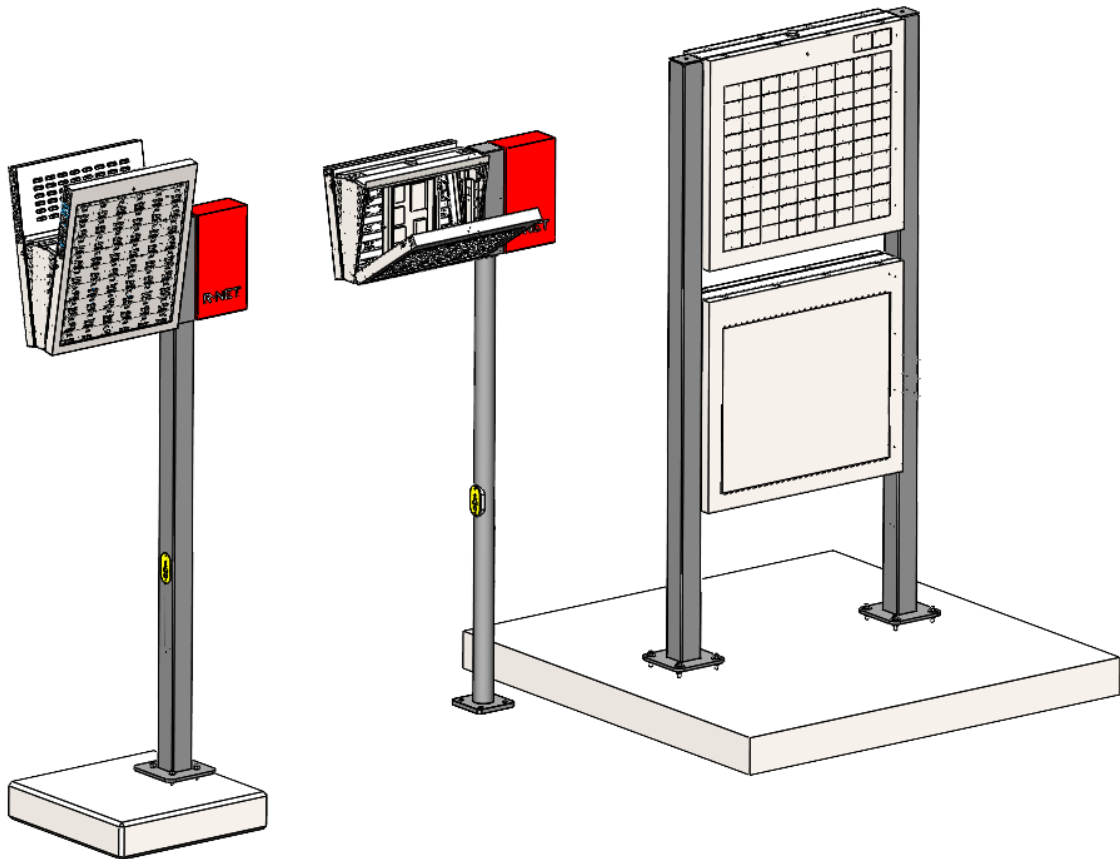


Statische berekening stalen masten OV-displays

Opdrachtgever: Q-lite

Berekening uitgevoerd door: Klaver Innovations

Datum uitvoer: 20-6-2022



Uitgevoerde berekeningen

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van Eindige Elementen. Hierbij is gebruik gemaakt van Solid Works. Gezien de complexiteit van de displays is hier voor gekozen. De masten zelf zijn ook berekend met de Eindige Elementen methode.

Als eerste zijn de verschillende masttypes berekend, vervolgens zijn de displays (type A en C) en tot slot de Vanen doorgerekend. Er is in alle gevallen uitgegaan van de maximale afmeting. Als deze voldoet, dan voldoen de kleinere modellen ook. De basisconstructie (brainbox) is namelijk bij alle modellen gelijk.

Mast type A

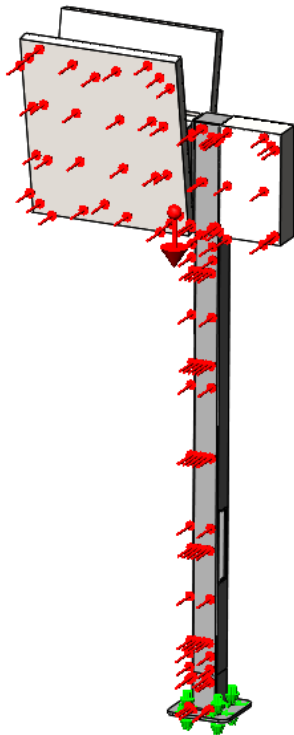
Mast type A is een enkele mast, deze heeft aan één zijde een toegangsluik voor de aansluitkast. Dit kan een kritieke locatie zijn in de mast.

De masten met displays staan bloot aan windbelasting. De masten worden toegepast in de regio Rotterdam, windgebied II onbebouwd gebied. De hoogte van de bovenkant van de masten is maximaal $h = 4$ m boven het perron en is gelijk aan het maaiveld. De stuwdruk door wind is $q_{\text{wind}} = 0,9 \text{ kN/m}^2$

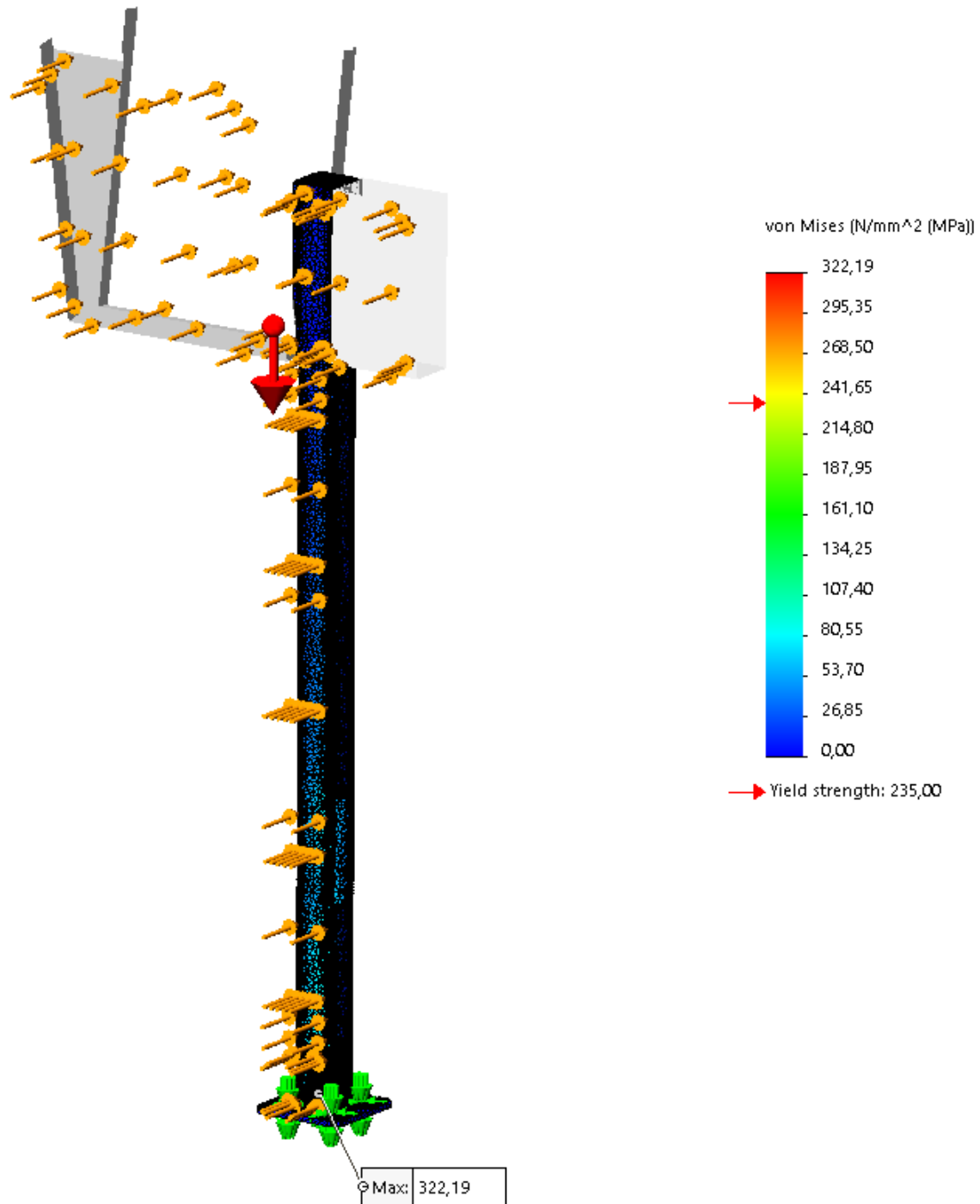
Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,2$ voor het eigen gewicht en de permanente belasting. Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,35$ voor de veranderlijke belasting (windbelasting)

Het gewicht per mast bedraagt ca 100kg, het display weegt ca 100kg en de vaan weegt ca 20kg.

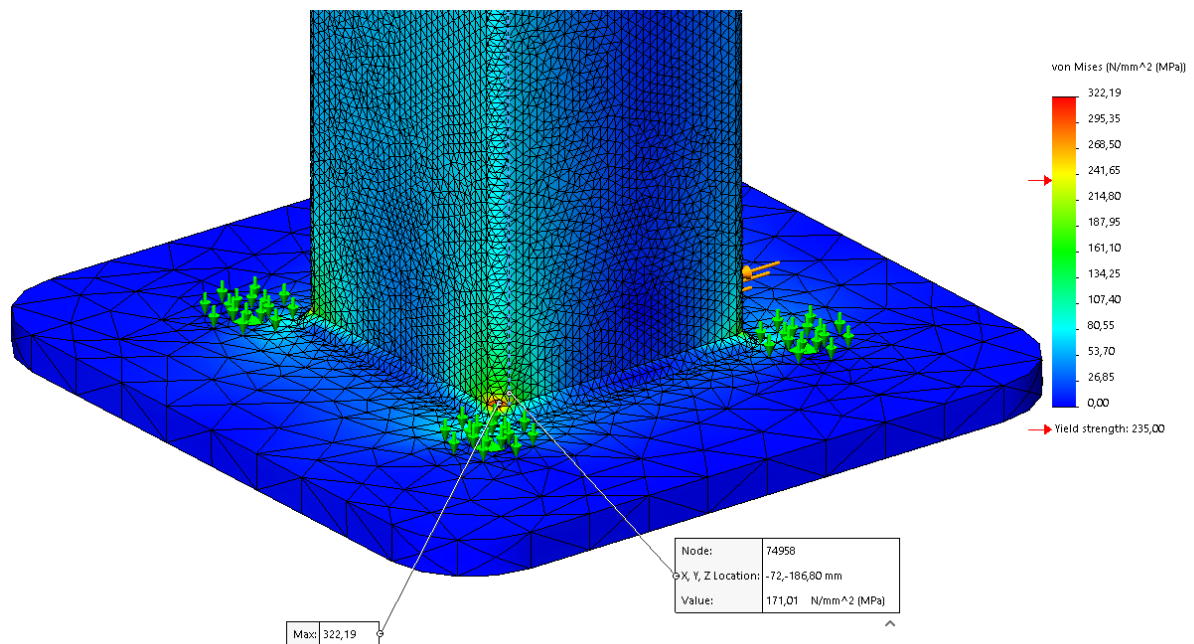
De belasting is aangebracht op het model. De wind belasting (rode pijlen) bedraagt $0,9 \text{ kN/m}^2$. Het eigen gewicht van de totale constructie is meegenomen (dikke rode pijl). In deze berekening zijn de borden niet doorgerekend. Deze zijn als oneindig stijf beschouwd. Deze berekeningen hebben alleen betrekking op de mast zelf. Verderop in het rapport worden de borden afzonderlijk doorgerekend.



De maximale spanning bedraagt 322N/mm². Dit is een te hoge spanning voor de toegepaste materialen. Echter is deze spanningspiek toe te wijzen aan een singularity (tekortkoming in de toegepaste Eindige elementen methode). Dit wordt nader toegelicht in deze berekeningen.



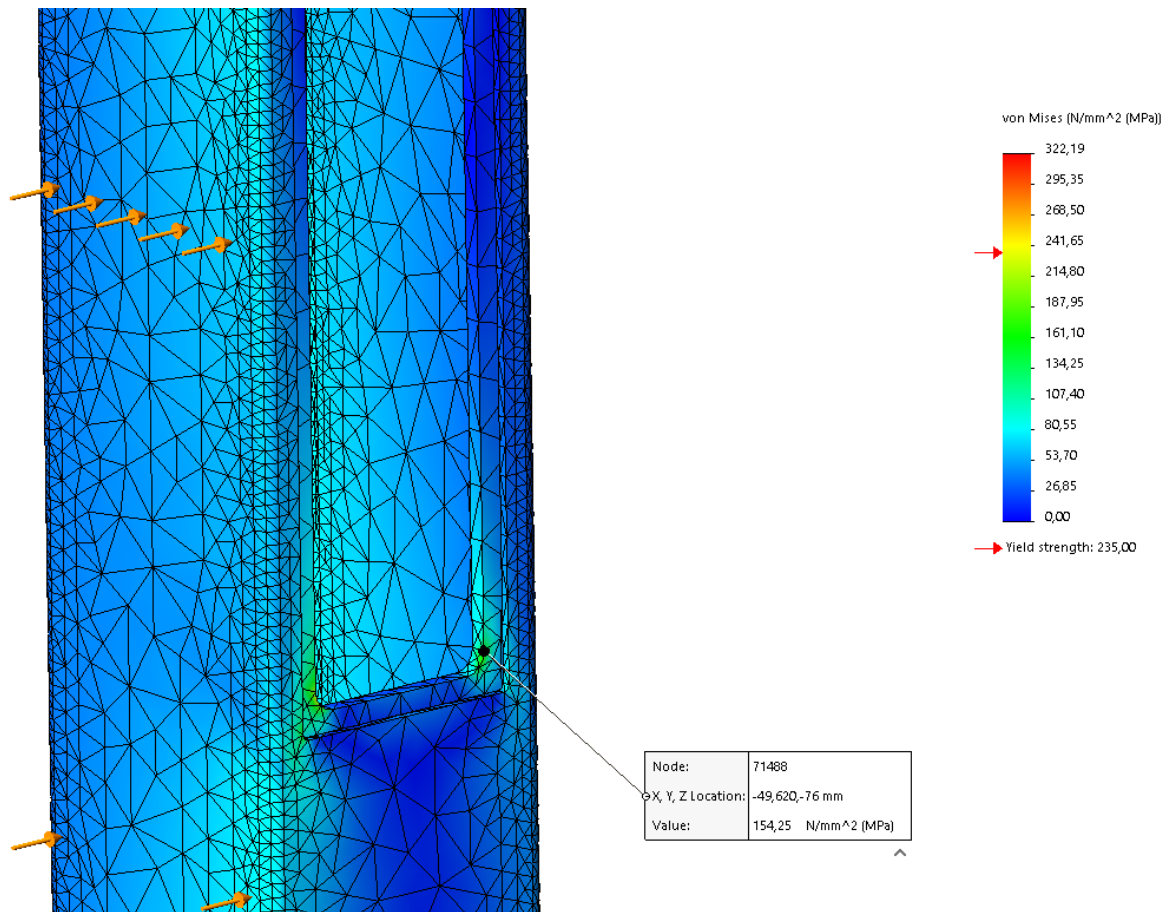
Bij bestudering van de spanning in de voetplaat is te zien dat de piekspanning wordt veroorzaakt door een singularity. De spanning naast deze piek bedraagt 171N/mm²



De maximale spanning bedraagt dus ca 171N/mm².

Het toegepaste materiaal is staal S235. Toelaatbare spanning S235 is 235N/

171N/mm² < 235N/mm² dus voldoet.



De maximale spanning rondom het mastluik bedraagt 155N/mm².
 Het toegepaste materiaal is staal S235. Toelaatbare spanning S235 is 235N/mm²

155N/mm² < 235N/mm² dus voldoet.

Mast type C

Mast type C is een dubbele mast, deze heeft aan één zijde een toegangsluik voor de aansluitkast. Dit kan een kritisch locatie zijn. In de berekeningen is eerst het geheel berekend qua doorbuiging. Vervolgens is één enkele mast waar het mastluik in zit, doorgerekend. De windbelasting en het eigen gewicht zijn hierin bepalend.

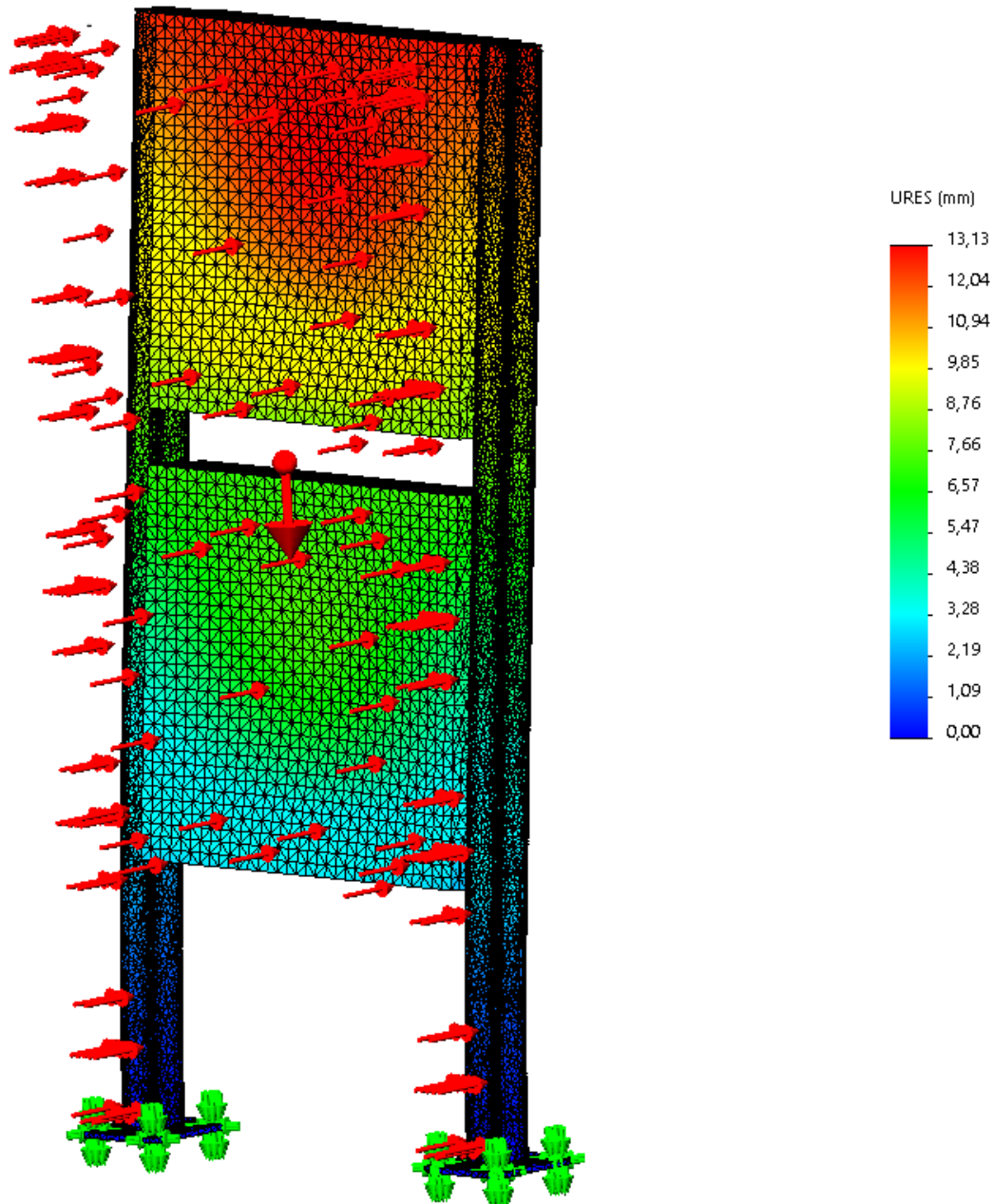
De masten met displays staan bloot aan windbelasting. De masten worden toegepast in de regio Rotterdam, windgebied II onbebouwd gebied. De hoogte van de bovenkant van de masten is maximaal $h = 4$ m boven het perron is gelijk aan het maaiveld. De stuwdruk door wind is $q_{wind} = 0,9 \text{ kNm}^2$

Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,2$ voor het eigen gewicht en de permanente belasting. Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,35$ voor de veranderlijke belasting (windbelasting)

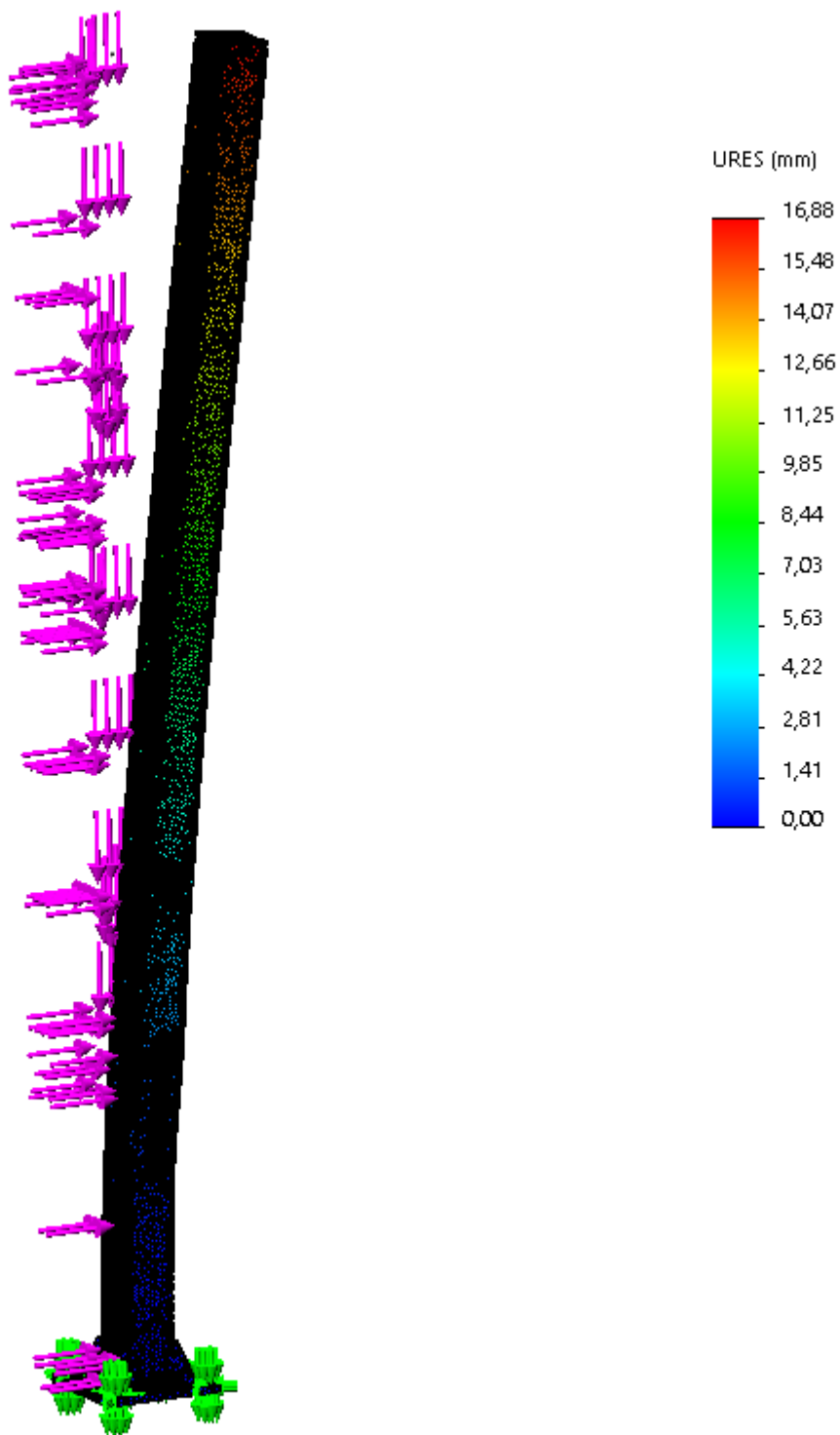
Het gewicht per mast bedraagt ca 100kg, het display weegt ca 130kg en het onderste lichtscherm weegt ca 100kg.

Toetsing model

De berekening op de totale samenstelling is vergeleken met een enkele mast met de optredende belasting per mast. Om deze te beoordelen is de doorbuiging vergeleken tussen een enkele mast en een combinatie.



Verplaatsing maximaal 13mm (aan de top)



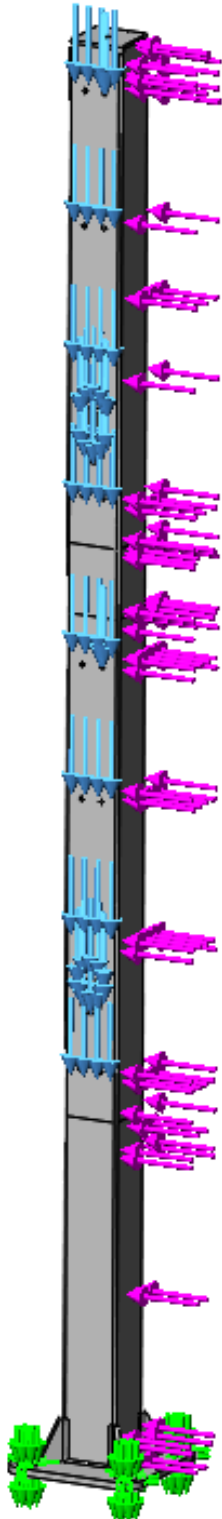
Vergelijk individuele mast (toetsing model) verplaatsing 16mm

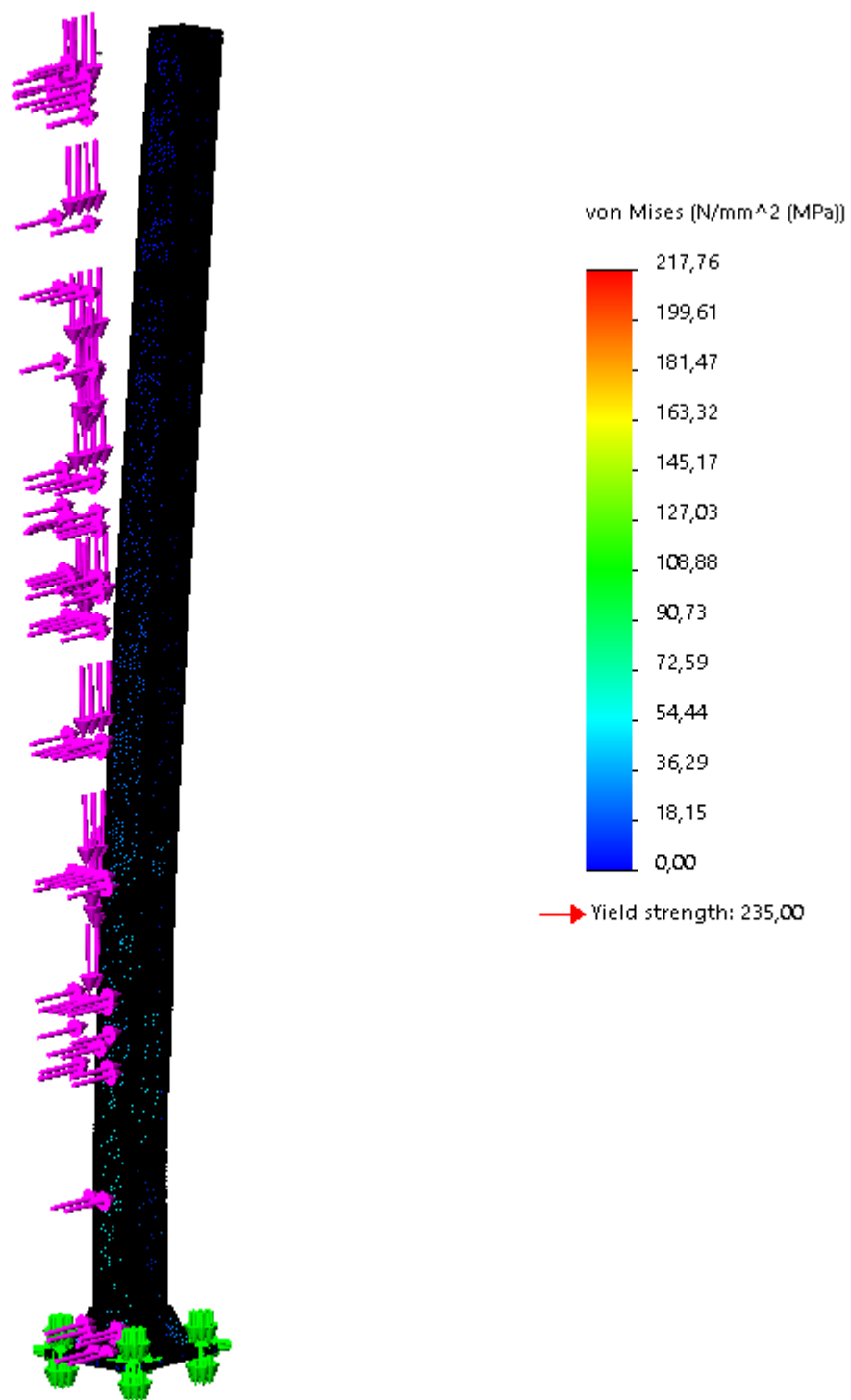
Dit verschil is dusdanig klein dat er vanuit gegaan kan worden dat de berekeningen gedaan kunnen worden op een enkele mast.

Berekeningen losse mast

Belasting door winddruk (paarse pijlen)

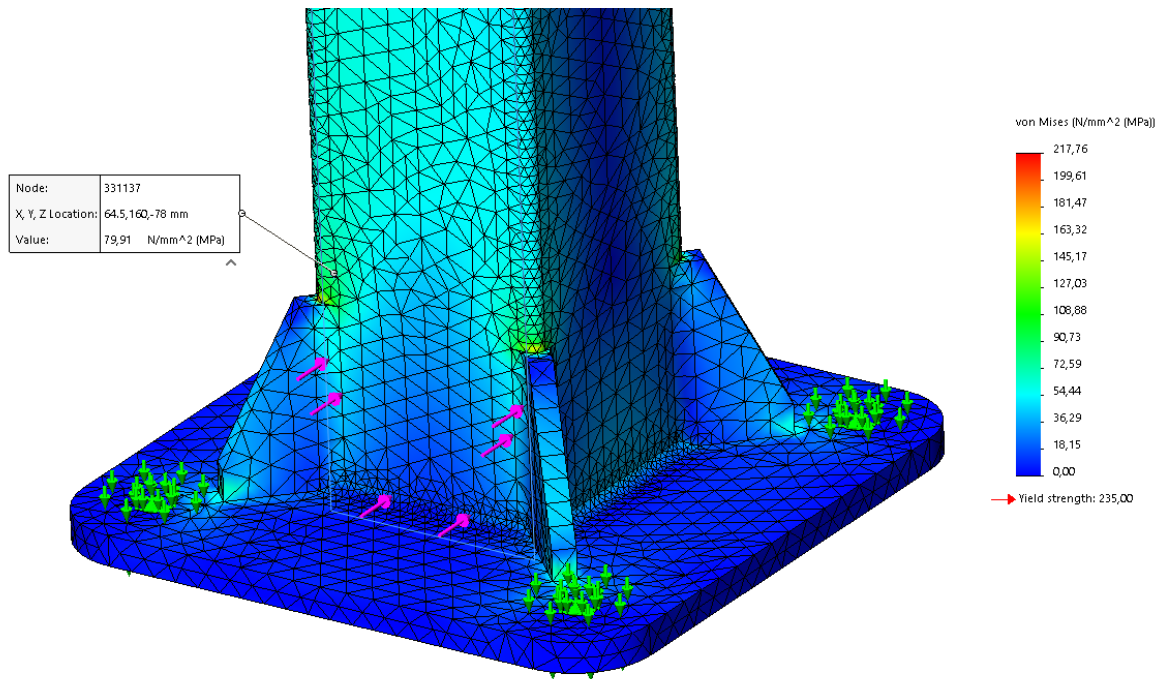
Eigen gewicht mast (blauwe pijlen)





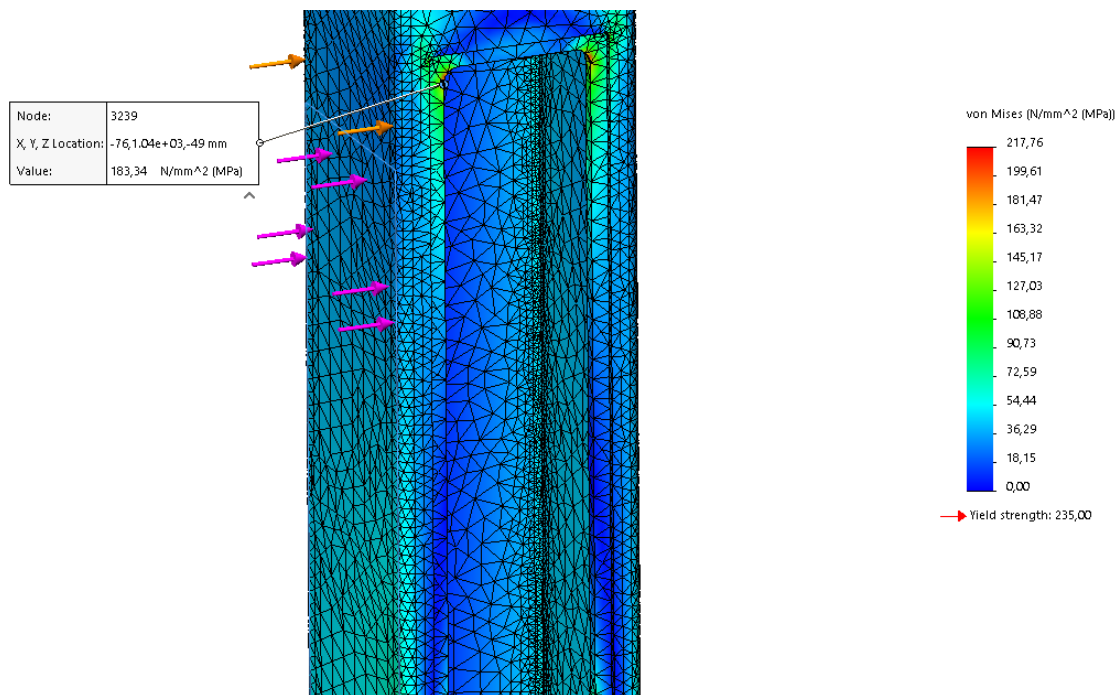
Optredende maximale spanning bedraagt ca 218 N/mm² Het toegepaste materiaal is staal S235. Toelaatbare spanning S235 is 235N/mm²

Optredende spanning 218 N/mm² < 235 -> voldoet

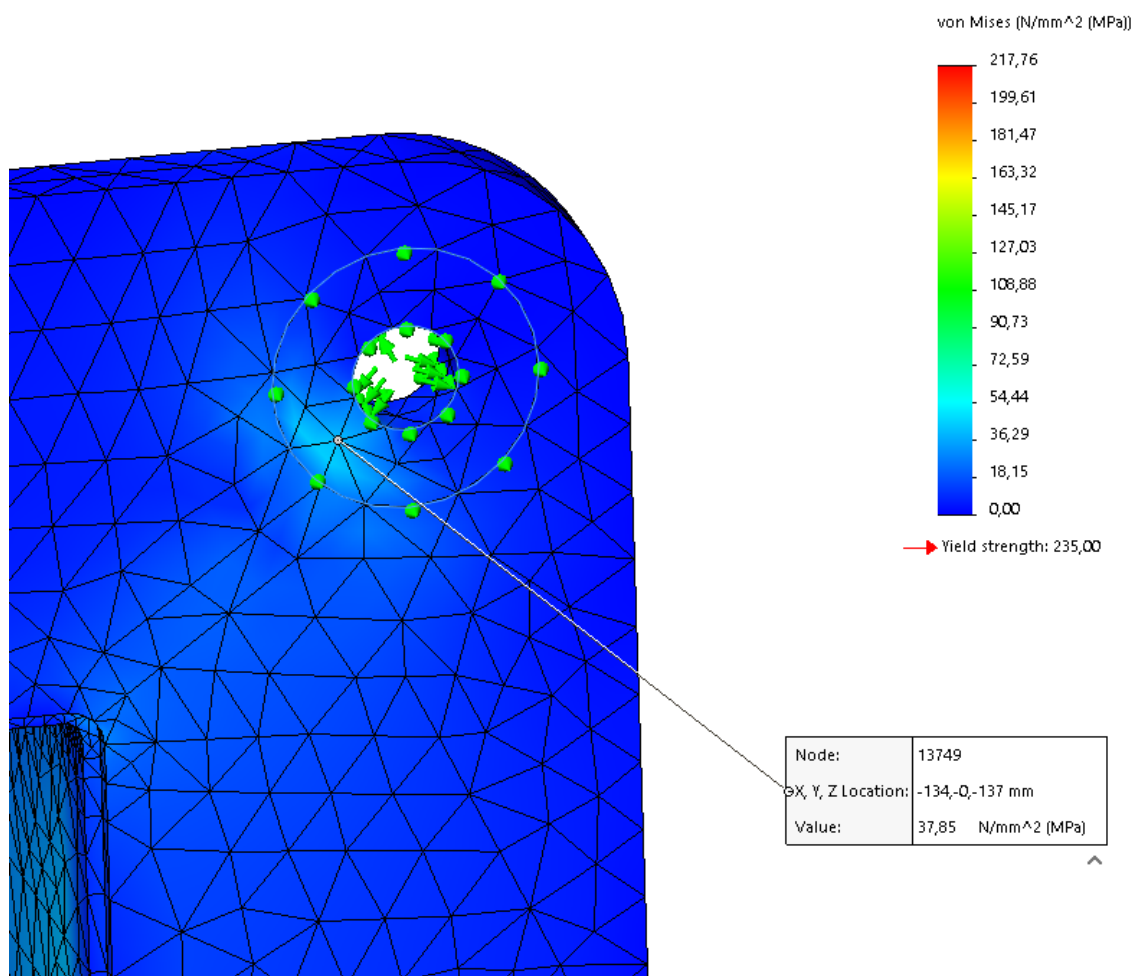


Detail voetplaat krachtleiding. Optredende maximale spanning bedraagt ca 80 N/mm² Het toegepaste materiaal is staal S235. Toelaatbare spanning S235 is 235N/mm²

80N/mm² < 235N/mm² dus voldoet.



Detail spanning rond mastluis, spanning 183 N/mm² < 235 -> voldoet



Controle berekening voetplaat. De voetplaat wordt niet ondersabeld, dus de kracht wordt via een stelmoer + ring in de voetplaat geleid. Spanning bedraagt hier $38 \text{ N/mm}^2 < 235$ -> voldoet.

Statische berekening Vaan 700x400x200

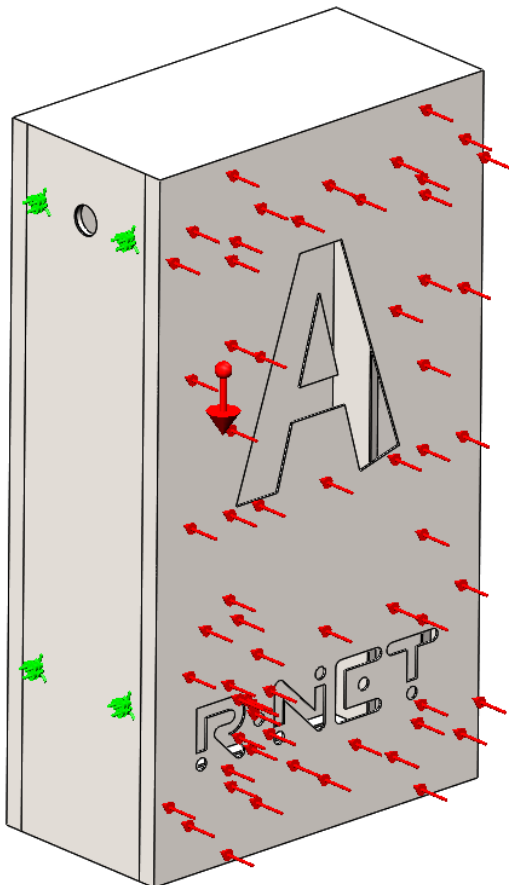
De vanen staan bloot aan windbelasting. De vanen worden toegepast in de regio Rotterdam, windgebied II onbebouwd gebied. De hoogte van de bovenkant van de masten is maximaal $h = 4$ m boven het perron is gelijk aan het maaiveld. De stuwdruk door wind is $q_{\text{wind}} = 0,9 \text{ kNm}^2$

Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,2$ voor het eigen gewicht en de permanente belasting. Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,35$ voor de veranderlijke belasting (windbelasting)

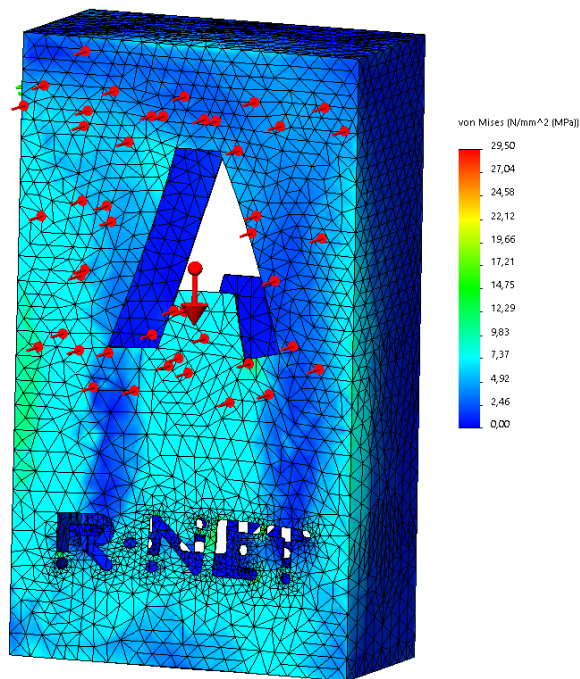
De grootste vaan is in beschouwing genomen, de overige zijn kleiner en hebben een lager gewicht en hebben een kleiner windoppervlak.
De vaan met afmetingen (hxbxd) 700x400x200 is doorgerekend.
Kritisch punt kan zijn de boutbevestiging aan de mast.

De belasting op de vaan is $0,9 \text{ kNm}^2$ (rode pijltjes) en het eigen gewicht (grote rode pijl) bedraagt ca 20kg.

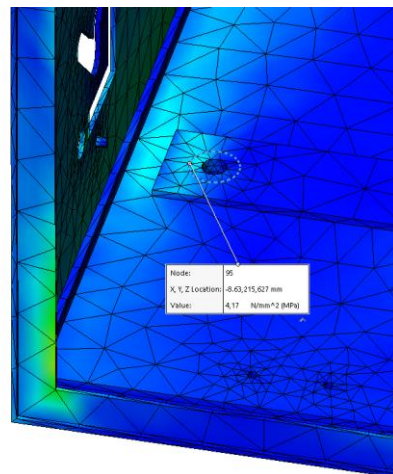
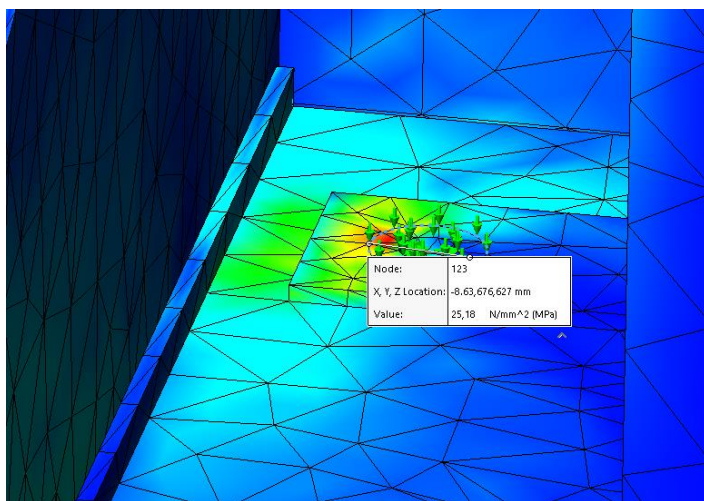
Bevestiging aan de mast van 160mm breed geschiet met 4 M8 bouten (groene pijlen)



De spanning in het materiaal is zeer laag: 29,5 N/mm²:



Ook de lokale spanning aan de binnenzijde van de vaan bij de boutgaten is laag. Daar treed wel de hoogste spanning op.



De maximale spanning bedraagt dus 29,5N/mm².

Het toegepaste materiaal is staal S235 en aluminium EN-AW5754 (buiten behuizing)

Toelaatbare spanning S235 is 235N/mm² voor EN-AW5754 is 80N/mm²

29,5N/mm² < 80N/mm² dus voldoet.

Statische berekening Display 9 regels

De displays staan bloot aan windbelasting. De displays worden toegepast in de regio Rotterdam, windgebied II onbebouwd gebied. De hoogte van de bovenkant van de masten is maximaal $h = 4$ m boven het perron. De stuwdruk door wind is $q_{\text{wind}} = 0,9 \text{ kNm}^2$

Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,2$ voor het eigen gewicht en de permanente belasting. Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,35$ voor de veranderlijke belasting (windbelasting)

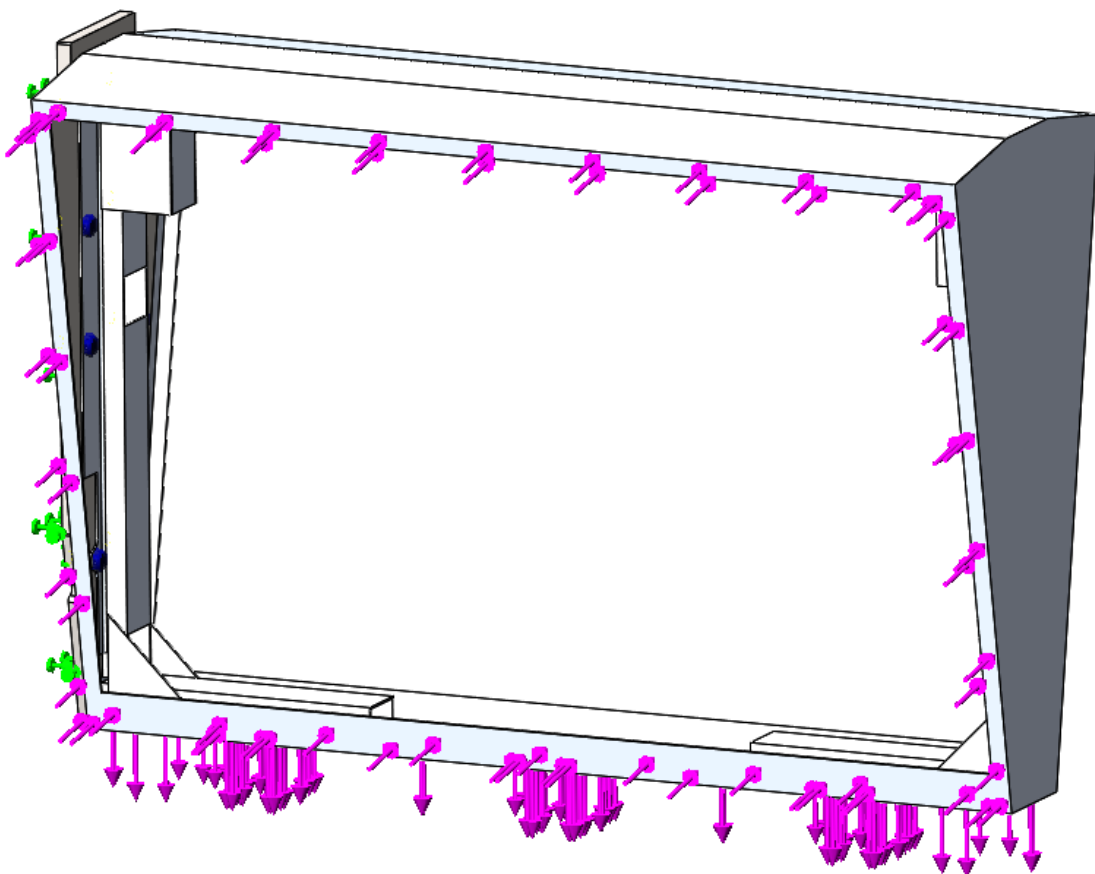
Het grootste display is in beschouwing genomen, de overige zijn kleiner en hebben een lager gewicht en hebben een kleiner windoppervlak.

Het display met afmetingen (hxb) 1004x1170 is doorgerekend.

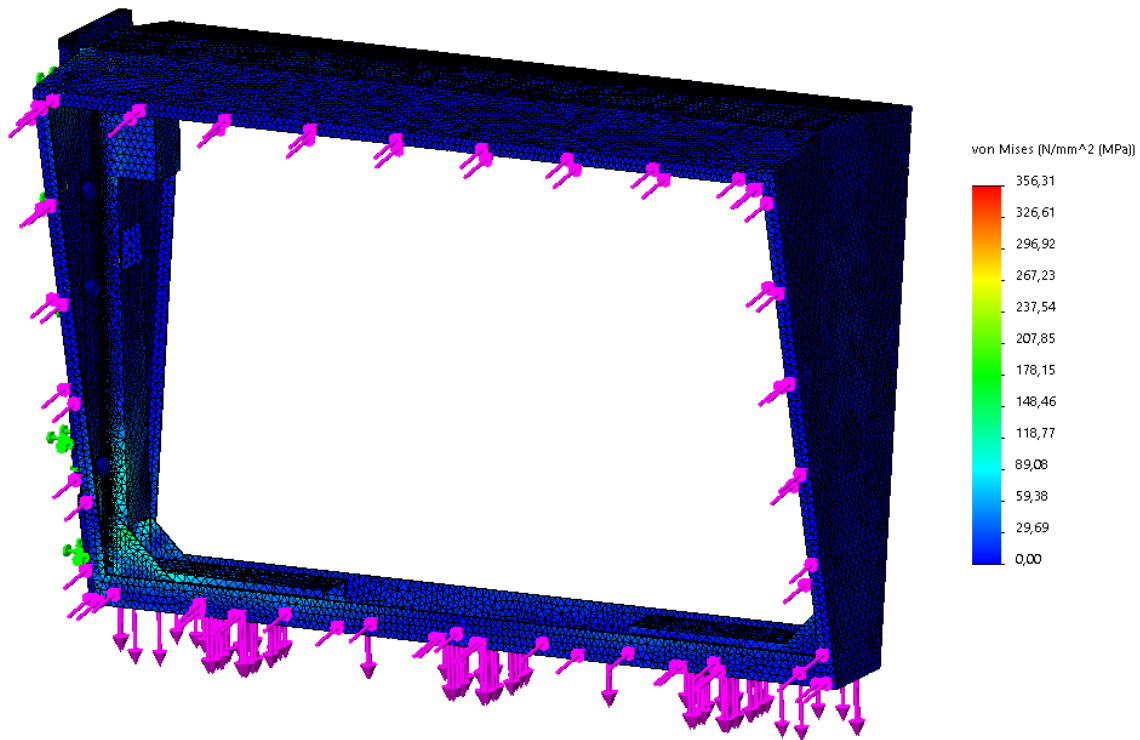
Kritisch punt kan zijn de boutbevestiging aan de mast en de sterkte van de buitenconstructie bij openstaande displays

De belasting op het display is $0,9 \text{ kNm}^2$ (paarse pijltjes) en het gewicht van de displays bedraagt ca 40kg (paarse geconcentreerde pijlen aan de onderzijde)

Bevestiging aan de mast van 160mm breed geschiet met 8 M8 bouten (groene pijlen)

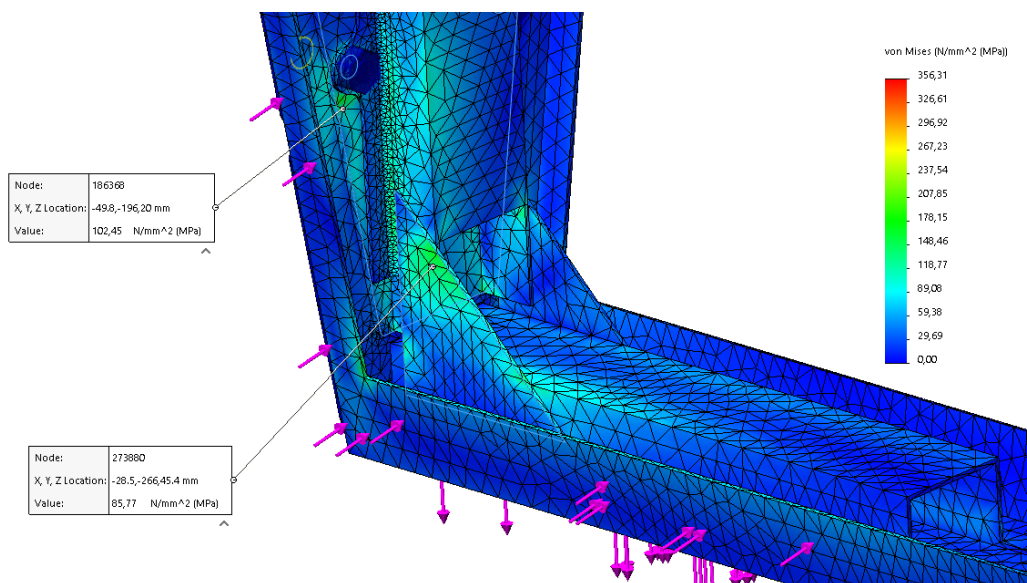


De maximaal optredende spanning is 356N/mm². Dit is een te hoge spanning voor de toegepaste materialen. Echter is deze spanningspiek toe te wijzen aan een singularity (tekortkoming in de toegepaste Eindige elementen methode). Dit wordt nader toegelicht in deze berekeningen.



Als we meer inzoomen op een aantal onderdelen, zien we de volgende optredende spanningen:

Onderzijde mastbevestiging:

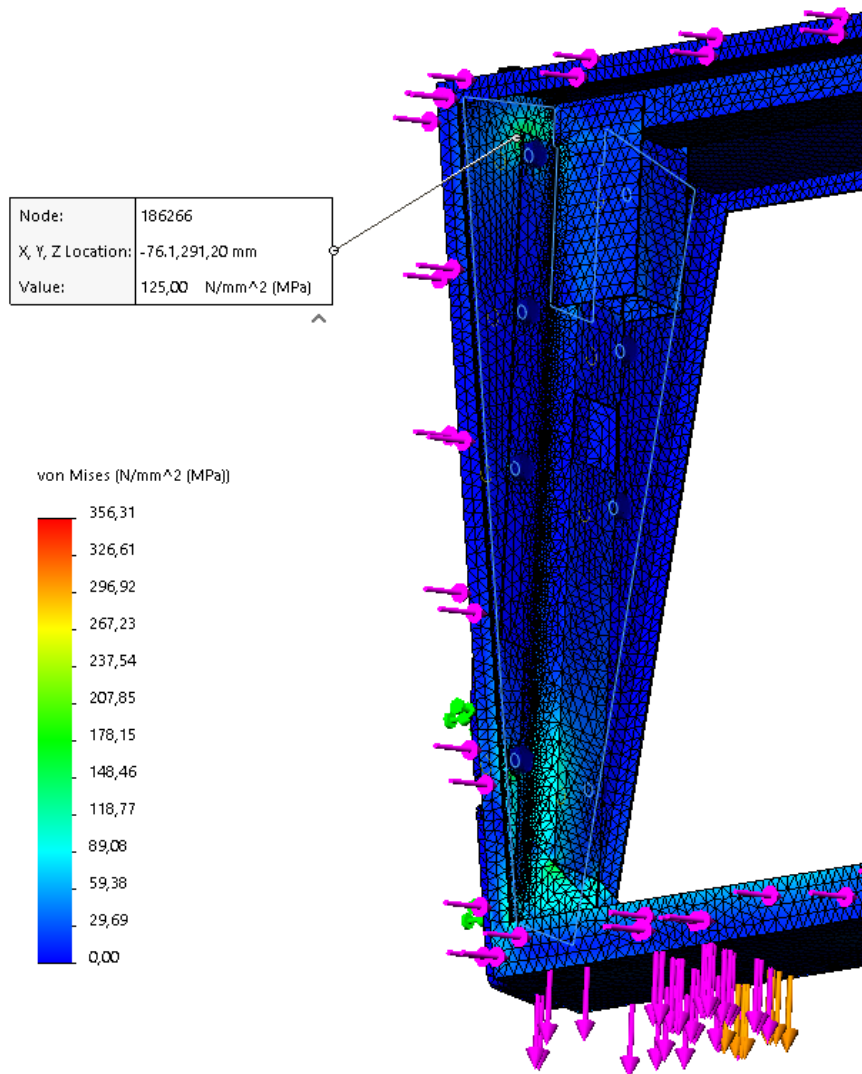


De maximale spanning bedraagt ca 100N/mm².

Het toegepaste materiaal voor desbetreffend onderdeel is staal S235. Toelaatbare spanning S235 is 235N/mm²

100 N/mm² < 235N/mm² dus voldoet.

Bovenzijde mastbevestiging



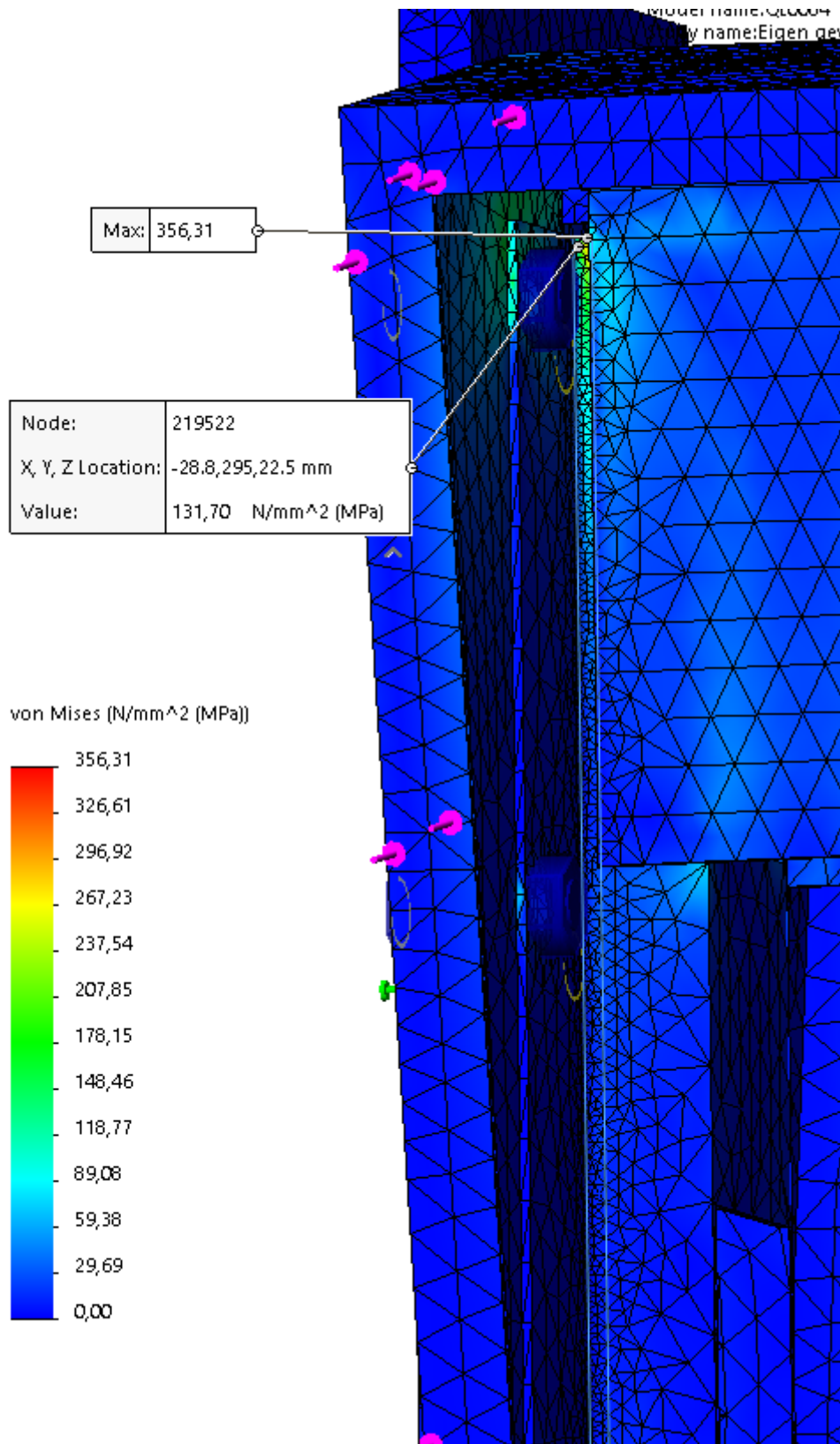
De maximale spanning bedraagt ca 125N/mm².

Het toegepaste materiaal voor desbetreffend onderdeel is staal S235. Toelaatbare spanning S235 is 235N/mm²

125 N/mm² < 235N/mm² dus voldoet.

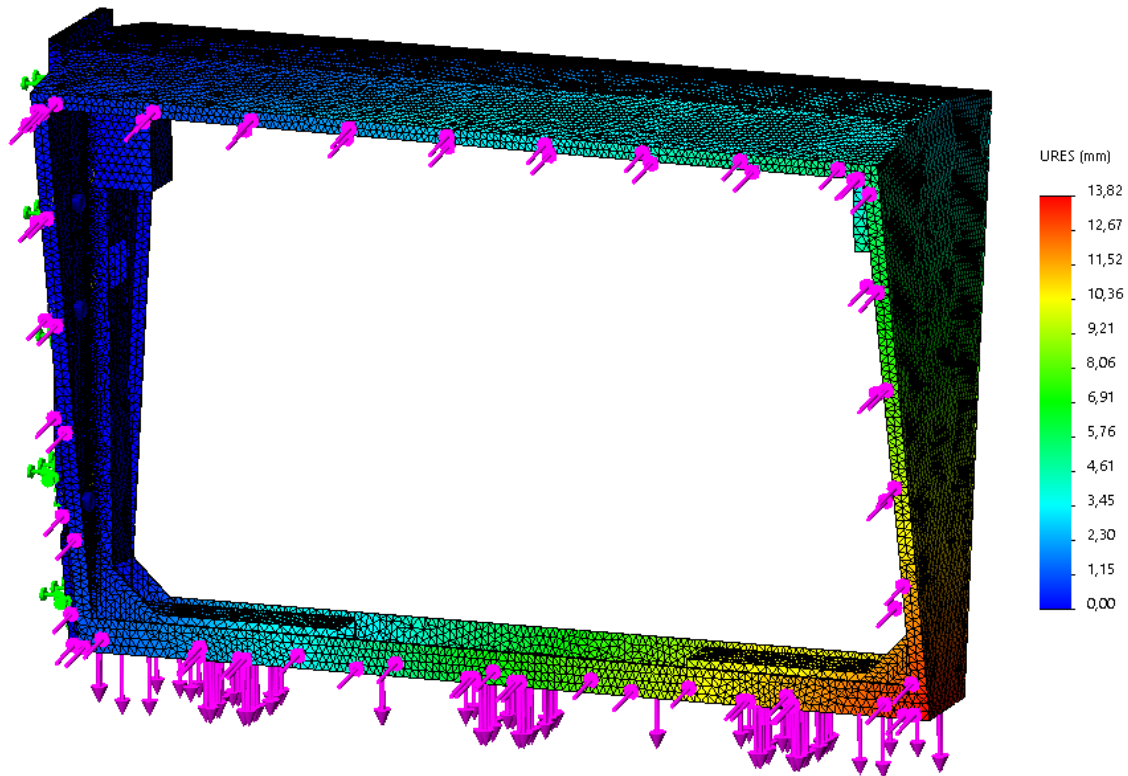
Locatie singularity:

Te zien is dat de hoogste spanning in een haakse hoek zit. Het element ernaast heeft maar een spanning van 131N/mm². Dit geeft aan dat het een singularity betreft. Deze hoge piek mag daarom buiten beschouwing gelaten worden.



Maximale doorbuiging

Door de windbelasting buigt het frame uit naar achteren. De doorbuiging van het uiterste punt bedraagt 13,8mm. In de berekening is wel het oppervlak van de displaydeuren meegenomen om de belasting te bepalen (1500N) maar de stijfheid die de displays aan het geheel geven niet. In de praktijk zullen de displays met een storm niet open staan en dus zal de doorbuiging nog een stuk lager uitvallen.



Statische berekening Display 12 regels (type C)

De displays staan bloot aan windbelasting. De displays worden toegepast in de regio Rotterdam, windgebied II onbebouwd gebied. De hoogte van de bovenkant van de masten is maximaal $h = 4$ m boven het perron. De stuwdruk door wind is $q_{\text{wind}} = 0,9 \text{ kNm}^2$

Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,2$ voor het eigen gewicht en de permanente belasting. Er wordt uitgegaan van een belastingfactor $\gamma = 1,35$ voor de veranderlijke belasting (windbelasting)

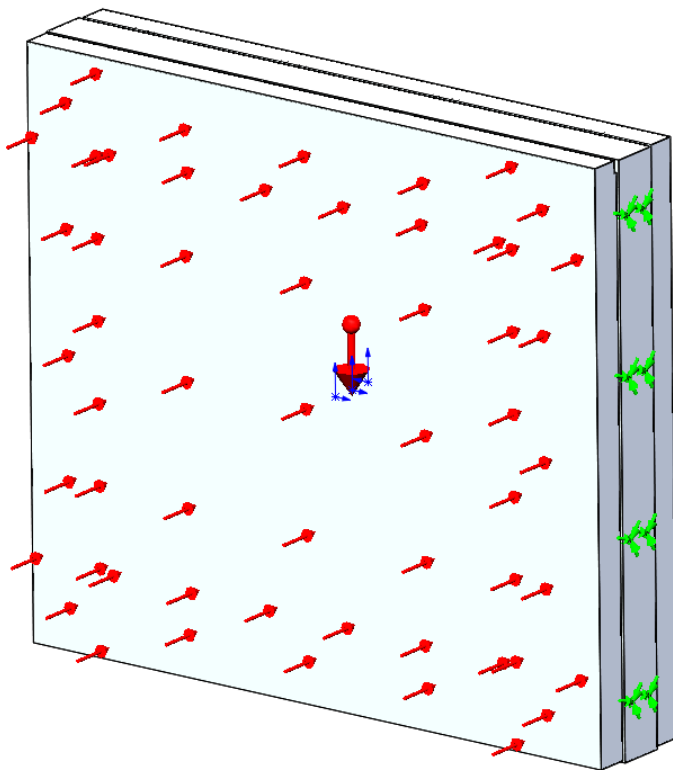
Het grootste display is in beschouwing genomen, de overige zijn kleiner en hebben een lager gewicht en hebben een kleiner windoppervlak.

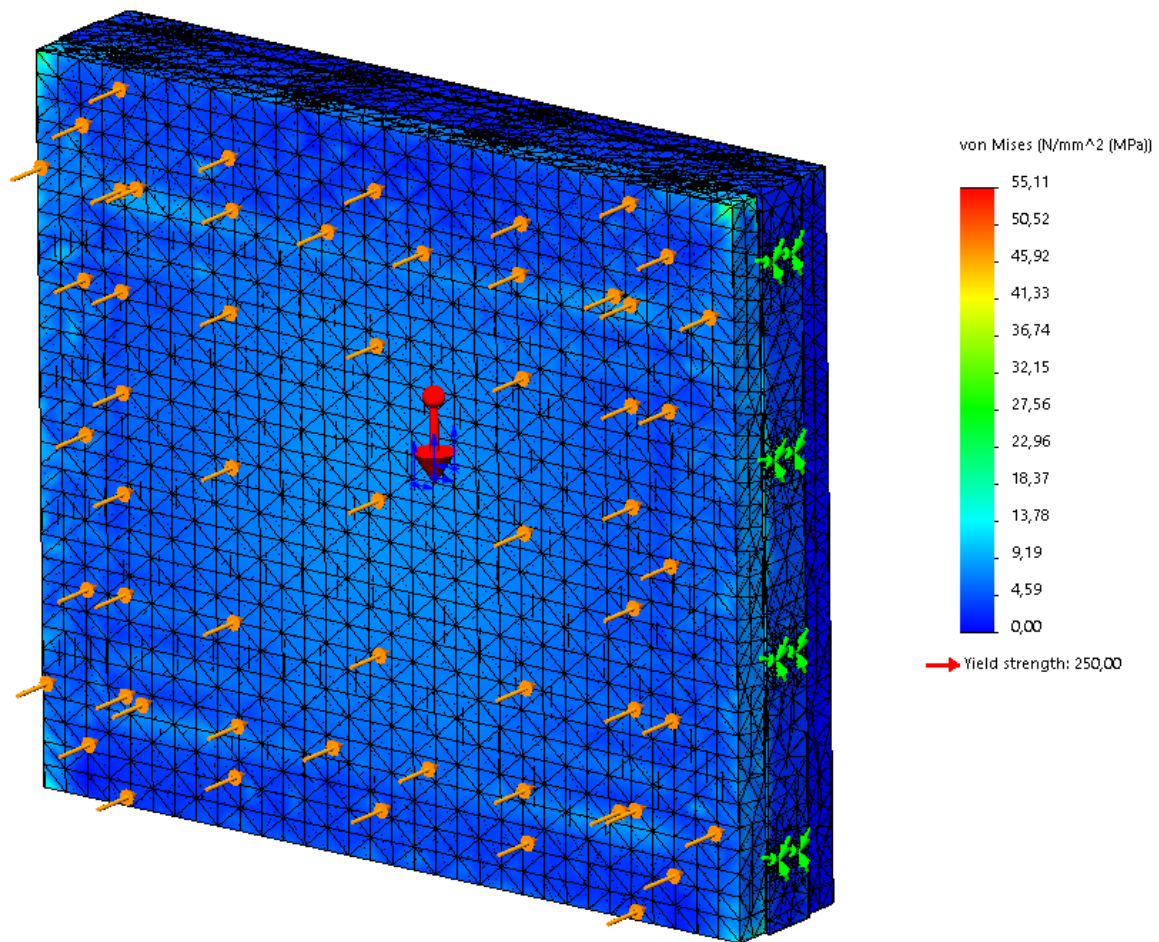
Het display met afmetingen (hxb) 1590x1412 is doorgerekend.

Kritisch punt kan zijn de boutbevestiging aan de mast. Gezien de dubbele mast is de sterkte voor de situatie bij een openstaand display niet kritiek.

De windbelasting op het display is $0,9 \text{ kNm}^2$ (rode pijltjes) en het gewicht van de displays bedraagt ca 100kg (grote rode pijl)

Bevestiging aan de mast van 160mm breed geschiet met 2x8 M8 bouten (groene pijlen)





De maximale spanning bedraagt ca 55N/mm².

Het toegepaste materiaal is staal S235 en aluminium EN-AW5754 (buiten behuizing)

Toelaatbare spanning S235 is 235N/mm² voor EN-AW5754 is 80N/mm²

55N/mm² < 80N/mm², dus voldoet

De maximale doorbuiging treed op midden in het display en bedraagt 4 mm.

