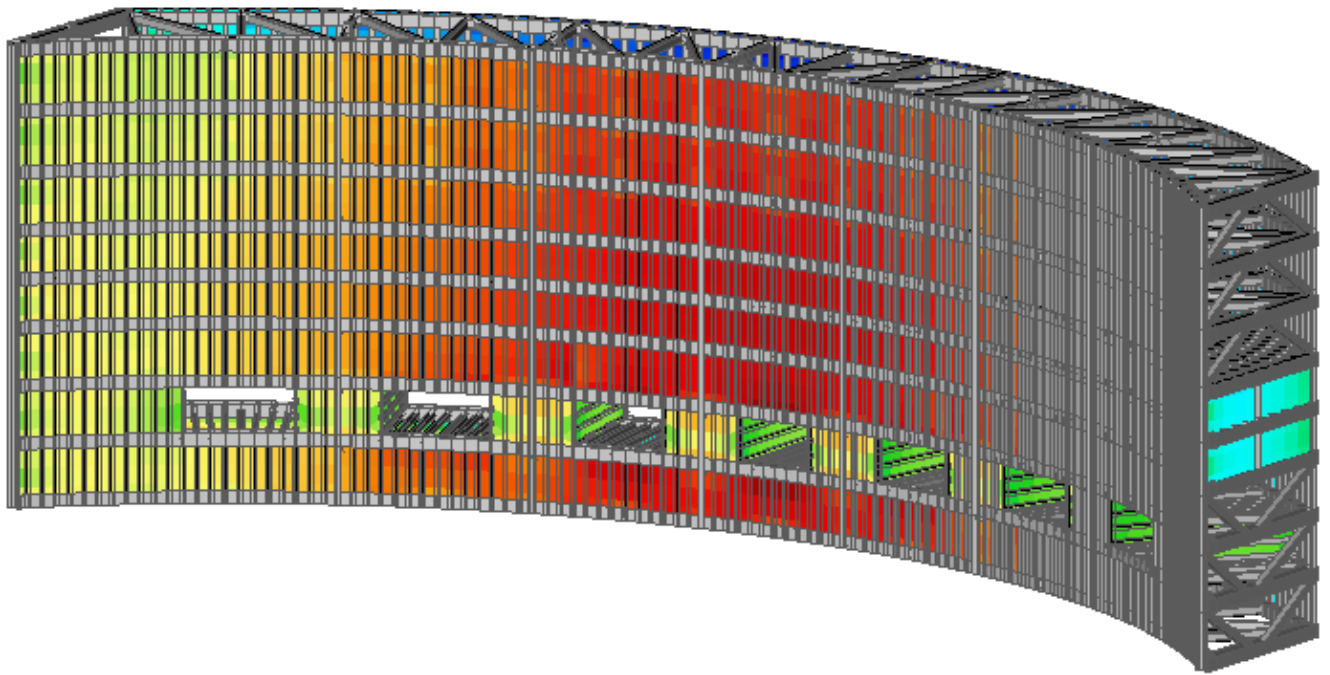


Ontwerp gekromde roldeur

Nieuwe zeesluis IJmuiden



Colofon

Datum: 16 mei 2012
Versie: 1
Student: BMI van Kortenhof
Brabantse Turfmarkt 4
2611 CN Delft
Studienummer 1315196

Afstudeercommissie:

Prof.ir. F.S.K. Bijlaard (Structural and Building Engineering, TU Delft)
Prof.drs.ir. J.K. Vrijling (Hydraulic Engineering, TU Delft)
Ir. R. Abspoel (Structural and Building Engineering, TU Delft)
Ing. G. Smits (DHV)
Ing. J.J. van Sloten (DHV)

Onderwijsinstelling: Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Stevinweg 1
2628 CN Delft

Afstudeerplaats: Hoofdkantoor DHV
Laan 1914 nr. 35
3818 EX Amersfoort

Voorwoord

Deze scriptie vormt het resultaat van mijn afstudeerproject en is uitgevoerd ter afsluiting van de master Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Het afstudeerproject betreft het ontwerp van een gekromde roldeur voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden. Het onderzoek is uitgevoerd voor DHV in Amersfoort.

Voor de totstandkoming van dit rapport wil ik mijn afstudeercommissie, Prof.drs.ir. J.K. Vrijling, Prof.ir. F.S.K. Bijlaard, Dhr.Ir. R. Abspoel, Dhr.Ing. G. Smits en Dhr.Ing. J.J. van Sloten bedanken voor hun begeleiding.

Britte van Kortenhof,

Delft, 16 mei 2012

Samenvatting

Door toename van omvang van de zeescheepvaart en door schaalvergroting in de zeevaart zal de zeetoegang IJmuiden over enkele jaren niet meer voldoen aan de eisen. Er zal daarom een nieuwe en grotere sluis worden aangelegd in het bestaande sluizencomplex. In een locatiestudie uitgevoerd door Rijkswaterstaat [1] is vastgesteld dat de beste locatie voor de nieuwe sluis zal zijn tussen de aanwezige Middensluis en Noordersluis. De beschikbare ruimte voor de nieuwe sluis is daarom beperkt. Een rechte roldeur, die normaal bij brede zeesluizen wordt toegepast, is door de grote noodzakelijke breedte naast de sluiskolk niet mogelijk in de nieuwe zeesluis.

In de voorstudie [2] zijn de afmetingen van de sluis bepaald aan de hand van de te schutten schepen en de functie van primaire waterkering die de sluis zal moeten vervullen.

Hieruit kwam een drempel niveau van NAP-18,00, een breedte van 70m en een lengte van de sluiskolk van 500m. Het niveau van de bovenzijde van de deur zal op NAP +7,60m moeten worden geconstrueerd, wat resulteert in een deurhoogte van 25,6m.

Uit een variantenstudie naar mogelijke sluisdeuren voor de nieuwe zeesluis in IJmuiden bleek de gekromde roldeur het gunstigst uit de multicriteria-analyse te komen.

Vervolgens is een onderzoek gedaan naar het toe te passen steunpunt voor de gekromde roldeur [3]. Mogelijke opties waren steunpunten loodrecht op de deur, loodrecht op de doorvaart en in de richting van de boog. Bij een oplegging in de richting van de boog worden de krachten in de boog geminimaliseerd, daarentegen zijn de krachten in het sluishoofd groot en moeten zware pinnen worden toegepast om de deur te fixeren in de richting van de boog. In geval van steunpunten loodrecht op de doorvaart treden er grotere momenten op in de deur en is er alsnog een ingewikkelder systeem noodzakelijk die de deur zal inklemmen tussen de deurkas/deurnis loodrecht op de doorvaart. Bij de derde optie, een oplegging loodrecht op de deur, treden de grootste momenten op in de deur. Het bewegingswerk en de oplegging daarentegen kunnen simpel worden uitgevoerd waardoor bewezen technieken kunnen worden toegepast. Gekozen is daarom voor de steunpunten loodrecht op de deur.

Er worden drijfkisten in de gekromde roldeur toegepast om het eigengewicht van de deur tijdens verplaatsen te reduceren en om in geval van onderhoud de deur drijvend te kunnen verwisselen met de reserve deuren. De stabiliteit van de deur tijdens drijven heeft grote invloed op de positie van de drijfkisten en de breedte van de deur. Deze zijn daarom eerst bepaald. De breedte van de deur wordt vastgesteld op 8m en hoogte van de drijfkisten op 6m.

Voor de verdere dimensionering van de deur is de deur belast op maximaal positief verval. Doormiddel van een handberekening zijn de profielen en hart-op-hart-afstanden van de deur bepaald. De hoofdconstructie bestaat uit 9 horizontale liggers aan de binnen- en buitenzijde van de sluisdeur. Deze horizontale liggers zijn per laag met elkaar verbonden doormiddel van horizontale vakwerken. Ter plaatse van de drijfkisten en de nivelleerschuiten zijn de horizontale vakwerken vervangen door platen verstijfd met troggen. Aan de binnen- en buitenzijde van de deur is een huidplaat verstijfd met troggen

aangebracht om positief en negatief verval te kunnen keren. De troggen zijn verticaal aangebracht en worden onderbroken door de horizontale liggers.

De nivelleerschuiven bevinden zich tussen de 7^e en 8^e horizontale ligger aan de binnenzijde van de deur. Dit zijn 7 schuiven in totaal die een breedte hebben van 5,4m en een hoogte van 3,2m.

De ontworpen gekromde roldeur is getoetst in het 3D-rekenprogramma SCIA-Engineer. Er zijn daarin 3 modellen gemaakt: belasting tijdens keren, belasting tijdens openen of sluiten en belasting tijdens opdrijven. Per model zijn weer verschillende belastingcombinaties getoetst. De resultaten laten zien dat bij alle belastingcombinaties de spanningen in de deur onder de vloeispanning blijft. Daarnaast is bij de toetsingen laten zien dat de onderzochte plaat voldoet op plooi en dat de gecontroleerde aansluiting voldoet op vermoeiing.

De verplaatsingen van de deur wanneer deze gesloten zijn, zijn van een orde grootte die opgenomen kan worden door steunpunten en afdichting. Voor de horizontale steunpunten in de deurkas en deurnis worden kunststof oplegblokken toegepast. Voor de verticale steunpunten op de rolwagens worden elastomeer oplegblokken toegepast.

De sluisdeur wordt aangedreven tijdens openen en sluiten door een tandbaan met aandrijf wiel. De sluisdeur staat op 2 rolwagens die tijdens openen en sluiten over een kraanbaan rijden. De deur wordt op drie plaatsen zijdelings gesteund bij het openen en sluiten van de deur. Dit is ter plaatse van de twee rolwagens en ter plaatse van de deurkas. In het geval van openen/sluiten is het ongewenst dat de deur grote verplaatsingen loodrecht op de verplaatsingsrichting ondergaat. Daarom wordt een penconstructie toegepast om de sluisdeur te fixeren tijdens openen/sluiten. Over de gehele lengte van de deur is aan weerszijden een plaat aan de deur bevestigd. Deze heeft een waterafdichtende functie. Op de plaat is een rubberafdichting bevestigd die tegen de bovenzijde van de drempel afdicht.

Doormiddel van een foutenboomanalyse is aangetoond dat de gekromde roldeur voldoet aan de niet-beschikbaarheidseis van maximaal 2%, de niet-beschikbaarheid is 1,45%.

Het ontwerp is vergeleken met het ontwerp van een puntdeur, sectordeur en rechte roldeur. Uit deze vergelijking blijkt dat de gekromde roldeur qua kosten, afmetingen en bewegingswerk gunstiger is dan de sectordeur en puntdeur. De rechte roldeur is goedkoper, maar voldoet qua breedte van het sluis niet aan de gestelde inpassingseisen voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden. De stichtingskosten voor de sluisdeur en het bewegingswerk samen zijn ongeveer 115 miljoen euro. Dit is lager dan de stichtingskosten van de puntdeuren en sectordeuren met bewegingswerk. Vooral in oppervlaktebeslag is de gekromde roldeur een stuk gunstiger dan de puntdeur en de sectordeur. In sluisbreedte scheelt het 40m met de sectordeur, dit is $\frac{1}{4}$ van de totale breedte van de sluis. Terwijl de breedte van de puntdeuren ongeveer gelijk is aan de gekromde roldeurvariant. In sluislengte is de gekromde roldeurvariant 110m korter dan de puntdeuren, dit is $\frac{1}{6}$ van de totale lengte van de sluis.

De gekromde roldeur neemt qua oppervlak weinig ruimte in en is daardoor een goed alternatief voor de rechte roldeur om grote sluiskolkbreedtes te overspanning wanneer weinig ruimte aanwezig is of ruimte erg schaars is.

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
Samenvatting	6
1 Inleiding	12
2 Probleemdefinitie	12
3 Leeswijzer	13
4 Ontwerp onderzoek	14
4.1 Inleiding	14
4.2 Inhoud	14
5 Aannames	16
5.1 Codes	16
5.2 Materiaal	16
5.3 Veiligheidsfactoren	17
6 Belasting	18
6.1 Belastinggevallen	18
6.2 Belastingcombinaties	28
6.3 Vermoeiingsbelasting	29
6.4 Temperatuurbelasting	30
7 Ontwerp sluisdeur	32
7.1 Onderhoudstechnisch	32
8 Globale dimensionering	37
8.1 Hoofdafmetingen	37
8.2 Profielopbouw	37
8.3 Profiel bepaling	39
8.4 Controle globale dimensionering	48
9 Nivelleerschuiten	59
9.1 Afmetingen nivelleerschuiten	59
9.2 Ontwerp nivelleerschuiten	60
10 Detail model	66
10.1 Modelling	66
10.2 De invoer	66
10.3 Resultaten	71
10.4 Toetsingen	75
10.5 Conclusie	81
11 Detaillering sluisdeur	82
12 Ontwerp oplegging	84
12.1 Functie oplegging	84
12.2 Type opleggingen	85
12.3 Keuze opleggingen	87

12.4	Dimensionering	87
13	Bewegingswerk	90
13.1	Rolwagen	90
13.2	Geleiding	92
13.3	Aandrijving	95
14	Sluishoofd	104
14.1	Afmetingen	104
14.2	Krachtsinleiding	105
14.3	Wegneembare constructie	107
14.4	Geleiding	110
15	Wegdek	111
16	Kunststof	113
17	Betrouwbaarheid	114
17.1	Inleiding	114
17.2	Het schutproces	114
17.3	Betrouwbaarheid schutproces	115
17.4	Conclusie	118
18	Kosten	119
18.1	Stichtingskosten	119
18.2	Onderhoud	119
19	Vergelijking van gekromde roldeur met ‘standaard’ sluisdeur ontwerpen	120
19.1	Sluisdeur	120
19.2	Sluis afmetingen	120
19.3	Bewegingswerk	123
19.4	Kostenvergelijking	123
20	Conclusie	125
21	Aanbevelingen	127
22	Referenties	128
23	Bijlagen	129
23.1	Bijlage 1: Quasi-statische windgolfbelasting	129
23.2	Bijlage 2: Zwaartepunt bepaling	131
23.3	Bijlage 3: Effectieve breedte	133
23.4	Bijlage 4: Modelling Scia-Engineer profielen en belastinggevallen	136
23.5	Bijlage 5: Modelling Scia-Engineer resultaten model 1	148
23.6	Bijlage 6: Scia resultaten model 2	180
23.7	Bijlage 7: Scia-Engineer resultaten model 3	188
23.8	Bijlage 8: Plooi-toetsing drijfkistplaat	190
23.9	Bijlage 9: Vermoeiingstoetsing	194
23.10	Bijlage 10: Globale overzichtstekening en details	195
23.11	Bijlage 11: Verplaatsingen en verdraaiing t.p.v. opleggingen	196
23.12	Bijlage 12 Afschuif capaciteit sluishoofd eiland	199
23.13	Bijlage 13: niet-beschikbaarheid door onderhoud	201

23.14	Bijlage 14: falen van schutten binnen- en buitenhoofd	202
23.15	Bijlage 15: Stichtingskosten sluisdeur	204
23.16	Bijlage 16: Onderhoudskosten sluisdeur	206

1 Inleiding

Door toename van omvang van de zeescheepvaart en door schaalvergroting in de zeevaart zal de zeetoegang IJmuiden over enkele jaren niet meer voldoen aan de eisen. Er zal daarom een nieuwe en grotere sluis worden aangelegd in het bestaande sluizencomplex. In een locatiestudie uitgevoerd door Rijkswaterstaat [1] is vastgesteld dat de beste locatie voor de nieuwe sluis zal zijn tussen de aanwezige Middensluis en Noordersluis. De beschikbare ruimte voor de nieuwe sluis is daarom beperkt. Een rechte roldeur, die normaal bij brede zeesluizen wordt toegepast, is door de grote noodzakelijke breedte naast de sluiskolk niet mogelijk in de nieuwe zeesluis. In dit afstudeerwerk is onderzocht welke sluisdeur het meest geschikt is voor toepassing in de nieuwe zeesluis. Voor de gekozen sluisdeur is een ontwerp gemaakt.

In november 2011 is het rapport 'Vorstudie van het afstudeeronderzoek naar de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden' afgerond [2]. In dit rapport was een variantenstudie gedaan naar locatie, sluisdeur en sluishoofd. Na de voorstudie was besloten verder onderzoek te doen naar de gekromde roldeur.

In januari 2012 is het rapport 'Gekromde roldeur varianten' afgerond [3]. In deze studie zijn de verschillende steunpunten en krachtsafdrachten voor een gekromde roldeur vergeleken. Uit deze studie kwam als hoofdconclusie naar voren dat een gekromde roldeur met steunpunten loodrecht op de deur qua beschikbaarheid en kosten de gunstigste variant was.

In dit rapport is daarom een uitgebreider ontwerp gemaakt voor een gekromde roldeur met steunpunten loodrecht op de deur.

2 Probleemdefinitie

Uit de MIRT-verkenningstudie¹ zeetoegang IJmond van Rijkswaterstaat komt als hoofdconclusie naar voren dat in de periode 2030-2035 de Noordersluis om technische redenen toe is aan een grondige renovatie of vervanging om de zeehavens van het Noordzeekanaalgebied bereikbaar te houden. Daarnaast hebben de gemeente Amsterdam en de provincie Noord-Holland de wens uitgesproken de nieuwe sluis, met het oog op schaalvergroting in de scheepvaart, ruimer te ontwerpen dan de huidige Noordersluis van 400mx50mx-15m. Ook bestaat de wens om de nieuwe zeesluis eerder operationeel te laten zijn met het oog op potentiële groei van de Haven. Van de Noordersluis is bekend dat deze schade heeft opgelopen in de oorlog. Hoewel herstel en renovatie heeft plaatsgevonden, is onduidelijk of de betrouwbaarheid van het binnenhoofd van de Noordersluis groot genoeg is. Het snel beschikbaar zijn van een sluis waarvan de betrouwbaarheid niet ter discussie staat is voor de gemeente Amsterdam mede aanleiding voor de aanleg van een nieuwe sluis.

¹ Meerjarenprogramma infrastructuur, ruimte en transport

Tijdens de voorstudie is besloten een ontwerp te maken voor de gekromde roldeur voor de nieuwe zeesluis. Aangezien dit type deur nog niet eerder is toegepast bestaan er twijfels over de haalbaarheid en kosten.

In dit rapport zal de haalbaarheid van een gekromde roldeur worden bekeken en zal doormiddel van een vergelijking met vaker toegepaste sluisdeuren aangetoond worden of de gekromde roldeur een goed alternatief is voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden.

3 Leeswijzer

In dit rapport is een ontwerp gemaakt voor een gekromde roldeur voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden. Allereerst is in hoofdstuk 04 het ontwerpgebied afgebakend en is bepaald welke onderdelen meer in detail worden uitgewerkt en welke onderdelen in minder detail. Verder zijn de verbanden tussen de verschillende onderdelen van de sluis in dit hoofdstuk aangegeven. In het volgende hoofdstuk zijn de aannames voor het ontwerp gedaan.

Vervolgens zijn in hoofdstuk 6 de belastingen en belastingcombinaties waar de sluisdeur op getoetst zal worden bepaald.

In hoofdstuk 7 is allereerste onderzoek gedaan naar de drijfkisten, aangezien de drijfkisten grote invloed hebben op de stabiliteit van de deur en daarmee ook op de geometrie van de deur. Vervolgens is in hoofdstuk 8 de rest van de constructie gedimensioneerd en met een globaal model getoetst.

In hoofdstuk 9 zijn de nivelleerschuiven ontworpen, waarna in hoofdstuk 10 het uitgebreide model is geschematiseerd en getoetst. In hoofdstuk 11 is de detaillering van de constructie weergegeven.

In de hoofdstukken daarna zijn de onderdelen die beïnvloed worden door de sluisdeur ontworpen. Dit zijn de opleggingen (h12), het bewegingswerk (h13), het sluishoofd in h14 en de wegconstructie in h15.

In hoofdstuk 16 zijn de mogelijkheden voor het toepassen van kunststof in het ontwerp kort bekeken, gevolgd door een betrouwbaarheidstest van het ontwerp in hoofdstuk 17 en een kostenplaatje van de sluisdeur en het bewegingswerk in hoofdstuk 18.

In hoofdstuk 19 is het ontwerp vergeleken met de vaker toegepaste sluisdeuren rechte roldeuren, puntdeuren en sectordeuren.

Uiteindelijk zijn in hoofdstuk 20 conclusies gegeven over het ontwerp en de toepassing daarvan in de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden en in hoofdstuk 21 een aantal aanbevelingen voor verder onderzoek.

4 Ontwerp onderzoek

4.1 Inleiding

De sluisdeur maakt onderdeel uit van een groter ontwerpproject. Het is daarom niet mogelijk alleen een sluisdeur te ontwerpen. In deze paragraaf worden de verbanden tussen de sluisdeur en de andere aspecten in het sluisontwerp aangegeven.

4.2 Inhoud

Voor het ontwerp van de gekromde roldeur zijn drie hoofdaspecten van groot belang, dit zijn: de deur, het bewegingswerk en de opleggingen. Deze drie aspecten beïnvloeden elkaar en kunnen dus niet afzonderlijk van elkaar worden ontworpen. Uiteindelijk zal naar een ontwerp gezocht moeten worden met voldoende betrouwbaarheid en minimale kosten van de combinatie van de drie aspecten. De relatie tussen deze aspecten en de onderdelen die hieronder vallen zijn weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Ontwerpdigram

In de volgende paragraaf zijn de verschillende aspecten toegelicht en is aangegeven door welke aspecten de onderdelen worden beïnvloed en waar de aspecten zelf invloed op hebben.

4.2.1 Sluisdeur

Een belangrijk aspect van de sluisdeur is de kromtestraal. Deze straal wordt bepaald door de beschikbare ruimte naast de sluis en de benodigde dikte van de deur en daarmee dus ook de deurkas. De kromtestraal zelf heeft invloed op de krachtswerking in de deur en daardoor invloed op de afmetingen en constructie van de deur.

De afmetingen kunnen worden opgesplitst in lengte, breedte en hoogte van de sluisdeur. De hoogte is bepaald door de te keren maximale waterhoogte en de diepgang van

vastgestelde maatgevende schepen. De lengte van de sluisdeur hangt af van de kromtestraal van de deur, de overspanning (sluiskolkbreedte) is al vastgesteld op basis van de maatgevende schepen. Aspecten die invloed hebben op de deurbreedte zijn: de constructie, de stabiliteit tijdens het sluiten en openen, stabiliteit tijdens het vervangen van de deur, de breedte van de rolwagens en de breedte van de wegverbinding over de deur.

De binnenconstructie bestaat uit luchtkisten, ballasttanks en een staalconstructie. De staalconstructie wordt bepaald door de krachtswerking in de deur tijdens alle mogelijke belastingcombinaties van de deur. De geometrie van de luchtkisten worden bepaald door de benodigde stabiliteit tijdens openen en sluiten en tijdens het vervangen/uitdrijven van de deur. De stabiliteit tijdens openen en sluiten van de deur bepaalt de afmetingen van de ballasttanks.

De deurkas wordt natuurlijk bepaald door de afmetingen van de roldeur, maar ook door binnenconstructie van de roldeur. Dit laatste komt doordat bij het openen en sluiten van de deur ervoor gezorgd moet worden dat de deur niet vacuüm trekt in de deurkas. Als de deur zo ontworpen is dat er weinig water in langsrichting door de deur kan stromen vereist dat een bredere deurkas.

4.2.2 Oplegging

De oplegging wordt bepaald door de deurgeleiding, de stijfheid van de deur en breedte van de deurkas. De stijfheid van de deur en de geleiding bepalen de rotaties en verplaatsingen die de oplegging moet kunnen opnemen. Het type oplegging heeft invloed op de plaats van de afdichting, welke op zijn beurt invloed kan hebben op lekkage en de richting van de resulterende waterdruk. Daarnaast heeft het type oplegging grote invloed op de krachten in de deur en de krachten in het sluishoofd.

4.2.3 Bewegingswerk

Het bewegingswerk bestaat uit een aandrijfwerk en een geleidingswerk. De zwaarte van het aandrijfwerk wordt bepaald door de dimensies en de constructie van de deur en de geleiding. Het geleidingswerk zal bepaald worden door de afmetingen van de deur en de stijfheid van de deur. De stabiliteit van de deur bepaalt het type en de afmetingen van het geleidingswerk.

5 Aannames

5.1 Codes

De dimensionering is volgens de volgende codes uitgevoerd:

- EN 1991-1-7; Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-7 [EC1]
- EN 1992-1-1; Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1 [EC2]
- NEN-EN 1993-1-1; Eurocode 3: Ontwerp van staalconstructie - Deel 1-12 [EC3]
- NEN-EN 1337; Eurocode 1337: Structural Bearings- Deel 1-10 [EC1337]
- Leidraad Kunstwerken, mei 2003 [LK]

5.2 Materiaal

Hieronder zijn de eigenschappen van de materialen beschreven die in het ontwerp zijn gebruikt.

5.2.1 Beton

Type C30/37

$$f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd}=16 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm}=2,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk;0,05}=2,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd}=1,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gewicht: } 2500 \text{ kg/m}^3$$

5.2.2 Wapeningsstaal

$$\text{B500C } f_s=500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_s = 500 / 1.15 = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gewicht= } 7850 \text{ kg/m}^3$$

5.2.3 Constructiestaal

Kwaliteit: S355

$$f_y= 355 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gewicht= } 7850 \text{ kg/m}^3$$

5.3 Veiligheidsfactoren

De belastingfactoren zijn aangehouden volgens de Leidraad Kunstwerken (LK), weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Aangehouden belastingfactoren

Belastingcategorie	Factor (γ)
Permanente belasting in belastingcombinatie, waarin permanente belasting dominant is	1,35
Permanente belasting in belastingcombinatie, waarin variabele belasting dominant is	1,20
Permanente belasting met gunstige werking in belastingcombinatie	0,90
Drukverschillen door waterstandsverschillen bij positief of negatief verval met kans van voorkomen 10^{-6} /jaar (berekend in bijlage 1)	1,10
Waterstanden en windgolfbelasting in belastingcombinatie	1,25
Variabele belasting in belastingcombinatie	1,50
Permanente belasting in bijzondere belastingcombinatie	1,00

6 Belasting

Voor het detailontwerp zal de sluisdeur berekend worden op verschillende belastingcombinaties.

6.1 Belastinggevallen

6.1.1 Permanente belastingen

6.1.1.1 Eigengewicht

De belasting uit eigengewicht van de staalconstructie, de nivelleerschuiten, pompen en drijfkisten zal altijd aanwezig zijn.

6.1.1.2 Opdrijvende krachten

De luchtkisten worden zo uitgebalanceerd dat er tijdens verplaatsen van de deur voldoende gewicht op de wielen steunt. De rest van het eigengewicht wordt gecompenseerd door de luchtkisten te vullen. Hierdoor werkt er altijd een opdrijvende kracht vanuit de luchtkisten.

Daarnaast zijn de profielen uitgevoerd als dichte buisprofielen die van binnen zullen bestaan uit lucht. Hierdoor zal er vanuit de profielen altijd een opwaartse kracht werken wanneer deze zich onder water bevinden. Deze opwaartse kracht is afhankelijk van de inhoud van de profielen.

6.1.1.3 Aanhangend gewicht

Het aanhangend gewicht is de extra massa tengevolge van aangroei, slib en aanhangend water. Hiervoor wordt gerekend met 200 ton, zoals aanbevolen in [4], verdeeld over de lengte van de deur over de onderste horizontale liggers. Dit geeft een lijnlast over de horizontale liggers van 11,6kN/m.

6.1.2 Variabele belasting

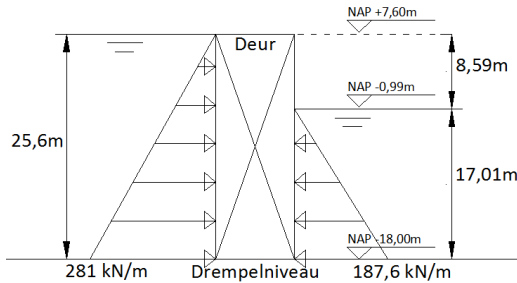
6.1.2.1 Waterdruk bij maximaal positief verval

Voor de bepaling van de boogstraal wordt gerekend met de belasting als gevolg van de hoogste waterstand en het grootste verval met een frequentie van 10^{-4} per jaar. Dit verval bedraagt 8,49m zoals bepaald in paragraaf 7.3.2 van de Voorstudie [2]. Voor de belastingfactor op de resulterende waterdruk bij het maatgevende verval moet in beginsel een waarde van 1,25 worden gebruikt volgens de Leidraad Kunstwerken [LK]. In bijlage 1 is deze belastingfactor geverifieerd. Uit deze verificatie blijkt dat een belastingfactor van 1,1 veilig genoeg is.

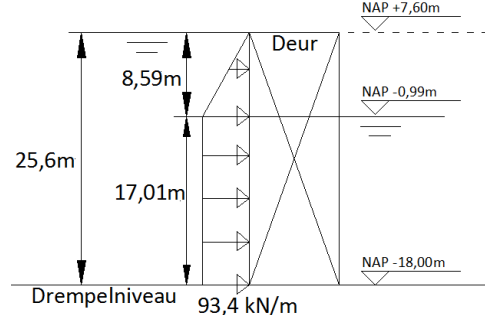
De waterdruk als gevolg van de hoogste waterstand wordt berekend met de volgende formule:

$$q_h = \gamma_H \frac{\rho \cdot g \cdot h}{1000} = 1,1 \cdot \frac{1022 \cdot 9,81 \cdot 25,5}{1000} = 281 \text{ kN/m}^2$$

De totale hydrostatische drukken op de deur zijn weergegeven in Figuur 2. In Figuur 3 is de verval belasting weergegeven.



Figuur 2 Hydrostatische druk bij hoogwater met frequentie 10^{-4}



Figuur 3 Verval belasting bij hoogwater met frequentie 10^{-4}

6.1.2.2 Quasi-statische windgolfbelasting bij positief verval

De quasi-statische windbelasting wil zeggen dat de deur zelf kortstondig de extra krachten en momenten veroorzaakt door de windgolven opneemt, maar zonder dynamische effecten. Hierbij breken de golven niet en er treden geen golfklappen op de deur op [5].

De significante golfhoogte, verkregen in de hydraulische randvoorwaarden van Rijkswaterstaat [6] bij een frequentie van 10^{-4} /jaar, is 0,9 m. In deze paragraaf wordt deze golfhoogte bepaald ter plaatse van de sluisdeur. Door toepassing van de Bretschneider formule [7] zal de golfhoogte ter plaatse van de deur worden bepaald. Hiervoor zal gerekend worden met een windsnelheid met een frequentie van 10^{-4} /jaar.

$$H_s = 0,283 \cdot \frac{U_w^2}{g} \cdot p_1 \cdot \tanh\left(\frac{0,0125 F_x^{0,42}}{p_1}\right) \text{ en } T_p = 7,54 \cdot \frac{U}{g} \cdot p_2 \tanh\left(\frac{0,077 \cdot F_x^{0,42}}{p_2}\right)$$

$$F_x = \frac{gF}{U_w^2} = \text{dimensieloze factor}$$

$$h_x = \frac{gh}{U_w^2} = \text{dimensieloze factor}$$

$$t_x = \frac{gt}{U_w} = \text{dimensieloze factor}$$

$$p_1 = \tanh(0,53 \cdot h_x^{0,75})$$

$$p_2 = \tanh(0,833 \cdot t_x^{0,375})$$

$$H_s = \text{Significante golfhoogte}$$

$$T_p = \text{Piekperiode}$$

$$g = \text{Zwaartekrachtversnelling}$$

$$F = \text{Strijklengte}$$

$$U = \text{Windsnelheid}$$

$$h = \text{Waterkolom (waterstand - voorlandhoogte)}$$

$$t = \text{Stormduur}$$

De strijklengte bij een westenwind is ongeveer 3 km, bepaald met behulp van de autocad-kaart van het sluisengebied.

$$F_x = \frac{g \cdot F}{U_w^2} = \frac{9,81 \cdot 3000}{36^2} = 22,71 \text{ en } h_x = \frac{g \cdot h}{U_w^2} = \frac{9,81 \cdot (25,6)}{36^2} = 0,19$$

De stormduur kan worden aangenomen op 4 uur.

$$t_x = \frac{g \cdot t}{U_w} = \frac{9,81 \cdot 4 \cdot 3600}{36} = 3924$$

$$p_1 = \tanh(0,53 \cdot h_x^{0,75}) = \tanh(0,53 \cdot 0,19^{0,75}) = 0,153$$

$$p_2 = \tanh(0,833 \cdot t_x^{0,375}) = \tanh(0,833 \cdot 3924^{0,375}) = 1$$

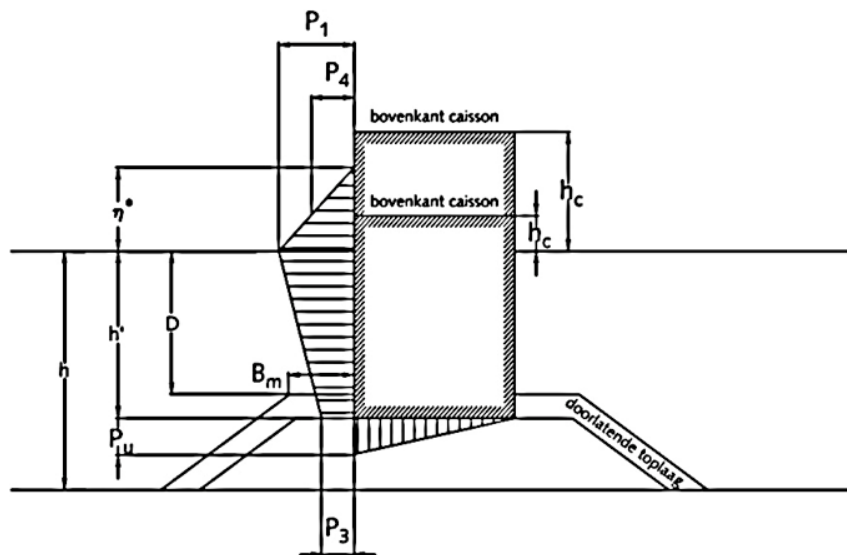
$$H_s = 0,283 \cdot \frac{36^2}{9,81} \cdot 0,153 \cdot \tanh\left(\frac{0,0125 \cdot 22,71^{0,42}}{0,153}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$T_p = 7,54 \cdot \frac{36}{9,81} \cdot 1 \cdot \tanh\left(\frac{0,077 \cdot 22,71^{0,42}}{1}\right) = 5,82 \text{ sec}$$

Uit deze berekening blijkt de significante golfhoogte vlak voor de deur door wind en ondieper water een stuk hoger te zijn dan de aangegeven waarde in de hydraulische randvoorwaarden van 0,9m. Gerekend wordt vanaf nu met een significante golfhoogte $H_s = 1,68 \text{ m}$.

Methode van Goda

Met behulp van de methode van Goda wordt de golfdruk op de sluisdeur bepaald.



Figuur 4 Grootheden bij de methode van Goda voor golfdrukken

De maximale golfdrukken zijn:

$$p_1 = 0,5 \cdot (1 + \cos(\beta)) \cdot (\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_2 \cos^2(\beta)) \cdot \rho \cdot g \cdot H_d =$$

$$0,5 \cdot (1 + \cos(0,33)) \cdot (0,6) \cdot 1022 \cdot 9,81 \cdot 3,7 = 21657 \text{ N/m}^2$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 = 2057 \text{ N/mm}^2$$

$$p_4 = \alpha_4 p_1 = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$p_u = 0,5 \cdot (1 + \cos(\beta)) \cdot \lambda_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \rho \cdot g \cdot H_D =$$

$$0,5 \cdot (1 + \cos(0,33)) \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 0,095 \cdot 1022 \cdot 9,81 \cdot 3,7 = 2057 \text{ N/m}^2$$

$$\beta = \text{in hoek van inval, waar hier de gemiddelde waarde wordt aangehouden. Deze gemiddelde hoek is 0,33.}$$

$$H_D = 2,2 \cdot H_s = 3,70 \text{ m [3]}$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1 \quad \text{modificatiefactoren zijn 1 in verband met in het verticale vlak een rechte deur en niet brekende golven.}$$

$$h' = h_b = D = h = 25,6 \text{ m} \quad \text{aangezien de drempel en bodem van het kanaal op gelijke hoogte liggen.}$$

$$\eta^* = 0,75 \cdot (1 + \cos(\beta)) \cdot \lambda_1 \cdot H_D = 0,75 \cdot (1 + \cos(0,33)) \cdot 1 \cdot 3,7 = 5,40$$

De ontwerp golfenlengte is:

$$L_D = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{L_D} d\right) = \frac{9,81 \cdot 5,82^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{L_D} \cdot 25,5\right) \rightarrow L_D = 52,6 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 0,6 + 0,5 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot h / L_D}{\sinh(4\pi \cdot h / L_D)}\right)^2 = 0,6 + 0,5 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 25,6 / 52,6}{\sinh(4\pi \cdot 25,6 / 52,6)}\right)^2 = 0,6$$

$$\alpha_2 = \min\left(\frac{(1 - d / h_b)(H_D / d)^2}{3}, \frac{2d}{H_D}\right) = \min\left(\frac{(1 - 25,6 / 25,6)(3,7 / 25,6)^2}{3}, \frac{2 \cdot 25,6}{3,7}\right) = 0$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{\cosh(kd)} = \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi}{52,6} \cdot 25,6\right)} = 0,095$$

$$h_c = 8,49 \text{ m, hoogteverschil tussen stilwaterlijn en bovenkant van de wand}$$

$$h_c^* = \min(\eta^*, h_c) = 5,40$$

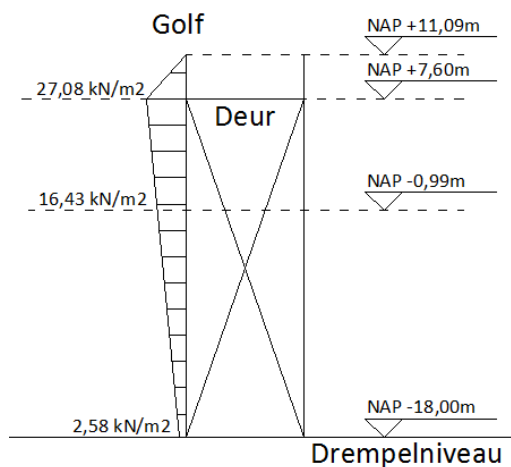
$$\alpha_4 = 1 - \frac{h_c^*}{\eta^*} = 0$$

Voor de berekening van de rekenwaarde van de belasting door windgolven dient de representatieve waarde van de golfbelasting te worden vermenigvuldigd met een belastingfactor γ_{golf} . Deze belastingfactor is vastgesteld op 1,25 [LK].

$$p_1 = 1,25 \cdot 21657 = 27071,3 \text{ N/m}^2$$

$$p_3 = 1,25 \cdot 2057 = 2571,25 \text{ N/mm}^2$$

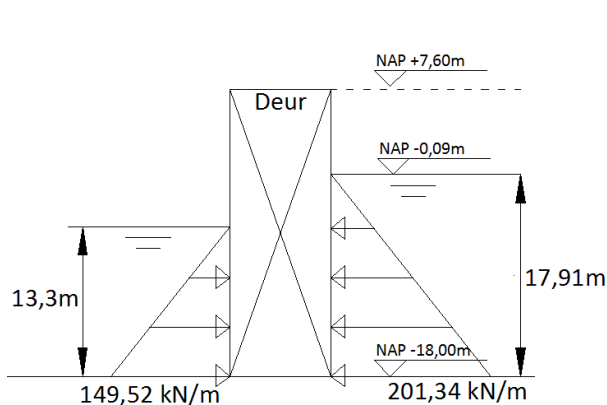
$$p_4 = 0 \text{ N/mm}^2$$



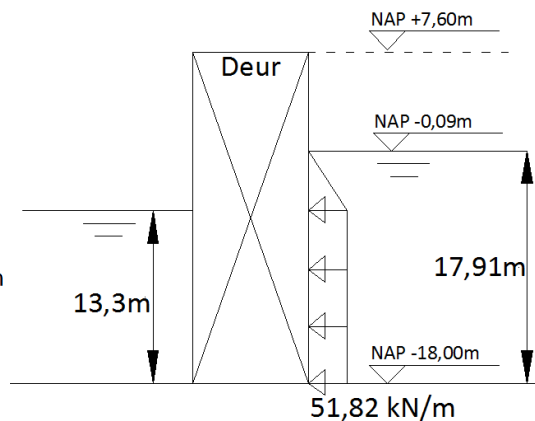
Figuur 5 Quasi statische golfbelasting

6.1.2.3 Waterdruk bij maximaal negatief verval

De waterdruk bij maximaal negatief verval is op dezelfde manier bepaald als bij positief verval, ook hier is de frequentie van het laagwater aan de zeezijde 10^{-4} /jaar. In Figuur 6 is de totale hydrostatische druk weergegeven en in Figuur 7 de resultante van de belasting.



Figuur 6 Hydrostatische druk bij negatief verval met frequentie 10^{-4}



Figuur 7 Resultante belasting bij negatief verval

6.1.2.4 Golfbelasting bij negatief verval

Bij negatief verval wordt de lage waterstand aan de zeezijde met frequentie van 10^{-4} /jaar verlaagd met een combinatie van deining en seiches van 1,7m [2]. Deze waterstandsverlaging is al verwerkt in de hydrostatische drukken van Figuur 6. Golven vanuit het Noordzeekanaal worden niet beschouwd, alleen een opwaaiing van 0,2m is daar in rekening gebracht.

6.1.2.5 Maximum verval bij schutten

De schutpeilen aan de Noordzezijde zijn:
2010: tussen NAP +2,95 m en NAP -2,20 m

2110: tussen NAP +3,60 m en NAP –1,60 m

De schutpeilen aan de Kanaalzijde:

Voor de gehele periode zijn de schutpeilen aan de kanaalzijde tussen de NAP -0,29m en NAP -0,54m. Hierbij dient rekening gehouden te worden met op- en afwaaiing van +/- 0,20m. De peilen worden daarmee NAP-0,09m en NAP -0,74m

Het maximum positief verval is: NAP+3,60m- NAP -0,74m= 4,34m.

Het maximum negatief verval is: NAP-2,20m-NAP-0,09= 2,11m.

6.1.2.6 Verkeersbelasting

Over de gekromde roldeur lopen twee rijbanen met een totale breedte van 8,0m. De modellering van de verkeersbelasting wordt gebruikt voor de bepaling van de maximale verticale kracht op de wielen en voor een spanningscontrole in de deur. Er wordt daarom gerekend met alleen een verdeelde belasting. Voor de verdeelde belasting wordt een waarde aangehouden van 15kN/m², aangezien zwaar verkeer niet toegestaan is op het sluisencomplex.

6.1.2.7 Belasting tijdens sluiten deur

Tijdens het openen en sluiten van de deur zal er een horizontale belasting op de deur aanwezig zijn. Als maximale belasting wordt gerekend met een hogere waterstand aan de zeezijde van 0,1m + seiches van 0,12m. Het maximale schutpeil wordt aangehouden van NAP +3,60m. Deze belasting wordt ook aangehouden voor de bepaling van de belasting op het bewegings- en geleidingswerk.

6.1.3 Bijzondere belasting

6.1.3.1 Ijsbelasting

De ijsbelasting is vastgesteld aan de hand van de Leidraad Kunstwerken [LK]. In geval van zout water wordt daarin uitgegaan van een 0,5m dikke ijslaag met een druksterkte van 1,5MPa. In geval van zoet water van een 0,5m dikke ijslaag met een druklaag van 2,5MPa. Over deze lijnlast mag een uitvlakkingscoëfficiënt worden toegepast van 0,33, aangezien de belasting kan variëren tussen 0 en de druksterkte.

In geval van getijdengebieden mag ten gevolge van waterstandsverschillen gerekend worden met een lijnlast van 100kN/m. Dit geldt voor de zeezijde van de sluisdeur.

Aan de Noordzeekanaalzijde van de sluisdeur wordt gerekend met een lijnbelasting van:

$$q_{ijs,zoet} = 2,5 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 0,33 = 412,5 \frac{kN}{m}$$

Daarnaast moeten constructiedetails indien ze door ijs kunnen worden belast voor sterkteberekeningen worden getoetst op een plaatselijk aangrijpende belasting van 1,5 MN.

In het geval van ijsbelasting worden de waterstanden van het maximaal schutpeil aangenomen.

6.1.3.2 Situatie van niet sluiten

Een obstakel ter plaatse van de bodem van de sluis (voor de drempel) die de deur verhindert te sluiten, terwijl het bewegingswerk de deur wil dichtdraaien. De opgelegde kracht op de constructie volgt uit de maximaal over te dragen belasting uit het bewegingswerk. De belasting wordt overgedragen als puntlast tussen de oplegpunten onderaan de sluisdeur.

Er wordt gerekend met een waterstandsverschil van 0,1m + seiches van 0,12m bij het openen en sluiten van de deur. De ongunstigste situatie treedt op als een obstakel vlak voordat de deur gesloten de weg blokkeert. Als aanname wordt hier gedaan dat de deur blokkeert op de locatie van 1,0m voordat de deur volledig gesloten is.

6.1.3.3 Aanvaarbelasting

De aanvaarbelasting is vastgesteld volgens Eurocode 1 [EC1].

De maatgevende schepen waarvoor de sluis is ontworpen zijn:

1. Containerschip Emma Maersk met afmetingen 398mx56,4mx13,75m.
2. Bulkcarrier met afmetingen 300mx57mx13,75m.
3. Cruiseschip Oasis of the Seas met afmetingen 360mx60,5mx9,3m.

Het gewicht van deze drie schepen is:

Bulkcarrier: 200.000 DWT

Emma Maersk: 156.907 DWT

Cruiseschip: 15.000 DWT

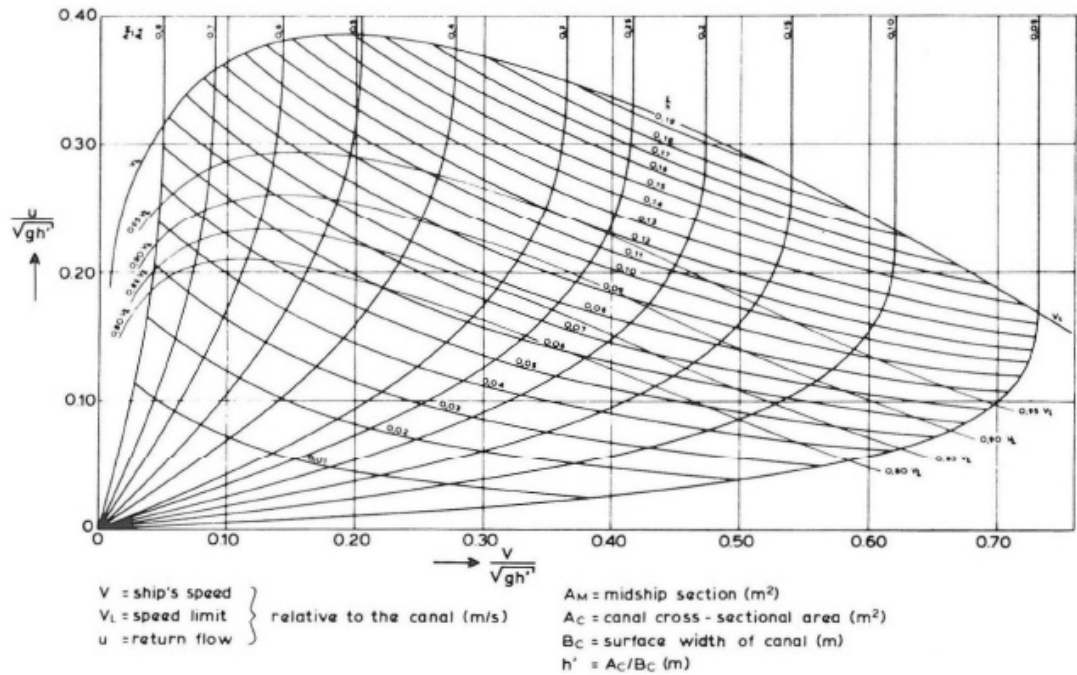
De Bulkcarrier is hiervan het zwaarst en zal daarom voor de bepaling van de aanvaarbelasting worden gebruikt.

De snelheid van de Bulkcarrier in de sluis is begrensd, deze grenssnelheid kan bepaald worden met behulp van de theorie van Schijf [8]. Tijdens de vaart moet langs het schip evenveel water worden afgevoerd, als het schip van voren nadert. De grenssnelheid van het schip wordt bereikt wanneer naast het schip schietend water ontstaat. Deze snelheid kan afgelezen worden bij de verhouding A_s/A_c in het diagram van Schijf, weergegeven in Figuur 8.

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{13,75 \cdot 57}{70 \cdot (18 - 2,20)} = 0,71$$

Waarin: A_c =oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de sluis

A_s =oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het schip



Figuur 8 Vaarsnelheidsdiagram volgens [Schijf en Jansen, 1953]

Het schip zal niet op vol vermogen met de grenssnelheid varen. Er wordt aangenomen dat het schip op 70% van de grenssnelheid in de kolk zal varen.

Afgelezen in de grafiek van het snijpunt tussen $0,7 \cdot v_g$ en A_c/A_s is: $\frac{v_{grens}}{\sqrt{g\bar{h}}} = 0,06$; waarin

$$\bar{h} = \frac{A_c}{B} = \frac{70 \cdot (18 - 2,20)}{70} = 15,8m$$

V_{grens} is daarmee 0,75 m/s.

De verwachting is dat de snelheid van de bulkcarrier in de sluis niet groter zal zijn dan 0,75m/s. Er zullen 3 modelleringen voor verschillende aanvaarsnelheden worden toegepast. Één modelleer gelijk aan de aangenomen maximum snelheid van 0,75m/s, een modellering met een lagere snelheid en een modellering met een hogere snelheid. Dit om te kunnen beoordelen wat het gedrag van de deur is bij een aanvaring van een schip met een wat afwijkende snelheid dan de aangenomen maximum snelheid.

F_{bow} , de kracht op de deur die ontstaat bij een loodrechte aanvaring door een schip, wordt berekend met onderstaande formule:

$$F_{bow} \begin{cases} F_0 \cdot \bar{L} \cdot [\bar{E}_{imp} + (5,0 - \bar{L}) \cdot \bar{L}^{1,6}]^{0,5} & \text{voor } \bar{E}_{imp} \geq \bar{L}^{2,6} \\ 2,24 \cdot F_0 \cdot [\bar{E}_{imp} \cdot \bar{L}]^{0,5} & \text{voor } \bar{E}_{imp} < \bar{L}^{2,6} \end{cases}$$

Waarin:

$$\bar{L} = L_{pp} / 275m$$

$$\bar{E}_{imp} = E_{imp} / 1425MNm$$

$$E_{imp} = \frac{1}{2} \cdot m_s \cdot v_0^2$$

F_{bow} = maximum boeg aanvaringskracht in [MN]

F_0 = referentie aanvaringskracht = 210 MN

E_{imp} = opgenomen energie door plastische vervorming

L_{pp} = schiplengte [m]

m_s = massa van het schip in [10^6 kg]

v_0 = snelheid van het schip bij aanvaring [m/s]

De impactbelasting bij een vaarsnelheid van $v_0=0,5$ m/s

$$\bar{L} = \frac{L_{pp}}{275} = \frac{300}{275} = 1,09m$$

$$\bar{E}_{imp} = \frac{E_{imp}}{1425} = 0,01754$$

$$E_{imp} = \frac{1}{2} \cdot m_s \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 0,5^2 = 25$$

$$\bar{E}_{imp} < \bar{L}^{2,6} \rightarrow 0,01754 < 1,25$$

$$F_{bow} = 2,24 \cdot 210 \cdot (0,01754 \cdot 1,09)^{0,5} = 65,04MN$$

De impactbelasting bij een vaarsnelheid van $v_0=0,75$ m/s

$$\bar{L} = \frac{L_{pp}}{275} = \frac{300}{275} = 1,09m$$

$$\bar{E}_{imp} = \frac{E_{imp}}{1425} = 0,0395$$

$$E_{imp} = \frac{1}{2} \cdot m_s \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 0,75^2 = 56,25$$

$$\bar{E}_{imp} < \bar{L}^{2,6} \rightarrow 0,0395 < 1,25$$

$$F_{bow} = 2,24 \cdot 210 \cdot (0,0395 \cdot 1,09)^{0,5} = 97,6MN$$

De impactbelasting bij een vaarsnelheid van $v_0=1$ m/s

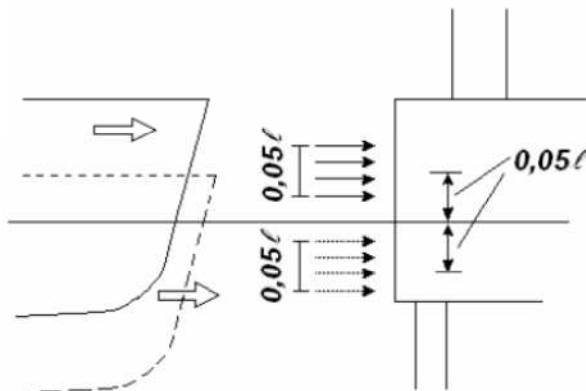
$$\bar{L} = \frac{L_{pp}}{275} = \frac{300}{275} = 1,09m$$

$$\bar{E}_{imp} = \frac{E_{imp}}{1425} = 0,0701$$

$$E_{imp} = \frac{1}{2} \cdot m_x \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 1^2 = 100$$

$$\bar{E}_{imp} < \bar{L}^{2.6} \rightarrow 0,0701 < 1,25$$

$$F_{bow} = 2,24 \cdot 210 \cdot (0,0702 \cdot 1,09)^{0,5} = 130,1MN$$



Figuur 9 Het aangeraden impactgebied volgens [EC1]

De aangeraden inpachhoogte is $0,05 \cdot l$, waarin l de lengte van het schip is. De aangeraden impactbreedte is $0,1 \cdot l$, dit is 30m. Maar aangezien de deur gekromd is, zal de impactbelasting in de breedte geconcentreerder aangrijpen dan bij een rechte deur, er wordt hier voor de breedte daarom ook $0,05 \cdot l$ aangehouden. Het impactgebied is daarmee $15m \times 15m$.

$$\text{De impactbelasting per } m^2 \text{ bij } v=0,5m/s \text{ is: } F_{bow;m^2} = \frac{65 \cdot 10^3}{15 \cdot 15} = 289 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{De impactbelasting per } m^2 \text{ bij } v=0,75m/s \text{ is: } F_{bow;m^2} = \frac{97,6 \cdot 10^3}{15 \cdot 15} = 434 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{De impactbelasting per } m^2 \text{ bij } v=1m/s \text{ is: } F_{bow;m^2} = \frac{130,1 \cdot 10^3}{15 \cdot 15} = 578 \frac{kN}{m^2}$$

De bedoeling is dat tijdens een aanvaring de deur niet bezwijkt. Er zijn reserve deuren aanwezig, zodat plastische vervorming van de deur toegestaan is.

6.1.3.4 Drijfbelasting

Indien de sluisdeur opgedreven wordt en de drijfkisten vol met lucht worden gepompt, zal een belasting op de drijfkistplaten optreden. Deze kracht is maximaal indien de waterstand ook maximaal is. De kracht op de drijfkistwanden is namelijk de totale waterkolom boven de drijfkisten. Het maximale schutpeil wordt als maximale waterstand gezien bij opdrijven aangezien alleen in dat geval de deur aangevaren kan zijn en daardoor ongepland uitgedreven zal moeten worden.

6.2 Belastingcombinaties

Op basis van de Leidraad Kunstwerken [LK] is de sluisdeur getoetst op 8 belastingcombinaties (BC's), weergegeven in Tabel 2. De rekenwaarde van de belasting is gelijk aan de representatieve waarde van die belasting vermenigvuldigd met een belastingfactor. In Tabel 2 zijn de belastingfactoren weergegeven voor de verschillende belastinggevallen.

Tabel 2 Belastingcombinaties in UGT met bijbehorende belastingfactor

		BC pos	BC neg	BC schut	BC open	BC ijs	BC aanv	BC ns	BC drijf
Permanente belasting	eigen gewicht constructie	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	0,90
	opdrijvende kracht	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00	1,00	1,00	1,35
	aanhangend gewicht	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	0,90
Veranderlijke belasting	maximaal positief verval	1,10							
	maximaal negatief verval		1,10						
	quasi-statische windgolfbelasting pos.	1,25							
	max. verval bij schutten			1,25		1,00	1,00		
	verkeersbelasting			1,50					
	drijfbelasting								1,25
	Openen/sluiten belasting				1,50	1,00		1,00	
Bijzondere belasting	aanvaarbelasting					1,00			
	ijsbelasting						1,00		
	belasting in geval van niet sluiten							1,00	

BC pos: Belastingcombinatie tijdens maximaal positief verval

BC neg: Belastingcombinatie tijdens maximaal negatief verval

BC schut: Belastingcombinatie bij schutten (in dit geval zijn de nivelleerschuiven geopend)

BC open: Belastingcombinatie tijdens openen en sluiten deur

BC ijs: Belastingcombinatie bij ijsbelasting

BC aan: Belastingcombinatie bij aanvaring van de sluisdeur

BC ns: Belastingcombinatie bij niet sluiten van de deur

BC drijf: Belastingcombinatie tijdens opdrijven

Daarnaast worden BCpos, BCneg en BCschut ook in de bruikbaarheids-grenstoestand getoetst om de maximale verplaatsingen te controleren.

Toelichting

De belastingfactoren zijn de factoren voor de individuele belastingen, niet voor de combinaties. Alleen in geval van BCschut treedt een combinatie op waarbij één van de belastingen gereduceerd mag worden met een momentaanfactor Ψ . Om het aantal modelleringen niet te groot te laten worden, wordt de momentaanfactor niet toegepast maar wordt conservatief gerekend. Wanneer blijkt dat BC3 maatgevend is, zal de momentaanfactor alsnog kunnen worden toegepast.

6.3 Vermoeiingsbelasting

De constructie wordt getoetst op vermoeiing aan de hand van de waterstandfluctuaties. Er wordt vanuit gegaan dat verkeer in dit geval geen vermoeiingsbelasting heeft voor de sluisdeur zelf. Aangezien er alleen lokaal verkeer over de sluis rijdt en deze alleen kleine spanningsfluctuaties zal geven in de deur.

De vermoeiingsbelasting wordt berekend met de gemiddelde waterstanden op zee en de gemiddelde waterstand van het Noordzeekanaal.

De gemiddelde hoogwaterstand op zee is: NAP +0,97m.

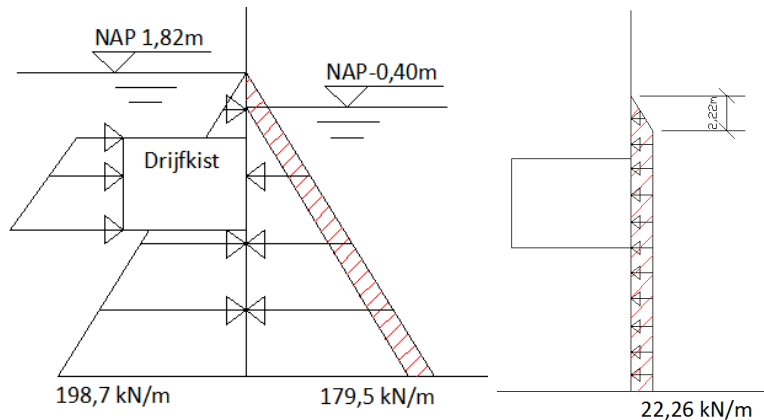
De gemiddelde waterstand in het kanaal: NAP -0,40m.

De gemiddelde hoogwaterstand dient nog gecorrigeerd te worden met de te verwachten zeespiegelstijging. Deze is 0,85m, waarmee de gemiddelde hoogwaterstand op NAP +1,82m komt. Het waterstandsverschil komt hiermee op 2,22m.

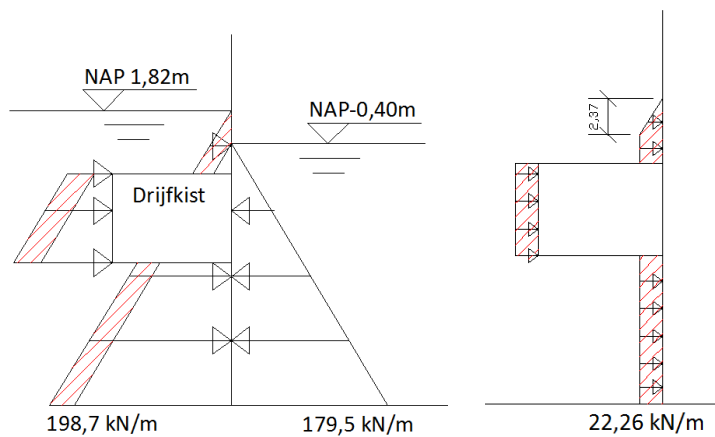
Per twee schuttingen is de waterstand op de deur 1 keer veranderd. De deuren hebben te maken met vermoeiingsbelasting richting Noordzee gericht (negatief) of richting het Noordzeekanaal gericht (positief). De buitendeur wordt negatief belast en de binnendeur positief, zie Tabel 3.

Tabel 3 Waterstandswisseling bij schuttingen

Invaren/uitvaren	
Schutting 1	
Invaren/uitvaren	
Schutting 2	



Figuur 10 Vermoeingsbelasting buitendeur (negatief)



Figuur 11 Vermoeingsbelasting binnendeur (positief)

Er wordt uitgegaan van 2 schuttingen per uur. Dit betekent een wisseling van de waterstand van 1 keer per uur. Er wordt uitgegaan van 12 wisselingen van de waterstand per dag. In 100 jaar hebben er dan $365,25 \times 12 \times 100 = 438300$ wisselingen plaatsgevonden.

Voor vermoeiing wordt een belastingfactor $\gamma = 1,25$ in rekening gebracht voor belasting veroorzaakt door drukverschillen in waterstanden.

6.4 Temperatuurbelasting

Aangenomen wordt dat de sluisdeur zal worden gefabriceerd onder een temperatuur van 20 graden Celsius. In de bedrijfsfase wordt aangenomen dat de sluisdeur temperaturen kan aannemen van minimaal -10°C en maximaal $+50^\circ\text{C}$.

De krimp en uitzetting als gevolg van de temperatuurverandering zal meegenomen worden in het ontwerp. De uitzettingscoëfficiënt van staal is $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ m/m-K}$.

De lengte van de sluisdeur is 85,2m. De maximale krimp/uitzetting van de sluisdeur is dus: $85,2 \times 1,2 \times 10^{-5} \times 30 = 0,0341 \text{ m} = 34,1 \text{ mm}$.

De sluisdeur staat in het water. De werkelijke temperatuur gradiënt zal daarom lager zijn dan hiervoor genoemd, voor een constructie in den droge. Indien voorgenoemde gradiënt niet past voor het ontwerp van de afdichting kan dit nader bekeken worden.

Aangezien de deur niet geblokkeerd wordt door de opleggingen in zijn verplaatsingsrichting en de deur alleen bestaat uit staal S355 zullen temperatuurverschillen niet leiden tot extra spanningen door ongelijke uitzettingen van de deur. In theorie zullen door de wrijving van de oplegblokken wel extra krachten op de sluisdeur komen. Aangezien oplegblokken worden toegepast met een zeer lage wrijvingscoëfficiënt, worden deze extra krachten verwaarloosd.

Er dient bij het ontwerp van de opleggingen wel rekening gehouden te worden met de extra verplaatsingen van de deur door krimp en uitzetting.

7 Ontwerp sluisdeur

Er worden drijfkisten in de gekromde roldeur toegepast om het eigengewicht van de deur tijdens verplaatsen te reduceren en om in geval van onderhoud de deur drijvend te kunnen verwisselen met de reserve deuren. De stabiliteit van de deur tijdens drijven heeft grote invloed op de positie van de drijfkisten en de geometrie van de deur. De drijfkisten en de opwaartse krachten door dichte profielen zijn daarom in deze paragraaf als eerste bepaald.

7.1 Onderhoudstechnisch

Aangezien de beschikbaarheidseis van de Nieuwe Zeesluis erg hoog is, is het van belang een zodanig ontwerp te maken dat benodigd onderhoud tijdens de levensduur van de sluisdeur wordt geminimaliseerd. Een mogelijkheid hiervoor is het toepassen van dichte stalen profielen, zodat het conserveringsoppervlak sterk wordt gereduceerd. Een andere mogelijkheid om het onderhoud te reduceren is het vervangen van staal door een duurzamer materiaal. Voor de stalen buisprofielen zal een uitgebreid ontwerp gemaakt worden, naar het toepassen van een duurzamer materiaal is kort gekeken.

7.1.1 Stalenbuisprofielen

In de meeste sluisdeuren worden op dit moment nog open profielen toegepast. Door het toepassen van dichte profielen kan het conserveringsoppervlak sterk gereduceerd worden. Hierdoor zal het onderhoud goedkoper en sneller kunnen worden uitgevoerd. Het onderhoud van de sluisdeuren wordt gedaan doormiddel van een het spuiten van de profielen, de deur is namelijk te groot om onder gedompeld te worden ter conservering. Het plegen van onderhoud is eenvoudiger bij dichte profielen doordat bij het stralen van de profielen geen moeilijk bereikbare bovenzijden van flensen gestraald hoeven te worden. Hierdoor zal de tijd voor het geplande onderhoud verminderd kunnen worden. Daarnaast zal minder conserveringsmiddel noodzakelijk zijn door de kleinere oppervlak.

Het verschil in oppervlak zal in deze paragraaf onderzocht worden. In Tabel 4 is de hoeveelheid conserveringsoppervlak van een globaal ontwerp voor één sluisdeur met open profielen vergeleken met een ontwerp met dichte profielen.

Tabel 4 Conserveringsoppervlak bij dichte en open profielen

	dichte profielen (m)				open profielen			
	Opp (m ²)	lengte	aantal	Totaal Opp (m ²)	Opp (m ²)	lengte	aantal	Totaal Opp (m ²)
huidplaten buitenzijden	25,6	85	2	4352	25,6	85	2	4352
horizontale ligger	3,4	85	12	3468	2,5	85	12	2550
horizontale vakwerken	1,6	7,1	84	954	2,3	7,1	84	1372
verstijvers huidplaat	0,832	25,6	190	4047	0,9	25,6	340	7834
huidplaten binnenzijden	19,5	47	2	1833	25,5	85	2	4335
buitenzijden drijfkist	6,8	85	2	1156	6,8	85	2	1156

verstijvers drijfkist langs	0,832	6,8	380	2150	0,9	6,5	680	3978
binnenzijde drijfkist langs	6,8	47	4	1278	6,8	85	4	2312
schotten drijfkist	5,5	4	28,3	623	5,5	6,8	28,3	1060
verstijvers schotten	0,832	5,5	198,3	908	0,9	5,5	368,3	1823
totaal oppervlak (m²)				20736				30724

Door het toepassen van dichte profielen kan per deur ongeveer 10000m² conserveringsoppervlak worden bespaard, dit is gelijk aan 34% van het totale oppervlak.

Een nadeel van dichte profielen is de totale waterdruk die op de profielen staat in plaats van het verval, wat vooral zorgt voor wat zwaardere verstijvers. Daarnaast zorgen de profielen wanneer deze gevuld zijn met lucht voor een grotere opwaartse kracht. Onderzocht moet worden hoe groot deze kracht is en wat de invloed hiervan is op stabiliteit en de grootte van de drijfkisten.

7.1.1.1 Controle opdrijvend vermogen profielen

Het opdrijvend vermogen van de buisprofielen wordt bepaald door de inhoud van de profielen vast te stellen. De inhoud van de stalen buisprofielen is weergegeven in Tabel 5. In deze berekening is verondersteld dat alle profielen zich onderwater bevinden. Hierdoor is de opwaartse kracht maximaal.

Tabel 5 Inhoud dichte profielen

	doorsnede	lengte	aantal	inhoud
horizontale liggers	0,63	84,25	18	955,4
Eind liggers	0,63	11	18	124,7
opleggingsprofiel	0,49	8	2	7,8
verticale vakwerken	0,49	7,9	8	31,0
diagonalen	0,16	6,3	96	96,8
kolommen	0,16	25,6	16	65,5
troggen huidplaat	0,1225	25,6	190	595,8
horizontale vakwerken	0,16	8,9	84	119,6
troggen drijfkist	0,1225	5,6	380	260,8
troggen schotten	0,1225	5,6	200	137,2
troggen nivelleerschuiф	0,1225	7,1	204	177,4
totaal				2572

In geval van maximale waterstand dragen alle profielen uit Tabel 5 bij aan de opwaartse kracht. Deze kracht is dan: $F_{zliggers} = 2572 \cdot 1,022 \cdot 9,81 = 25786kN$.

Het eigengewicht van de constructie zorgt voor een neerwaartse kracht van 45126kN. In bijlage 2 zijn het eigengewicht en de plaats van het zwaartepunt bepaald.

De veiligheid voor de neerwaartse kracht is: $\omega_{opw} = \frac{\gamma_{EG} \cdot F_{EG}}{F_{zliggers}} = \frac{0,9 \cdot 45126}{25786} = 1,57$.

De opwaartse krachten in de buisprofielen zullen dus niet resulteren in een instabiele deur bij maximale waterstand.

7.1.1.2 Drijfkist omvang

De laagste waterstand is kritiek voor de stabiliteit van de deur, aangezien een lager zwaartepunt voor een grotere stabiliteit zorgt. Het minimum schutpeil is NAP -2,20m, dit wordt ook gezien als het minimum peil van uitwisseling aangezien uitwisseling moet gebeuren na een calamiteit en er geen aanvaring kan optreden bij een lagere waterstand.

Het benodigde volume drijfkist wordt bepaald met een marge voor aanvaring. Zodat wanneer na een aanvaring luchtkisten lek zijn geraakt, de deur nog steeds opgedreven zal kunnen worden en verwisseld. Zoals in paragraaf 6.1.3.3 is bepaald, wordt aangenomen dat de sluisdeur over een breedte van 15m wordt aangevaren. Wanneer de drijfkisten aan één zijde over 15m beschadigd raken, betekent dat een verlies van 8 drijfkisten (het drijfkistontwerp zal worden besproken in paragraaf 10.2.2.1). Het totaal aantal drijfkisten is 80, zodat voor aanvaring een marge in acht is genomen van 10%.

De neerwaartse kracht door het eigen gewicht is: $F_{EG} = 45126kN$.

De benodigde opwaartse kracht is: $F_{opw} = \frac{F_{EG}}{0,9} = 46667kN$.

Deze opwaartse kracht kan geleverd worden door: $A_{drijf} = \frac{F_{opw}}{1,022 \cdot 9,81} = 5001,1m^3$.

Een gedeelte van deze opwaartse kracht wordt al geleverd door de gesloten buisprofielen. In het geval van het minimum schutpeil is de opwaartse kracht veroorzaakt door de profielen kleiner dan die berekend met Tabel 5.

Het oppervlak van de profielen onderwater bij een drijvende deur in een waterstand van -2,20NAP is weergegeven in Tabel 6, de totale inhoud onderwater is $1320,7m^3$.

Tabel 6 Inhoud liggers onderwater bij drijvende deur

	doorsnede	lengte	aantal	inhoud
horizontale liggers	0,63	84,25	6	318,5
Eind liggers	0,63	11	6	41,6
opleggingsprofiel	0,49	8	2	7,8
verticale vakwerken	0,49	7,9	8	31,0
diagonalen	0,16	6,3	48	48,4
kolommen	0,16	15,8	16	40,4
troggen huidplaat	0,1225	25,6	190	595,8
horizontale vakwerken	0,16	8,9	42	59,8
troggen nivelleerschuiif	0,1225	7,1	204	177,4
totaal				1320,7

De noodzakelijk hoogte van de drijfkisten is daarmee:

$$h_{drijf} = \frac{A_{drijf} - A_{prof}}{L_{drijf} \cdot b_{drijf}} = \frac{5001,1 - 1320,7}{84,25 \cdot 8} = 5,5m$$

Waarin:

L_{drijf} = lengte van de deur

b_{drijf} = breedte van de deur

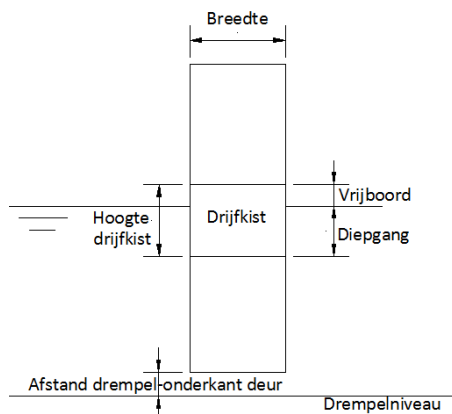
Er wordt een drijfkisthoogte toegepast van 6m.

7.1.1.3 Drijfkist stabiliteit

De positie van de drijfkisten wordt bepaald door de stabiliteit van de deur bij opdrijven.

Via een trail and error proces is de positie van de drijfkisten bepaald zodat de deur stabiel is tijdens drijven. In Figuur 12 is de schets van de constructie weergegeven.

In deze paragraaf zal bewezen worden dat de deur tijdens drijven stabiel is en dat de deur bij minimale waterstand nog voldoende afstand van de bodem zal hebben.



Figuur 12 Doorsnede deur in drijvende positie

De diepgang is:

$$d = \frac{F_{rep} \cdot p_{opw}}{\gamma \cdot A} = \frac{45126 - 1320 \cdot 10}{10 \cdot 84,25 \cdot 8} = 4,74m$$

Waarin F_{rep} het gewicht is van de deur en p_{opw} de opwaartse kracht die al door de profielen geleverd wordt.

De vrijboord is dan: hoogte drijfkist-diepgang = $6,0m - 4,74m = 1,26m$.

De hoeveelheid verplaatste water is: $V = (6 - 1,26) \times 8 \times 84,25 = 3195m^3$.

Het drijfpunt F van de sluisdeur ligt in het zwaartepunt van de hoeveelheid verplaatst water. F ligt dus $4,74/2 = 2,37m$ onder de waterlijn.

Het zwaartepunt G $13,6m$ onder de bovenzijde van de deur, zie bijlage 3. Dit is $3,6m$ onder de bovenkant van de luchtkist, dus $3,6 - 1,26 = 2,34m$ onder de waterlijn.

De afstand MF (afstand Metacentrum – Drijfpunt) wordt als volgt bepaald:

$$MF = \frac{\frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3}{V} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 84,25 \cdot 8^3}{3195} = 1,13$$

waarbij:

$l = 84,25\text{m}$	Lengte luchtkist
$b = 8,0\text{m}$	Breedte luchtkist
$V = 3195\text{m}^3$	Volume lucht in luchtkist onder waterlijn

Het metacentrum M ligt dus 1,13m hoger dan het drijfpunt F, wat neerkomt op $2,37 - 1,13 = 1,24\text{m}$ onder de waterlijn.

De afstand MG komt hiermee neer op: $MG = 2,34\text{m} - 1,24\text{m} = 1,1\text{m}$. Deze afstand moet groter zijn dan 0,5m om voldoende stabiliteit te garanderen. Hiermee is de stabiliteit aangetoond en tevens bewezen dat de sluisdeuren verticaal kunnen worden vervoerd.

De afstand tussen de bodem en de onderzijde van de sluisdeur bij minimum schutpeil is:

$$b_w = h_b - h_{\min;s} - \text{deurow} = 18 - 2,2 - 13,08 = 2,72\text{m}$$

Waarin:

$$h_b = \text{bodemhoogte} : \text{NAP} - 18,00\text{m}$$

$$h_{\min;s} = \text{minimumschutpeil} : \text{NAP} - 2,20\text{m}$$

$$\text{deurow} = \text{gedeelte van deur onderwater} : d + h_{od} - h_{vrb} = 13,08\text{m}$$

$$d = \text{diepgang} : 4,74\text{m}$$

$$h_{od} = \text{hoogte vd deur onder drijfkist} : 9,6\text{m}$$

$$h_{vrb} = \text{vrijboord} : 1,26\text{m}$$

De afstand tussen bodem en onderzijde sluisdeur is 2,72m. Dit is een ruim voldoende marge.

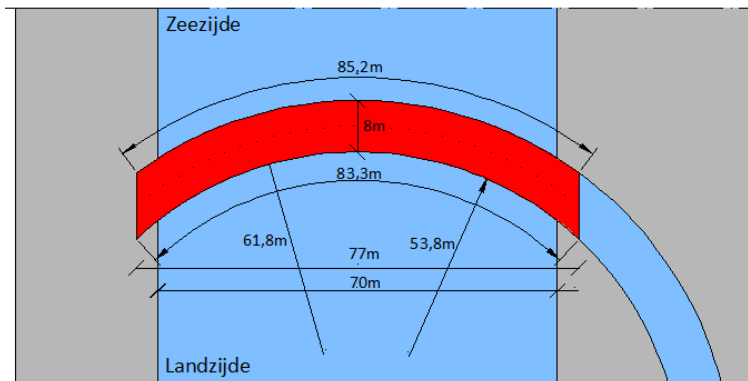
7.1.2 Duurzame materialen

Door het staal te vervangen door een meer duurzaam materiaal dat minder onderhoud vereist, kan de hoeveelheid onderhoud worden verminderd. Door de stalen huidplaten en drijfkisten te vervangen door kunststof exemplaren kan de duurzaamheid flink worden verbeterd. Wanneer het stalenbuisprofiel ontwerp klaar is, zal bekeken worden of het mogelijk is een aantal stalen onderdelen van het ontwerp te vervangen door kunststof.

8 Globale dimensionering

8.1 Hoofdafmetingen

In rapport 2 van het afstudeerwerk [3] zijn de hoofdafmetingen van de sluisdeur met parallelle opeggingen bepaald. Deze afmetingen worden voor het detailontwerp aangehouden en zijn weergegeven in Figuur 13 en Tabel 7.



Figuur 13 Afmetingen gekromde roldeur

Tabel 7 Hoofdafmetingen gekromde roldeur

Eigenschappen	Afkorting	Waarde
Breedte deur	B_d	8m
Hoogte deur	H_d	25,6m
Sluiskolk breedte	b_{kolk}	70m
Deur lengte loodrecht	L_l	77m
Binnenstraal	r_{bi}	53,8m
Buitenstraal	r_{bu}	61,8m
Lengte binnenkant	L_{bi}	83,3m
Lengte buitenkant	L_{bu}	85,2m
Drempelpeil	$h_{drempel}$	NAP -18,00m
Peil bovenkant deur	h_{boven}	NAP +7,60m

8.2 Profielopbouw

In deze paragraaf zal het ontwerp en de daarbij behorende krachtswerking in geval van de maximale belasting, de waterdrukbelasting, worden besproken.

Huidplaten

De sluisdeur moet tweezijdig kunnen keren. Om dit te bewerkstellen zijn twee opties mogelijk. Dit is het toepassen van huidplaten aan beide zijden van de sluisdeur en een open dwarsdoorsneden van de sluisdeur of het toepassen van een huidplaat aan één zijde van de deur, maar dan een gesloten dwarsdoorsnede.

Gekozen is voor huidplaten aan beide zijden van de sluisdeur. Doordat er maar een paar centimeter ruimte is tussen deurkas en sluisdeur zal bij een gesloten dwarsdoorsnede van de deur een zuigerwerking ontstaan in de deurkas bij sluiten van de deur. Doordat er altijd een waterstandsverschil zal bestaan tussen deurkas en sluiskolk zal het water door de smalle dwarsdoorsnede niet snel genoeg kunnen uitstromen. Een andere oplossing,

het openlaten van de achterzijde van de deurkas om de zuigerwerking te voorkomen, zal leiden tot een te grote zoutindringing in het Noordzeekanaal.

Verstijvers huidplaat

De huidplaten worden ondersteund door verticale trogverstijvers. De trogverstijvers zijn verticaal aangebracht zodat deze de belasting gelijk kunnen afdragen aan de horizontale liggers. Daarnaast zijn de troggen doordat deze verticaal zijn aangebracht minder gevoelig voor vuilophoping. De afdichting bevindt zich aan de laagwaterzijde van de sluisdeur zodat de huidplaat aan de binnenzijde/verstijverzijde het hoogwater heeft staan. De trog wordt daarom belast op maximale waterdruk en de huidplaat boven de trog op de minimale waterdruk. De huidplaat tussen de troggen wordt belast op de vervelbelasting. De hart-op-hart-afstand versus breedte van verstijver is zo bepaald dat de lokale momenten door waterdruk in de huidplaat boven en naast de verstijver gelijk zijn. De verstijvers worden over de hoogte onderbroken door de horizontale liggers en zijn daaraan volledig doorgelast.

Horizontale liggers

De sluisdeur bestaat aan voor- en achterzijde uit 9 horizontale kokerliggers. Deze liggers dragen de belasting van de troggen op buiging af naar de opleggingen in de deurkas en deurnis.

Horizontale vakwerken

Elke twee horizontale liggers op gelijke hoogte worden met elkaar verbonden door horizontale kokerprofielen. Deze kokerprofielen ondersteunen de horizontale liggers in de richting van de waterdruk. De geometrie van de kokerprofielen is zo ontworpen dat de hoek van inval en hoek van uitval nagenoeg gelijk zijn en de resulterende normaalkrachten in de horizontale ligger miniem. De verbinding tussen horizontale vakwerken en de horizontale ligger is scharnierend.

Kolommen

Ter plaatse van de rolwagen bevindt zich een frame dat de verticale reactiekrachten afdraagt aan de vier kolommen in de deur. De twee rolwagens bevinden zich tussen onder de een na buitenste nivelleerschuiten en zijn verbonden met diagonalen die de krachten afdragen naar de 4 kolommen tussen de schuiten. Daarnaast bevinden zich kolommen aan de uiteinden van de sluisdeur en tussen de nivelleerschuiten.

Verticale diagonalen

Diagonalen bevinden zich in het yz-vlak tussen de kolommen van de sluisdeur. De diagonalen zorgen voor stabiliteit en stijfheid in de richting loodrecht op de deur.

Drijfkist

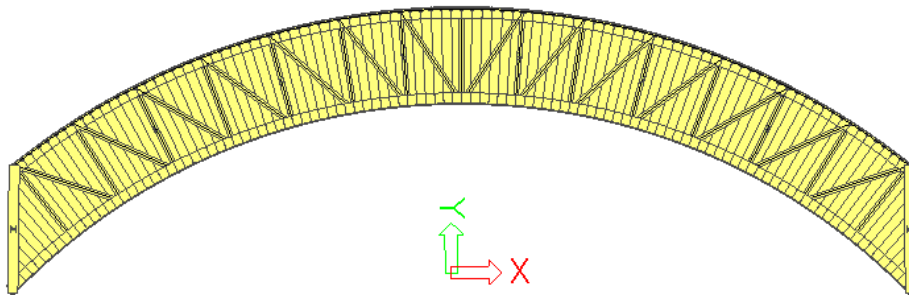
De drijfkisten bevinden zich ongeveer halverwege de hoogte en bestrijken de gehele breedte en lengte van de sluisdeur. De drijfkisten zijn gecompartmenteerd zodat twee rijen in de hoogte en breedte worden gevormd. De compartimentering en buitenkanten van de drijfkisten bestaan uit platen ondersteund met trogverstijvers.

Nivelleerschuiven

Onder de drijfkisten, tussen de 7^e en 8^e horizontale ligger, bevinden zich de nivelleerschuiven. Er bevinden zich 7 nivelleerschuiven in de sluisdeur. Deze zijn gepositioneerd tussen de horizontale vakwerken verdeeld over de lengte van de deur. De nivelleeropeningen bestaan uit platen verstijfd troggen. De schuiven bevinden zich aan de kanaalzijde. In hoofdstuk 9 is het ontwerp van de nivelleerschuiven uitgebreid toegelicht.

8.3 Profiel bepaling

In deze paragraaf worden de profielgegevens van de sluisdeur bepaald. Hierbij is het ontwerp zo gemaakt dat de vergelijkspanning onder de spanning van 300 N/mm^2 zal blijven. De profielbepaling wordt gedaan voor het belastinggeval maximaal positief verval. De vergelijkspanning bestaat in dat geval uit 2 spanningen. Spanningen door de globale krachtwerking en spanningen door de lokale krachtwerking. De lokale spanningen zijn spanningen in de y-richting, evenals de spanningen veroorzaakt door buiging van de horizontale ligger. De spanningen in de globale krachtwerking door buiging van de trogligger zijn spanningen in de x-richting conform het assenstelsel zoals in Figuur 14 is weergegeven.



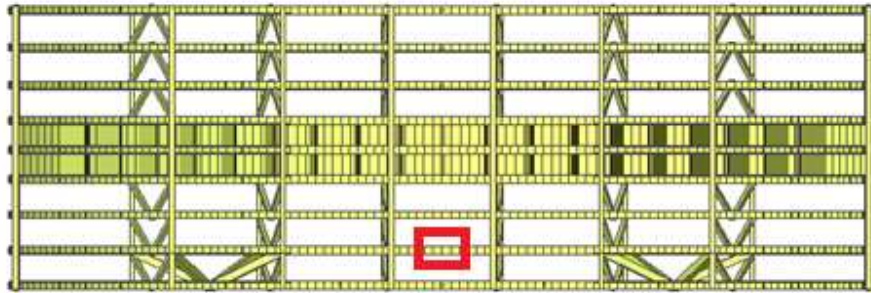
Figuur 14 Aangehouden assenstelsel bij berekening

De lokale spanningen worden bepaald door een horizontale doorsnede in een 2D-raamwerk programma te modelleren. De globale spanningen zijn bepaald door de troggen van sluisdeur te schematiseren als een ingeklemde ligger en door de horizontale ligger te schematiseren als een ligger op 17 steunpunten. Alle spanningsrichtingen worden bepaald voor het globale assenstelsel zoals in Figuur 14 is weergegeven.

De afmetingen van de profielen zijn vastgesteld doormiddel van een handberekening met maple. Waarin de parameters van de profielen zo veranderd zijn dat de totale vergelijkingsspanning in de plaat op 300 N/mm^2 uit zou komen. Deze veiligheid van 55 N/mm^2 is in acht genomen doordat de steunpunten, zoals met de handberekening gemodelleerd, in werkelijkheid geen starre maar verende opleggingen zijn waardoor de veldmomenten in werkelijkheid groter zullen zijn.

De spanningen in de huidplaat, trog en horizontale ligger zijn bepaald ter plaatse van de 8^e ligger (de tweede ligger van onder) in het midden van de overspanning, aangezien daar

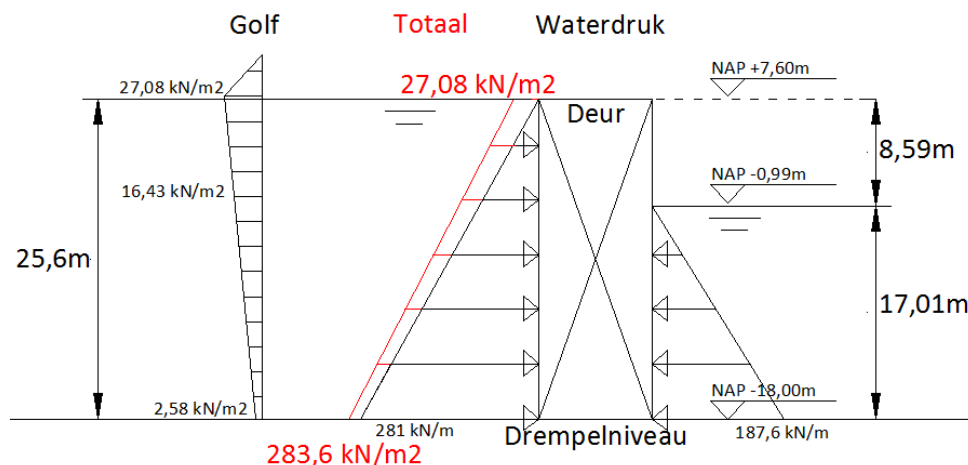
de spanningen maximaal zullen zijn. Deze worden vervolgens vergeleken met het model zonder nivelleeropeningen.



Figuur 15 Positie van gecontroleerde ligger en plaat

8.3.1 Belasting

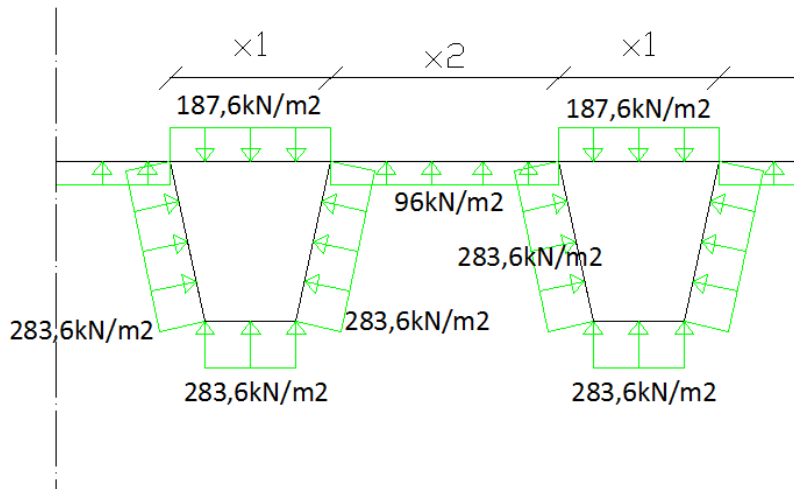
Het belastinggeval waarmee de dimensionering wordt gedaan is de belastingcombinatie van quasi-statische windgolfbelasting met een frequentie van 10^{-4} /jaar en het maximale positieve verval met eveneens een frequentie van 10^{-4} /jaar. De totale belasting is weergegeven in Figuur 16.



Figuur 16 Quasi-statische windgolfbelasting en maximaal positief verval

8.3.2 Huidplaten

Bij de dimensionering van de huidplaten wordt gerekend met de zwaarste hydrostatische belasting op de plaat. De zwaarste hydrostatische belasting staat onderaan op de deur. Aan de hoogwaterzijde is de belasting 283,6kN/m, aan de laagwaterzijde 187,6kN/m en het verval 96kN/m. De belasting zoals deze aangrijpt op de troggen en huidplaat is weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17 Belasting op troggen en huidplaat

De hoh-afstand van de troggen en de breedte van de troggen is zo aangenomen dat de lokale momenten in de plaat naast de trog en boven de trog ongeveer gelijke waarden zullen hebben. Dit zorgt voor een verhouding van afstand van ongeveer

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{187,6}{96} = 1,95.$$

De uiteindelijk gekozen profielen zijn weergegeven Tabel 8.

Tabel 8 Profiel aannames trog en huidplaat

Afkorting	Betekenis	Waarde (mm)
t_{pl}	Dikte huidplaat	20
hoh_{tr}	Hoh-afstand troggen	850
b_{trog}	Breedte trog bovenkant	350
b_{tron}	Breedte trog onderkant	200
t_{wtr}	Lijfdikte trog	12
b_t	Tussen afstand troggen	850-350- 2*12=476
las_t	Lasdikte trog/huidplaat	12

Kromming

Allereerst zal onderzocht moeten worden of de huidplaat wel geschematiseerd mag worden als een vlakke plaat. Volgens vergelijking 1.1 in [EC3 deel 1.5] mag een

$$\text{plaat element als vlak worden beschouwd als: } r \geq \frac{b^2}{t} \rightarrow 54,4 \geq \frac{0,56^2}{0,020} = 15,7.$$

Waarin: b = de plaatbreedte of tussenafstand troggen
 t = de plaatdikte

Aan de vergelijking wordt voldaan, dus de plaat kan beschouwd worden als vlak element.

Lokale spanningen in z-richting

De lokale spanning in de plaat tussen de troggen wordt met de hand bepaald als controle voor de scia-modellering van troggen en huidplaat in de volgende paragraaf.

Het moment in de plaat is: $M_{plaat} = \frac{1}{12} \cdot q_{plaat} \cdot b_t^2 = \frac{1}{12} \cdot 96 \cdot 0,48^2 = 1,81 \text{ kN/m}$

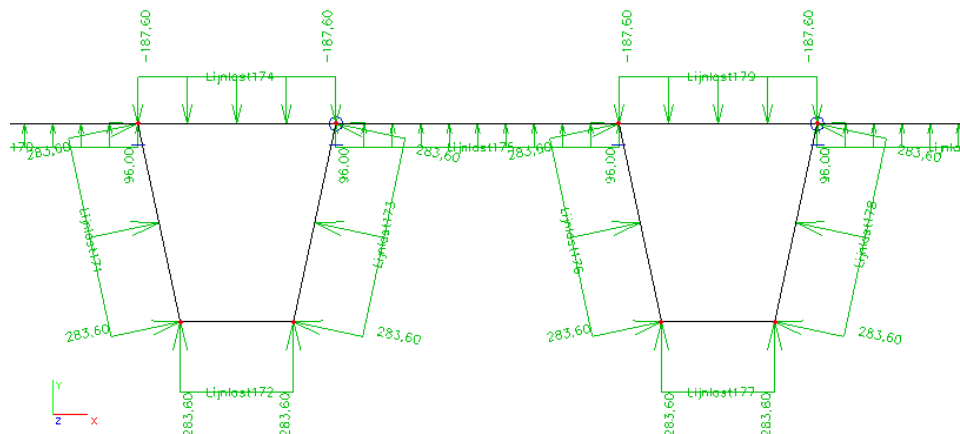
Het traagheidsmoment van de plaat is:

$$W_{plaat} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot t_{pl}^2 = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot 0,020^2 = 6,66667 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

De lokale spanning in de plaat: $\sigma_{z;pl} = \frac{M_{plaat}}{W_{plaat}} = \frac{1,81 \cdot 10^6}{6,6667 \cdot 10^{-4}} = 27,19 \text{ N/mm}^2$

8.3.3 Troggen

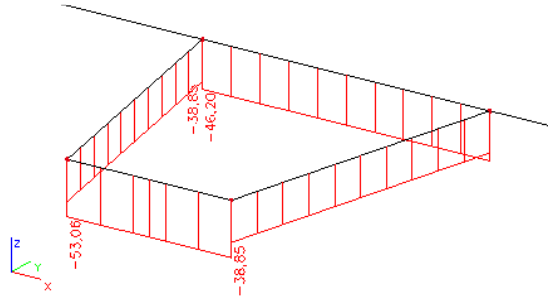
De 100 troggen met huidplaat zijn geschematiseerd in een 2D-raamwerkprogramma. De breedte van de profielen is op 1 meter aangenomen net als de belasting. De troggen zijn volledig doorgelast aan de huidplaat verbonden, zodat een inklemming ontstaat. In **Fout!** **Verwijzingsbron niet gevonden.** Figuur 18 zijn de middelste 2 troggen uit het model weergegeven met de gemodelleerde belasting.



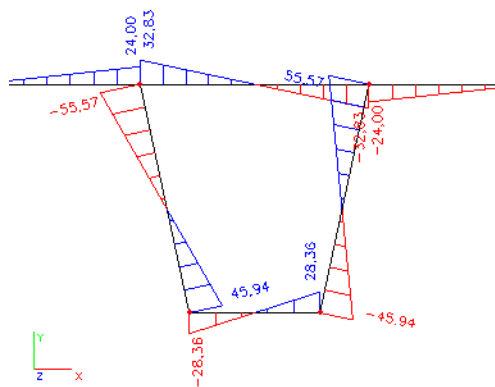
Figuur 18 Gemodelleerde belasting maximaal verval

8.3.3.1 Lokale spanningen in y-richting

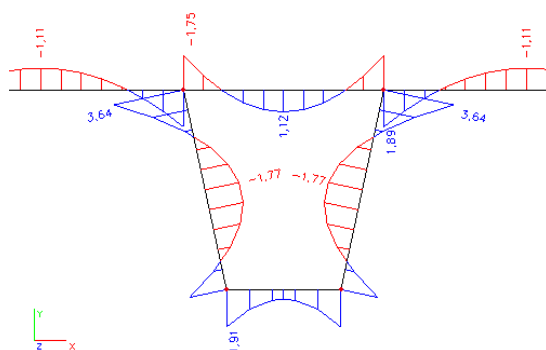
De lokale spanningen in plaat en trog zijn bepaald met een 2D-modellering in het programma SCIA-Engineer. Allereerst zijn de Normaalkrachten, Dwarskrachten en Momentenlijnen bepaald, waarna de totale spanning in de elementen zijn weergegeven.



Figuur 19 Normaalkracht in trog



Figuur 20 Dwarskracht in trog en huidplaat



Figuur 21 Buigend moment in trog en huidplaat

8.3.3.4 Globale spanningen door buiging trog

Veld:

$$\sigma_{x;pl;ve} = \frac{-M_{veld}}{W_{yb;st}} = \frac{35,98 \cdot 10^6}{0,0029126 \cdot 10^9} = 12,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{x;tr;ve} = \frac{M_{veld}}{W_{yo;st}} = \frac{-36,98 \cdot 10^6}{0,0016594 \cdot 10^9} = -21,75 \text{ N/mm}^2$$

Steunpunt:

$$\sigma_{x;pl;st} = \frac{-M_{steun}}{W_{yb;st}} = \frac{-71,95 \cdot 10^6}{0,0015695 \cdot 10^9} = -45,84 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{x;tr;st} = \frac{M_{steun}}{W_{yo;st}} = \frac{71,95 \cdot 10^6}{0,0014766 \cdot 10^9} = 48,76 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{pl} = \frac{V \cdot b_{plaat} \cdot t_{pl} \cdot (e_{ybh} - 0,5 \cdot t_{pl})}{t_w \cdot 2 \cdot I_y \cdot 10^6} = \frac{134,91 \cdot 10^3 \cdot 183 \cdot 20 \cdot (179 - 10)}{12 \cdot 2 \cdot 0,000281 \cdot 10^6} = 12,41 \text{ N/mm}^2$$

Toetsing

$$\sigma_{vgl} = \sqrt{\sigma_{y;pl;st}^2 + 3 \cdot \tau_{pl}^2} = \sqrt{-45,84^2 + 3 \cdot 12,41^2} = 50,63 \text{ N/mm}^2$$

UC=0,14

8.3.4 Horizontale ligger

De horizontale ligger bestaat uit een kokerprofiel van 700mm breed in y-richting en 900mm hoog in z-richting. De horizontale liggers zijn scharnierend verbonden met de vakwerkliggers.

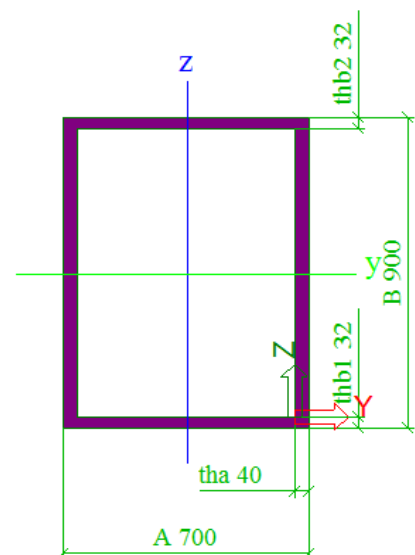
De belasting op de tweede onderste binnenste horizontale ligger wordt geschematiseerd als een lijnbelasting.

De lijnbelasting is:

$$q_{hor;ligger} = q_{plaat} \cdot L_{trog} = 99,7 \cdot 3,2 = 319,04 \text{ kN/m}$$

De binnenste horizontale ligger wordt elke 4,92m ondersteund door horizontale vakwerkstaven.

De profieleigenschappen zijn met een handberekening in maple vastgesteld. Hierbij is gerekend met de effectieve breedte van de plaat, deze is bepaald in bijlage 3. Voor het berekenen van de traagheids- en weerstandsmomenten werken de bovenste flens van de horizontale ligger en de huidplaat niet samen. Er is hierbij dus voor plaat en ligger apart



Figuur 23 Profiel

een weerstandsmoment bepaald en daarna pas het gezamenlijke traagheids- en weerstandsmoment.

Tabel 10 Eigenschappen horizontale ligger + huidplaat

	A (m ²)	ezb (m)	ezo (m)	Izz (m ⁴)*10 ⁻²	Wzb (m ³)	Wzo (m ³)
Horligger	0,1117	0,45	0,45	1,234		
Horligger+plaat steunpunt	0,1301	0,4047	0,5153	1,573	0,03886	0,03053
Horligger+plaat veld	0,1367	0,3857	0,5343	1,642	0,04259	0,03074

Het maximale veldmoment in de horizontale ligger zal optreden ter plaatse van het midden van de sluisdeur. Aangezien de ligger ondersteund wordt via de vakwerken door de andere horizontale ligger, zullen de steunpunten verend ondersteunen. De veerconstante is nog niet bekend, daarom wordt voor hier aangenomen dat het steunpuntsmoment niet optreedt en er alleen een veldmoment optreedt. In paragraaf 8.4.2.5 zal deze aanname met behulp van het model worden geverifieerd.

Het veldmoment is bij afwezigheid van het steunpuntsmoment:

$$M_{vh} = -\frac{1}{8} \cdot q_{hor,l} \cdot hoh_l^2 = -\frac{1}{8} \cdot 317,4 \cdot 4,92^2 = -960,51 kNm$$

De maximale dwarskracht is:

$$V_{hor} = q_{hor,l} \cdot hoh_l = 317,4 \cdot 4,92 = 1561,8 kNm$$

Om de normaalkracht te berekenen in de horizontale liggers worden de vakwerken weggedacht en aangenomen dat het moment in het midden van de deur wordt opgenomen door het koppel van normaalkrachten van de horizontale liggers.

Het moment in het midden van de deur is:

$$M_{Nor} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 317,4 \cdot 7,7^2 = 235263 kNm$$

De arm van het koppel is de afstand tussen de twee zwaartepunten van de horizontale liggers. Deze afstand is: $a_{Nor} = b_{deur} - 2 \cdot e_y = 8 - 2 \cdot 0,40 = 7,2 m$

$$\text{De normaalkracht is: } N_{hor} = \frac{M_{Nor}}{a_{Nor}} = \frac{235263}{7,2} = 32675 kN$$

8.3.4.1 Globale spanningen in y-richting door afdracht horizontale ligger naar sluishoofd

Normaalspanning

$$\sigma_{N,st} = \frac{N}{A} = \frac{32675 \cdot 10^3}{0,1301 \cdot 10^6} = 250,1 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{N,ve} = \frac{N}{A} = \frac{32675 \cdot 10^3}{0,1367 \cdot 10^6} = 239,2 \frac{N}{mm^2}$$

Veld:

$$\sigma_{y;pl;ho} = \frac{-M_{veld}}{W_{yb;st}} + \frac{N}{A} = \frac{960,5 \cdot 10^6}{0,04259 \cdot 10^9} + \frac{32675 \cdot 10^3}{0,1367 \cdot 10^6} = 261,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y;fl;ho} = \frac{M_{veld}}{W_{yo;st}} + \frac{N}{A} = \frac{-960,5 \cdot 10^6}{0,03074 \cdot 10^9} + \frac{32675 \cdot 10^3}{0,1367 \cdot 10^6} = 208,0 \text{ N/mm}^2$$

Steunpunt:

$$\sigma_{y;pl;st} = \frac{-M_{steun}}{W_{yb;st}} + \frac{N}{A} = \frac{-0}{0,02822 \cdot 10^9} + \frac{32675 \cdot 10^3}{0,1301 \cdot 10^6} = 250,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y;fl;ho} = \frac{M_{steun}}{W_{yo;st}} + \frac{N}{A} = \frac{0}{0,03053 \cdot 10^9} + \frac{32675 \cdot 10^3}{0,1301 \cdot 10^6} = 250,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{pl} = \frac{V \cdot b_{plaat} \cdot t_{pl} \cdot (e_{ybh} - 0,5 \cdot t_{pl}) + b_{lig} \cdot t_{hflo} \cdot (e_{ybh} - t_{pl} - 0,5 \cdot t_{hflo})}{t_w \cdot 2 \cdot I_y \cdot 10^6} =$$

$$\frac{1561,8 \cdot 10^3 \cdot 923 \cdot 20 \cdot (405 - 10) + 700 \cdot 32 \cdot (405 - 20 - 0,5 \cdot 32)}{40 \cdot 2 \cdot 0,01573 \cdot 10^{12}} = 9,05 \text{ N/mm}^2$$

Toetsing

$$\sigma_{vgl} = \sqrt{\sigma_{y;pl;st}^2 + 3 \cdot \tau_{pl;ho}^2} = \sqrt{250,1^2 + 3 \cdot 9,05^2} = 250,6 \text{ N/mm}^2$$

UC=0,71

8.3.5 Toetsing samengestelde spanningen

Trog:

$$\sigma_{vgl;tr} = \sqrt{\sigma_{y;tr}^2 + \sigma_{x;tr;st}^2 - \sigma_{y;tr} \cdot \sigma_{x;tr}} = \sqrt{84,1^2 + 48,76^2 - 84,1 \cdot 48,76} = 73,14 \text{ N/mm}^2$$

Horizontale ligger flens:

$$\sigma_{y;fl;ho} = 250,1 \text{ N/mm}^2$$

Huidplaat:

$$\sigma_{vgl;pl} = \sqrt{\sigma_{y;pl}^2 + \sigma_{x;pl;st}^2 - \sigma_{y;pl} \cdot \sigma_{x;pl}} =$$

$$\sqrt{(28,6 + 261,8)^2 + (-45,84)^2 + (28,6 + 261,8) \cdot (-45,84)} = 269,0 \text{ N/mm}^2$$

8.3.6 Drijfkisten

De drijfkisten bestaan als de deur drijvend verplaatst wordt van binnen uit een atmosferische druk. De kisten worden vanaf alle zijden belast door de hydrostatische waterdruk. De drijfkisten bevinden zich iets onder de helft van de hoogte van de deur en bestrijken de totale lengte en breedte van de deur. De hoogte van het totaal aantal kisten

is 6m. De drijfkisten zijn gecompartmenteerd, over de hoogte en breedte bestaan de drijfkisten uit twee compartimenten van 4m breed en 3m hoog. De scheidingen bestaan uit verstijfde platen.

De maximale waterdiepte waarop de deur opgedreven wordt is NAP +3,60m. Deze waterdiepte is maatgevend voor de belasting op de drijfkisten. Inclusief seiches van 0,25m is de waterstand NAP +3,85m.

De druk is maximaal op de onderste plaat van het onderste drijfkistcompartiment. Op deze plaat staat een waterkolom van 11,85m, die neerkomt op een kracht van $118,8 \text{ kN/m}^2$.

Ter plaatse van de drijfkistplaten bevinden zich geen horizontale vakwerken. De troggen en platen van de drijfkist zorgen dus voor stijfheid in de breedte richting van de deur. Omdat bij een dikkere plaat, de sluisdeur in lengte richting bij de drijfkist een stuk stijver zal worden in vergelijking met de rest van de deur, is gekozen om de troggen extra zwaar te maken en de drijfkistplaat zo dun mogelijk. Het resultaat hiervan is een drijfkistplaat van 12mm en troggen met flenzen van 20mm. De hoogte en breedte van de troggen is gelijk aan die van de huidplaat.

Als de drijfkisten namelijk in lengte richting veel stijver zijn, zullen ze grotere normaalkrachten naar zich toe trekken, terwijl de normaalkrachten juist verdeeld moeten worden over alle horizontale liggers

8.3.7 Opmerkingen schematisatie

De grootste verschillen tussen de handberekening en het model is dat de horizontale ligger in de handberekening geschematiseerd is als oneindige ligger op starre steunpunten. In werkelijkheid bestaat de ligger uit 16 overspanningen, maar belangrijker zijn de steunpunten niet star. De horizontale ligger wordt ondersteund door de vakwerken die weer verbonden zijn met de andere horizontale ligger. Deze steunpunten zullen dus verend werken en zorgen voor grotere veldmomenten en kleinere steunpuntmomenten dan berekend met de handberekening.

De lijnbelasting op de horizontale ligger is eigenlijk wat hoger aan de hoogwaterzijde dan de aangenomen $307,2 \text{ kN/m}$ omdat de gehele waterkolom als belasting op de horizontale ligger staat in plaats van het verval. Dit zal resulteren in hogere spanningen in de flens van de horizontale ligger in het model dan met de handberekening.

8.4 Controle globale dimensionering

De dimensionering, zoals uitgevoerd met een handberekening in paragraaf 8, is getoetst in het 3D modelleringprogramma SCIA Engineer. Allereerst is hiervoor een eenvoudig model uitgevoerd met alleen drijfkisten, zodat de handberekening vergeleken kan worden met het model.

8.4.1 Eenvoudig model

De gekromde roldeur is gemodelleerd als rechte elementen met een breedte gelijk aan de hoh-afstand van de troggen, dit is 0,85m. Deze rechte elementen zijn gedraaid om het middelpunt van de cirkel die de gekromde roldeur bestrijkt. Deze rechte modellering is gedaan omdat gekromde staven met gekromde platen niet als één constructie gezien worden in SCIA.

De berekeningen in SCIA zijn niet-lineair uitgevoerd, deze niet-lineairiteit komt tot uitdrukking in de steunpunten. De steunpunten zijn gemodelleerd als steunpunten die alleen op druk kunnen worden belast. De netgrootte in SCIA Engineer is vastgesteld op 1000mm.

8.4.1.1 Staalkwaliteit

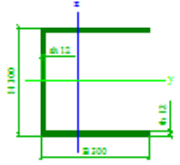
Alle profielen zijn gemodelleerd met staalkwaliteit S355.

8.4.1.2 Plaat

De plaat is gemodelleerd als een isotroop schaalvormig 2D-element met een dikte van 20mm. De elementen zijn uitgevoerd als schaalelementen zodat de platen in staat zijn krachten en momenten in de richting van de plaat en loodrecht op de plaat op te nemen. De platen zijn excentrisch aangebracht, zodat de platen op de lijven van de horizontale liggers aansluiten.

8.4.1.3 Troggen

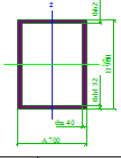
De troggen zijn gemodelleerd als U-vormige verstijvers met gelijke eigenschappen aan de troggen die zijn ontworpen. De verstijvers zijn excentrisch aangebracht zodat aangesloten wordt op de plaat.

Naam	Troggen huidplaat	
Type	U g	
Uitgebreid	300; 300; 12; 12	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	b
EEM berekening	x	
Afbeelding		
A [m²]	1,0512e-02	
A y, z [m²]	1,0512e-02	1,0512e-02
I y, z [m⁴]	1,7041e-04	1,0108e-04
I w [m⁴], t [m⁴]	0,0000e+00	1,5407e-08
Wpl y, z [m³]	1,1361e-03	5,1737e-04
Wpl y, z [m³]	1,2853e-03	9,0117e-04
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	105	150
alpha [deg]	0,00	
AL [m²/m]	1,7780e+00	

Figuur 24 Eigenschappen trogprofiel huidplaat

8.4.1.4 Horizontale liggers

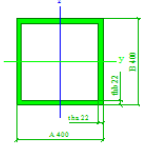
De horizontale liggers zijn gemodelleerd als kokerliggers met gelijke afmetingen als het ontwerp.

Naam	Horizontale ligger	
Type	O asymmetrisch	
Uitgebreid	700; 40; 900; 32; 32	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	b
EEM berekening	x	
Afbeelding		
A [m ²]	1,1168e-01	
A y, z [m ²]	4,8860e-02	6,2820e-02
I y, z [m ⁴]	1,2337e-02	9,1215e-03
I w [m ⁵], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,4851e-02
Wel y, z [m ³]	2,7416e-02	2,6061e-02
Wpl y, z [m ³]	3,3421e-02	2,9910e-02
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-310	418
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	3,2000e+00	

Figuur 25 Eigenschappen horizontale ligger

8.4.1.5 Vakwerkdagonalen

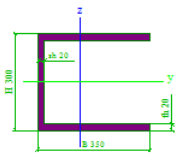
De vakwerkdagonalen zijn kokerliggers die scharnierend verbonden zijn met de horizontale liggers.

Naam	Horizontaal vakwerken	
Type	O	
Uitgebreid	400; 22; 400; 22	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	b
EEM berekening	x	
Afbeelding		
A [m ²]	3,3264e-02	
A y, z [m ²]	1,6632e-02	1,6632e-02
I y, z [m ⁴]	7,9483e-04	7,9483e-04
I w [m ⁵], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,1229e-03
Wel y, z [m ³]	3,9742e-03	3,9742e-03
Wpl y, z [m ³]	4,7205e-03	4,7205e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-178	178
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,6000e+00	

Figuur 26 Eigenschappen vakwerkligger

8.4.1.6 Drijfkisten

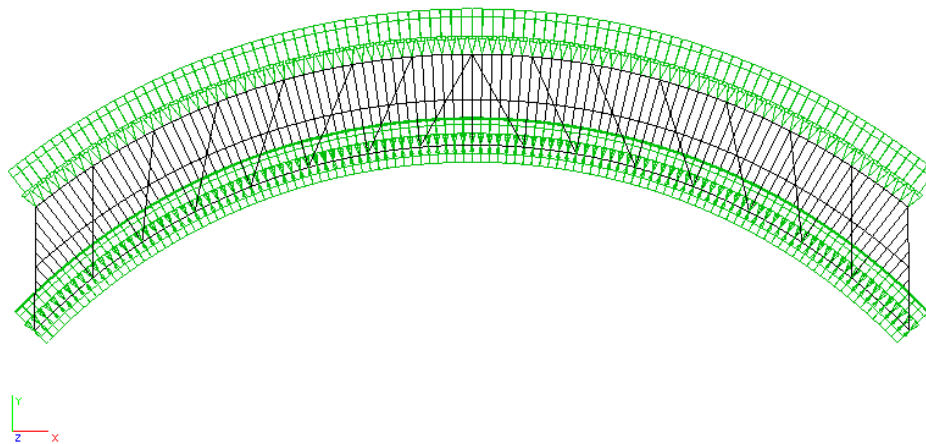
De drijfkisten bestaan uit een plaat met trogverstijvers. De plaat is gemodelleerd als een isotroop schaalvormig 2D-element met een dikte van 12mm. De trogverstijvers van de drijfkist hebben een dikte van 20mm.

Naam	Troggen luchtkist	
Type	U g	
Uitgebreid	300; 350; 20; 20	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	b
EEM berekening	*	
Afbeelding		
A [m ²]	1,9200e-02	
A y, z [m ²]	1,9200e-02	1,9200e-02
I y, z [m ⁴]	3,0416e-04	2,4632e-04
I w [m ⁵], t [m ⁴]	0,0000e+00	8,6803e-06
Wel y, z [m ³]	2,0277e-03	1,1212e-03
Wpl y, z [m ³]	2,2980e-03	1,9130e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	130	150
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,9600e+00	

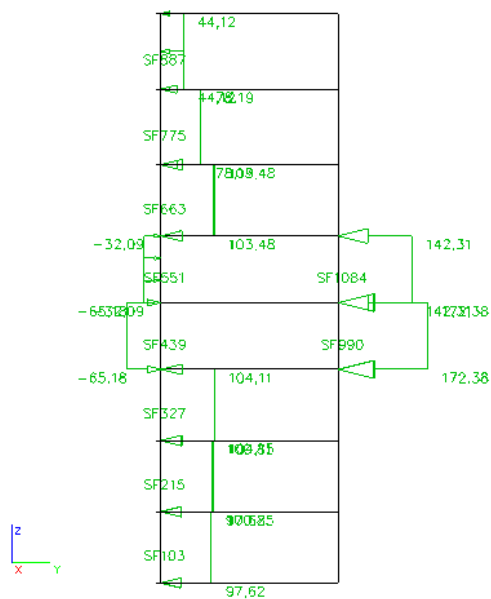
Figuur 27 Eigenschappen troggen drijfkisten

8.4.1.7 Belasting

De belasting grijpt aan als vervalbelasting op de binnenste huidplaat aan de binnenzijde van de sluisdeur. Alleen ter plaatse van de drijfkisten staat de volledige waterdruk op de huidplaten.



Figuur 28 Belasting maximaal verval over de deur



Figuur 29 Doorsnede sluisdeur met aangrijpende belasting maximaal verval

Noot:

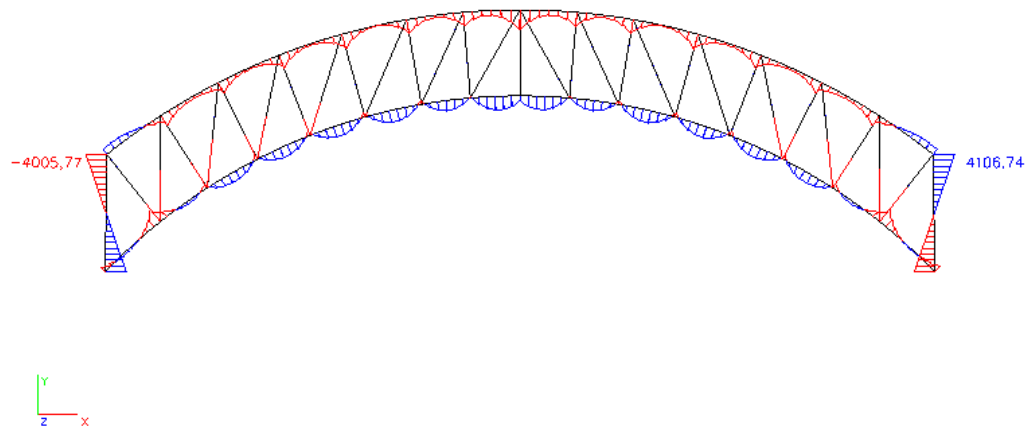
In werkelijkheid is zijn de drijfkisten ook aan de onder- en bovenzijde belast met een waterdruk en verloopt de waterdruk meer lineair dan de sprongen die in dit eenvoudige model zijn weergegeven. Omdat dit eenvoudigere model uitsluitend bedoeld is om de spanningen en krachten t.p.v. horizontale ligger 8 van de handberekening te controleren, zijn de vereenvoudigen in dit geval niet erg. In het uiteindelijke uitgebreidere model is wel de werkelijke belasting die op de deur aanwezig is gemodelleerd.

8.4.2 Resultaten

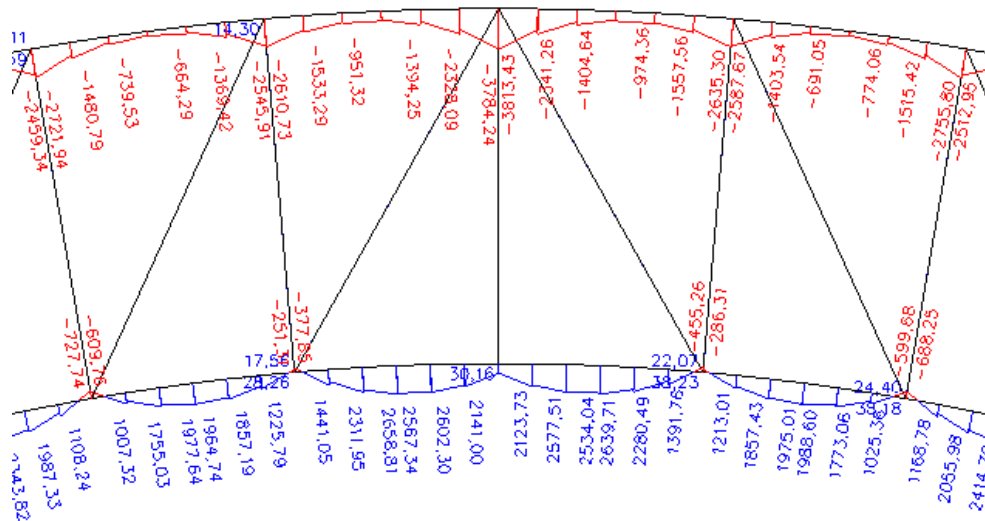
In deze paragraaf zijn de resultaten van het eenvoudige model weergegeven. Er is hierbij gefocust op de krachten en spanningen ter plaatse van het midden van de overspanning van horizontale ligger 8 voor de ligger en de huidplaat. Deze resultaten worden vervolgens vergeleken met de handberekening.

8.4.2.1 Momenten M_y in ligger 8

De momentenlijn van de horizontale liggers 8a en 8b is weergegeven in Figuur 30. Te zien is dat er nagenoeg geen steunpuntsmomenten optreden in horizontale ligger 8a. Het tegenovergestelde effect is te zien in ligger 8b, waarin nagenoeg geen veldmomenten optreden. In Figuur 31 is ingezoomd ter plaatse van het midden van de liggers 8a en 8b. Het maximale veldmoment dat optreedt is 2658kNm.



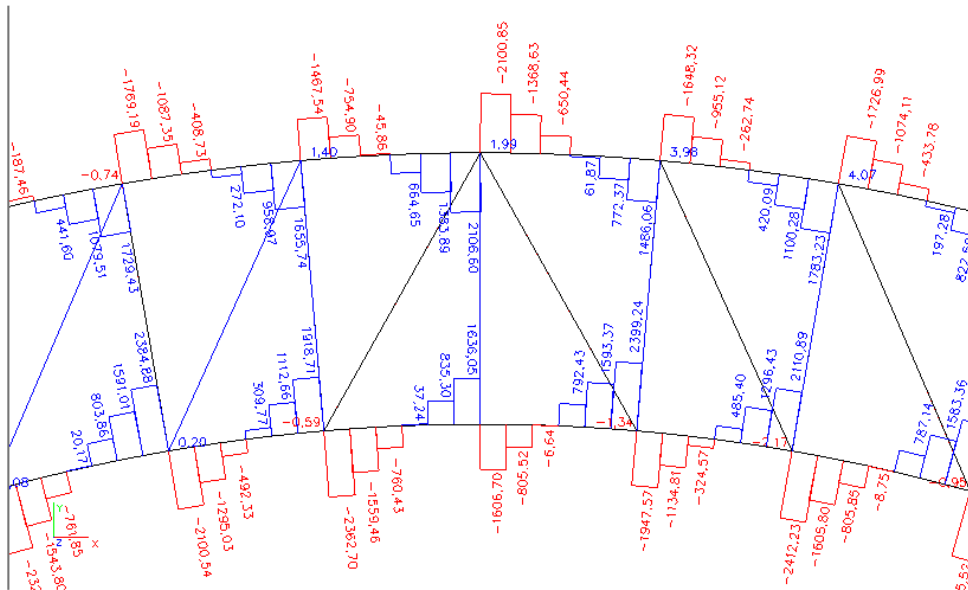
Figuur 30 Momentenlijn M_y in horizontale ligger 8



Figuur 31 Momenten M_y t.p.v. het midden van de liggers 8a en 8b

8.4.2.2 Dwarskracht V_y in midden van ligger 8

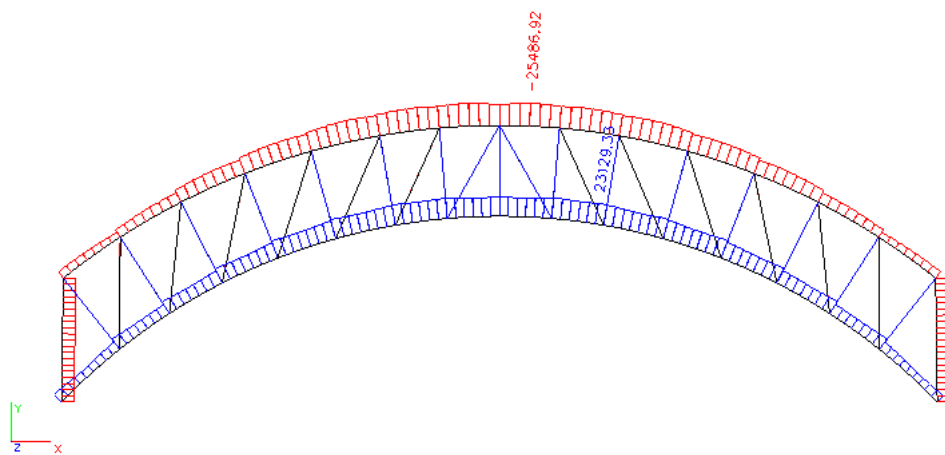
De dwarskrachten die optreden t.p.v. het midden van de liggers 8a en 8b zijn tussen de 2400kN en 1600kN groot.



Figuur 32 Dwarskracht V_y t.p.v. midden van de liggers 8a en 8b

8.4.2.3 Normaalkracht in ligger 8

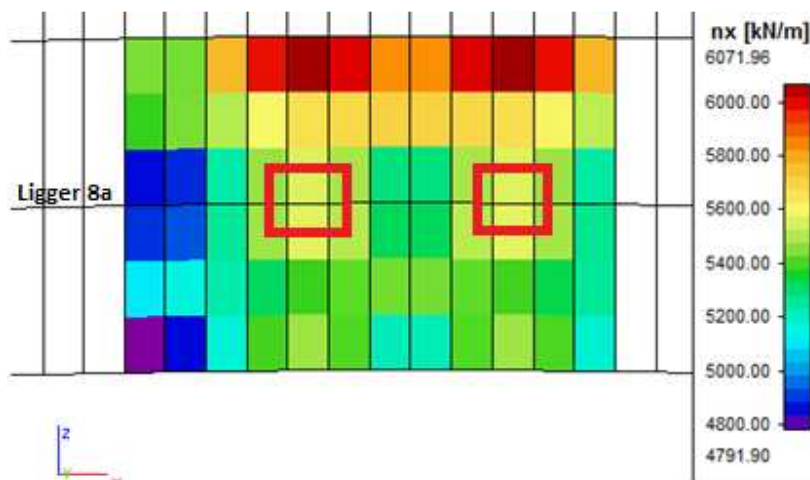
De normaalkracht is maximaal ter plaatse van het midden van de liggers. In ligger 8a is de normaalkracht 23130kN en in ligger 8b -25487kN.



Figuur 33 Normaalkracht in liggers 8a en 8b

Normaalkracht huidplaat t.p.v. ligger 8a

De normaalkracht in de huidplaat t.p.v. de ligger is in het veld van de ligger maximaal, deze posities zijn aangegeven met het rode vierkanten. De normaalkracht is daar ongeveer 5600kN.

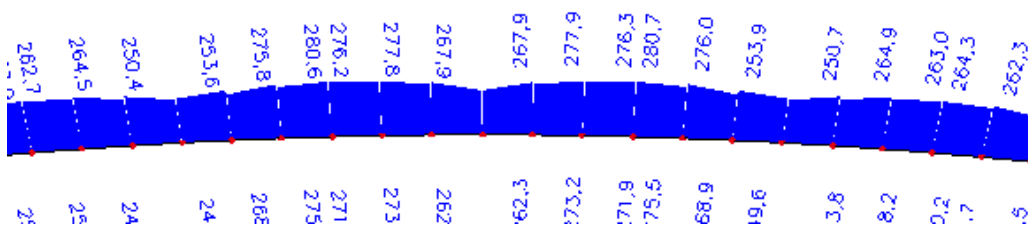


Figuur 34 Normalkracht n_x in huidplaat t.p.v. van midden ligger 8a

8.4.2.4 Spanningen in horizontale ligger en huidplaat

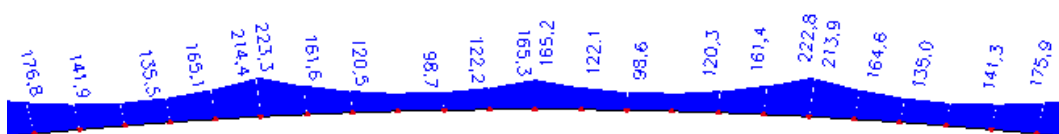
Von Mises spanning horizontale ligger 8

De Von Mises spanningen, weergegeven in Figuur 35, zijn de maximale spanning in de bovenste vezel of onderste vezel van de ligger. De spanning in de horizontale ligger is maximaal in het veld van de ligger, deze spanning is 280 N/mm^2 . De spanning in het veld treedt op in de bovenste vezel van de ligger.

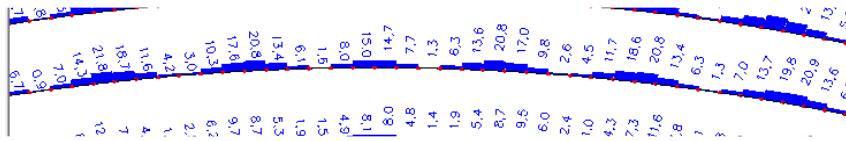


Figuur 35 Von Mises spanning horizontale ligger 8

In Figuur 36 zijn de Von Mises spanningen weergegeven die optreden in de onderste vezel van de ligger. Deze spanning is maximaal t.p.v. het steunpunt van de ligger en heeft een waarde van 223 N/mm^2 .



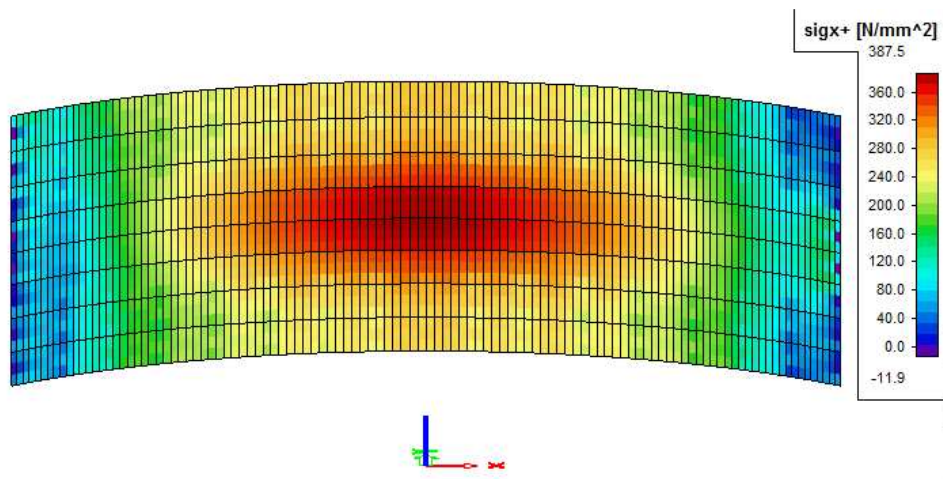
Figuur 36 Von Mises spanning horizontale ligger onderste vezels



Figuur 37 Afschuiving in de ligger 8

Spanning x+ huidplaat

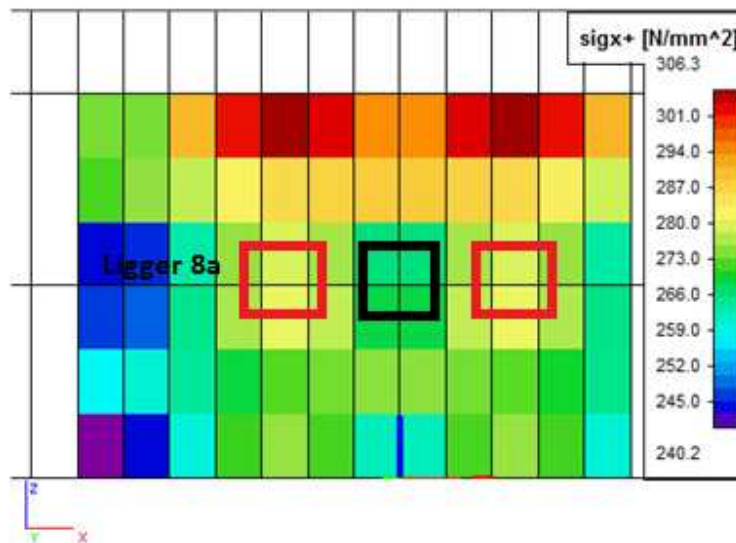
De spanning in de huidplaat is maximaal ter plaatse van de het midden van de drijfkisten, deze spanning is $387,5 \text{ N/mm}^2$ (zie Figuur 38). Dit komt omdat de normaalkrachten ter plaatse van de drijfkisten groter zijn door de grotere stijfheid, stijvere delen trekken namelijk grotere krachten naar zich toe. Verwacht wordt dat de normaalkracht t.p.v. de drijfkisten zullen afnemen wanneer de nivelleerschuiten worden toegevoegd, aangezien ook deze delen stijver zullen zijn en meer krachten naar zich toe zullen trekken. Daarom wordt deze hogere spanning dan de toegestane 355 N/mm^2 in dit model niet als problematisch gezien.



Figuur 38 Sigma x+ huidplaat kanaalzijde (belaste plaat met overal verval en drijfkisten vol belast)

Spanning x+huidplaat t.p.v. midden van ligger 8

De spanning in de huidplaat is hoger in het veld van de horizontale ligger dan in het steunpunt. In het veld, aangegeven met rode vierkanten, is de spanning 283 N/mm^2 . In het steunpunt, aangegeven met het zwarte vierkant, is de spanning 270 N/mm^2 .



Figuur 39 Maximale spanningen Sigma x+ in huidplaat t.p.v. veld horizontale ligger 8a

8.4.2.5 Model zonder nivellering vergelijking met handberekening

De resultaten van het model en de handberekening wijken op een aantal punten af. In deze paragraaf zullen de verschillen worden aangegeven en indien mogelijk verklaard.

Tabel 11 Verschillen handberekening en SCIA-model

	Hand	Model	Vershil (%)
$N_{\text{ligger;mid}}$	32675 kN	$23129+5600=28729$ kN	12,1%
$V_{\text{ligger;mid}}$	1562 kN	1636 kN	4,5%
$M_{y\text{ligger;mid}}$	961 kN	2659 kN	277%
$\text{Sigma}_{x+;\text{plaat;veld}}$	269 N/mm ²	283 N/mm ²	4,9%
$\text{Sigma}_{\text{Von Mises ligger}}$	251 N/mm ²	280 N/mm ²	10,4%

Normaalkracht

De normaalkracht, berekend met de handberekening, is 12% kleiner dan in het model. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt omdat in de handberekening de vakwerkstaven zijn verwaarloosd. Hierdoor schuift het zwaartepunt wat meer naar het midden van de deur toe, waardoor de normaalkracht groter moet zijn om het moment van $1/8ql^2$ op te kunnen nemen.

Momenten

De momenten in de horizontale ligger wijken in het model flink af van de handberekening. Deze afwijking is te verklaren door de aanname voor het steunpunt die gedaan is in de handberekening. In de handberekening werd ervan uitgegaan dat de ligger verend ondersteund was en daardoor geen steunpuntsmoment zal hebben, alleen een veldmoment met een overspanning gelijk aan de hoh-afstand van vakwerken die de horizontale ligger ondersteunen. Dit blijkt als naar de verplaatsingen gekeken wordt in het model niet te kloppen. De verende oplettingen hebben een andere grotere

systeemplengte dan de hoh-afstand van de vakwerken waardoor de momenten een stuk groter zullen zijn dan het aangenomen veldmoment.

Dwarskracht

De dwarskracht komt over het algemeen vrij goed overeen met de dwarskracht in het model. Verschillen ontstaan waarschijnlijk door de verschillende veerstijfheden van de horizontale vakwerken. Omdat door de kromming van de deur de hoeken tussen de vakwerkstaven en de horizontale ligger per locatie verschillen.

Spanning

De spanning in de horizontale ligger is in het veld 10% lager dan in de handberekening. Dit verschil wordt veroorzaakt door de grotere M_y in het model van in de handberekening.

De spanning in de huidplaat is 5% kleiner dan in het model, ook dit verschil wordt veroorzaakt door de te klein aangenomen buigende momenten.

Conclusie modelcontrole

De resultaten van het model wijken op een aantal punten af van de handberekening. Deze afwijkingen zijn wel te verklaren. Als naar de Normaalkrachten gekeken wordt is het aannemelijk dat het model goede resultaten geeft. Het eenvoudige model zal voor het detail ontwerp daarom worden uitgebreid.

9 Nivelleerschuiven

In het programma van eisen worden gemiddelde nivelleertijden van 12 min geëist onder normale omstandigheden en nivelleertijden van 19 minuten bij extreme waterstanden. Normale waterstanden zijn op zee hoogtes tussen NAP +1,45 en NAP -1,07m en bij het Noordzeekanaal van NAP -0,40m.

Nivelleren is mogelijk via de deuren of via omloopriolen. Omloopriolen zorgen voor een kleiner turbulent stromingsveld in de sluis dichtbij de sluishoofden. Maar nadelen van de omloopriolen zijn de veel hogere kosten, een lagere betrouwbaarheid en ingewikkelder onderhoud van de schuiven en riolen die zich onder de drempel bevinden. Nivelleren via de deuren zorgt voor grotere belasting in de huidplaten naast de schuiven, een zwaardere deur en grotere krachten op de schepen bij nivelleren. Nivelleren via de deuren heeft de voorkeur als de krachten op de schepen laag genoeg gehouden kunnen worden en de belasting op de plaat niet al te groot wordt.

9.1 Afmetingen nivelleerschuiven

In [9] is onderzoek gedaan naar de afmetingen en het type nivelleersysteem bij verschillende varianten sluisdeuren voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden. Doormiddel van een lockfill modellering zijn in dit onderzoek de nivelleeropeningen bepaald zodat aan de geëiste nivelleertijden en maximale krachten op schepen wordt voldaan. De resultaten van de modellering zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 Vereiste nivelleeropeningen Nieuwe Zeesluis voor verschillende type sluisdeuren [9]

Sluis		basis 65 m	70 m	65 m	60 m	50 m
type deuren		gekromde roldeuren	punt- deuren	sector- deuren	rechte roldeuren	rechte roldeuren
Kolkengte	m	500	500	545	545	545
Hydraulische lengte	m	525	628	663	590	590
Breedte	m	65	70	65	60	50
Bodemniveau NAP	m	-18	-17	-18	-18	-15
Nivelleeropeningen						
Totale afmetingen per sluishoofd (twee deuren)						
Totale breedte *)	m	40/30	40	40	35	30
Maximale hoogte	m	3	3	3	3	3
Opp. tpv de schuiven	m ²	120/90	120	120	105	90
afvoer-coëfficiënten	-	0,65 -0,70	0,65 - 0,70	0,65 - 0,70	0,65 -0,70	0,65 -0,70
Bruto uitstroomopp. aan de kolkzijde (incl. opp. breekbalken)	m ²	200/150	200	200	175	150
hefsnelheid **)	mm/s	3	3	3	3	3

Bij de gekromde roldeuren met een 65m brede sluiskolk zijn schuiven noodzakelijk van 3m hoog en 40 of 30 meter breed. De sluiskolk van het ontwerp in dit rapport is geen 65m

breed maar 70m. Het bodemniveau voldoet wel aan het ontwerp in dit rapport. Er wordt daarom aangenomen dat schuiven van 120m² zullen voldoen bij het huidige ontwerp. In de volgende paragraaf zal het ontwerp van deze nivelleerschuiten worden besproken.

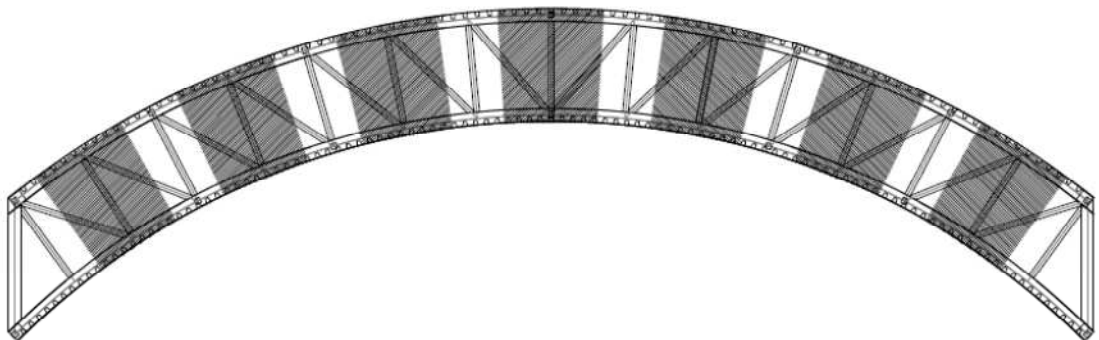
9.2 Ontwerp nivelleerschuiten

De gegevens van de ontworpen nivelleeropeningen zijn:

- Het oppervlak van de nivelleeropeningen is 120 m²
- Er zijn 7 openingen gepositioneerd tussen de horizontale vakwerken in
- De afmetingen van de openingen is 3,2m hoog x 5,4m breed
- De schuiten bevinden zich aan de kanaalzijde aan de binnenkant van de horizontale liggers
- De nivelleeropeningen zijn tussen de 7^e en 8^e horizontale ligger geplaatst
- Elke nivelleerschuit wordt geopend door een cilinder. De cilinder grijpt aan op een frame dat aan de schuit is gelast.
- De schuit wordt in 600sec geopend. De snelheid van openen is dan $3200/600 = 5,3\text{mm/s}$

Motivering ontwerpkeuzes:

- De nivelleerschuiten zijn gepositioneerd tussen de 7^e en 8^e horizontale ligger. De afstand onder de waterlijn van de schuiten moet zich minimaal 2x de hoogte van de schuit zijn. Dit om cavitatie in de openingen te voorkomen, hierdoor kunnen op het staal enorme klappen optreden die lijden tot bezwijken van de openingen. Daarnaast zorgt een lage positionering van de schuiten voor een verlaagd zwaartepunt, wat gunstig is voor de stabiliteit van de sluisdeur.
- De hoogte van de openingen is gemaximeerd tot ongeveer 3m. De 3,2m is zo gekozen dat de schuiten zich precies tussen de horizontale liggers kunnen worden gepositioneerd.
- Er is voor 7 schuiten gekozen, zodat deze precies tussen de horizontale vakwerken kunnen worden gepositioneerd. In Figuur 40 is van boven af aangegeven waar de nivelleeropeningen zich ten opzichte van de vakwerken bevinden.



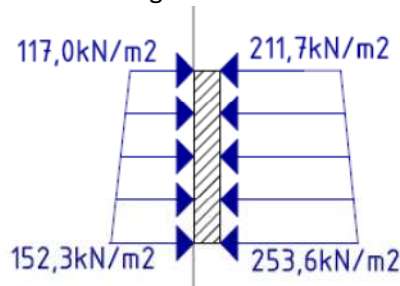
Figuur 40 Positie van de nivelleeropeningen (aangegeven met arcering) bekeken vanaf bovenaf

9.2.1 Openingen

De nivelleeropeningen worden net als de drijfkisten uitgevoerd met platen verstijfd met troggen. Voor de nivelleeropeningen worden even zware profielen en platen gebruikt.

9.2.2 Schuif

De schuif wordt belast met een maximale waterdruk weergegeven in Figuur 41. De vervalbelasting is bovenaan de schuif 94,7 kN/m² en onderaan 101,3 kN/m².



Figuur 41 Maximale waterdruk op schuif (inclusief belastingfactor 1,1)

De schuif wordt omgeven aan twee zijdes door een afdichtingsprofiel vanaf dat deze gesloten is tot in de openstand. Het afdichtingsprofiel wordt uitgevoerd als U-profiel en is dus 2x zo lang als de schuiven; 6,4m lang dus. Daarnaast bevindt zich een U-profiel aan de onderzijde van de schuif wanneer deze gesloten is. De U-profielen zorgen voor de krachtsafdracht van de schuif, dat de schuif geleid wordt en voor de tweezijdige waterafdichting van de schuif. De afdichting komt vanzelf tot stand door de vervalbelasting. De uiteinden van de schuif die in het U-profiel uitkomen, worden uitgevoerd met glijblokken om de weerstand tussen de schuif en het U-profiel te minimaliseren.

Aangenomen wordt dat de krachten op de schuif alleen afgedragen worden naar de U-profielen aan de zijkant van de schuif.

9.2.2.1 U-profiel

Het U-profiel wordt belast met: $q_{prof} = 0,5 \cdot 101,3 \cdot 4,7 = 238,1$

Het maximale moment in het U-profiel is: $M_{prof} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 238,1 \cdot 3,2^2 = 304,7 \text{ kNm}$

Het benodigde weerstandsmoment is: $W_{prof} = \frac{M_{sch}}{\sigma} = \frac{304,7 \cdot 10^6}{355} = 858310 \text{ mm}^3$

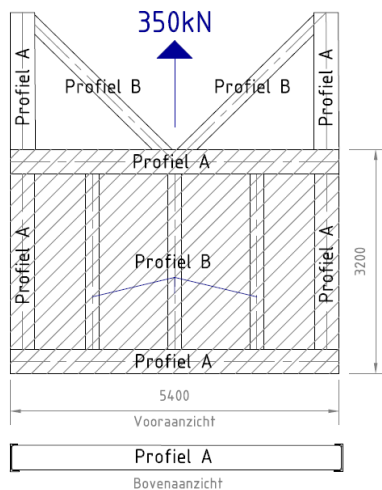
Toegepast wordt een UNP-profiel met de volgende eigenschappen:

hxb [mm]	t [mm]	S _s [mm]	Massa [kg]	A _{tot} * 10 ² [mm ²]	I _y * 10 ⁴ [mm ⁴]	I _z * 10 ⁴ [mm ⁴]	W _{y;el} * 10 ³ [mm ³]	W _{z;el} * 10 ³ [mm ³]
400x110	14	44,1	71,8	91,5	20350	851	1020	102

Het UNP-profiel is over de hoogte aan de binnenzijde van de horizontale liggers 6a, 7a en 8a vastgelast.

9.2.2.2 Ontwerp schuif

De schuif zal worden uitgevoerd als plaat met daarachter een kokerprofielframe. In Figuur 42 is het kokerprofiel frame weergegeven. De schuif bestaat uit de kokerprofielen A en B en uit een huidplaat weergegeven met de arcering. De profielen A boven de huidplaat lopen door om tijdens het heffen van de schuif extra stabiliteit te realiseren. De trekkracht van 350kN is in de volgende paragraaf bepaald.



Figuur 42 Nivelleerschuif ontwerp

Hieronder zal een grove dimensionering van de profielen worden weergegeven.

Profiel A

Het bovenste horizontale A-profiel wordt het zwaarst belast, een belasting loodrecht op het vlak en in het vlak.

Belasting door de kracht geleverd vanuit de cilinder (deze kracht is in de volgende paragraaf bepaald):

$$M_{xx} = \frac{1}{4} \cdot 350 \cdot 5,4 = 472,5 \text{ kNm}$$

Belasting doordat de profielen B de waterdruk afdragen naar het horizontale profiel A:

$$M_{yy} = \frac{1}{8} \cdot 101,3 \cdot \frac{3,2}{2} \cdot 5,4^2 = 590,8 \text{ kNm}$$

Toegepast wordt een profiel van 350x350x10mm met de volgende eigenschappen:

hxb [mm]	t [mm]	Massa [kg]	A _{tot} * 10 ² [mm ²]	I _y =I _z * 10 ⁴ [mm ⁴]	W _{y,el} =W _{z,el} * 10 ³ [mm ³]	I _y =I _z [mm]
350x350	12,5	131	167	31500	1800	137

$$\sigma_y = \frac{M_{yy}}{W_y} = \frac{472,5 \cdot 10^6}{1800 \cdot 10^3} = 262,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_x = \frac{M_{xx}}{W_x} = \frac{590,8 \cdot 10^6}{1800 \cdot 10^3} = 328,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{verg}} = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2 - \sigma_y \cdot \sigma_x} = \sqrt{262,5^2 + 328,2^2 - 262,5 \cdot 328,2} = 300,78 \text{ N/mm}^2$$

$$UC = \frac{300,8}{355} = 0,85 ; \text{ het profiel voldoet.}$$

Profiel B

De hoh-afstand tussen de profielen B is 1,35m. Het moment in het profiel veroorzaakt

$$\text{door de waterdruk is: } M_{xx} = \frac{1}{8} \cdot 101,3 \cdot 1,35 \cdot 3,2^2 = 175 \text{ kNm}.$$

$$\text{De maximale normaalkracht in het profiel is: } N = \frac{355}{5} = 71 \text{ kN}.$$

Toegepast wordt een profiel van 250x250x10mm met de volgende eigenschappen:

hxb [mm]	t [mm]	Massa [kg]	A _{tot} * 10 ² [mm ²]	I _y =I _z * 10 ⁴ [mm ⁴]	W _{y;el} =W _{z;el} * 10 ³ [mm ³]	i _y =i _z [mm]
250x250	10	74,5	94,9	9060	724	97,7

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_{yy}}{W_y} = \frac{71 \cdot 10^3}{9490} + \frac{175 \cdot 10^6}{724 \cdot 10^3} = 249,2 \text{ N/mm}^2$$

$$UC = \frac{249,2}{355} = 0,70 ; \text{ het profiel voldoet.}$$

Plaatdikte

De hoh-afstand van de B-profielen is 1,35m, de overspanning van de plaat is dan: 1,35-0,25=1,1m. De benodigde plaatdikte is:

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot q \cdot l^2}{\sigma}} / \left(\frac{1}{6} \cdot 1000\right) = \sqrt{\frac{10,2 \cdot 10^6}{355}} / \left(\frac{1}{6} \cdot 1000\right) = 13,1 ; \text{ er wordt een plaatdikte}$$

van 14mm toegepast.

9.2.3 Cilinder

Bij de afdichting van de nivelleerschuiten is rekening gehouden met een voorspanning op het afdichtingsprofiel om te voorzien in de functie dubbelzijdig keren. De oplegdruk wordt gerealiseerd door de werkende zwaartekracht op de schuif, wat inhoudt dat de cilinder niet op de schuif hoeft te drukken. De cilinder wordt dus alleen op trek belast.

9.2.3.1 Belastingen

1. Vervalbelasting

De vervalbelasting op de gehele schuif is in totaal:

$$F_{\text{verv}} = q_{\text{gem}} \cdot b \cdot h = 98 \cdot 5,4 \cdot 3,2 = 1693,4 \text{ kN}$$

De schuifweerstand tussen de geleiding en de schuif is ongeveer:

$$F_{\text{gel}} = \mu_w \cdot q_{\text{prof}} = 0,15 \cdot 1693,4 = 254,0 \text{ kN}$$

2. Massa schuif

De massa van de schuif is:

$$G_{sch} = G_{plaat} + G_{profA} + G_{profB} =$$

$$0,014 \cdot 7850 \cdot 3,2 \cdot 5,4 + (5,4 \cdot 2 + 3,2 \cdot 3) \cdot 131 + 3,2 \cdot 5 \cdot 74,5 = 5763 \text{ kg}$$

$$F_G = 1,2 \cdot \frac{5763 \cdot 9,81}{1000} = 67,8 \text{ kN}$$

3. Weerstand door zuigeffect

Doordat er een vervalbelasting op de schuif staat en bij openen er daardoor gelijk een stroming zal ontstaan door het net geopende gedeelte van de schuif, zal er een zuigeffect ontstaan wanneer deze net geopend is. Deze weerstand wordt aangenomen op 30kN.

Tabel 13 Belasting op cilinder van schuif

Omschrijving	Maximale belasting [kN] UGT
Schuifweerstand tegen geleiding bij verval	254
Massa schuif	67,8
Weerstand door zuigeffect	30
Totaal	351,8

Er wordt vanuit gegaan van een mechanisch rendement van 90%, dus $\eta=0,9$. De kracht op

de cilinder wordt dan: $F_{cilinder} = \frac{F_{sch}}{\eta} = \frac{351,8}{0,9} = 390,9 \text{ kN}$.

Zuigeroppervlak: $A_z = \frac{F}{p} = \frac{390,9 \cdot 10^3}{140 \cdot 10^5} = 0,028 \text{ m}^2$. De werkdruk is vastgesteld op 140bar.

De diameter van de plunjer is dan: $A_z = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = 0,028 \rightarrow D = 0,20 \text{ m}$.

De stangdiameter is daarmee 0,10m.

De schuif moet geheven worden over een afstand van ongeveer 3,2m, de slag die de cilinder moet maken is dan ongeveer $3,2 \cdot 1,1 = 3,52 \text{ m}$. De snelheid waarmee de deur verplaatst moet worden is 5,3mm/s.

Het benodigd debiet van de schuifbeweging is:

$$Q_{sch} = \frac{\text{slag} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{bz}^2 - d_{sz}^2)}{t_{open}} = \frac{3,5 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,2^2 - 0,1^2)}{10} = 2,75 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

De 7 schuiven worden aangedreven door twee aggregaten, het debiet voor het aggregaat met 4 schuiven is:

$$Q_{tot} = Q_{sch} \cdot 4 = 11 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Het vermogen voor het openen van de 4 schuiven:

$P = n \cdot F \cdot v = 4 \cdot 387,1 \cdot 0,0053 = 8,21 \text{ kW}$. Met een hydraulisch rendement van 85% wordt het te leveren vermogen door de hydraulische aandrijving: 9,65 kW.

9.2.4 Dichtheidsverschillen

Door dichtheidsverschillen in het water tussen de kanaalzijde en de zeezijde staat er na het nivelleren altijd een vervalbelasting op de schuiven. De dichtheidsverschillen in IJmuiden zijn maximaal 20 kg/m^3 . Wanneer de schuif geopend wordt na het nivelleren zal een uitwisselingsstroming plaatsvinden. Om de dichtheidsstromen te verminderen zullen maatregelen genomen kunnen worden om de zoutindringing tegen te gaan. Deze maatregelen worden met het oog op de tijd van het afstuderen verder niet uitgewerkt.

10 Detail model

Het simpelere model uit paragraaf 8.4 is uitgebreid met nivelleerschuiven, rolwagens, extra profielen en verstijvingen. Daarnaast zijn er een aantal aanpassingen gedaan, omdat tijdens de modellering bleek dat deze veranderingen zorgde voor efficiëntere krachtsafdracht. Er zijn uiteindelijk drie modellen gemaakt, om de sluisdeur tijdens verschillende fases te kunnen dimensioneren en toetsen. De aanpassingen, modellen en resultaten zullen in deze paragraaf worden gepresenteerd.

10.1 Modellering

Er zijn drie modellen gemaakt om de deur in verschillende fases te kunnen testen. De modellen verschillen van elkaar ten aanzien van de opleggingen.

Model 1

Dit is het model waarin de sluisdeur getest wordt op verschillende belastingcombinaties wanneer de deur gesloten is. De sluisdeur is horizontaal opgelegd op de aanslagen in de deurkas en deurnis en verticaal op de 2 rolwagens. De aanslagen zijn gemodelleerd als puntopleggingen die alleen pure druk kunnen opnemen. De aanslagen zijn horizontaal gepositioneerd aan de uiteinden van de deur ter plaatse van elke horizontale ligger en verticaal gepositioneerd als één puntoplegging ter plaatse van de rolwagen.

Model 2

Dit is het model waarin de sluisdeur getest wordt tijdens het openen en sluiten van de deur. De sluisdeur wordt horizontaal gesteund ter plaatse van de rolwagens en in de deurkas. Verticaal wordt de deur gesteund door de rolwagen. Alle steunpunten zijn gemodelleerd als puntopleggingen.

Model 3

Het model waarin de sluisdeur getest wordt tijdens opdrijven. Het moment wordt getest vlak voordat de sluisdeur zal opdrijven. De sluisdeur is hierbij verticaal op druk ondersteund en horizontaal in 3 punten om de sluisdeur stabiel te houden.

10.2 De invoer

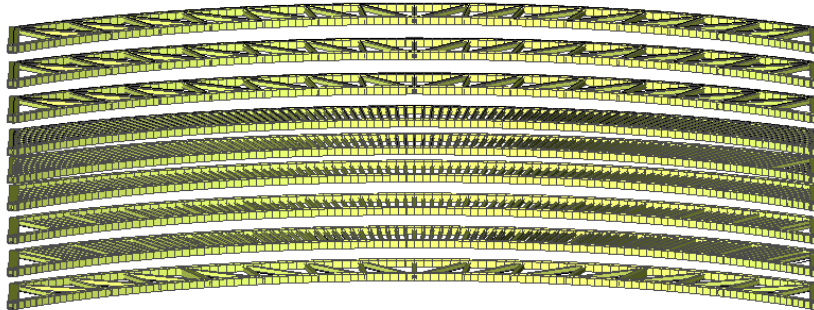
In bijlage 5 zijn de invoergegevens van de modellen weergegeven. In deze paragraaf worden de constructieonderdelen en aanpassingen besproken. Voor de profielen en aangebrachte belastingen wordt verwezen naar bijlage 4.

10.2.1 Constructie

10.2.1.1 Horizontale afdracht

De sluisdeur bestaat uit 18 horizontale liggers, 2 per laag, die de horizontale krachten afdragen naar de opleggingen. Hierbij treedt er in één van de horizontale ligger een grote drukkracht op en in de andere ligger een trekkracht. De verbinding tussen de liggers

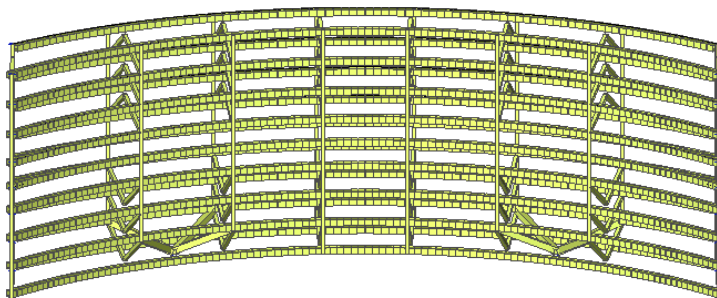
wordt ter plaatse van de drijfkisten en nivelleeropeningen geleverd door troggen met platen en bij de overige liggers door vakwerken, zie Figuur 43.



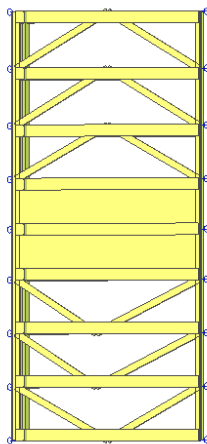
Figuur 43 De 18 hoofdliggers met horizontale verbinding per laag

10.2.1.2 Verticale krachtsafdracht

De verticale krachtsafdracht wordt geleverd door de kolommen en de huidplaat met verstijvers. De kolommen bevinden zich tussen de nivelleeropeningen en aan het uiteinde van de sluisdeur bij de horizontale opleggingen. De kolommen zijn met elkaar verbonden door verticale vakwerken om de stabiliteit/stijfheid in yz-richting te garanderen.



Figuur 44 Positie van de kolommen (met horizontale liggers ook afgebeeld)

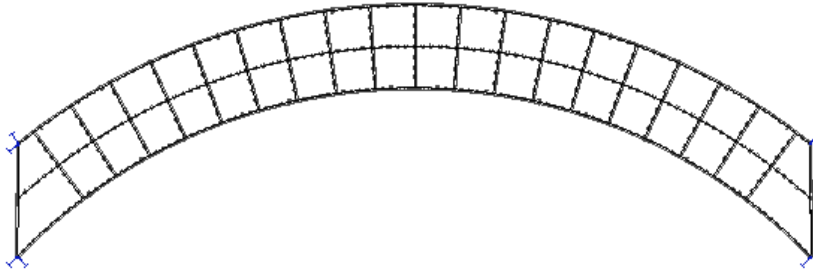


Figuur 45 Dwarsdoorsnede sluisdeur t.p.v. eindportaal

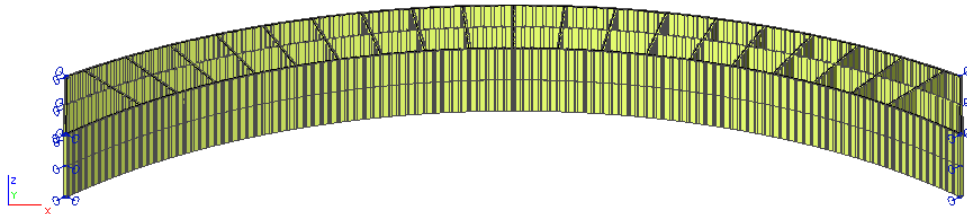
10.2.2 Onderdelen

10.2.2.1 Drijfkisten

Ter plaatse van de drijfkisten bevinden zich geen horizontale vakwerken. De stijfheid in de breedte richting wordt geleverd door de drijfkistplaat met trogverstijvers. De drijfkisten zijn doormiddel van schotten verdeeld in compartimenten van 4m breed x 3m hoog en 4m lang.



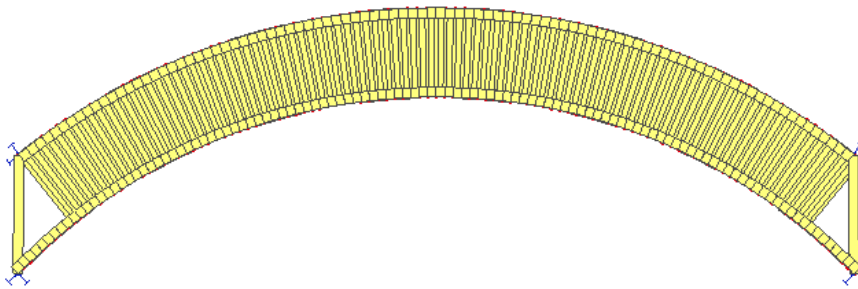
Figuur 46 Drijfkistcompartimenten gescheiden door platen verstijfd met troggen



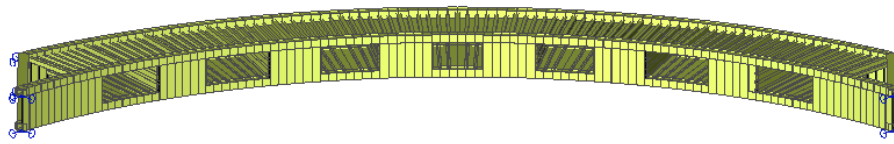
Figuur 47 Ruimtelijk beeld drijfkistcompartimenten (zonder bovenplaat)

10.2.2.2 Nivelleeropeningen

Ter plaatse van de nivelleeropeningen bevinden zich geen horizontale vakwerken. De stijfheid in de breedte richting wordt bij en naast de openingen geleverd door een plaat met trogverstijvers. De nivelleeropeningen bevinden zich loodrecht op de deur.



Figuur 48 Bovenaanzicht nivelleerplaat met trogverstijvers

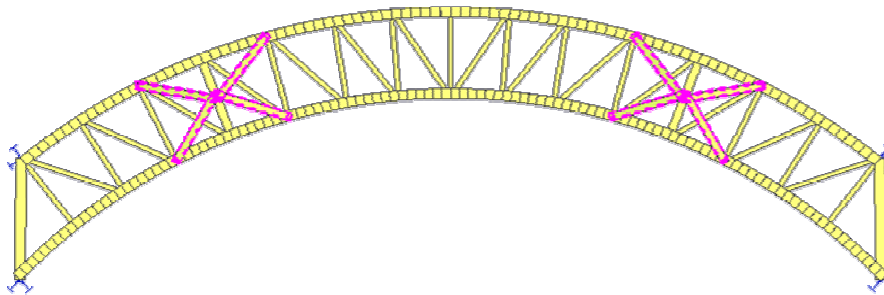


Figuur 49 7 nivelleeropeningen vanaf schuin boven bekeken

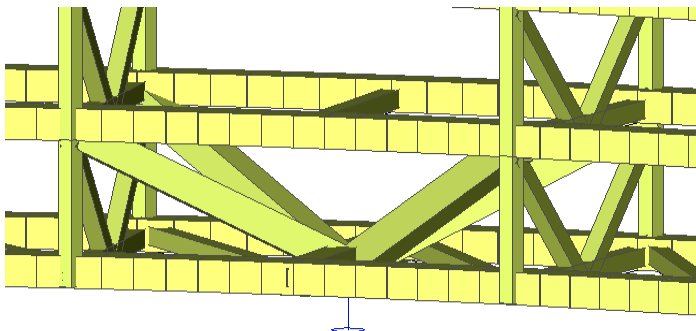
De 7 nivelleerschuiten zijn niet gemodelleerd. De schuiten zijn in het model opgenomen door het eigengewicht van de schuiten aan te brengen op de horizontale ligger in het belastinggeval EG en door de belasting die op te schuif zouden werken aan te brengen op het UNP-profiel naast de schuiten, deze waarde is verschillend per belasting combinatie (BC).

10.2.2.3 Rolwagens

De sluisdeur staat op 2 rolwagens, de deur draagt naar het midden van elke rolwagen af. De oplegging kan dus gemodelleerd worden als een puntoplegging met een breedte van 500mmx500mm. De rolwagens bevinden zich onder een nivelleeropening, waarbij door 4 verticale diagonalen de krachten naar de 4 kolommen rondom de nivelleeropening worden geleid, zie onderstaande figuur. Het horizontale vakwerk ter plaatse van de oplegging is vervangen door een zwaarder profiel. Alle profielafmetingen zijn weergegeven in bijlage 4.



Figuur 50 Positie rolwagens



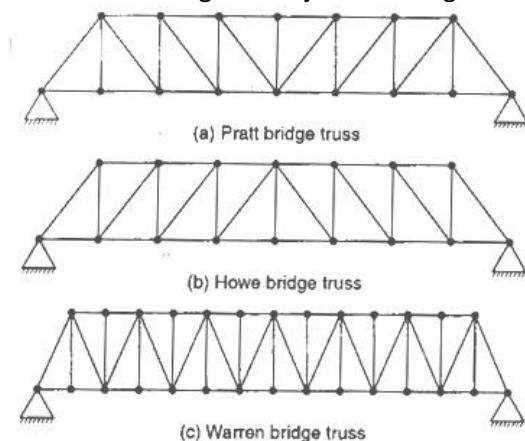
Figuur 51 Verticale oplegging t.p.v. rolwagens met diagonalen en kolommen (ligger, kolommen en vakwerken alleen weergegeven)

10.2.3 Aanpassingen gedurende modellering

De verschillen tussen het eenvoudige model, gelijk aan de handberekening, en het uiteindelijke model in bijlage 4 zijn in deze paragraaf weergegeven.

10.2.3.1 Horizontale vakwerkconfiguratie

Als vakwerkconfiguratie zijn drie configuraties getest. Deze zijn weergegeven in Figuur 52.



Figuur 52 Geteste vakwerkconfiguraties

In Tabel 14 zijn de momenten bij BC1 die optreden in de bovenste vakwerken bij de drie configuraties weergegeven. Te zien is dat de Pratt bridge truss de gunstigste momenten in de vakwerkdianagonalen oplevert. Aangezien het Howe bridge vakwerk tot nu toe was toegepast, verschilt het gedetailleerdere model hierin van het eenvoudigere model uit paragraaf 8.4.

Tabel 14 Momenten M_z in buitenste 5 vakwerken in bovenzijde deur

Ligger	M [kNm] Pratt bridge truss	M[kNm] Howe bridge truss	M [kNm] Warren bridge truss
1	514,4	645,6	461,1
2	372,4	436,8	436,2
3	266,2	339,1	296,3
4	489,7	555,4	488,8
5	294,26	499,6	331,74

10.2.3.2 Verstijvingen

Deurkas/deurnis

Ter plaatse van de horizontale opleggingen in de deurkas en deurnis treden lokaal grotere krachten en spanningen op. Hierdoor zijn de troggen en horizontale vakwerken bij de opleggingen verstijfd. De buitenafmetingen van de profielen zijn gelijk gehouden, alleen zijn de flensdiktes vergroot. Deze profielen zijn in bijlage 5 terug te vinden met de naam 'verstijfd'.

Huidplaat

Zoals verwacht zijn door het toepassen van de nivelleeropeningen de normaalkrachten in de horizontale liggers bij de drijfkisten afgenomen. Deze zijn van 36472kN verlaagd naar 32175kN. Toch waren de normaalspanningen in de huidplaat bij de drijfkist bij een dikte van 20mm nog net wat te hoog en is de dikte huidplaat bij de drijfkisten vergroot tot 24mm.

10.3 Resultaten

10.3.1 Model 1: sluisdeur in gesloten stand

In bijlage 5 zijn de resultaten van het model weergegeven per BC. Voor BC1, het belastinggeval met de grootste spanningen, zijn de meeste resultaten weergegeven. Hierbij zijn de oplegreacties, krachten in staven en platen en spanningen afgebeeld in tabellen en figuren. Voor BC2, BC3, en BC4 zijn met het oog op de grootte van de bijlage alleen de spanningen in platen en liggers bekeken en gecontroleerd of deze spanningen voldoen. Bij BC5, de aanvaarbelasting, is gekeken naar een combinatie van reactiekrachten, vervormingen en spanningen.

10.3.1.1 Belastingcombinatie 1: maximaal positief verval

De maximale spanningen in de staven treedt op in S2243, dit is de horizontale ligger bij de deurnisoplegging. Deze Von Mises spanning is 355,4N/mm².

De maximale spanningen in de plaat treden op in de binnenste huidplaat ter plaatse de drijfkisten in het midden van de overspanning. De maximale positieve spanningen zijn daar $\sigma_x=335\text{N/mm}^2$. De maximale negatieve spanningen zijn $\sigma_y=-290\text{N/mm}^2$ en treden op in de buitenste huidplaat ter plaatse van een vakwerkaansluiting.

De Von-Mises spanning van de huidplaat zal in paragraaf 10.4.1 worden gecontroleerd.

10.3.1.2 Belastingcombinatie 2: maximaal negatief verval

De maximale spanning in de deur treedt op ter plaatse plaat E1216, de spanning σ_x , is daar 129,2N/mm². Deze plaat bevindt zich ter plaatse van de onderzijde van de drijfkist bij de deurkasoplegging.

De maximale spanningen blijven bij dit belastinggeval ruim binnen de vloeigrens van 355N/mm².

10.3.1.3 Belastingcombinatie 3: maximaal schutbelasting

De maximale spanningen in de deur treden op ter plaatse van S2243, de Von Mises spanning is 171,4N/mm². Dit is dezelfde horizontale ligger bij de deurnisoplegging als bij BC1.

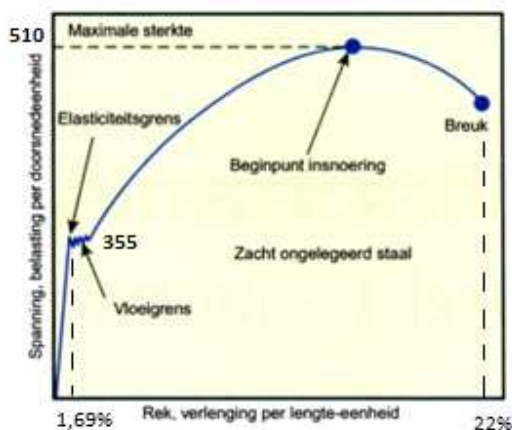
10.3.1.4 Belastingcombinatie 4: ijsbelasting

De maximale spanningen in de deur treden op ter plaatse van S8488, de Von Mises spanning is $253,2 \text{ N/mm}^2$. Dit is een horizontale vakwerkligger bij de oplegging ter hoogte waar de ijsbelasting aangrijpt.

10.3.1.5 Belastingcombinatie 5: aanvaarbelasting

In geval van aanvaring mag de deur plastisch vervormen. De eisen die gesteld zijn aan de deur zijn dan (zie Figuur 53):

- de maximale spanning in de deur mag de treksterkte van het staal van 510 N/mm^2 niet overschrijden
- De maximale breukrek van 22% mag niet worden overschreden



Figuur 53 Spanning-rekdiagram van staal S355

Doormiddel van een modellering in SCIA met aanvaarbelastingen veroorzaakt door een bulk carrier is de maximale aanvaarsnelheid bepaald. Deze aanvaarsnelheid is gevarieerd tussen de 0,5m/s en 1m/s.

Uit de modellering blijkt dat, bij een snelheid onder de 0,75m/s, de deur in staat is via plastische vervorming de krachten op te nemen. Zie bijlage 5.

In dat geval zijn de maximale spanningen in de deur $-387,5 \text{ N/mm}^2$ en $422,5 \text{ N/mm}^2$. De maximale vervorming van een element is 1/5, dus 20%. De verlenging van het element is dan 167mm. De spanning blijft in dit geval dus onder de maximale treksterkte en de vervorming onder de breukrek.

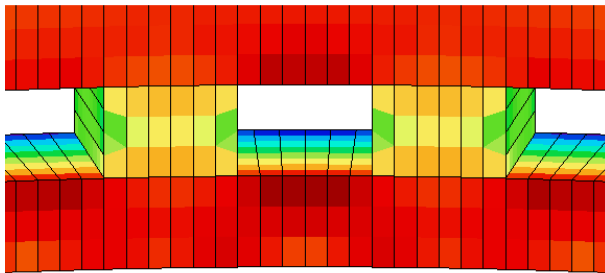
De maximale oplegreactie bij een aanvaarsnelheid van 0,75m/s is 22721kN, deze reactiekracht is groter dan bij positief verval. Het sluishoofd zal daarom ook gecontroleerd moeten worden op het opnemen van de reactiekrachten afkomstig van een aanvaring.

Deze resultaten laten zien dat de deur niet zal bezwijken wanneer het zwaarst mogelijke schip door de sluis (een geladen bulk carrier) de deur raakt met een snelheid van 0,75m/s of lager. Deze snelheid is 75% van de grenssnelheid, zoals aangenomen in 6.1.3.3.

Vlak voor het bereiken van de sluisdeur zal het schip nog verder worden afgeremd door de stromingen en reflecties van zijn eigen veroorzaakte golven. De sluisdeur zal daarom naar alle waarschijnlijkheid voldoen op het criterium aanvaring.

10.3.1.6 Vermoeiingsbelasting positief en negatief verval

De maximale spanning uit de beide vermoeiingsbelastingen treedt op in geval van positief verval. De maximale spanning in een plaat treedt dan op in E216 met een waarde van $\sigma_{xy}=114,8\text{N/mm}^2$ (zie Figuur 54). De aansluiting die de grootste spanning te ondergaan heeft, is de aansluiting huidplaat-horizontale ligger 8.



Figuur 54 Maximale vermoeiingsspanning bij aansluiting horizontale ligger-huidplaat

In paragraaf 10.4.3 onder Toetsing zal de aansluiting worden gecontroleerd op vermoeiing.

10.3.1.7 Bruikbaarheids grens toestand

Positief verval

In het geval van positief verval zijn de verplaatsingen het grootst. Deze verplaatsingen zijn van belang voor het ontwerpen van de opleggingen en afdichting. De maximale verplaatsing bij de deurkasoplegging is 415mm en bij de rolwagens 331mm. De maximale doorbuiging t.p.v. het midden van de overspanning is 398mm. De relatieve staafvervormingen bevinden zich binnen de 1/1780.

Negatief verval

In het geval van negatief verval zijn vooral de verplaatsingen bij de opleggingen van belang. De deur moet namelijk stijf genoeg zijn om niet door te kunnen slaan bij negatief verval. Te zien is in de bijlage dat de verplaatsing bij de opleggingen loodrecht op de deur 20,2 mm zijn, de deur zal dus wel wat verplaatsen van op de opleggingen. Maar vergeleken met de 2m marge die de deur heeft bij de oplegging, is deze verplaatsing klein. Doorslaan van de deur zal hierdoor geen rol spelen.

10.3.2 Model 2: sluisdeur tijdens openen en sluiten

Tijdens openen en sluiten is de deur alleen ondersteund ter plaatse van de rolwagen en de geleiding in de deurkas. Omdat hierdoor de krachten en spanningen in de deur sterk zullen verschillen ten opzichte van een gesloten deur, is ook voor deze situatie een SCIA-model gemaakt. In bijlage 6 zijn de resultaten van het model weergegeven.

10.3.2.1 Horizontale belasting tijdens sluiten

Als horizontale belasting zijn in het model de volgende bijdrages meegenomen:

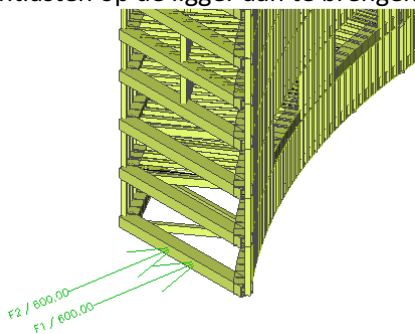
- Een hogere waterstand van 0,1m aan de zeezijde bij maximaal schutpeil van NAP +3,60m
- Seiches van 0,12m aan de zeezijde

De spanningen en verplaatsingen in de deur zijn bekeken op het moment dat de deur bijna gesloten is. De maximale spanning treden op in de plaat E2684, deze bevindt zich in breedte richting van de deur schuin boven een nivelleeropening. De maximale spanning is $281,3\text{N/mm}^2$.

De verplaatsing aan de bovenzijde van de deur bij de deurnis is maximaal en is 266mm in y-richting. Deze uitwijking is te groot om de deur zonder verdere maatregelen goed de deurnis is gedraaid te krijgen. Een mogelijkheid om dit probleem om te lossen is om de deurnis wat taps toe te laten nemen.

10.3.2.2 Belasting bij niet sluiten

Bij deze belasting wordt tijdens het sluiten de doorgang van de deur geblokkeerd. Dit kan bijvoorbeeld zijn door een groot brokstuk op de drempel van de sluis. De situatie is gemodelleerd door vooraan de deur de kracht uit het aandrijvingswerk (1200kN) als 2 puntlasten op de ligger aan te brengen.



Figuur 55 Belasting bij niet-sluiten door blokkade

Aangezien een blokkade tijdens sluiten een bijzondere belasting is, zijn alle belastingfactoren gelijk gesteld aan 1,0. Uit de resultaten weergegeven in bijlage 7 blijkt dat de Von Mises spanningen bij niet-sluiten maximaal $312,4\text{ N/mm}^2$ zijn. Deze maximale spanning treedt op in Staaf S4436, de staaf die zich bij de deurgeleiding in de deurkas bevindt. Dit belastinggeval is dus niet maatgevend voor het ontwerp van de deur.

10.3.3 Model 3: sluisdeur tijdens opdrijven

In het geval van opdrijven zijn de drijfkisten volledig volgepompt met lucht waardoor de opdrijvende kracht groter is dan het eigengewicht van de deur. Het eigengewicht van de deur is $(22489+22509)$, samen met het aanhangend gewicht wordt de deur $200 \cdot 9,81\text{kN}$ zwaarder = 46960kN . De opdrijvende krachten zijn 10% hoger gemodelleerd en komen daarmee op 52178kN . Verdeeld over de 2 drijfkistplaten wordt de kracht:

$$q_{opd} = \frac{52178}{2 \cdot 84,25 \cdot 8} = 38,71 \text{ kN/m}^2$$

Om het model stabiel te houden zijn 2 opleggingen aan de bovenzijde van de deur gemodelleerd. De spanningen voor dit belastinggeval zijn gecontroleerd en weergegeven in bijlage 7.

De maximale staafspanning treedt op in de trogverstijver van de middelste drijfkistplaat nabij de oplegging. Deze spanning 139,5 N/mm². De spanning wordt veroorzaakt door redelijk grote dwarskracht $V_y=552 \text{ kN}$.

De maximale spanning in een plaat treedt op ter plaatse van de bovenste drijfkistplaat in het midden van de overspanning. De spanning bedraagt 390 N/mm² en is dus groter dan de vloeispanning.

De plaat kan in het midden van de overspanning lokaal verstijfd worden om de overschrijding van de vloeispanning tegen te gaan.

10.4 Toetsingen

10.4.1 Maximale vergelijkingsspanning huidplaat

In model 1 bij BC1 positief verval treden de grootste spanningen op in de huidplaat. De spanningen worden in SCIA-Engineer bij platen weergegeven in lokale x-richting en y-richting. De Von Mises-spanning voor de zwaarst belaste plaat E2166 is hieronder getoetst.

BG	Staat	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC1	E2166	7345	335,4	40,8	-8,6	334,2	43,0	-8,2

Von Mises spanning:

$$\sigma_{vml} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 - 6\sigma_{xy}^2 + 6\sigma_{yz}^2 + 6\sigma_{zx}^2}$$

$$\sigma_{vgl;pl} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(335,4 - 40,8)^2 + (40,8)^2 + (-335,4)^2 - 6 \cdot (-8,6)^2} = 316,6 \text{ N/mm}^2$$

$$UC = \frac{\sigma_{vgl;pl}}{f_{yd}} = \frac{316,6}{355} = 0,89$$

10.4.2 Toetsing op plooi (lokale stabiliteit)

Doorsnedeklassen

Of de liggers en platen getoetst moeten worden op lokale stabiliteit hangt af van de doorsnedeklasse van het profiel. De doorsnedeklassen zijn bepaald volgens Tabel 15, paragraaf 5.6 uit (EC3).

Tabel 15 Maximale breedte-dikte ratio voor profielonderdelen onder druk

Internal compression parts			
Class	Part subject to bending	Part subject to compression	Part subject to bending and compression
Stress distribution in parts (compression positive)			
1	$c/t \leq 72e$	$c/t \leq 33e$	when $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396e}{13\alpha - 1}$ when $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36e}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83e$	$c/t \leq 38e$	when $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456e}{13\alpha - 1}$ when $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5e}{\alpha}$
Stress distribution in parts (compression positive)			
3	$c/t \leq 124e$	$c/t \leq 42e$	when $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42e}{0,67 + 0,33\psi}$ when $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62e(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$
$e = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235 e	275 0,92
			355 0,81
			420 0,75
			460 0,71

*) $\psi \leq -1$ applies where either the compression stress $\sigma < f_y$ or the tensile strain $\epsilon_y > f_y/E$

De profielen worden voornamelijk belast op druk. Onderstaand is voor 3 elementen de doorsnedeklasse bepaald. De rest van de profielen zijn zonder voorbeeld berekening opgenomen in de tabel.

Horizontale ligger:

$$\alpha_y = \sqrt{235 / 355} = 0,81$$

$$b = h - 3 \cdot t_f = 900 - 3 \cdot 32 = 804 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{804}{32} = 25,13 \leq 33 \cdot \alpha_y \Rightarrow \text{voldoet} ; \text{ dus klasse 1}$$

Huidplaat:

De tussenafstand tussen de troggen is 500mm. De huidplaat is 20mm dik.

$$\alpha_y = \sqrt{235 / 355} = 0,81$$

$$b = h_{\text{trog}} - b_{\text{trog}} = 850 - 350 = 500 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{500}{20} = 25 \leq 33 \cdot \alpha_y \Rightarrow \text{voldoet} ; \text{ dus klasse 1}$$

Drijfkistplaat:

De tussenafstand tussen de troggen is 500mm. De drijfkistplaat is 12mm dik.

$$\alpha_y = \sqrt{235 / 355} = 0,81$$

$$b = h_{\text{trog}} - b_{\text{trog}} = 850 - 350 = 500 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{500}{12} = 41,66 > 42 \cdot \alpha_y \Rightarrow \text{klasse 4}$$

Zie Tabel 16 voor de doorsnedeklasse per ligger of plaat. Alleen wanneer een profiel in klasse 4 valt moet deze gecontroleerd worden op plooï. Wanneer een profiel in klasse 1-3 valt zijn de profielen meer gedrongen, waardoor lokale stabiliteit van de flenzen/lijven geen problemen zal opleveren.

Maximale vloeispanning

Bij profielen met een grotere plaatdikte dan 40mm moet met een reductie van de vloeispanning worden gerekend. Dit heeft te maken met het productieproces, waarbij bij grotere dikte de staalkwaliteit over de gehele doorsnede niet volledig gegarandeerd kan worden. Aangezien er geen profielflenzen dikker zijn van 40mm treedt er geen reductie van de vloeispanning op.

Tabel 16 Doorsnedeklassen en maximale vloeispanning

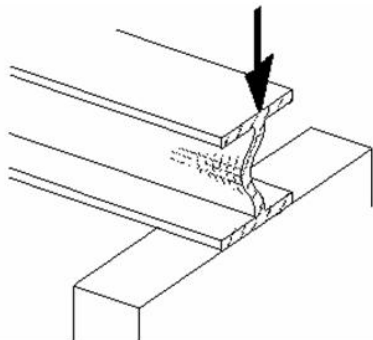
Sectie	Doorsnede klasse	Maximale waarde dikte afhankelijke vloeispanning [N/mm ²]
Horizontale ligger	1	355
Huidplaat verst.	2	355
Drijfkist verst.	2	355
Kolommen	1	355
Huidplaat	1	355
Drijfkist plaat	4	355
Verticale diagonalen	1	355
Horizontale vakwerken	1	355
Breedte diagonalen	1	355

Conclusie:

Alleen de drijfkistplaat moet getoetst worden op plooï.

10.4.2.1 Plooïcontrole drijfkist

Plooï is de lokale instabiliteit van platen of profiellijven, zie Figuur 56 voor plooï van een liggerlijf. De drijfkistplaat wordt getoetst op plooï aan de hand van (EC3). De platen hebben maximale spanningen in BC1, de plooï zal dus ook bij deze belastingcombinatie worden getoetst.



Figuur 56 Plooi van het lijf van een IPE-ligger

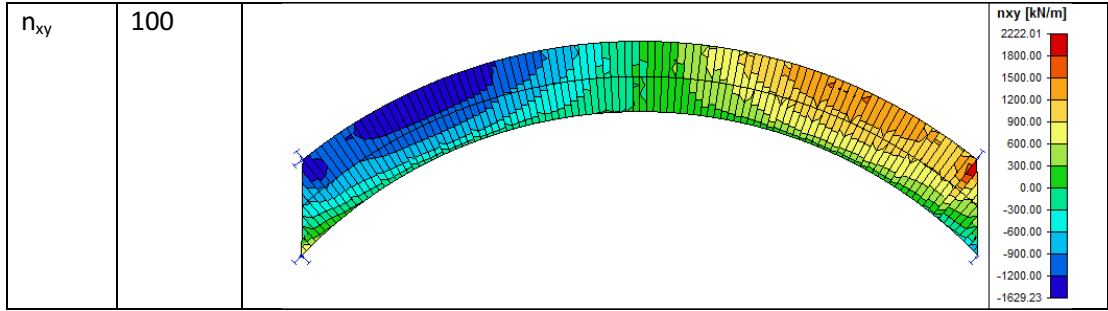
De belasting op de plaat is als volgt:

1. Een normaalkracht in x-richting door de globale doorbuiging van de horizontale liggers
2. Een normaalkracht in y-richting door de waterdrukbelasting
3. Een waterdrukbelasting loodrecht op de plaat

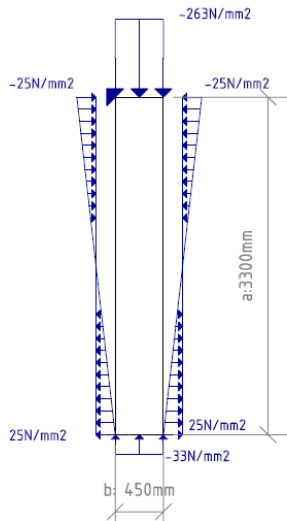
De drijfkistplaat aan de buitenzijde in het midden van de overspanning wordt getoetst omdat daar n_x een maximale drukkracht levert in de plaat, zie Tabel 17.

Tabel 17 Krachten op drijfkistplaat bovenaanzicht

Kracht	Waarde [kN/m]	Modelresultaat
n_x	-3161,4	
n_y	-300	



De spanningen in de drijfkistplaat en afmetingen van de getoetste huidplaat zijn weergegeven in Figuur 57. De plaat bevindt zich tussen de trogverstijvers aan de lange zijde, die afstand is 450mm. In lengte richting wordt de plaat omgeven door de horizontale ligger en door het schot dat de drijfkisten over de lengte richting in 2-en deelt.



Figuur 57 Drijfkistplaat met normaalspanningen

In bijlage 8 is de huidplaat getoetst op plooi met krachten n_x , n_y en n_{xy} . De Unity Check blijkt hiervan 0,60. De drijfkistplaat voldoet wat deze toets betreft dus op plooi.

Omdat de plaat ook loodrecht op zijn vlak is belast, is er nog een extra controle noodzakelijk. Daarin wordt de spanning in het vlak uitgebreid met een aandeel ten gevolge van de belasting loodrecht op de plaat. Dit wordt in rekening gebracht door de eerste-orde doorbuigvorm van de plaat ten gevolge van de dwarsbelasting mee te nemen in de plooi-toets in het vlak, zie onderstaande formule.

$$\sqrt{\sigma_{x;d}^2 + \sigma_{y;d}^2 + \sigma_{x;d} \cdot \sigma_{y;d}} \leq f_{y;d}$$

Waarin:

$$\sigma_{x;d} = \sigma_{x;m;d} + \frac{M_{xx;d}}{W} + \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\sigma_{x;m;d} \cdot t \cdot \delta}{W}$$

$$\sigma_{y;d} = \sigma_{y;m;d} + \frac{M_{yy;d}}{W} + \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\sigma_{y;m;d} \cdot t \cdot \delta}{W}$$

Waarin:

$\sigma_{x;m;d}; \sigma_{y;m;d}$: rekenwaarden van de spanningen ter plaatse

van het midden van de randen van het plaatveld ten gevolge van de belasting

$M_{xx;d}; M_{yy;d}$: rekenwaarden van de plaatmomenten per eenheid van breedte t.p.v. midden van de

plaat op basis van 1e-orde berekening van de plaat haaks op het vlak belast ten gevolge van de belasting

δ : 1e-orde doorbuiging in het midden vd plaat haaks op het vlak belast

n: vergrotingsfactor voor de plaat uitsluitend in het vlak belast; $n = \frac{\sigma_{i;k;v}}{\sigma_{v;s;d}}$

Aangezien $a \gg b$, kan de plaat gezien worden als een tweezijdig ondersteunde plaat en zal M_{yy} niet optreden.

Met het aandeel van de loodrechte belasting is de UC 0,91 en voldoet de plaat nog steeds op plooi.

10.4.3 Vermoeiing

De verwachte hoeveelheid wisselingen van deze belasting is 438300 tijdens de levensduur van 100 jaar.

De maximale spanning uit het belastinggeval vermoeiing treedt op in plaat E216 en is $\sigma_{xy} = 114,8 \text{ N/mm}^2$ (zie Figuur 54). Dit is de spanningsrange $\Delta\sigma_{xy}$ die de aansluiting huidplaat-horizontale ligger 8 te voorduren heeft. De andere spanningen in het detail $\Delta\sigma_{xx}$ en $\Delta\sigma_{yy}$ zijn verwaarloosbaar klein. De aansluiting is weergegeven in detail 2 in hoofdstuk 11.

Het detail is getoetst op vermoeiing aan de hand van EC3 (deel 9). In bijlage 9 is de vermoeiingscontrole van het detail uitgevoerd.

De Unity Check van het lasdetail blijkt 0,85 te zijn. Het detail voldoet qua vermoeiing dus op schuifspanning.

Dezelfde controle zal voor nog veel meer lasdetails moeten worden uitgevoerd om te kunnen concluderen dat de hele constructie voldoet op het criterium vermoeiing.

10.5 Conclusie

De resultaten laten zien dat bij alle belasting combinaties (behalve de aanvaarbelasting) de spanningen in de deur onder de vloeispanning blijft. Daarnaast is bij de toetsingen laten zien dat de onderzochte plaat voldoet op plooi en dat de gecontroleerde aansluiting voldoet op vermoeiing. Om echter een volledige goedkeuring van het ontwerp te kunnen geven moeten nog meer toetsingen gedaan worden en details gecontroleerd worden.

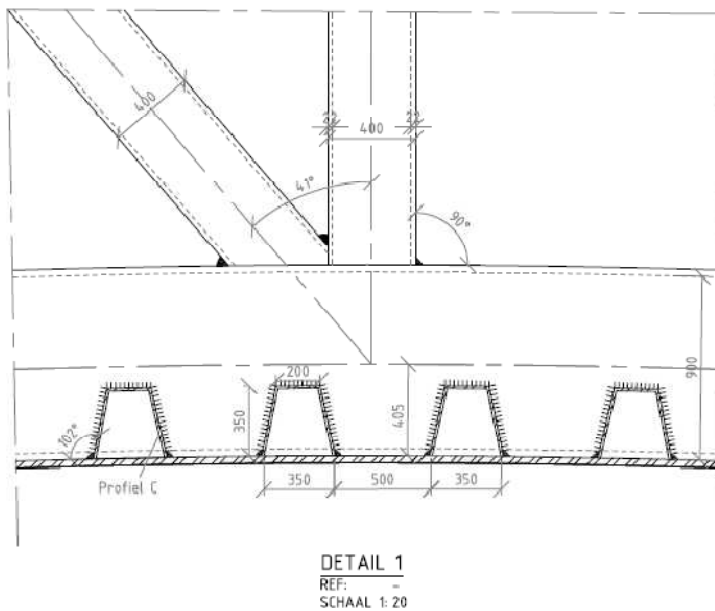
De verplaatsingen van de deur wanneer deze gesloten zijn, zijn van een orde grootte die opgenomen kan worden door steunpunten en afdichting.

De verplaatsingen van de bovenzijde van de deur wanneer deze nog net niet gesloten is zijn maximaal 300mm. Omdat met deze verplaatsingen de deur niet de deurnis in gedraaid kan worden, moet het ontwerp wat aangepast worden. Een oplossing zou zijn een taps toelopende deurnis uit te voeren.

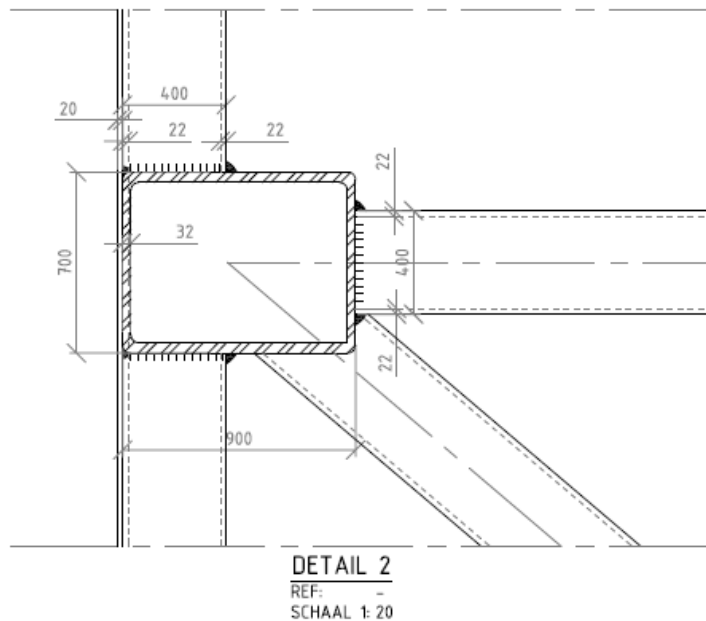
11 Detaillering sluisdeur

In deze paragraaf zijn drie aansluitingen in de sluisdeur in meer detail uitgewerkt. Deze details zijn afkomstig uit de technische tekeningen in bijlage 10. De schaal van de onderstaande details is alleen correct wanneer de technische tekeningen in bijlage 10 op A1 worden afgedrukt.

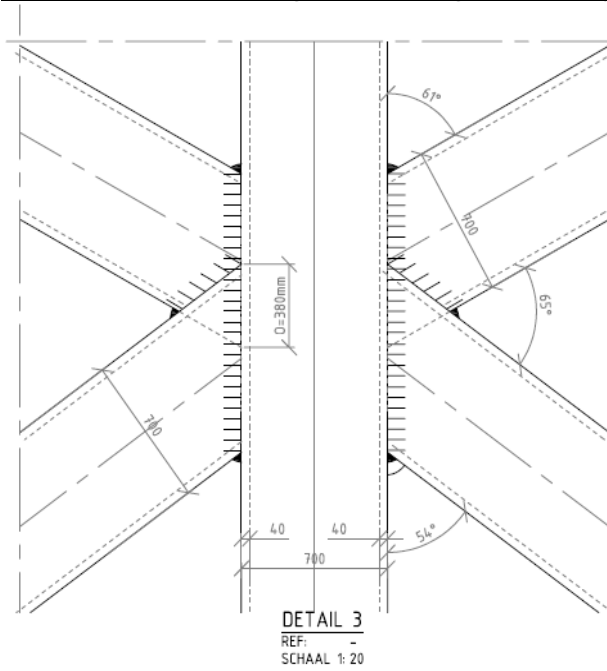
Bovenaanzicht aansluiting horizontale ligger, vakwerken en troggen



Zijaanzicht aansluiting huidplaat, horizontale ligger en vakwerken



Bovenaanzicht aansluiting verticale diagonalen en opleggingsligger



12 Ontwerp oplegging

12.1 Functie oplegging

De functies van de oplegging van de sluisdeur zijn:

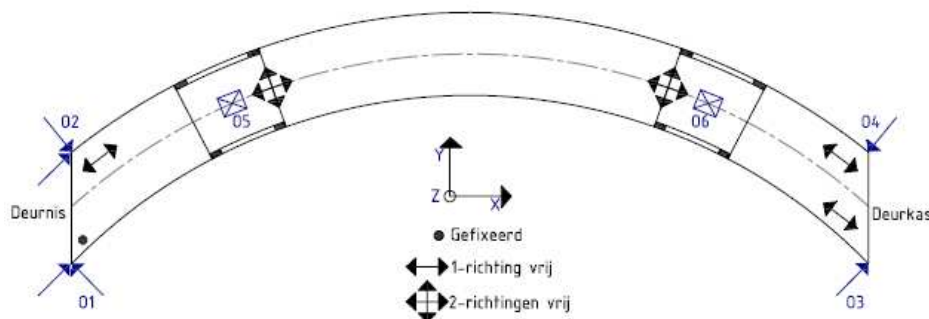
- Spreiding van de spanningen
- Mogelijk maken van verplaatsingen

Verplaatsing naar oplegging

De ruimte in de deurkas tussen deurwand en deur is 3cm aan beide zijden. Wanneer de deur gesloten is en het schutten nog niet is begonnen is de afstand tussen de deur en de aanslagen nog steeds ongeveer 3cm. Tijdens het schutten wordt de deur door de waterdruk tegen zijn aanslagen aangedrukt. De verticale opleggingen op de rolwagen moeten dus naast de verplaatsingen uit de belasting nog een extra onbelaste verplaatsing kunnen ondergaan van 30mm.

Oplegpunten

In Figuur 58 is een overzicht gegeven van de verschillende reactiekrachten die opgenomen dienen te worden door de opleggingen (aangegeven van O1-O6), daarnaast zijn de vrijheidsgraden van de deur weergegeven voor de BC positief verval. In gesloten stand heeft de sluisdeur 6 oplegpunten. 2 oplegpunten voor de verticale krachten en 4 oplegpunten die horizontale krachten op kunnen nemen. Welke van de laatst genoemde 4 oplegpunten actief is hangt af het type belasting. Bij positief verval treedt er alleen een horizontale kracht op in O1 en O3 en bij negatief verval in O2 en O4.



Figuur 58 Steunpunten en vrijheidsgraden deur

Per oplegging zijn de maximale krachten, verplaatsingen en rotaties bepaald in SCIA-Engineer, de resultaten zijn per knoop (steunpunt) weergegeven in bijlage 5. In Tabel 18 zijn de maximale waarden per oplegging weergegeven. Aan de hand van deze resultaten is het type steunpunt gekozen en gedimensioneerd.

Tabel 18 Max. kracht, verplaatsing en rotatie t.p.v. opleggingen volgens globaal assenstelsel

	O1	O2	O3	O4	O5	O6
Max. kracht [kN]	18699,77	6406,7	18633,9	6389,8	3998,0	3987,9
Max. verplaatsing z-richting [mm]	17,3	4,9	17,3	4,9	0	0
Min. verplaatsing z-richting [mm]	-20,2	-11,7	-20,2	-11,7	0	0

Max. verplaatsing y-richting [mm]	17,5	0	14,1	10,6	32,7	32,6
Min. verplaatsing y-richting [mm]	0	-10,2	-342,3	-351,1	-240,2	-426
Max. verplaatsing x-richting [mm]	153,2	153,2	342,3	294	227,6	260,2
Min. verplaatsing x-richting [mm]	0	0	-14,1	-14,6	3,6	-3,4
Max. rotatie om z-as [mrad]	-16,6	1,1	7,9	6,3	-10,6	1,8
Max rotatie om y-as [mrad]	-2,5	1	-2,5	2	-0,2	0,2
Max rotatie om x-as [mrad]	-2,7	1,3	-2,7	1,3	1	1

Temperatuur:

Naast de verplaatsingen weergegeven in Tabel 18 moet er een verplaatsing van 34,1mm meegenomen worden evenwijdig aan de oplegging. In geval van positief verval is de verplaatsing van de deur bij O3 34,1mm kleiner of groter. In geval van negatief verval is de verplaatsing ter plaatse van O2 en O4 17,05mm kleiner of groter omdat in dat geval verplaatsing van de deur aan beide zijden optreedt.

12.2 Type opleggingen

Hieronder zijn de meest geschikte opleggingen voor de sluisdeur kort opgesomd. Vervolgens is een keuze gemaakt en zijn de dimensies van de opleggingen bepaald.

- Gelamineerde elastomeeroplegging

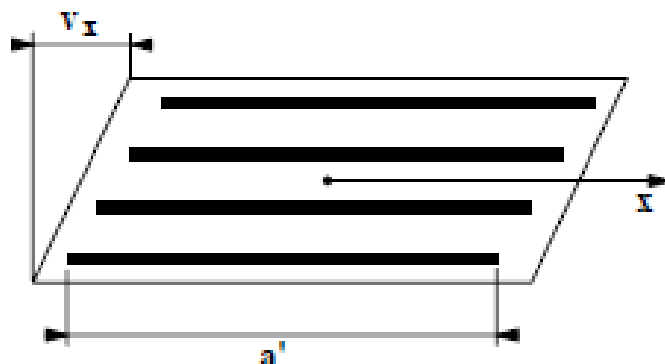
De rubberoplegging is de simpelste oplegging. De gelamineerde rubberoplegging bestaat uit een rubberblok verstevigd met stalen platen binnenin. De buitenkant van de oplegging is omgeven door een laag neopreen. De oplegging kan gefixeerd zijn in 1 of alle richtingen of niet verankerd zijn.

De grootste 'standaard' elastomeeroplegging [uit EC1337] heeft afmetingen van:

- 900mm lang x 900mm breed x 285mm hoog.

Deze oplegging heeft 20 elastomeer lagen en 5 wapeningsplaten.

De horizontale verplaatsingen van de elastomeeroplegging zijn beperkt. De maximale horizontale verplaatsing is afhankelijk van de hoogte: $v_x = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 285 = 200\text{mm}$.

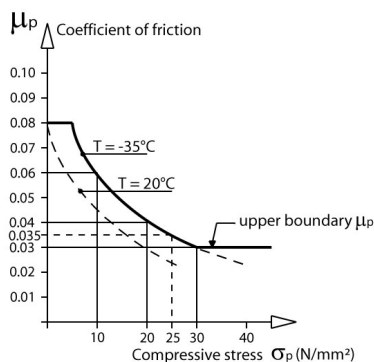


Figuur 59 Gelamineerde elastomeer oplegging

De horizontale krachten die doorgegeven worden door de oplegging zijn 3-8% van de verticale krachten.

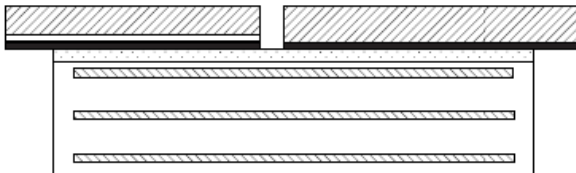
- Elastomeeroplegging met teflon plaat

Door de elastomeeroplegging aan de bovenzijde uit te rusten met een PTFE (Teflon) plaat zijn de horizontale verplaatsingen niet meer gemaximeerd. De deur kan dan over de oplegging heen glijden met een lage weerstandcoëfficiënt. De weerstandcoëfficiënt varieert tussen de 0,08 en 0,03 afhankelijk van de contactdruk.



Figuur 60 Wrijvingcoëfficiënt PTFE-staal

Een nadeel hiervan is dat de deur bij ontlasten niet meer exact op dezelfde plek uit zal komen. Het verschil in eindpositie van de deur wordt dan veroorzaakt door het verschil in wrijvingscoëfficiënten van de verschillende oplegblokken (door vuil en dergelijke).



Figuur 61 Elastomeer oplegging met PTFE-plaat

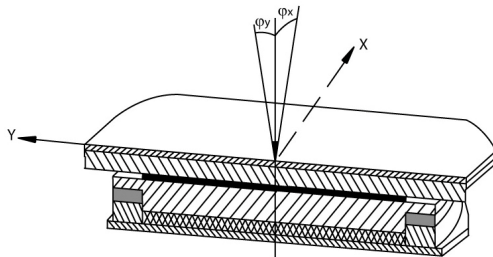
- Kunststofopleggingen

Ook bij het toepassen van kunststofblokken (HDPE) kan de deur over de oplegging heen glijden. De maximale verticale spanning op te nemen door het blok is groot, maximaal ongeveer $4\text{MPa} = 4000\text{ kN/m}^2$. De dikte van het kunststofblok kan ook flink dunner worden uitgevoerd dan de elastomeeroplegging. Een kunststofblok is doorgaans ongeveer 5cm dik.

- Pot bearing

De pot bearing bestaat uit een rubberen blok die omgeven is door een stalen omhulsel. Door hoge verticale krachten op het rubberen blok, gaat deze zich als een vloeistof gedragen en kan daardoor rotaties ondergaan. Daarnaast laat dit type oplegging ook verplaatsingen toe. De verticale krachten die opgenomen kunnen worden zijn groot; tussen de 1000kN en 100.000kN. Het voordeel van pot bearings is

de grote verticale stijfheid die de oplegging heeft. Er bestaan verschillende type pot bearings: gefixeerde, vrije oplegging of gefixeerd in 1 richting.



Figuur 62 Pot bearing

12.3 Keuze opleggingen

In de deurkas en deurnis is het gunstig wanneer de oplegging zo dun mogelijk is. Aangezien de kunststofopleggingen veel dunner zijn dan de pot-bearing en de elastomeeroplegging, heeft deze oplegging de voorkeur. Daarnaast zijn de benodigde verplaatsingen van de deur in de deurkas groot, (485mm) wat zonder problemen overgedragen kan worden door een kunststofoplegging.

Ter plaatse van de rolwagens is moet de deur kunnen verplaatsen, maar bij ontlasten ook weer op de juiste plaats terug keren. Dit is alleen gegarandeerd in het geval van de gelamineerde elastomeeroplegging, omdat bij de andere opleggingen de deur over zijn oplegging heen glijdt. Bij de rolwagens wordt daarom een elastomeeroplegging toegepast.

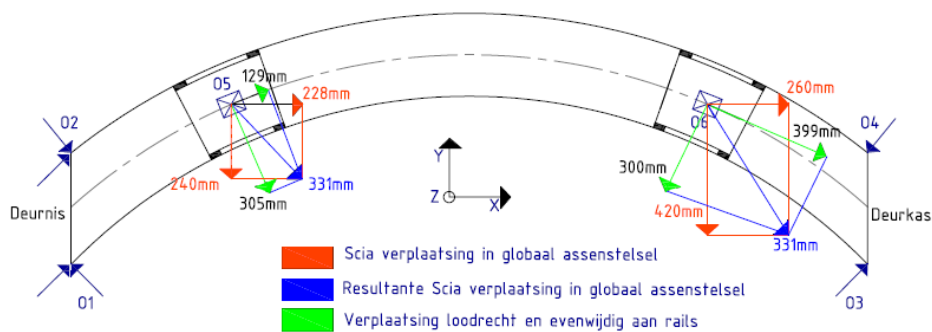
12.4 Dimensionering

12.4.1 Elastomeer

Het deur moet een verplaatsing kunnen ondergaan op de voorste rolwagen (O5) van 240mm in y-richting en 228mm in x-richting. De deur ter plaatse van de achterste rolwagens (O6) moet een verplaatsing van 426mm in y-richting en 260mm in x-richting.

Het elastomeer moet alleen verplaatsingen kunnen ondergaan tijdens het keren loodrecht op de rails. In de richting van de rails kan de deur samen met de rolwagens verplaatsen. Er wordt daarom een elastomeer toegepast die loodrecht op de rails gefixeerd is. Daarnaast wordt de elastomeer verankerd aan de rolwagen, zodat geen minimale oplegdruk noodzakelijk is om voldoende wrijving te creëren tussen elastomeer en rolwagens.

In Figuur 63 zijn de verplaatsingen in het globale assenstelsel zo ontbonden dat de maximale verplaatsing van het elastomeer is bepaald. Alleen de verplaatsing loodrecht op de rails is daarvoor van belang.



Figuur 63 Verplaatsingen ter plaatse van de rolwagenoplegging

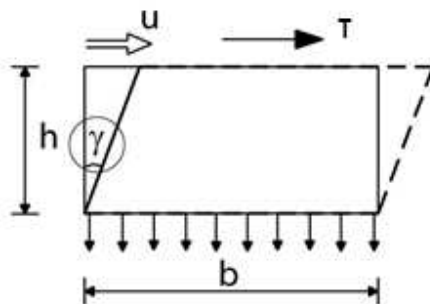
De maximale te ondergane verplaatsing door het blok blijkt uit Figuur 63 305mm te zijn.

De afschuivingsmodulus bepaalt de krachten die het elastomeerblok tijdens het afschuiven overbrengt naar de rolwagen. Aangezien in geval van keren zo klein mogelijke krachten op de rails gewenst zijn, wordt een elastomeer met een kleine afschuivingsmodulus toegepast. Deze afschuivingsmodulus is: $G_g = 0,7 \text{ MPa}$.

De maximale afschuivingsvervorming (γ) is via tests vastgesteld op ongeveer $\gamma = u/h = 0,7$.
Waarin:

u = is de te ondergane horizontale verplaatsing

h = de hoogte van het elastomeer



Figuur 64 Afschuiving elastomeer

Aangezien de te ondergane horizontale verplaatsing (u) 305mm is, is de benodigde hoogte van het blok ongeveer $305/0,7 = 440 \text{ mm}$. Deze hoogte is groter dan de standaardhoogte, maar kan prima op aanvraag worden gefabriceerd.

De breedte (b) en lengte (a) van het blok worden vastgesteld op 900mm.

De maximale schuifspanning van het blok is gelijk aan:

$$\tau = G_g \cdot \gamma = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 \text{ MPa} = 0,49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Met een breedte en lengte van 900mm is de totale schuifkracht:

$$V_{rol} = 0,49 \cdot 900^2 = 397 \text{ kN}$$

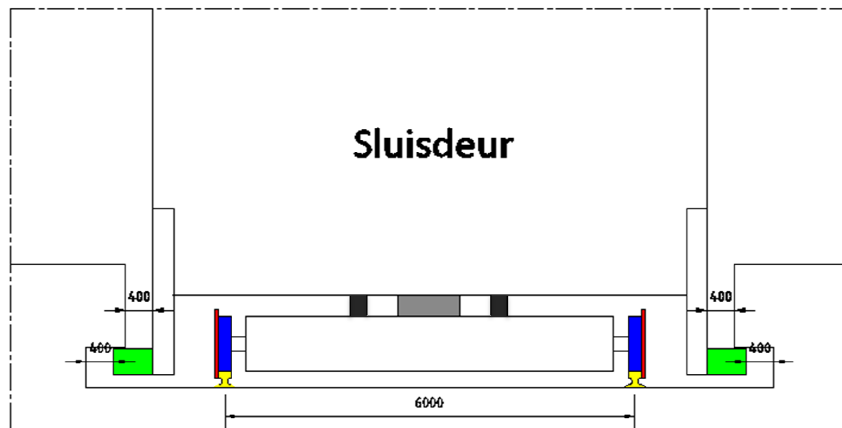
Deze kracht wordt door het elastomeer doorgegeven aan de rolwagen. De wielflenzen van de rolwagen moeten deze horizontale kracht afdragen via de rails aan de drempel. Op het ontwerp van de rolwagen wordt in hoofdstuk 0 verder in gegaan.

13 Bewegingswerk

Onder het bewegingswerk worden hier de rolwagens met rails, geleiding en het aandrijvingswerk gerekend. Deze onderdelen worden in deze paragraaf besproken.

13.1 Rolwagen

De sluisdeur wordt over 2 rolwagens met 2 assen geopend en gesloten. In Figuur 65 is het ontwerp van een rolwagen met de aansluiting van de sluisdeur weergegeven.



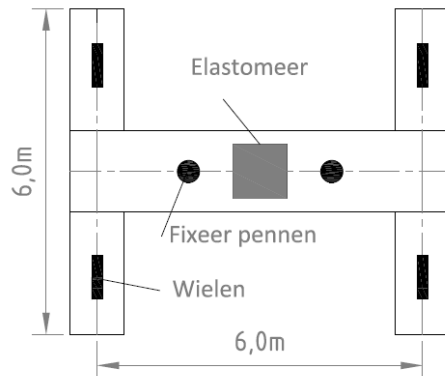
Figuur 65 Ontwerp rolwagen met aansluiting sluisdeur

De functie van de wielen (blauw) is het afdragen van de verticale reactiekrachten van de deur op de rails (geel) en het zorgen voor een minimale (rollende) weerstand bij het verplaatsen van de deur. De afdracht van de verticale krachten van de roldeur naar de rolwagen vindt plaats ter plaatse van het midden van de rolwagen, in lengte en breedte richting. Hiervoor wordt gekozen zodat bij een horizontale belasting op de deur de wielen niet ongelijkmatig belast kunnen worden en de rail overbelast kan raken.

Tijdens het bewegen van de deur is er een horizontale belasting op de deur aanwezig. Deze horizontale belasting wordt veroorzaakt door een waterhoogte verschil en golven. Deze krachten zullen door de wielflensen (rood) worden opgenomen. Over de gehele lengte van de deur is aan weerszijden een plaat aan de deur bevestigd. Deze heeft een waterafdichtende functie. Op de plaat is een rubberafdichting (groen) bevestigd die tegen de bovenzijde van de drempel afdicht. De rubberafdichting wordt door de waterdruk aan de bovenzijde tegen de drempel gedrukt. De ruimte tussen de deur en tussen de rubberafdichting en de drempel is 400mm, zodat de deur tijdens het keren voldoende bewegingsvrijheid heeft.

De roldeur is opgelegd op een elastomeeroplegging. Het elastomeer is redelijk slap uitgevoerd om de gewenste verplaatsingen van de deur tijdens keren te realiseren en tegelijkertijd de krachten op de rails klein te houden. Grote verplaatsingen tijdens het openen en sluiten zijn ongewenst, omdat de deur in dat geval moeilijk de deurnis in gedraaid kan worden. Er is daarom een oplossing bedacht om de stabiliteit van de deur tijdens openen/sluiten en de vervormingen van de deur tijdens keren los te koppelen. Hiervoor zal een penconstructie worden toegepast die de deur alleen tijdens het

verplaatsingen fixeert. Dit wordt gerealiseerd door het laten zakken van een pen die de sluisdeur verbindt met de rolwagens. De bediening van de pen gebeurt via een hydraulische cilinder. Elke rolwagen dient met 1 pen verbonden te worden met de deur. Om de faalkans te verkleinen worden per rolwagen 2 pennen met hydraulische cilinder toegepast. In Figuur 66 is de positie van de pennen weergegeven op de rolwagens.



Figuur 66 Bovenaanzicht rolwagen

13.1.1 Afdichting

Als afdichting zal een flexibele rubberafdichting worden toegepast bevestigd op de verende plaat aan de zijkant van de deur. Dit om er voor te zorgen dat bij klein waterstandsverschil de deur ook afdicht en bij groot waterstandsverschil de deur voldoende kan vervormen.

De maximale doorbuiging van de deur treedt op bij maximaal verval in het midden van de overspanning. Deze doorbuiging is 398mm, er is daarom een speling tussen de afdichting en de drempel aangehouden van 400mm. Het rubberblok dicht verticaal af omdat door de waterdruk het rubber tegen de onderzijde van de drempel wordt gedrukt.

13.1.2 Pen

In het geval van openen/sluiten is het ongewenst dat de deur grote verplaatsingen loodrecht op de verplaatsingsrichting ondergaat. Daarom wordt een penconstructie toegepast om de sluisdeur te fixeren tijdens openen/sluiten. De pen dient gedimensioneerd te worden op de krachten die optreden tijdens dit openen en sluiten. De pen wordt geopend en gesloten doormiddel van een hydraulische cilinder, deze cilinder zal geen grote krachten hoeven te ondergaan en wordt daarom verder niet gedimensioneerd. De cilinder zal zich boven de gemiddelde waterstand bevinden met het oog op de levensduur van de cilinder.

13.1.2.1 Dimensionering

De pen wordt voornamelijk belast op dwarskracht. Deze dwarskracht is in loodrechte richting op de deur 3038kN en in de richting van de verplaatsing gelijk aan de aandrijvingskracht 1200kN, beiden uitgerekend in de volgende paragraaf.

De totale dwarskracht is: $\sqrt{3038^2 + 1200^2} = 3266 \text{ kN}$.

Voor de staalkwaliteit van de pen wordt S355 toegepast. De diameter van de pen wordt uitgerekend met de volgende formule voor schuifkracht:

$$V = \frac{0,85 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot f_y = \frac{0,85 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot 355 = 3266 \rightarrow d = 117 \text{ mm}$$

Daarnaast wordt de pen op een moment belast, met een aangenomen arm van 100mm. De benodigde diameter voor het opnemen van het moment is:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} = \frac{326,6 \cdot 10^6}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = 355 \rightarrow d = 210 \text{ mm}$$

Er wordt een diameter toegepast van 250mm. De gecombineerde spanning is:

$$\sigma_{vgl} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \sigma_{xy}^2} = \sqrt{212,9^2 + 3 \cdot 78,3^2} = 252 \text{ N/mm}^2 < \text{toegestane } 355 \text{ N/mm}^2$$

13.2 Geleiding

De sluisdeur wordt op drie plaatsen zijdelings gesteund bij het openen en sluiten van de deur. Dit is ter plaatse van de twee rolwagens en ter plaatse van de deurkas.

13.2.1 Geleiding rolwagens

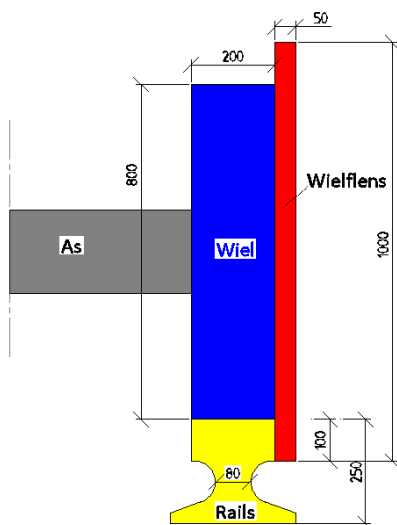
De horizontale geleiding van de deur bij de rolwagens wordt geleverd door de wielflenzen die tegen de zijkant van de rails aangedrukt worden. De wrijving die hierbij optreedt is slepende wrijving van staal op staal.

Toepast worden kraanrails die speciaal ontworpen zijn om zware verticale en horizontale krachten via de rail door de fundatie op te laten nemen [10].

De krachten op de rails worden bepaald in de volgende paragraaf. De maximale verticale kracht door de rails is 489kN per wiel. De maximale horizontale kracht wordt per rolwagen opgenomen door 2 wielflenzen. De totale horizontale kracht op de rails per rolwagen wordt geleverd door: 3048kN (veroorzaakt door waterstandsverschil en golven) + 0,95*1200= 1140kN (de dwarskracht component van de aandrijvingskracht). De totale horizontale kracht per rolwagen wordt daarmee 4188kN.

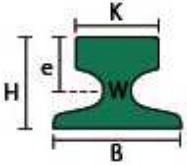
De rails en de wielflenzen dienen gedimensioneerd te worden op deze horizontale kracht van 4188/2=2094kN per wiel.

In Figuur 67 is het ontwerp van een wiel met wielflens en rails weergegeven. In Tabel 19 en Tabel 20 zijn de afmetingen weergegeven die onderstaand doormiddel van toetsingen worden geverifieerd.



Figuur 67 Ontwerp wiel, wielflens en rails

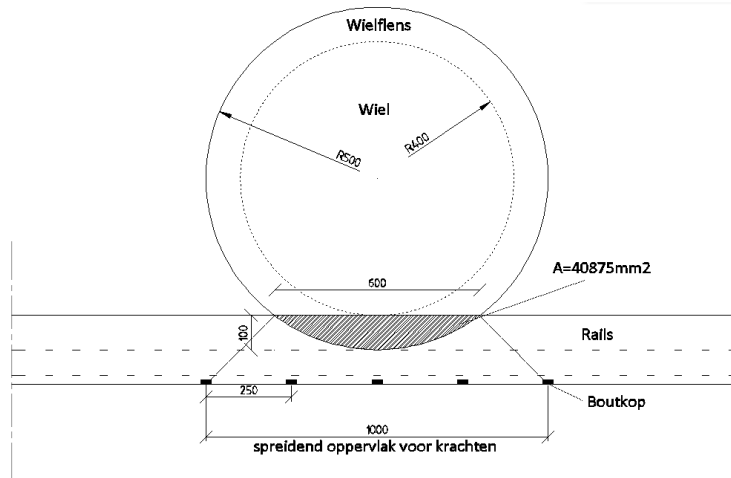
Tabel 19 Eigenschappen rails rolwagen

Eigenschappen	waarde	
Massa (kg/m)	311	
Hoogte H (mm)	250	
Voet B (mm)	300	
Kop K (mm)	200	
Lijf W (mm)	80	
Bovenzijde e (mm)	100	
Vloeispanning (N/mm ²)	690	

Tabel 20 Eigenschappen wielen rolwagen

Eigenschappen	waarde
Wiel diameter (mm)	900
flens diameter (mm)	1000
Dikte flens (mm)	50
Wiel breedte (mm)	200
Vloeispanning (N/mm ²)	690
Glijdende weerstandscoefficiënt (-)	0,2
Rollende weerstandscoefficiënt (-)	0,1
Totale weerstandscoefficiënt (-)	0,06

Raakvlak flens-rail



Figuur 68 Spreiding van horizontale krachten op flens en rails

De normaalspanning in het contactoppervlak flens-rail

Het contactoppervlak is doormiddel van maple uitgerekend met onderstaande formule.

$$A := \int_{-300}^{300} (\sqrt{r^2 - x^2} - r + f) dx = 40875 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_N = \frac{H}{A} = \frac{2094 \cdot 10^3}{40875} = 51,2 \text{ N/mm}^2$$

Controle flensdikte

Het maximale moment in de flens treedt op t.p.v. de bovenzijde van de rails. Het moment

$$\text{is daar: } M_{flens} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot e^2 = 0,5 \cdot 51,2 \cdot 100^2 = 256000 \text{ Nmm / mm}$$

$$W_{flens} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot 50^2 = 416,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{flens} = \frac{256000}{416,67} = 615 \text{ N/mm}^2 \leq f_y = 690 \text{ N/mm}^2$$

Controle rails

Moment:

$$M_{rail} = V \cdot 0,6 \cdot h_{rail} = 2094 \cdot 0,12 = 251,3 \text{ kNm (moment t.p.v. smalste deel rail)}$$

$$W_{rail} = \frac{1}{6} \cdot x_{flens} \cdot w_{rail}^2 = \frac{1}{6} \cdot 600 \cdot 80^2 = 640000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{rail} = \frac{251,3 \cdot 10^6}{640000} = 393 \text{ N/mm}^2 \leq f_y = 690 \text{ N/mm}^2$$

Afschuiving:

$$V_{rail} = \frac{H}{w \cdot x_{flens}} = \frac{2094 \cdot 10^3}{80 \cdot 600} = 43,6 \text{ N/mm}^2 \leq 0,85 f_y = 587 \text{ N/mm}^2$$

Afdracht van rails naar drempel

De rails is verankerd doormiddel van boutverbindingen. De hoh-afstand van deze bouten is 250mm. De kracht is over een lengte van 1000mm verspreid, waarin zich in totaal 10 bouten bevinden. Doormiddel van afschuifkracht en de trekkracht is de diameter van deze bouten bepaald.

$$V_{bout} = \frac{0,85 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot f_y = \frac{0,85 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot 900 = 209,4 \rightarrow 19mm$$

De maximale trekkracht in de bouten is:

$$F_{bout} = \frac{H \cdot h_{rail}}{b_{rail} \cdot n} = \frac{2094 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{0,3 \cdot 10} = 140kN$$

Er worden bouten toegepast van M30 klasse 10.9.

$$\sigma_{vgl} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \sigma_{xy}^2} = \sqrt{396,1^2 + 3 \cdot 348,5^2} = 722 \frac{N}{mm^2} < \text{toegestane } 900N/mm^2$$

Conclusie:

Doormiddel van de toetsingen is aangetoond dat de rails, wiel en wielens in staat zijn de horizontale krachten op de rolwag en af te dragen naar de drempel. De afmetingen van de wielen en rails zijn geen standaardmaten en zullen apart moeten worden gefabriceerd.

13.2.2 Geleiding deurkas

Daarnaast is er een zijdelingse geleiding in de deurkas. Deze geleiding bevindt zich ter hoogte van de 2^e horizontale ligger, die 3,4m lager is dan de bovenzijde van de deur. De geleiding wordt geleverd door wielen die zijn aangebracht in de deurkas. Wanneer de deur aan de bovenzijde een afwijking heeft van ongeveer 3cm, wordt de deur tegen de geleiding van de deurkas gedrukt en ondervindt dan rollende weerstand.

13.3 Aandrijving

De sluisdeur wordt geopend en gesloten door een tandbaan met aandrijf wiel.

Het aandrijf wiel bevindt zich aan de bovenzijde van de sluisdeur aan de bolle zijde (de zeezijde). Dit zodat de gekromde deur dan al een excentrisch moment in de richting van de kromming meekrijgt. Het aandrijf wiel is verbonden met een tandwielkast, waarin het tandwiel via een elektrische motor wordt aangedreven.

De tandenbaan is aangebracht over de gehele lengte van de deur en bevindt zich aan de bovenzijde van de deur. Hierdoor bevindt de aandrijving en tandenbaan zich altijd boven water en is eenvoudig te onderhouden.

Eenzijdige aandrijving

Het tandwiel bevindt zich aan de buitenzijde van de sluisdeur bij aansluiting deurkas-sluis kolk.

Tweezijdige aandrijving

Door aan twee zijden tegelijk aan te drijven en het buitenste tandwielen harder te laten draaien, kan de deur meer de bocht om gedraaid worden. Het is hierbij lastig de twee aandrijvingen precies in de goede verhouding aan te laten drijven. Daarnaast bestaat er

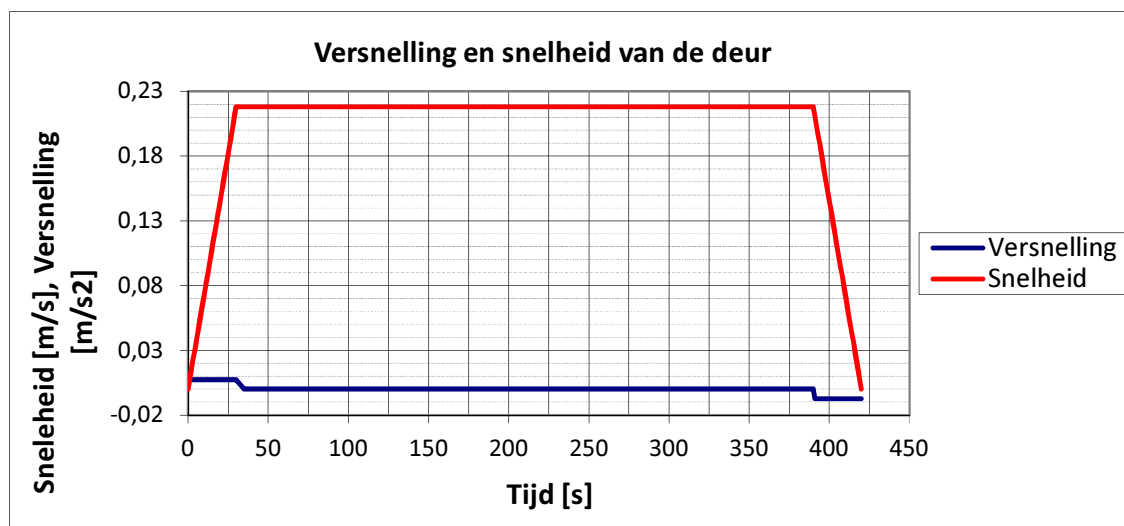
het gevaar dat als één van de aandrijvingen faalt de deur of de motor van de andere aandrijving wordt beschadigd.

Er wordt daarom gekozen voor een eenzijdige aandrijving. De extra kracht op de rails door de kromming en de eenzijdige aandrijving worden meegenomen in de dimensionering van de rails en het bewegingswerk.

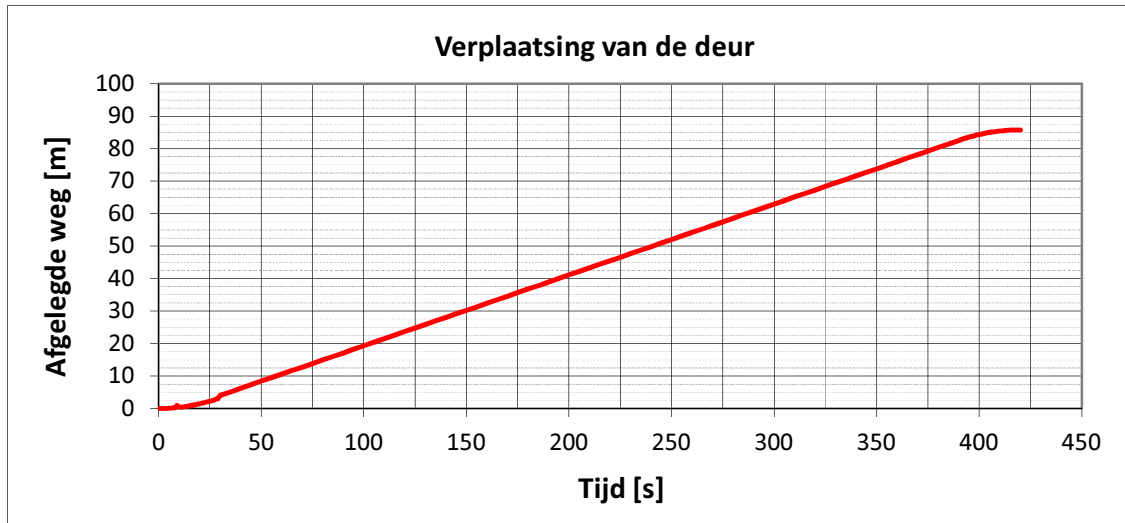
13.3.1 Dimensionering

Gegevens schutproces

- Tijd waarin gesloten/geopend moet worden: 420 sec
- Afstand waarover gesloten moet worden: 85m
- Acceleratietijd: 30 sec
- Maximale snelheid: 0,218 m/s
- Af te leggen weg door sluisdeur: 85,6m
- Af te leggen breedte door sluisdeur: 77m
- Maximum schutpeil NAP +3,60m



Figuur 69 Versnelling en snelheid van de deur bij sluiten/openen

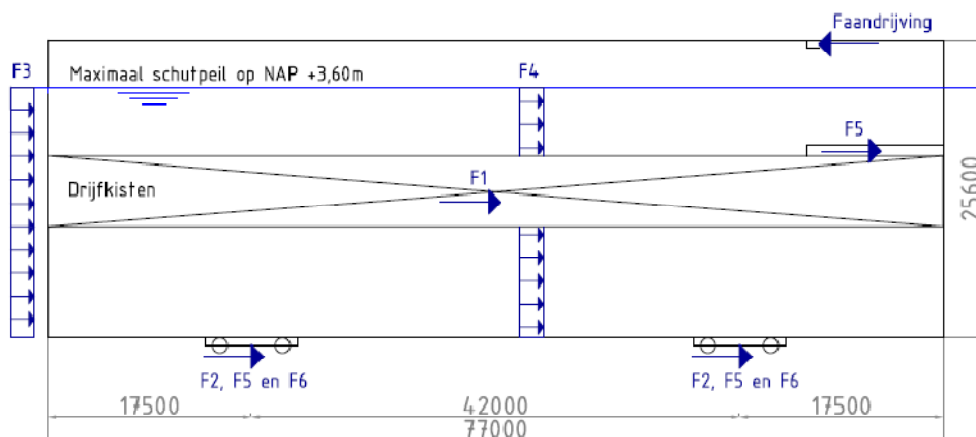


Figuur 70 Verplaatsing van de deur bij sluiten/openen

13.3.1.1 Bepaling van de bewegingsweerstand

Tijdens het sluiten van de deur zijn er 6 krachten die zorgen voor bewegingsweerstand van de roldeur, deze zijn:

- F1 De kracht veroorzaakt door de massa-traagheid van de deur ($F=m \cdot a$)
- F2 De rollende wrijving van de rolwagens op de rails
- F3 De kracht door het verschil in waterniveau voor en achter de deur bij bewegen
- F4 De hydrodynamische kracht veroorzaakt door stroming langs en door de deur
- F5 De slepende wrijving tussen de aanslagen en drempel als gevolg van zijdelingse krachten op de deur
- F6 Wrijving door verschil in richting van de verplaatsing en de aandrijving van de deur door de kromming van de deur

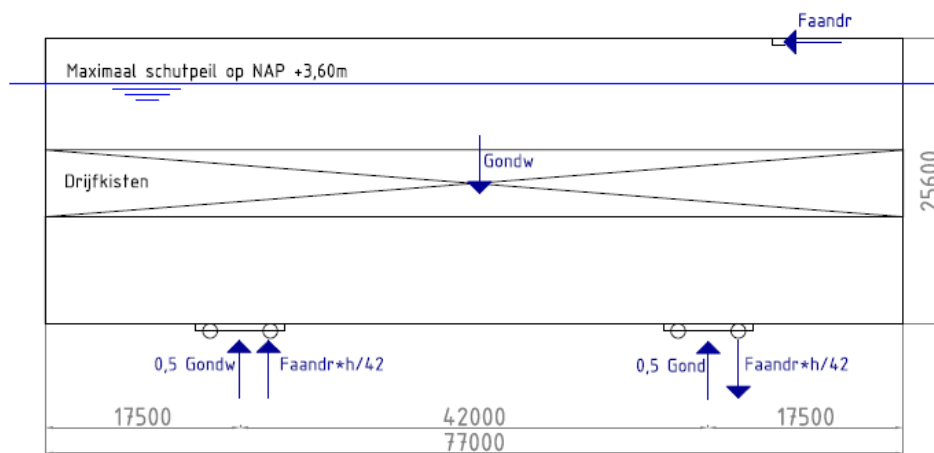


Figuur 71 Weerstandskrachten bij openen en sluiten van de sluisdeur

F1: de massa-traagheid van de deur

De kracht die nodig is om de deur te versnellen wordt bepaald door de formule $F=(m+m_w) \cdot a$. Waarin a wordt bepaald door de tijd waarin de deur versneld moet worden. Deze tijd is aangenomen op 30 sec.

De massa van de deur onder water wordt bepaald door de stabiliteit van de deur tijdens het bewegen. Hierdoor wordt een gedeelte van de luchtkist gevuld met ballast water. Het benodigde gewicht van de deur wordt bepaald voor het evenwicht in langsrichting van de deur (Figuur 72). De kracht van het bewegingswerk grijpt aan de bovenzijde van de deur aan, waardoor de voorste rolwagens meer belast wordt dan de achterste rolwagens. Het onderwater gewicht van de sluisdeur moet er voor zorgen dat er op alle vier de assen van de rolwagens minstens een kracht van 100kN wordt uitgeoefend, zodat de stabiliteit van de deur niet in gevaar zal komen.



Figuur 72 Stabiliteit van sluisdeur in langsrichting

Naast de massa wordt er nog een aanhangend gewicht (mw) meegenomen van 0,1*m voor het slib en dergelijke wat zich aan de sluisdeur hecht.

De kracht van het bewegingswerk is ook afhankelijk van de massa van de deur. Deze twee waarden zijn iteratief bepaald met behulp van een excelsheet. Het benodigde onderwater gewicht $G=250\text{ton}$.

F2: rollende weerstand van de rolwagens op de rails

De verticale kracht die op de wielen wordt uitgeoefend, vermenigvuldigd met de wrijvingscoëfficiënt, veroorzaakt de rollende weerstand van de rolwagens. De verticale kracht op de wielen wordt geleverd door het moment van het bewegingswerk en door het onderwater gewicht van de deur. De kracht vanuit het bewegingswerk is 1200kN, dit zal aan het einde van deze paragraaf blijken.

De verticale kracht op de voorste rolwagen is:

$$F_{G1} = 0,5 \cdot G_{ondw} + \frac{F_{aandr} \cdot h}{x_1} = 0,5 \cdot 250 \cdot 9,81 + \frac{1200 \cdot 25,6}{42} = 1957,7 \text{ kN}$$

De verticale kracht op de achterste rolwagen is:

$$F_{G2} = 0,5 \cdot G_{ondw} - \frac{F_{aandr} \cdot h}{x_1} = 0,5 \cdot 250 \cdot 9,81 - \frac{1500 \cdot 25,6}{42} = 494,8 \text{ kN}$$

Beide verticale krachten zijn groter zijn dan 200kN zodat de stabiliteit van de deur niet in gevaar komt. De maximale verticale kracht is van belang voor de dimensionering van de wielen. De maximale kracht per wiel is $1957,7/4=489\text{kN}$.

F3: De kracht door het verschil in waterniveau voor en achter de deur bij bewegen

Door het versnellen van de deur zal het water voor de deur op worden gestuwd. Dit waterhoogte verschil wordt aangenomen op 0,5m. De kracht die hierdoor ontstaat is:

$$F_h = 0,5 \cdot \rho \cdot b_d \cdot g \cdot h^2 = 0,5 \cdot 1,022 \cdot 8 \cdot 9,81 \cdot 0,5^2 = 10,0\text{kN}$$

F4: De hydrodynamische kracht veroorzaakt door stroming langs en door de deur

De hydrodynamische drag force (F_w) combineert het effect van plaatweerstand en vormweerstand van de deur. $F_w = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_D$. C_D is de weerstandcoëfficiënt, deze is 0,1 voor gestroomlijnde lichamen, 1,0 voor buizen en 2,0 voor rechthoekige boxen. Aangezien de drijfkisten het voornaamste deel vormen van het geblokkeerde oppervlak, wordt $C_D=2,0$ aangehouden.

De oppervlak van de deur onderwater is: $A_r = 21,6 \cdot 8 = 172,8\text{m}^2$

Het geblokkeerde oppervlak is: $A_b = \text{drijfkist} + \text{staalprofielen} =$

$$8 \cdot 6 + (4 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 2 + 8 \cdot 0,4 \cdot 4 + 0,3 \cdot 0,35 \cdot 15,6) = 66,76\text{m}^2$$

Het doorstroomoppervlak is: $A_d = 106,04\text{m}^2$

De maximale snelheid van de deur is 0,218 m/s. Doordat maar een gedeelte van de deur open is, is de stroming door de deur: $v_d = 0,218 \cdot \frac{172,8}{106,0} = 0,36\text{m/s}$.

De maximale drag force is dan: $F_{w\max} = 0,5 \cdot 1,022 \cdot 0,36^2 \cdot 66,76 \cdot 2 = 8,84\text{kN}$

F5: De wrijving als gevolg van zijdelingse krachten op de deur

Door horizontale krachten loodrecht op de deur wordt de deur tegen zijn geleiding aangedrukt. Hierdoor ontstaat een glijdende weerstand.

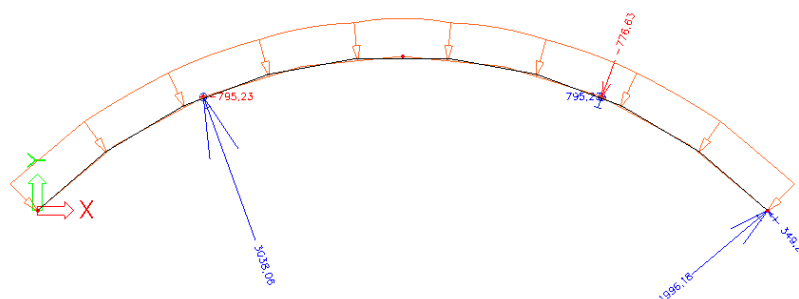
Als horizontale kracht worden de volgende bijdrages meegenomen:

- Een hogere waterstand van 0,1m aan de zeezijde bij maximaal schutpeil van NAP +3,60m
 - Seiches van 0,12m aan de zeezijde
 - Een Oostenwind, loodrecht op de deur, met een frequentie van 10^{-1} /jaar van 15m/s
- Andere golven worden niet meegenomen aangezien deze zeer lokaal werken en daardoor geen hele grote horizontale krachten opleveren.

De deur inclusief geleidingen en de belasting is gemodelleerd in SCIA-Engineer tijdens verschillende fases van openen en sluiten van de deur. Hieruit zijn de horizontale krachten op de geleidingen bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 21.

Tabel 21 Horizontale krachten in de geleiding tijdens openen/sluiten

	F (kN) rolwagen voor	F (kN) rolwagen achter	F (kN) geleiding deurkas
x~77m	3038	-777	1996
x=57,75m	1663	-156	1146
x= 38,5m	1204	-200	876
x=19,25m	537	-35	404
x=0m	0	0	0



Figuur 73 Boven aanzicht model met reactiekrachten op x=76m gesloten

Om de krachten tussen de metingen te bepalen wordt lineair geïnterpoleerd. Als wrijvingscoëfficiënt wordt een waarde van 0,15 aangehouden voor de slepende wrijving van staal op staal van de geleiding bij de rolwagens en een waarde van 0,045 voor de rollende geleiding in de deurkas.

F6: Wrijving door verschil in richting van aandrijving en de verplaatsing van de deur

De aandrijvende kracht uit het bewegingswerk werkt constant in dezelfde richting. De rolwagens daarentegen verplaatsen zich over de gekromde rails, waardoor de component van de aandrijvende kracht loodrecht op de rails varieert (zie Figuur 74).

De component loodrecht op de rails vermenigvuldigd met een wrijvingscoëfficiënt zorgt voor een extra weerstand tijdens de beweging van de deur. Als straal van de rails wordt de gemiddelde straal van beide rails genomen.

De hoek tussen de aandrijvende kracht en de x-as wordt gegeven door:

$$\alpha F_y = \frac{1}{2} \frac{l}{\sqrt{r^2 - \frac{1}{4} l^2}}$$

Voor de hoek tussen de aandrijvende kracht en de rails is de volgende formule afgeleid:

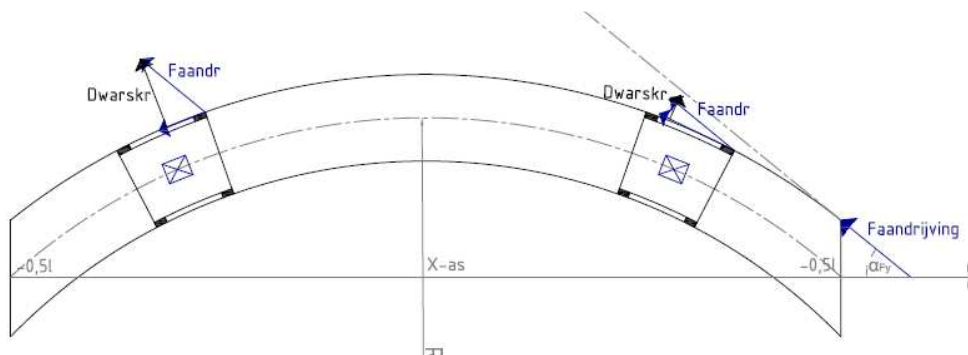
$$\text{func} = -\frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} - \alpha F_y$$

Waarin: x=de afgelegde weg loodrecht op de sluis kolk

r=de straal van de rails

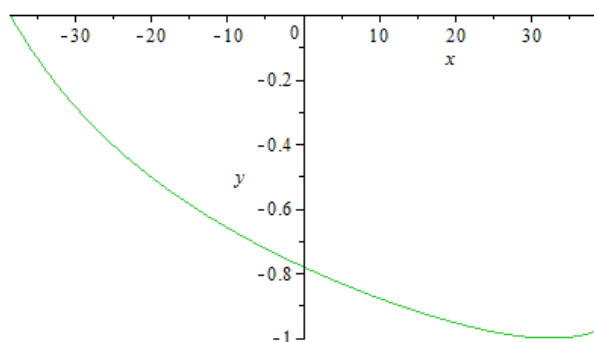
αF_y =de hoek tussen de aandrijvende kracht en de x-as

l=de lengte van de deur bekeken over de x-as



Figuur 74 Dwarskracht component van de aandrijvingskracht

De dwarskrachtcomponent wordt beschreven door $y = \sin(\text{func})$. Wanneer de variabelen zijn ingevoerd en geplot wordt over de breedte van de sluiskolk, is te zien dat de dwarskracht toeneemt tot 1 (=gelijk aan de aandrijvingskracht), op het punt waarop de aandrijvende kracht een hoek van 90° maakt met de rails, en daarna weer afneemt.



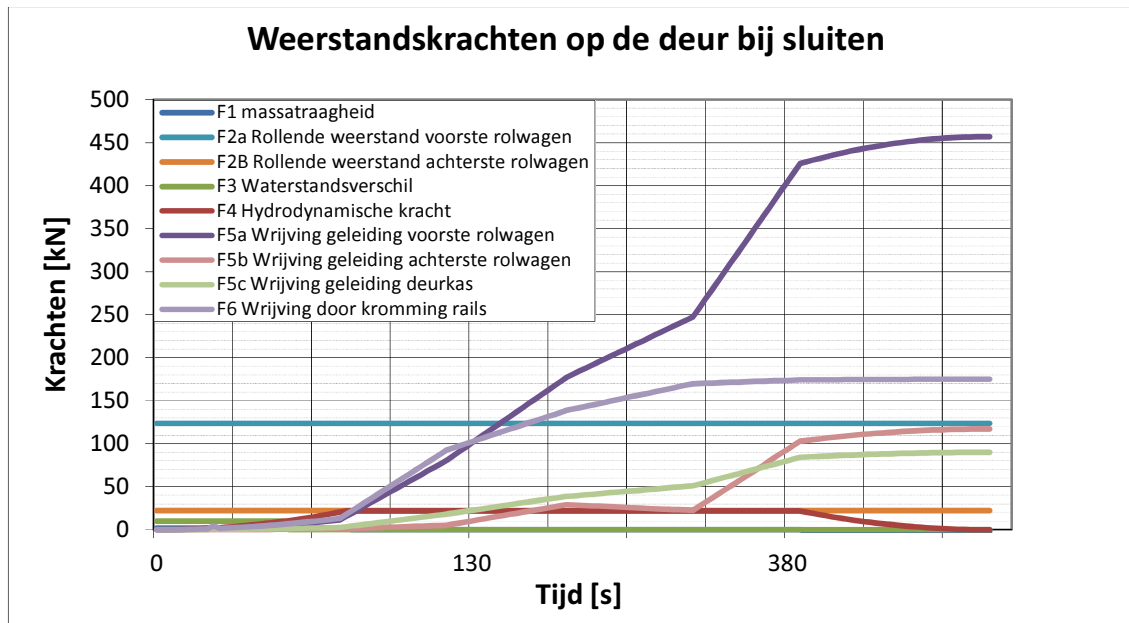
Figuur 75 Dwarskracht component van aandrijvende kracht verlopend over de sluiskolk bij sluiten

Aangezien de voorste rolwagen nooit verder komt dan $x=21\text{m}$, omdat de deur dan al gesloten is, treedt de maximale dwarskracht op de rails op bij $x=21\text{m}$. De bijbehorende dwarskrachtcomponent is daar $0,95 \cdot$ de aandrijvingskracht.

Voor de wrijvingscoëfficiënt wordt een waarde van $0,15$ aangehouden.

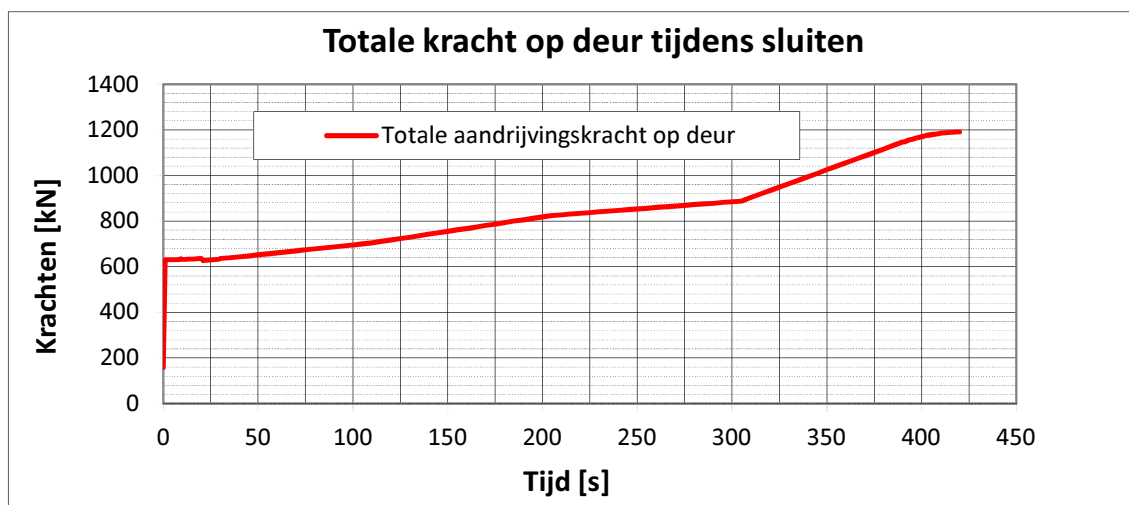
13.3.1.2 Benodigde aandrijvende kracht

In Figuur 76 zijn alle weerstandkrachten op de deur weergegeven verlopend over de tijd van sluiten.



Figuur 76 Grafiek weerstandskrachten bij sluiten

Te zien is dat de wrijving van het geleidingswerk als gevolg van horizontale krachten op de deur bij het sluiten veruit het grootst zijn. Aangezien de horizontale krachten op de deur een frequentie hebben van 10^{-1} /jaar, zullen het grootste gedeelte van het jaar de krachten op de deur een veel kleiner zijn. Dit met het oog op slijtage van de geleiding. Het bewegingswerk wordt uiteraard wel op deze krachten gedimensioneerd, aangezien geëist is dat schutten tot aan weersomstandigheden met een frequentie 10^{-1} /jaar door moet kunnen gaan. De totale kracht op de deur is weergegeven in Figuur 77.



Figuur 77 Grafiek totale kracht op de deur tijdens sluiten

De maximaal benodigde kracht om de deur te sluiten bedraagt 1200kN.

Het statisch vermogen voor het sluiten van de deur bedraagt:

$$p = F \cdot v = 1200 \cdot 0,22 = 264 \text{ kW} .$$

Met een rendement van de installatie wordt gesteld op 80%. In deze 80% is het verlies in de motor en van de tandwielen meegenomen. Het te leveren vermogen door de hydraulische aandrijving is dan 330kW.

14.2 Krachtsinleiding

In geval van positief keren zijn de oplegreacties loodrecht op de deur van één horizontale ligger maximaal 18699,8kN. De totale oplegreacties over de gehele hoogte zijn 122325kN.

In geval van negatief keren zijn de oplegreacties loodrecht op de deur van één horizontale ligger maximaal 13692kN. De totale oplegreacties over de gehele hoogte zijn 65248kN.

De oplegvlakken voor positief keren zijn het meest kritisch aangezien hier de grootste reactiekrachten optreden en de reactiekrachten in de richting van de sluiskolk gericht zijn in plaats van het sluishoofd in. Er zal daarom gefocust worden hier op het opnemen van de reactiekrachten uit positief verval.

14.2.1 Oplegging positief verval

Het beton van het sluishoofd is uitgevoerd met type C30/37, de ontwerp betondruksterkte daarvan is $f_{cd}=16\text{N/mm}^2$. De horizontale ligger is 700mm hoog. Wanneer er opleggingen worden toegepast ter plaatse van elke horizontale ligger is een

$$\text{oplegbreedte noodzakelijk van: } b_{opl} = \frac{18699,8 \cdot 10^3}{700 \cdot 16} = 1770\text{mm}.$$

Aangezien deze oplegbreedte erg groot is, zal gekozen worden voor opleggingen over de gehele 25,6m hoogte van de deur. In het sluishoofd zal dan wel een inleidingssprofiel moeten worden aangebracht bij de opleggingen om de reactiekrachten uit de horizontale liggers over de hoogte te kunnen verdelen. Dit profiel wordt ook toegepast in het geval van negatief keren.

14.2.1.1 Inleidingssprofiel

De breedte van de opleggingen wordt vastgesteld op 1000mm. De reactiekrachten uit de horizontale liggers moeten verdeeld worden over de gehele hoogte om een goede krachtsafdracht in het sluishoofd te krijgen. Hiertoe wordt een I-profiel in het beton verankerd ter plaatse van de 4 horizontale opleggingen in de deurkas en deurnis.

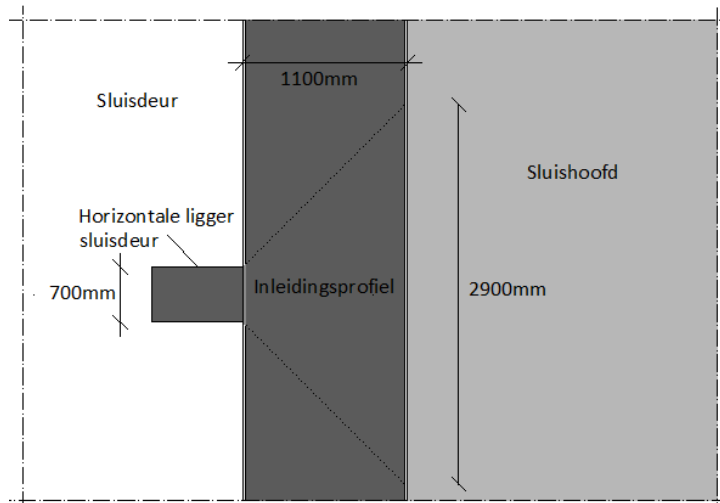
Bij toepassing van een I-profiel met hoogte 1100mm en flensbreedte van 1000mm, wordt makkelijk aan de gestelde betondruk voldaan. Dit profiel is geen standaard profiel door de veel bredere flensbreedte.

Het oppervlak waarover de oplegkracht verspreidt is, is dan:

$$A_{opl} = (1100 + 1100 + 700) \cdot 1000 = 2900000\text{mm}^2$$

De betondrukspanning onder de maximale oplegkracht is dan:

$$\sigma_b = \frac{F_r}{A_{opl}} = \frac{18699,8 \cdot 10^3}{2900000} = 6,45 \text{ N/mm}^2$$



Figuur 79 Inleidingsprofiel verankerd in sluishoofd t.p.v. opleggingen

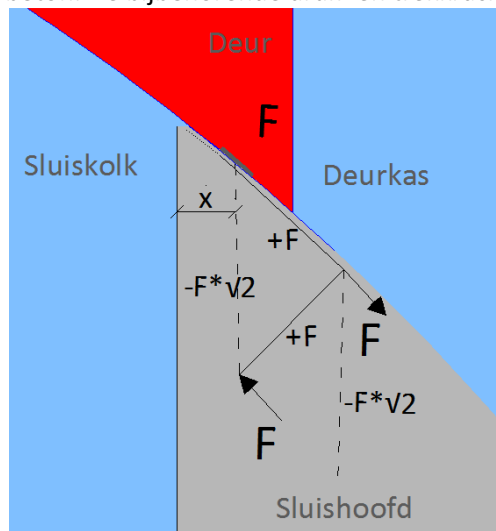
Ook de maximale oplegreactie bij aanvaring kan goed verdeeld worden in het sluishoofd:

$$\sigma_b = \frac{F_r}{A_{opl}} = \frac{22721 \cdot 10^3}{2900000} = 7,83 \text{ N/mm}^2$$

14.2.1.2 Globale bepaling wapening positief verval

De reactiekracht bij positief verval, verdeeld over de hoogte, is ongeveer $122325/25,6=4800 \text{ kN/m}$. In geval van aanvaring is de reactiekracht over de hoogte kleiner, 111466 kN , dus niet maatgevend. De wapening zal dus gedimensioneerd worden op maximaal positief verval.

Zie Figuur 80 voor het krachtenoverzicht in de wapening waarin $F=4800 \text{ kN/m}$. De onderbroken lijnen geven de drukzones aan en de doorlopende lijnen de trekzones in het beton. De bijbehorende druk- en trekkrachten zijn gegeven in geval van hoeken van 45° .



Figuur 80 Krachtenverloop bij in geval van positief verval oplegging deurkas

Het oppervlak van de benodigde wapeningsstaven is: $A_s = \frac{4800 \cdot 10^3}{435} = 11034 \text{ mm}^2 / \text{m}$.

Toegepast worden 14 staven van $\varnothing 32\text{mm}$ per meter, met $A_s=804\text{mm}^2$ per staaf.

De afstand x tussen oplegvlak en sluiskolk wordt bepaald door de verankeringslengte van de trekwapening ter plaatse van het oplegvlak, deze is 1200mm. Afstand x komt daarmee inclusief benodigde dekking op 1,5m.

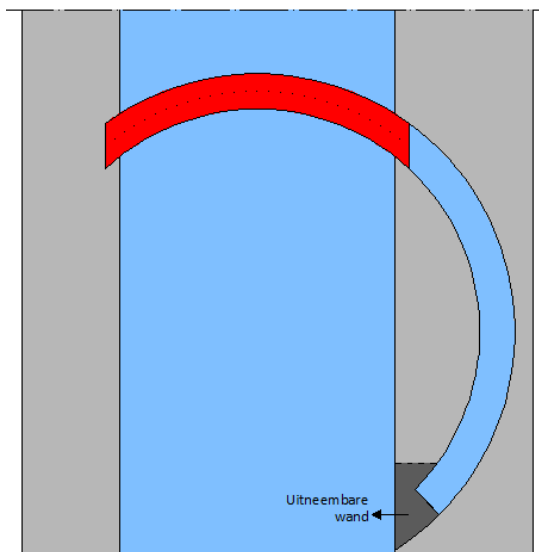
De benodigde breedte van het sluishoofd waarbij geen dwarskrachtwapening noodzakelijk is, is 13,5m. Deze breedte is bepaald door de afschuifcapaciteit van het binnenste gedeelte van het sluishoofd te bepalen, zie bijlage 12.

De wapening moet dus tot zover doorgelegd worden dat de breedte van het sluishoofd 13,5 meter bedraagt.

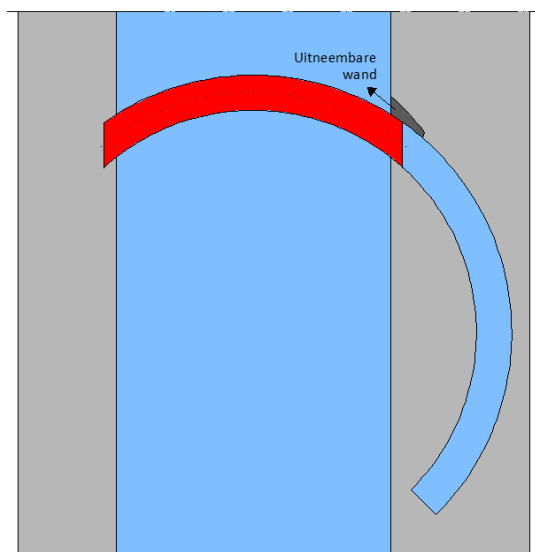
14.3 Wegneembare constructie

Aangezien de speling tussen de deur en de deurkas maar 3cm is aan weerszijden van de deurkas, kan de sluisdeur niet via de deurkas er uit gedraaid worden bij onderhoud.

Er moet daarvoor een extra voorziening worden gerealiseerd. Hiervoor zal een uitneembare wand moeten worden toegepast. Deze wand zal ter plaatse van de oplegging bij de deurkas aan de zeezijde kunnen worden geplaatst of ter plaatse van het einde van de deurkas (zie Figuur 82 en Figuur 81).



Figuur 82 Uitneembare wand einde deurkas



Figuur 81 Uitneembare wand bij oplegging

14.3.1 Afweging

Aan beide posities van de wegneembare constructie kleven voor- en nadelen, hieronder zijn deze opgesomd.

14.3.1.1 Wegneembare constructie bij de oplegging

Voordelen:

- De wegneembare constructie wordt alleen maar belast met drukkrachten wanneer de sluisdeur gesloten is en er negatief verval in de sluis staat, daardoor kan de vergrendeling van de constructie redelijk eenvoudig worden aangebracht in het sluishoofd
- De wegneembare constructie is relatief kort in vergelijking met een constructie aan het einde van de deurkas

Nadelen:

- In geval van aanvaring vanaf de kanaalzijde zal de wegneembare constructie kunnen worden aangetast
- De oplegreacties in geval van negatief verval moeten via de wegneembare constructie worden opgenomen in het sluishoofd

14.3.1.2 Wegneembare constructie bij einde deurkas

Voordelen:

- In geval van een aanvaring van de sluisdeur zal de wegneembare constructie niet worden aangetast

Nadelen:

- Wanneer er een verval staat over de sluisdeur, staat er ook een verval over de wegneembare constructie. Daardoor zal de vergrendeling extra goed moeten worden ontworpen
- De sluisdeur moet nadat deze is aangevaren eerst door de deurkas naar het einde worden gedraaid. Als de sluisdeur alleen flink blijvend vervormd is, zal het niet meer mogelijk zijn de deur via de deurkas te verwijderen.
- De wegneembare constructie bij de deurkas is groter dan de constructie bij de oplegging

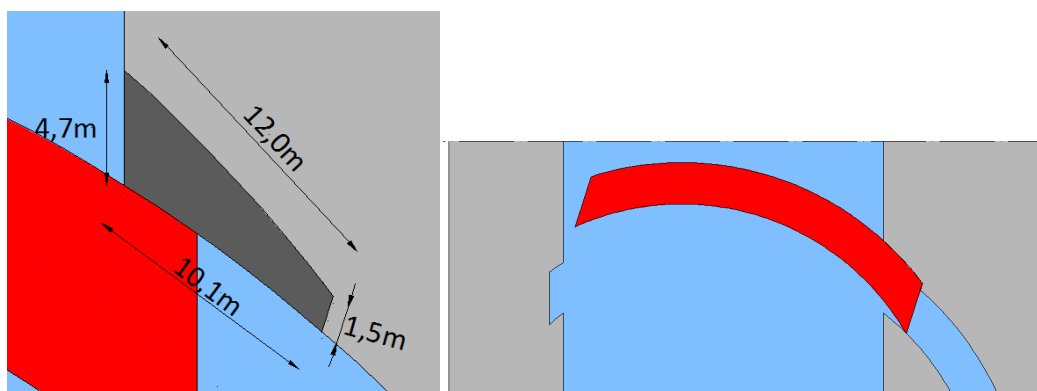
14.3.1.3 Keuze

Het risico is groot dat bij een aanvaring de deur meer dan 3cm blijvend is vervormd, daarom zal de deur in geval van een wegneembare constructie aan het einde van de deurkas dan niet meer verwijderd kunnen worden. De afstand tussen de sluisdeur en deurkas is namelijk 3cm, waardoor de deur na grote plastische vervorming niet meer terug de deurkas in kan.

Daarnaast zijn de krachten op de wegneembare constructie bij de oplegging gunstig aangezien deze alleen drukkrachten zal hoeven opnemen en de verankering daardoor makkelijk tot stand komt. Er wordt daarom gekozen voor de wegneembare constructie bij de oplegging aan de zeezijde.

14.3.2 Dimensionering

Doormiddel van autocad zijn de minimale afmetingen van de uitneembare constructie bij de oplegging bepaald, zie Figuur 83. Deze afmetingen zijn bepaald door de deur draaiend uit de deurkas te verwijderen en de benodigde ruimte naast de deurkas te meten.

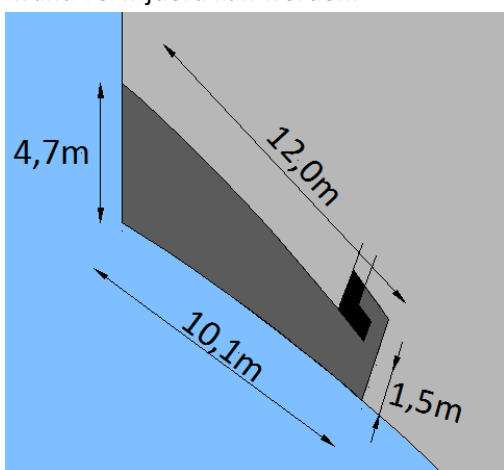


Figuur 83 Noodzakelijke afmetingen wegneembare constructie

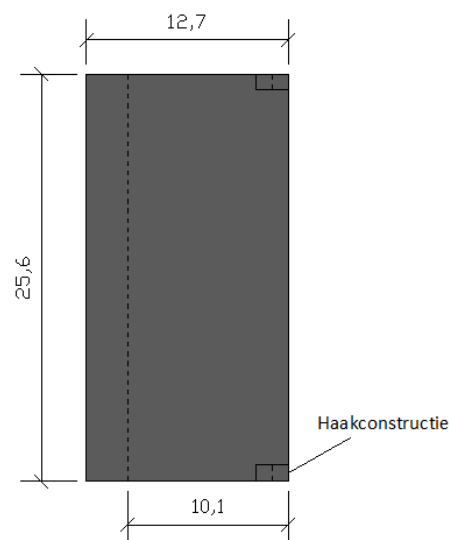
De verankering van de wegneembare constructie in het sluishoofd zal doormiddel van een haakconstructie worden gerealiseerd. Deze haakconstructie zal niet onder grote trekkrachten komen te staan, aangezien de oplegging alleen drukkrachten te voorduren heeft. Het enige effect waar de wegneembare constructie voor verankerd dient te worden zijn de zuigende effecten door stroming en golven.

De wegneembare wand zal bestaan uit een stalenframe met drijfkisten. Aan de bovenzijde en aan de onderzijde worden de constructie uitgerust met een haak. De sluiswand zal over een omgekeerde verankerde stalen haak beschikken, waar de wand ingeschoven kan worden. Boven de verankerde stalen haak is een hoogte vrijgelaten in de sluiswand om de haakconstructie van de wand in te schuiven alvorens de wand wordt afgezonken en verankerd is. De uitneembare wand zal bestaan uit drijfkisten zodat de wand drijvend van en naar zijn plaats gekregen kan worden.

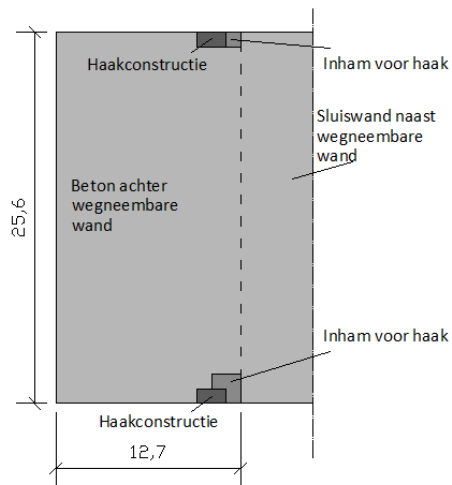
De wand in Figuur 84 moet doormiddel van luchtkisten 1m opgedreven worden zodat de wand verwijderd kan worden.



Figuur 84 Bovenaanzicht verankerde constructie



Figuur 85 Achteraanzicht wegneembare constructie met haakconstructies



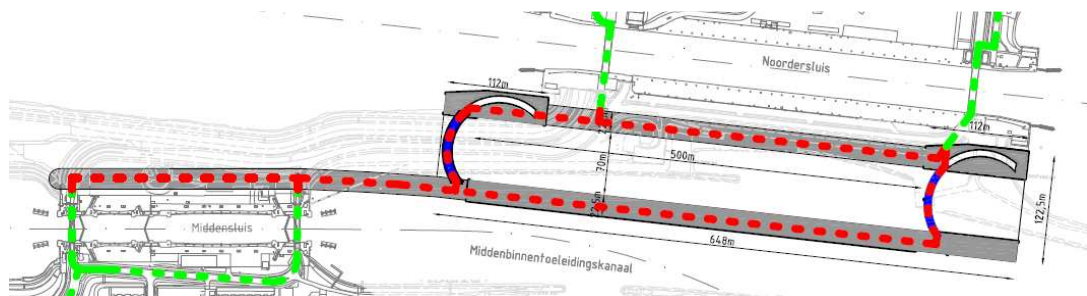
Figuur 86 Haakconstructie in sluiswand

14.4 Geleiding

De geleiding in de deurkas bevindt zich op een hoogte van 3,4m onder de bovenzijde van de deurkas. De krachten die vanuit de deur in de geleiding terecht komen, moeten ter plaatse van de deurkas het sluishoofd ingeleid worden. De maximale krachten op de geleiding zijn 3656kN. Deze krachten zullen vooral terecht komen aan de voorzijde van de deurkas. Aangezien daar het sluishoofd gedimensioneerd is voor het opnemen van veel grotere reactiekrachten van de sluisdeur, zal het opnemen van de krachten uit de geleiding geen problemen opleveren.

15 Wegdek

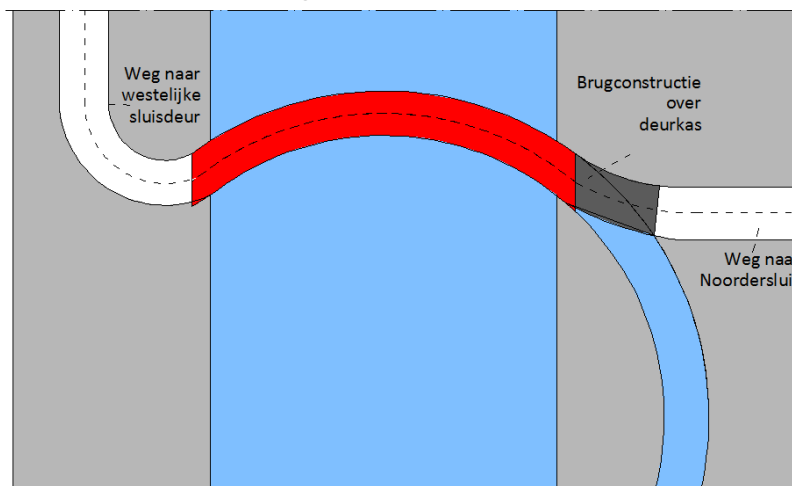
In de bestaande situatie zijn de Middensluis en de Noordersluis doormiddel van een wegverbinding verbonden. Deze wegverbinding voor lokaal personenvervoer zal na het ontwerp van de Nieuwe Zeesluis moeten blijven bestaan, zodat een wegverbinding over de Nieuwe Zeesluis zal worden aangebracht. In Figuur 87 is de wegverbinding weergegeven van de Middensluis via de Nieuwe Zeesluis naar de Noordersluis. In rood is de nieuwe weg weergegeven en in groen de bestaande wegen waarop wordt aangesloten.



Figuur 87 Wegconfiguratie tussen Middensluis, Nieuwe Zeesluis en Noordersluis

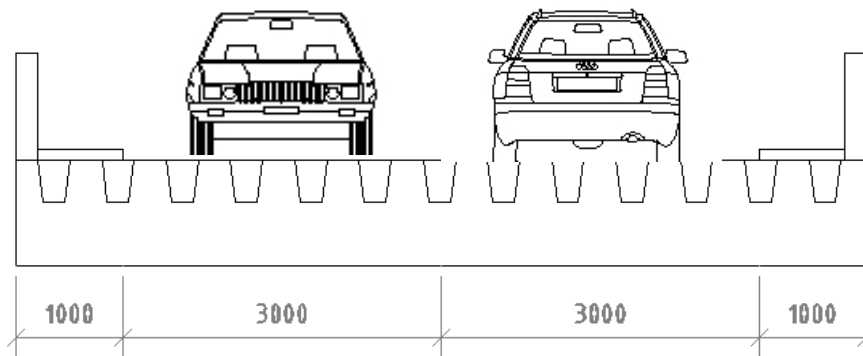
Wegconstructie over de deur

De 8 meter breedte van de deur geeft genoeg ruimte voor het aanbrengen van een 2-baansweg op de deur. Daarnaast is de boogstraal van de deur van $R=58m$ groot genoeg. Op de deurkas wordt een brugconstructie aan de roldeur gekoppeld, om het verkeer over de deurkas te leiden zie Figuur 88.



Figuur 88 brugconstructie over deurkas en structuur wegen van binnenste sluisdeur

De verkeersweg over de sluisdeur bestaat uit twee rijstroken met een breedte van 3,0 meter per rijstrook, zie onderstaande figuur. Aan weerszijden van de wegverbinding worden er leuningen toegepast met een afstand tot de rijweg van 1,0m. De wegverbinding wordt daarmee 8,0 meter breed.



Figuur 89 Indeling rijdek over de sluis

De verkeersweg wordt een zelfdragende brugconstructie, die zijn krachten overdraagt aan de bovenste horizontale ligger van de roldeur. De constructie op de gekromde roldeur zal in gesloten stand van de deur een verbinding vormen over de vaarweg. In geopende stand zal de brugconstructie volledig vrij uit de doorvaart gedraaid zijn.

De brugconstructie is niet gemodelleerd op de sluisdeur. Op de twee bovenste horizontale liggers is een lijnbelasting aangebracht overeenkomend met de aangenomen gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting.

16 Kunststof

Door de stalen huidplaat te vervangen door een plaat van een meer duurzaam materiaal zal het conserveringsoppervlak nog verder kunnen afnemen in vergelijking met de meestal gebouwde sluisdeuren.

De stalen huidplaat heeft in dit ontwerp een dikte van 20mm en bij de drijfkisten een dikte van 24mm. Deze relatief dikke huidplaten worden veroorzaakt door de enorme overspanning van de sluis en de relatief ongunstige krachtsafdracht door opleggingen die gepositioneerd zijn loodrecht op de deur.

Kunststof is een anisotroop materiaal. In de vezelrichting is de trek- en buigsterkte vergelijkbaar met die van staal. Loodrecht op de vezelrichting is de sterkte lager.

De maximale spanningen in de huidplaat van de sluisdeur zijn in de x- en y-richting ook verschillend. In de x-richting zijn de maximale spanningen 335N/mm^2 en in de y-richting 200 N/mm^2 . De vezels van de kunststof zullen dus in de x-richting moeten worden aangebracht.

De verschillen tussen de sterkte in vezelrichting en de verschillen in x-en y-richting van de spanningen in de sluisdeur zijn echter groter. Waardoor de huidplaat in kunststof waarschijnlijk wel wat dikker zal moeten worden uitgevoerd.

Wanneer hierdoor te dikke platen zullen ontstaan, zal de hoh-afstand van de horizontale liggers en vakwerken moeten worden verkleind.

Het brugdek voor de wegconstructie zal eenvoudiger van kunststof kunnen worden ontworpen omdat daarop de krachten een stuk lager zullen zijn. Hierdoor zal het gewicht van de brugconstructie op de deur wordt geminimaliseerd, wat gunstig is voor de afmetingen van de drijfkisten.

17 Betrouwbaarheid

17.1 Inleiding

In het rapport gekromde roldeurvarianten [3] is met behulp van een foutenboomanalyse de beschikbaarheid van de schutfunctie bepaald. Aangezien in die fase een aantal aannames zijn gedaan die niet allemaal exact uit zijn gekomen en het ontwerp nu gedetailleerder is, is de foutenboomanalyse aangepast en uitgebreid. Bij het opstellen van de foutenboom zijn referentieproject sectordeur [11] en puntdeur [12] gebruikt.

De schutsluis faalt ten aanzien van de schutfunctie wanneer niet binnen de geëiste tijd geschut kan worden. Voor deze maximale schuttijd wordt 1 uur aangehouden.

In de Klant Eisen Specificatie [4] wordt de tijd voor niet-beschikbaarheid beschreven als: de tijd bestaande uit planbaar onderhoud, niet-gepland onderhoud en niet-beschikbaarheid door overschrijding maximaal schutpeil en onderschrijving minimaal schutpeil. Deze niet-beschikbaarheidseis is vastgesteld op maximaal 2% van de tijd.

De sluis bestaat uit twee sluishoofden met elk een gekromde roldeur, in totaal dus twee gekromde roldeuren. Er zijn twee reservedeuren aanwezig, één binnengaats en één buitengaats. Het nivelleren vindt plaat via de deuren, waarbij elke deur 7 stalen nivelleerschuiten heeft. De schuiten worden aangedreven door twee hydraulische aggregaten en bewogen via 7 hydraulische cilinders. De deuren worden elektromechanisch aangedreven via een tandenbaan.

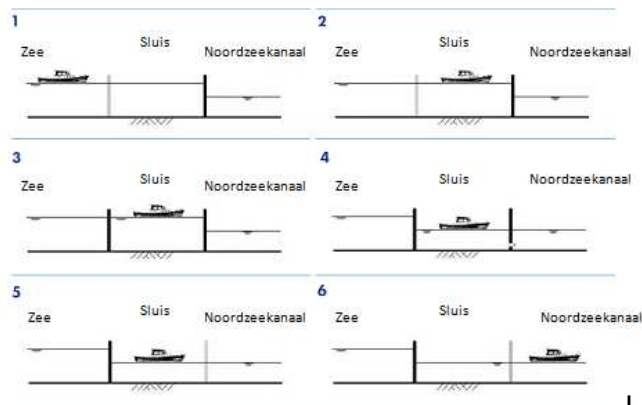
Aan het eind van de deurkas bevindt zich een wegneembare constructie om de deur voor onderhoud te kunnen verwijderen.

17.2 Het schutproces

Allereerst zal het schutproces worden beschreven. In een uitgangssituatie, waarbij het binnenhoofd gesloten is en het buitenhoofd geopend (met geopende nivelleerschuiten), worden de volgende stappen tijdens het schutproces doorlopen:

Tabel 22 Het Schutproces

- Invaren scheepvaart westzijde
- Gekromde roldeur west sluiten
- Nivelleerschuiten roldeur west sluiten
- Nivelleerschuiten roldeur oost openen
- Water niveau goed
- Gekromde roldeur oost openen
- Uitvaren scheepvaart oostzijde
- Invaren scheepvaart oostzijde
- Gekromde roldeur oost sluiten
- Nivelleerschuiten gekromde roldeur oost sluiten
- Nivelleerschuiten gekromde roldeur west openen
- Waterniveau goed
- Gekromde roldeur west openen
- Uitvaren scheepvaart westzijde

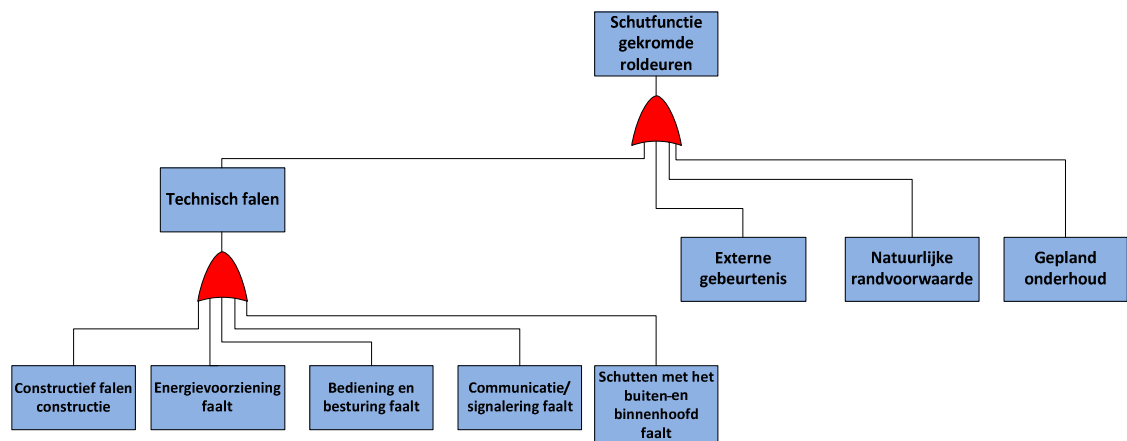


17.3 Betrouwbaarheid schutproces

De onderdelen die invloed hebben op de betrouwbaarheid van het schutproces zijn te verdelen in vier categorieën:

- Technisch falen
- Gepland onderhoud
- Externe gebeurtenissen
- Natuurlijke randvoorwaarden

De foutenboom is weergegeven in Figuur 90.



Figuur 90 Algemene foutenboom gekromde roldeur

17.3.1 Externe gebeurtenissen

Onder externe gebeurtenissen kunnen gerekend worden:

- Brand
- Blikseminslag
- Aanvaring

- Uitval van het openbare energienet
- Obstakel tegen de deur
- Bedieningsfout

Deze factoren zullen voor de sectordeur en voor de gekromde roldeuren ongeveer gelijk zijn en kunnen dus overgenomen worden van het referentieproject [11]. De kans op optreden van een externe gebeurtenis waardoor schutten onmogelijk wordt, is: 0,00114672.

17.3.2 Natuurlijke randvoorwaarden

Onder natuurlijke randvoorwaarden vallen:

- Te hoog water om te schutten
- Te laag water om te schutten
- Zeer strenge vorst
- Dichte mist
- Zware storm

Ook deze factoren zullen voor de sectordeur en voor de gekromde roldeuren gelijk zijn en kunnen aangenomen worden als gelijk aan het referentieproject. De kans het verstoren van het schutten door een natuurlijke randvoorwaarde is: 0,000626322.

17.3.3 Gepland onderhoud

De kansen op verstoren van het schutproces door gepland onderhoud is 0,002739726. Zie bijlage 13 voor de motivatie van deze niet-beschikbaarheid.

17.3.4 Technisch falen

Het technisch falen is onderverdeeld in vijf categorieën:

- Constructief falen constructie
- Schutten met het buiten-en binnenhoofd faalt
- Communicatie/signalerings faalt
- Bediening en besturing faalt
- Energievoorziening faalt

17.3.4.1 Constructief falen

Onder constructief falen behoren het falen van het sluishoofd, de sluiskolk en het gebouw. Dit is voor de gekromde roldeur zo goed als gelijk als voor de sectordeuren. De kans op het verstoren van het schutten door constructief falen is: $1,17432 \cdot 10^{-5}$

17.3.4.2 Communicatie/signalerings faalt

De kans op het verstoren van het schutten door communicatie/signalerings die faalt is: 0,00274925

17.3.4.3 Bediening en besturing faalt

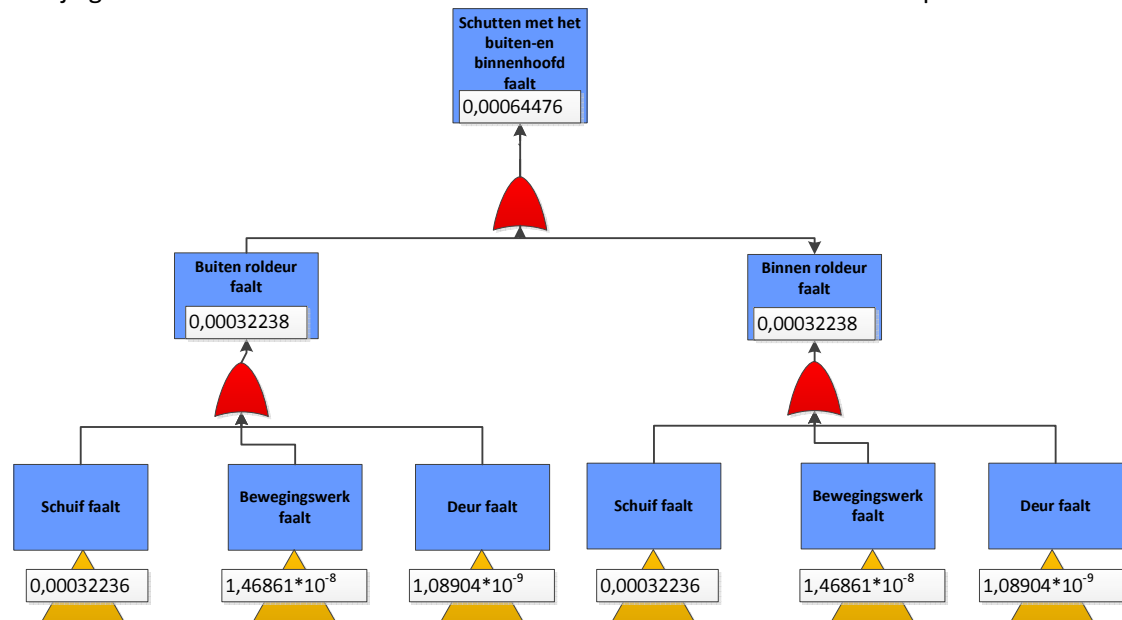
De kans op het verstoren van het schutten door bediening en besturing die faalt is: 0,000110276

17.3.4.4 Energievoorziening faalt

Onder het falen van de energievoorziening worden gerekend het wegvallen van de energiebron, het falen van de hoogspanningsinstallatie en het falen van de laagspanningsinstallatie. Dit is voor de gekromde roldeur gelijk aan dat voor de sectordeuren. De kans op falen van de energievoorziening is: 0,00671484.

17.3.4.5 Schutten met het buiten-en binnenhoofd faalt

In bijlage 14 is deze faalkans voor het schutten met binnen- en buitenhoofd bepaald.



Figuur 91 Foutenboom schutten met het buiten-en binnenhoofd

17.3.4.6 Faalkans technisch falen

De uiteindelijke kans op technisch falen is de som van de 5 bovengenoemde categorieën. Deze kans is: $0,00064476 + 0,00671484 + 0,000110576 + 0,00274925 + 1,17 \cdot 10^{-5} = 0,0102311$

17.3.5 Beschikbaarheid schutproces

De uiteindelijke waarde van de beschikbaarheid van het schutproces is de som van de onderstaande 4 onderdelen:

- Technisch falen (0,0102311)
- Gepland onderhoud (0,002739726)
- Externe gebeurtenissen (0,00114672)
- Natuurlijke randvoorwaarden (0,000626322)

Totale niet-beschikbaarheid: 0,0147439

17.4 Conclusie

De niet-beschikbaarheid is 1,45% van de tijd, dit is onder de gestelde eis van 2%. Waarbij aan de gestelde eis is voldaan. De niet-beschikbaarheid wordt voornamelijk bepaald door de energievoorziening en de communicatie die faalt.

18 Kosten

De kosten zijn alleen bepaald voor de deur en het bewegingswerk omdat daar in het ontwerp ook specifiek op gericht is. Hiervoor is gekozen zodat de gedetailleerdheid van de kosten ook ongeveer gelijk is voor alle begrootte onderdelen.

18.1 Stichtingskosten

Bij het bepalen van de stichtingskosten is het prijzenboek van DHV aangehouden, daarnaast zijn de kosten van referentieproject [11] bekeken.

18.1.1 Sluisdeuren

Onder de stichtingskosten van de sluisdeuren wordt verstaan het leveren en aanbrengen van de 4 sluisdeuren. Twee sluisdeuren worden aangebracht in de sluiscolk zelf en 2 reserve deuren worden aangebracht in het reservedok. De kostenbepaling is weergegeven in bijlage 15.

De totale bouwkosten en montagekosten van de 4 deuren inclusief aanslagen en schuiven komt neer op ongeveer € 83.043.000.

18.1.2 Bewegingswerk en geleiding

Onder het bewegingswerk en de geleiding worden de leveringskosten en montagekosten verstaan van de rolwagen, rails, geleiding en aandrijving. De kosten voor reserveonderdelen zijn ook meegenomen in de bepaling van het aantal stuks. Ook deze kostenbepaling is weergegeven in bijlage 15.

De totale levering- en montagekosten van het bewegingswerk en de geleiding komt neer op ongeveer € 31.806.000.

18.2 Onderhoud

Bij het bepalen van de onderhoudskosten is het prijzenboek van DHV aangehouden. Bij het onderhoud wordt alleen gekeken naar het onderhoud van de sluisdeuren zelf. De onderdelen die in de kosten daarbij zijn opgenomen zijn wisselen van de deuren en onderhoud van de deuren in het dok. De onderhoudskosten worden bekeken voor een levensduur van 100 jaar. De kostenbepaling is weergegeven in bijlage 16.

Voor de deurwisselingskosten worden dezelfde waarden aangehouden als van ref [11]. De deuren worden elk jaar verwisselend met de reservedeuren, de totale kosten hiervoor in 100 jaar zijn € 35.174.000.

De onderhoudskosten in het dok over een periode van 100 jaar zullen ongeveer € 144.592.000 bedragen. Hierin is het onderhoud van de rolwagen en rails ook meegenomen.

19 Vergelijking van gekromde roldeur met 'standaard' sluisdeur ontwerpen

In deze paragraaf wordt het ontwerp van de gekromde roldeur vergeleken met een puntdeur, een rechte roldeur en een sectordeur voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden. De rechte roldeur [13] en puntdeur [12] hebben een sluiskolk breedte van 70m en de sectordeur [11] van 65m. Deze ontwerpen en kostenramingen zijn gedaan door DHV samen met IV-infra. De 4 sluisontwerpen zijn in dit hoofdstuk met elkaar vergeleken op de sluisdeur, het sluishoofd, het bewegingswerk en de kosten.

19.1 Sluisdeur

Om de hoeveelheid constructiestaal in de sluisdeuren te vergelijken wordt naar het gewicht van de constructie gekeken. Het gewicht van de gekromde roldeur komt op 4600 ton. In Tabel 23 is dit gewicht vergeleken met de 3 andere sluisdeuren rechte roldeur, sectordeur en puntdeur. Hieruit blijkt dat de rechte roldeur en de puntdeuren lichter zijn. Dat het gewicht van de rechte roldeur lager is, is niet verwonderlijk aangezien de deur korter is en gunstiger wordt belast. De puntdeuren zullen dubbel moeten worden uitgevoerd om tweezijdig te kunnen keren waardoor het totaal gewicht van de deuren in één sluishoofd op $1550 \times 4 = 6200$ ton komt. Dit is veel zwaarder dan de enkele gekromde roldeur.

De sectordeuren zijn bij een sluiskolkbreedte van 65m even zwaar als de gekromde roldeur. Sectordeuren met een gelijke overspanning zullen dus naar alle waarschijnlijkheid zwaarder zijn dan de gekromde roldeur.

Tabel 23 Gewichtsvergelijking gekromde roldeur met 3 andere sluisdeuren

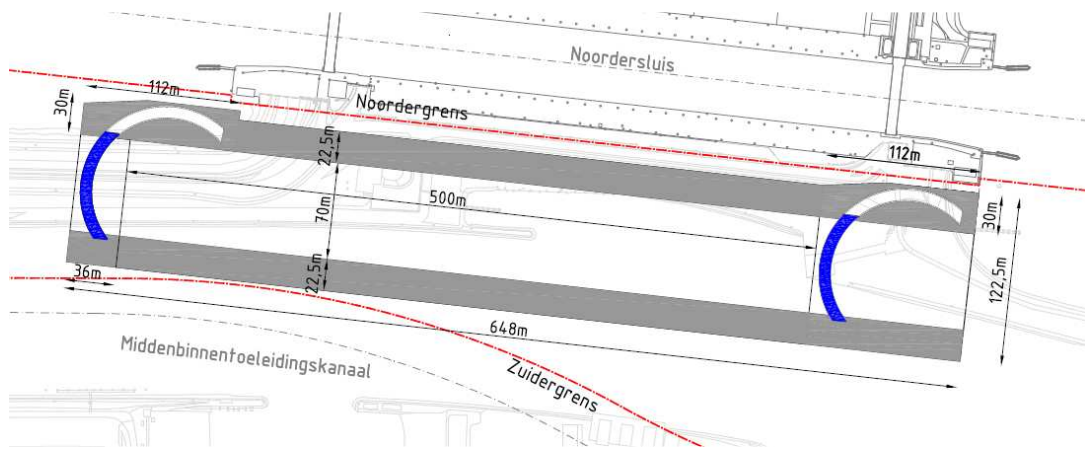
	Gekromde roldeur (70m)	Rechte roldeur (70m)	Sectordeur (65m)	Puntdeur (70m)
Gewicht	4600 ton	3900 ton	2300 ton * 2	1550 ton * 2

Validatie aan de hand van het gewicht van de rechte roldeur

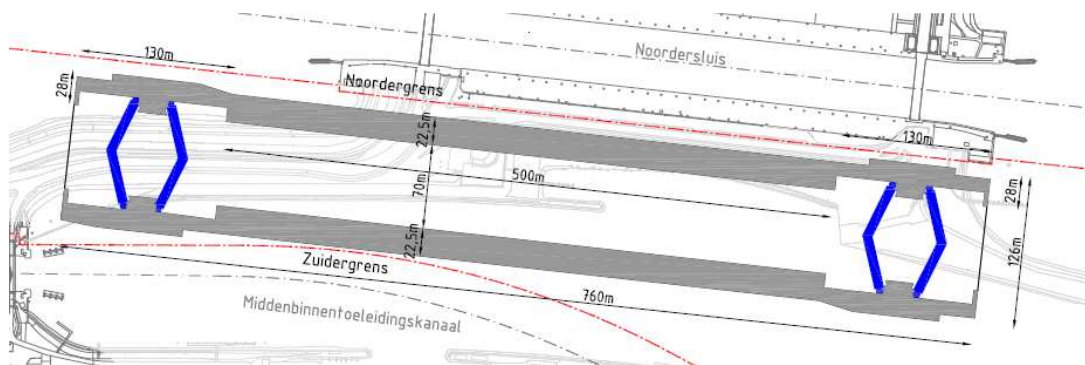
De rechte roldeur heeft een lengte van 73m, de gekromde roldeur een lengte van 84m. Er zal, als er alleen naar lengte gekeken wordt, een gewicht verwacht worden van ongeveer $0,87 \times G$ (gekromde roldeur) = $0,87 \times 4600 = 4000$ ton. Aangezien de rechte roldeur wat gunstiger krachtsafdracht heeft, zal de rechte roldeur nog wat lichter zijn dan de 4000 ton. Het gewicht van de rechte roldeur is 3900 ton, dit gewicht voldoet aan de verwachting als vergeleken wordt met de gekromde roldeur.

19.2 Sluis afmetingen

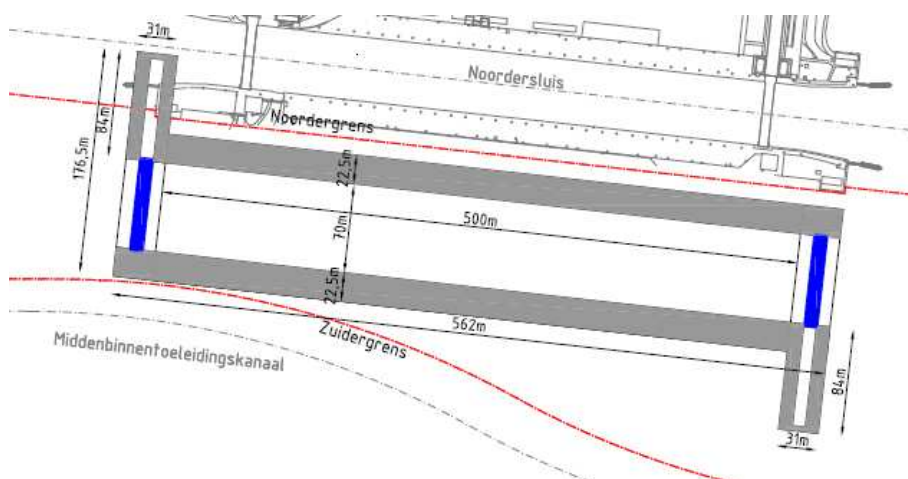
De ruimte die de sluis beslaat wordt voor een groot deel bepaald door het type deur en de daarop aangepaste afmetingen van het sluishoofd. In de Figuur 92-Figuur 95 zijn de afmetingen van de sluiskolken van de 4 ontwerpen weergegeven. Hierin is te zien dat het type deur grote invloed heeft op de breedte en lengte van de sluis. De maten van sluishoofd en van de sluis in zijn totaliteit zijn weergegeven in Tabel 24.



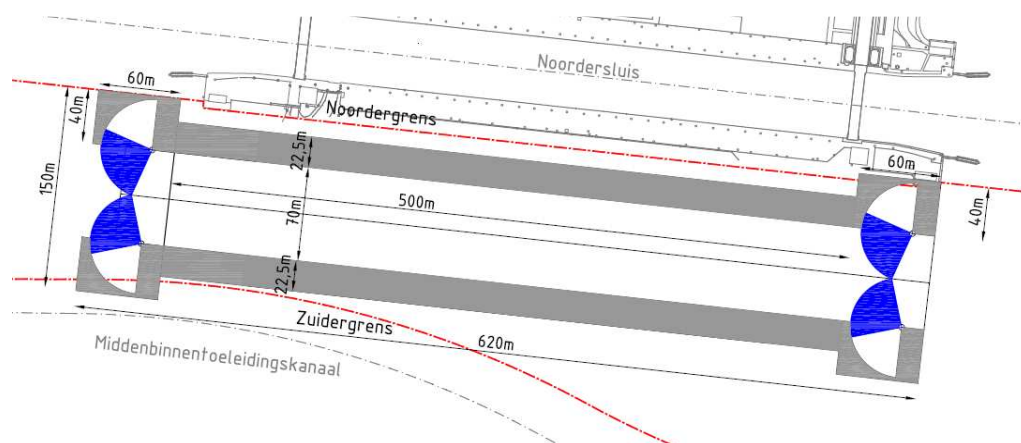
Figuur 92 Ontwerp sluis van 70m breedte met gekromde roldeuren



Figuur 93 Ontwerp sluis van 70m breedte met puntdeuren



Figuur 94 Ontwerp sluis van 70m breedte met rechte roldeuren (niet passend binnen de grenzen)



Figuur 95 Ontwerp sluis van 65m breedte met sectordeuren

De breedte van de sluiscolkwand is 22,5m, de sluiscolkwanden zijn bij alle 4 de varianten gelijk. De breedte van de colkwand wordt voornamelijk bepaald doordat er een 2-baansweg met gescheiden fietspaden over de colkwanden geconstrueerd dient te worden. De minimale breedte van de sluis aan de zuidzijde is dus ook 22,5m. Dit is het geval bij de rechte en gekromde roldeur.

Tabel 24 Afmetingen sluishoofden en totale sluis van 4 sluisdeurtypen

	Gekromde roldeur (70m)	Rechte roldeur (70m)	Sectordeur (65m)	Puntdeur (70m)
Sluishoofd Lengte noord	112m	31m	60m	130m
Sluishoofd Lengte zuid	36m	31m	60m	130m
Sluishoofd Breedte noord	30m	84m	40m	28m
Sluishoofd Breedte zuid	22,5m	22,5m	40m	28m
Totale breedte	122,5m	162m	150m + (15m)²	126m
Totale lengte	648m	562m	620m	760m

De gekromde roldeur en de puntdeur beslaan qua breedte een veel kleiner oppervlak dan de rechte roldeur en de sectordeur. Deze verschillen zijn meer dan 30m, wat neerkomt op 1/4 van de totale breedte van de sluis.

De sluis met gekromde roldeuren is daarnaast een stuk korter dan de sluis met puntdeuren omdat de puntdeuren dubbel zijn uitgevoerd. Daardoor ontstaat er veel verlies van lengte door de draaiing van de puntdeuren. Het verschil in lengte tussen de puntdeuren en gekromde roldeuren is ongeveer 110m.

² De +(15m) is de aanname voor de breedtetoeename in geval van een sectordeur van 70m breedte

19.3 Bewegingswerk

De gekromde roldeur en de sectordeur worden aangedreven door een tandenbaan met tandwiel aangedreven door een elektromechanische aandrijving.

De puntdeuren worden aangedreven door een hydraulische cilinder met elektrohydraulische aandrijving.

Tabel 25 Vermogen aandrijving van 4 sluisdeurtypen

	Gekromde roldeur (70m)	Rechte roldeur (70m)	Sectordeur (65m)	Puntdeur (70m)
Vermogen aandrijving	330kW	Niet bepaald in het ontwerp	200 kW	1800kW

Het te leveren vermogen van de aandrijving van de gekromde roldeur is 330kW. Dat is 1,5x zo groot als de aandrijving van de sectordeur. Aangezien de sectordeur uit 2 deuren bestaat en de sectordeur 5m korter is, zal het totale vermogen van de aandrijving van deze twee sluisdeuren groter zijn.

De puntdeur moet per deur een vermogen leveren van 1800kW om de sluisdeur te sluiten. Dit vermogen is veel groter dan dat van de roldeur en sectordeur. Dat is te verklaren doordat de puntdeur veel meer water moet verplaatsen dan de sectordeur en gekromde roldeuren die meer door het water heen snijden bij openen en sluiten.

19.4 Kostenvergelijking

De stichtings- en onderhoudskosten van de gekromde roldeur zijn vergeleken met de geraamde kosten voor een puntdeur, een rechte roldeur en een sectordeur voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden.

19.4.1 Stichtingskosten

Tabel 26 Vergelijking stichtingskosten sluisdeuren en bewegingswerk

	Gekromde roldeur	Rechte roldeur	Sectordeur	Puntdeur
Sluisdeur	€ 83.043.000	€ 78.000.000	€ 99.748.200	€ 106.357.748
Bewegingswerk	€ 31.806.000	€ 17.600.000	€ 26.350.000	€ 27.740.000

Onder het leveren en aanbrengen van de andere type sluisdeuren en bewegingswerken worden dezelfde onderdelen verstaan als bij de bepaling van de kosten van de gekromde roldeur.

De stichtingskosten van de sluisdeur van de rechte roldeur zijn als enige variant lager dan de kosten van de gekromde roldeur. Dat was ook te verwachten. De sectordeuren en de puntdeuren zijn voornamelijk duurder omdat deze dubbel zijn uitgevoerd en daardoor aanslagen en dergelijke dubbel moeten worden aangeschaft.

Het bewegingswerk van de gekromde roldeur is wat duurder dan de andere varianten, dit komt vooral door de rolwagens en de kraanbaan die al meer dan 40% van de kosten van het bewegingswerk op zich nemen.

19.4.2 Onderhoud

Tabel 27 Vergelijking onderhoudskosten sluisdeuren

	Gekromde roldeur	Rechte roldeur	Sectordeur	Puntdeur
Deurwissel	€ 35.174.000	€ 22.159.091	€ 35.174.000	€ 35.174.000
Onderhoud dok	€ 144.592.000	€ 115.345.000	€ 171.036.000	€ 129.980.000

De deurwisselingskosten zijn voor de gekromde roldeur gelijk aangenomen aan die van de sectordeur en puntdeur. Dit omdat het hierbij vooral gaat om materieel en mankracht en aangenomen is dat het type deur hierbij niet enorm veel uit maakt. De rechte roldeur is hierin wat goedkoper omdat deze lichter en stabiel is dan de andere 3 varianten.

De onderhoudskosten in het dok zijn voor de puntdeur en rechte roldeur lager dan voor de gekromde roldeur. De onderhoudskosten van de sectordeuren zijn hoger. Doordat alle profielen in de sluisdeurconstructie dicht zijn, zijn er geen moeilijk bereikbare conserveringsoppervlaktes. Dit speelt een rol bij de lagere onderhoudskosten van de gekromde roldeur ten opzicht van de sectordeur. Het onderhoud van de rolwagens en rails maken de gekromde roldeurvariant t.o.v. de puntdeur duurder.

20 Conclusie

In dit afstudeerwerk is onderzoek gedaan naar het ontwerp voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden. De beoogde sluiscolkbreedte voor de nieuwe sluis is 70m. Een breedte waarbij normaal besproken rechte roldeuren worden toegepast. Omdat de nieuwe sluis tussen de bestaande sluizen gepositioneerd moet worden is er te weinig ruimte beschikbaar voor de deurkas van een rechte roldeur. Er is daarom een nieuw concept bedacht voor de Nieuwe Zeesluis: de gekromde roldeur, waarbij naast de sluis een stuk minder ruimte noodzakelijk is voor de deurkas.

De doelstelling van dit onderzoek was het aantonen dat de gekromde roldeur voor de Nieuwe Zeesluis, maar ook voor andere locaties waar grote overspanningen moeten worden overbrugd maar ruimte schaars is, een goed alternatief is voor de bestaande sluisdeurvarianten.

Er is een staalconstructie ontworpen voor de deur waarbij enkel dichte profielen zijn toegepast. Door het toepassen van dichte stalen profielen is het conserveringsoppervlak verminderd, waardoor de onderhoudskosten verlaagd zijn. Daarnaast kunnen zijn door het opdrijvende vermogen van de profielen de drijfkisten kleiner worden uitgevoerd.

In hoofdstuk 10 is de sluisdeur getoetst op verscheidene belastingcombinaties in gesloten stand, drijvende positie en tijdens het openen en sluiten. Uit deze toetsing bleek dat de sluisdeur op sterkte en stijfheid in deze situaties voldoet.

Daarnaast is bij het bewegingswerk aangetoond dat bij aandrijving van de gekromde deur geen buitensporig grote krachten op de deur en rails terecht zullen komen. Hierdoor kan een bewegingswerk en kraanbaan worden toegepast die bij bestaande sluisdeurvarianten ook wordt toegepast.

In het globale ontwerp van het sluishoofd is aangetoond dat de reactiekrachten opgenomen kunnen worden met behulp van een inleidingsprofiel. Met behulp van een wegneembare constructie kan de sluisdeur voor onderhoud uitgedreven worden bij het sluishoofd.

Doormiddel van een foutenboomanalyse is aangetoond dat de gekromde roldeur voldoet aan de niet-beschikbaarheidseis van maximaal 2%, de niet-beschikbaarheid is 1,45%.

In hoofdstuk 19 is het ontwerp vergeleken met het ontwerp van een puntdeur, sectordeur en rechte roldeur. Uit deze vergelijking bleek dat de gekromde roldeur qua kosten, afmetingen en bewegingswerk gunstiger is dan de sectordeur en puntdeur. De rechte roldeur is goedkoper, maar voldoet qua breedte van het sluis niet aan de gestelde inpassingseisen voor de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden. Door een vergelijking met de rechte roldeur is de gekromde roldeur gevalideerd. De verschillen in kosten, afmetingen en gewicht tussen de rechte en de gekromde roldeur zijn te verklaren met de verschillen in het ontwerp.

De stichtingskosten voor de sluisdeur en het bewegingswerk samen zijn ongeveer 115 miljoen euro. Dit is lager dan de stichtingskosten van de puntdeuren en sectordeuren met bewegingswerk.

Vooraf in oppervlaktebeslag is de gekromde roldeur een stuk gunstiger dan de puntdeur en de sectordeur. In sluisbreedte scheelt het 40m met de sectordeur, dit is $\frac{1}{4}$ van de totale breedte van de sluis. Terwijl de breedte van de puntdeuren ongeveer gelijk is aan de gekromde roldeurvariant. In sluislengte is de gekromde roldeurvariant 110m korter dan de puntdeuren, dit is $\frac{1}{6}$ van de totale lengte van de sluis.

De gekromde roldeur neemt qua oppervlak weinig ruimte in en is daardoor een goed alternatief voor de rechte roldeur om grote sluiscolkbreedtes te overspanning wanneer weinig ruimte aanwezig is of ruimte erg schaars is.

21 Aanbevelingen

Volledig ontwerp

In dit afstudeerwerk is gefocust op het ontwerp van de sluisdeur en het bewegingswerk. De kosten van deze twee onderdelen van de gekromde roldeur zijn daarom ook vergeleken met het ontwerp van andere sluisdeurtypes. Om zeker te weten dat de sluis met gekromde roldeur in zijn totaliteit goedkoper is zal het totale ontwerp moeten worden vergeleken met de andere sluisdeurtypes.

Onderhoud

De onderhoudskosten zijn nu gereduceerd door het toepassen van dichte profielen waardoor het conserveringsoppervlakte sterk is gereduceerd. Andere methodes waardoor de onderhoudskosten gereduceerd kunnen worden zullen nog verder uitgezocht kunnen moeten worden. Hierbij valt te denken aan het vervangen van staal door kunststof of door het toepassen van kathodische bescherming.

Extra toetsingen

Er is nu één verbinding getoetst op vermoeiing. Meer verbindingen zullen moeten worden getoetst op verschillende faalmechanismen om te kunnen concluderen dat alle verbindingen goed zijn ontworpen.

3D-stabiliteit

De stabiliteit van de deur tijdens drijven is nu alleen bekeken in 2D met een deurbreedte van 8m. Als naar stabiliteit in 3D gekeken wordt, is globaal de breedte groter, maar ligt in sommige doorsneden van de deur het zwaartepunt buiten de doorsnede. Onderzocht zal moeten worden wat de invloed hiervan is op de 3D-stabiliteit van de deur.

Wegneembare constructie

In dit rapport is een oplossing aangedragen voor het ontwerp van de wegneembare constructie in het sluishoofd. Verdere uitwerking van deze wegneembare constructie is aan te raden.

22 Referenties

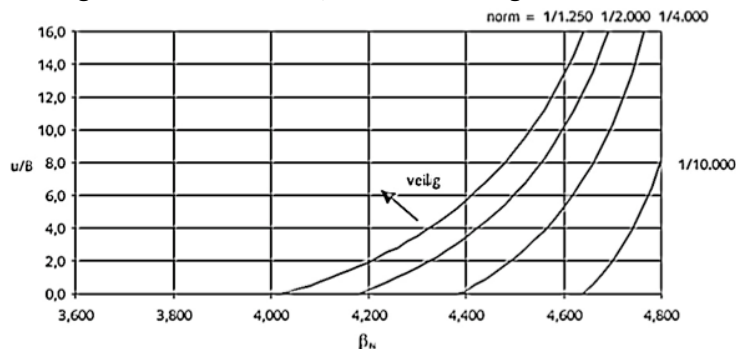
- [1] ING. E.A.M. VAN SCHAIK/A.J.J. KOENE (juni 2003). Zeepoort IJmond Technische contouren
- [2] B.M.I. VAN KORTENHOF (nov. 2011). Voorstudie van het afstudeeronderzoek naar de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden
- [3] B.M.I. VAN KORTENHOF (jan. 2012). Gekromde roldeur varianten
- [4] MARCEL VISSER / CHRISTIAN VREMAN. (sept. 2011). Klant eisen specificatie. Rijkswaterstaat Noord-Holland, WPPoC-20110315-MVI-01
- [5] BOUWDIENST. (juni 2000). Ontwerp van schutsluizen deel 1 en 2. Bouwdienst Rijkswaterstaat. ISBN 90-369-3305-6
- [6] DR.IR.A.VRIJBURCHT (jan. 2003) Hydraulische randvoorwaarden ter plaatse van de Grote Sluis te IJmuiden.
- [7] W.F. MOLENAAR (feb. 2008) Manual Hydraulic Structures CT3330. TU Delft
- [8] K.G. BEZUYEN (april 2007). Inleiding waterbouwkunde. TU Delft
- [9] R.J. DE JONG (28 november 2011). 'Proof of Concept' Nieuwe Zeesluis IJmuiden; Evaluatie van het nivelleersysteem. Deltares
- [10] BEMO RAIL BV (april 2011). Rail techniek producten en diensten.
- [11] DHV/IV-INFRA (dec. 2011) Nieuwe Zeesluis: Ontwerpnota Ontwerpdossier Variant 1 (sectordeur 65m breedte)
- [12] DHV/IV-INFRA (dec. 2011). Nieuwe Zeesluis: Ontwerpnota Ontwerpdossier Variant 2 (puntdeuren 70m breedte)
- [13] DHV/IV-INFRA (feb. 2012). Ontwerpnota Ontwerpdossiers Rechte Roldeur (50m, 60m,65m en 70m breedte)
- [14] R. ABSPOEL/F.S.K. BIJLAARD. (feb. 2010) Stability of steel plate structures CT4121. TU Delft
- [15] INLAND NAVIGATION COMMISSION PIANC (2009). Innovations in navigation lock design. ISBN 9782872231751
- [16] D. VANDERPITTE (1979). Berekening van constructies deel 1, 2 en 3. ISBN: 906439153X

23 Bijlagen

23.1 Bijlage 1: Quasi-statische windgolfbelasting

23.1.1 Belastingfactor Waterdrukverschil

De veiligheid van de factor 1,25 kan worden gecontroleerd met behulp van Figuur 96.



Figuur 96 Veiligheid van de eenvoudige benadering van de belastingfactor 1,25

De normfrequentie van het sluizencomplex IJmuiden is gesteld op 1:10.000 per jaar. Dit is in Figuur 96 de meest rechtse lijn. De formule waarmee de belastingfactor (uitgaande van Gumbel verdeelde hydraulische belasting) kan worden berekend luidt:

$$\gamma_H(\beta_N, f_N, u, B) = \frac{u - B \log(\Phi(\alpha_s \cdot \beta_N) / f_N)}{u - B \log(\text{norm})} \cdot e^{(\alpha_R(\beta_N - 3,6)) \sqrt{\ln(1 + V_R^2)}} =$$

$\beta_N =$ vereiste betrouwbaarheidsindex voor de equivalente referentieperiode, welke minimaal gelijk is aan de volgens de NEN 6700 vereiste waarde van 3,6 [-]

$\Phi(\cdot) =$ verdelingsfunctie voor de standaard normale verdeling (te vinden in ieder statistiek handboek, of te bepalen met bijvoorbeeld de excelfunctie 'STAND.NORM.VERD')

$f_N =$ levensduurfactor [jaar]

$u =$ waterstandsverschil dat met een kans van 0,63 per jaar wordt overschreden

$B =$ decimeringswaarde van het waterstandsverschil, ofwel de toename van het waterstandsverschil bij een factor 10 kleinere overschrijdingskans in het lage frequentiegebied ($f < 0,1$ per jaar)

$\alpha_s =$ invloedsfactor voor onzekerheid van de belasting = -0,7 [-]

$\alpha_R =$ invloedsfactor voor onzekerheid van de sterkte = 0,8 [-]

$V_R =$ variatiecoëfficiënt van de sterkte (zie tabel B4.2) [-]

Met een methode aangegeven in Appendix B4.2 uit [LK] kan een mogelijke verlaging van de belastingfactor 1,25 worden gerealiseerd. Deze methode zal hier worden toegepast.

Als eerste stap moeten de parameters $h_{bu,0,63}$ en B_{bu} worden bepaald van de Gumbel-verdeelde buitenwaterstand h_{bu} . De uitdrukking van deze vergelijking luidt:

$$f(h > h_{bu}) = 1 - e^{-e^{-2,3(h_{bu,0,63})/B_{bu}}}$$

$h_{bu,0,63} =$ Buitenwaterstand die met een kans van 0,63 per jaar wordt overschreden

$B_{bu} =$ decimeringswaarde van de buitenwaterstand, ofwel de toename van het hoogbuitenwater bij een factor

10 kleinere overschrijdingskans in het lage frequentiegebied ($f < 0,1$ per jaar)

De parameters $h_{bu\ 0,63}$ en B_{bu} kunnen worden bepaald als twee extreme waarden van de buitenwaterstand $h_{bu\ 1}$ en $h_{bu\ 2}$, de overschrijdingsfrequenties bekend zijn.

Als de verdelingsfunctie wordt herschreven tot $\ln\{-\ln\{1-f(h > h_{bu})\}\} = -2,3(h_{bu} - h_{bu\ 0,63})/B_{bu}$ dan kunnen door invullen van de beide overschrijdingsfrequenties f_1 en f_2 en bijbehorende hoge waterstanden $h_{bu\ 1}$ en $h_{bu\ 2}$, de $h_{bu\ 0,63}$ en B_{bu} worden opgelost uit twee onbekenden van twee vergelijkingen.

Uit tabel 5 van de Voorstudie [2] zijn de in te vullen waterstanden en frequenties af te lezen:

$h_{bu\ 1} = \text{NAP} + 5,90\text{m}$ en $f_1 = 10^{-5}/\text{jaar}$

$h_{bu\ 2} = \text{NAP} + 6,65\text{m}$ en $f_2 = 10^{-6}/\text{jaar}$

$$\ln\{-\ln\{1-10^{-6}\}\} = -2,3 \cdot (6,65 - h_{bu\ 0,63}) / B_{bu} \rightarrow -13,82 = -2,3 \cdot (6,65 - h_{bu\ 0,63}) / B_{bu}$$

$$\ln\{-\ln\{1-10^{-5}\}\} = -2,3 \cdot (5,90 - h_{bu\ 0,63}) / B_{bu} \rightarrow -11,51 = -2,3 \cdot (5,90 - h_{bu\ 0,63}) / B_{bu}$$

Hieruit volgt B_{bu} is 0,75 m en $h_{bu\ 0,63}$ is 2,15 m. Vervolgens moet de parameter β_N bepaald worden.

$$\beta_N \approx -\Phi^{-1}(\text{faalruimtefactor} \cdot f_N \cdot \text{norm}) = -\Phi^{-1}(0,01 \cdot 10 \cdot 10^{-6}) = 4,3$$

$$\Phi(\alpha_s \cdot \beta_N) = \Phi(-0,7 \cdot 4,3) = \Phi(3,01) = 0,001306$$

De materiaalfactor is 0,1 voor staal en 0,2 voor beton, afkomstig uit [LK]. Invullen van de formule voor de belastingfactor geeft:

$$\gamma_H(\beta_N, f_N, u, B) = \frac{u - B \log(\Phi(\alpha_s \cdot \beta_N) / f_N)}{u - B \log(\text{norm})} \cdot e^{(\alpha_R(\beta_N - 3,6)) \sqrt{\ln(1+V_R^2)}} =$$

$$\frac{2,15 - 0,75 \log(0,001306 / 10)}{2,15 - 0,75 \log(10^{-6})} \cdot e^{(0,8(4,3 - 3,6)) \sqrt{\ln(1+0,2^2)}} = 1,098$$

Hiermee is bewezen dat een lagere belastingfactor bij waterdrukverschil kan worden aangehouden dan de 1,25. Er zal vanaf nu gerekend worden met een belastingfactor van 1,10 voor het waterdrukverschil.

23.2 Bijlage 2: Zwaartepunt bepaling

	Opp [m ²]	Lengte [m]	soortelijke massa (kN/m ³)	aantal	gewicht (kN)	zwaartepunt z t.o.v. bovenkant deur	zw*g
horizontale ligger 1	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	25,6	38799,1
horizontale ligger 2	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	22,4	33949,2
horizontale ligger 3	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	19,2	29099,3
horizontale ligger 4	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	16	24249,4
horizontale ligger 5	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	13	19702,7
horizontale ligger 6	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	9,8	14852,8
horizontale ligger 7	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	6,6	10002,9
horizontale ligger 8	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	3,2	4849,9
horizontale ligger 9	0,1168	84,25	77,01	2	1515,6	0	0,0
vakwerken 1	0,0332	7,25	77,01	19	352,2	25,6	9015,9
vakwerken 2	0,0332	7,25	77,01	19	352,2	6,6	2324,4
vakwerken 3	0,0332	7,25	77,01	19	352,2	3,2	1127,0
vakwerken 4	0,0332	7,25	77,01	19	352,2	0	0,0
huidplaat binnen	0,512	85,2	77,01	1	3359,3	13	43670,8
huidplaat buiten	0,512	83,3	77,01	1	3284,4	13	42697,0
troggen huidplaat	0,0105	25,6	77,01	190	3933,0	13	51128,7
hor. Ligger buitenste 1	0,1168	10	77,01	2	179,9	25,6	4605,2
hor. Ligger buitenste 2	0,1168	10	77,01	2	179,9	22,4	4029,6
hor. Ligger buitenste 3	0,1168	10	77,01	2	179,9	19,2	3453,9
hor. Ligger buitenste 4	0,1168	10	77,01	2	179,9	16	2878,3
hor. Ligger buitenste 5	0,1168	10	77,01	2	179,9	13	2338,6
hor. Ligger buitenste 6	0,1168	10	77,01	2	179,9	9,8	1762,9
hor. Ligger buitenste 7	0,1168	10	77,01	2	179,9	6,6	1187,3
hor. Ligger buitenste 8	0,1168	10	77,01	2	179,9	3,2	575,7
hor. Ligger buitenste 9	0,1168	10	77,01	2	179,9	0	0,0
verticale diagonalen 1	0,009024	8,6	77,01	4	23,9	24	573,7
verticale diagonalen 2	0,009024	8,6	77,01	4	23,9	20,8	497,2
verticale diagonalen 3	0,009024	8,6	77,01	4	23,9	17,6	420,7
verticale diagonalen 4	0,009024	8,6	77,01	4	23,9	8,4	200,8
verticale diagonalen 5	0,009024	8,6	77,01	4	23,9	5,1	121,9
verticale diagonalen 6	0,009024	8,6	77,01	4	23,9	1,7	40,6
kolommen	0,0332	25,6	77,01	16	1047,2	12,8	13404,4
diagonalen	0,0332	5,12	77,01	128	1675,5	13	21782,1
vert. krachtsinleiding	0,0325	7,88	77,01	8	157,8	24	3786,6
oplegprofiel	0,1056	8	77,01	2	130,1	25,6	3330,9

<i>drijfkist:</i>							
plaat hor 1	0,096	84,25	77,01	1	622,8	16	9965,5
plaat hor 2	0,096	84,25	77,01	1	622,8	13	8097,0
plaat hor 3	0,096	84,25	77,01	1	622,8	9,8	6103,9
plaat lengte schot	0,072	84,25	77,01	1	467,1	13	6072,7
troggen plaat hor 1	0,0192	6	77,01	99	878,3	16	14052,3
troggen plaat hor 2	0,0192	6	77,01	99	878,3	13	11417,5
troggen plaat hor 3	0,0192	6	77,01	99	878,3	9,8	8607,0
verticale schotten platen	0,072	8	77,01	21	931,5	13	12109,4
verticale schotten troggen	0,0172	6	77,01	126	1001,4	13	13017,6
<i>nivellering:</i>							
plaat hor 1	0,16	4,2	77,01	9	465,7	19,2	8942,4
plaat hor 2	0,16	4,2	77,01	9	465,7	22,4	10432,7
troggen plaat hor 1	0,0192	6	77,01	99	878,3	19,2	16862,7
troggen plaat hor 2	0,0192	6	77,01	99	878,3	22,4	19673,2
zijkant	0,064	8	77,01	18	709,7	20,8	14762,0
schuiven	0,14	5,4	77,01	7	407,5	20,8	8476,6
verstijvingen	0,0387	3,2	77,01	10	95,4	20,8	1983,6
Uprofiel	0,00915	6,4	77,01	14	63,1	19,2	1212,2
				totaal gewicht:	45125,8	totaal:	562247,8
						z-coördinaat:	13,6m

23.3 Bijlage 3: Effectieve breedte

23.3.1 Effectieve breedte bij globale spanningen door trogbuiging

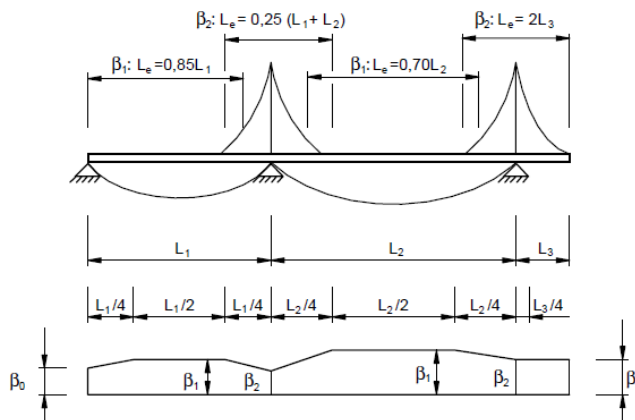
De effectieve breedte is bepaald volgens paragraaf 3.2 uit [EC3 deel 5].

De lengte van de trog L_{trog} is 3200mm, de hoh-afstand van de horizontale liggers. De hoh-afstand van de troggen is $\text{hoh}_{\text{tr}} = 850\text{mm}$.

Uit Figuur 97 zijn de effectieve lengtes van de verstijvers af te lezen.

$$L_{e;\text{sag}} = 0,7 \cdot L_{\text{verst}} = 2240\text{mm}$$

$$L_{e;\text{hog}} = 0,25 \cdot (2 \cdot L_{\text{verst}}) = 1600\text{mm}$$



Figuur 97 Effectieve lengte voor doorgaande liggers

Er bevinden zich geen verstijvers in de meewerkende breedte dus α_0 uit Tabel 28 is nul.

Tabel 28 Effectieve breedte factor beta

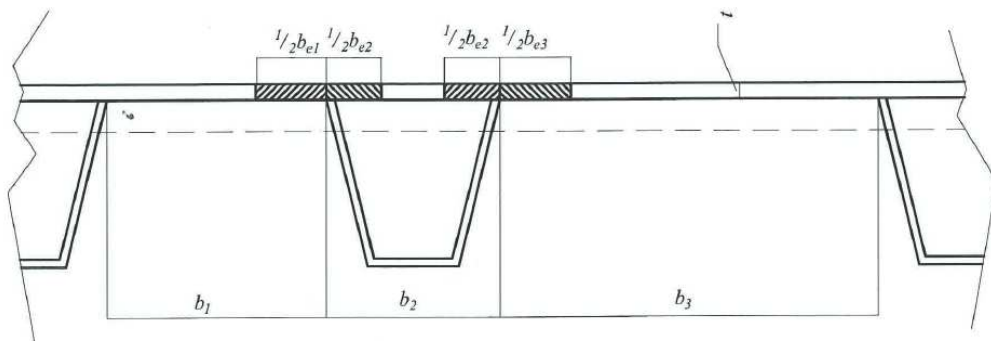
κ	verification	β - value
$\kappa \leq 0,02$		$\beta = 1,0$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	sagging bending	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \kappa^2}$
	hogging bending	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \left(\kappa - \frac{1}{2500 \kappa} \right) + 1,6 \kappa^2}$
$> 0,70$	sagging bending	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9 \kappa}$
	hogging bending	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6 \kappa}$
all κ	end support	$\beta_0 = (0,55 + 0,025 / \kappa) \beta_1$, but $\beta_0 < \beta_1$
all κ	cantilever	$\beta = \beta_2$ at support and at the end
$\kappa = \alpha_0 b_0 / L_e$ with $\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{st}}{b_0 t}}$ in which A_{st} is the area of all longitudinal stiffeners within the width b_0 and other symbols are as defined in Figure 3.1 and Figure 3.2.		

$$\kappa_{sag} = \frac{b_{verst}}{L_{e;sag}} = 0,3795 \text{ en } \kappa_{hog} = \frac{b_{verst}}{L_{e;hog}} = 0,5313.$$

$$0,02 \leq \kappa_{sag} \leq 0,7 \text{ dus } \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{sag}^2} = 0,5204 \text{ en}$$

$$0,02 \leq \kappa_{hog} \leq 0,7 \text{ dus } \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \cdot \left(\kappa_{hog} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{hog}} \right) + 1,6 \cdot \kappa_{hog}^2} = 0,2158$$

De effectieve breedte van de huidplaat boven op de troggen wordt bepaald doormiddel van Figuur 98.



Figuur 98 Effectieve breedte bepaling bij trogverstijvers, uit [14]

Steunpuntsmoment moment

$$\text{Effectieve breedte plaat 1: } b_{plh1} = \beta_2 \cdot 0,5 \cdot b_1 = 0,22 \cdot 0,5 \cdot 500 = 53,9 \text{ mm}$$

$$\text{Effectieve breedte plaat 2: } b_{plh2} = \beta_2 \cdot 0,5 \cdot b_2 = 0,22 \cdot 0,5 \cdot 350 = 38,5 \text{ mm}$$

$$\text{Effectieve breedte plaat totaal: } b_{plh} = 2 \cdot (53,9 + 38,5) = 183,4 \text{ mm}$$

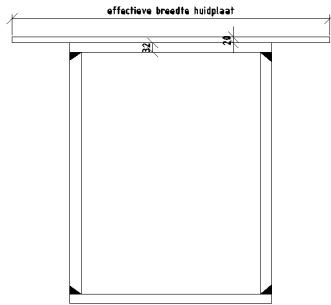
Veldmoment moment

$$\text{Effectieve breedte plaat 1: } b_{pls1} = \beta_1 \cdot 0,5 \cdot b_1 = 0,52 \cdot 0,5 \cdot 500 = 130,1 \text{ mm}$$

$$\text{Effectieve breedte plaat 2: } b_{pls2} = \beta_1 \cdot 0,5 \cdot b_2 = 0,52 \cdot 0,5 \cdot 350 = 91,1 \text{ mm}$$

$$\text{Effectieve breedte plaat totaal: } b_{plh} = 2 \cdot (130,1 + 91,1) = 442,3 \text{ mm}$$

23.3.2 Effectieve breedte bij globale spanningen door liggerbuiging



Figuur 99 Effectieve breedte horizontale ligger

De overspanningen van de horizontale ligger zijn 4920mm lang, de hoh-afstand van de horizontale liggers is 3200mm.

Uit Figuur 97 zijn de effectieve lengtes van de verstijvers af te lezen.

$$L_{e;sag} = 0,85 \cdot L_{hor} = 4182mm$$

$$L_{e;hog} = 0,25 \cdot (2 \cdot L_{verst}) = 2460mm$$

Er bevinden zich geen verstijvers in de meewerkende breedte dus α_0 uit Tabel 28 is nul.

$$\kappa_{sag} = \frac{hoh_{hor}}{L_{e;sag}} = 0,765 \text{ en } \kappa_{hog} = \frac{hoh_{hor}}{L_{e;hog}} = 1,301.$$

$$\kappa_{sag} \geq 0,7 \text{ dus } \beta_1 = \frac{1}{5,9 \cdot \kappa_{sag}} = 0,222 \text{ en}$$

$$\kappa_{hog} \geq 0,7 \text{ dus } \beta_2 = \frac{1}{8,6 \cdot \kappa_{hog}} = 0,089$$

De horizontale ligger bestaat uit een kokerprofiel en heeft dus aan beide kanten van de ligger een effectieve plaat. Daarnaast is de gehele plaat boven het kokerprofiel effectief.

Steunpuntsmoment

Effectieve breedte plaat 1: $b_{plh1} = b_{hor} = 700mm$

Effectieve breedte plaat 2: $b_{plh2} = 0,5 \cdot \beta_2 \cdot b_1 = 0,5 \cdot 0,089 \cdot (3200 - 700) = 111,25mm$

Effectieve breedte plaat totaal: $b_{plh} = 2 \cdot 111,25 + 700 = 922,5mm$

Veldmoment moment

Effectieve breedte plaat 1: $b_{pls1} = b_{hor} = 700mm$

Effectieve breedte plaat 2: $b_{pls2} = 0,5 \cdot \beta_1 \cdot b_1 = 0,5 \cdot 0,222 \cdot (3200 - 700) = 277,5mm$

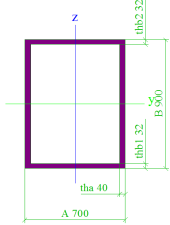
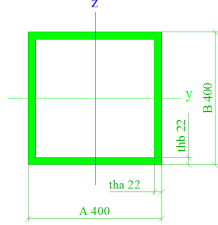
Effectieve breedte plaat totaal: $b_{plh} = 2 \cdot 277,5 + 700 = 1255mm$

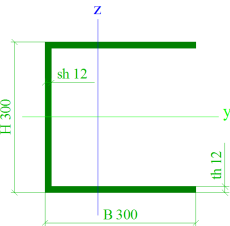
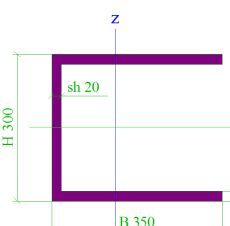
23.4 Bijlage 4: Modelling Scia-Engineer profielen en belastinggevallen

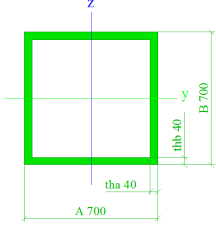
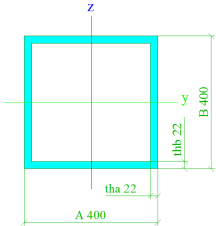
23.4.1 Inleiding

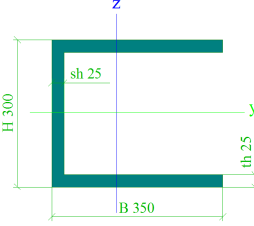
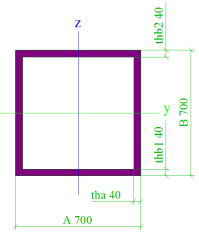
In dit document worden de profielen en belastingcombinaties uit het model getoond.

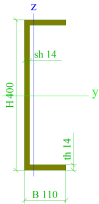
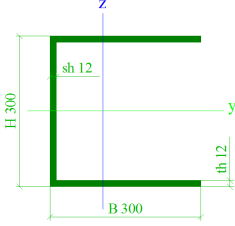
23.4.2 Doorsneden

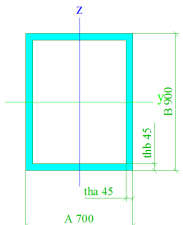
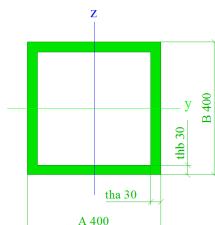
Naam	Horizontale ligger	
Type	O asymmetrisch	
Uitgebreid	700; 40; 900; 32; 32	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	B	
Afbeelding		
A [m ²]	1,1168e-01	
A y, z [m ²]	4,8860e-02	6,2820e-02
I y, z [m ⁴]	1,2337e-02	9,1215e-03
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,4851e-02
Wel y, z [m ³]	2,7416e-02	2,6061e-02
Wpl y, z [m ³]	3,3421e-02	2,9910e-02
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-310	418
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	3,2000e+00	
Naam	Horizontaal vakwerken	
Type	O	
Uitgebreid	400; 22; 400; 22	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	3,3264e-02	
A y, z [m ²]	1,6632e-02	1,6632e-02
I y, z [m ⁴]	7,9483e-04	7,9483e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,1229e-03

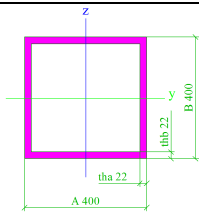
Wel y, z [m ³]	3,9742e-03	3,9742e-03
Wpl y, z [m ³]	4,7205e-03	4,7205e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-178	178
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,6000e+00	
Naam	Troggen huidplaat	
Type	U g	
Uitgebreid	300; 300; 12; 12	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	1,0512e-02	
A y, z [m ²]	1,0512e-02	1,0512e-02
I y, z [m ⁴]	1,7041e-04	1,0108e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,5407e-06
Wel y, z [m ³]	1,1361e-03	5,1737e-04
Wpl y, z [m ³]	1,2653e-03	9,0117e-04
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	105	150
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,7760e+00	
Naam	Troggen luchtkist	
Type	U g	
Uitgebreid	300; 350; 20; 20	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	1,9200e-02	
A y, z [m ²]	1,9200e-02	1,9200e-02
I y, z [m ⁴]	3,0416e-04	2,4632e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	8,6803e-06
Wel y, z [m ³]	2,0277e-03	1,1212e-03
Wpl y, z [m ³]	2,2980e-03	1,9130e-03

d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	130	150
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,9600e+00	
Naam	vert diagonalen	
Type	O	
Uitgebreid	700; 40; 700; 40	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	1,0560e-01	
A y, z [m ²]	5,2800e-02	5,2800e-02
I y, z [m ⁴]	7,6947e-03	7,6947e-03
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,0843e-02
Wel y, z [m ³]	2,1985e-02	2,1985e-02
Wpl y, z [m ³]	2,6168e-02	2,6168e-02
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-310	310
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	2,8000e+00	
Naam	kolom	
Type	O	
Uitgebreid	400; 22; 400; 22	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	3,3264e-02	
A y, z [m ²]	1,6632e-02	1,6632e-02
I y, z [m ⁴]	7,9483e-04	7,9483e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,1229e-03
Wel y, z [m ³]	3,9742e-03	3,9742e-03
Wpl y, z [m ³]	4,7205e-03	4,7205e-03
d y, z [mm]	0	0

c YLCS, ZLCS [mm]	-178	178
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,6000e+00	
Naam	verstijfde trog	
Type	U g	
Uitgebreid	300; 350; 25; 25	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	2,3750e-02	
A y, z [m ²]	2,3750e-02	2,3750e-02
I y, z [m ⁴]	3,6432e-04	3,0058e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,6841e-05
Wel y, z [m ³]	2,4288e-03	1,3803e-03
Wpl y, z [m ³]	2,7969e-03	2,3561e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	132	150
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,9500e+00	
Naam	vakwerk oplegging	
Type	O asymmetrisch	
Uitgebreid	700; 40; 700; 40; 40	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	1,0560e-01	
A y, z [m ²]	5,2800e-02	5,2800e-02
I y, z [m ⁴]	7,6947e-03	7,6947e-03
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,0843e-02
Wel y, z [m ³]	2,1985e-02	2,1985e-02
Wpl y, z [m ³]	2,6168e-02	2,6168e-02
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-310	310
alpha [deg]	0,00	

AL [m ² /m]	2,8000e+00	
Naam	Nivelleerschuihverst.	
Type	U g	
Uitgebreid	400; 110; 14; 14	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	8,2880e-03	
A y, z [m ²]	8,2880e-03	8,2880e-03
I y, z [m ⁴]	1,7484e-04	7,6499e-06
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	6,7405e-07
Wel y, z [m ³]	8,7418e-04	8,9828e-05
Wpl y, z [m ³]	1,0788e-03	1,6238e-04
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	25	200
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,2120e+00	
Naam	Troggen schuiven	
Type	U g	
Uitgebreid	300; 300; 12; 12	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	1,0512e-02	
A y, z [m ²]	1,0512e-02	1,0512e-02
I y, z [m ⁴]	1,7041e-04	1,0108e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,5407e-06
Wel y, z [m ³]	1,1361e-03	5,1737e-04
Wpl y, z [m ³]	1,2653e-03	9,0117e-04
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	105	150
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,7760e+00	
Naam	verstijfde horligger	
Type	O	
Uitgebreid	700; 45; 900; 45	

Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	1,3590e-01	
A y, z [m ²]	5,9456e-02	7,6444e-02
I y, z [m ⁴]	1,5510e-02	1,0404e-02
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,7642e-02
Wel y, z [m ³]	3,4467e-02	2,9725e-02
Wpl y, z [m ³]	4,1695e-02	3,4900e-02
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-305	405
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	3,2000e+00	
Naam	verstijfd vakwerk	
Type	O	
Uitgebreed	400; 30; 400; 30	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	
Afbeelding		
A [m ²]	4,4400e-02	
A y, z [m ²]	2,2200e-02	2,2200e-02
I y, z [m ⁴]	1,0197e-03	1,0197e-03
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,4056e-03
Wel y, z [m ³]	5,0986e-03	5,0986e-03
Wpl y, z [m ³]	6,1740e-03	6,1740e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-170	170
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,6000e+00	
Naam	verticale diag	
Type	O	
Uitgebreed	400; 22; 400; 22	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	Algemeen	
Knik y-y, z-z	b	

Afbeelding		
A [m ²]	3,3264e-02	
A y, z [m ²]	1,6632e-02	1,6632e-02
I y, z [m ⁴]	7,9483e-04	7,9483e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	1,1229e-03
Wel y, z [m ³]	3,9742e-03	3,9742e-03
Wpl y, z [m ³]	4,7205e-03	4,7205e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	-178	178
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,6000e+00	

23.4.3 Materialen

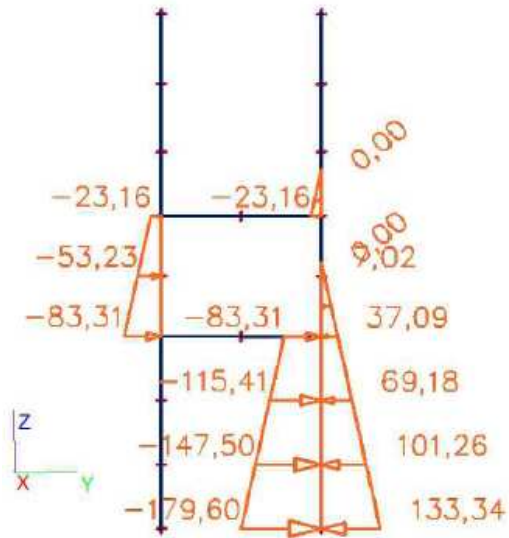
Naam	Type	Massa eenheid [kg/mm ³]	E-mod [MPa]	Poisson - nu	G-mod [MPa]
S 355	Staal	0,00	2,1000e+05	0,3	8,0769e+04

23.4.4 Belastinggevallen

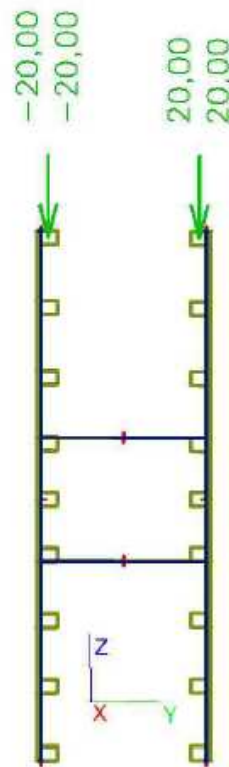
Naam	Omschrijving	Lastgroep	Belastingtype	Richting
EG	EG	LG1	Eigen gewicht	-Z
EG schuif	EG	LG1	Standaard	
Positief verval	maximaal verval	LG1	Standaard	
Windgolf	pos. verval	LG1	Standaard	
Opwaartse kracht		LG1	Standaard	
Negatief verval	verval	LG1	Standaard	
Schutbelasting	max. verval	LG1	Standaard	
Verkeer	gelijkmatig	LG1	Standaard	
Aanhangend gewicht	gewicht	LG1	Standaard	
Ijsbelasting	ijs	LG1	Standaard	
Drijfbelasting	luchtkist	LG1	Standaard	
Aanvaarbelasting	v=1m/s	LG1	Standaard	
Aanvaarbelasting	v=0,75m/s	LG1	Standaard	
Aanvaarbelasting	v=0.5m/s	LG1	Standaard	
Vermoeiing	neg. verval	LG1	Standaard	
Vermoeiing	pos. verval	LG1	Standaard	

23.4.5 Gemodelleerde belasting

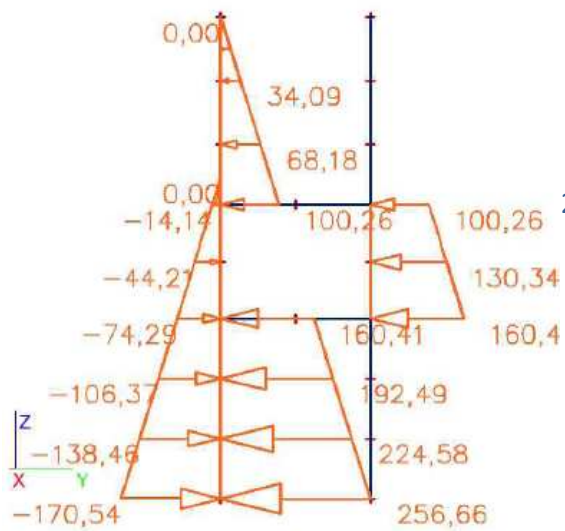
23.4.5.1 Negatief verval



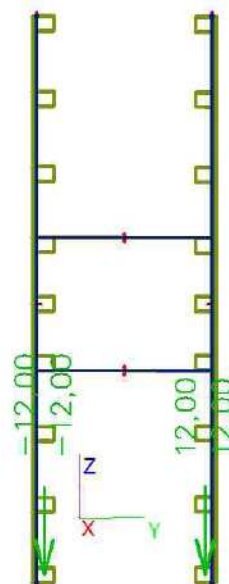
23.4.5.3 Verkeerbelasting gelijkmatig



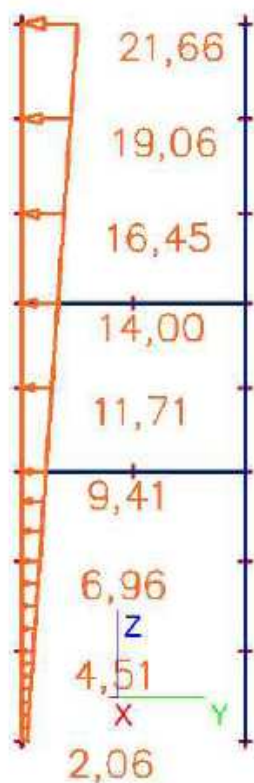
23.4.5.2 Positief verval



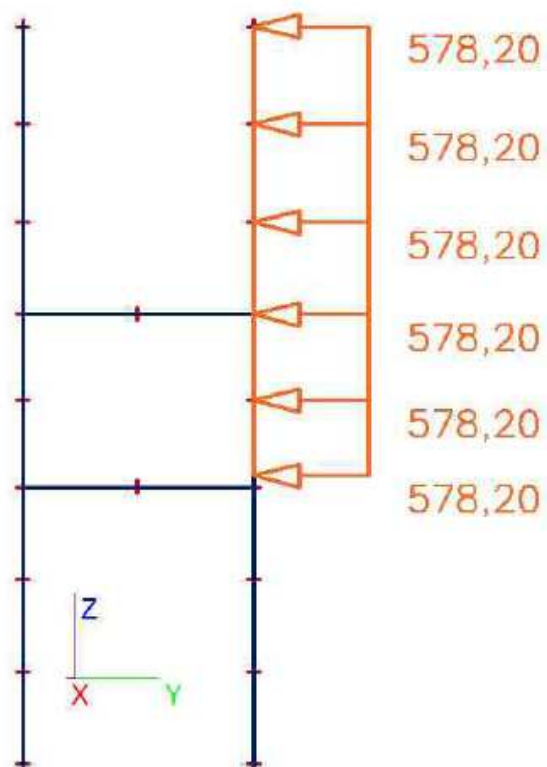
23.4.5.4 Aanhangend gewicht



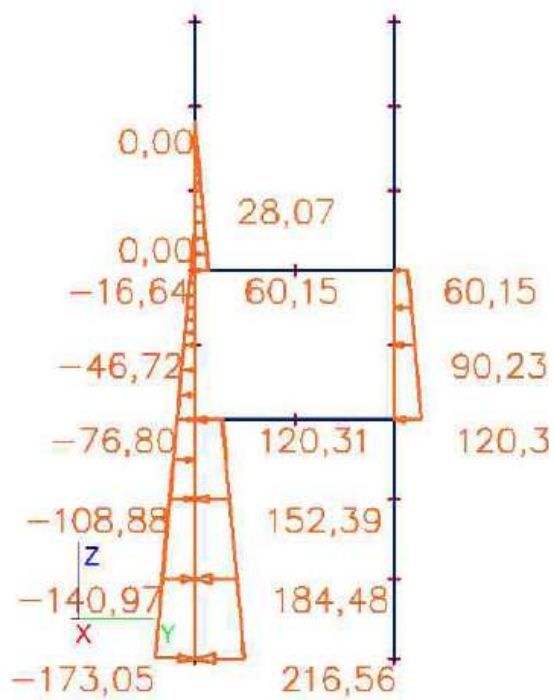
23.4.5.5 Windgolfbelasting



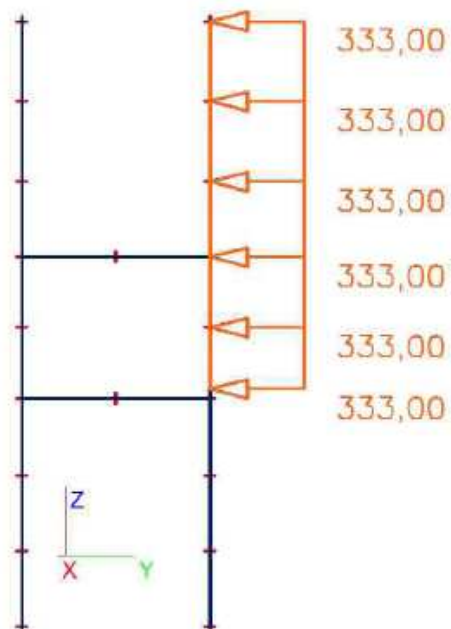
23.4.5.7 Aanvaarbeasting $v=1\text{m/s}$



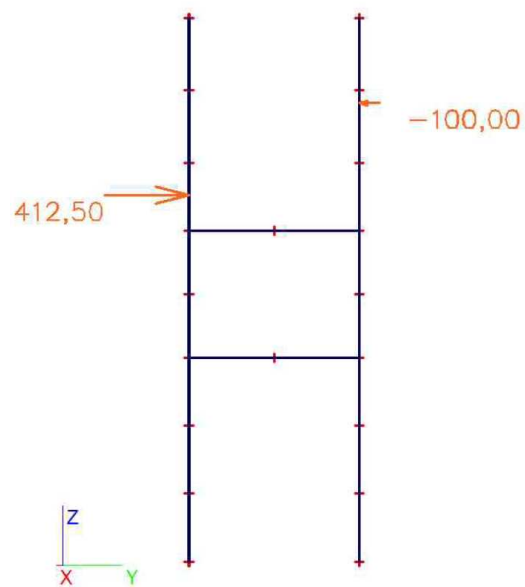
23.4.5.6 Schutbelasting



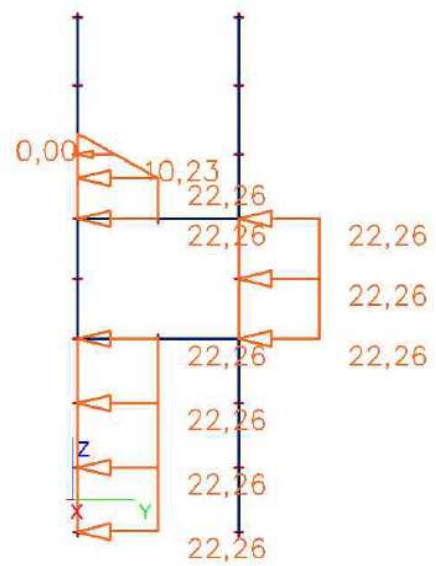
23.4.5.8 Aanvaarbeasting $v=0,5\text{m/s}$



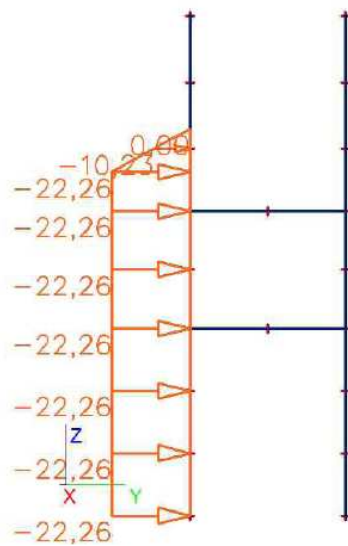
23.4.5.9 IJbelasting



23.4.5.11 Vermoeiings belasting positief verval



23.4.5.10 Vermoeiings belasting negatief verval



23.4.6 Niet-lineaire combinaties

Naam	Omschrijving	Type	Belastinggevallen	Coëff. [-]
BC1	Max. positief verval	Uiterste Grenstoestand	EG - EG positief - maximaal verval windgolf - pos. verval Opwaartse kracht aanhang - gewicht EG schuif	1,20 1,10 1,25 0,90 1,20 1,20
BC2	Max. negatief verval	Uiterste Grenstoestand	EG - EG Opwaartse kracht negatief - verval aanhangend - gewicht EG schuif	1,20 0,90 1,10 1,20 1,20
BC3	Schutbelasting	Uiterste Grenstoestand	EG - EG Opwaartse kracht schutbelasting - max. verval verkeer - gelijkmatig aanhangend - gewicht EG schuif	1,20 0,90 1,25 1,50 1,20 1,20
BC4	Ijsbelasting	Uiterste Grenstoestand	EG - EG Opwaartse kracht schutbelasting - max. verval aanhangend - gewicht ijsbelasting - ijs EG schuif	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
BC5a	Aanvaarbelasting v=1,0m/s	Uiterste Grenstoestand	EG - EG Opwaartse kracht schutbelasting - max. verval aanhangend - gewicht aanvaarbelasting - v=1m/s EG schuif	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
BC5b	Aanvaarbelasting v=0,75m/s	Uiterste Grenstoestand	EG - EG Opwaartse kracht schutbelasting - max. verval aanhangend - gewicht Aanvaarbelast.-v=0,75m/s EG schuif	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
BC5c	Aanvaarbelasting v=0,5m/s	Uiterste Grenstoestand	EG - EG Opwaartse kracht schutbelasting - max. verval aanhangend - gewicht Aanvaarbelasting- v=0,5m/s EG schuif	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
BC6	Vermoeiingsbelasting neg. verval	Uiterste Grenstoestand	vermoeiing - neg. verval	1,25
BC7	Vermoeiingsbelasting pos. verval	Uiterste Grenstoestand	vermoeiing - pos. verval	1,25
BC8	Pos verval BGT	Bruikbaarheidsgrenstoestand	EG - EG positief - maximaal verval windgolf - pos. verval Opwaartse kracht Aanhangend - gewicht EG schuif	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
BC9	Negatief BGT	Bruikbaarheidsgrenstoestand	EG - EG Opwaartse kracht negatief - verval aanhangend - gewicht EG schuif	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
BC10	Schut BGT	Bruikbaarheidsgrenstoestand	EG - EG Opwaartse kracht schutbelasting - max. verval verkeer - gelijkmatig	1,00 1,00 1,00 1,00

			aanhangend - gewicht	1,00
			EG schuif	1,00
BC11	Openen/sluiten	Uiterste Grenstoestand	EG – EG	1,20
			Opwaartse kracht	0,90
			EG schuif	1,20
			Horizontale belasting	1,50
BC12	Niet sluiten	Uiterste Grenstoestand	EG – EG	1,00
			Opwaartse kracht	1,00
			EG schuif	1,00
			Horizontale belasting	1,00
			Niet-sluit belasting	1,00
BC13	Opdrijvend	Uiterste Grenstoestand	EG – EG	0,90
			Opwaartse kracht	1,25
			EG schuif	0,90
			Drijfkistbelasting	1,25

23.5 Bijlage 5: Modelling Scia-Engineer resultaten model 1

23.5.1 Belasting Combinatie 1 (maximaal positief verval)

23.5.1.1 Reactiekrachten BC1

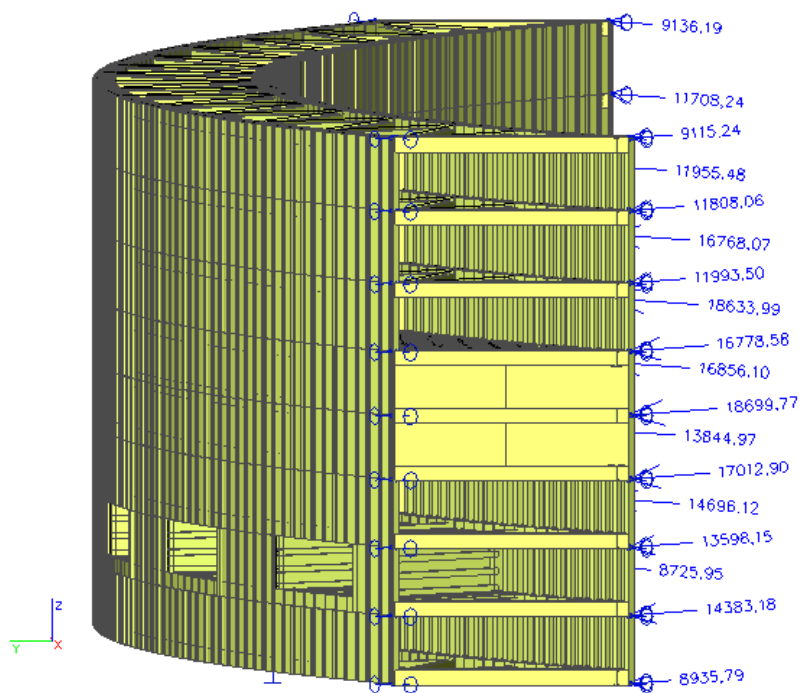
Niet-lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : Alle

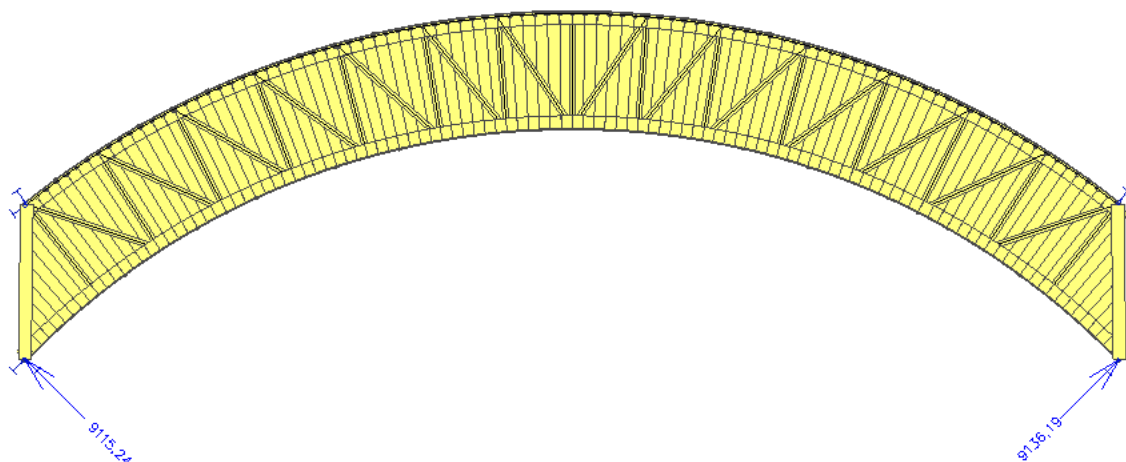
Niet-lineaire combinaties : BC1

Schuine steunpunten

Steunpunt	BG	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sn1/K2332	BC1	0,00	8935,79	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn2/K2333	BC1	0,00	14383,18	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn3/K2334	BC1	0,00	13598,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn4/K2335	BC1	0,00	17012,90	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn5/K2336	BC1	0,00	18699,77	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn6/K2337	BC1	0,00	16778,58	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn7/K2338	BC1	0,00	11993,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn8/K2339	BC1	0,00	11808,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn9/K2340	BC1	0,00	9115,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn20/K4425	BC1	0,00	8725,95	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn21/K4426	BC1	0,00	14696,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn22/K4427	BC1	0,00	13844,97	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn23/K4428	BC1	0,00	16856,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn24/K4429	BC1	0,00	18633,99	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn25/K4430	BC1	0,00	16768,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn26/K4431	BC1	0,00	11955,48	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn27/K4432	BC1	0,00	11708,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn28/K4433	BC1	0,00	9136,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn30/K8175	BC1	0,00	0,00	3955,53	0,00	0,00	0,00
Sn49/K8174	BC1	0,00	0,00	3987,91	0,00	0,00	0,00



Figuur 100 Reactiekracht in y-richting loodrecht op de deur



Figuur 101 Oplegreacties ligger 1a

23.5.1.2 Staafkrachten

Interne krachten in staaf

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

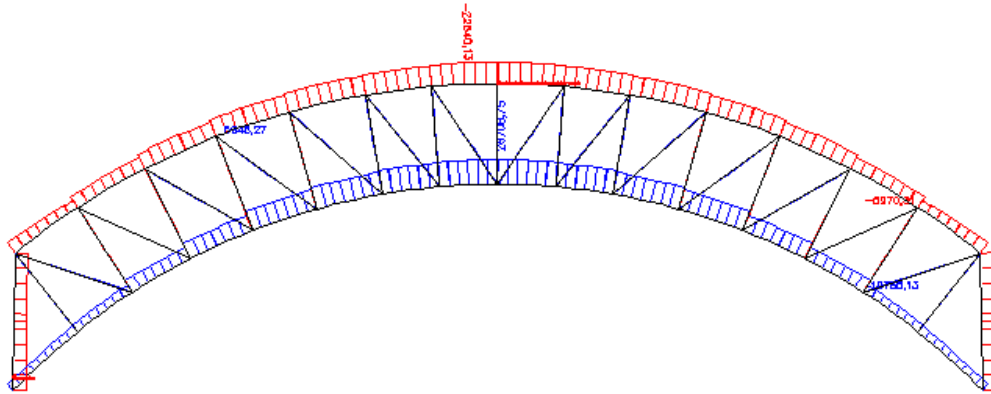
Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC1

Staaf	BG	dx [mm]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S7842	BC1	0,001	-27972,29	316,06	-649,33	-164,38	-1460,26	80,51
S6918	BC1	0,001	32174,80	-37,01	256,47	277,62	1896,87	-35,45
S2245	BC1	0,001	-16762,57	-918,01	1234,98	964,33	1478,77	2095,66
S8274	BC1	884,320	-9648,13	963,24	-749,42	-145,09	-539,87	-40,09
S2247	BC1	9538,991	-12318,79	-384,83	-3949,02	324,15	-492,10	-0,45
S6370	BC1	9539,611	-11557,50	-429,94	4054,02	-329,89	174,00	109,65
S7441	BC1	0,001	9440,90	668,60	1823,51	-1649,79	179,77	-297,96
S2219	BC1	0,001	9570,52	-556,02	-1974,57	1642,97	1187,70	295,66
S2247	BC1	10911,840	-12318,79	-367,59	-3949,02	324,15	-5913,48	-516,93

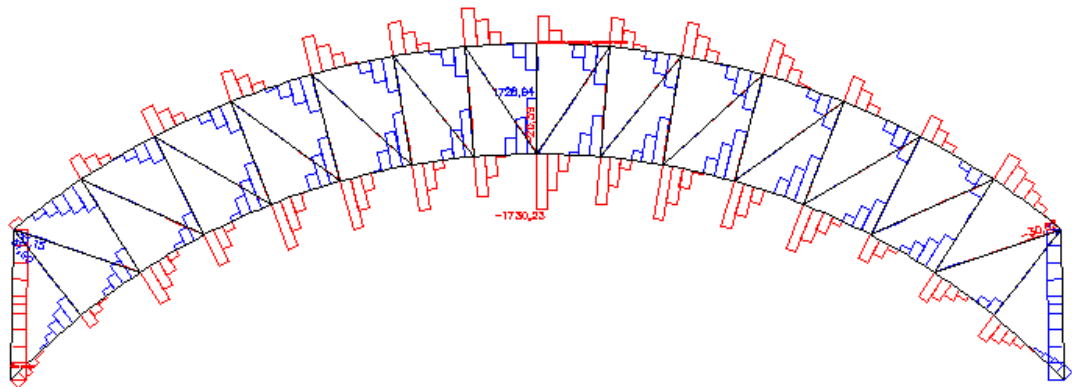
S6369	BC1	10912,540	-11321,85	-281,77	3846,48	-29,38	5741,03	-437,82
S2247	BC1	0,001	-16453,17	922,12	1215,74	-897,71	1428,88	-2220,11
S6368	BC1	0,001	-16581,99	-889,55	-1230,11	-970,79	-1461,41	2145,46

Normaalkracht horizontale liggers laag 1



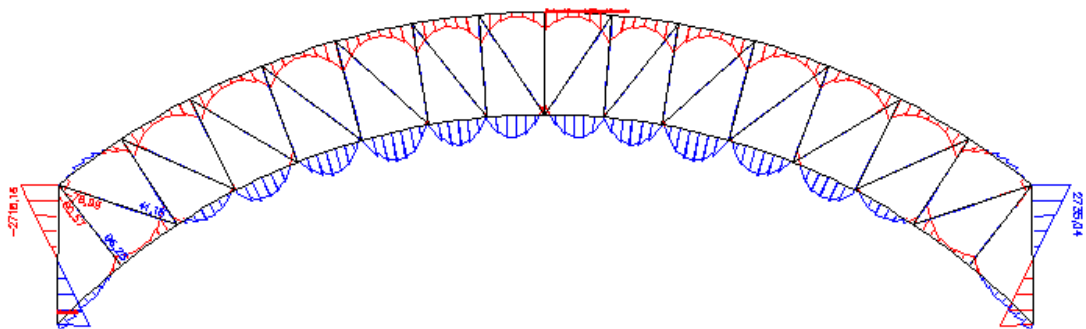
Figuur 102 Normaalkrachtenlijn liggers laag 1

Dwarskracht Vz horizontale liggers laag 1



Figuur 103 Dwarskrachtenlijn Vz liggers laag 1

Momenten My horizontale liggers laag 1



Figuur 104 Momentenlijn My liggers laag 1

23.5.1.3 Maximale staafspanning weergeven per doorsnede

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC1

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S5931	BC1	0,000	-199,7	151,0	81,1	213,7
S9	BC1	0,000	0,0	33,8	20,5	46,9
S1	BC1	3200,000	-143,0	0,0	37,4	143,0
S6340	BC1	3200,000	-149,7	243,2	81,1	258,2
S1939	BC1	2000,000	-21,5	0,0	0,1	21,5
S6339	BC1	3200,000	-166,6	221,5	84,4	243,0
S6288	BC1	2000,000	-5,6	4,7	2,7	5,8
S1	BC1	0,000	-157,2	94,2	59,2	157,2
S1503	BC1	0,000	-89,3	87,8	23,6	89,3
S1855	BC1	7999,931	0,0	218,6	31,5	218,6
S2013	BC1	0,000	-35,7	76,4	62,1	114,8
S160	BC1	0,000	-245,9	173,1	50,0	245,9
S5901	BC1	0,000	-189,6	300,8	50,6	300,8
S143	BC1	0,000	-184,9	280,3	52,1	280,3
S2216	BC1	3400,000	-245,0	207,9	30,6	245,0
S6258	BC1	0,000	-176,5	256,6	32,8	256,6
S2010	BC1	3999,967	-24,3	59,5	144,8	252,9
S2243	BC1	0,000	-355,3	30,8	12,6	355,4
S6955	BC1	0,000	0,0	349,8	7,8	349,8
S2219	BC1	0,000	0,0	140,4	73,2	159,6
S7886	BC1	0,000	-283,7	0,0	10,1	283,7
S6964	BC1	0,000	0,0	328,6	11,9	328,6
S6370	BC1	9539,611	-93,8	0,0	67,1	146,2
S8518	BC1	7999,999	-301,4	0,0	7,9	301,5
S9086	BC1	9865,544	0,0	314,4	3,4	314,4
S8428	BC1	7999,999	-73,3	88,6	42,2	92,3
S8291	BC1	7999,999	-96,3	110,7	16,5	110,7
S8306	BC1	7999,999	-95,7	111,0	16,4	111,0
S8291	BC1	3999,999	-88,0	102,4	16,5	102,4
S8474	BC1	0,000	-252,6	10,5	7,2	252,6
S8377	BC1	0,000	0,0	339,6	26,8	341,2
S8379	BC1	7999,999	-96,3	102,9	50,0	108,1
S8921	BC1	0,000	-161,3	124,9	82,1	173,6
S8999	BC1	6943,606	0,0	309,6	23,3	309,6
S8991	BC1	7999,999	-135,1	206,6	93,6	238,1
S9024	BC1	0,000	-115,7	3,2	7,7	115,8
S9025	BC1	0,000	-53,6	108,2	7,9	108,2
S9029	BC1	19000,000	-122,1	57,3	21,3	122,2
S9032	BC1	15600,000	-53,8	144,0	18,5	144,0
S9029	BC1	17866,667	-63,9	0,0	21,3	64,2

23.5.1.4 Interne krachten huidplaten

Maximale interne krachten in platen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

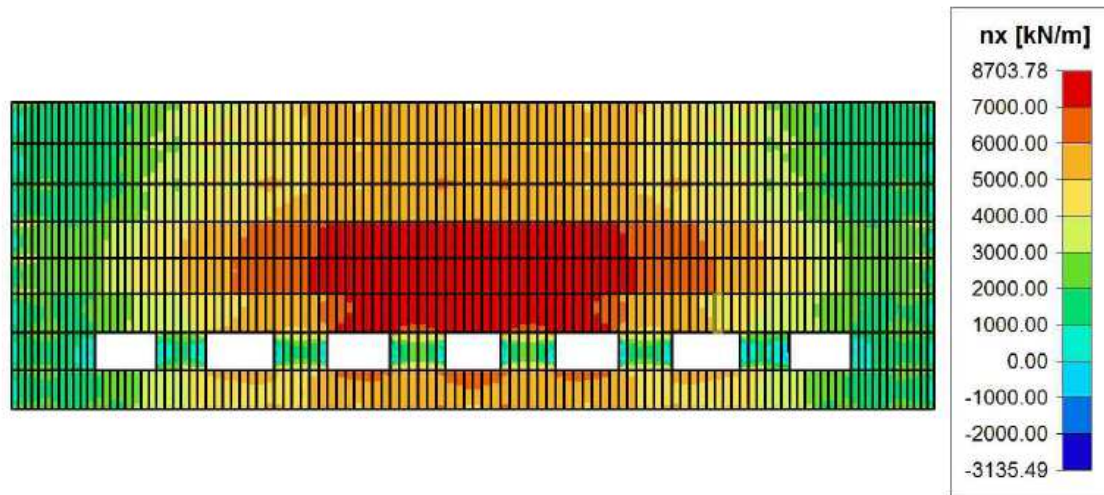
Niet-lineaire combinaties : BC1

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	elem	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	vx [kN/m]	vy [kN/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
BC1	E2710	9842	-1,66	-0,45	0,07	53,17	-0,49	-164,86	-314,08	-115,08
BC1	E2710	9847	7,86	2,41	0,07	146,70	-38,22	-198,95	-351,03	229,21
BC1	E1164	3678	0,79	-0,03	-0,42	-24,14	5,91	2172,46	2365,49	2066,73
BC1	E2244	7585	0,77	-0,03	0,41	24,19	5,73	2162,50	2367,28	-2037,44
BC1	E175	572	0,32	0,30	0,02	-50,37	0,38	1128,49	-804,31	685,42
BC1	E2684	9639	0,02	-0,04	0,02	179,47	-96,52	2475,07	152,78	-113,65

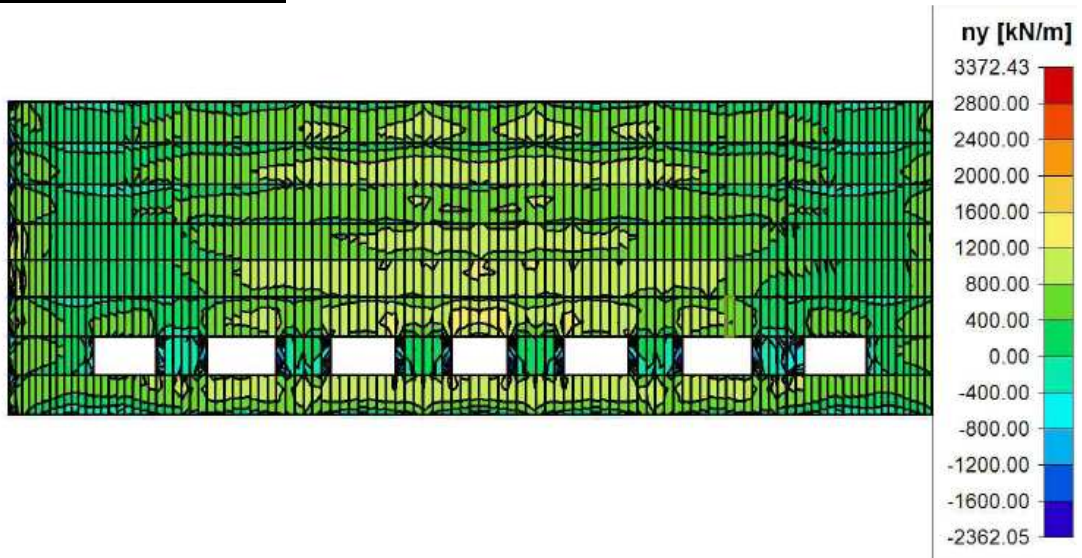
BC1	E1432	4709	-0,04	0,01	0,00	16,61	-882,82	3622,68	93,05	22,17
BC1	E2710	9845	2,04	0,68	-0,06	112,98	67,21	1326,79	-38,77	154,22
BC1	E1202	3871	-0,16	-0,23	0,00	-0,04	-0,17	-6989,52	-907,53	25,43
BC1	E2166	7345	-0,06	0,11	0,02	0,53	-12,18	8369,91	1048,33	-209,69
BC1	E1215	3946	-0,04	0,06	-0,01	2,02	-1,31	1424,78	-2369,83	1166,26
BC1	E2245	7590	0,71	-0,07	-0,38	23,39	-5,06	2157,79	2528,22	1896,23
BC1	E2018	6801	0,33	0,32	0,17	14,79	-2,74	3068,86	-389,97	-2206,56
BC1	E175	573	0,33	0,32	-0,17	-14,77	-2,74	3065,55	-392,05	2197,79

nx binnenste huidplaat



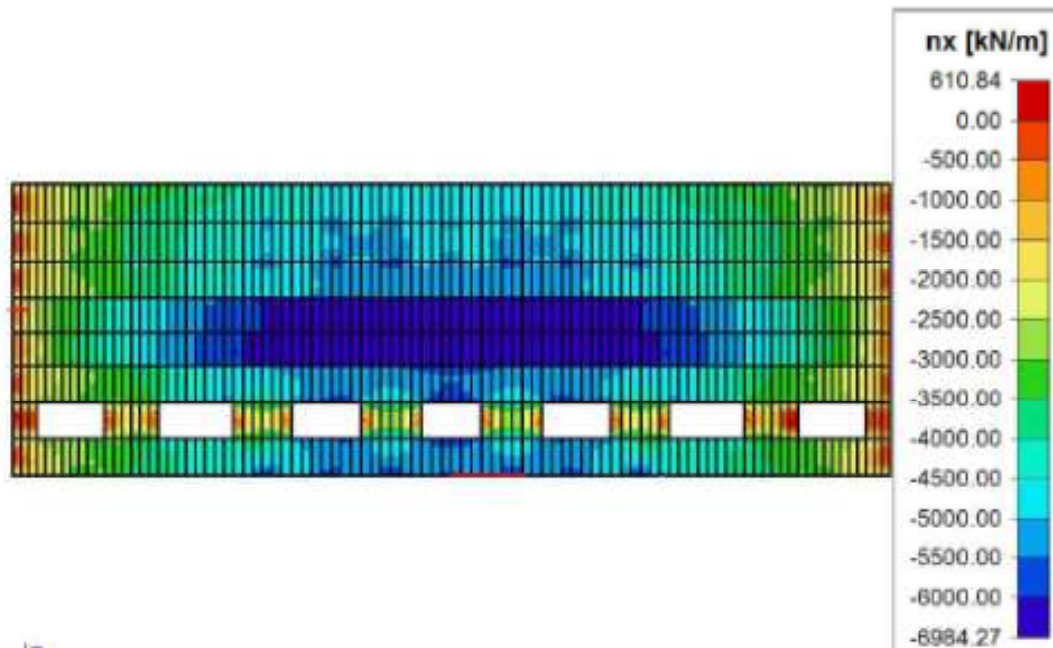
Figuur 105 n_x in binnenste huidplaat

n_y binnenste huidplaat



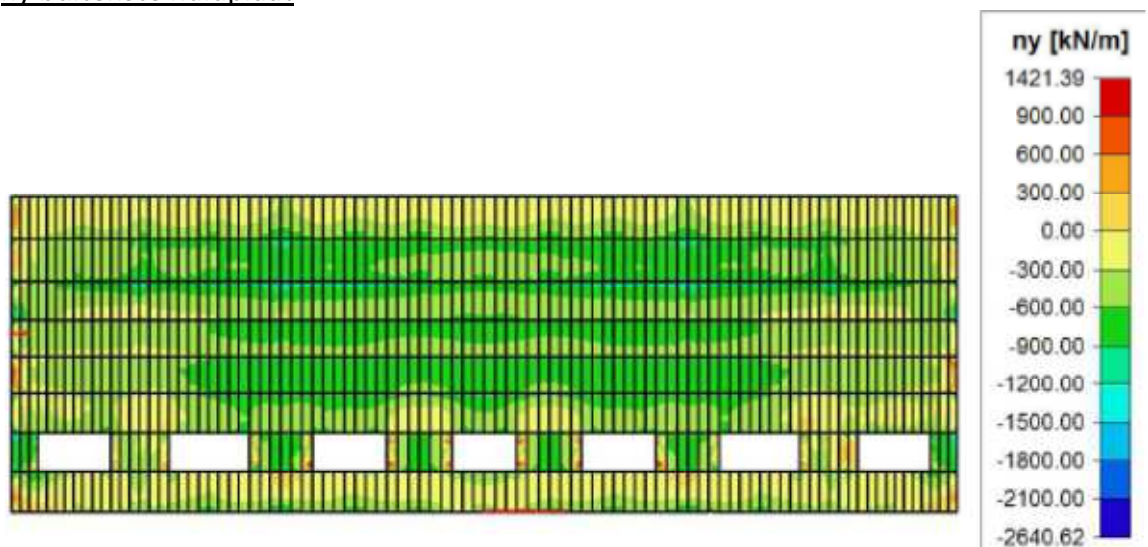
Figuur 106 n_y in binnenste huidplaat

n_x buitenste huidplaat



Figuur 107 nx in buitenste huidplaat

ny buitenste huidplaat



Figuur 108 ny in buitenste huidplaat

23.5.1.5 Spanningen huidplaten

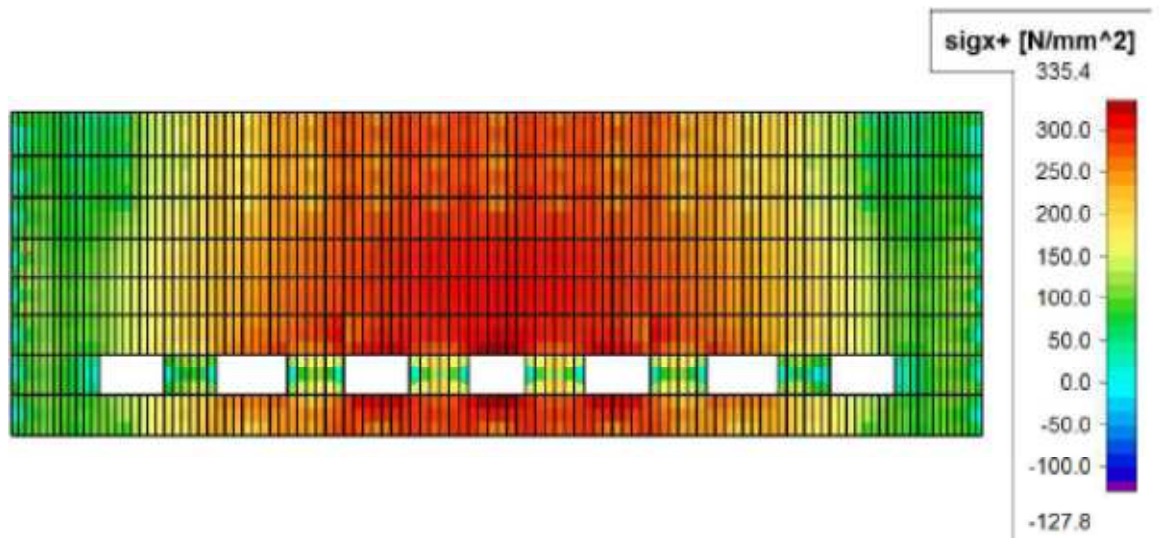
Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

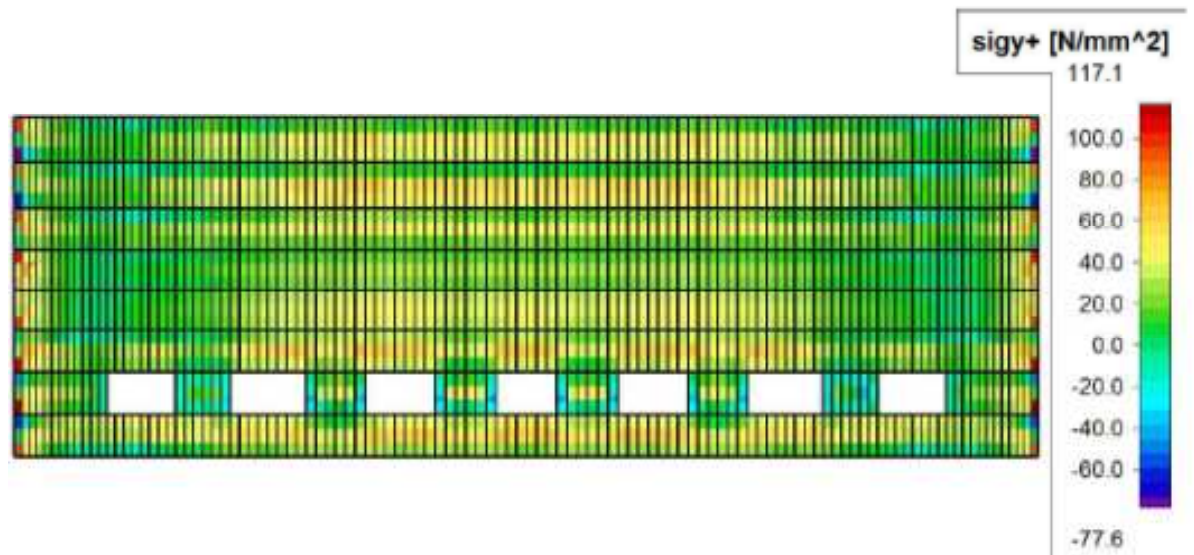
Niet-lineaire combinaties : BC1

Basis grootheden. In centrum.

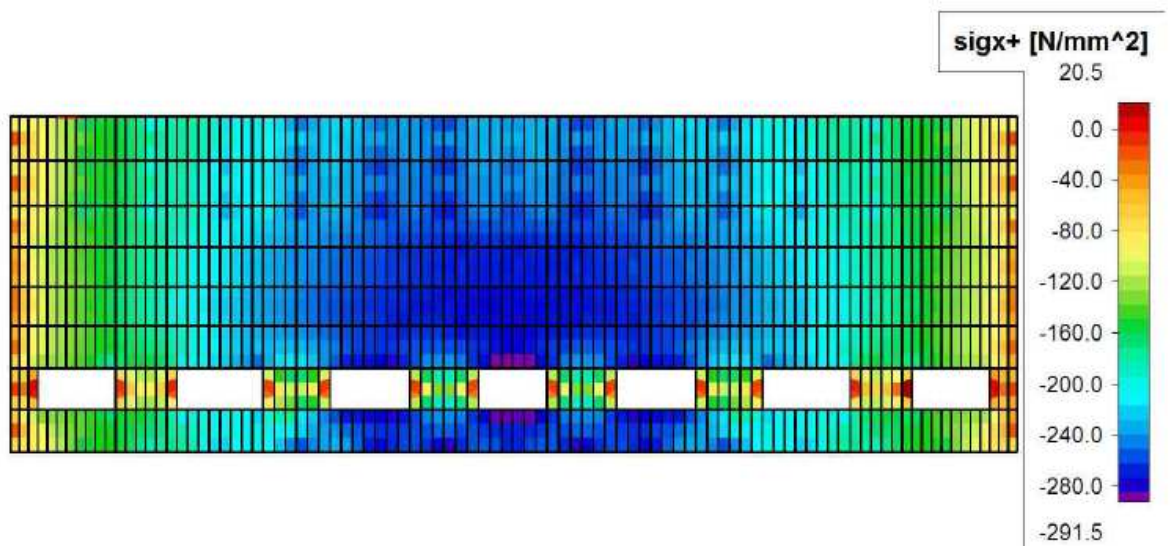
BG	Staaf	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC1	E2195	7438	-290,6	-28,9	2,3	-291,4	-26,3	2,5
BC1	E2166	7345	335,4	40,8	-8,6	334,2	43,0	-8,2
BC1	E1215	3946	120,4	-200,0	97,5	117,1	-195,0	96,9
BC1	E2242	7579	88,5	117,1	-74,0	93,5	107,2	-70,1
BC1	E1169	3733	131,8	-76,1	-131,3	123,1	-78,3	-134,3
BC1	E1572	5217	-71,1	-121,4	124,4	-73,0	-119,2	122,5
BC1	E1946	6573	131,5	-173,5	122,1	129,3	-175,3	123,0



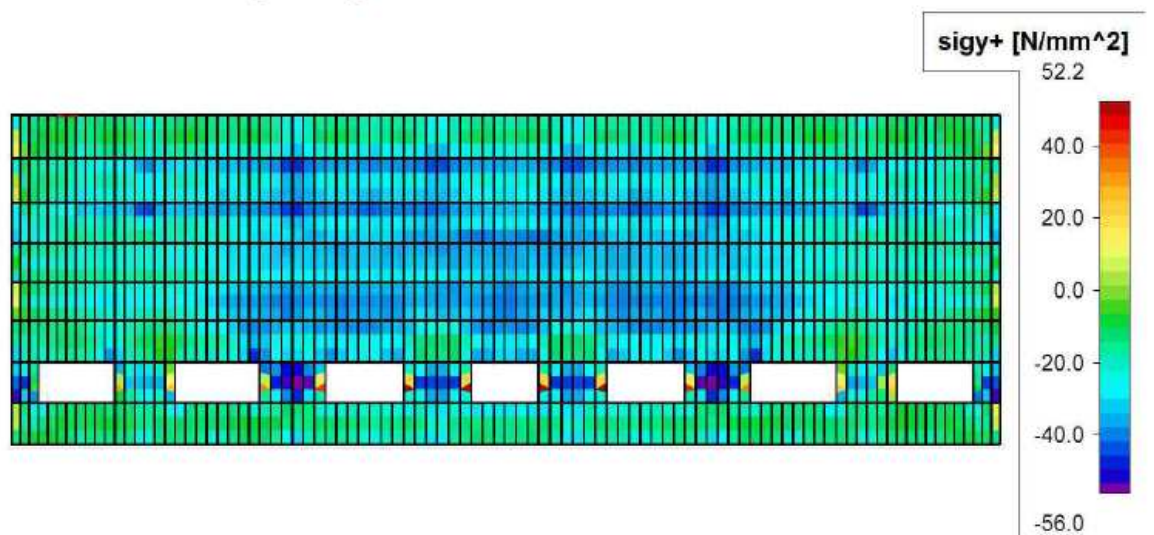
Figuur 109 sigma x in binnenste huidplaat



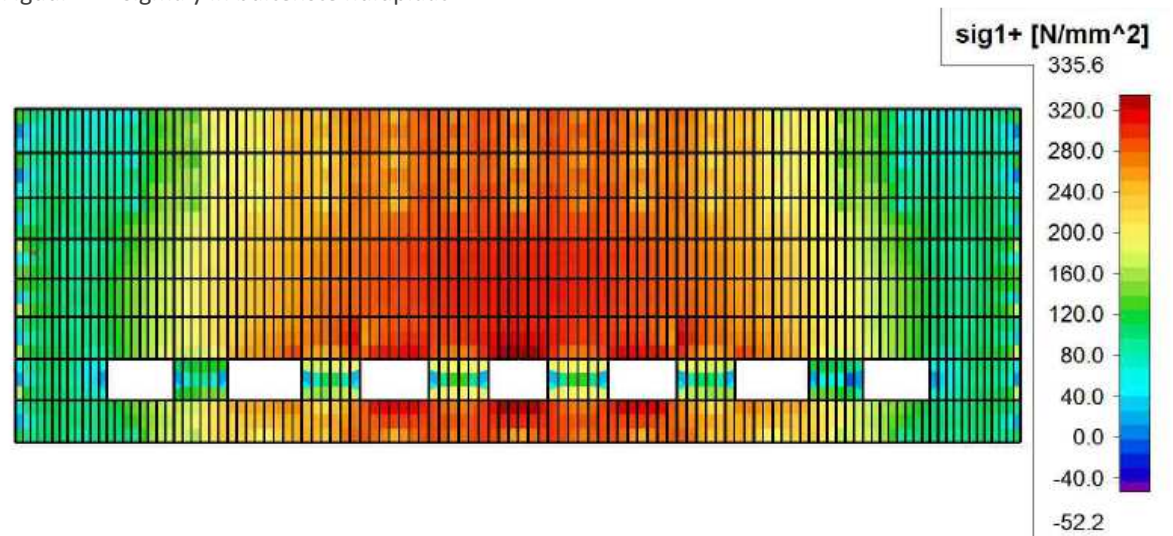
Figuur 110 sigma y in binnenste huidplaat



Figuur 111 sigma x in buitenste huidplaat



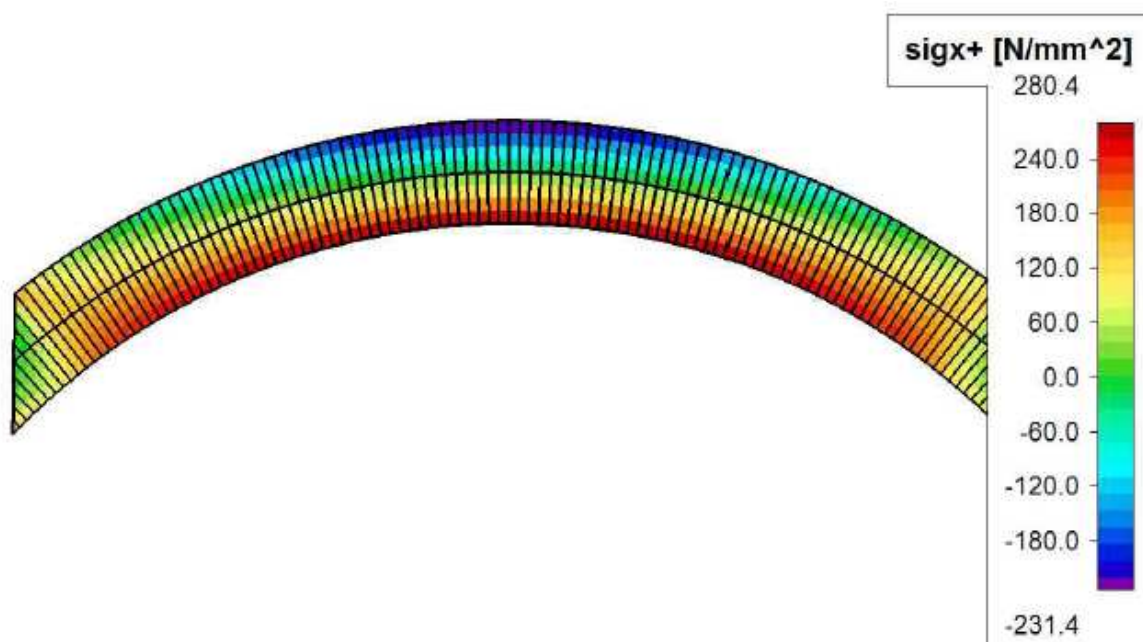
Figuur 112 sigma y in buitenste huidplaat



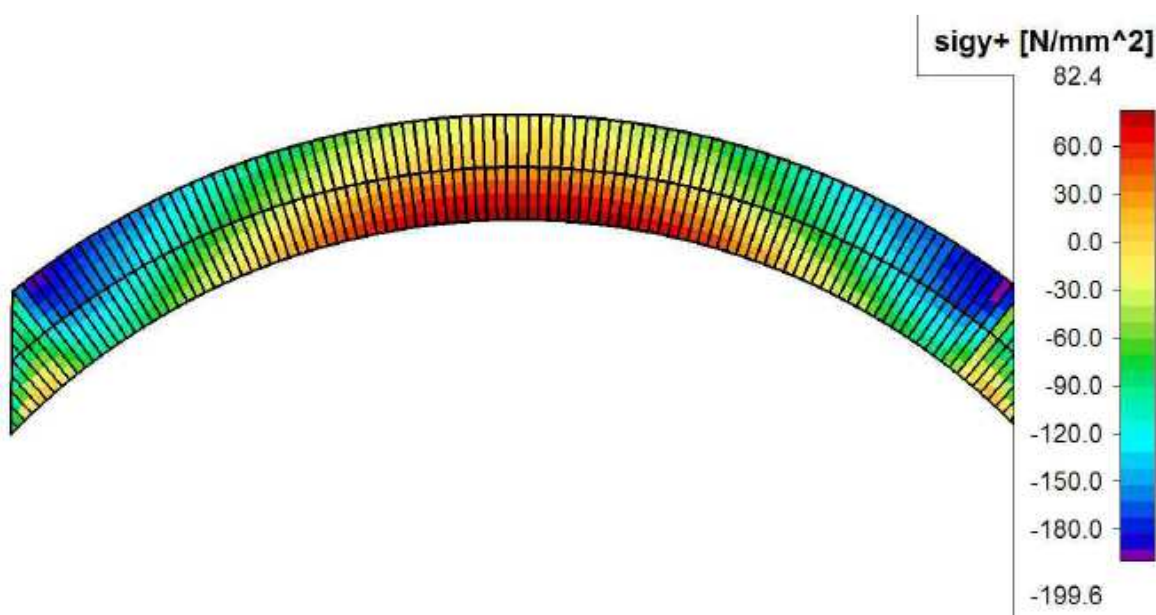
Figuur 113 Vergelijkingsspanning binnenste huidplaat

23.5.1.6 Drijfkisten

Spanningen bovenste plaat



Figuur 114 sigma x in bovenste drijfkistplaat



Figuur 115 Sigma y in bovenste drijfkistplaat

23.5.2 Belasting Combinatie 2 (maximaal negatief verval)

23.5.2.1 Reactiekrachten BC2

Niet-lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC2

Schuine steunpunten

Steunpunt	BG	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sn30/K8175	BC2	0,00	0,00	3998,03	0,00	0,00	0,00

Sn31/K1963	BC2	3550,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn32/K1964	BC2	7497,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn33/K1965	BC2	7087,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn34/K1966	BC2	8771,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn35/K1967	BC2	5648,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn36/K1968	BC2	1407,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn37/K1969	BC2	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn38/K1970	BC2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn39/K1971	BC2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn40/K3024	BC2	3582,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn41/K3025	BC2	7310,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn42/K3026	BC2	7090,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn43/K3422	BC2	9271,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn44/K3423	BC2	5856,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn45/K3424	BC2	819,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn46/K3030	BC2	38,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn47/K3031	BC2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn48/K3032	BC2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn49/K8174	BC2	0,00	0,00	3945,36	0,00	0,00	0,00

23.5.2.2 2D element - Spanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC2

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC2	E1216	4044	-128,1	-13,0	-60,9	-129,2	-13,7	-62,0
BC2	E35	54	61,3	7,2	-1,7	61,6	7,2	-1,8
BC2	E1948	6677	-25,5	-107,4	-27,1	-27,0	-108,6	-27,7
BC2	E2681	9702	15,8	84,9	-16,4	14,8	83,9	-15,8
BC2	E2686	9739	-14,3	8,1	58,5	-13,9	7,9	57,8
BC2	E1199	3956	61,2	6,8	-0,5	61,6	6,8	-0,6

23.5.2.3 2D element - Interne krachten

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC2

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	elem	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	vx [kN/m]	vy [kN/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
BC2	E2710	9934	-3,29	-0,98	-0,01	25,81	-29,50	24,87	65,02	37,33
BC2	E219	732	0,52	0,25	0,00	0,28	0,23	-1437,50	-314,57	-243,73
BC2	E1231	4092	0,11	0,18	-0,10	-8,96	0,62	-577,90	379,47	-588,91
BC2	E219	731	0,24	0,05	0,09	0,73	3,75	-1491,63	-144,98	-286,29
BC2	E1432	4799	0,00	-0,02	-0,02	-94,30	54,89	-512,86	133,88	226,92
BC2	E940	3368	-0,04	-0,04	0,00	528,54	-380,38	-305,16	123,74	91,67
BC2	E206	679	0,02	0,02	0,00	56,93	-403,25	1271,56	127,31	174,87
BC2	E303	1026	0,00	-0,04	0,01	-13,10	733,34	-1354,11	-210,09	-236,07
BC2	E29	34	0,04	0,07	0,01	0,15	0,36	-1837,73	-306,73	-62,98
BC2	E2197	7533	0,07	0,03	0,01	-1,12	-0,17	1369,35	122,88	-20,86
BC2	E1948	6677	-0,02	-0,02	-0,01	0,31	-0,18	-315,07	-1296,07	-328,93
BC2	E2681	9702	-0,01	-0,01	0,01	-0,02	0,07	183,70	1012,91	-193,01
BC2	E1481	4971	-0,01	0,00	-0,03	-1,93	0,21	409,74	-372,17	-942,93
BC2	E708	2516	-0,01	0,00	0,03	1,83	0,20	419,43	-364,26	881,93

23.5.2.4 Staafspanning

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC2

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S767	BC2	0,000	-70,3	35,9	15,5	70,3
S1	BC2	1066,667	0,0	21,3	2,8	21,3
S13	BC2	0,000	-16,4	0,0	10,6	23,6
S340	BC2	0,000	-33,4	64,7	26,3	64,7
S283	BC2	1133,333	-11,1	0,0	0,2	11,1
S418	BC2	3000,000	-17,0	44,0	31,8	61,4
S922	BC2	2133,333	-0,9	0,2	2,0	3,4
S1	BC2	0,000	-1,8	25,8	7,0	25,8
S217	BC2	7999,999	-45,2	14,8	8,7	45,2
S217	BC2	0,000	-34,8	53,0	11,5	53,0
S650	BC2	3200,000	-92,2	36,3	15,0	92,2
S394	BC2	0,000	-38,1	68,6	13,3	68,6
S377	BC2	0,000	-81,9	44,6	19,1	81,9

23.5.2.5 Interne krachten in staaf

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC2

Staaf	BG	dx [mm]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S5206	BC2	0,001	-411,82	-17,69	5,85	0,02	-1,93	-16,84
S5803	BC2	3200,000	499,38	151,79	-5,30	-0,06	-0,45	65,68
S4856	BC2	0,001	-47,63	-159,21	-71,21	-0,36	34,02	-1,52
S1836	BC2	3200,000	498,62	152,32	5,92	0,06	0,65	66,42
S4451	BC2	0,001	99,84	50,53	-87,72	0,15	13,00	1,62
S418	BC2	3000,000	171,73	0,09	102,87	-0,23	23,96	6,32
S4839	BC2	3200,000	4,95	1,70	-19,19	0,28	-6,15	-1,95
S1330	BC2	0,001	-333,14	7,79	57,65	0,02	-42,58	-5,53
S4934	BC2	0,001	-336,16	7,70	-63,32	-0,02	46,78	-5,25
S1837	BC2	1066,670	-8,33	11,25	34,39	0,00	-4,92	-33,91
S5776	BC2	7999,940	-1991,86	-43,12	-7,23	-0,47	-16,10	81,36
S1777	BC2	0,001	176,06	-53,56	-13,85	-0,62	14,22	14,19
S5775	BC2	3999,971	-270,42	-97,73	4,30	-0,20	-1,28	21,08
S5224	BC2	0,001	-197,18	89,48	118,68	-0,05	-44,76	-33,62
S4638	BC2	0,001	-113,27	70,84	-95,32	-0,23	82,86	-49,54
S4639	BC2	0,001	-206,28	80,30	134,60	0,26	-55,59	-29,47
S4560	BC2	0,001	-163,19	8,28	-33,32	-1,29	36,59	-16,11
S1619	BC2	0,001	-223,46	25,24	36,90	1,41	-39,34	-27,26
S4640	BC2	0,001	-89,55	15,85	87,66	0,14	-66,61	-10,17
S4443	BC2	0,001	-236,05	82,36	-63,37	-0,14	56,98	-61,64
S5051	BC2	0,001	-788,57	61,76	-35,29	0,13	-68,60	-5,23
S4505	BC2	3200,000	735,65	-130,11	-277,47	0,95	-157,46	-83,74
S377	BC2	0,001	56,01	-255,25	-77,83	3,43	19,38	136,64
S650	BC2	2400,001	-292,40	255,41	0,52	2,93	-19,47	-65,28
S4505	BC2	2400,001	732,79	-130,11	-277,47	0,95	64,52	20,35
S1759	BC2	2400,001	725,82	-125,33	288,37	-0,92	-61,69	20,41
S5901	BC2	0,001	54,28	-254,13	78,47	-3,41	-19,89	135,94
S1759	BC2	800,001	-68,56	-31,09	173,63	0,73	-199,00	17,72
S4505	BC2	800,001	-62,77	-34,46	-173,18	-0,63	195,19	19,17
S4817	BC2	0,001	259,41	198,58	21,76	-1,82	30,22	-140,41
S650	BC2	3200,000	-289,54	255,41	0,52	2,93	-19,05	139,05

S1893	BC2	6943,600	-397,39	0,61	12,20	0,11	10,23	-9,99
S1875	BC2	3200,000	467,65	84,59	85,35	0,47	52,82	83,44
S2266	BC2	741,880	13,42	-122,06	-20,47	0,23	-3,83	-27,45
S2010	BC2	3999,971	-70,25	231,70	62,01	0,52	-0,21	17,69
S4432	BC2	3200,000	-48,13	-1,12	-99,77	-0,58	-73,42	5,01
S2262	BC2	3999,971	-13,87	178,99	191,45	1,76	5,84	-15,43
S6385	BC2	3999,621	21,71	-94,49	139,90	-0,63	5,17	11,67
S1877	BC2	3200,000	-43,32	1,08	99,68	0,61	73,44	7,09
S1875	BC2	0,001	63,17	68,90	-34,00	-0,31	13,21	-65,85
S4430	BC2	3200,000	466,96	84,54	-86,39	-0,50	-53,24	83,67
S6846	BC2	0,001	-8068,38	71,03	68,76	-36,70	-430,14	44,01
S8067	BC2	0,001	6051,70	-182,11	87,97	-131,60	164,60	63,43
S8265	BC2	0,001	-308,58	-948,39	1230,69	684,17	-952,16	418,08
S7464	BC2	884,320	-267,71	952,50	-1237,58	-698,35	-915,20	428,77
S8284	BC2	0,001	1643,58	199,07	-2942,78	-716,32	514,57	197,76
S1890	BC2	0,001	473,56	-614,08	2965,34	1216,18	-2378,65	403,70
S8283	BC2	0,001	480,09	580,07	-2868,47	-1175,34	164,49	-121,91
S8274	BC2	0,001	562,02	-779,40	2323,62	813,56	-2403,74	498,32
S8166	BC2	884,320	689,58	307,21	1367,85	-101,23	1494,33	585,51
S7107	BC2	0,001	-7416,49	403,52	-1044,53	-40,46	762,33	-527,26
S2243	BC2	10911,830	-1224,08	131,68	-5,49	72,49	8,87	709,60
S6855	BC2	0,001	-8316,58	51,69	90,64	-20,59	-581,43	22,73
S7842	BC2	0,001	5801,64	22,50	67,58	-20,42	329,65	-38,20
S6802	BC2	769,840	-6478,99	-389,79	-37,60	-95,10	-532,30	-478,16
S7081	BC2	0,001	-6429,87	390,65	37,59	96,22	-530,08	-477,99
S6368	BC2	9539,611	-2716,48	343,20	-352,36	-107,33	205,85	361,11
S2247	BC2	9538,991	1283,15	116,21	405,07	-37,74	-31,34	134,90
S2245	BC2	0,001	437,67	130,14	-52,13	-121,23	-9,74	-525,46
S6368	BC2	0,001	384,72	103,16	51,40	113,52	-10,27	-444,14
S2247	BC2	10911,840	1283,15	133,45	405,07	-37,74	524,76	306,27
S6368	BC2	10912,540	-2716,48	360,44	-352,36	-107,33	-277,91	844,14
S9086	BC2	0,001	-2909,44	7,45	26,18	-1,53	-95,53	-17,88
S8287	BC2	0,001	1834,79	41,41	27,10	3,56	-84,13	-171,10
S8428	BC2	8000,000	-31,64	-200,22	-2,45	-45,52	-1,65	-141,08
S8413	BC2	8000,000	-26,62	200,80	-2,52	45,32	-2,16	143,15
S8395	BC2	4000,000	1129,66	21,95	-44,58	-13,17	30,90	18,25
S8498	BC2	4000,000	86,53	-1,08	36,22	-0,42	-98,90	-0,43
S8380	BC2	8000,000	565,92	194,36	-22,72	-56,24	-29,57	124,17
S8395	BC2	8000,000	563,09	-193,01	-24,02	56,12	-30,94	-121,69
S8285	BC2	0,001	-401,43	8,83	34,63	3,79	-115,79	-28,03
S8285	BC2	7999,930	-401,43	8,83	10,04	3,79	62,89	42,58
S8302	BC2	0,001	1811,11	-41,09	25,90	-3,73	-79,54	169,90
S8291	BC2	0,001	720,78	317,69	-771,54	10,33	973,29	-561,62
S8306	BC2	4000,000	716,15	-391,28	659,27	-14,20	-1843,70	778,31
S8291	BC2	4000,000	713,33	392,86	654,19	12,67	-1828,06	-780,83
S8306	BC2	4000,000	720,34	-319,30	-818,00	-11,53	-2210,93	-713,08
S8306	BC2	0,001	720,34	-319,30	-778,97	-11,53	983,01	564,13
S8306	BC2	8000,000	716,15	-391,28	620,24	-14,20	715,31	-786,80
S8291	BC2	8000,000	713,33	392,86	615,16	12,67	710,63	790,62
S8377	BC2	0,001	-2304,19	105,60	151,14	-26,59	-204,85	-14,08
S8474	BC2	0,001	480,30	10,67	18,58	0,36	-25,21	-42,45
S8426	BC2	8000,000	-70,36	-300,62	-1,97	-71,87	21,19	-226,99
S8379	BC2	8000,000	173,97	304,69	-7,99	-74,79	15,69	244,97
S8410	BC2	7999,930	-272,71	130,33	-44,14	29,07	105,84	109,04
S8393	BC2	8000,000	151,37	-298,19	-10,04	72,65	11,16	-239,96
S8632	BC2	8000,000	-1151,35	-46,24	-14,40	-0,21	-10,44	-17,98
S8971	BC2	8000,000	310,30	-0,29	11,89	0,09	15,62	0,93
S8815	BC2	8000,000	-380,02	-119,03	-156,51	0,06	-59,47	-46,23
S8831	BC2	8000,000	124,82	68,95	-98,94	0,02	-37,70	17,88

S8991	BC2	8000,000	-362,63	-117,85	152,94	-0,05	58,40	-44,51
S8825	BC2	0,001	-7,30	4,68	-37,36	-0,36	30,85	-1,62
S8981	BC2	0,001	-8,39	4,68	36,63	0,35	-30,32	-2,08
S8994	BC2	7999,930	-954,13	-16,96	-9,75	-0,11	-9,53	36,24
S9026	BC2	0,001	-8816,83	-5,29	260,73	13,54	-948,43	-15,39
S9025	BC2	0,001	-8020,15	-49,05	208,08	3,43	-751,54	295,13
S9022	BC2	0,001	-7978,77	49,04	205,54	-3,09	-740,60	-295,12
S9024	BC2	0,001	-3799,52	-42,62	284,64	-7,82	-1028,44	262,94
S9020	BC2	0,001	-2560,57	3,41	257,37	-29,87	-884,43	57,25
S9027	BC2	0,001	-2599,51	-2,02	258,61	29,13	-888,61	-60,67
S9024	BC2	7877,130	-3768,30	-42,62	214,40	-7,82	937,04	-72,79
S9035	BC2	0,001	-1063,72	-54,49	-179,52	-16,11	153,86	48,64
S9210	BC2	22400,000	654,99	170,80	30,69	31,56	-85,72	-166,69
S9207	BC2	23466,670	650,73	-171,84	29,75	-33,51	-54,22	-15,86
S9032	BC2	0,001	-1054,19	-46,64	164,96	13,76	-142,03	40,37
S9207	BC2	16000,000	-67,41	-103,62	-84,73	-38,85	61,06	98,99
S9210	BC2	16000,000	-60,68	105,63	-82,00	40,63	57,83	-101,67
S9207	BC2	22400,000	654,01	-171,84	29,75	-33,51	-85,95	167,44
S9234	BC2	6325,110	-1364,45	5,24	-6,92	2,29	-20,83	54,45
S9233	BC2	0,001	1354,30	6,35	1,11	1,69	-6,78	-27,63
S9263	BC2	5122,500	166,89	-29,01	1,44	-7,56	20,86	-62,66
S9285	BC2	0,001	556,17	32,77	-1,68	1,43	7,73	-45,10
S9266	BC2	0,001	-177,10	8,14	-16,09	-4,52	54,44	-2,17
S9319	BC2	0,001	-190,76	3,87	16,69	4,16	-29,66	8,90
S9264	BC2	0,001	-90,22	3,86	1,49	-9,54	18,16	-0,16
S9318	BC2	0,001	-86,37	9,07	-1,62	9,29	25,99	-14,30
S9319	BC2	5122,500	-180,93	-8,43	16,69	4,16	55,82	-2,76
S9269	BC2	5122,500	636,13	-27,97	2,28	-5,66	13,78	-95,38
S9285	BC2	5122,500	566,00	20,47	-1,68	1,43	-0,87	91,27

23.5.3 Belasting Combinatie 3 (schutbelasting)

23.5.3.1 2D element - Spanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC3

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC3	E2195	7438	-120,3	-15,5	1,0	-121,0	-16,0	1,0
BC3	E27	33	139,7	20,5	-2,4	139,1	20,0	-2,2
BC3	E1215	3946	44,5	-83,9	37,1	43,4	-81,6	37,0
BC3	E2242	7579	38,9	47,6	-33,9	41,5	44,4	-32,1
BC3	E1169	3733	48,4	-31,9	-51,3	45,3	-32,6	-52,7
BC3	E1164	3678	39,8	45,9	51,2	46,9	45,9	46,9
BC3	E1189	3829	109,7	46,0	-0,3	110,2	47,4	-0,3
BC3	E2709	9839	30,5	9,8	50,3	30,0	6,5	51,9

23.5.3.2 Staafspanning

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC3

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S5931	BC3	0,000	-88,0	71,6	35,2	93,2
S9	BC3	0,000	0,0	26,6	10,7	29,4

S1	BC3	3200,000	-67,8	0,0	18,6	67,8
S6340	BC3	3200,000	-63,2	96,5	34,5	104,2
S1003	BC3	3000,000	-19,0	0,0	0,2	19,0
S5806	BC3	0,000	-67,2	80,7	44,5	90,5
S1330	BC3	2133,333	0,0	1,0	0,4	1,2
S1	BC3	0,000	-68,1	37,7	25,5	68,1
S1308	BC3	0,000	-52,5	49,7	12,9	52,5
S1855	BC3	7999,931	0,0	98,4	16,2	98,4
S2013	BC3	0,000	-20,9	51,1	24,2	59,1
S5909	BC3	0,000	-103,9	67,7	21,2	103,9
S5901	BC3	0,000	-84,6	132,7	20,9	132,7
S1196	BC3	0,000	-57,9	76,6	22,6	76,6
S6389	BC3	0,000	-116,1	57,7	57,0	131,3
S2209	BC3	3200,000	-82,0	102,6	34,6	103,7
S2262	BC3	3999,966	-15,1	31,4	67,8	117,9
S2243	BC3	0,000	-171,4	23,0	7,5	171,4
S6927	BC3	769,963	0,0	146,0	3,3	146,0
S2220	BC3	0,000	-9,1	83,8	37,1	89,9
S6368	BC3	1073,010	-126,6	2,7	19,9	128,0
S6964	BC3	0,000	0,0	132,6	4,9	132,6
S6370	BC3	9539,611	-35,0	0,0	27,2	57,9
S8488	BC3	0,000	-99,9	0,0	2,7	99,9
S9086	BC3	9865,544	0,0	150,7	1,9	150,7
S8428	BC3	7999,999	-34,1	40,8	19,4	42,4
S8291	BC3	3999,999	-82,4	71,8	7,7	82,4
S8306	BC3	4000,000	-72,8	82,4	10,4	82,4
S8474	BC3	0,000	-88,8	4,9	2,6	88,8
S8377	BC3	0,000	0,0	154,7	12,2	154,7
S8426	BC3	7999,999	-45,3	52,5	21,3	54,1
S8921	BC3	0,000	-78,1	66,3	40,1	86,1
S8999	BC3	6943,606	0,0	139,4	10,3	139,4
S8991	BC3	7999,999	-75,0	107,3	49,9	124,4
S9024	BC3	0,000	-86,2	0,0	4,0	86,2
S9025	BC3	0,000	-62,5	39,7	5,9	62,5
S9028	BC3	12400,000	-60,3	11,7	5,4	60,3
S9032	BC3	15600,000	-17,0	45,0	6,1	45,0
S9028	BC3	14533,333	-30,6	1,5	9,0	30,7

23.5.4 Belasting Combinatie 4 (ijsbelasting)

23.5.4.1 Staafspanning

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC4

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S8488	BC4	0,000	-253,2	0,0	5,5	253,2
S9	BC4	0,000	0,0	20,7	6,6	20,7
S1	BC4	3200,000	-50,0	0,0	11,2	53,0
S9058	BC4	0,000	0,0	252,1	3,0	252,1
S8299	BC4	5714,236	0,0	38,3	0,0	38,3
S2010	BC4	3999,967	-30,6	42,3	139,1	242,7
S1389	BC4	2000,000	0,0	1,2	0,1	1,2
S1	BC4	0,000	-76,5	66,8	30,4	76,5

23.5.4.2 2D element - Spanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC4

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC4	E125	377	-162,3	-39,4	-0,8	-165,8	-47,5	-1,1
BC4	E2168	7353	176,8	15,2	1,1	176,0	16,5	1,1
BC4	E947	3312	53,7	-101,0	-45,6	55,1	-103,8	-45,7
BC4	E2243	7582	38,4	60,4	-36,6	39,4	54,4	-34,7
BC4	E1165	3683	58,0	57,8	-76,1	66,8	57,9	-70,8
BC4	E2245	7590	58,0	58,3	76,0	66,9	58,3	70,7
BC4	E2159	7312	162,5	60,2	1,3	162,0	59,1	1,2

23.5.5 Belasting Combinatie 5a (aanvaarbeasting 1m/s)

23.5.5.1 Reactiekrachten

Niet-lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5a

Schuine steunpunten

Steunpunt	BG	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sn1/K2332	BC5	0,00	2132,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn2/K2333	BC5	0,00	9844,64	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn3/K2334	BC5	0,00	10464,90	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn4/K2335	BC5	0,00	9546,65	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn5/K2336	BC5	0,00	21357,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn6/K2337	BC5	0,00	28838,79	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn7/K2338	BC5	0,00	16596,38	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn8/K2339	BC5	0,00	18575,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn9/K2340	BC5	0,00	20728,89	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn20/K4425	BC5	0,00	2095,51	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn21/K4426	BC5	0,00	10344,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn22/K4427	BC5	0,00	10411,48	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn23/K4428	BC5	0,00	9062,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn24/K4429	BC5	0,00	21293,36	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn25/K4430	BC5	0,00	28984,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn26/K4431	BC5	0,00	16632,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn27/K4432	BC5	0,00	18490,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn28/K4433	BC5	0,00	20703,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn30/K8175	BC5	0,00	0,00	5377,86	0,00	0,00	0,00
Sn31/K1963	BC5	11,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn49/K8174	BC5	0,00	0,00	5444,48	0,00	0,00	0,00

23.5.5.2 2D element - Spanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5a

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC5	E62	140	-544,5	-120,1	1,9	-555,4	-142,0	2,4
BC5	E2150	7290	614,2	45,5	4,6	609,2	51,5	4,7
BC5	E1177	3772	361,3	-323,3	182,5	361,8	-316,3	179,8

BC5	E2180	7384	524,6	273,3	8,9	520,3	262,9	8,6
BC5	E1165	3683	183,4	199,5	-254,0	208,2	200,4	-238,5
BC5	E2245	7590	183,5	200,5	254,3	208,4	201,2	238,6
BC5	E1205	3880	-544,0	-115,6	-0,4	-555,6	-137,4	-0,2

23.5.5.3 Staafspanning

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5a

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S6147	BC5	0,000	-570,2	485,0	173,7	578,3
S9	BC5	2133,333	0,0	130,5	35,2	130,5
S1	BC5	3200,000	-204,7	0,0	6,5	204,7
S6069	BC5	0,000	-564,5	485,8	178,4	576,7
S5524	BC5	1133,333	0,0	119,7	0,9	119,7
S5991	BC5	0,000	-547,2	480,7	182,9	565,8
S4455	BC5	2266,667	-11,1	0,0	11,3	21,3
S1	BC5	0,000	-180,5	180,7	70,1	191,0
S6202	BC5	3000,000	-429,5	250,0	26,8	429,5
S6201	BC5	0,000	-322,4	549,7	35,6	549,7
S6256	BC5	3000,000	-223,0	174,2	107,1	258,3
S1759	BC5	0,000	-470,7	188,9	73,8	470,7
S6126	BC5	3200,000	-249,0	374,8	77,9	374,8
S5597	BC5	0,000	-352,6	176,1	82,0	352,6
S2258	BC5	0,000	-687,9	382,3	287,7	734,4
S1880	BC5	0,000	-259,2	464,0	67,9	464,0
S2010	BC5	3999,967	-102,6	136,4	414,4	725,7
S6373	BC5	0,000	-554,8	80,1	34,5	555,8
S6916	BC5	0,000	0,0	611,0	13,6	611,0
S7444	BC5	0,000	0,0	209,3	166,5	338,7
S6370	BC5	1073,010	-618,7	53,8	98,0	625,9
S6964	BC5	0,000	0,0	475,1	32,2	475,2
S6370	BC5	0,000	-609,1	44,3	98,0	616,5
S8518	BC5	7999,999	-648,4	0,0	15,6	648,4
S9041	BC5	9865,646	0,0	685,6	8,5	685,6
S8380	BC5	7999,999	-52,8	130,8	42,4	133,5
S8291	BC5	7999,999	-86,4	91,9	17,1	92,0
S8306	BC5	0,000	-83,7	106,3	20,3	106,4
S8291	BC5	0,000	-83,6	106,0	20,5	106,1
S8474	BC5	0,000	-521,5	11,1	12,3	521,5
S9050	BC5	9865,724	0,0	629,4	8,4	629,4
S8393	BC5	7999,999	-113,2	140,0	53,2	144,4
S8732	BC5	7999,999	-193,7	124,1	6,2	193,7
S8897	BC5	7999,999	-118,5	298,6	84,9	307,7
S8884	BC5	0,000	-140,1	282,9	159,9	363,0
S8908	BC5	0,000	-123,5	279,1	155,6	366,0
S9023	BC5	0,000	-143,0	0,0	12,0	143,4
S9025	BC5	0,000	-30,0	138,1	5,6	138,1
S9024	BC5	0,000	-143,0	0,0	12,1	143,3
S9034	BC5	3200,000	-248,2	241,9	35,5	248,6
S9034	BC5	6400,000	-143,5	284,6	45,6	284,9
S9034	BC5	14533,333	0,0	92,8	49,2	122,7

23.5.5.4 Relatieve vervorming

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5a

Belastinggeval - Combinatie	Staal	dx [mm]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
BC5	S9051	3527,690	-8,4	1/1119	-2,9	1/3269
BC5	S2250	3637,280	10,2	1/1073	-0,5	1/10000
BC5	S6187	1133,330	-6,5	1/525	0,0	1/10000
BC5	S7	2266,670	4,2	1/811	0,0	1/10000
BC5	S8455	2285,690	0,0	1/10000	-10,5	1/765
BC5	S9067	7055,320	-0,1	1/10000	7,4	1/1265

23.5.5.5 Verplaatsing van knopen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5a

BG	Staal	Knoop	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
BC5	E1168	K2340	0,0	0,0	-195,6	3,5	-9,1	-26,8
BC5	E2248	K4433	676,6	-676,6	-195,8	3,5	9,1	9,3
BC5	E2011	K4232	535,5	-922,0	100,3	13,5	0,9	-0,4
BC5	E1161	K2332	146,2	146,2	-197,6	9,4	-2,7	-20,1
BC5	E2241	7490	544,0	-542,7	-198,1	5,5	6,5	1,9
BC5	E1206	K18	551,6	-887,5	110,1	11,4	0,0	-8,8
BC5	E2222	7430	617,5	-652,0	-178,0	3,2	6,4	8,3
BC5	E40	2634	553,3	-722,6	104,6	25,1	0,1	-9,5
BC5	E1207	3874	84,4	52,5	-187,5	7,7	-2,5	-30,0
BC5	E2276	7620	611,1	-623,8	-187,7	7,7	2,5	12,5

23.5.6 Belasting Combinatie 5b (aanvaarbeasting 0,75m/s)

23.5.6.1 Reactiekrachten

Niet-lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5b

Schuine steunpunten

Steunpunt	BG	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sn1/K2332	BC12	0,00	2418,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn2/K2333	BC12	0,00	8438,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn3/K2334	BC12	0,00	8843,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn4/K2335	BC12	0,00	8369,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn5/K2336	BC12	0,00	17148,54	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn6/K2337	BC12	0,00	22630,77	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn7/K2338	BC12	0,00	13159,42	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn8/K2339	BC12	0,00	14530,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn9/K2340	BC12	0,00	15926,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn20/K4425	BC12	0,00	2374,61	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn21/K4426	BC12	0,00	8848,21	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn22/K4427	BC12	0,00	8814,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn23/K4428	BC12	0,00	7989,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn24/K4429	BC12	0,00	17090,54	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn25/K4430	BC12	0,00	22721,14	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn26/K4431	BC12	0,00	13184,88	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn27/K4432	BC12	0,00	14464,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn28/K4433	BC12	0,00	15909,53	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn30/K8175	BC12	0,00	0,00	5386,69	0,00	0,00	0,00

Sn31/K1963	BC12	13,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn49/K8174	BC12	0,00	0,00	5435,65	0,00	0,00	0,00

23.5.6.2 2D element – Spanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5b

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staal	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC12	E1205	3970	-379,9	-79,1	1,1	-387,5	-92,2	1,1
BC12	E53	117	422,5	72,3	-15,4	417,4	68,3	-14,4
BC12	E1215	4035	156,9	-214,1	114,4	164,2	-208,9	110,9
BC12	E2075	7091	367,5	169,7	30,6	364,9	166,9	29,2
BC12	E484	1702	-91,6	-140,4	-170,0	-93,8	-137,3	-166,7
BC12	E1635	5520	-79,8	-146,3	166,0	-78,3	-143,1	163,0
BC12	E400	1383	-107,3	-138,0	-165,8	-107,4	-150,0	-170,0
BC12	E1698	5735	-41,8	-114,7	163,8	-41,9	-114,6	163,3

23.5.6.3 Staafspanning

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5b

Staal	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S14	BC12	0,000	-277,9	293,9	104,0	293,9
S9	BC12	0,000	0,0	41,5	15,5	41,5
S1	BC12	3200,000	-108,9	0,0	19,4	108,9
S205	BC12	3400,000	-211,6	301,8	110,0	301,8
S1256	BC12	1066,667	0,0	68,8	0,2	68,8
S244	BC12	3400,000	-206,4	299,4	114,6	299,4
S2172	BC12	0,000	-6,7	9,0	3,1	9,4
S1	BC12	0,000	-153,6	113,9	54,7	153,6
S4640	BC12	0,000	-287,0	255,9	89,6	287,0
S215	BC12	7999,999	-156,5	351,7	67,9	351,7
S5029	BC12	0,000	-151,6	162,7	92,7	201,8
S5363	BC12	3200,000	-376,2	179,3	61,3	376,2
S650	BC12	0,000	-167,6	306,8	52,5	306,8
S5597	BC12	0,000	-331,0	161,6	70,8	331,0
S2258	BC12	0,000	-362,0	199,2	154,8	388,8
S6261	BC12	2000,000	-54,2	253,4	52,5	254,0
S2010	BC12	3999,967	-49,6	76,6	255,9	446,6
S2010	BC12	4049,539	-74,8	90,5	255,9	448,5
S2250	BC12	0,000	-490,5	72,5	31,9	490,8
S7003	BC12	769,841	0,0	418,5	34,6	419,4
S7444	BC12	0,000	0,0	93,0	91,8	183,6
S7949	BC12	884,315	-358,4	0,0	22,8	358,7
S6964	BC12	0,000	0,0	372,6	15,0	372,6
S6370	BC12	9539,611	-110,4	0,0	72,9	160,0
S8505	BC12	0,000	-524,7	6,1	15,8	524,7
S9041	BC12	9865,646	0,0	470,6	6,4	470,6
S8428	BC12	7999,999	-57,2	71,0	35,8	74,3
S8306	BC12	4000,000	-79,6	92,6	14,4	92,9
S8291	BC12	3999,999	-69,7	96,0	14,4	96,3
S8291	BC12	0,000	-37,1	63,4	14,4	63,8
S8474	BC12	0,000	-373,4	0,0	10,5	373,4

S9050	BC12	9865,724	0,0	486,8	6,0	486,8
S8393	BC12	7999,999	-83,5	91,5	43,7	96,4
S8831	BC12	0,000	-131,4	128,6	72,9	159,2
S8999	BC12	6943,606	0,0	230,8	16,8	230,8
S8884	BC12	0,000	-104,2	133,1	90,4	184,7
S9023	BC12	0,000	-120,3	0,0	8,5	120,4
S9025	BC12	0,000	-62,8	108,7	6,7	108,7
S9024	BC12	0,000	-120,0	0,0	8,5	120,2
S9209	BC12	0,000	-223,7	164,5	43,4	226,0
S9208	BC12	11000,000	-77,3	212,4	91,4	233,4
S9209	BC12	10000,000	-16,5	147,1	91,5	183,2
S9297	BC12	5122,499	-327,4	42,1	15,9	327,4
S9298	BC12	5122,499	-38,0	316,5	13,9	316,6
S9311	BC12	0,000	-29,2	48,8	16,8	53,4

23.5.6.4 Relatieve vervorming

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5b

Belastinggeval - Combinatie	Staaf	dx [mm]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
BC12	S9207	10000,000	-6,6	1/3866	4,2	1/6048
BC12	S9210	10000,000	6,3	1/4066	4,1	1/6269
BC12	S4400	1133,330	-4,1	1/837	0,0	1/10000
BC12	S9297	3841,870	4,5	1/1148	145,8	1/35
BC12	S9231	0,000	0,0	0	-344,8	1/18
BC12	S9234	6325,110	0,0	0	341,9	1/18
BC12	S7777	883,180	0,0	1/10000	166,6	1/5

23.5.6.5 Verplaatsing van knopen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5b

BG	Staaf	Knoop	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
BC12	E1168	K2340	1691,9	1691,9	-99,1	1,8	-5,2	-64,0
BC12	E78	K6539	3162,7	-313,8	58,9	7,4	0,2	-54,8
BC12	E1965	K3032	2606,8	-2188,8	-52,5	3,1	2,1	-35,5
BC12	E1161	K2332	1765,7	1765,7	-100,7	3,8	-2,1	-60,4
BC12	E2241	7519	2113,1	-2113,4	-101,0	3,0	3,3	-39,8
BC12	E1206	K18	3159,9	-639,9	65,6	7,7	0,0	-50,1
BC12	E2708	K7684	2539,7	-2157,5	-57,3	0,6	0,0	-39,5
BC12	E2177	7356	3158,3	-599,2	62,3	13,2	0,0	-49,6
BC12	E799	2817	2287,8	1116,2	-49,8	7,6	-5,2	-60,4
BC12	E2248	K4433	2183,9	-2183,9	-99,4	1,8	5,2	-36,4
BC12	E882	K1761	2531,9	1439,4	-34,4	5,2	-1,4	-65,2
BC12	E1298	K3535	2701,9	-2065,7	-34,6	5,1	1,5	-35,1

23.5.7 Belasting Combinatie 5c (aanvaarbeasting 0,5m/s)

23.5.7.1 Reactiekrachten

Niet-lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5c

Schuine steunpunten

Steunpunt	BG	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sn1/K2332	BC11	0,00	3188,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn2/K2333	BC11	0,00	8090,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn3/K2334	BC11	0,00	8290,42	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn4/K2335	BC11	0,00	8441,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn5/K2336	BC11	0,00	14938,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn6/K2337	BC11	0,00	18707,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn7/K2338	BC11	0,00	11104,98	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn8/K2339	BC11	0,00	12032,78	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn9/K2340	BC11	0,00	12721,93	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn20/K4425	BC11	0,00	3129,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn21/K4426	BC11	0,00	8460,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn22/K4427	BC11	0,00	8293,99	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn23/K4428	BC11	0,00	8116,83	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn24/K4429	BC11	0,00	14878,21	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn25/K4430	BC11	0,00	18758,45	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn26/K4431	BC11	0,00	11120,43	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn27/K4432	BC11	0,00	11976,63	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn28/K4433	BC11	0,00	12712,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn30/K8175	BC11	0,00	0,00	5390,11	0,00	0,00	0,00
Sn31/K1963	BC11	13,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn49/K8174	BC11	0,00	0,00	5432,22	0,00	0,00	0,00

23.5.7.2 2D element – Spanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5c

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staal	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC11	E62	140	-347,5	-71,7	0,8	-353,9	-84,0	1,1
BC11	E2150	7290	394,6	28,1	1,8	391,7	32,2	1,9
BC11	E1177	3772	224,3	-193,9	109,1	224,4	-189,9	107,6
BC11	E2180	7384	337,4	160,7	5,2	335,1	155,4	5,0
BC11	E1165	3683	113,4	128,8	-149,7	129,5	128,8	-139,9
BC11	E2245	7590	113,5	129,5	149,7	129,6	129,4	139,9
BC11	E1205	3880	-347,2	-69,7	-0,2	-353,9	-81,9	-0,1

23.5.7.3 Staafspanning

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5c

Staal	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S6069	BC11	0,000	-309,9	280,0	99,4	317,0
S9	BC11	2133,333	0,0	93,4	20,9	93,4
S1	BC11	3200,000	-118,4	0,0	11,1	118,4
S4	BC11	3000,000	-161,6	0,0	0,1	161,6
S5991	BC11	0,000	-302,0	278,0	102,6	313,0
S4455	BC11	2266,667	-7,3	0,0	7,2	14,3
S1	BC11	0,000	-130,2	118,1	50,2	130,2
S6201	BC11	3000,000	-224,3	136,9	19,3	224,3
S6201	BC11	0,000	-176,6	304,1	19,4	304,1
S6256	BC11	3000,000	-120,0	100,1	68,8	148,4

S1759	BC11	0,000	-283,2	123,4	44,2	283,2
S6126	BC11	3200,000	-159,5	241,9	47,8	241,9
S5597	BC11	0,000	-227,0	118,7	53,8	227,0
S2258	BC11	0,000	-407,7	224,0	175,0	438,3
S6259	BC11	0,000	-147,5	262,9	28,8	262,9
S2010	BC11	3999,967	-61,0	84,4	254,2	444,8
S2010	BC11	4049,539	-93,3	104,6	254,2	447,2
S7755	BC11	884,315	-345,4	0,0	27,3	345,6
S6916	BC11	0,000	0,0	392,4	7,9	392,4
S7444	BC11	0,000	0,0	127,7	102,1	206,4
S6370	BC11	1073,010	-376,2	27,9	58,7	380,3
S6964	BC11	0,000	0,0	325,0	20,0	325,1
S6370	BC11	0,000	-369,8	21,5	58,7	374,0
S8518	BC11	7999,999	-406,3	0,0	10,0	406,3
S9041	BC11	9865,646	0,0	421,6	5,4	421,6
S8380	BC11	7999,999	-31,2	93,0	28,9	94,8
S8291	BC11	7999,999	-68,8	75,5	12,6	75,5
S8291	BC11	3999,999	-68,0	77,6	14,4	77,7
S8291	BC11	0,000	-61,5	71,0	14,4	71,1
S8474	BC11	0,000	-332,8	7,0	8,1	332,8
S9050	BC11	9865,724	0,0	398,8	5,4	398,8
S8393	BC11	7999,999	-80,1	95,6	38,8	99,0
S8831	BC11	0,000	-131,9	130,7	74,9	163,0
S8998	BC11	6943,606	0,0	206,9	17,3	206,9
S8920	BC11	0,000	-92,6	175,4	100,3	225,6
S9024	BC11	0,000	-106,5	0,0	8,1	106,7
S9025	BC11	0,000	-33,3	96,3	5,1	96,3
S9034	BC11	3200,000	-133,2	140,5	19,7	140,7
S9034	BC11	6400,000	-76,4	170,6	26,8	170,8
S9034	BC11	14533,333	0,0	60,6	30,2	78,1

23.5.7.4 Relatieve vervorming

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5c

Belastinggeval - Combinatie	Staaf	dx [mm]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
BC11	S9028	12400,000	-5,2	1/4329	-1,2	1/10000
BC11	S2250	3637,280	6,4	1/1716	-0,2	1/10000
BC11	S6187	1133,330	-3,6	1/944	0,0	1/10000
BC11	S6170	2266,670	2,5	1/1361	0,0	1/10000
BC11	S8455	2285,690	0,0	1/10000	-5,6	1/1429
BC11	S9067	7055,320	-0,3	1/10000	4,0	1/2347

23.5.7.5 Verplaatsing van knopen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC5c

BG	Staaf	Knoop	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
BC5	E1168	K2340	0,0	0,0	-195,6	3,5	-9,1	-26,8
BC5	E2248	K4433	676,6	-676,6	-195,8	3,5	9,1	9,3
BC5	E2011	K4232	535,5	-922,0	100,3	13,5	0,9	-0,4
BC5	E1161	K2332	146,2	146,2	-197,6	9,4	-2,7	-20,1
BC5	E2241	7490	544,0	-542,7	-198,1	5,5	6,5	1,9
BC5	E1206	K18	551,6	-887,5	110,1	11,4	0,0	-8,8

BC5	E2222	7430	617,5	-652,0	-178,0	3,2	6,4	8,3
BC5	E40	2634	553,3	-722,6	104,6	25,1	0,1	-9,5
BC5	E1207	3874	84,4	52,5	-187,5	7,7	-2,5	-30,0
BC5	E2276	7620	611,1	-623,8	-187,7	7,7	2,5	12,5

23.5.8 Vermoeing negatief verval

23.5.8.1 Staafspanning

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC6

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S6340	BC6	0,000	-56,4	18,7	15,0	57,6
S7	BC6	0,000	0,0	9,6	0,2	9,6
S11	BC6	1066,667	-5,1	0,0	1,2	5,1
S5803	BC6	3200,000	-9,5	55,5	12,3	55,7
S1336	BC6	1133,333	-0,6	0,6	0,0	0,6
S2170	BC6	0,000	-56,2	24,7	15,3	57,3
S4901	BC6	2266,667	-0,3	0,2	0,1	0,3
S1	BC6	0,000	-6,2	15,7	6,8	15,7
S1853	BC6	7999,931	-67,0	0,0	0,7	67,0
S2013	BC6	3000,000	-11,9	27,7	4,7	27,7
S6256	BC6	0,000	-12,1	19,8	5,8	20,6
S4505	BC6	0,000	-27,7	19,7	6,0	27,7
S1742	BC6	0,000	-19,5	29,3	6,4	29,3
S1759	BC6	2400,000	0,0	6,0	9,6	17,2
S1878	BC6	3000,000	-82,4	74,8	37,7	84,8
S1876	BC6	0,000	-58,3	83,1	11,5	83,1
S6366	BC6	10912,505	-64,6	5,9	6,0	64,7
S2218	BC6	769,841	-7,5	39,5	10,8	40,8
S1888	BC6	0,000	-22,4	2,3	24,9	45,4
S2245	BC6	10911,832	-86,2	23,3	11,2	86,3
S2245	BC6	9538,987	-45,9	0,0	11,2	49,2
S9086	BC6	0,000	-53,4	0,0	1,5	53,4
S8287	BC6	0,000	-3,8	42,3	1,0	42,3
S8428	BC6	7999,999	-16,5	12,5	8,1	17,2
S8291	BC6	7999,999	-14,0	16,0	3,1	16,0
S8291	BC6	0,000	-7,9	17,5	2,8	17,5
S8291	BC6	3999,999	-10,5	12,5	3,1	12,5
S8377	BC6	0,000	-77,9	0,0	8,8	78,2
S8474	BC6	7999,999	0,0	19,8	0,6	19,8
S8412	BC6	7999,999	-19,3	17,7	9,4	20,2
S8815	BC6	7999,999	-43,2	42,9	25,3	55,1
S9036	BC6	7877,127	-12,5	0,0	0,2	12,5
S9027	BC6	7577,180	0,0	14,3	0,4	14,3
S9022	BC6	0,000	-11,8	0,0	0,8	11,8
S9029	BC6	0,000	-17,1	10,2	2,5	17,1
S9031	BC6	3200,000	-7,7	11,6	1,9	11,6

23.5.8.2 2D element - Spanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC6

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	elem	sigx+	sigy+	sigxy+	sigx-	sigy-	sigxy-
----	-------	------	-------	-------	--------	-------	-------	--------

			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
BC6	E968	3390	-60,9	-21,6	14,6	-61,9	-22,5	14,9
BC6	E1186	3812	25,8	-18,2	11,5	25,7	-18,5	11,6
BC6	E1178	3773	-33,3	-60,3	16,4	-34,9	-61,7	16,8
BC6	E2526	8368	-11,9	29,8	12,4	-11,9	30,6	12,8
BC6	E1960	6629	-27,3	-19,1	-17,9	-25,6	-20,9	-19,1
BC6	E2686	9652	-5,6	4,7	21,7	-5,5	4,6	21,4
BC6	E2414	8140	-36,0	-4,6	21,4	-37,1	-5,7	21,4

23.5.9 Vermoeing positief verval

23.5.9.1 Staafspanning

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC7

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S338	BC8	0,000	-46,1	35,4	18,0	48,7
S9	BC8	0,000	0,0	12,2	5,4	13,8
S3	BC8	0,000	-31,2	0,0	8,6	31,2
S6340	BC8	3200,000	-33,2	46,3	17,5	50,7
S5828	BC8	2266,667	-8,4	17,9	0,1	17,9
S6339	BC8	3200,000	-39,6	44,5	19,7	51,0
S6397	BC8	1133,333	-1,9	0,5	1,4	2,8
S2170	BC8	3200,000	-38,6	45,6	19,5	51,9
S1	BC8	0,000	-32,1	11,3	11,8	32,1
S6202	BC8	0,000	-32,0	19,9	2,7	32,0
S1855	BC8	7999,931	0,0	43,1	5,6	43,1
S6255	BC8	0,000	-25,0	18,2	16,0	32,6
S1447	BC8	0,000	-56,4	29,5	8,9	56,4
S377	BC8	0,000	-43,7	68,0	11,5	68,0
S667	BC8	2400,000	-17,5	37,7	12,3	37,7
S6389	BC8	0,000	-82,1	44,0	36,6	89,4
S2266	BC8	0,000	-71,8	56,6	38,1	84,9
S2262	BC8	3999,966	-2,6	10,0	51,3	88,9
S2243	BC8	0,000	-92,4	12,9	3,9	92,5
S6954	BC8	0,000	0,0	73,7	1,6	73,7
S2220	BC8	0,000	-8,5	53,4	23,8	56,1
S2245	BC8	1072,940	-81,7	5,2	13,1	82,6
S6919	BC8	769,841	0,0	63,9	1,8	63,9
S6370	BC8	9539,611	-17,0	0,0	13,8	29,2
S8287	BC8	7999,999	-50,7	6,4	1,3	50,7
S9086	BC8	0,000	0,0	79,4	1,0	79,4
S8428	BC8	7999,999	-17,4	19,8	10,5	20,7
S8291	BC8	0,000	-25,3	20,2	3,3	25,3
S8306	BC8	7999,999	-19,2	23,8	3,6	23,8
S8291	BC8	3999,999	-13,3	17,7	3,6	17,7
S8474	BC8	0,000	-32,4	0,0	1,1	32,4
S8377	BC8	0,000	0,0	84,5	7,1	84,5
S8426	BC8	7999,999	-23,4	27,9	11,1	28,7
S8991	BC8	7999,999	-45,2	61,1	28,5	70,8
S8999	BC8	6943,606	0,0	73,3	5,8	73,3
S9020	BC8	7577,179	-19,1	0,0	0,6	19,1
S9022	BC8	0,000	-7,7	22,6	1,4	22,7
S9025	BC8	0,000	-7,9	22,6	1,4	22,6
S9029	BC8	19000,000	-25,6	18,6	3,7	25,6
S9029	BC8	0,000	-18,6	25,9	3,3	25,9
S9035	BC8	0,000	-7,4	21,1	5,0	21,2

23.5.9.2 2D element – Spanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC7

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	elem	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC8	E2195	7438	-97,3	-20,0	0,7	-98,8	-23,5	0,7
BC8	E2164	7344	114,7	9,4	1,2	114,8	10,9	1,0
BC8	E2275	7719	93,6	-82,7	-48,3	93,4	-84,6	-49,0
BC8	E1189	3829	86,7	48,9	-0,2	87,4	51,0	-0,3
BC8	E2244	7585	47,2	43,9	-71,6	53,5	44,5	-67,4
BC8	E1164	3678	47,1	44,2	72,8	53,5	44,9	68,5
BC8	E216	721	114,7	9,8	3,6	114,8	11,5	3,4
BC8	E1207	3893	-68,9	-20,8	-64,7	-63,4	-20,6	-67,8

23.5.10 Bruikbaarheids Grens Toestand Maximaal positief verval

23.5.10.1 Verplaatsingen

Verplaatsing van knopen per doorsnede

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC8

BG	Staaf	Knoop	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
BC7	E1162	3685	-0,2	0,5	1,2	-0,4	-0,3	-12,9
BC7	E2242	7493	342,5	-341,7	1,0	-0,4	0,3	3,9
BC7	E1835	6134	253,8	-436,2	-4,3	0,2	-0,1	0,0
BC7	E1168	K2340	6,7	6,7	2,4	-2,7	-2,5	-14,0
BC7	E1197	K9	243,6	-400,6	-5,8	0,3	0,0	-4,4
BC7	E1167	3699	4,1	4,9	3,0	-0,1	0,7	-11,8
BC7	E2708	K7684	288,1	-347,7	-2,8	-4,4	-1,2	5,0
BC7	E2709	K7688	287,1	-345,0	-0,2	4,5	1,5	5,2
BC7	E2315	7808	236,9	-316,8	-2,6	0,4	-3,8	-8,2
BC7	E2517	8046	255,3	-428,7	-2,6	0,5	3,8	-0,6
BC7	E1207	3864	16,4	-1,5	2,2	-0,2	-2,2	-17,3
BC7	E2276	7610	335,3	-343,5	2,1	-0,2	2,1	8,4

Maximale verplaatsing van knopen

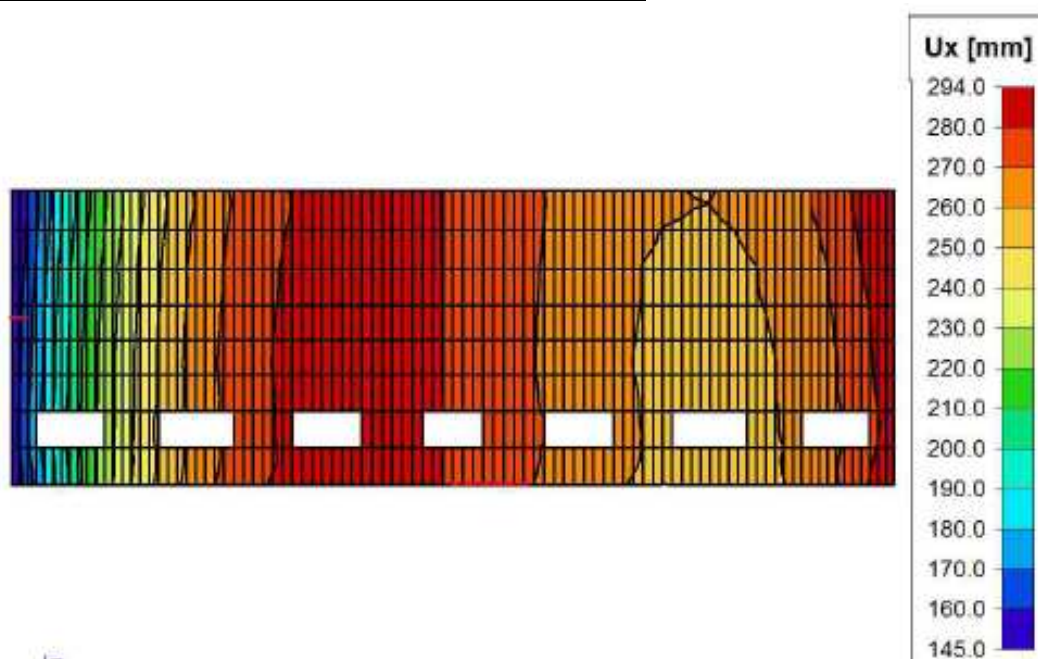
Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC8

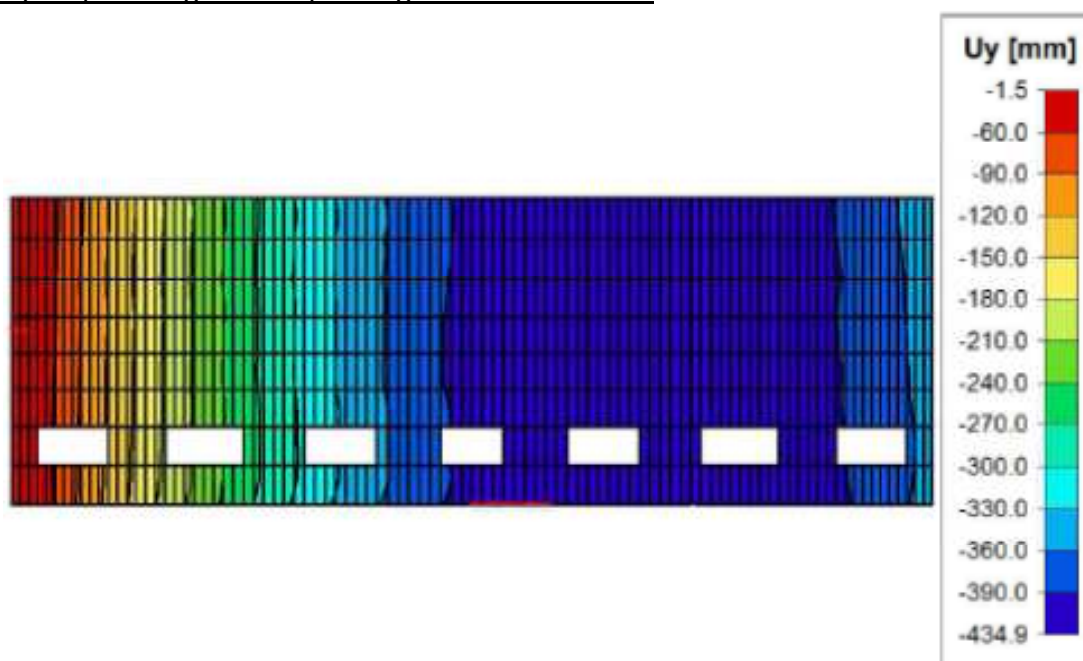
Knoop	BG	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]
K2333	BC7	0,0	0,0	1,2
K4426	BC7	342,3	-342,3	1,0
K4068	BC7	254,4	-436,2	-0,7
K2340	BC7	6,7	6,7	2,4
K9	BC7	243,6	-400,6	-5,8
K2338	BC7	3,8	3,8	2,9

Ux verplaatsing van knopen in globale assenstelsel



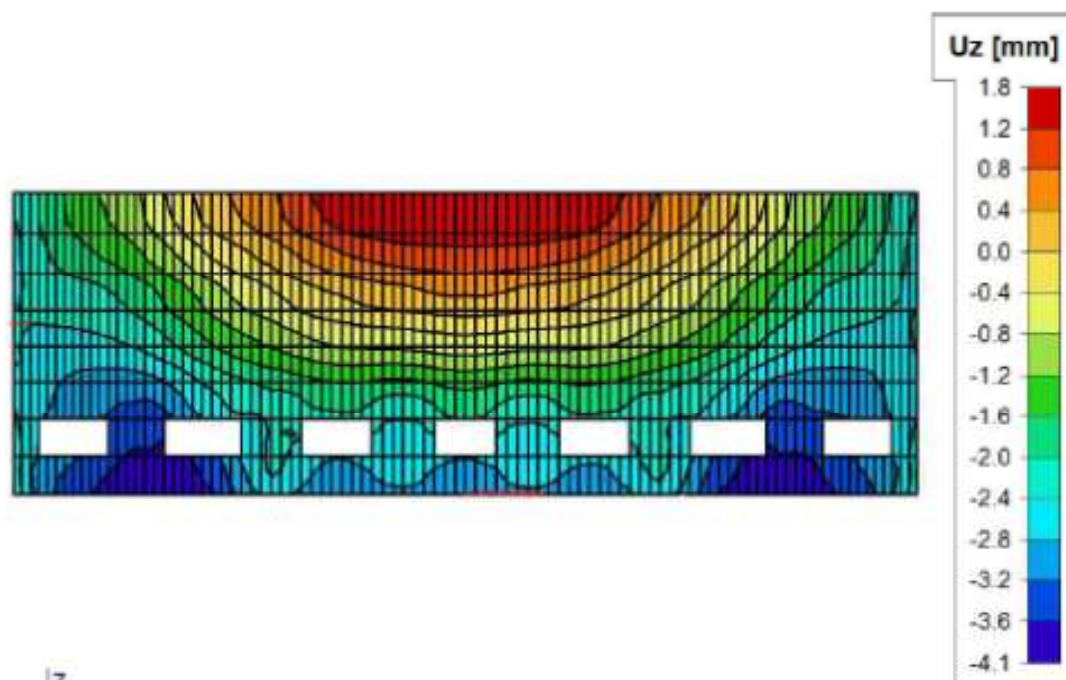
Figuur 116 Verplaatsingen in x-richting van binnenste huidplaat in BGT

Uy verplaatsing van knopen in globale assenstelsel



Figuur 117 Verplaatsingen in y-richting van binnenste huidplaat in BGT

Uz verplaatsing van knopen in globale assenstelsel



Figuur 118 Verplaatsingen in z-richting van binnenste huidplaat in BGT

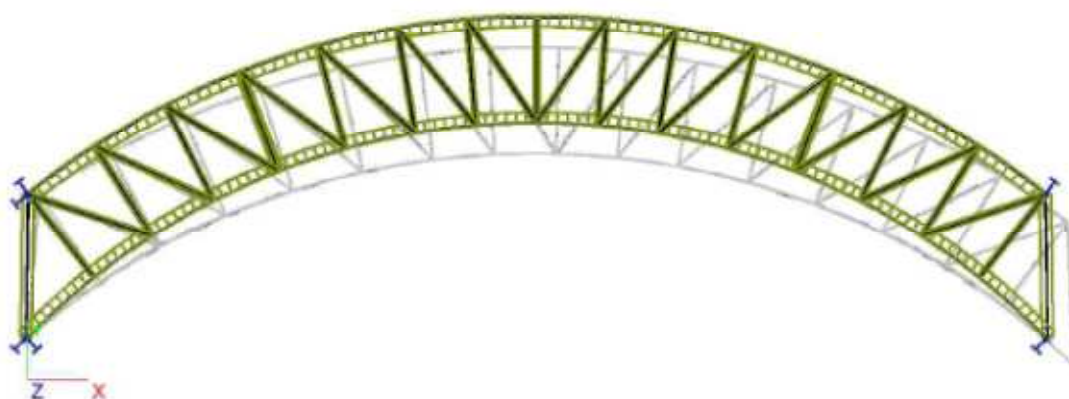
23.5.10.2 Vervormingen van staven

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC8

BG	Staaf	dx [mm]	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]
BC7	S7440	0,001	-481,2	2,0	3,8	-2,9	7,9	-0,2
BC7	S9079	9407,170	470,8	-26,1	0,0	-0,6	-0,9	-4,4
BC7	S9089	0,001	-43,9	-503,1	-0,8	-0,9	1,0	0,9
BC7	S9025	5051,450	-110,9	486,5	49,5	1,3	0,4	0,0
BC7	S6389	0,001	-5,5	-1,5	-483,2	-0,2	-7,0	-0,5
BC7	S6257	3200,000	1,0	-7,7	484,0	7,9	0,1	2,9
BC7	S2209	3200,000	1,2	0,0	0,0	-16,6	-0,1	3,0
BC7	S2218	769,840	-5,9	2,2	-0,9	-3,0	-16,6	0,1
BC7	S2243	0,001	-0,6	-1,2	-0,7	2,2	16,6	-2,0
BC7	S8377	0,001	103,2	113,2	-2,0	-0,8	0,7	-15,2
BC7	S8761	8000,000	-138,3	117,8	2,8	0,6	0,1	14,5



Figuur 119 Globale vervorming van de constructie positief verval

23.5.10.3 Relatieve vervorming

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC8

Belastinggeval - Combinatie	Staaf	dx [mm]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
BC7	S9030	16733,330	-4,2	1/5349	1,2	1/10000
BC7	S2250	4849,700	4,2	1/2578	0,4	1/10000
BC7	S8999	3967,770	-3,6	1/2239	0,3	1/10000
BC7	S1039	2133,330	1,8	1/1780	0,0	1/10000
BC7	S2244	2424,850	-3,2	1/3406	-3,3	1/3304
BC7	S6367	3577,430	-3,9	1/2476	4,3	1/2219
BC7	S8401	5000,000	-0,1	1/10000	-2,9	1/2767

23.5.11 Bruikbaarheids Grens Toestand maximaal negatief verval

23.5.11.1 Verplaatsingen

Verplaatsing van knopen per doorsnede

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC9

BG	Staaf	Knoop	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
BGT	E2241	K4425	-36,9	14,6	-19,9	0,4	0,6	-1,5
BGT	E1161	K2332	36,9	14,6	-19,8	0,4	-0,5	1,5
BGT	E2248	K4433	-21,6	3,6	-20,2	0,6	0,4	-1,1
BGT	E27	K91	0,2	71,1	-2,6	1,5	0,0	0,0
BGT	E1199	K10	0,0	70,9	7,5	1,6	0,0	0,0
BGT	E959	K1922	17,5	13,7	-11,5	-0,6	-1,4	2,0
BGT	E2730	10126	13,2	12,2	-13,4	2,4	-2,4	1,7
BGT	E2724	9782	0,7	48,7	0,3	1,6	-2,6	0,6
BGT	E2705	9353	-18,8	15,6	-10,9	0,5	1,8	-1,7
BGT	E1291	K3527	-13,8	23,1	-9,0	0,3	0,8	-2,9
BGT	E2729	10106	8,2	20,1	-7,4	0,8	-0,3	3,8

Maximale verplaatsing van knopen

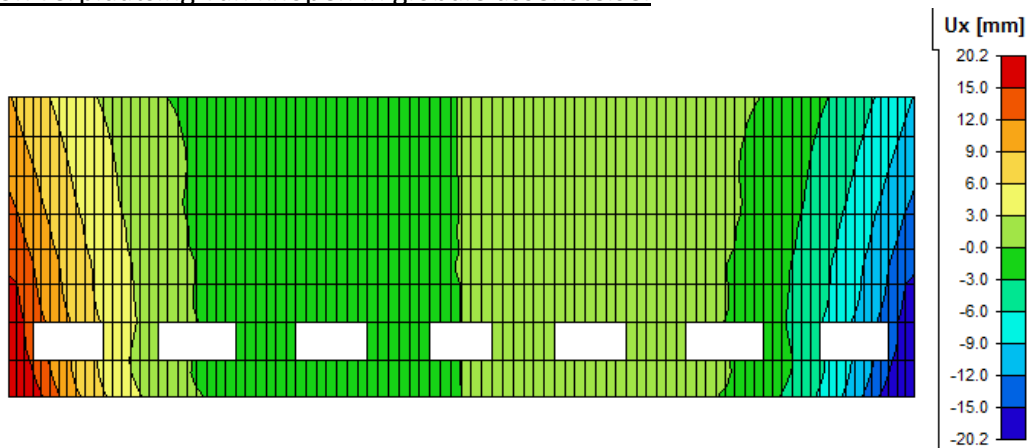
Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

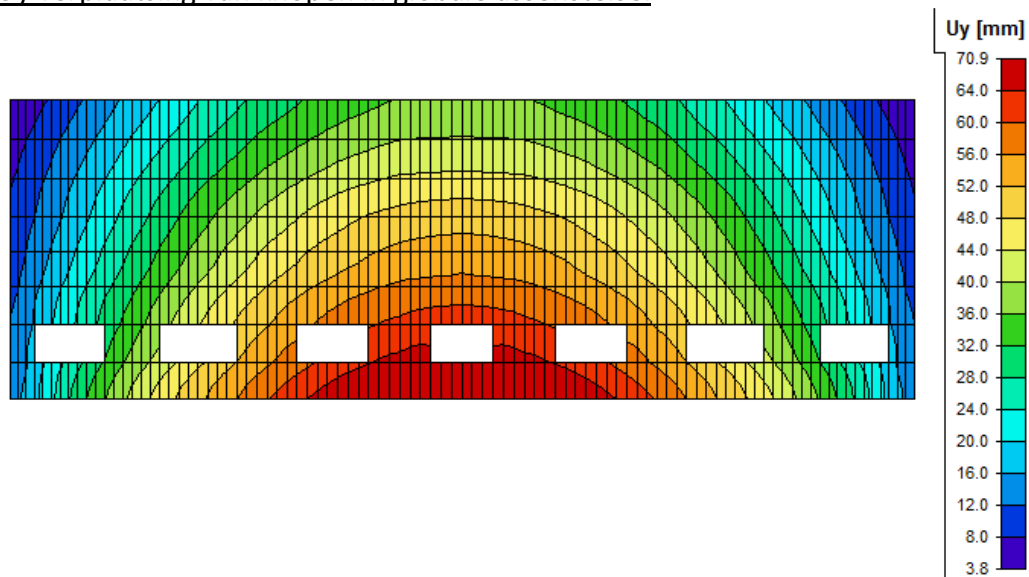
Niet-lineaire combinaties : BC9

Knoop	BG	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]
K4425	BGT	-36,9	14,6	-19,9
K2332	BGT	36,9	14,6	-19,8
K4433	BGT	-21,6	3,6	-20,2
K91	BGT	0,2	71,1	-2,6
K10	BGT	0,0	70,9	7,5

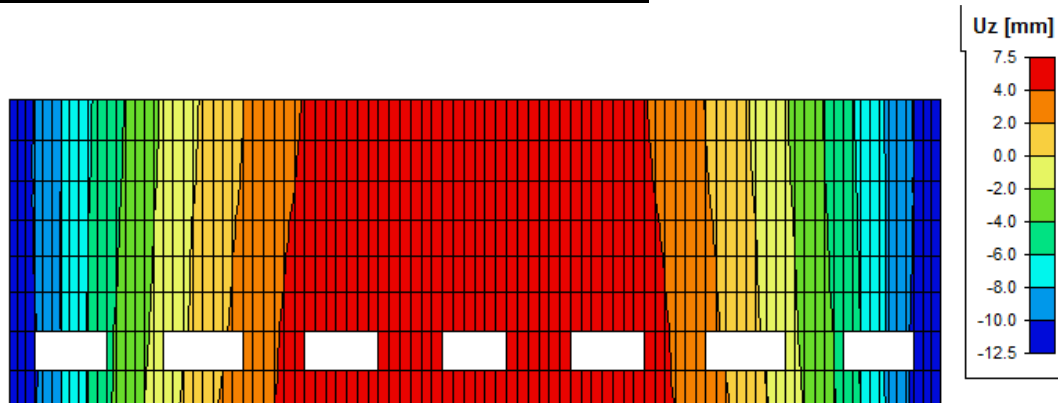
Ux verplaatsing van knopen in globale assenstelsel



Uy verplaatsing van knopen in globale assenstelsel



Uz verplaatsing van knopen in globale assenstelsel



23.5.12 Bruikbaarheids Grens Toestand maximale schutbelasting

23.5.12.1 Verplaatsingen

Verplaatsing van knopen per doorsnede

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC10

BG	Staaf	Knoop	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
BC10	E1161	K2332	594,3	594,3	7,0	0,0	1,1	-22,2
BC10	E78	K6539	1088,0	-118,9	-9,9	-0,7	-0,1	-17,5
BC10	E2709	K7688	874,7	-747,3	0,7	1,7	0,3	-13,3
BC10	E1168	K2340	605,3	605,3	7,4	-0,8	0,0	-20,6
BC10	E1199	K10	1087,0	-168,5	-10,3	-1,4	0,0	-17,2
BC10	E1167	3729	602,6	602,8	7,4	-0,5	0,6	-20,9
BC10	E2708	K7684	874,6	-747,2	-0,3	-1,9	-0,8	-13,4
BC10	E2724	9782	993,8	62,3	-6,4	0,0	-2,5	-18,6
BC10	E2310	7770	999,1	-208,1	-6,5	-0,7	1,6	-17,0
BC10	E2730	10116	718,4	463,5	3,0	-0,6	0,1	-23,0
BC10	E2241	K4426	737,9	-737,9	6,6	0,0	-0,7	-12,1

Maximale verplaatsing van knopen

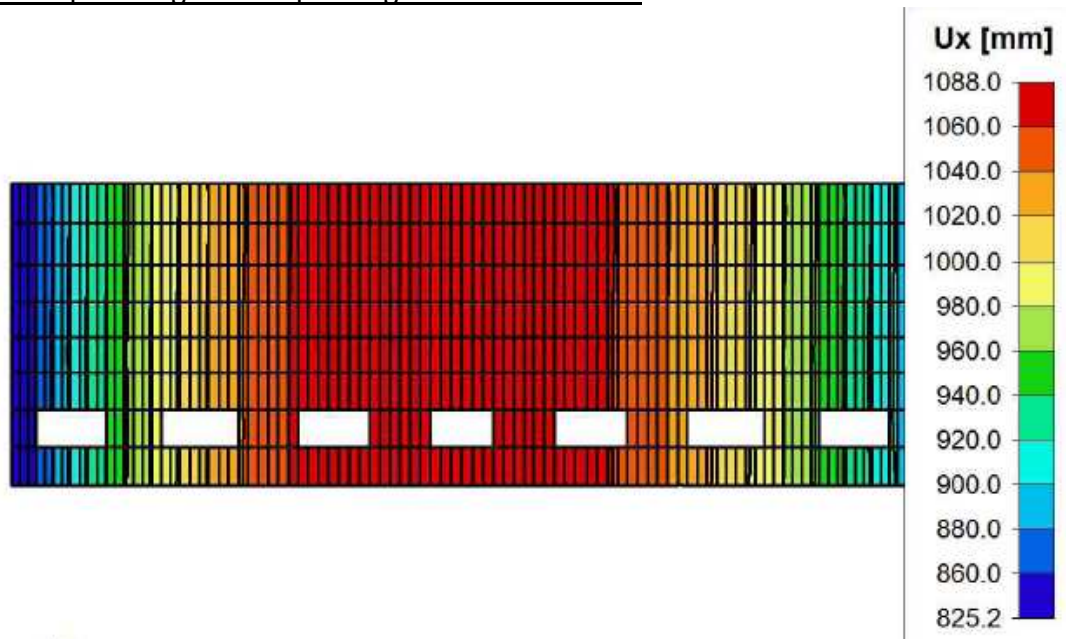
Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

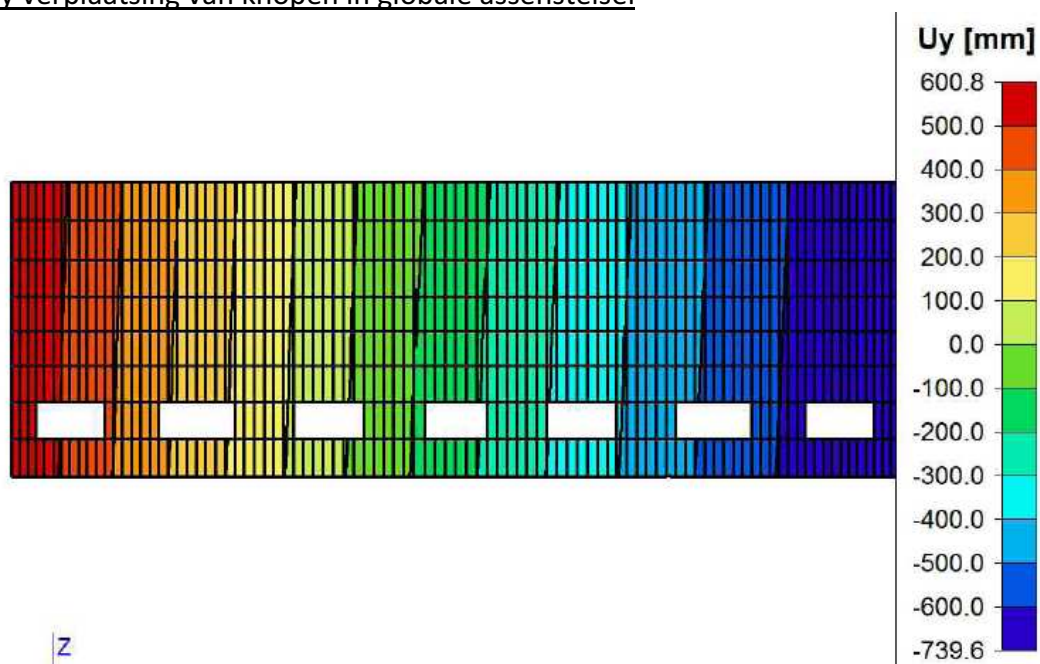
Niet-lineaire combinaties : BC10

Knoop	BG	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]
K2332	BC10	594,3	594,3	7,0
K6539	BC10	1088,0	-118,9	-9,9
K7688	BC10	874,7	-747,3	0,7
K2340	BC10	605,3	605,3	7,4
K10	BC10	1087,0	-168,5	-10,3
K2338	BC10	602,0	602,0	7,4

Ux verplaatsing van knopen in globale assenstelsel

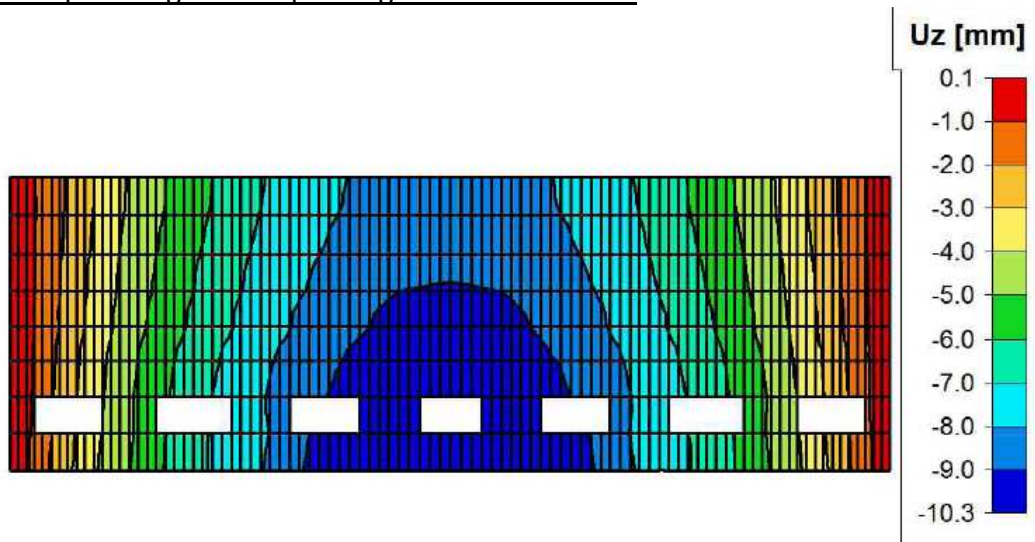


Uy verplaatsing van knopen in globale assenstelsel

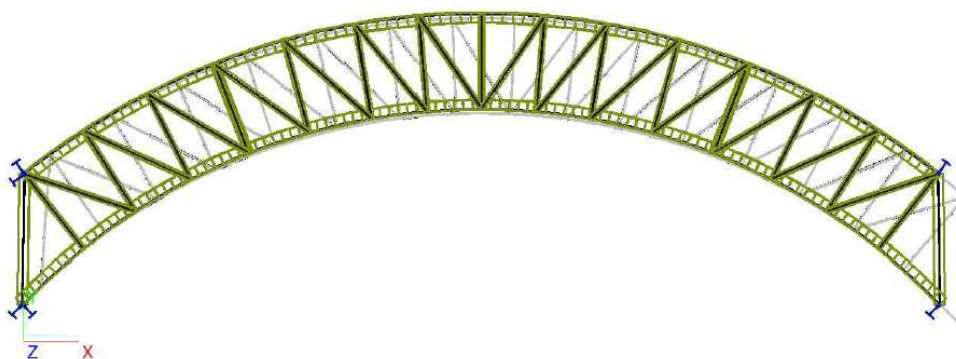


|Z

Uz verplaatsing van knopen in globale assenstelsel



23.5.12.2 Vervorming van constructie



23.5.12.3 Vervormingen van staven

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC8

BG	Staaf	dx [mm]	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]
BC10	S8284	884,320	-1148,3	0,6	24,7	-0,1	12,8	0,4
BC10	S9027	0,001	833,1	574,5	-388,3	-6,5	-0,6	-13,1
BC10	S4505	0,001	-1,3	-1149,9	43,4	-13,1	-0,1	0,4
BC10	S8300	0,001	27,7	1152,4	-0,2	0,3	0,2	-12,8
BC10	S4430	0,001	-0,2	-27,6	-1152,5	-12,8	-0,3	-0,2
BC10	S8999	8000,000	-23,7	0,7	1150,8	1,3	-13,3	1,1
BC10	S2170	3200,000	6,6	18,8	842,1	-22,3	-0,5	0,2
BC10	S9206	0,001	0,5	995,7	58,2	22,6	-0,5	0,7
BC10	S2218	0,001	-849,9	6,7	-24,9	-0,3	-22,3	0,5
BC10	S2243	0,001	603,1	-6,9	-587,6	0,7	22,3	0,1
BC10	S8377	0,001	54,4	1013,9	0,0	-0,5	0,4	-21,8
BC10	S8761	0,001	-68,7	850,6	-2,8	0,5	-0,6	21,0

23.5.12.4 Relatieve vervorming

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC8

Belastinggeval - Combinatie	Staaf	dx [mm]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
BC10	S8999	4959,720	-2,4	1/3378	0,2	1/10000
BC10	S96	6819,890	2,1	1/5079	0,0	1/10000
BC10	S1039	2133,330	1,1	1/2976	0,0	1/10000
BC10	S9232	0,000	0,0	0	-114,5	1/55
BC10	S9237	6325,110	0,0	0	116,5	1/54
BC10	S7775	883,180	0,0	1/10000	57,3	1/15

23.6 Bijlage 6: Scia resultaten model 2

In deze paragraaf zijn de resultaten van de sluisdeur tijdens het sluiten en het niet kunnen sluiten door een blokkade weergegeven.

23.6.1 Belasting tijdens sluiten

23.6.1.1 Staafspanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC11

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S9	BC1	2133,333	0,0	5,4	2,1	5,7
S1	BC1	3200,000	-9,8	0,0	1,7	9,9
S4436	BC1	0,000	-172,1	418,2	107,4	425,5
S4917	BC1	2133,333	-17,6	0,0	0,1	17,6
S1492	BC1	2266,667	-0,5	0,0	0,8	1,4
S1	BC1	0,000	-8,1	7,4	3,7	8,6
S6381	BC1	0,000	-86,1	55,8	20,8	86,1
S6389	BC1	0,000	-53,6	70,7	15,9	70,7
S2010	BC1	3999,967	-11,5	0,0	60,5	105,1
S2010	BC1	4049,539	-24,1	4,6	60,5	105,3
S6372	BC1	0,000	-224,5	79,4	16,8	225,1
S7446	BC1	0,000	-3,1	101,4	46,9	107,8
S7445	BC1	0,000	-66,7	65,3	48,4	84,6
S8306	BC1	4000,000	-229,0	158,6	24,5	229,0
S8486	BC1	8000,001	0,0	276,7	3,4	276,7
S8427	BC1	5302,028	-45,1	22,6	31,9	58,0
S8990	BC1	0,000	-68,3	37,1	38,0	86,6
S8871	BC1	7999,999	-50,4	58,3	30,6	70,2
S9025	BC1	0,000	-234,6	0,0	4,7	234,6
S9022	BC1	0,000	0,0	100,2	2,3	100,2
S9027	BC1	0,000	-226,7	0,0	4,8	226,7
S9031	BC1	12400,000	-79,9	42,0	6,4	80,1
S9029	BC1	3200,000	-31,4	53,3	6,5	53,4
S9033	BC1	6400,000	-27,8	22,6	11,8	27,8

23.6.1.2 Spanningen in huidplaat

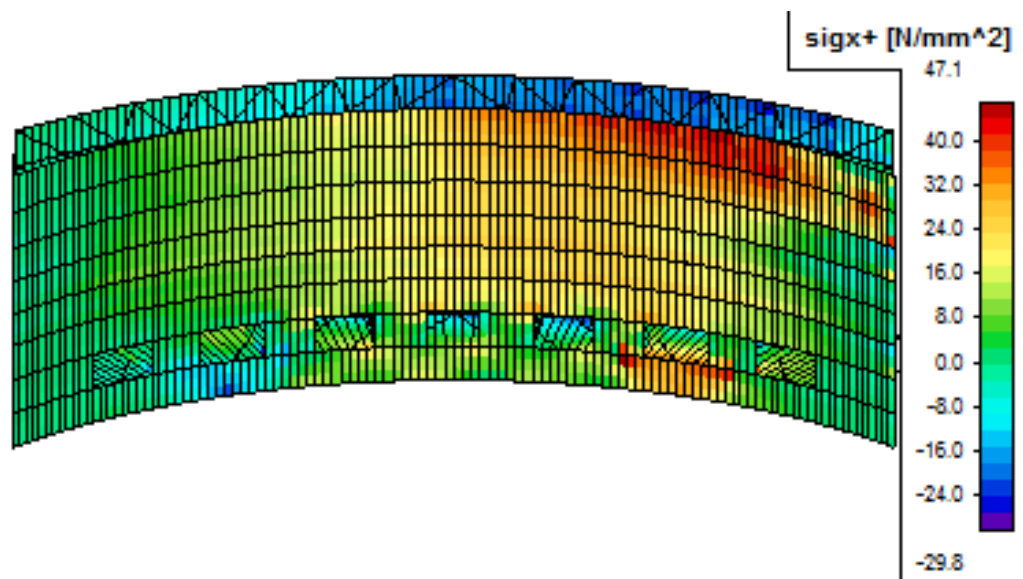
Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

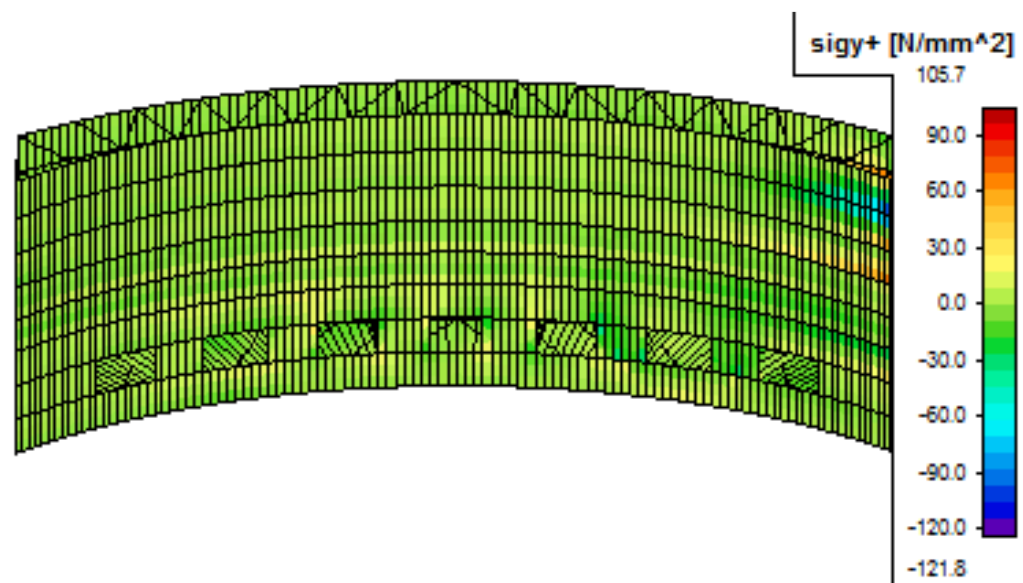
Niet-lineaire combinaties : BC11

Basis grootheden. In centrum.

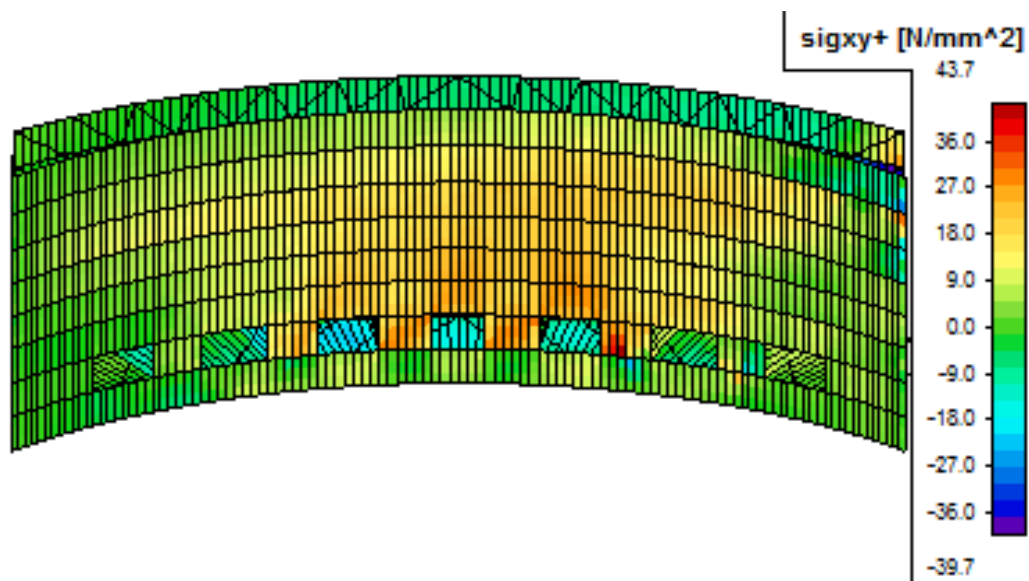
BG	Staaf	Knoop	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC1	E2248	8111	38643,1	37430,8	23333,3	-69,3	-128,0	-0,1	69,2	-30,3	-53,3
BC1	E885	3356	-32785,5	46382,6	12600,0	125,9	24,1	-19,3	-105,2	-55,2	17,9
BC1	E2710	K6920	26504,8	46818,1	4799,9	-62,9	-167,2	-3,6	44,3	138,8	-1,0
BC1	E2248	K4433	38643,1	37430,8	25600,0	73,3	235,2	20,8	26,5	82,2	18,0
BC1	E2684	9801	27025,2	47738,2	6400,0	64,9	-138,9	-281,3	-51,6	155,4	279,6
BC1	E1411	K3646	26504,8	46818,1	6400,0	21,1	189,7	108,1	-0,5	-187,0	-111,6



Figuur 120 Spanning σ_x vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens sluiten



Figuur 121 Spanning σ_y vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens sluiten



Figuur 122 Spanning oxy vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens sluiten

23.6.1.3 Verplaatsingen van huidplaat gemodelleerd in BGT

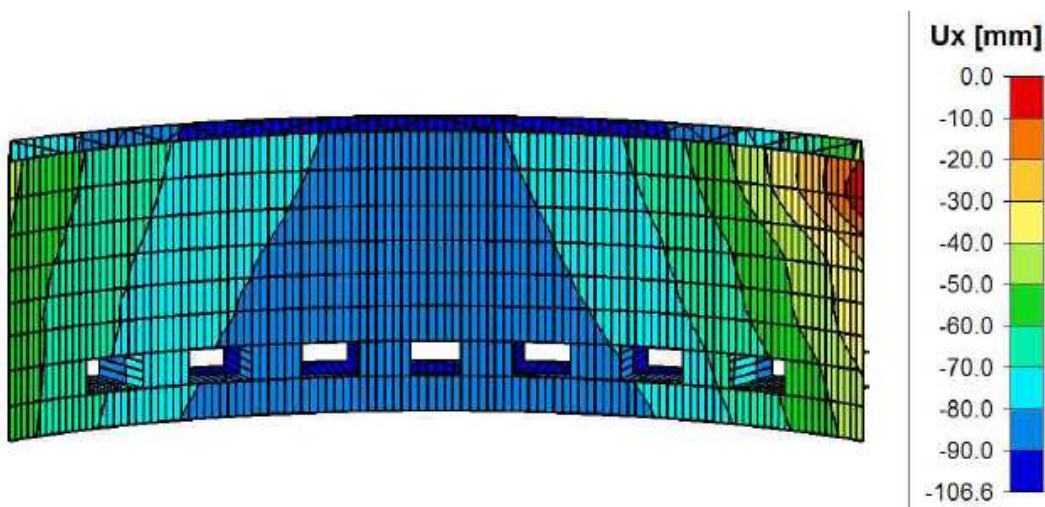
Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

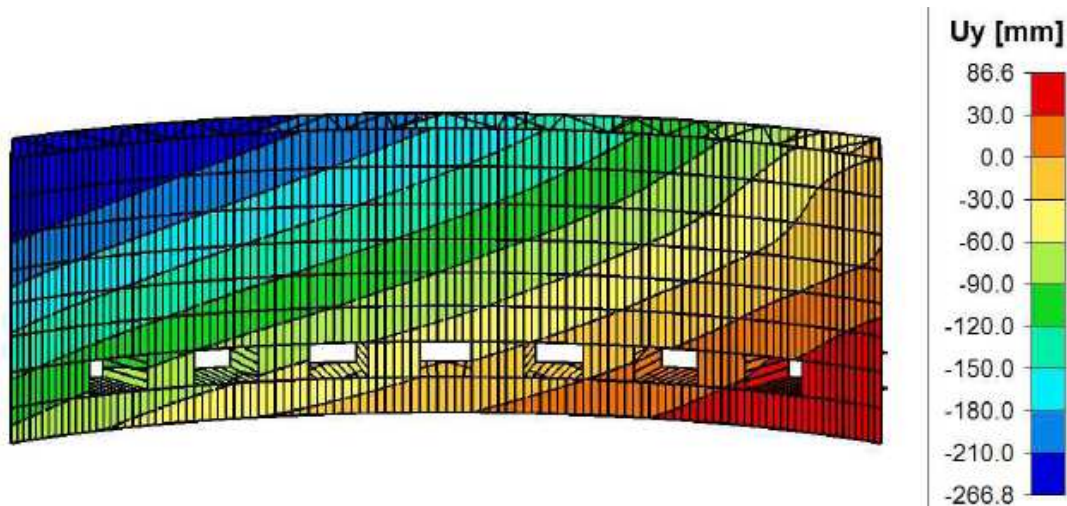
Niet-lineaire combinaties : B11

Basis grootheden. In centrum.

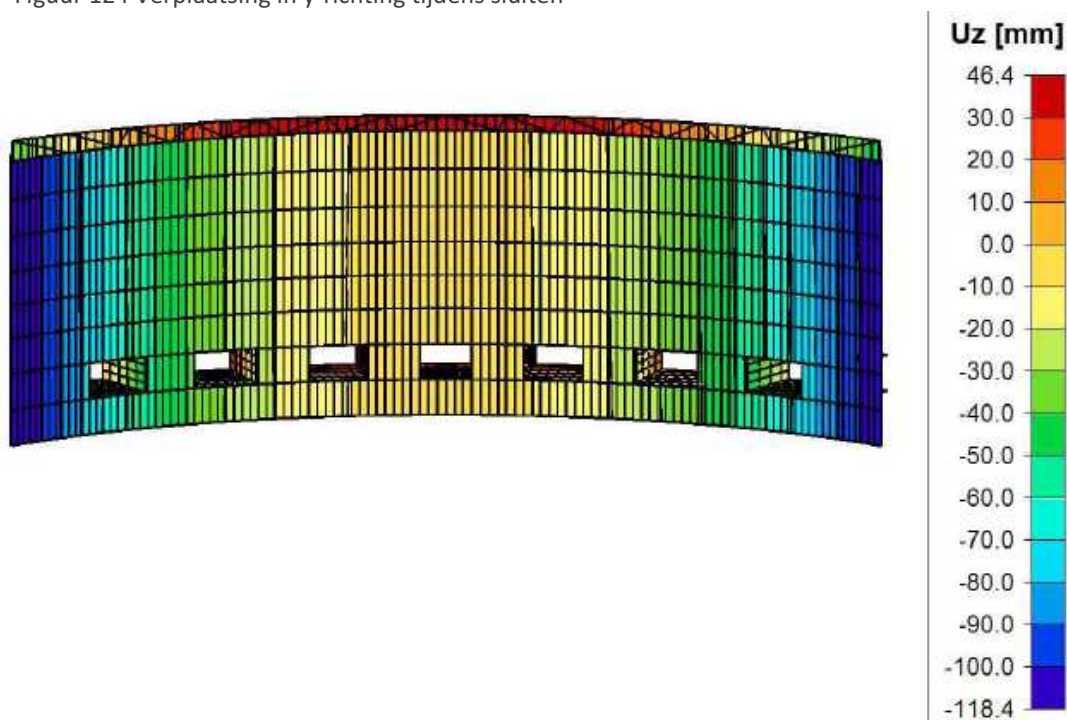
BG	Staaf	Knoop	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
BGT	E2151	K4371	-106,6	-1,4	44,7	6,3	0,3	1,8
BGT	E2247	K4432	0,0	0,0	-110,9	3,4	2,8	6,1
BGT	E1168	K2340	-47,5	-266,8	-118,3	7,2	0,1	2,1
BGT	E2241	K4425	-44,3	86,6	-111,4	5,6	0,5	2,7
BGT	E1161	K2332	-55,0	-78,3	-118,4	7,2	0,2	2,1
BGT	E43	K120	-103,3	-115,0	46,4	6,2	0,3	2,4
BGT	E2247	8108	-14,4	-1,9	-111,5	-1,2	6,5	2,3
BGT	E2248	8112	-5,6	-18,4	-110,1	9,4	-3,5	2,9
BGT	E983	3735	-75,9	-154,9	-39,1	7,2	0,2	0,9
BGT	E2239	K4516	-3,8	-3,4	-107,8	3,5	2,3	6,1



Figuur 123 Verplaatsing in x-richting tijdens sluiten



Figuur 124 Verplaatsing in y-richting tijdens sluiten



Figuur 125 Verplaatsing in z-richting tijdens sluiten

23.6.2 Belasting tijdens niet-sluiten

23.6.2.1 Staafspanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC12

Staat	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S9	BC2	2133,333	0,0	3,9	1,8	4,3
S1	BC2	3200,000	-8,6	0,0	1,0	8,6
S4436	BC2	0,000	-127,0	307,1	78,9	312,4
S1704	BC2	3200,000	-2,8	1,6	0,0	2,8
S1492	BC2	2266,667	-0,5	0,1	0,5	1,0
S1	BC2	0,000	-6,1	6,6	2,8	7,2
S6381	BC2	0,000	-60,9	38,7	14,9	60,9

S6389	BC2	0,000	-44,3	58,0	13,4	58,0
S2010	BC2	3999,967	-9,7	0,0	54,5	94,7
S2010	BC2	4049,539	-22,5	4,8	54,5	94,9
S6372	BC2	0,000	-161,7	55,8	11,9	162,1
S96	BC2	0,000	-70,8	75,6	15,5	75,7
S7445	BC2	0,000	-48,5	47,3	35,4	61,9
S8306	BC2	7999,999	-176,0	115,7	17,9	176,0
S8486	BC2	8000,001	0,0	202,6	2,5	202,6
S8427	BC2	5302,028	-37,2	18,9	26,5	48,1
S8990	BC2	0,000	-55,0	30,0	30,7	69,8
S8871	BC2	7999,999	-44,4	51,1	26,6	61,3
S9025	BC2	0,000	-181,5	0,0	3,6	181,5
S9022	BC2	0,000	-6,3	79,1	2,2	79,1
S9027	BC2	0,000	-173,5	0,0	3,6	173,5
S9031	BC2	12400,000	-63,0	33,1	5,1	63,1
S9029	BC2	3200,000	-26,9	45,0	5,6	45,0
S9033	BC2	6400,000	-24,4	18,7	10,4	24,4

23.6.2.2 Spanningen in huidplaat

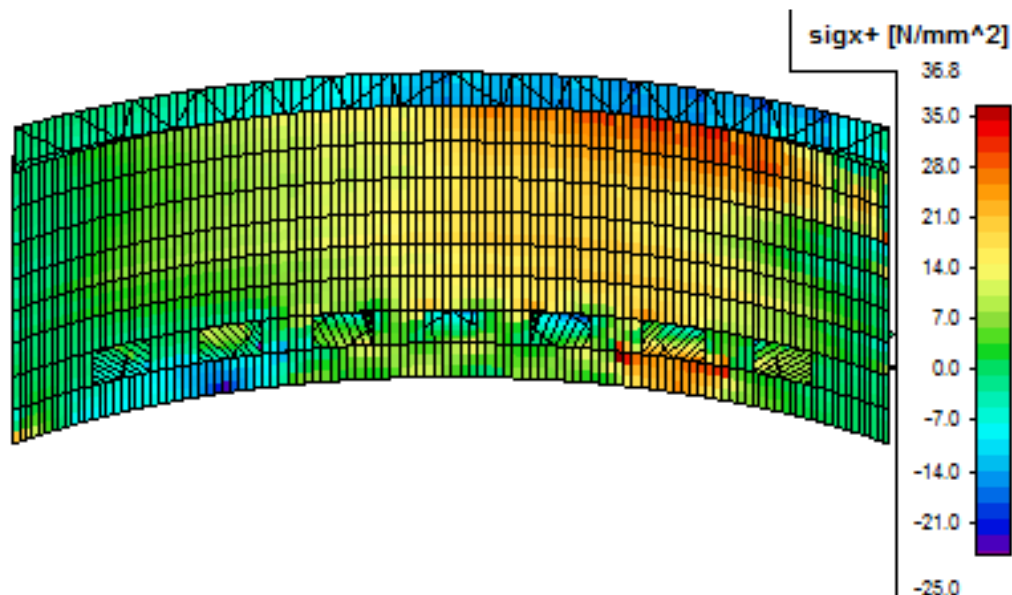
Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

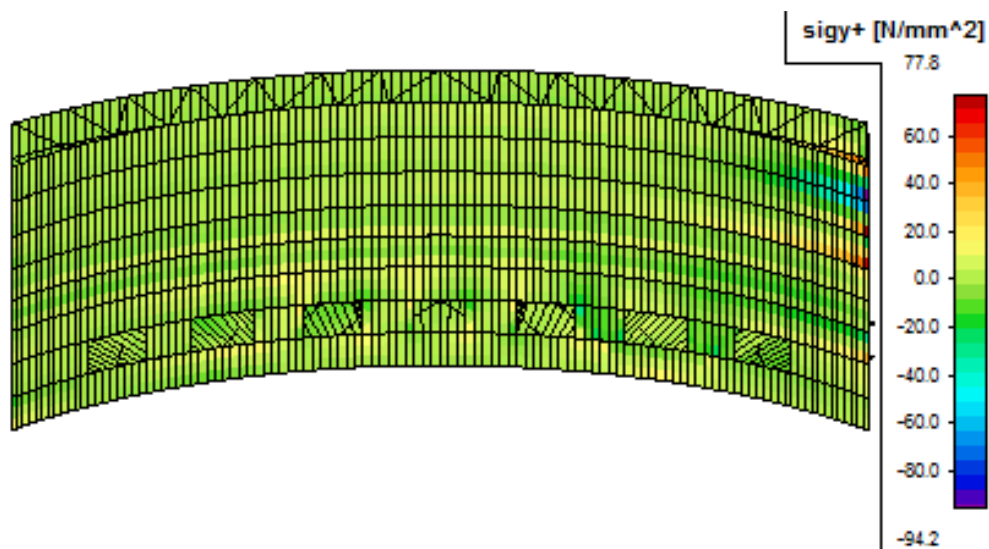
Niet-lineaire combinaties : BC12

Basis grootheden. In centrum.

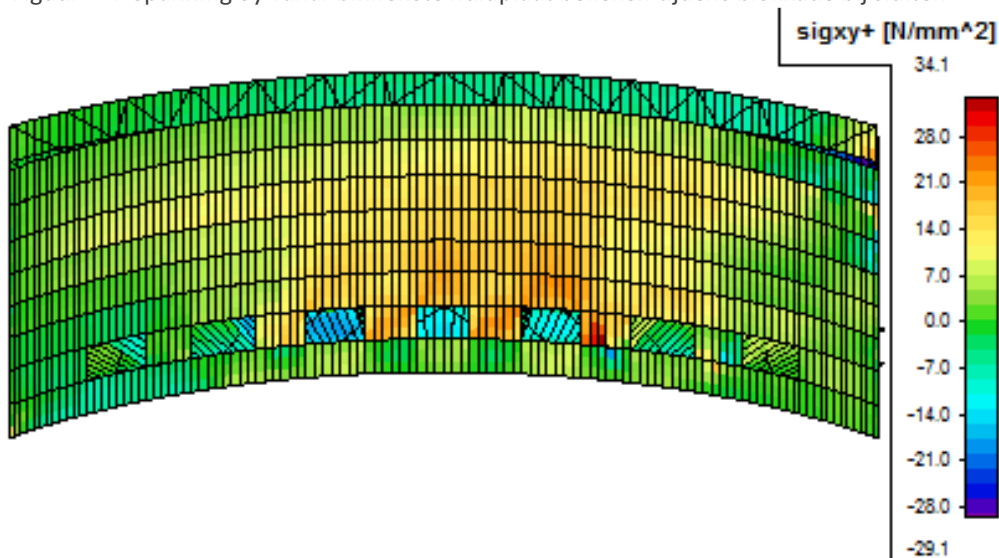
BG	Staaf	Knoop	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	sigx+ [N/mm ²]	sigy+ [N/mm ²]	sigxy+ [N/mm ²]	sigx- [N/mm ²]	sigy- [N/mm ²]	sigxy- [N/mm ²]
BC2	E2710	K6920	26504,8	46818,1	4799,9	-50,0	-128,9	-2,6	37,7	107,4	-0,6
BC2	E885	3356	-32785,5	46382,6	12600,0	107,1	22,2	-12,1	-89,7	-49,8	11,5
BC2	E2248	K4433	38643,1	37430,8	25600,0	59,0	170,3	12,8	19,8	62,3	12,9
BC2	E2684	9801	27025,2	47738,2	6400,0	53,3	-110,8	-216,7	-42,6	125,1	215,3
BC2	E1411	K3646	26504,8	46818,1	6400,0	13,8	147,2	84,4	4,4	-143,4	-86,5
BC2	E1161	K2332	-38643,6	37431,4	0,000	58,8	50,7	33,3	50,4	31,1	24,8



Figuur 126 Spanning σ_x vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens blokkade bij sluiten



Figuur 127 Spanning σ_y vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens blokkade bij sluiten



Figuur 128 Spanning σ_{xy} vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens blokkade bij sluiten

23.6.2.3 Verplaatsingen van huidplaat

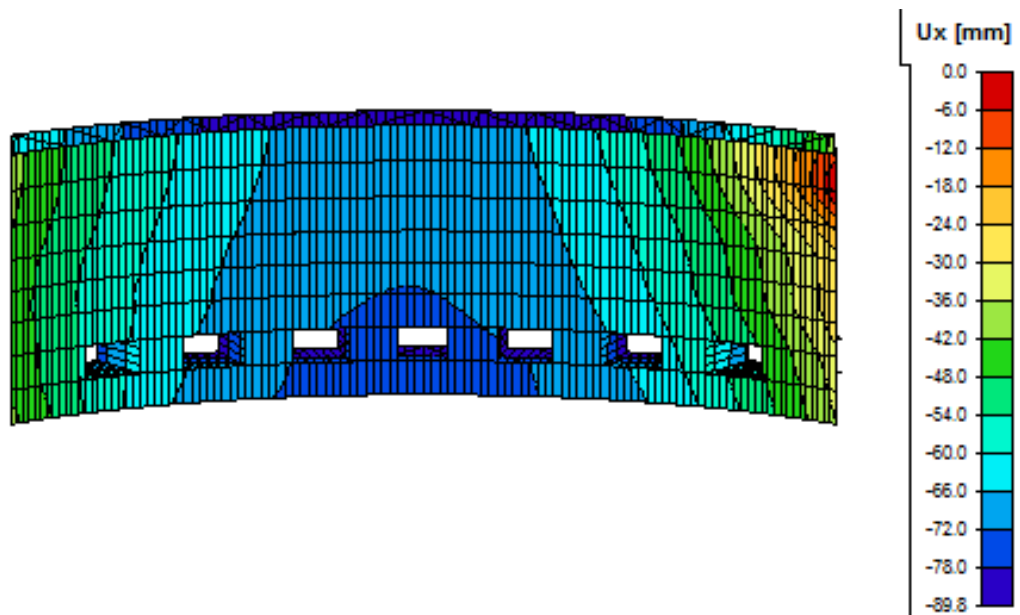
Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

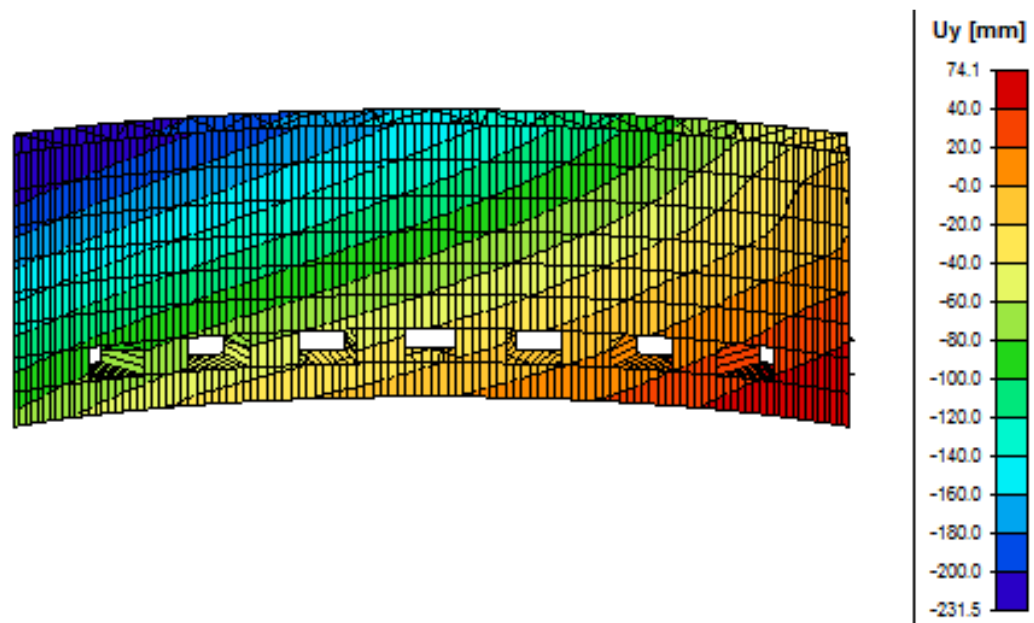
Niet-lineaire combinaties : BC12

Basis grootheden. In centrum.

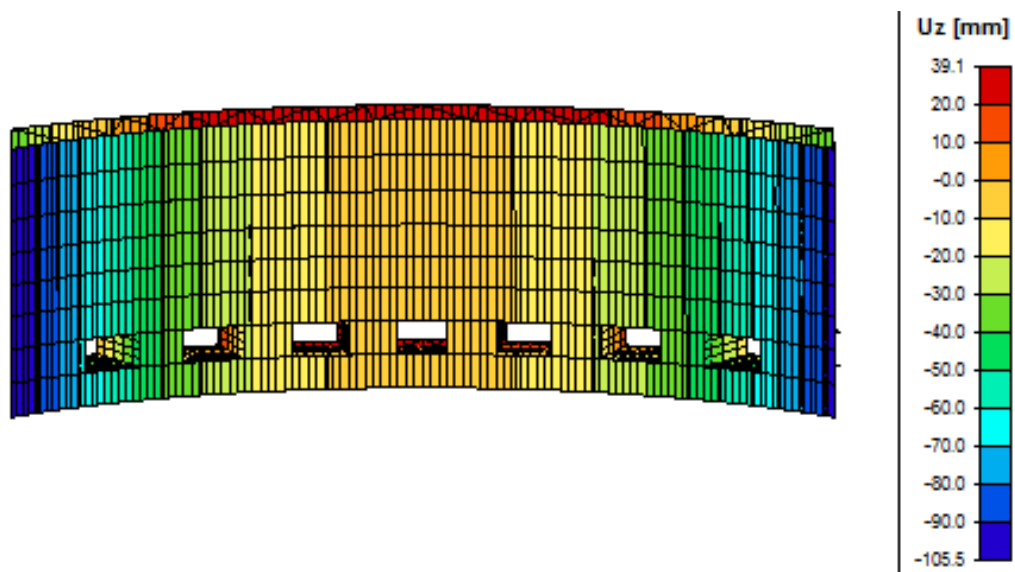
BG	Staaf	Knoop	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
BC2	E2151	K4371	-89,8	-1,0	37,8	5,5	0,3	1,5
BC2	E2247	K4432	0,0	0,0	-94,1	2,9	2,2	5,0
BC2	E1168	K2340	-39,6	-231,5	-105,4	6,2	0,0	1,8
BC2	E2241	K4425	-36,1	74,1	-94,6	4,7	0,4	2,3
BC2	E1161	3987	-42,1	-83,6	-105,5	5,3	-0,7	2,0
BC2	E43	K120	-87,6	-99,2	39,1	5,3	0,2	2,1
BC2	E2247	8108	-11,6	-1,3	-94,6	-0,8	5,3	2,1
BC2	E2248	8112	-4,5	-15,6	-93,5	7,9	-2,9	2,7
BC2	E983	3735	-63,6	-134,1	-36,6	6,2	0,1	0,6
BC2	E2239	K4516	-3,0	-2,8	-91,5	3,0	1,9	5,0



Figuur 129 Verplaatsing in x-richting vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens sluiten



Figuur 130 Verplaatsing in y-richting vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens sluiten



Figuur 131 Verplaatsing in z-richting vanaf binnenste huidplaat bekeken tijdens sluiten

23.7 Bijlage 7: Scia-Engineer resultaten model 3

In deze bijlage worden de resultaten weergegeven voor de sluisdeur tijdens opdrijven.

23.7.1 Staafkrachten

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC13

Staaf	BG	dx [mm]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S9210	Opdrijven	1133,330	-1132,61	9,35	-31,16	3,42	-6,95	-29,11
S6898	Opdrijven	0,001	677,47	-6,92	-35,21	-1,87	8,35	-15,24
S7777	Opdrijven	884,320	-4,70	-232,52	171,28	-13,65	12,16	10,32
S2010	Opdrijven	3999,971	37,10	551,70	-278,78	1,66	-8,83	-12,12
S6274	Opdrijven	3999,621	74,81	269,10	259,01	-1,53	7,29	2,60
S1883	Opdrijven	0,001	59,95	-208,04	79,97	-133,97	69,46	186,03
S8276	Opdrijven	0,001	-373,22	260,66	-52,39	144,02	36,54	-149,53
S8283	Opdrijven	0,001	-229,73	-78,81	190,74	86,55	-190,67	57,94
S1883	Opdrijven	884,230	59,95	-200,44	79,97	-133,97	140,18	5,44
S2250	Opdrijven	10911,830	-739,67	-45,17	-6,00	39,36	-67,92	-254,24
S96	Opdrijven	10911,830	-857,68	103,75	2,98	15,86	90,00	214,60

23.7.2 Staafspanningen

Niet-lineaire berekening, Extreem : Doorsnede

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC13

Staaf	BG	dx [mm]	Normaal - [N/mm ²]	Normaal + [N/mm ²]	Afschuiving [N/mm ²]	Von Mises [N/mm ²]
S1333	Opdrijven	3000,000	-33,8	26,7	5,9	33,8
S1	Opdrijven	0,000	0,0	7,2	0,3	7,2
S6	Opdrijven	0,000	-4,1	0,0	0,3	4,1
S1137	Opdrijven	3000,000	-26,1	47,9	16,4	50,5
S222	Opdrijven	3200,000	0,0	7,5	0,0	7,5
S1173	Opdrijven	3200,000	-0,2	0,2	0,1	0,3
S414	Opdrijven	3000,000	-40,6	12,6	22,2	49,5
S1308	Opdrijven	7999,999	-24,3	39,4	9,6	39,4
S1447	Opdrijven	3200,000	-23,4	11,0	5,2	23,4
S1213	Opdrijven	3200,000	-10,4	32,4	4,7	32,4
S1447	Opdrijven	2400,000	-5,6	4,5	5,2	9,5
S1882	Opdrijven	3400,000	-45,5	0,0	3,7	45,5
S2261	Opdrijven	3999,966	-22,5	28,9	8,1	28,9
S2010	Opdrijven	3999,967	-7,4	14,0	80,3	139,2
S2010	Opdrijven	4049,539	-18,8	17,6	80,3	139,5
S6366	Opdrijven	10912,505	-19,6	4,3	1,9	19,6
S7448	Opdrijven	884,315	-10,7	14,0	2,1	14,1
S8276	Opdrijven	884,315	-6,9	0,3	10,4	18,3
S2245	Opdrijven	5685,384	-13,4	6,8	2,2	13,5
S2247	Opdrijven	5685,384	-6,8	9,1	1,9	9,1
S2246	Opdrijven	5685,384	-8,6	4,4	3,8	9,2
S9092	Opdrijven	9865,724	-24,3	0,0	1,2	24,3
S8287	Opdrijven	0,000	0,0	20,8	1,0	20,8
S8413	Opdrijven	7999,999	-8,0	2,9	2,2	8,1
S8291	Opdrijven	7999,999	-6,2	9,1	1,6	9,1
S8291	Opdrijven	3999,999	-5,2	8,1	1,6	8,1
S8377	Opdrijven	0,000	-22,4	0,0	3,3	22,4
S9044	Opdrijven	0,000	0,0	25,7	1,5	25,7
S8632	Opdrijven	8000,000	-16,5	7,5	3,1	16,5

S8815	Opdrijven	7999,999	-12,8	14,8	7,5	16,3
S8815	Opdrijven	0,000	-12,7	13,1	8,3	17,2
S9022	Opdrijven	7577,179	-6,6	2,1	0,8	6,6
S9023	Opdrijven	7877,127	0,0	7,3	0,9	7,3
S9024	Opdrijven	7877,127	0,0	6,8	0,9	6,8
S9210	Opdrijven	0,000	-51,1	0,0	2,6	51,1
S9032	Opdrijven	12400,000	-29,7	38,4	5,3	38,4
S9033	Opdrijven	11400,000	0,0	5,1	5,7	11,0
S9284	Opdrijven	5249,762	-13,9	1,6	0,8	13,9
S9261	Opdrijven	0,000	-7,8	15,8	1,4	15,8

23.7.3 Spanningen 2D-element

Niet-lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : Alle

Niet-lineaire combinaties : BC13

Basis grootheden. In centrum.

BG	Staaf	Knoop	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	sigx+ [N/mm ²]]	sigy+ [N/mm ²]]	sigxy+ [N/mm ²]]	sigx- [N/mm ²]]	sigy- [N/mm ²]]	sigxy- [N/mm ²]]
Opdrijven	E2723	K8358	-8669,5	60178,7	15600	-196,3	-150,2	68,9	194,4	170,2	-70,1
Opdrijven	E2723	9748	-8812,1	61168,4	14600	187,2	125,9	-76,7	-197,0	-187,2	61,4
Opdrijven	E169	4031	-7808,6	60296,5	15600	-26,3	-389,5	16,7	31,2	390,4	-22,6
Opdrijven	E2726	9925	-21637,2	57888,4	14600	68,8	306,6	-25,7	-73,7	-306,6	22,6
Opdrijven	E820	K8459	-33469,5	51952,2	15600	-18,3	20,2	-91,8	11,9	-32,6	106,1
opdrijven	E715	10059	-29193,5	53332,7	15600	-123,0	-312,6	152,1	118,6	307,0	-147,6

23.8 Bijlage 8:Plooi-toetsing drijfkistplaat

In deze bijlage is een uitdraai weergegeven van de plooi-toetsing volgens [EC3 deel 5]. De uitdraai is afkomstig uit het programma Maple.

```

restart;
a := 4000 - 700;
3300

b := 450;
450

fyd := 355 :
t := 12 :
Ed := 210000 :
vd := 0.3 :
α := evalf( (a/b) );
7.333333333

ny := 3161.4;
3161.4

Apy := t·b;
5400

σy := evalf( (ny·b/Apy) );
263.4500000

nx := 300;
300

Apx := t·a;
39600

σx := evalf( (nx·a/Apx) );
25.

nxy := 100;
100

τ := nxy/t;
25/3

ψx := -1;
-1

ψy := 1;
1

σvsd := sqrt(σx2 + σy2 - σx·σy + 3·τ2);
252.2954336

σex := (3.142·Ed) / (12·(1 - vd2)·(b/t)2);

```

134.8321368

$$\sigma_{ey} := \frac{3.14^2 \cdot Ed}{12 \cdot (1 - \nu d^2) \cdot \left(\frac{a}{t}\right)^2};$$

2.507209154

$$k\sigma_x := 7.81 - 6.29 \cdot \psi_x + 9.78 \cdot \psi_x^2;$$

23.88

$$k\sigma_y := 18;$$

18

$$k\tau := 5.35 + \frac{4}{\alpha^2};$$

5.424380165

$$\sigma_{ikx} := k\sigma_x \cdot \sigma_{ex};$$

3219.791427

$$\sigma_{iky} := k\sigma_y \cdot \sigma_{ey};$$

45.12976477

$$\tau_{ik} := k\tau \cdot \sigma_{ex};$$

731.3807685

Idieële kritieke plooi vergelijkingsspanning bij gelijktijdige werking van σ_x , σ_y en τ :

$$A := \frac{\tau \cdot k\sigma_x}{\sigma_x \cdot k\tau};$$

1.467448770

σ_{ikv}

$$:= \left(\text{sqrt}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2) \right) \Bigg/ \left(\frac{(4 - A)}{4} \right) \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_{iky}} + \text{sqrt} \left(\left(\frac{(2 \cdot A - 1)}{4 \cdot A} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_{iky}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{ik}} \right)^2 \right);$$

44.88975632

$$\lambda_{pl} := 3.14 \cdot \text{sqrt} \left(\frac{Ed}{\sigma_{ikx}} \right);$$

25.35860889

$$\lambda_y := \text{evalf} \left(3.14 \cdot \text{sqrt} \left(\frac{Ed}{f_{yd}} \right) \right);$$

76.37040942

$$\lambda_{plaatrel} := \frac{\lambda_{pl}}{\lambda_y};$$

0.3320475703

$$\sigma_{plooirel} := 1.474 + 0.677 \cdot \lambda_{plaatrel};$$

1.698796205

$$\sigma_{ploo1} := \sigma_{plooirel} \cdot f_{yd};$$

$$603.0726528$$

$$\sigma_{ploo2} := f_{yd};$$

$$355$$

Correctiefactor bij gelijktijdige werking van σ_x , σ_y en τ :

$$C_{\sigma x} := (0.1129 \cdot \psi_x + 0.1129) \cdot \lambda_{plaatrel} - 0.0790 \cdot \psi_x + 0.9210;$$

$$1.0000$$

$$C_{\sigma y} := (0.1129 \cdot \psi_y + 0.1129) \cdot \lambda_{plaatrel} - 0.0790 \cdot \psi_y + 0.9210;$$

$$0.8420$$

$$C_{\tau} := 1$$

$$1$$

$$C_{\sigma v} := \sqrt{\frac{\left(\left(\frac{(\sigma_x \cdot C_{\sigma x})}{\sigma_{ikx}} \right)^2 + \left(\frac{(\sigma_y \cdot C_{\sigma y})}{\sigma_{iky}} \right)^2 + \left(\frac{\tau \cdot C_{\tau}}{\tau_{ik}} \right)^2 \right)}{\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_{ikx}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{iky}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{ik}} \right)^2}};$$

$$0.8420009641$$

$$\sigma_{plood} := \frac{\sigma_{ploo2}}{C_{\sigma v}};$$

$$421.6147191$$

$$toets := \frac{\sigma_{vsd}}{\sigma_{plood}};$$

$$0.5984028123$$

Extra controle door belasting loodrecht op het vlak:

$$n_l := \frac{\sigma_{ikv}}{\sigma_{vsd}};$$

$$0.1779253619$$

$$n := 1.0001;$$

$$1.0001$$

$$q := 99;$$

$$99$$

$$M_{yy} := \frac{1}{12} \cdot q \cdot (b \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^6;$$

$$1670625$$

$$W := evalf\left(\frac{(t \cdot 10^{-3})^2}{6} \cdot 10^9\right);$$

$$24000.$$

$$I_p := \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot t^3;$$

$$144000$$

$$\delta := \frac{5}{384} \cdot \frac{\frac{q}{1000} \cdot b^4}{Ed \cdot I_p};$$

$$\frac{8019}{4587520}$$

$$\sigma_{xd} := \sigma_x + \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\sigma_x \cdot t \cdot \delta}{W};$$

$$25.21852226$$

$$\sigma_{yd} := \sigma_y + \frac{M_{yy}}{W} + \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\sigma_y \cdot t \cdot \delta}{W};$$

$$335.3621626$$

$$\sigma T := \text{sqrt}(\sigma_{xd}^2 + \sigma_{yd}^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{yd});$$

$$323.4909826$$

$$toets2 := \frac{\sigma T}{f_{yd}};$$

$$0.9112422045$$

23.9 Bijlage 9: Vermoeingstoetsing

De vermoeingstoets is uitgevoerd volgens [EC3 deel 9].

Spanningsrange $\Delta\sigma_{xy}$: 114,8 N/mm²

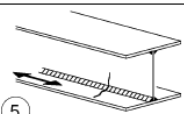
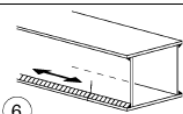
Aantal spanningswisselingen: 438300

Materiaalreductiefactor γ_{MF} : 1,35

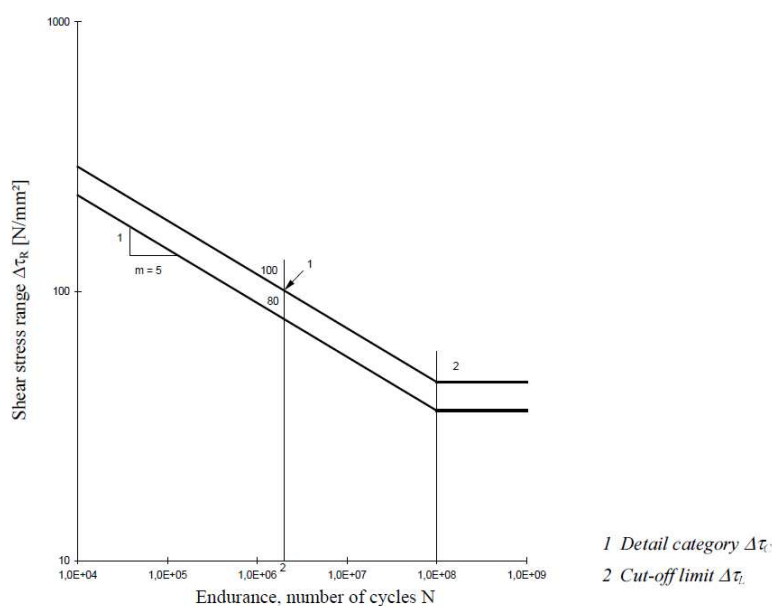
Spanningsverhogings factor voor afschuifspanning: $\sqrt[5]{\frac{2 \cdot 10^6}{438300}} = 1,35$

Allereerst moet bepaald worden tot welke vermoeiingsklasse het lasdetail behoort.

Deze klasse bepaalt de τ -N grafiek die voor dit detail van toepassing is weergegeven in Figuur 132.

100	 5) Manual fillet or butt weld.	 6) Manual or automatic butt welds carried out from one side only, particularly for box girders	5), 6) A very good fit between the flange and web plates is essential. The web edge to be prepared such that the root face is adequate for the achievement of regular root penetration without break-out.
-----	---	---	---

Het lasdetail valt in vermoeiingsklasse 100.



Figuur 132 Fatigue strength curve for shear stress range $\Delta\tau_c$

Voor $N=438300$: $\Delta\tau_R = 135$

$$\Delta\tau_{cd} = \frac{\Delta\tau_R \cdot 1,35}{1,35} = 135 \text{ N/mm}^2$$

De Unity Check geeft $= \frac{\Delta\sigma_{xy}}{\Delta\tau_{cd}} = \frac{114,8}{135} = 0,85$. Dus dit detail voldoet vermoeing in geval van schuifspanning.

23.10 Bijlage 10: Globale overzichtstekening en details

23.11 Bijlage 11: Verplaatsingen en verdraaiing t.p.v. opleggingen

Voor 3 verschillende BC's zijn de verplaatsingen en verdraaiingen voor de oplegging bepaald. Dit is gedaan om maximale verplaatsingen en verdraaiingen te achterhalen zodat een passend ontwerp voor de oplegging gemaakt kan worden.

23.11.1 Verplaatsing van knopen bij positief verval

Niet-lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : K1963, K1964, K1965, K1966, K1967, K1968, K1969, K1970, K1971, K2332, K2333, K2334, K2335, K2336, K2337, K2338, K2339, K2340, K3026, K3419, K3420, K3422, K3423, K3424, K3425, K3426, K3427, K4425, K4426, K4427, K4428, K4429, K4430, K4431, K4432, K4433, K8174, K8175

Niet-lineaire combinaties : BC8 (BGT max. positief verval)

Knoop	BG	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
K1963	BC7	149,4	-7,6	-2,1	-0,3	0,4	-15,2
K1964	BC7	152,6	-10,2	-2,0	0,0	1,0	-15,2
K1965	BC7	153,2	-9,9	-2,3	-1,0	-0,4	-15,1
K1966	BC7	151,7	-7,7	-2,5	-0,7	-0,9	-14,0
K1967	BC7	150,6	-6,3	-2,3	-0,1	0,4	-14,0
K1968	BC7	150,2	-5,7	-2,3	-0,3	0,3	-13,9
K1969	BC7	148,3	-5,0	-2,7	-0,2	-0,9	-14,7
K1970	BC7	146,4	-3,4	-2,5	-0,3	-0,9	-14,5
K1971	BC7	145,0	-1,5	-2,3	0,1	-0,2	-14,6
K2332	BC7	0,5	0,5	1,3	2,0	2,6	-15,4
K2333	BC7	0,0	0,0	1,2	2,0	2,2	-16,6
K2334	BC7	0,0	0,0	1,4	1,8	2,1	-16,6
K2335	BC7	0,2	0,2	1,6	0,7	1,0	-16,3
K2336	BC7	0,7	0,7	2,2	-0,3	0,4	-15,9
K2337	BC7	1,9	1,9	2,8	-1,4	-0,7	-15,9
K2338	BC7	3,8	3,8	2,9	-2,4	-1,7	-15,4
K2339	BC7	5,4	5,4	2,8	-2,4	-1,7	-14,8
K2340	BC7	6,7	6,7	2,4	-2,7	-2,5	-14,0
K3026	BC7	285,6	-350,9	-2,4	-1,1	0,6	5,4
K3419	BC7	289,5	-348,4	-2,1	-0,3	-0,3	6,3
K3420	BC7	286,2	-351,1	-2,0	0,3	-1,2	5,6
K3422	BC7	287,2	-348,5	-2,6	-0,6	0,8	5,1
K3423	BC7	288,3	-347,2	-2,3	-0,2	-0,3	5,1
K3424	BC7	288,7	-346,6	-2,4	-0,3	-0,3	4,9
K3425	BC7	290,7	-346,0	-2,8	-0,2	0,9	5,8
K3426	BC7	292,7	-344,3	-2,6	-0,3	0,9	5,7
K3427	BC7	294,0	-342,5	-2,4	0,1	0,2	5,7
K4425	BC7	341,7	-341,7	1,2	2,0	-2,5	6,6
K4426	BC7	342,3	-342,3	1,0	1,9	-2,2	7,9
K4427	BC7	342,2	-342,2	1,3	1,9	-2,1	7,9
K4428	BC7	342,0	-342,0	1,5	0,7	-1,0	7,4
K4429	BC7	341,5	-341,5	2,0	-0,3	-0,4	7,1
K4430	BC7	340,3	-340,3	2,7	-1,4	0,7	7,0
K4431	BC7	338,4	-338,4	2,8	-2,4	1,7	6,5
K4432	BC7	336,8	-336,8	2,7	-2,4	1,7	5,9
K4433	BC7	335,6	-335,6	2,3	-2,7	2,5	5,1
K8174	BC7	227,6	-240,2	0,0	-0,4	-0,2	-10,6
K8175	BC7	260,2	-426,0	0,0	-0,4	0,2	1,8

23.11.2 Verplaatsing van knopen bij negatief verval

Niet-lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : K1963, K1964, K1965, K1966, K1967, K1968, K1969, K1970, K1971, K2332, K2333, K2334, K2335,

K2336, K2337, K2338, K2339, K2340, K3026, K3419, K3420, K3422, K3423, K3424, K3425, K3426, K3427, K4425, K4426, K4427, K4428, K4429, K4430, K4431, K4432, K4433, K8174, K8175
Niet-lineaire combinaties : BC9 (BGT max. negatief verval)

Knoop	BG	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
K1963	BC9	14,9	10,8	-11,7	-1,0	-2,0	1,0
K1964	BC9	12,6	9,2	-11,4	-1,1	-1,8	1,1
K1965	BC9	11,2	8,2	-11,1	-0,7	-1,2	1,0
K1966	BC9	10,0	7,3	-11,2	-0,3	-1,3	0,5
K1967	BC9	8,3	6,1	-11,1	0,5	-0,8	0,4
K1968	BC9	6,5	4,7	-10,8	1,0	-0,1	0,4
K1969	BC9	5,0	3,6	-10,7	1,3	0,1	0,3
K1970	BC9	3,2	2,3	-10,7	1,1	-0,1	0,2
K1971	BC9	1,4	1,1	-10,7	1,1	0,0	0,0
K2332	BC9	14,3	14,3	-19,4	1,6	0,7	-1,0
K2333	BC9	13,0	13,0	-19,5	1,5	0,4	-0,9
K2334	BC9	11,5	11,5	-19,7	1,5	0,4	-0,8
K2335	BC9	9,9	9,9	-19,9	0,9	-0,1	-0,6
K2336	BC9	8,2	8,2	-19,8	0,8	-0,2	-0,7
K2337	BC9	6,5	6,5	-19,8	0,4	-0,6	-0,7
K2338	BC9	5,2	5,2	-20,0	0,1	-0,8	-0,4
K2339	BC9	3,5	3,5	-20,1	0,3	-0,7	-0,2
K2340	BC9	1,9	1,9	-20,2	0,3	-0,7	-0,1
K3026	BC9	-11,0	8,0	-11,2	-0,6	1,1	-0,8
K3419	BC9	-14,6	10,6	-11,7	-1,0	2,0	-1,0
K3420	BC9	-12,4	9,0	-11,5	-1,1	1,8	-0,9
K3422	BC9	-9,8	7,1	-11,3	-0,3	1,3	-0,5
K3423	BC9	-8,1	5,9	-11,1	0,5	0,7	-0,4
K3424	BC9	-6,2	4,5	-10,9	1,0	0,1	-0,4
K3425	BC9	-4,7	3,4	-10,8	1,3	-0,1	-0,4
K3426	BC9	-3,0	2,2	-10,7	1,1	0,1	-0,2
K3427	BC9	-1,2	0,9	-10,7	1,1	0,0	0,0
K4425	BC9	-14,1	14,1	-19,4	1,6	-0,7	1,0
K4426	BC9	-12,8	12,8	-19,6	1,5	-0,4	0,8
K4427	BC9	-11,3	11,3	-19,8	1,5	-0,4	0,8
K4428	BC9	-9,7	9,7	-19,9	0,9	0,1	0,6
K4429	BC9	-8,0	8,0	-19,9	0,7	0,2	0,7
K4430	BC9	-6,3	6,3	-19,8	0,4	0,6	0,7
K4431	BC9	-5,0	5,0	-20,0	0,1	0,8	0,4
K4432	BC9	-3,3	3,3	-20,1	0,3	0,7	0,2
K4433	BC9	-1,7	1,7	-20,2	0,3	0,7	0,1
K8174	BC9	3,6	32,7	0,0	1,0	-0,2	0,9
K8175	BC9	-3,4	32,6	0,0	1,0	0,2	-0,9

23.11.3 Verplaatsing van knopen bij schutbelasting

Niet-lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : K1963, K1964, K1965, K1966, K1967, K1968, K1969, K1970, K1971, K2332, K2333, K2334, K2335, K2336, K2337, K2338, K2339, K2340, K3026, K3419, K3420, K3422, K3423, K3424, K3425, K3426, K3427, K4425, K4426, K4427, K4428, K4429, K4430, K4431, K4432, K4433, K8174, K8175

Niet-lineaire combinaties : BC10 (BGT max. schutbelasting)

Knoop	BG	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
K1963	BC10	65,8	-3,8	4,7	-0,9	0,4	-6,8
K1964	BC10	68,2	-3,2	4,8	-0,8	0,6	-6,7
K1965	BC10	69,0	-1,1	4,7	-1,2	0,0	-6,5
K1966	BC10	69,4	1,4	4,8	-1,3	-0,2	-5,9
K1967	BC10	69,4	4,5	4,9	-1,1	0,2	-5,9
K1968	BC10	69,8	7,2	4,9	-1,1	0,2	-5,7
K1969	BC10	70,0	9,2	4,5	-0,9	-0,1	-5,8
K1970	BC10	70,1	12,2	4,5	-0,9	-0,1	-5,6
K1971	BC10	70,6	14,9	4,6	-0,8	0,2	-5,5
K2332	BC10	0,0	0,0	16,6	0,1	1,6	-6,9
K2333	BC10	1,5	1,5	16,5	0,2	1,4	-7,3
K2334	BC10	3,3	3,3	16,6	0,0	1,3	-7,2
K2335	BC10	5,1	5,1	16,7	-0,4	1,0	-7,0
K2336	BC10	7,3	7,3	17,0	-0,9	0,6	-6,5
K2337	BC10	9,8	9,8	17,3	-1,2	0,3	-6,2
K2338	BC10	12,3	12,3	17,3	-1,7	-0,2	-6,0
K2339	BC10	15,0	15,0	17,3	-1,6	-0,1	-5,6
K2340	BC10	17,5	17,5	17,2	-1,7	-0,3	-5,1
K3026	BC10	125,1	-151,9	4,6	-1,3	0,1	2,2
K3419	BC10	128,3	-154,5	4,7	-0,9	-0,4	2,8
K3420	BC10	125,9	-154,0	4,7	-0,7	-0,7	2,4
K3422	BC10	124,8	-149,4	4,7	-1,2	0,2	1,9
K3423	BC10	124,7	-146,4	4,9	-1,1	-0,2	1,9
K3424	BC10	124,4	-143,6	4,8	-1,1	-0,2	1,8
K3425	BC10	124,2	-141,6	4,5	-0,9	0,1	1,9
K3426	BC10	124,2	-138,7	4,5	-0,9	0,1	1,7
K3427	BC10	123,7	-135,9	4,5	-0,8	-0,2	1,6
K4425	BC10	151,4	-151,4	16,5	0,0	-1,5	3,0
K4426	BC10	149,9	-149,9	16,4	0,1	-1,4	3,5
K4427	BC10	148,1	-148,1	16,5	0,1	-1,3	3,3
K4428	BC10	146,3	-146,3	16,6	-0,4	-1,0	3,1
K4429	BC10	144,1	-144,1	16,9	-0,9	-0,6	2,6
K4430	BC10	141,6	-141,6	17,2	-1,2	-0,3	2,3
K4431	BC10	139,1	-139,1	17,3	-1,7	0,2	2,0
K4432	BC10	136,4	-136,4	17,2	-1,6	0,1	1,6
K4433	BC10	133,9	-133,9	17,1	-1,7	0,3	1,2
K8174	BC10	100,2	-105,6	0,0	-1,0	0,1	-4,6
K8175	BC10	115,6	-187,8	0,0	-1,0	-0,1	0,7

23.12 Bijlage 12 Afschuif capaciteit sluishoofd eiland

De afschuifcapaciteit is bepaald met behulp van paragraaf 6.2.2 uit [EC2 deel 1], weergegeven in Tabel 29.

Tabel 29 Afschuifcapaciteitsberekening paragraaf 6.2.2 eurocode2 1.1

[A] - section considered	
(1) The design value for the shear resistance $V_{Rd,c}$ is given by: $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (6.2.a)$ with a minimum of $V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (6.2.b)$ where: f_{ck} is in MPa $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \text{ with } d \text{ in mm}$ $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$ A_{sl} is the area of the tensile reinforcement, which extends $\geq (l_{bd} + d)$ beyond the section considered (see Figure 6.3). b_w is the smallest width of the cross-section in the tensile area [mm] $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd}$ [MPa] N_{Ed} is the axial force in the cross-section due to loading or prestressing [in N] ($N_{Ed} > 0$ for compression). The influence of imposed deformations on N_E may be ignored. A_c is the area of concrete cross section [mm²] $V_{Rd,c}$ is [N] Note: The values of $C_{Rd,c}$, v_{min} and k_1 for use in a Country may be found in its National Annex. The recommended value for $C_{Rd,c}$ is $0,18/\gamma_c$, that for v_{min} is given by Expression (6.3N) and that for k_1 is 0,15.	

In Tabel 30 zijn de waarden voor de afschuifberekening weergegeven. De breedte van het sluishoofd 'd' is hierbij zo aangepast dat de afschuifcapaciteit V_{rdc} groter is dan de optredende dwarskracht V_{ed} . Hieruit blijkt een breedte van het sluishoofd noodzakelijk van 12,5m.

Tabel 30 Afschuifcapaciteit bij positief verval deurkaszijde

d	12500
k	1,126491106
bw	25600
fck	30
Asl	295731,2
rho1	0,00092416
Ned	172993674
sigmacp	0,540605231
Crd	0,12
vmin	0,229203013
k1	0,15
Vrdc	86718010
alfa	45
alfa rad	0,785398164
oplegreactie	122325000
Ved	86496837

23.13 Bijlage 13: niet-beschikbaarheid door onderhoud

Veel onderhoud van de sluis kan gedaan worden zonder dat de beschikbaarheid van het schutproces wordt aangetast. Het onderhoud aan het aandrijving- en bewegingswerk en de sluisdeuren bepalen de niet-beschikbaarheid door gepland onderhoud. Deze twee onderdelen worden in deze paragraaf in meer detail bekeken.

Sluisdeuren

Alle sluisdeuren worden identiek uitgevoerd, zodat deze vrij uitwisselbaar zijn. Het is de bedoeling jaarlijks 1 deur te onderhouden in een droge deurenbergplaats (dok) aan de binnenzijde van de sluis. Vanwege het aanvaarrisico van de sluisdeuren wordt ook één deur aan de buitenzijde van de sluis bewaard. In totaal zijn er 4 sluisdeuren. Deze zijn ontworpen voor een levensduur van 100 jaar.

Tabel 31 Deurwisseling

locatie	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4	Jaar 5	Jaar 6	Jaar 7	Jaar 8
Buitenhoofd	Deur 1	Deur4	Deur4	Deur4	Deur 3	Deur 3	Deur 3	Deur 2
Bergplaats buitenhoofd	Deur 2	Deur 2	Deur 1	Deur 1	Deur 1	Deur4	Deur4	Deur4
Binnenhoofd	Deur 3	Deur 3	Deur 3	Deur 2	Deur 2	Deur 2	Deur 1	Deur 1
Onderhoudsplaats binnenhoofd	Deur4	Deur 1	Deur 2	Deur 3	Deur4	Deur 1	Deur 2	Deur 3

Aan Tabel 31 is te zien dat iedere sluisdeur 3 jaar functioneert op één locatie, vervolgens 1 jaar in onderhoud is in het droogdok en vervolgens weer 3 jaar op een volgende locatie functioneert.

Het onderhoud betreft in dit geval gebruiksafhankelijk onderhoud. Bij het uitwisselen van de deuren worden alle daarbij behorende onderhoudsacties in één gecombineerde actie uitgevoerd. Tegelijkertijd worden ook de eventuele herstelwerkzaamheden uitgevoerd indien noodzakelijk.

Aandrijvings- en bewegingswerk

Het aandrijvings- en bewegingswerk kan alleen onderhouden/vervangen worden in geval van een deurwissel. De intervallen voor onderhoud van de bewegingswerkonderdelen bevinden zich allemaal rond de 20 jaar, waardoor er geen extra onderhoud hiervoor noodzakelijk zal zijn dan de 1 keer per jaar deurwissel.

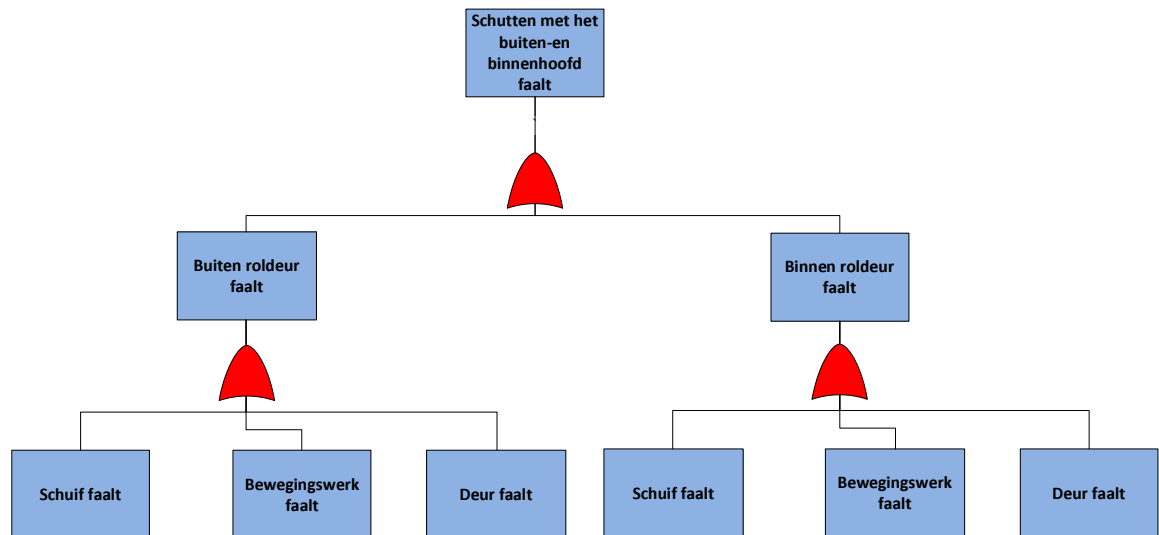
Deurwisselingstijd

De wegneembare constructie die aanwezig is zorgt voor een langere deurwisselingstijd. Voor het verwijderen van de wegneembare constructie moeten de constructie worden opgedreven doormiddel van luchtkisten. In de analyse is uitgegaan van een geplande deurwissel van 24 uur (zoals geëist is).

De niet-beschikbaarheid door gepland onderhoud is: $24/8760=0,002739726$.

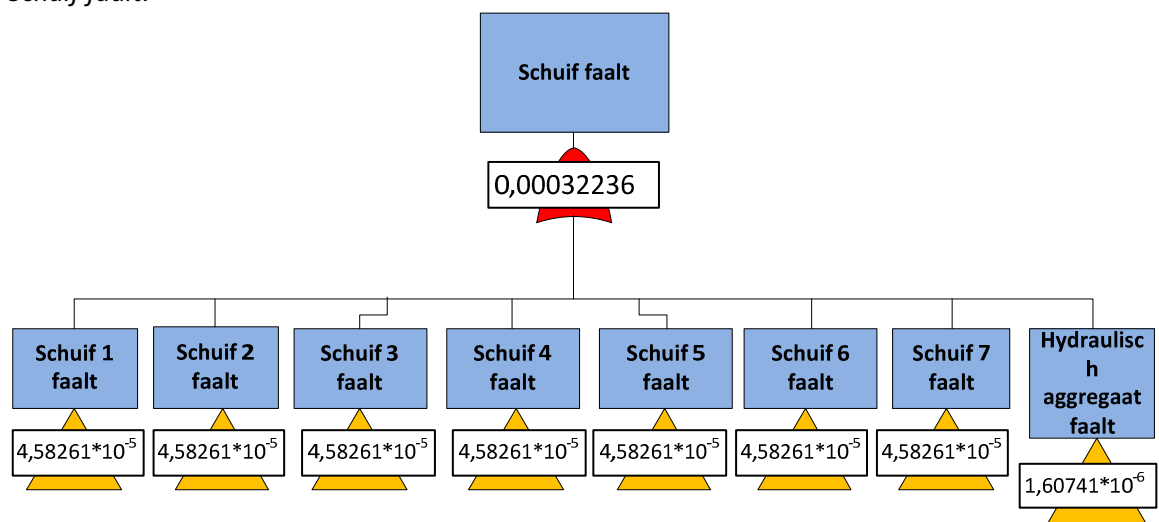
23.14 Bijlage 14: falen van schutten binnen- en buitenhoofd

In deze paragraaf wordt de kans op falen van schutten met binnen- en buitenhoofd bepaald.



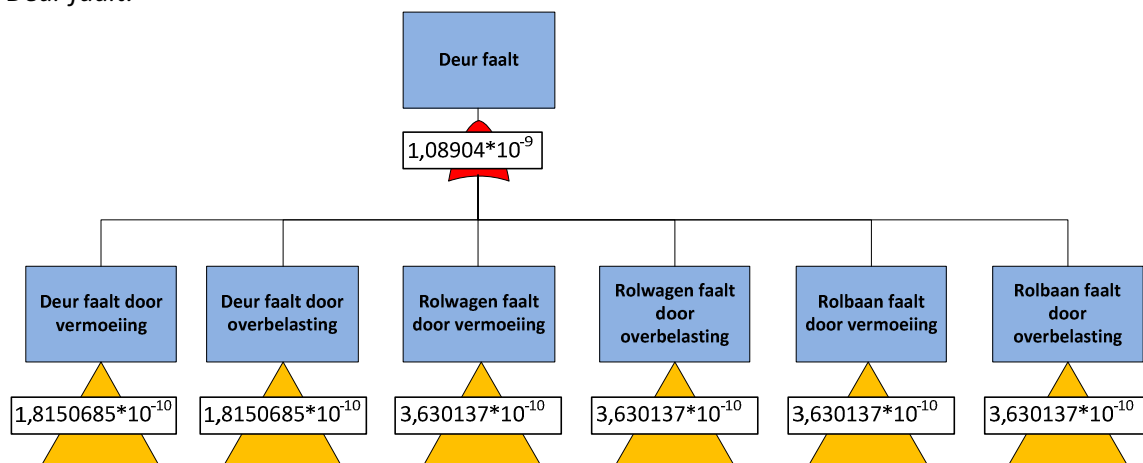
Figuur 133 Foutenboom falen schutten binnen-en buitenhoofd

Schuif faalt:



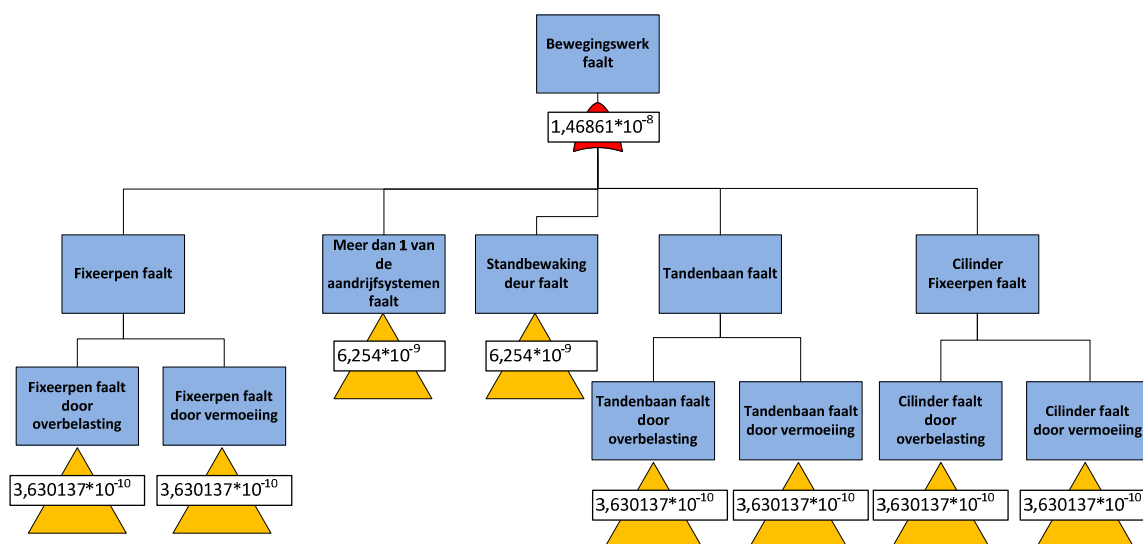
Figuur 134 Foutenboom falen schuif

Deur faalt:



Figuur 135 Foutenboom falen deur

Bewegingswerk faalt:



Figuur 136 Foutenboom falen bewegingswerk

23.15 Bijlage 15: Stichtingskosten sluisdeur

23.15.1 Leveren en aanbrengen sluisdeur

Leveren en aanbrengen sluisdeuren	hoeveelheid	eenheid	prijs per eenheid	totaal prijs
<u>deur zelf:</u>				
Koop staal tbv deuren (4 stuks) + wegconstructie	19.100	ton	€ 1.100,00	€ 20.130.000
Knip/Snij verlies staal deuren (5%)	955	ton	€ 1.100,00	€ 1.006.500
Samenstellen stalen deuren in bouwdok	19.100	ton	€ 2.300,00	€ 42.090.000
Handling staal op bouwlocatie / kraanhulp etc.	19.100	ton	€ 50,00	€ 915.000
hulpconstructies tbv opbouw deuren in bouwdok	202.000	m3	€ 15,00	€ 3.030.000
Conservering deuren op locatie/preconservering (8 stuks) (geconditioneerd)	96.000	m2	€ 68,75	€ 6.462.500
Slijtlaag op deuren ivm rijweg incl bruggen over deurkas in landhoofd	2.696	m2	€ 100,00	€ 269.600
Voorzieningen schuiven aan deur (frames / rubbers / geleiding / etc.)	28	set	€ 25.000,00	€ 700.000
<u>aanslagen/afdichting:</u>				
Aanslagen op de deuren (afsluiting raakpunt deuren)	205,00	m1	€ 800,00	€ 164.000
Afdichting op deuren tpv drempel (afsluiting tegen drempel)	337,00	m1	€ 1.000,00	€ 337.000
Afdichting op deuren tpv wanden sluishoofd	205,00	m1	€ 900,00	€ 184.500
Voorzieningen (bumpers op deuren) tbv bescherming bij stand in kassen	371,00	m1	€ 750,00	€ 278.250
Constructie (staal) op deur tbv aanslagen / afdichtingen(demontabel)	674,00	m1	€ 600,00	€ 404.400
<u>cilinders/schuiven:</u>				
Leveren hydraulische cilinderarmen tbv schuiven	28	st	€ 125.000,00	€ 3.500.000
Leveren hydraulische cilinderarmen tbv schuiven (reservecilinders)	7	st	€ 125.000,00	€ 875.000
Monteren / Plaatsen cilinderarmen <> schuiven	28	st	€ 19.600,00	€ 548.800
Levering aandrijving hefschuifcilinders (aggregaat & leidingen)	8	set	€ 100.000,00	€ 800.000
<u>montage:</u>				
Transport deuren naar sluiscomplex	4	stuks	€ 71.280,00	€ 285.120
Inwaren / Inhijsen deuren in kolken	4	stuks	€ 114.360,00	€ 457.440
Inwaren / Inhijsen reservedeuren in deurenbergplaats	4	stuks	€ 89.280,00	€ 357.120
Afmonteren deuren na inhangen / inhijsen	4	stuks	€ 61.950,00	€ 247.800
			Totaal	€ 83.043.030

23.15.2 Leveren en aanbrengen bewegingswerk en geleiding

Leveren en aanbrengen bewegingswerk	hoeveelheid	eenheid	prijs per eenheid	totaal prijs
rolwagens	8	st	€ 750.000,00	€ 6.000.000
kraanbaan	674	m1	€ 12.500,00	€ 8.425.000
geleiding deurkas	371	m1	€ 750,00	€ 278.250
geleiding drempel	337	m1	€ 1.000,00	€ 337.000
geleiding deur	674	m1	€ 1.500,00	€ 1.011.000
leveren en aanbrengen pennenbaan	337	m1	€ 35.000,00	€ 11.795.000
leveren en aanbrengen bonkelaar	8	st	€ 120.000,00	€ 960.000
leveren en aanbrengen aandrijving bonkelaar	4	st	€ 500.000,00	€ 2.000.000
leveren en opslaan reserve bonkelaar/aandrijving	1	st	€ 1.000.000,00	€ 1.000.000
			Totaal	€ 31.806.250

23.16 Bijlage 16: Onderhoudskosten sluisdeur

23.16.1 Deurwisseling

Verwisselen deuren		aantal per jaar	kosten	aantal per levensduur	totale kosten
Loskoppelen deuren set van cilinder / bewegingswerk (2 deuren)	1,0	1 keer per 1 jr	€ 34.100,00	100	€ 3.410.000
Uithijzen / uitvaren deuren set uit kolkhoofd (2 deuren staand)	1,0	1 keer per 1 jr	€ 69.580,00	100	€ 6.958.000
Inhijzen / invaren deuren set in kolkhoofd (2 deuren staand)	1,0	1 keer per 1 jr	€ 77.920,00	100	€ 7.792.000
Afmonteren deuren set in kolkhoofd (2 deuren)	1,0	1 keer per 1 jr	€ 57.820,00	100	€ 5.782.000
Transporten deurenset naar dok & opbergplaats (2 deuren staand)	0,5	2 keer per jr	€ 35.640,00	200	€ 7.128.000
Inhijzen / Uithijzen / Invaren / Uitvaren deuren in onderhoudsdok	1,0	1 keer per 1 jr	€ 41.040,00	100	€ 4.104.000
Totaal wisseling					€ 35.174.000

23.16.2 Onderhoud in dok

Onderhoud in dok		aantal per jaar	kosten	aantal per levensduur	totale kosten
Jaarlijks onderhoud rolwagens in dok	1	1 keer per 1 jr	€ 53.000	100	€ 5.300.000
Onderhoud & inspectie railbaan tbv rolwagens	5	1 keer per 5 jr	€ 167.040	20	€ 3.340.800
Vervangingskosten rolwagens en railbaan	50	1 keer per 50 jr	€ 9.600.000	2	€ 19.200.000
Herstel conservering (bijwerken 5%)	1	1 keer per 1 jr	€ 139.500,00	100	€ 13.950.000
Herstel conservering (intensief 100%) (deels wapperen + verf / deels kaal + verf)	18	1 keer per 18 jr	€ 2.080.500,00	5,6	€ 11.558.333
Kleine reparaties staalwerk ivm afname / gebruiksslijtage	1	1 keer per 1 jr	€ 77.000,00	100	€ 7.700.000
Vervangen slijtlaag op deuren	8	1 keer per 8 jr	€ 108.000,00	12,5	€ 1.350.000
Vervangen aanslagen op deuren tpv afsluiting raakpunt deuren	1	1 keer per 1 jr	€ 72.280,00	100	€ 7.228.000
Vervangen afdichting op deuren tpv drempel	1	1 keer per 1 jr	€ 161.280,00	100	€ 16.128.000
Vervangen afdichting op deuren tpv wanden sluishoofd	1	1 keer per 1 jr	€ 78.650,00	100	€ 7.865.000
Vervangen voorzieningen (bumpers op deuren) tbv bescherming in kassen	1	1 keer per 1 jr	€ 122.720,00	100	€ 12.272.000
Voorzieningen afdichtingen tbv beton hoofden	25	1 keer per 25 jr	€ 983.000,00	4	€ 3.932.000
Vervangen pompen in drijfkamers	25	1 keer per 25 jr	€ 2.808.000,00	4	€ 11.232.000
Vervangen pompen van drijflichamen	25	1 keer per 25 jr	€ 260.000,00	4	€ 1.040.000
Onderhoud hefschuif cilinders	1	1 keer per 1 jr	€ 18.400,00	100	€ 1.840.000
Vervangen hefschuifcilinders op deuren (1x in combi met revisie)	50	1 keer per 50 jr	€ 1.080.000,00	2	€ 2.160.000
Revisie hefschuifcilinders op deuren (1x in combi met vervanging)	25	1 keer per 25 jr	€ 120.000,00	4	€ 480.000
Onderhoud aandrijving hefschuifcilinders	1	1 keer per 1 jr	€ 69.600,00	100	€ 6.960.000
Vervanging aandrijving hefschuifcilinders (= nieuw prijs)	25	1 keer per 25 jr	€ 600.000,00	4	€ 2.400.000
Onderhoud brug over deurkassen	5	1 keer per 5 jr	€ 432.800	20	€ 8.656.000
Totaal onderhoud dok					€ 144.592.133