11

SID
STUDIO

**CLUB de VILLE te NIJMEGEN**

CONSTRUCTIEVE BEREKENING

i.o.v.

6 JULI 2016

**Project nummer:** P0092

**Status:** Definitief

**Door:**

**Datum:** 06-07-2016

# INHOUD


1 INLEIDING ..... 5

2 RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN ..... 6

2.1 Tekeningen en rapporten ..... 6

2.2 Normen ..... 6

2.3 Indeling constructie ..... 6

2.4 Belastingen ..... 6

2.4.1 Permanente belastingen ..... 6

2.4.2 Gebruikers belastingen ..... 7

2.4.3 Windbelastingen ..... 7

2.4.3.1 Berekening windstuwdruk ..... 7

2.4.3.2 Berekening drukcoëfficiënt $c_{pe}$ dak ..... 8

2.4.3.3 Berekening drukcoëfficiënt $c_{pe}$ gevels ..... 12

2.4.4 Sneeuwbelastingen ..... 13

2.4.5 Wateraccumulatie ..... 13

2.4.6 Ballast ..... 13

2.4.7 Voorspanning ..... 13

2.4.8 Buitengewone belastingen ..... 14

2.4.9 Vervormingen ..... 14

2.4.10 Belastingfactoren ..... 14

2.4.11 Belastingcombinaties ..... 14

2.5 Materiaal ..... 15

3 MODEL ..... 16

3.1 Profielen en dimensionering ..... 16

3.2 Rekenmodel ..... 17

4 SPANNINGEN EN VERVORMINGEN ..... 20

4.1 Krachten en spanningen ..... 20

4.2 Vervormingen ..... 23

4.3 Controle ..... 24

5 OPLEGKRACHTEN ..... 25

5.1 Oplegkrachten in x-richting ..... 25

5.2 Oplegkrachten in y-richting ..... 25

5.3 Oplegkrachten in z-richting ..... 26

5.4 Reactiemomenten Mzz ..... 26

6 CONCLUSIE ..... 27

A1 BIJLAGE: REACTIEKRACHTEN ..... 28

A2 BIJLAGE: TEKENINGEN .....31

# 1 INLEIDING

Cantina Mobilé heeft SIDstudio benaderd voor het maken van de constructieve berekening van de tentconstructie van Club de Ville welke geplaatst wordt in Nijmegen juli 2016. In de onderstaande foto is de constructie weergegeven welke in dit rapport verder uitgewerkt zal worden. Eerst worden de randvoorwaarden en uitgangspunten behandeld, vervolgende de krachten en constructieve controle van de constructie, waarna uiteindelijk de reactiekrachten op de vloerconstructie opgegeven worden.



*Figuur 1: Tentconstructie Club de Ville*

# 2 RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN

## 2.1 Tekeningen en rapporten

De volgende tekeningen en rapporten liggen ten grondslag aan dit rapport:

[1] Tekeningen en AutoDesk Revit model van Club de Ville door ZJA "xxx Club de Ville tent b" – zie Bijlage A2.

[2] Schets met profielen en dimensionering – ontvangen via de mail van Cantina Mobilé B.V. d.d. 23-06-2016.

## 2.2 Normen

Uitgangspunt voor de berekeningen en controle van de constructie vormt de Eurocode. De volgende codes zijn gebruikt:

[A] NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB: Gronslagen van het constructief ontwerp
[B] NEN-EN 1991-1-1+C1/NB: Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
[C] NEN-EN 1991-1-3+C1/NB: Belastingen op constructies – Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting
[D] NEN-EN 1991-1-4+A1+C2/NB: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting
[E] NEN-EN 13782 (en): Temporary structures – Tents – Safety

## 2.3 Indeling constructie

| | | |
|---|---|---|
| ▪ Ontwerplevensduurklasse | 1 | (NEN-EN 1990: Tabel NB.1 – 2.1)<br>Levensduurklasse 1 in combinatie met een gevolgklasse CC2 levert een referentieperiode van 15 jaar op. |
| ▪ Categorie / klasse | Tijdelijke constructie | (NEN-EN 13782 HS.1) |
| ▪ Gevolgklasse: | CC2 | Club de Ville is een tentconstructie van tijdelijke aard volgens NEN-EN 13782 HS.1 welke wordt ingedeeld in gevolgklasse CC2. Hier is voor gekozen daar er grote mensenmassa's aanwezig zijn onder de constructie. Dit wordt beschouwd als middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, welke ingedeeld is onder CC2. |

## 2.4 Belastingen

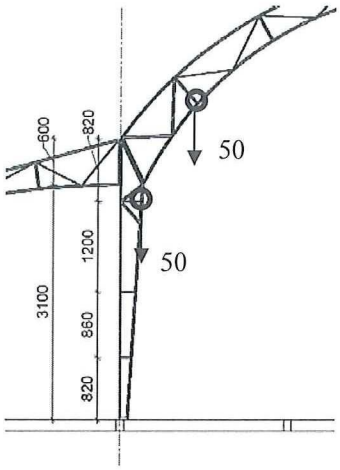
### 2.4.1 Permanente belastingen

| | | |
|---|---|---|
| Eigengewicht: | staal | 78,5 kN/m$^3$ |
| Rustende belasting: | tentdoek | 0,002 kN/m$^2$ |

### 2.4.2 Gebruikers belastingen

Mogelijke gebruikersbelasting wordt veroorzaakt door het ophangen van verlichting aan de constructie. Deze belasting wordt geschaard onder veranderlijke gebruikersbelasting daar deze en kan op twee plekken aan een spant worden gehangen. De verlichting zal aan beide zijden van het boogspant geplaatst kunnen worden en bedraagt 50 kg per ophangpunt, zie Figuur 2.

- puntlast $Q_k$ = 0,5 kN, (50kg).




*Figuur 2: ophangpunten 50kg t.b.v. verlichting*

### 2.4.3 Windbelastingen

De windbelastingen zijn bepaald volgens Eurocode NEN-EN 1991-1-4 en de Nationale Bijlage NEN-EN 1991-1-4 NB, zie [D].

De windbelasting is afhankelijk van de locatie, de omgeving en de afmetingen + vorm van het bouwwerk – dat geldt voor zowel hoogte, breedte als lengte. De afmetingen en vorm van het bouwwerk worden verwerkt in de drukcoëfficiënten, waarmee de wind-stuwdruk worden vermenigvuldigd. Drukcoëfficiënten geven het resulterend effect van de wind op een constructie, constructie-element of onderdeel per oppervlakte-eenheid.

#### 2.4.3.1 Berekening windstuwdruk

Uitgangspunt voor dit rapport is de opbouw van de tent in Nijmegen – onbebouwd windbelastinggebied III. In dit gebied liggen de door de wind veroorzaakte extreme stuwdrukwaarde $q_{p(z)}$ bij een hoogte van 6m op 0,58 kN/m², zie NEN-EN 1991-1-4 Tabel NB.5.

Echter heeft de opdrachtgever aangegeven bij een windlast van 6 op de schaal van Beaufort de tent te ontruimen en de constructie te versterken en/of (deels) af te breken. De opdrachtgever zal een plan van aanpak moeten voorleggen wat er gedaan wordt indien de windsnelheid optreedt.

*Tabel 1: Bepaling $q_p$*

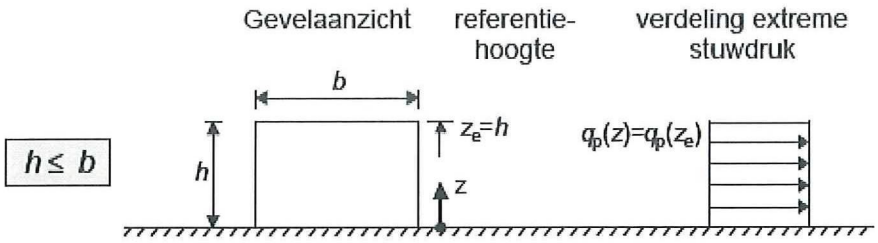
| Schaal van Beaufort | | Wind [m/s] | $q_{gered}$ [kN/m²] z=6m |
|---|---|---|---|
| 9 | storm | 24,4 | 0,575 |
| 8 | stormachtig | 20,7 | 0,414 |
| 7 | Hard | 17,1 | 0,283 |
| **6** | **Krachtig** | **13,8** | **0,184** |
| 5 | Vrij krachtig | 10,7 | 0,111 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | Matig | 7,9 | 0,060 |
| 3 | Vrij matig | 5,4 | 0,028 |
| 2 | Zwak | 3,3 | 0,011 |
| 1 | Zeer zwak | 1,5 | 0,002 |

Om de windbelasting te berekenen dient eerst het profiel van de aan te brengen belastingen bepaald te worden.

#### 2.4.3.2 Berekening drukcoëfficiënt $c_{pe}$ dak

De extreme stuwdruk moet worden verdeeld over de hoogte van het bouwwerk. Met een hoogte van 6m en een breedte van 18m volgt h<b en daarmee een windprofiel zoals gegeven in Figuur 3.

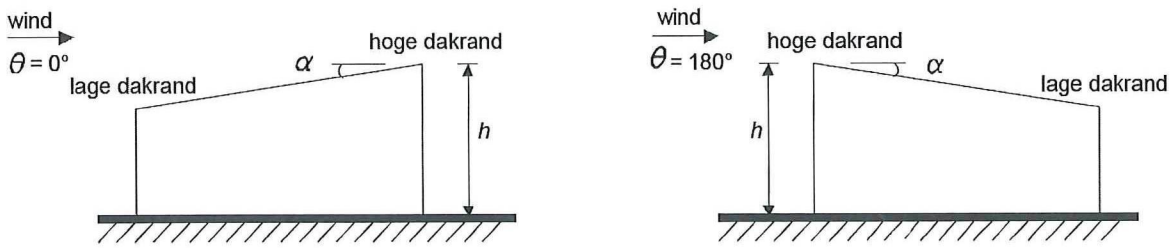



*Figuur 3: Referentiehoogte $z_e$ met bijbehorend profiel voor de bepaling van de stuwdruk.*

Er zijn twee hoofdrichtingen voor de wind - langs- en dwarsrichting. Voor beide richtingen worden de drukcoëfficiënten bepaald. Document [D] geeft zones voor drukcoëfficiënten afhankelijk van de geometrie van het gebouw. Ten behoeve van wind in de dwarsrichting (evenwijdig met de spanten) is de constructie opgedeeld in drie delen.

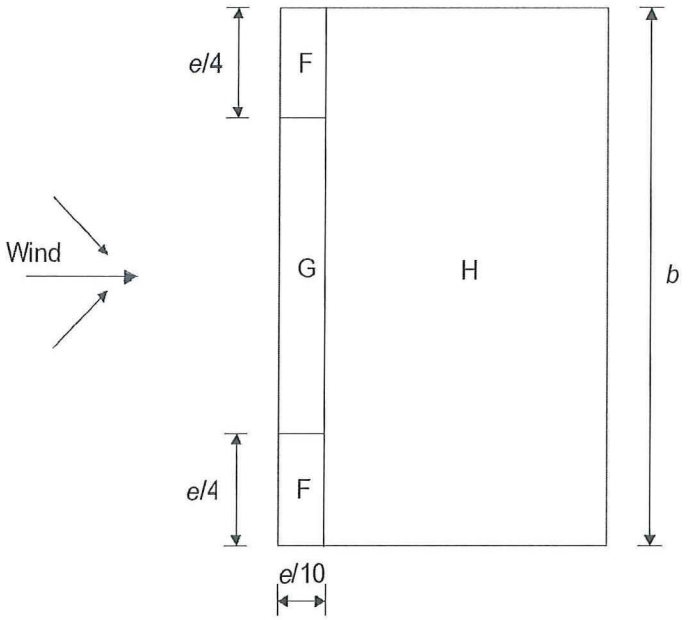
- Wind in dwarsrichting

De buitenste spantdelen worden beschouwd als lessenaardak (NEN-EN 1991-1-4 par. 7.2.4) zoals in Figuur 4 links gegeven met wind uit θ=0°. Het meest rechtste spantdeel van de spanten wordt beschouwd als lessenaardak zoals in Figuur 4 rechts met wind uit θ=180°. Voor beide delen kunnen de drukcoëfficiënten bepaald worden met de zonering gegeven in Figuur 5. De hellingshoek α is gelijk aan 15°, dit volgt uit de maten zoals gegeven in bijlage A2.




*Figuur 4: Beschouwing van de spantdelen als lessenaardak*

Volgens NEN-EN 1991-1-4 Tabel NB.8 – 7.3a - opmerking 1, moeten er twee windgevallen bekeken worden. De coëfficiënten zijn gegeven in Tabel 2 en Figuur 5.



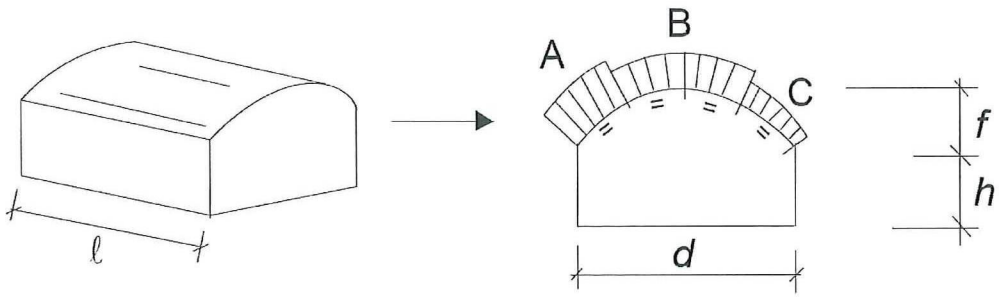

*Figuur 5: Zonering lessenaardaken; e = 12m*

*Tabel 2: Drukcoëfficiënten $c_{pe,10}$ volgens NEN-EN 1994-1-1 Tabel NB.8 - 7.3a bij α=15°*

| | Spant links θ=0° | | | Spant rechts θ=180° | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Geval 1 | Geval 2 | | Geval 1 | Geval 2 |
| F | -0,9 | +0,2 | | -0,3 | -0,3 |
| G | -0,8 | +0,2 | | -0,3 | -0,3 |
| H | -0,3 | +0,2 | | -0,3 | -0,3 |

Het middelste deel van het spant bestaat uit een cilindervormig dak waarvoor coëfficiënten bepaald dienen te worden met NEN-EN 1991-1-4 par. 7.2.8. De zonering voor een cilindervormig dak is gegeven in Figuur 6, waarbij geldt dat:

- d=9m
- f=2,3m
- h=3,7m



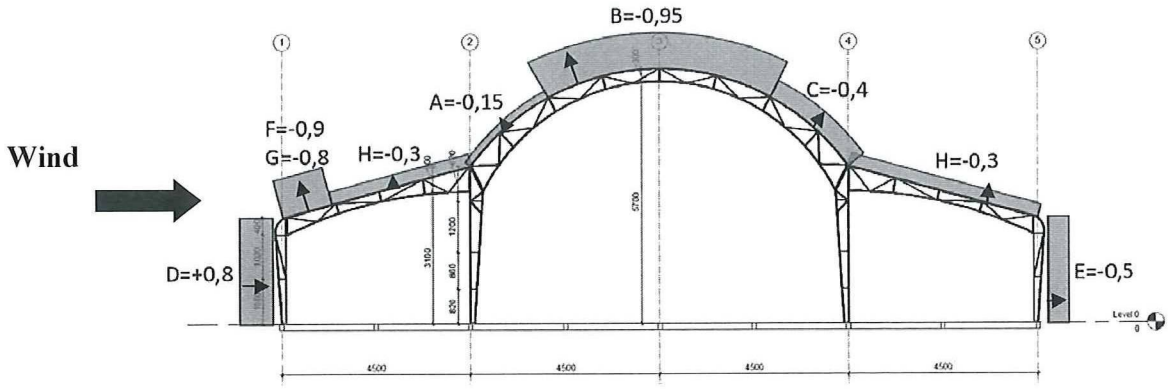

*Figuur 6: Zonering drukcoëfficiënten op cilindervormig dak*

Met de geometrie bekend kunnen f/d=0,256 en h/d=0,411 bepaald worden waarmee de drukcöefficiënten afgelezen kunnen worden uit NEN-EN 1991-1-4 Figuur 7.11. Hieruit volgen twee gevallen, waarbij de eerste windzuiging in zone A betreft en de twee winddruk. Zone B en C ondervinden altijd windzuiging. De waarden zijn gegeven in Tabel 3.

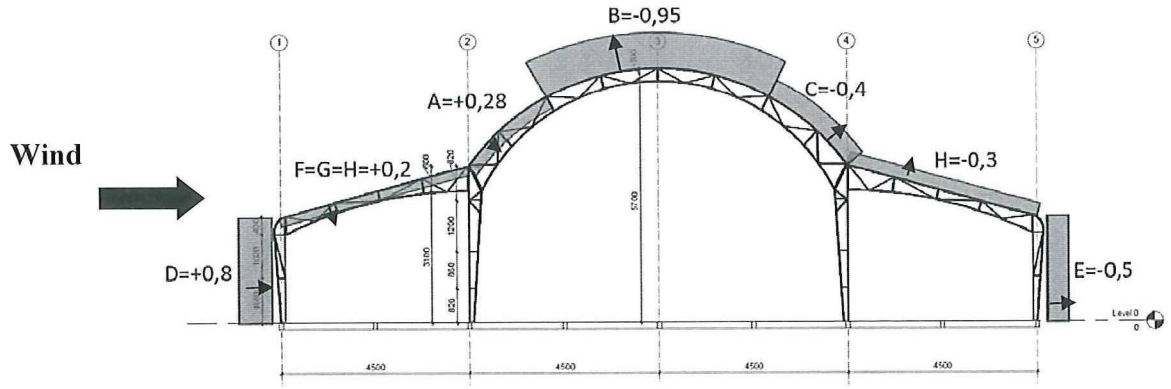
*Tabel 3: Drukcoëfficiënten op het cilindervormige deel van het spant*

| | Geval 1 | Geval 2 |
|---|---|---|
| A | -0,15 | +0,28 |
| B | -0,95 | -0,95 |
| C | -0,4 | -0,4 |

De constructie is symmetrisch zodat wind uit beide dwarsrichtingen gelijke windbelasting oplevert. In onderstaande figuren staan de windvormfactoren opgegeven waarmee gerekend wordt.




*Figuur 7: windgeval 1 in dwarsrichting*

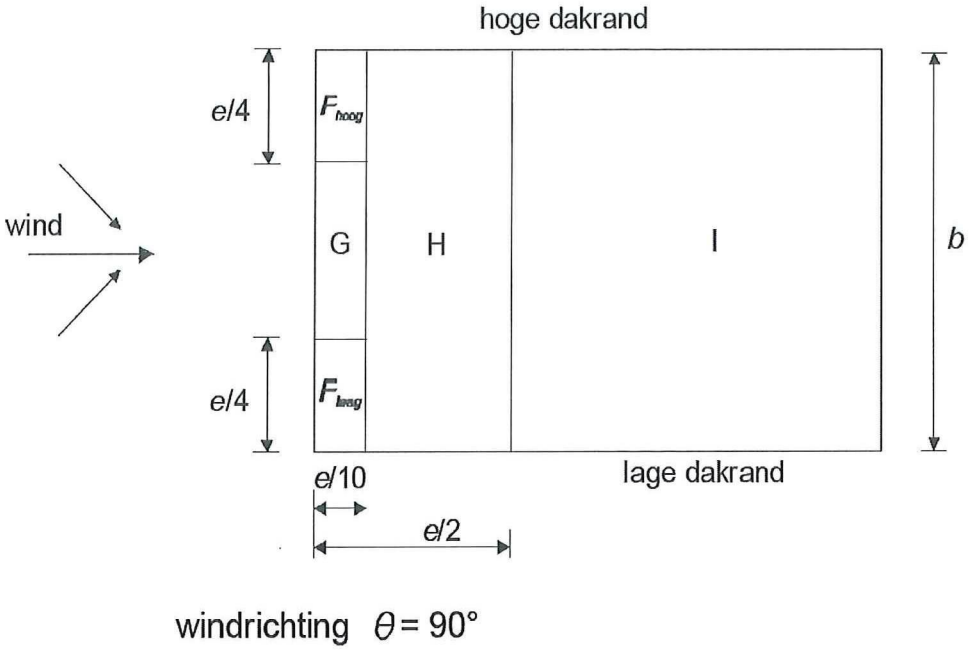



*Figuur 8: windgeval 2 in dwarsrichting*

- Wind in langsrichting

Bij wind uit langsrichting θ=90° kunnen de drukcoëfficiënten voor de beide lessenaar spantdelen bepaald worden met Figuur 9. Hierbij worden $F_{hoog}$ niet beschouwd daar dit lokale effect niet zal

optreden omdat de cilindervormige dakconstructie hier aansluit. De zone $F_{laag}$ is niet maatgevend t.o.v. zone G. In de zones $F_{hoog}$ en $F_{laag}$ wordt gerekend met de waarde voor zone G. De coëfficiënten zijn gegeven in Tabel 4.

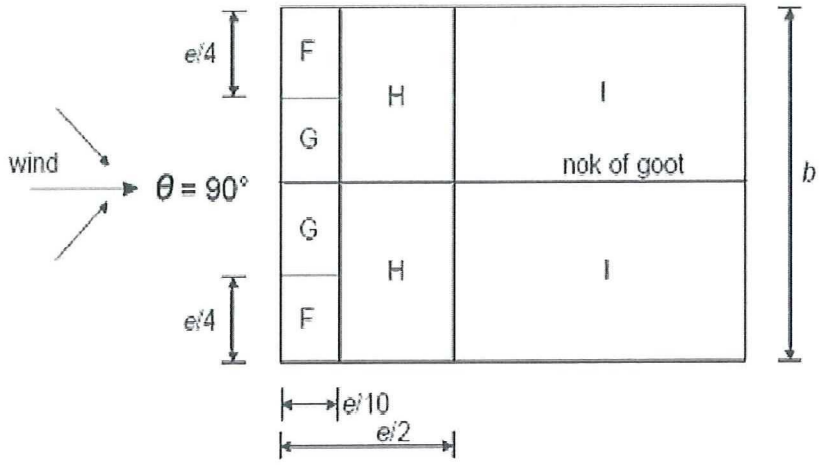



*Figuur 9: Zonering bij wind in langsrichting op een lessenaardak; e=12m*

*Tabel 4: Drukcoëfficiënten in langsrichting voor lessenaar gedeelte van het spant*

| | |
|---|---|
| G | -1,9 |
| H | -0,8 |
| I | -0,7 |

De cilindervormige dakconstructie wordt in langsrichting beschouwd als een zadeldak voor de bepaling van de drukcoëfficiënten. De zonering is weergegeven in Figuur 10 en volgt uit NEN-EN 1991-1-4 par. 7.2.5. In dit geval wordt zone F niet meegenomen omdat deze bedoeld is voor hogere windzuiging aan de rand van het dak, wat hier niet het geval is door de aanwezigheid van de lessenaar spantdelen. Zone F krijgt dezelfde coëfficiënt als zone G in dit geval, zie Tabel 5.




*Figuur 10: Zonering bij wind in langsrichting voor een plat dak; e=12m*

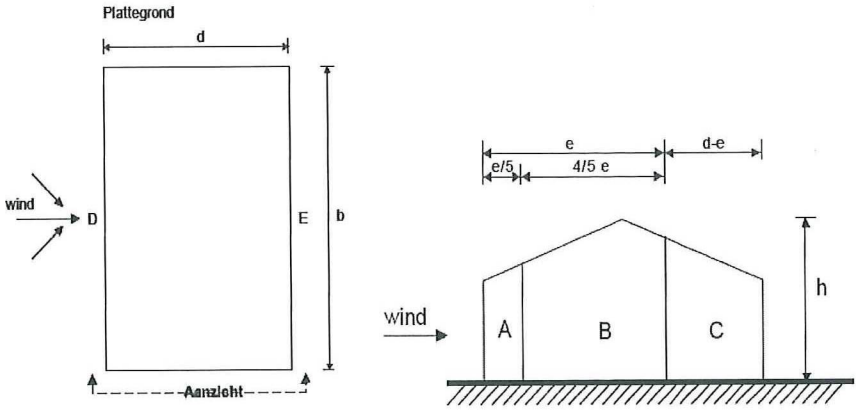
*Tabel 5: Drukcoëfficiënten in langsrichting voor het cilindervormige deel van het dak*

| | |
|---|---|
| G | -1,3 |
| H | -0,6 |
| I | -0,5 |

Vanwege symmetrie van de tentconstructie is de wind uit beide richtingen in langsrichting hetzelfde.

#### 2.4.3.3 Berekening drukcoëfficiënt $c_{pe}$ gevels

De windrukcoëfficiënten voor de verticale gevels dienen bepaald te worden in zowel de dwars- als langsrichting. Voor beide richtingen mag gebruik gemaakt worden van Figuur 11.




*Figuur 11: Zonering bij wind in langs en dwarsrichting bij verticale gevels*

- Wind in dwarsrichting

Voor wind in dwarsrichting geldt dat e=12m, d=18m en h=6m. Hieruit volgt dat e<d waarbij de gevels loodrecht op de wind in drie zones (A, B en C) opgedeeld moeten worden. Bij h/d < 1 volgen de drukcoëfficiënten uit NEN-EN 1991-1-4 Tabel NB.6 – 7.1, hier gegeven in Tabel 6.

*Tabel 6: Drukcoëfficiënten voor de gevels bij wind in dwarsrichting*

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | -1,2 | -0,8 | -0,5 | +0,8 | -0,5 |

- Wind in langsrichting

Voor wind in dwarsrichting geldt dat e=12m, d=21m en h=6m. Hieruit volgt dat e<d waarbij de gevels loodrecht op de wind in drie zones (A, B en C) opgedeeld moeten worden. Bij h/d < 1 volgen de drukcoëfficiënten uit NEN-EN 1991-1-4 Tabel NB.6 – 7.1, hier gegeven in Tabel 7.

*Tabel 7: Drukcoëfficiënten voor de gevels bij wind in langsrichting*

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | -1,2 | -0,8 | -0,5 | +0,8 | -0,5 |

### 2.4.4 Sneeuwbelastingen

In het geval van tijdelijke tentconstructies hoeft sneeuwbelasting niet meegenomen te worden in de berekening als de constructie aan een van de voorwaarden voldoet gesteld in NEN-EN 13782 par 6.4.3.2. Club de Ville voldoet aan de tweede voorwaarde die gesteld is, namelijk dat de tent in gebruik is in een tijdsperiode dat de kans op sneeuwval verwaarloosbaar is. Om deze reden mag sneeuwbelasting buiten beschouwing worden gelaten in de constructieve berekening.

### 2.4.5 Wateraccumulatie

In het ontwerp moet wateraccumulatie voorkomen worden. Club de Ville zal door zijn vorm niet onderhevig zijn aan wateraccumulatie. Water op het cilindervormige deel van het dak zal afstromen naar de lessenaardaken aan weerszijden. De lessenaardaken hebben een helling van 15° en wordt hiermee niet beschouwd als een plat dak. Hemelwater zal via de lessenaardaken afstromen en niet accumuleren op het dak. De tentdoeken worden voldoende strak gespannen zodat er geen mogelijkheid is tot lokaal accumuleren van water.

### 2.4.6 Ballast

Om opwaaien van de tentconstructie te voorkomen zullen de kolommen goed bevestigd moeten worden aan de vloerconstructie en zal ballast geplaatst moeten worden. In welk materiaal en hoedanigheid wordt later bepaald in overleg met de opdrachtgever en aan de hand van de opwaartse reactiekrachten – zie hoofdstuk 5.

### 2.4.7 Voorspanning

De stabiliteitskruizen zullen buigslappe kabels of banden zijn en zullen enigsinds voorgespannen worden om strak te staan en direct actief te zijn bij belasten. Bij de analyse is enkel de kabel op trek meegenomen.

De voorspankrachten van het membraandoek worden direct door de koppelstaven tussen de spanten gebalanceerd

### 2.4.8 Buitengewone belastingen

Voorbeelden van buitengewone belastingen zijn brand, botsingen door voertuigen, explosies in opslagruimten voor brandbare stoffen en calamiteit belasting.

- Botsingen door voertuigen

Gevaar voor botsingen bestaat bij constructieonderdelen in gebieden die toegankelijk zijn voor voertuigen. De grootte en aard van deze belasting zal moeten worden bepaald in overleg met de opdrachtgever. Uitgangspunt hier is dat de constructie niet belast zal worden door voertuigen.

- Explosiebelasting

Er is van uitgegaan dat er geen gevaar voor explosie is die een belasting op de constructie kan veroorzaken.

- Brandveiligheid

In samenwerking met de opdrachtgever moet beschouwd worden of er brandwerende eisen aan de constructie gesteld moeten worden. Het toegepaste tentdoek moet volgens NEN-EN 13782 Bijlage A, zie[E], een permanente vlamvertragende werking hebben.

### 2.4.9 Vervormingen

De toelaatbare vervorming is geen eis. Men zal bij dergelijke tentconstructies enige vervorming verwachten en niet als alarmerend beschouwen. Vervormingen zullen dan ook niet als maatgevend beschouwd worden, maar wel bepaald worden om inzicht te verschaffen.

### 2.4.10 Belastingfactoren

Voor de bepaling van de uiterste grenstoestand worden de permanent aanwezige belastingen en de veranderlijke belasting vermenigvuldigd met een belastingfactor volgen NEN-EN 1990 [A]. Voor een gevolgklasse CC2 volgt:

$\gamma_{G,j}$ = 1,35 ongunstig (i.c.m. volledig momentane veranderlijke belasting)

= 1,1 ongunstig (i.c.m. niet volledig momentane veranderlijke belasting)

= 0,9 gunstig

$\gamma_{Q,i}$ = 1,35 voor veranderlijke belasting eventueel vermenigvuldig met mom.fac.

### 2.4.11 Belastingcombinaties

De volgende belastingcombinaties worden onderzocht:

*Tabel 8: Belastingcombinaties*

| | BGT | | | UGT | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BC-1 | BC-2 | BC-3 | BC-4 | BC-5 | BC-6 | BC-7 | BC-8 |
| Eigen gewicht | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,35 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 0,9 |
| Rustende belasting | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,35 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 0,9 |
| Gebruikers belasting | | 1,0 | 1,0 | | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 |
| Wind | | | 1,0 | | | 1,35 | | 1,35 |

## 2.5 Materiaal

Staal

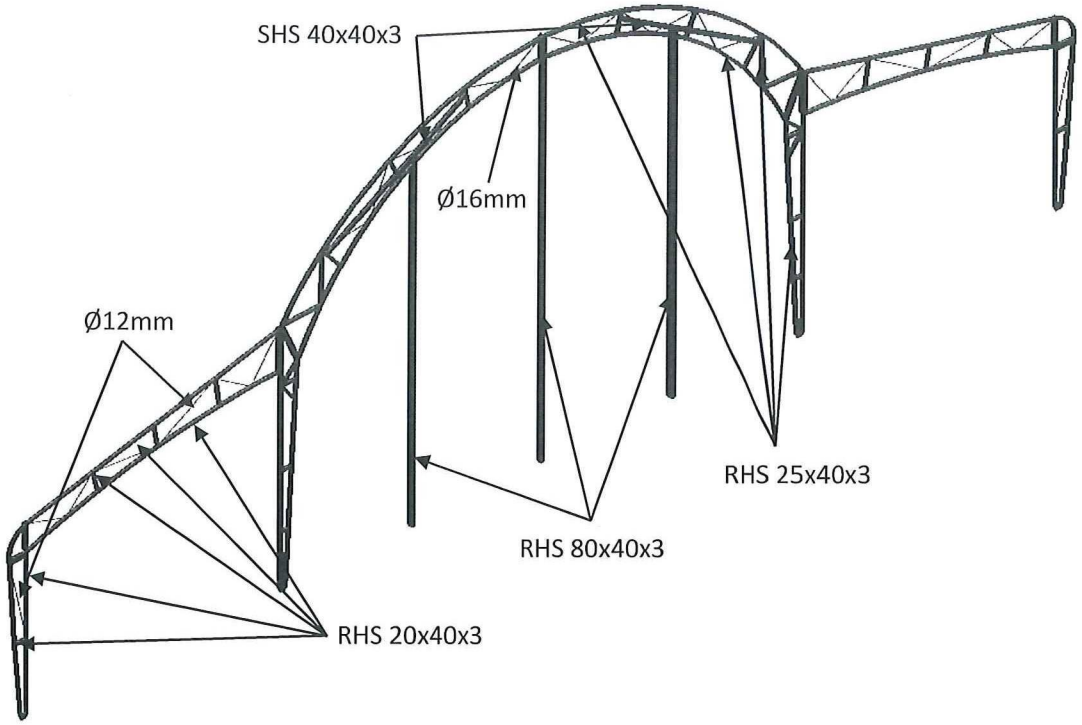
De kwaliteit van het constructiestaal is opgegeven door de opdrachtgever. Hieruit volgt dat de minimale staalkwaliteit S235 is, waarvoor geldt:

- $f_y$=235 N/mm$^2$
- E=205.000 N/mm$^2$

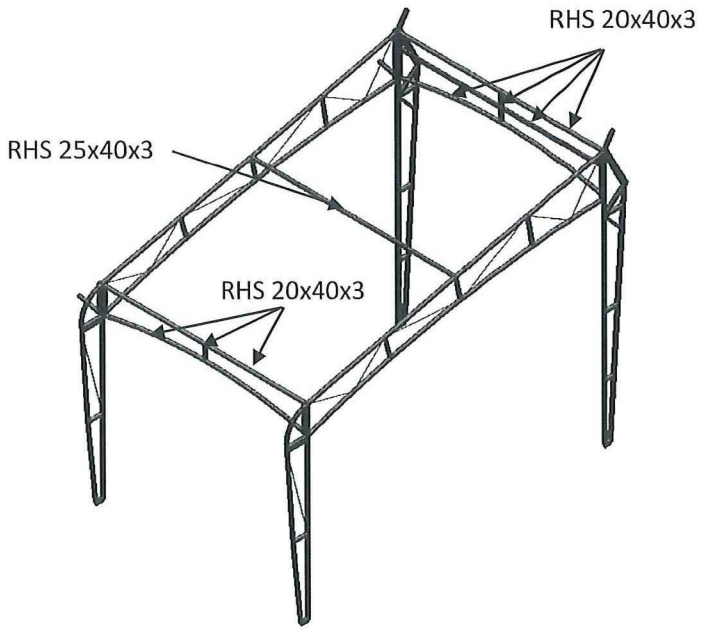
# 3 MODEL

## 3.1 Profielen en dimensionering

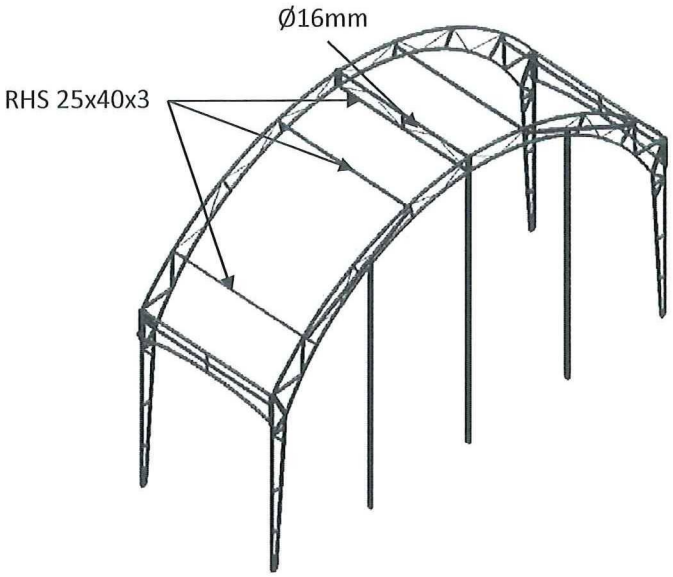
De profielen en dimensionering ervan komt uit [2] en zijn opgegeven door de opdrachtgever. In de onderstaande figuren zijn de profielen van de verschillende profielen aangegeven.




*Figuur 12: Profielen spanten*




*Figuur 13: Profielen koppelspanten zijbeuk*



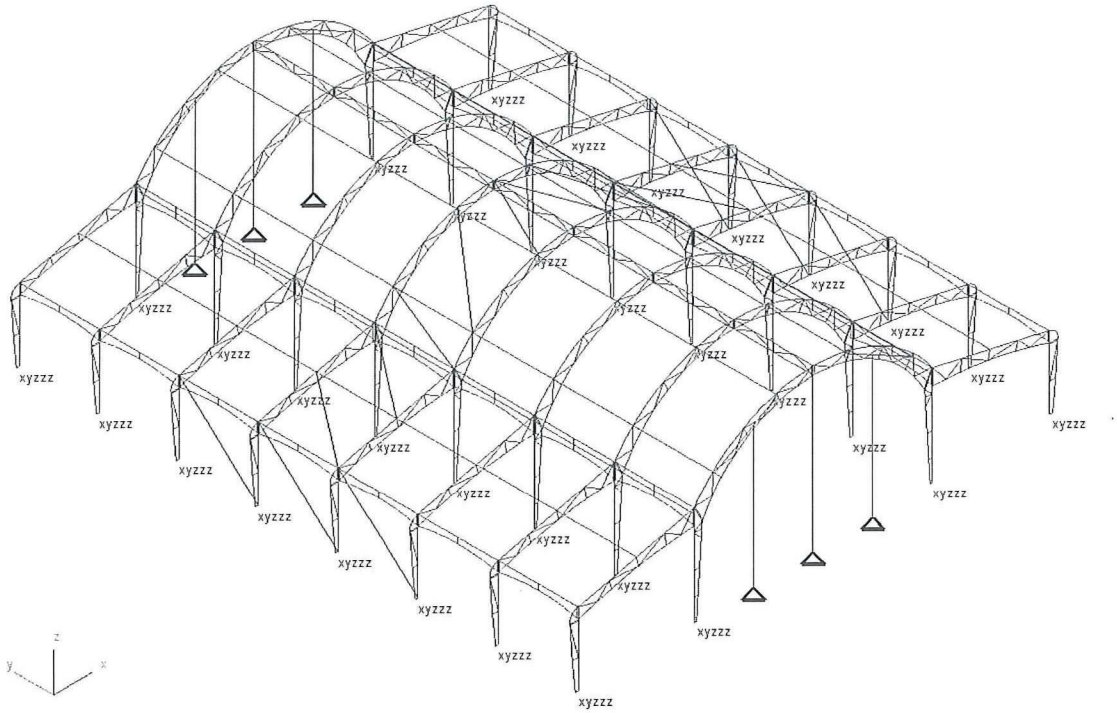

*Figuur 14: Profielen koppelspanten boog*

## 3.2 Rekenmodel

Voor Club de Ville is een constructief model gemaakt welke is weergegeven in Figuur 15. De werking en opbouw van het model wordt nu beschreven.

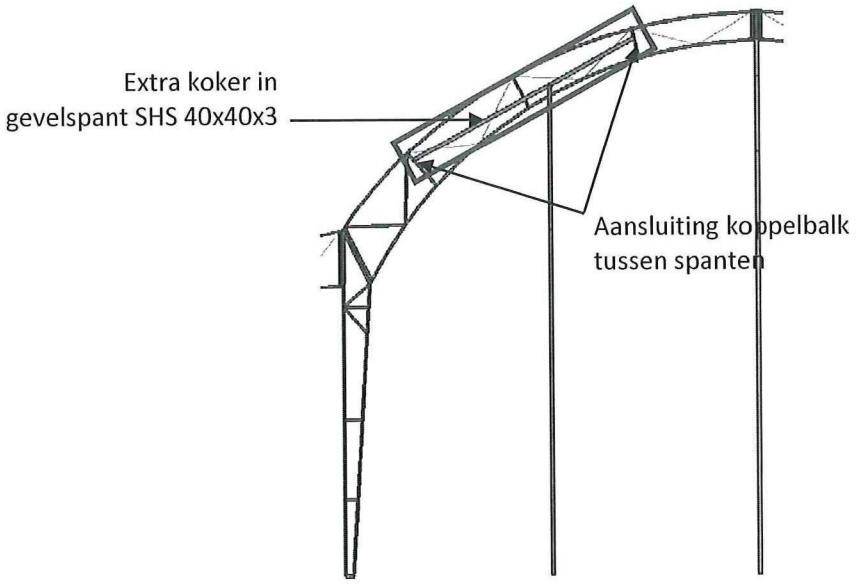
De hoofddraagconstructie van Club de Ville bestaat uit 8 spanten welke h.o.h. 3m uit elkaar gezet zijn. Een enkel spant bestaat uit twee zijbeuken met een vakwerkkolom en vakwerkligger die verbonden zijn aan het middendeel van het spant. Dit middendeel bestaat uit twee vakwerkkolommen welke zijn verbonden met een cilindervormig vakwerkspant. Dit cilindervormige vakwerkspant bestaat uit twee delen welke in de top aan elkaar bevestigd worden. De vakwerkkolommen en liggers zijn allen scharnierend aan elkaar verbonden op twee punten per koppeling.

Onderling worden de spanten aan elkaar gekoppeld middels balkelementen en vakwerkliggers. Deze zijn scharnierend verbonden aan de spanten. De stabiliteit in de dwarsrichting wordt gewaarborgd door de spanten; om stabiliteit in de langsrichting te waarborgen zijn tussen de middelste stramienen (D-E), zie bijlage A2, kruizen aangebracht over de gehele breedte. Om de windbelasting beter te kunnen verdelen over de buitenste kolommen zijn kruizen aangebracht over de gehele lengte (stramien C t/m F) op stramien 1 en 5.




*Figuur 15: Constructief model Club de Ville*

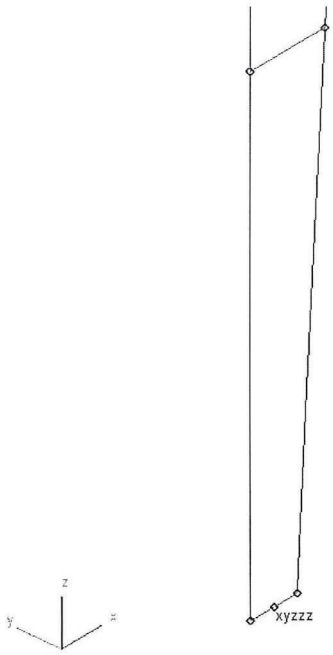
Om de windbelasting in de voor- en achtergevel beter te verdelen en op te vangen zijn in elke kopgevel drie extra kolommen toegevoegd. De bovenkant van de middelste gevelkolom is aan de onderzijde van het boogspant verbonden met een scharnierende verbinding uit het vlak van het spant. De andere twee gevelkolommen zijn geplaatst zoals in onderstaande figuur. Hierbij is aan de achterzijde van de gevelspanten een extra koker is geplaatst. De gevelkolommen zijn aan de bovenzijde scharnierend verbonden aan deze kokers en aan de onderzijde scharnierend verbonden aan de vloer.




*Figuur 16: Extra koker in gevelspant*

De constructieve tekeningen zijn weergegeven in bijlage A2 (let op: de kruizen en extra kolommen zijn hier niet ingetekend).

De ondersteuning van alle vakwerkkolommen is hetzelfde en is weergegeven in Figuur 17. Elke kolom is aan de onderzijde scharnierend ondersteund. Omdat de onderzijde van de kolom niet één enkel punt is, maar een zekere breedte heeft wordt draaiing om de z-as tegengegaan, wat is meegenomen in het model zoals in de figuur hieronder te zien.



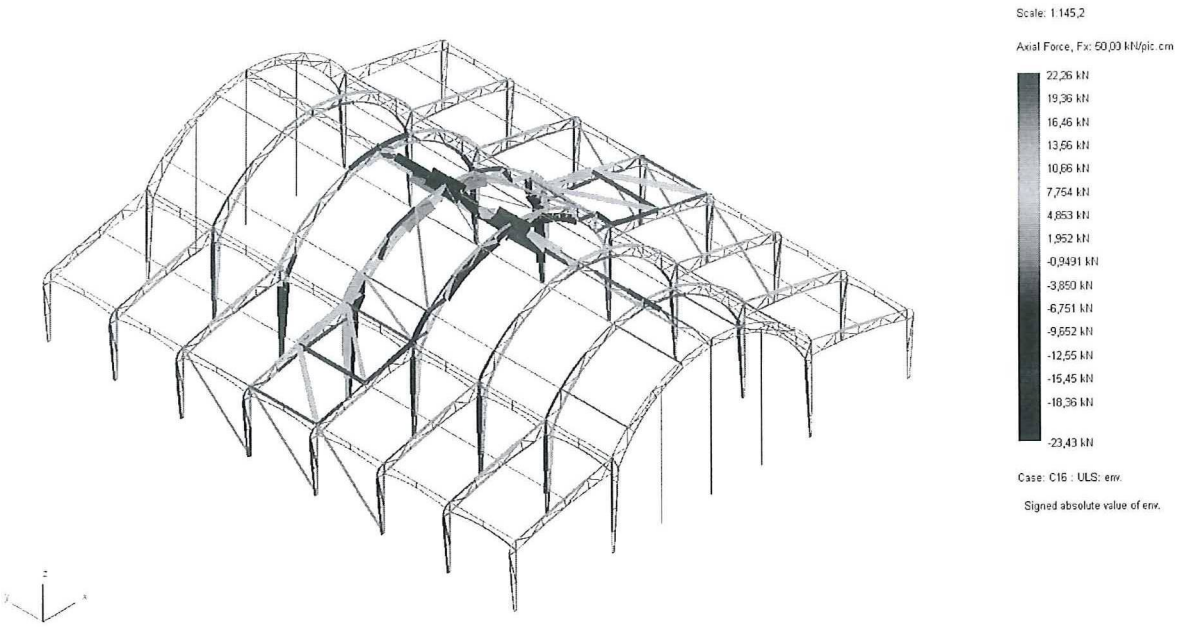

*Figuur 17: Ondersteuning vakwerkkolommen*

Gezocht wordt naar een maximale optredende spanningen en vervormingen. Daarnaast wordt ook gekeken naar de opwaartse belasting bij de ondersteuningen van de constructie op de vloer. Na het vaststellen en controleren van de spanningen en vervormingen in hoofdstuk 4 zijn de oplegkrachten van de constructie op de vloer gegeven in hoofdstuk 5.

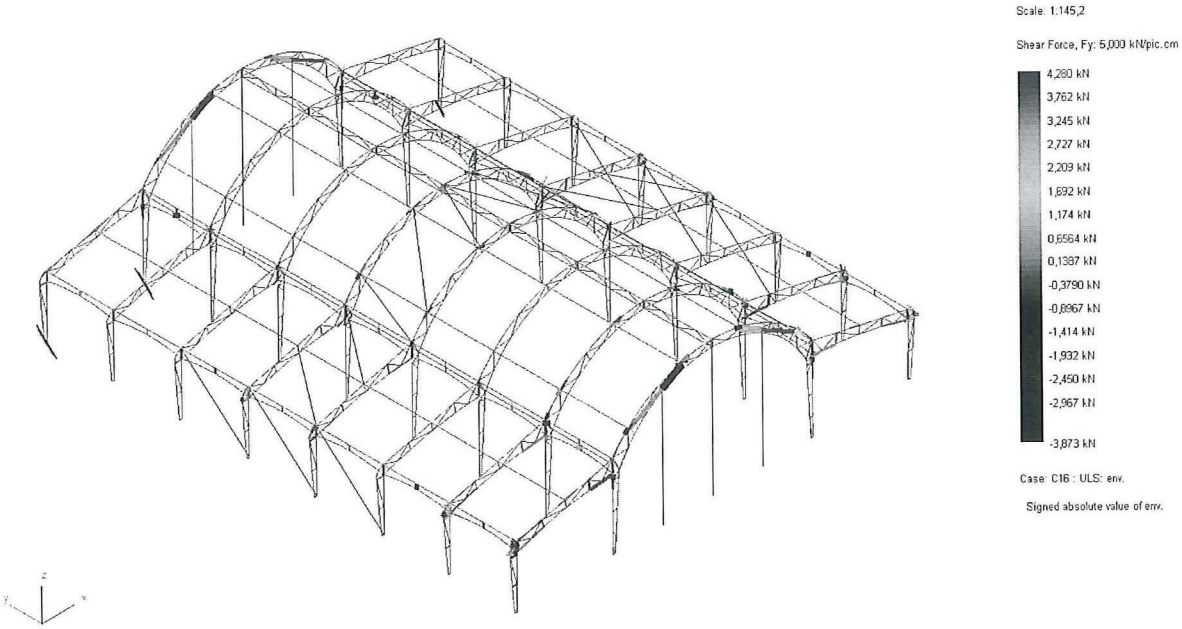
# 4 SPANNINGEN EN VERVORMINGEN

## 4.1 Krachten en spanningen

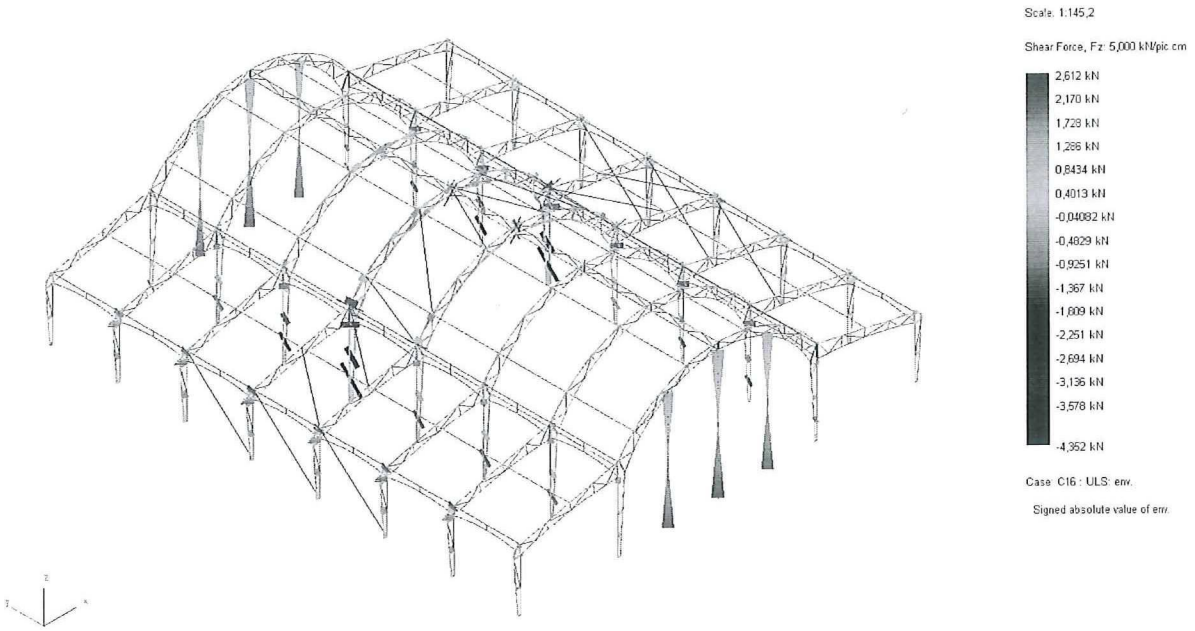
In onderstaande figuren zijn de interne krachten te zien t.g.v. de UGT omhullende belastingcombinatie.



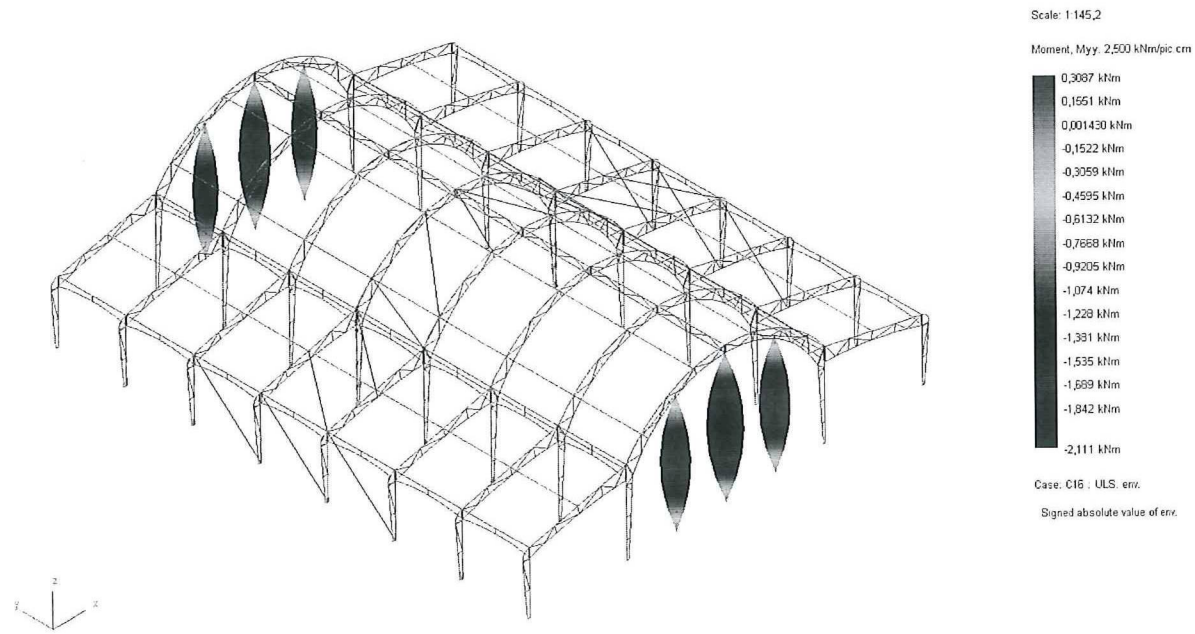

*Figuur 18: Axiale kracht; $F_{x;max}$ = 22,3 kN; $F_{x;min}$ = -23,4 kN*




*Figuur 19: Dwarskracht; $F_{y;max}$ = 4,3 kN; $F_{y;min}$ = -3,9 kN*




*Figuur 20: Dwarskracht; $F_{z;max}$ = 2,6 kN; $F_{z;min}$ =-4,4 kN*




*Figuur 21: Moment; $M_{yy;max}$ = 0,31 kNm; $M_{yy;min}$ = -2,11 kNm*



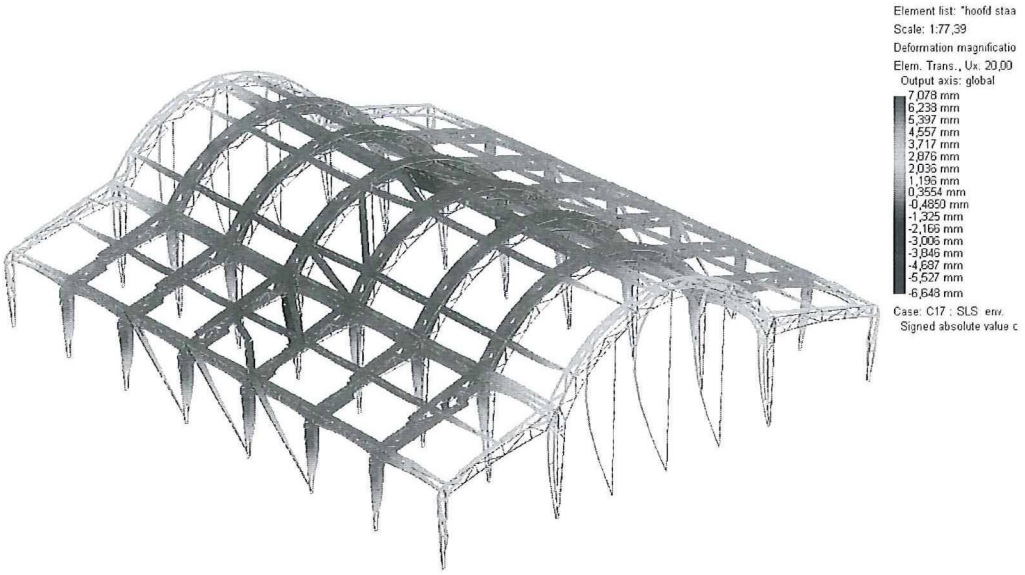

*Figuur 22: Moment; $M_{zz;max}$ = 0,52 kNm; $M_{zz;min}$ = -0,52 kNm*



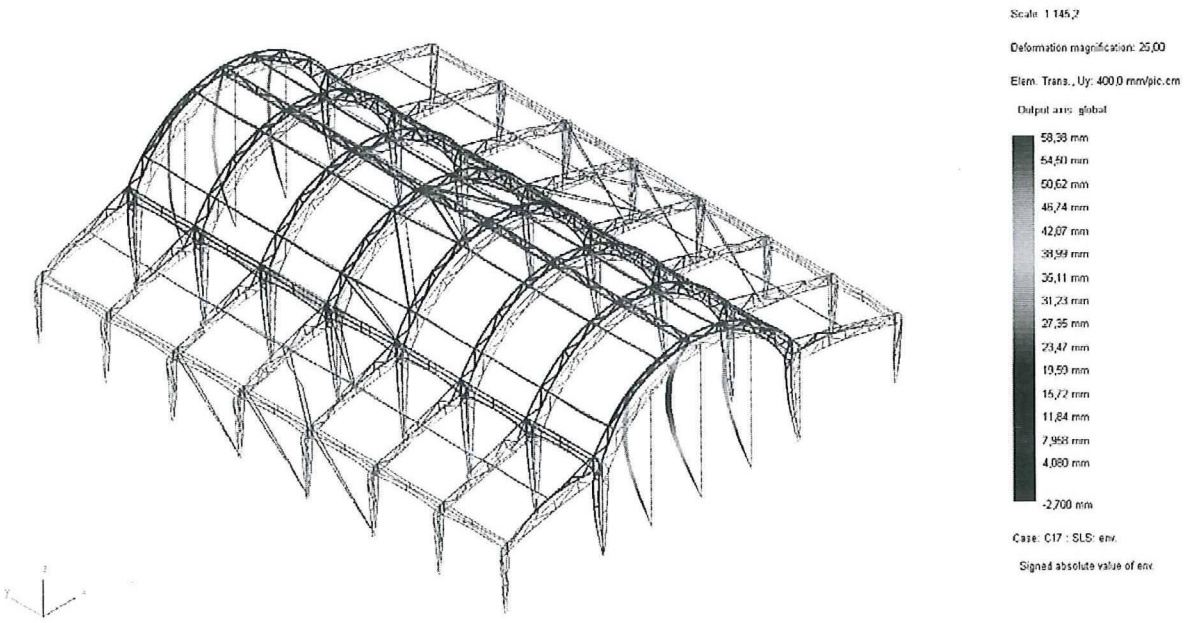

*Figuur 23: Von Mises spanningen; $\sigma_{max}$= 158,6 N/mm²*

## 4.2 Vervormingen

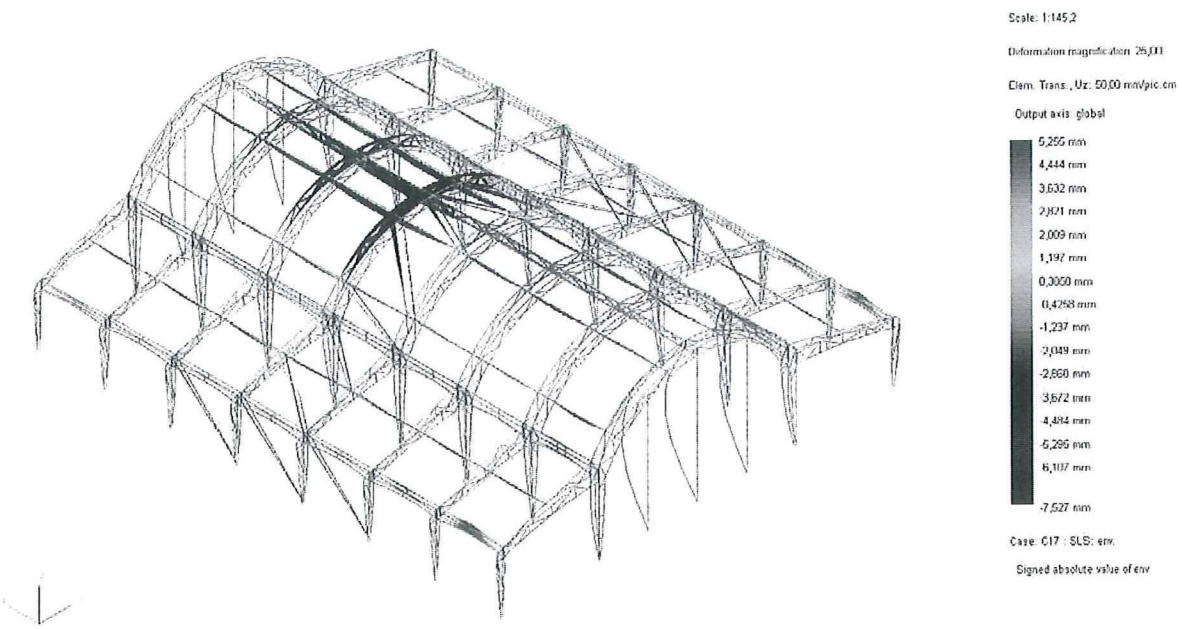
In onderstaande figuren zijn de vervormingen in de drie hoofdrichtingen te zien t.g.v. de BGT belasting.




*Figuur 24: Maximale horizontale vervorming in dwarsrichting; $u_{x;max}$=7,08 mm, $u_{x;min}$=-6,55 mm*




*Figuur 25: Maximale horizontale vervorming in langsrichting; $u_{y;max}$=58,4 mm; $u_{y;min}$ -2,7 mm*



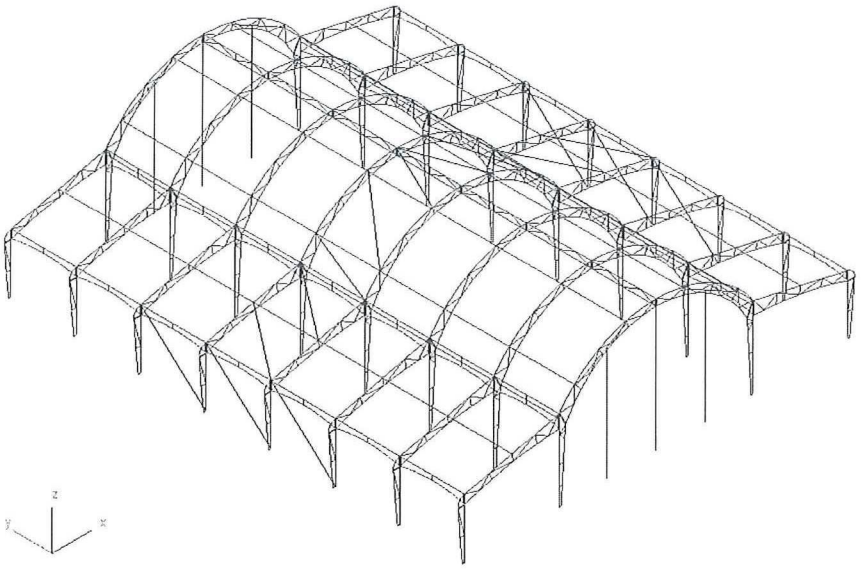

*Figuur 26: Maximale verticale vervorming; $u_{z;max}$=5,26 mm; $u_{z;min}$ = -7,53 mm*

## 4.3 Controle

De spanningen in alle constructie-onderdelen dienen onder de 235 N/mm$^2$ te blijven om bij een staalkwaliteit S235 te voldoen. In Paragraaf 4.1 is aangetoond dat de maximale spanning 158,6 N/mm$^2$ is waarmee wordt voldaan aan dit criterium. Op sterkte voldoet de constructie. De vervormingen van de constructie dienen in overleg met de opdrachtgever besproken en gecontroleerd te worden.

# 5 OPLEGKRACHTEN

In dit hoofdstuk worden de oplegkrachten van de ondersteuningen ter plaatse van de vloer opgegeven t.g.v. UGT belastingen. De reactiekrachten worden apart gegeven voor de oplegpunten van de buitenste- en binnenste vakwerkkolommen alsmede de extra kolommen. Een neerwaartse belasting op de vloer wordt gegeven met een + teken en een opwaartse belasting met een – teken (zie ook bijlage A1). In Figuur 27 is het assenstelsel gegeven waarmee de krachten berekend zijn.



*Figuur 27: Aangehouden assenstelsel*

## 5.1 Oplegkrachten in x-richting

*Tabel 9: Oplegkrachten $F_x$ [kN]*

| Oplegpunt | Buitenste kolommen | Binnenste kolommen | Extra kolommen |
|---|---|---|---|
| Maximum | 0,881 | 1,281 | 0,001 |
| Minimum | -1,010 | -1,267 | -0,005 |

## 5.2 Oplegkrachten in y-richting

Bij de binnenste vakwerkkolommen worden in de y-richting slechts reactiekrachten gevonden voor de kolommen in de voor- en achtergevel (stramien 2-A, 2-H, 4-A en 4-H). Hiervoor worden in de tabel de maximale en minimale krachten gegeven.

*Tabel 10: Oplegkrachten $F_y$ [kN]*

| Oplegpunt | Buitenste kolommen | Binnenste kolommen | Extra kolommen |
|---|---|---|---|
| Maximum | 0,970 | 1,077 | 1,267 |
| Minimum | -2,455 | -1,230 | -1,484 |

## 5.3 Oplegkrachten in z-richting

*Tabel 11: Oplegkrachten $F_z$ [kN]*

| Oplegpunt | Buitenste kolommen | Binnenste kolommen | Extra kolommen |
|---|---|---|---|
| Maximum | 1,296 | 3,568 | 2,117 |
| Minimum | -3,077 | -0,825 | 0,042 |

## 5.4 Reactiemomenten Mzz

De reactiemomenten van de buitenste kolommen zijn het grootst ter plaatse van de voor- en achtergevel (stramien 1-A, 1-H, 5-A en 5-H). De overige knopen in deze rij hebben een moment dat 4 tot 10 keer kleiner is dan de buitenste. Dit geldt ook voor de reactiemomenten van de binnenste kolommen (stramien 2-A, 2-H, 4-A en 4-H). De extra kolommen zijn enkel scharnierend opgelegd en kunnen geen reactiemoment opnemen.

*Tabel 12: Reactiemomenten $M_{zz}$ [kNm]*

| Oplegpunt | Buitenste kolommen | Binnenste kolommen |
|---|---|---|
| Maximum | 0,833 | 0,619 |
| Minimum | -0,800 | -0,650 |

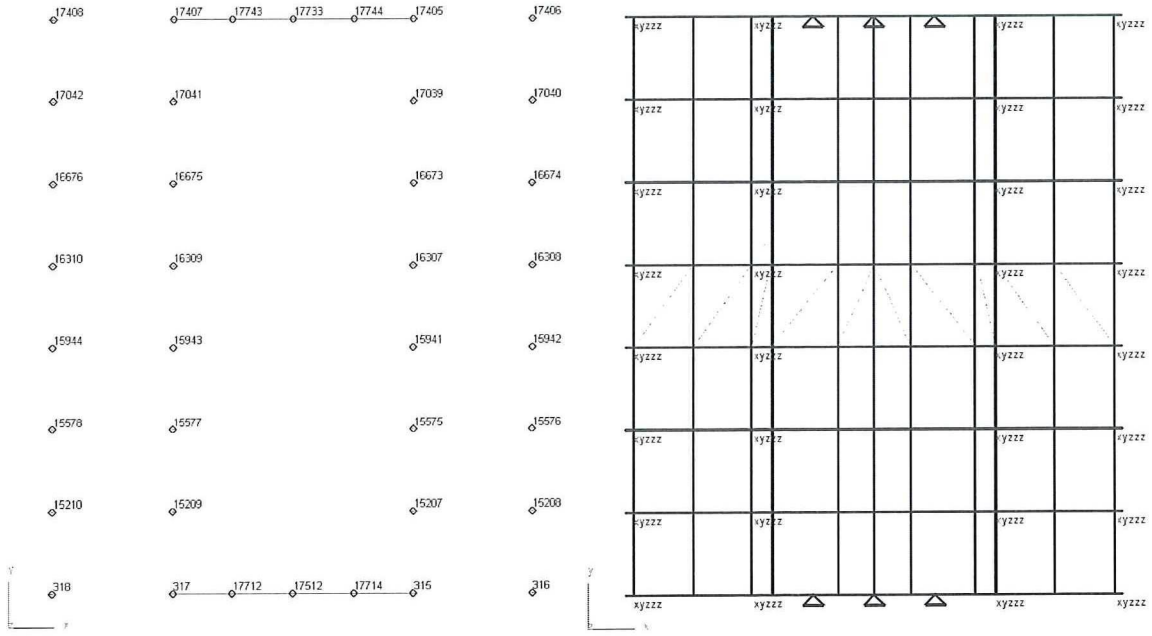
# 6 CONCLUSIE

De maximaal optredende spanningen zijn met 158,6 N/mm$^2$ lager dan de toegelaten waarde van $f_y$=235 N/mm$^2$ behorende bij staalkwaliteit S235. Daarmee voldoet de constructie op het gebied van sterkte. Voor de vervorming zijn de volgende maximale waardes gevonden welke in overleg met de opdrachtgever worden gekeurd:

- $u_{x;max}$ = 7,08 mm; $u_{x;min}$ = -6,65 mm
- $u_{y;max}$ = 58,4 mm; $u_{y;min}$ = -2,7 mm
- $u_{z;max}$ = 5,26 mm; $u_{z;min}$ = -7,53 mm

De oplegkrachten zijn gegeven, waarmee de opdrachtgever de ballast kan bepalen en ook kan controleren of de ondergrond de neerwaartse belasting kan dragen.

# A1 BIJLAGE: REACTIEKRACHTEN




*Figuur 28: Locatie van knoopnummers*

Tabel 13: Reactiekrachten per knoop

| Knoop | $F_x$ [kN] | $F_y$ [kN] | $F_z$ [kN] | $M_{zz}$ [kNm] |
|---|---|---|---|---|
| 315 | -0,049 | 0,738 | 2,694 | 0,362 |
| | -0,311 | -1,230 | -0,373 | -0,650 |
| 316 | -0,011 | 0,394 | 0,884 | 0,833 |
| | -0,408 | -0,810 | -0,937 | -0,259 |
| 317 | 0,111 | 1,077 | 2,682 | 0,619 |
| | -0,167 | -1,217 | -0,389 | -0,622 |
| 318 | 0,409 | 0,970 | 0,890 | 0,798 |
| | -0,491 | -0,810 | -0,913 | -0,800 |
| 15207 | -0,054 | 0,004 | 3,443 | 0,018 |
| | -0,413 | -0,051 | -0,703 | -0,006 |
| 15208 | -0,035 | 0,067 | 1,288 | 0,000 |
| | -0,787 | -0,002 | -1,377 | -0,210 |
| 15209 | 0,293 | 0,006 | 3,442 | 0,002 |
| | -0,561 | -0,052 | -0,710 | -0,018 |
| 15210 | 0,787 | 0,070 | 1,105 | 0,209 |
| | -0,991 | -0,043 | -1,391 | -0,134 |
| 15575 | -0,022 | 0,001 | 3,554 | 0,012 |
| | -0,388 | -0,050 | -0,824 | -0,001 |
| 15576 | -0,046 | 0,046 | 1,296 | 0,137 |
| | -0,660 | -2,455 | -3,072 | -0,003 |
| 15577 | 0,340 | 0,002 | 3,552 | 0,000 |
| | -0,617 | -0,050 | -0,825 | -0,012 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 15578 | 0,659 | 0,095 | 1,060 | 0,005 |
| | -1,010 | -2,459 | -3,077 | -0,139 |
| 15941 | 0,450 | 0,000 | 3,568 | 0,009 |
| | -0,379 | -0,050 | -0,146 | 0,000 |
| 15942 | -0,047 | 0,006 | 1,226 | 0,271 |
| | -0,657 | -2,344 | -0,904 | 0,000 |
| 15943 | 0,344 | 0,001 | 3,566 | 0,001 |
| | -0,632 | -0,050 | -0,130 | -0,009 |
| 15944 | 0,581 | 0,032 | 1,033 | 0,110 |
| | -1,010 | -2,347 | -0,910 | -0,273 |
| 16307 | -0,024 | 0,000 | 3,554 | 0,021 |
| | -1,267 | -0,052 | 0,254 | -0,004 |
| 16308 | -0,046 | -0,015 | 1,234 | 0,001 |
| | -0,867 | -1,951 | -0,815 | -0,073 |
| 16309 | 1,281 | 0,000 | 3,552 | 0,000 |
| | -0,623 | -0,052 | 0,270 | -0,021 |
| 16310 | 0,881 | -0,023 | 1,033 | 0,109 |
| | -1,010 | -1,952 | -0,831 | -0,117 |
| 16673 | -0,029 | 0,000 | 3,551 | 0,014 |
| | -0,721 | -0,050 | 0,267 | -0,001 |
| 16674 | -0,045 | -0,002 | 1,296 | 0,013 |
| | -0,661 | -0,009 | 0,542 | -0,001 |
| 16675 | 0,730 | 0,000 | 3,550 | 0,000 |
| | -0,611 | -0,050 | 0,314 | -0,014 |
| 16676 | 0,625 | 0,000 | 1,068 | 0,000 |
| | -1,009 | -0,008 | -0,385 | -0,013 |
| 17039 | -0,064 | -0,001 | 3,426 | 0,014 |
| | -0,411 | -0,052 | 0,475 | 0,000 |
| 17040 | -0,035 | 0,013 | 1,282 | 0,014 |
| | -0,652 | -0,003 | -0,727 | 0,000 |
| 17041 | 0,378 | -0,001 | 3,424 | 0,000 |
| | -0,538 | -0,052 | 0,496 | -0,014 |
| 17042 | 0,498 | 0,036 | 1,083 | 0,000 |
| | -0,984 | -0,003 | -0,720 | -0,015 |
| 17405 | -0,050 | -0,005 | 2,700 | 0,001 |
| | -0,313 | -0,740 | 0,977 | -0,356 |
| 17406 | -0,011 | 0,002 | 0,900 | 0,338 |
| | -0,376 | -0,435 | -0,127 | 0,004 |
| 17407 | 0,111 | -0,005 | 2,687 | 0,619 |
| | -0,180 | -1,075 | 0,967 | -0,001 |
| 17408 | 0,247 | 0,002 | 0,906 | -0,004 |
| | -0,506 | -0,980 | -0,132 | -0,677 |
| 17512 | 0,000 | 1,267 | 2,177 | |
| | -0,005 | -1,484 | 0,055 | |
| 17712 | 0,001 | 1,151 | 0,809 | |
| | -0,005 | -1,348 | 0,600 | |
| 17714 | 0,000 | 1,151 | 0,763 | |
| | -0,005 | -1,348 | 0,273 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 17733 | 0,000 | 0,000 | 1,570 |
| | -0,005 | -1,267 | 0,042 |
| 17743 | 0,001 | 0,000 | 0,800 |
| | -0,005 | -1,151 | 0,588 |
| 17744 | 0,000 | 0,000 | 0,742 |
| | -0,005 | -1,151 | 0,251 |

# A2 BIJLAGE: TEKENINGEN

