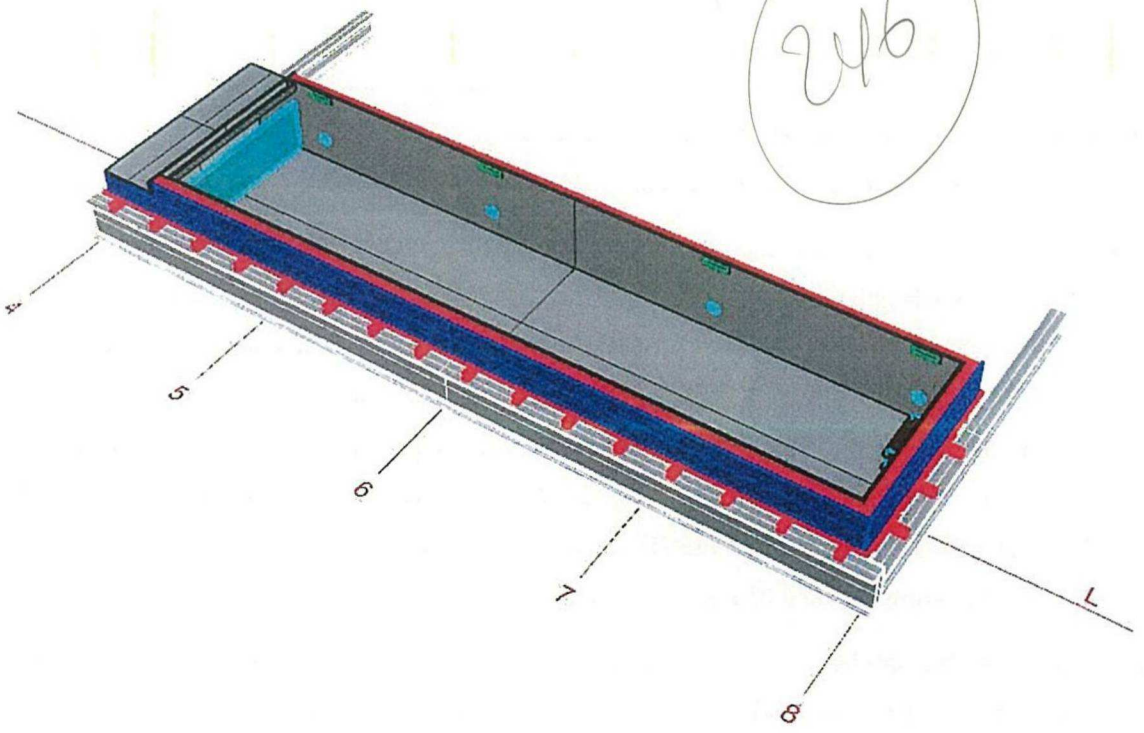
SOLICO
ENGINEERING IN COMPOSITES

Solico Engineering B.V.
Everdenberg 5A
NL-4902 TT Oosterhout
The Netherlands
Tel.: +31-162-462280 - Fax: +31-162-462707
E-mail: composites@solico.nl
Bankrelatie: Rabobank Oosterhout
Rek.nr. NL33 RABO 0311 2315 27
K.v.K. Breda nr. 66511291

Behoort bij besluit
BWT 2569391
Gemerkt dgk3-13

Gemeente Amsterdam
Centrum



SoHo Pool

Structurele verificatie

Opdrachtgever	: 4 Seasons Spa
Uitvoering	: [illegible]
Geautoriseerd	
Rapport nr.	: r_3146-1
Versie	: 4
Datum	: 22-11-2017

VAN ROSSUM RAADGEVENDE INGENIEURS
Westblaak 5e
3012 KC Rotterdam
rotterdam@vanrossumbv.nl
www.vanrossumbv.nl

O Geen opmerkingen
O Zie opmerkingen
● Indiening BWT
O Ter informatie
Datum: 16-07-2018
Paraaf: CD

SOLICO
ENGINEERING IN COMPOSITES

INHOUDSOPGAVE

1. Introductie 3

2. Geometrie 4

3. Materialen 6

3.1. Glasvezelversterkt kunststof (GVK) 6

3.2. Kernmateriaal 7

3.3. Binnen afwerking bad (tegeltjes) 7

3.4. Stalen ondersteuningsconstructie 7

4. Belastingen 8

4.1. Permanente belastingen 8

4.1.1. Eigengewicht (G) 8

4.1.2. Operationele water belasting (Q_w) 8

4.1.3. Incidentele hijs belasting (Q_H) 8

4.2. Belastingcombinaties 9

4.2.1. Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) 9

4.2.2. Uiterste grenstoestand (UGT) 9

5. Eisen t.a.v. grenstoestanden 10

5.1. Bruikbaarheidstoestand (BGT) 10

5.2. Uiterste grenstoestand (UGT) 10

5.3. Conversiefactoren voor BGT en UGT 10

6. Verificatie analyse 12

6.1.1. Eindige Elementen model 12

6.1.2. Resultaten 15

7. Conclusie 19

8. Bijlage 1: Verbindingsdetails 20

SOLICO
ENGINEERING IN COMPOSITES

1. Introductie

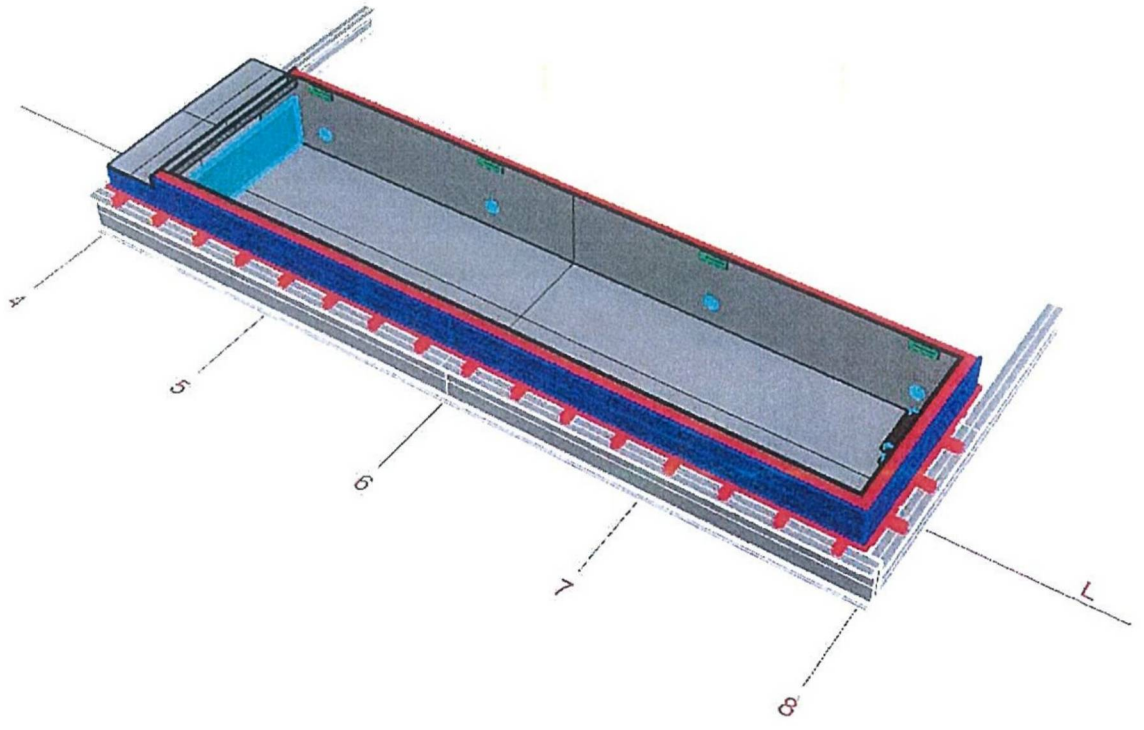
Solico Engineering BV is gevraagd om een concept analyse en verificatie rapport te genereren van het SoHo pool zwembad. Hierin worden sterkte- en stijfheden beoordeeld.

Voor de uitgangspunten zijn de volgende documenten relevant:

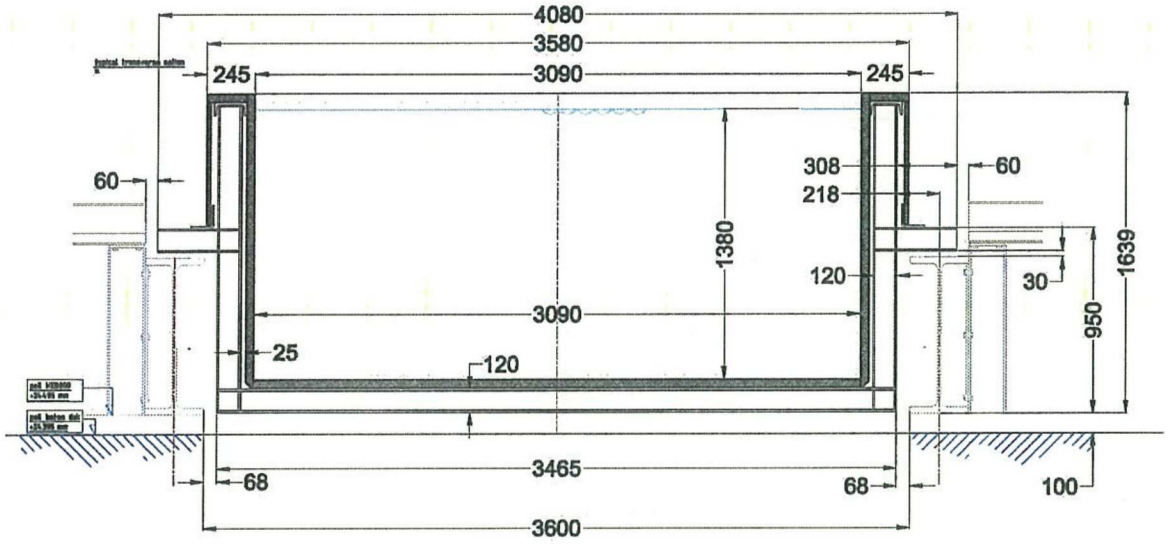
- NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011, Eurocode 0: Grondslagen van het constructief ontwerp
- NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB:2011, Nationaal bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011
- NEN-EN 1991-1-1+C1:2011, Eurocode 1: Belastingen op constructies
- NEN-EN 1991-1-1+C1/NB:2011, Nationaal bijlage bij NEN-EN 1991-1-1+C1:2011
- NEN-EN 1993-1-1+C2:2011, Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
- NEN-EN 1993-1-1+C2/NB:2011, Nationaal bijlage bij NEN-EN 1993-1-1+C2:2011
- CUR aanbeveling 96: "Vezelversterkte kunststoffen in civiele draagconstructies"

2. Geometrie

Het project omvat een composiet bad, dat gesteund wordt door een stalen onder constructie. De geometrie is omschreven in "*Soho hotel pool E4 #171025.3dm*", en tevens hieronder weergegeven.



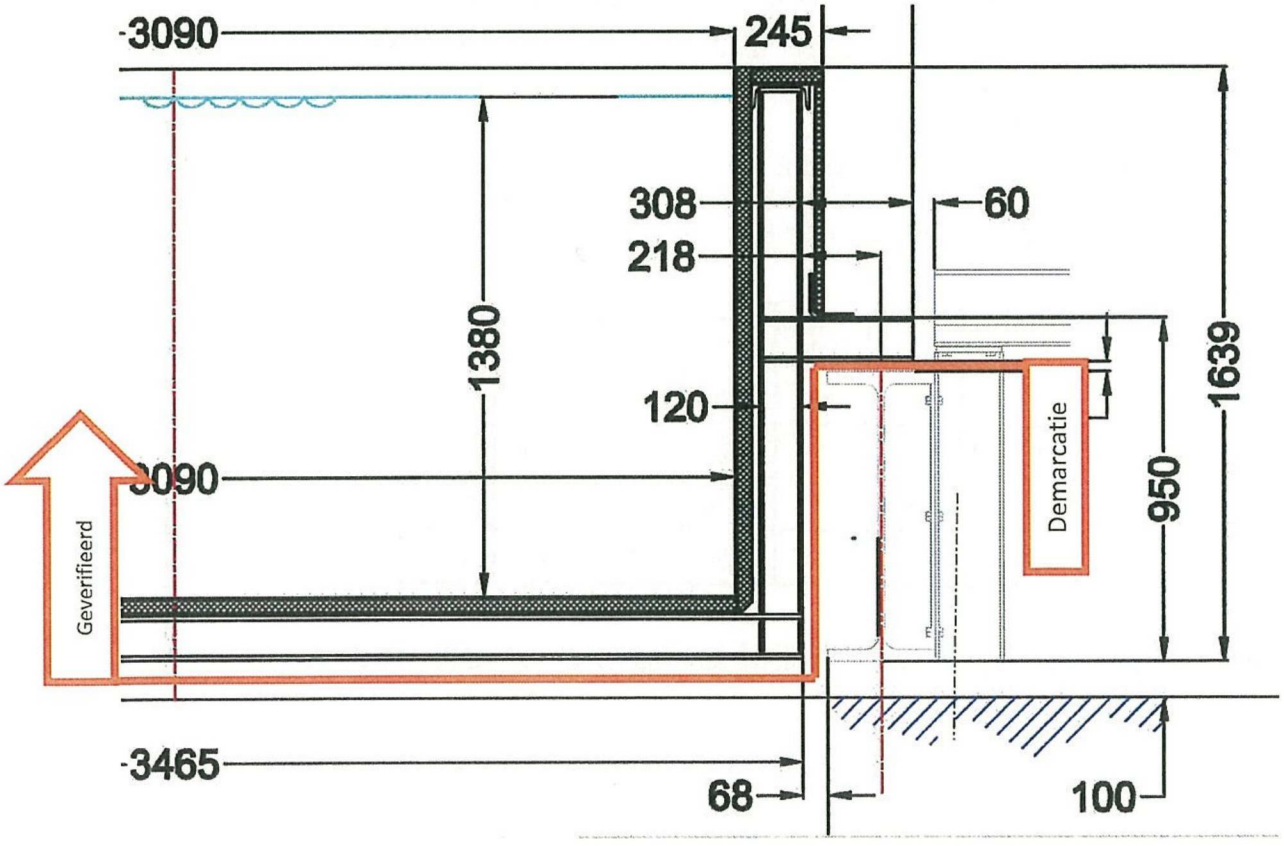
figuur 1: Isometrisch aanzicht van het bad op de stalen ondersteuningsstructuur



figuur 2: Typische doorsnede door bad en ondersteunings-structuur

Een typische doorsnede door het bad is hieronder weergegeven, met de demarcatie van hetgeen beoordeeld is.

De composiet bodem van het bad wordt ondersteund door HEB120 stalen profielen. De composiet zijwanden worden ondersteund door HEA120 profielen. Deze zijn aan elkaar gelast en vormen een U-vormig profiel, welke middels HEA120 profielen op de hoofdconstructie geplaatst wordt.



figuur 3: Typische doorsnede door bad en ondersteunings-structuur, met bijbehorende demarcatielijn.

SOLICO
ENGINEERING IN COMPOSITES

3. Materialen

3.1. Glasvezelversterkt kunststof (GVK)

De randelementen zijn gemaakt van glasvezelversterkt kunststof (GVK). De volgende materialen worden toegepast:

- Kunststof (matrix) : polyester- of vinylesterhars (thermoharder)
  noot: deze dient specifiek geschikt te zijn voor gebruik in- en rond zwembaden.

- Vezelversterking

  WR 1200 (glasweefsel) : Vlaktegewicht vezels : 1200 gr/m²
  Type vezel : E-glas
  Oriëntatie : 0° - 600 gr/m²
  : 90° - 600 gr/m²

  BX 1200 (Glaslegsel) : Vlaktegewicht vezels : 1200 gr/m²
  Type vezel : E-glas
  Oriëntatie : +45°- 600 gr/m²
  : -45° - 600 gr/m²

Noot: de lagen mogen vervangen worden voor een glaslegsel van gelijk gewicht- en oriëntatie

De afwerking- en coating van het bad is geen onderdeel van de structurele berekeningen. De bouwer dient zorg te dragen dat een harssysteem- en coating geschikt zijn voor de omstandigheden (vocht, temperatuur, chemicaliën)

De eigenschappen van glasvezelversterkt kunststof zijn bepaald conform CUR aanbeveling 96 "Vezelversterkte kunststoffen in civiele draagconstructies". De hierna volgende eigenschappen gelden voor de afzonderlijke lamellen waaruit het laminaat is opgebouwd.

	Vf %	Dikte mm	E_1 N/mm²	E_2 N/mm²	G_{12} N/mm²	ν_{12} -
WR 1200	40.0%	1.18	20011	2011	2800	0.135
BX 1200	40.0%	1.18	9016	9016	8819	0.610
QX 2400	40.0%	2.35	15466	15466	5809	0.331

tabel 1

De interlaminaire afschuifsterkte van een laminaat bedraagt 20 N/mm², conform CUR '96.

3.2. Kernmateriaal

De eigenschappen van de kernmaterialen zijn weergegeven in tabel 2.

	Eenheid	PET80	PET110	PET135
ρ	kg/m³	80	110	135
t	mm	40	40	40
E_c	N/mm²	0.96	120	146
G_c	N/mm²	13	27	35
τ	N/mm²	0.53	0.94	1.19

tabel 2

3.3. Binnen afwerking bad (tegeltjes)

Binnenzijde van het bad wordt betegeld met "standaard keramische tegeltjes".

Bij gebrek aan gegevens, is het volgende aangenomen voor de maximale toelaatbare rek in de laminaten:

	Eenheid	Standaard keramische tegeltjes
ε	%	0.1

tabel 3

3.4. Stalen ondersteuningsconstructie

Alle stalen onderdelen zijn gebouwd met S235 constructie staal.

	Eenheid	S235 constructiestaal
E_c	N/mm²	205,000
σ_{yield}	N/mm²	235
τ	N/mm²	135

tabel 4

SOLICO
ENGINEERING IN COMPOSITES

4. Belastingen

De voorziene belastingen zijn beschreven in de hierna volgende paragrafen. Het ontwerp is alleen gebaseerd op deze belastingen.

4.1. Permanente belastingen

4.1.1. Eigengewicht (G)

Het eigengewicht van de volgende onderdelen is in de berekeningen meegenomen met onderstaande soortelijke gewichten.

Onderdeel	Gewicht
Vezelversterkt kunststof	1700 kg/m^3
Kernmateriaal	80-135 kg/m^3
Staal	7850 kg/m^3

tabel 5

Daarnaast is er rekening gehouden met:

Onderdeel	Gewicht
Kern- aan huiden	2 kg/m^2 totaal
Verlijming bad- aan staal	6 kg/m^2 tpv staal
Afwerking (tegels)*	30 kg/m^2 totaal

* Alleen van toepassing bij geïnstalleerd bad.

4.1.2. Operationele water belasting (Q_w)

Waterniveau	:	1.46 m
Densiteit	:	1000 kg/m^3

4.1.3. Incidentele hijs belasting (Q_H)

Het lege bad wordt op 4 punten, aan de stalen ondersteuningspunten gehesen.

4.2. Belastingcombinaties

De belastingcombinaties zijn conform EN1990 opgesteld. Er zijn een aantal specifieke toevoegingen gedaan, gericht op:

Verificatie dat de constructie gehesen kan worden

Onderzoek naar acceptabele oneffenheden van bodem liggers.

4.2.1. Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)

BC 1.1	$1.0 \times G + 1.0 \times Q_W$	(het bad is in gebruik, met "ontwerp-" waterniveau)

4.2.2. Uiterste grenstoestand (UGT)

BC 2.1	$1.20 \times G + 1.20 \times Q_W$	(het bad is in gebruik, tot de rand gevuld)
BC 2.2	$1.20 \times Q_H$	(het bad wordt opgehesen, zonder additionele belasting)

5. Eisen t.a.v. grenstoestanden

5.1. Bruikbaarheidstoestand (BGT)

De toelaatbare rek wordt bepaald door de rek-bij-breuk van de tegeltjes. Deze bedraagt naar verwachting ca. 0.1%. De rek bij breuk in de laminaten is aanzienlijk hoger, en zal daarom niet bepalend zijn in verdere berekeningen.

5.2. Uiterste grenstoestand (UGT)

De CUR "Aanbeveling 96" schrijft materiaal- en conversiefactoren voor waarmee de eigenschappen van vezelversterkte kunststoffen afgeminderd dienen te worden.

Onzekerheden in de representatieve materiaaleigenschappen worden in rekening gebracht door de materiaalfactor γ_m. Deze bestaat uit:

$\gamma_m = \gamma_{m,1} \cdot \gamma_{m,2}$

waarin:

$\gamma_{m,1}$	= 1.35	
$\gamma_{m,2}$	= 1.70	niet nagehard hand-lamineren
$\gamma_{m,2\ kern}$	= 1.30	

γ_m = 2.30

$\gamma_{m,\ kern}$ = 1.76

5.3. Conversiefactoren voor BGT en UGT

De conversiefactor verdisconteert voorziene effecten van temperatuur, tijd, omgevingsinvloeden (vocht, zonlicht), tijdsduur van de belasting en cyclische belastingen op de materiaaleigenschappen. De conversiefactor kan per type belasting (korte- of lange duur) verschillend zijn.

De conversiefactor γ_c, is opgebouwd uit:

$\gamma_c = \gamma_{ct} \cdot \gamma_{cv} \cdot \gamma_{cf} \cdot \gamma_{ck}$

waarin:

γ_{ct}	= 1.10	temperatuurseffecten
γ_{cv}	= 1.30	voortdurend blootgesteld aan vochtige omstandigheden
γ_{cf}	= 1.10	vermoeiingseffecten
γ_{ck}	= 2.50	lange duur

Afhankelijk van de belastingduur en soort analyse (sterkte, stabiliteit, vervormingen etc.) worden de relevante conversiefactoren gecombineerd met de materiaalfactoren.

Voor de verschillende belastingen worden de conversiefactoren als volgt opgebouwd.

Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT):

A. Voor de permanente, langdurende belastingsituaties (eigen gewicht):

γ_c = 1.10 x 1.30 x 1.10 x 2.50

= 3.90

Uiterste grenstoestand (UGT):

A. Voor de permanente, langdurende belastingsituaties (eigen gewicht):

γ_c = 1.10 x 1.30 x 1.00 x 2.50

= 3.54

Op belastingen, in vezelrichtingen van het composiet, zijn de volgende factoren aanwezig:

- Bruikbaarheidsgrenstoestand $\gamma_m \times \gamma_c$ = 2.30 x 3.90 = 8.97
- Uiterste grenstoestand $\gamma_m \times \gamma_c$ = 2.30 x 3.54 = 8.14

De rek-bij-breuk is in vezelrichting van de gebruikte composiet materialen hoger dan 1.0%. De rek-bij-breuk van de tegeltjes is aangenomen op 0.1%. Deze waarde is aangenomen bij gebrek aan gegevens, en dient te worden geverifieerd met de fabrikant. De resulterende veiligheidsfactor op het composiet bedraagt om deze reden altijd meer dan 1.0 / 0.1 = 10.

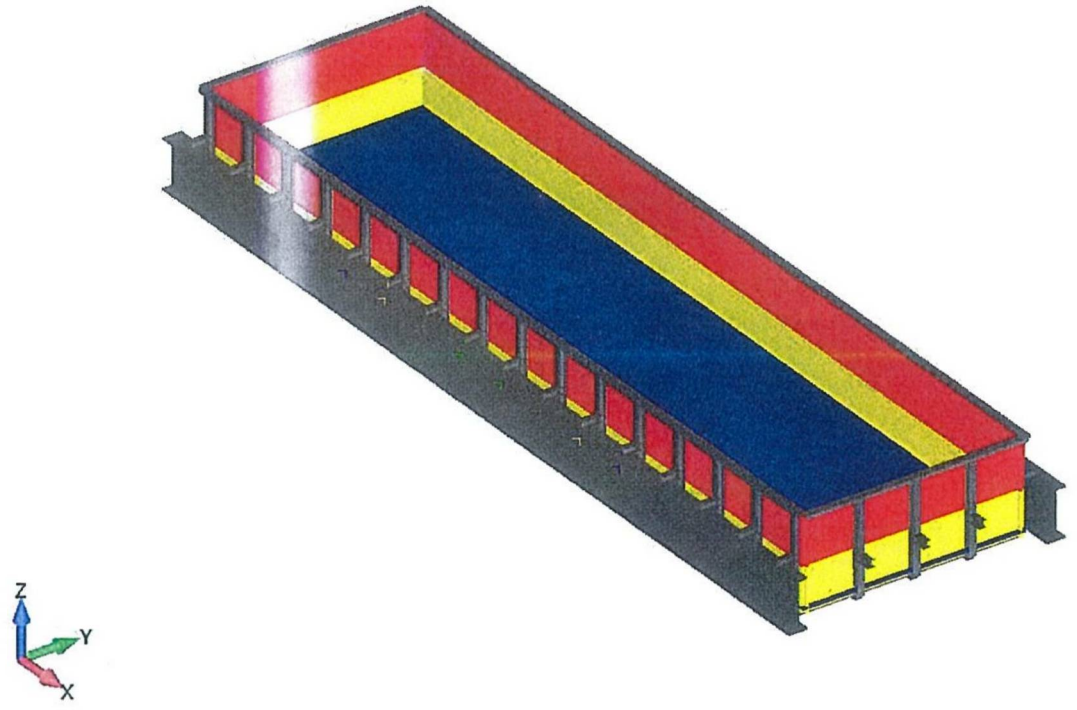
Gedurende verdere analyse zal de aandacht liggen op het limiteren van de optredende rek, tot minder of gelijk aan 0.1%, in UGT.

Aangezien een belastingfactor van 1.2 voor langdurige belastingen in UGT van toepassing is, zal deze maatgevend zijn en worden gehandhaafd in verdere berekeningen.

6. Verificatie analyse

Een Eindige Elementen analyse is uitgevoerd middels Femap v11.3.2 met NX Nastran. De resultaten hiervan worden in dit hoofdstuk gepresenteerd.

SOLICO
SOLUTIONS IN COMPOSITES



Figuur 4: Eindig Elementen Model van bad met ondersteuningsconstructie

6.1.1. Eindige Elementen model

Er zijn twee modellen opgebouwd, om rekening te houden met de aard van de twee belastingcombinaties.

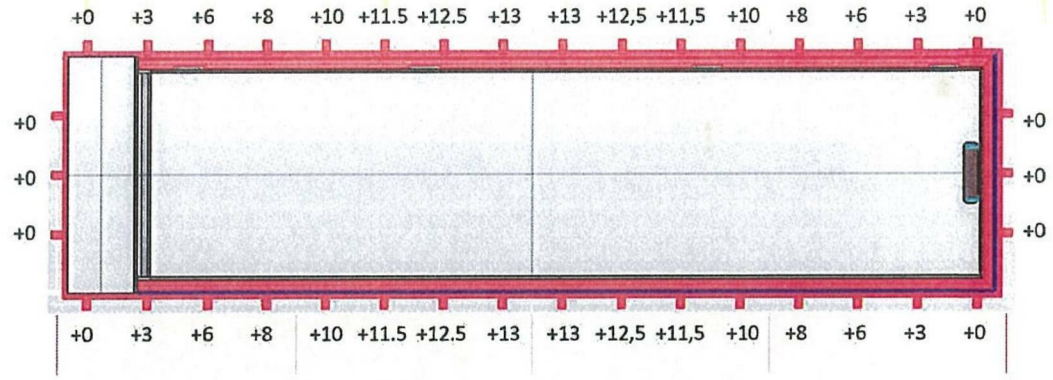
In beide modellen is rekening gehouden met het volgende:

Geometrie:	De bank aan 1 uiteinde van het bad is niet meegemodelleerd, aangezien dit resultaten positief zal beinvloeden.
Verbindingen:	De bovenrand van bad is aan de stalen regel verlijmd De overige delen van het bad zijn in contact met de staal constructie
Belastingen:	Conform Hoofdstuk 5

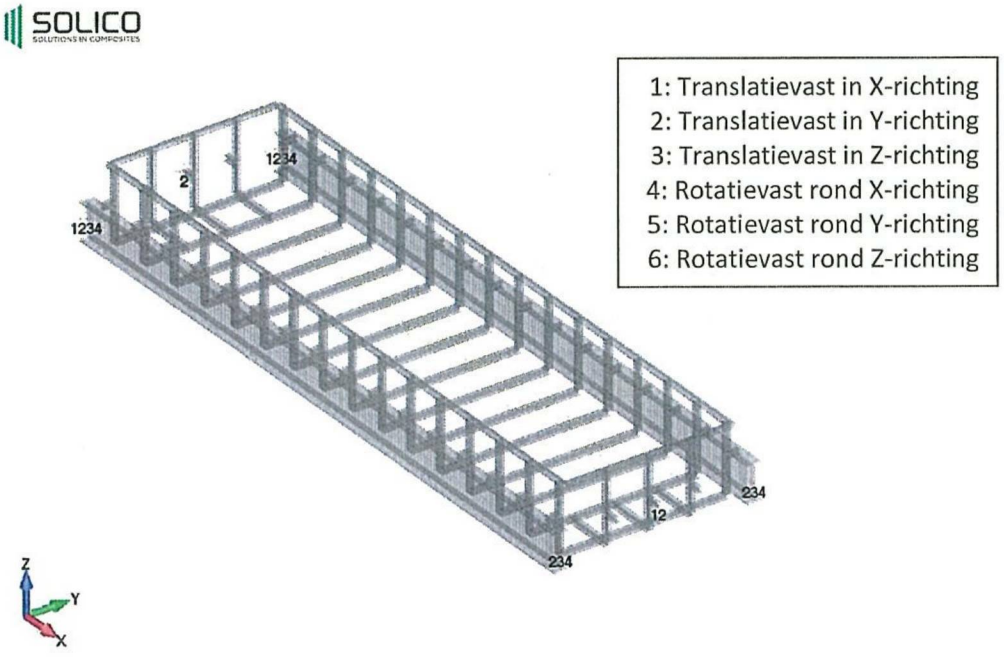
6.1.1.1. Model beschrijving BC2.1

Model opbouw: 10386 3D plaat elementen voor laminaten
1980 balk elementen

Bad ondersteuning: In het model is rekening gehouden met voorkromming van de HEB800's. Relatieve hoogte verschillen zijn hieronder weergegeven. Eventueel kan dit ook worden bereikt door het zwembad op genoemde hoogte uit te vullen.



Figuur 5: Bovenaanzicht van bad, met in mm ondersteuningshoogte



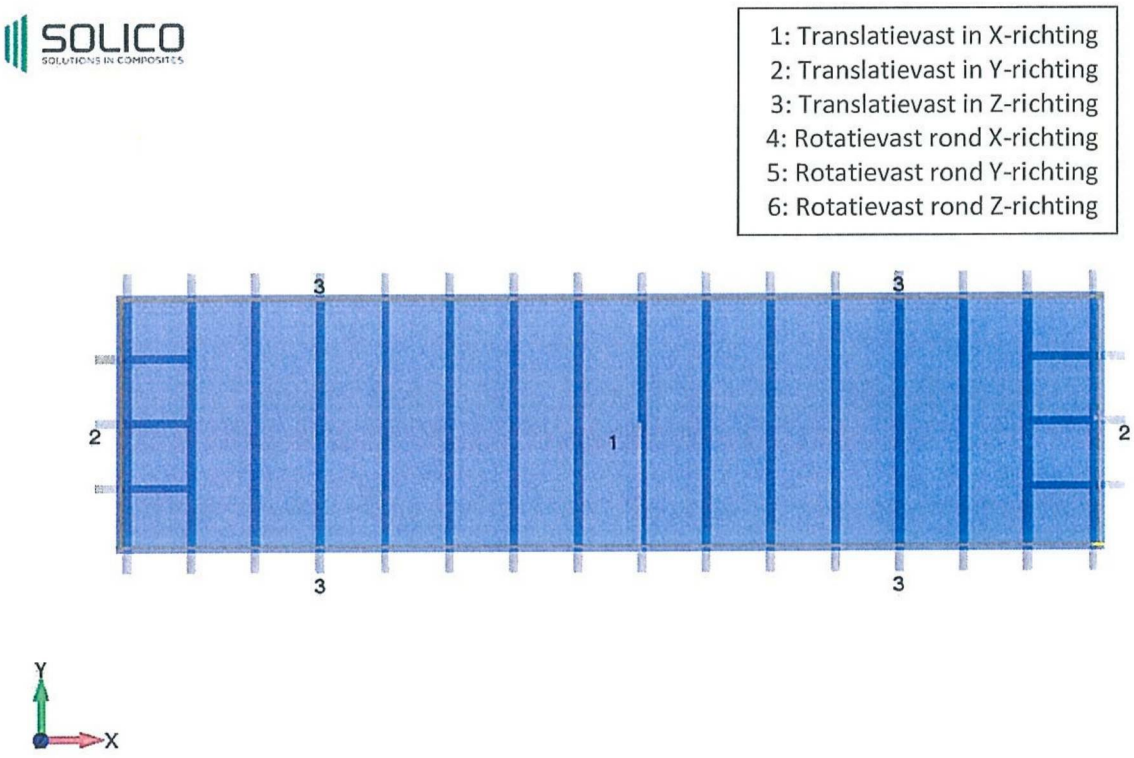
Figuur 6: Ondersteuning van het bad

Randvoorwaarden: Zoals weergegeven in Figuur 6
Daarnaast worden de ophangingsoren aan de korte zijde van het bad, na een verticale verplaatsing van 13 mm, in alle richtingen rotatie- en translatie vastgehouden.

Berekeningen: Statisch, niet-linear ("gap"-elementen)

6.1.1.2. Model beschrijving BC2.2

Model opbouw: 10386 3D plaat elementen voor laminaten
1686 balk elementen



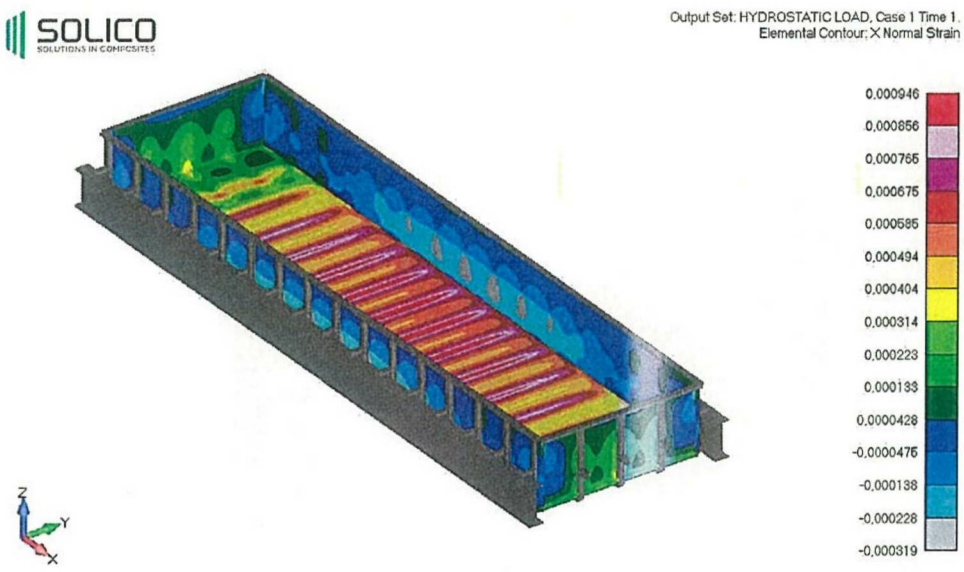
Figuur 7: Randvoorwaarden tijdens hijsen

Randvoorwaarden: Zoals weergegeven in Figuur 7

Berekeningen: Statisch Linear

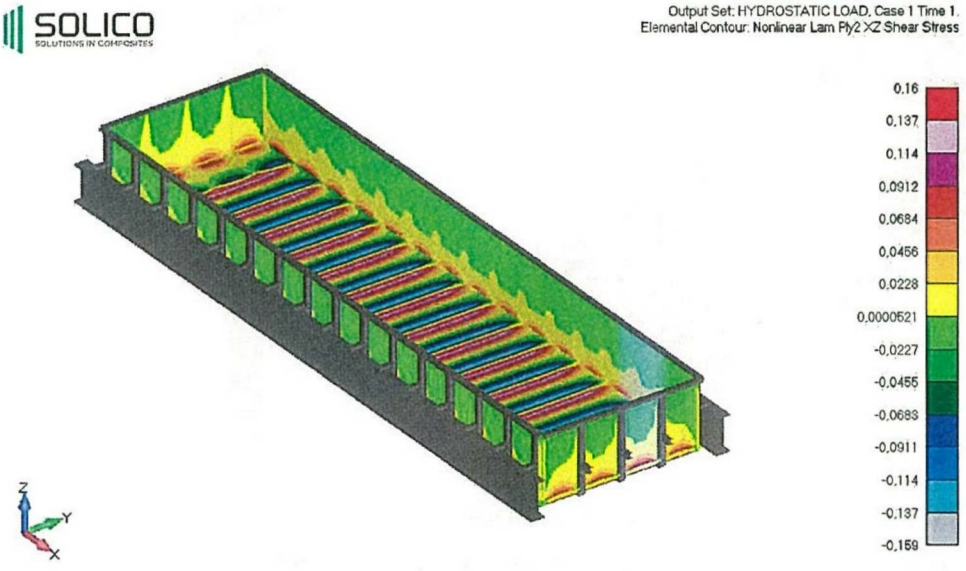
6.1.2. Resultaten

6.1.2.1. BC2.1 – hydostatische belasting



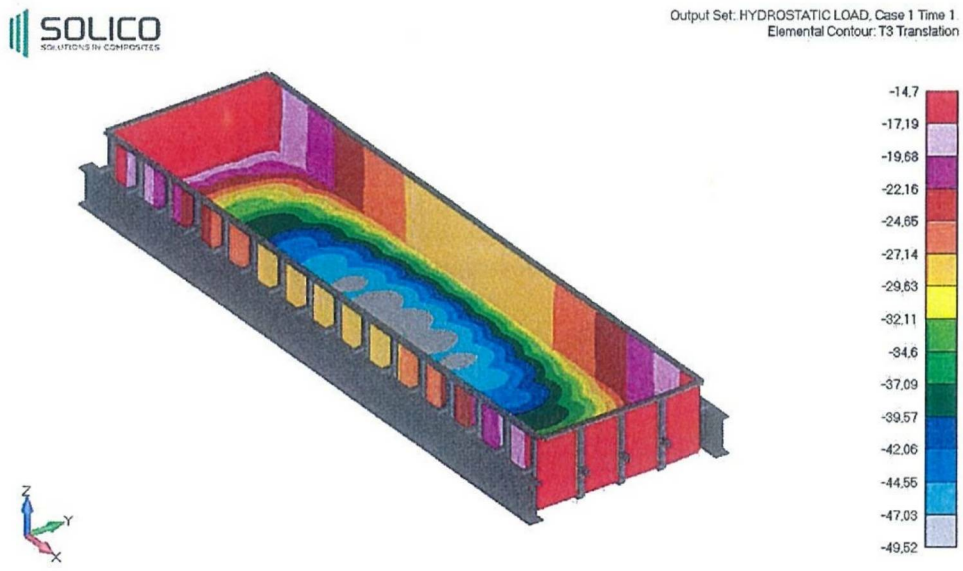
Figuur 8: Optredende rek in langsrichting van het bad, wanneer deze gevuld is

$\varepsilon_{optredend}$:	0.09	%	
$\varepsilon_{toelaatbaar}$:	0.10	%	OKAY!

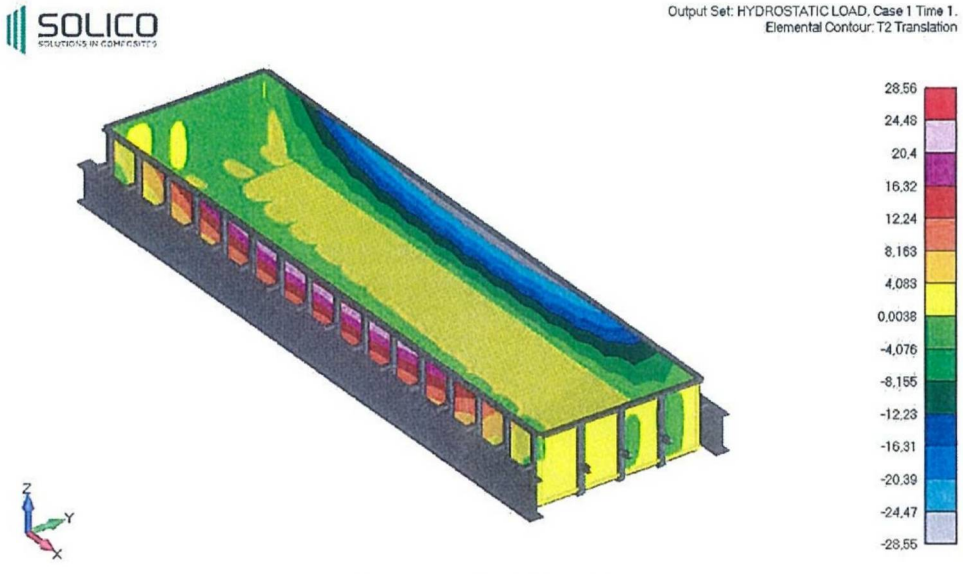


Figuur 9: Optredende afschuifspanningen in kernmateriaal, bij gevuld bad

$\tau_{optredend,\ bodem}$		=	0.16	N/mm²	
$\tau_{toelaatbaar,\ bodem}$	1.19 / 1.76 / 3.54	=	0.19	N/mm²	OKAY
$\tau_{optredend,\ zijwand,\ onder}$		=	0.09	N/mm²	
$\tau_{toelaatbaar,\ zijwand,\ onder}$	0.94 / 1.76 / 3.54	=	0.15	N/mm²	OKAY
$\tau_{optredend,\ zijwand,\ boven}$		=	0.04	N/mm²	
$\tau_{toelaatbaar,\ zijwand,\ boven}$	0.53 / 1.76 / 3.54	=	0.09	N/mm²	OKAY

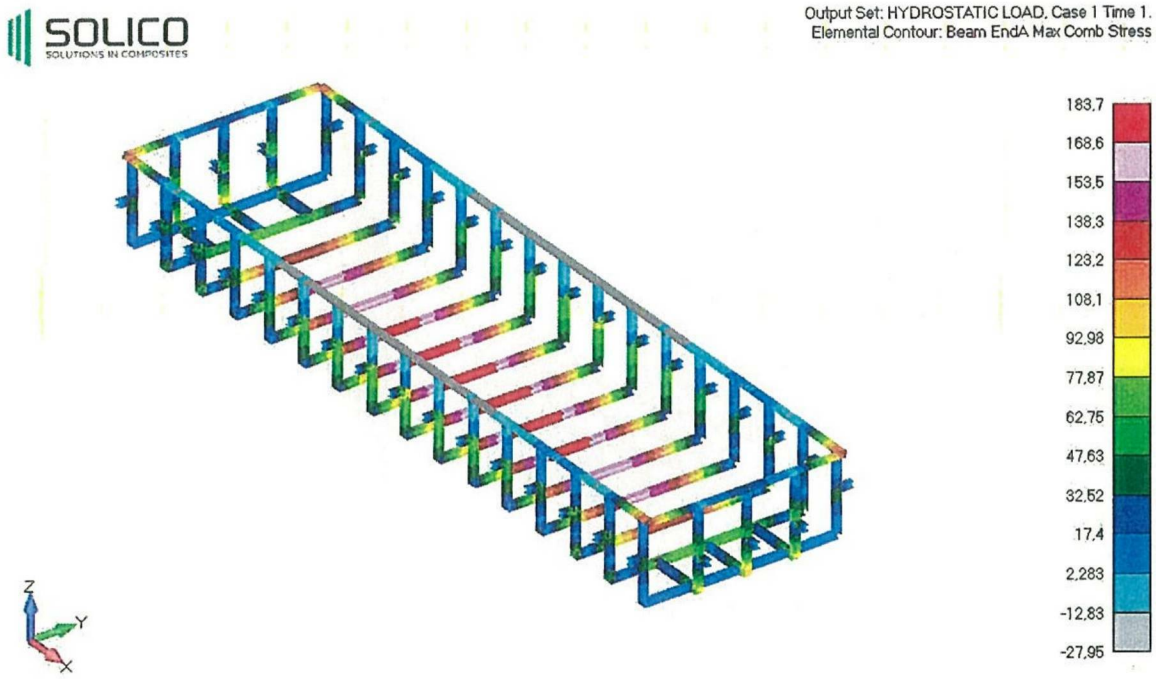


Figuur 10: Optredende verticale vervorming in verticale richting bij gevuld bad



Figuur 11: Optredende verplaatsing in horizontale (Y-) richting, bij gevuld bad

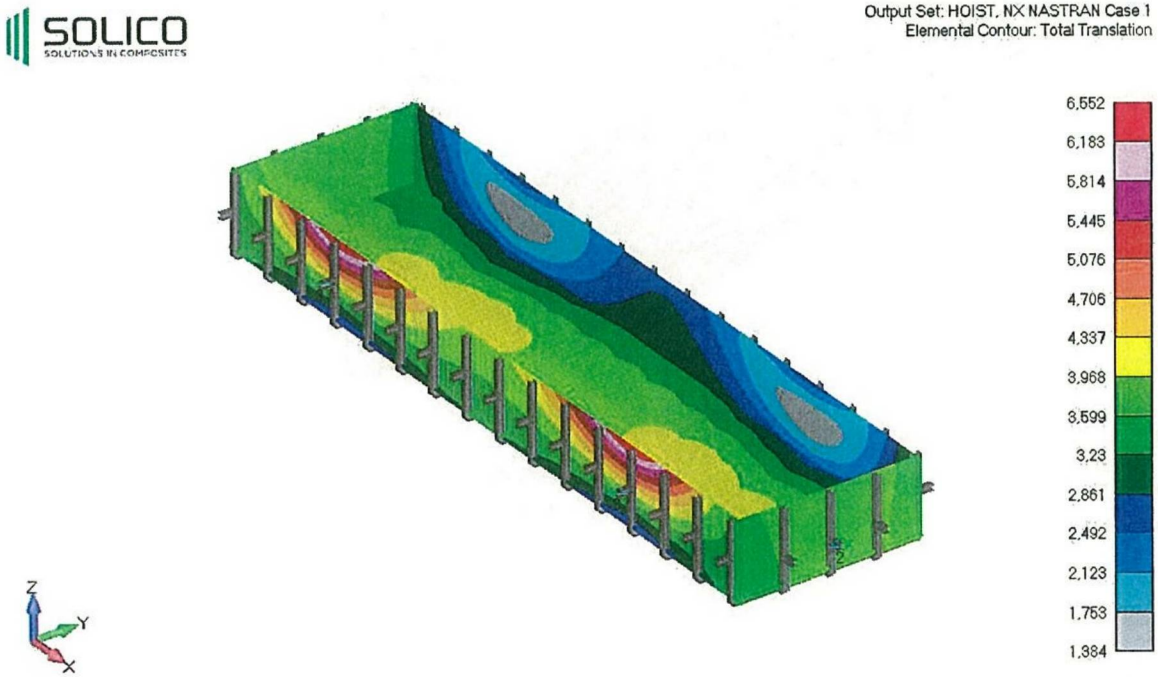
Horizontale verplaatsing van bovenrand ten gevolge van eigen gewicht en vullen van het bad bedraagt naar verwachting circa 28.6 mm



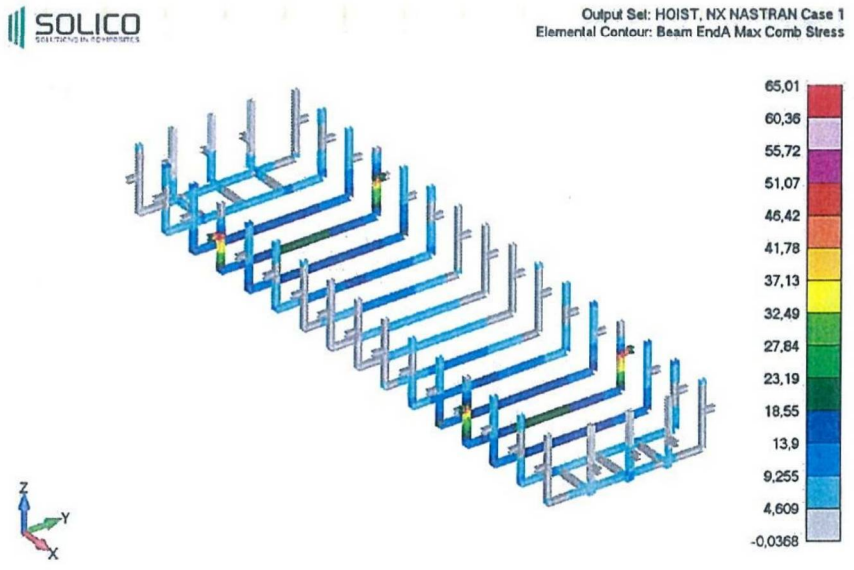
Figuur 12: Optredende spanningen in staal bij gevuld bad

$\sigma_{optredend}$	=	184	N/mm²	
$\sigma_{toelaatbaar}$	=	235	N/mm²	OKAY

6.1.2.2. BC2.2 – hijsbelasting

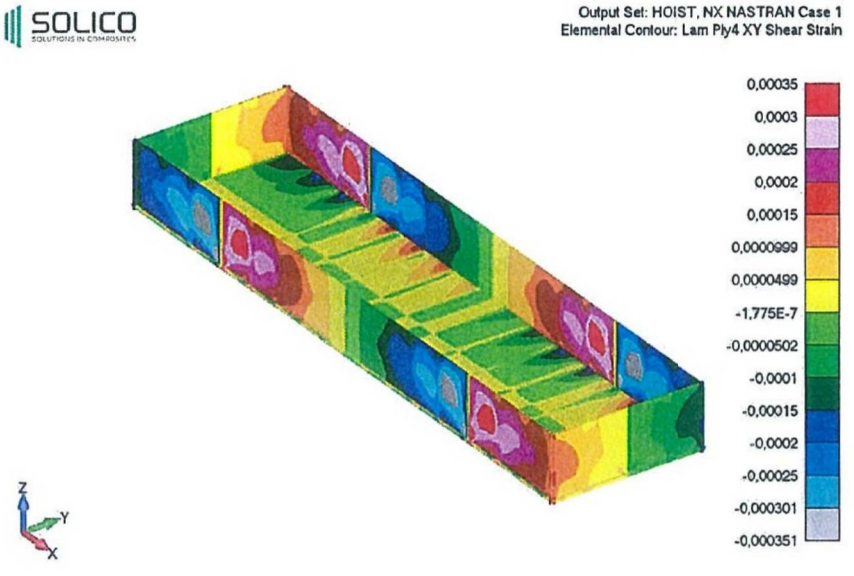


Figuur 13: Vervorming ten gevolge van hijsen (sterk vergroot weergegeven)



Figuur 14: Maximum optredende spanningen tijdens hijsen

$\sigma_{optredend}$	=	65	N/mm²	
$\sigma_{toelaatbaar}$	=	235	N/mm²	OKAY



Figuur 15: Optredende afschuifrek in het laminaat tijdens hijsen.

$\varepsilon_{optredend}$	=	0.035	%	
$\varepsilon_{toelaatbaar}$	=	0.1	%	OKAY

7. Conclusie

Het bad voldoet aan de gestelde eisen:

- Rekken in laminaten bedragen ten alle tijden minder als 0.1%.
- Vervormingen:
  - Bodem vervormt lokaal ca 35 mm (relatief)
  - Zijwanden komen door de waterbelasting ca 29 mm naar binnen. Hier zal rekening mee moeten worden gehouden in het tegelwerk.
- Spanningen in het staal zijn ten alle tijden acceptabel

Indien zijwandvervorming verkleind dient te worden, lijkt het meest effectief om de stijfheid van de bodem verstijvers (HEB120) te vergroten.

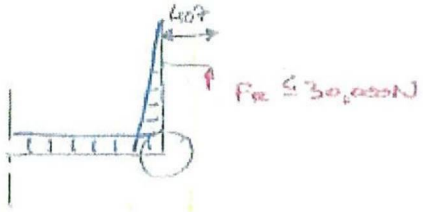
De stalen HEB800-profielen zullen lokaal onder de ondersteuningspunten moeten worden uitgevuld in het werk.

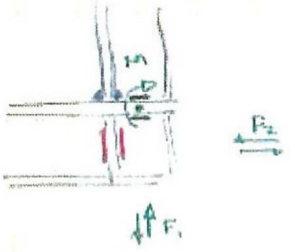
8. Bijlage 1: Verbindingsdetails

3146 - SoHo Pool - CAS Details

* ALGEMEEN:
  - $\sigma_{toelaatbaar} = \frac{F_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0.80 \cdot 1.25} = 360\ N/mm^2$
  - REACTIE KRACHTEN OPLEGGING, IN ULS
    - DWARSSPANTEN (15x) ≤ 30 kN
    - LANGSSPANTEN (3x2) ≤ 28 kN

DWARSSPANTEN





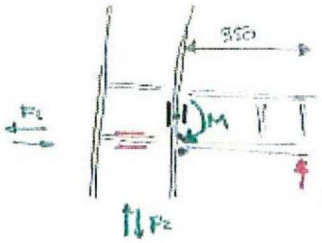
$M = 12.2 \cdot 10^6$ Nmm
$F_1 = 3 \cdot 10^4$ N
$F_2 = 1.54 \cdot 10^4$ N

$$\sigma_{EQ} = 0.707 \cdot \frac{F_{ED}}{a \cdot \ell} = 0.707 \cdot \left(\frac{12.2 \cdot 10^6}{106 \cdot 4 \cdot 30} + \frac{3 \cdot 10^4}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right) =$$

$$0.707 \cdot (320 + 42) = 256 \ N/mm^2$$ OKAY

$$\sigma_{EQ} = 0.866 \frac{F_{ED}}{a \cdot \ell} = 0.866 \cdot \frac{30000}{2 \cdot 4 \cdot 74} = 44 \ N/mm^2$$ OKAY!

$$\sigma_{EQ} = 0.866 \cdot F_{ED} = 0.866 \cdot \frac{15400}{2 \cdot 4 \cdot 74} = 23 \ N/mm^2$$ OKAY!



$M = 1.05 \cdot 10^9$ Nmm
$F_1 = 9,9 \cdot 10^4$ N
$F_2 = 3 \cdot 10^4$ N

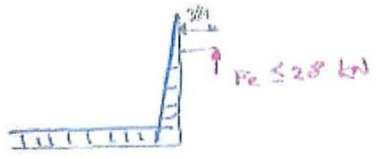
$$\sigma_{EQ} = 0.707 \cdot \frac{F_{ED}}{a \cdot \ell} = 0,707 \cdot \left(\frac{1.05 \cdot 10^7}{106 \cdot 4 \cdot 30} + \frac{9.9 \cdot 10^4}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right) =$$

$$0.707 \cdot (275 + 138) = 292 \ N/mm^2$$ OKAY!

$$\sigma_{EQ} = 0.866 \cdot \frac{F_{ED}}{a \cdot \ell} = 0.866 \cdot \frac{9.9 \cdot 10^4}{2 \cdot 4 \cdot 74} = 145 \ N/mm^2$$ OKAY!

$$\sigma_{EQ} = 0.866 \cdot \frac{F_{ED}}{a \cdot \ell} = 0.866 \cdot \frac{30000}{2 \cdot 4 \cdot 74} = 44 \ N/mm^2$$ OKAY!

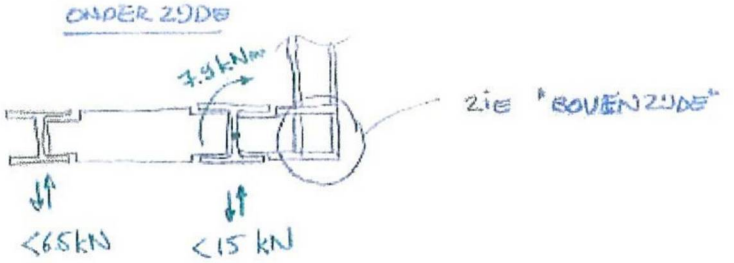
LANGSSPANTEN



BOVENZIJDE

AANGEZIEN ZOWEL DE REACTIEKRACHT, ALS OOK DE MOMENT ARM KLEINER ZIJN ALS BIJ HET DWARSSPANT, ZULLEN OPTREDENDE BELASTINGEN OOK KLEINER ZIJN, DUS ACCEPTABEL.

ONDERZIJDE

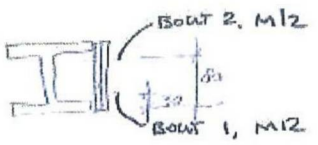


FLENS VOLLEDIG DOORLASSEN. (STOMPE LAS) OKAY!

LIJVEN: $0.866 \cdot \frac{F_{RO}}{a \cdot l} = 0.866 \cdot \frac{15000}{4 \cdot 90} = 36\ N/mm^2$ OKAY!

KOPPLATEN "STANDAARD" UITVOEREN. (15 mm DIK)

8.8 BOUTEN, GEROLDE DRAAD



$F_1 = 3/8\, F_2$

$M_{OPTREDEND} = \frac{7.9 \cdot 10^6}{2} = 4.95 \cdot 10^6\ Nmm$

$F_1 \cdot a_1 + F_2 \cdot a_2 = 4.95 \cdot 10^6\ Nmm$

$F_2 = 43.3\ kN$

$F_{TUD} \Rightarrow 3/8 \cdot F_2 \cdot 30 + F_2 \cdot 80 = 4.95 \cdot 10^6$

$F_2 = 43.3\ kN \leq 48.56$. OKAY!

$F_{VUD} \Rightarrow \frac{15}{4} = 3.75\ kN \leq 32.53$ OKAY!

GECOMBINEERD: $\frac{43.3}{48.56} + \frac{3.75}{1.4 \cdot 32.53} = 0.974 \leq 1$ OKAY!