

Effect van plooivorming bij omegaprofielen

Verkennd onderzoek naar de beïnvloeding van de capaciteit van omegaprofielen in zinktunnels



Inhoudsopgave

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 4 |
| 1.1 | Aanleiding | 4 |
| 1.2 | Doel van het onderzoek | 5 |
| 1.3 | Bevindingen bij geïnstalleerde omegaprofielen | 5 |
| 1.4 | Geometrische uitgangspunten en assenstelsel | 6 |
| 1.5 | Leeswijzer | 6 |
| 2 | Werking omegaprofiel | 7 |
| 2.1 | Opbouw omega-afdichting | 7 |
| | 2.1.1 <i>Klemconstructie</i> | 7 |
| | 2.1.2 <i>Omegaprofiel</i> | 7 |
| 2.2 | Mechanische werking | 9 |
| 2.3 | Toepassingsgebied | 11 |
| 2.4 | Verschillen in opbouw en typen | 13 |
| 2.5 | Montageprocedure | 14 |
| 2.6 | Faalmechanismen | 15 |
| 2.7 | Kwaliteitsafname | 16 |
| | 2.7.1 <i>UV en ozon</i> | 16 |
| | 2.7.2 <i>Relaxatie</i> | 17 |
| | 2.7.3 <i>Langdurige rek</i> | 17 |
| | 2.7.4 <i>Chemische bestendigheid</i> | 17 |
| | 2.7.5 <i>Beschadigingen</i> | 18 |
| 2.8 | Afwijkende detaillering | 19 |
| 3 | Beïnvloeding capaciteit omegaprofiel | 20 |
| 3.1 | Door relatieve verplaatsing elementen | 20 |
| | 3.1.1 <i>Ploovorming</i> | 21 |
| 3.2 | Opzet 3D-FEM-model | 22 |
| | 3.2.1 <i>Introductie</i> | 22 |
| | 3.2.2 <i>Model, mesh, oplettingen en analysemethode</i> | 22 |
| | 3.2.3 <i>Aannames en vereenvoudigingen</i> | 23 |
| | 3.2.4 <i>Modelvalidatie</i> | 23 |
| | 3.2.5 <i>Belastinggevallen</i> | 25 |
| 4 | Berekeningen en resultaten | 26 |
| 4.1 | Zonder waterdruk | 26 |
| | 4.1.1 <i>Vervormingen</i> | 26 |
| | 4.1.2 <i>Krachten</i> | 27 |
| | 4.1.3 <i>Rekken</i> | 28 |
| | 4.1.4 <i>Resultaten</i> | 29 |
| 4.2 | Met waterdruk | 29 |
| | 4.2.1 <i>Vervormingen</i> | 29 |
| | 4.2.2 <i>Krachten</i> | 30 |
| | 4.2.3 <i>Rekken</i> | 32 |
| | 4.2.4 <i>Reactiekrachten</i> | 33 |
| | 4.2.5 <i>Resultaten</i> | 35 |
| 5 | Conclusies | 36 |
| 5.1 | Hoofdvraag | 36 |
| 5.2 | Conclusie per onderzoeksvraag | 36 |
| 5.3 | Discussie | 37 |
| 6 | Aanbevelingen voor verder onderzoek | 38 |

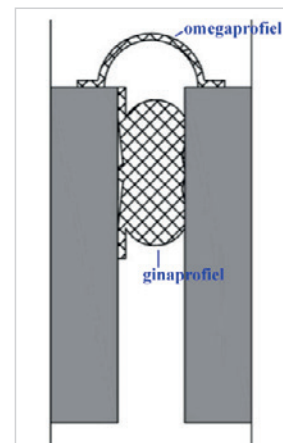
| | | |
|-----------|--|----|
| BIJLAGE A | Input RFEM-model | 40 |
| BIJLAGE B | Resultaten RFEM-model | 41 |
| BIJLAGE C | Referentielijst gina- en omegaprofielen Trelleborg | 84 |
| BIJLAGE D | Aanpak restlevensduurbepaling | 85 |
| | Colofon | 87 |

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Bij tunnelrenovaties is het belangrijk om de scope goed vast te stellen. Op civieltechnisch gebied zijn er kennishiaten die daarvoor een belemmering vormen. In dit rapport wordt ingezoomd op het omegaprofiel dat wordt gebruikt tussen de verschillende tunnelelementen van de afzinktunnels in Nederland. Het profiel werkt als afdichting naast het gina-afdichtingsprofiel en waarborgt de waterdichtheid van de zinkvoegen. Het profiel heeft zijn naam te danken aan zijn vorm, die lijkt op de Griekse letter omega (Ω). Deze vorm zorgt er ook voor dat het profiel in staat is om zettingsverschillen en dilatatie van de tunnelelementen onderling op te nemen.

Het COB heeft eerder rapporten gepubliceerd over de mogelijke faalmechanismen van zinkvoegen en een overzicht gegeven van de (endoscopische) onderzoeken die naar aanleiding van deze rapporten zijn uitgevoerd naar de klemverbinding van het omegaprofiel. Tijdens de endoscopische onderzoeken zijn plooien waargenomen in het rubber van de omegaprofielen. Deze plooien ontstaan door verschilzettingen tussen twee tunneldelen, meestal het landhoofd en het aansluitende tunnelelement. Onduidelijk is of de plooivorming een effect heeft op de maximaal opneembare belastingen op het omegaprofiel.



Figuur 1.1 / Het gina-profiel is ontworpen als een tijdelijke afdichting tijdens de bouw; links te zien als zwarte rand rond de kopskant van het tunnelelement. Tijdens het koppelen van de elementen wordt dit profiel samengedrukt. Aan de binnenzijde van de voeg wordt een omegaprofiel aangebracht als definitieve afdichting. (Foto: beeldbank Rijkswaterstaat/FotoMix)

Context: het tunnelprogramma van het COB-netwerk

In Nederland en Vlaanderen wordt de komende jaren een groot aantal tunnels gerenoveerd om veilig te blijven functioneren. Daarnaast moeten tal van tunnels worden aangepast en slim onderhouden om aan veranderende eisen te voldoen. De noodzakelijk instandhoudings- en renovatieopgaven roepen allerlei vragen op. Die worden gezamenlijk door het COB-netwerk opgepakt in het [tunnelprogramma](#). Daarbij gaat het zowel om kennis over organisatorische als technische aspecten.

De [ontwikkellijke Civiel](#) richt zich onder meer op de civieltechnische kennishiaten die een belemmering vormen voor het goed kunnen vaststellen van de scope van een renovatie. De geplande tunnelrenovaties bieden een unieke kans om samen, over projecten heen, te leren en kennis te delen. De ruim dertig renovaties bieden de gelegenheid het benodigde onderzoek op te knippen en te verdelen over de verschillende projecten, resultaten mee te nemen naar volgende projecten en de praktijkervaring stapsgewijs uit te bouwen. De belangrijkste kennishiaten, zoals degradatie van zinkvoegen, zijn op deze manier naar verwachting voor 2030 op te lossen.

Heinenoordtunnel

Rijkswaterstaat heeft op basis van deze rapporten keuzes gemaakt voor de aanpak van aangetaste (zink)voegen van de Heinenoordtunnel. Deze tunnel wordt gerenoveerd tijdens het opstellen van dit rapport. Het COB volgt de uitvoering van de renovatie en zal de ervaringen op een later moment publiceren.

1.2 Doel van het onderzoek

Dit rapport is het resultaat van een verkennend onderzoek om te bepalen of plooiën in het rubber van een omegaprofiel een additioneel risico vormen voor het falen van het omegaprofiel. Hiervoor zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Hoe werkt een omegaprofiel?
- Wanneer installeer je een omegaprofiel?
- Wat zijn de mogelijke faalmechanismen van omegaprofielen?
- Wat is het effect van de plooiïvorming op lokale spanningen?

1.3 Bevindingen bij geïnstalleerde omegaprofielen

De afgelopen tijd zijn bij verschillende tunnels zinkvoegen geïnspecteerd. De werkgroep heeft gekeken naar de uitkomsten van deze inspecties bij 26 zinkvoegen. Het betreft twaalf voegen tussen een landhoofd en een zinktunnelement, elf voegen tussen zinkelementen en drie sluitvoegen. Van de eerste categorie voegen is bij acht voegen het omegaprofiel geplooid. Bij drie voegen is geen plooiïng waargenomen en van een voeg is geen informatie over plooiïng bekend. Bij deze laatste voeg is overigens mogelijk sprake van een lekkage.

Bij de elf zinkvoegen tussen zinkelementen zijn geen plooiën in het omegaprofiel waargenomen en ook niet bij de drie sluitvoegen (zie [TABEL 1.1](#)). Bij deze sluitvoegen gaat het in een geval om een rubber plaat met dubbel omegaprofiel.

Op basis van deze uitkomsten kan worden geconcludeerd dat bij de overgang van zinktunnelement naar een landhoofd een grote kans op plooiïng aanwezig is. Het ontstaan van plooiën wordt veroorzaakt door verplaatsingsverschillen over een voeg. De plooiën treden op in de wanden bij een overgang tussen een onderheid tunneldeel en een op staal gefundeerd tunneldeel (verticale verplaatsing). In zeldzame gevallen kunnen ook plooiën ontstaan in het dak en de vloer door bijvoorbeeld ongelijke grondaanvullingen (horizontale verplaatsing). Een voorbeeld van plooiïvorming is weergegeven in [FIGUUR 1.2](#).

Tabel 1.1 / Samenvatting inventarisatie omegaprofielen

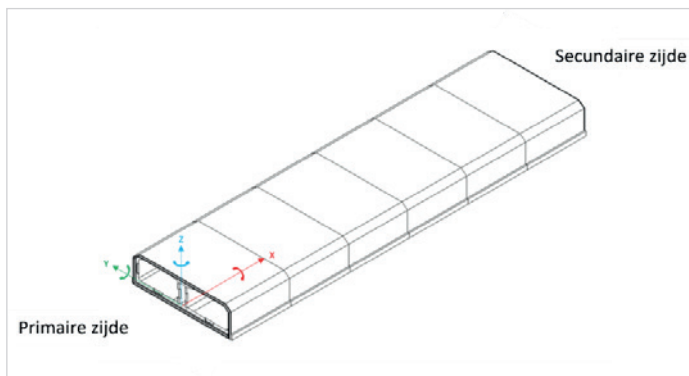
| Type zinkvoeg | Aantal onderzocht | Waarvan geplooid |
|--------------------------------|-------------------|------------------|
| Tussen landhoofd - zinkelement | 12 | 8 |
| Tussen twee zinkelementen | 11 | 0 |
| Sluitvoeg | 3 | 0 |



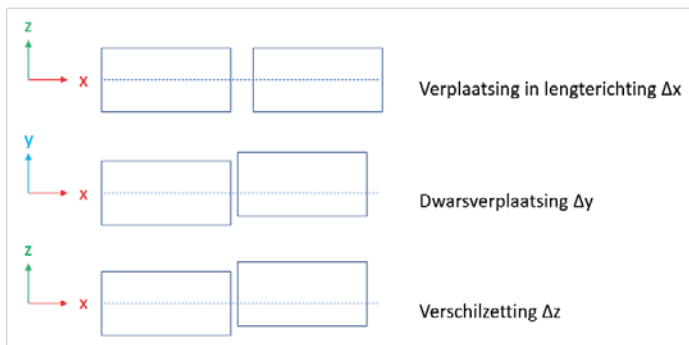
Figuur 1.2 / Plooiïng in omegaprofiel Tweede Beneluxtunnel. (Bron: Nebest)

1.4 Geometrische uitgangspunten en assenstelsel

In dit rapport wordt aangesloten bij de door Rijkswaterstaat gehanteerde uitgangspunten voor het assenstelsel, zie [FIGUUR 1.3](#). De primaire zijde van het tunnelelement is de zijde die wordt aangesloten op het voorgaande tunnelelement of het in-situ gebouwd tunnelelement of landhoofd, de andere zijde van het tunnelelement is de secundaire zijde. De oorsprong bevindt zich op het snijpunt van de onderzijde van de tunnelvloer met de tunnel-as aan de primaire zijde. De x-richting is positief naar de secundaire zijde. De y-richting is positief richting stuurboord (in afzinkrichting). De z-richting is positief in opwaartse richting. De verschillende verplaatsingen zijn gevisualiseerd in [FIGUUR 1.4](#). In sommige detailberekeningen wordt een lokaal assenstelsel gebruikt dat kan afwijken van het globale assenstelsel.



Figuur 1.3 / Assenstelsel.



Figuur 1.4 / Verplaatsingen in x-, y- en z-richting.

1.5 Leeswijzer

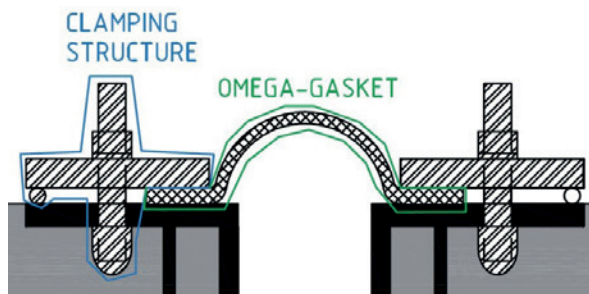
In [HOOFDSTUK 2](#) wordt de werking van het omegaprofiel behandeld, waaronder ook de installatiemethode en de mogelijke faalmechanismes. Om te onderzoeken welke effecten plooivorming in een omegaprofiel heeft, is er met een eindige-elementenmethode (*finite element method*, FEM) een berekening gemaakt van zowel de lokale vervormingen als van de lokale spanningen. De opzet van het model en de verificatie is beschreven in [HOOFDSTUK 3](#) en de resultaten komen in [HOOFDSTUK 4](#) aan de orde. De conclusies staan in [HOOFDSTUK 5](#). In [HOOFDSTUK 6](#) worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek, bijvoorbeeld voor onderzoeken om de restlevensduur van de omegaprofielen vast te stellen.

2 Werking omegaprofiel

Dit hoofdstuk beschrijft de werking van omegaprofielen en hoe deze profielen in tunnels worden toegepast. Aan de hand van de toepassing worden de faalmechanismen geïdentificeerd.

2.1 Opbouw omega-afdichting

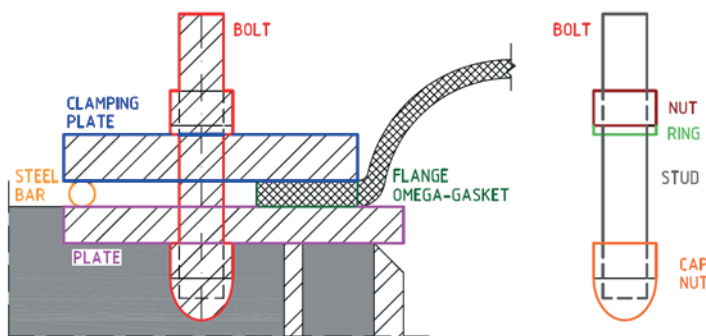
Een omega-afdichting bestaat uit twee onderdelen, het rubberen omegaprofiel en de klemconstructie die het rubberprofiel tegen het tunnelelement drukt en voor de waterafdichting zorgt. De klemconstructie wordt op beide tunnelelementen bevestigd, meestal op de stalen omranding van de zinkvoeg.



Figuur 2.1 / Omega-afdichting

2.1.1 Klemconstructie

De klemconstructie bestaat uit een klemstrip (*clamping plate*) waarop een staaf (*steel bar*) is gelast. De klemstrip is gefixeerd met draadeinden (*stud*), het geheel wordt afgespannen met een ring en een moer (*nut*). In de zinkvoegomranding is voor iedere draadeinde een dopmoer (*cap nut*) aanwezig. Er bestaan varianten van het hierboven beschreven systeem. Het principe is steeds hetzelfde. De werking van de klemstrip is vergelijkbaar met die van een kikkerplaat.

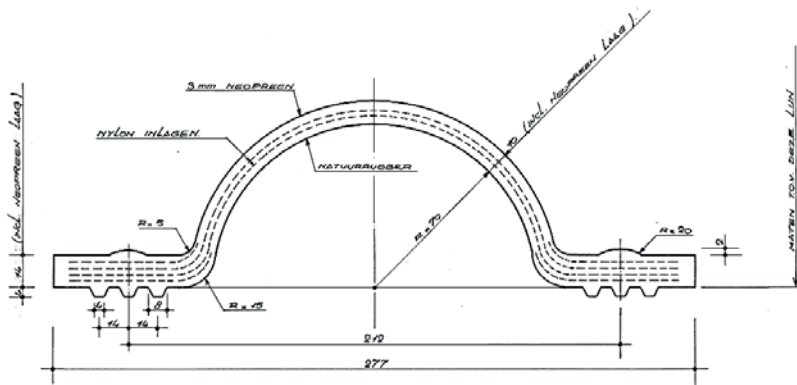


Figuur 2.2 / Standaard klemconstructie met Engelse namen van de verschillende onderdelen.

2.1.2 Omegaprofiel

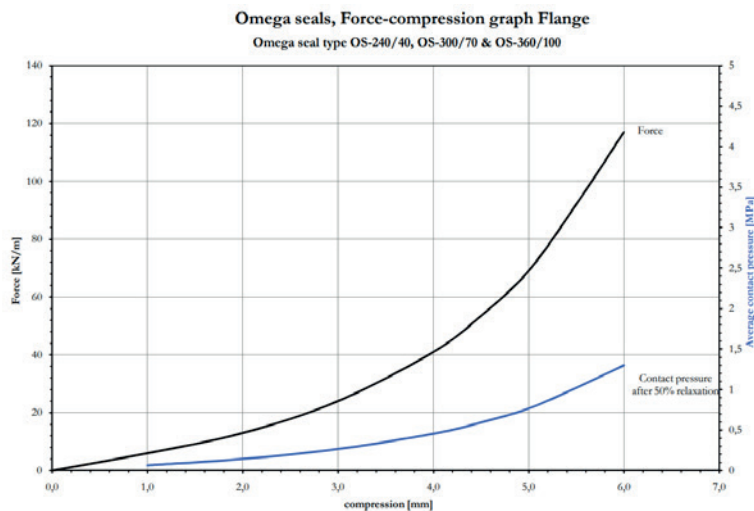
Het omegaprofiel is een afdichtingsprofiel van natuurrubber. Het bestaat uit een gekromd deel en twee flenzen (de vlakke delen). Over de gehele lengte van het omegaprofiel zijn in het rubber lagen van nylon weefsel aangebracht, inlagen genoemd.

Meestal is er sprake van twee lagen nylon weefsel. Het weefsel bestaat uit uniforme draden die loodrecht op elkaar staan, haaks op en in de lengterichting van het profiel. Daardoor is de sterkte in de dwars- en langsrichting hetzelfde. Zie [FIGUUR 2.3](#).



Figuur 2.3 / Het omegaprofiel.

Op de flenzen zijn aan beide zijden uitstulpingen aanwezig om de waterafdichting te bevorderen. Wanneer deze uitstulpingen worden ingedrukt, levert dit een reactiekracht op. Deze kracht is af te lezen uit grafieken die zijn opgesteld door de leverancier. Onderstaande grafiek geeft een generieke reactiekracht weer van het omegaprofiel zoals dat eind 2022/begin 2023 wordt gefabriceerd. Dit is van een 63 Sh.A profiel en bestaande uit styreen butadiene rubber (SBR). Er zijn in de tijd diverse varianten op de markt gekomen die verschillende hardheden of rubber compound kunnen bevatten. De oorspronkelijke veerijfheid van de flens is dus niet bij alle Nederlandse afzinktunnels hetzelfde. Bovendien hebben de veroudering, initiële compressiekracht en het type klem effect op de huidige te verwachten resterende reactiekracht.



Figuur 2.4 / Typische indrukkings-krachtgrafiek van Trelleborg Ridderkerk voor specifiek omegaprofiel.

2.2 Mechanische werking

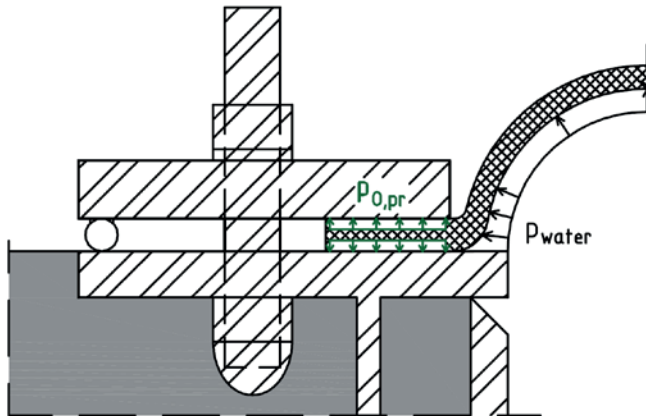
De waterdichtheid van de omega-afdichting ontstaat doordat de flenzen van het omegaprofiel tegen beide tunnelelementen worden geklemd. De flenzen moeten voldoende worden ingedrukt om te voorkomen dat water tussen het rubber en de zinkvoegomrandingen lekt. Bij onvoldoende klemkracht bestaat de kans dat er een lekweg ontstaat of dat een flens onder de klem wegglijdt.

Er zijn drie mechanische principes die een rol spelen bij de werking van de omega-afdichting.

1. Klemdruk in rubber groter dan waterdruk

Theoretisch kan er geen lekkage optreden als de klemdruk van het omegaprofiel gelijk is aan of groter is dan de waterdruk. Wanneer de flens van het omegaprofiel ingedrukt is, levert deze een reactiekracht (te achterhalen m.b.v. grafiek van de leverancier). Deze reactiekracht werkt over een oppervlak en levert zo een klemdruk op. De waterdruk is eenvoudigweg te bepalen door de hoogte van de waterkolom en de dichtheid van het water.

Trelleborg Ridderkerk, de leverancier van nagenoeg alle omega profielen in Nederland, gaat in het ontwerp uit van een klemdruk of vlaktedruk die minimaal 2,5 keer hoger is dan de hoogste waterdruk.



Figuur 2.5 / Mechanisme klemdruk en waterdruk.

$$\gamma_{O1} = \frac{2.5 \times p_{water}}{p_{O,pr}} = \frac{p_{ws}}{p_{O,pr}}$$

Met:

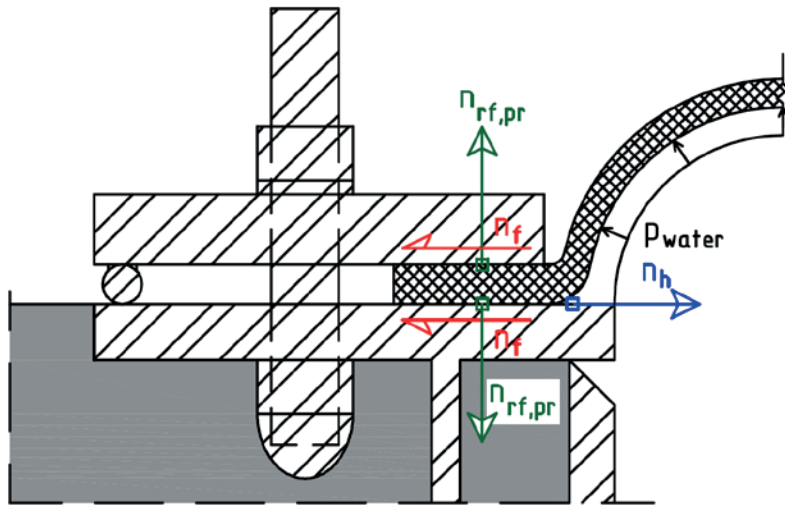
γ_{O1} = veiligheidsfactor op klemdruk [-]

p_{water} = waterdruk [N/mm²]

$p_{O,pr}$ = weerstandsdruck van het omegaprofiel [N/mm²]

2. Voorkomen van uittrekken flens omegaprofiel

De omega-afdichting faalt als de flens van het omegaprofiel onder de klemconstructie vandaan getrokken wordt. Wanneer de flens van het omegaprofiel ingedrukt is, levert deze een reactiekracht (te achterhalen m.b.v. grafiek van de leverancier). Deze reactiekracht leidt tot frictie. Wanneer het omegaprofiel vervormt in combinatie met optredende waterdruk, kan er een kracht ontstaan die het omegaprofiel onder de klemconstructie vandaan trekt.



Figuur 2.6 / Mechanisme frictie en 'uittrekkende' kracht.

$$\gamma_{O2} = \frac{n_h}{2 \times n_f}$$

Met:

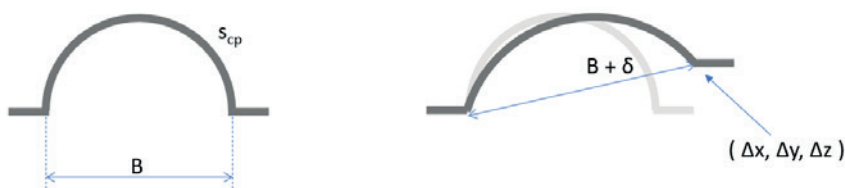
γ_{O2} = veiligheidsfactor op schuifkracht [-]

n_h = kracht in de flens van het omegaprofiel in de horizontale werkrichting [N/mm']

n_f = wrijvingskracht van de flens van het omegaprofiel [N/mm']

3. Voorkomen van rek in het omegaprofiel

Door verschilverplaatsingen kan het omegaprofiel zodanig worden belast dat er vervorming optreedt. Uitgangspunt is dat rek van het profiel (van het rubber) niet mag optreden. Rek treedt op als door verplaatsing de bolling volledig uit het profiel is verdwenen en het rubber wordt uitgerekt. De eis is dat er een veiligheidsmarge van 10% aanwezig is op de optredende vervormingen en resulterende verlenging van de koorde (zie FIGUUR 2.7). De verplaatsing mag dus niet meer zijn dan er aan 90% van de koordlengte opgenomen kan worden. Het ontwerp van het omegaprofiel kan goed zettingen in x en z richting opnemen. Relatieve verplaatsingen in y-richting kunnen tot plooiën, en daarmee mogelijk gepaarde rek, leiden in het profiel.



Figuur 2.7 / Situatie zonder en met verschilzettingen.

$$0.9 \times s_{cp} \leq B + \delta$$

$$B + \delta = \sqrt{(B + \Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$$

Met:

s_{cp} = koorde = lengte gebogen gedeelte omegaprofiel [mm]

B = diameter van de initiële omegaprofiel [mm]

Δx = maximaal verschil tussen winter en zomer van de zinkvoeg in lengterichting [mm]

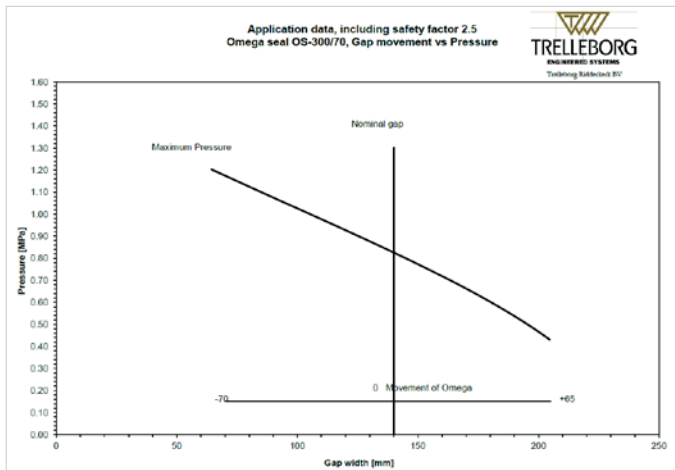
Δy = differentiële verplaatsing van de zinkvoeg in y-richting (dwarsrichting) [mm]

Δz = differentiële verplaatsing van de zinkvoeg in z-richting [mm]

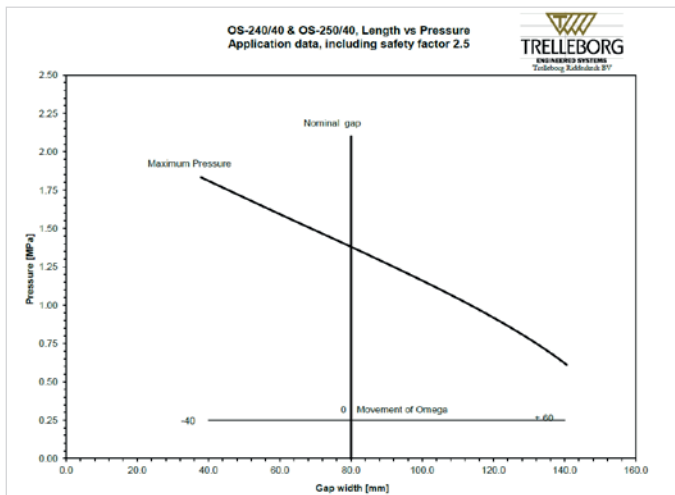
2.3 Toepassingsgebied

Aan de hand van berekeningen en theorie (zoals in voorgaande hoofdstuk is weergegeven) kan van elk type omegaprofiel de capaciteit worden bepaald. Het gaat er hierbij om hoe waterdruk zich verhoudt tot de vervorming van de omega.

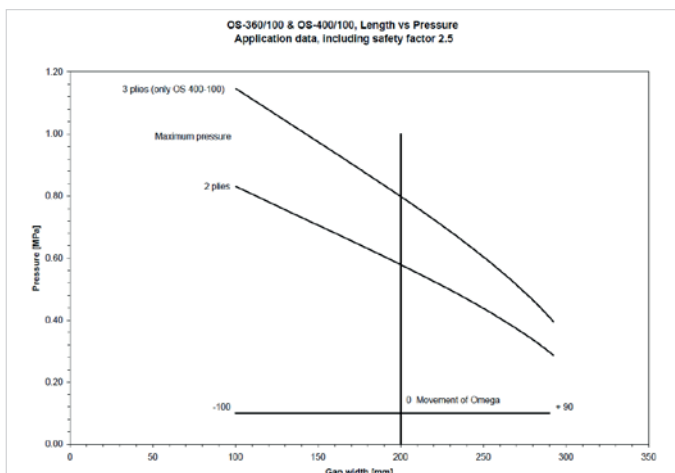
FIGUUR 2.8, FIGUUR 2.9 en FIGUUR 2.10 zijn door de huidige producent Trelleborg Ridderkerk B.V. van de omegaprofielen opgegeven als toepassingsgebied. Dit zijn de waarden van de profielen die eind 2022/ begin 2023 op de markt verkrijgbaar zijn. Voor eerder toegepaste omegaprofielen en andere toegepaste materialen kan de sterkte afwijken van onderstaande grafieken. De verplaatsing die kan worden opgenomen, is een relatieve verplaatsing en een resultante van een verplaatsing in zowel de x-, y- als z-richting.



Figuur 2.8 / Toepassing grafiek omega OS 300/70 met twee inlagen.



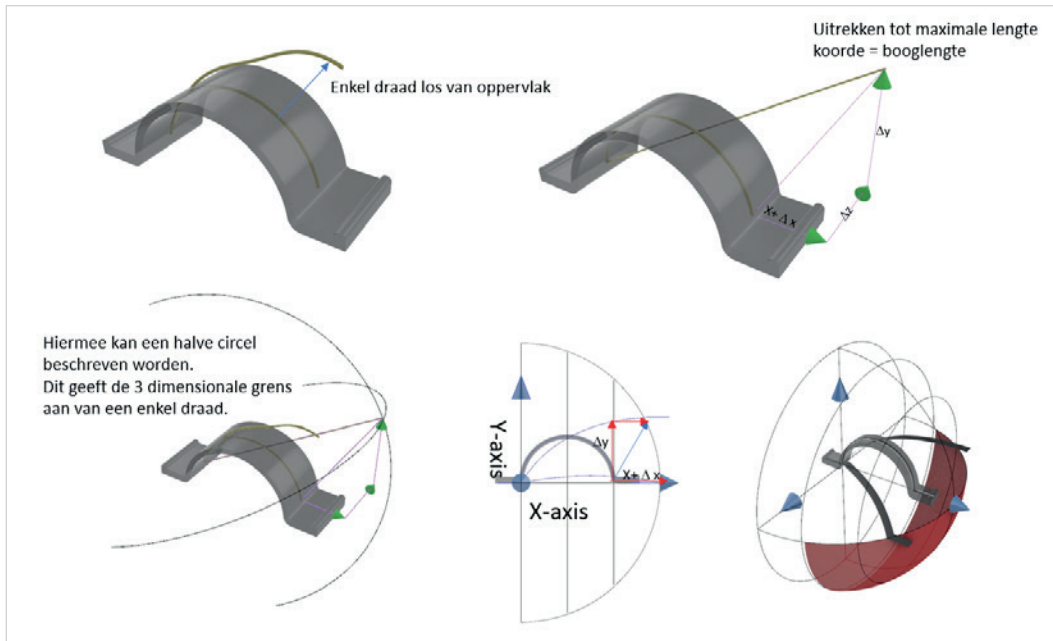
Figuur 2.9 / Toepassing grafiek omega OS 240/40 met twee inlagen.



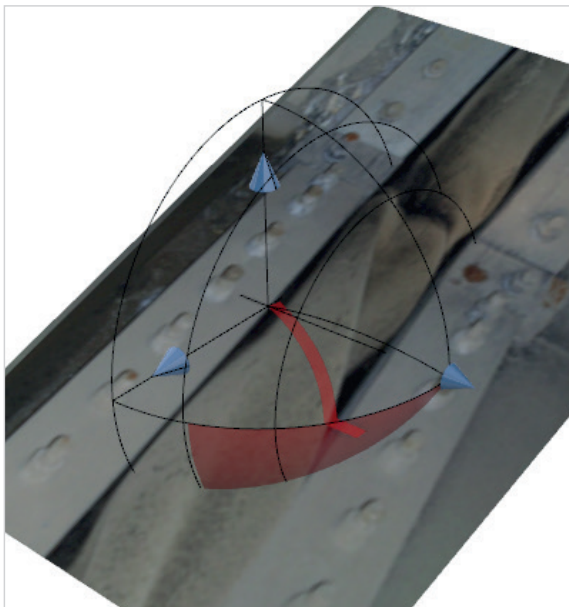
Figuur 2.10 / Toepassing grafiek omega OS 360/100 met twee respectievelijk drie inlagen.

Van enkele typen zijn de toelaatbare vervorming (*movement of omega*) en bijbehorende afname van de toelaatbare waterdruk (*pressure*) vermeld. Ook is de invloed van het aantal inlagen weergegeven.

De bewegingsvrijheid van een omega kan worden beschouwd als de vrijheid van een enkel draad nylon. Om de bewegingsvrijheid te bepalen moet als het ware een draad uit het gebolde deel van het rubber worden losgemaakt. Als deze draad strak wordt getrokken kan er een cirkel mee worden beschreven die de maximale vervormbaarheid van het profiel visualiseert (zie [FIGUUR 2.11](#)). Hierbij is geen rekening gehouden met plooivorming die in de z-richting kan optreden.



Figuur 2.11 / 3D-benadering van een enkele nyloodraad.

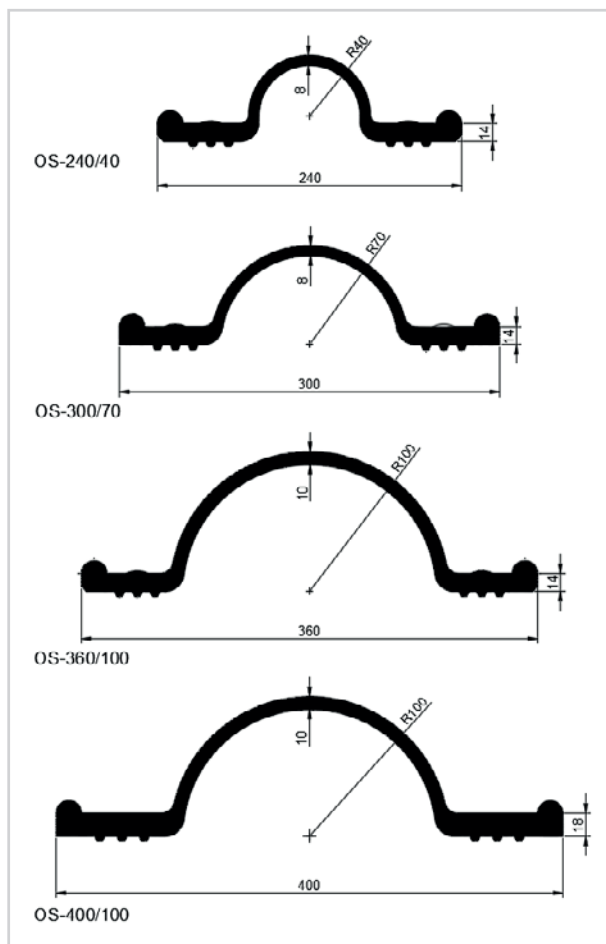


Figuur 2.12 / Visualisering vervorming, projectie op bestaande situatie.

2.4 Verschillen in opbouw en typen

In de loop der tijd zijn er diverse uitvoeringen van omegaprofielen op de markt gekomen. De meeste laten zich beschrijven door 4 types. Sinds de jaren '80 zijn de meeste types gemaakt van SBR en voorzien van minimaal twee lagen Nylon orthogonaal op elkaar gelegen weefsel. De vezels liggen in dwars en langsrichting van het omega profiel. Van het type OS 400/100 bestaat er ook een uitvoering met 3 lagen weefsel. Het principe van de omegaprofielen is altijd hetzelfde gebleven. De verschillen in toelaatbare vervorming zijn voor alle profielen met eenzelfde geometrie of radius van de golf gelijk. De toelaatbare waterdruk bij vervorming kan verschillen.

De profilering van de flensen (onder en boven) zorgen voor een hogere lokale contactspanning wat de waterdichtheid van de omega-afdichting bevordert en mogelijke oneffenheden op het contactvlak vereffend.



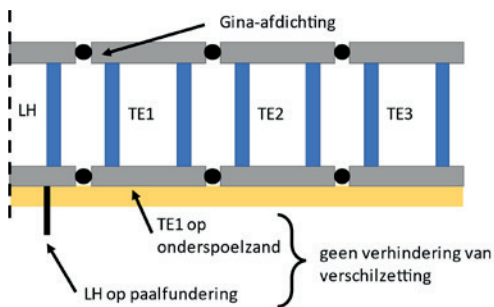
Figuur 2.13 / Standaardtypes omega.
(Bron: brochure Trelleborg)



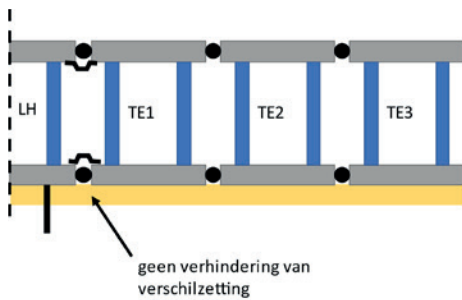
Figuur 2.14 / Detail omega met los stukje ongevulkaniseerd nylon inlagen.

2.5 Montageprocedure

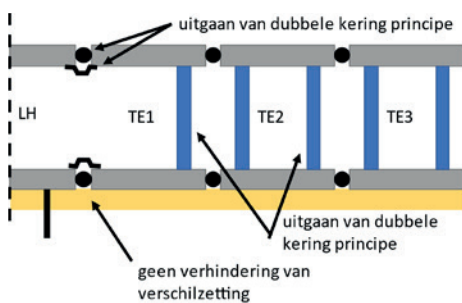
Tijdens het afzinken van tunnelelementen is waterdichtheid een belangrijk aspect. Er zijn verschillende waterafdichtingen aanwezig die in een vaste volgorde aangebracht en verwijderd moeten worden. Na het afzinken geldt doorgaans per voeg het twee-waterkeringenprincipe. Dat wil zeggen dat er altijd minimaal twee kopschotten aanwezig moeten zijn of een combinatie van een kopschot en een ginaprofiel of een combinatie van een ginaprofiel en een omegaprofiel. Kern van dit principe is dat niet gelijk de hele tunnel onder water staat als een waterkerende constructie faalt, maar slechts een beperkt gedeelte. Het omegaprofiel wordt aangebracht als het grootste deel van de verwachte verschilzetting heeft plaatsgevonden. Om de zettingen te laten optreden is het nodig dat de tunnelelementen 2 en 3 zijn geplaatst. In vier verschillende stappen kan het proces van het aanbrengen van het omegaprofiel en de verdeuveling worden geschematiseerd, zie [FIGUUR 2.15](#), [FIGUUR 2.16](#), [FIGUUR 2.17](#) en [FIGUUR 2.18](#).



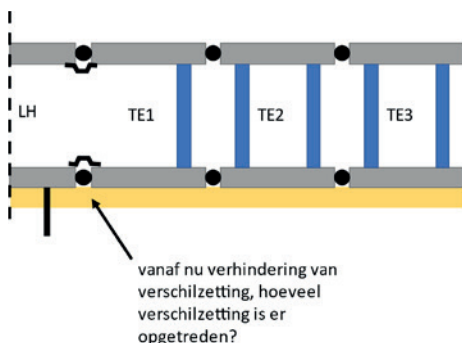
Figuur 2.15 / Stap 1: afzinken drie tunnelelementen.



Figuur 2.16 / Stap 2: plaatsen omegaprofiel.



Figuur 2.17 / Stap 3: verwijderen kopschotten.



Figuur 2.18 / Stap 4: aanbrengen verdeuveling.

Een belangrijk aandachtspunt bij het montageproces is dat de verdeuveling later wordt aangebracht dan het omegaprofiel.

Door het verschil in funderingstechniek (op palen versus op staal) treden de grootste verschilzettingen tussen het landhoofdelement en het eerste zinktunnelement. Dit wordt toegelicht in onderstaande passage uit het [Handboek Tunnelbouw](#).

Algemeen 🗨️ 🖨️ ?

Versie 2019.1 » Ontwerpaspecten » Ontwerpaspecten Definitieve constructie » Fundering » [Zettingsproblematiek aansluiting gedilateerde constructiedelen](#) » Algemeen

Artikel nr. 83

Overmatige zetting en zettingsverschillen kunnen bij op staal gefundeerde constructies leiden tot problemen. Bij op palen gefundeerde constructies treedt ook zetting op maar deze is doorgaans dermate beperkt dat daarbij geen problemen zijn te verwachten.

Bijzondere aandacht ten aanzien van de zettingsproblematiek is nodig bij de aansluiting van op palen aan op staal gefundeerde constructies. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij de aansluiting van de tunnel op de toerit. Ook kan hier sprake zijn van een overgang van een op druk belaste fundering naar een op trek belaste fundering. Voor de toerit kunnen, vanwege het beperkte gewicht, trekpalen zijn toegepast terwijl de tunnel zelf een op druk belaste fundering heeft.

Voor de bouw van de tunnel wordt grond ontgraven. Als de tunnelbuis niet zwaarder is dan de ontgraven grond treedt (vrijwel) geen zetting op. Bovendien is meestal sprake van een opwaartse waterdruk tegen de tunnelbuis, waardoor het effectief gewicht afneemt.

De grootte van de zetting is afhankelijk van de grondopbouw (aanwezigheid en dikte van de samendrukbare lagen) en de belastingtoename op de ondergrond. Een deel van de zetting treedt gedurende de bouw op. Bij slecht waterdoorlatende grond kunnen echter ook na de bouw nog niet-verwaarloosbare zettingen optreden.

Ook door naburige bouwactiviteiten na voltooiing van de tunnel kan nog (extra) zetting ontstaan, bijvoorbeeld door bemaling van een bouwput en/of terreinophogingen.

In het algemeen kan worden gesteld dat schade en problemen door (verschil)zettingen vooral ontstaan bij afgezonken, op staal gefundeerde tunnels.

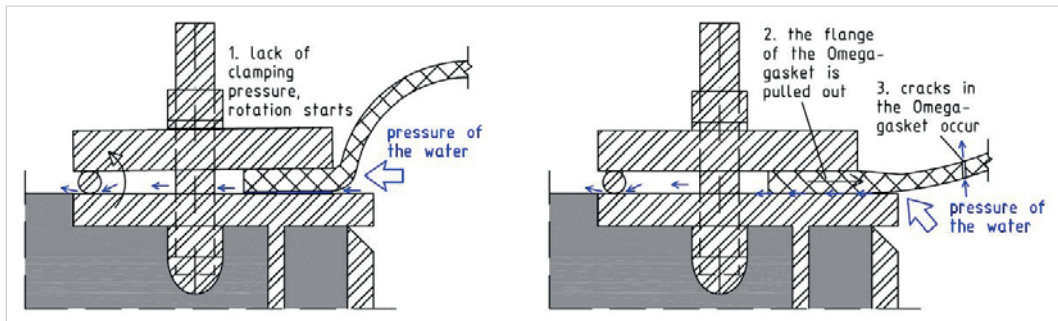
Figuur 2.19 / Passage uit het Handboek Tunnelbouw.

2.6 Faalmechanismen

Grofweg zijn er drie faalmechanismen van het omegaprofiel:

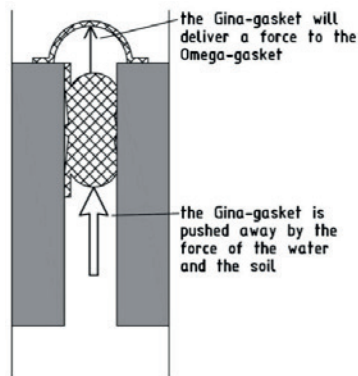
1. Water kan het omegaprofiel passeren door gebrek aan klemkracht in de klemconstructie. Dit kan ontstaan door relaxatie van het rubberen omegaprofiel en/of door achteruitgang van de klemconstructie.
2. De flens van het omegaprofiel is losgekomen van de klemconstructie. Dit kan optreden wanneer de klemconstructie onvoldoende functioneert en/of vergrote trekkrachten op de flens zijn opgetreden. Dat laatste kan ontstaan door verschilzettingen of het openen van de voeg.
3. Water passeert het omegaprofiel als gevolg van scheuren in het rubber. De scheuren kunnen ontstaan door verplaatsingen in de tunnelementen (in x-richting gaat het om winter-zomer en rotatie van de voeg, in z-richting gaat het om verschilzettingen) en het openstaan van de voeg. Externe factoren kunnen ook een rol spelen zoals scherpe delen of mechanische beschadiging van het profiel door vreemde objecten.

Het derde faalmechanisme wordt nader beschouwd in [HOOFDSTUK 4](#).



Figuur 3.1 / Schematisering faalmechanismen omegaprofiel.

Daarnaast zijn er faalmechanismen die optreden door het falen van omliggende constructies. Als bijvoorbeeld het ginaprofiel naar binnen wordt gedrukt, kan het omegaprofiel beschadigd raken.



Figuur 3.2 / Schematisering faalmechanisme ginaprofiel.

Achterliggende oorzaken

- Corrosie van de klemconstructie – Strooizout opgelost in water kan de klemstrippen aantasten, waardoor de capaciteit afneemt. De bouten worden het meest kwetsbaar geacht voor corrosie.
- Relaxatie van het gina- en omegaprofiel – Relaxatie is het afnemen van de spanning in het rubber profiel in de loop van de tijd.
- Verplaatsingen in de tunnelementen – Verschillende verschilverplaatsingen kunnen optreden over de levensduur van een tunnel. In x-richting gaat het om het open staan in de winter en het dichtdrukken in de zomer van de voeg (door thermische uitzetting en krimp van de tunnelementen) en in z-richting gaat het om verschilzettingen (als gevolg van draagkrachtverschillen in de ondergrond / fundering).
- Toegenomen gronddrukken – Het gaat hierbij om het verdichten van zand in de voeg door de jaarlijkse temperatuurvariatie en het daardoor blokkeren van de ginavervorming aan de buitenzijde. Door de ongunstige vorm van de voeg in combinatie met de jaarlijkse (de)compressie van de voeg kan de belasting op de gina-afdichting en bevestiging toenemen.

2.7 Kwaliteitsafname

Er is een aantal oorzaken waardoor de kwaliteit van een omegaprofiel kan afnemen.

2.7.1 UV en ozon

Het meest toegepaste rubbertype dat wordt (of is) gebruikt voor omegaprofielen kan slecht tot matig tegen UV en ozon. omegaprofielen in afzinktunnels worden echter niet of nauwelijks aan UV en ozon blootgesteld. Daarom wordt aangenomen dat UV- en ozon-aantasting geen significante rol spelen. Als de profielen op een andere manier worden toegepast, dient mogelijk wel rekening te worden gehouden met aantasting.

2.7.2 Relaxatie

Gedurende de gebruiksfase van het rubber neemt de spanning in het gina- en omegaprofiel af. Spanningsrelaxatie ligt hieraan ten grondslag. Het gaat hierbij om de afnemende reactiekracht bij een constante vervorming in de loop van de tijd. Door de relaxatie neemt de waterdichtheid af. De hoeveelheid relaxatie is te bepalen aan de hand van de volgende formule.

$$R_{Fres} = 100\% - r \times \log_{10}(t)$$

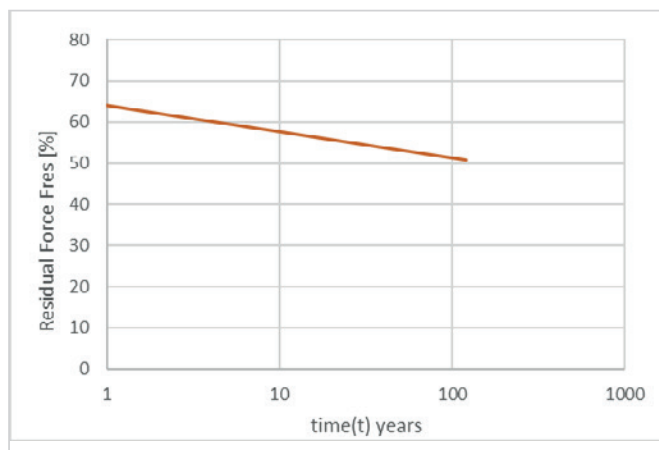
Met:

R_{Fres} = deel van de overgebleven kracht die nog over is na relaxatie ten opzichte van de oorspronkelijke kracht na afzinken [%]

r = relaxatie snelheid per tien jaar [%/dec]

t = tijd na afzinken [minuten]

De exacte relaxatie kan per compound verschillen en is voor huidige omegaprofielen gesteld op maximaal 6,5% per decade. De daadwerkelijke relaxatie is meestal lager. Regeltechnisch en veiligheidshalve kan worden uitgegaan van 50% relaxatie (een halvering van de de initiële reactiekracht) gedurende de levensduur van een omegaprofiel. Er wordt uitgegaan van een levensduur van honderd jaar. Aangezien de relaxatie een lineair verloop heeft over een logaritmische tijdschaal neemt de relaxatie na honderd jaar theoretisch nauwelijks meer toe (zie [FIGUUR 3.3](#)).



Figuur 3.3 / Voorbeeld verloop van spanningsrelaxatie.

2.7.3 Langdurige rek

Bij grote vervormingen en rek kan rubber sneller verouderen dan onder normale omstandigheden. Rek van meer dan 25% moet worden vermeden. Door het weefsel in het omega en bij normaal gebruik zou een dergelijke rek, met de bijbehorende spanningen in het rubber, niet moeten kunnen optreden. Door extreme plooivorming of bij een omegaprofiel dat het einde van zijn levensduur nadert, kan zo'n grote rek weliswaar niet geheel worden uitgesloten, maar de kans erop lijkt onwaarschijnlijk. Met een visuele inspectie zou een dergelijke veroudering moeten kunnen worden geïdentificeerd. Het ontstaan van kleine scheuren haaks op de spanningsrichting wijzen op een dergelijke veroudering.

2.7.4 Chemische bestendigheid

Toegepaste rubber compounds zijn over het algemeen goed bestendig tegen zowel zoet als zout water, water met dooizouten en andere watersamenstellingen die in Nederland voorkomen. Contact tussen het rubber en koolwaterstoffen, zoals oliën en of brandstoffen dient te worden voorkomen. Vanwege de diverse toegepaste rubbersamenstellingen (compound) en de grote hoeveelheid aan mogelijke verontreinigen is het lastig vast te stellen wat de invloed van koolwaterstoffen is op de lange termijn.

Bij het ontwerp van de omega-afdichtingen is uitgegaan van zeewater of zoet water. Als er contact is (geweest) tussen het rubber en een chemische stof, dan moet het effect hiervan worden onderzocht. In de praktijk blijkt dat de voegen behoorlijk vervuild kunnen zijn. Het is verstandig deze vervuiling in kaart te brengen en op onderstaande effecten te analyseren.

Het effect van chemicaliën op het rubber kan in de meeste gevallen worden toegewezen aan een of meer van de volgende categorieën:

Fysieke penetratie en absorptie van een medium naar een rubbermateriaal

Als olie of een andere koolwaterstof met het rubber in contact komt, ontstaat zwelling van het rubber, soms gecombineerd met extractie van oplosbaar materiaal uit het rubber. Als de geabsorbeerde vloeistof wordt verwijderd, bijvoorbeeld door te drogen, keren de meeste fysieke eigenschappen terug naar hun oorspronkelijke niveau. Indien de antioxidanten in het rubber door extractie worden verwijderd, kan de verouderingsbestendigheid afnemen. Als olie wordt geëxtraheerd, wordt het rubber bijvoorbeeld harder. Dit kan gebeuren bij een calamiteit waarbij grote hoeveelheden brandstof zoals benzine in de zinkvoeg terechtkomt. Door een dergelijke tijdelijke of langdurige blootstelling kan het rubber significant worden aangetast.

Het zwellen van het rubber door contact met olie treedt op doordat de moleculaire structuur van rubber bestaat uit lange ketens van polymeren die onderling verbonden zijn door zwakke intermoleculaire krachten. Als rubber in contact komt met olie, kan de olie tussen de polymeren doordringen en deze zwakke verbindingen verstoren. Hierdoor neemt de afstand tussen de moleculen toe, waardoor het rubber uitzet en zwelt.

Het zwelgedrag van olie in rubber is afhankelijk van verschillende factoren, waaronder de samenstelling van het rubber en de eigenschappen van de olie. Verschillende soorten rubber hebben verschillende affiniteiten voor olie, wat betekent dat sommige soorten rubber gemakkelijker olie zullen absorberen en zwelling vertonen dan andere. Ook heeft de viscositeit, het gehalte aan additieven en andere eigenschappen van de olie invloed op het zwelgedrag van het rubber.

Chemische aantasting door hydrolyse

Deze aantasting door een chemische reactie tussen water en het rubberpolymeer treedt vooral op onder sterk zure of basische omstandigheden. Door deze reactie gaan de fysische eigenschappen van het rubber achteruit. Ook kan zwelling optreden, maar dit is niet altijd het geval.

Chemische aantasting door oxidatie

Alle organische materialen zijn min of meer gevoelig voor oxidatie. Door oxidatie verminderen de fysieke eigenschappen van het rubber. Gewoonlijk zal de treksterkte afnemen, maar hardheid en rek kunnen zowel toenemen als afnemen, afhankelijk van het rubber en de omgeving. Als vloeibare oxidatiemedia worden gebruikt, kan oxidatie gepaard gaan met zwelling. Een typisch voorbeeld van dat laatste is het effect van salpeterzuur op SBR-rubber en NBR-rubber. Zoals bij de meeste andere vormen van chemische reactie, neemt de oxidatiesnelheid toe met de temperatuur.

Chemische aantasting door andere reacties

Sommige chemicaliën reageren met rubberpolymeren zoals chloor, broom, ozon enz. Aantasting door deze chemicaliën blijft meestal beperkt tot het oppervlak van het rubber. Omgevingsfactoren, zoals stilstaand water of stromend water, temperatuur, concentratie en blootgesteld oppervlak hebben invloed op het effect van chemicaliën op het rubber.

2.7.5 Beschadigingen

In normale condities en toepassing zijn het rubber en weefsel in staat de bewegingen en vervormingen op te nemen zonder beschadigd te raken. Het rubber is wel gevoelig voor scheurvorming door scherpe objecten of randen. Bij de montage en het hanteren van het materiaal kan schade ontstaan aan het oppervlak. Zolang de weefsels niet beschadigd zijn, zal de sterkte van de omega niet veranderen. Als er beschadigingen zijn aan het oppervlak van de droge zijde van het omegaprofiel, dan kan het weefsel bloot komen te liggen. Dit is in-situ te repareren. De levensduur van het weefsel kan door blootstelling afnemen. De afname is afhankelijk van het blootgestelde oppervlak en de duur van de blootstelling. Omgevingsfactoren zijn ook van belang. Als blootstelling wordt geconstateerd, is dit aanleiding voor onderzoek en reparatie.

Als de onderzijde van het omegaprofiel beschadigd is en het weefsel is blootgesteld aan de natte zijde en waterdruk, dan neemt de levensduur af en kan het profiel zelfs falen. Water kan via het weefsel naar het oppervlak komen en blazen vormen. Deze blazen kunnen spanning op het rubber zetten en kunnen, afhankelijk van de waterdruk en de grootte van de blaas, knappen. Dergelijke beschadigingen zijn visueel lastig op te sporen en alleen te identificeren met druktesten. Meestal worden de omega-profielen afgeperst na montage. Hiermee wordt schade uitgesloten, die bij of tijdens de installatie is ontstaan.

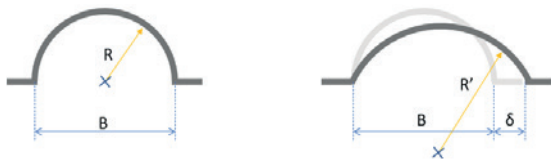
2.8 Afwijkende detaillering

Hoewel de standaard toepassing en faalmechanismen bekend zijn, komen er afwijkende toepassingen voor en kunnen zich onverwachte situaties voordoen. Alternatieve bevestigingen of unieke toepassingen komen bijvoorbeeld voor bij sluitvoegen. Het is altijd raadzaam om specifieke detaillering mee te nemen bij het bepalen van de restlevensduur. Dit document beschrijft de meest voorkomende detailleringen en de bijbehorende faalmechanismen. Indien een afwijkende toepassing wordt onderzocht, dient te worden nagegaan of de gevonden afwijkingen invloed hebben op de gevoeligheid van het systeem.

3 Beïnvloeding capaciteit omegaprofiel

3.1 Door relatieve verplaatsing elementen

De spanning in het omegaprofiel kan berekend worden met de ketelformule: $\sigma = p \cdot R / t$; waarin σ = spanning [N/m²]; p = druk [N/m²]; R = straal [m]; t = wanddikte [m]. De reductie in spanningscapaciteit na een deformatie kan bepaald worden door σ' / σ , waarin σ' de spanningen zijn na een deformatie en σ de initiële spanningen. Deze deformatie is gevisualiseerd in [FIGUUR 4.1](#). R is de straal van het profiel. Na een opgelegde deformatie δ kan R' bepaald worden en daarmee de procentuele afname van de capaciteit. Hierin is δ de verplaatsing ten opzichte van de oorspronkelijke locatie.



Figuur 4.1 / Omegaprofiel met een opgelegde deformatie δ .

Hierbij is uitgegaan van de volgende aannames:

- Het oorspronkelijke omegaprofiel is een halve cirkel met straal $R = 1/2 B$;
- Na de opgelegde deformatie blijft het omegaprofiel een cirkelboog, maar neemt de booghoek af bij een positieve δ . Hierbij is het uitgangspunt dat het profiel geen dwarskracht kan opnemen.
- p en t blijven constant; de 'lengte' van het omegaprofiel blijft constant; er treedt geen rek op.

Wanneer er verplaatsingen in verschillende richtingen optreden, dienen deze omgerekend te worden naar de kortste afstand tussen de twee tunnelmoten. Deze kortste afstand δ is een combinatie tussen de verplaatsing in x, y , en z -richting, waarbij $\delta = \sqrt{((\Delta x + B)^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)} - B$. Zie [FIGUUR 4.2](#).



Figuur 4.2 / Omegaprofiel met een opgelegde deformatie in x -, y - en z -richting.

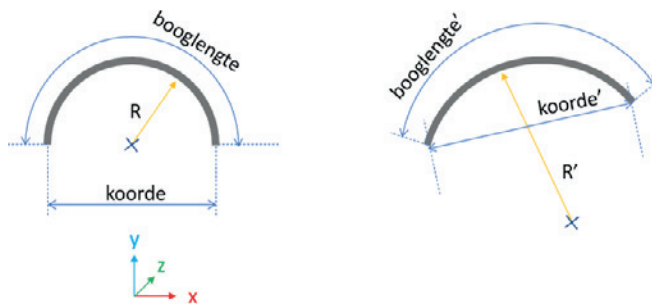
Een rekenvoorbeeld:

Input

- $R = 100$ mm (initiële straal)
- $\Delta x = 0$ mm
- $\Delta y = 50$ mm
- $\Delta z = 0$ mm

Output

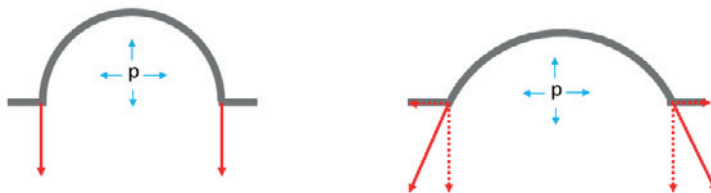
- $\delta = \sqrt{((\Delta x + 2R)^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)} - 2R = 6.2$ mm
- koorde = $2R = 200$ mm
- booglengte = $\pi R = \text{booglengte}' = 314$ mm
- koorde' = $2R + \delta = 206.2$ mm
- Nu is numeriek een R' bepaald waarvoor geldt: $2 \cdot R' \cdot \sin(1/2 \cdot \text{booglengte}' / R') = \text{koorde}'$
- Dat resulteert in $R' = 103$ mm



Figuur 4.3 / Geometrische bepaling van R'.

De capaciteitsreductie is als volgt berekend: $\sigma = p \cdot R / t$; $\sigma' = p \cdot R' / t$; $\sigma / \sigma' = R / R' = 97\%$. Dit betekent dat 97% van de oorspronkelijke capaciteit beschikbaar is.

Door de verschilzettingen neem R' toe. Daardoor nemen de interne spanningen toe en verandert de richting van de spanning naar de klemstrippen, zie FIGUUR 4.4. Deze horizontale kracht is ongunstig voor de capaciteit van de klemstrip.



Figuur 4.4 / Verandering in richting klemkracht door verplaatsing van element ten opzichte van ideale positie.

3.1.1 Plooivorming

De verplaatsingen in langsrichting blijken in de praktijk niet alleen rek te veroorzaken. De interactie tussen het rubber en de inlagen zorgt namelijk voor plooivorming, zie FIGUUR 4.5. Voor het modelleren van de plooivorming is een FEM-analyse gedaan. Dit is beschreven in de volgende paragraaf.

Plooivorming kan worden meegenomen in deze geometrisch methode door het effectieve oppervlak in rekening te brengen. Het effectieve oppervlak is het oppervlakte waarin de trek wordt opgenomen. Dit gebeurt in de toppen van de plooiën; de dalen staan onder geringe spanning. Wanneer bovenop de verplaatsing uit 5.1.1, een effectief oppervlak van bijvoorbeeld 30% wordt meegenomen, leidt dit tot een capaciteitsvermindering van maximaal 30% van de oorspronkelijke capaciteit.



Figuur 4.5 / Plooivorming in de Botlektunnel (links) en Heinenoordtunnel (rechts).

3.2 Opzet 3D-FEM-model

3.2.1 Introductie

De software die gebruikt is voor de analyse van de ploovorming is RFEM. Het omegaprofiel is gemodelleerd als een halve omtrek van een diameter B, zoals in [FIGUUR 4.1](#), met B = 200 mm.

Materiaaleigenschappen

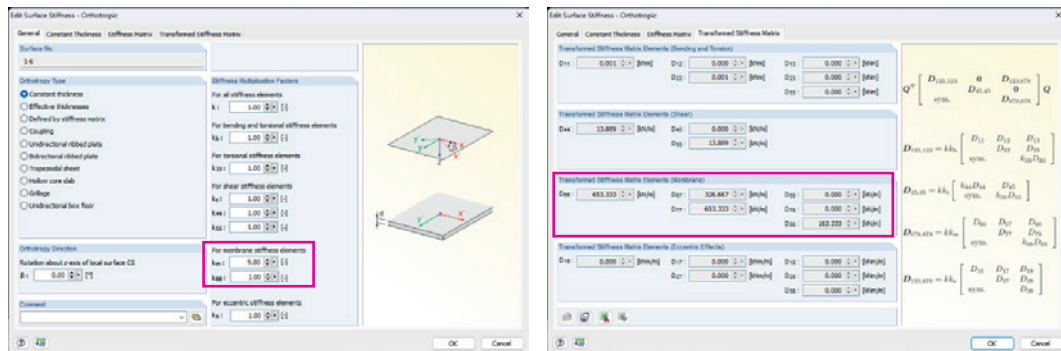
De volgende (lineaire) materiaaleigenschappen zijn toegepast voor het modelleren van het rubber inclusief de inlagen:

- Elasticiteitsmodulus rubber: E = 5 N/mm²; ν = 0,5
- Dikte rubber: t = 10 mm

Met RFEM is vervolgens de stijfheidsmatrix voor plaalementen bepaald. Vervolgens is handmatig een correctie uitgevoerd om de membraanstijfheid van de inlagen toe te voegen. In het algemeen geldt voor de stijfheidsmatrix van een plaat (met buiging en membraanwerking):

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & D_{18} \\ & D_{22} & D_{23} & 0 & 0 & D_{26} & D_{27} & D_{28} \\ & & D_{33} & 0 & 0 & D_{36} & D_{37} & D_{38} \\ & & & D_{44} & D_{45} & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & \text{sym} & D_{66} & D_{67} & D_{68} \\ & & & & & & & & & D_{77} & D_{78} \\ & & & & & & & & & & D_{88} \\ & & & & & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

Het rood omkaderde deel betreft het membraandeel van de plaat. Deze kan met een factor worden vermenigvuldigd. In [BIJLAGE A](#) is deze bepaald op basis van een gemeten stijfheid van het nylon, en bepaalt op 9,80. In de onderstaande tabel zijn de ingevoerde en resulterende waarden weergegeven.



Figuur 4.6 / Ingevoerde en resulterende waarden: links de aangepaste factoren, rechts de resulterende stijfheidsmatrix.

Om de invloed van deze factor te onderzoeken is k_m (de factor m.b.t. membraanstijfheid) gevarieerd. Het vervormingsbeeld blijft hetzelfde; de krachten nemen uiteraard toe bij een hogere factor. De factor k_{88} heeft betrekking op $n_{xy} = k_m k_{88} D_{88}$ (k_m is de membraanfactor van 9,80). Het betreft de schuifkracht in het vlak van de plaat; $k_{88} = 1,00$ aangehouden.

In [BIJLAGE A](#) is de stijfheid van het omegaprofiel cijfermatig uitgewerkt. Deze gehanteerde parameters dienen met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd, omdat er geen trekproeven op een omegaprofiel beschikbaar zijn.

3.2.2 Model, mesh, opleggingen en analysemethode

Het (prismatische) model is 3,0 m lang, de buitenste 1,0 m zijn weggelaten uit de resultaten om randeffecten uit te sluiten. Voor de mesh is gebruikgemaakt van driehoekige orthotrope schaal-elementen met een grootte van 10 mm. Het verschil met een mesh-grootte van 20 mm is gering.

Langs de lange (rechte) randen zijn oplettingen aangebracht die een inklemming door de klemstrip schematiseren. Gezien de dikte van het rubber lijkt dit reëel en bovendien is een stijvere opletting conservatief voor opgelegde vervormingen. In werkelijkheid zal bij te hoge belasting de wrijving (t.g.v. de klemkracht) worden overschreden. De gebogen randen van het omegaprofiel zijn met symmetrievorwaarden opgelegd.

De gebruikte analysemethode betreft de (niet-lineaire) post-critical analysis. Volgens de handleiding:

Er wordt een stabiliteitsanalyse met betrekking tot postkritisch falen uitgevoerd. De methode vertegenwoordigt een gemodificeerde berekening volgens de grote vervormingsanalyse van Newton-Raphson waar de invloed van axiale krachten worden overwogen voor veranderingen in afschuif- en buigstijfheid. De tangentiële stijfheidsmatrix is opgeslagen in elke iteratiestap. Als er singulariteiten zijn (d.w.z. een instabiliteit), wordt de stijfheidsmatrix van de vorige iteratiestap gebruikt voor nieuwe, geometrische, incrementele iteraties tot de tangentiële stijfheid matrix van de huidige instelling regelmatig wordt (stabiel).

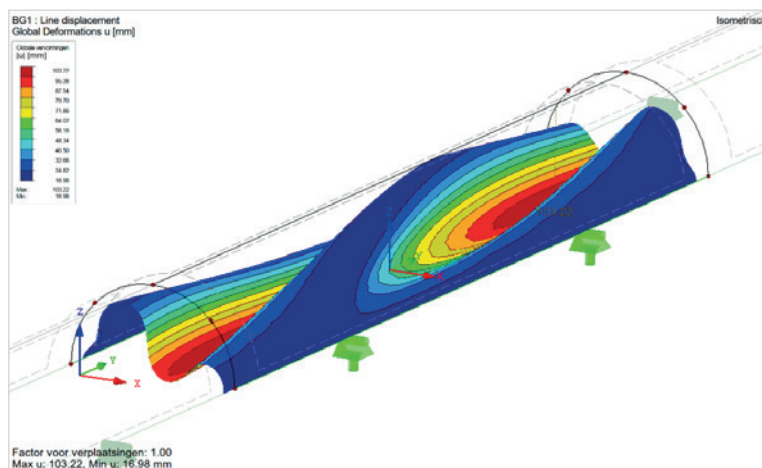
Dit is ook de enige methode waarbij geloofwaardige resultaten worden bereikt. Overige methodes leiden tot numerieke instabiliteit.

3.2.3 Aannames en vereenvoudigingen

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met de relaxatie van het rubber, alleen de lineaire materiaaleigenschappen van de inlagen in combinatie met rubber zijn meegenomen. Hierdoor worden hoge piekwaarden in de krachten op het omegaprofiel gevonden (er vindt geen herverdeling plaats). Het is (in RFEM) niet mogelijk om orthotrope platen te combineren met niet-lineair materiaalgedrag. Ook is slip ter plaatse van de klemstrip niet beschouwd. De verwachting is dat beide effecten er voor zorgen dat de hoge piekwaarden die worden berekend, in werkelijkheid niet zullen optreden.

3.2.4 Modelvalidatie

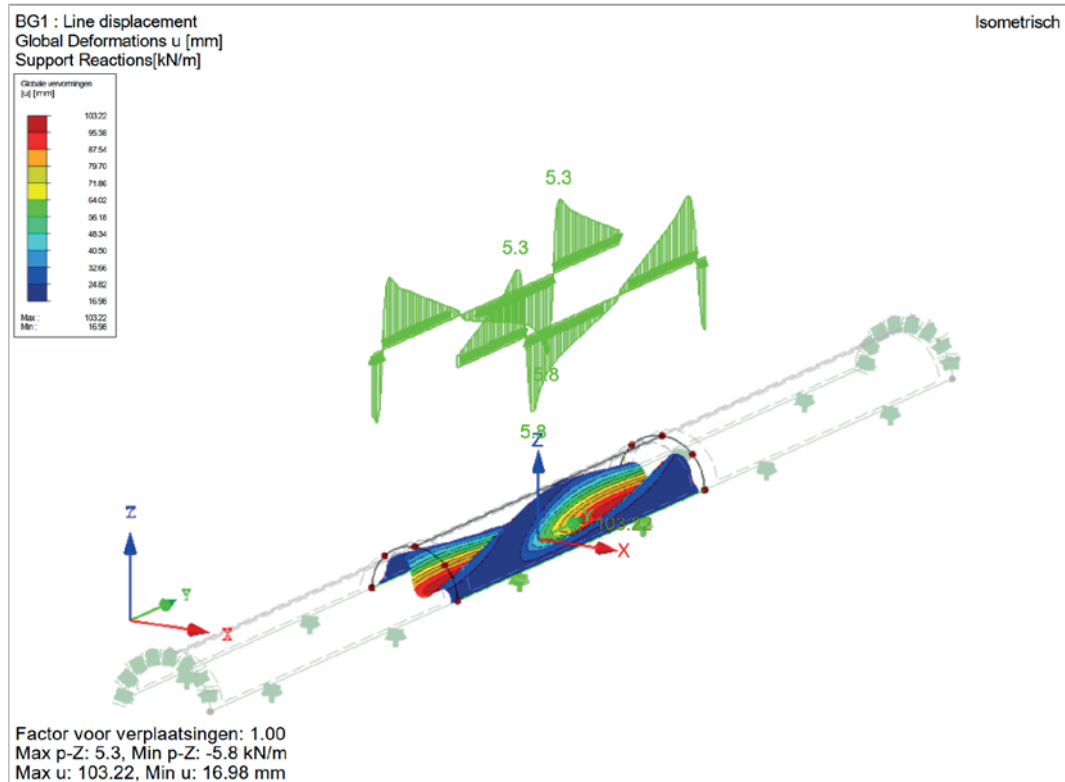
Door de opgelegde vervorming van 50 mm (zie LC1 in [PARAGRAAF 3.2.5](#)) ontstaan plooien in het omegaprofiel ([FIGUUR 4.7](#)). De plooien corresponderen met beschikbare foto's van profielen waarop geen waterdruk is geconstateerd, al lijkt de richting wat flauwer (de plooien zijn langgerechter, de hoek met de lengterichting is kleiner) te zijn dan op sommige foto's. De plooivorming vindt naar binnen plaats en heeft dezelfde orde grootte als de straal (100 mm).



Figuur 4.7/ Vervormingen omega bij een opgelegde verplaatsing van 50 mm.

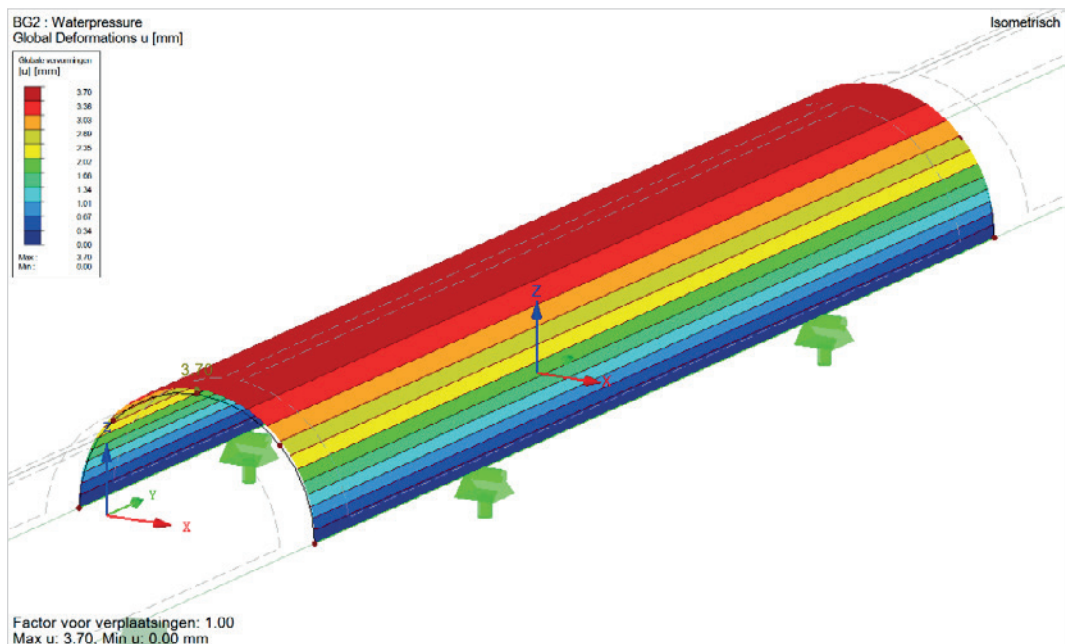
[FIGUUR 4.8](#) geeft de verticale reactiekracht in het middenstuk weer t.g.v. een opgelegde verplaatsing. Door de plooien is de variatie in verticale reactie beperkt tot circa 5,8 kN/m.

Noot: T.g.v. de opgelegde verplaatsing is er geen evenwicht van de oplegreacties, wat wel zo hoort te zijn. De som van de steunpuntreacties bedraagt circa 4,4 kN, waarbij met name in de niet-beschouwde uiteinden pieken zijn waar te nemen. T.g.v. de waterdruk is de som van de reactie 90 kN. De onnauwkeurig lijkt daarmee gering.



Figuur 4.8 / Verticale oplegreactie van het middenstuk.

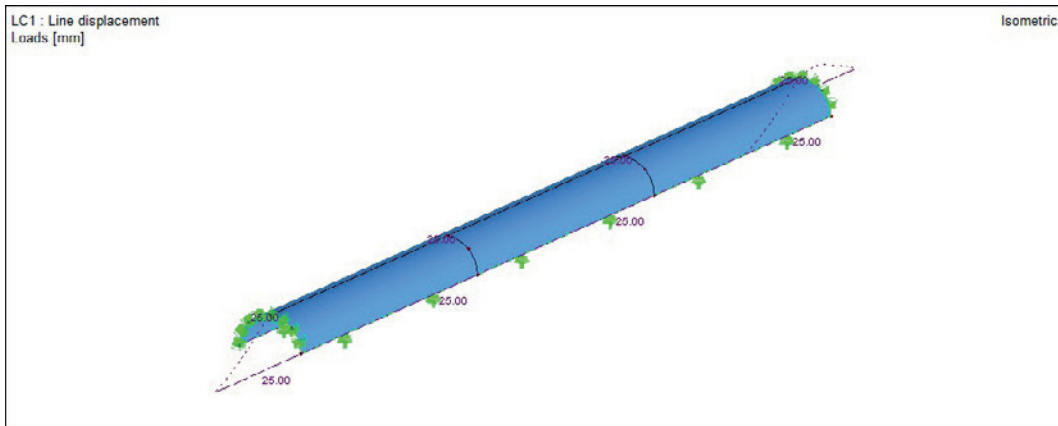
Belasting van het profiel met alleen waterdruk(FIGUUR 4.9) geeft een verplaatsing van circa 3,7 mm. Deze situatie is wel in evenwicht; de normaalkracht en oplegreactie is 15 kN/m en komt daarmee overeen met de geometrische benadering.



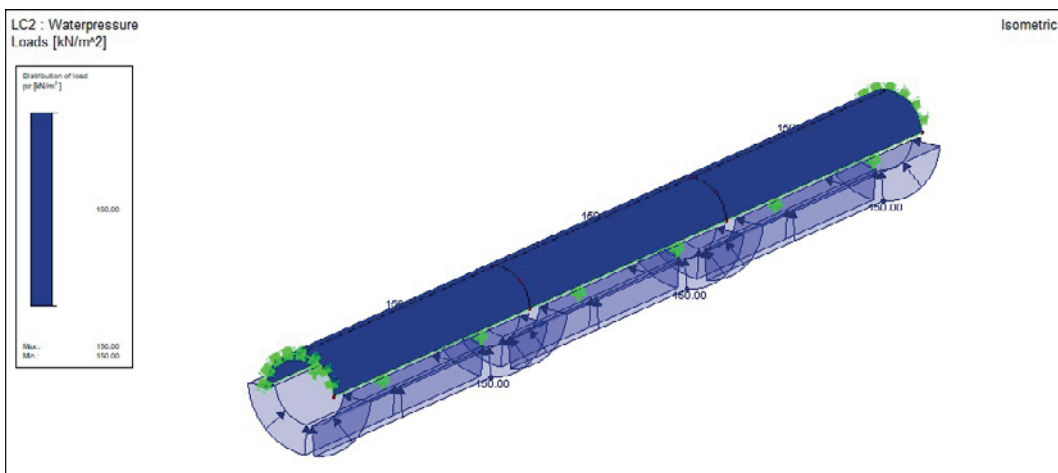
Figuur 4.9 / Vervorming omegaprofiel t.g.v. de waterdruk.

3.2.5 Belastinggevallen

Er zijn twee belastinggevallen gedefinieerd. Deze zijn vanwege de uniformiteit met de figuren uit het gebruikte programma Load Case (LC) genoemd:



Figuur 4.10 / LC1: belastinggeval één opgelegde vervorming, in totaal is 50 mm scheefstand gemodelleerd (+/- 25 mm in y-richting).



Figuur 4.11 / LC2: belastinggeval waterdruk 150 kN/m², radiale waterdruk die overeenkomt met 15 m waterkolom.

Er is gekozen voor een (arbitraire) waarde van de waterdruk die in de orde ligt van de waterdruk aan de onderzijde van Nederlandse afzinktunnels.

Deze belastinggeval zijn opgenomen in de volgende belasting combinaties (BC) waarbij de opgelegde vervorming steeds met 10 mm is verhoogd, BC1-BC10 is met waterdruk, BC21-BC30 is zonder waterdruk:

| | | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------------|
| BC1: | 0.2 LC1 + LC2, 10 mm | BC21: | 0.2 LC1, 10 mm |
| BC2: | 0.4 LC1 + LC2, 20 mm | BC22: | 0.4 LC1, 20 mm |
| BC3: | 0.6 LC1 + LC2, 30 mm | BC23: | 0.6 LC1, 30 mm |
| BC4: | 0.8 LC1 + LC2, 40 mm | BC24: | 0.8 LC1, 40 mm |
| BC5: | 1.0 LC1 + LC2, 50 mm | BC25: | 1.0 LC1, 50 mm |
| BC6: | 1.2 LC1 + LC2, 60 mm | BC26: | 1.2 LC1, 60 mm |
| BC7: | 1.4 LC1 + LC2, 70 mm | BC27: | 1.4 LC1, 70 mm |
| BC8: | 1.6 LC1 + LC2, 80 mm | BC28: | 1.6 LC1, 80 mm |
| BC9: | 1.8 LC1 + LC2, 90 mm | BC29: | 1.8 LC1, 90 mm |
| BC10: | 2.0 LC1 + LC2, 100 mm | BC30: | 2.0 LC1, 100 mm |

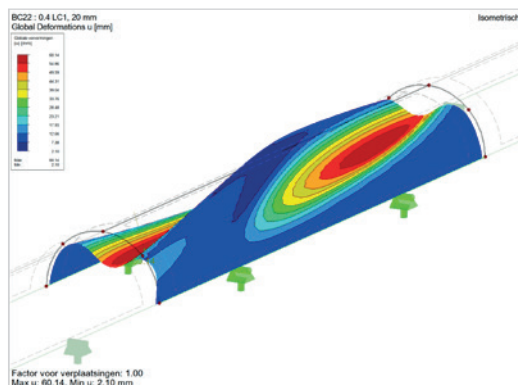
4 Berekeningen en resultaten

In dit hoofdstuk wordt een vergelijking gemaakt tussen de geometrische methode (ketelformule), RFEM-resultaten en de praktijk. Referentie naar de RFEM-resultaten is te vinden in [BIJLAGE B](#).

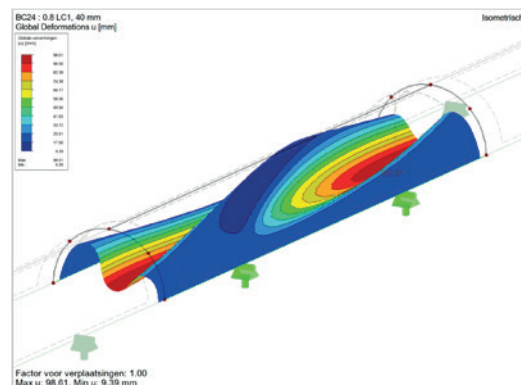
4.1 Zonder waterdruk

4.1.1 Vervormingen

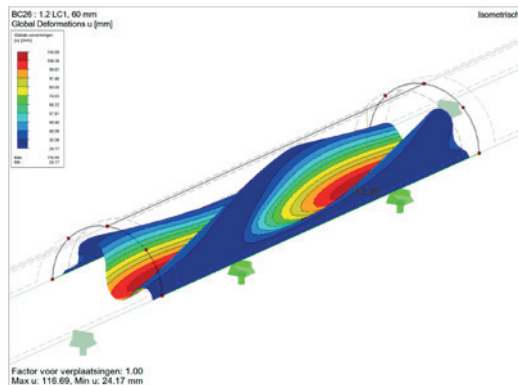
RFEM laat de volgende resultaten zien voor het middenstuk van 1,0 m lengte. In de onderstaande afbeeldingen zijn de vectoriële (=) vervormingen van combinatie BC22, BC24, BC26, BC28 en BC30 weergegeven, de combinaties zonder waterdruk. De factor voor verplaatsing is gelijk aan 1,0 gehouden, deze zijn dus niet verschaald.



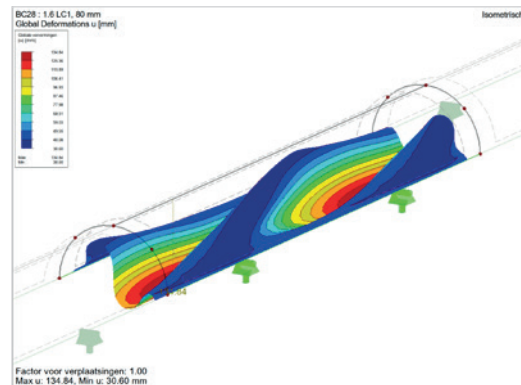
Figuur 5.1 / Vervorming bij 20 mm verplaatsing.



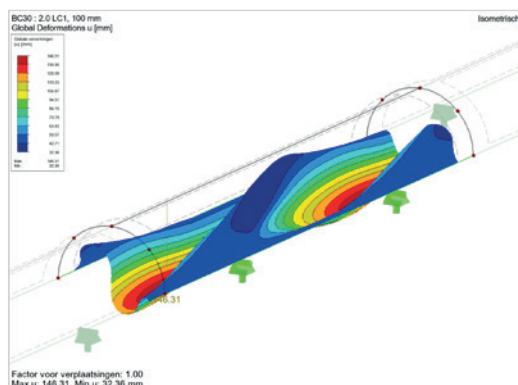
Figuur 5.2 / Vervorming bij 40 mm verplaatsing.



Figuur 5.3 / Vervorming bij 60 mm verplaatsing.



Figuur 5.4 / Vervorming bij 80 mm verplaatsing.

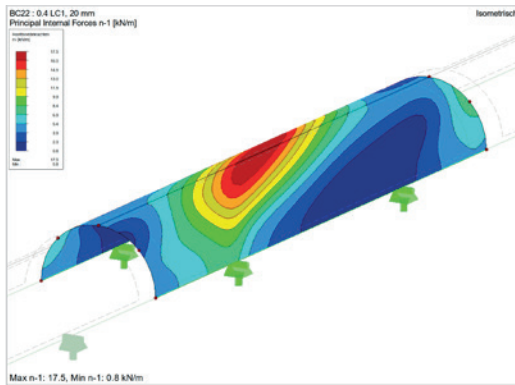


Figuur 5.5 / Vervorming bij 100 mm verplaatsing.

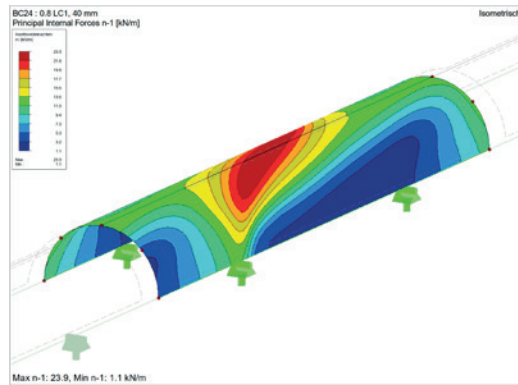
Het beeld is dat de opgelegde vervorming al bij een kleine verplaatsing tot plooiën leidt. Ten opzichte van de lengterichting is hoek van de plooi circa 45-50°. Naarmate de opgelegde vervorming groter wordt, worden de plooiën dieper. De oriëntatie van de plooiën blijft vrijwel gelijk.

4.1.2 Krachten

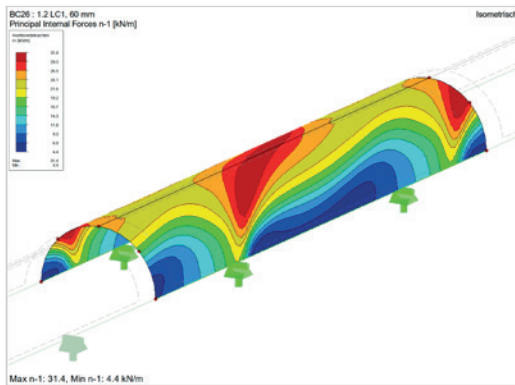
In de onderstaande afbeelding is de hoofdnormaaltrekkracht n_1 bepaald. Dit is de grootste trekkracht in de richting waarbij de schuifkracht gelijk is aan nul, analoog aan de cirkel van Mohr.



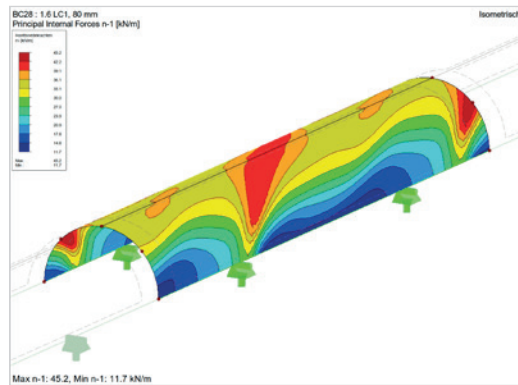
Figuur 5.6 / Normaaltrekkracht bij 20 mm verplaatsing.



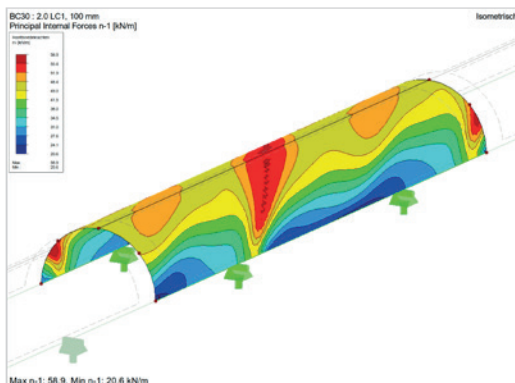
Figuur 5.7 / Normaaltrekkracht bij 40 mm verplaatsing.



Figuur 5.8 / Normaaltrekkracht bij 60 mm verplaatsing.

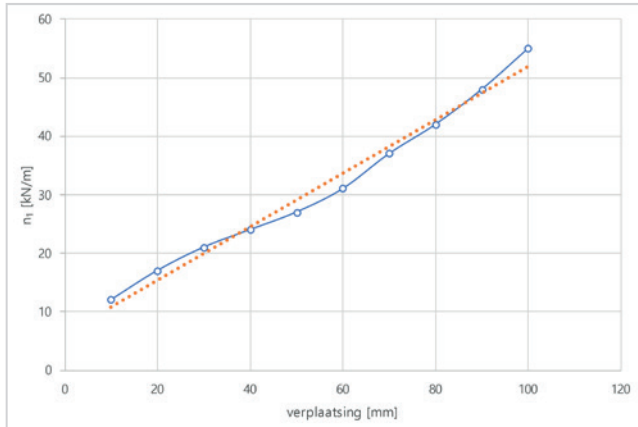


Figuur 5.9 / Normaaltrekkracht bij 80 mm verplaatsing.



Figuur 5.10 / Normaaltrekkracht bij 100 mm verplaatsing.

De verschillende figuren geven de kracht als functie van de verplaatsing. De maximale kracht varieert van ca. 17 kN/m bij 20 mm verplaatsing tot ca. 55 kN/m bij 100 mm verplaatsing. In **FIGUUR 5.11** zijn de waarden uitgezet in een grafiek.



Figuur 5.11 / Hoofdnormaaltrekkracht n_1 als functie van de verplaatsing.

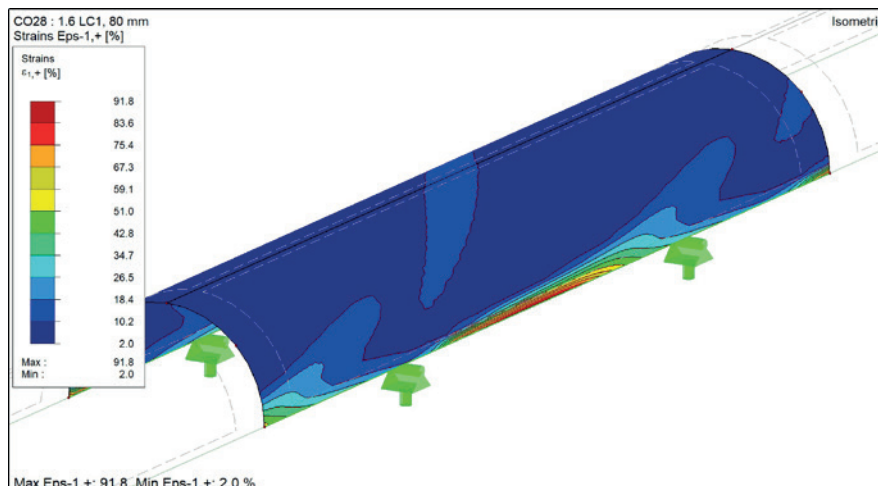
Hieruit blijkt een lineair verband dat opmerkelijk genoeg niet door $n_1(0) = 0$ gaat. Dit kan verklaard worden doordat de grootste kracht in de plooiën geconcentreerd is.

Het voorbeeld toont aan dat door plooiïvorming de kracht op het omegaprofiel significant hoger wordt. De mate waarin is afhankelijk van de werkelijke waterdruk en de opgetreden verplaatsing. Een verplaatsing van 20 mm levert een kracht op vergelijkbaar met 15 m waterdruk. Bij toenemende verplaatsing neemt de kracht verder toe. In het gepresenteerde voorbeeld gaat het bij 100 mm verplaatsing om een factor 4.

Wanneer we de waarden vergelijken met de kracht die opgenomen kan worden door het omegaprofiel is er een ruime marge. Op de nylon inlagen is door Trelleborg een trekproef gedaan. Daaruit volgt een breuksterkte van minimaal 105 kN/m. Omdat in het rubber twee lagen kruislings aanwezig zijn is de verwachting dat een kracht ca. 200 kN/m opgenomen kan worden door het omegaprofiel. Ondanks plooiïvorming zullen in een situatie zonder waterdruk de ontwerpwaarden van het omegaprofiel niet worden overschreden.

4.1.3 Rekken

In **FIGUUR 5.12** zijn de optredende rekken in de hoofdtrekrichting weergegeven bij een verplaatsing van 80 mm. Deze rekken zijn het gevolg van normaalkracht en het moment in het omegaprofiel. Nabij de inklemming treedt de hoogste rek op, met name het gevolg van buiging en de modellering van de ingeklemde lijnoplegging. In de rest van het omegaprofiel is de rek beperkt tot circa 18% en met name het gevolg van normaaltrekkracht.



Figuur 5.12 / Maximale rek in hoofdrichting bij een verplaatsing van 80 mm.

Van nylon bedraagt de breukrek 38%, van rubber ongeveer 400%. Globaal gezien blijft de maximale rek onder de breukrek van nylon. Daarmee is bevestigd dat op dit moment het omegaprofiel niet is bezwiken.

Overigens is het de vraag of in een situatie zonder waterdruk, het bezwijken van de nylon inlagen kan worden geconstateerd op basis van een visuele inspectie.

4.1.4 Resultaten

In een aantal praktijksituaties is plooivorming van het omegaprofiel waargenomen. In die situaties is geen waterdruk achter het omegaprofiel aanwezig. Wanneer deze situatie wordt gemodelleerd in een FEM-model ontstaat een vergelijkbaar beeld. Wel is de richting van de plooiën in het model wat flauwer dan in praktijk waargenomen.

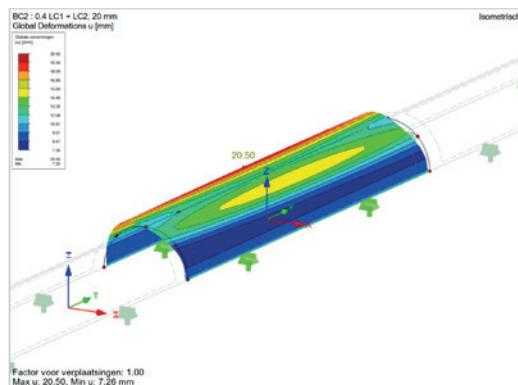
Wanneer de krachten in beschouwing worden genomen, blijkt dat in het model door plooivorming de krachten op het omegaprofiel toenemen. Een verschuiving van 20 mm komt overeen met de optredende krachten bij 15 m waterdruk. Wanneer de verschuiving toeneemt lopen de krachten verder op. In het gepresenteerde voorbeeld gaat het bij 100 mm verplaatsing om een factor 4.

Op basis van het model wordt geconcludeerd dat plooivorming leidt tot aanzienlijke toename van de belastingen op het omegaprofiel. De mate waarin is afhankelijk van de grote van de verschilverplaatsing tussen twee tunnelelementen of een tunnelelement en het landhoofd.

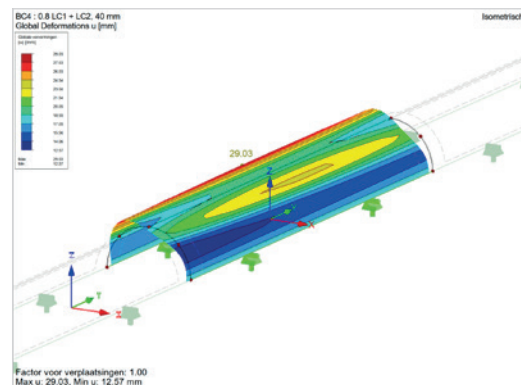
4.2 Met waterdruk

4.2.1 Vervormingen

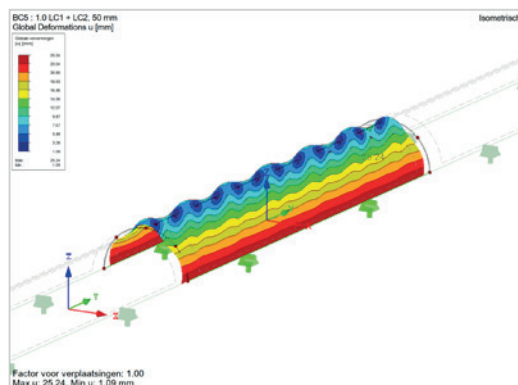
In de onderstaande afbeeldingen zijn de vectoriële (=) vervormingen van combinatie BC2, BC4, BC5, BC6, BC8 en BC10 (met waterdruk) weergegeven.



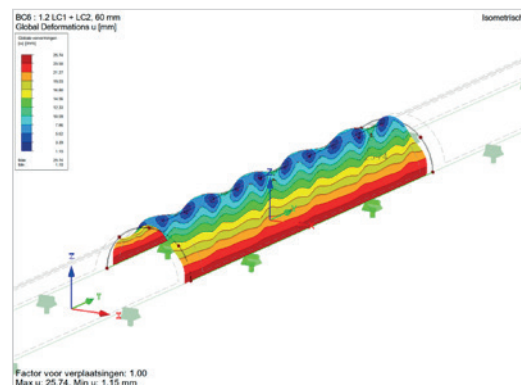
Figuur 5.13 / Vervormingen bij 20 mm verplaatsing en 15 m waterdruk.



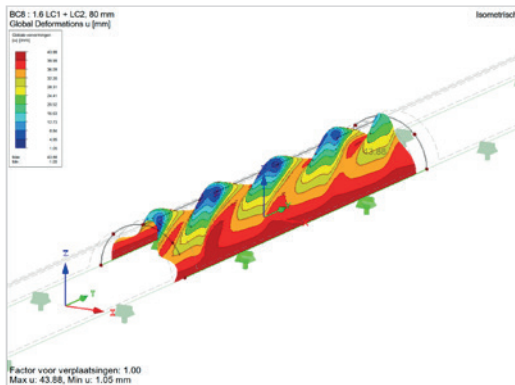
Figuur 5.14 / Vervormingen bij 40 mm verplaatsing en 15 m waterdruk.



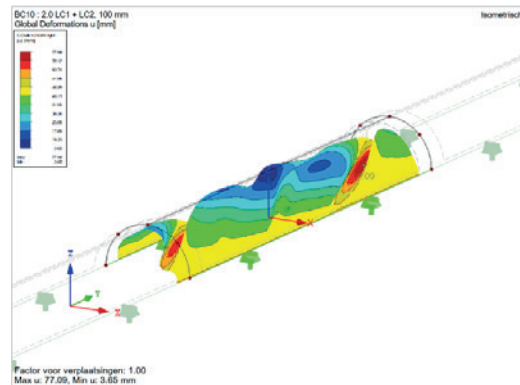
Figuur 5.15 / Vervormingen bij 50 mm verplaatsing en 15 m waterdruk.



Figuur 5.16 / Vervormingen bij 60 mm verplaatsing en 15 m waterdruk.



Figuur 5.17 / Vervormingen bij 80 mm verplaatsing en 15 m waterdruk.



Figuur 5.18 / Vervormingen bij 100 mm verplaatsing en 15 m waterdruk.

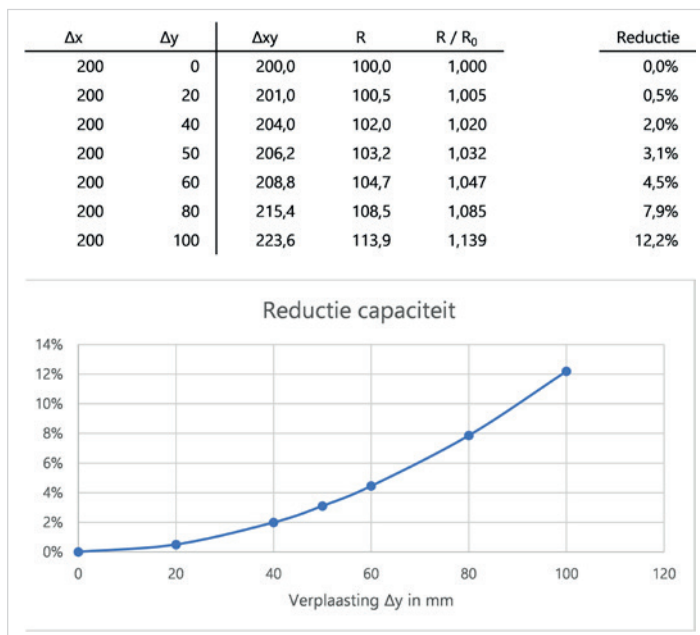
In [FIGUUR 5.15](#) blijkt dat in een situatie met waterdruk op een later moment ploovorming optreedt dan in een situatie zonder waterdruk. Pas bij een verplaatsing van 50 mm treden de eerste plooiën op. Eerst ontstaan kleine plooiën (bij 50 en 60 mm verplaatsing). Naarmate de verplaatsing toeneemt, neemt het aantal plooiën af en worden ze groter. Ook hier bedraagt de hoek t.o.v. de lengterichting circa 45-50°.

Een enkele plooi wordt naar buiten gedrukt, andere plooiën blijven tegen de waterdruk in georiënteerd. Een enkele plooi wordt naar buiten tegen de waterdruk in georiënteerd. Zie [FIGUUR 5.17](#) en [FIGUUR 5.18](#).

4.2.2 Krachten

Geometrische methode

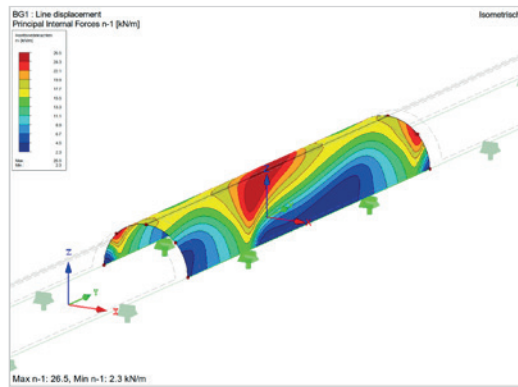
In [PARAGRAAF 3.1](#) is op basis van een verschuiving (Δy) van 50 mm en een omegaprofiel met een straal van 100 mm ($\Delta x = 200$ mm) geometrisch aangetoond dat de maximaal opneembare belasting met 3% reduceert. In onderstaande tabel en grafiek is voor meerdere waarden van Δy de toename van de kracht (R / R_0) in het omegaprofiel en de reductie van de capaciteit uitgerekend. De reductie van de capaciteit loopt progressief op met de opgetreden verplaatsing. Hierbij is geen rekening gehouden met ploovorming.



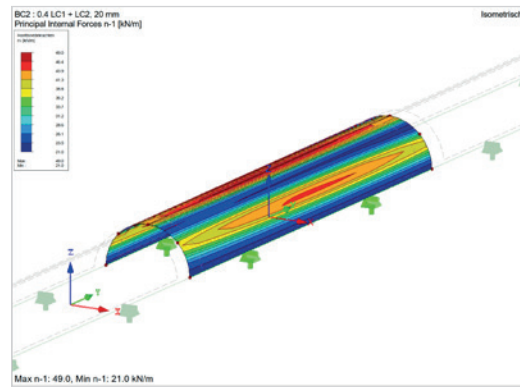
Figuur 5.19 / Toename van de kracht in het omegaprofiel en de reductie van de capaciteit.

FEM

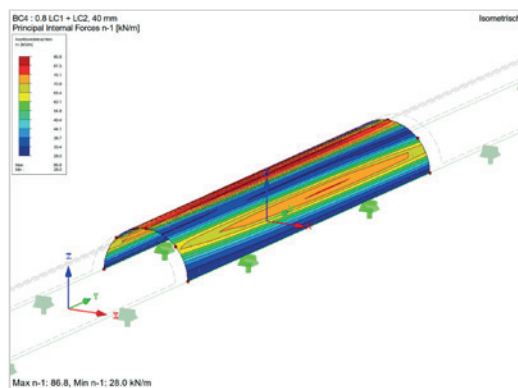
Om de effecten van plooivorming te onderzoeken is ook voor de situatie met waterdruk achter het omegaprofiel een FEM berekening gemaakt. In de onderstaande grafieken is n_1 weergegeven. Het betreft de grootste normaalkracht in het omegaprofiel. Voor LC2 is n_1 t.g.v. waterdruk logischerwijs gelijk aan 15 kN/m.



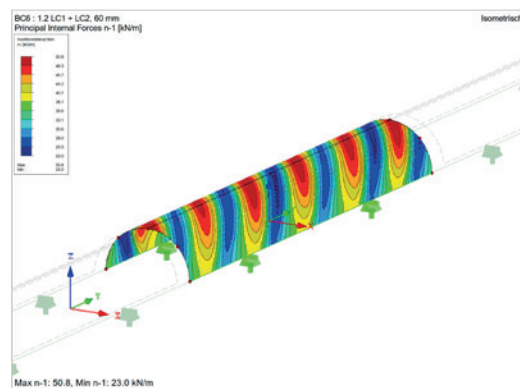
Figuur 5.20 / Normaalkracht n_1 met 50 mm.



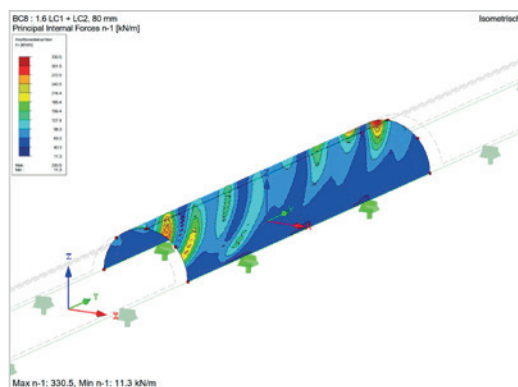
Figuur 5.21 / Normaalkracht n_1 met 20 mm en 150 kN/m².



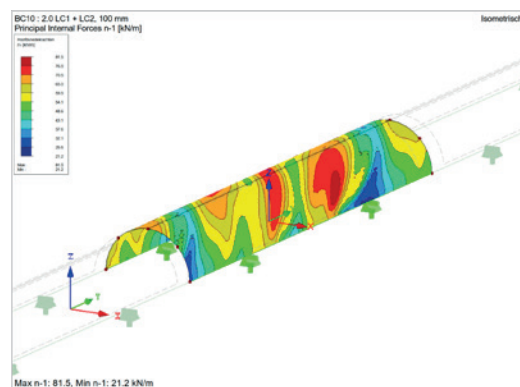
Figuur 5.22 / Normaalkracht n_1 met 40 mm en 150 kN/m².



Figuur 5.23 / Normaalkracht n_1 met 60 mm en 150 kN/m².

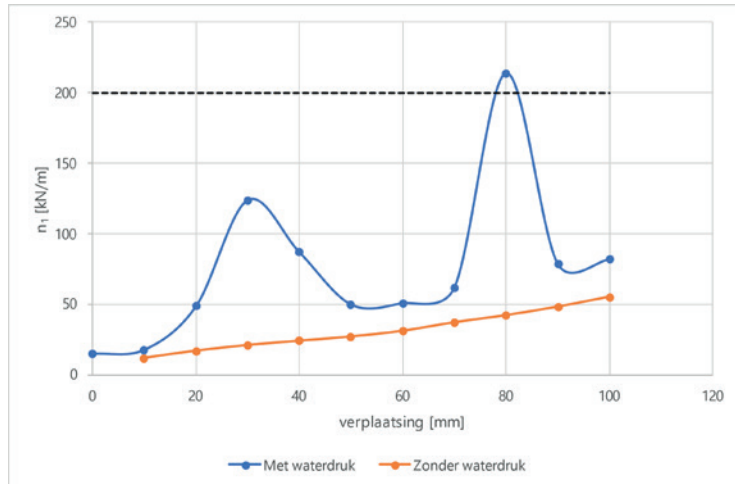


Figuur 5.24 / Normaalkracht n_1 met 80 mm en 150 kN/m².



Figuur 5.25 / Normaalkracht n_1 met 100 mm en 150 kN/m².

Wanneer er waterdruk aanwezig is achter het profiel blijkt de kracht n_1 nogal te variëren tussen de verschillende belastingcombinaties. Daarom is in de onderstaande grafiek (FIGUUR 5.26) deze uitgezet t.o.v. de opgelegde verplaatsing.



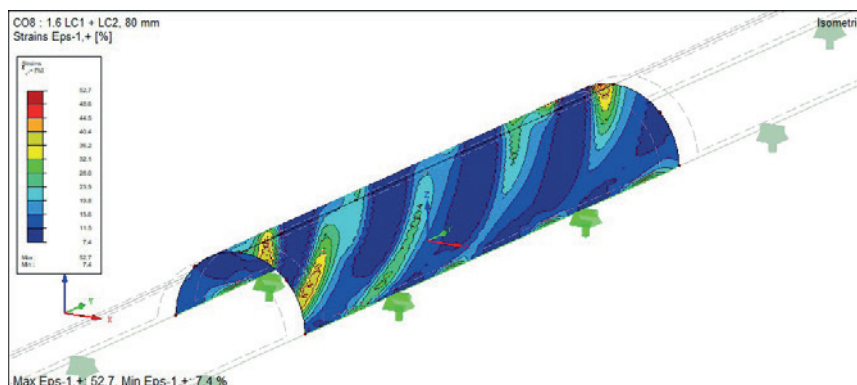
Figuur 5.26 / Trekkraft in het omegaprofiel als functie van de opgelegde vervorming.

De kracht op het omegaprofiel is in de situatie met waterdruk zoals verwacht hoger dan zonder waterdruk. Wat opvalt zijn de pieken die optreden bij toenemende verplaatsing. Bij een verplaatsing van 30 en 40 mm is duidelijk een hogere trekkraft berekend, om vervolgens weer te dalen. Dit verschijnsel wordt hoogst waarschijnlijk veroorzaakt door een overgang in de plooi vorm, net als de hoge waarde bij 80 mm verplaatsing. Zoals aangegeven in PARAGRAAF 3.2.3 is de verwachting dat in werkelijkheid deze pieken vanwege het niet-lineaire en tijdsafhankelijk materiaalgedrag en slip ter plaatse van de klemstrip niet zo groot zullen zijn als in bovenstaande grafiek. Zoals in PARAGRAAF 4.1.2 is aangegeven is de verwachting dat de breuksterkte van de inlagen circa 200 kN/m bedraagt. Deze waarde is ook weergegeven in FIGUUR 5.26. Buiten de pieken blijven de krachten onder de opneembare waarden. De laagste krachten worden gevonden in een plooidal.

Op basis van bovenstaande resultaten kan niet een eenduidige conclusie worden getrokken over de reststerkte van het omegaprofiel, daarvoor zijn de krachten te wisselend. Tot aan plooi vorming wordt een toename in de krachten waargenomen, na plooi vorming zijn deze in het algemeen lager, maar kunnen ook toenemen bij overgang naar een andere plooi vorm. Dit hangt volledig af of er water tegen het profiel staat of niet.

4.2.3 Rekken

In hoeverre er nog sprake is van lineair materiaalgedrag in de situatie met water achter het profiel is de vraag. Zo blijkt uit onderstaande FIGUUR 5.27 een maximale rek van 53% op te treden, voor nylon geldt een rek bij breuk van 38%. Voor het rubber geldt een rek bij breuk van minimaal 400%.

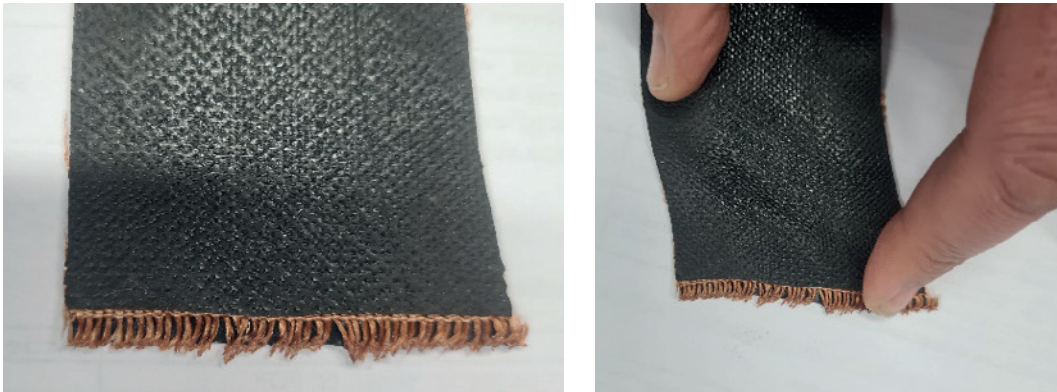


Figuur 5.27 / Maximale rek in hoofdrichting bij een verplaatsing van 80 mm en waterdruk.

In vergelijking met [FIGUUR 5.14](#) voor de situatie zonder waterdruk, is er een toename waarneembaar van 18 tot circa 40%.

Het is de vraag of het lokaal bezwijken van de inlagen direct een probleem vormt, de vezels haaks op de bezweken vezels zullen de belastingen immers verdelen over vezels waar nog capaciteit aanwezig is, de plooidalen.

Bovendien moet worden opgemerkt dat het elastische gedrag van de inlagen diagonaal op de vezelrichting waarschijnlijk sterk zal afwijken van die in de vezelrichting. De plooien ontstaan veelal diagonaal op de vezelrichting. De foto's in [FIGUUR 5.28](#) illustreren dat vervorming van weefsel diagonaal op de vezelrichting eenvoudig te realiseren is.



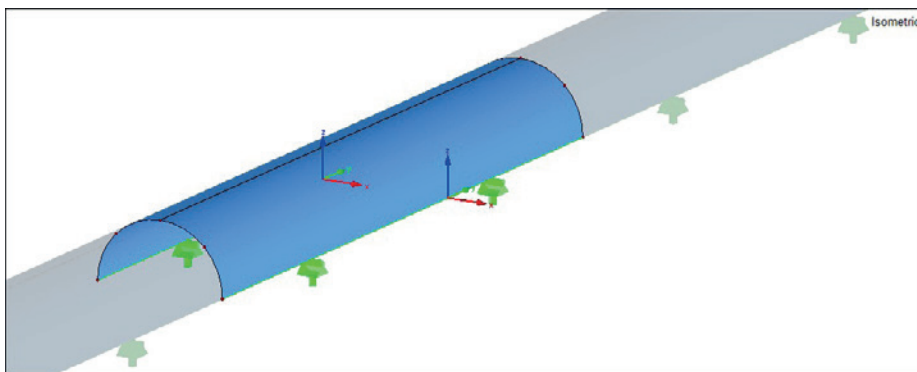
Figuur 5.28 / Vervormingen weefsel diagonaal op de vezelrichting.

4.2.4 Reactiekrachten

De reactiekrachten zijn relevant voor de klemstrip en klemkracht. Als er sprake is van te weinig klemkracht zal het omegaprofiel gaan verschuiven omdat de wrijving door de klemkracht is overschreden. In de onderstaande grafieken is de reactiekracht weergegeven in x-, y- en z-richting voor de belastinggevallen en -combinaties.

Ook hier is te zien dat na plooivorming, de verticale reactie ongelijkmatig verloopt. Hieronder is het verloop van p_x , p_y en p_z weergegeven voor de as $x = 0,1$ m. Bij p_x en p_z is BG1 (alleen opgelegde verplaatsing van 50 mm) weggelaten omdat de waarden van dit belastinggeval veel hoger zijn dan van de overige gevallen en combinaties.

Onderstaande [FIGUUR 5.29](#) geeft het assenstelsel van de oplegging weer. Het detail geeft ook weer dat t.o.v. de waterdruk (15 kN/m) een behoorlijke variatie aanwezig is nadat de eerste plooien zijn ontstaan (BC6 – BC10 vanaf 60 mm vervorming).



Figuur 5.29 / Assenstelsel van de oplegging.



Figuur 5.30 / Reactiekracht p_x (radiaal), p_y (longitudinaal) en p_z (tangentiël) voor de klemstrip bij $x = 0,1$ m.

De klemkracht wordt doorgaans alleen gedimensioneerd op p_z , de tangentiële kracht. Hier valt op dat voor BG1 (alleen de verplaatsing) de golven langer (circa 0,7 m) zijn dan voor de combinaties met waterdruk (circa 0,15 m). Dit komt overeen met de berekende deformaties. Tot een verplaatsing van 60 mm is de variatie op de klemkracht beperkt tot 5 kN/m.

In de modellering van de oplegging is slip door het overschrijden van de klemkracht niet meegenomen, in werkelijkheid zal de oplegreactie daardoor gelijkmatiger worden verdeeld.

4.2.5 Resultaten

Het FEM-model is ook gebruikt om de situatie te modelleren waarbij een verschuiving tussen twee tunnelementen of een tunnelement en landhoofd optreedt, terwijl er waterdruk staat op het omegaprofiel.

De capaciteit van het omegaprofiel neemt in de FEM-analyse sterker af dan wat de theoretische, numerieke waarde doet vermoeden, met name na vorming van de eerste plooien. Met de gehanteerde lineaire materiaaleigenschappen wordt de eerste ploovorming waargenomen bij 50 mm verplaatsing. Dit is later dan in een droge situatie. De theoretische kracht van 15 kN/m bij alleen waterdruk wordt dan groter en kan flink fluctueren als gevolg van ploovorming. Ook de belasting op de klemstrippen laat een flinke fluctuatie zien na het ontstaan van de eerste plooien. Het toepassen van niet-lineaire en tijdsafhankelijke materiaaleigenschappen in combinatie met niet-lineaire opleggingen zal naar verwachting leiden tot kleinere fluctuaties in krachten en oplegreacties. Echter de conclusie blijft dat bij verschilverplaatsingen in de orde van enkele centimeters krachten op het omegaprofiel optreden die significant hoger zijn dan zonder ploovorming.

5 Conclusies

5.1 Hoofdvraag

Dit rapport behandelt de vraag of plooiën een additioneel risico vormen voor omegaprofielen.

Er is voldoende informatie beschikbaar om met terugwerkende kracht de theoretische capaciteit van de toegepaste omegaprofielen te bepalen. Door per zinkvoeg voegdeformatiemetingen uit te voeren, is te bepalen welke restzettingen er zijn opgetreden. Door te bepalen welk omegaprofiel is gebruikt, kan een berekening worden gemaakt van de theoretisch beschikbare capaciteit om de waterdruk te kunnen opnemen. Overige zaken, zoals zichtbare plooiën, corrosie en schades, beïnvloeden de beschikbare capaciteit en moeten aanleiding zijn tot nader onderzoek. De uitkomsten van dit onderzoek zijn de basis voor onderhoudsplannen, renovatie of reparatie van de voeg.

Zichtbare plooiën geven een goede indicatie van de vervorming die dwars op de omega heeft plaatsgevonden tijdens en na het installeren van het omegaprofiel. Het vervormingsgedrag van het profiel in dwarsrichting kan met een eindige-elementenmethode (*finite element method*, FEM) worden berekend. Het model toont aan dat er sprake is van spanningstoename in het profiel en de klemstrips, maar de grootte hiervan is nog niet met voldoende zekerheid te kwantificeren met dit model.

5.2 Conclusie per onderzoeksvraag

Hoe werkt een omegaprofiel?

De waterdichtheid van de omega-afdichting wordt verzorgd door het rubber van het omegaprofiel. De sterkte van het omegaprofiel wordt verzorgd door het nylon weefsel dat zich in het rubber bevindt. De flenzen van het omegaprofiel worden tegen beide tunnelelementen geklemd. De flenzen van het omegaprofiel moeten voldoende worden ingedrukt om te voorkomen dat water deze barrière passeert. Bij onvoldoende klemkracht bestaat de kans dat er een lekweg ontstaat of dat de flens onder de klemstrip wegglijdt.

Er zijn drie mechanische principes die een rol spelen bij de werking van de omega-afdichting.

1. Klemdruk in rubber groter dan waterdruk
2. Voorkomen van uittrekken flens omegaprofiel onder de klemstrip
3. Voorkomen van rek in het omegaprofiel

Wanneer installeer je een omegaprofiel?

Het omegaprofiel wordt aangebracht als het grootste deel van de verwachte verschilzetting heeft plaatsgevonden, maar voordat de vertanding is aangebracht die verdere verschilzettingen voorkomt.

Wat zijn de mogelijke faalmechanismes van het omegaprofiel?

Grofweg zijn er drie faalmechanismes van het omegaprofiel:

1. Water kan het omegaprofiel passeren door gebrek aan klemkracht in de klemconstructie.
2. De flens van het omegaprofiel is losgekomen van de klemconstructie.
3. Water passeert het omegaprofiel als gevolg van structureel falen van het profiel, waarbij scheuren in het rubber ontstaan.

Wat is het effect van de ploovorming op lokale spanningen in het omegaprofiel?

De ploovorming in het omegaprofiel komt door de relatieve verplaatsing tussen de twee tunnel-elementen of een tunnelelement en een landhoofd. De reductie in capaciteit door deze relatieve verplaatsing is met twee methoden onderzocht; de geometrische en met een FEM-analyse.

De geometrische methode leidt tot een minimale beïnvloeding van de capaciteit. Voor een relatieve verplaatsing van 50 mm zouden de spanningen theoretisch met een factor 1,03 toenemen. De zichtbare plooien zijn in deze geometrische capaciteitsbenadering niet meegenomen. De plooien kunnen worden meegenomen als wordt aangenomen dat de ruggen van de plooien een groter aandeel hebben in het opnemen van de waterdruk dan de ploidalen. Dan zou een lokale toename van de spanningen met een factor van circa drie aannemelijk zijn, gebaseerd op de zogeheten oppervlakteverhouding.

Voor de situatie zonder waterdruk komt uit de FEM-analyse dat de reactiekrachten op de flens en klemstrip niet meer, zoals wordt aangenomen bij de geometrische benadering, uniform verdeeld is. Het verband tussen de kracht in het omegaprofiel en de verplaatsing lijkt vrijwel lineair. De reactiekrachten zijn ongelijk en ook aanmerkelijk hoger. Aangezien het FEM-model nog niet is geïjkt, zijn de resultaten nu nog niet goed te kwantificeren. Het laat wel zien dat een extra capaciteitsvermindering optreedt bij dwarsverplaatsing (zichtbare plooiïvorming). Een dwarsverplaatsing vermindert dus de capaciteit ten opzichte van de oorspronkelijke berekende capaciteit.

Voor de situatie met waterdruk laat de FEM-analyse een grotere kracht in het omegaprofiel zien met de daarbij horende grotere krachten op de klemstrip. Bovendien zijn er meerdere, verschillende plooiïpatronen waarneembaar. Het lijkt erop dat bij de overgang tussen verschillende plooiïpatronen een hogere kracht in het omega wordt berekend. Met de gekozen materiaalparameters (orthotrope, lineaire materiaaleigenschappen) kunnen bij in praktijk waargenomen verschilverplaatsingen (circa 50 mm) de spanningen in het model wel tot een factor 8 toenemen.

In werkelijkheid zorgt de weefselvezelrichting voor een ander gedrag in diagonale richting dan in langs- en dwarsrichting. De optredende plooïen manifesteren zich veelal in diagonale richting waardoor de rekcapaciteit in deze richting groter is dan in de dwars- of langsrichting. Daarnaast, vlak bij de inklemming bij de klemstrip worden zeer hoge spanningen gevonden als gevolg van de plooïen. Dit is waarschijnlijk te verklaren door de starre inklemming in het model. In werkelijkheid zal het rubber iets kunnen vervormen, waardoor de spanningen snel kunnen dalen.

5.3 Discussie

Hoewel de huidige FEM-analyses nog met de nodige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd, lijkt er ten opzichte van de theoretische waarde sprake te zijn van een significante verhoging van de spanningen in het omegaprofiel, zowel in de situatie met als zonder belasting door waterdruk. Er kan niet worden uitgesloten dat plooiïvorming een negatief effect heeft op de capaciteit van het omegaprofiel.

Tot nu toe leiden de waargenomen plooïen (waarbij er voor zover bekend geen water achter het omegaprofiel zit) niet tot zichtbare schade aan het omegaprofiel. Echter, nader onderzoek naar de optredende spanningen in de huidige situatie en de situatie waarin het omegaprofiel wordt belast door waterdruk wordt geadviseerd.

Het rapport is gebaseerd op de beschikbare gegevens van omegaprofielen en de aannames die zijn gemaakt op basis van deze gegevens. Het is belangrijk om te begrijpen dat de resultaten en conclusies in het rapport kunnen veranderen als het omegaprofiel dat wordt toegepast afwijkt van de data die in het rapport zijn gebruikt. Het is daarom noodzakelijk om bij elk specifiek omegaprofiel dat wordt gebruikt, na te gaan of de informatie en aannames in dit rapport hierop van toepassing zijn, of dat er andere aannames moeten worden gemaakt. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als de materiaalsterkte van het specifieke profiel anders is dan de sterkte die is gebruikt in het rapport, of als er andere factoren zijn die het gedrag van het profiel beïnvloeden.

6 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Deze verkennende studie toont aan dat door plooivorming de spanningen in het omegaprofiel toenemen. Om beter inzicht te krijgen in daadwerkelijke spanningstoename is aanvullend onderzoek nodig. Hierbij dient enerzijds te worden gekeken naar de gebruikte materiaal-input en de wijze van modelleren van het FEM-model, anderzijds naar effecten die niet goed zijn te modelleren in een FEM-model.

Testopstelling

Meer praktisch onderzoek is nodig om de volledige restcapaciteit van omegaprofielen met voldoende zekerheid te kunnen bepalen. Geadviseerd wordt een testopstelling te maken waarin een plooi in het omegaprofiel getrokken kan worden, het omegaprofiel op druk kan worden gezet en metingen kunnen worden uitgevoerd aan de spanningen in het omegaprofiel en krachten op de klemverbinding.

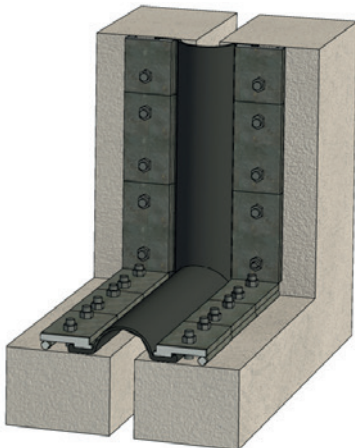
Als onderdeel van dit onderzoek wordt geadviseerd metingen in de praktijk uit te voeren. Om de testopstelling zoveel mogelijk te laten aansluiten op de praktijk wordt aanbevolen in een bestaande voeg, waar plooivorming is waargenomen, de opgetreden verschilverplaatsing te meten aan de hand van de verschillen in verplaatsing van het dak van de beide aangrenzende tunneldelen.

Vervuiling

Verschillende zinkvoegen bleken na inspecties behoorlijk vervuild te zijn. Het is onbekend welke vervuiling er exact in de voegen aanwezig is. Deze vervuiling kan het omegarubber aantasten. Aanbevolen wordt deze vervuiling te onderzoeken op samenstelling en mogelijke invloed op het rubber.

Hoeken

In dit rapport is niet ingegaan op de hoeken van het omegaprofiel, zie [FIGUUR 6.1](#). Ook hiernaar zou in een testopstelling verder onderzoek gedaan kunnen worden. Verwacht wordt dat de spanningen hier nog verder op kunnen lopen door de beperkte vervormingscapaciteit, met name in de x-richting.



Figuur 6.1 / Hoek in omegaprofiel.

Klemsysteem

In dit rapport is de berekening van de benodigde klemkracht en het klemsysteem niet meegenomen. Dat neemt niet weg dat het klemsysteem onlosmakelijk is verbonden met het functioneren van de omega-afdichting. Aanbevolen wordt om in vervolgonderzoek verder in te gaan op het klemsysteem. De inschatting van de commissie is dat dit niet eenvoudig te modelleren is in een FEM-model. Ook hiervoor kan een testopstelling worden gebruikt.

FEM-model

Voor de input van dit FEM-model is gebruikgemaakt van generiek beschikbare materiaaleigenschappen en data. Tijdens de berekeningen bleek dat de uitkomsten erg afhankelijk zijn van de gekozen materiaaleigenschappen. Bij een vervolgonderzoek zal de juistheid, en misschien nog wel belangrijker de bandbreedte van deze input, moeten worden nagegaan.

De testopstelling kan ook worden gebruikt om het FEM-model te verifiëren en verder te verfijnen. Uit deze verificatie zal moeten blijken of het model geschikt is om voor praktijksituaties te bepalen bij welke vervorming de toelaatbare trekspanningen in het omegaprofiel worden overschreden.

Wellicht is het noodzakelijk om niet-lineaire en tijdsafhankelijke materiaaleigenschappen in combinatie met niet-lineaire opleggingen te modelleren, omdat dit waarschijnlijk leidt tot kleinere fluctuaties in krachten en oplegreacties. Dit zou verder onderzocht kunnen worden met behulp van geavanceerder FEM-programmatuur.

Stappenplan voor bepalen restlevensduur

BIJLAGE D geeft een eerste aanzet voor een stappenplan voor het bepalen van de restlevensduur van een voeg in een specifieke situatie. Het stappenplan is opgesteld op basis van de benodigde informatie en het benodigde kennisniveau, en elke stap leidt tot meer informatie om een gefundeerde uitspraak te kunnen doen over de capaciteit van het omegaprofiel. Het plan omvat onder andere een analyse van de voeg, met inbegrip van de detaillering en criteria, de meting van de huidige deformatie en klemkracht van de omega-afdichting, en de beoordeling van de huidige staat van het systeem, waaronder het omegaprofiel en de klemverbinding. Het stappenplan kan bij vervolgonderzoek verder worden uitgebreid om uiteindelijk te komen tot een volledig stappenplan om de capaciteit van het omegaprofiel en de klemverbinding in de huidige situatie en naar de toekomst toe te kunnen bepalen.

Bijlage A Input RFEM-model



Project : Omega profiel
Omschrijving : Stijfheid

Auteur : DDD
Datum : -
Doc. Nr. : -
Revisie : -

Stijfheid

Rubber

t : 10 mm
A : 10000 mm²/m
v : 0,5 -, dwarscontractiefactor
E : 5 N/mm²
EA_R : 50.000 N/m

Inlay

EA_I : 440.000 N/m

De stijfheid van de inlays is bepaald op basis van proeven uitgevoerd op het materiaal, uitgevoerd door Trelleborg.

De gecombineerde stijfheid van rubber en inlays

EA_C : 490.000 N/m

Membraanfactor :

EA_C/EA_R : 9,80 -, t.o.v. rubber

Bijlage B Resultaten RFEM-model



MH Poly
Peter Vineloolaan 46b, 4611 AN Bergen op Zoom

Pagina: 1/39

Blad: 1

MODEL

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07

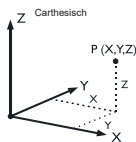
Datum: 7-3-2023

ALGEMENE GEGEVENS MODEL

| | | |
|----------|---|--|
| Algemeen | Modelnaam | : A.2.1. Omega 23.03.07 |
| | Modeltype | : 3D |
| Opties | Positieve richting van globale z-as | : Naar Boven |
| | Classificatie van belastingsgevallen en combinaties | : Volgens norm: EN 1990 Nationale Bijlage: CEN - EU |
| | <input type="checkbox"/> RF-FORM-FINDING - Vind aanvangsevenwichtsvormen van membranen en kabelconstructies | |
| | <input type="checkbox"/> RF-CUTTING-PATTERN | |
| | <input type="checkbox"/> Leidingwerk berekening | |
| | <input type="checkbox"/> Gebruik CQC regel | |
| | <input type="checkbox"/> CAD/BIM model mogelijk maken | |
| | Standaard zwaartekracht g | : 10.00 m/s ² |

EE-NETINSTELLINGEN

| | | | |
|----------|---|------------|---|
| Algemeen | Doellengte van eindige elementen | l_{FE} | : 0.010 m |
| | Max. afstand tussen een knoop en een lijn om in de lijn te integreren | ϵ | : 0.001 m |
| | Max. aantal netknoten (in duizenden) | | : 500 |
| Staven | Aantal staafverdelingen van kabels, Elastische bedding, voutes of plastische karakteristiek | | : 10 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Stel staafverdelingen in voor grote vervorming of post-kritische berekening | | |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Gebruik staafverdeling ook voor rechte staven, die niet zijn geïntegreerd in de vlakken, met Min. aantal staafverdelingen | | : Doellengte LFE van eindige elementen : 2 |
| Vlakken | Max. verh. van EE-rechthoekdiagonalen uit het vlak | Δ_0 | : 1.800 |
| | Max. uit-het-vlak hoek van twee EE | α | : 0.50 ° |
| | Vorm van de eindige elementen | | : Enkel Driehoeken <input type="checkbox"/> Gelijke Vierhoeken genereren indien mogelijk |



1.1 KNOPEN

| Knoop No. | Knooptype | Referentie knoop | Coördinaten Syteem | Knoopcoördinaten | | | Opm. |
|-----------|-----------|------------------|--------------------|------------------|--------|-------|------|
| | | | | X [m] | Y [m] | Z [m] | |
| 7 | Standaard | - | Carthesisch | -0.100 | 0.500 | 0.000 | |
| 8 | Standaard | - | Carthesisch | 0.000 | 0.500 | 0.100 | |
| 9 | Standaard | - | Carthesisch | 0.100 | 0.500 | 0.000 | |
| 10 | Standaard | - | Carthesisch | -0.100 | 1.500 | 0.000 | |
| 11 | Standaard | - | Carthesisch | 0.000 | 1.500 | 0.100 | |
| 12 | Standaard | - | Carthesisch | 0.100 | 1.500 | 0.000 | |
| 17 | Standaard | - | Carthesisch | 0.071 | 0.500 | 0.071 | |
| 18 | Standaard | - | Carthesisch | -0.071 | 0.500 | 0.071 | |
| 19 | Standaard | - | Carthesisch | -0.100 | -0.500 | 0.000 | |
| 20 | Standaard | - | Carthesisch | 0.000 | -0.500 | 0.100 | |
| 21 | Standaard | - | Carthesisch | 0.100 | -0.500 | 0.000 | |
| 22 | Standaard | - | Carthesisch | 0.071 | -1.500 | 0.071 | |
| 23 | Standaard | - | Carthesisch | -0.071 | -1.500 | 0.071 | |
| 24 | Standaard | - | Carthesisch | 0.071 | -0.500 | 0.071 | |
| 25 | Standaard | - | Carthesisch | -0.071 | -0.500 | 0.071 | |
| 31 | Standaard | - | Carthesisch | -0.100 | -1.500 | 0.000 | |
| 32 | Standaard | - | Carthesisch | 0.000 | -1.500 | 0.100 | |
| 33 | Standaard | - | Carthesisch | 0.100 | -1.500 | 0.000 | |
| 34 | Standaard | - | Carthesisch | 0.071 | -1.500 | 0.071 | |
| 35 | Standaard | - | Carthesisch | -0.071 | -1.500 | 0.071 | |

1.2 LIJNEN

| Lijn No. | Lijntype | Knoppen No. | Lijnlengte L [m] | | Opm. |
|----------|----------|-------------|------------------|----|------|
| 3 | Boog | 7,18,8 | 0.157 | XZ | |
| 4 | Boog | 10,23,11 | 0.157 | XZ | |
| 12 | Boog | 8,17,9 | 0.157 | XZ | |
| 13 | Boog | 11,22,12 | 0.157 | XZ | |
| 14 | Boog | 19,25,20 | 0.157 | XZ | |
| 16 | Boog | 20,24,21 | 0.157 | XZ | |
| 17 | Boog | 31,35,32 | 0.157 | XZ | |
| 18 | Polylijn | 7,19 | 1.000 | Y | |
| 19 | Polylijn | 10,7 | 1.000 | Y | |
| 20 | Polylijn | 9,21 | 1.000 | Y | |
| 21 | Spline | 8,20 | 1.000 | Y | |
| 22 | Polylijn | 12,9 | 1.000 | Y | |
| 23 | Spline | 11,8 | 1.000 | Y | |
| 24 | Boog | 32,34,33 | 0.157 | XZ | |
| 25 | Polylijn | 19,31 | 1.000 | Y | |
| 26 | Polylijn | 21,33 | 1.000 | Y | |
| 27 | Spline | 20,32 | 1.000 | Y | |

Project: _____ Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

1.3 MATERIALEN

| Matl. No. | Modulus E [N/mm ²] | Modulus G [N/mm ²] | Coëff. v. Poisso ν [-] | Vol. gewicht γ [kN/m ³] | Therm. uitz. α [1/°C] | Materiaalfactor γ_M [-] | Materiaal Model |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | Rubber | 5.0 | 1.7 | 0.500 | 0.00E+00 | 1.00 | Isotroop Lineair Elastisch |

1.4 VLAKKEN

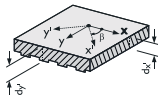
| Vlak No. | Vlaktype | | Randen No. | Matl. No. | Dikte | | Vlak A [m ²] | Gewicht G [kg] |
|----------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------|------------|--------------------------|----------------|
| | Geometrie | Stijfheid | | | Type | Dikte [mm] | | |
| 1 | Schaal | Orthotroop | 3,18,14,21 | 1 | &Blijvend | 10.0 | 0.157 | 0.00 |
| 2 | Schaal | Orthotroop | 20,16,21,12 | 1 | &Blijvend | 10.0 | 0.157 | 0.00 |
| 3 | Schaal | Orthotroop | 4,19,3,23 | 1 | &Blijvend | 10.0 | 0.157 | 0.00 |
| 4 | Schaal | Orthotroop | 22,12,23,13 | 1 | &Blijvend | 10.0 | 0.157 | 0.00 |
| 5 | Schaal | Orthotroop | 14,25,17,27 | 1 | &Blijvend | 10.0 | 0.157 | 0.00 |
| 6 | Schaal | Orthotroop | 26,24,27,16 | 1 | &Blijvend | 10.0 | 0.157 | 0.00 |

1.4.4 SURFACES - MULTIPLICATION FACTORS

| Vlak No. | Multiplication Factors [-] | | | | | | | |
|----------|----------------------------|----------|-------|----------|----------|-------|----------|-------|
| | k_b | k_{33} | k_s | k_{44} | k_{55} | k_m | k_{88} | k_e |
| 1 | 1.00 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 1.00 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 3 | 1.00 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 4 | 1.00 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 5 | 1.00 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 6 | 1.00 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

1.8 STEUNLIJNEN

| Stnpnt. No. | Lijnen No. | Referentie Systeem | Rotatie factor β [°] | Wand in Z | Randvoorwaarden | | | | | |
|-------------|----------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | | | | | $u_{x,X}$ | $u_{y,Y}$ | $u_{z,Z}$ | $\phi_{x,X}$ | $\phi_{y,Y}$ | $\phi_{z,Z}$ |
| 1 | 18-20,22,25,26 | Globaal | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | 4,13,17,24 | Lokaal | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



1.12 ORTHOTROPE VLAKKEN EN MEMBRANEN

| Vlak No. | Definitie Type | Orthotropie Richting factor β [°] | Stijfheidsreductiefactoren | | | | | | | | | |
|----------|-----------------|---|----------------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|------|
| | | | k [-] | k_b [-] | k_{33} [-] | k_s [-] | k_{44} [-] | k_{55} [-] | k_m [-] | k_{88} [-] | k_e [-] | |
| 1 | Constance dikte | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 9.80 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | Constance dikte | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 9.80 | 1.00 | 1.00 |
| 3 | Constance dikte | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 9.80 | 1.00 | 1.00 |
| 4 | Constance dikte | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 9.80 | 1.00 | 1.00 |
| 5 | Constance dikte | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 9.80 | 1.00 | 1.00 |
| 6 | Constance dikte | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 9.80 | 1.00 | 1.00 |

2.1 BELASTINGSGEVALLEN

| Bel. Geval | BG omschrijving | EN 1990 CEN Actiecategorie | Eigen gewicht - Factor in richting | | | |
|------------|-------------------|------------------------------|------------------------------------|---|---|---|
| | | | Actief | X | Y | Z |
| BG1 | Line displacement | Blijvend | <input type="checkbox"/> | | | |
| BG2 | Waterpressure | Blijvend/Opgelegd | <input type="checkbox"/> | | | |

2.1.1 BELASTINGSGEVALLEN - BEREKENINGSPARAMETERS

| Bel. Geval | BG omschrijving | Berekeningsparameters | |
|------------|-------------------|---|---|
| | | Berekeningsmethode | |
| BG1 | Line displacement | Berekeningsmethode | • Post-kritische berekening |
| | | Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen | • Gemodificeerde Newton-Raphson |
| BG2 | Waterpressure | Berekeningsmethode | • Grote vervormingsberekening |
| | | Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen | • Newton-Rapson gecombineerd met Picard |

2.5 BELASTINGSCOMBINATIES

| Last Combin. | OS | Belastingscombinatie Omschrijving | No. | Factor | Belastingsgeval | |
|--------------|----|-----------------------------------|-----|--------|-----------------|-------------------|
| | | | | | | |
| BC1 | | 0.2 LC1 + LC2, 10 mm | 1 | 0.20 | BG1 | Line displacement |
| | | | 2 | 1.00 | BG2 | Waterpressure |
| BC2 | | 0.4 LC1 + LC2, 20 mm | 1 | 0.40 | BG1 | Line displacement |
| | | | 2 | 1.00 | BG2 | Waterpressure |
| BC3 | | 0.6 LC1 + LC2, 30 mm | 1 | 0.60 | BG1 | Line displacement |
| | | | 2 | 1.00 | BG2 | Waterpressure |
| BC4 | | 0.8 LC1 + LC2, 40 mm | 1 | 0.80 | BG1 | Line displacement |
| | | | 2 | 1.00 | BG2 | Waterpressure |
| BC5 | | 1.0 LC1 + LC2, 50 mm | 1 | 1.00 | BG1 | Line displacement |
| | | | 2 | 1.00 | BG2 | Waterpressure |
| BC6 | | 1.2 LC1 + LC2, 60 mm | 1 | 1.20 | BG1 | Line displacement |

2.5 BELASTINGSCOMBINATIES

| Last Combin. | OS | Belastingscombinatie Omschrijving | No. | Factor | Belastingseval |
|--------------|----|-----------------------------------|-----|--------|-----------------------|
| BC7 | | 1.4 LC1 + LC2, 70 mm | 2 | 1.00 | BG2 Waterpressure |
| | | | 1 | 1.40 | BG1 Line displacement |
| BC8 | | 1.6 LC1 + LC2, 80 mm | 2 | 1.00 | BG2 Waterpressure |
| | | | 1 | 1.60 | BG1 Line displacement |
| BC9 | | 1.8 LC1 + LC2, 90 mm | 2 | 1.00 | BG2 Waterpressure |
| | | | 1 | 1.80 | BG1 Line displacement |
| BC11 | | 2.0 LC1 + LC2, 100 mm | 2 | 1.00 | BG2 Waterpressure |
| | | | 1 | 2.00 | BG1 Line displacement |
| BC21 | | 0.2 LC1, 10 mm | 1 | 0.20 | BG1 Line displacement |
| BC22 | | 0.4 LC1, 20 mm | 1 | 0.40 | BG1 Line displacement |
| BC23 | | 0.6 LC1, 30 mm | 1 | 0.60 | BG1 Line displacement |
| BC24 | | 0.8 LC1, 40 mm | 1 | 0.80 | BG1 Line displacement |
| BC25 | | 1.0 LC1, 50 mm | 1 | 1.00 | BG1 Line displacement |
| BC26 | | 1.2 LC1, 60 mm | 1 | 1.20 | BG1 Line displacement |
| BC27 | | 1.4 LC1, 70 mm | 1 | 1.40 | BG1 Line displacement |
| BC28 | | 1.6 LC1, 80 mm | 1 | 1.60 | BG1 Line displacement |
| BC29 | | 1.8 LC1, 90 mm | 1 | 1.80 | BG1 Line displacement |
| BC30 | | 2.0 LC1, 100 mm | 1 | 2.00 | BG1 Line displacement |
| BC40 | | 1.0 LC1, 50 mm + IMP | 1 | 1.00 | BG2 Waterpressure |

2.5.2 BELASTINGSCOMBINATIES - BEREKENINGSPARAMETERS

| Last Combin. | Omschrijving | Berekeningsparameters |
|--------------|----------------------|--|
| BC1 | 0.2 LC1 + LC2, 10 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC2 | 0.4 LC1 + LC2, 20 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC3 | 0.6 LC1 + LC2, 30 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC4 | 0.8 LC1 + LC2, 40 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC5 | 1.0 LC1 + LC2, 50 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC6 | 1.2 LC1 + LC2, 60 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |

2.5.2 BELASTINGSCOMBINATIES - BEREKENINGSPARAMETERS

| Last Combin. | Omschrijving | Berekeningsparameters |
|--------------|-----------------------|---|
| BC7 | 1.4 LC1 + LC2, 70 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC8 | 1.6 LC1 + LC2, 80 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC9 | 1.8 LC1 + LC2, 90 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC11 | 2.0 LC1 + LC2, 100 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC21 | 0.2 LC1, 10 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC22 | 0.4 LC1, 20 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC23 | 0.6 LC1, 30 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC24 | 0.8 LC1, 40 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkrachten N <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_x , M_z en M_T |
| BC25 | 1.0 LC1, 50 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. t |

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07

Datum: 7-3-2023

2.5.2 BELASTINGSCOMBINATIES - BEREKENINGSPARAMETERS

| Last Combin. | Omschrijving | Berekeningsparameters |
|--------------|----------------------|--|
| | | trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: : <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N : <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z : <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_y , M_z en M_T |
| BC26 | 1.2 LC1, 60 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: : <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N : <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z : <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_y , M_z en M_T |
| BC27 | 1.4 LC1, 70 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: : <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N : <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z : <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_y , M_z en M_T |
| BC28 | 1.6 LC1, 80 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: : <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N : <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z : <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_y , M_z en M_T |
| BC29 | 1.8 LC1, 90 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: : <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N : <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z : <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_y , M_z en M_T |
| BC30 | 2.0 LC1, 100 mm | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) : <input checked="" type="checkbox"/> Snedekrachten volgens het vervormde systeem beschouwen voor: : <input checked="" type="checkbox"/> Normaalkrachten N : <input checked="" type="checkbox"/> Dwarskrachten V_y en V_z : <input checked="" type="checkbox"/> Momenten M_y , M_z en M_T |
| BC40 | 1.0 LC1, 50 mm + IMP | Berekeningsmethode : <input checked="" type="radio"/> Post-kritische berekening Methode voor het oplossen van een systeem met niet-lineaire algebraïsche vergelijkingen : <input checked="" type="radio"/> Gemodificeerde Newton-Raphson Opties : <input checked="" type="checkbox"/> Beschouw gunstige effecten t.g.v. trekkracht(en) Activeer speciale instelling in tab: : <input checked="" type="checkbox"/> Extra opties |

2.5.7 BELASTINGSCOMBINATIES - IMPERFECTIES

| Last Combin. | BC-omschrijving | Toegepaste imperfectie van Module RF-IMP | Toegepaste imperfectie |
|--------------|----------------------|--|------------------------|
| BC40 | 1.0 LC1, 50 mm + IMP | <input checked="" type="checkbox"/> | CA1 |

3.13 OPGELEGDE LIJNVERPLAATSINGEN

BG1: Line displacement

BG1
Line displacement

| No. | Op lijnen No. | Verplaatsing aan Begin [mm] | | | Verplaatsing aan Einde [mm] | | | Rotatie [rad] | |
|-----|---------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|---------------|--------------|
| | | $U_{x,i}$ | $U_{y,i}$ | $U_{z,i}$ | $U_{x,j}$ | $U_{y,j}$ | $U_{z,j}$ | $\Phi_{x,i}$ | $\Phi_{x,j}$ |
| 1 | 18,19,25 | 0.00 | 25.00 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2 | 20,22,26 | 0.00 | -25.00 | 0.00 | 0.00 | -25.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 13,24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 4,17 | 0.00 | -25.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 |

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

BG2
Waterpressure

3.4 VLAKLASTEN

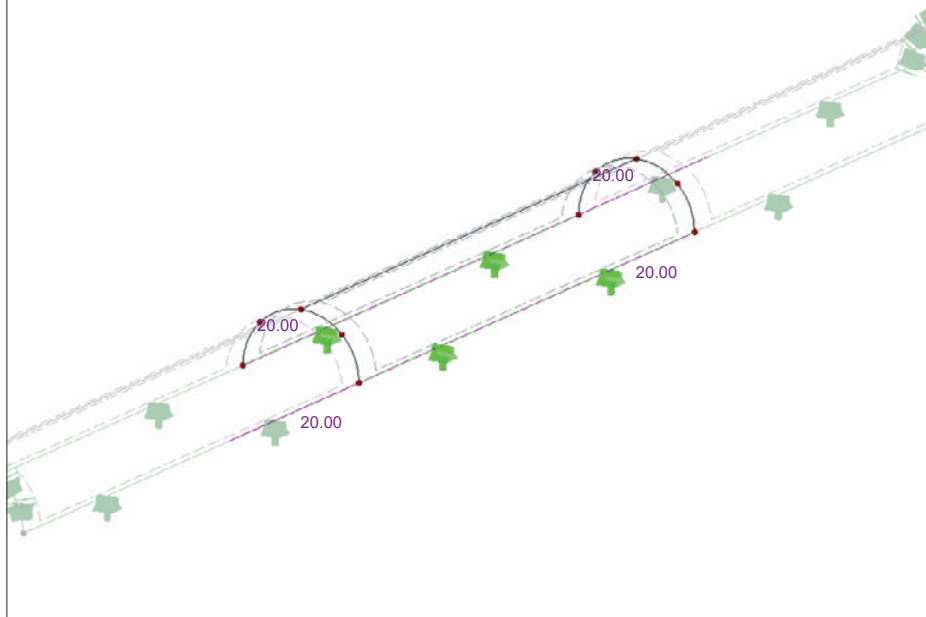
BG2: Waterpressure

| No. | Op vlakken No. | Belasting Type | Belasting Verdeling | Belasting Richting | Symbool | Lastparameters | |
|-----|----------------|----------------|---------------------|--------------------|---------|----------------|-------------------|
| | | | | | | Waarde | Eenheid |
| 1 | 1-6 | Kracht | Gelijkmatig | z | p | 150.00 | kN/m ² |

BC24: 0.8 LC1, 40 MM

BC24 : 0.8 LC1, 40 mm
Loads [mm]

Isometrisch

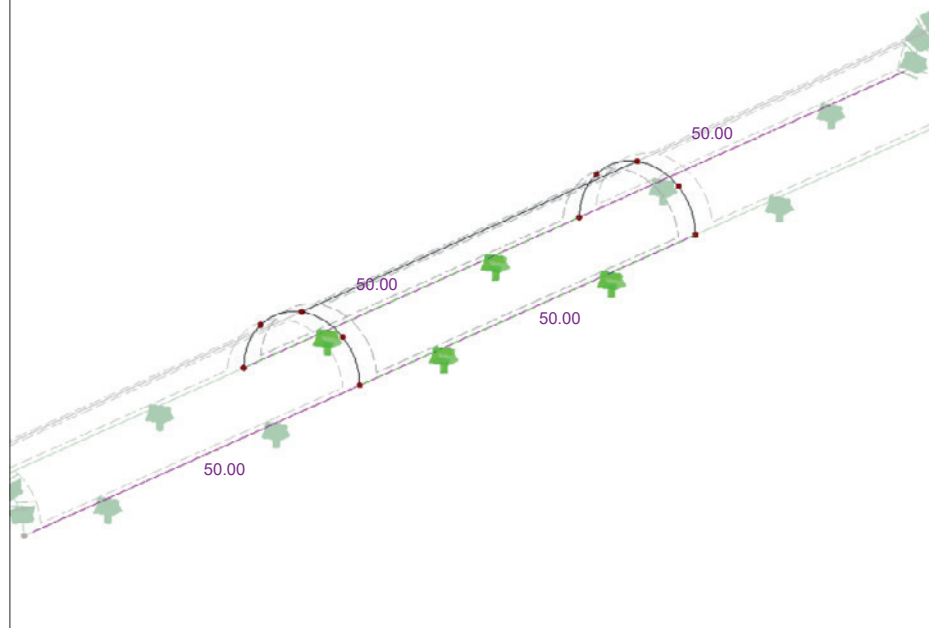


Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

■ **BC30: 2.0 LC1, 100 MM**

BC30 : 2.0 LC1, 100 mm
Loads [mm]

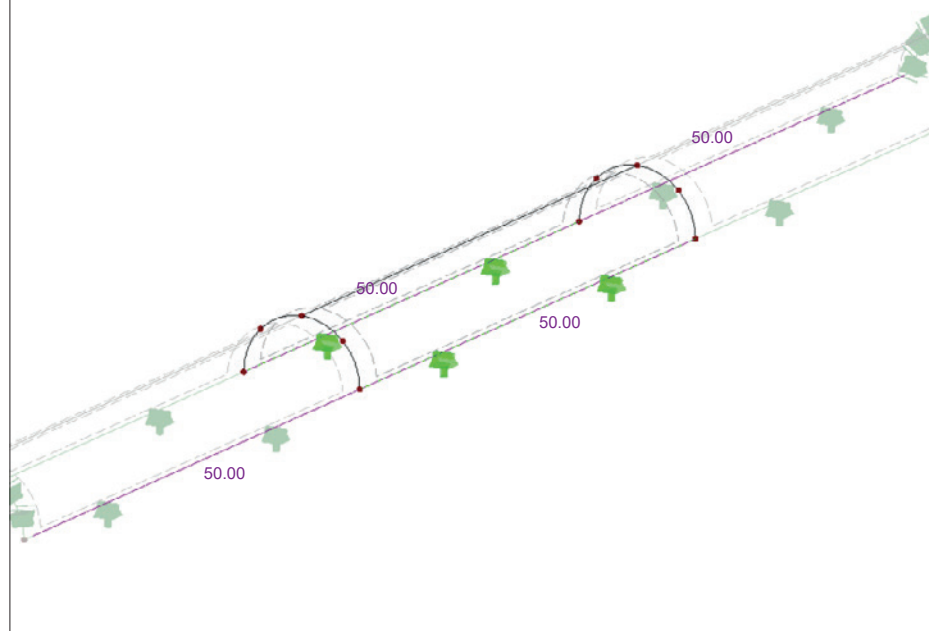
Isometrisch



■ **BC30: 2.0 LC1, 100 MM**

BC30 : 2.0 LC1, 100 mm
Loads [mm]

Isometrisch



4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|---|--|------|---|
| Belastinggeval BG1 - Line displacement | | | |
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken | | |
| De max. verplaatsing van de constructie (103.22 mm, richting -Z) overschrijdt de grenswaarde 1.50 % van de grootste afmeting van de constructie (48.77 mm). | | | |
| De max. rotatie van de constructie in knoop No. 10 (3551.05 mrad, richting -X) overschrijdt de grenswaarde 87.27 mrad. | | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | 0.1 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | -3.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 3.2 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | -0.293 | kNm | Bij zwaartepunt van de Constructie (X:0.000, Y:0.000, Z:0.000 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.046 | kNm | Bij zwaartepunt van de Constructie |
| Resultante van reacties om z-as | 1.314 | kNm | Bij zwaartepunt van de Constructie |
| Max. verplaatsing in x-as | -40.14 | mm | EE-Knoop nr. 9701 (X: 0.071, Y: -1.360, Z: 0.071 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -24.11 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -103.22 | mm | EE-Knoop nr. 256 (X: 0.000, Y: 0.350, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 103.22 | mm | EE-Knoop nr. 256 (X: 0.000, Y: 0.350, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -3551.05 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | 1622.65 | mrad | EE-Knoop nr. 94 (X: -0.071, Y: 0.450, Z: 0.071 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2537.67 | mrad | EE-Knoop nr. 9916 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 1.122E+10 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.033E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 6.040E+1720 | | |
| Oneindige Norm | 1.298E+12 | | |
| Belastinggeval BG2 - Waterpressure | | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | 0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | 0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 90.0 | kN | Afwijking 0.00% |
| Resultante van reacties om x-as | 0.000 | kNm | Bij zwaartepunt van de Constructie (X:0.000, Y:0.000, Z:0.000 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.000 | kNm | Bij zwaartepunt van de Constructie |
| Resultante van reacties om z-as | 0.000 | kNm | Bij zwaartepunt van de Constructie |
| Max. verplaatsing in x-as | 2.01 | mm | EE-Knoop nr. 5055 (X: 0.088, Y: 1.500, Z: 0.047 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | 0.11 | mm | EE-Knoop nr. 3487 (X: 0.000, Y: 1.410, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | 3.70 | mm | EE-Knoop nr. 20 (X: 0.000, Y: -0.500, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 3.70 | mm | EE-Knoop nr. 20 (X: 0.000, Y: -0.500, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | 22.55 | mrad | EE-Knoop nr. 9932 (X: 0.100, Y: -1.500, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om y-as | 58.65 | mrad | EE-Knoop nr. 9916 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om z-as | -12.37 | mrad | EE-Knoop nr. 8297 (X: -0.098, Y: -1.480, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | 3 ^e Orde | | Newton-Raphson gecombineerd met Picard |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 6 | | |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.048E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.877E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 3.114E+1725 | | |
| Oneindige Norm | 1.014E+12 | | |
| Belastingcombinatie BC1 - 0.2 LC1 + LC2. 10 mm | | | |
| Som van belastingen in X | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | -0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | 0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 90.0 | kN | Afwijking 0.00% |
| Resultante van reacties om x-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -0.25 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | 7.86 | mm | EE-Knoop nr. 9930 (X: 0.096, Y: -1.500, Z: 0.029 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -5.00 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | 5.05 | mm | EE-Knoop nr. 9892 (X: 0.063, Y: -1.480, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 9.16 | mm | EE-Knoop nr. 9930 (X: 0.096, Y: -1.500, Z: 0.029 m) |
| Max. rotatie om x-as | -1234.99 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | 403.36 | mrad | EE-Knoop nr. 9915 (X: 0.098, Y: -1.490, Z: 0.020 m) |
| Max. rotatie om z-as | 554.34 | mrad | EE-Knoop nr. 3363 (X: -0.098, Y: 1.490, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 15 | | |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.476E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.912E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.010E+17252 | | |

■ 4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|---|---|------|---|
| Oneindige Norm | 1.171E+12 | 23 | |
| Belastingscombinatie BC2 - 0.4 LC1 + LC2, 20 mm | | | |
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | -1.0 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | 0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 90.4 | kN | Afwijking -0.49% |
| Resultante van reacties om x-as | 0.27 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -0.52 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -16.06 | mm | EE-Knoop nr. 941 (X: -0.047, Y: -0.050, Z: 0.088 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -10.04 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | 12.51 | mm | EE-Knoop nr. 618 (X: -0.047, Y: 0.140, Z: 0.088 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 20.50 | mm | EE-Knoop nr. 839 (X: -0.047, Y: 0.010, Z: 0.088 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2542.86 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | 505.17 | mrad | EE-Knoop nr. 9915 (X: 0.098, Y: -1.490, Z: 0.020 m) |
| Max. rotatie om z-as | 985.17 | mrad | EE-Knoop nr. 3363 (X: -0.098, Y: 1.490, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentiecriteria bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.478E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.911E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.223E+1726 | | |
| Oneindige Norm | 1.389E+12 | 47 | |
| Belastingscombinatie BC3 - 0.6 LC1 + LC2, 30 mm | | | |
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | 2.0 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | -0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 92.1 | kN | Afwijking -2.24% |
| Resultante van reacties om x-as | -0.69 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.01 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -0.86 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | 29.13 | mm | EE-Knoop nr. 2378 (X: 0.047, Y: 0.090, Z: 0.088 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -15.20 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | 21.50 | mm | EE-Knoop nr. 2985 (X: 0.038, Y: -0.290, Z: 0.082 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 36.16 | mm | EE-Knoop nr. 2506 (X: 0.047, Y: 0.010, Z: 0.088 m) |
| Max. rotatie om x-as | -3480.74 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | -633.35 | mrad | EE-Knoop nr. 9884 (X: 0.100, Y: -1.470, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om z-as | 1794.65 | mrad | EE-Knoop nr. 3365 (X: -0.100, Y: 1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentiecriteria bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.637E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.878E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 7.961E+1725 | | |
| Oneindige Norm | 1.376E+12 | 56 | |
| Belastingscombinatie BC4 - 0.8 LC1 + LC2, 40 mm | | | |
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | -1.5 | kN | |
| Som van belastingen in Y | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | -0.4 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 91.8 | kN | Afwijking -1.93% |
| Resultante van reacties om x-as | 1.23 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.04 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -1.37 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -22.99 | mm | EE-Knoop nr. 8963 (X: 0.083, Y: -1.460, Z: 0.056 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -18.33 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | 17.63 | mm | EE-Knoop nr. 243 (X: -0.038, Y: 0.360, Z: 0.082 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 29.03 | mm | EE-Knoop nr. 856 (X: -0.047, Y: 0.000, Z: 0.088 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2984.74 | mrad | EE-Knoop nr. 3364 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om y-as | 1367.02 | mrad | EE-Knoop nr. 9916 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2123.81 | mrad | EE-Knoop nr. 3365 (X: -0.100, Y: 1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |

4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|---|-------------|------|---|
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentiecriteria bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.819E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 5.256E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 2.400E+1697 | | |
| Oneindige Norm | 95 | | |
| | 1.362E+12 | | |

Belastingscombinatie BC5 - 1.0 LC1 + LC2, 50 mm

| Berekening Status Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | | |
|---|-------------------------------------|------|---|
| Som van belastingen in X | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | -0.4 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | -2.3 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | 98.8 | kN | Afwijking -8.86% |
| Resultante van reacties om x-as | 3.35 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.22 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -0.60 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -28.41 | mm | EE-Knoop nr. 9846 (X: 0.077, Y: -1.450, Z: 0.063 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -25.24 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -19.71 | mm | EE-Knoop nr. 3443 (X: -0.063, Y: 1.440, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 35.10 | mm | EE-Knoop nr. 3428 (X: -0.077, Y: 1.450, Z: 0.063 m) |
| Max. rotatie om x-as | -3110.16 | mrad | EE-Knoop nr. 9917 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | -792.40 | mrad | EE-Knoop nr. 9867 (X: 0.098, Y: -1.460, Z: 0.020 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2768.12 | mrad | EE-Knoop nr. 9916 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentiecriteria bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.344E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.869E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 2.829E+1722 | | |
| Oneindige Norm | 11 | | |
| | 1.473E+12 | | |

Belastingscombinatie BC6 - 1.2 LC1 + LC2, 60 mm

| Berekening Status Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | | |
|---|-------------------------------------|------|---|
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | -3.1 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | -2.8 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | 98.2 | kN | Afwijking -8.37% |
| Resultante van reacties om x-as | -0.49 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.12 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 4.73 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -28.44 | mm | EE-Knoop nr. 9846 (X: 0.077, Y: -1.450, Z: 0.063 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -25.74 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -19.21 | mm | EE-Knoop nr. 3443 (X: -0.063, Y: 1.440, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 35.07 | mm | EE-Knoop nr. 9846 (X: 0.077, Y: -1.450, Z: 0.063 m) |
| Max. rotatie om x-as | -4504.02 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | -791.85 | mrad | EE-Knoop nr. 9868 (X: 0.100, Y: -1.460, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2401.08 | mrad | EE-Knoop nr. 3365 (X: -0.100, Y: 1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentiecriteria bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.052E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.936E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.329E+1702 | | |
| Oneindige Norm | 98 | | |
| | 1.253E+12 | | |

Belastingscombinatie BC7 - 1.4 LC1 + LC2, 70 mm

| Berekening Status Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | | |
|---|--------|-----|---|
| Som van belastingen in X | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | 0.4 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | -2.2 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | 94.7 | kN | Afwijking -5.00% |
| Resultante van reacties om x-as | 3.34 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | -0.21 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -4.32 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -33.97 | mm | EE-Knoop nr. 9828 (X: 0.063, Y: -1.440, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -35.52 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -35.43 | mm | EE-Knoop nr. 6770 (X: 0.000, Y: -0.590, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 44.33 | mm | EE-Knoop nr. 3444 (X: -0.071, Y: 1.440, Z: 0.071 m) |

4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|---|-------------------------------------|------|---|
| Max. rotatie om x-as | -3044.16 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | 991.56 | mrad | EE-Knoop nr. 9915 (X: 0.098, Y: -1.490, Z: 0.020 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2778.38 | mrad | EE-Knoop nr. 9900 (X: 0.100, Y: -1.480, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.585E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.849E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.874E+1731 | | |
| Oneindige Norm | 1.427E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC8 - 1.6 LC1 + LC2, 80 mm | | | |
|---|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | -209.9 | kN | |
| Som van belastingen in Y | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | 27.7 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | -589.2 | kN | Afwijking -84.72% |
| Resultante van reacties om x-as | -305.01 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | -19.71 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 582.87 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -41.32 | mm | EE-Knoop nr. 9812 (X: 0.063, Y: -1.430, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -43.88 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -40.48 | mm | EE-Knoop nr. 122 (X: -0.020, Y: 0.430, Z: 0.098 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 57.49 | mm | EE-Knoop nr. 9795 (X: 0.056, Y: -1.420, Z: 0.083 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2424.36 | mrad | EE-Knoop nr. 3364 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om y-as | 1975.62 | mrad | EE-Knoop nr. 9900 (X: 0.100, Y: -1.480, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om z-as | -3636.90 | mrad | EE-Knoop nr. 3367 (X: -0.100, Y: 1.490, Z: 0.000 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.331E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.018E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.581E+1700 | | |
| Oneindige Norm | 2.035E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC9 - 1.8 LC1 + LC2, 90 mm | | | |
|---|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | -532.7 | kN | |
| Som van belastingen in Y | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | -18.1 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | 243.9 | kN | Afwijking -63.08% |
| Resultante van reacties om x-as | 540.00 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 37.33 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 1083.12 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -37.11 | mm | EE-Knoop nr. 9829 (X: 0.071, Y: -1.440, Z: 0.071 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -47.46 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -60.46 | mm | EE-Knoop nr. 154 (X: 0.000, Y: 0.410, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 60.47 | mm | EE-Knoop nr. 154 (X: 0.000, Y: 0.410, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | 2361.73 | mrad | EE-Knoop nr. 3399 (X: -0.098, Y: 1.470, Z: 0.020 m) |
| Max. rotatie om y-as | -1392.87 | mrad | EE-Knoop nr. 3383 (X: -0.100, Y: 1.480, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2825.29 | mrad | EE-Knoop nr. 3363 (X: -0.098, Y: 1.490, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 1.211E+10 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.953E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 4.739E+1713 | | |
| Oneindige Norm | 2.564E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC11 - 2.0 LC1 + LC2, 100 mm | | | |
|---|---|----|--|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | 12.0 | kN | |
| Som van belastingen in Y | -0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | 0.2 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |

4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|---|-------------------------------------|-------|---|
| Som van de steunpunctreacties in Z | 145.0 | kN | Afwijking -37.91% |
| Resultante van reacties om x-as | -23.61 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | -0.95 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 110.77 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -37.29 | mm | EE-Knoop nr. 9828 (X: 0.063, Y: -1.440, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -50.74 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -76.94 | mm | EE-Knoop nr. 171 (X: 0.000, Y: 0.400, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 77.09 | mm | EE-Knoop nr. 1894 (X: 0.010, Y: 0.390, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2709.79 | mmrad | EE-Knoop nr. 9900 (X: 0.100, Y: -1.480, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om y-as | -1663.23 | mmrad | EE-Knoop nr. 1914 (X: 0.047, Y: 0.380, Z: 0.088 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2768.96 | mmrad | EE-Knoop nr. 3363 (X: -0.098, Y: 1.490, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 1.725E+10 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.057E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 5.659E+1716 | | |
| Oneindige Norm | 2.419E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC21 - 0.2 LC1, 10 mm | | | |
|---|-------------------------------------|-------|---|
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | 0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | -0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 0.0 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -24.28 | mm | EE-Knoop nr. 9701 (X: 0.071, Y: -1.360, Z: 0.071 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -5.08 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -26.50 | mm | EE-Knoop nr. 4135 (X: -0.020, Y: 1.030, Z: 0.098 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 30.98 | mm | EE-Knoop nr. 9652 (X: 0.063, Y: -1.330, Z: 0.077 m) |
| Max. rotatie om x-as | -1270.32 | mmrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | -636.80 | mmrad | EE-Knoop nr. 9786 (X: 0.096, Y: -1.410, Z: 0.029 m) |
| Max. rotatie om z-as | 641.25 | mmrad | EE-Knoop nr. 3363 (X: -0.098, Y: 1.490, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 54 | | |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.274E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.813E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.926E+1696 | | |
| Oneindige Norm | 1.14E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC22 - 0.4 LC1, 20 mm | | | |
|---|-------------------------------------|-------|---|
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | 0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | -0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 0.0 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -33.91 | mm | EE-Knoop nr. 9652 (X: 0.063, Y: -1.330, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -10.18 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -57.68 | mm | EE-Knoop nr. 1549 (X: -0.010, Y: -0.410, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 60.14 | mm | EE-Knoop nr. 1482 (X: -0.020, Y: -0.370, Z: 0.098 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2453.19 | mmrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | -1048.16 | mmrad | EE-Knoop nr. 3144 (X: 0.029, Y: -0.390, Z: 0.096 m) |
| Max. rotatie om z-as | 1039.99 | mmrad | EE-Knoop nr. 3363 (X: -0.098, Y: 1.490, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 61 | | |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.235E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.81E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 4.488E+1704 | | |
| Oneindige Norm | 1.347E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC23 - 0.6 LC1, 30 mm | | | |
|--|---|----|--|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |

■ 4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|---|-------------------------------------|------|---|
| Som van de steunpunctreacties in X | 2.9 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | -0.3 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 5.2 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | -2.38 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | -0.19 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -5.03 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | 35.65 | mm | EE-Knoop nr. 3562 (X: -0.063, Y: 1.370, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -13.62 | mm | EE-Knoop nr. 9900 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -63.90 | mm | EE-Knoop nr. 4117 (X: -0.010, Y: 1.040, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 64.47 | mm | EE-Knoop nr. 4100 (X: -0.010, Y: 1.050, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | 2646.90 | mrad | EE-Knoop nr. 33 (X: 0.100, Y: -1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | 1077.97 | mrad | EE-Knoop nr. 4021 (X: -0.063, Y: 1.100, Z: 0.077 m) |
| Max. rotatie om z-as | 1526.91 | mrad | EE-Knoop nr. 9916 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.34E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.93E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 5.630E+1708 | | |
| Oneindige Norm | 1.468E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC24 - 0.8 LC1, 40 mm | | | |
|---|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | 0.1 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | -0.1 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 0.3 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | -0.32 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.02 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 0.12 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -37.81 | mm | EE-Knoop nr. 9733 (X: 0.071, Y: -1.380, Z: 0.071 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -24.02 | mm | EE-Knoop nr. 8315 (X: -0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -98.60 | mm | EE-Knoop nr. 188 (X: 0.000, Y: 0.390, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 98.61 | mm | EE-Knoop nr. 188 (X: 0.000, Y: 0.390, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -4383.08 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | 1539.31 | mrad | EE-Knoop nr. 5025 (X: -0.071, Y: 0.510, Z: 0.071 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2103.86 | mrad | EE-Knoop nr. 3365 (X: -0.100, Y: 1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 1.199E+10 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.847E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 5.380E+1715 | | |
| Oneindige Norm | 1.296E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC25 - 1.0 LC1, 50 mm | | | |
|---|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in X | 0.1 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Y | -3.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpunctreacties in Z | 3.2 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | -0.25 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.04 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 1.32 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -40.17 | mm | EE-Knoop nr. 9701 (X: 0.071, Y: -1.360, Z: 0.071 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -24.11 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -103.10 | mm | EE-Knoop nr. 256 (X: 0.000, Y: 0.350, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 103.10 | mm | EE-Knoop nr. 256 (X: 0.000, Y: 0.350, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -3554.29 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | 1621.86 | mrad | EE-Knoop nr. 94 (X: -0.071, Y: 0.450, Z: 0.071 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2538.92 | mrad | EE-Knoop nr. 9916 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 1.124E+10 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op d | 9.031E-01 | | |

4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|------------------------------|-------------|------|------|
| diagonaal | | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 2.496E+1720 | 43 | |
| Oneindige Norm | 1.297E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC26 - 1.2 LC1, 60 mm | | | |
|---|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in X | -0.9 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in Y | -4.5 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in Z | 14.7 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | 6.53 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.19 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 6.43 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -40.79 | mm | EE-Knoop nr. 9685 (X: 0.071, Y: -1.350, Z: 0.071 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -30.33 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -124.24 | mm | EE-Knoop nr. 7484 (X: 0.000, Y: -1.010, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 124.24 | mm | EE-Knoop nr. 7484 (X: 0.000, Y: -1.010, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2880.35 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | -1911.24 | mrad | EE-Knoop nr. 9367 (X: 0.083, Y: -1.150, Z: 0.056 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2419.08 | mrad | EE-Knoop nr. 9900 (X: 0.100, Y: -1.480, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentiecriteria bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 1.875E+10 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.689E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 4.142E+1709 | 69 | |
| Oneindige Norm | 1.237E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC27 - 1.4 LC1, 70 mm | | | |
|---|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in X | -513.6 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in Y | 20.6 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in Z | -50.4 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | 78.21 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 6.40 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -755.42 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -40.62 | mm | EE-Knoop nr. 9669 (X: 0.071, Y: -1.340, Z: 0.071 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | 35.48 | mm | EE-Knoop nr. 7 (X: -0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -134.64 | mm | EE-Knoop nr. 7467 (X: 0.000, Y: -1.000, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 134.64 | mm | EE-Knoop nr. 7467 (X: 0.000, Y: -1.000, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2274.48 | mrad | EE-Knoop nr. 9900 (X: 0.100, Y: -1.480, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om y-as | 2084.72 | mrad | EE-Knoop nr. 3923 (X: -0.088, Y: 1.160, Z: 0.047 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2977.98 | mrad | EE-Knoop nr. 9900 (X: 0.100, Y: -1.480, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentiecriteria bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.777E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.81E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 8.205E+1718 | 48 | |
| Oneindige Norm | 1.366E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC28 - 1.6 LC1, 80 mm | | | |
|--|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in X | 162.5 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in Y | -2.2 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpntreacties in Z | 72.8 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | -100.65 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | -5.52 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 243.41 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | -40.13 | mm | EE-Knoop nr. 6321 (X: 0.071, Y: 0.700, Z: 0.071 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -40.49 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -141.91 | mm | EE-Knoop nr. 7467 (X: 0.000, Y: -1.000, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 141.91 | mm | EE-Knoop nr. 7467 (X: 0.000, Y: -1.000, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2760.44 | mrad | EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | -2217.78 | mrad | EE-Knoop nr. 9401 (X: 0.092, Y: -1.170, Z: 0.038 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2532.88 | mrad | EE-Knoop nr. 3363 (X: -0.098, Y: 1.490, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |

■ 4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|---|--------------------------|------|---|
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.295E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 8.81E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.651E+1721 | | |
| Oneindige Norm | 1.43E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC29 - 1.8 LC1, 90 mm | | | |
|---|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | -0.3 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | 0.8 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | 7.8 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | -6.58 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.49 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | 3.85 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | 40.11 | mm | EE-Knoop nr. 3615 (X: -0.077, Y: 1.340, Z: 0.063 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -44.88 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -145.78 | mm | EE-Knoop nr. 7450 (X: 0.000, Y: -0.990, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 145.81 | mm | EE-Knoop nr. 7450 (X: 0.000, Y: -0.990, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -2556.75 | mrاد | EE-Knoop nr. 9900 (X: 0.100, Y: -1.480, Z: 0.010 m) |
| Max. rotatie om y-as | -2283.36 | mrاد | EE-Knoop nr. 9369 (X: 0.092, Y: -1.150, Z: 0.038 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2737.14 | mrاد | EE-Knoop nr. 3363 (X: -0.098, Y: 1.490, Z: 0.020 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 1.897E+10 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.684E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.160E+1713 | | |
| Oneindige Norm | 2.177E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC30 - 2.0 LC1, 100 mm | | | |
|---|---|------|---|
| Berekening Status | Max. aantal iteraties uitgevoerd zonder convergentie te bereiken! | | |
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | 0.7 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | -2.5 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | 4.9 | kN | |
| Resultante van reacties om x-as | -3.75 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.08 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -1.91 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | 39.92 | mm | EE-Knoop nr. 894 (X: -0.077, Y: -0.020, Z: 0.063 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -50.55 | mm | EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -148.04 | mm | EE-Knoop nr. 7450 (X: 0.000, Y: -0.990, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 148.05 | mm | EE-Knoop nr. 7450 (X: 0.000, Y: -0.990, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | 2544.25 | mrاد | EE-Knoop nr. 3399 (X: -0.098, Y: 1.470, Z: 0.020 m) |
| Max. rotatie om y-as | 2336.17 | mrاد | EE-Knoop nr. 3958 (X: -0.092, Y: 1.140, Z: 0.038 m) |
| Max. rotatie om z-as | 2709.11 | mrاد | EE-Knoop nr. 9916 (X: 0.100, Y: -1.490, Z: 0.010 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 100 | | Let op: max. aantal iteraties is uitgevoerd zonder dat het convergentie criterium bereikt is! |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 1.713E+10 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.668E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 1.666E+1714 | | |
| Oneindige Norm | 2.285E+12 | | |

| Belastingscombinatie BC40 - 1.0 LC1, 50 mm + IMP | | | |
|--|-------|-----|---|
| Som van belastingen in X | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in X | 0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Y | 0.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Y | 0.0 | kN | |
| Som van belastingen in Z | 90.0 | kN | |
| Som van de steunpuntreacties in Z | 90.0 | kN | Afwijking -0.00% |
| Resultante van reacties om x-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model (X:0.00, Y:0.00, Z:0.00 m) |
| Resultante van reacties om y-as | 0.00 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Resultante van reacties om z-as | -0.49 | kNm | In zwaartepunt van het model |
| Max. verplaatsing in x-as | 14.96 | mm | EE-Knoop nr. 9636 (X: 0.063, Y: -1.320, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | 2.36 | mm | EE-Knoop nr. 1884 (X: 0.063, Y: 0.400, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | 32.44 | mm | EE-Knoop nr. 7518 (X: 0.000, Y: -1.030, Z: 0.100 m) |

4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

| Omschrijving | Waarde | Eenh | Opm. |
|---|-------------------------------------|------|---|
| Max. verplaatsing (vector) | 32.51 | mm | EE-Knoop nr. 9230 (X: 0.010, Y: -1.070, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -178.96 | mrad | EE-Knoop nr. 3428 (X: -0.077, Y: 1.450, Z: 0.063 m) |
| Max. rotatie om y-as | -612.92 | mrad | EE-Knoop nr. 60 (X: -0.071, Y: 0.470, Z: 0.071 m) |
| Max. rotatie om z-as | -210.79 | mrad | EE-Knoop nr. 3429 (X: -0.083, Y: 1.450, Z: 0.056 m) |
| Maximum surface strain | 0.0 | % | FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m) |
| Berekeningsmethode | Nakritisch | | Gemodificeerde Newton-Raphson |
| Neem de gunstige effecten van trekkrachten mee | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Deel de resultaten terug door BC-factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Stijfheidsreductie maal factor | <input type="checkbox"/> | | |
| Aantal belastingsincrementen | 5 | | |
| Aantal iteraties | 5 | | |
| Max. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 2.635E+09 | | |
| Min. waarde van element van stijfheidsmatrix op diagonaal | 9.358E-01 | | |
| Stijfheidsmatrix determinant | 4.601E+1719 | | |
| Oneindige Norm | 3.715E+12 | | |

Samenvatting

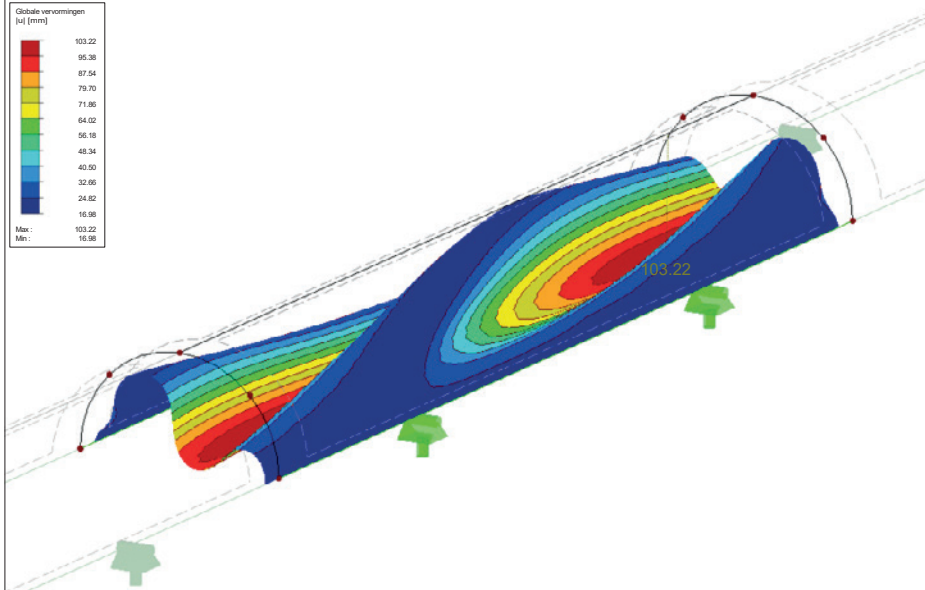
| | | | |
|--|-------------------------------------|------|---|
| Berekening Status: Probleem In BG1 | | | |
| Max. verplaatsing in x-as | -41.32 | mm | BC8, EE-Knoop nr. 9812 (X: 0.063, Y: -1.430, Z: 0.077 m) |
| Max. verplaatsing in y-as | -50.74 | mm | BC11, EE-Knoop nr. 9 (X: 0.100, Y: 0.500, Z: 0.000 m) |
| Max. verplaatsing in z-as | -148.04 | mm | BC30, EE-Knoop nr. 7450 (X: 0.000, Y: -0.990, Z: 0.100 m) |
| Max. verplaatsing (vector) | 148.05 | mm | BC30, EE-Knoop nr. 7450 (X: 0.000, Y: -0.990, Z: 0.100 m) |
| Max. rotatie om x-as | -4504.02 | mrad | BC6, EE-Knoop nr. 10 (X: -0.100, Y: 1.500, Z: 0.000 m) |
| Max. rotatie om y-as | 2336.17 | mrad | BC30, EE-Knoop nr. 3958 (X: -0.092, Y: 1.140, Z: 0.038 m) |
| Max. rotatie om z-as | -3636.90 | mrad | BC8, EE-Knoop nr. 3367 (X: -0.100, Y: 1.490, Z: 0.000 m) |
| Andere instellingen: | | | |
| Aantal 1D Eindige Elementen | 0 | | |
| Aantal 2D Eindige Elementen | 19200 | | |
| Aantal 3D Eindige Elementen | 0 | | |
| Aantal EE-netknopen | 9933 | | |
| Aantal vergelijkingen | 59598 | | |
| Max. aantal iteraties | 100 | | |
| Aantal doorsnedes voor staafresultaten | 10 | | |
| Verdeling van kabels/fundatie/verlopende staven | 10 | | |
| Aantal staafverdelingen voor het zoeken naar max. waarden | 10 | | |
| Onderverdelingen van EE-net voor grafische weergave resultaten | 0 | | |
| Percentage van iteraties volgens de Picard-methode in combinatie met de Newton-Raphson methode | 5 | % | |
| Opties: | | | |
| Afsluifstijfheid activeren voor Staven (Ay, Az) | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Activeren van staafverdelingen voor grote vervorming of post-kritische berekening | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Activeer ingevoerde stijfheidsmodificaties | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Negeer rotatievrijheidsgraden | <input type="checkbox"/> | | |
| Controle van de kritische staafkrachten | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Niet-symmetrische direct Solver als geëist door niet-lineair model | <input type="checkbox"/> | | |
| Oplossingsmethode voor de vergelijkingen | Direct | | |
| Plaat-buigtheorie | Mindlin | | |
| Solverversie | 64-bit | | |
| Precisie en Tolerantie: | | | |
| Wijzig standaardinstelling | <input type="checkbox"/> | | |

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BG1 : Line displacement
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

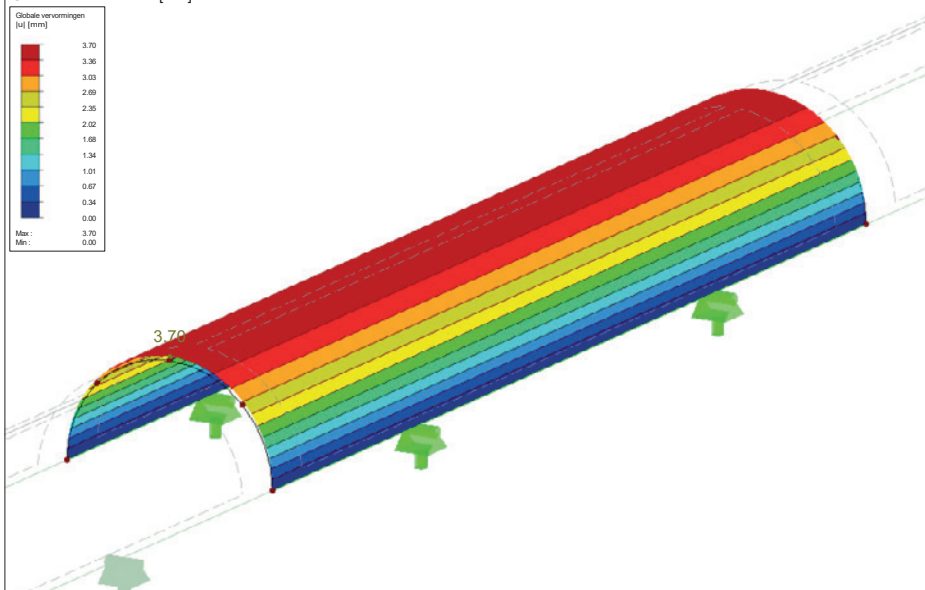


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 103.22, Min u: 16.98 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BG2 : Waterpressure
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



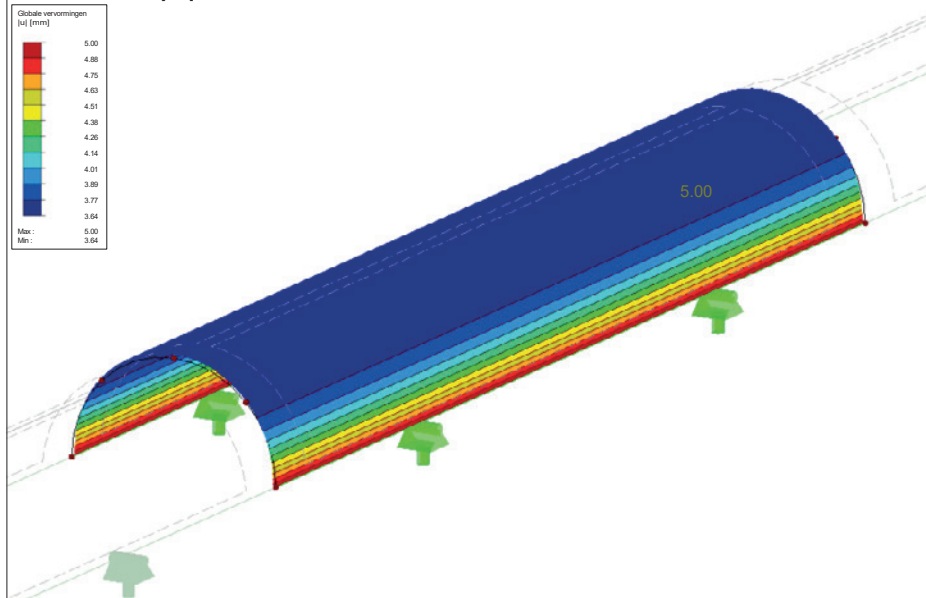
Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 3.70, Min u: 0.00 mm

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC1 : 0.2 LC1 + LC2, 10 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

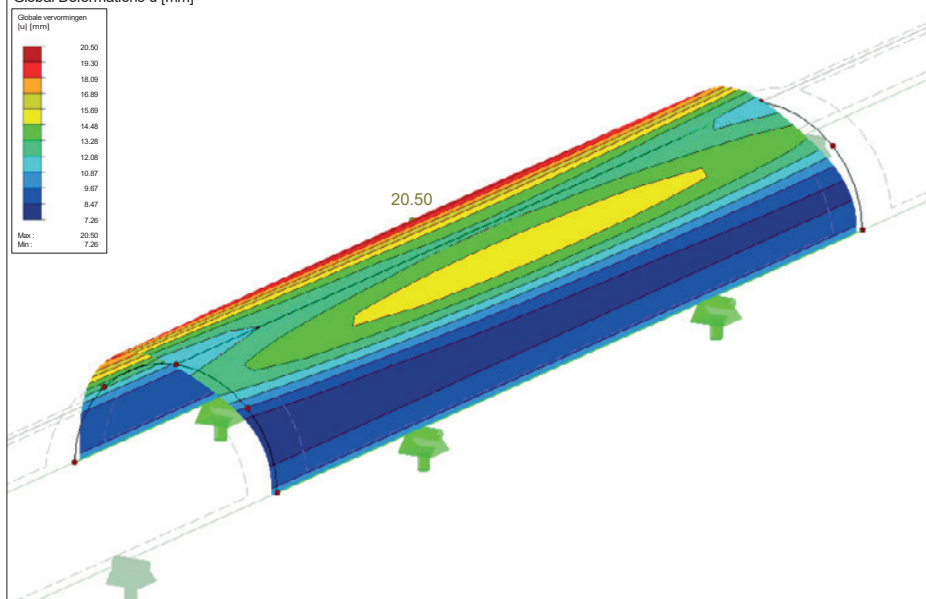


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 5.00, Min u: 3.64 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC2 : 0.4 LC1 + LC2, 20 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 20.50, Min u: 7.26 mm

Project:

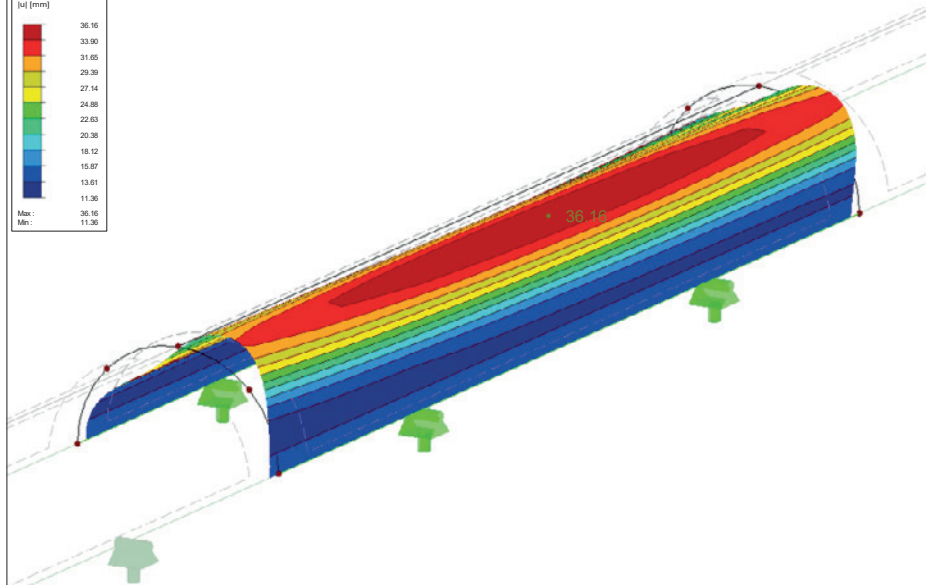
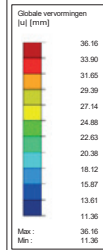
Model: A.2.1. Omega 23.03.07

Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC3 : 0.6 LC1 + LC2, 30 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

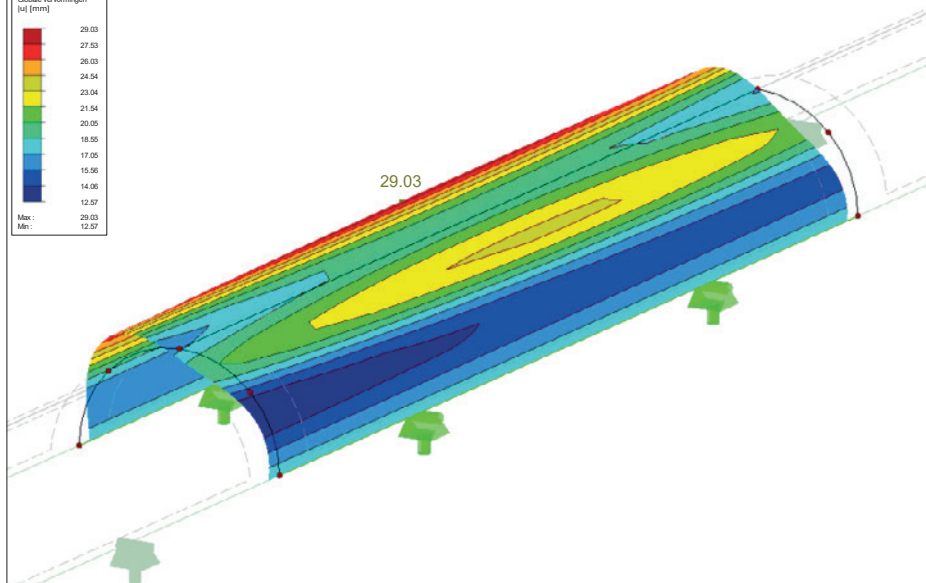
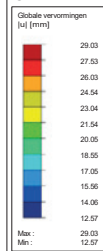


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 36.16, Min u: 11.36 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC4 : 0.8 LC1 + LC2, 40 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 29.03, Min u: 12.57 mm

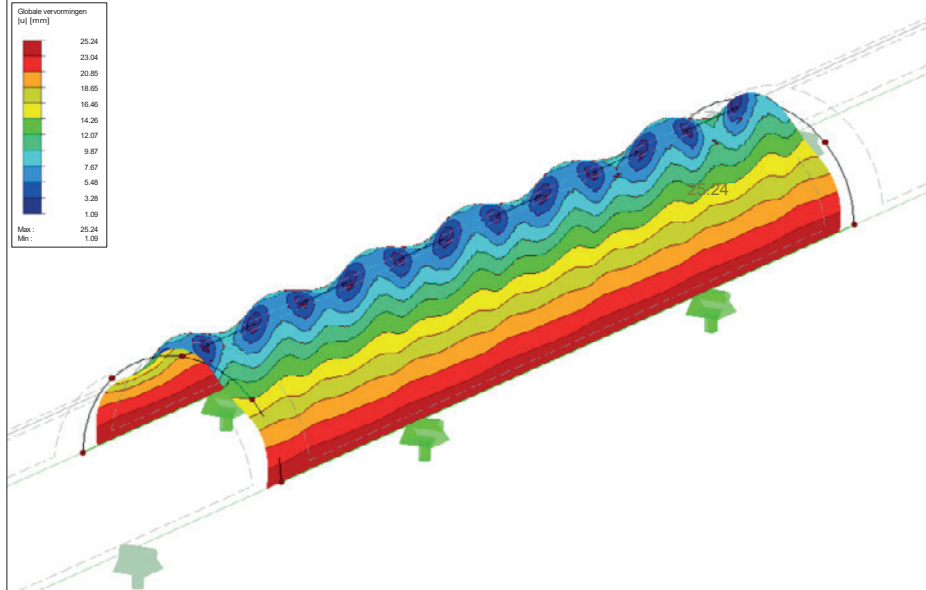
Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07

Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC5 : 1.0 LC1 + LC2, 50 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

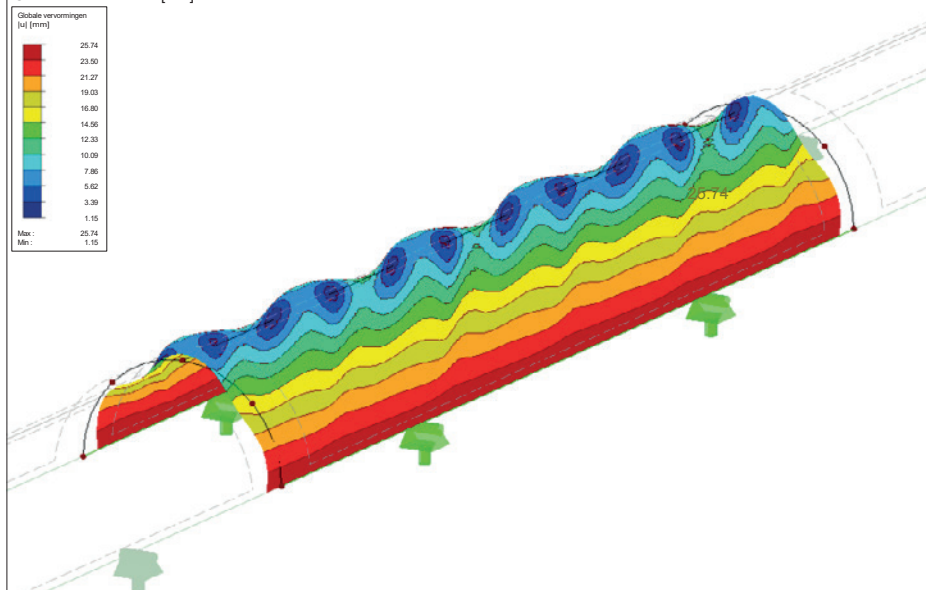


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 25.24, Min u: 1.09 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC6 : 1.2 LC1 + LC2, 60 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



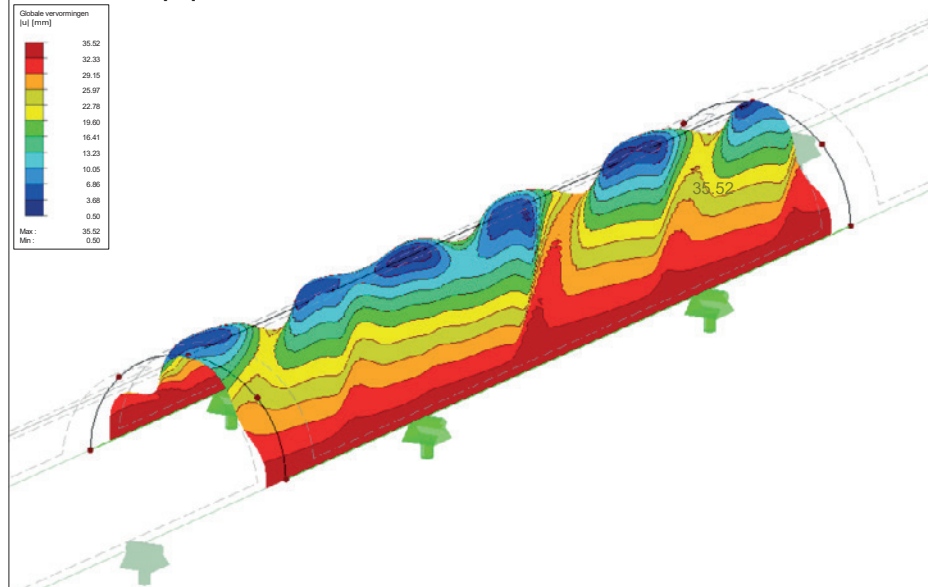
Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 25.74, Min u: 1.15 mm

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC7 : 1.4 LC1 + LC2, 70 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

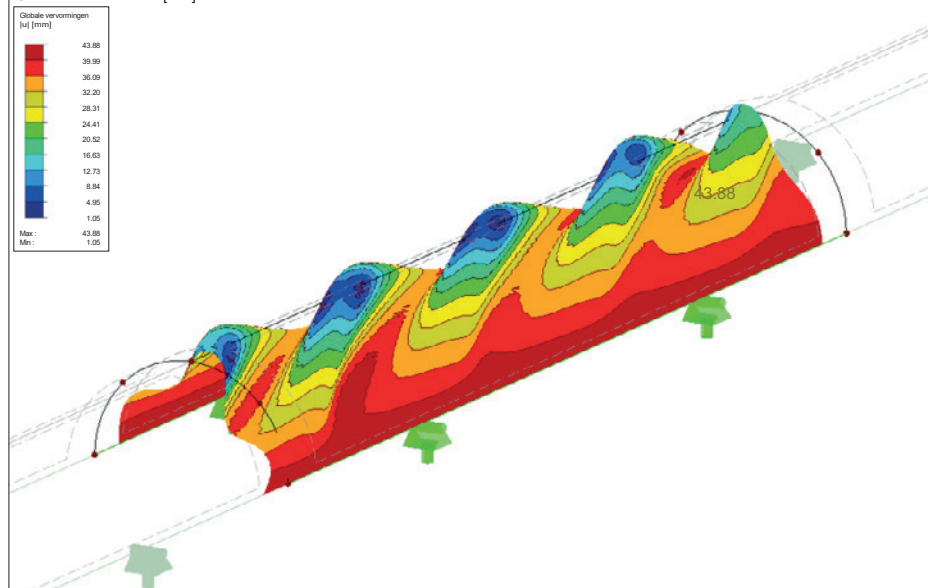


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 35.52, Min u: 0.50 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC8 : 1.6 LC1 + LC2, 80 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 43.88, Min u: 1.05 mm

Project:

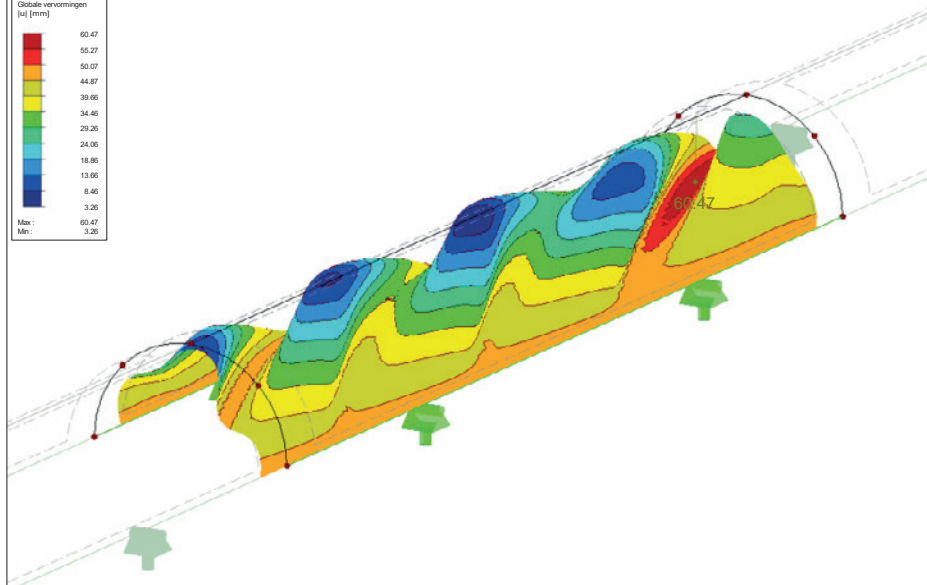
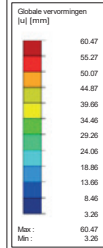
Model: A.2.1. Omega 23.03.07

Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC9 : 1.8 LC1 + LC2, 90 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

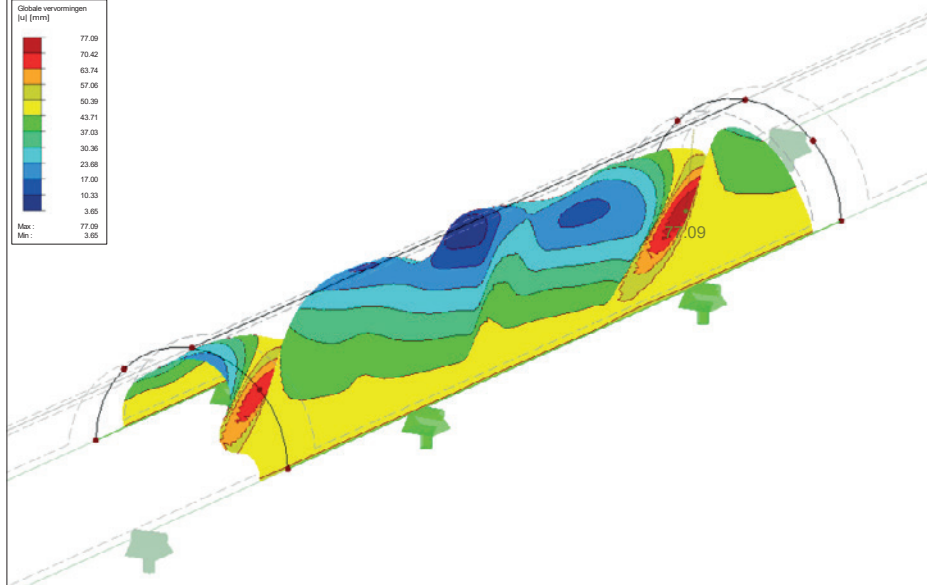
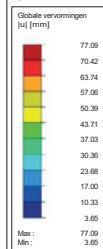


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 60.47, Min u: 3.26 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC11 : 2.0 LC1 + LC2, 100 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

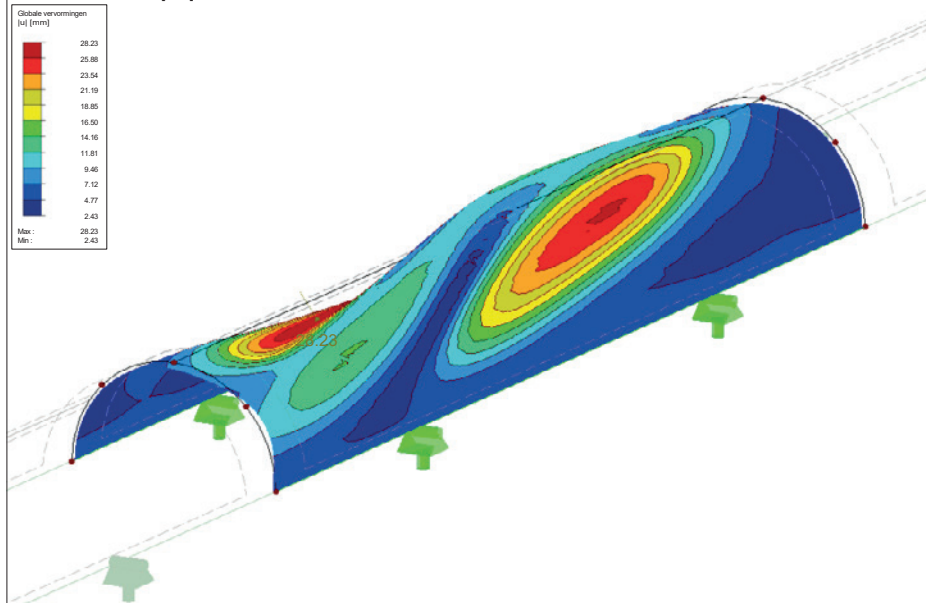


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 77.09, Min u: 3.65 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC21 : 0.2 LC1, 10 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

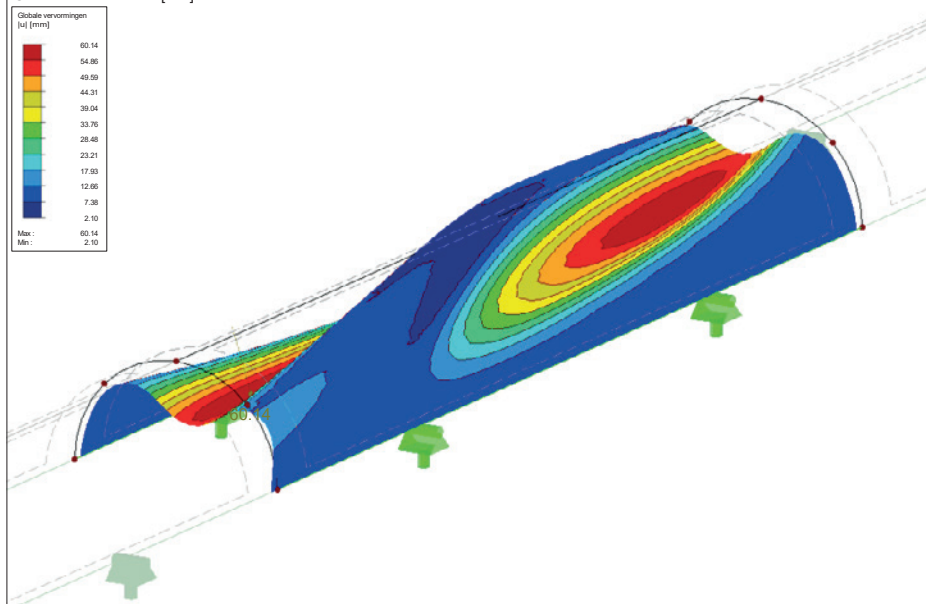


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 28.23, Min u: 2.43 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC22 : 0.4 LC1, 20 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



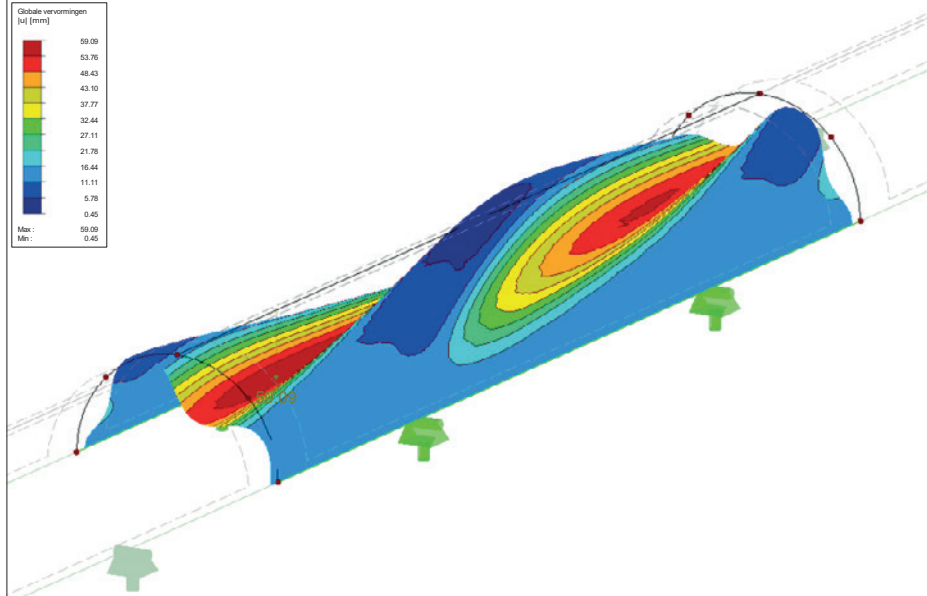
Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 60.14, Min u: 2.10 mm

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC23 : 0.6 LC1, 30 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

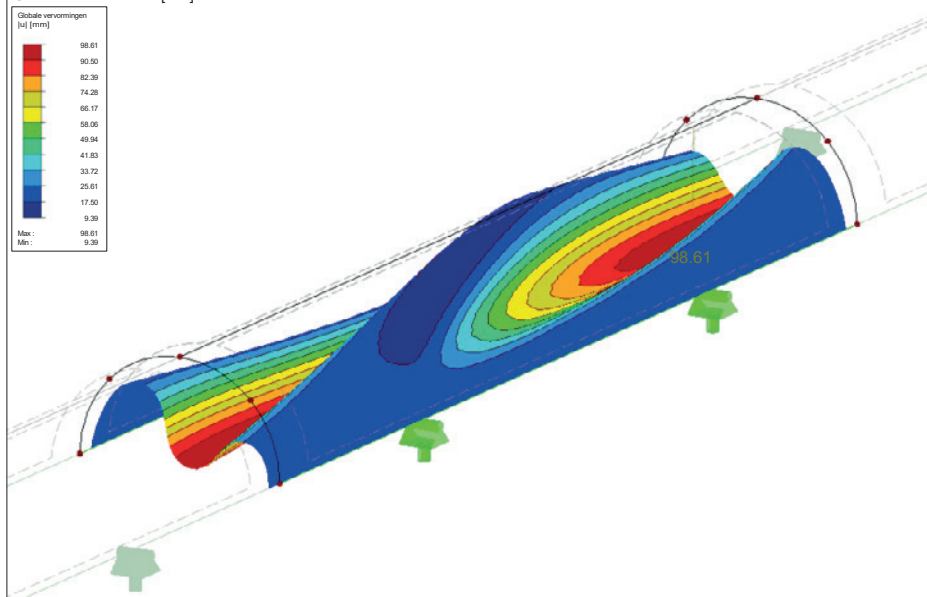


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 59.09, Min u: 0.45 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC24 : 0.8 LC1, 40 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



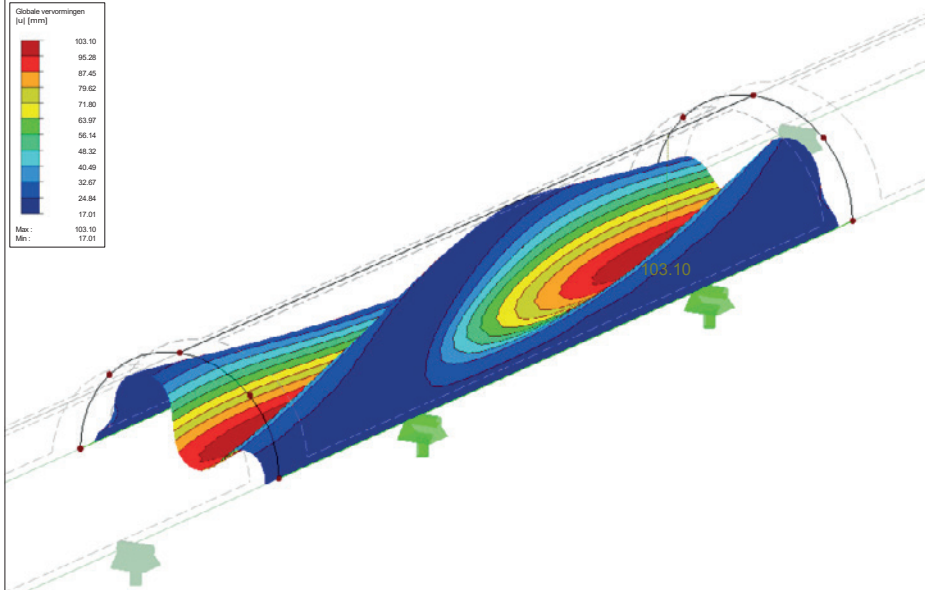
Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 98.61, Min u: 9.39 mm

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC25 : 1.0 LC1, 50 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

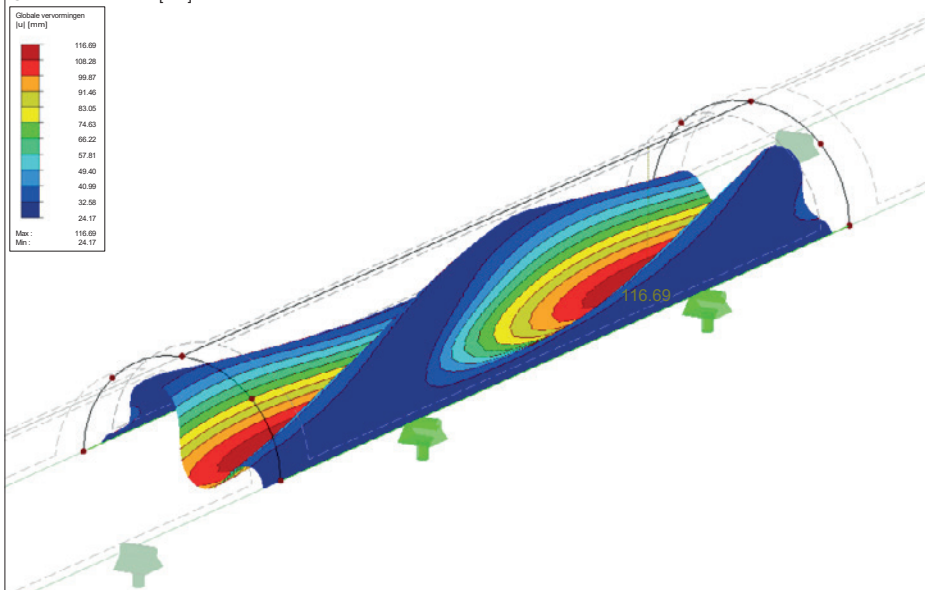


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 103.10, Min u: 17.01 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC26 : 1.2 LC1, 60 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



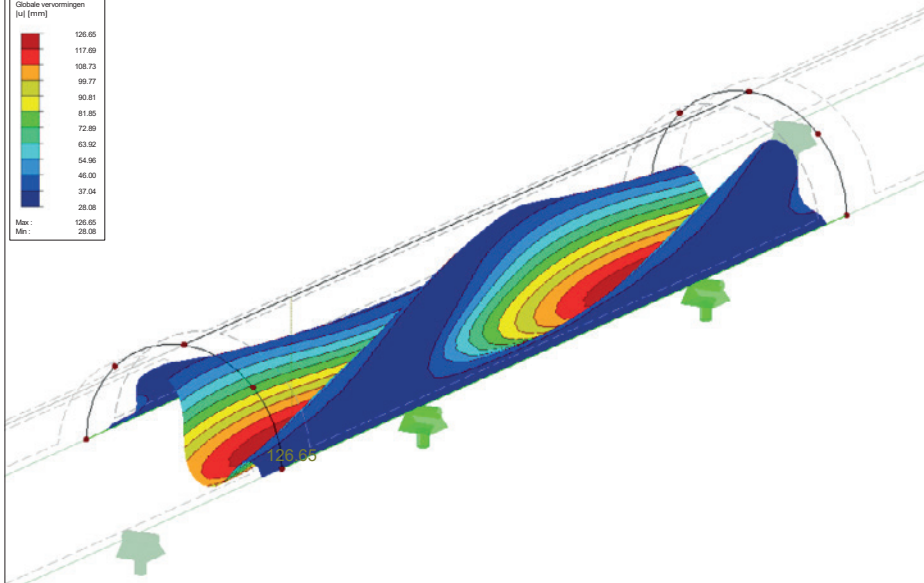
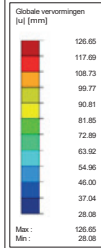
Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 116.69, Min u: 24.17 mm

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC27 : 1.4 LC1, 70 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

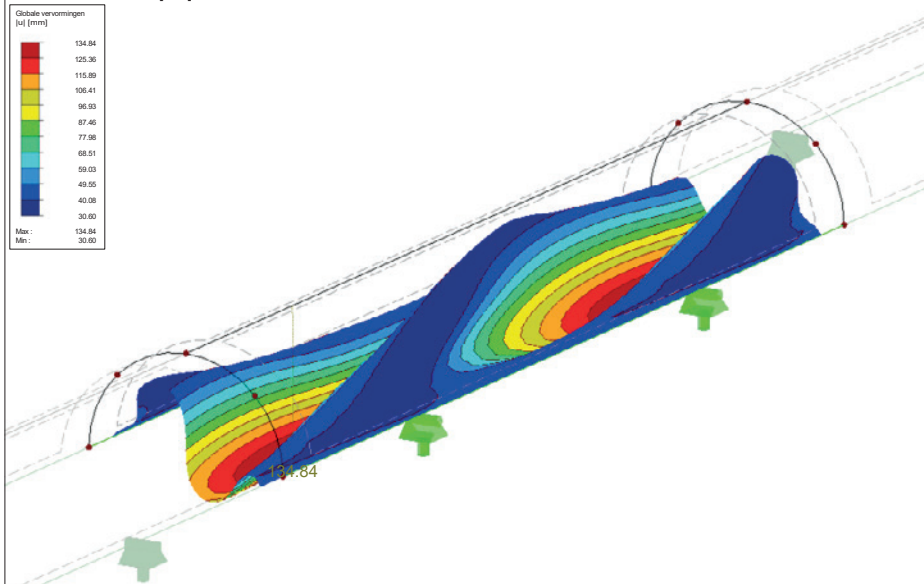
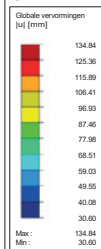


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 126.65, Min u: 28.08 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC28 : 1.6 LC1, 80 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



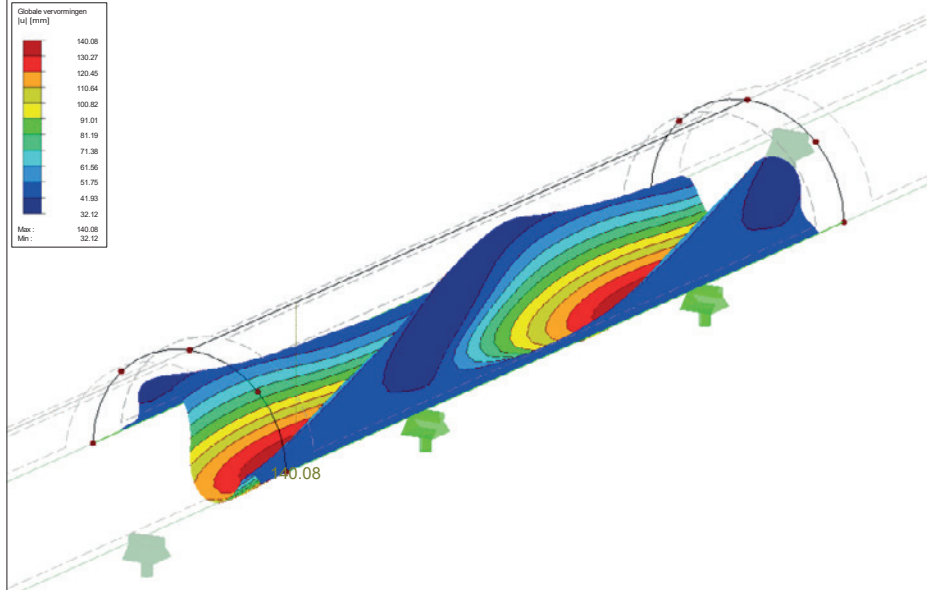
Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 134.84, Min u: 30.60 mm

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC29 : 1.8 LC1, 90 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch

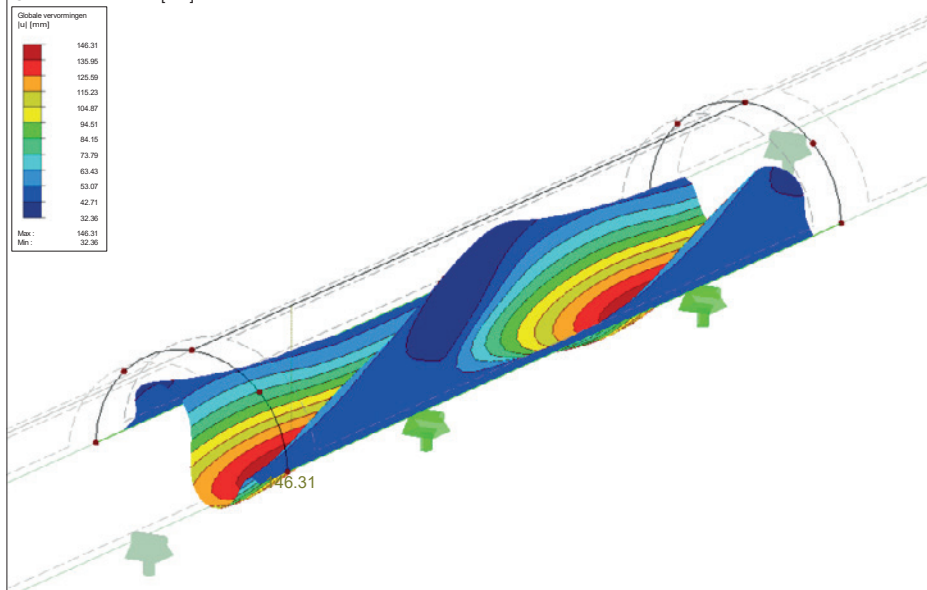


Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 140.08, Min u: 32.12 mm

■ GLOBALE VERVORMINGEN u

BC30 : 2.0 LC1, 100 mm
Global Deformations u [mm]

Isometrisch



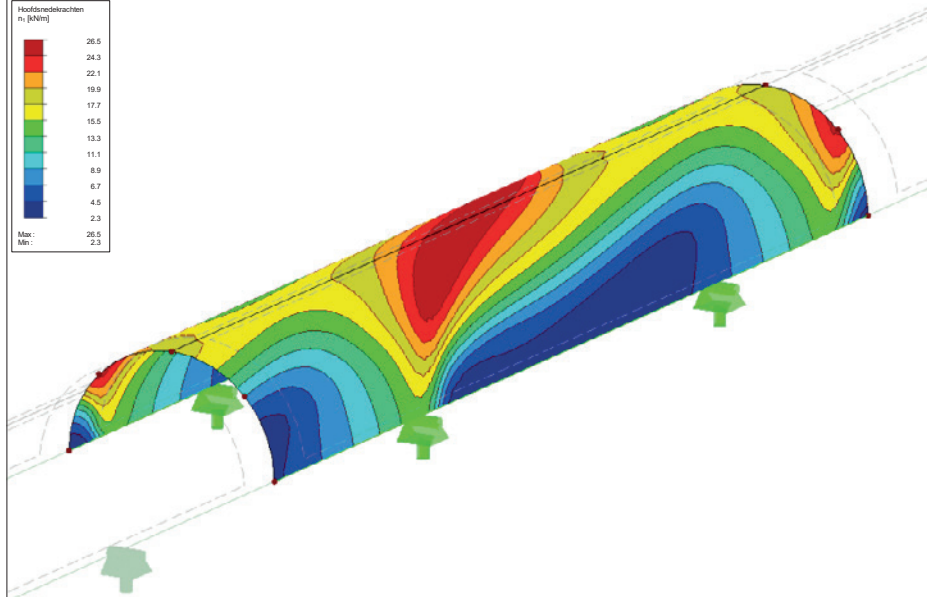
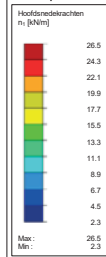
Factor voor verplaatsingen: 1.00
Max u: 146.31, Min u: 32.36 mm

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BG1 : Line displacement
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

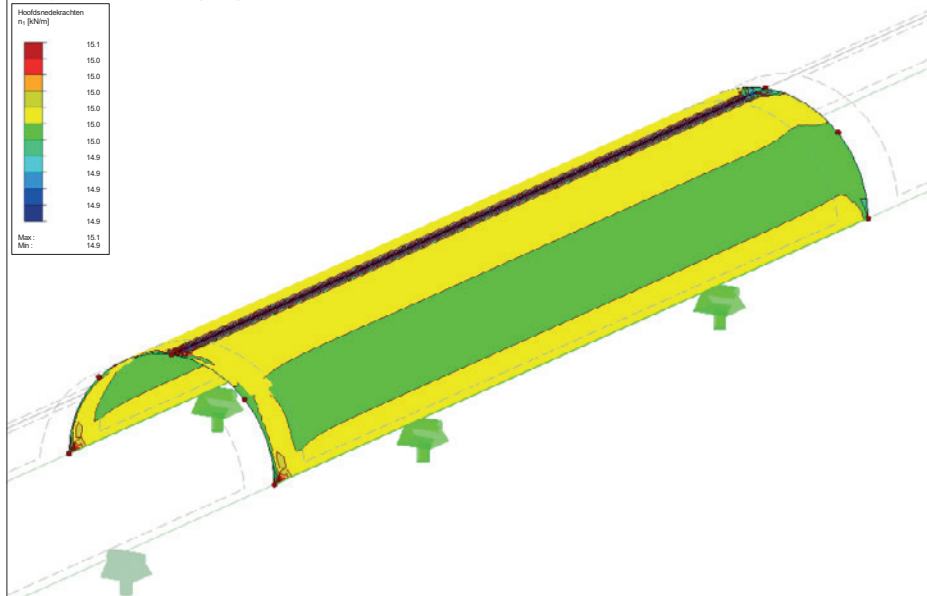
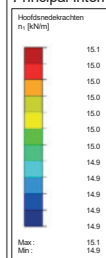


Max n-1: 26.5, Min n-1: 2.3 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BG2 : Waterpressure
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

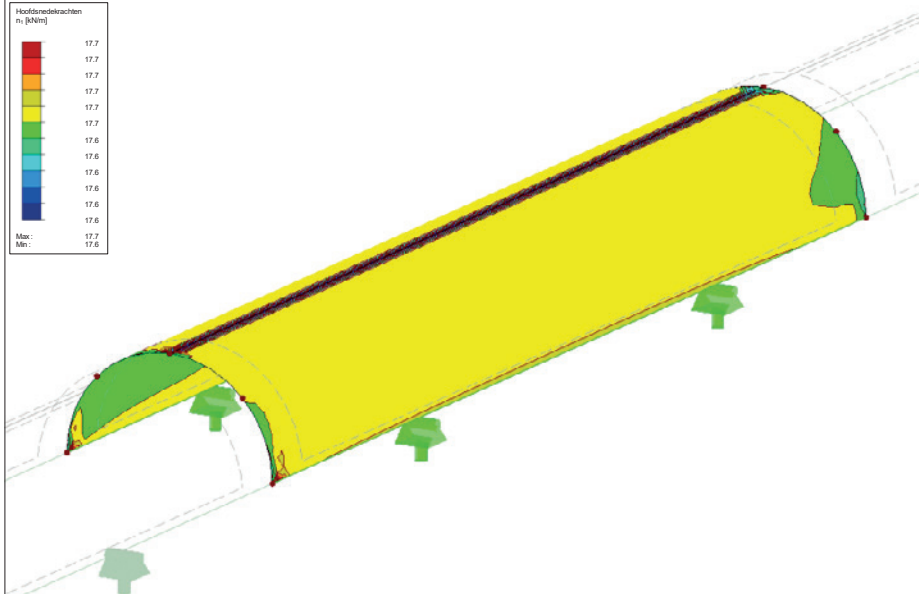


Max n-1: 15.1, Min n-1: 14.9 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n₁

BC1 : 0.2 LC1 + LC2, 10 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

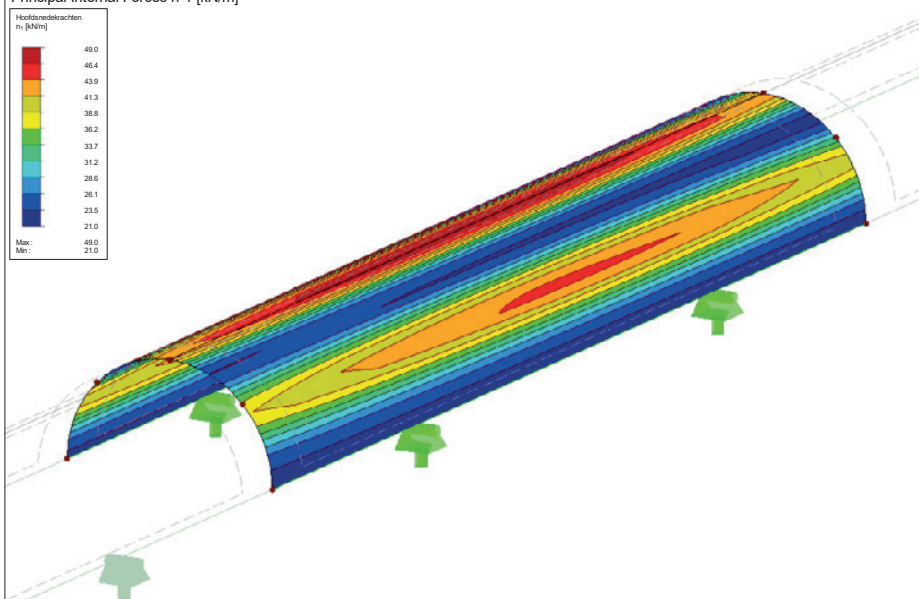


Max n-1: 17.7, Min n-1: 17.6 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n₁

BC2 : 0.4 LC1 + LC2, 20 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch



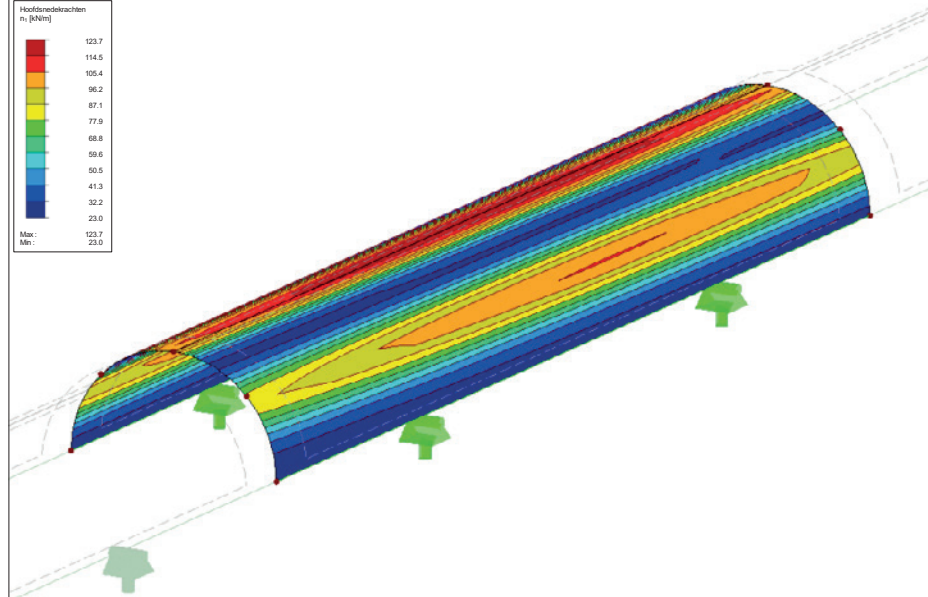
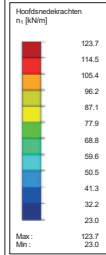
Max n-1: 49.0, Min n-1: 21.0 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC3 : 0.6 LC1 + LC2, 30 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

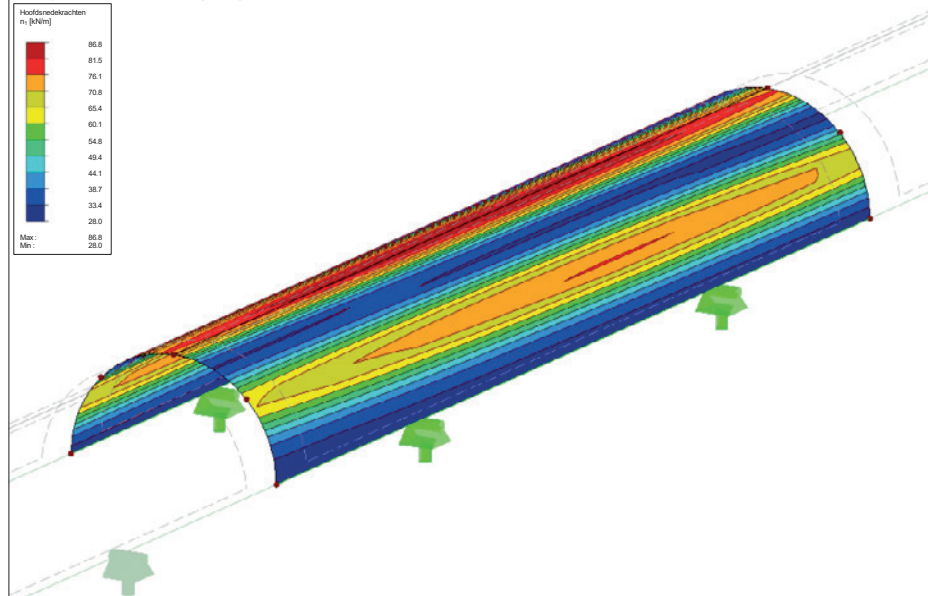
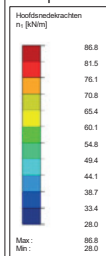


Max n-1: 123.7, Min n-1: 23.0 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC4 : 0.8 LC1 + LC2, 40 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch



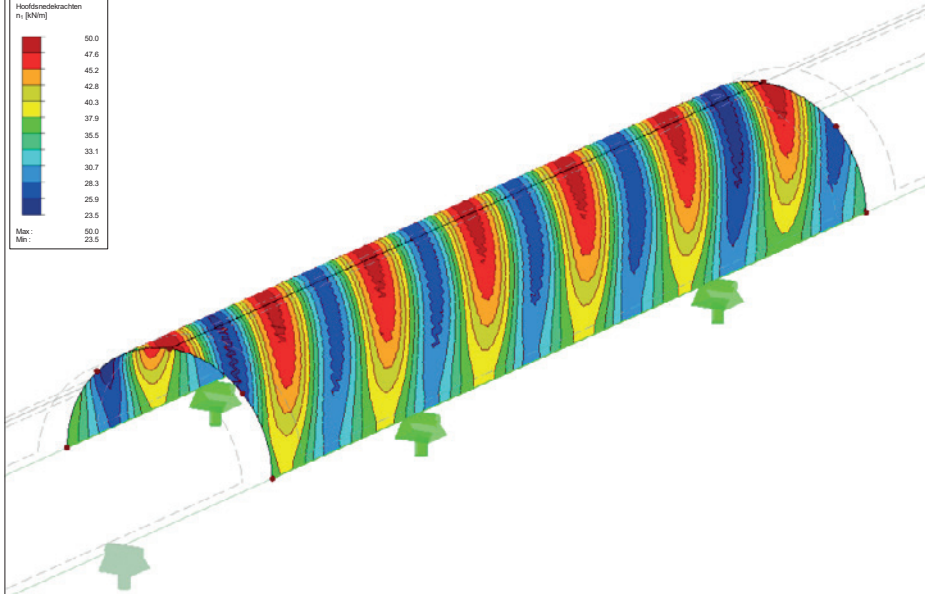
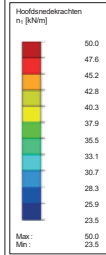
Max n-1: 86.8, Min n-1: 28.0 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC5 : 1.0 LC1 + LC2, 50 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

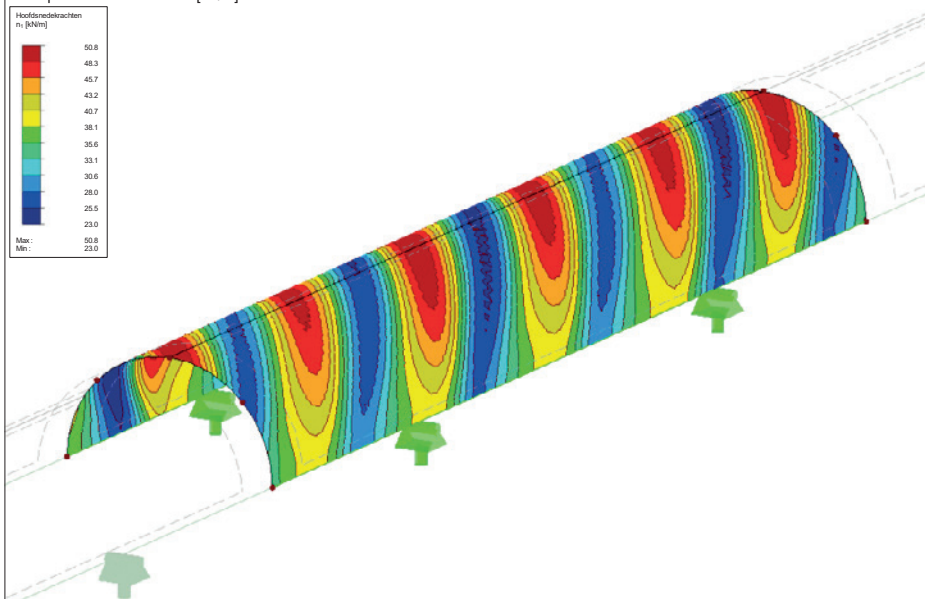
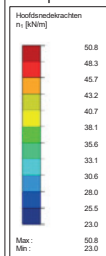


Max n-1: 50.0, Min n-1: 23.5 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC6 : 1.2 LC1 + LC2, 60 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch



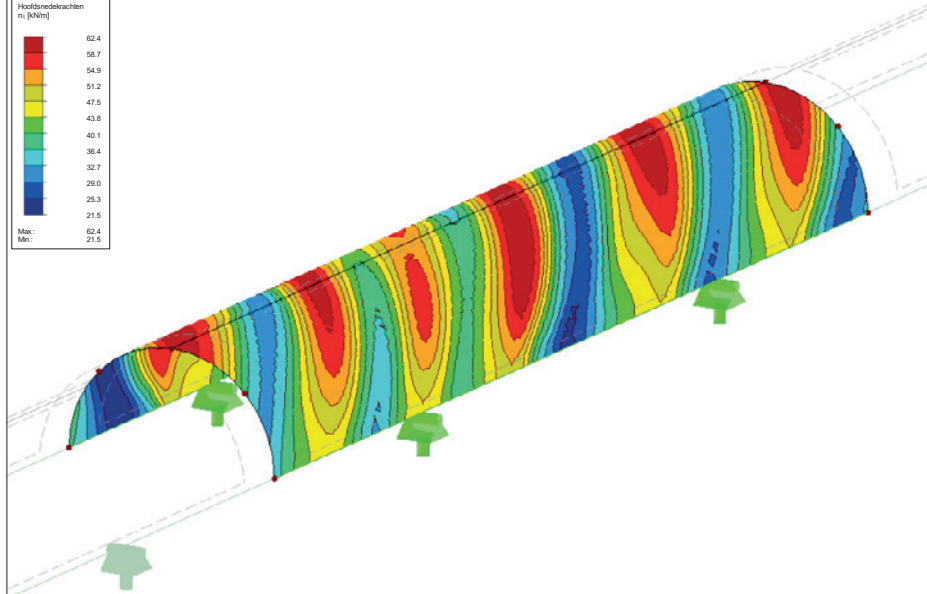
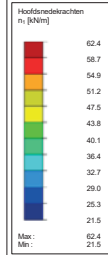
Max n-1: 50.8, Min n-1: 23.0 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC7 : 1.4 LC1 + LC2, 70 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

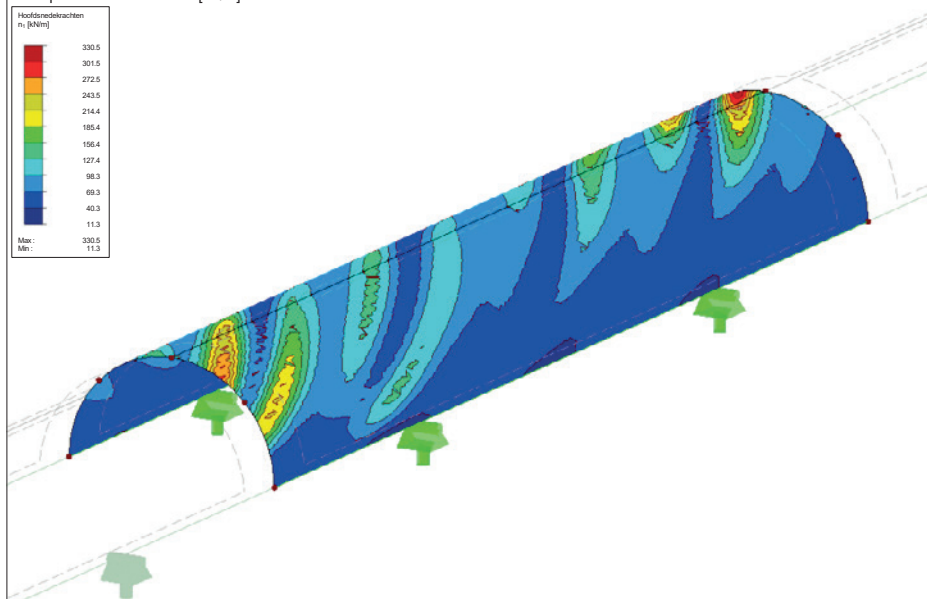
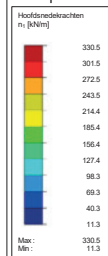


Max n-1: 62.4, Min n-1: 21.5 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC8 : 1.6 LC1 + LC2, 80 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch



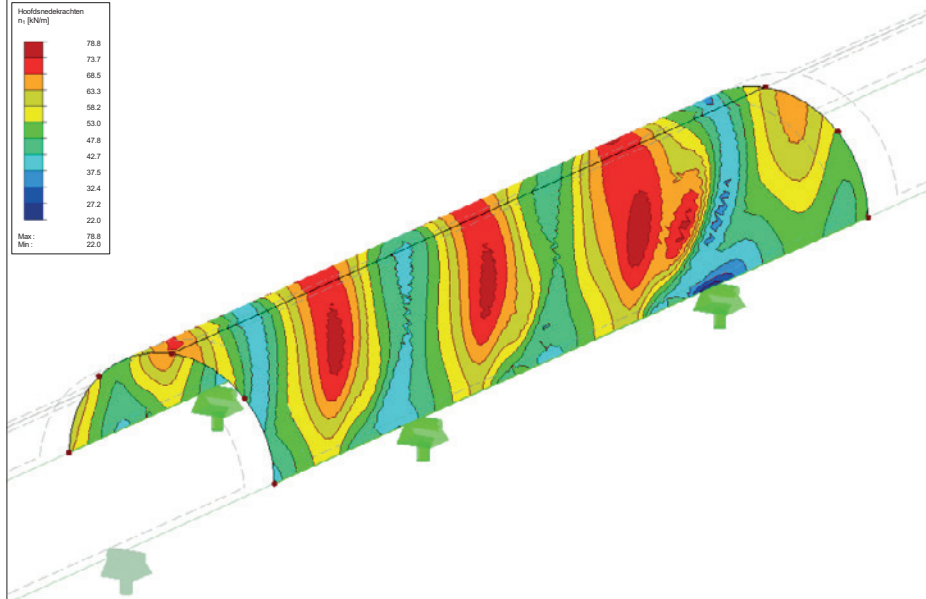
Max n-1: 330.5, Min n-1: 11.3 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC9 : 1.8 LC1 + LC2, 90 mm
Principal Internal Forces n_1 [kN/m]

Isometrisch

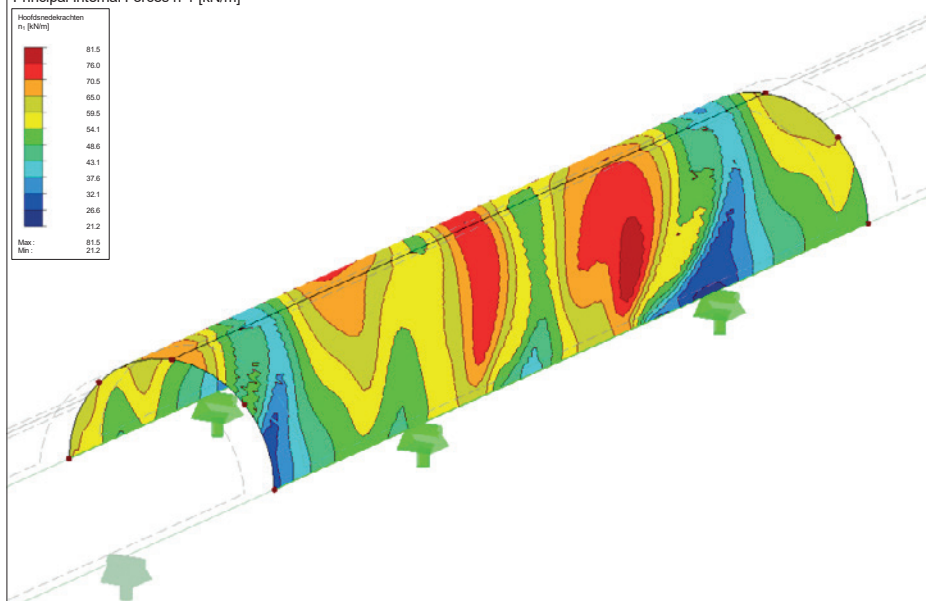


Max n_1 : 78.8, Min n_1 : 22.0 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC11 : 2.0 LC1 + LC2, 100 mm
Principal Internal Forces n_1 [kN/m]

Isometrisch



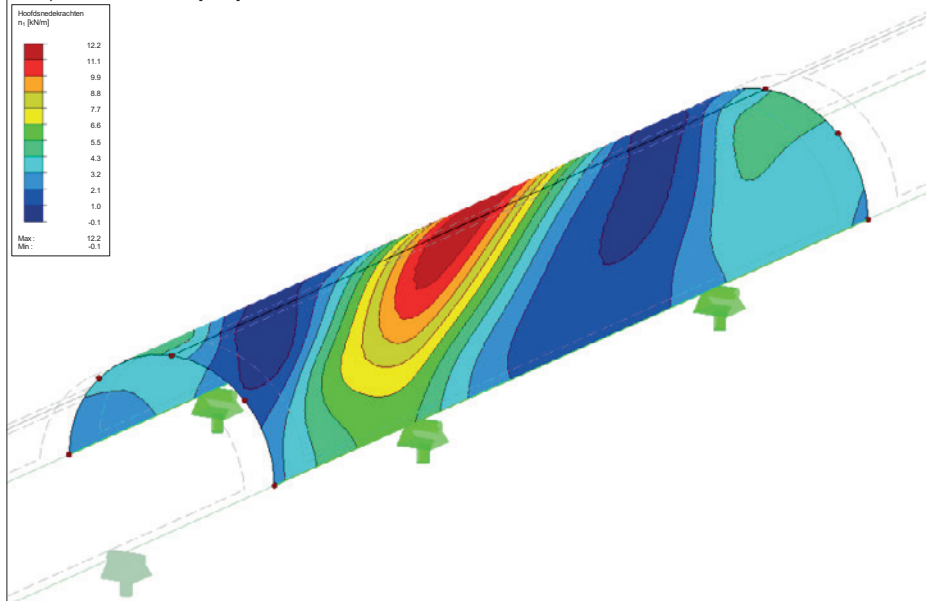
Max n_1 : 81.5, Min n_1 : 21.2 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC21 : 0.2 LC1, 10 mm
Principal Internal Forces n_1 [kN/m]

Isometrisch

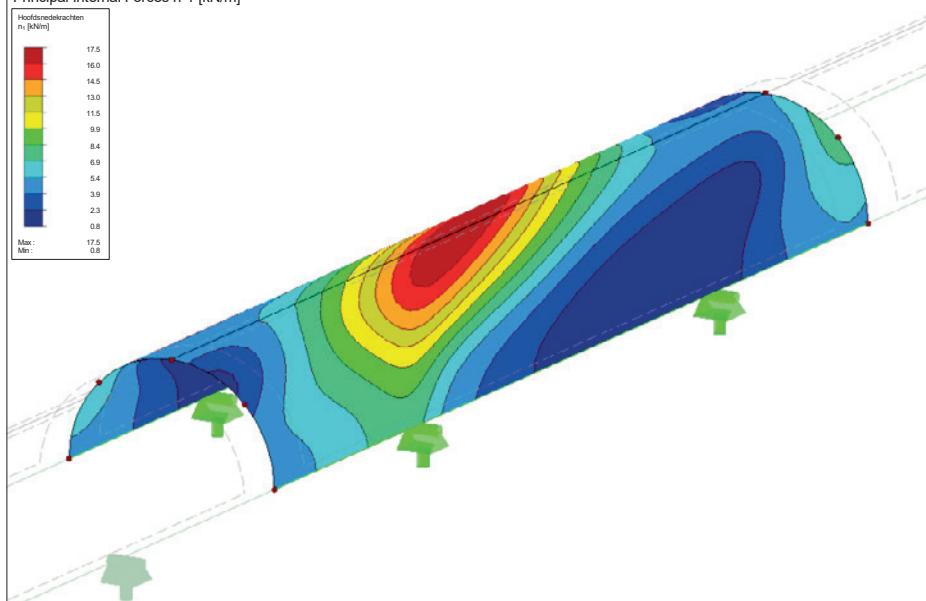


Max n_1 : 12.2, Min n_1 : -0.1 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC22 : 0.4 LC1, 20 mm
Principal Internal Forces n_1 [kN/m]

Isometrisch



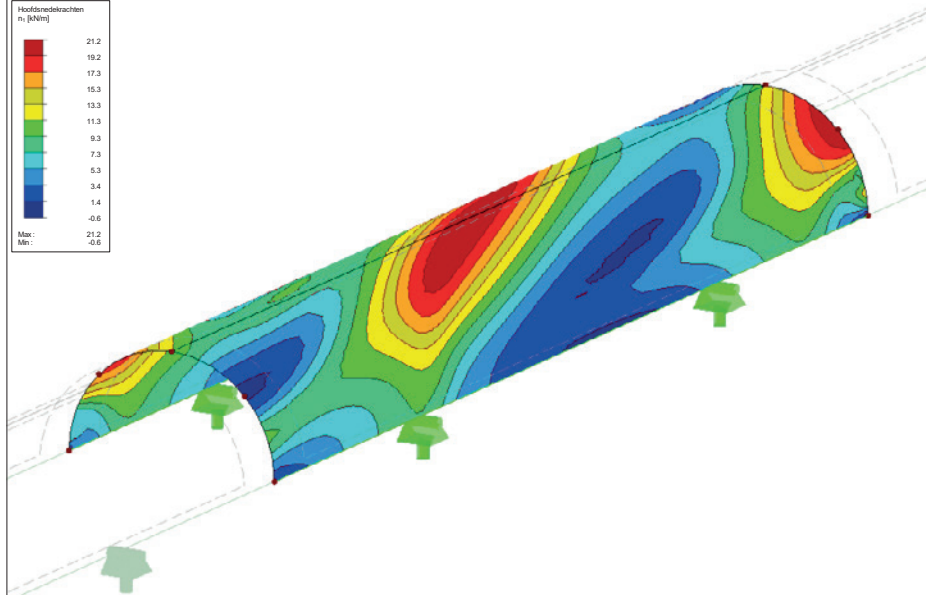
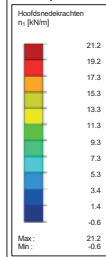
Max n_1 : 17.5, Min n_1 : 0.8 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC23 : 0.6 LC1, 30 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

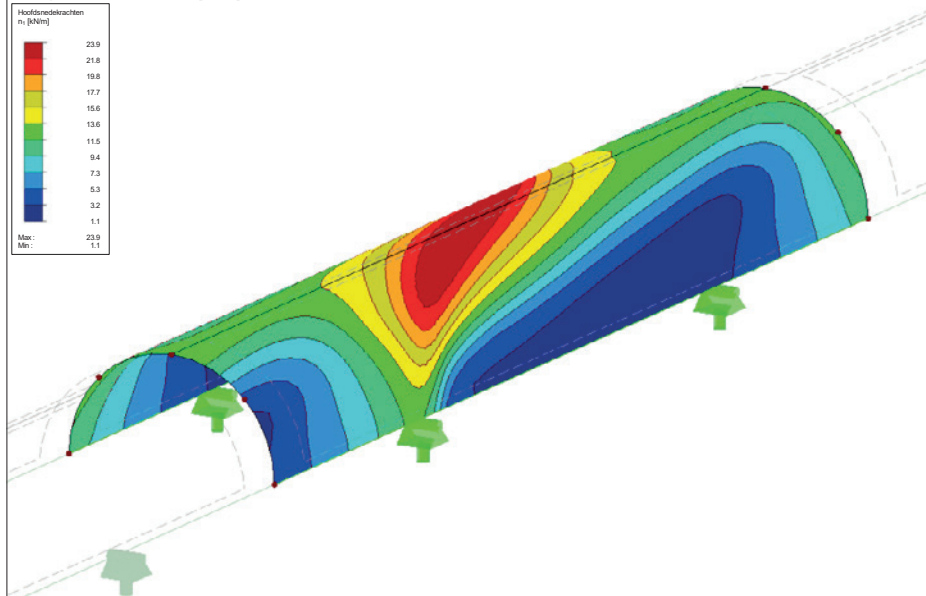
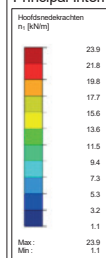


Max n-1: 21.2, Min n-1: -0.6 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC24 : 0.8 LC1, 40 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch



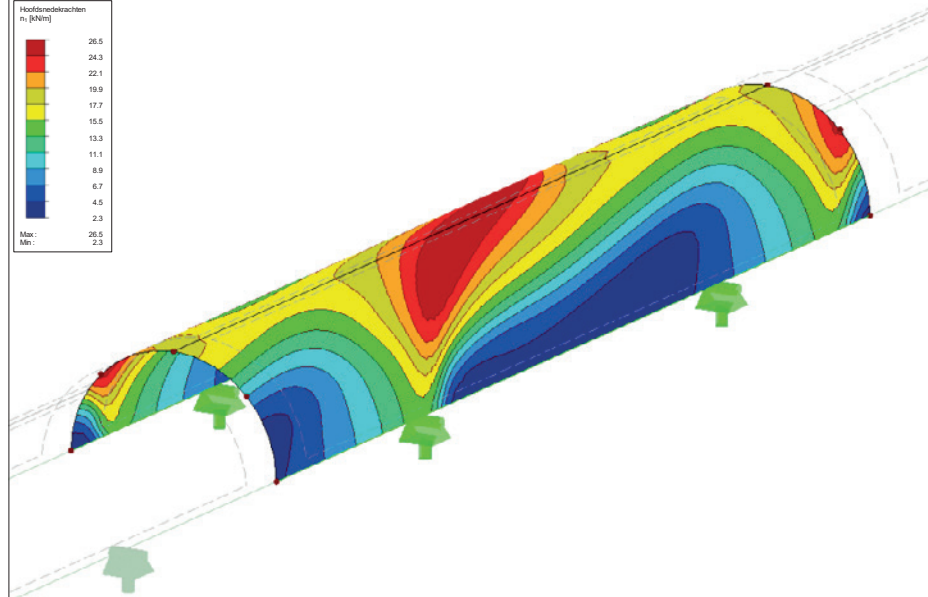
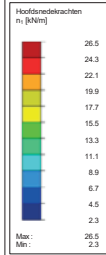
Max n-1: 23.9, Min n-1: 1.1 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC25 : 1.0 LC1, 50 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

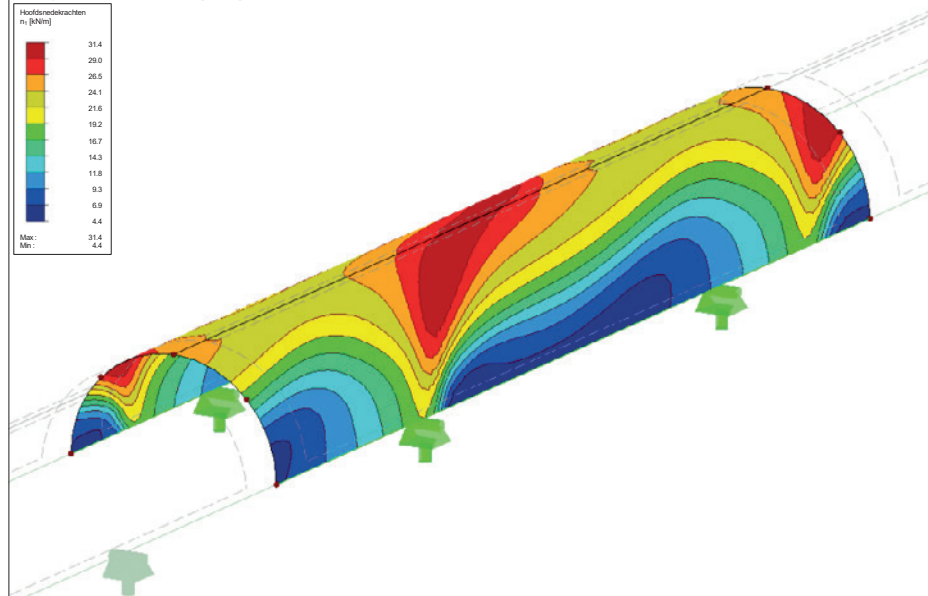
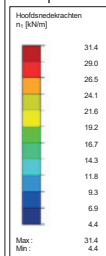


Max n-1: 26.5, Min n-1: 2.3 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC26 : 1.2 LC1, 60 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch



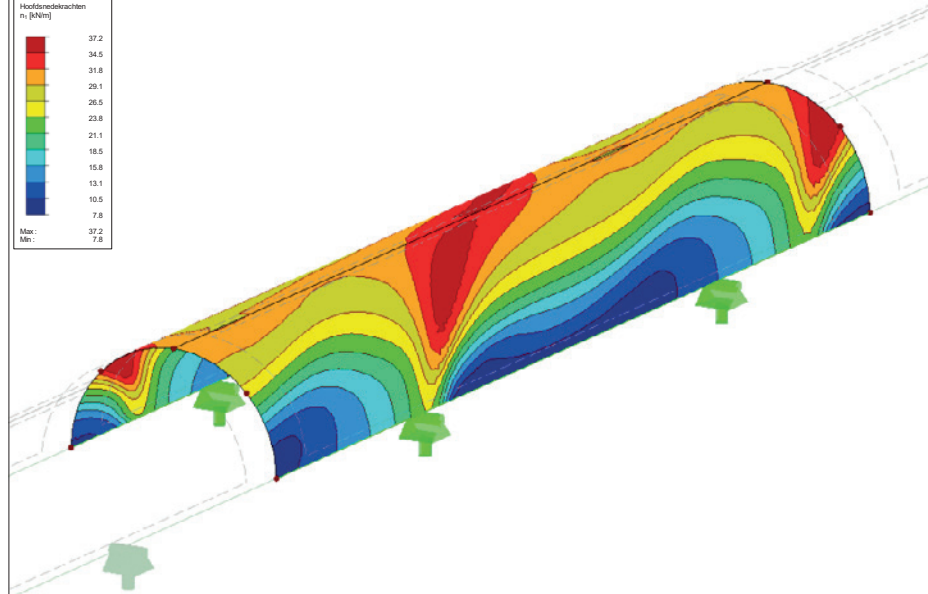
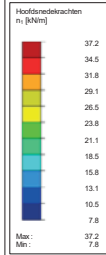
Max n-1: 31.4, Min n-1: 4.4 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC27 : 1.4 LC1, 70 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch

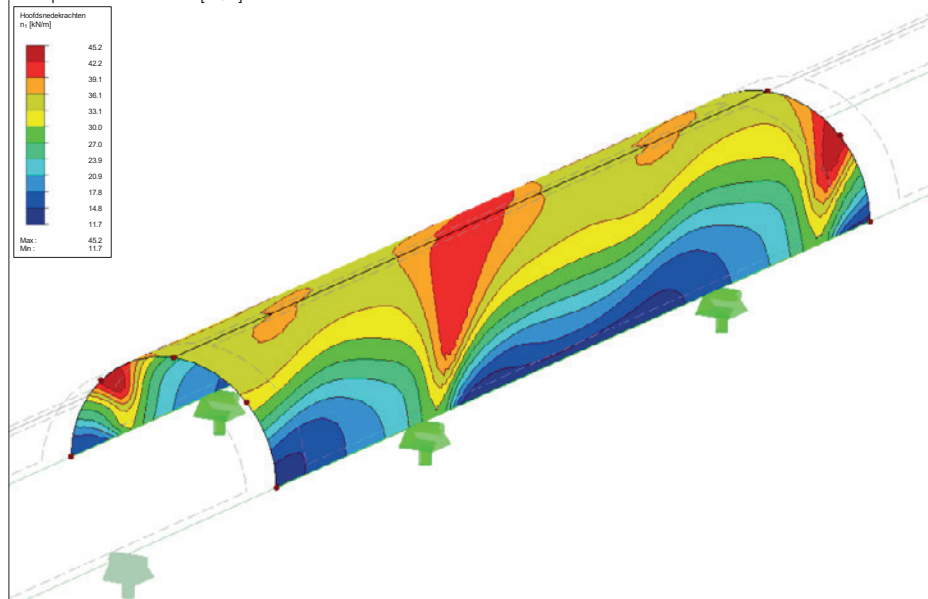
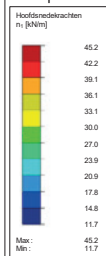


Max n-1: 37.2, Min n-1: 7.8 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC28 : 1.6 LC1, 80 mm
Principal Internal Forces n-1 [kN/m]

Isometrisch



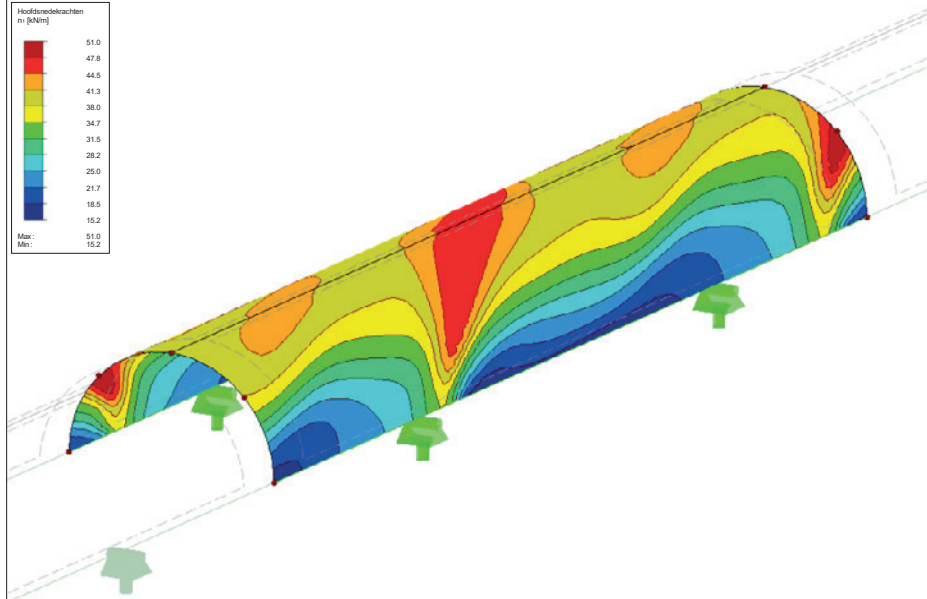
Max n-1: 45.2, Min n-1: 11.7 kN/m

Project: Model: A.2.1. Omega 23.03.07 Datum: 7-3-2023

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC29 : 1.8 LC1, 90 mm
Principal Internal Forces n_1 [kN/m]

Isometrisch

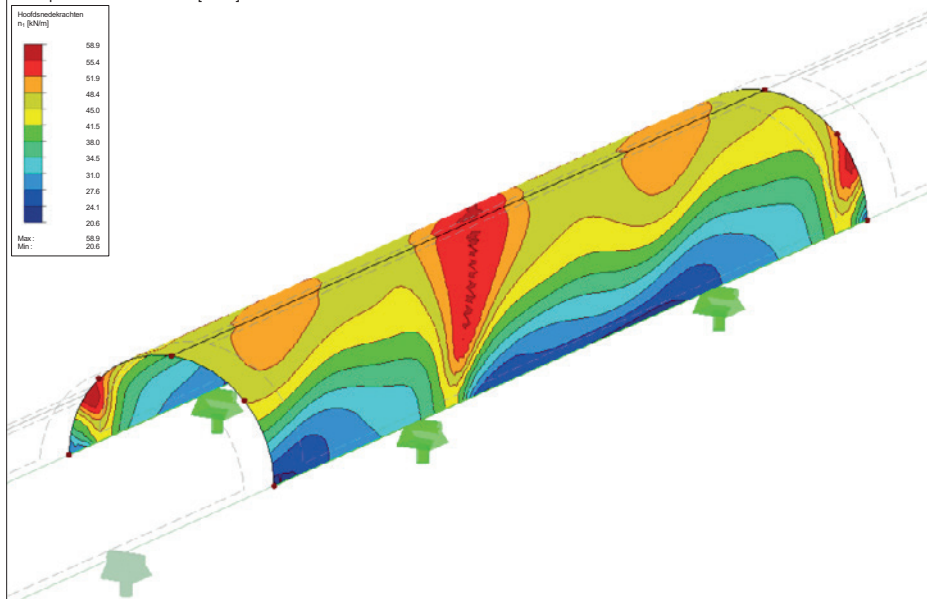


Max n_1 : 51.0, Min n_1 : 15.2 kN/m

HOOFDSNEDEKRACHTEN n_1

BC30 : 2.0 LC1, 100 mm
Principal Internal Forces n_1 [kN/m]

Isometrisch



Max n_1 : 58.9, Min n_1 : 20.6 kN/m

1.1 ALGEMENE GEGEVENS

- Aantal van laagste Eigenwaardes (Eigenvectoren voor knikken/plooien): 4
- Normering van eigenvectoren: Zodanig dat $|u|=1$
- Importeer normaalkrachten uit RFEM van: BC25 - 1.0 LC1, 50 mm
- Beschouw het gunstige effect t.g.v. trek:
- Beschouw normaalkrachten als voorspanning:
- Eigenwaarde Berekeningsmethode: Methode door Lanczos
Wortels van de karakteristieke polynoom
Subspace Iteratie Methode
ICG Iteratie Methode
- Stabiliteitsberekening van BG/CO-resultaten
Stabiliteitsberekening voor verhoogde belasting t.g.v. bezwijken constructie:
- Matrix-type: Standaard
- Activeer stijfheidsmodificatie vanuit RFEM

2.1 KRITISCHE BELASTINGSFACTOREN

| E-waard No. | Kritisch Belastingsfactor f | Vergroting Factor α |
|-------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 1.078 | 13.782 |
| 2 | 1.089 | 12.215 |
| 3 | 1.111 | 10.017 |
| 4 | 1.226 | 5.432 |

Resultaten

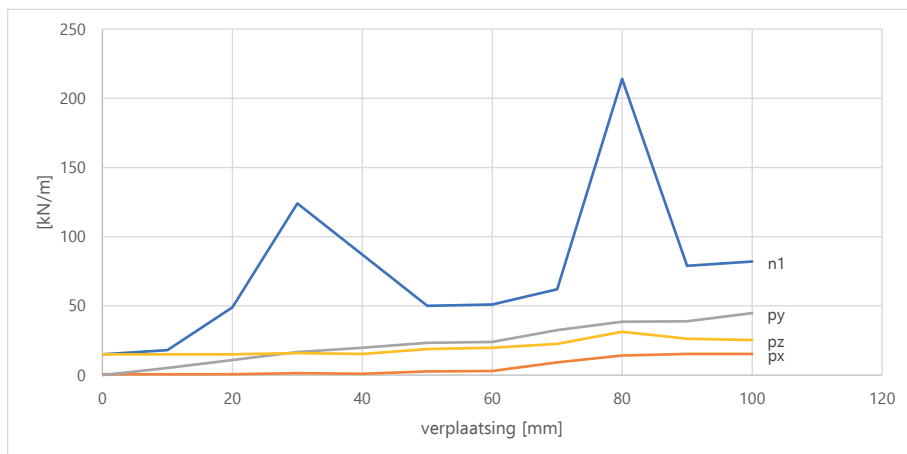
In de onderstaande tabel staan de resultaten van de RFEM-berekening voor:

- n_1 : normaalkracht in hoofdtrekrichting
- p_x, p_y, p_z : reactiekrachten in respectievelijk x- (radiaal), y- (longitudinaal) en z-richting (tangentele richting).

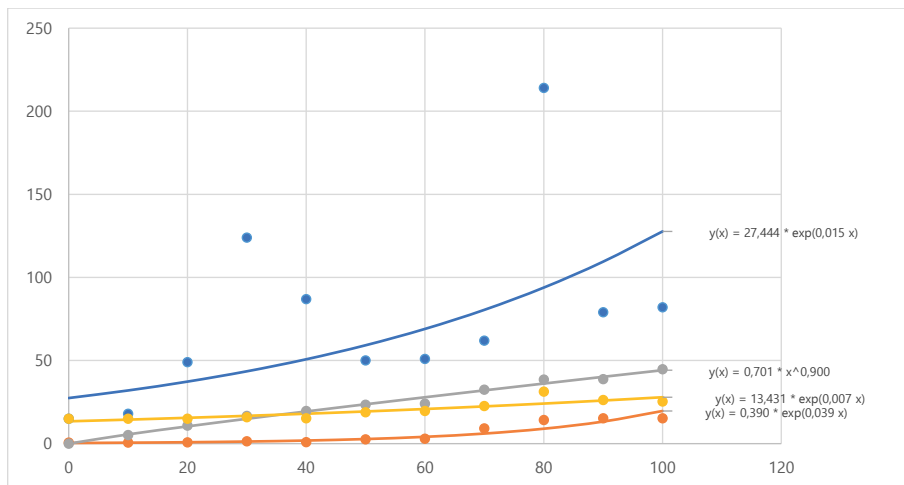
De belastingscombinaties dienen te worden beoordeeld t.o.v. BG2, het belastingsgeval met enkel waterdruk. Het betreft niet de maximale resultaten van een belastingcombinatie, de resultaten zijn echter wel vergelijkbaar omdat ze op dezelfde locatie zijn genomen.

| | Δy [mm] | p [kN/m ²] | n_1 [kN/m] | p_x [kN/m] | p_y [kN/m] | p_z [kN/m] |
|------|-----------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| BG1 | 50 | 0 | 27 | 2,5 | 10,2 | 5,8 |
| BG2 | 0 | 150 | 15 | 0,6 | 0 | 15 |
| BC1 | 10 | 150 | 18 | 0,6 | 5,2 | 15 |
| BC2 | 20 | 150 | 49 | 0,7 | 10,9 | 15 |
| BC3 | 30 | 150 | 124 | 1,4 | 16,7 | 15,9 |
| BC4 | 40 | 150 | 87 | 0,9 | 19,7 | 15,2 |
| BC5 | 50 | 150 | 50 | 2,6 | 23,4 | 18,9 |
| BC6 | 60 | 150 | 51 | 2,9 | 24 | 19,7 |
| BC7 | 70 | 150 | 62 | 9,2 | 32,5 | 22,6 |
| BC8 | 80 | 150 | 214 | 14,2 | 38,5 | 31,3 |
| BC9 | 90 | 150 | 79 | 15,3 | 38,8 | 26,3 |
| BC10 | 100 | 150 | 82 | 15,3 | 44,8 | 25,4 |

In de onderstaande grafiek is de hoogste normaaltrekkkracht en de reactiekrachten p_x, p_y en p_z weergegeven als functie van de verplaatsingen (of scheefstand) van de voeg.

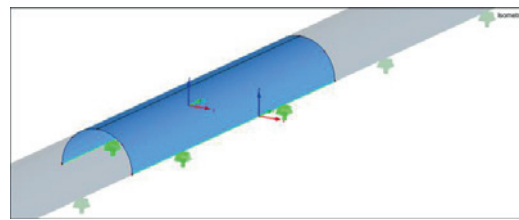


In de onderstaande grafiek is door middel van least-squares-fitting de benadering weergegeven met de grootste correlatie. Voor n_1 is de correlatie klein hetgeen verklaard wordt door de vorming van de plooiën. Voor de overige parameters lijkt de correlatie beter te passen.

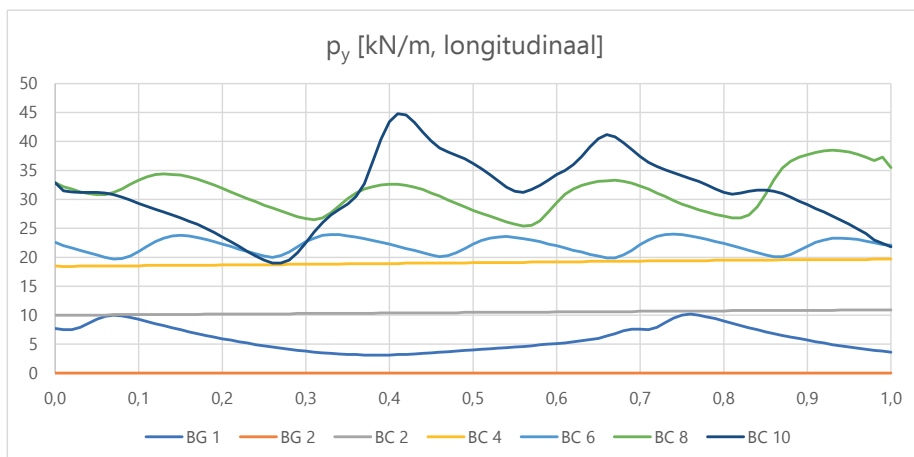
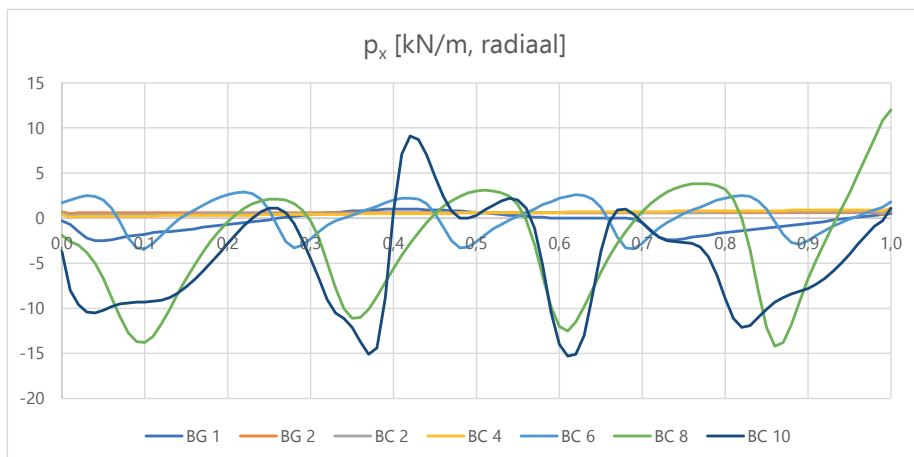


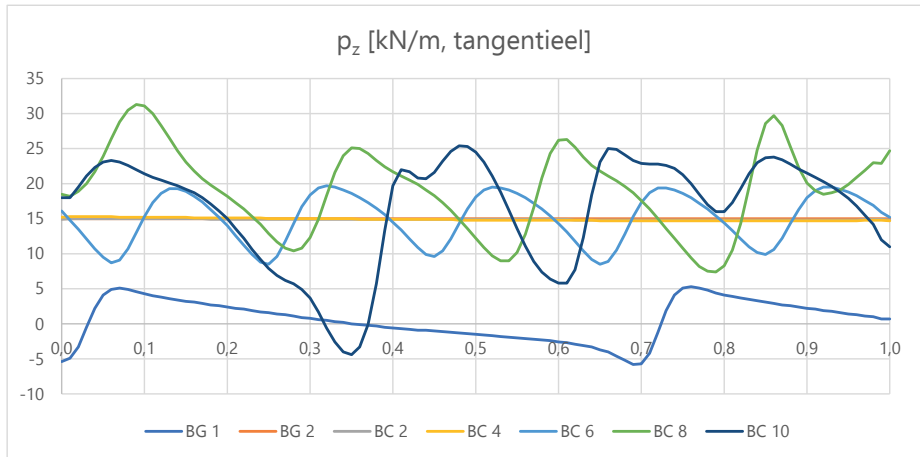
Oplegreacties

| | p [kN/m ²] | Δy [mm] |
|------|--------------------------|-----------------|
| BG1 | 0 | 50 |
| BG2 | 150 | 0 |
| BC2 | 150 | 20 |
| BC4 | 150 | 40 |
| BC6 | 150 | 60 |
| BC8 | 150 | 80 |
| BC10 | 150 | 100 |



Assenstelsel oplegging





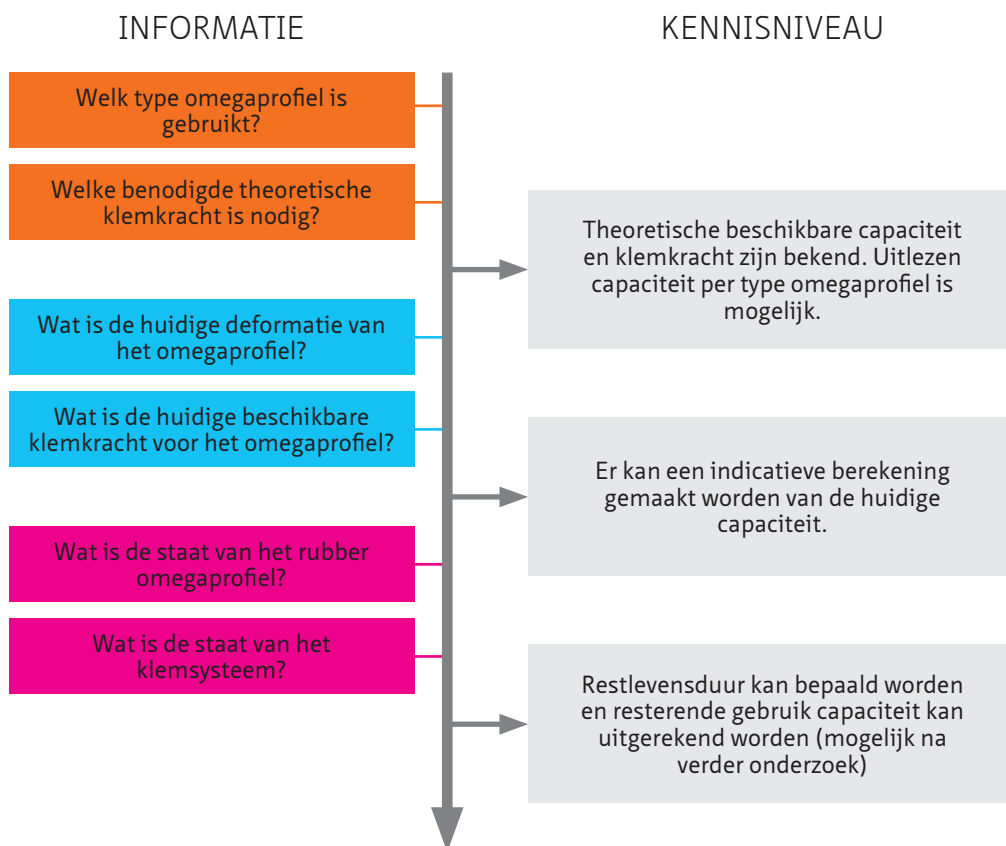
Bijlage C Referentielijst gina- en omegaprofielen

Trelleborg

| Project | Year | Gina | Omega |
|---|------|-----------------------------|--|
| Metro Rotterdam - The Netherlands | 1966 | | OS 300-70 |
| Coolhaven-tunnel - The Netherlands | 1981 | TS 120-130-42 | |
| Botlek-tunnel - The Netherlands | 1983 | | OS 240-20 |
| EMS-tunnel - Germany | 1985 | | OS 240-40 |
| Liefkenshoek-tunnel - Belgium | 1987 | ETS 130-160 ETS 180-220 | OS 240-40 OS 300-70 |
| Tunnel de Noord - The Netherlands | 1989 | ETS 130-160 | OS 1255-240-10 OS 300-70 |
| Boston Harbour Tunnel - USA | 1992 | ETS 180-220 | OS 240-40 |
| Medway Tunnel - UK | 1994 | ETS 130-160 | OS 300-70 |
| Piet Hein Tunnel - The Netherlands | 1993 | ETS 130-160 | OS 240-40 |
| Wijker Tunnel - The Netherlands | 1994 | ETS 130-160 | OS 300-70 |
| Metro Tunnel CH 221 - Taiwan | 1998 | | OS 240-40 |
| Muni Metro T.F. - California, USA | 1999 | | OS 240-40 |
| APM tunnel Hong Kong Airport - China | 1995 | | OS 300-70 FM IS 150 |
| Ascacentre Shiplift - Belgium | 1995 | | OS 400-100 OS 300-70 WS 365, WS 400, WS 483 |
| River Lee tunnel - Cork, Ireland | 1996 | ETS 130-160 | OS 300-70 |
| Tuas Bay tunnel - Singapore | 1997 | ETS 130-160 | OS 300-70 |
| Oresund tunnel - Denmark-Sweden | 1997 | ETS 200-260 | OS 400-100 |
| Fort Point Tunnel - Boston, USA | 1998 | ETS 180-220 | OS 300-70 OS 240-40 |
| MRT Chnnho-line - Taiwan | 1999 | | OS 130-15 OS 170-20 |
| Beneux Tunnel - The Netherlands | 1998 | | OS 360-100 |
| Caland Tunnel - The Netherlands | 1998 | ETS 130-160 | OS 360-100 |
| MRTA Metro stations - Bangkok, Thailand | 2000 | | OS 240-40 OS 300-70 OS 360-100 |
| Changhong Tunnel - Ningbo, China | 2000 | ETS 130-160 | OS 240-40 |
| South Boston Piers Transitway - Boston, USA | 2001 | ETS 130-160 | OS 300-70 |
| Possey-Webster Tube Retrofit - San Francisco, USA | 2001 | | OS 300-70 OS 360-100 |
| Taihe Road tunnel - Shanghai, China | 2001 | ETS 180-220 | OS 300-70 |
| Wanowquerung tunnel - Rostock, Germany | 2001 | ETS 130-160 | OS 240-40 |
| Sophia railtunnel - The Netherlands | 2001 | | OS 300-70 |
| Shiplift - Falkirk, UK | 2001 | | OS 300-70 |
| Pont Canal - Houdeng, Belgium | 2002 | | WS 750 |
| HSL tunnel Oude Maas - The Netherlands | 2002 | ETS 200-260 | OS 360-100 |
| HSL tunnel Dordse Kil - The Netherlands | 2002 | ETS 200-260 | OS 360-100 |
| Westerscheldetunnel - The Netherlands | 2002 | | OS 240-40 |
| Kanalbrücke Magdeburg - Germany | 2002 | | WS-1400 |
| KCRC East Rail Extension - Hong Kong, China | 2002 | | OS 300-70 |
| Moody Road station - Hong Kong, China | 2003 | | OS 300-70 |
| Middle Road station - Hong Kong, China | 2003 | | OS 300-70 |
| TST station Kowloon - Hong Kong, China | 2004 | | OS 240-40 |
| Shanghai Shenpei International - Shanghai, China | 2004 | | OS 400-100 |
| BBC building - London, UK | 2004 | | OS 240-40 |
| Shuce Uelzen - Germany | 2004 | | OS 270-50 |
| Choi Hung Path - Hong Kong | 2005 | | OS 240-40 |
| Roer tunnel - The Netherlands | 2005 | ETS 130-160 | OS 300-70 |
| Guangzhou tunnel - China | 2005 | ETS 130-160 | OS 300-70 |
| North-South line - Amsterdam | 2006 | ETS 130-160 | OS 240-40 |
| Bjørsvika tunnel - Oslo, Norway | 2006 | ETS 180-220 | OS 300-70 |
| Busan - Geoje tunnel - Korea | 2006 | | OS 240-40 & OS 400-100 |
| Ring road tunnel - Saint-Petersburg, Russia | 2007 | | OS 300-70 & WS 750 |
| Limerick - Ireland | 2007 | ETS 180-220 | OS 300-70 |
| 2nd Guangzhou tunnel - China | 2007 | ETS 130-160 | OS 300-70 |
| Coatzacoalcos - Mexico | 2008 | G320-370 | OS 500-140 |
| New Tyne crossing - New Castle, UK | 2009 | G125-150 | OS 300-70 |
| Lai Chi Kok Metro Station - Hong Kong, China | 2009 | | OS 240-40 |
| Hyatt Hotel - Hong Kong, China | 2009 | | OS 240-40 |
| Tianjin Haihe River Tunnel - Tianjin, China | 2009 | G220-205 | OS 360-70 |
| Soderström Tunnel - Stockholm - Sweden | 2009 | ETS 130-160 | OS 240-40 |
| Tingsstad Tunnel - Gothenburg - Sweden | 2009 | | OS 300-100 |
| N57 Tunnel - Middelburg - The Netherlands | 2009 | ETS 130-160 | OS 240-40 |
| Second Coen tunnel - Amsterdam - NL | 2010 | ETS180-220 & ETS 260-200 | OS 360-100 |
| Zhou You Zui tunnel - Guangzhou - China | 2010 | G125-150 | OS 300-70 |
| Zhoushan City tunnel - China | 2010 | G200-270 | OS 360-100 |
| Hong Kong Macau Zhuhai | 2011 | G320-370 | OS 400-100 |
| | 2017 | | OS 240-40 |
| Jeddah Conference Centre - Saudi Arabia | | | OS 240-40 |
| FusionPolis Singapore | 2011 | | OS 240-40 |
| BART - Fremont station San Francisco - USA | 2011 | | OS 240-40 |
| GMP - Corpus Christi - Texas USA | | G270-200 | |
| Wanchai - Hong Kong | 2011 | ETS 140-200 | |
| APM Tunnel Hong Kong Airport | 2012 | | OS 240-40 |
| P532 Tunnel Kowloon Hong Kong | 2012 | | OS 240-40 |
| Venice - Italia - Treporti | 2012 | G220-205 | OS 360-100 |
| Venice - Italia - Malamocco & St Nicolo | 2013 | G220-205 | OS 360-100 |
| Venice - Italia - Clodia | 2014 | G220-205 | OS 360-100 |
| IJtunnel - Amsterdam The Netherlands | 2014 | ETS 130-160 | OS 240-40 |
| Mid-towntunnel - Virginia - USA | 2014 | G205-275 | OS 360-100 |
| Foshan Tunnel Guangzhou China | 2015 | G220-205 | OS 300-100 |
| Nanchang Honggu I Tunnel - China | 2015 | G225-275 | OS 400-100 |
| Shatin To Central - Hong Kong | 2016 | G300-370 | OS 400-100 |
| Maieholm Tunnel - Gothenburg Sweden | 2016 | G220-205 | OS 400-100 |

Bijlage D Aanpak restlevensduurbepaling

Afhankelijk van de hoeveelheid informatie die beschikbaar is, kan men een berekening en aanname doen voor de huidige voegcapaciteit. Hiervoor is onderstaand stappenplan opgesteld, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de benodigde informatie en het benodigde kennisniveau. Elke stap voegt extra informatie toe, die weer leidt tot een meer gefundeerde uitspraak over de betreffende capaciteit van het omegaprofiel in de specifieke gedefinieerde situatie. Om het benodigde kennisniveau te bereiken, is vaak meer onderzoek noodzakelijk en uiteindelijk zullen altijd in de praktijk metingen verricht moeten worden.



Voegdetailering

Welk type voeg is gebruikt? Bestudeer oude tekeningen en documenten waaruit de details gehaald kunnen worden om het type omegaprofiel en het klemsysteem te achterhalen. Maak gebruik van de referentielijst voor het type omegaprofiel; zie [BIJLAGE C](#).

Voegcriteria

Elke voeg heeft zijn eigen karakteristieke eisen. De waterdruk kan per voeg en tunnel verschillen, maar ook de benodigde dilatatiecapaciteit. Oorspronkelijke ontwerpgegevens kunnen hier inzicht in bieden. Zo niet, dan kan men een herberekening doen om de criteria achteraf alsnog te bepalen. Met name voor de restlevensduurbepaling is het belangrijk te weten wat de dynamische voegbewegingen zijn (getijden en seizoenen). Ook kan een aanname worden gedaan over de mogelijke maximale theoretisch te verwachten deformatie indien metingen niet mogelijk zijn. Belangrijk is om hierin de reeds opgenomen deformatie en de relatie tot de nog te verwachten deformatie mee te nemen. Bij thermische expansie en contractie van de tunnelelementen is de huidige deformatie altijd een momentopname.

Deformatiemeting omega

Na het monteren van de omega-afdichting is er mogelijk deformatie opgetreden. Dit kan zichtbaar zijn door plooiën. De huidige stand van het omegaprofiel is belangrijk om de restcapaciteit uit te rekenen. De huidige deformatiemeting dient in de voeg te gebeuren of via aannames en interpolatie van meetpunten.

Klemkrachtmeting

Voor de huidige klemkracht in het klemsysteem is belangrijk om te bepalen of deze bij de huidige stand van het omegaprofiel voldoende is om het profiel vast te houden en de waterdichtheid te garanderen. De klemkracht kan worden bepaald door de indrukking van de flens van de omega te meten of door de boutkracht te bepalen met een vijzelproef.

Staat omega

Het rubber van het omegaprofiel kan verouderen. Ook kan er schade zijn ontstaan door invloeden van buitenaf. Door het nemen en boren van een prop en sample uit de flens kan een meting gedaan worden op de huidige elasticiteit van het rubber. Middels een relaxatie- en compressieproef op het sample kan achterhaald worden wat de staat van het rubber is voor het bepalen van de restlevensduur.

Staat klemsysteem

De huidige klemstrippen moeten een bepaalde klemkracht genereren. De huidige staat van het staal kan door corrosie of ander falen een beperking geven op de maximaal opneembare klemkracht. Een inspectie is noodzakelijk om de staat van de klemstrippen te controleren.

Colofon

Uitgever

Het Nederlands kenniscentrum voor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik (COB).



Van der Burghweg 2, 2628 CS Delft • gebouw De Bouwcampus
Postbus 582, 2600 AN Delft
085 4862 410 • info@cob.nl • www.cob.nl

Auteurs

- Ruben van Montfoort (secretaris), DEME
- Jan Kloosterman, Nebest
- Bard Louis, MH Poly
- Joel van Stee, Duranium Engineering

Met hulp van

- Roline Montijn, MH Poly
- Douwe Dijkstra, MH Poly

Controleurs

- Brenda Berkhout (voorzitter), COB/TEC
- Wout Broere, TU Delft
- Rolf Dalmeijer, gemeente Rotterdam
- Chris Hakkaart, zelfstandig

Eindredactie en opmaak

Marije Nieuwenhuizen, COB/Gryffin

Publicatiedatum

24 maart 2023

Coverbeeld

Beelden uit het rapport, met op de achtergrond de Vlaketunnel (beeldbank Rijkswaterstaat, Rens Jacobs).

Downloaden

Deze publicatie is gratis te downloaden via www.cob.nl/kennisbank.

Hergebruik

Teksten uit deze publicatie mogen vrij worden overgenomen, mits voorzien van een duidelijke bronvermelding. Voor hergebruik van figuren en foto's dient u vooraf toestemming te vragen van de aangegeven bronhouder. Als er geen bron is vermeld, dan geldt deze publicatie als bron.

Het COB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van de uitgave. Toch moet niet worden uitgesloten dat er fouten of onvolledigheden in voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker. Het COB sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens het COB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Effect van plooivorming bij omegaprofielen

Verkennd onderzoek naar de beïnvloeding van de capaciteit van omegaprofielen in zinktunnels

Het zogeten omegaprofiel wordt aan de binnenzijde van zinktunnels aangebracht als afdichting van de voegen tussen tunnelelementen. Uit endoscopisch onderzoek blijkt dat er in dit rubberen profiel plooien kunnen ontstaan. Het COB-netwerk heeft onderzocht in hoeverre deze plooivorming een risico vormt voor de waterdichte werking van het omegaprofiel.

Het omegaprofiel heeft zijn naam te danken aan zijn vorm, die lijkt op de Griekse letter omega (Ω). Het ontstaan van plooien wordt veroorzaakt door verplaatsingsverschillen over een voeg. De plooien treden op in de wanden bij een overgang tussen een onderheid tunneldeel en een op staal gefundeerd tunneldeel (verticale verplaatsing). In zeldzame gevallen kunnen ook plooien ontstaan in het dak en de vloer door bijvoorbeeld ongelijke grondaanvullingen (horizontale verplaatsing).

In dit rapport wordt eerst de werking van het omegaprofiel nader toegelicht. Hierbij wordt ook ingegaan op de faalmechanismen en oorzaken voor kwaliteitsafname. De beïnvloeding van de capaciteit van het omegaprofiel door plooivorming is zowel met een geometrische als met een eindige-elementenmethode (*finite element method*, FEM) onderzocht.

De geometrische methode wijst op een minimaal effect van plooien op de werking van het omegaprofiel. Hoewel de FEM-analyses in dit onderzoek nog met de nodige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd, lijkt plooivorming tot een significante verhoging van de spanningen in het omegaprofiel te leiden, zowel in de situatie met als zonder belasting door waterdruk. Er kan niet worden uitgesloten dat plooivorming een negatief effect heeft op de capaciteit van het omegaprofiel. Tot nu toe leiden de waargenomen plooien (waarbij er voor zover bekend geen water achter het omegaprofiel zit) niet tot zichtbare schade aan het omegaprofiel.