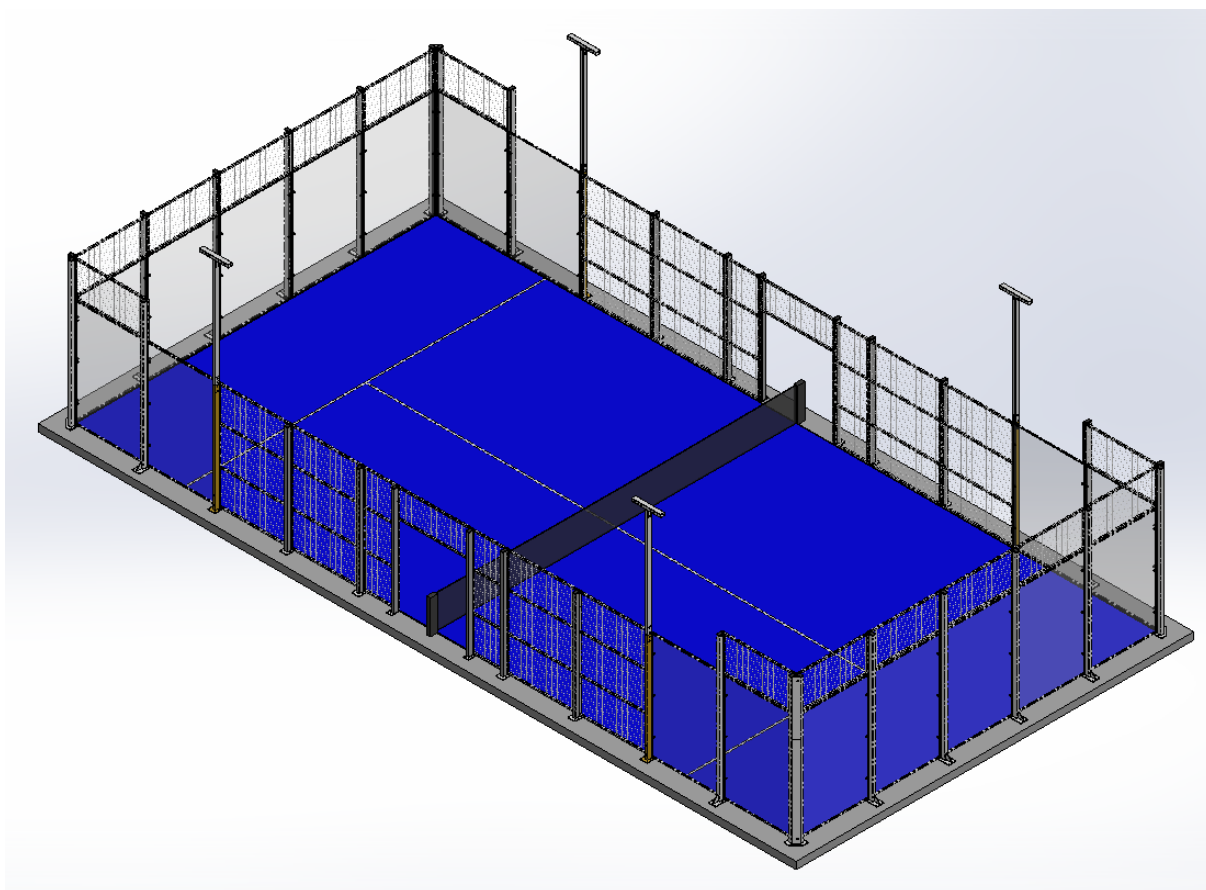
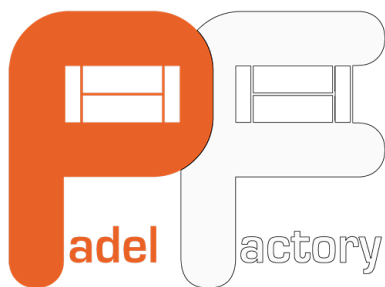




Rapport statische berekening Padelfactory PRO Outdoor

Datum: 17-1-2021; Auteur: H. Verberk



Inhoudsopgave

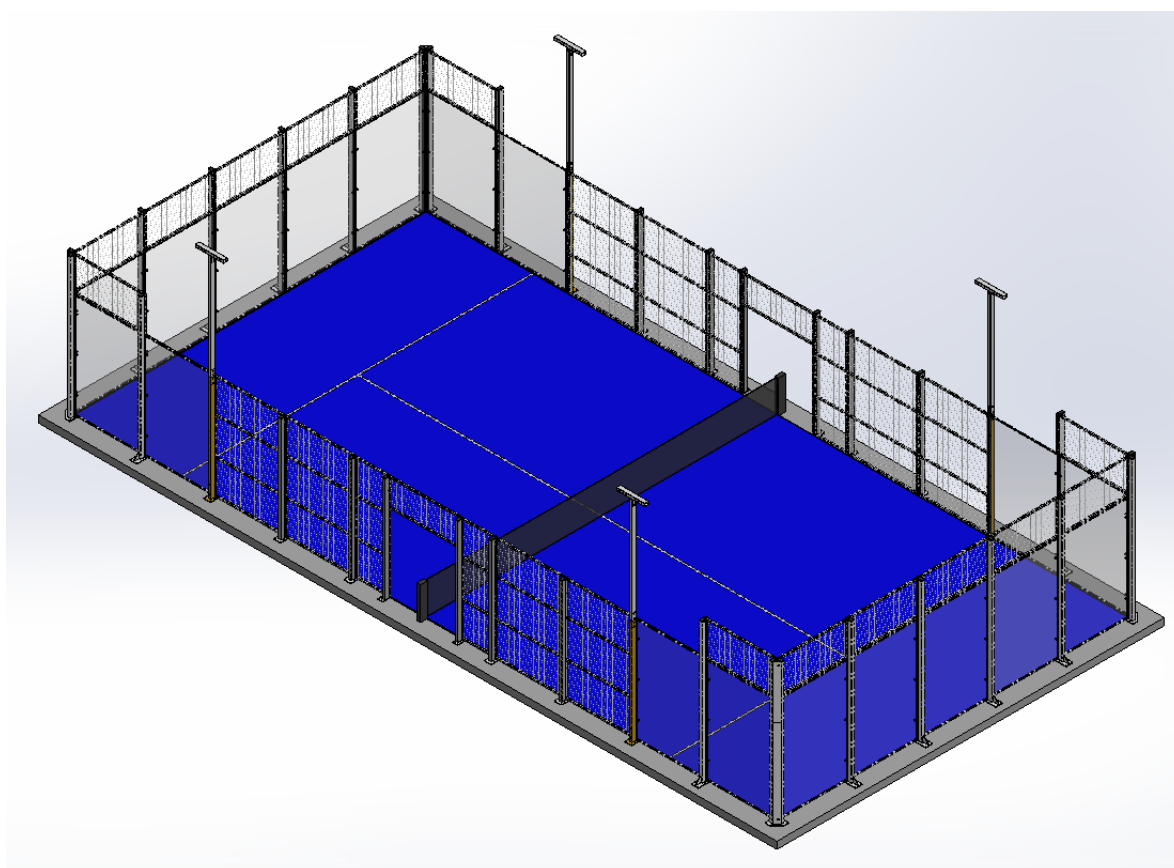
1. Aanleiding.....	3
2. Situatie.....	3
3. Belastingen	4
3.1 Dichtheidsfactor	4
3.2 Lichtmast	4
4. Uitvoering staanders	5
4.1 Staander bij glaspanelen	5
4.2 Staander bij gaaspanelen	5
4.3 Lichtmaststaander	6
5. Berekening staander glaspanelen	7
5.1 Controle kolom van staander glaspanelen.....	7
5.2 Controle van de las.....	10
5.3 Controle van de ankerverbinding.....	10
5.4 Conclusie staander bij glaspanelen	11
6. Lichtmaststaander	12
6.1 Controle kolom van lichtmaststaander	12
6.2 Controle van de las.....	14
6.3 Controle van de ankerverbinding.....	14
6.4 Conclusie lichtmaststaander	15
7. Staander gaaspanelen	15
Bijlage 1 – Hilti PROFIS – Glasstaander – Windgebied I	
Bijlage 2 – Hilti PROFIS – Lichtmast staander – Windgebied I	

1. Aanleiding

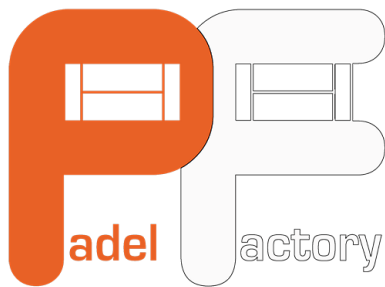
Baajens Metaal levert de stalen kooi voor de Padelfactory PRO Outdoor. Dit rapport omvat de statische berekening van deze kooi.

2. Situatie

Een padelkooi bestaat uit glas- en gaaspanelen die middels een haaksysteem aan de staanders worden gehangen. De maximale afstand tussen de staanders is 2 meter (hart op hart), ongeacht glas- of gaaspaneel. Alle panelen zijn maximaal 3 meter hoog, waarbij boven het glaspaneel nog een gaaspaneel zit met een hoogte van 1 meter. De totale hoogte van de kolom is 4 meter. In afbeelding 1 is een standaard padelbaan PRO Outdoor met rechte lichtmasten weergegeven.



Afbeelding 1: Standaard Padelfactory PRO Outdoor met rechte lichtmasten.



3. Belastingen

De kolommen worden statisch gecontroleerd op windbelasting volgens windgebied I. Dit is in Nederland het windgebied met de hoogste windbelasting. De windbelasting volgt uit EN 1991-4 NB 5.

Winddruk windgebied I onbebouwd bij 4 meter hoogte: $W_{d, \text{gebied I onbebouwd, } h = 4 \text{ m}} = 0,71 \text{ kN/m}^2$

Veiligheidsfactor: $VF = 2$

Winddruk $W_d = W_{d, \text{gebied I onbebouwd, } h = 4 \text{ m}} \times VF = 0,71 \times 2 = 1,42 \text{ kN/m}^2$

3.1 Dichtheidsfactor

Dichtheidsfactor glas: $\phi_{\text{glas}} = 1,0$

Dichtheidsfactor gaas: $\phi_{\text{gaas}} = 0,1$

Winddruk glas: $W_{d, \text{glas}} = W_d \times \phi_{\text{glas}} = 1,42 \times 1,0 = 1,42 \text{ kN/m}^2$

Winddruk gaas: $W_{d, \text{gaas}} = W_d \times \phi_{\text{gaas}} = 1,42 \times 0,1 = 0,142 \text{ kN/m}^2$

3.2 Lichtmast

De lichtmasten hebben een hoogte van 6 meter. Volgens EN 1991-4 NB 5 is op deze hoogte een andere windbelasting van toepassing.

Winddruk windgebied I onbebouwd bij 6 meter hoogte $W_{d, \text{gebied I onbebouwd, } h = 6 \text{ m}} = 0,84 \text{ kN/m}^2$

Veiligheidsfactor: $VF = 2$

Winddruk $W_{d, \text{lichtmast}} = W_{d, \text{gebied I onbebouwd, } h = 6 \text{ m}} \times VF = 0,84 \times 2 = 1,68 \text{ kN/m}^2$

4. Uitvoering staanders

4.1 Staander bij glaspanelen

De staanders bij de glaspanelen bestaan uit een kolom 120 x 80 x 3 van 4.000 mm (voor een glaspaneel met daarboven 1 meter gaaspaneel). De bovenste 1.000 mm wordt in de berekening niet meegenomen, omdat hier een gaaspaneel zit met maar 10% van de windbelasting. Door de veiligheidsfactor op de windbelasting, kan dit paneel in de berekening worden verwaarloosd.

Op 750 mm hoogte is een minimale doorsnede. Dit is de doorsnede t.p.v. het inhaaksysteem. Hier is een opening van 57 mm breed t.b.v. het haaksysteem.

De kolom is rondom gelast aan 15 mm dikke voetplaat. De kolom staat aan de binnenzijde van de baan 5 mm op de voetplaat. De verankeringen aan de betonnen fundering zijn gepositioneerd op 75 mm en 275 mm vanaf de rand van de voetplaat. De kolom is geschoord aan de voetplaat met een plaat van 15 mm dik. De schoor heeft een hoogte 150 mm.

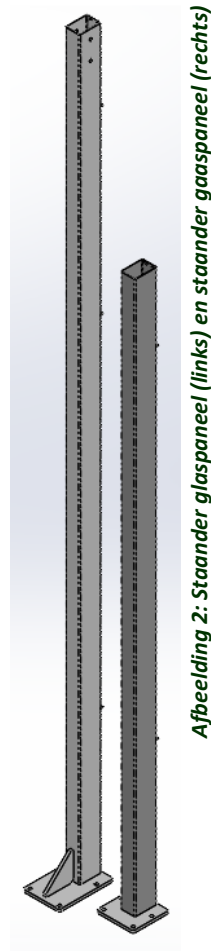
De staander bij de glaspanelen is links op afbeelding 2 weergegeven. De staander wordt volledig vervaardigd uit S355JR.

4.2 Staander bij gaaspanelen

De staanders bij de gaaspanelen bestaan uit een kolom 120 x 80 x 3 van 3.000 mm. Op 750 mm hoogte is een minimale doorsnede voor het inhaaksysteem. Hier is een opening van 57 mm breed t.b.v. het haaksysteem.

De kolom is rondom gelast aan 15 mm dikke voetplaat. De kolom staat aan de binnenzijde van de baan 5 mm op de voetplaat. De verankering aan de betonnen fundering zijn gepositioneerd op 75 mm en 175 mm vanaf de rand van de voetplaat.

De staander wordt volledig vervaardigd uit S355JR. De staander bij de glaspanelen is rechts op afbeelding 2 weergegeven.



Afbeelding 2: Staander glaspaneel (links) en staander gaaspaneel (rechts)

4.3 Lichtmaststaander

De lichtmaststaander is vergelijkbaar met de staander voor de gaaspanelen, die 3.000 mm verlengd wordt met een koker 120 x 80 x 3. De totale hoogte van de lichtmast is 6.000 mm. De lichtmast wordt toegepast bij de overgang van een gaas- naar een glaspaneel.

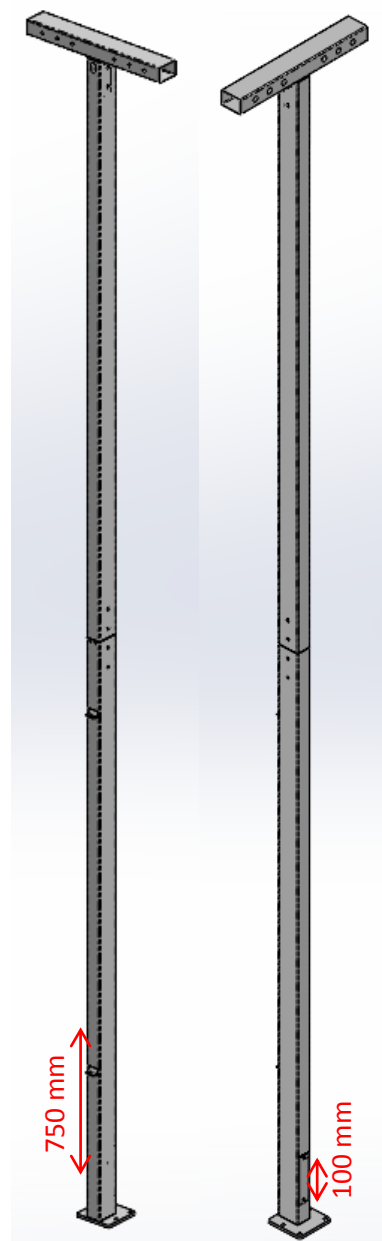
De lichtmast heeft 2 minimale doorsnedes. Op 750 mm hoogte is een minimale doorsnede voor het inhaaksysteem. De opening is 57 mm breed.

Op 100 mm hoogte bevindt zich de tweede kleinere doorsnede.

De opening is 64 mm breed.

De lichtmast is weergegeven in afbeelding 3.

De lichtmast wordt volledig vervaardigd uit S355JR.

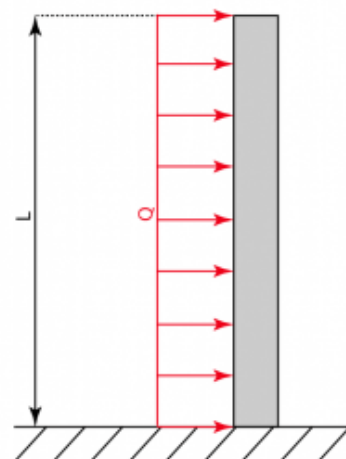


Afbeelding 3: Lichtmaststaander

5. Berekening staander glaspanelen

De sterkte van de staander van de glaspanelen wordt bepaald aan de hand van de maximaal toelaatbare statische belasting. Hierbij worden 3 kritische onderdelen onderscheiden.

- De sterkte van de kolom,
- De sterkte van de lasverbinding tussen de kolom en voetplaat,
- De verankering met de betonfundering.



Afbeelding 4: Situatieschets windbelasting op kolom.

5.1 Controle kolom van staander glaspanelen

De windbelasting manifesteert zich als een gelijkmatig verdeelde belasting op de kolom (zie afbeelding 4).

De belastbaarheid van de kolom wordt gecontroleerd door gebruik te maken van de volgende formule.

$$\text{Maximaal optredende spanning: } \sigma_{\max} = (Q_{\text{wind,glas}} \times L_{\text{kolom}}^2 / 2) / W_b < \sigma_{\max, \text{toe}}$$

De gelijkmatige verdeelde belasting wordt bepaald door de formule

$$Q_{\text{wind, glas}} = W_{d, \text{glas}} \times A_{\text{glas, glasstaander}} / L_{\text{kolom.}}$$

Het glasoppervlakte van een glasstaander is als volgt.

$$A_{\text{glas}} = L_{\text{kolom}} \times B_{\text{hartafstand tussen staanders}} = 3 \times 2 = 6 \text{ m}^2$$

De verdeelde belasting is dan als volgt.

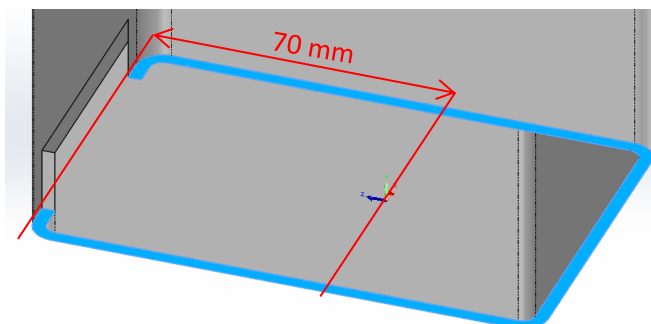
$$Q_{\text{wind, glas}} = W_{d, \text{glas}} \times A_{\text{glas, glasstaander}} / L_{\text{kolom}} = 6 \times 1.420 / 3 = 2.840 \text{ N/m} = 2,84 \text{ N/mm}$$

Weerstandsmoment koker 120 x 80 x 3: W_b ,
 $120 \times 80 \times 3 = 38.400 \text{ mm}^3$ (staaltabellen.nl)

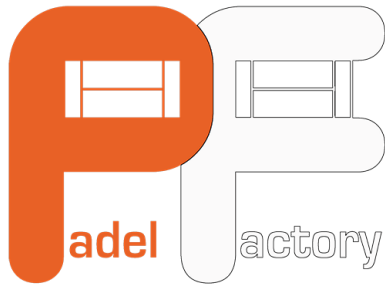
Traagheidsmoment t.p.v. inhaaksysteem:

$$I_{\text{haaksysteem}} = 1.613.437 \text{ mm}^4 \text{ (gegeven door CAD-programma)}$$

Positie neutrale lijn: $y_{\text{haaksysteem}} = 70 \text{ mm}$ (zie afbeelding 5)



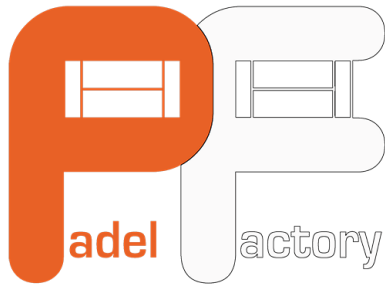
Afbeelding 5: Verschoven neutrale lijn bij haaksysteem



Het weerstandsmoment t.p.v. het haaksysteem is:

$$W_{b, \text{haaksysteem}} = I / y = 1.613.437 / 70 = 23.049 \text{ mm}^3$$

Maximaal toelaatbare spanning voor S355JR: $\sigma_{\text{max, toe}} = 355 \text{ N/mm}^2$ (Roloff & Matek tabel 1-1)



Maximaal optredende spanningen:

$$\begin{aligned}\sigma_{kolom} &= (Q_{wind,glas} \times L_{kolom}^2 / 2) / W_{b, 120 \times 80 \times 3} < \sigma_{max, toe} \\ \sigma_{kolom} &= (2,84 \times 3.000^2 / 2) / 38.400 = 332,8 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{kolom, haaksysteem} &= (2,84 \times 2.250^2 / 2) / 23.049 = 311,9 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Bij een veiligheidsfactor 2 zijn de optredende spanningen 332,8 N/mm² en 311,9 N/mm² zijn kleiner dan de maximaal toegestane spanning van 355 N/mm². De koker is **goedgekeurd**.

5.2 Controle van de las

In deze paragraaf wordt de las gecontroleerd op sterkte. Kijkend naar de las zal de koker willen kantelen om de las aan de binnenzijde van de baan en aan de andere lassen gaan trekken. Deze trekkracht grijpt in het midden van de koker aan: op $120 / 2 = 60$ mm van het kantelpunt.

De totale laslengte L_{las} is $2 \times (120 + 80) = 400$ mm. De schoor wordt hier buiten beschouwing gelaten. De grootte van de las is a3.

De werkende laslengte $L_{las,w}$ is $400 - 80 = 320$ mm (zie de rode lijnen in afbeelding 6).

Het totale oppervlakte van de las $A_{las} = L_{las} \times a_{las} = 320 \times 3 = 960$ mm².

De kracht waarmee aan de las wordt getrokken als gevolg van de windbelasting kan worden bepaald middels de momentvergelijking.

$$\begin{aligned} \text{Kracht} \times \text{arm} &= \text{Kracht} \times \text{arm} \\ (Q_{wind, glas} \times A_{glas}) \times (L_{kolom} / 2) &= F_{las} \times r_{las} \\ (1.420 \times 6) \times (3.000 / 2) &= F_{las} \times 60 \\ F_{las} &= 8.520 \times 1.500 / 60 = 213.000 \text{ N} \end{aligned}$$

De optredende spanning is dan als volgt

$$\begin{aligned} \sigma_{las,optr} &= F_{las} / A_{las} < \sigma_{max, toe} \\ \sigma_{las,optr} &= 213.000 / 960 = 221,9 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ N/mm}^2. \end{aligned}$$

De optredende spanning is lager dan de toegestane spanning. Dit is inclusief een veiligheidsfactor van 2. De las is **goedgekeurd**.

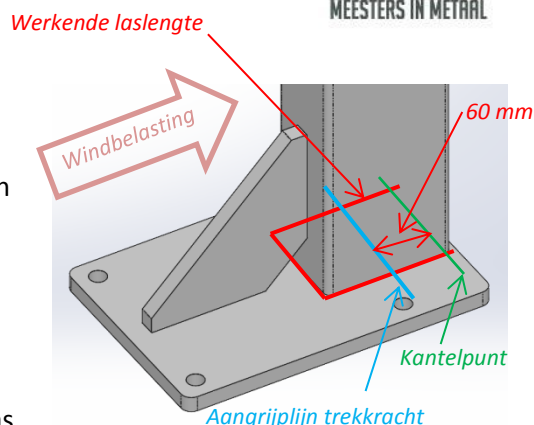
5.3 Controle van de ankerverbinding

De controle van de ankerverbinding wordt met de software Hilti PROFIS Engineering uitgevoerd. In het programma worden de volgende belastingen ingevoerd.

$M_y = -12,8$ kNm	$M_x = 0$ kNm	$M_z = 0$ kNm
$V_y = 0$ kN	$V_x = -8,52$ kN	$V_z = -2,4$ kN

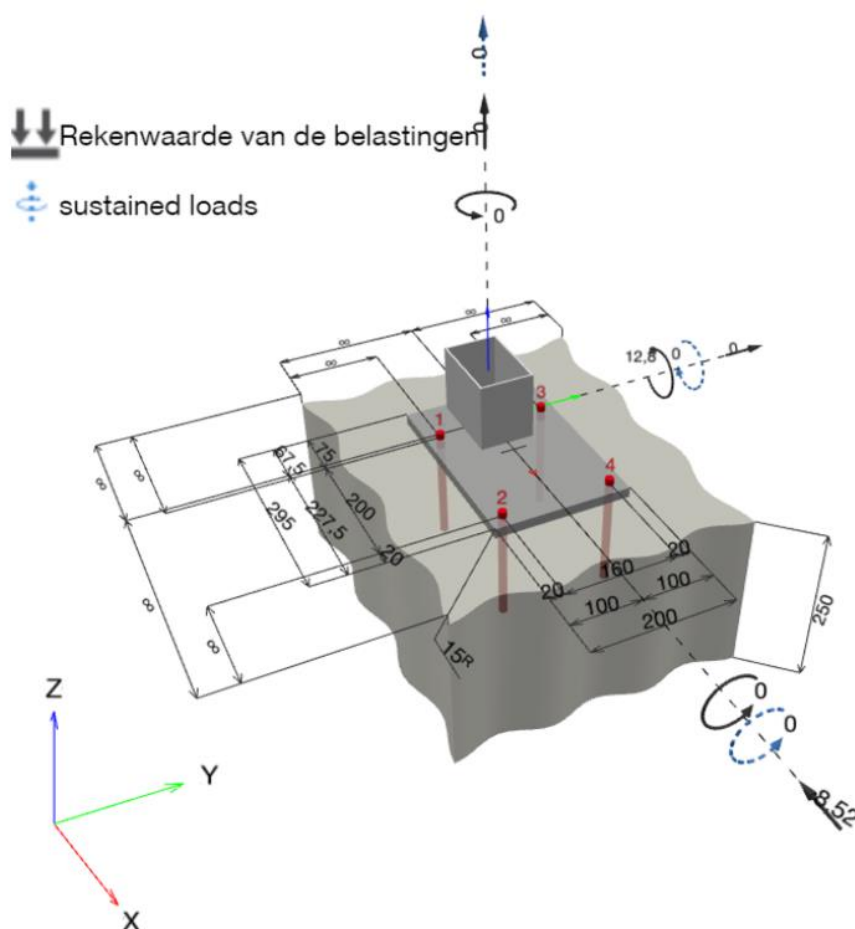
$M_y = Q \times L^2 / 2 = 2,84 \times 1.000 \times 3^2 / 2 = 12.780$ Nm = 12,78 kNm, $V_x = Q \times L = 2.840 \times 3 = 8.520$ N = 8,52 kN, V_z is het eigen gewicht van de constructie per staander = 2,4 kN.

Dit geeft de situatie zoals is weergegeven in afbeelding 7 op de volgende pagina.



Afbeelding 6: Gelaste voetplaat

In Bijlage 1 – Hilti PROFIS – Glasstaander – Windgebied I is het uitgebreide berekeningsrapport van de ankerverbinding te vinden. Uit dit rapport volgt dat de verbinding veilig is.



Afbeelding 7: Situatieafbeelding van de ankerverbinding in Hilti PROFIS

5.4 Conclusie staander bij glaspanelen

Het ontwerp van de staander bij glaspanelen is goedgekeurd op windbelasting voor windgebied I met veiligheidsfactor 2.

6. Lichtmaststaander

De sterkte van de lichtmaststaander wordt bepaald aan de hand van de maximaal toelaatbare statische belasting. Hierbij worden 3 kritische onderdelen onderscheiden.

- De sterkte van de kolom,
- De sterkte van de lasverbinding tussen de kolom en voetplaat,
- De ankerverbinding.

6.1 Controle kolom van lichtmaststaander

De windbelasting manifesteert zich als een gelijkmatig verdeelde belasting op de kolom (zie afbeelding 8). De lichtmast heeft nog extra windbelasting bovenin. Deze manifesteert zich als een puntbelasting (zie afbeelding 9). De belastbaarheid van de kolom wordt bepaald door de maximum optredende spanning te berekenen.

$$\text{Maximaal optredende spanning } \sigma_{\text{lichtmast}} = (Q_{\text{wind, lichtmast}} \times L_{\text{kolom}}^2 / 2) / W_b + (P_{\text{wind, armatuur}} \times L_{\text{kolom}}) / W_b < \sigma_{\text{max, toe}}$$

De gelijkmatig verdeelde belasting wordt bepaald door de formule $Q_{\text{wind, glas lichtmast}} = W_{d, \text{glas}} \times A_{\text{glas, lichtmast}} / L_{\text{kolom}}$. Het glasoppervlakte van een lichtmast is als volgt.

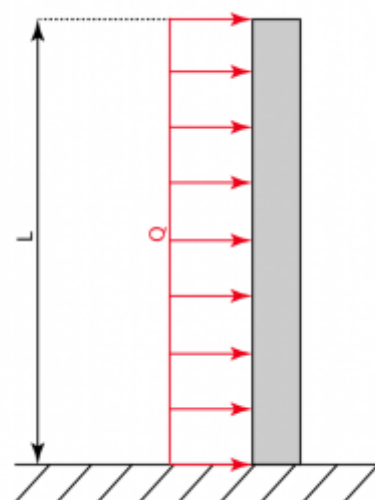
$$A_{\text{glas, lichtmast}} = L_{\text{kolom}} \times B_{\text{hartafstand tussen staanders}} \times 0,5 \\ = 3 \times 2 \times 0,5 = 3 \text{ m}^2$$

De verdeelde belasting wordt als volgt bepaald.

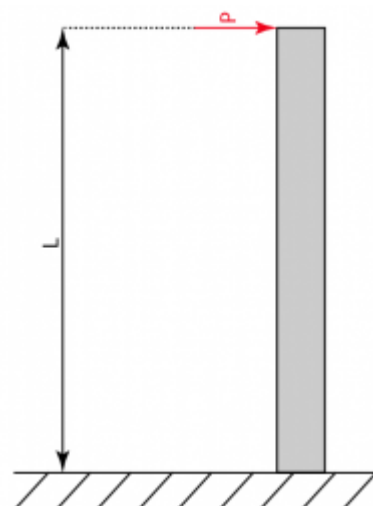
$$Q_{\text{wind, glas lichtmast}} = W_{d, \text{glas}} \times A_{\text{glas, lichtmast}} / L_{\text{kolom}} = \\ 3 \times 1.420 / 3 = 1.420 \text{ N/m} = 1,42 \text{ N/mm}$$

Het oppervlakte van de armatuur is $0,4 \text{ m}^2$. De puntbelasting wordt als volgt bepaald.

$$P_{\text{wind, armatuur lichtmast}} = W_{d, \text{lichtmast}} \times A_{\text{armatuur}} \\ 1,68 \times 0,4 = 0,672 \text{ kN} = 672 \text{ N}$$



Afbeelding 8: Situatieschets windbelasting op kolom



Afbeelding 9: Situatieschets windbelasting op lichtarmaturen

Weerstandsmoment koker 120 x 80 x 3: $W_{b, 120 \times 80 \times 3} = 38.400 \text{ mm}^3$ (staaltabellen.nl)

Traagheidsmoment t.p.v. inhaaksysteem: $I_{\text{haaksysteem}} = 1.613.437 \text{ mm}^4$ (gegeven door CAD-programma)

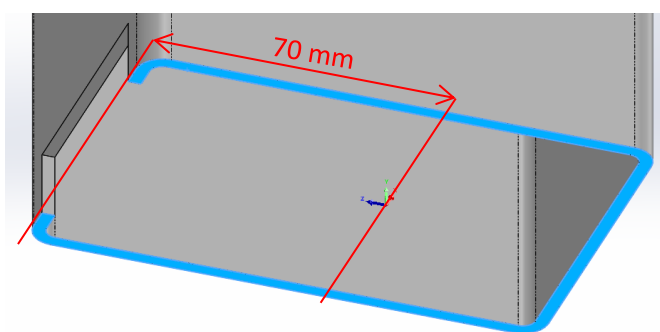
Positie neutrale lijn: $y_{\text{haaksysteem}} = 70 \text{ mm}$ (zie afbeelding 10)

Traagheidsmoment t.p.v. klepje drivers: $I_{\text{klep}} = 1.511.755 \text{ mm}^4$ (gegeven door CAD-programma)

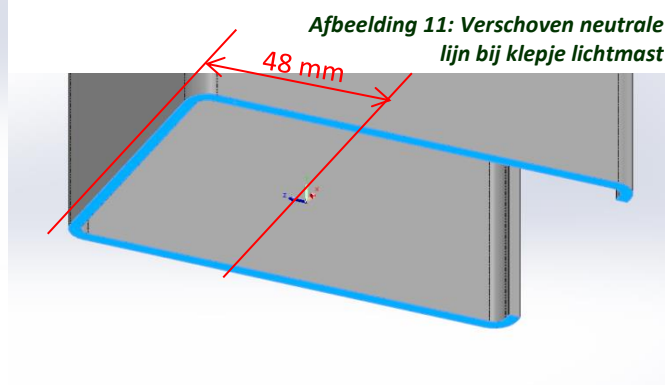
Positie neutrale lijn: $y_{\text{klep}} = 48 \text{ mm}$ (zie afbeelding 11)

$$W_{b, \text{haaksysteem}} = I / y = 1.613.437 / 70 = 23.049 \text{ mm}^3$$

$$W_{b, \text{klep}} = I / y = 1.511.755 / 48 = 31.495 \text{ mm}^3$$



Afbeelding 10: Andere neutrale lijn bij haaksysteem



Afbeelding 11: Vershoven neutrale lijn bij klepje lichtmast

De optredende spanningen zijn als volgt.

$$\text{Spanning } \sigma = (Q_{\text{wind, lichtmast}} \times L_{\text{kolom}}^2 / 2) / W_b + (P_{\text{wind, armatuur}} \times L_{\text{kolom}}) / W_b$$

$$\sigma_{\text{lichtmast}} = (1,42 \times 3.000^2 / 2) / 38.400 + (672 \times 6.000) / 38.400$$

$$= 166,4 + 105 = 271,4 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{lichtmast, haaksysteem}} = (1,42 \times 2.250^2 / 2) / 23.049 + (672 \times 5.250) / 23.049$$

$$= 155,9 + 153,1 = 309,0 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{lichtmast, klep}} = (1,42 \times 2.900^2 / 2) / 31.495 + (672 \times 5.900) / 31.495$$

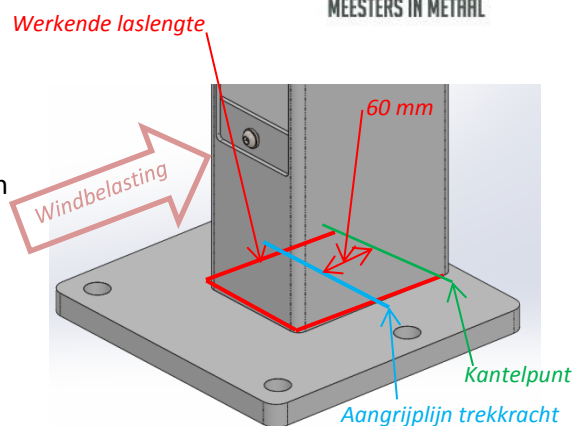
$$= 185,6 + 125,9 = 311,5 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ N/mm}^2$$

Bij een veiligheidsfactor 2 zijn de optredende spanningen 271,4 N/mm², 309,0 N/mm² en 311,5 N/mm² zijn kleiner dan de toegestane spanning van 355 N/mm². De kolom is **goedgekeurd**.

6.2 Controle van de las

In deze paragraaf wordt de las gecontroleerd op sterkte. Kijkend naar de las zal de koker willen kantelen om de las aan de binnenzijde van de baan en aan de andere lassen gaan trekken. Deze trekkracht grijpt in het midden van de koker aan: op $120 / 2 = 60$ mm van het kantelpunt.

De totale laslengte L_{las} is $2 \times (120 + 80) = 400$ mm. De grootte van de las is a_3 .



Afbeelding 12: Gelaste voetplaat

De werkende laslengte $L_{las,w} = 400 - 80 = 320$ mm (zie de rode lijnen in afbeelding 12)

Het totale oppervlakte van de las is $A_{las} = L_{las} \times a_{las} = 320 \times 3 = 960$ mm²

De kracht waarmee aan de las wordt getrokken kan worden bepaald middels de momentvergelijking.

$$\begin{aligned}
 M_{wind, glas} + M_{wind, lichtarmatuur} &= M_{las} \\
 (Q_{wind, glas} \times A_{glas, lichtmast}) \times (L_{kolom} / 2) + (P_{wind, armatuur} \times L_{lichtmast}) &= F_{las} \times r_{las} \\
 (1.420 \times 3) \times (3.000 / 2) + (672 \times 6.000) &= F_{las} \times 60 \\
 F_{las} &= ((1.420 \times 3) \times (3.000 / 2) + (672 \times 6.000)) / 60 = \\
 (6.390.000 + 4.032.000) / 60 &= 173.700 \text{ N}
 \end{aligned}$$

De optredende spanning is dan als volgt

$$\begin{aligned}
 \sigma_{las, optr} &= F_{las} / A_{las} < \sigma_{max, toe} \\
 \sigma_{las, optr} &= 173.700 / 960 = 180,9 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ N/mm}^2.
 \end{aligned}$$

De optredende spanning is lager dan de toegestane spanning. Dit is inclusief een veiligheidsfactor van 2. De las is **goedgekeurd**.

6.3 Controle van de ankerverbinding

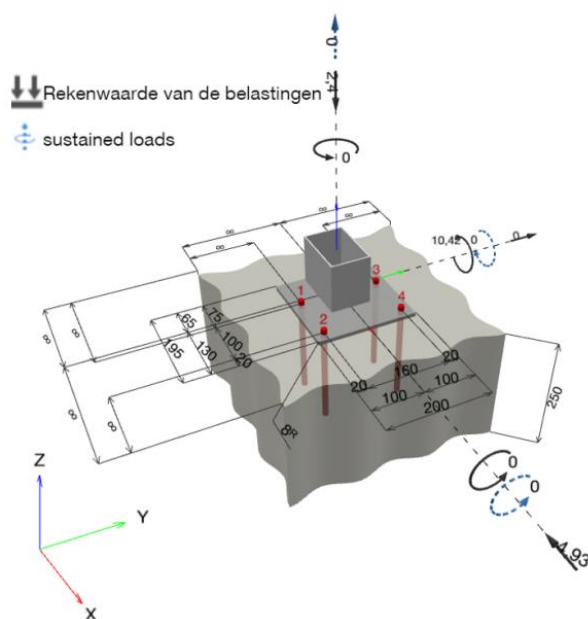
De controle van de ankerverbinding wordt met de software Hilti PROFIS engineering uitgevoerd. In het programma worden de volgende belastingen ingevoerd.

$M_y = -10,42$ kNm	$M_x = 0$ kNm	$M_z = 0$ kNm
$V_y = 0$ kN	$V_x = -4,93$ kN	$V_z = -2,4$ kN

$M_y = Q \times L^2 / 2 + F \times L = (1,42 \times 1.000 \times 3^2 / 2) + (672 \times 6) = 6.390 + 4.032 = 10.422$ Nm = 10,42 kNm, $V_x = (Q \times L) + F = 1,42 \times 3 + 672 = 4.932$ N = 4,93 kN, V_z is het eigen gewicht van de constructie per staander = 2,4 kN.

Dit geeft de situatie zoals is afgebeeld in afbeelding 13 op de volgende pagina.

In Bijlage 2 – Hilti PROFIS – Lichtmast staander – Windgebied I is het uitgebreide berekeningsrapport van de ankerverbinding te vinden. Uit dit rapport volgt dat de verbinding veilig is.



Afbeelding 13: Situatieafbeelding van de ankerverbinding in Hilti PROFIS

6.4 Conclusie lichtmaststaander

Het ontwerp van de lichtmast staander is goedgekeurd op windbelasting met veiligheidsfactor 2.

7. Staander gaaspanelen

De staander van de gaaspanelen is hetzelfde uitgevoerd als de lichtmast staander. De staander bij de gaaspanelen wordt echter minder belast dan de lichtmast staander. Deze staander voldoet.