constructie' (aan weerszijden van troglijger klemmen) (dd 24/02 IV Infra)

- opm AA door het opvangen van alleen de nok (bijvoorbeeld door het 'vizelen' van eigen gewicht troglijgers) wordt de nok (vervorming) heel gevoelig voor krachtsoverdracht naar rest van troglijger landhoofd > bij te grote zakking juk zal nok alsnog overbelast worden > bij te hoge vizelkracht zal nok 'omhooggedrukt' worden. Opvangen nok geeft op voorhand grotere risico's dan optie 1
--

**situatie** (score 4+/3-)

mvt

mvt

- palen vallen binnen PVR watergang (ET)

mvt

mvt

mvt

- Esthetisch beperkte impact (onder/naast de brug) (ET)

**uitvoering** (score 0+/2-)

- werken onder de overbelaste nok (AA)

- inzet groot materiaal/materieel (aanbrengen palen en zware onderslagbalk etc) (AA)

**situatie** (score 1+/6-)

- kwetsbaar voor invloeden van buitenaf en de oplegging boven op het randje werkt niet, zeker als we de buigstralen van de bovenwapening in ogenschouw nemen. (HG)

*Misschien had ik wat stilliger moeten zijn, de klemconstructie is een hele ongelukkige keus, krijgen we spijt van. (HG)*

- rekening houden met aanrijdbelasting op toekomstige barriers tgv versmalling rijstrookbreedte ( dd 24/02 IV Infra)

- onderzijde constructie valt binnen gemarkeerd PVR watergang => veiligheidsrisico mbt. aanstoten vanuit vaartuig (ET)

- Clash met aanwezige draagarm voor voet- en fietspad (ET)

- kwetsbare constructie (kans op beschadiging, bv. bij aanrijding door wegverkeer; risico op aantasting door dooizouten) (ET)

+ opvangconstructie minder opvallend / zichtbaar (AA)

- esthetische impact (evt. omkassen, ook voor bescherming tegen vandalisme; nadeel hiervan is beperking inspectiemogelijkheden) (ET)

**uitvoering** (score 2+/0-)

+ - Beperkte veiligheidsrisico's die eventueel veroorzaakt kunnen worden door werken in nabijheid van overbelaste nok (ET)

+ - kleinschalige ingreep met beperkt materiaal/materieel (AA)

variant 2  
klemconstructie achter tandoplegging v/h uitkragende landhoofd (landhoofd west)  
ter vervanging ophangwapening

variant 2A eenzijdige lijmkleem		variant 2B sandwich constructie	
score	<b>constructief</b>	score	<b>constructief</b>
+/-	- constructief zijn oplossingen gelijkwaardig	+/-	- constructief zijn oplossingen gelijkwaardig
<b>situatie</b> (score 4+/2-)		<b>situatie</b> (score 0+/6-)	
<p><b>06/03 IV Infra:</b> M.b.t. de mogelijke clash van de klemconstructie met de console van het fietspad genoemd in tabblad 1  Het lijkt erop dat dit ook niet het geval is voor de "lijmkleem" variant.</p>		<p><b>06/03 IV Infra:</b> M.b.t. de mogelijke clash van de klemconstructie met de console van het fietspad genoemd in tabblad 1  Het lijkt erop dat dit ook niet het geval is voor de "lijmkleem" variant.</p>	
+	- geen versmalling rijstrook > geen aanrijdgevaar	-	- rekening houden met aanrijdbelasting op toekomstige barriers tgv versmalling rijstrookbreedte ( dd 24/02 IV Infra)
+	- minder kwetsbaar voor aanrijding en dooizouten	-	- kwetsbare constructie (kans op beschadiging, bv. bij aanrijding door wegverkeer; risico op aantasting door dooizouten) (ET)
-	- esthetische impact (evt. omkassen, ook voor bescherming tegen vandalisme; nadeel hiervan is beperking inspectie mogelijkheden) (ET)	-	- esthetische impact (evt. omkassen, ook voor bescherming tegen vandalisme; nadeel hiervan is beperking inspectie mogelijkheden) (ET)
-	- onderzijde constructie valt binnen gemarkeerd PVR watergang => veiligheidsrisico mbt. aanstoten vanuit vaartuig (ET)	-	- onderzijde constructie valt binnen gemarkeerd PVR watergang => veiligheidsrisico mbt. aanstoten vanuit vaartuig (ET)
-	- geen boring door het dek nodig > (06/03 IV Infra)	-	- boren door bestaand dek (06/03 IV Infra)
+	geen risico op raken (voerspan)wapening	-	risico op beschadiging (voerspan)wapening
+	geen risico op dooizouten in boorgat tgv afwatering	-	risico op dooizouten in boorgat tgv afwatering
<b>uitvoering</b>		<b>uitvoering</b>	
+/-	- Beperkte veiligheidsrisico's die eventueel veroorzaakt kunnen worden door werken in nabijheid van overbelaste nok (ET)	+/-	- Beperkte veiligheidsrisico's die eventueel veroorzaakt kunnen worden door werken in nabijheid van overbelaste nok (ET)



## 2 Bijlagen: Toetsing Beton

---

**Brug 2484 – Versterking door klemconstructie – Bijlage Beton**

**Opsteller: E. Talmon, IB Amsterdam**

**Disclaimer: Deze bijlage is onderdeel van de ontwerpnota INFR180842-BRU2484-RAP002 rev.0 en dient niet afzonderlijk gelezen te worden, maar gezamenlijk met deze ontwerpnota. Op basis van de resultaten van de toetsingen in deze bijlage zijn conclusies getrokken en zijn aandachtspunten en risico's benoemd, welke integraal zijn verwoord in de ontwerpnota.**

dd.24-03-2022

## Inhoud

Inleiding	3
Waargenomen schade i.r.t. de toegepaste wapening	3
Klemconstructie	4
Principe schets klemconstructie en geometrie	5
Configuratie	6
Belastingen in zone balkeinden langsliggers	7
Berekeningen van diverse belastingsituaties (BGT)	9
Beschouwing UGT-draagvermogen van het systeem	12
Inleiding klemkracht bovenzijde	14
Inleiding klemkracht (1) - verdeelplaten met beperkte breedte	15
Inleiding klemkracht (2) – verdeelplaat bovenzijde langs balken over maximale breedte	18
Toetsing randafstand verdeelplaten bovenzijde	20
Overzicht	21
Conclusie, Aandachtspunten en Risico's	22

## Inleiding

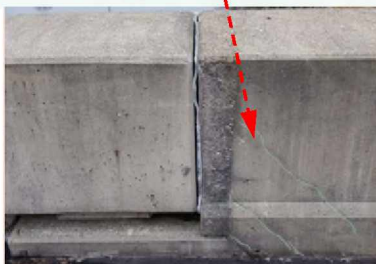
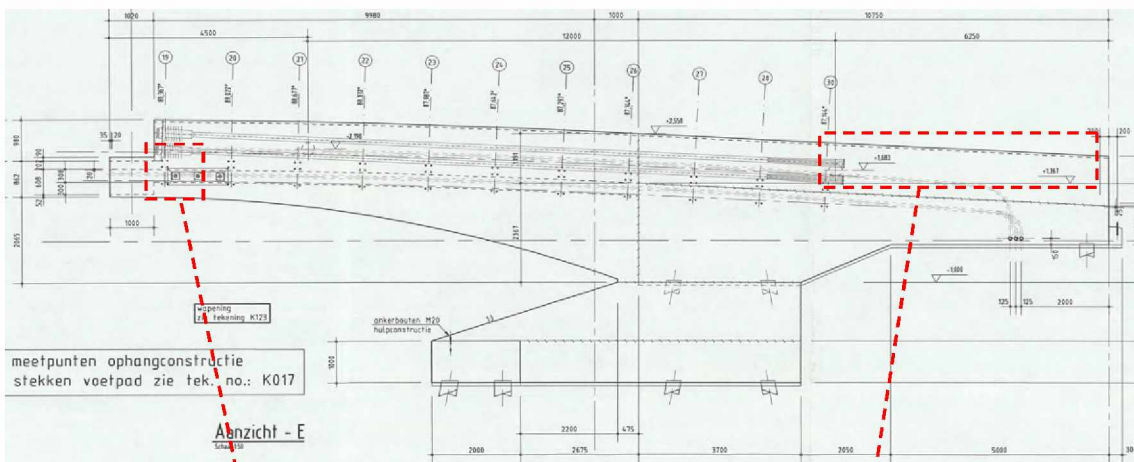
Brug 2484 is een betonnen brug met 1 overspanning bestaande uit 2 betonnen voorgespannen langsliggers met ertussen een betonnen rijdek; aan de zijkanten zijn een fiets-/voetpad bevestigd. Het westelijke landhoofd is een uitkragende betonconstructie; de voorgespannen langsliggers van de uitkraging zijn op de einden voorzien van oplegnokken tbv. het ingehangen troglijggedek. De brug is ontworpen voor verkeersklasse 45 en is opengesteld voor (relatief licht) busverkeer.

Bij een recente inspectie van brug 2484, bouwjaar ca. 2005, is forse scheurvorming waargenomen in de zone van de oplegnokken op de uiteinden van de voorgespannen randbalken van het uitkragende westelijke landhoofd, onderdeel van de primaire draagconstructie. Op basis van de gemelde scheurvorming uit het inspectierapport en een beperkte kwalitatieve beschouwing van de constructieve opbouw van de tandconstructie, de resulterende sterkte van de oplegzone en de optredende belastingen is besloten om de brug op korte termijn af te sluiten voor verkeer.

Als herstelmaatregel is, na afweging van enkele opties, gekozen voor toepassing van een voorgespannen stalen klemconstructie aan de buitenzijde van beide langsliggers in de zone van de kritische oplegnokken. In deze bijlage wordt de toe te passen klemkracht en bijbehorende configuratie van de drukpunten vastgelegd.

## Waargenomen schade i.r.t. de toegepaste wapening

Er zijn diagonale scheuren met een breedte van maximaal 0.7 mm (zonder belasting door verkeer) waargenomen bij de nokopleggingen aan beide zijden van het westelijke landhoofd. Verticale scheuren met een breedte van 0.2 mm zijn opgetreden aan de bovenzijde van de randbalk van het landhoofd, waarschijnlijk in de zone achter de voorspanning.

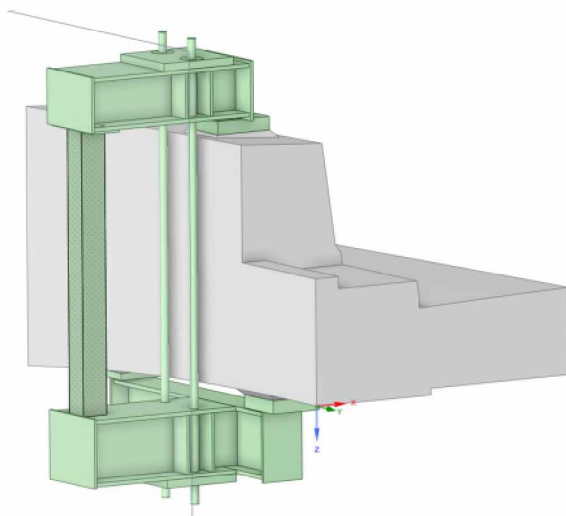


De verticale scheuren zijn constructief naar verwachting niet kritisch (nader aan te tonen middels een herberekening); de diagonale scheurvorming in de nok-zones is dat wel. Uit een globale beschouwing blijkt dat de op tekening aangegeven (en voorzover mogelijk dmv. wapeningsscans aangetoonde) verticale wapening op de koppen van de langsbalken van het westelijke landhoofd (wapening tbv. het ophangen van de oplegkracht vanuit het troglijggerdek c.q. de kopwapening tbv. de verticale splijtkracht uit de excentrische aangebrachte langsvorspanning) in hoeveelheid en detaillering niet in overeenstemming is met de bijbehorende ontwerpberekening; de effectief aanwezige wapening voldoet niet op sterkte.

### Klemconstructie

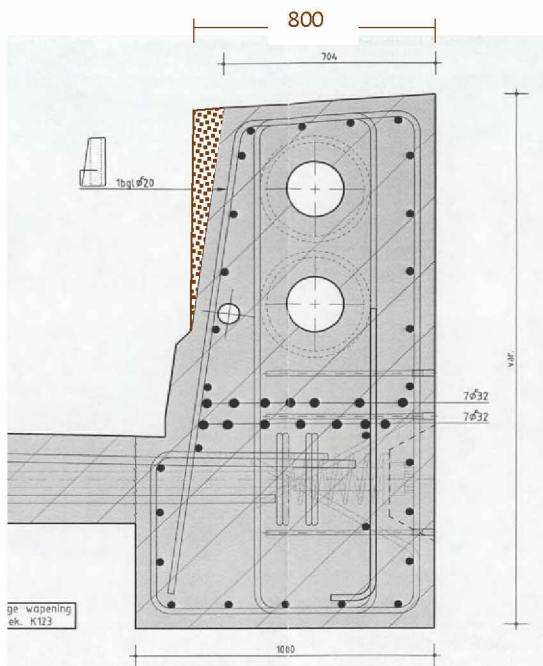
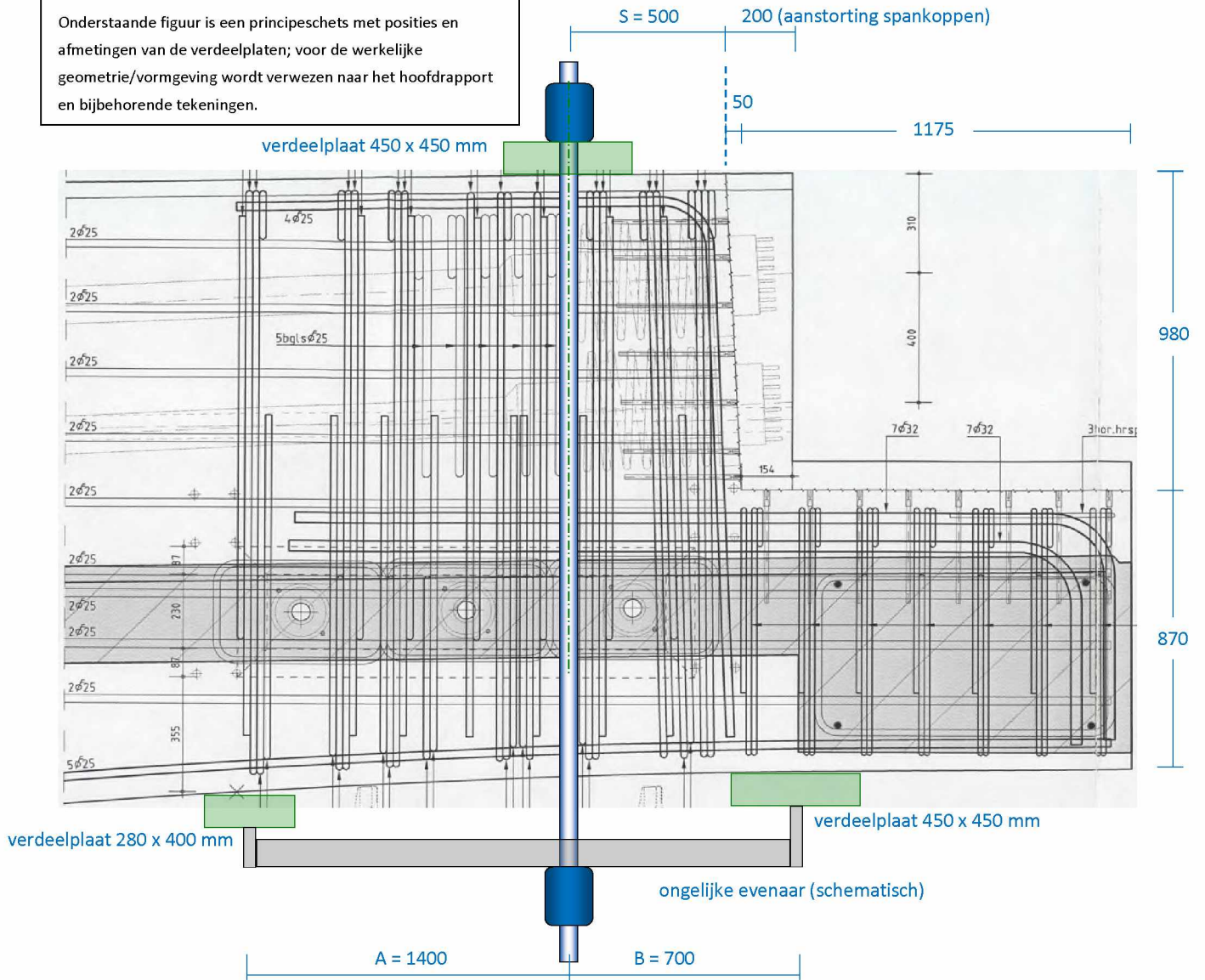
Vooruitlopend op een gunstige uitkomst van de nog uit te voeren volledige herberekening van de constructie is als versterkingsmaatregel in de zone van de oplegnokken aan beide zijden het aanbrengen van een voorgespannen klemconstructie op de voorgespannen langsliggers van landhoofd West voorgesteld. De klemconstructie bestaat uit een drukverdeelplaat geplaatst op bovenzijde randligger op en twee drukverdeelplaten aan de onderzijde, onderling verbonden door trek- en drukelementen aan de buitenzijde en een evenaar aan de onderzijde. Met name door de opwaartse kracht uitgeoefend door de voorste drukplaat aan de onderzijde ter plaatse van de aansluiting van de oplegnok op de kop van de langsligger wordt de overbelaste ophangwapening bij het liggereinde ontlast.

Zie voor een nadere beschrijving de hoofdtekst van dit rapport; onderstaand een impressie.



Principe schets klemconstructie en geometrie

Onderstaande figuur is een prinsipschets met posities en afmetingen van de verdeelplaten; voor de werkelijke geometrie/vormgeving wordt verwezen naar het hoofdrapport en bijbehorende tekeningen.



16-03-2022 uit correspondentie ACE-BAM in de bouwfase is gebleken dat de balken aan de bovenzijde tijdens uitvoering aan de binnenzijde zijn verbreed van 704 mm (aangegeven op tekeningen) tot 800 mm; binnenzijde afwijkend van stepbarrier-vorm; zie figuur. Reden was de inpassing in de randbalken van verticale stekwapening  $\phi 40$ , aangebracht in onderliggende reeds gestorte constructiedelen van het landhoofd. De wijziging is, voorzover bekend, niet formeel gedocumenteerd. Bij recente uitgevoerde wapeningsscans zijn geen afwijkende dekkingen gesignaleerd, zodat aangenomen kan worden dat de toegepaste wapening is uitgelegd op de aangepaste geometrie van de randbalk.

## Configuratie

- Klemkracht 2500 kN => aan onderzijde door evenaar 2:1 verdeeld =>  $(2/3 \Leftrightarrow 1/3) \times 2500$  kN
- Bovenplaat S = 500 mm afstand hart spanelement tot bovenhoek constructief beton (dus niet: aanstorting spankoppen)
- Onderplaten A = 1400 mm; B = 700 mm (zie figuur op vorige bladzijde)
- stalen verdeelplaten onderzijde B x L = 450 x 450 mm resp. 280 x 400; bovenzijde: 450 x 450 mm; dikte: doorbuiging onder verdeelde belasting < 0.05 mm
- NB schuine/verlopende oppervlakken
- Verdeelplaten ondergieten met gietmortel K70 (korrel 4 mm; dikte gietmortel 20-120 mm); mk XF4; bv. Betec 140 o.g.  
betonoppervlak ter plaatse van de ondergietingen vooraf opruwen (hoge druk waterstralen); toepassing van lijmmankers  $\leq 125$  mm inboordiepte voor bevestiging verdeelplaten is toegestaan (alleen) aan de onderzijde van de balk; bestaande wapening dient volledig intact te blijven => vooraf wapening scannen, boren met lucht, gerealiseerde boorgaten inmeten en overnemen op de stalen verdeelplaten.  
Te realiseren oplegvlak voor verdeelplaten dient vlak en horizontaal te zijn.

### Belastingen in zone balkeinden langsliggers

In de zone van de oplegnokken zijn in hoofdzaak 3 verschillende belastingen aanwezig.

Belastingen in huidige situatie (BRU2484\_Detailberekening-landhoofd-as-1-BRU2484\_1639990968):

1. oplegkracht trogliggerdek

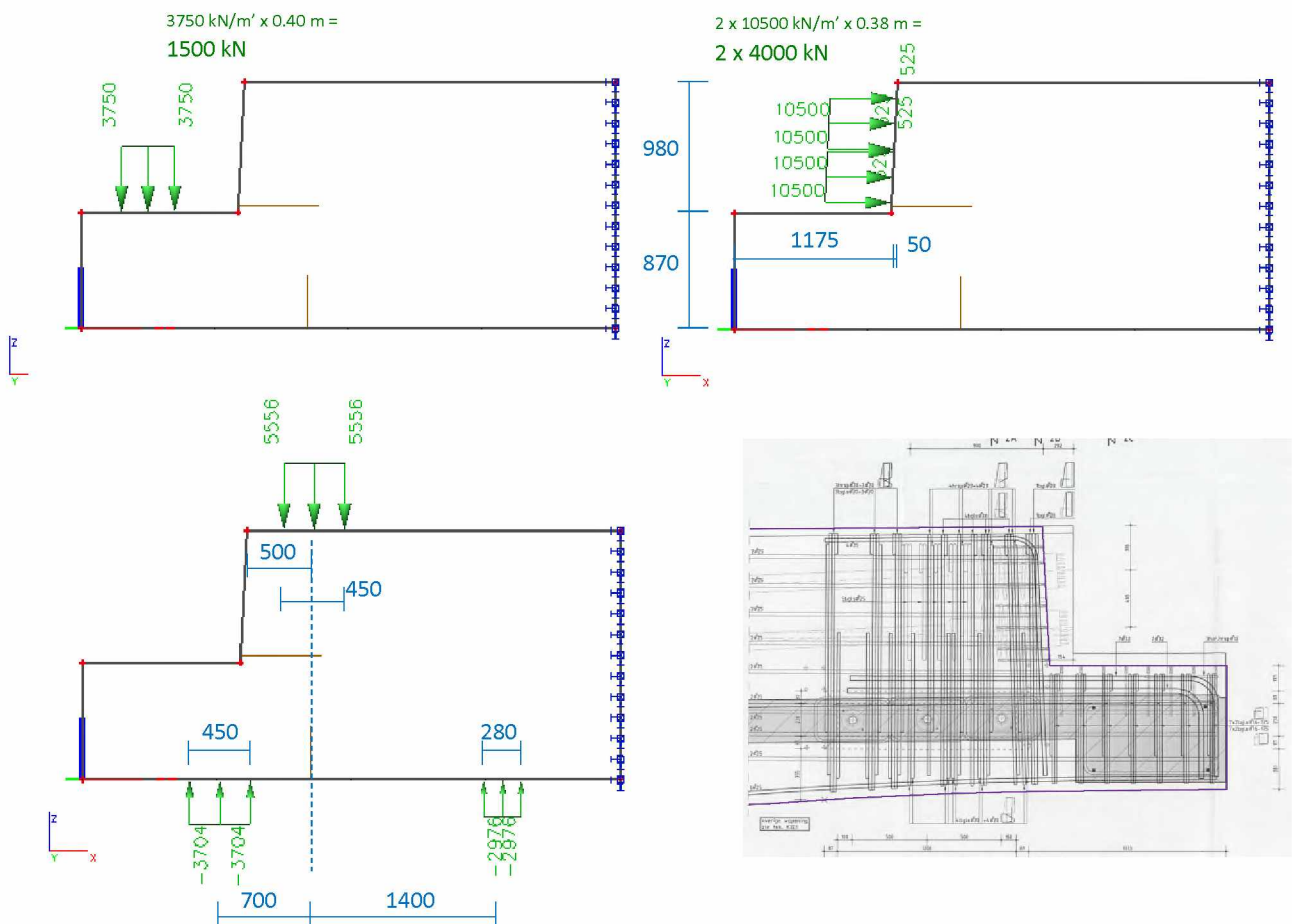
$F_{opl;EG+RB} = 1074 \text{ kN}$ ;  $F_{mobiele\ belasting; \text{klasse } 45} = 419 \text{ kN} \Rightarrow$  resulteert  $F_{v;res} = 1074 + 419 = \text{ca. } 1500 \text{ kN}$ ; als verdeelde belasting over 0.4 m (oplegblok) op de nok (BGT)

2. voorspanbelasting 2 x ca. 4000 kN over 0.38 m ([1]  $t = 0 \Rightarrow 2 \times 4125 \text{ kN}$ ,  $t = \infty \Rightarrow 2 \times 3795 \text{ kN}$ ); als gevolg van de excentrische voorspankracht op de kop van de langsbalken treedt daar een verticale kopsplijtkracht op van 429 kN

Klemkracht als versterkingsmaatregel, bepaald in deze rapportage:

3. klemkracht 2500 kN bovenzijde, 1667 resp. 833 kN onderzijde als verdeelde belastingen over 0.40 m lengte (afmeting verdeelplaat in richting as brug)

In onderstaande figuur zijn de resulterende oplegkracht op de nok, de voorspanbelasting en de klembelasting (alle BGT) aangegeven:



UGT:

Bepaling rekenwaarde oplegkracht

NEN 8700:2011 + A1:2020:

- tabel A2.2 (B), (C), 'verbouw'
- restlevensduur 30 jaar
- brug gevolgklasse CC2
- vanwege hoog aandeel permanente belasting => maatgevende belastingcombinatie is 6.10 a

$$F_{Ed} \geq \gamma_{1.25} \times 1074 + \gamma_{1.25} \times \psi_{0.8} \times 419 = 1343 + 419 = 1762 \text{ kN (6.10a) rekenwaarde oplegkracht}$$

De voorspankracht en klemkracht zijn/worden aangebracht met gecalibreerde vijzels; rekenwaarde belasting met belastingfactor  $\gamma = 1.0$ :

$$F_{kop} = \gamma_{1.0} \times 429 = 429 \text{ kN rekenwaarde kopsplijtkracht}$$

Berekeningen van diverse belastingsituaties (BGT)

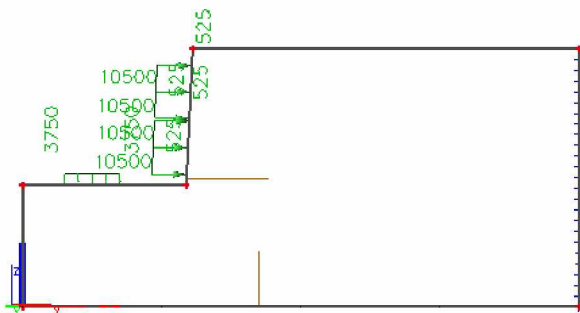
In de voorfase zijn diverse configuraties van de klemconstructie beschouwd. In het volgende wordt de resulterende trekkracht in de zone van de ophang- cq. verticale kopsplijtwapening getoond bij de volgende belastingsituaties; klemconstructie als in voorgaande aangegeven:

1. Huidige situatie met de oplegkracht vanuit het dek ( $F_z = 1500 \text{ kN} \downarrow$ ) op de nok en langsvoorspanning ( $F_{vsp;x} = 2 \times 4000 \text{ kN} \rightarrow$ ); BGT
2. Situatie met klemkracht 2500 kN, oplegkracht vanuit het dek ( $F_z = 1500 \text{ kN} \downarrow$ ) op de nok en langsvoorspanning ( $F_{vsp;x} = 2 \times 4000 \text{ kN} \rightarrow$ ); BGT
3. Situatie met klemkracht 2500 kN, gereduceerde oplegkracht vanuit het dek ( $F_z = 1250 \text{ kN} \downarrow$ ) op de nok en langsvoorspanning ( $F_{vsp;x} = 2 \times 4000 \text{ kN} \rightarrow$ ); BGT  
Dit is de verwachte belastingsituatie met (relatief licht) busverkeer
4. Situatie met klemkracht 2500 kN en langsvoorspanning ( $F_{vsp;x} = 2 \times 4000 \text{ kN} \rightarrow$ ); BGT  
Deze situatie treedt op als het dek is opgevijseld bij vervanging van de oplegblokken; de opwaartse kracht uit de voorste klemplaat aan de onderzijde drukt de nok omhoog, onderwapening onder trek

Geval 1:

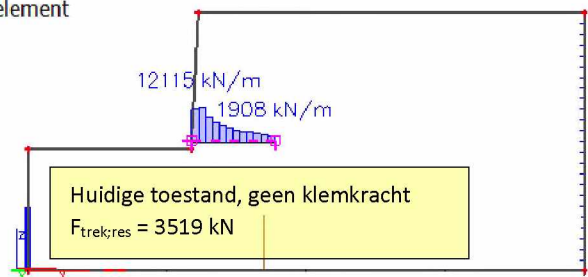
- Verdeling verticale trekkracht in langsligger bij oplegnok
- Oplegkracht vanuit dek  $0.4 \times 3750 = 1500 \text{ kN}$ ; langsvoorspanning  $2 \times 0.38 \times 10500 = 2 \times 4000 \text{ kN}$

=> Resulterende verticale trekkracht  $F_{trek;res} = 3519 \text{ kN}$



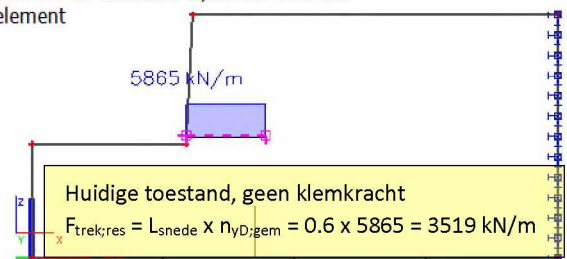
**Interne 2D-krachten**

Waardes:  $n_{yD}$   
 Lineaire berekening  
 Belastingsgeval: BG100  
 Extreem: Globaal  
 Selectie: Snede6  
 Locatie: In centrum. Systeem: LCS net element



**Interne 2D-krachten**

Waardes:  $n_{yD}$   
 Lineaire berekening  
 Belastingsgeval: BG100  
 Baan: Gemiddeld  
 Extreem: Globaal  
 Selectie: Snede6  
 Locatie: In centrum. Systeem: LCS net element

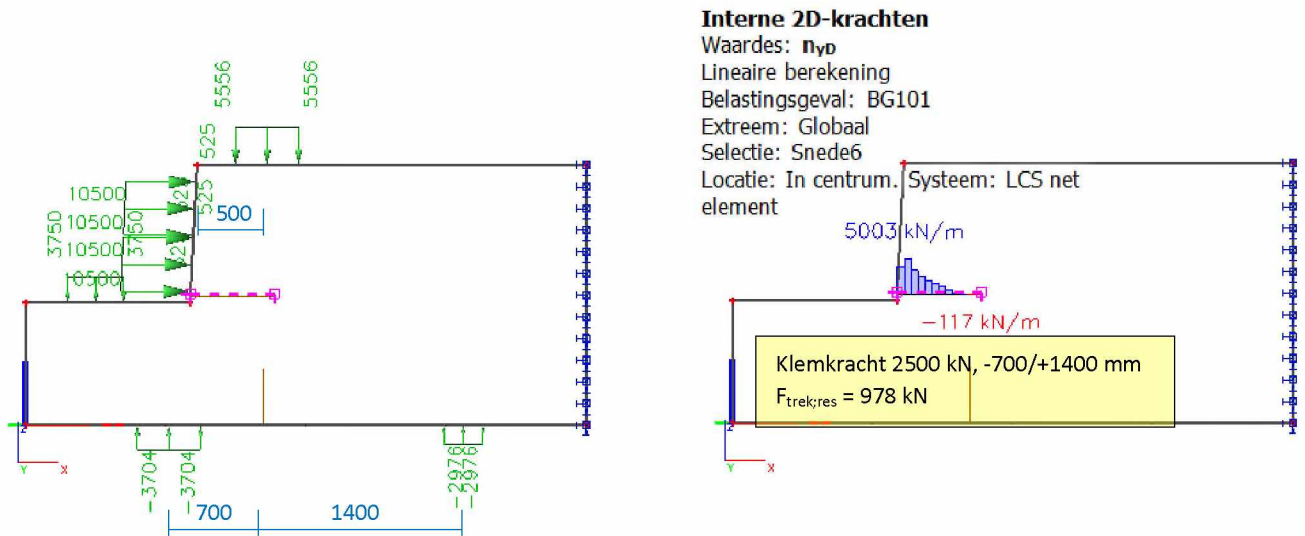


Beschouwing verschillende configuraties voor overdracht van de klemkracht en het effect op de kracht in de verticale trekband achter het spanvlak.

Geval 2:

- Verdeling verticale trekkracht in langsligger bij oplegnok
- Oplegkracht vanuit dek  $0.4 \times 3750 = 1500 \text{ kN}$ ; langvoorspanning  $2 \times 0.38 \times 10500 = 2 \times 4000 \text{ kN}$ ; klemkracht  $0.45 \text{ m} \times 5555.6 \text{ kN/m}' = 2500 \text{ kN}$

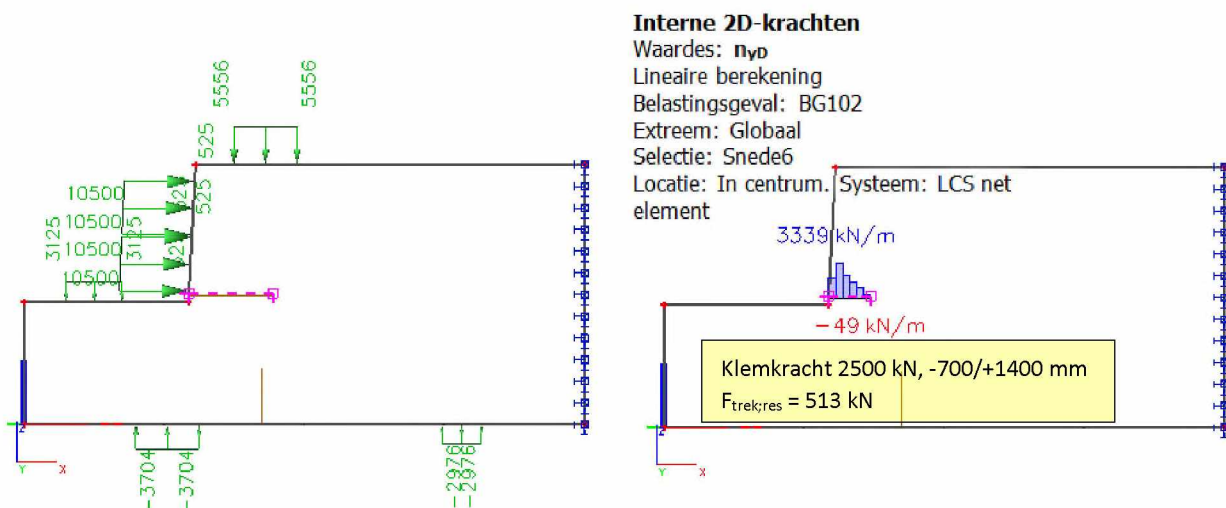
=> Resulterende verticale trekkracht  $F_{\text{trek};\text{res}} = 975 \text{ kN}$



Geval 3:

- Situatie: gereduceerde belasting uit verkeer (busverkeer, ca. 50% x Klasse 45)
- Verdeling verticale trekkracht in langsligger bij oplegnok
- Oplegkracht vanuit dek  $0.4 \times 3125 = 1250 \text{ kN}$ ; langvoorspanning  $2 \times 0.38 \times 10500 = 2 \times 4000 \text{ kN}$ ; klemkracht  $0.45 \text{ m} \times 5555.6 \text{ kN/m}' = 2500 \text{ kN}$

=> Resulterende verticale trekkracht  $F_{\text{trek};\text{res}} = 513 \text{ kN}$  (15% waarde bij huidige situatie, geval 1)



Bij een effectief aanwezige wapening van  $11.5 \phi 20$  zou de resterende trekkracht van 513 kN een staalspanning van ca.  $140 \text{ N/mm}^2$  opleveren. Voor reductie van de staalspanningen in de maatgevende zone (ter hoogte van bovenzijde nok) mag ook een bijdrage van de 4 staven  $\phi 25$  op de kop van de troglijger verwacht worden (niet voor UGT). Acceptabel.

Geval 4:

- Nok onbelast: dek opgevizeld tbv. vervanging oplegblokken
- Verdeling horizontale trekkracht onderzijde langsligger bij vizelen dek, oplegnok onbelast
- Langsvoorspanning  $2 \times 0.38 \times 10500 = 2 \times 4000 \text{ kN}$ ; klemkracht  $0.45 \text{ m} \times 5555.6 \text{ kN/m}' = 2500 \text{ kN}$
- Opmerking: zowel voorspankracht als klemkracht zijn gecontroleerde belastingen, aangebracht met gecalibreerde vizels.

#### Interne 2D-krachten

Waardes:  $n_{x0}$

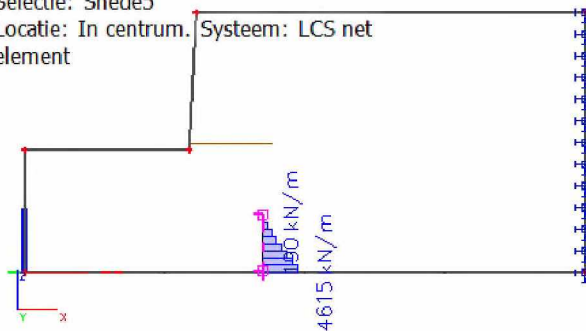
Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG103

Extreem: Globaal

Selectie: Snede5

Locatie: In centrum. Systeem: LCS net element



Klemkracht 2500 kN, -700/+1400 mm

$F_{\text{trek, onderwapening nok}} = 903 \text{ kN}$

#### Interne 2D-krachten

Waardes:  $n_{x0}$

Lineaire berekening

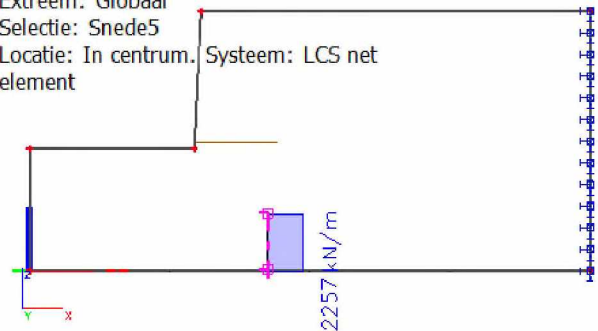
Belastingsgeval: BG103

Baan: Gemiddeld

Extreem: Globaal

Selectie: Snede5

Locatie: In centrum. Systeem: LCS net element



In ontlaste toestand (zonder inhangdek) trekkracht  $F = 903 \text{ kN}$  in onderwapening  $5+1 \phi 25 \Rightarrow$  ca.  $307 \text{ N/mm}^2$  voldoet



Afdracht via de klemconstructie (zie figuur vorige bladzijde)

$$\begin{aligned} \text{A} \quad N_{\text{nokwapening}} &= 0.67 \times (1 - \alpha) F_{E;d} \\ \text{B, C} \quad N_{B;\text{hor}} &= N_{C;\text{hor}} = \frac{1}{2} F_{\text{nokwapening}} = \frac{1}{2} \times 0.67 \times (1 - \alpha) F_{E;d} \\ N_{B;\text{vert}} &= N_{B;\text{hor}} / 1.3 = \frac{1}{2} \times 0.67 \times (1 - \alpha) F_{E;d} / 1.3 \end{aligned}$$

Totale neerwaartse kracht tpv. klem ( $\equiv$  de voorste klemplaat aan de onderzijde) is

$$(1 - \alpha) F_{E;d} + \frac{1}{2} \times 0.67 \times (1 - \alpha) \times F_{E;d} / 1.3 = (1 - \alpha) \times F_{E;d} \times 1.25 = F_{\text{klem}} = 1667 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow (1 - \alpha) \times F_{E;d} = 1325 \text{ kN}$$

Kracht in nokwapening is  $N_{\text{nokw;d;klem}} = 1325 \text{ kN} \times 0.67 = 888 \text{ kN}$ .

Afdracht via effectieve ophangwapening

Het aandeel van de oplegkracht dat afgedragen kan worden door de effectieve ophangwapening wordt bepaald aan de hand van onderstaand vakwerkmodel. De ophangwapening wordt geacht ook de rekenwaarde van de kopsplijtkracht op te nemen.

Uit beschouwing aanwezige wapening, positie en detaillering:  
effectief aanwezige ophangwapening is  $11.5 \phi 20$ .

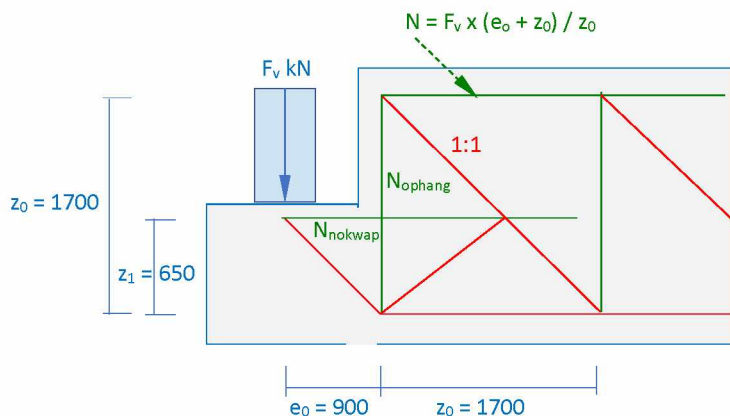
Totale UGT capaciteit =  $N_{\text{ophang;Rd}} = 11.5 \times 314 \times 435 \times 10^{-3} = 1571 \text{ kN}$ ; reductie voor kopsplijtkracht is  $F_{\text{kopsplijt;d}} = 429 \text{ kN} \Rightarrow$  resteert  $1571 - 429 = 1142 \text{ kN}$ .

Onderstaand vakwerkmodel:

$$N_{\text{ophang}} = F_{v;\text{ophangw}} \times (e_o + z_o) / z_o = F_{\text{ophang;Rd}}$$

Capaciteit effectieve ophangwapening tav. opnemen oplegreactie is

$$F_{v;\text{ophangw}} = F_{\text{ophang;Rd}} \times z_o / (e_o + z_o) = 1142 \times 1.70 / (0.90 + 1.70) = 747 \text{ kN};$$



Resulterende UGT capaciteit tav. opnemen oplegkracht op de nok is  $F_{R;d} = 1325 + 747 = 2072 \text{ kN} > F_{Ed} = 1762 \text{ kN}$ ;  $u_c = 0.85$ .

Kracht in nokwapening is  $F_{\text{nokw;d;ophang}} = 777 \text{ kN} \times 0.90 / 0.65 = 1076 \text{ kN}$ ; totale kracht in nokwapening is  $N_{\text{nokw;d}} = 888 + 1076 = 1964 \text{ kN}$ ; toegepast  $2 \times 7 \phi 32 \Rightarrow F_{y;d} = 14 \times 804 \times 435 \equiv 4896 \text{ kN}$ ;  $u_c = 0.40$ .

## Inleiding klemkracht bovenzijde

De inleiding van de klemkracht aan de bovenzijde van de langsbalken leidt in principe tot slijtkrachten in dwarsrichting in het onderliggende beton. De zone met slijtkrachten overlapt gedeeltelijk met de zone van slijtkrachten in dwarsrichting tgv. de langsvorspanning op de kop van de langsbalken. Voor de laatste is slijtwapening toegepast, die echter qua detaillering en locatie niet optimaal is uitgevoerd.

Er zijn twee opties voor het inleiden van de klemkracht, beide met minpunten:

1. Klemkracht inleiden door verdeelplaat met voldoende randafstanden  
deze optie betekent introductie van extra slijtkrachten in dwarsrichting in de langsbalk zonder de daarvoor benodigde/vereiste wapening; nadere toelichting elders in deze bijlage
2. Klemkracht inleiden door toepassing van een verdeelplaat over de volle breedte van bovenvlak langsbalk  
Dit betekent dat er geen slijtkracht in dwarsrichting tgv. de klemkracht optreedt; er wordt echter niet voldaan aan de normen mbt. randafstanden c.q. detaillering wapening. Als correctieve maatregel is zijdelingse opsluiting van de zijvlakken van de langsbalk voorgesteld. Een praktische en constructief verantwoorde uitvoering daarvan ontbreekt vooralsnog.

### Opmerking:

lokaal verdeelde klemkrachten aan de onderzijde van de langsbalken resulteren daar ook in een zone met slijtkrachten in dwarsrichting, op te nemen zonder bijbehorende wapening; dit wordt acceptabel geacht indien de oplegdrukken bij de verdeelplaten onder de grenswaarde blijven cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 10.9.4.3 (7):  $\sigma_{opl;gem} \leq 0.7 \times f_{cd}$  (een bepaling uit de (vervallen) NEN6720, 9.13.1).

## Inleiding klemkracht (1) - verdeelplaten met beperkte breedte

De klemkracht wordt via 1 + 2 stalen verdeelplaten aangebracht op boven- en ondervlak van de langsliggers. Als gevolg van de lokale belasting op het betonoppervlak ontstaan inwendig splijtkrachten in het beton van de langsliggers. Cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 6.7 moeten bij gedeeltelijk belaste gebieden trekkrachten in dwarsrichting in beschouwing zijn genomen. Voor het opnemen van die trekkracht dient wapening te zijn aangebracht.

In een bestaande constructie is de bedoelde wapening mbt. een nieuw aangebrachte belasting in beginsel niet aanwezig. Daarom wordt er gebruik gemaakt van onderstaande bepaling uit NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 10.9.4.3 (7), opgenomen in de (vervallen) NEN6720, 9.13.1:

geen berekening van dwarse trekspanningen vereist indien  $\sigma_{opl;gem} \leq 0.7 \times f_{cd}$

### 10.9.4.3 Verbindingen die drukkrachten overdragen

Lees na de volledige tekst van (6) de volgende normatieve tekst:

- (7) Van een berekening van trekspanningen in dwarsrichting in aangrenzende elementen bij een geconcentreerde drukkracht mag worden afgezien, indien de gemiddelde oplegdruk niet groter is dan  $0,7 f_{cd}$ .

## 1. verdeelplaten aan de onderzijde van de balken

Toetsing oplegdruk cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 10.9.4.3 (7), voor de maatgevende voorste verdeelplaat op onderzijde langsbalk:

$$F_{klem;onder} = 2/3 \times 2500 \text{ kN} = 1667 \text{ kN}; \text{ verdeelplaat } 450 \times 450 \text{ mm} \Rightarrow$$

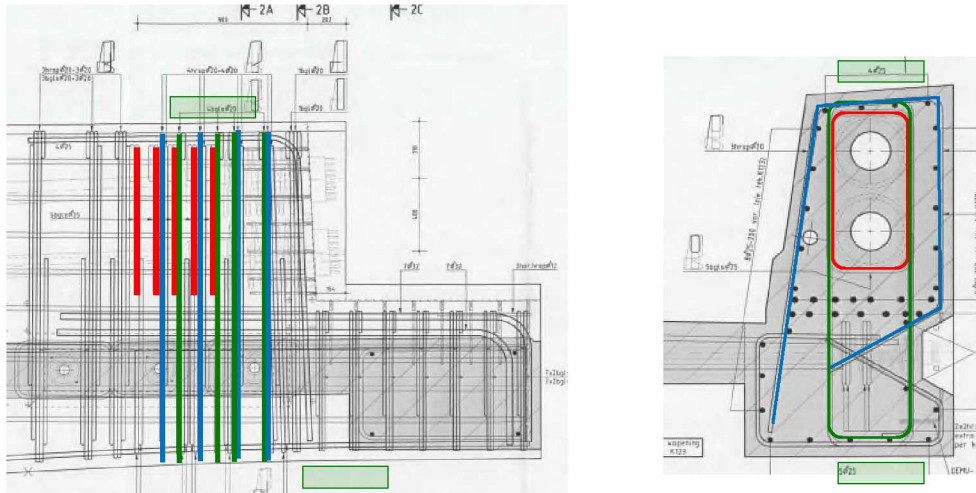
$$\sigma_{opl;gem} = 8.2 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \times 53 / \gamma_{1.5} = 24.7 \text{ N/mm}^2 \text{ (beton C53/65) voldoet.}$$

(voldoet ook bij evt. reductie druksterkte ivm. loodrechte trekspanningen cf. EC2, 6.5.2).

## 2. verdeelplaat aan de bovenzijde van de balken

Hart verdeelplaat ligt op 500 mm afstand van het spanvlak op de kop van de langsbalken. De dwarse splijtkrachten als gevolg van de lokale krachtleiding treden op in de zone waar ook dwarse splijtkrachten tgv. de voorspankracht op de kop van de langsbalk optreden. In de oorspronkelijke ontwerpberekening ('Bijlage 7') is voor de splijtkracht in dwarsrichting tgv. inleiding voorspankracht een bijbehorende kopsplijtwapening berekend ('5  $\phi 25$ ' op basis van staalspanning  $120 \text{ N/mm}^2$ ). Deze wapening is aangegeven op tekening K124 'Busbaan 't Twiske – Wapening landhoofd as 1'; zie figuur op de volgende pagina, smalle en korte beugels in rood. De detaillering is niet optimaal: de volle dwarsdoorsnede van de langsbalk wordt niet omsloten (beugels te smal), geen horizontaal beugelbeen aanwezig tussen de ankers in en het beugelpakket ligt te ver van de kop af (splijtkracht is al significant aanwezig op kleinere afstand vanaf kop langsbalk). Ook additionele systeemwapening in de zone rond de spiraalwapening, die bij veel voorspansystemen vereist wordt, ontbreekt (mogelijk niet vereist bij het toegepaste voorspanstelsel).

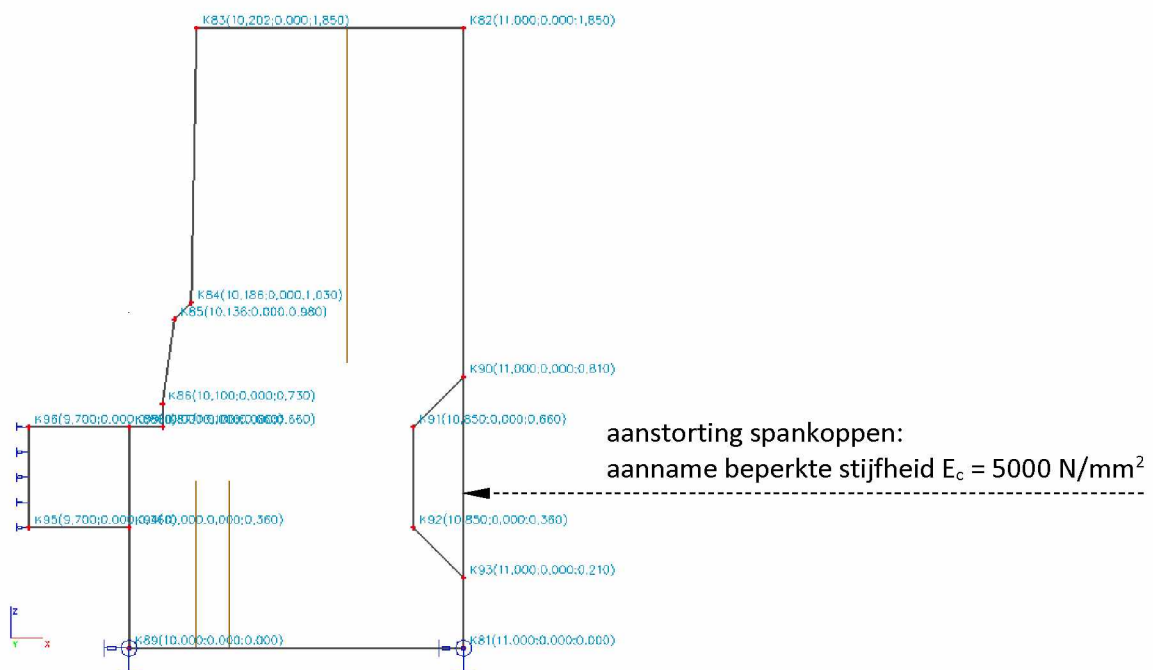
In de figuur is ook de positie van de bovenste verdeelplaat aangegeven: de dwarse splijtkracht tgv. de klemkracht treedt op in dezelfde zone als de splijtkracht tgv. voorspanning. De aanwezige splijtwapening voor de voorspanning zou ook hier beperkt functioneel zijn om dezelfde redenen.

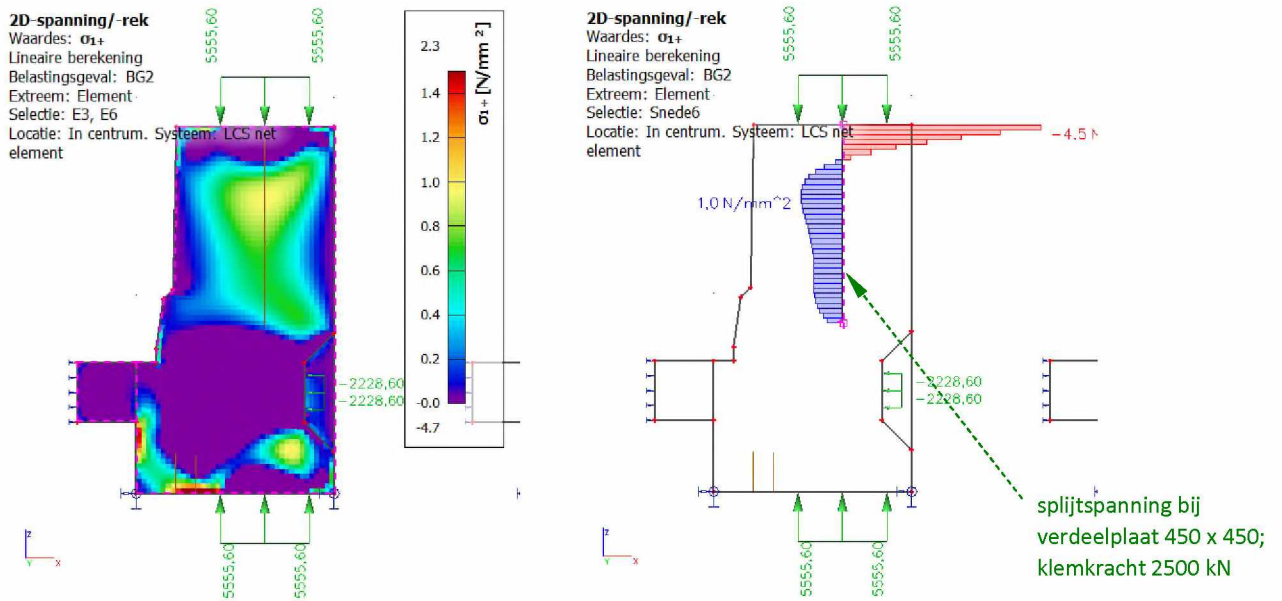


In het volgende worden de slijtspanningen ten gevolge van lokale krachtinleiding uit langsvorspanning en klemkrachten beschouwd, mbv. twee SCIA modellen.

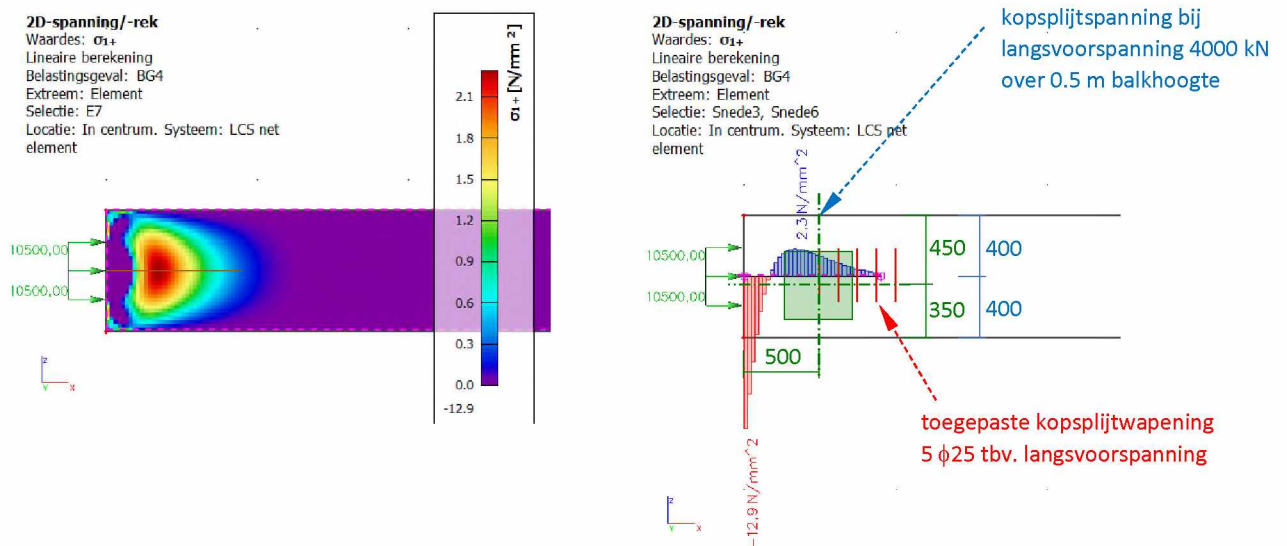
SCIA model tbv. bepaling slijtkrachten tgv. klemconstructie:

- schijfelement, dikte 0.65 m (meewerkende balklengte =  $B_{\text{verdeelplaat}} + 2 \times 100 \text{ mm}$ )
- afmetingen: zie figuur
- verdeelplaat bovenzijde:  $B = 450 \text{ mm}$ ; hart plaat op 350 mm uit buitenrand
- dwarsvorspanning ca. 900 kN over 1.5 m lengte, meewerkende balklengte 0.65 m, hoogte ankerkop 0.175 m  $\Rightarrow q_{\text{dwvsp}} = 900 \times 0.65 / 1.5 / 0.175 = 2229 \text{ kN/m'}$  over hoogte ankerplaat
- onderzijde balk: berekende slijtspanningen zijn niet correct omdat de klemkracht feitelijk verdeeld is over 2 platen op onderling 2.1 m afstand





SCIA model tbv. bepaling kopsplijtkrachten tgv. de langsvoorspanning:



Conclusie:

Vanwege de overlapping van de dwarse splijtkracht-zones van de horizontale voorspanning en de verticale klemkracht is toetsing op basis van oplegdrücken niet van toepassing. De aanwezige kopsplijtwapening tbv. de langsvoorspanning is niet optimaal vormgegeven (te smalle beugels, alleen horizontale beugelbenen boven en onder spanelementen) en niet aangebracht op de juiste locatie (beugels buiten zone met maximale splijtkrachten). Aan deze wapening kan geen bijdrage worden toegekend voor het opnemen van de dwarse splijtkracht uit de klemkracht aan de bovenzijde van de langsbalk.

## Inleiding klemkracht (2) – verdeelplaat bovenzijde langsbalken over maximale breedte

In technisch overleg is voorgesteld om aan de bovenzijde van de langsbalken een verdeelplaat over de maximale breedte van de balk toe te passen waardoor er in beginsel geen spijtkracht in dwarsrichting vanuit de klemkracht optreedt. Consequentie hiervan is dat niet wordt voldaan aan bepalingen in NEN-EN 1992-1-1:2011/NB. 2020, 10.9.5 mbt. randafstanden bij opleggingen resp. NEN-EN 1992-2:2005/NB. 2016, bijlage J.104 voor oplegzones van bruggen (randafstand, wapening; onderstaand).

### J.104.1 Oplegzones van bruggen

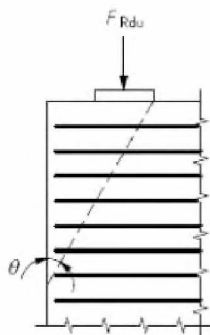
(101) Het ontwerp en de berekening van oplegzones van bruggen behoren in overeenstemming met de regels in deze bepaling, in aanvulling op die in 6.5 en 6.7 van EN 1992-1-1, te zijn.

(102) De afstand van de rand van het belaste gebied tot de vrije rand van de betondoorsnede behoort niet kleiner te zijn dan 1/6 van de overeenkomstige afmeting van het belaste gebied gemeten in dezelfde richting. De afstand tot de vrije rand behoort in geen geval kleiner te zijn genomen dan 50 mm.

(103) Voor betonklassen gelijk aan of hoger dan C55/67  $f_{cd}$  in vergelijking (6.63) van EN 1992-1-1 te zijn vervangen

$$\text{door } \frac{0,46 \cdot f_{ck}^{2/3}}{1 + 0,1 \cdot f_{ck}} \cdot f_{cd}$$

(104) Om het afschuiven van een rand te vermijden, behoort gelijkmatig verdeelde wapening evenwijdig aan de belaste zijde te zijn aangebracht tot het punt waar de lokale drukspanningen zijn gespreid. Dit punt wordt als volgt bepaald: een schuine lijn onder een hoek  $\theta$  ( $30^\circ$ ) met de richting van de aangebrachte belasting wordt vanaf de rand van de betondoorsnede zo getrokken dat deze de tegenovergelegen rand van het belaste oppervlak doorsnijdt, zoals voorgesteld in figuur J.107. De wapening die is aangebracht om het afschuiven van de rand te vermijden behoort voldoende te zijn verankerd.



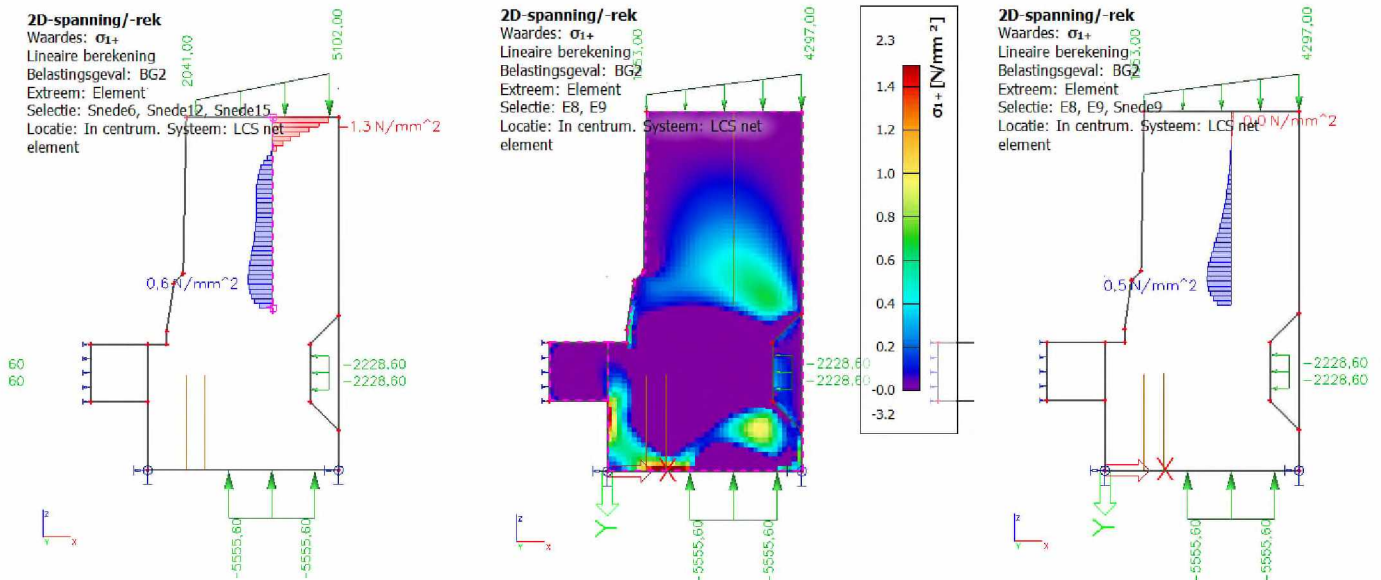
Figuur J.107 — Mechanisme van het afschuiven van een rand

(105) De wapening die is aangebracht om het afschuiven van een rand te vermijden ( $A_r$ ), behoort te zijn berekend in overeenstemming met de vergelijking  $A_r \cdot f_{yd} \geq F_{Rdu} / 2$ .

In het volgende worden de berekende spijtkspanningen in dwarsrichting gegeven voor twee situaties:

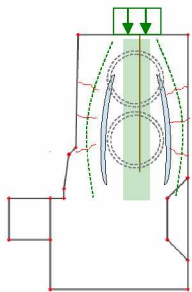
1. verdeelplaat bovenzijde met breedte  $B = 800 - 2 \times 50$  mm, waarbij de in voorgaande genoemde minimale afstand van 50 mm tot de vrije randen wordt aangehouden en
2. verdeelplaat bovenzijde met breedte  $B = 800$  mm  $\equiv$  breedte bovenvlak, zonder rekening te houden met vellingkanten

Onderstaande figuren geven de berekende slijtspanningen bij breedte verdeelplaat bovenzijde is 700 mm (figuur links) en B = 800 mm (figuren midden en rechts). Verschil in maximale slijtspanning is marginaal ( $0.1 \text{ N/mm}^2$ ); de maximum waarde is m.n. bepaald door aanwezigheid van de inkassing tbv. de dwarsvoorspanning (in SCIA model:  $E_{c,inkassing} = 5000 \text{ N/mm}^2$ ). Mede omdat bij een verdeelplaat over de volle breedte een lastig te realiseren zijdelingse opsluiting aan de bovenzijde van de langsbalken zou moeten worden toegepast ter voorkoming van afboeren (actieve klemkracht door opwigen), heeft een plaat met B = 700 mm hier de voorkeur.



Vergeleken met de spanningsfiguur bij toepassing van een verdeelplaat met een beperkte breedte van 450 mm (voorgaande) is de afname van de maximale trekspanning bij een verdeelplaatbreedte van 700 mm ca.  $1.0 - 0.6 = 0.4 \text{ N/mm}^2$ ; de resulterende maximale slijtspanningen (tgv. langsvoorspanning + klemkracht) zijn  $2.3 + 1.0 = 3.3 \text{ N/mm}^2$  resp.  $2.3 + 0.6 = 2.9 \text{ N/mm}^2$ , een beperkt verschil.

Eventuele verticale scheuren tgv. dwarse slijtspanningen in het hart van de langsbalk kruisen de spiraalwapening ( $\phi 22-60$  over 0-500 mm van kop langsbalk) cq. de beugelwapening (500-1000 mm vanaf kop langsbalk) en worden 'beheerst'; voor verticale slijtscheuren die buitenlangs de spiraal of beugelwapening lopen geldt dat niet. Bezwijkten tgv. de verticale klemkracht lijkt echter niet mogelijk: de klemkracht zal dan hoofdzakelijk via het centrale deel tussen de verticale scheuren worden afgedragen, zie onderstaande impressie.



**Keuze (vooralsnog):**  
toepassing van verdeelplaten met een beperkte breedte van 450 mm op de langsbalken

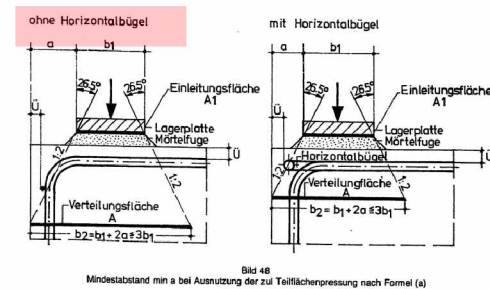
Toetsing randafstand verdeelplaten bovenzijde

Onderstaand wordt de randafstand van de verdeelplaat aan de bovenzijde beschouwd in relatie tot de toelaatbare oplegdruk:

- $N_{klem} = 2500 \text{ kN}$  (+/- 5%, aangebracht dmv. gecalibreerd vijzel)
- Verdeelplaat  $L \times B = 450 \times 450 \text{ mm} \Rightarrow$  oplegdruk  $= 12.3 \text{ N/mm}^2$
- Betontrekspanningen in dwarsrichting: cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020, 10.9.4.3. (7) geen toetsing betontrekspanningen in dwarsrichting vereist bij gemiddelde oplegdruk  $\sigma_{opl;d} \leq 0.7 f_{cd} = 0.7 \times (53 / 1.5) = 24.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow uc = 12.3 / 24.7 = 0.50$  voldoet (B65  $\equiv$  C53/65)
- Toetsing randafstanden cf. DS804-2000, Teil 3 (Vorschriften für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke, Deutsche Bahn): spreiding uit oplegvlak onder 2:1 (zie onder)  
De spreidingscontour blijft juist binnen hart verticale beugelwapening (zie figuur), zodat voor de maximale oplegdruk geldt  $zul \sigma = \text{MIN} (\beta_R / 2.1 \times \sqrt{A/A_1}; 1.4 \beta_R)$ ;  $\beta_R$  is rekenwaarde betondruksterkte cf. DIN 1045-1.

Voor B55 is  $\beta_R = 30 \text{ N/mm}^2$ ; spreidingsoppervlak A wordt begrensd door een gebied 125 mm rond de contour verdeelplaat  $\Rightarrow A = (450 + 2 \times 125) \times (450 + 2 \times 125) = 490000 \text{ mm}^2$ ; lastvlak  $A_1 = 450 \times 450 = 202500 \text{ mm}^2$ , zodat geldt  $zul \sigma = \text{MIN} (30 / 2.1 \times \sqrt{490000/202500}); 1.4 \times 30) = \text{MIN} (22.2; 42) = 22.2 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow uc = 12.3 / 22.2 = 0.55$  voldoet

Zu 221



8 - Ebr. in Massiv- und Verbundbauweise Seite 171 Abs. 221 und 222

Ergänzungen zu DIN 1075 - Betonbrücken  
221 - Bei der Anwendung der DIN 1075 für Eisenbahnbrücken sind die nachfolgenden Ergänzungen zu beachten:

- Zu Abschnitt 7 - Stützen, Pfeiler, Widerlager und Fundamente:  
Für die Nachweise in der Gründungsfuge ist DIN 1054 zu beachten.
- Zu Abschnitt 8 - Übertragung von konzentrierten Lasten:  
Wird die zulässige Pressung für Teilflächenbelastung nach der Gleichung

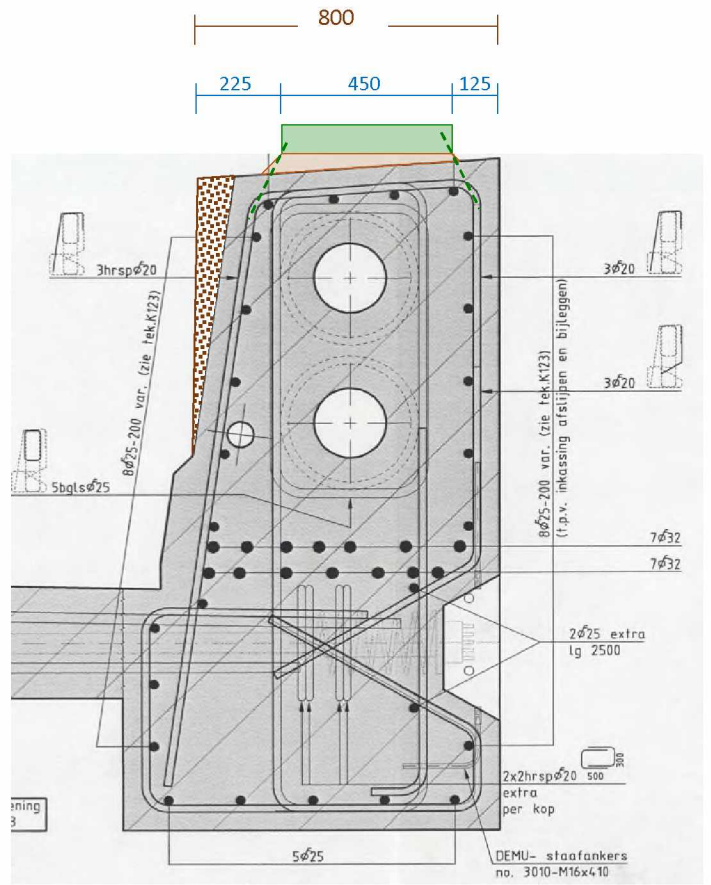
$$zul \sigma = \frac{\beta_R}{2.1} \sqrt{\frac{A}{A_1}} \leq 1.4 \beta_R \quad (a)$$

zugrunde gelegt, ist der Randabstand a so zu wählen, daß die Ausstrahlung 1 : 2, von der Unterkante der Lagerplatte ausgehend, die Bewehrung schneidet (vgl. Bild 48).  
Liegt die Ausstrahlung außerhalb der Bewehrung, darf die vorhandene Pressung nachstehenden Wert nicht überschreiten:

$$zul \sigma_1 = \beta_R / 2.1 \quad (b)$$

Bei Lagerplatten am Betonrand darf der Randabstand a in keinem Fall kleiner als 5 cm sein.  
Die Einleitungsfläche  $A_1$ , in der die Teilflächenpressung  $\sigma_1$  nachzuweisen ist, ist in der Berührungsfuge zwischen Lagerplatte und Mörtelfuge anzunehmen (vgl. Bild 48).  
Ist der resultierende Auflagerdruck schräg, so ist für die Ermittlung von  $\sigma$  nur die Normalkomponente N zu berücksichtigen; die Aufnahme der Tangentialkomponente und ihre Weiterleitung im Beton sind nachzuweisen.

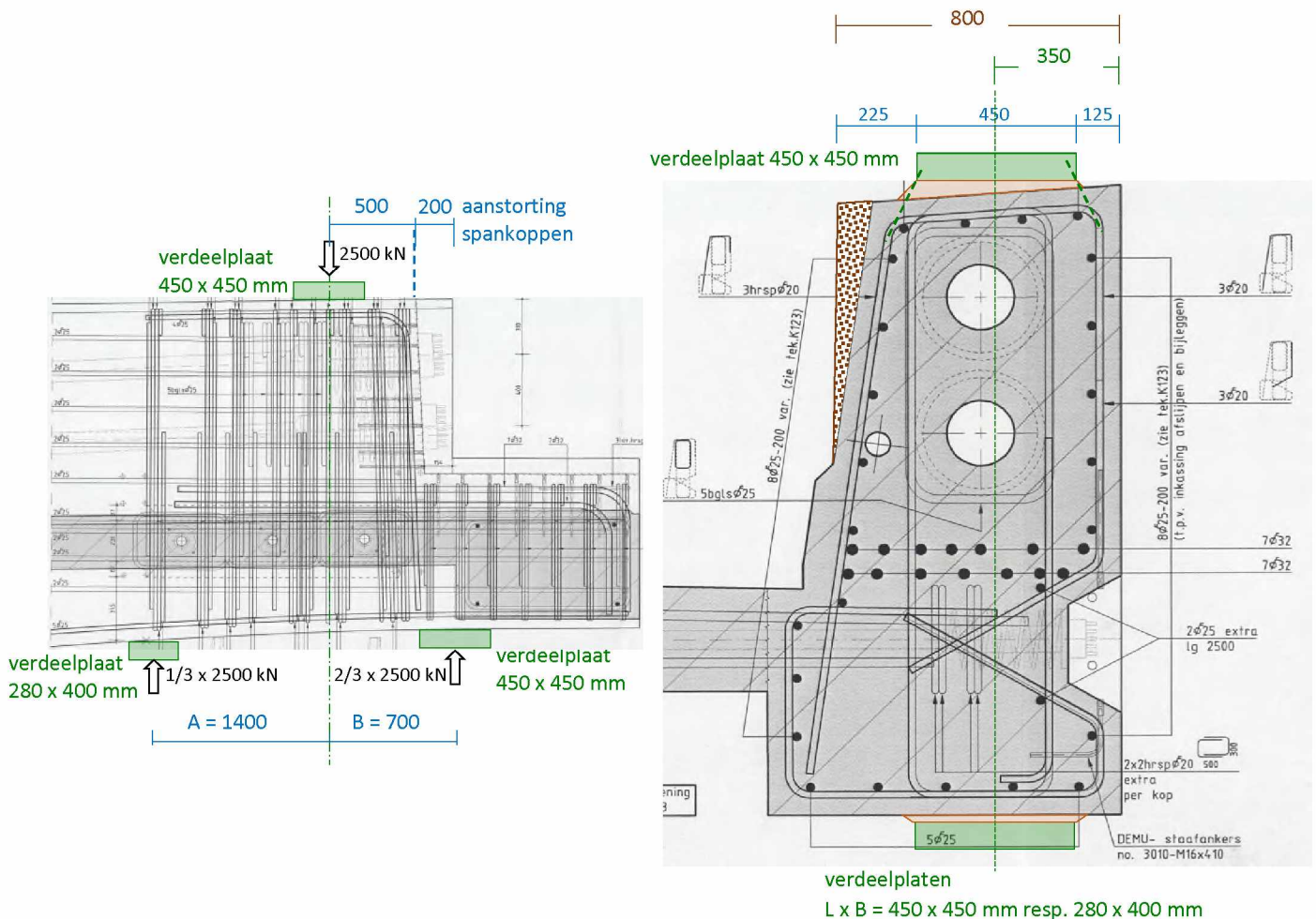
Betonfestigkeitsklasse	B15	B25	B35	B45	B55
Rechenwert der Betondruckfestigkeit $\beta_R$ in $\text{MN/m}^2$	10,5	17,5	23,0	27,0	30,0
Umrechnungsfaktor $\beta_S / \beta_R$	2,0	1,6	1,6	1,7	1,7



Overzicht

- Klemkracht 2500 kN => aan onderzijde door evenaar 2:1 verdeeld =>  $(2/3 \Leftrightarrow 1/3) \times 2500$  kN
- Bovenplaat S = 500 mm afstand hart spanelement tot bovenhoek constructief beton (dus niet: aanstorting spankoppen)
- Onderplaten A = 1400 mm; B = 700 mm (zie figuur op vorige bladzijde)
- stalen verdeelplaten (zie onderstaande figuren voor afmetingen en posities):  
bovenzijde B x L = 450 x 450 mm; onderzijde B x L = 450 x 450 mm resp. 280 x 400 mm  
dikten: maximale doorbuiging bij gelijkmatig verdeelde oplegdruk < 0.05 mm; bepaling in UO
- NB schuine/verlopende oppervlakken
- Verdeelplaten ondergieten met gietmortel K70 (korrel 4 mm; dikte gietmortel 20-120 mm); mk XF4; bv. Betec 140 o.g. Verwerking gietmortel cf. verwerkingsadvies fabrikant (betonoppervlak ter plaatse van de ondergietingen vooraf opruwen etc.). Toepassing van lijmkers met inboordiepte  $\leq 125$  mm voor bevestiging verdeelplaten is toegestaan aan de onderzijde van de balk; bestaande wapening dient volledig intact te blijven => vooraf wapening scannen, boren met lucht, gerealiseerde boorgaten inmeten en overnemen op de stalen verdeelplaten. Aan bovenzijde zijn ankers in de dekking (50 mm) toegestaan; ook hier vooraf scannen, wapening dient volledig intact te blijven.

Te realiseren oplegvlak voor verdeelplaten dient vlak en horizontaal te zijn. Minimaal vereiste karakteristieke druksterkte gietmortel bij voorspannen klemconstructie is  $f_{ck}(t) = 45$  N/mm<sup>2</sup>.



### Conclusie, Aandachtspunten en risico's

Deze zijn verwoord in het hoofdrapport van ontwerpnota INFR180842-BRU2484-RAP002 rev.0, waar deze bijlage onderdeel van uit maakt.



### 3 Bijlagen: Globale berekening

---



## Enkelzijdige klem

$f_{yd}$	355	N/mm <sup>2</sup>
$E_m$	21000	N/mm <sup>2</sup>
Frd klem totaal	2500	kN
Veiligheidsfactor	1	-

Volgens opgave Amsterdam (rekenwaarde), Gewenste betondruk in b Reeds in belastingopgave volgens opgave Amster

## Bepaling voorspanstaven

Verliezen	15%	[-]
Beton druk voor verlies	2875	kN
Beton druk na verlies	2500	kN
a	0,75	m
b	0,45	m
Voorspanning na verlies	4000	kN
Voorspanning voor verlies	4600	kN
Rb voor verlies	2875	kN
Ra voor verlies	1725	kN
Check Som	4600	kN

FEM Voorspan	2300	kN
FEM Resultaat	2859	kN
FEM Resultaat	1758	kN

Indicatief, nader te bepalen in UO  
Voorspankracht voor verlies van Spanstaaf

Volgt uit tekening  
Vrije ruimte tussen fietspad met hart-rand koker is 180mm  
klemkracht op betondrsn.  
Afgerond waarde te gebruiken in Ansys  
klemkracht op betondrsn.  
Kracht in koker

Capaciteit gewenst 5750 kN

wenselijk max. 80% van maximale waarde

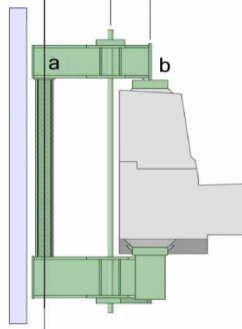
Dit is buiten bereik enkele anker. Bovendien geen buffer.

Aantal Ankers 2 [-]

Cap.gewenst per anker 2875 kN Gekozen VSL D65 Y1035 minimaal

UC= 0,83 < 1,0; OK

750mm 450mm



## POST-TENSIONING SYSTEMS

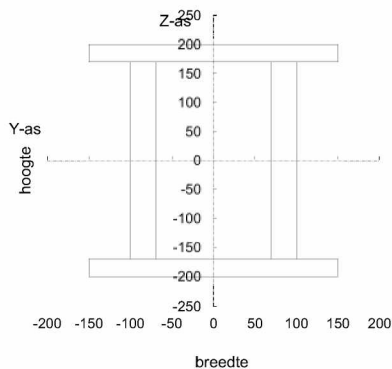
### VSL SAS THREAD BAR CHARACTERISTICS

Dimensions (mm)	dA	C	Nominal Area (mm <sup>2</sup> )	Nominal Mass (kg/m)	Nominal Tensile Strength / Load (MPa)	Nominal Proof Stress (Mpa)	Minimum Elongation at max force %
16	21	8	241	1.96	1050	255	5
26.5	31	13	551	4.48	1050	580	5
32	37	16	804	6.53	1050	845	5
36	42	18	1020	8.27	1050	1070	5
40	46	20	1257	10.21	1050	1320	5
47	53	21	1735	14.10	1050	1820	5
57	64	21	2581	20.95	1035	2671	4
65	72	21	3331	27.10	1035	3447	4
75	82	24	4448	35.90	1035	4572	4

## Bepaling doorsnede dwarsbalken boven en onder op buiging

Koker	400/300/30/30	h/b/t.l./f
Md max	809	kNm
Wbenodigd	2278	x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Kies	4070	x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
UC=	0,56	< 1,0; OK

Gereduceerde doorsnede ivm doorvoeg trekstaven



## Bepaling doorsnede dwarsbalk boven en onder op afschuiving

Hoogte schuif 340 mm

Breedte schuif	30 mm
Aantal lijven	2 mm
fschuif	205 N/mm <sup>2</sup>
Schuif Capaciteit	4181 kN
UC=	0,69 < 1,0; OK

### Bepaling Druk op kopplaat

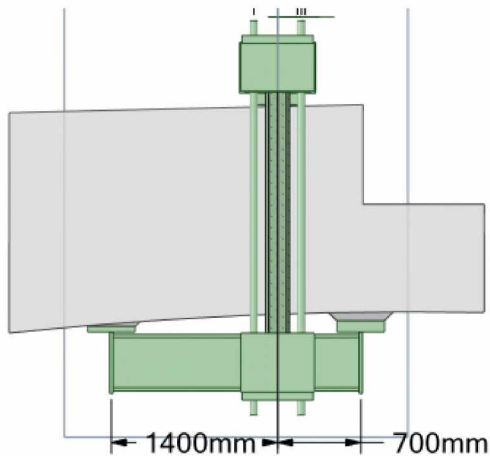
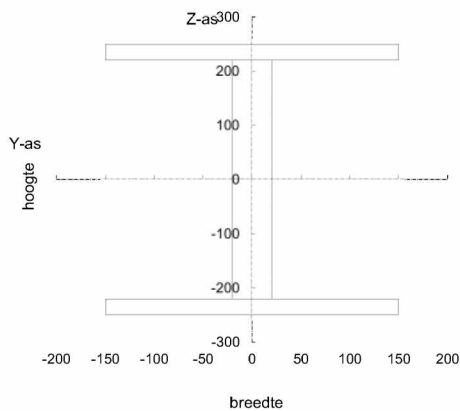
dikte	30 mm
breedte	400 mm
capaciteit	4260 kN
UC=	0,67 < 1,0; OK

### Bepalen Stabiliteit Drukkolom

Zie bijlage Kolom Stabiliteit

### Bepaling doorsnede evennaar op buiging

a	0,7 m		
b	1,4 m		
Ra voor verlies	1917 kN	FEM Resultaat	1886 kN
Rb voor verlies	958 kN	FEM Resultaat	936 kN
Mu;d	1342 kNm		
Wbenodigd	3779 x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>		
Kies	5117 x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>		
UC=	0,74 < 1,0; OK		



### Bepaling doorsnede evennaar op afschuiving

lijfschuif	205 Mpa
dikte	40 mm
hoogte	440 mm
capaciteit	3607,28 kN
UC=	0,53 < 1,0; OK



## 4 Bijlagen: Kolom stabiliteit

---

Project : BRU2484

Subject : INFR180842 Stalen klem constructie



**Members subjected to axial compression**  
NEN-EN 1993-1-1+C2 (nl)

Partial safety factors:  $\gamma_{M0} = 1,00$  -  
 $\gamma_{M1} = 1,00$  -

$N_{Ed} = 1758$  kN Resultaat uit FEM simaltie

**MATERIAL PROPERTIES**

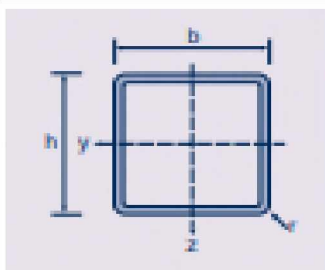
Grade: S355

$f_y = 355$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{yd} = 355$  N/mm<sup>2</sup>

$E = 210000$  N/mm<sup>2</sup>

**CROSS-SECTIONAL PROPERTIES**



$A = 8704$  mm<sup>2</sup>

$h = 200$  mm

$b = 200$  mm

$t_w = 12,5$  mm

$t_f = 12,5$  mm

$I_y = 4,96E+07$  mm<sup>4</sup>

$I_z = 1,67E+07$  mm<sup>4</sup>

$L = 2200$  mm

$L_{cr,y} = 1540$  mm

$L_{cr,z} = 1540$  mm

**Cross-section is not class 4 -->  
Use this sheet to continue with  
calculation**

**BUCKLING LENGTHS**

**SLENDERNESS COEFFICIENTS**

NEN-EN 1993-1-1+C2, art. 6.3.1.3

$i_y = \sqrt{I_y/A} = \sqrt{49.593.099/8.704} = 75,5$  mm

$i_z = \sqrt{I_z/A} = \sqrt{16.695.150/8.704} = 43,8$  mm

$\lambda_1 = \pi \sqrt{E/f_y} = \pi \sqrt{210.000/355} = 76,4$  -

$\bar{\lambda}_y = (L_{cr,y}/i_y) * (1/\lambda_1) = (1.540/75,5) * (1/76,4) = 0,267$  -

$\bar{\lambda}_z = (L_{cr,z}/i_z) * (1/\lambda_1) = (1.540/43,8) * (1/76,4) = 0,460$  -

**REDUCTION FACTOR  $\chi_{min}$**

NEN-EN 1993-1-1+C2, art. 6.3.1.2

$h/b = (200/200) = 1$

$t_f = 13$

Buckling about y-axis: **curve c**

Buckling about z-axis: **curve c**

$\alpha_y = 0,49$

$\alpha_z = 0,49$

**$\lambda_z > \lambda_y$  AND  $a_z > a_y \rightarrow \chi_{min} = \chi_z$**

$\Phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 * [1 + 0,490 * (0,460 - 0,2) + 0,212] = 0,67$  -

$\chi_{min} = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}) = 1 / (0,670 + \sqrt{0,670^2 - 0,460^2}) = 0,865$  -

**DESIGN REQUIREMENT**

NEN-EN 1993-1-1+C2, art. 6.3.1.1

$N_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 1.0$

$N_{b,Rd} = \chi_{min} * A * f_y / \gamma_{M1} = 2673$  kN

UC =  $1.758 / 2.673 = 0,66$  OK



## 5 Bijlagen: FEM Rapportage

---



# BRU2484

## FEM Rapportage stalen klemconstructie

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam

Referentie: INFR180842

Revisie: 0

Datum: 22-03-2022

**Iv-Infra b.v.**

Ingenieursbureau met Passie voor Techniek



Titel document: BRU2482

Ondertitel document: FEM Rapportage stalen klemconstructie

Referentie: INFR180842

Revisie: 0

Datum: 18-03-2022

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam

Projectnummer opdrachtgever:

Project: INFR180842

Opgesteld door: G.H.G. Vandeberg

Gecontroleerd door: D.W. Alsemgeest

Goedgekeurd door: L.Visser



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Eenheden</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Sterkte Berekening</b>	<b>5</b>
2.1.	Geometrie	5
2.2.	Connecties	6
2.2.1.	Pretension Bolt Connections	6
2.2.2.	Face to face connections (Bonded)	7
2.2.3.	Face to face connections (Frictional $\rightarrow$ 0,2 friction coefficient)	8
2.2.4.	Bolt Connections Drukkolom	10
2.3.	Mesh	11
2.4.	Belasting Combinaties	13
2.5.	Randvoorwaarden	14
2.5.1.	Eigengewicht	14
2.5.2.	Remote Displacements	15
2.5.3.	Voorspanning in Voorspanstaven	17
2.5.4.	Thermische belasting	18
2.6.	Results	19
2.6.1.	Belasting combinatie BGT	19
2.6.2.	Belasting combinatie UGT A Montage	20
2.6.3.	Belasting combinatie UGT B	30
2.6.4.	Belasting combinatie UGT C	39
2.6.5.	Samenvatting voorspankrachten	48
2.6.6.	Samenvatting reactiekrachten	48
<b>3</b>	<b>Stabiliteit berekening</b>	<b>49</b>
3.1.	Resultaten	49
<b>4</b>	<b>Materialen</b>	<b>50</b>
4.1.	Structural Steel S355	50
4.2.	Structural Steel Voorspanstaaf	50



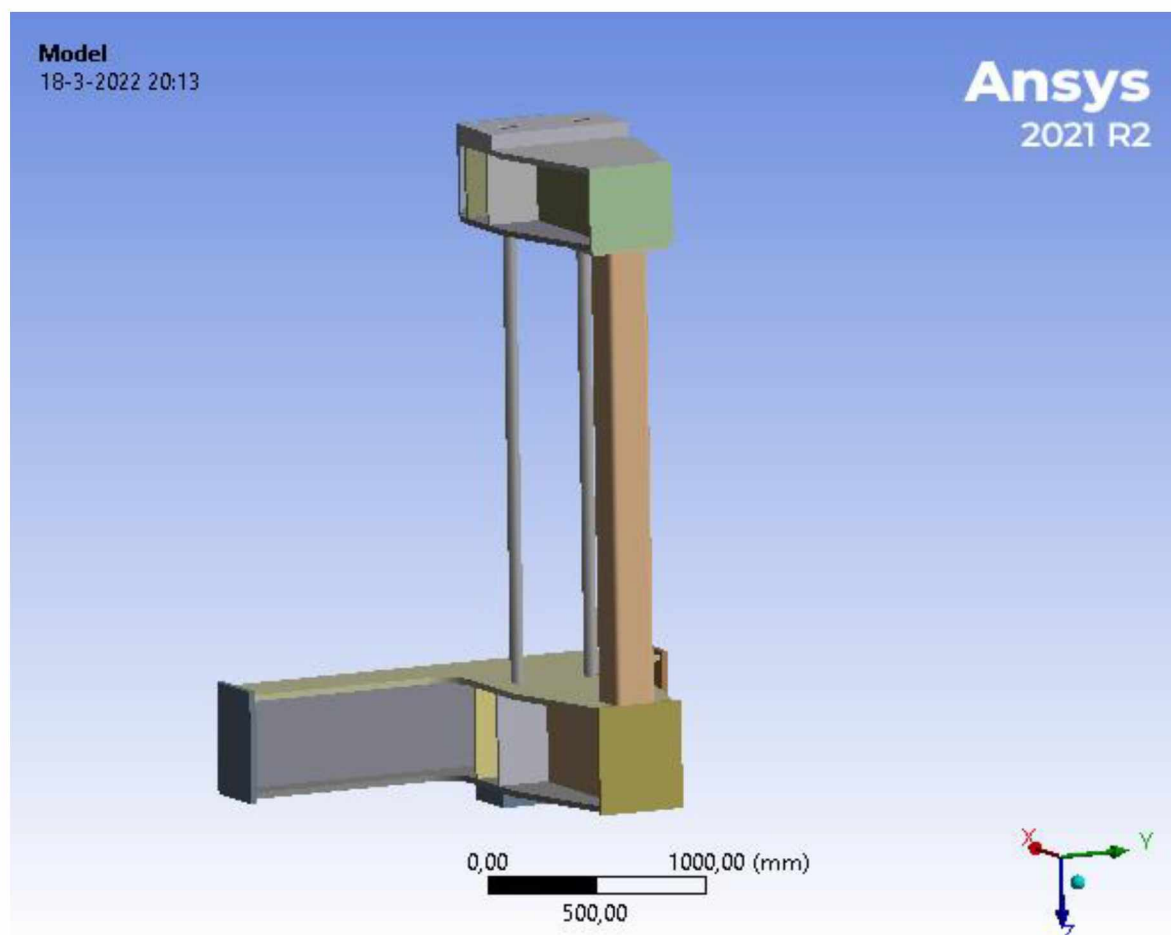
# 1 Eenheden

---

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius
Vervormingen	mm
Spanningen	Mpa (N/mm <sup>2</sup> )

## 2 Sterkte Berekening

### 2.1. Geometrie



Figuur 1: Geometrie

Tabel 1: Geometrie statistieken

Bounding Box	
Length X	1510, mm
Length Y	2130, mm
Length Z	3240, mm
Properties	
Volume	3,2458e+008 mm <sup>3</sup>
Mass	2548kg zonder voorspanstaaf 2720kg met voorspan staaf
Statistics	
Bodies	28
Nodes	341413
Elements	60230

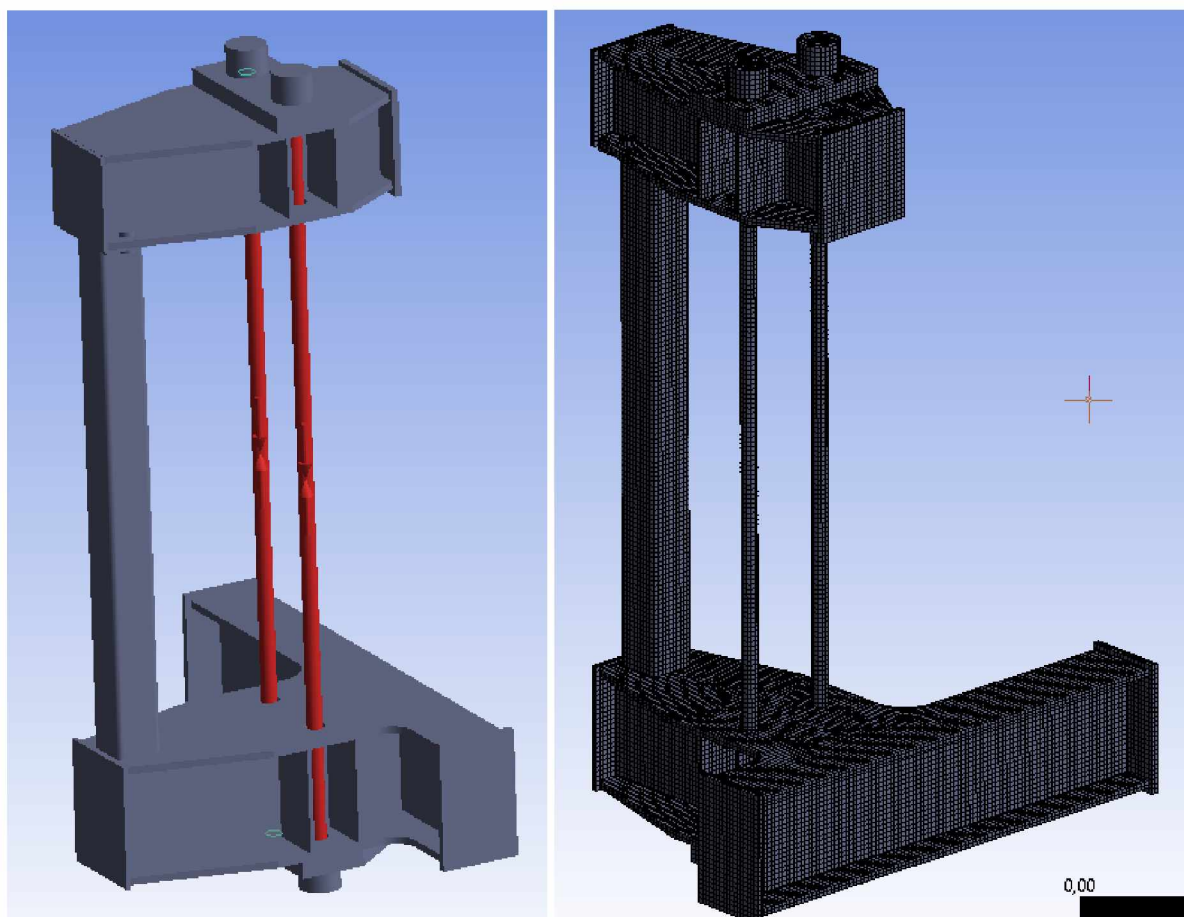
## 2.2. Connecties

### 2.2.1. Pretension Bolt Connections

Tabel 2: Voorspanstaven specificaties

	Definition	
Material	Structural Steel Voorspanstaaf	Structural Steel Voorspanstaaf
Cross Section	Circular	Circular
Radius	32,5 mm	32,5 mm
Beam Length	3240, mm	3240, mm

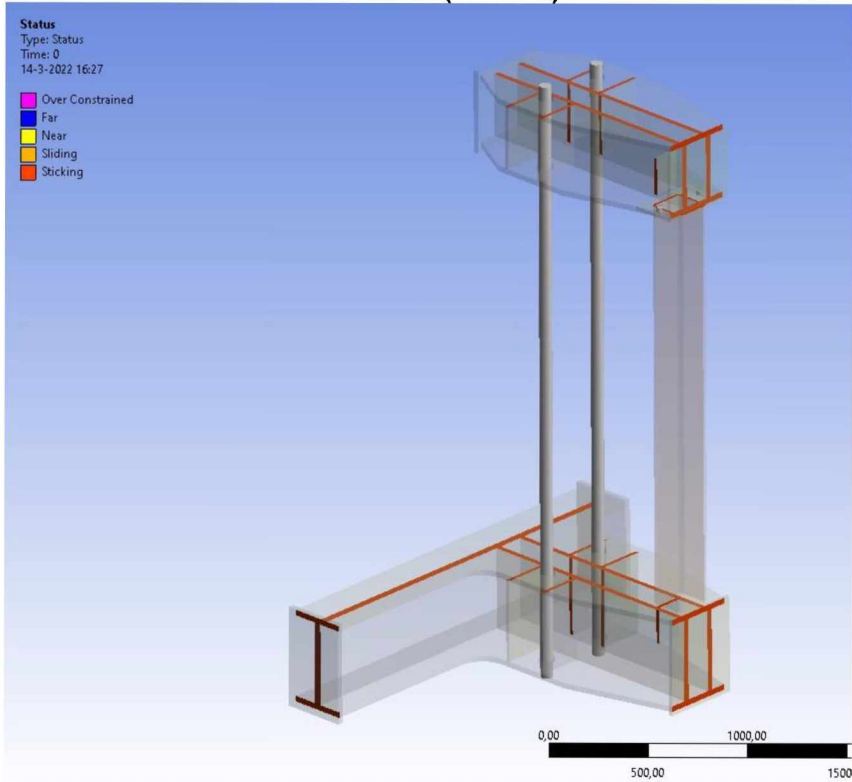
Voor de BGT en UGT A Montage combinaties wordt gebruikt gemaakt van de Beam Connections. Dit is een balk element met de correctie voorspanning. Deze vertegenwoordigd de voorspanstaaf in een accurate manier. Voor de UGT B en C combinatie is de voorspan staaf als een solid model aangebracht. Deze keuze is gemaakt om de thermisch belasting accuraat te kunnen aanbrengen.



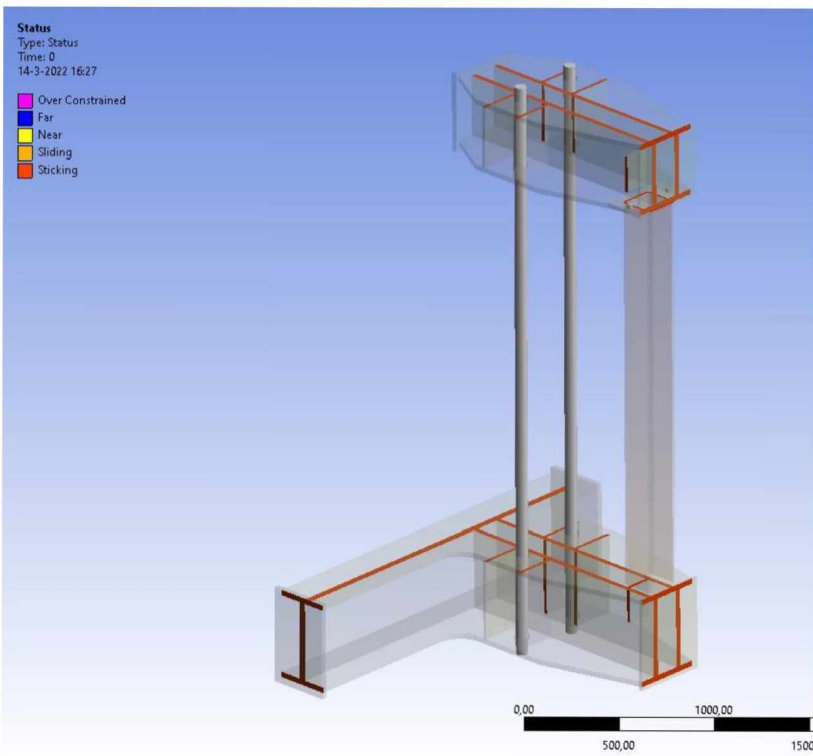
Figuur 2: Voorspanstaven



## 2.2.2. Face to face connections (Bonded)



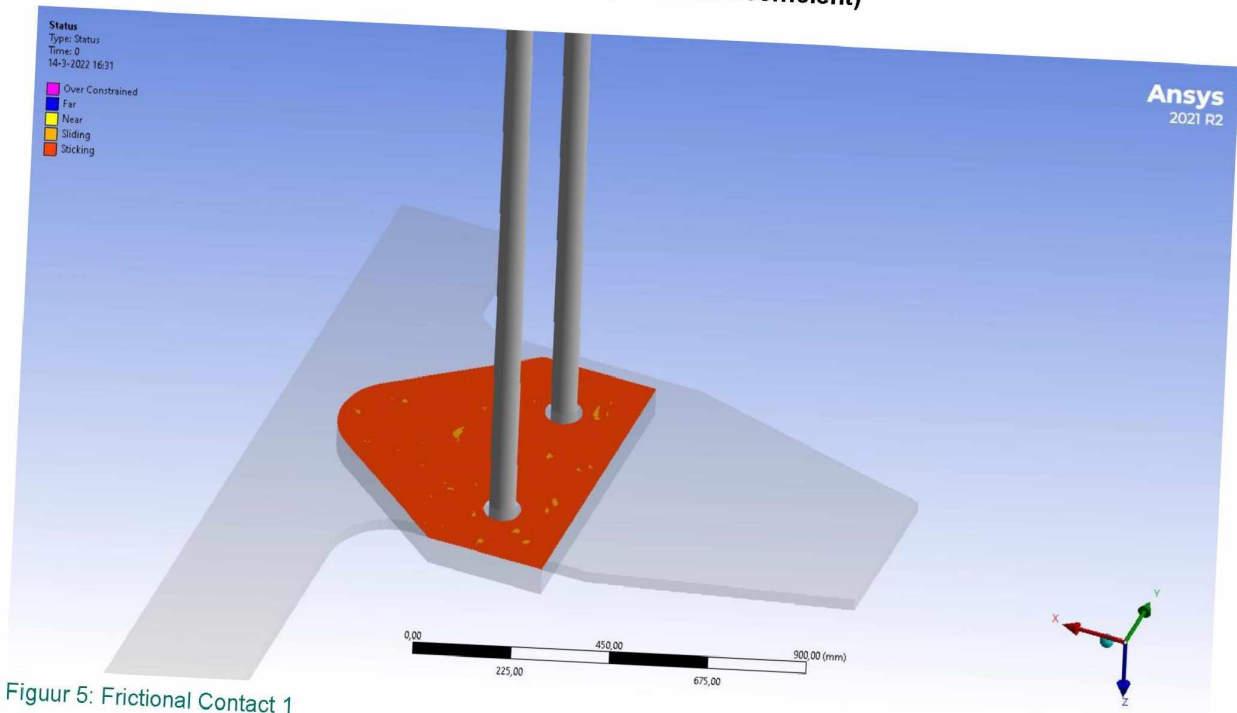
Figuur 3: Bonded connecties 1/2



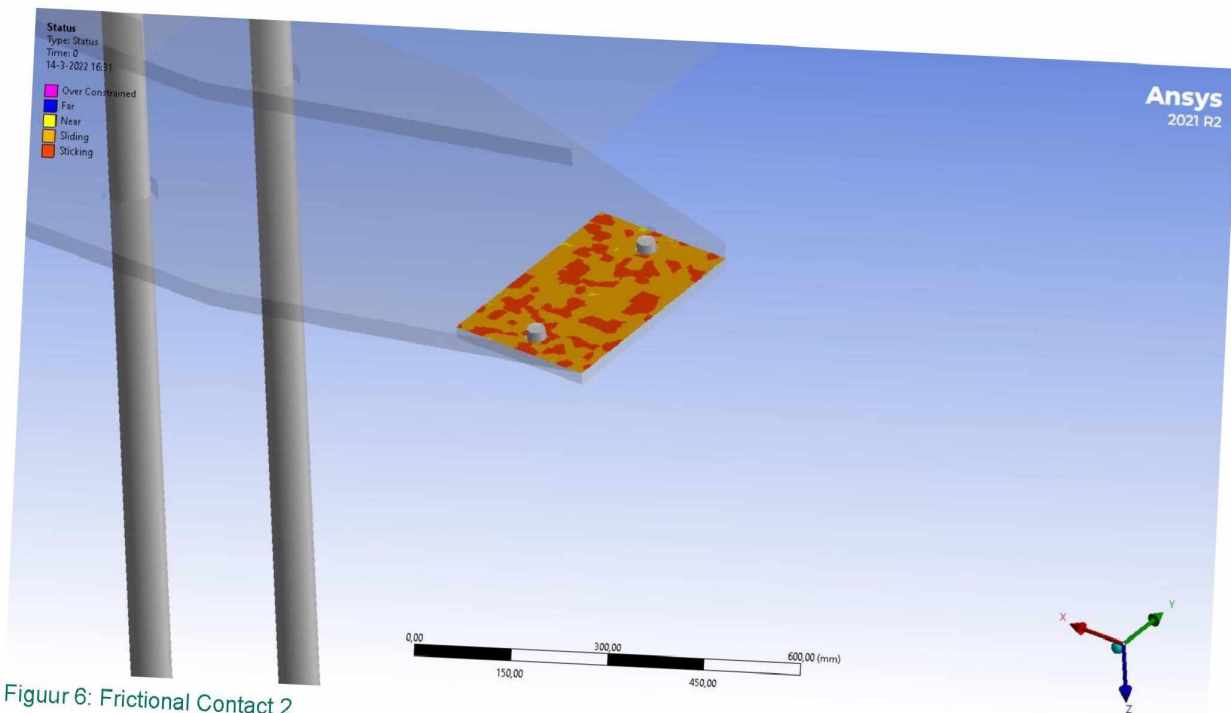
Figuur 4: Bonded Connections 2/2



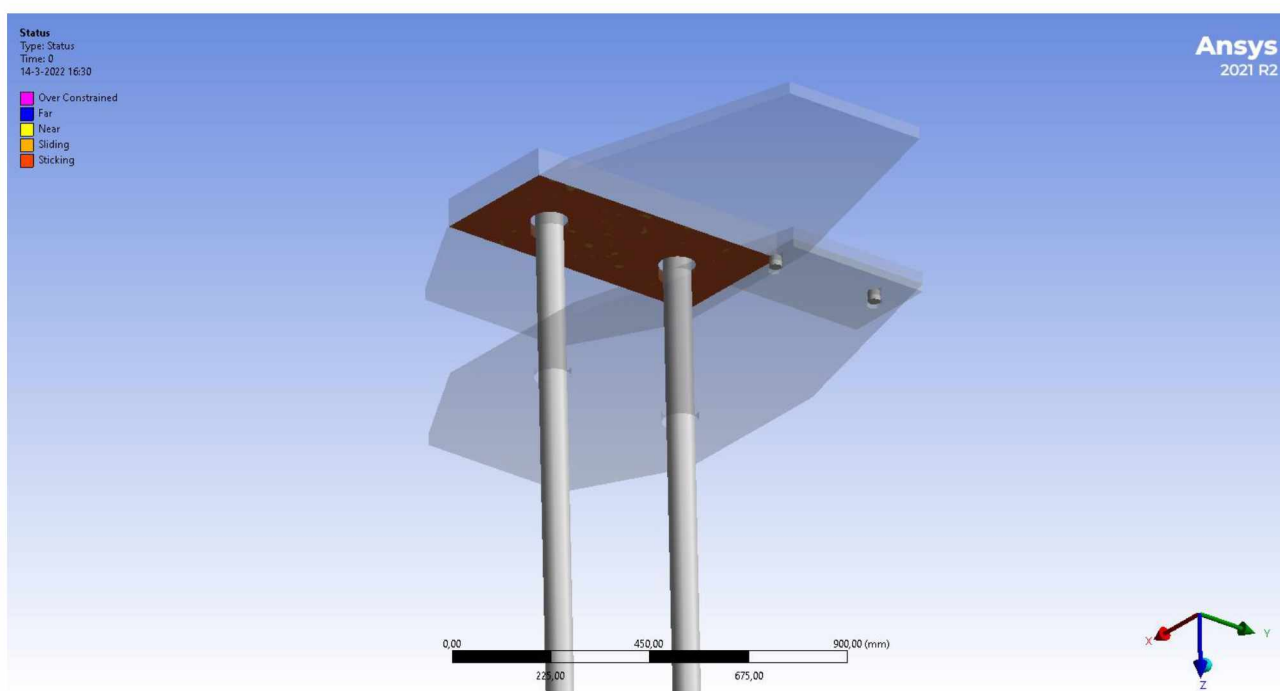
### 2.2.3. Face to face connections (Frictional $\rightarrow 0,2$ friction coefficient)



Figur 5: Frictional Contact 1



Figur 6: Frictional Contact 2



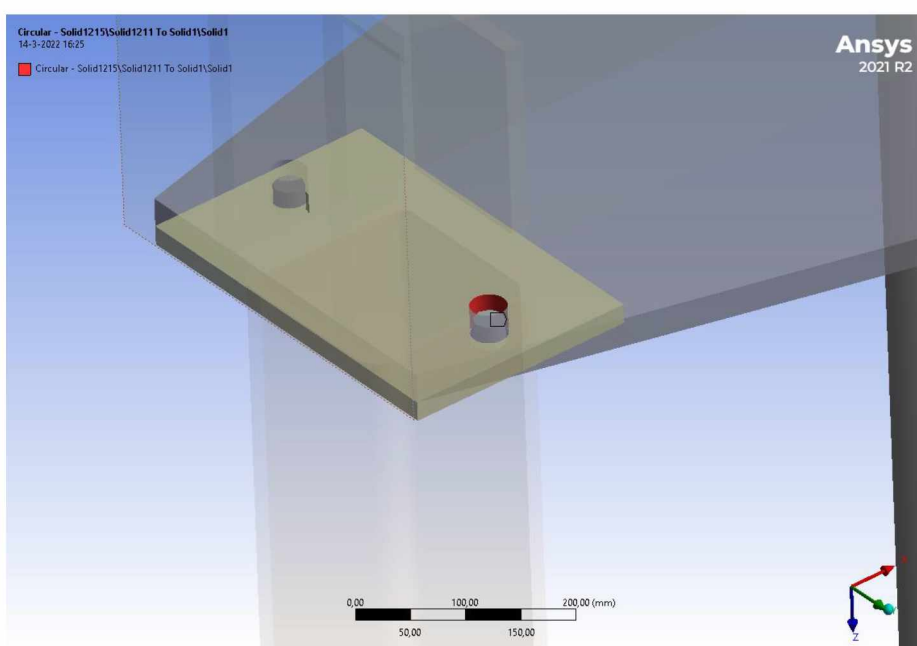
Figuur 7: Frictional Contact 3



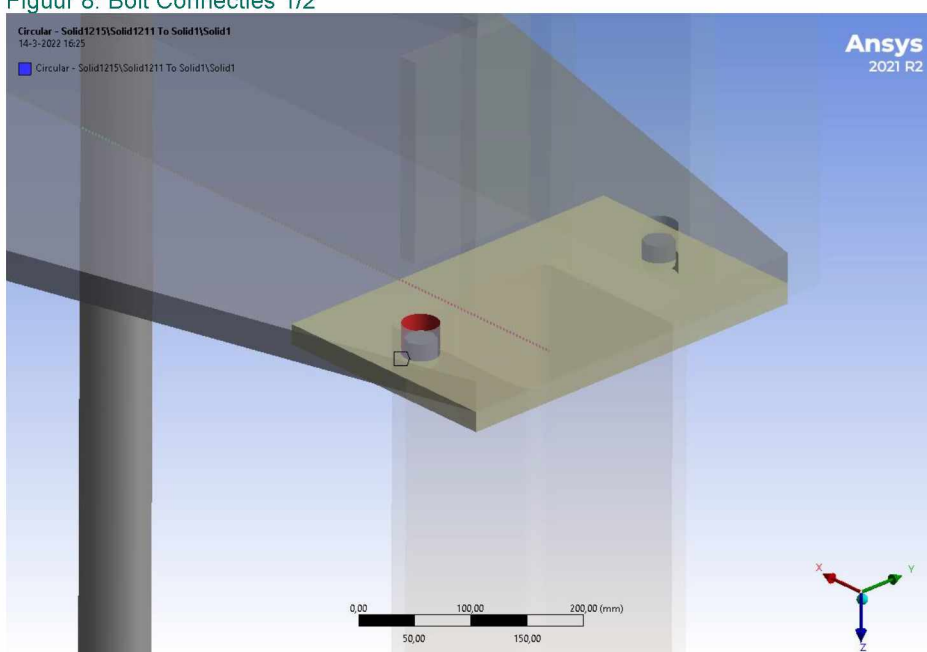
## 2.2.4. Bolt Connections Drukkolom

Tabel 3: Bolt Connecties

	Definition	
Material	Structural Steel S355	Structural Steel S355
Cross Section	Circular	Circular
Radius	15, mm	15, mm
Suppressed	No	No
Beam Length	25, mm	25, mm



Figuur 8: Bolt Connecties 1/2

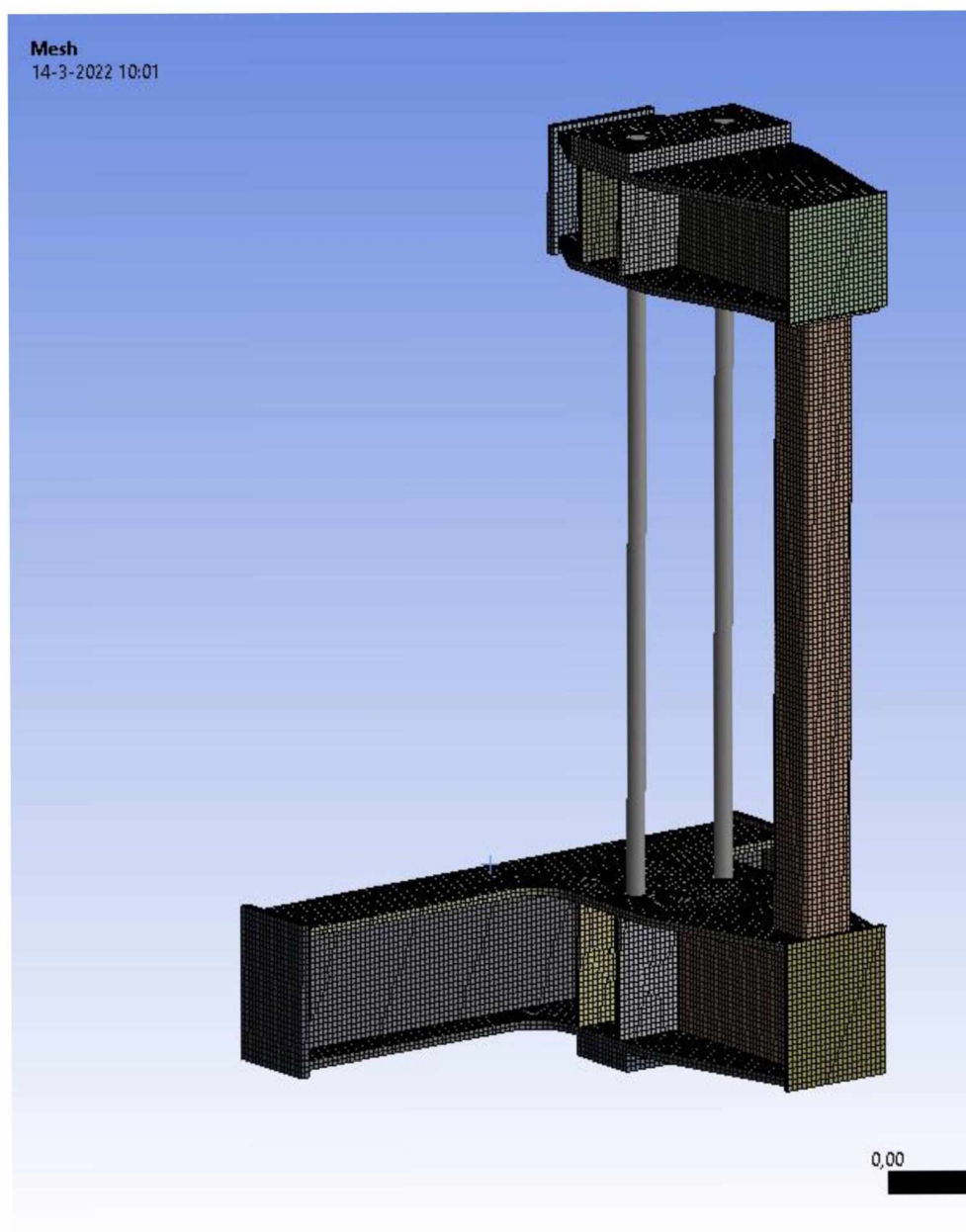


Figuur 9: Bolt Connecties 1/2

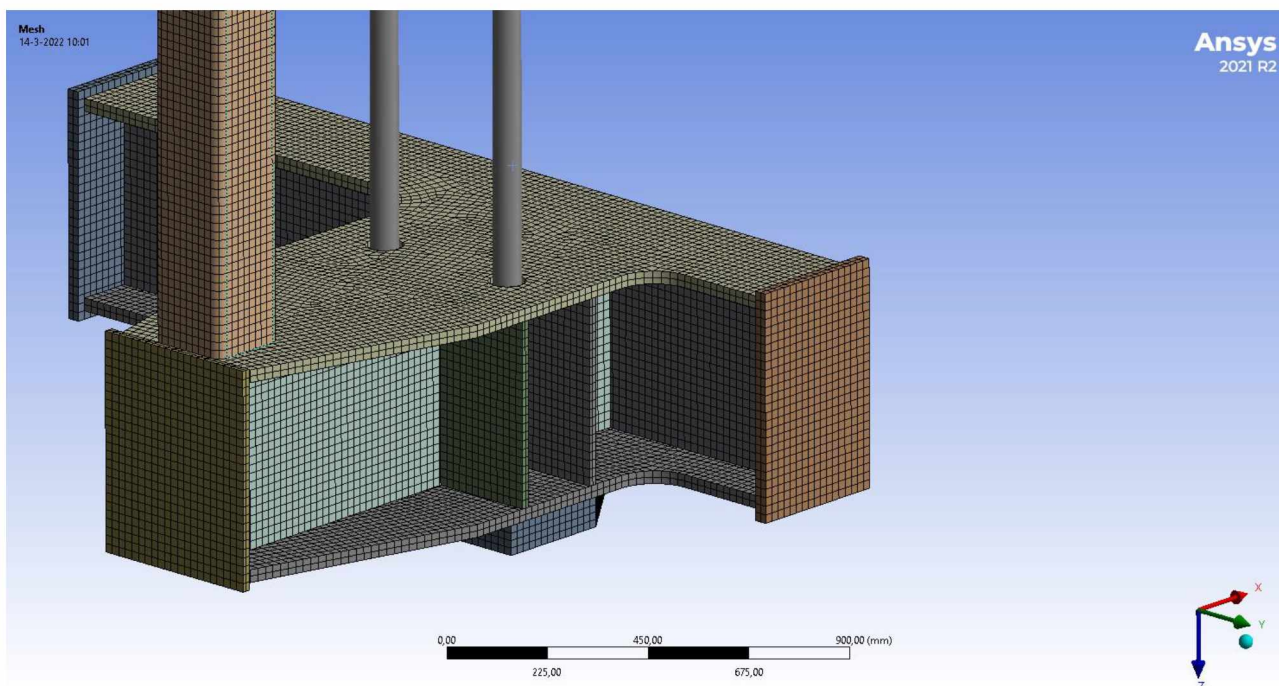
## 2.3. Mesh

Tabel 4: Mesh Statistieken

Statistics	
Nodes	341413
Elements	60230
Element Order	Quadratic
Element Size	20, mm



Figuur 10: Mesh overzicht



Figuur 11: Mesh detail beneden



Figuur 12: Mesh detail boven



## 2.4. Belasting Combinaties

Belastingscombinatie Factoren	BGT	UGT A	UGT	UGT
Belastingen		Montage	B	C
Eigen gewicht	1,0	1,4	1,25	1,25
Voorspanbelasting	1,0	1,15	1,0	1,0
Temperatuur minimum			1,65	
Temperatuur maximum				1,65

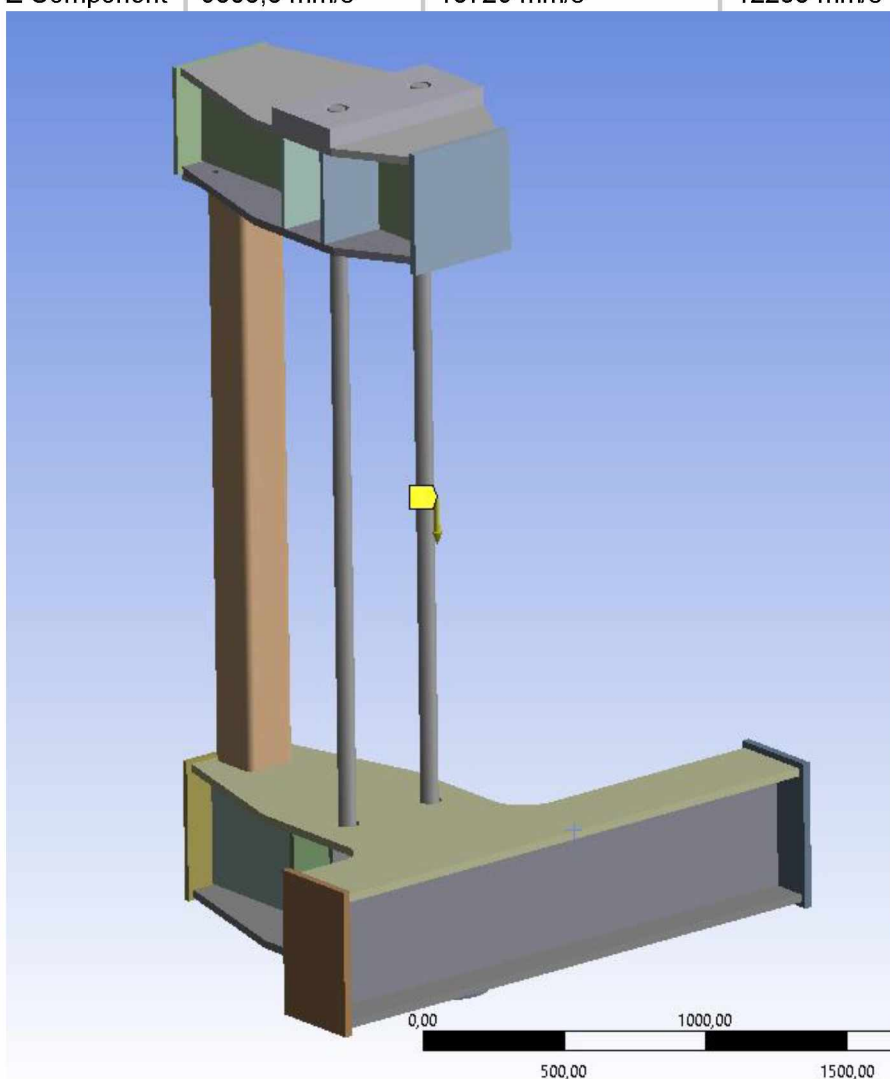
Belastingen	BGT	UGT A	UGT	UGT
Belastingen		Montage	B	C
Eigen gewicht (mm/s <sup>2</sup> )	9806,6	13729	12258	12258
Voorspanbelasting (kN)	2000	2300	2000	2000
Temperatuur minimum (deg)			-50,8	
Temperatuur maximum (deg)				77,8

## 2.5. Randvoorwaarden

### 2.5.1. Eigengewicht

Tabel 5: Eigen gewicht

Scope				
Combinatie	BGT	UGT Montage	UGT A	UGT B
X Component	0, mm/s <sup>2</sup>	0, mm/s <sup>2</sup>	0, mm/s <sup>2</sup>	0, mm/s <sup>2</sup>
Y Component	0, mm/s <sup>2</sup>	0, mm/s <sup>2</sup>	0, mm/s <sup>2</sup>	0, mm/s <sup>2</sup>
Z Component	9806,6 mm/s <sup>2</sup>	13729 mm/s <sup>2</sup>	12258 mm/s <sup>2</sup>	12258 mm/s <sup>2</sup>



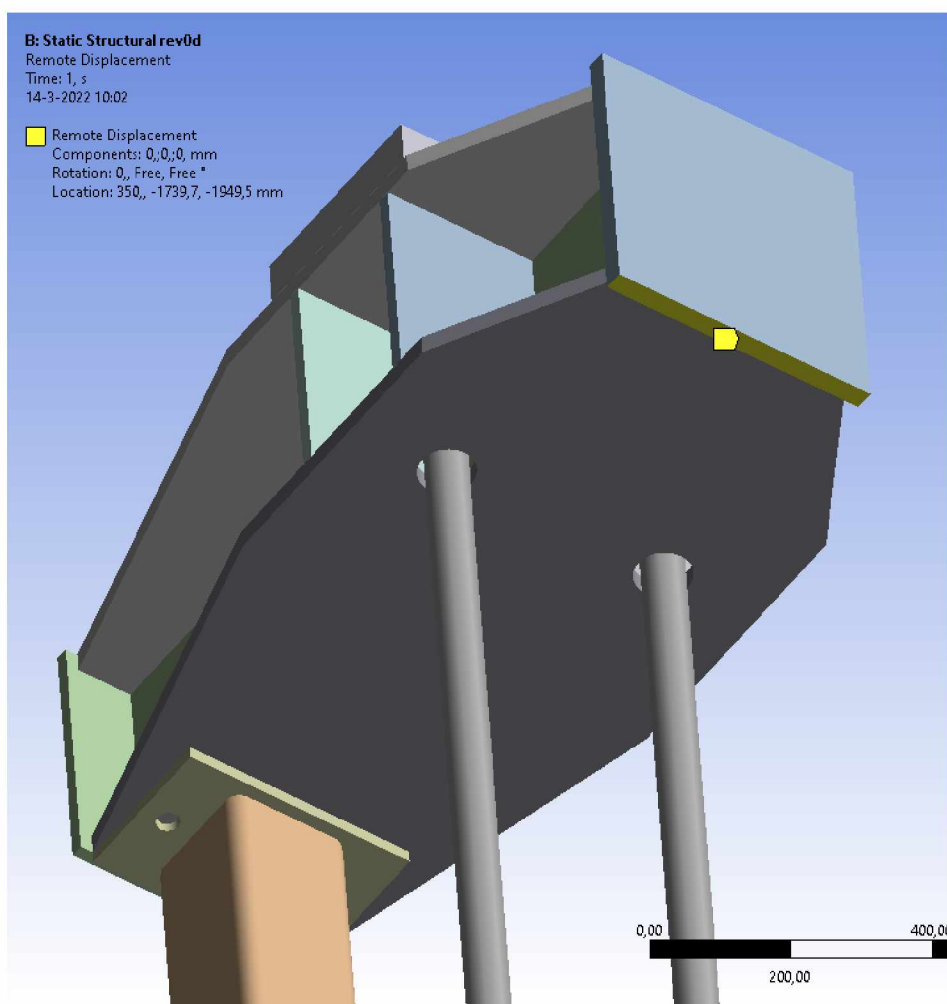
Figuur 13: Eigen gewicht



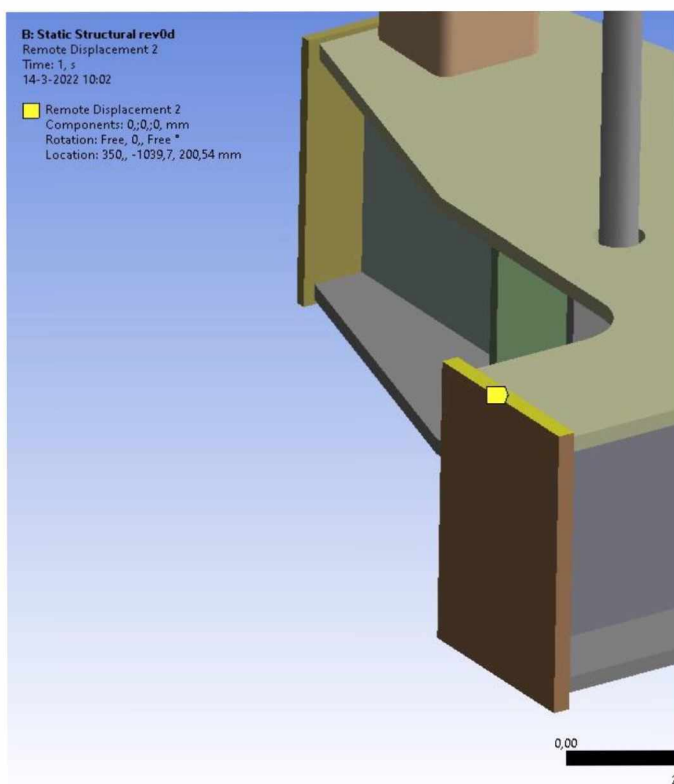
## 2.5.2. Remote Displacements

Tabel 6: Remote Displacements

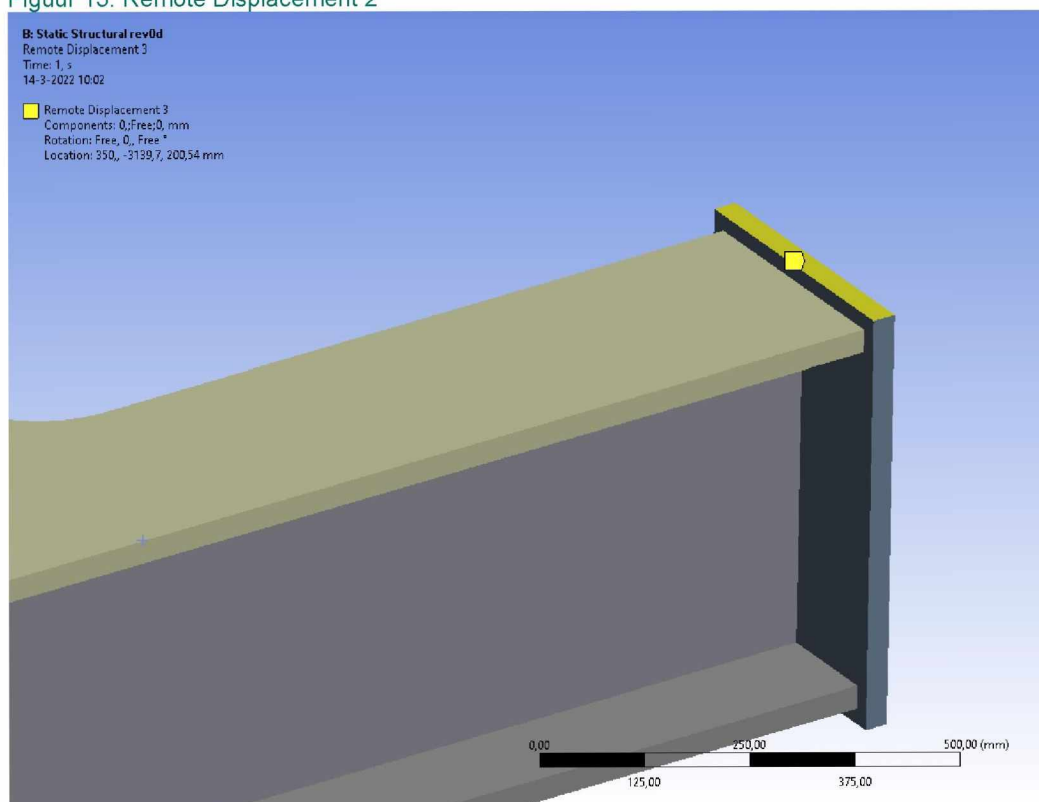
		Definition		
Type	Remote Displacement 1	Remote Displacement 2	Remote Displacement 3	
X Component	0, mm (ramped)	0, mm (ramped)	0, mm (ramped)	
Y Component	0, mm (ramped)	0, mm (ramped)	Free	
Z Component	0, mm (ramped)	0, mm (ramped)	0, mm (ramped)	
Rotation X	0, ° (ramped)			



Figuur 14: Remote Displacement



Figuur 15: Remote Displacement 2



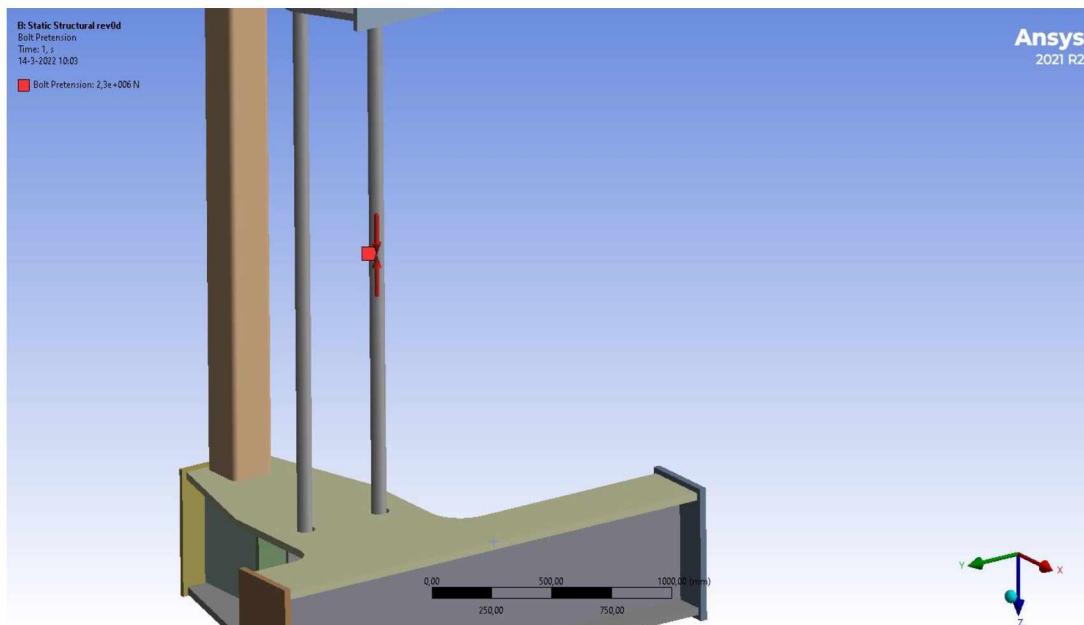
Figuur 16: Remote Displacement 3



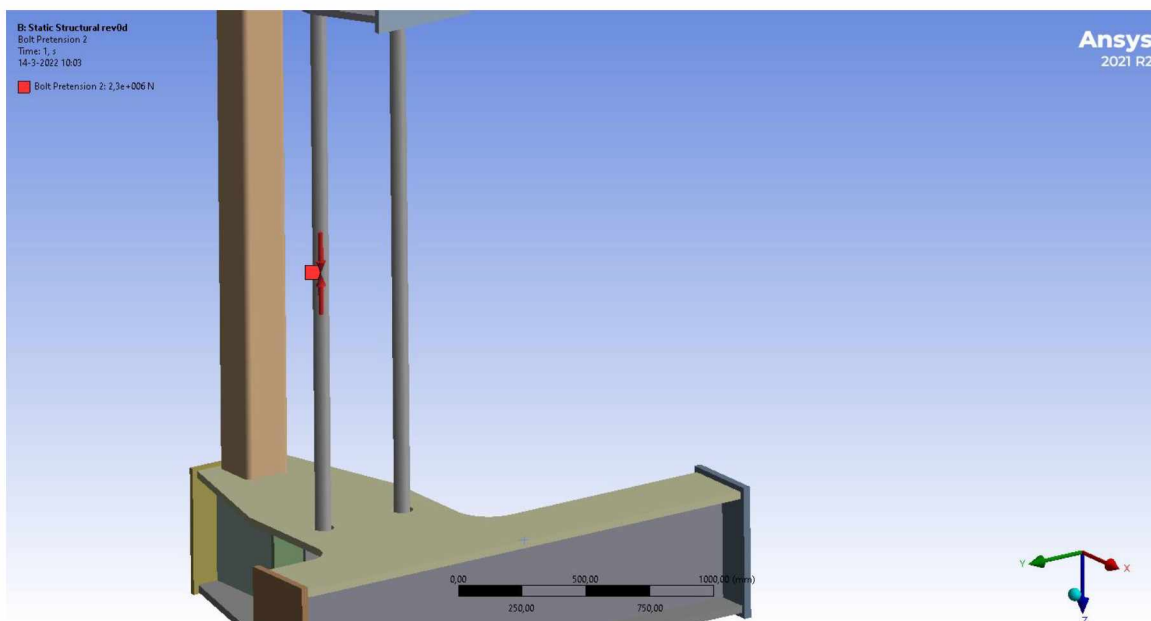
### 2.5.3. Voorspanning in Voorspanstaven

Tabel 7: Voorspankracht in Voorspanstaven

BoltProtenstion	Define By	BGT	UGT Montage	UGT A	UGT B
1	Load (N)	2e+006	2,3e+006	2e+006	2e+006
2	Load (N)	2e+006	2,3e+006	2e+006	2e+006



Figuur 17: Voorspanstaaf 1



Figuur 18: Voorspanstaaf 2



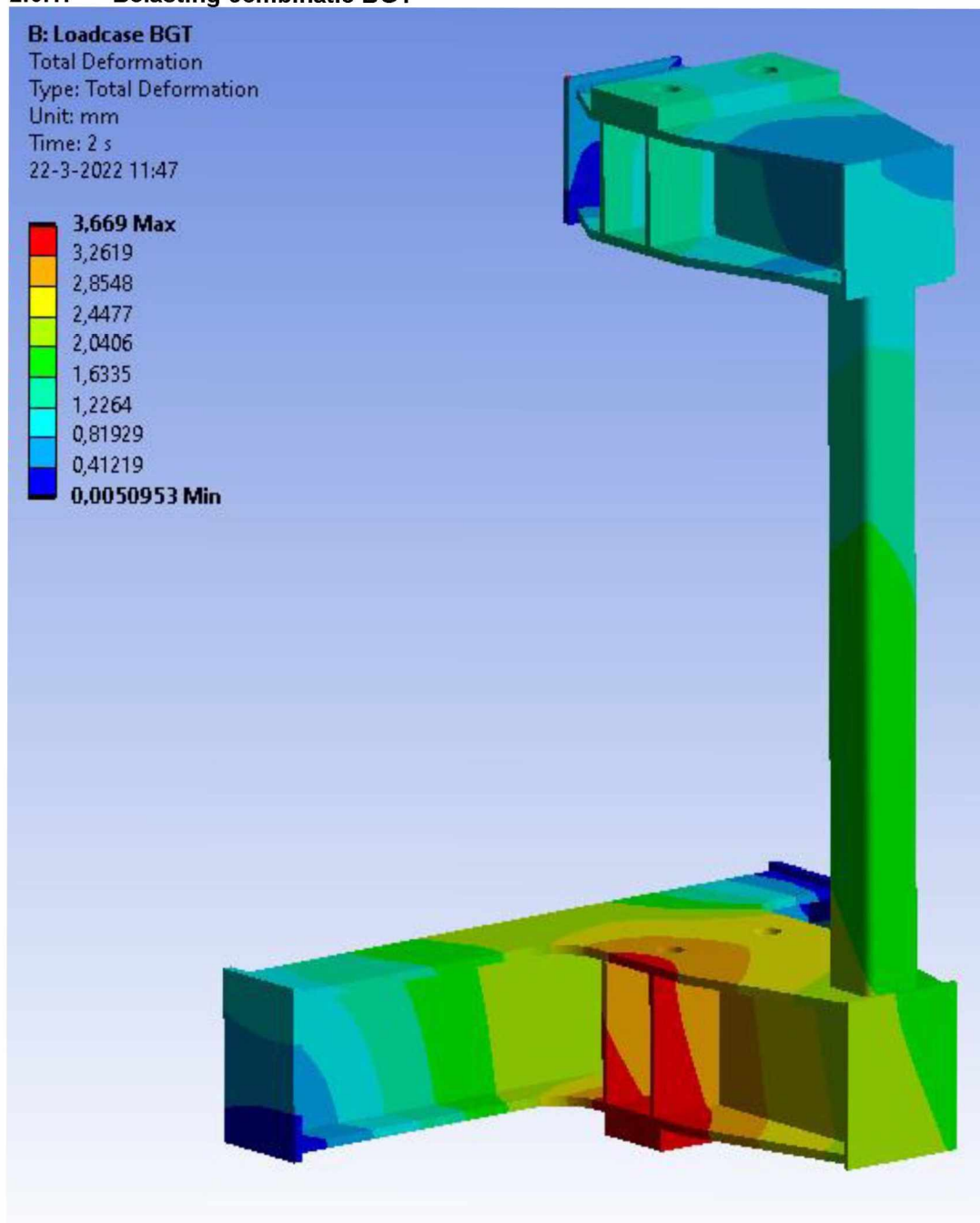
#### 2.5.4. Thermische belasting

BoltProtension	Define By	BGT	UGT Montage	UGT A	UGT B
1	Load (N)	2e+006	2,3e+006	2e+006	2e+006
2	Load (N)	2e+006	2,3e+006	2e+006	2e+006



## 2.6. Results

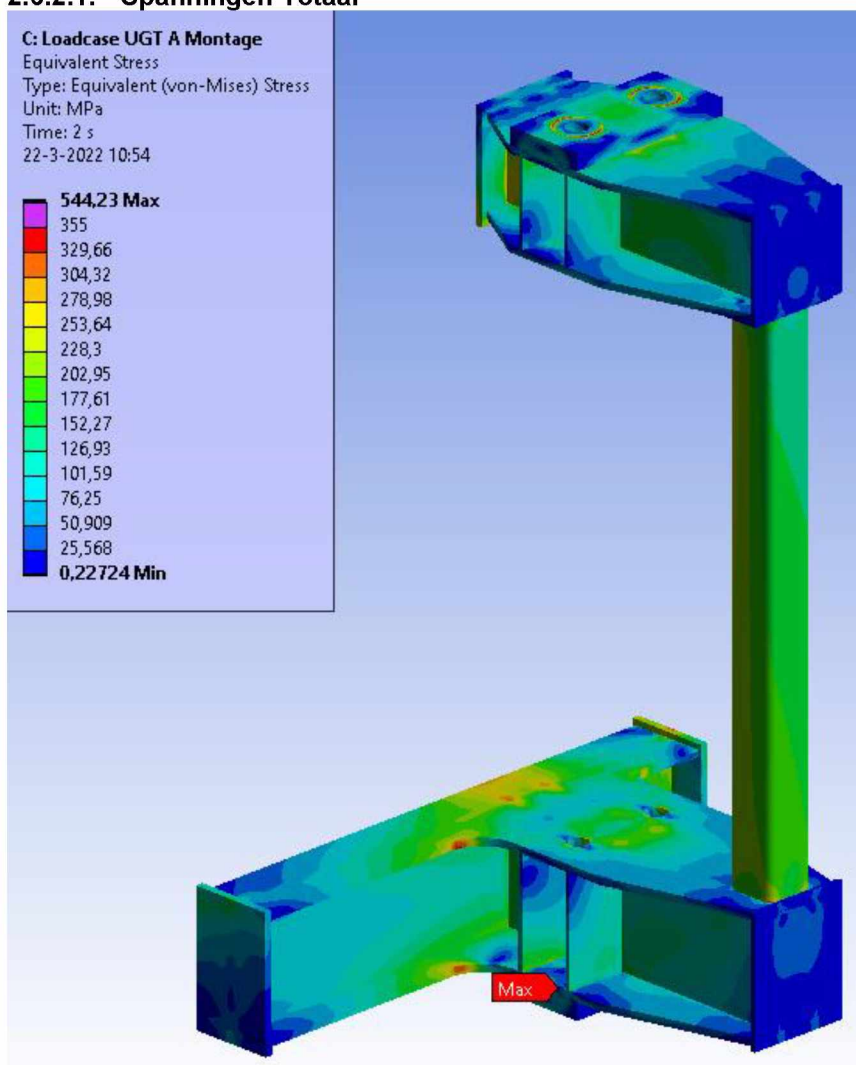
### 2.6.1. Belasting combinatie BGT



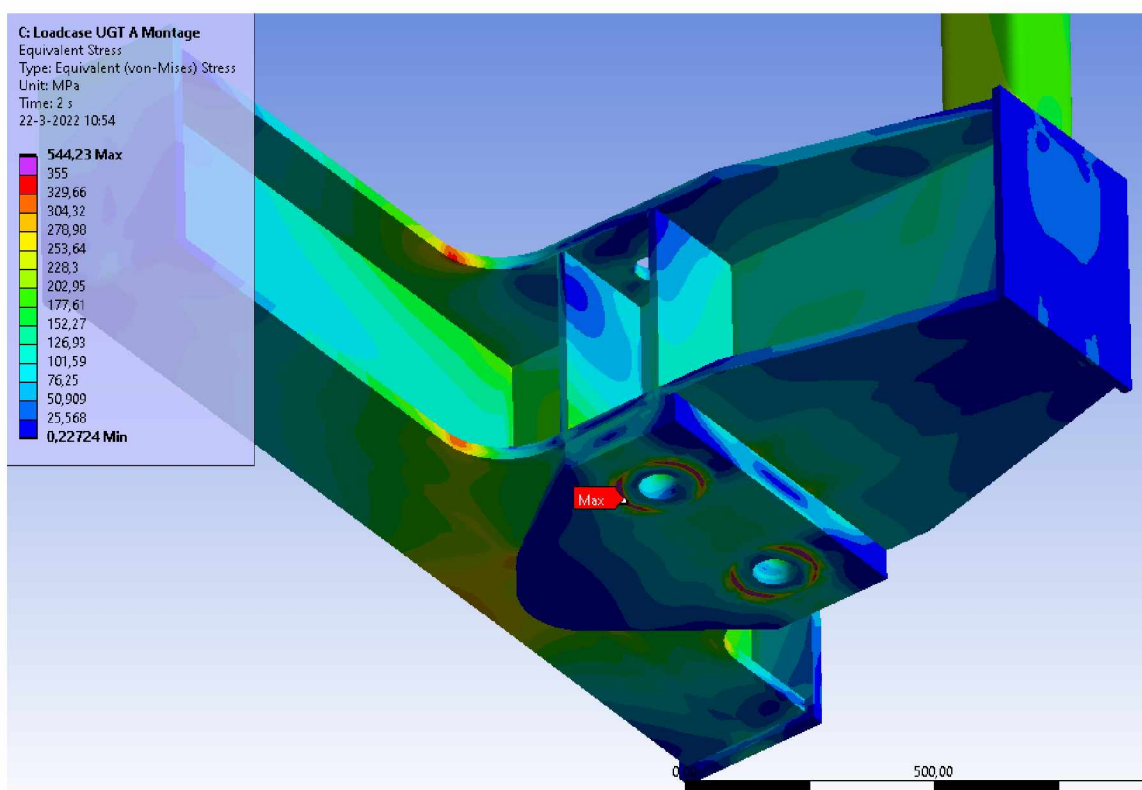
Figuur 19: Vervormingen

## 2.6.2. Belasting combinatie UGT A Montage

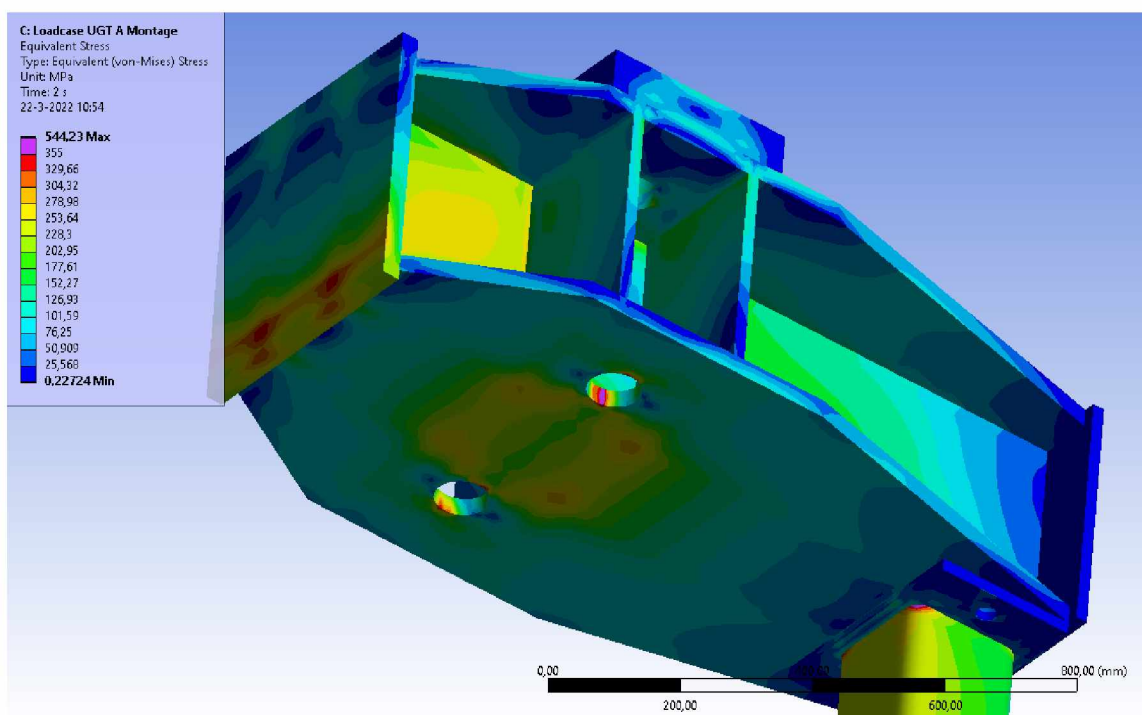
### 2.6.2.1. Spanningen Totaal



Figuur 20: Spanningen Totaal overzicht 1/3

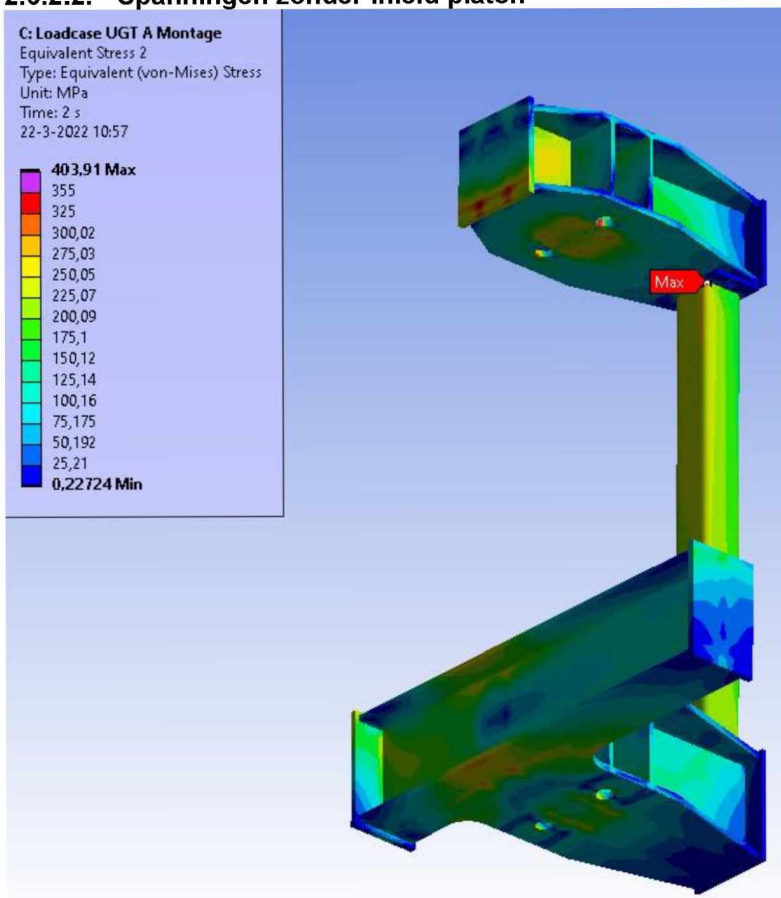


Figuur 21: Spanningen Totaal overzicht 2/3

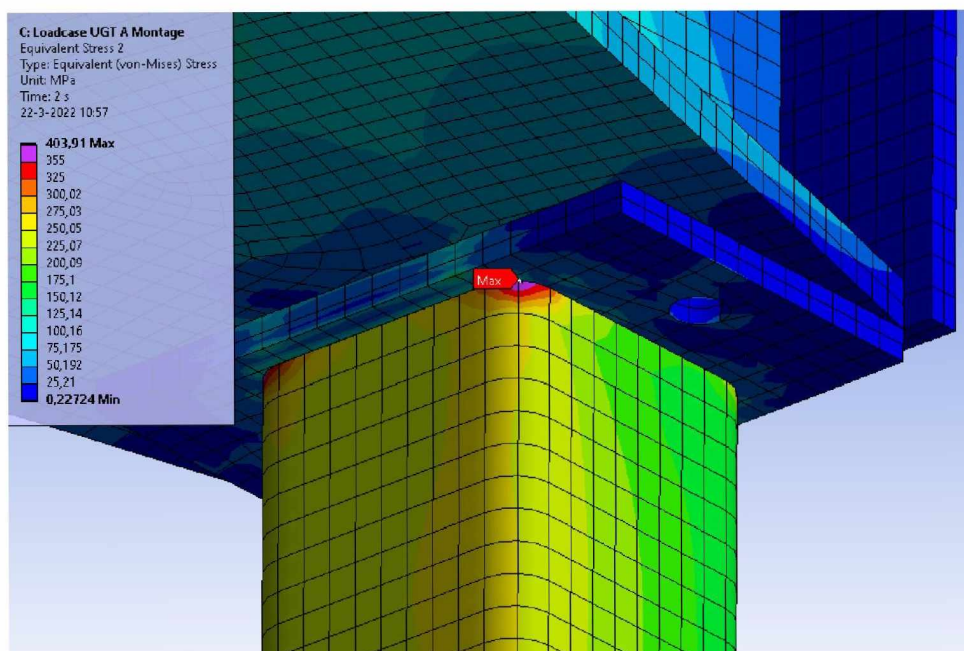


Figuur 22: Spanningen Totaal overzicht 3/3

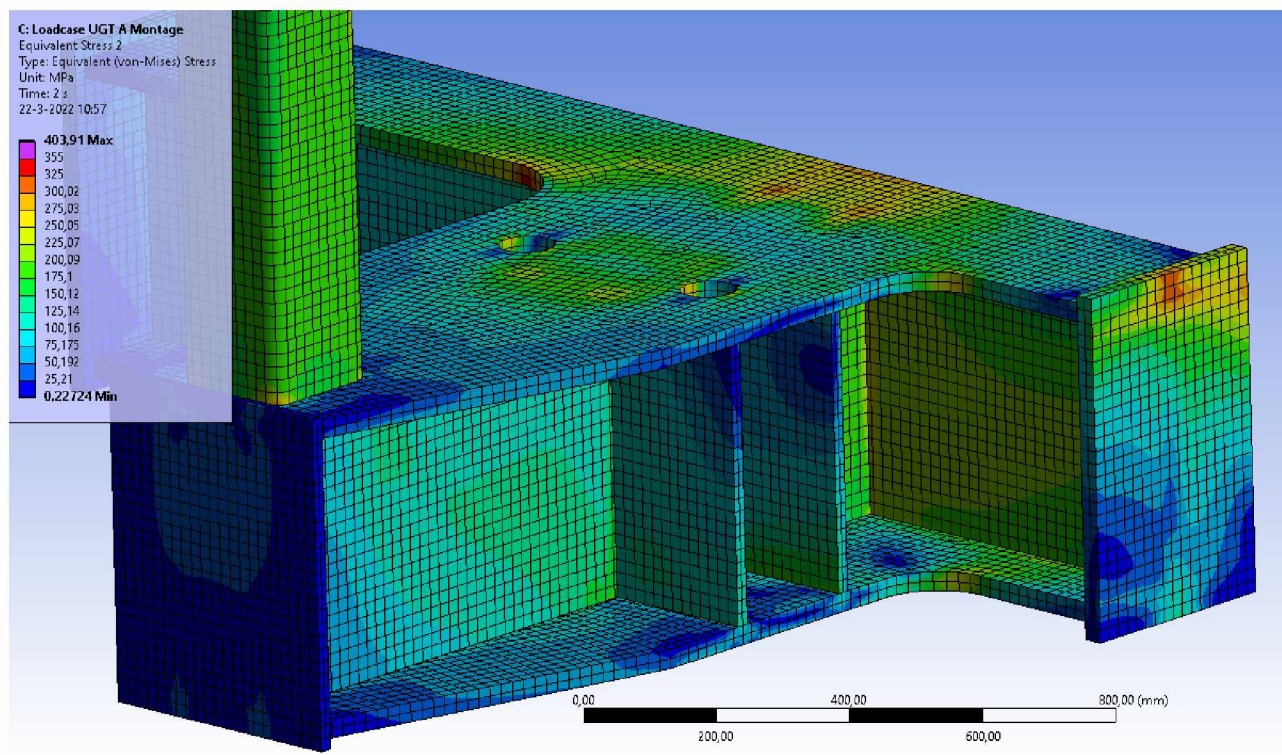
### 2.6.2.2. Spanningen zonder inleid platen



Figuur 23: Spanningen zonder inleid platen 1/3



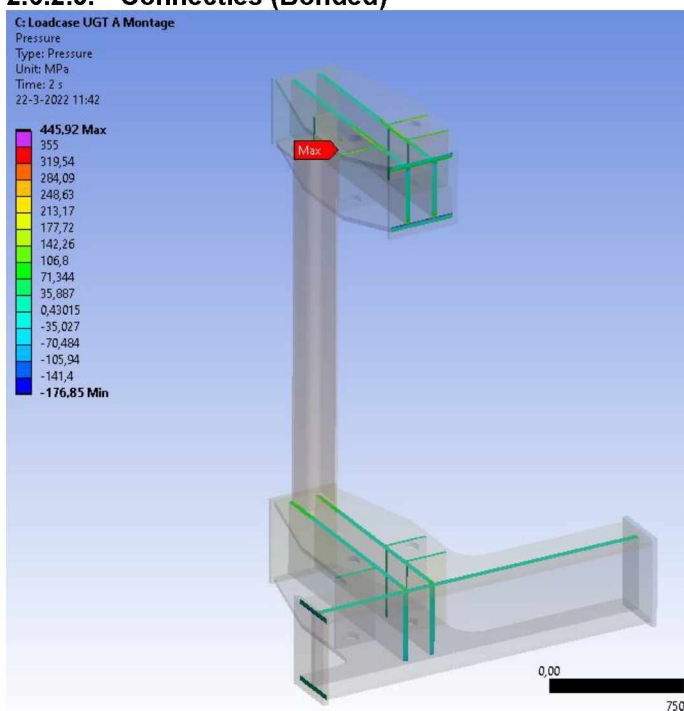
Figuur 24: Spanningen zonder inleid platen 2/3



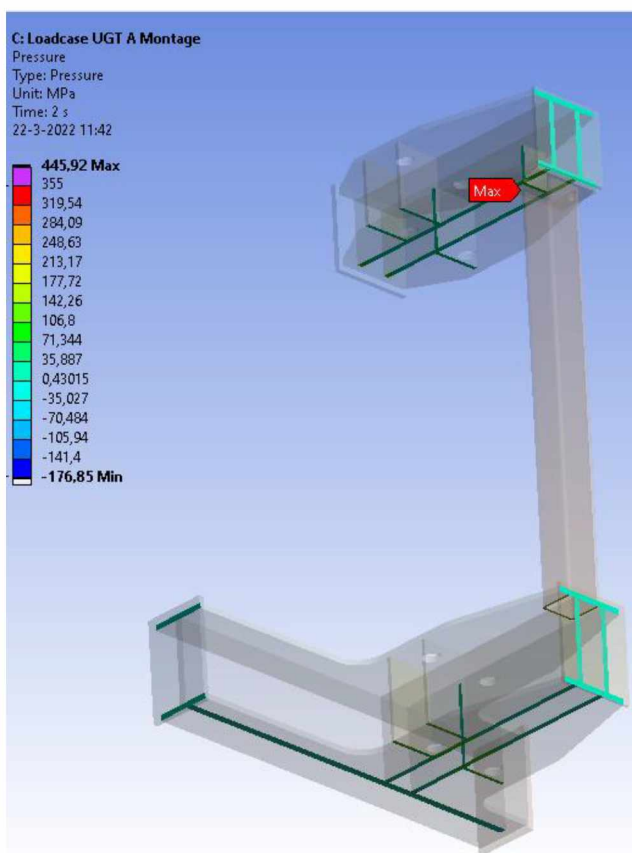
Figuur 25: Spanningen zonder inleid platen 3/3



### 2.6.2.3. Connecties (Bonded)

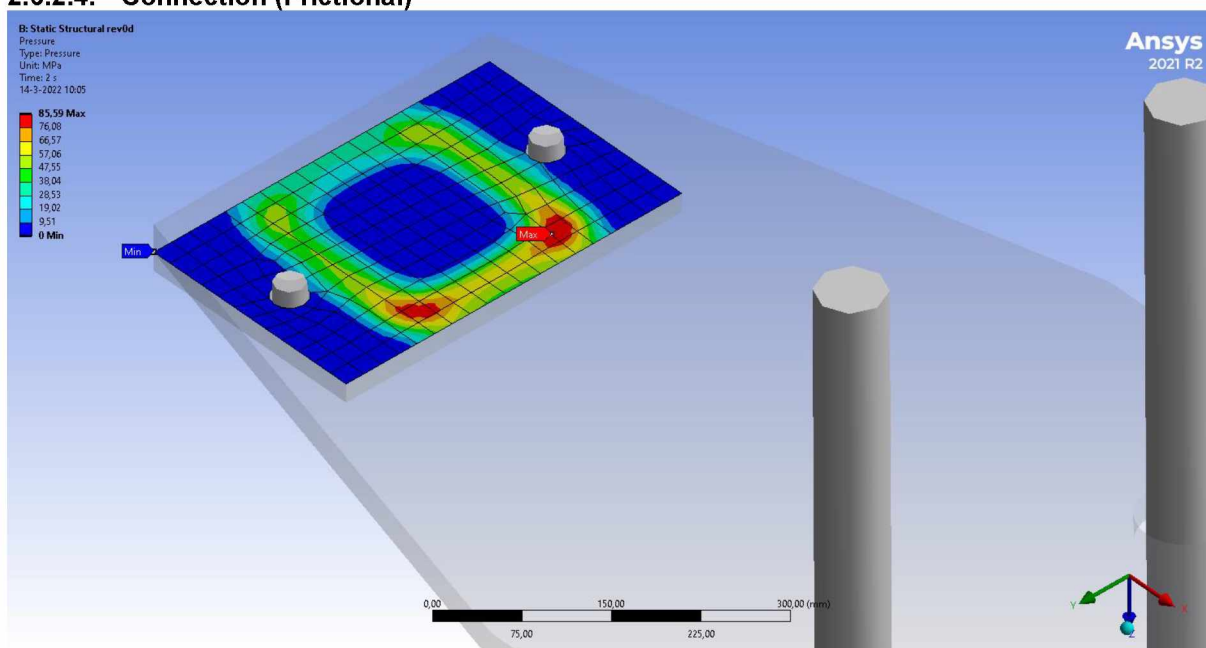


Figuur 26: Bonded Contact Pressures 1/2

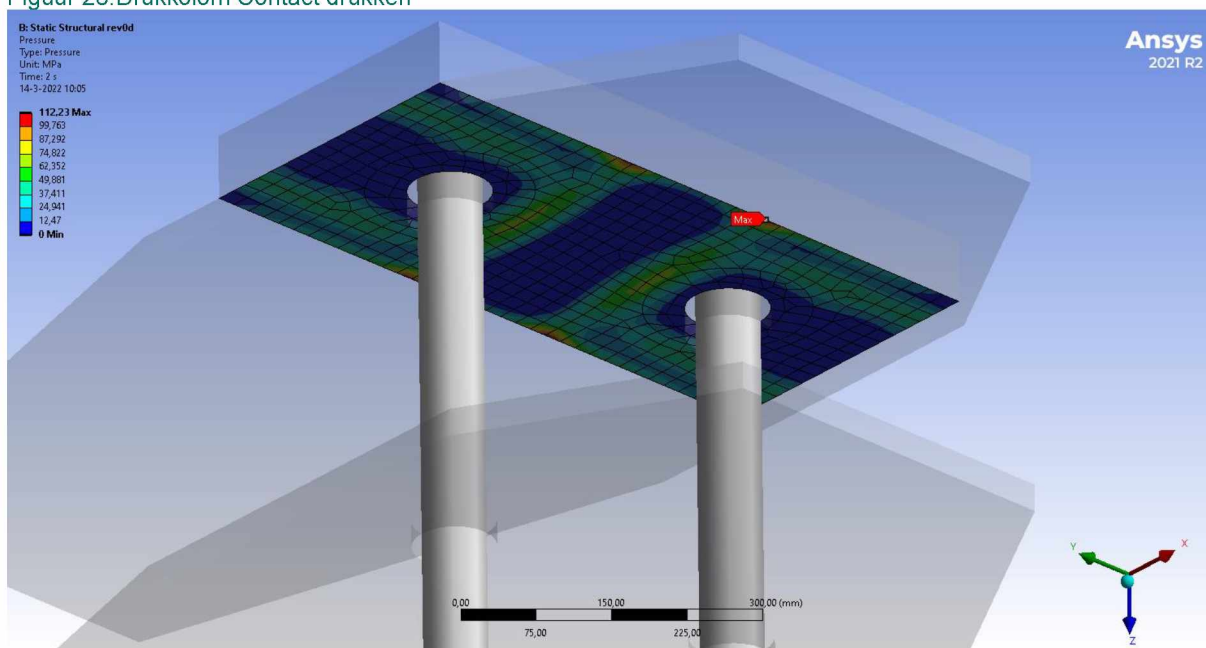


Figuur 27: Bonded Contact Pressures 2/2

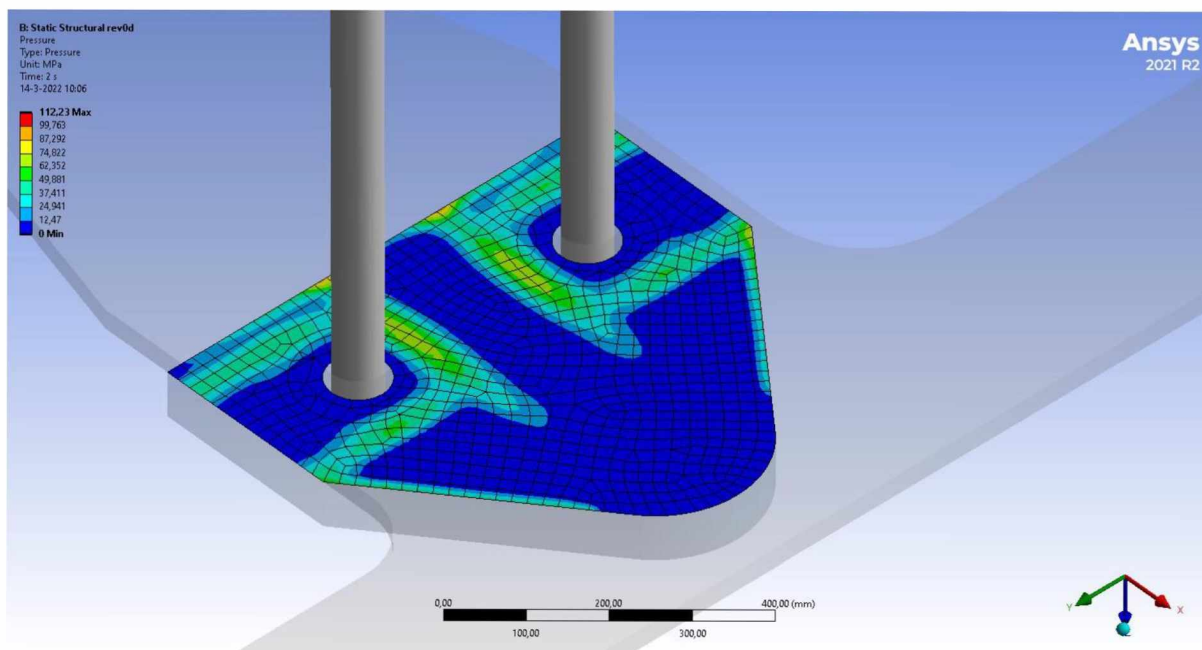
### 2.6.2.4. Connection (Frictional)



Figuur 28: Drukkolom Contact drukken



Figuur 29 Drukplaat boven Contact drukken



Figuur 30: Drukplaat beneden Contact drukken

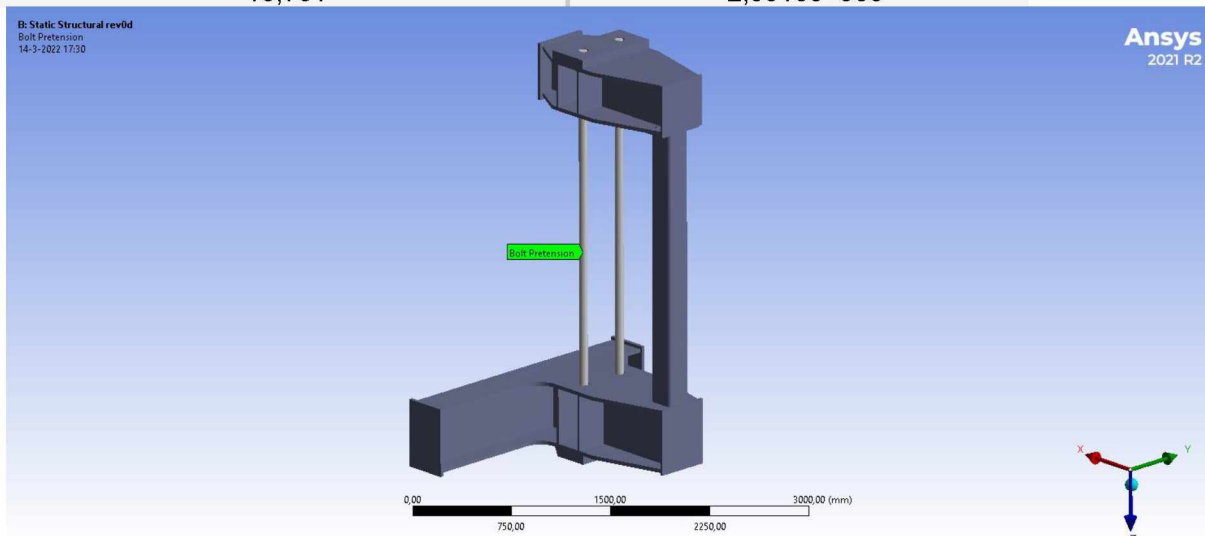


### 2.6.2.5. Bolt Pretensions

Bolt Pretension (Adjustment Reaction) [mm]	Bolt Pretension (Working Load) [N]
--	------------------------------------

16,751

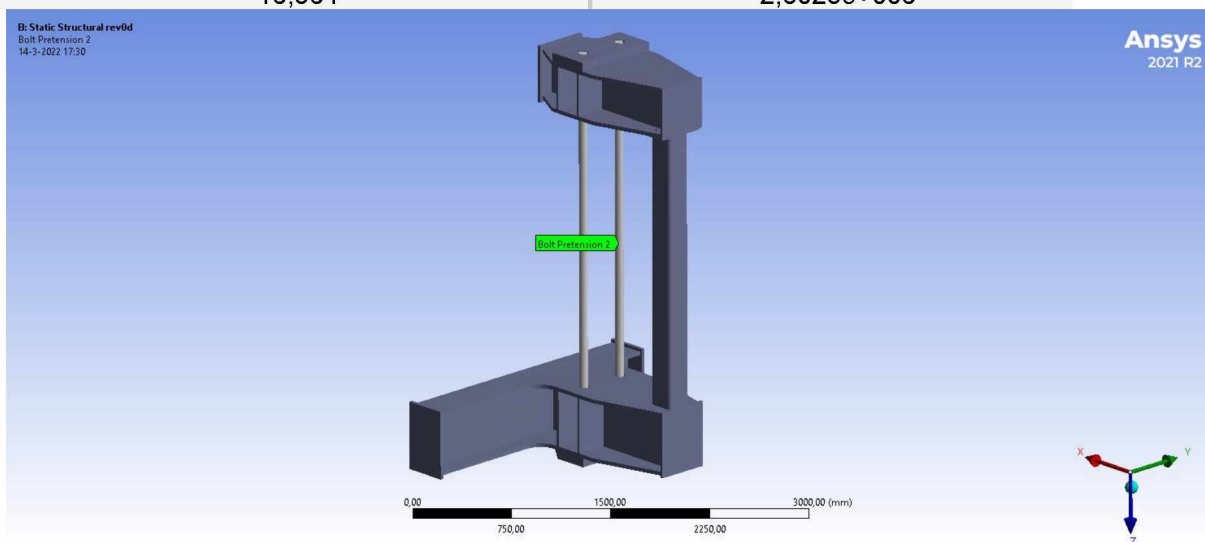
2,3018e+006



Bolt Pretension 2 (Adjustment Reaction) [mm]	Bolt Pretension 2 (Working Load) [N]
--	--------------------------------------

16,364

2,3023e+006

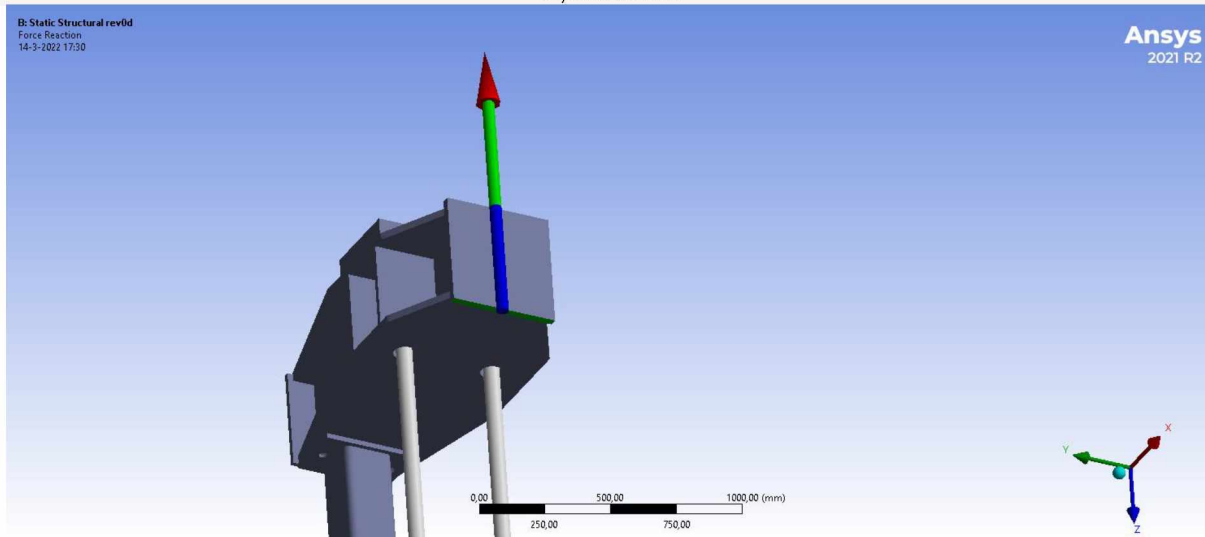




### 2.6.2.6. Reactie krachten

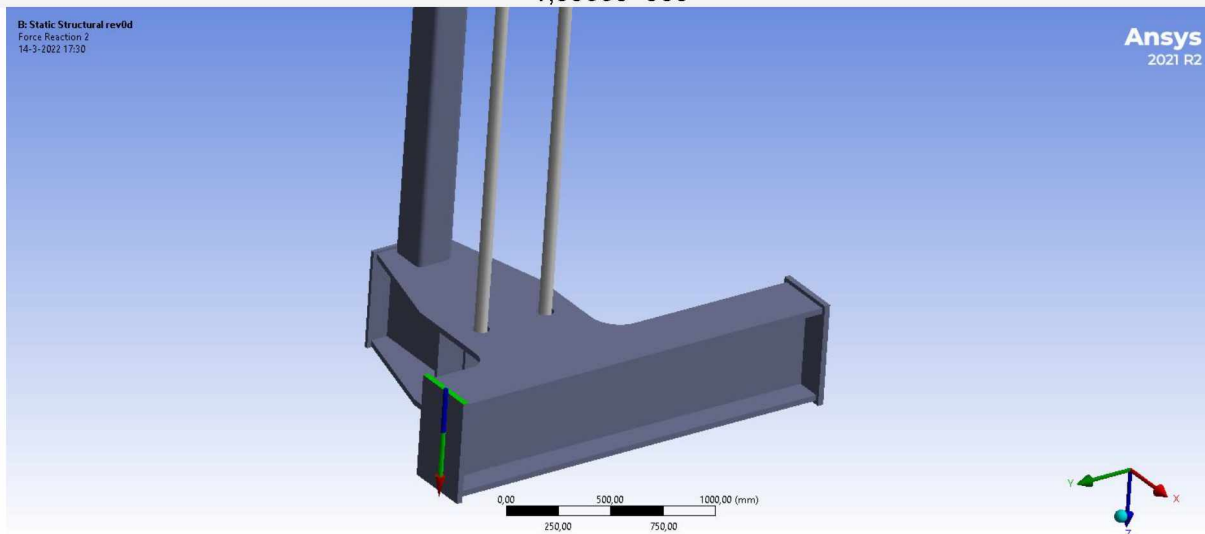
Force Reaction (Z) [N]

-2,859e+006



Force Reaction 2 (Z) [N]

1,8855e+006



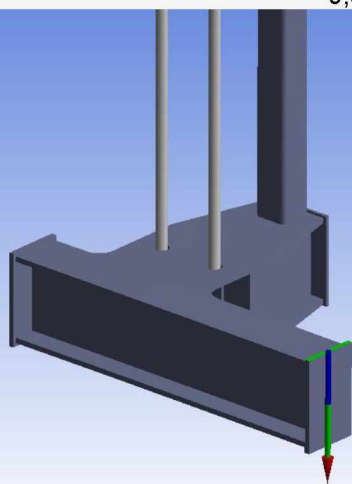


### Force Reaction 3 (Z) [N]

9,3639e+005

B-Static Structural rev0d  
Force Reaction 3  
14-3-2022 17:31

Ansys  
2021 R2

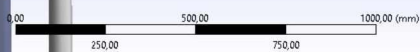
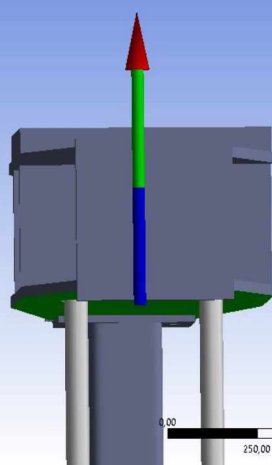


### Force Reaction 5 (Z) [N]

-1,7583e+006

B-Static Structural rev0d  
Force Reaction 5  
14-3-2022 17:31

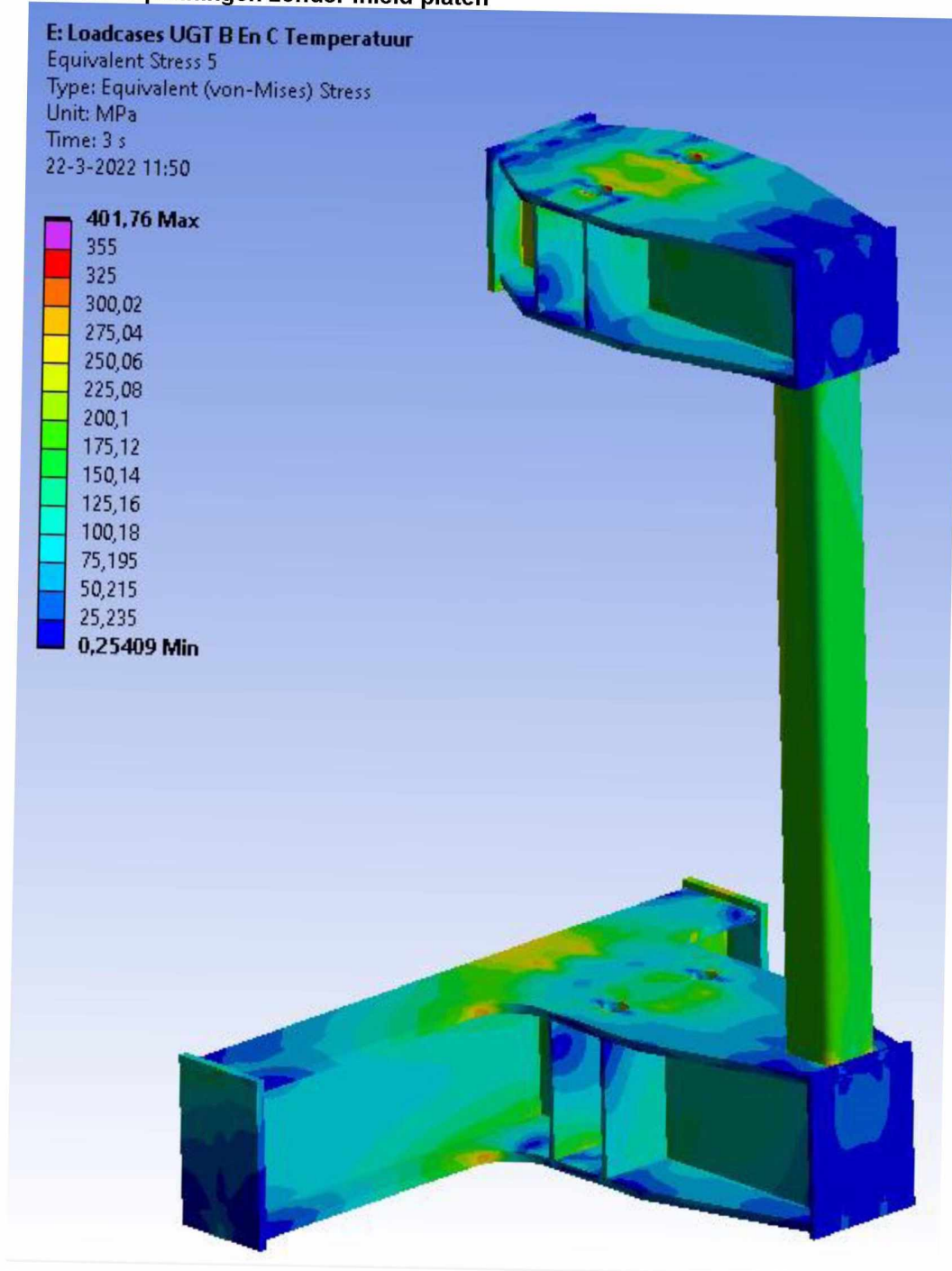
Ansys  
2021 R2



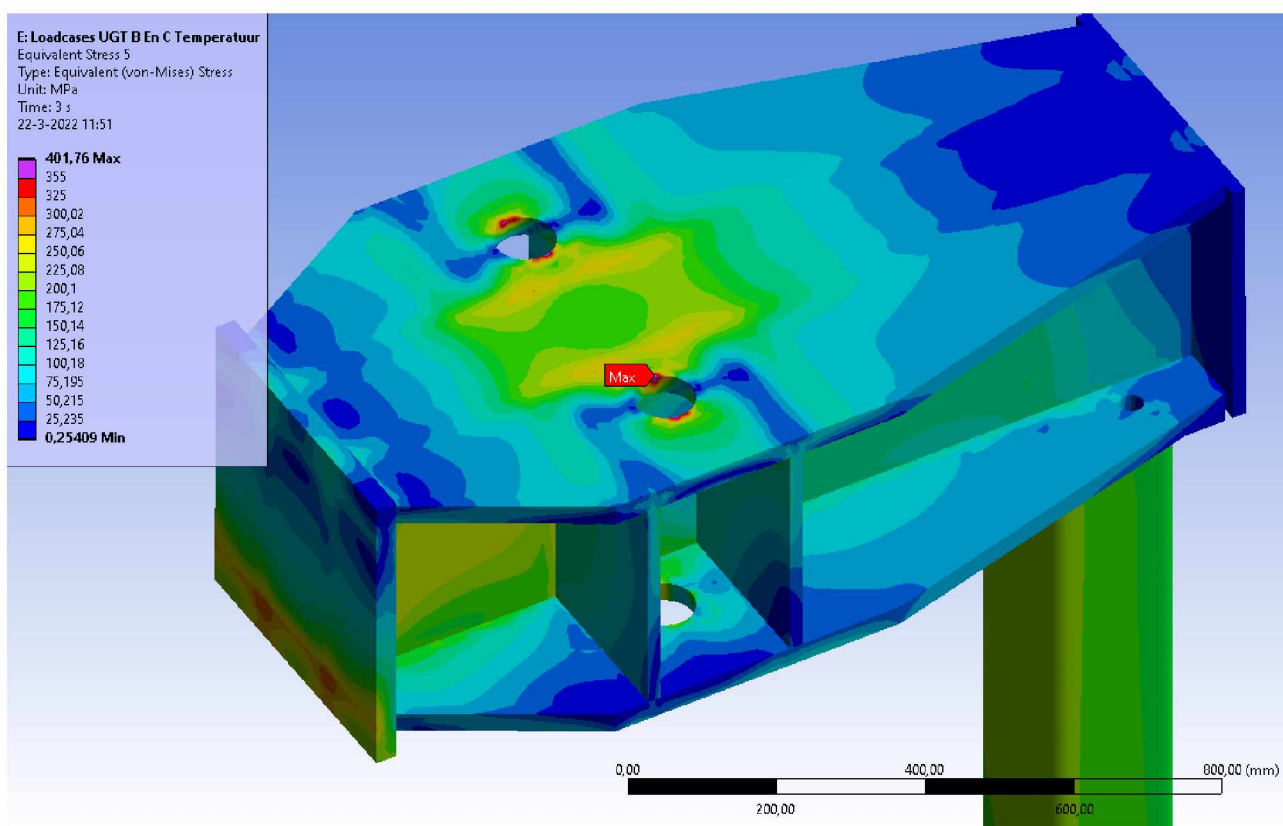


### 2.6.3. Belasting combinatie UGT B

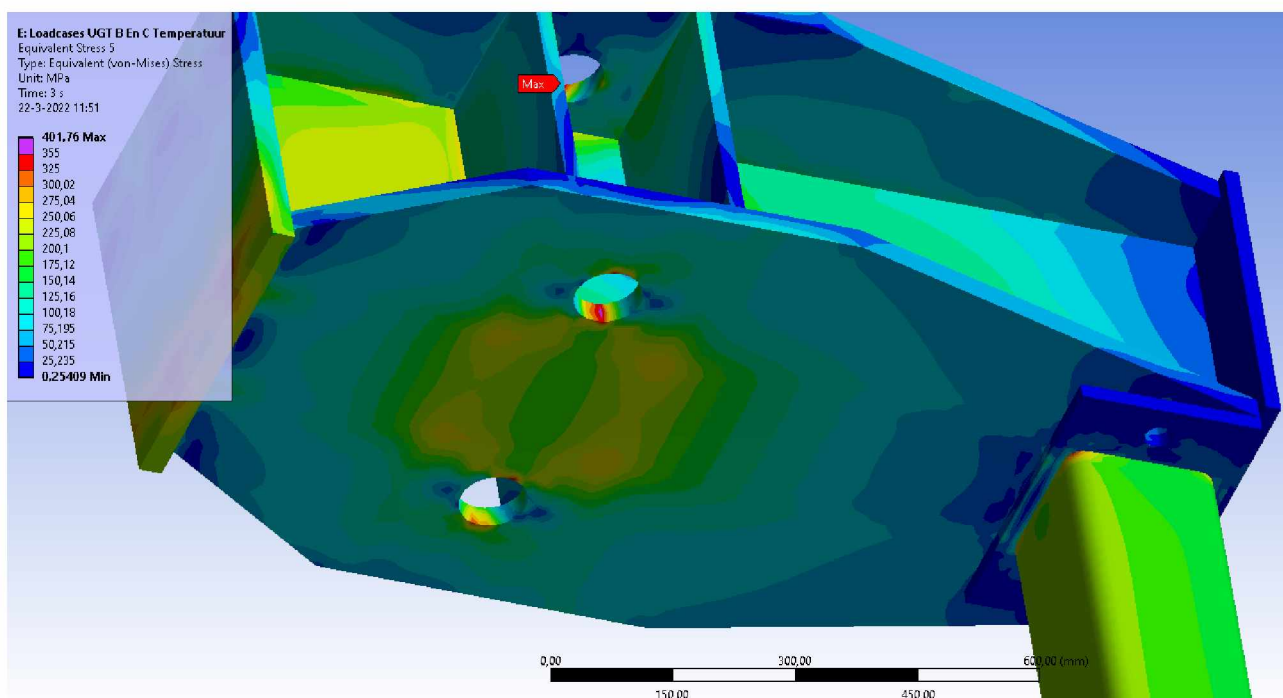
#### 2.6.3.1. Spanningen zonder inleid platen



Figuur 31: Spanningen Totaal overzicht 1/3

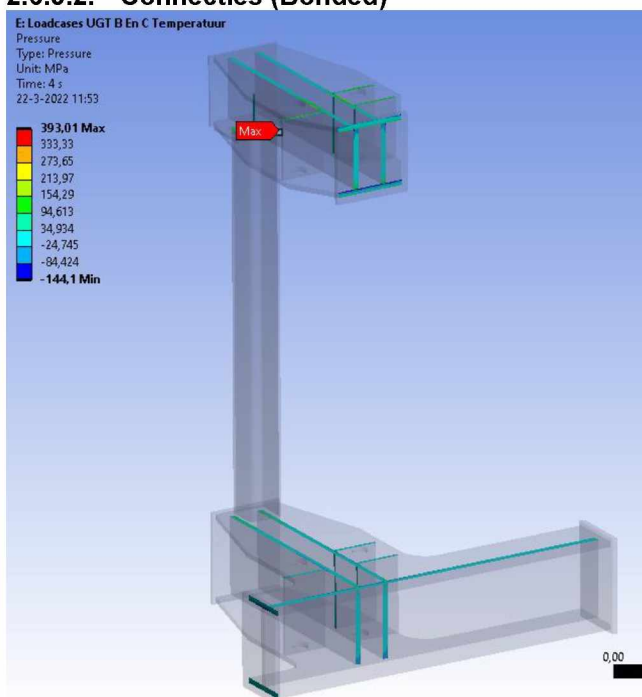


Figuur 32: Spanningen Totaal overzicht 2/3

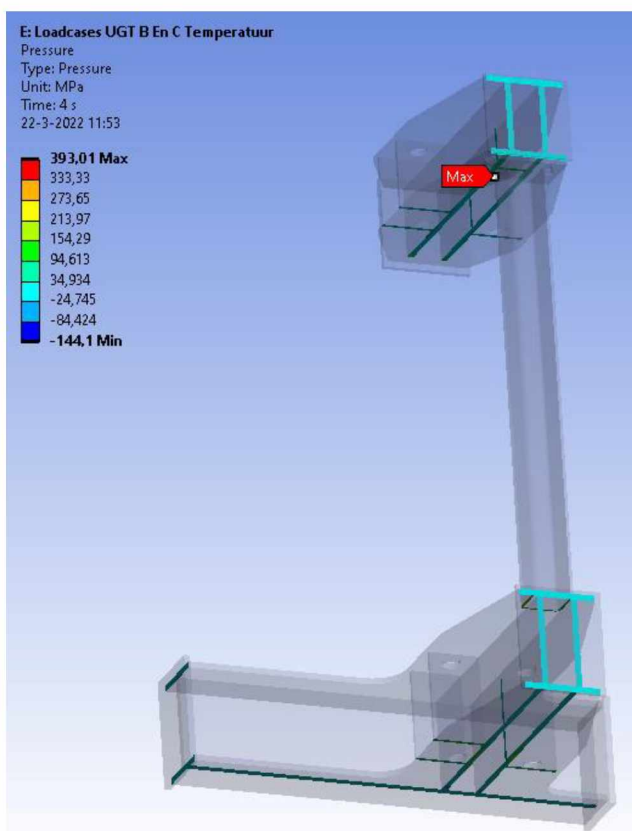


Figuur 33: Spanningen Totaal overzicht 3/3

### 2.6.3.2. Connecties (Bonded)

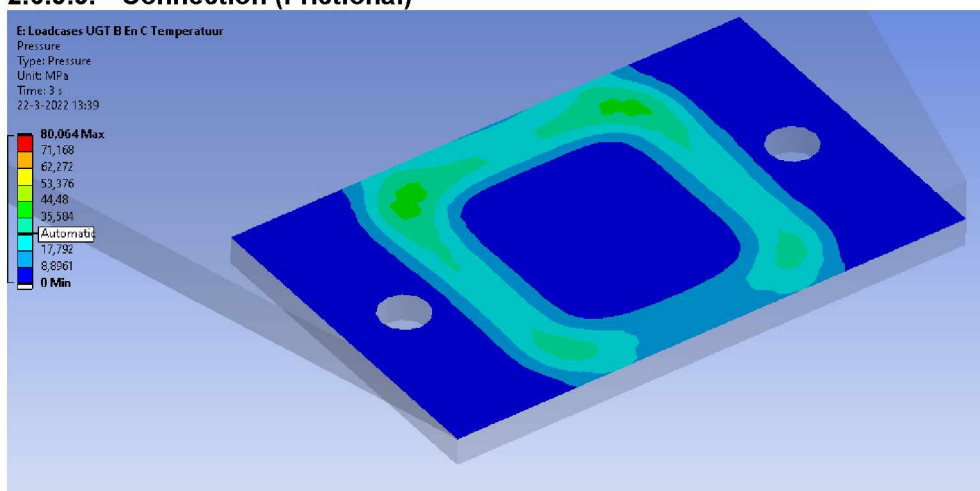


Figuur 34: Bonded Contact Pressures 1/2

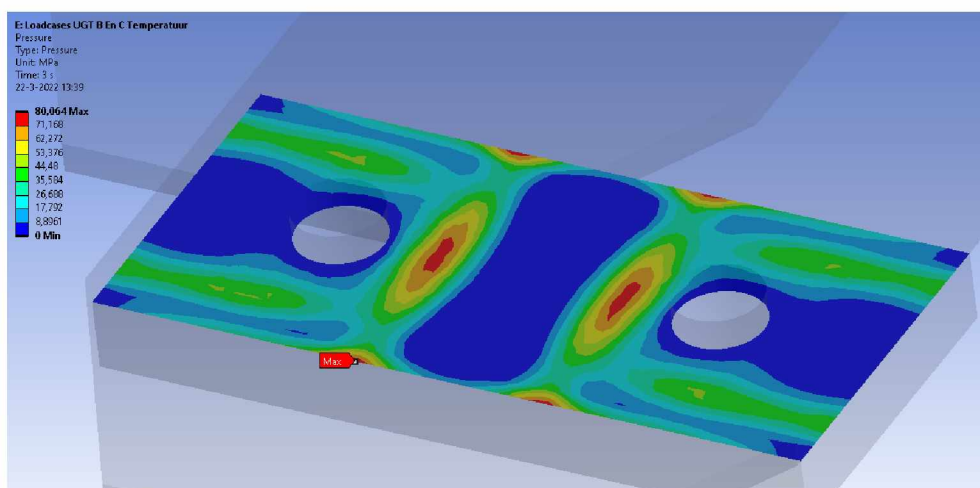


Figuur 35: Bonded Contact Pressures 2/2

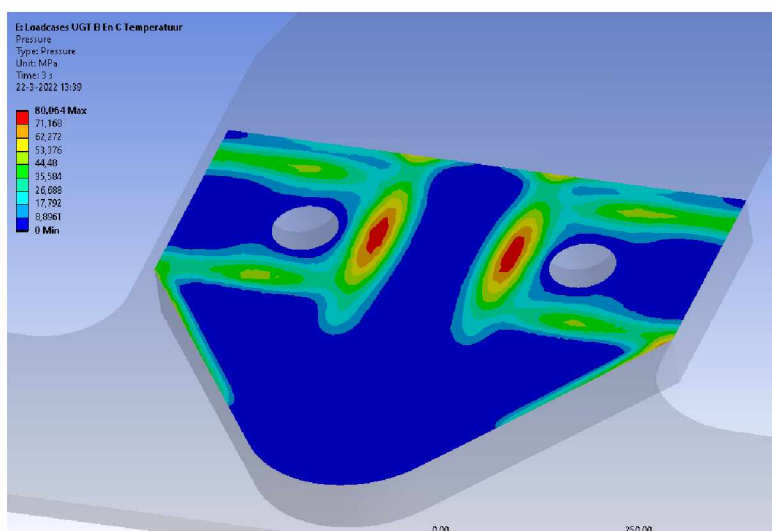
### 2.6.3.3. Connection (Frictional)



Figuur 36: Drukkolom Contact drukken



Figuur 37: Drukplaat boven Contact drukken



Figuur 38: Drukplaat beneden Contact drukken



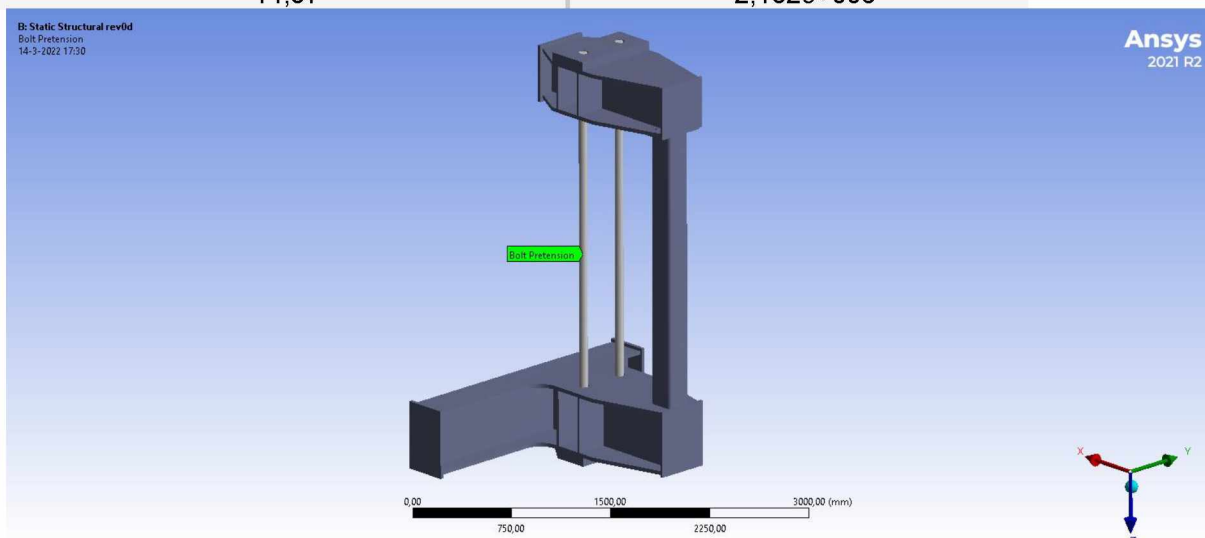


### 2.6.3.4. Bolt Pretensions

Bolt Pretension (Adjustment Reaction) [mm]	Bolt Pretension (Working Load) [N]
--	------------------------------------

14,87

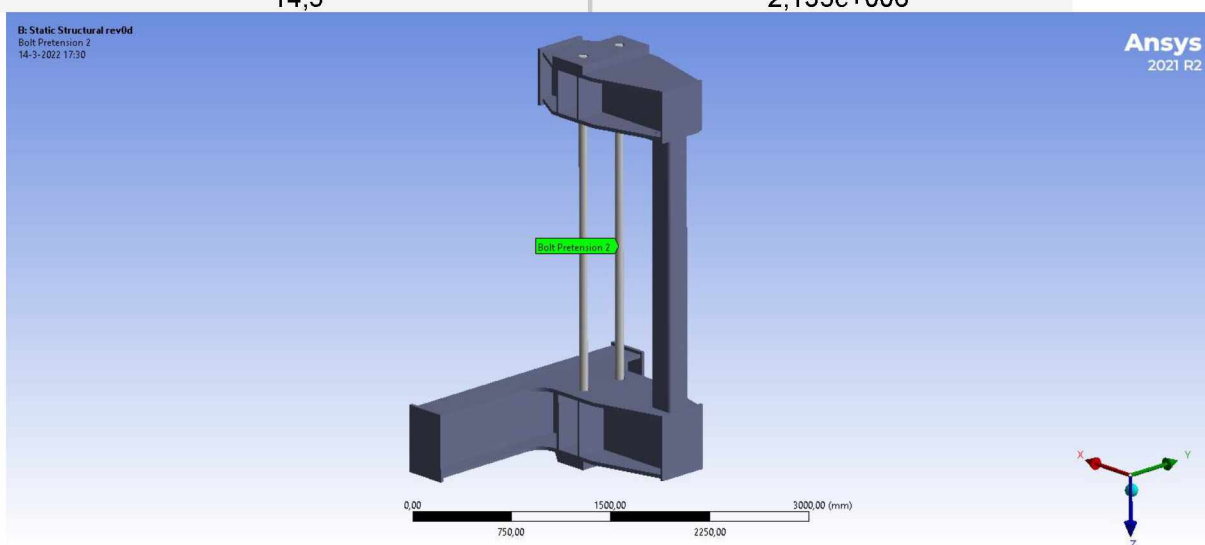
2,132e+006



Bolt Pretension 2 (Adjustment Reaction) [mm]	Bolt Pretension 2 (Working Load) [N]
--	--------------------------------------

14,5

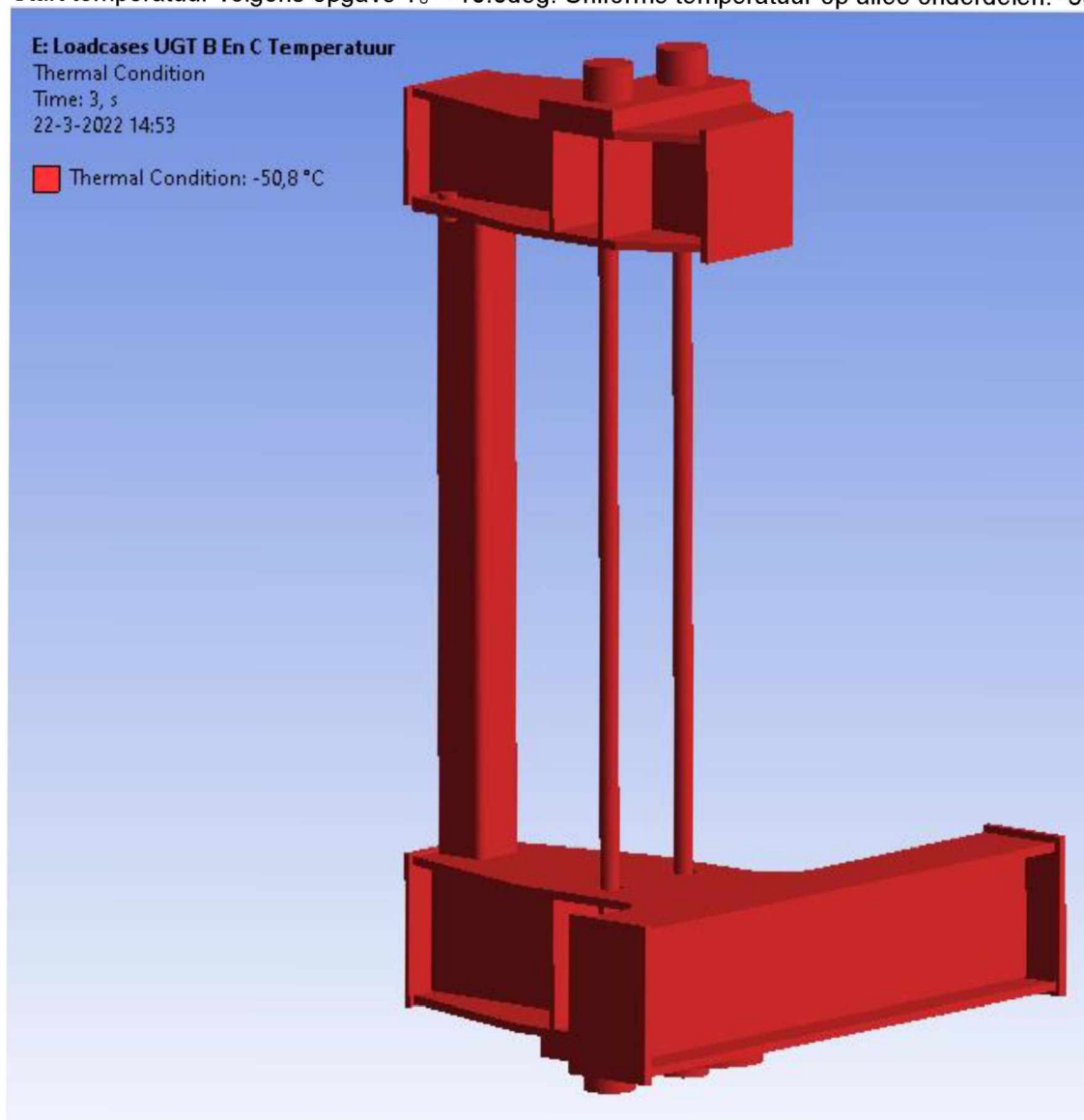
2,135e+006





### 2.6.3.5. Thermische belasting

Start temperatuur volgens opgave  $T_0 = 10.0\text{deg}$ . Uniforme temperatuur op alle onderdelen:  $-50,8$

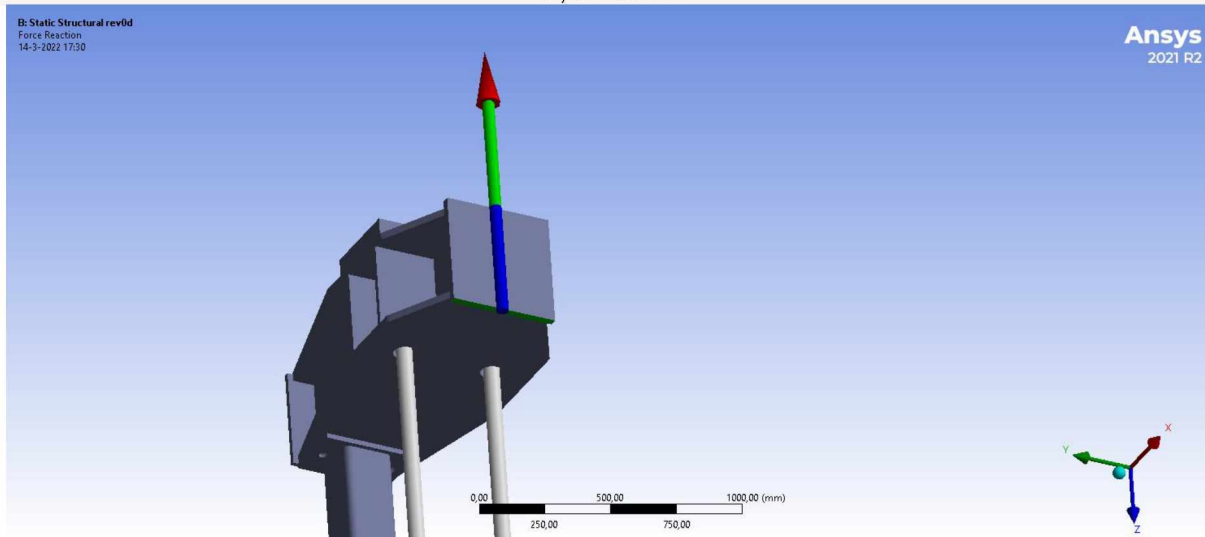




### 2.6.3.6. Reactie krachten

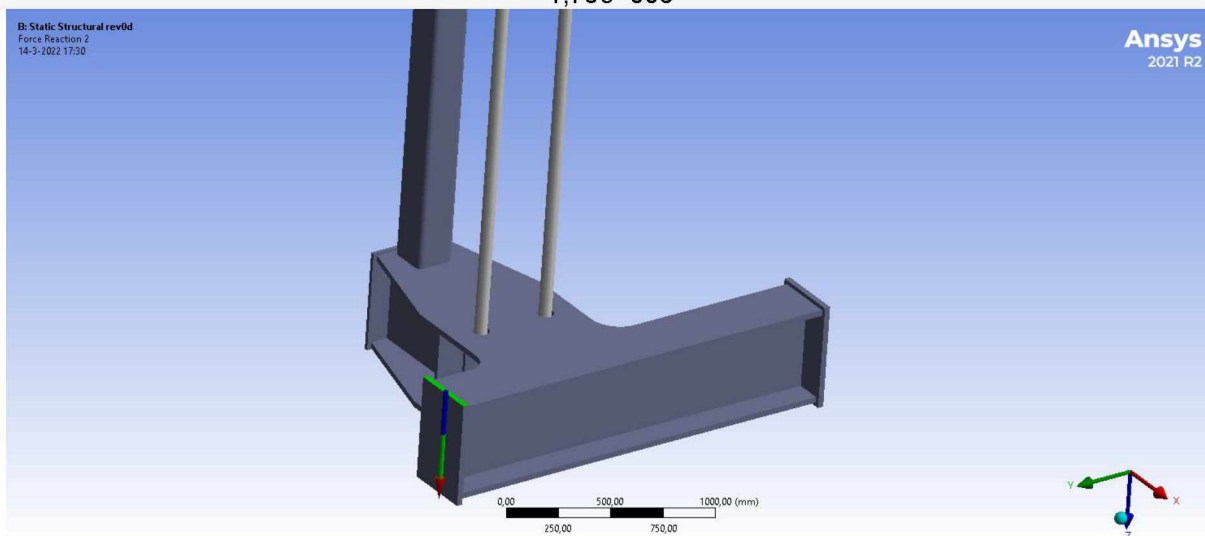
Force Reaction (Z) [N]

-2,658e+006



Force Reaction 2 (Z) [N]

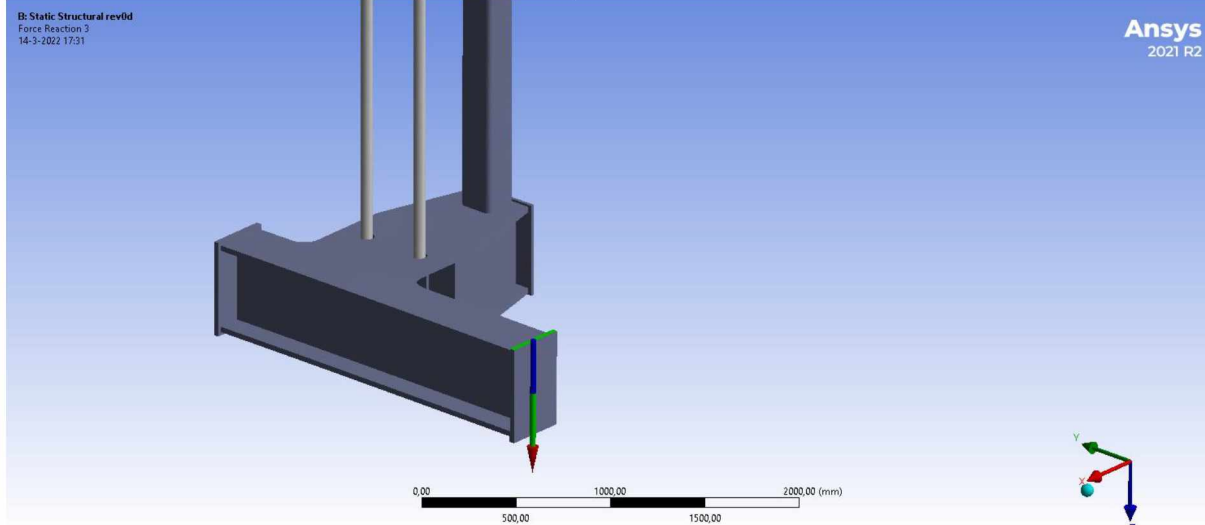
1,75e+006





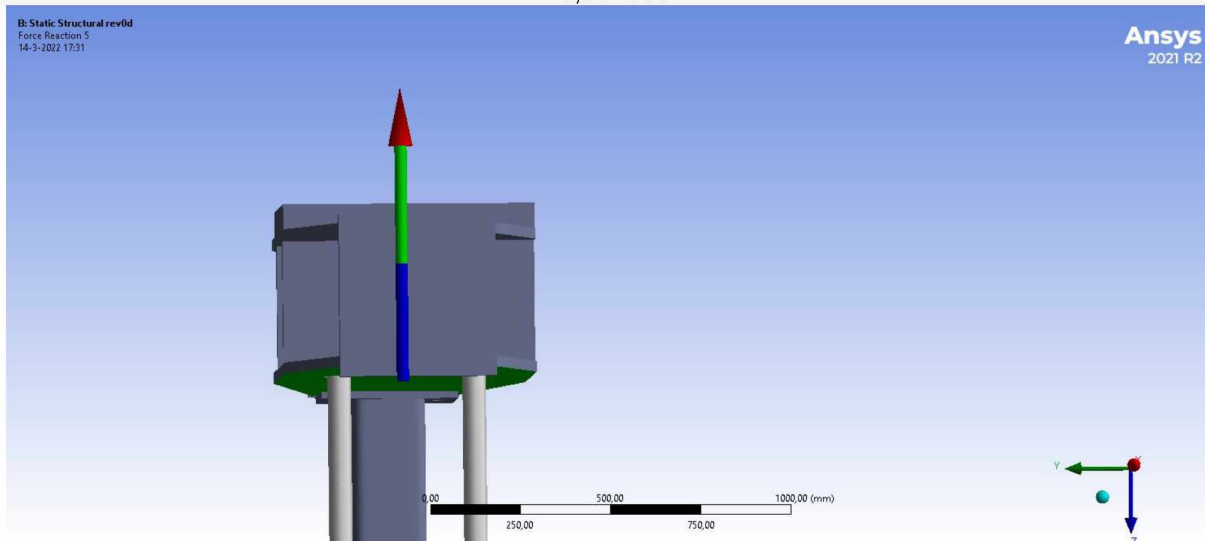
### Force Reaction 3 (Z) [N]

8,7e+005



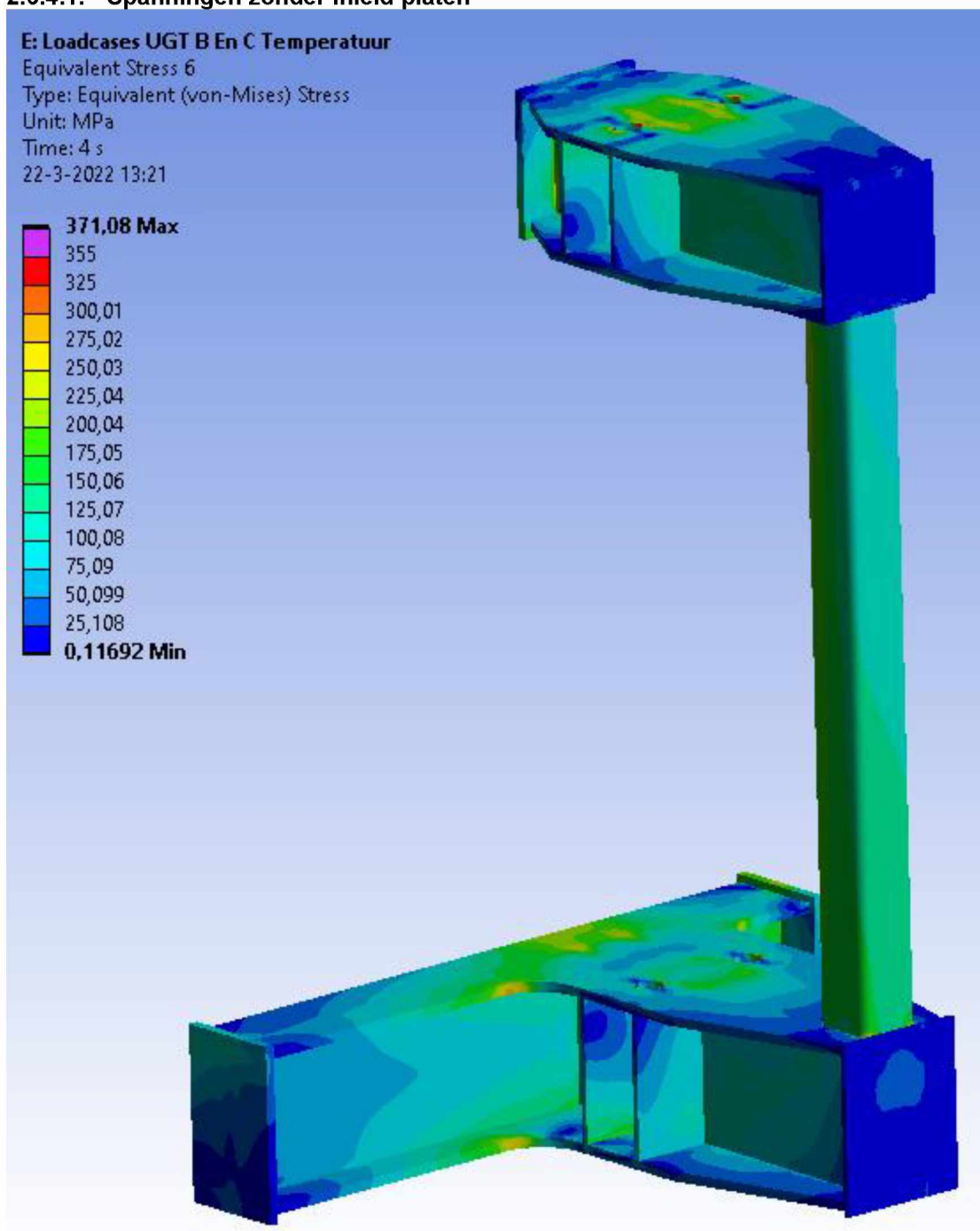
### Force Reaction 5 (Z) [N]

-1,6e+006

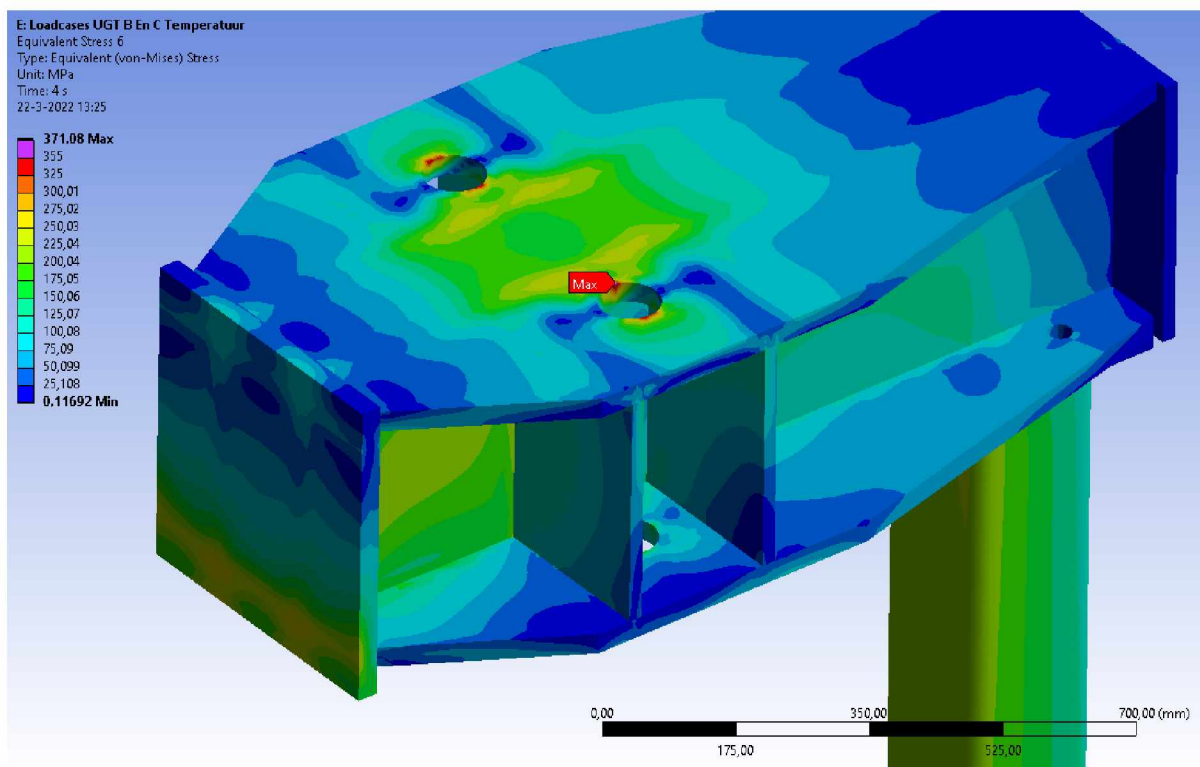


## 2.6.4. Belasting combinatie UGT C

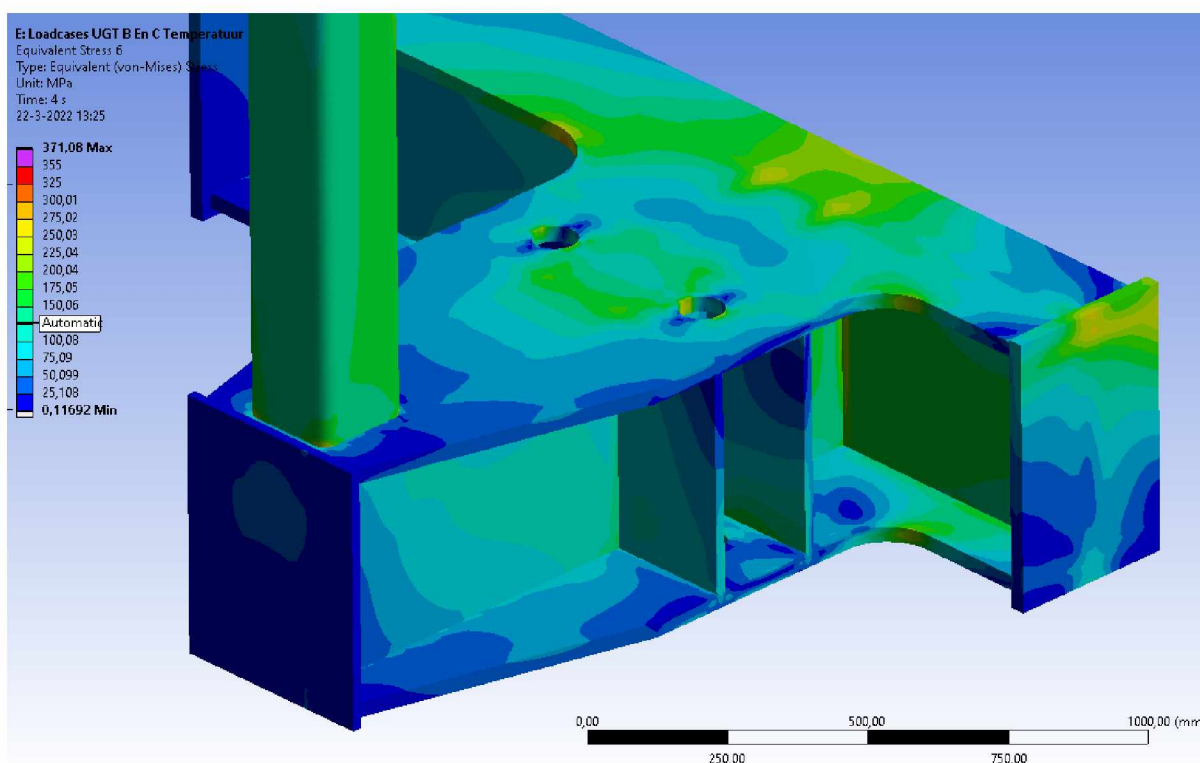
### 2.6.4.1. Spanningen zonder inleid platen



Figuur 39: Spanningen Totaal overzicht 1/3

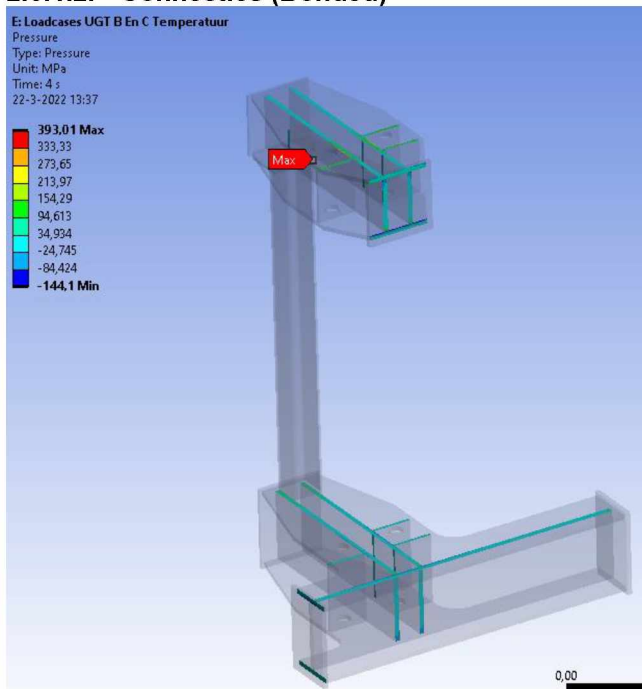


Figuur 40: Spanningen Totaal overzicht 2/3

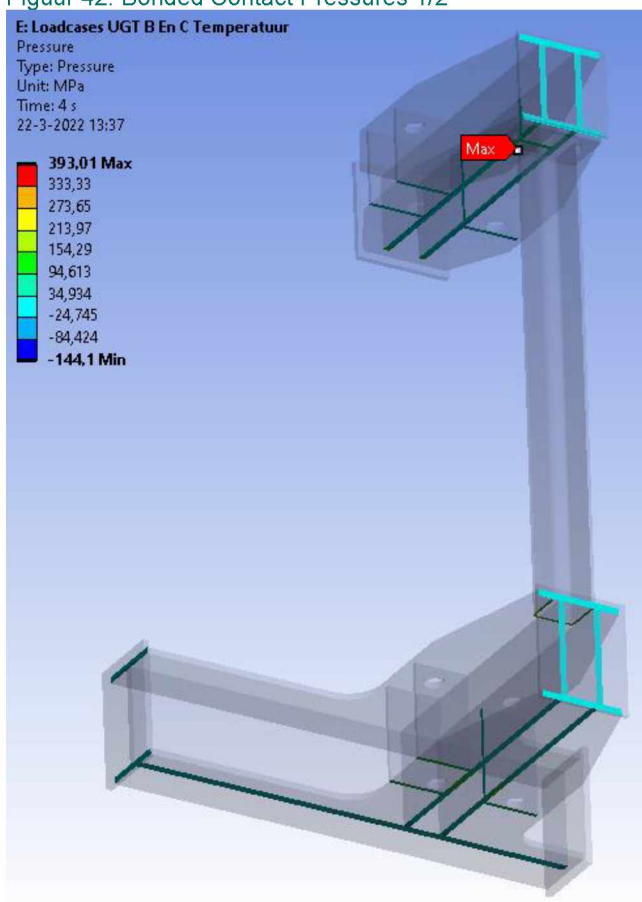


Figuur 41: Spanningen Totaal overzicht 3/3

## 2.6.4.2. Connecties (Bonded)

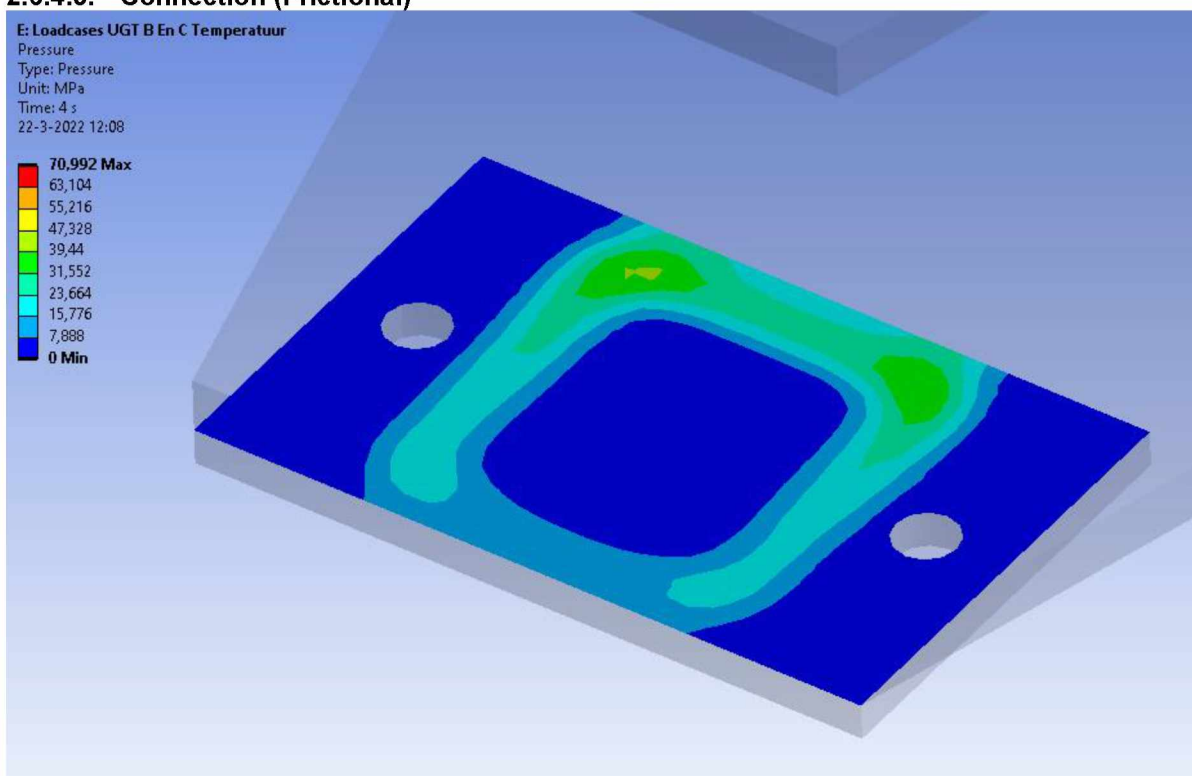


Figuur 42: Bonded Contact Pressures 1/2

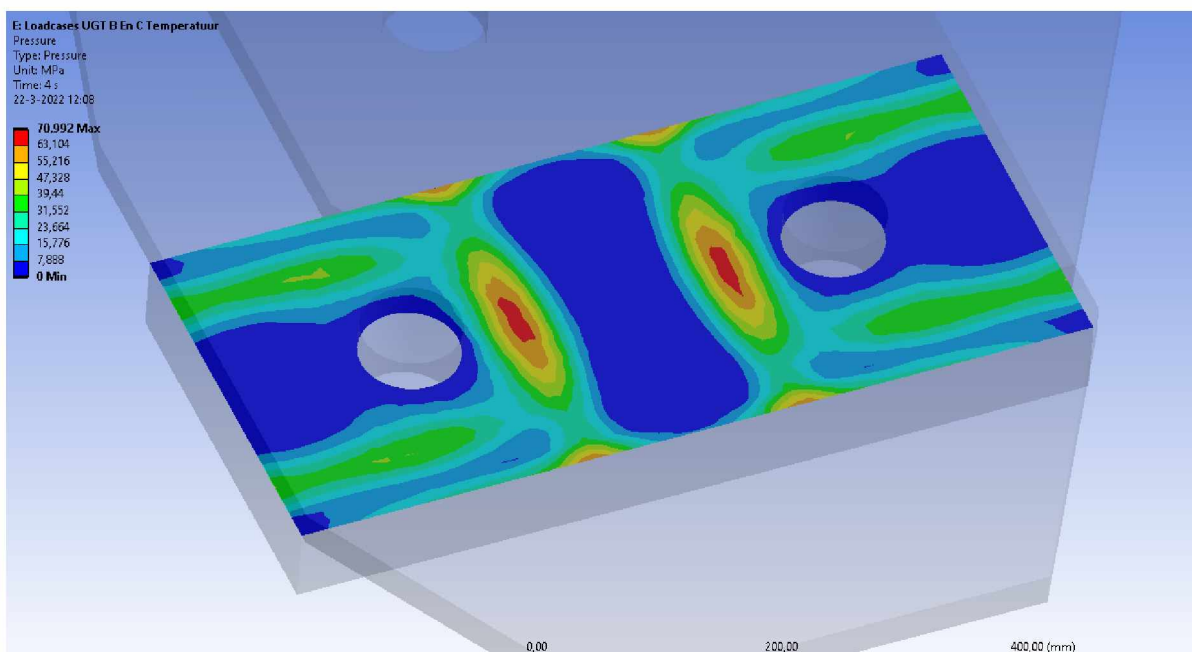


Figuur 43: Bonded Contact Pressures 2/2

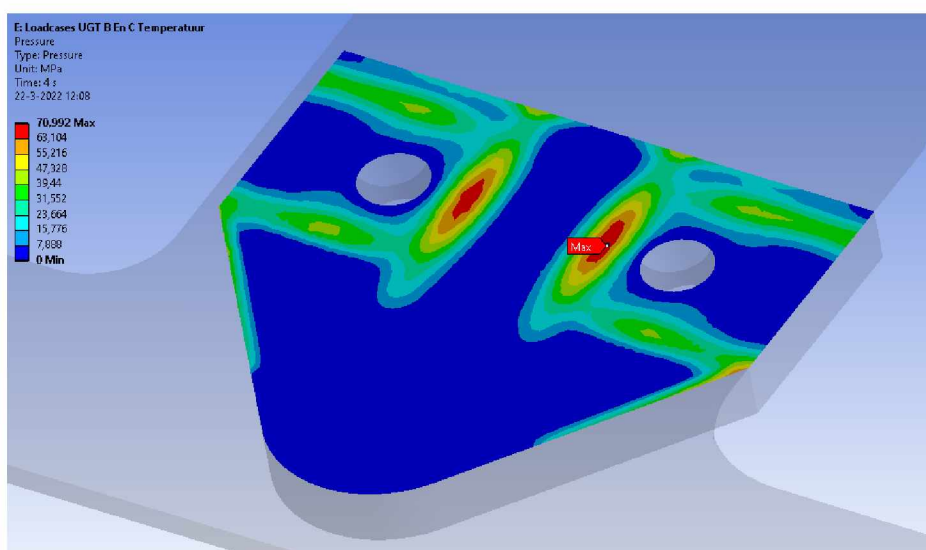
### 2.6.4.3. Connection (Frictional)



Figuur 44: Drukkolom Contact drukken



Figuur 45 Drukplaat boven Contact drukken

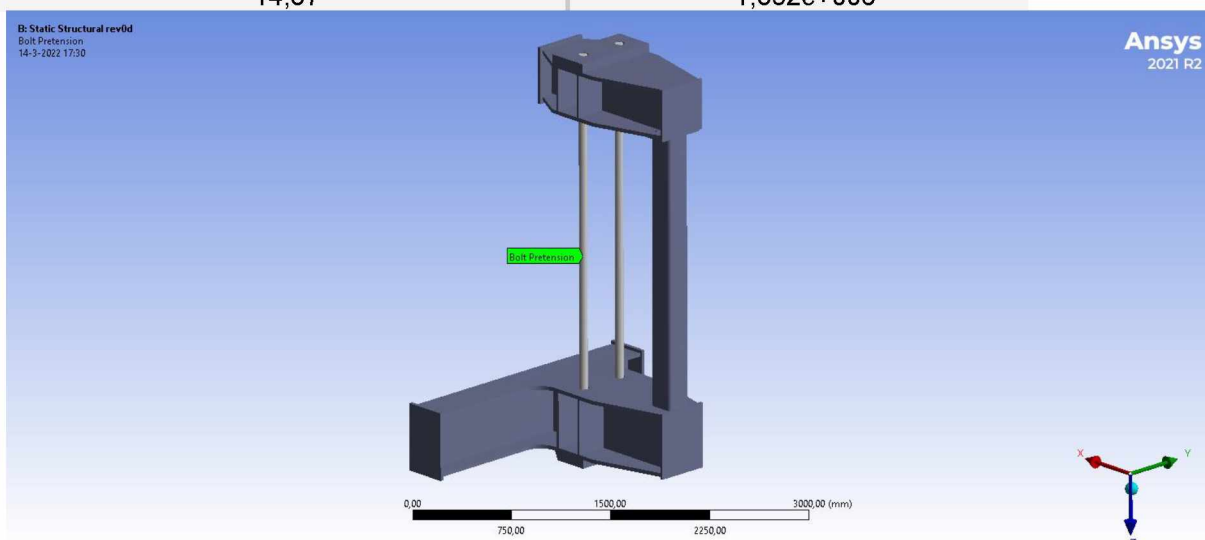


Figuur 46: Drukplaat beneden Contact drukken

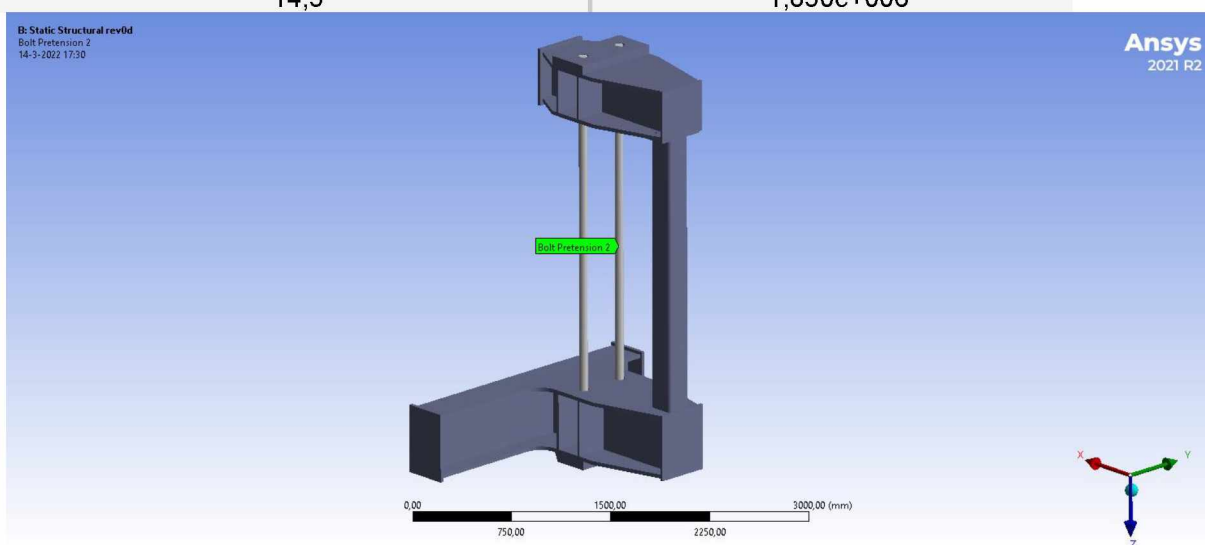


### 2.6.4.4. Bolt Pretensions

Bolt Pretension (Adjustment Reaction) [mm]	Bolt Pretension (Working Load) [N]
14,87	1,852e+006



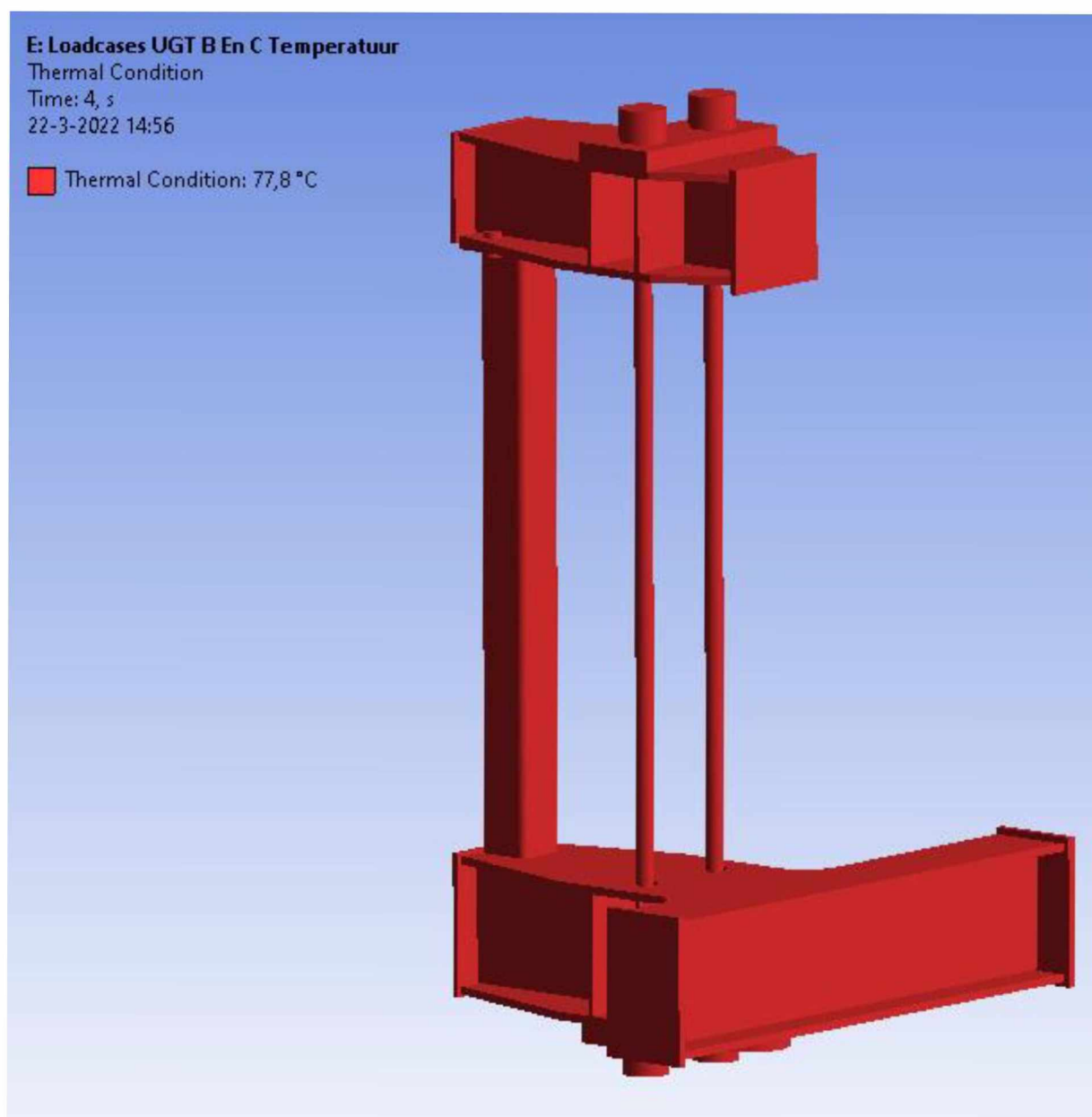
Bolt Pretension 2 (Adjustment Reaction) [mm]	Bolt Pretension 2 (Working Load) [N]
14,5	1,850e+006





### 2.6.4.5. Thermische belasting

Start temperatuur volgens opgave  $T_0 = 10.0\text{deg}$ . Uniforme temperatuur op allee onderdelen: 77,8

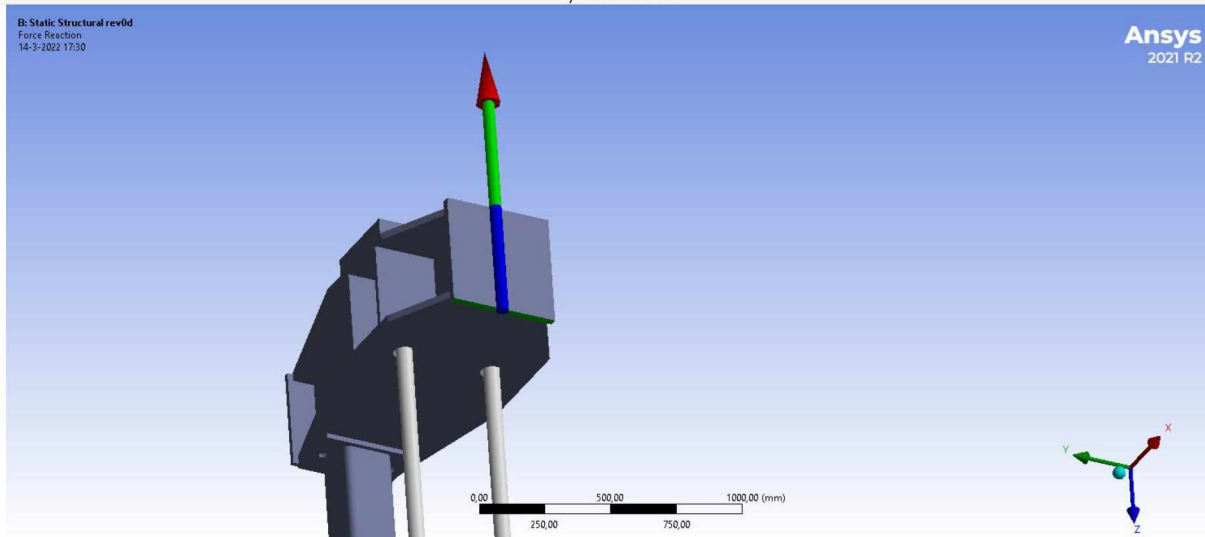




### 2.6.4.6. Reactie krachten

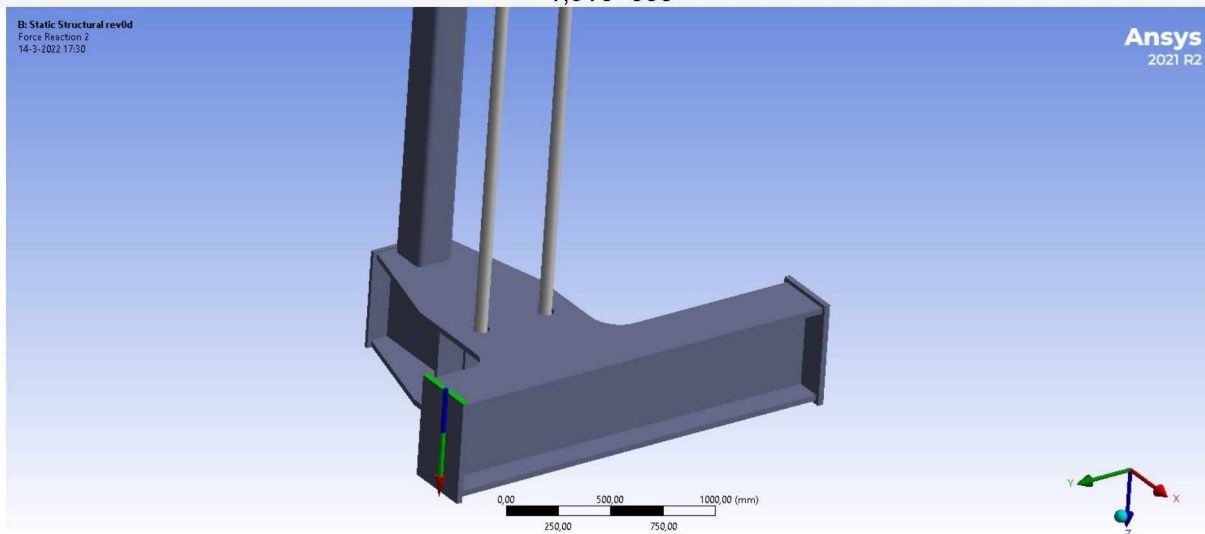
Force Reaction (Z) [N]

-2,29e+006



Force Reaction 2 (Z) [N]

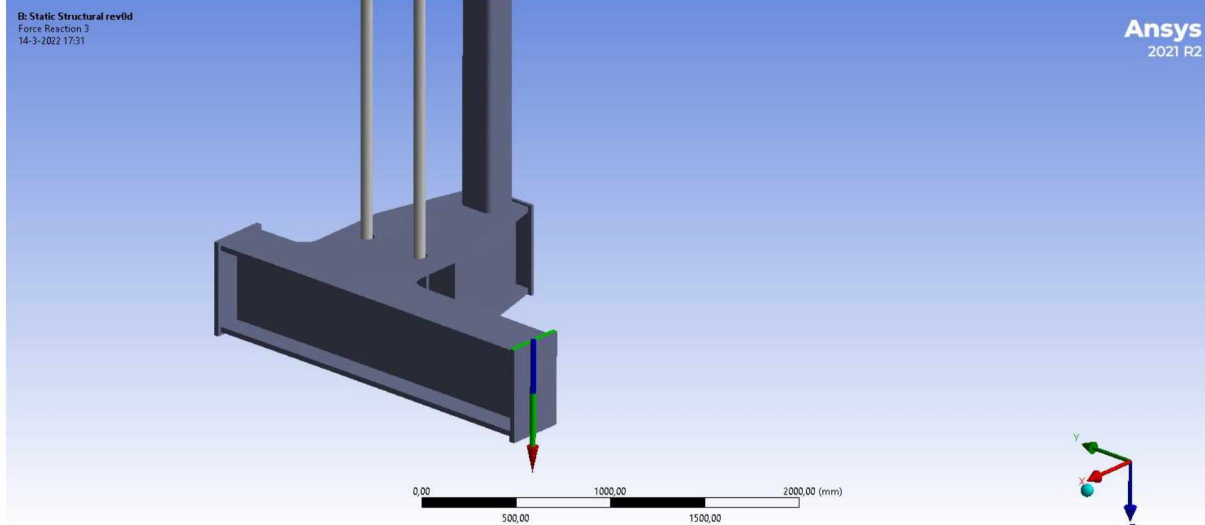
1,51e+006





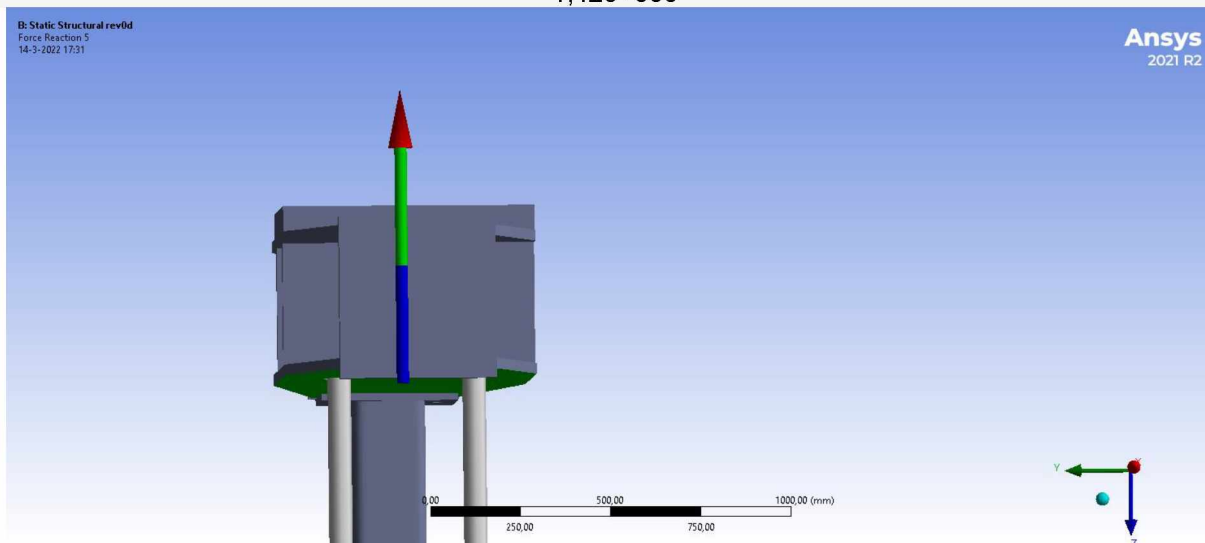
### Force Reaction 3 (Z) [N]

7,5e+005



### Force Reaction 5 (Z) [N]

-1,42e+006





### 2.6.5. Samenvatting voorspankrachten

Tabel 8: Samenvatting voorspankrachten

Reactie krachten	UGT A Montage kN	UGT B kN	UGT C kN
Voorspanstaaf 1	2302	2132	1852
Voorspanstaaf 2	2302	2135	1850

### 2.6.6. Samenvatting reactiekrachten

Tabel 9: Samenvatting reactiekrachten

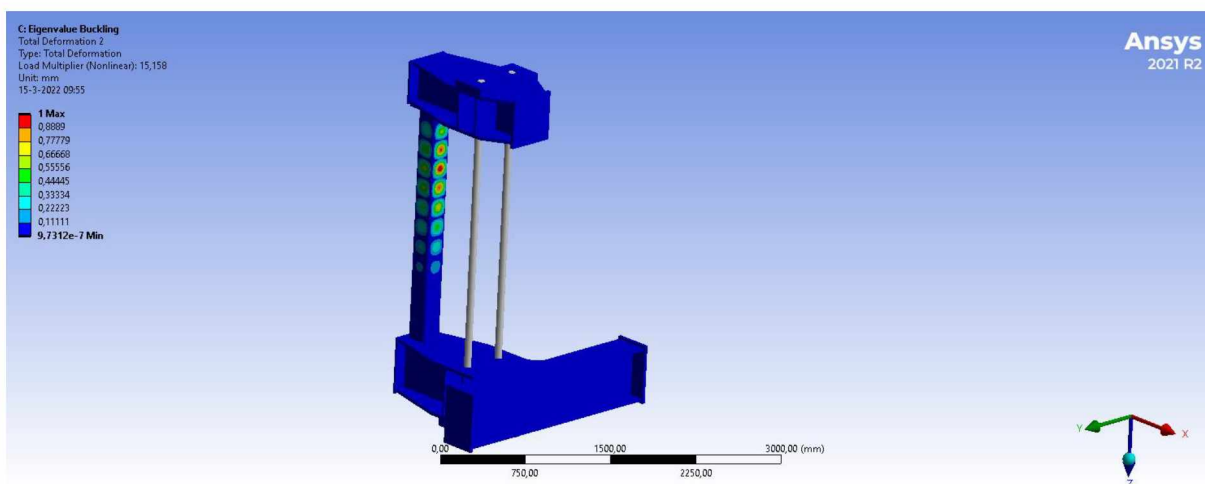
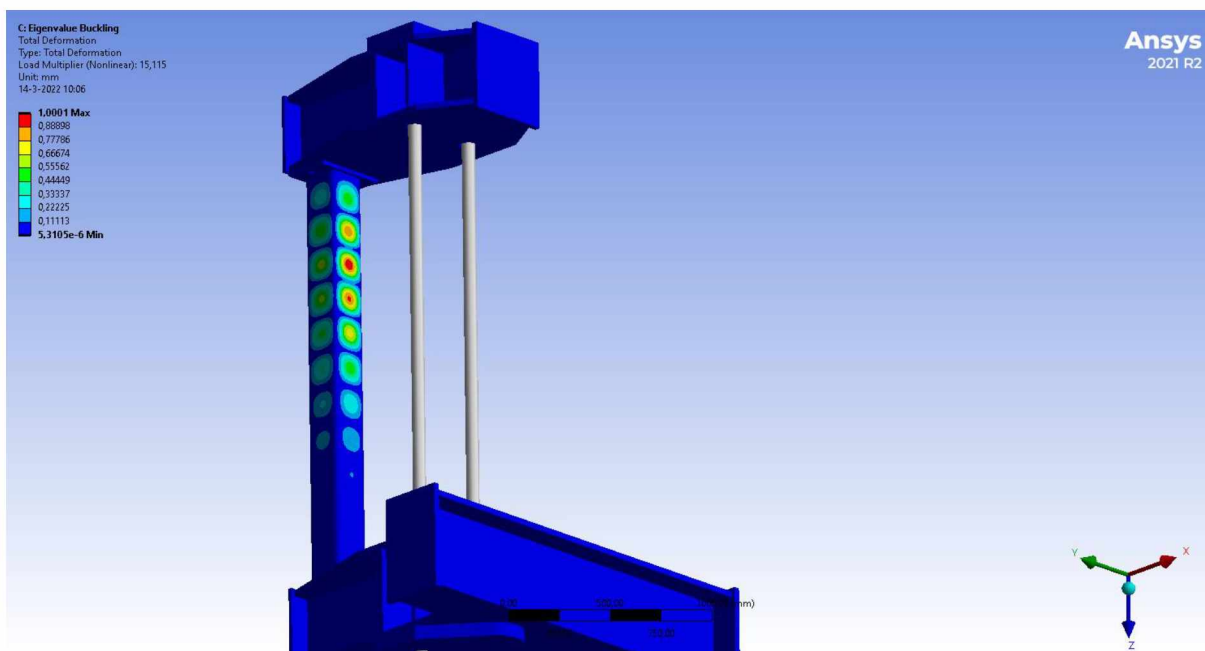
Reactie krachten in Z	UGT A Montage kN	UGT B kN	UGT C kN
Mesplaat boven	-2859	-2650	-2290
Mesplaat evenaar korte arm	1885	1750	1510
Mesplaat evenaar lange arm	936	870	750
Kolomdruk boven	-1758	-1600	-1420
Kolomdruk beneden	1758	1600	1420
Eigengewicht (approx 2750Kg)	38	35	35
Sommatie	-1	3	5



# 3 Stabiteit berekening

## 3.1. Resultaten

Mode	Load Multiplier	UC
1,	15,119	> 10 Voldoet
2,	15,162	> 10 Voldoet





## 4 Materialen

---

### 4.1. Structural Steel S355

**Density** 7,85e-006 kg mm<sup>-3</sup>

Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa	Temperature C
2,1e+005	0,3	1,75e+005	80769	

**Tensile Yield Strength MPa**

355,

### 4.2. Structural Steel Voorspanstaaf

**Density** 7,85e-006 kg mm<sup>-3</sup>

Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa	Temperature C
1,95e+005	0,3	1,625e+005	75000	



## 6 Bijlagen: Lasberekeningen

---

# BRU2484

## Lasberekening stalen klemconstructie

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam

Referentie: INFR180842

Revisie: 0

Datum: 22-03-2022



## Inhoudsopgave

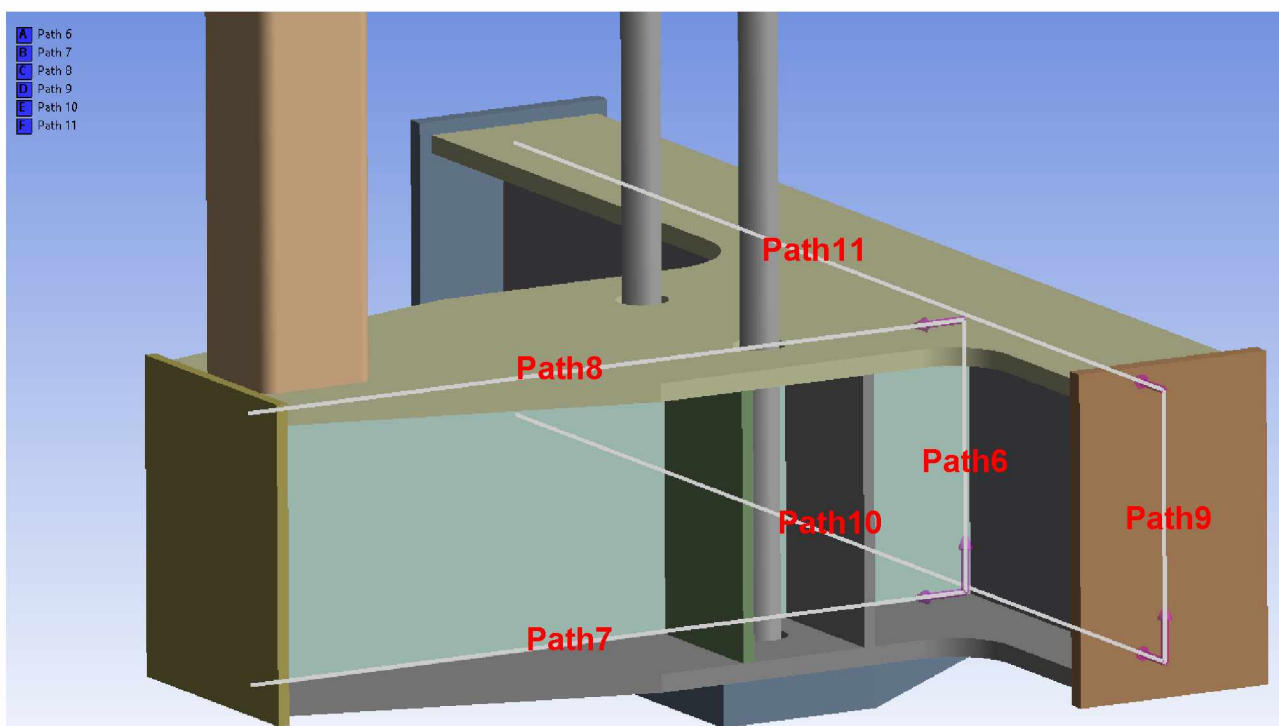
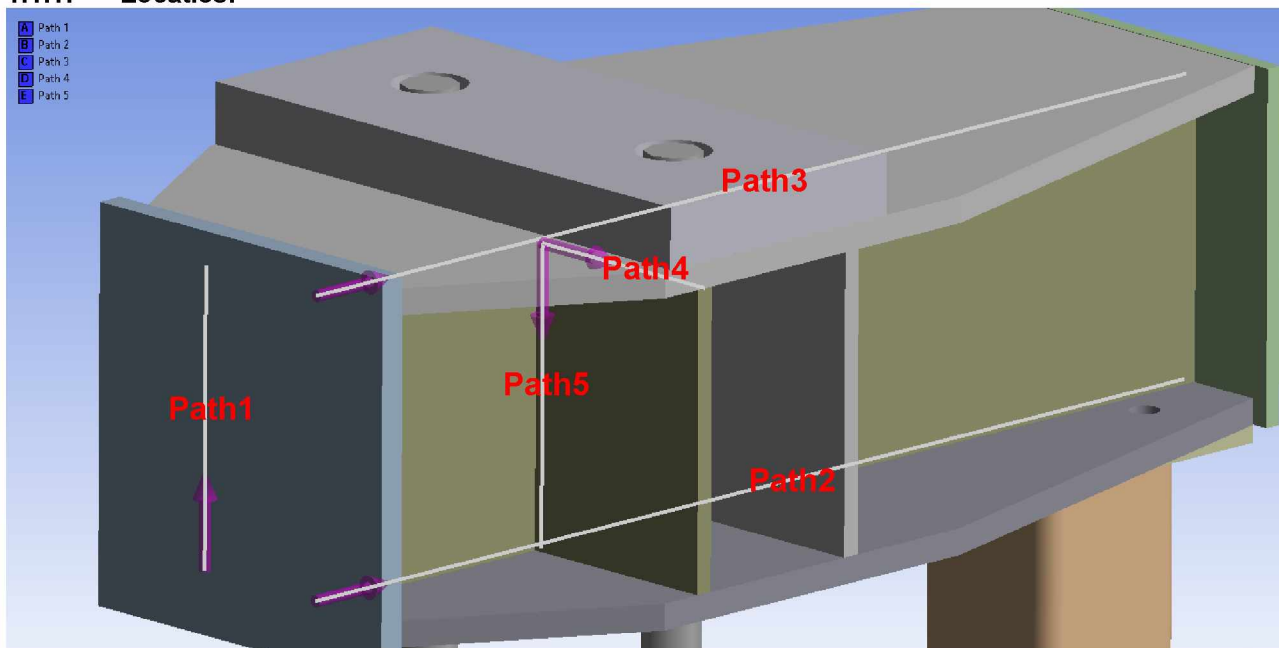
<b>1</b>	<b>Lasberekening</b>	<b>3</b>
1.1.	Lasberekening	3
1.1.1.	Locaties:	3
1.1.2.	Overzicht afmetingen en UC	4
1.1.3.	UC Checks	5
1.1.4.	FEM results	7
1.2.	Conclusie	11
1.2.1.	Klemdeel boven	11
1.2.2.	Drukkolom	11
1.2.3.	Klemdeel onder	12



# 1 Lasberekening

## 1.1. Lasberekening

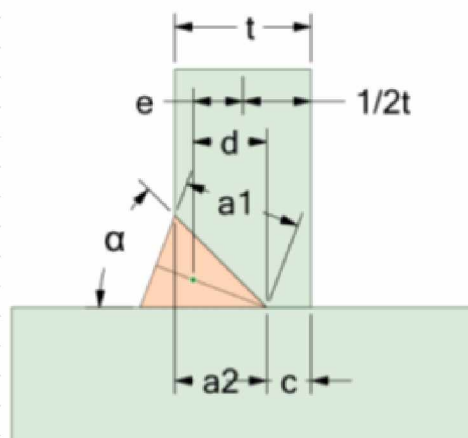
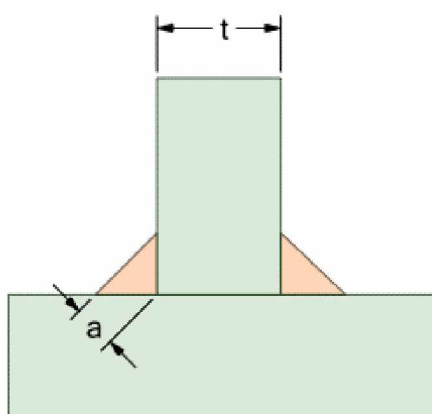
### 1.1.1. Locaties:





### 1.1.2. Overzicht afmetingen en UC

	Normaal spanning	Afschuif Spanning	Lasafmetingen	t	Alpha	a1	a2	c	d	UC		
Path1	-32.6	-124.1	Halve V-naad versterkt	30	40	20	16	14	9	0.87	<1	Voldoet
Path2	-38.3	82.9	Halve V-naad versterkt	30	40	20	16	14	9	0.69	<1	Voldoet
Path3	-111.8	-122.4	Full Strength	30	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Path4	-121.9	-0.8	Dubbele Hoeklas	20	nvt	7	nvt	nvt	nvt	0.83	<1	Voldoet
Path5	-25.4	-57.5	Dubbele Hoeklas	20	nvt	7	nvt	nvt	nvt	0.51	<1	Voldoet
Path6	-34.2	86.6	Halve V-naad versterkt	30	40	20	16	14	9	0.69	<1	Voldoet
Path7	-130.0	-55.5	Full Strength	30	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Path8	-46.2	-61.9	Halve V-naad versterkt	30	40	20	16	14	9	0.69	<1	Voldoet
Path9	-23.1	104.9	Dubbele Hoeklas	40	nvt	10	nvt	nvt	nvt	0.89	<1	Voldoet
Path10	0.4	-69.9	Dubbele Hoeklas	40	nvt	7	nvt	nvt	nvt	0.83	<1	Voldoet
Path11	-3.4	66.2	Dubbele Hoeklas	40	nvt	7	nvt	nvt	nvt	0.79	<1	Voldoet





### 1.1.3. UC Checks

#### 1.1.3.1. Materiaal gegevens

#### Berekening lassen

Staalkwaliteit S355

Nominale waarde treksterkte:  $f_u := 470 \text{ MPa}$   $t \leq 40 \text{ mm}$

Nominale waarde vloeigrens:  $f_y := 355 \text{ MPa}$

Toelaatbare schuifspanning:  $\tau_d := \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 205 \text{ MPa}$

Lasberekening volgens EN 1993-1-8

correlatie factor:  $\beta_w := 0.9$

partiële veiligheidsfactor  $\gamma_{M2} := 1.25$

Sterkte van de hoeklas: (EN 1993-1-8 formule 4.1)

(6) De rekenwaarde van de weerstand van een hoeklas zal voldoende zijn indien aan beide volgende voorwaarden voldaan is:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]^{0.5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{en} \quad \sigma_{\perp} \leq 0.9 f_u / \gamma_{M2} \quad (4.1)$$

$$f_{u,wd} := \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 418 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fr} := \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}} = 338 \text{ MPa}$$

Schuifsterkte van de las: (EN 1993-1-8 formule 4.4)

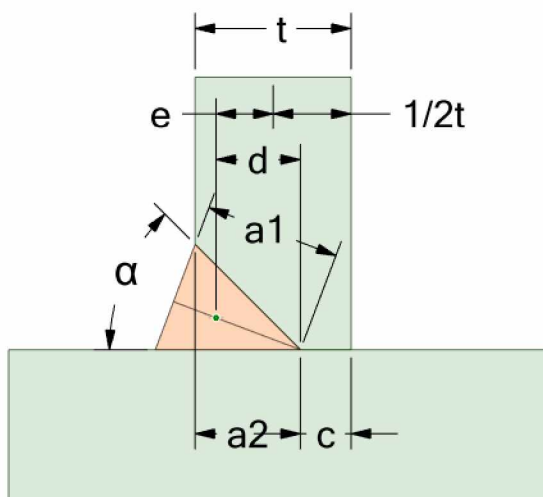
(3) De rekenwaarde van de schuifsterkte  $f_{vw,d}$  van de las behoort te zijn bepaald uitgaande van:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (4.4)$$

$$f_{v,wd} := \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = 241 \text{ MPa}$$



### 1.1.3.2. Path1 UC Check detail



Keeldoorsnede  $a_{11} := 20\text{mm}$

Hoek las:  $\alpha_1 := 40\text{deg}$

wand dikte:  $t_1 := 30\text{mm}$

$$a_{21} := \frac{a_{11}}{\cos\left(\frac{\alpha_1}{2}\right)} \cdot \cos(\alpha_1) = 16\text{mm}$$

$$c_1 := t_1 - a_{21} = 14\text{mm}$$

$$d_1 := \frac{1}{2} \cdot a_{11} \cdot \cos\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) = 9\text{mm}$$

$$e_1 := d_1 + c_1 - \frac{1}{2} \cdot t_1 = 8\text{mm}$$

Normaalspanning:  $\sigma_1 := 33\text{MPa}$

Schuifspanning:  $\tau_1 := 12\text{MPa}$

Spanning loodrecht  $\sigma$  door kracht  $\sigma_{1.1} := \frac{\sigma_1 \cdot t_1}{a_{11}} \cdot \cos(\alpha_1) = 38\text{MPa}$

Spanning loodrecht  $\sigma$  door mom.  $\sigma_{2.1} := \frac{6 \cdot \sigma_1 \cdot t_1 \cdot e_1}{a_{11}^2} = 120\text{MPa}$

Totaal spanning loodrecht  $\sigma_{3.1} := \sigma_{1.1} + \sigma_{2.1} = 158\text{MPa} \leq \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}} = 338\text{MPa}$

Schuifspanning loodrecht  $\tau_{1.1} := \frac{\sigma_1 \cdot t_1}{a_{11}} \cdot \sin(\alpha_1) = 32\text{MPa} \leq f_{v,wd} = 241\text{MPa}$

Schuifspanning evenwijdig  $\tau_{2.1} := \frac{\tau_1 \cdot t_1}{a_{11}} = 188\text{MPa} \leq f_{v,wd} = 241\text{MPa}$

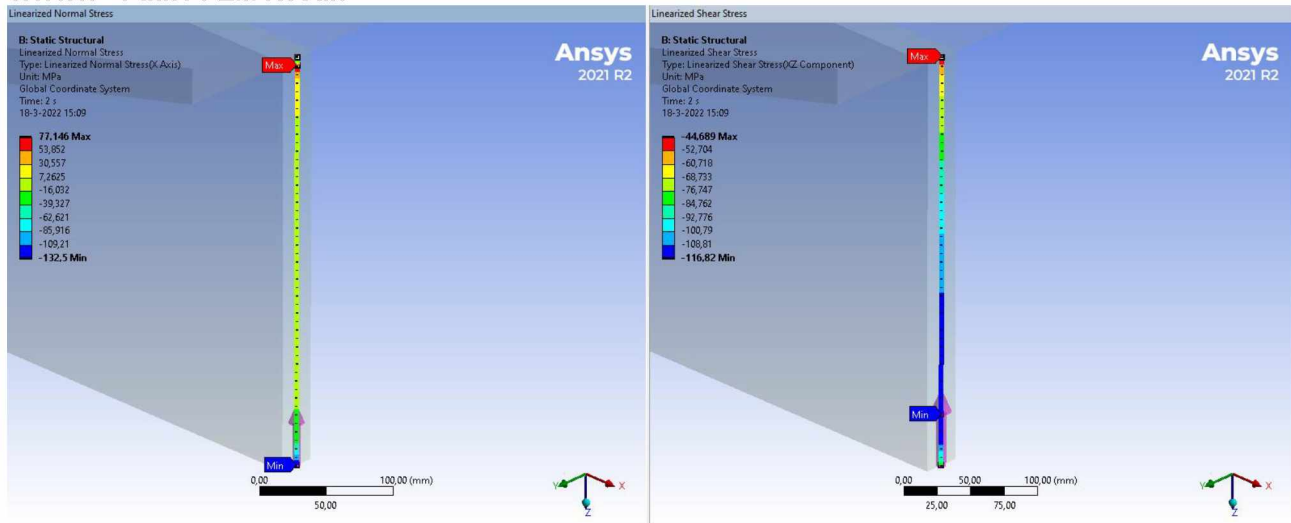
combinatie lasspanning  $\sigma_{wsd.1} := \sqrt{\sigma_{3.1}^2 + 3 \cdot (\tau_{1.1}^2 + \tau_{2.1}^2)} = 365\text{MPa} \leq f_{u,wd} = 418\text{MPa}$

Unity Check  $UC_4 := \frac{\sigma_{wsd.1}}{f_{u,wd}} = 0.87$

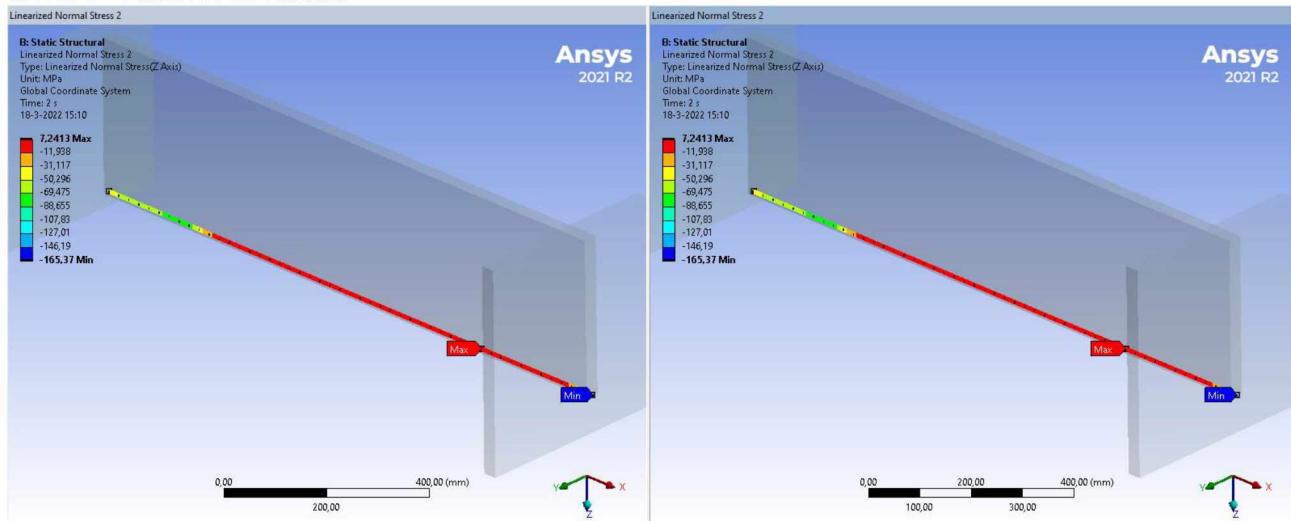


## 1.1.4. FEM results

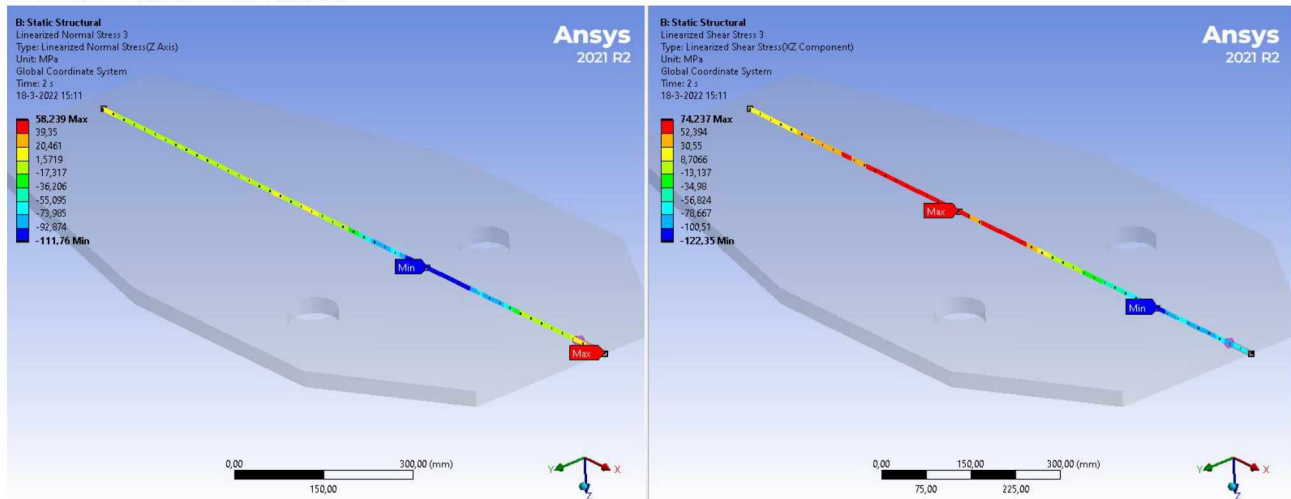
### 1.1.4.1. Path1 FEM Result



### 1.1.4.2. Path2 FEM Result

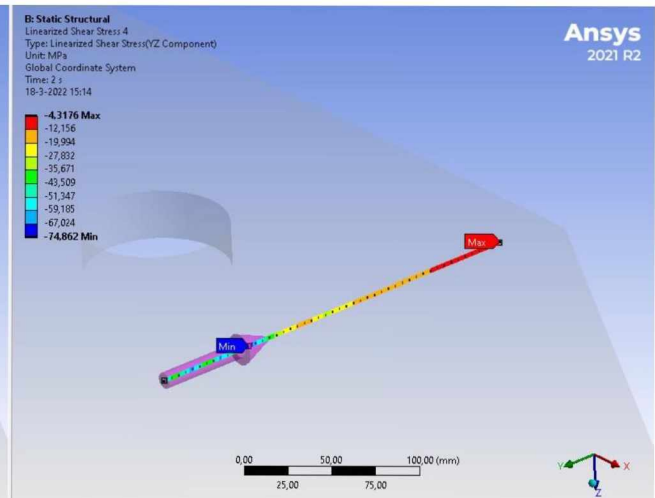
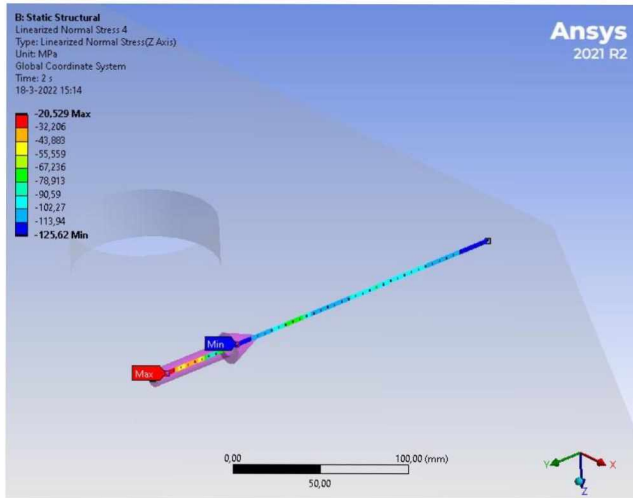


### 1.1.4.3. Path3 FEM Result

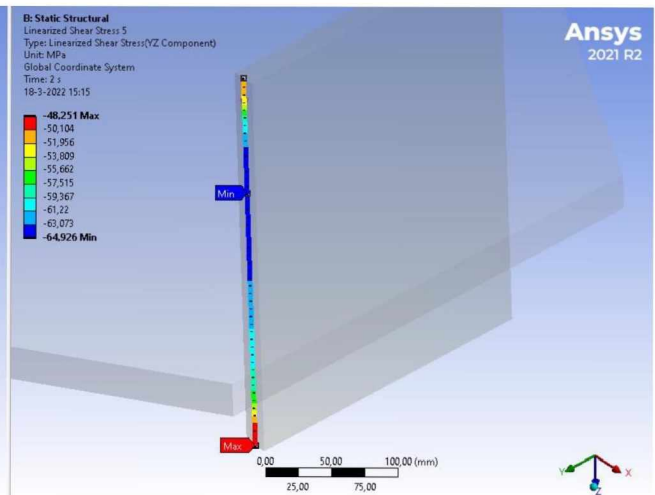
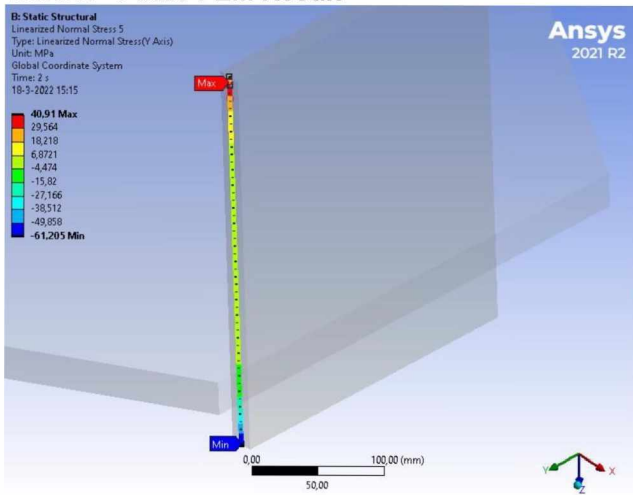




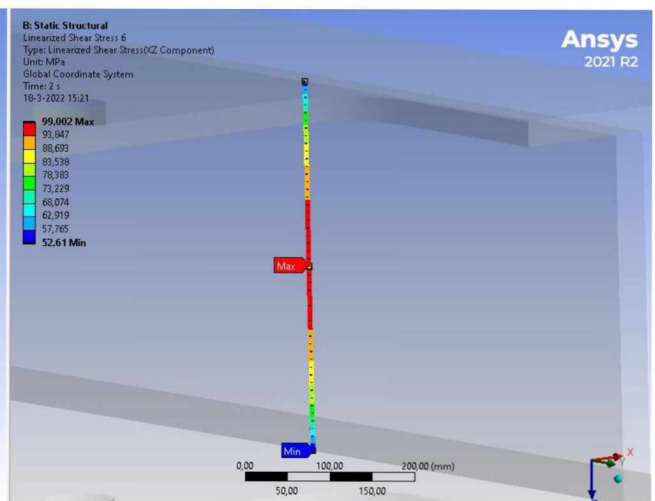
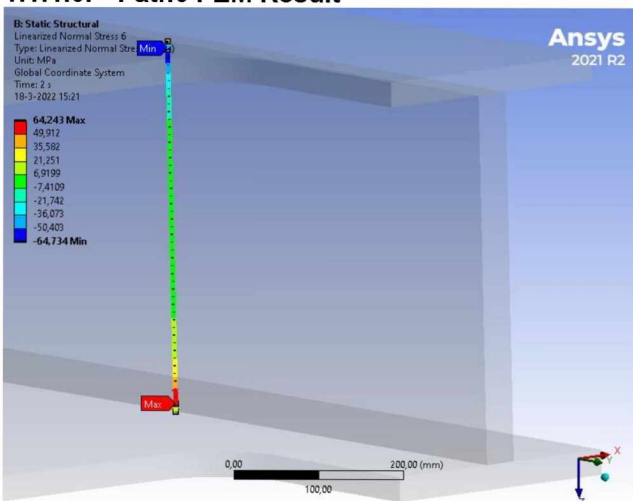
### 1.1.4.4. Path4 FEM Result



### 1.1.4.5. Path5 FEM Result

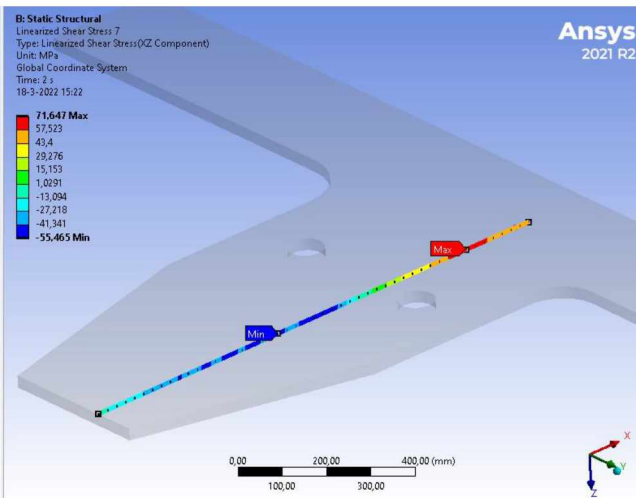
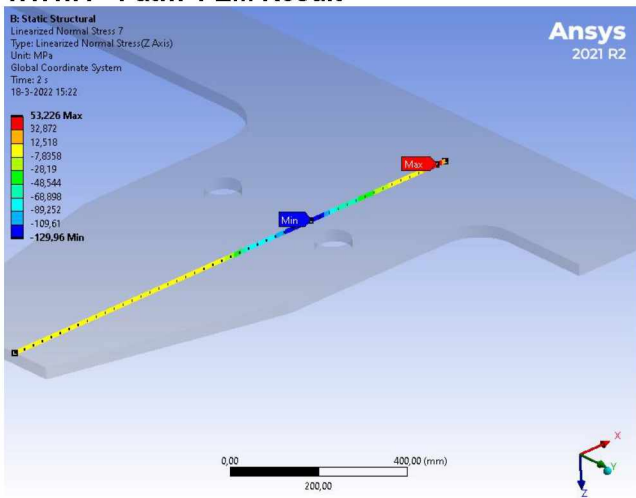


### 1.1.4.6. Path6 FEM Result

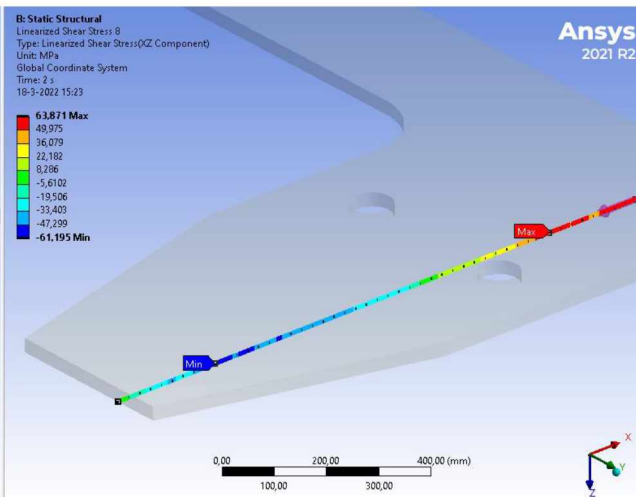
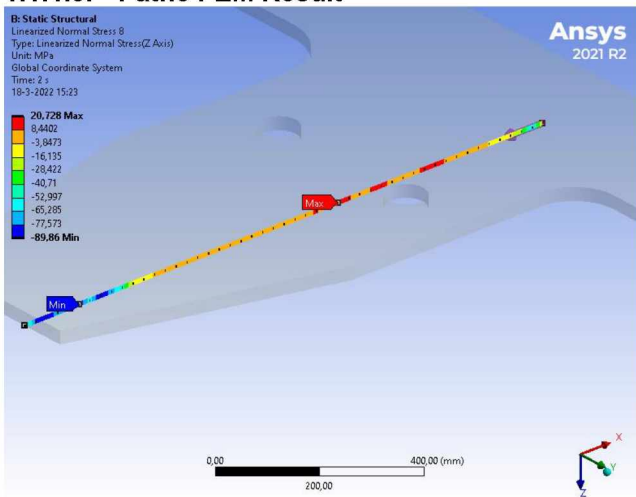




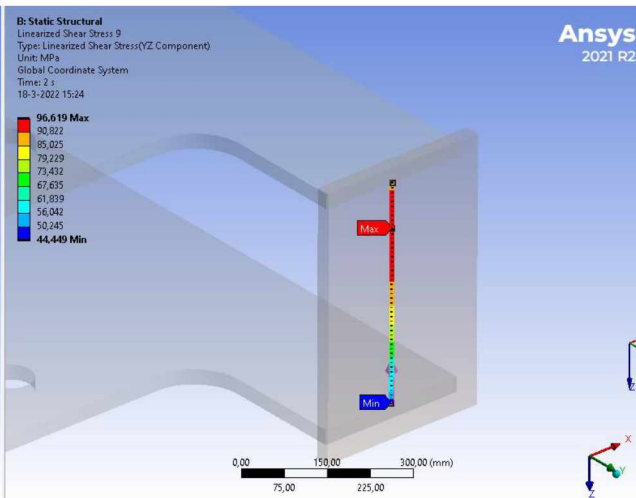
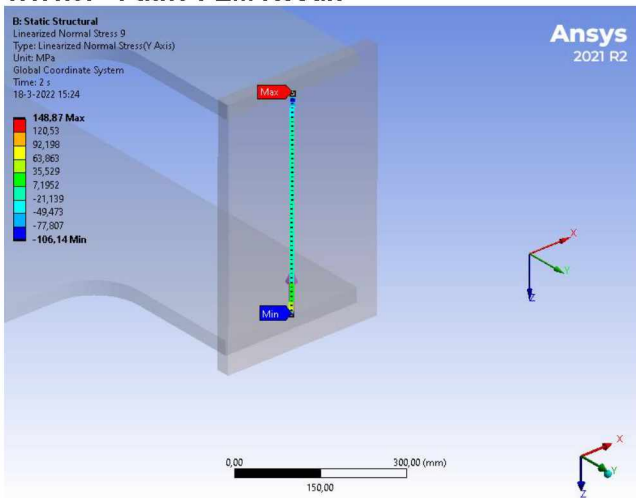
### 1.1.4.7. Path7 FEM Result



### 1.1.4.8. Path8 FEM Result

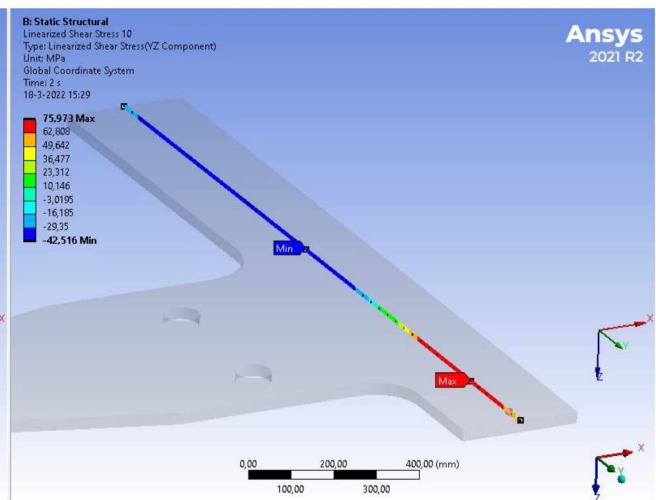
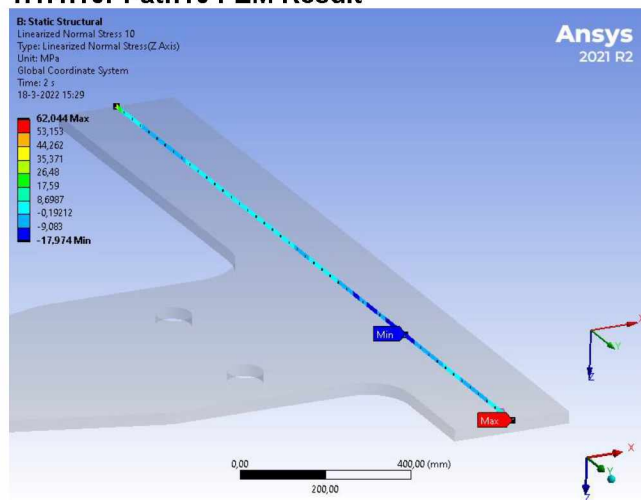


### 1.1.4.9. Path9 FEM Result

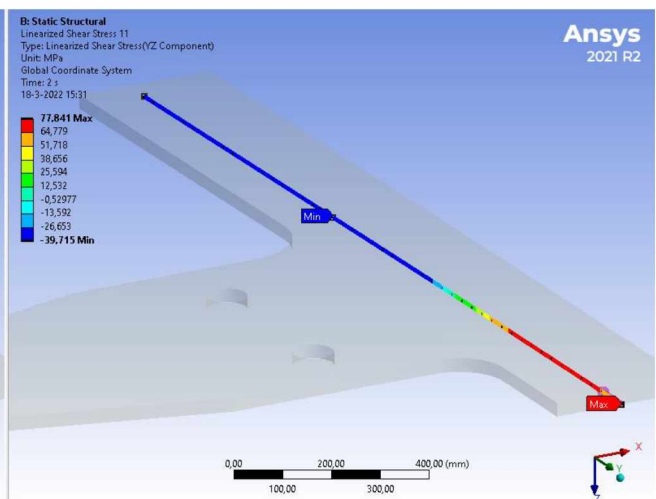
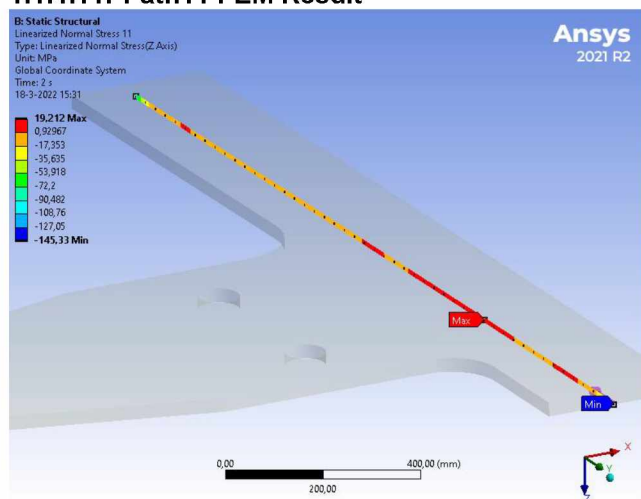




### 1.1.4.10. Path10 FEM Result



### 1.1.4.11. Path11 FEM Result

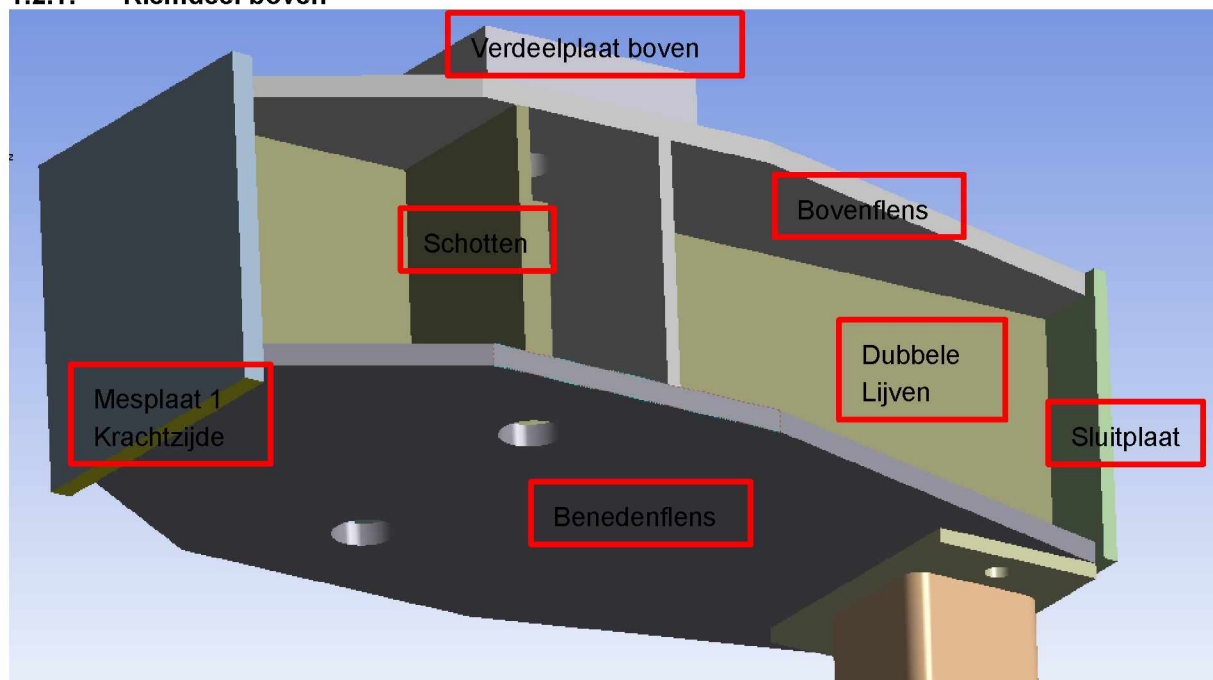




## 1.2. Conclusie

Praktische gekozen. Zie tekening INFR180842-BRU2484-TEK002 voor meer detail

### 1.2.1. Klemdeel boven

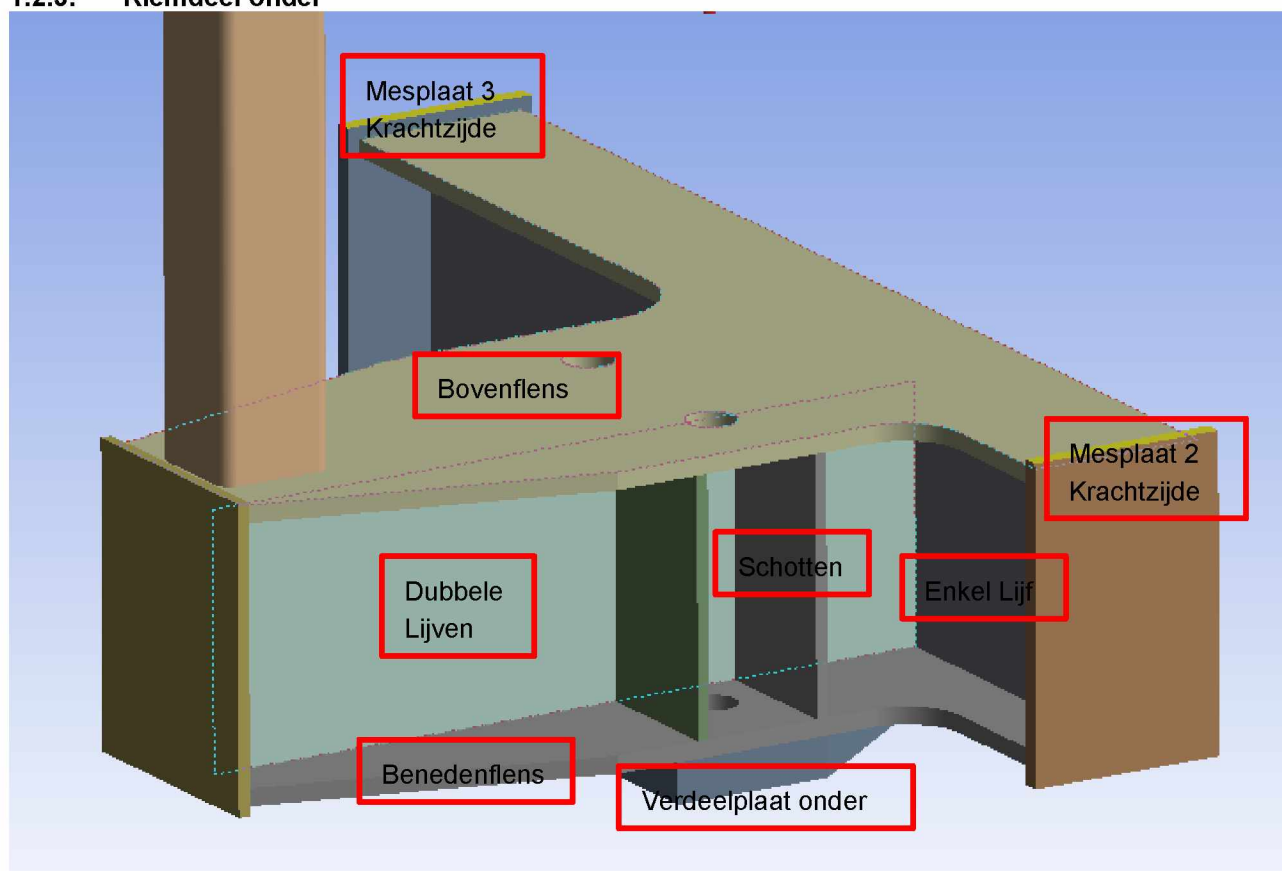


- Bovenflens-lijven langlassen: Full Strenght(FS)
- Benedenflens-lijven langlassen: FS
- Flens-mesplaat las aan krachtzijde:
  - o Buitenzijde: FS
  - o Binnenzijde: tegenlas  $a=7$
- Flens-mesplaat las niet krachtzijde: hoeklas  $a=7$ .
- Schotten bij voorspanstaven:  $a=7$  rondom
- Verdeelplaatgat-bovenflensgat las:  $a=6$ .
- Alle overige lassen  $a=7$  rondom

### 1.2.2. Drukkolom

- Drukkoker-kopplaat boven en onder: FS halve V

### 1.2.3. Klemdeel onder



- Bovenflens-lijven langlassenL FS
- Benedenflens-lijven langlassen: FS
- Flens-mesplaat las aan krachtzijde:
  - o Buitenzijde: FS
  - o Binnenzijde: tegenlas a=7
- De verticale lassen enkele lijven: rondom hoeklas a=7.
- Benedenflens-mesplaat: hoeklas a=7
- Schotten bij voorspanstaven: a=7 rondom
- Verdeelplaatgat-bovenflensgat las: a=6.
- Alle overige lassen a=7 rondom.



## 7 Bijlagen: Thermische berekening

---



# 1 Thermische belastingen

Bepaald volgens NEN-EN 1991-1-5

## Temperatuur globale opwarming:

Aanvangstemperatuur:  $T_0 := 10\Delta^{\circ}\text{C}$  (NEN\_EN 1991-1-5/NB artikel A.1)

$T_{\text{max}} := 30\Delta^{\circ}\text{C}$  (NEN\_EN 1991-1-5/NB artikel 5.3)

$T_{\text{min}} := -25\Delta^{\circ}\text{C}$

De gegeven temperaturen hebben een waarschijnlijkheid  $p = 0,02$  voor 50 jaar.  
Voor 100 jaar wordt  $p = 50j/100j = 0,01$

$p := 0.01$

$k_1 := 0.781$  Tabel NB.3 - B.1

$k_2 := 0.056$

$k_3 := 0.393$

$k_4 := -0.156$

$\text{factor}_{T_{\text{max}}} := k_1 - k_2 \cdot \ln(-\ln(1 - p)) = 1.04$

$\text{factor}_{T_{\text{min}}} := k_3 + k_4 \cdot \ln(-\ln(1 - p)) = 1.11$

$T_{e.1} := 16\Delta^{\circ}\text{C}$  (NEN\_EN 1991-1-5/NB figuur NB.1)

$T_{e.\text{max}} := \text{factor}_{T_{\text{max}}} \cdot T_{\text{max}} + T_{e.1} = 47.2\Delta^{\circ}\text{C}$

$T_{e.2} := -3\Delta^{\circ}\text{C}$  (NEN\_EN 1991-1-5/NB figuur NB.1)

$T_{e.\text{min}} := \text{factor}_{T_{\text{min}}} \cdot T_{\text{min}} + T_{e.2} = -30.8\Delta^{\circ}\text{C}$

Iv-Infra b.v.

Ingenieursbureau met Passie voor Techniek



## 8 Bijlagen: Materiaal eigenschappen

### Bepaling materiaalkwaliteit conform NEN-EN 1993-1-10: artikel 2.3.2

#### Bepaling referentietemperatuur conform NEN-EN 1993-1-10: artikel 2.2(5)

Voor constructie buiten (overeenkomstig met brug) gaat het om de minimale temperatuur in winter

$$T_{md} := -25\Delta^{\circ}\text{C} \quad \text{Conform NEN-EN 1991-1-5/NB artikel 5.3}$$

Correctie op basis van afwijkende levensduur t.o.v. referentieduur van 50 jaar

$$p := 0.02 \cdot \frac{50}{100} \quad p = 0.01 \quad \text{Conform NEN-EN 1991-1-5/NB figuur A.1} \quad \text{met reductie van de levensduur}$$

$$k_3 := 0.393 \quad \text{Conform NEN-EN 1991-1-5/NB tabel NB.4-B.1}$$

$$k_4 := -0.156$$

$$\text{factor}_{T_{\min}} := k_3 + k_4 \ln(-\ln(1 - p)) = 1.11$$

$$T_{md} \cdot \text{factor}_{T_{\min}} = -27.8\Delta^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_r := -3\Delta^{\circ}\text{C} \quad \text{Conform NEN-EN 1991-1-5/NB figuur NB6.1 bij brugtype 1/2}$$

$$\Delta T_{\sigma} := 0\Delta^{\circ}\text{C} \quad \text{Conform NEN-EN 1991-1-10 artikel 2.2(5)}$$

$$\Delta T_R := 20\Delta^{\circ}\text{C} \quad \text{Conform NEN-EN 1991-1-10/NB artikel 2.2. Let op in de NB staat -20, echter blijkt dit een typefout en moet het +20 zijn}$$

$$\Delta T_{\epsilon} := 0\Delta^{\circ}\text{C} \quad \text{Conform Designers guide EN 1993-2 pagina 16}$$

$$\Delta T_{\epsilon,cf} := 0\Delta^{\circ}\text{C}$$

$$T_{Ed} := T_{md} \cdot \text{factor}_{T_{\min}} + \Delta T_r + \Delta T_{\sigma} + \Delta T_R + \Delta T_{\epsilon} + \Delta T_{\epsilon,cf} = -10.8\Delta^{\circ}\text{C}$$

Afhankelijk van het spanningsniveau in bijzondere conditie (SLS is veilige aanname), kan op basis van tabel 2.3 de maximale plaatdikte geverifieerd worden.



**Tabel 2.1 — Maximaal toegelaten waarden van de elementdikte t in mm**

(C2)

Staal-soort	Staal-kwaliteit	Kerfslag-waarde KV		Referentietemperatuur $T_{Ed}$ [°C]																				
		Bij T [°C]	$J_{min}$	$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$						
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120

Conclusie:

- Koker  $t = 12,5\text{mm}$ : S355JR warmgewalst
- Platen  $t \leq 25\text{ mm}$ : S355JR (toegepaste platen 20 mm)
- Platen  $t \geq 25\text{ mm}$ : S355J0 (toegepaste platen 30/40 mm)
- Platen  $t \geq 40\text{ mm}$ : S355J2 (verdeelplaten 50 mm)
- Platen  $t = 100\text{ mm}$ : S355NL (verdeelplaten 100 mm)



Bepaling Z kwaliteit.

Conclusie:

- Alle gelast platen in lassamenstelling: min. **Z15**

Line	Item	Remark	Plate thickness [mm]	a) Z.a	b) Z.b	c) Z.c	d) Z.d	e) Z.e	Sum
1	Halve V aan pl. 20	min. las 20	20	6	3	4	3	0	16
2	Halve V aan pl. 30	min. las 20	30	6	3	6	3	0	18
3	Halve V aan pl. 40	min. las 20	40	6	3	8	3	0	20
4	corner joint	dubbele hoek 7 afdeekplaat	20	0	8	4	3	0	15

EN 1993-1-10 : 2005 (E)

Table 3.2: Criteria affecting the target value of  $Z_{Ed}$

a)	Weld depth relevant for straining from metal shrinkage	Effective weld depth $a_{eff}$ (see Figure 3.2) – throat thickn. $a$ of fillet welds	$Z_s$	
		$a_{eff} \leq 7\text{mm}$	$a = 5\text{mm}$	$Z_s = 0$
		$7 < a_{eff} \leq 10\text{mm}$	$a = 7\text{mm}$	$Z_s = 3$
		$10 < a_{eff} \leq 20\text{mm}$	$a = 14\text{mm}$	$Z_s = 6$
		$20 < a_{eff} \leq 30\text{mm}$	$a = 21\text{mm}$	$Z_s = 9$
		$30 < a_{eff} \leq 40\text{mm}$	$a = 28\text{mm}$	$Z_s = 12$
		$40 < a_{eff} \leq 50\text{mm}$	$a = 35\text{mm}$	$Z_s = 15$
b)	Shape and position of welds in T- and cruciform- and corner-connections		$Z_b = -25$	
		corner joints	$Z_b = -10$	
		single run fillet welds $Z_s = 0$ or fillet welds with $Z_s > 1$ with buttering with low strength weld material	$Z_b = -5$	
		multi run fillet welds	$Z_b = 0$	
		partial and full penetration welds <small>with appropriate welding sequence to reduce shrinkage effects</small>	$Z_b = 3$	
		partial and full penetration welds	$Z_b = 5$	
		corner joints	$Z_b = 8$	
c)	Effect of material thickness $s$ on restraint to shrinkage	$s \leq 10\text{mm}$	$Z_s = 2^*$	
		$10 < s \leq 20\text{mm}$	$Z_s = 4^*$	
		$20 < s \leq 30\text{mm}$	$Z_s = 6^*$	
		$30 < s \leq 40\text{mm}$	$Z_s = 8^*$	
		$40 < s \leq 50\text{mm}$	$Z_s = 10^*$	
		$50 < s \leq 60\text{mm}$	$Z_s = 12^*$	
		$60 < s \leq 70\text{mm}$	$Z_s = 15^*$	
d)	Remote restraint of shrinkage after welding by other portions of the structure	Low restraint: Free shrinkage possible (e.g. T-joints)	$Z_d = 0$	
		Medium restraint: Free shrinkage restricted (e.g. diaphragms in box girders)	$Z_d = 3$	
		High restraint: Free shrinkage not possible (e.g. stringers in orthotropic deck plates)	$Z_d = 5$	
e)	Influence of preheating	Without preheating	$Z_s = 0$	
		Preheating $> 100^\circ\text{C}$	$Z_s = -8$	

\* May be reduced by 50% for material stressed, in the through-thickness direction, by compression due to predominantly static loads.

Table 3.2: Choice of quality class according to EN 10164

Target value of $Z_{Ed}$ according to EN 1993-1-10	Required value of $Z_{Ed}$ expressed in terms of design Z-values according to EN 10164
$Z_{Ed} \leq 10$	—
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35

EN 1993-1-10 (2005 (E))



Figure 3.2: Effective weld depth  $a_{eff}$  for shrinkage

(1) The appropriate  $Z_{Ed}$ -class according to EN 10164 may be obtained by applying a suitable classification.

NOTE: For classification see EN 10025-1 and EN 10025-2 to EN 10025-6.