Witteveen + Bos



Straatkelder Choorstraat [redacted]

Rapport Verificatieberekening

Gemeente Utrecht

21 september 2021

Project	Straatkelder Choorstraat [redacted]
Opdrachtgever	Gemeente Utrecht
Document	Rapport Verificatieberekening
Status	Definitief 02
Datum	21 september 2021
Referentie	122608/21-014.190
Projectcode	122608
Projectleider	[redacted]
Projectdirecteur	[redacted]
Auteur(s)	[redacted]
Gecontroleerd door	[redacted]
Goedgekeurd door	[redacted]
Paraaf	

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Hoogoorddreef 15
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
+31 (0)20 312 55 55
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.
© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

MANAGEMENT SAMENVATTING 6

1 INLEIDING 8

1.1 Object CHS [redacted] Choorstraat [redacted] 8
1.2 Doel van de verificatie 8
1.3 Leeswijzer 8

2 UITGANGSPUNTEN, RANDVOORWAARDEN EN REKENMETHODIEK 10

2.1 Beschrijving situatie 10
2.2 Beoordelingsscope 14
2.3 Veiligheidsfilosofie en Rekenmethodiek 14
2.3.1 BGT 15
2.3.2 UGT 17

3 MATERIAALGEGEVENS 21

3.1 Grondopbouw en geotechnische parameters 21
3.2 Eigenschappen metselwerk 23

4 MODELLERING EN BEREKENING 24

4.1 Inleiding 24
4.2 Model beschrijving 24
4.2.1 Uitgangspunten en geometrie 24
4.2.2 Gefaseerde berekening 27
4.2.3 Beschouwde belastingposities 29
4.2.4 Grondopbouw en grondparameters 31
4.2.5 Metselwerkeigenschappen 31
4.2.6 Overige eigenschappen 32

5 EXTERNE BELASTINGEN EN BELASTINGCOMBINATIES 34

5.1 Classificatie 34
5.2 Permanente belastingen 34

5.3 Veranderlijke belastingen 35
5.3.1 Lastbeperking via bebording 35
5.3.2 Belastingmodel 3 (BM3) 37
5.3.3 Veranderlijke belasting gebouw 38
5.4 Horizontaal rem- en versnellingskrachten 38
5.5 Belastingcombinaties 39

6 VERIFICATIEBEREKENING 41

6.1 Inleiding 41
6.2 Resultaten berekening belastinggeval eigen gewicht 41
6.3 BGT 44
6.3.1 C20 bebording 44
6.3.2 BM3 50
6.4 UGT 54
6.4.1 GRF-C20 bebording 54
6.4.2 GRF-BM3 59
6.4.3 PF-C20 bebording 63
6.4.4 PF-BM3 67
6.4.5 Beschouwing geldigheid GRF methode in geval van afschuifbezwijken 71
6.4.6 GRF-2-C20 bebording 72
6.4.7 GRF-2-BM3 74
6.5 Geotechnisch draagvermogen draagmuur 75

7 CONCLUSIE 78

8 REFERENTIES 80

Laatste pagina 80

Bijlage(n)

I Materiaalparameters Diana 2
II BGT RESULTATEN - C20 BEBORDING 81
III BGT RESULTATEN - BM3 BELASTING 16
IV UGT-GRF RESULTATEN - C20 BEBORDING 55
V UGT-GRF RESULTATEN - BM3 BELASTING 13
VI UGT-PF RESULTATEN - C20 BEBORDING 69
VII UGT-PF RESULTATEN - BM3 BELASTING 14
VIII BGT ANALYSES - CONVERGENTIE GEDRAG 5
IX UGT-GRF ANALYSES - CONVERGENTIE GEDRAG 5

X	UGT-PF ANALYSES - CONVERGENTIE GEDRAG	14
XI	UGT-GRF ANALYSES - DRAAGKRACHT-VERVORMING PLOTS	5
XII	UGT-PF ANALYSES - DRAAGKRACHT-VERVORMING PLOTS	5
XIII	GEOTECHNISCHE DRAAGVERMOGEN KELDER DRAAGMUUR	5
XIV	Werfkelder Choorstraat [redacted] - Onderzoeks- en inspectierapport, Antea Group, projectnummer 0413927.128, definitief, 9 april 2021	1

MANAGEMENT SAMENVATTING

Inleiding

De gemeente Utrecht heeft verzocht om een evaluatie van de draagkracht van zestien metselwerkkelders gelegen in het stadscentrum. Voor het onderzoek zijn kelders geselecteerd met een verschillende opbouw en kenmerken die in uiteenlopende periodes zijn gebouwd. De gemetselde boogkelders vormen de fundering van delen van de openbare weg in het wervengebied in het historische centrum van Utrecht. Deze kelders vervullen dus een belangrijke functie voor de openbare weg die boven de kelders ligt. Om te beoordelen of de huidige lastbeperkingen voldoen aan de huidige bouwregelgeving is het gewenst om zes kelders aan een technisch onderzoek te onderwerpen en de belastbaarheid van deze kelders te bepalen. Als onderdeel van de onderhavige opdracht is een rekenkundige beoordeling van de constructieve veiligheid uitgevoerd van de straatkelder gelegen aan Choorstraat [redacted] (afgekort met CHS[redacted] Voorliggend rapport bevat de berekening en de uitkomsten daarvan, alsmede de gehanteerde uitgangspunten.

Scope

De kelder bevindt zich onder een plein in het stadscentrum en is verbonden met een fundering van een gebouw. Op de Choorstraat is de maximale aslast beperkt tot 2 ton. De kelder is getoetst op basis van de rekenmethodiek uit de voorafgaande studie voor de gemeente 's-Hertogenbosch [9] en de vorige berekening van de kelder in Kromme Nieuwegracht [redacted] [2]. De gemetselde boogconstructie is gemodelleerd in 2D plane strain (vlakke rek) met het eindige elementenprogramma, DIANA versie 10.5. Voor de bepaling van de belastbaarheid van de kelder, zijn zowel berekeningen voor uiterste grenstoestand (afgekort met UGT) op basis van Global Resistance Factor (GRF en GRF-2) en partiële factoren (PF) als bruikbaarheidsgrenstoestanden (afgekort met BGT) uitgevoerd. Het geotechnisch draagvermogen van de fundering op staal wordt ook onderzocht. De rekenmethodiek is volledig beschreven in de rekenplan [1].

Conclusies

De constructieve veiligheid van het object is beoordeeld middels berekening van de UGT (GRF-2) en BGT grenstoestanden. Conform hoofdstuk 9 van Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen van de gemeente 's-Hertogenbosch [9] zijn verificatieberekeningen van de CHS[redacted] zijn uitgevoerd. De constructie is getoetst op verkeersbelasting conform Eurocode NEN-EN 1991-2, waarbij de verkeersbelasting worden geregeld volgens de bebording uit Tabel 2B van de NEN8701. Voorts is een berekening van een speciaal voertuig (brandweerwagen) uitgevoerd. Daarnaast wordt de geotechnisch draagvermogen van de draagmuur analytisch geanalyseerd volgens de NEN-EN 1997-7/NB.

Op basis van deze verificatieberekeningen is geconcludeerd dat:

- BGT: voor alle belastingposities met een C20 bord belasting van **5 ton** is de maximale vervorming met 2,2 mm onder de maximaal toelaatbare vervorming van 11,6 mm. Het schade niveau 2 (afgekort met DL2) van Damage State 1 (DS1-DL2) met een beperking van de schadeparameter ψ van 2.4 is voor dezelfde belasting (C20 5 ton) niet overschreden. Dit betekent dat fijne scheuren ontstaan, maar de schade is nog steeds binnen de BGT-grenzen (Damage state 1). Ten aanzien van de BGT toets wordt voor en belasting van 5 ton (C20 bord) derhalve aan alle gestelde eisen voldaan. De ladderwagen onder de BM3-belasting voldoet ook aan de eisen qua verplaatsing en beschadiging (DS1-DL2) voor alle belastingposities;
- UGT: volgens de GRF berekeningen, wordt een C20-belasting van 4 ton als uiterste capaciteit van de kelder gevonden. Op dit punt wordt het bezwijkmechanisme volledig doorontwikkeld en vertoont de capaciteitscurve een plotselinge daling. Het opstellen van een ladderwagen voldoet niet aan de UGT-GRF-eisen. In de maatgevende belastingpositie worden twee afschuifscheuren bij de kruin gevormd, waardoor de kelder kan de ladderwagen belasting niet dragen. Volgens de PF berekeningen bedraagt de uiterste capaciteit voor de C20-belasting 7 ton. Belasting model 3 voldoet volgens de PF methode aan de UGT-eisen en bij het toetsen van de ladderwagen belasting wordt eveneens geen bezwijken van de kelder geconstateerd. De gevonden bezwijkmechanismen zijn voor de GRF en PF methoden vergelijkbaar maar de belastingfactor speelt een rol in het uiteindelijke resultaat. De vermindering van de druksterkte van het metselwerk heeft hier bijna geen invloed op het bezwijkmechanismen (afschuiftype). Dit betekent dat, wanneer afschuifbezwijken optreedt, het volgen van de GRF-methode (die de materiële factor met de belastingfactor combineert) waarschijnlijk te conservatief is omdat materieelsterkte geen

rol speelt. Om deze reden, ook door ervaringen van de berekeningen in 's-Hertogenbosch [30] en KNG [4], wordt voor de GRF toetsing de GRF-2-methode aangehouden. De GRF-2 methode onderscheidt zich immers van de GRF methode met het gegeven dat de veiligheid op materiaalsterkte niet wordt overgedragen naar de belastingzijde van de berekening. Dus worden alleen de resultaten van de GRF-2-methode gebruikt en wordt een uiterste capaciteit van C20-belasting van **6 ton** aangehouden. Het opstellen van een **ladderwagen voldoet** aan de UGT-GRF-2-eisen;

In conclusie:
- voor standaard verkeer (volgens C20 bord) is 5 ton toegestaan in BGT condities en is 6 ton toegestaan voor de UGT conditie;
- het opstellen van een ladderwagen (volgens BM3 in UGT-GRF-2 conditie) bovenop de kelder voldoet aan de eisen.

Op basis van de uitgevoerde berekening van kelder Choorstraat [redacted], kan worden geconcludeerd, dat een aslast voor standaard verkeer (C20-bord) tot 6 ton toelaatbaar is. Ook is geconcludeerd dat de kelder voldoende draagvermogen heeft om de belasting van een ladderwagen op te nemen. Er kan ook geconcludeerd worden dat het draagvermogen van de fundering kritisch is voor de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie. Aangetekend dient te worden dat in dezelfde straat mogelijk kelders met een lagere draagkracht liggen.

1

INLEIDING

1.1 Object CHS [redacted] Choorstraat [redacted]

De kelder van Choorstraat [redacted] is een straatkelder in het stadscentrum van Utrecht. Een straatkelder is een blinde kelder door de ligging tussen twee woningen, in een straat vaak loodrecht op een gracht. In hetzelfde onderzoek (maakt geen deel uit van dit rapport) worden ook twee andere kelders voor een herberekening met eindige elementenprogramma's geselecteerd, namelijk de straatkelder gelegen in Choorstraat [redacted] en Choorstraat [redacted] (afgekort met CHS [redacted] en CHS [redacted]). In afbeelding 1.1 is een aanzicht en de locatie van de kelder gegeven.

Afbeelding 1.1 Indicatieve locatie straatkelder Choorstraat [redacted], [8XIV] en Google Maps



1.2 Doel van de verificatie

De doelstelling van de uitgevoerde verificatie berekening betreft de beoordeling van de rekenkundige constructieve veiligheid van het object via berekening onder de grenstoestanden UGT (GRF en PF) en BGT. Daarnaast wordt ook het geotechnisch draagvermogen van de kelder landhoofd berekend.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport informeert de opdrachtgever over de uitgangspunten en de resultaten van de verificatieberekening van object CHS [redacted] en bevat onder meer de onderstaande onderdelen:

- paragraaf 2, uitgangspunten en randvoorwaarden: hier worden de huidige situatie van de kelder en de belangrijkste resultaten van de inspectie (Bijlage 8XIV) en de archiefonderzoek samengevatte. Overigens wordt de rekenmethodiek toegelicht;
- paragraaf 3, materiaalgegevens: waar de informatie over grond en metselwerk wordt gegeven;
- paragraaf 4, modellering: informatie over de implementatie van het Diana-model wordt gegeven. Materiaalmodelparameters, belastingpositie en fasering worden beschreven;

- paragraaf 5, belastingen: de verschillende externe belasting die in de berekeningen wordt gebruikt, wordt beschreven;
- paragraaf 6, verificatieberekening: de resultaten van de berekening met betrekking tot zwaartekracht, BGT, UGT en geotechnisch draagvermogen worden voorleggen;
- paragraaf 7, conclusie: volgens de rekenresultaten worden conclusies over de draagkracht en de veiligheid van de kelder gegeven.

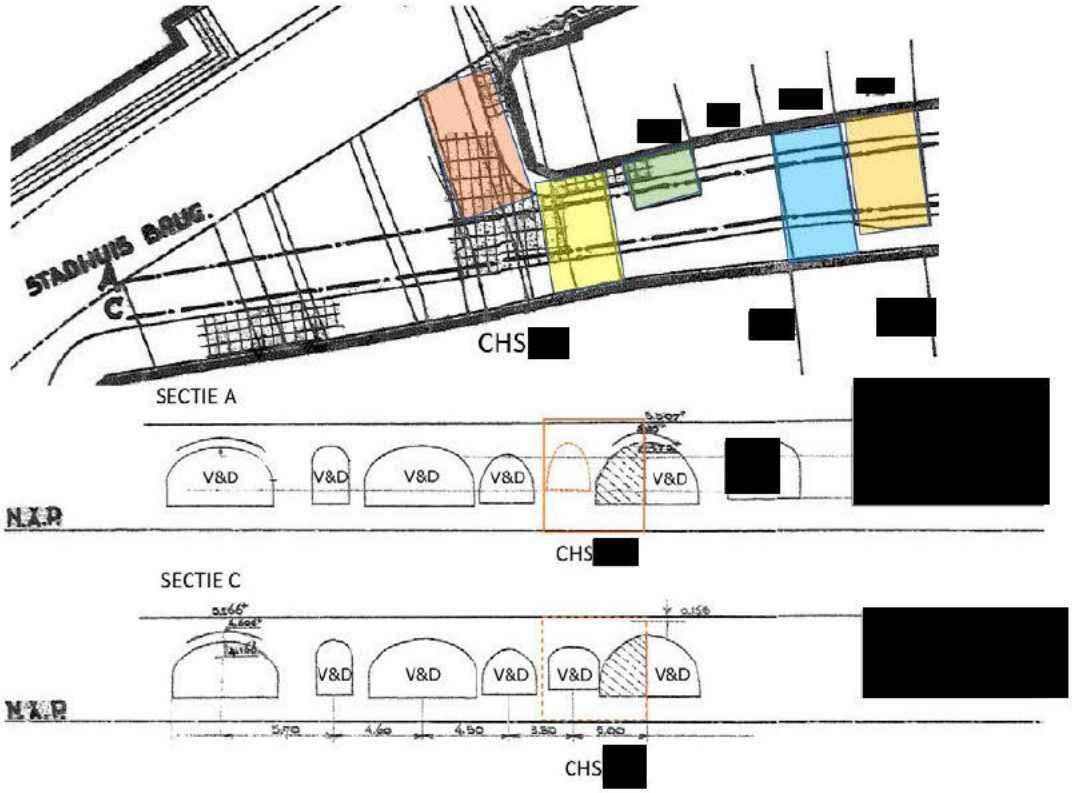
2

UITGANGSPUNTEN, RANDVOORWAARDEN EN REKENMETHODIEK

2.1 Beschrijving situatie

CHS[redacted] is een straatkelder in het stadscentrum van Utrecht. De kelder behorende bij Choorstraat[redacted] is gelegen achter de Stadshuisbrug. De kelder bevindt zich naast de fundatie van het pand, aansluitend op de brug. Uit archiefgegevens blijkt dat extra kelders onder het plein aanwezig zijn. Een indicatieve locatie van de kelder wordt getoond in afbeelding 1.1 en afbeelding 2.1. Een aanzicht van de plein wordt gegeven in afbeelding 2.2. De kluismuur van de kelder bevindt zich naast het landhoofd van de brug aan de Oude Grachtzijde (afbeelding 2.3). Een andere kelder is zeer waarschijnlijk verbonden met CHS[redacted] die doorloopt over de breedte van de brug (Afbeelding 2.3). De bovengelegen weg betreft een voetgangersgebied. Van maandag t/m zondag is het van 6:00 tot 11:30 uur toegestaan om te laden en lossen (afbeelding 2.4). Op de Choorstraat gelden voertuigbeperkingen. Er geldt een aslastbeperking van 2 ton en een maximale voertuiglengte van 9 m. Dergelijke beperkingen worden vermeld in tabel 2.1 en getoond in afbeelding 2.4.

Afbeelding 2.1 Indicatieve situatie Choorstraat[redacted] kelder in oranje) en dwarsprofielen [8XIV]



Afbeelding 2.2 Choorstraat [redacted] Stadhuisbrug uitzicht (bron: Google Maps)



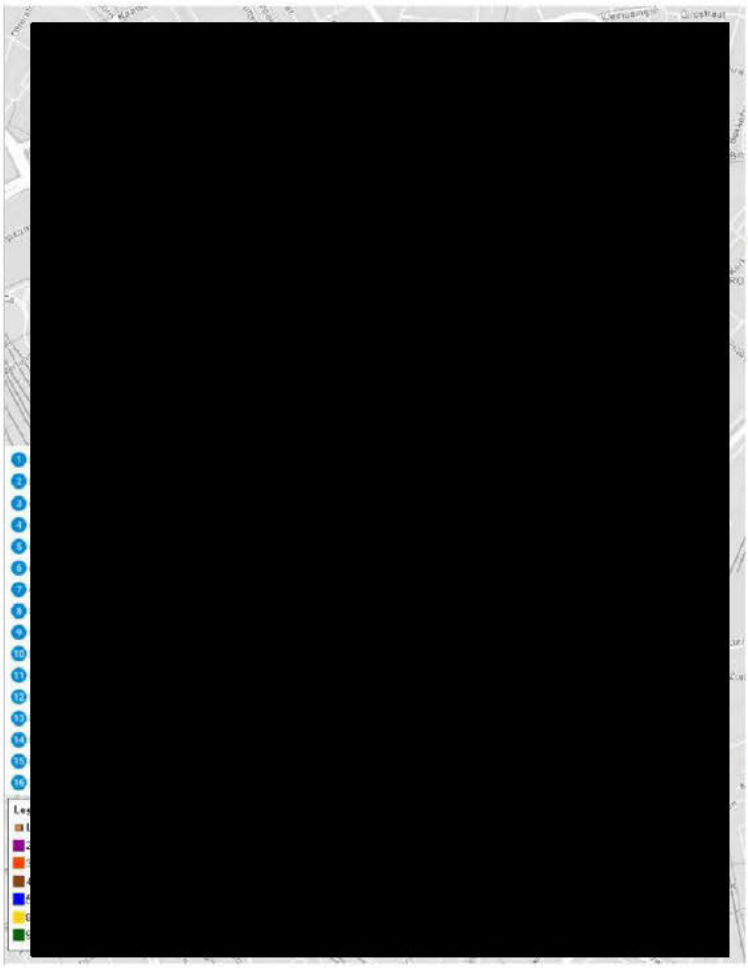
Afbeelding 2.3 Choorstraat [redacted], westzijde, zicht onder de brug vanaf de Vismarkt



Tabel 2.1 Voertuigbeperkingen Choorstraat [redacted]

Verkeersbeperking	Waarde
maximale aslast	2 ton
maximale voertuiglengte	9 m

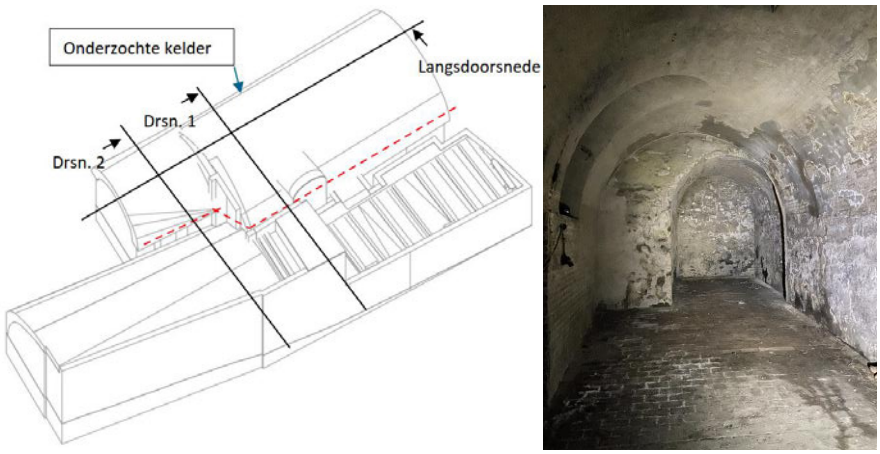
Afbeelding 2.4 Aslastbeperkingen en ontsluitingsroutes zwaar(der) verkeer in het centrum van Utrecht [25]. Choorstraat [redacted] aangegeven met een 3 (onder de 7). Voertuigbeperkingenbord aan het begin van Stadhuisbrug. Gebiedsbeschrijving en toelaatbare voertuig en tijd transit (bron Google Maps)



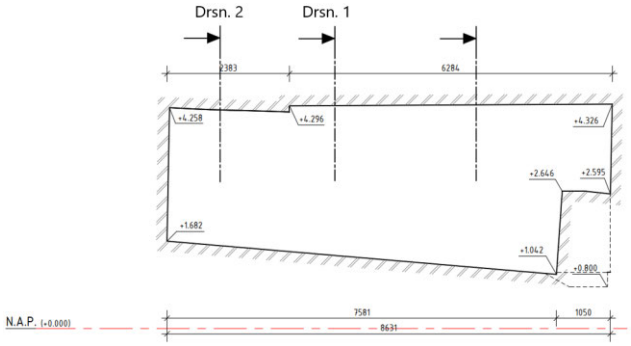


Uit het inspectierapport [8XIV] blijkt dat de kelder in lengterichting is opgebouwd uit twee verschillende gewelven. Het gewelf aan de grachtzijde is langer, breder en hoger dan het gewelf aan de achterzijde. De vloer in de kelder loopt omhoog vanaf de gracht. Bij beide gewelven begint de boog op dezelfde hoogte ten opzichte van de referentiehoogte. Uit de proefsleuf is inzicht verkregen in de opbouw van de vorm van de bovenzijde van de kelder (tachimetrisch ingemeten). Samen met de 3D-scan van de kelders is de hoofdmaatvoering van de gewelven bepaald. Het 3D-aanzicht van de kelder en een binnenaanzicht worden getoond in afbeelding 2.5. De lengte van de kelder is circa 8,60 m. De dagmaat van het gewelf aan grachtzijde is 3,36 m en aan de achterzijde 2,20 m. De totale hoogte van het gewelf neemt af met de diepte van het gewelf. Aan grachtzijde, bij doorsnede 1 (afbeelding 2.5) is de hoogte 3,20 m, en bij doorsnede 2 aan de achterzijde, 2,65 m. De hoogte van de wanden aan de grachtzijde bij doorsnede 1 varieert tussen 3,1 en 3,0 m. De hoogte van de wanden aan de achterzijde bij doorsnede 2 is 3,4 m. Een overzicht van de verschillende doorsneden wordt gegeven in afbeelding 2.6 en afbeelding 2.7.

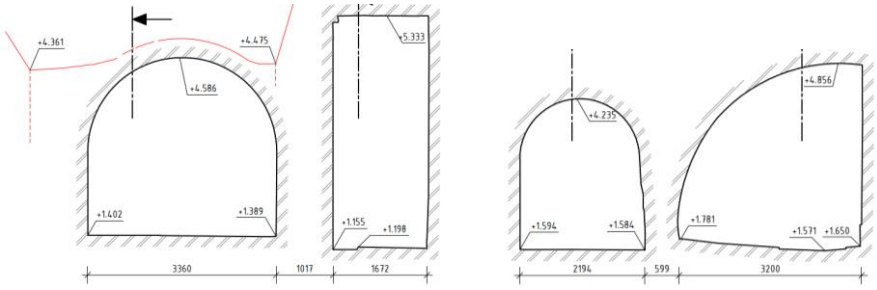
Afbeelding 2.5 Kelder CHS[redacted] 3D impressie (zuid aanzicht) met werkgrens ([8XIV]) en binnenaanzicht (uit grachtzijde)



Afbeelding 2.6 Kelder CHS[redacted] Langsdoorsnede 8XIV]



Afbeelding 2.7 Kelder CHS[redacted] Doorsnede 1, grachtzijde (links) en doorsnede 2, achterzijde (rechts). Linker deel is scope 8XIV]



Met behulp van de kernboringen is de dikte van de boogconstructie bepaald. Uit de boringen blijkt een dikte van anderhalf steens metselwerk, gelijk aan 32 cm (afbeelding 2.8). Er is geen materiaaltest op metselwerk tijdens de inspectie van CHS[redacted] uitgevoerd. Op basis van dit gegeven zijn conservatief de materiaaleigenschappen die verwijzen naar metselwerk van baksteen (vóór 1945) overgenomen met de ondergrenswaarden van de parameters vermeld in 9.3.2.2 van NPR9998+C1:2020 (metselwerk met mortel in geval van CC1). Deze metselwerk eigenschappen zijn ondergrenswaarden en mogen derhalve ook voor de kelders CC2 toegepast worden (zoals ook aangegeven in de projectaanpak [28]).

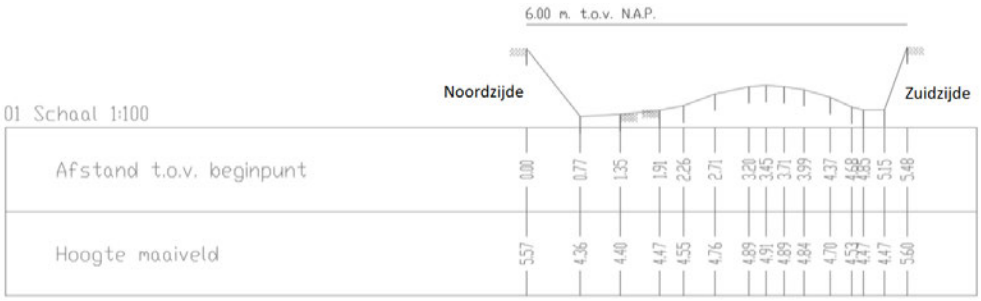
Afbeelding 2.8 Kelder CHS[redacted]. Profiel boorkern [8XIV]



Uit het inspectierapport ([8XIV]) is niet duidelijk of de wand aan de zuidzijde van CHS[redacted] en de kelder onder het pand met elkaar gekoppeld zijn. De wand van ruim 1,0 m lijkt overdreven in vergelijking met de kleine overspanning van de boog, maar niet onmogelijk. Deze wand is ook de fundering van het gebouw en het kan zijn dat deze niet gekoppeld is aan het landhoofd van de kelder. De wand draagt het gewelf en de vloer van het pand. Uit archiefgegevens zijn extra kelders aan de noordzijde van de kelder aanwezig. De beschikbare informatie over is weergegeven in afbeelding 1.1.

Het metselwerk van het gewelf is minimaal 67,5 cm beneden het straatniveau gelegen. Er is 57,5 tot 93 cm zand aanwezig tussen de bestrating en het gewelf (boven de 10 cm straatstenen). Een overzicht van de tachimetrische metingen is weergegeven in afbeelding 2.9. De volledige kelder ligt onder de openbare weg. Meer informatie is te vinden in het inspectierapport [8XIV].

Afbeelding 2.9 Kelder CHS[redacted]. Resultaten tachimetrische inmeting [8XIV]



2.2 Beoordelingsscope

Bij de beoordeling van de constructieve veiligheid is alleen de metselwerkboog van CHS[redacted] beoordeeld. Beoordeling van de aangrenzingen boven valt buiten de scope van de opdracht.

2.3 Veiligheidsfilosofie en Rekenmethodiek

De verificatieberekeningen van de CHS[redacted] zijn uitgevoerd conform de bevindingen vanuit de reeds uitgevoerde berekeningen van de kluiskelder Kromme Nieuwegracht[redacted] ([2]) en[redacted] ([3]), het rekenplan [1] en hoofdstuk 9 van Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen van de gemeente 's-Hertogenbosch [9].

Voor bestaande constructies dienen de Eurocode en de NEN 8700-serie te worden toegepast. Daarnaast kan gebruik gemaakt worden van de RBK-versie 1.1 (Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken van Rijkswaterstaat) of CUR-aanbeveling 124:2019 (Constructieve veiligheid bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden).

Op basis hiervan kan een minimale betrouwbaarheid van een bestaande kelders vastgesteld worden. Om aan deze betrouwbaarheid te voldoen, is de gangbare werkwijze een lineair elastisch eindige elementenmodel van de kelder te maken. Op dit model worden representatieve belastingen vermenigvuldigd met een partiële belastingfactor aangebracht, terwijl de sterkte wordt bepaald met karakteristieke waarden gedeeld door een partiële materiaalfactor. De grootte van de waarden hangt af van de benodigde minimale betrouwbaarheid en de referentieperiode (restlevensduur). Het gedrag van metselwerk kelder is door scheurvorming in het metselwerk en de grondconstructie-interactie echter grotendeels niet-lineair elastisch. Op basis van dit gegeven wordt het constructieve gedrag en de constructieve veiligheid van metselwerk kelders realistisch bepaald met het niet-lineair eindige elementenprogramma DIANA FEA. DIANA FEA biedt de mogelijkheid zowel de grond als metselwerkconstructie met toegesneden materiaalmodellen te modelleren. In lijn met de NLFEA [Rijkswaterstaat Technical Document, Guidelines for Nonlinear Finite Element Analysis of Concrete Structures, RTD 1016-1:2020, version 2.2, Final, 2 April 2020] is onderstaande veiligheidsfilosofie voor de verificatie van metselwerk kelders opgesteld.

Omdat het een bestaande constructie betreft, behoeft vanuit de RBK 1.1 alleen naar uiterste grenstoestanden (UGT) gekeken te worden. Met andere woorden naar het uiterste draagvermogen, nét voordat de constructie bezwijkt. Echter de wens is dat metselwerkkelders duurzaam veilig zijn en geen (grote) tekenen van degradatie zoals scheurvorming en vervormingen vertonen. Om hieraan te voldoen, zullen ook bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) beschouwd worden.

2.3.1 BGT

De BGT wordt berekend met karakteristieke waarden van de verschillende grootheden. In de BGT worden de vervormingen en scheurvorming gecontroleerd. In de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt wel rekening gehouden met de treksterkte van het metselwerk. Het overschrijden van de treksterkte duidt in dat geval op (mogelijke) scheurvorming.

In de afgelopen jaren is een experimenteel en numeriek onderzoek over BGT van metselwerk-constructies door de TU Delft uitgevoerd 18]. Het onderzoek richtte zich op het definiëren en kwantificeren van de lichte schade. Hier wordt een nieuwe, dimensie loze parameter voor het schade-niveau (ψ) voorgesteld. De parameter beschrijft het totaal van zichtbare scheuren in één getal zodat de smalste zichtbare scheuren met een breedte van 0,1 mm (scheuren kleiner dan 0,1 mm zijn moeilijk te zien met het blote oog) resulteren in een waarde van ongeveer één (Ψ = 1). Iets grotere scheuren van bijna 1 mm breedte komen overeen met twee (Ψ = 2) en scheuren van ongeveer 4 mm breed geven een waarde van drie (Ψ = 3). Dit bereik wordt als DS1 (Damage State 1, zoals gedefinieerd in de European Macroseismic Scale [20]) gedefinieerd, en werd aangepast door Giardina et al. [21], waarbij deze schade-niveaus op het gemak van herstel van de schade zijn gebaseerd (zie tabel 2.2). De parameter Ψ beschrijft deze kwalitatieve en benaderende beschrijvingen op een kwantitatieve en reproduceerbare manier [18]. De nieuwe parameter ψ omvat het aantal scheuren, de scheurbreedte en de scheurlengte met een wiskundige uitdrukking die de schade objectief kwantificeert.

Tabel 2.2 Opdeling van de schadeparameter in schade-subniveaus [18]

Damage State	DS0	DS1			DS2
Damage Level	**DL0**	**DL1**	**DL2**	**DL3**	**DL4**
parameter van schade	$\psi < 1,0$	$1,0 \leq \psi < 1,4$	$1,5 \leq \psi < 2,4$	$2,5 \leq \psi < 3,4$	$\psi \geq 3,5$
geschatte scheurbreedte	onmerkbare scheuren	tot 0,1 mm	tot 1 mm	Tot 5 mm	5 - 15 mm
schadebeschrijving	-	haarscheurtjes	fijne scheurtjes. Misschien geïsoleerde lichte breuk in de constructie. Scheuren in metselwerk zichtbaar bij nadere inspectie	verschillende lichte breuken in de constructie. Scheuren zijn zichtbaar en mogelijk moet er worden gerepareerd om de waterdichtheid te garanderen	openstaande scheuren waar de twee losse metselwerk delen zichtbaar van elkaar verplaatst zijn. Vaak water- en zandvoerend

De bruikbaarheidsgrenstoestand wordt berekend met gemiddelde waarden voor het metselwerk en met karakteristieke waarden voor de diverse grootheden vangrondeigenschappen en variabele belasting, dus zonder belastingfactoren:
- gemiddelde waarde van de druksterkte van het metselwerk;
- gemiddelde waarde van de treksterkte van het metselwerk;
- gemiddelde waarde van het volumiek gewicht van metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korte duurstijfheid van het metselwerk;
- karakteristieke waarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond;
- karakteristieke waarde van de cohesie van de grond;
- gemiddelde waarde van het volumiek gewicht van de grond;
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond;
- karakteristieke waarde van de variabele belasting.

De BGT-berekening is een conservatieve benadering van de werkelijkheid, omdat voor de grondparameters met de karakteristieke waarden (in plaats van gemiddelden) wordt gerekend. De werkelijke vervormingen zullen naar verwachting kleiner zijn dan volgens de BGT-berekening. Indien bij deze toets de gemiddelde druksterkte en/of de gemiddelde treksterkte wordt overschreden, dan duidt dat op (mogelijke) scheurvorming. Specifiek die locaties behoeven extra aandacht bij inspectie om te controleren of deze in werkelijkheid ook optreedt. Als ook de scheurvorming daadwerkelijk optreedt, dient deze gemonitord te worden (of deze toeneemt) en moet overwogen worden om de (verkeers)belasting te verlagen.

Veelal zullen de vervormingen van de boogconstructie ruim binnen de algemene grenzen (L/300) vallen en niet maatgevend zijn [9]. De vervormingsgrens kan als conservatieve waarde worden genomen uit de NEN-EN 1990 A1.4.3. Dit stelt dat de doorbuiging bij zowel vloeren als daken worden beperkt tot 1/250 deel van de overspanning L (indien het uiterlijk van de constructie van belang is). Relatief grote vervormingen geven ook aanleiding om middels inspectie te controleren. De BGT-berekening wordt op basis van vervorming (L/300) en schadebeperkingen (DS1-DL2) getoetst. Als een van de twee condities is niet voldaan, wordt de toets als niet voldoende beschouwd. Bij schadeniveau 2 worden alleen kleine scheuren verwacht. Dit is acceptabel als BGT-limiet van een oude structuur die al scheuren heeft. Volgens het concept gerelateerd aan de perceptie van schade aangegeven in [27], zou DL1 (scheuren van ongeveer 0,1 mm breed) een te streng criterium zijn voor een oude metselwerkconstructie, waarin dergelijke scheurbreedtes niet eens zouden kunnen worden waargenomen. Scheuren moeten in ieder geval gemonitord worden.

2.3.2 UGT

In de UGT moet de sterkte van de constructie worden gecontroleerd. In de NLFEA (gebaseerd op FIB-modelcode 2010) worden verschillende methoden toegepast:
1 Global Resistance Factor-methode (GRF);
2 Partial Factor methode (PF).

In het conventionele (lineaire) geval worden belastingen verhoogd en materiaalsterktes verlaagd aan de hand van partiële factoren. In het geval van een niet-lineaire constructieberekening op basis van grondconstructie-interactie zal een onrealistische verlaging van de sterkte van de materiaal echter ook leiden tot een onrealistische afname van krachten doordat de vervorming wordt overschat/belasting wordt onderschat. Ook wordt het bezwijkmechanisme dat in een niet-lineaire berekening met toenemende belasting gaandeweg ontstaat onrealistisch beïnvloed door gereduceerde materiaalsterktes. Vanuit dit oogpunt is er in de RTD1016-1:2020 voor gekozen de partiele factor voor materiaalsterktes niet toe te kennen aan de materiaalsterktes (R) maar aan de belastingzijde (S). Deze aanpak is gebaseerd op de global resistance factor (GRF).

Op basis van deze aannames, wordt de GRF methode als primaire toetsingsprocedure voor de verificatie van de constructie toegepast. De PF-methode zal als ondersteunende toetsingsprocedure (ter referentie van de middels de GRF-methode gevonden maximale belastingen en mechanismen) worden gevolgd.

Een gevoeligheidsstudie waarbij ook de PF-methode wordt geïmplementeerd, is beschreven in paragraaf 6.

Voor de uiterste grenstoestand wordt ervan uitgegaan, dat het metselwerk geen trek op kan nemen. Omdat een absolute waarde van 0 veelal in instabiliteit in de niet-lineaire berekeningen zorgt, is in de berekeningen een zeer lage plastische/constante waarde (5 kPa=0,005 MPa) voor de treksterkte ingevoerd.

UGT-GRF

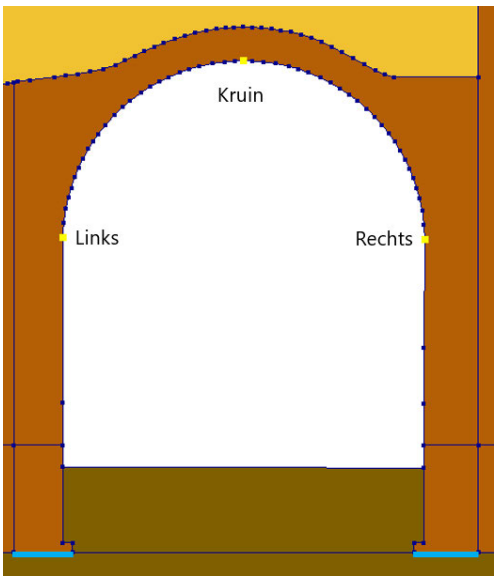
Volgens de GRF-methode wordt gerekend met karakteristieke waarden voor zowel metselwerk als grond. De variabele belasting wordt met een gecombineerde belastingfactor vanuit de belastingfactor op de variabele belasting en de materiaalfactor van metselwerk (γ_Q*γ_M) verhoogd. Voor een beoordeling volgens het gebruiksniveau CC2 conform NEN 8700 Ontw. 2018 bedraagt γ_Q = 1,1. De partiële factor voor de materiaalsterkte γ_M = 2,2 (conform NEN-EN 1996-1-1) bestaat uit het product van een modelfactor γ_{Rd} = 1,42 gebaseerd op een variatiecoëfficiënt van 25 % voor metselwerk en een sterktefactor van γ_m = 1,55. Voor CC2 gebruiksniveau resulteert een gecombineerde belastingfactor van
1,1*1,42*1,55 = 2,42.

De GRF wordt berekend met karakteristieke waarden voor het metselwerk en de grond (grond als variabele belasting), maar met een gecombineerde belastingfactor over de variabele belasting:
- karakteristieke waarde van de druksterkte van het metselwerk;
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van de treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot, dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer doorrekent. Een waarde van maximaal 5 kPa (0,005 N/mm^2) wordt gebruiken;
- gemiddelde waarde van het volumieke gewicht van het metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korteduurstijfheid van het metselwerk;
- karakteristieke waarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond;
- karakteristieke waarde van de cohesie van de grond;
- gemiddelde waarde van het volumieke gewicht van de grond;
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond;
- rekenwaarde van de variabele belasting (karakteristieke waarde maal gecombineerde belastingfactor CC2 gebruik 2,42).

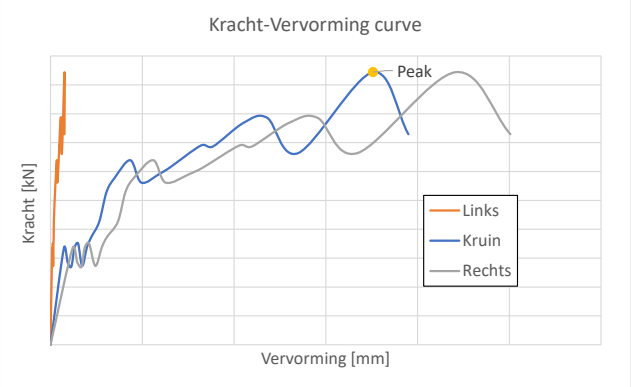
BEZWIJKCURVE UGT BEREKENINGEN

Als gevolg van de hoge niet-lineariteit (scheurvorming en plasticiteit) in de UGT berekeningen is een evaluatie op basis van 3 of 4 plastische scharnieren niet eenduidig (afbeelding 2.12). Voor een meer objectieve evaluatie van de draagkracht van de straatkelder wordt de bezwijkcurve (lastverplaatsingsdiagram) van CHS [redacted] berekend. Het uitgangspunt is dat enkel de linker boog (CHS[redacted]) als dragende constructie wordt beschouwd. De verkeer belasting toegepast als input wordt verdeeld over verschillende kelders. De totale verticale kracht werkend op de CHS [redacted] boog wordt berekend, exclusief de afdracht naar de aanliggende boog. Krachten worden berekend door de spanningen aan de voet van de boog te integreren (lichtblauwe lijnen in Afbeelding 2.10). Dit is de totale aandrijvende kracht op de boog. De verticale kracht van de boog wordt samen met de verplaatsing op drie specifieke knooppunten uitgezet (gele knooppunten in Afbeelding 2.10). Een voorbeeld van een krachtverplaatsingscurve wordt gegeven in afbeelding 2.11. De capaciteit wordt verkregen als de piekwaarde, vóór daling van de kracht (Peak punt afbeelding 2.11). Verschillende punten van de curve (vooral die na een val van de kracht) worden gecontroleerd en vergeleken met het mogelijke bezwijkmechanisme beschreven in afbeelding 2.12. De geëvalueerde piekwaarde wordt dan gekoppeld aan de toegepaste verkeersbelasting (volgens C20 bord of BM3 belasting).

Afbeelding 2.10 Knooppunten waar de verplaatsingsuitvoer wordt gelezen (gele knooppunten) en locatie waar de kracht wordt bepaald (lichtblauwe lijnen)



Afbeelding 2.11 Voorbeeld van kracht-vervormingscurve en piekpunt



UGT-PF

Volgens de PF-methode wordt er gerekend met rekenwaarden voor zowel metselwerk, grond als variabele belasting. Voor een beoordeling volgens het gebruiksniveau CC2 conform NEN 8700 Ontw. 2018 bedraagt γ_Q = 1,1. De partiele factor voor de materiaalsterkte γ_M = 2,2 (conform NEN-EN 1996-1-1) bestaat uit het product van een modelfactor γ_{Rd} = 1,42 gebaseerd op een variatiecoëfficiënt van 25 % voor metselwerk en een sterkte-factor van γ_m = 1,55.

Voor hoek van inwendige wrijving, cohesie en volumieke gewicht worden rekenparameters aangehouden op basis van de NEN 9997 Tabel A.4a kolom Keerwand. Voor de stijfheid (E-modulus) worden karakteristieke waarden toegepast.

De PF-methode ziet er als volgt uit:
- rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk (karakteristiek / 2,2);
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van de treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot, dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer doorrekent. Een waarde van maximaal 5 kPa (0,005 N/mm^2) wordt gebruiken;
- gemiddelde waarde van het volumiek gewicht van metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korteduurstijfheid van het metselwerk;
- rekenwaarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond door de lage karakteristieke waarde van het laaggemiddelde te delen door een partiële factor van 1,2 conform Tabel A.4a NEN 9997-1+C2-Keermuur;
- rekenwaarde van de cohesie van de grond met een partiele factor van 1,5 conform Tabel A.4a NEN 9997-1+C2-Keermuur;
- rekenwaarde van het volumieke gewicht van de grond door de gemiddelde waarde te delen door een partiële factor van 1,1 conform Tabel A.4a NEN 9997-1+C2-Keermuur;
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond;
- rekenwaarde van de variabele belasting (Karakteristieke waarde maal belastingfactor CC2 gebruik 1,1).

Dezelfde procedure zoals beschreven bij de GRF-methode wordt gebruikt om de structurele veiligheid van de kelder te bepalen.

UGT-GRF-2

De UGT-GRF-2 is de veiligheid verdeeld over de variabele belasting en de sterkte van grond. Bij GRF(-1) wordt indirect door de hoge materiaalfactor van het metselwerk dus met een te hoge veiligheid op grond gerekend. Voor beton en betonstaal geldt hetzelfde, waardoor in de NLFEA (en FIBmodelcode) de karakteristieke waarde van de sterkte voor één van de materialen is aangepast. Eventueel kan worden besloten om de partiële factor van de grond als factor in de globale veiligheidsfactor te gebruiken en de karakteristieke sterkte van het metselwerk te verlagen, verder GRF-2 genoemd. Indien de partiële materiaalfactor van 1,2 (op basis van hoek van inwendige wrijving van de grond) wordt gebruikt (i.p.v. 2,2) wordt de globale veiligheidsfactor (over de variabele belasting) dus 1,32 voor CC2 gebruik. De karakteristieke sterkte van het metselwerk moet dan vermenigvuldigd worden met een factor 1,2 / 2,2 = 0,545 (overeenkomstig moet de karakteristieke waarde voor de cohesie van de grond verlaagd worden met een factor 1,2 / 1,5 = 0,8).

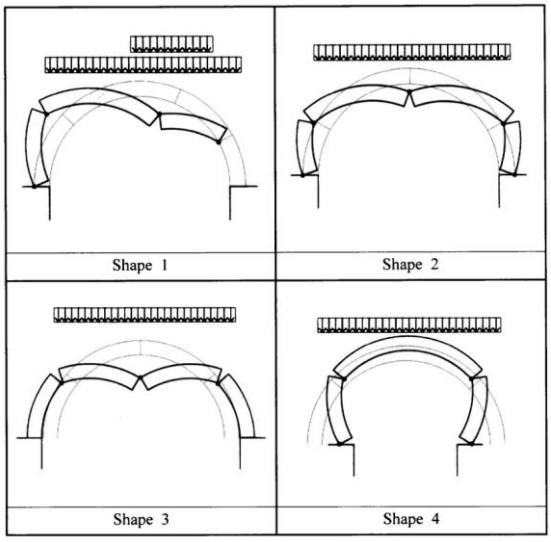
De GRF-2 wordt dus berekend met verlaagde karakteristieke waarden voor het metselwerk, maar met een lagere gecombineerde belastingfactor over de variabele belasting:
- 0,545 * karakteristieke waarde van de druksterkte van het metselwerk;
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van de treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot, dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer doorrekent. Een waarde van maximaal 5 kPa (0,005 N/mm^2) wordt gebruiken;
- gemiddelde waarde van het volumieke gewicht van het metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korteduurstijfheid van het metselwerk;
- karakteristieke waarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond;

- 0,8 * karakteristieke waarde van de cohesie van de grond (volgt uit de verhouding van de partiele factoren 1,5/1,2);
- gemiddelde waarde van het volumieke gewicht van de grond;
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond;
- rekenwaarde van de variabele belasting (karakteristieke waarde maal gecombineerde belastingfactor CC2 gebruik 1,32).

Tabel 2.3 Overzicht gebruikte parameters voor de verschillende rekenmethodieken

Methodiek	Belasting factor	Metselwerk E [MPa]	Metselwerk ft [MPa]	Metselwerk fc [MPa]	Grond factor φ	Grond factor c	Grond factor γ
BGT	1,00	5.000	0,100	8,50	1	1	1
UGT-GRF	2,42	5.000	0,005	5,00	1	1,2/1,5	1
UGT-PF	1,10	5.000	0,005	2,27	1/1,2	1/1,5	1/1,1
UGT-GRF-2	1,32	5.000	0,005	2,72	1	1,2/1,5	1

Afbeelding 2.12 Vormen van bezwijkmechanisme van metselwerk boog [19]



GEOTECHNISCH DRAAGVERMOGEN

Het geotechnisch draagvermogen van de draagmuur (gedeeld door de twee kelders) is onderzocht door het beoordelen van een fundering op staal. Het draagvermogen van de maatgevende draagmuur is bepaald door de combinatie van de grootte van het fundatieoppervlak, de permanente belasting en de af te dragen verkeersbelasting. De berekening van de fundering op staal wordt uitgevoerd conform aan Eurocode 7 (EN 1997) met Nederlandse Nationale Bijlage (NEN-EN 1997-7/NB) en Nederlandse Aanvullende Bepalingen voor toepassing van Eurocode 7 (NEN 9097-1). De interne spreadsheet ‘Fundering Op Staal’ versie 1.60 wordt gebruikt.

3

MATERIAALGEGEVENS

3.1 Grondopbouw en geotechnische parameters

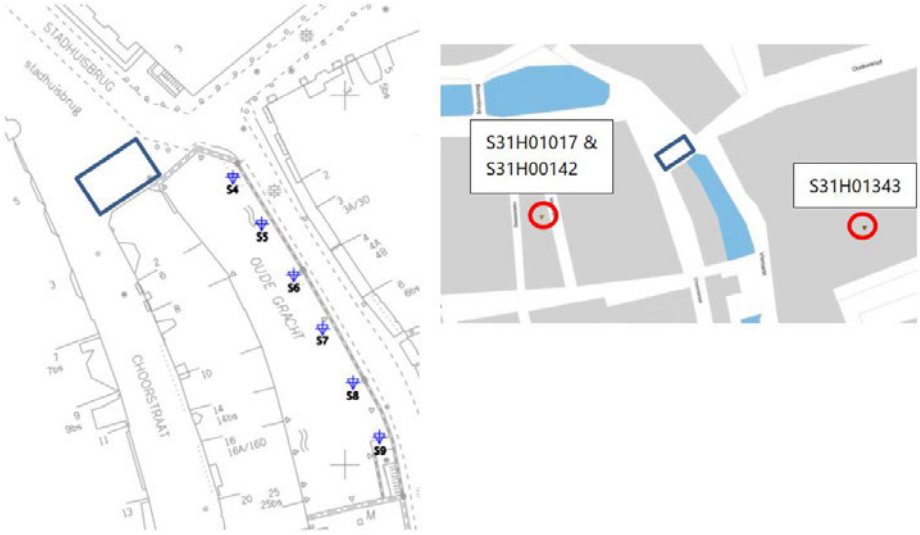
Sinds de 13de eeuw zijn er in de Choorstraat straatkelders gebouwd. Waarschijnlijk zijn in de periode 1500-1700 de keldergewelven opnieuw maar met een hogere kruinhoogte opgemetseld. Om deze redenen nemen we aan dat de grond onder de kelders volledig is 'voorbelast' door de eerder aanwezige en in het verleden gesloopte werfkelders.

Uit het archief van de gemeente Utrecht zijn enkele sonderingen en boringen uit de nabijgelegen omgeving bekend. Er zijn zes sonderingen beschikbaar in de naastgelegen watergang en beginnen op ca. NAP -1,5 m ([7]). De locatie van de straatkelder en beschikbaar grondonderzoek is in afbeelding 3.1 weergegeven. Deze sonderingen zijn uitgevoerd vanaf het water en daardoor ontbreekt de informatie van de grondlagen boven bodemniveau van de Oude Gracht.

Omdat het maaiveld van het object hoger dan de bovenkant van de sonderingen is, worden sonderingen van DINOloket gebruikt. Deze worden aan de rechterkant van afbeelding 3.1 weergegeven. Deze sonderingen worden gebruikt voor de bepaling van geotechnische van de lagen boven de bovenkant van de sonderingen vanaf het water.

Voor de grondparameters zal aangesloten worden op NEN-EN9997-1+C2; 2017 Geotechnisch ontwerp van constructies- Deel 1: Algemene regels en CUR 2003-7 Bepaling geotechnische parameters.

Afbeelding 3.1 Locaties straatkelder CHS[redacted] (blauwe contour) met nabij sonderingen [8]



Van het DINOloket wordt de meest recente sondering gebruikt die ook samenvalt met het meest conservatieve sondering (S31H01343). Deze sondering toont:
- het bestaan van een sterke zandige kleilaag van maaiveldniveau (NAP+5,0 m) tot NAP +1,0 m;
- dan is er een zandlaag tot NAP -0,5 m;
- gevolgd door een zwakke matig zandige kleilaag tot NAP -1,5 m.

Vervolgens wordt de beoordeling van het grondprofiel gedaan door sonderingen uit ([7]). Over het algemeen bestaan de eerste meters uit zwakke slap tot matig zandige kleilagen en dan voornamelijk uit zandlagen. De dikte van de slappe kleilagen wijkt af van sonderingen. Hierin is uit conservatieve reden gekozen voor de sondering met de dikkere kleilaag.

De grondopbouw is als volgt:
- vanaf bodem van waterweg (NAP -1,5 m) tot NAP -3,2 m is er zwakke matig zandige klei. Deze laag is hetzelfde als in de sondering uit DINOloket;
- tussen circa NAP -3,2 m en NAP -5,1 m ligt los, schoon zand;
- tussen circa NAP -5,1 m en NAP -5,6 m ligt slappe schone klei;
- tussen circa NAP -5,6 m en NAP -10,0 m ligt los, schoon zand;
- vanaf NAP -10,0 m bestaat de bodem voornamelijk uit matig schoon zand.

Tabel 3.1 toont de grondinterpretatie en parameterbepaling (karakteristieke waarden) voor de maatgevende sondering. De parameters worden bepaald uit NEN 9997-1+C2:2017.

De onderstaande afbeelding (Tabel 3.1) toont de grondinterpretatie en parameterbepaling (karakteristieke waarden) voor de maatgevende sondering. De parameters worden bepaald uit NEN 9997-1+C2:2017.
In tabel 3.2 zijn de parameters van aanvulzand weergegeven.De methodiek en de resultaten worden volledig beschreven in [8].

Tabel 3.1 Grondopbouw en karakteristiek geotechnische parameters volgens maatgevende sondering

Grondlaag	b.k. laag ref.	γunsat	γsat	n	c	φ	ψ	Eoed	E50	Eur	m_{Plaxis}	m_{DIANA}	OCR	KoNC	pref
	[mNAP]	[kN/m3]	[kN/m3]	[-]	[kPa]	[graden]	[graden]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kPa]
Sterk zandig klei	5.00	18.0	20.0	0.32	1.0	27.5	0.0	3.5	3.5	14	0.80	0.20	1.0	0.538	100
Zand, los 1	1.00	17.0	18.0	0.36	0.1	30.0	0.0	30	30	120	0.50	0.50	1.0	0.500	100
Zwak zandig matig klei	-0.50	18.0	18.0	0.32	5.0	22.5	0.0	3.0	3.0	12.0	0.80	0.20	1.0	0.617	100
Zand, los 2	-3.20	17.0	19.0	0.36	0.1	30.0	0.0	20	20	80	0.50	0.50	1.0	0.500	100
Slappe schone klei	-5.10	14.0	14.0	0.47	0.1	17.5	0.0	2	2	8	0.80	0.20	1.0	0.699	100
Zand, los 3	-5.60	17.0	19.0	0.36	0.1	30.0	0.0	20	20	80	0.50	0.50	1.0	0.500	100
Zand, matig	-10.00	18.0	20.0	0.32	0.1	32.5	2.5	32	32	128	0.50	0.50	1.0	0.463	100

Tabel 3.2 Karakteristiek geotechnische parameters van aanvul zand gebruikt in de EMM-berekeningen

Grondlaag	γunsat	γsat	n	c	φ	ψ	Eoed	E50	Eur	m_{Plaxis}	m_{DIANA}	OCR	KoNC	pref
	[kN/m3]	[kN/m3]	[-]	[kPa]	[graden]	[graden]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kPa]
Aanvul zand	17.0	19.0	0.36	0.1	30.0	0.0	10	10	40	0.5	0.5	1.0	0.500	100

De grond wordt in DIANA gemodelleerd met het Hardening Soil-model (HS). Het gedrag van dit model in Diana komt overeen met het Hardening Soil-model in PLAXIS. De validatie van het DIANA HS-model met betrekking tot het HS of PLAXIS-model wordt beschreven in [15]. De twee grondmodellen zijn gelijkwaardig.

3.2 Eigenschappen metselwerk

Voor de materiaaleigenschappen van metselwerk kan worden uitgegaan van de eigenschappen gegeven in de NPR9998+C1:2020. De norm stelt dat de metselparameters kunnen worden bepaald door middel van experimenten, of door middel van de tabel F.2 (voor de gemiddelde waarden) of volgens de ondergrenswaarden 9.3.2.2 (voor de karakteristieke waarden). Lichte scheurvorming in het gewelf, lokaal missend voegwerk en optrekkend vocht verslechteren de kwaliteit van het metselwerk. Door reparatie van het historisch voegwerk op basis van kalk zal de kwaliteit weer op voldoende niveau komen en is het rekenen met de eigenschappen conform de NPR acceptabel, en vermoedelijk conservatief. In tabel 3.3 zijn de karakteristieke en gemiddelde waarden van metselwerk opgenomen. De karakteristieke waarden zijn conform 9.3.2.2 van NPR 9998+C1:2020, terwijl gemiddelde waarden uit tabel F.2 van NPR 9998+C1:2020 zijn betrokken (uit de kolom 'baksteen metselwerk met mortel voor algemene toepassing (voor 1945)'). Indien dit onbekend is zal voor het volumieke gewicht van metselwerk 23 kN/m^3 worden aangehouden. Conform de NEN-EN 1996-1-1:2006+A1:2013/NB:2018 nl kan de korte duur stijfheid worden benaderd door de druksterkte te vermenigvuldigen met een factor 700. De afschuifmodulus van karakteristieke waarden wordt berekend uit de dwarscontractiecoëfficiënt υ (gelijk aan 0,20).

Tabel 3.3 Metselwerk eigenschappen NPR9998. Karakteristieke waarde van metselwerk met mortel voor algemeen toepassing. Gemiddelde waarde van baksteen metselwerk met mortel voor algemene toepassing (voor 1945)

	Karakteristieke waarde		Gemiddelde waarde	
druksterkte	f_k [N/mm^2]	5,0	$f_{ma;m}$ [N/mm^2]	8,5
elasticiteitsmodulus	E_k [N/mm^2]	3.500[1]	E_m [N/mm^2]	5.000
glijmodulus	G_k [N/mm^2]	1.458[2]	G_m [N/mm^2]	2.000
treksterkte bezwijkvlak evenwijdig aan lintvoeg = sterkte loodrecht op de voeg			$f_{ma;b;per}$ [N/mm^2]	0,10
initiële schuifsterkte	$f_{v;0;k}$ [N/mm^2]	0,20	$f_{ma;v;0}$ [N/mm^2]	0,30
wrijvingscoëfficiënt			$\mu_{ma;m}$	0,75
breukenergie trek loodrecht op lintvoegen			$G_{ft;per}$ [N/m]	10
breukenergie belasting op druk			$G_{f;c}$ [N/m]	20000
breukenergie bij afschuiving (lintvoeg)			$G_{ft;v;par}$ [N/m]	100

[1] 700 maal de druksterkte

[2] G=E/(2*(1+υ))

4

MODELLERING EN BEREKENING

4.1 Inleiding

De toetsing van kelder CHS[redacted] wordt middels een EEM-berekening in DIANA FEA versie 10.5 (21-05-2021) uitgevoerd. Het doel van de berekeningen is om de constructieve veiligheid van de gemetselde kelder CHS [redacted] te bepalen. Hardening Soil Model (HS) wordt gebruikt als materiaalmodel voor de grond. Voor het modelleren van het metselwerk in DIANA is het gebruik van het Total Strain Rotating Crack Model gebruikelijk en wijd toegepast [14]. In lengterichting (rijrichting) worden meerdere posities van het laststelsel beschouwd om zo de maatgevende positie te bepalen. In het geval van aaneengeschakelde werfkelders worden meer belastingposities beoordeeld dan aangehouden in 's-Hertogenbosch (zie paragraaf 4.2.3). De beoordeling laat zien of de kelder de belasting kan dragen, hoe de kelder vervormt als gevolg van de belasting en welke spanningen en scheurvorming in de kelder optreden.

Het uitgangspunt is om 2D-berekeningen te maken in plane strain (vlakke rek). Dit betekent dat de vervorming (rek) in de richting van de gracht (dwars op het model) op nul wordt gesteld. Voor het bepalen van het brosse gedrag van de metselwerk zijn niet-lineaire analyses toegepast. Het tweede orde-effect wordt in rekening gebracht via de Total Lagrange geometrische niet-lineariteit.

Conform de Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen [9] wordt de straatkelder getoetst in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) en de uiterste grenstoestand (UGT). In deze berekening wordt zowel het metselwerk als omliggende grond gemodelleerd. Het constructieve draagvermogen van het metselwerk kelder CHS[redacted] wordt getoetst. Voor de bepaling van de belastbaarheid van de kelders dienen de kelders te worden berekend inclusief verkeersbelasting. Naast de reguliere verkeersbelastingen wordt een berekening uitgevoerd van de belasting bij incidentele inzet van de brandweer. Het passeren van het voertuig boven de kelders wordt beschouwd. Samen met de genoemde variabele belastingen zijn ook permanente belastingen (zoals waterdruk) in het model opgenomen.

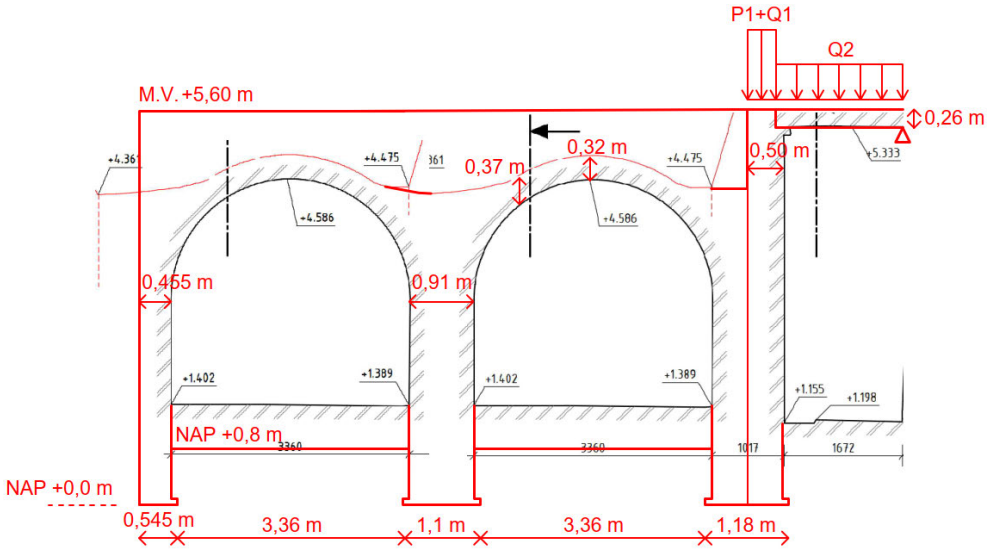
4.2 Model beschrijving

4.2.1 Uitgangspunten en geometrie

Het 2D-model bestaat uit twee kelders. Aan de rechterkant (zuidzijde) bevindt het landhoofd van de kelder zich naast de fundatie van de gebouw maar is niet hieraan gekoppeld. De fundatie van het pand draagt de vloer en de bovenbouw. Aan de linkerkant (noordzijde) wordt een kelder met vergelijkbare overspanning / hoogte van CHS [redacted] verwacht (uit archiefgegevens, Afbeelding 2.1). Uitgangspunt is dat het landhoofd tussen de twee kelders als een geheel kan worden beschouwd. Er is een glijdende oplegging op basis van symmetrie toegevoegd aan het linker landhoofd van de linker kelder en aan de rechterkant van de doorgang. Het uitgangspunt is om 2D-berekeningen te maken in plane strain (vlakke rek), waarbij een strook van 1,0 m dikte wordt gehanteerd. De geometrische eigenschappen van de straatkelder blijken uit de inspectie [8XIV]. De doorsnede die in de berekening wordt gebruikt is doorsnede 1 (afbeelding 2.7) die de grootste overspanning heeft, dus de meest kritische. Bovendien wordt op deze locatie zowel de boogdikte als de vorm van de bovenzijde van kelder tijdens de inspectie gemeten. De constructieve dikte van de boog is anderhalf steens, dus 320 mm.

De doorsnede die in het model zal worden gebruikt, is weergegeven in afbeelding 4.1. Zowel permanente als variabele belastingen van het gebouw zijn in het model meegenomen (P1+Q1, Q2 in afbeelding 4.1). De maatgevende (laagste) vloerniveau wordt gebruikt, gelijk aan NAP +0,8 m.

Afbeelding 4.1 Doorsnede die gebruikt wordt in de Diana-berekeningen



Het funderingsniveau is niet in de beschikbare archiefgegevens aangegeven. Kelders zijn altijd op staal gefundeerd en bestaat uit een voet met versnijdingen waar de wand op gemetseld is. De verwachting is dat de funderingsdiepte varieert van +0,0 m NAP tot +0,5 m NAP. Aangezien het laagste punt van de kelder op NAP +0,8 m ligt lijkt een funderingsniveau op NAP +0,5 m niet aannemelijk. Dus is de onderkant fundering op het niveau NAP +0,0 m aangehouden.

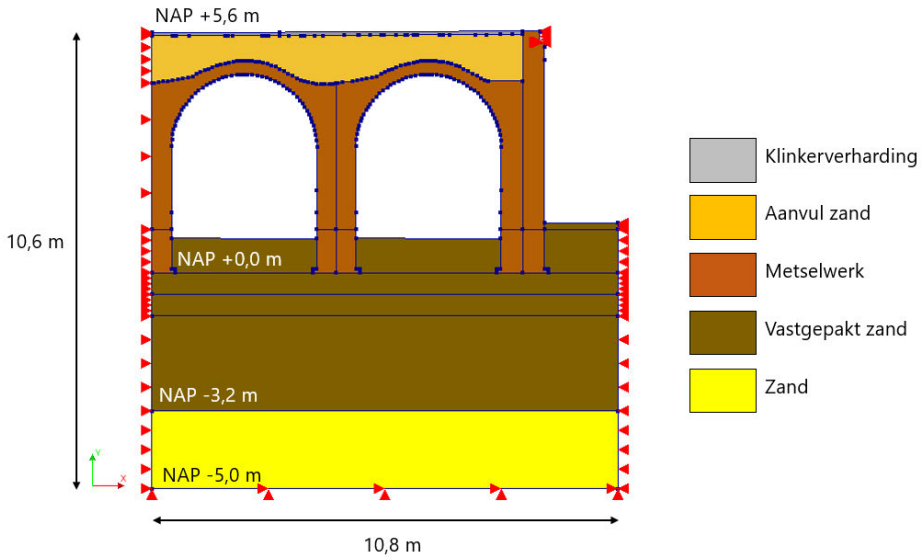
Het aantal versnijdingen volgt niet uit archief gegevens en ook niet uit de inspectie. Onderzoeksresultaten van kluiskelders in de Kromme Nieuwegracht in Utrecht laten allen minimaal versnijdingen vanaf 90 mm tot maximaal 555 mm zien ([5]). Er wordt de minimumwaarde van 90 mm gebruikt.

Met stempelwerking door de vloer wordt geen rekening gehouden. Een laag vastgepakt zand wordt in plaats van de vloer gemodelleerd.

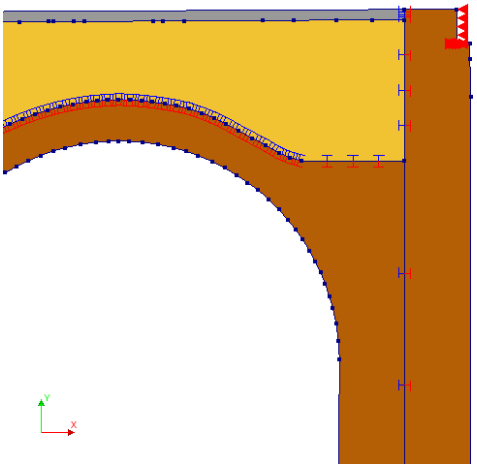
Een afbeelding van de modelgeometrie wordt gegeven in afbeelding 4.2. De geometrie van de kelders is direct gebaseerd op de 3D scangegevens uit de inspectie [8XIV] is dat grondverbetering is toegepast onder de kelders. Daarom is in het model de klei grondlaag onder de kelders vervangen door vastgepakt zand. Dit wordt als een realistische aanname beschouwd omdat het zeer waarschijnlijk is dat de klei tijdens de aanleg van de metselwerkkelder vervangen is. Ook zal de grond onder de fundering door de langdurige (verkeers) belasting van de kelder naar verwachting verdicht zijn. De materiaaleigenschappen van de grondlagen zijn in bijlage I te vinden. Interface-elementen met tension cut-off en Coulomb-friction gedrag worden tussen grond- en metselwerkconstructie geplaatst om een meer realistische spanningsoverdracht tussen grond en kelders te bieden. Hetzelfde type interface wordt ook gebruikt tussen de kelder en de fundering van het gebouw om de interactie tussen deze twee niet-gekoppelde delen te simuleren. De interfaceverbinding wordt weergegeven in afbeelding 4.3. Kwadratische 8-knoops vlakke rekelementen (CQ16E en CT12E) worden gebruikt om grond en kelders te modelleren. CL12I- en CL3CM-elementen worden respectievelijk gebruikt voor interface en composed elementen. Het model is horizontaal ingeklemd aan de drie zijranden en verticaal aan de onderrand (NAP -5,0 m). Extra horizontale klemming is toegevoegd aan de bovenkant van de fundering van het gebouw om de stijfheid van de vloer te simuleren. Het gewicht van de vloer is inbegrepen als externe belasting. Het mesh van het model wordt getoond in afbeelding 4.4.

Als iteratieve methode wordt de Secant (Quasi-Newton)-methode, BFGS type gebruikt. Line Search optie is afgevinkt. Verplaatsing en Krachtnorm moeten beide worden vervuld tijdens de iteratieve procedure met een tolerantie van 1 %. De Parallel Direct Sparse-methode wordt gebruikt om het stelsel vergelijkingen op te lossen.

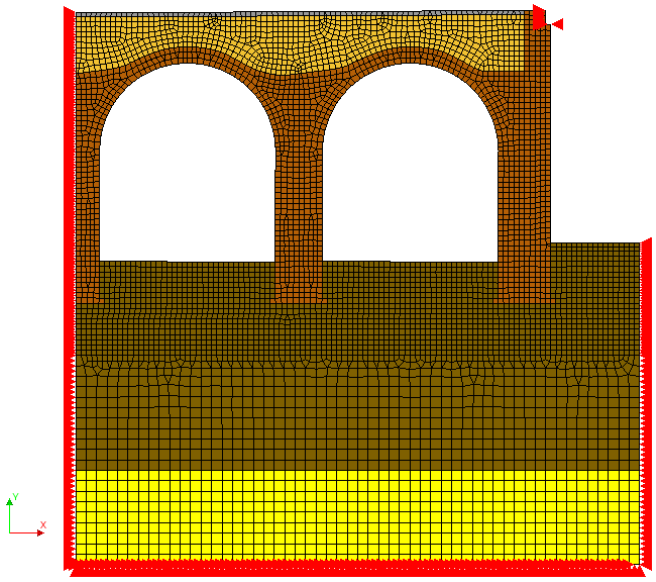
Afbeelding 4.2 Geometrie CHS[redacted] model DIANA FEA



Afbeelding 4.3 Interface tussen grond en kelder en tussen kelder en fundatie van het gebouw



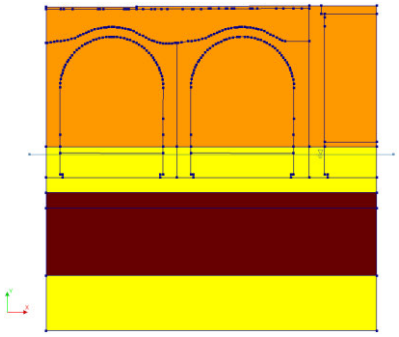
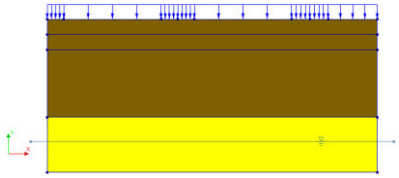
Afbeelding 4.4 Mesh CHS[redacted] model DIANA FEA

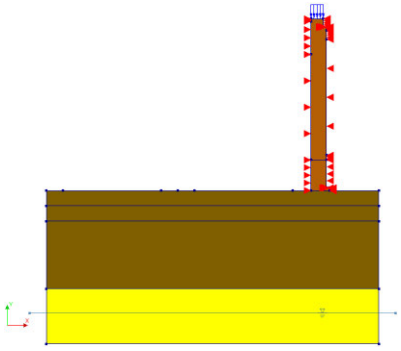
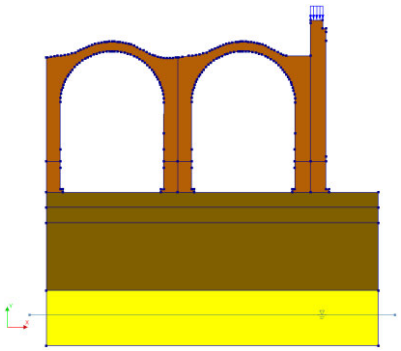
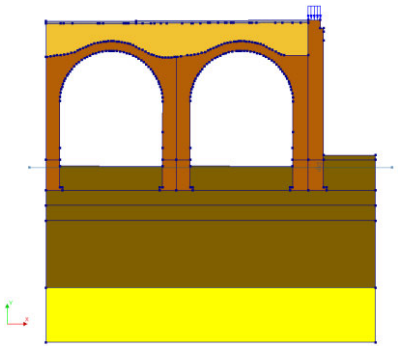
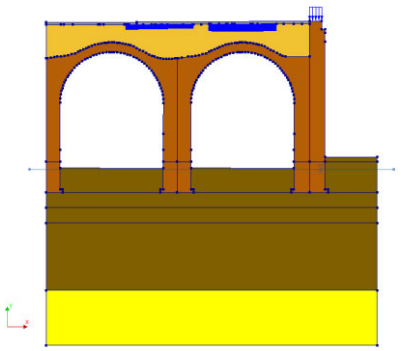


4.2.2 Gefaseerde berekening

De berekening wordt gefaseerd uitgevoerd op basis van de volgende berekeningstappen (tabel 4.1).

Tabel 4.1 Fasering overzicht

Fase	Fasebeschrijving	Modeloverzicht in specifieke fase
1	initiële (K0) situatie met grondwaterstand van NAP+0,75 m. Klei- en zandlagen worden geactiveerd	
2-3	de grond wordt ontgraven tot NAP -3,2 m. De grondwaterstand wordt verlaagd tot NAP -4,0 m	
4	bovenop de oorspronkelijke zandlaag wordt een zandlaag van 3,2 m dikte aangebracht. De zand wordt verdicht door een belasting van 60 kPa om een vastgepakt zand te verkrijgen	

Fase	Fasebeschrijving	Modeloverzicht in specifieke fase
5	de fundatie van de gebouw wordt bovenop het verpakt zand aangebracht. Horizontale bekisting die over de gehele hoogte van het gebouw wordt geactiveerd. Zowel permanente als variabele belastingen worden toegepast op de fundering	
6-7	In fase 6 de bekisting wordt verwijderd. In fase 7 de kelders worden aangebracht. Interface elementen tussen kelders en fundatie worden geactiveerd	
8-9	De aanvulling zand en de klinkerverharding is toegevoegd. Interface elementen tussen kelders en bodem worden geactiveerd. Vloeren zijn toegevoegd. Grondwaterstand is verhoogd tot NAP +0,75 m	
10	verkeersbelasting wordt op verschillende posities geplaatst en geanalyseerd	

In het model wordt de 'Structural nonlinear' -analyse gebruikt. De verkeersbelasting wordt toegepast als krachtgestuurde belasting. De 12 ton van de C20-belasting wordt toegepast in 100 totale stappen met de Q_1 aslast die toeneemt met 6,0 kN/stap. De ladderwagen BM3-belasting wordt ook toegepast in 100 totale stappen met de achteras aslast die toeneemt met 1,15 kN/stap. Hieronder worden de tabellen met de stap van elk belastingtype weergegeven.

Tabel 4.2 Analysestap van de specifieke C20 belasting

C20 belasting	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
Stap	18	25	32	40	49	58	68	78	101

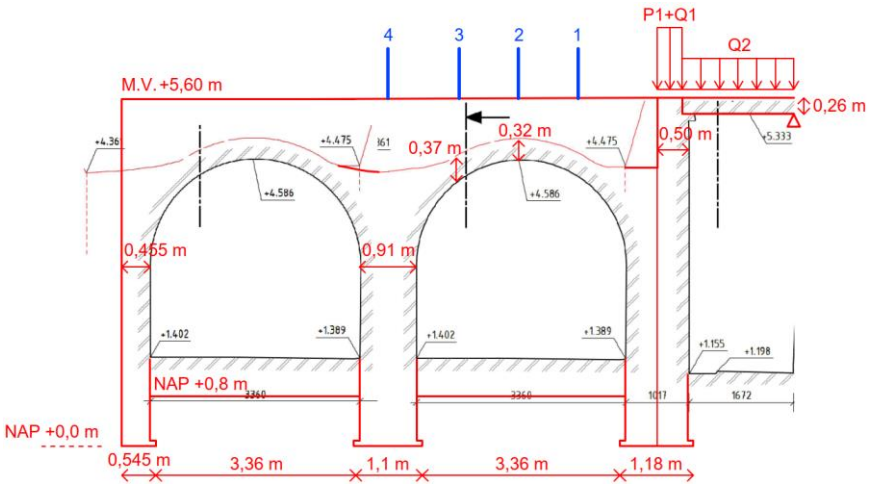
Tabel 4.3 Analysestap van de specifieke BM3-belasting

BM3 belasting	BM3 25 %	BM3 50 %	BM3 75 %	BM3 100 %
Stap	26	51	76	101

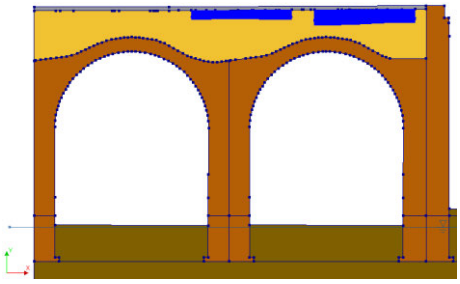
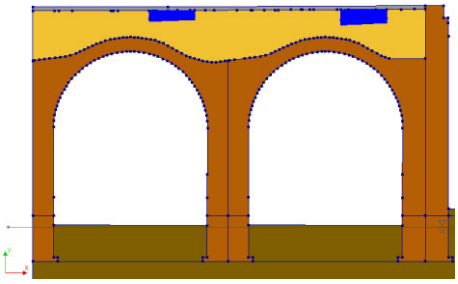
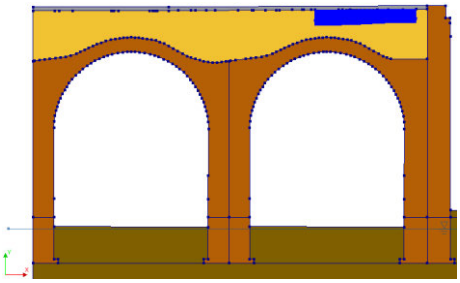
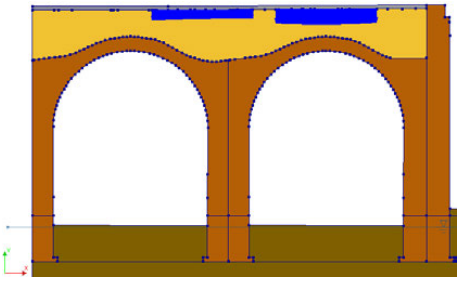
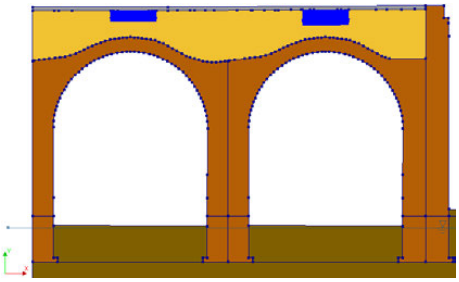
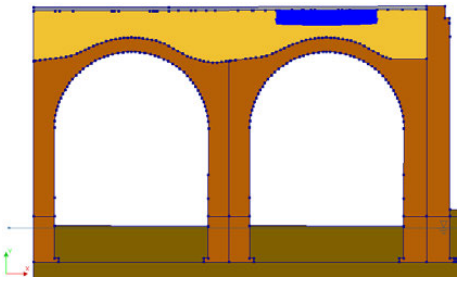
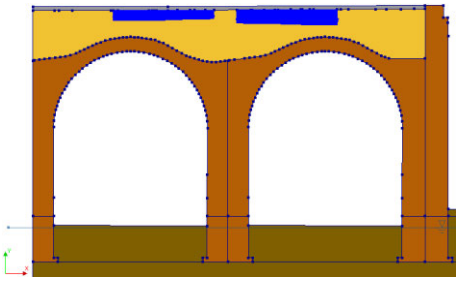
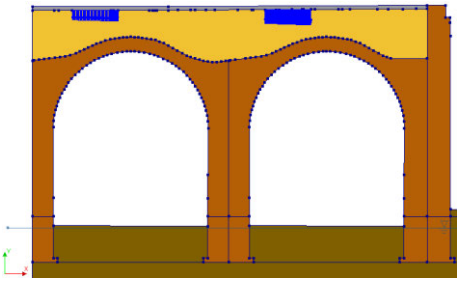
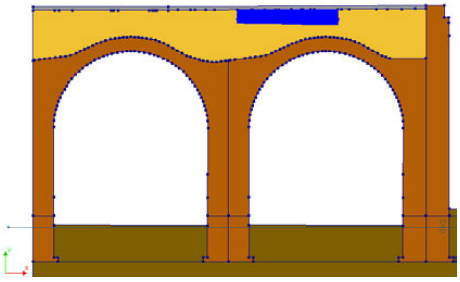
4.2.3 Beschouwde belastingposities

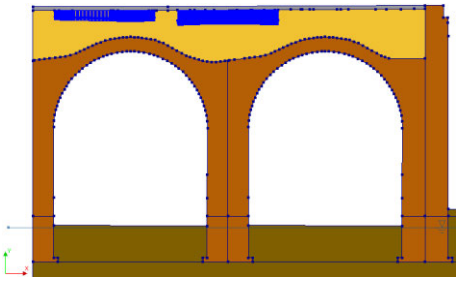
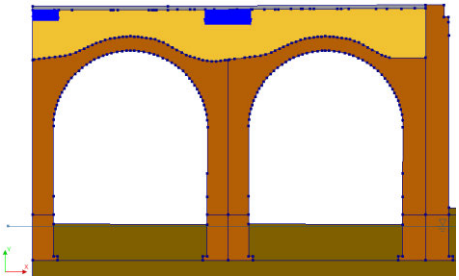
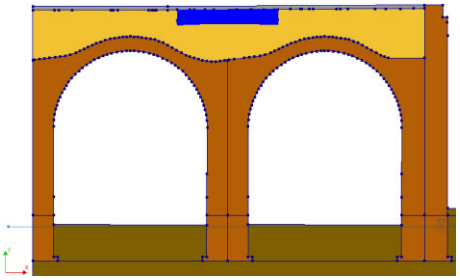
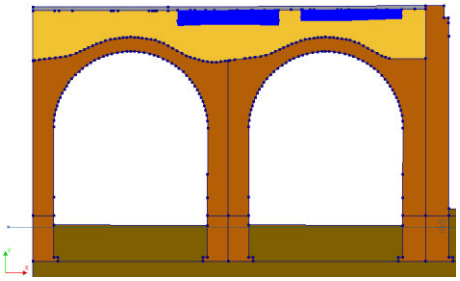
De 'Aanpak beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch' [9] beschrijft minimaal vier posities van de belasting in de lengterichting op de werfkelder die voor de berekening moeten worden uitgevoerd. De berekeningen van de Kromme Nieuwegracht ([2], [3]) hebben onderzocht wat de maatgevende belastingsituaties voor de boogconstructie zijn. Het hart van de belastingposities staan in afbeelding 4.5. Een gedetailleerd overzicht van de verschillende verkeerbelastinglocaties van de aslasten van het BM1 en BM3 belasting wordt gegeven in tabel 4.4. Door de geometrische afmeting van de kelder CHS[redacted] en de aanwezigheid van het gebouw, het is niet mogelijk om de belastingpositie 1R, 2R en 3R in het model in te passen. Er is dus besloten om deze drie posities uit de berekening te verwijderen. In totaal zijn er 9 belastingcombinaties voor BM1 en 4 voor BM3.

Afbeelding 4.5 Doorsnede die gebruikt wordt in de DIANA-berekeningen met hart positie van verkeersbelasting



Tabel 4.4 Verkeersbelasting locatie-overzicht

Positie	C20 bord Aslast	BM3 Aslast
1L		
1M		
2L		
2M		
3L		
3M		

Positie	C20 bord Aslast	BM3 Aslast
4L		
4M		
4R		

4.2.4 Grondopbouw en grondparameters

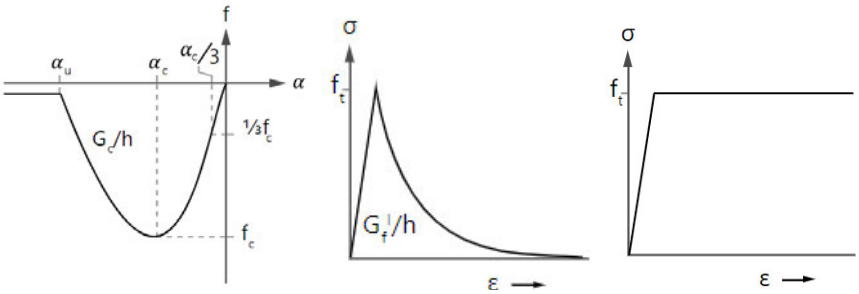
Als bodemmateriaalmodel wordt de Hardening Soil Model toegepast. Het grondpakket en de grondparameters die in het model worden gebruikt (karakteristieke waarden), zijn beschreven in hoofdstuk 3. Aangezien de spreiding van de belasting aan het oppervlak in de breedterichting (circa 3,0 m) te conservatief is voor het geotechnisch draagvermogen en zodoende is aan de sterkte kant dit verrekend door de cohesie van de vastgepakt zand te verhogen. Deze uitgangspunt wordt ook gebruikt op een vergelijkbare studie van de kelder in Kromme Nieuwegracht [3]. De cohesieparameter van het vastgepakt zand wordt 1000 keer verhoogd. De draagvermogen van de fundering op staal wordt analytisch geëvalueerd in bijlage XIII. De volledige lijst met parameters die in het Hardening Soil Model in Diana worden gebruikt, wordt vermeld in bijlage I.

4.2.5 Metselwerkeigenschappen

Het niet-lineaire Total Strain Rotating Crack Model wordt gebruikt om het metselwerk in DIANA te modelleren. Het constitutieve model op basis van total strain is ontwikkeld volgens de lijnen van de Modified Compression Field Theory, oorspronkelijk voorgesteld door Vecchio & Collins. Het Total Strain Crack Model volgt de 'smeared cracking' benadering. Het 'smeared cracking'-model beschouwt scheurvorming als een verdeeld effect over de elementen, waarbij scheurvorming ontstaat in de richting van de hoofdtrekspanningen. Onder belasting wordt het metselwerk blootgesteld aan zowel trek- als drukspanningen, wat kan leiden tot scheuren en verbrijzeling van het materiaal. Hiermee wordt in het model rekening gehouden. Voor compressie wordt een parabolisch gedrag gekozen, terwijl voor de trekspanning een exponentiële softening curve voor BGT rekeningen en een elastoplastische curve voor UGT berekeningen wordt gekozen (afbeelding 4.6). Aangenomen wordt dat verhoging van de druksterkte in geval van alzijdige druk niet mogelijk is gemaakt in het rekenmodel. Het model maakt gebruik van isotrope

stijfheidsparameters van metselwerk, trek- en druksterkte, breukenergie op trek en druk. De breukenergie, dus het 'cracking/crushing' gedrag is afhankelijk van elementgrootte. Deze bijdrage wordt automatisch rekening gehouden door het materiaalmodel via de scheurbandbreedte h (afbeelding 4.6). De berekening van de parameter h is gebaseerd op de Rots-methode die afhankelijk is van de grootte, de vorm en de interpolatiefunctie van het gebruikte eindige element. Een gevoeligheidsstudie van het scheurgedrag van metselwerkwanden gemodelleerd met verschillende element-grootte is uitgevoerd in [29]. De resultaten in termen van schade en scheurbreedte veranderen nauwelijks voor verschillende element-grootte. Afschuifgedrag wordt in aanmerking genomen en berekend volgens de hoofdspanningsrichting. Het gebruik van het Total Strain Rotating Crack-model wordt aanbevolen voor bros materiaal zoals beton en metselwerk. Uit testvalidaties is gebleken dat het Total Strain Rotating Crack-model een efficiënt en goed model is voor gedrag van metselwerk onder unidirectionele belasting. Meer informatie over het materiaalmodel is te vinden in [14]. De volledige lijst met parameters die in Diana worden gebruikt, wordt vermeld in bijlage I.

Afbeelding 4.6 Druk- (links) en trekgedrag voor BGT (midden) en UGT (rechts) berekeningen van Total Strain Rotating Crack Model DIANA FEA [14]



4.2.6 Overige eigenschappen

Klinkerverharding

De meest toegepaste materialen zoals asfalt en grond komen voor als rustende belastingen op het dek (en de fundering). Hiervoor zijn de gewichten bepaald aan de hand van NEN-EN 1991-1-1. Op de bovenste zandlaag wordt een klinkerverharding tot NAP +5,6 m aangenomen met:

- laagdikte: 0,08 m;
- λ /λsat: 20,0 / 20,0 kN/m3;
- E / G / υ: 10,0 MPa / 5,0 MPa / 0,0;
- materiaalmodel: lineair elastisch.

Interface bodem-metselwerk

Interface-elementen worden gemodelleerd tussen grond- en metselwerkconstructie. Er wordt een Coulomb-friction model gebruikt met de volgende eigenschappen:

- normale stijfheidsmodulus k_n: 1,0E+09 N/m^3;
- afschuifstijfheidsmodulus k_t: 1,0E+08 N/m^3;
- c / φ / ψ: 0,7 * c_{zand} / 0,7 * φ_{zand} / 0,0°;
- tension cut-off: 0,0 MPa.

De interface-eigenschappen zijn gebaseerd uit van de sterkte van de omringende grond (aanvulling zand) met een reductiefactor R van 0,7.

Interface metselwerk -metselwerk

Interface-elementen worden gemodelleerd tussen kelder en fundatie van de gebouw om de afwezigheid van koppeling tussen de twee metselwerkdelen te modelleren. Er wordt een Coulomb-friction model gebruikt met de volgende eigenschappen:

- normale stijfheidsmodulus k_n: 5,0E+12 N/m^3;
- afschuifstijfheidsmodulus k_t: 2,0E+12 N/m^3;
- c / φ / ψ: 0,3 / 36,9° / 0,0°;
- tension cut-off: 0,1 MPa.

5

EXTERNE BELASTINGEN EN BELASTINGCOMBINATIES

5.1 Classificatie

De aan te houden gevolgklasse is gelijk aan CC2, conform de NEN8700. De kelderconstructie zijn 'erfgoed' en in de berekeningen uit 2014 door de gemeente Utrecht is ook CC2 aangehouden. Op basis van NEN8701 bijlage B is bij toepassing van bebording zijn reducties van de karakteristieke belasting op basis van: aantal vrachtwagens per jaar, kortere referentie periode en de trend niet toegelaten.

5.2 Permanente belastingen

Permanente belastingen zijn in principe altijd aanwezig op de constructie, maar kunnen gedurende de (rest)levensduur van de constructie veranderen als gevolg van renovaties en/of verbouwingen. Gedurende de levensduur van de constructie zijn geen grote wijzigingen in de constructie doorgevoerd. De permanente belastingen die in het model zijn opgenomen, worden hieronder beschreven.

Eigen gewicht

Voor het soortelijk gewicht van het metselwerk is γ = 23 kN/m^3 conservatief aangehouden. Voor de grond, het soortelijk gewicht en porositeit van de verschillende lagen zijn aangegeven in Tabel 3.1.

Waterdruk

Het gemiddeld grondwaterpeil in het meest nabije meetpunt van de Kromme Nieuwegracht bedraagt volgens het Dinoloket (peilbuis B001 in de Voetiusstraat). Het niveau fluctueert tussen de NAP +0,10 m en NAP +0,80 m, zie [5]. Na de verticale vervorming van de gedeelde draagmuur van de twee kelders, vertoont de fundatie van het gebouw een één richting buigen naar buiten en kleine scheurtjes, Afbeelding 6.1. Deze beginsituatie bepaalt de toestand van voorbeschadiging bepalen aan het begin van de toepassing van de verkeersbelasting. Een laag grondwaterpeil vermindert de amplitude van de buitenwaartse vervormingen en dus de scheurvorming. Als conservatieve benadering wordt het hoogste grondwaterniveau gekozen. Bij een waterpeil in de gracht van NAP +0,80 m staan de kelders CHS [redacted] onderwater. Rekening is gehouden met een grondwaterstand van NAP +0,75 m.

Gebouwen

De kelder CHS [redacted] is het is verbonden met de fundering van het gebouw. Omdat de fundering is ook gemodelleerd, wordt het gewicht van de bovenbouw ook rekening gehouden. De volgende uitgangspunten worden beschouwd bij het berekenen van het gewicht van de bovenbouw:

- gebouw beschouwd als 6x6 m in planrichting;
- bouwhoogte beschouwd als 9 m;
- wanddikte 0,2 m met een soortelijk gewicht van 20 kN/m3;
- vier betonnen vloeren (t = 0,1 m en γ = 25 kN/m^3) verspreid in twee richtingen worden beschouwd.

De totale permanente belasting (voor elke meter) is gelijk aan 46.34 kN.

5.3 Veranderlijke belastingen

De verkeersbelasting is bepaald conform NEN-EN 1991-2. Het normatieve BM1 omvat regulier verkeer met doorgaande ontheffingen tot 100 ton. Het werkelijke gebruik van de straten in het centrum van Utrecht is beperkt door bebording. De lastbeperking is in de Choorstraat bedoeld om schade door verkeersbelasting te voorkomen. De huidige lastbeperking is bewerkstelligd door een beperking van de maximum aslast van een voertuig (bord C20). Belasting waarden worden bepaald volgens de bebording uit tabel 2B van de NEN8701 (tabel 5.1). Afhankelijk van het type berekening (BGT of UGT) zal een reductiefactor α_{c20} uit de oplegde belasting voortkomen. De belasting in het rekenmodel inclusief veiligheidsfactoren (dynamisch en belastingfactor) vermenigvuldigd met de reductiefactor ($Q_{1b} = \alpha_{c20} \times Q_1$) worden vervolgens vergeleken met de rekenwaarden (Q_{1b}), tabel 5.1. Bij toepassing van bebording zijn reducties van de karakteristieke belasting op basis van: aantal vrachtwagens per jaar, kortere referentieperiode en de trend niet toegelaten.

Door de opdrachtgever zijn diverse lastmodellen opgegeven voor bijzondere voertuigen (BM3). Er is gerekend met het normatief voorgeschreven lastbeperking via bebording uit tabel 2B van de NEN8701 (tabel 5.1) en vervolgens is ook BM3 uitgewerkt.

Tabel 5.1 Belasting reductiefactoren volgens Tabel B.2 NEN8701

Tabel B.2 — Reductiefactoren α_{C20} voor de karakteristiek belasting bij gebruik van bord C20

α_{C20}	bord C20 (ton)	bord C20 (kN)	Q_{1b} per as (kN)	Q_{2b} per as (kN)
1,000	12	120	300	200
0,773	**10**	**100**	232	155
0,668	**9**	**90**	200	134
0,569	**8**	**80**	171	114
0,477	**7**	**70**	143	95
0,391	**6**	**60**	117	78
0,310	**5**	**50**	93	62
0,236	**4**	**40**	71	47
0,168	**3**	**30**	50	34

5.3.1 Lastbeperking via bebording

Verkeersbelastingen conform NEN-EN 1991-2 zijn gebaseerd op theoretische rijstroken. Het aantal theoretische rijstroken bepaalt het aantal aslaststelsels dat gelijktijdig in rekening moet worden gebracht. De straatkelder ligt in het lokale wegennet. De Choorstraat [redacted] kelder ligt onder het plein Stadshuisbrug waar geen duidelijke rijstroken aanwezig zijn. Voor de berekening één theoretische rijstrook boven de kelder wordt beschouwd. De breedte van de kelder is loodrecht op de verkeersrijrichting beschouwd. De ligging buiten het hoofdwegennet maakt dat de correctiefactoren onder fictief en werkelijk gebruik gelijk zijn aan $\alpha_{q1} = 1{,}0$ en $\alpha_{qi} = 1{,}0$ (voor $i > 1$). Het aantal zware voertuigen (per jaar per rijstrook; N_{obs}) is 2.000 stuks. De referentieperiode (T_{ref}) is 15 jaar. Bij toepassing van bebording zijn reducties van de karakteristieke belasting op basis van: aantal vrachtwagens per jaar, kortere referentie periode en de trend niet toegelaten.

Volgens NEN-EN 1991-2 en de lastbeperking via bebording (NEN 8701:2011+A1:2020), de belasting bestaat uit twee tandem stellen, Q_{1b} en Q_{2b} (met elk twee aslasten h.o.h. 1,2 m), met een minimale onderlinge afstand van 1,5 m voor de dichtst bij elkaar liggende assen. In afwijking van BM1 moet de tweede laststelsel (Q_{2b}) zo ongunstig mogelijk geplaatst worden. Een verdeelde verkeersbelasting (UDL) geldt hier niet. Een overzicht van de gebruiken belastingen voor de lastbeperking via bebording wordt gegeven in tabel 5.2. Beide waarden van Q_{k1} en Q_{k2} worden dan vermenigvuldigd met de reductiefactor α_{c20} om de Q_{1b} en Q_{2b} waarden te verkrijgen voor elke bordbeperking.

Tabel 5.2 Overzicht belastingen lastbeperking via bebording

	Norm Q_{k1}	Norm Q_{k2}
basiswaarde Q [kN]	300,0	200,0
α_q	1,0	1,0
referentieperiode reductie	1,0	1,0
trendreductie	1,0	1,0
aantal zware voertuigen reductie	1,0	1,0
karakteristieke waarden Q [kN]	300,0	200,0

Conform NEN-EN 1991-2 mag het tandemstelsel bestaande uit twee aslasten (h.o.h. 1,2 m) worden vervangen door een equivalente, gelijkmatig verdeelde belasting die wordt verdeeld over een rechthoekig vlak met breedte van 3,0 m en een lengte van 2,2 m. Dit is op onderkant verharding (= bovenkant grond). De spreiding in de grond wordt in 2D-richting meegenomen in de Diana 2D-berekening. De overzicht van de spreiding van de belastingen wordt gegeven in tabel 5.3. Deze belastingen zijn zonder belastingfactoren.

In de breedterichting wordt een belastingspreiding onder 30 graden aangehouden over de hoogte van het grondpakket tot de bovenkant van de metselwerkboog met als maximum de kelderbreedte. De spanningsspreiding wordt dus richting de draagmuren groter dan ter plaatse van het midden van de boog. Naast de kelder kan spanningsspreiding onder 45 graden tot de afstand van de draagmuur worden toegepast, zoals gebruikelijk is voor bijvoorbeeld damwandberekeningen, met als maximum de kelderbreedte.

Tabel 5.3 Spreiding belastingen lastbeperking via bebording

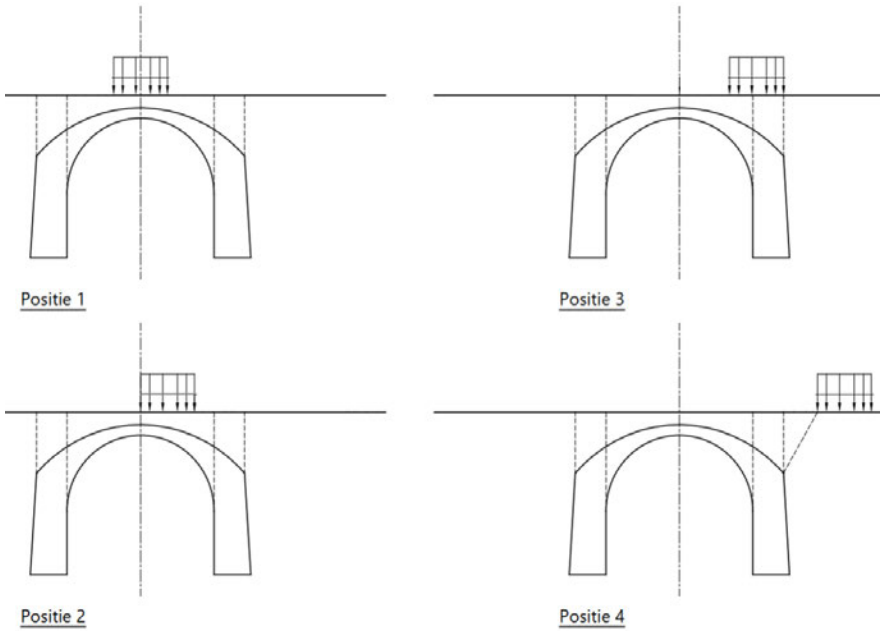
Belasting	F_{TS} [kN]	Afmetingen wielvlak [m x m]	q_{wiel} [kN/m^2]
bord C20 - Q_{k1}	300,0 x 2 = 600,0	3,0 x 2,2	90,9
bord C20 - Q_{k2}	200,0 x 2 = 400,0	3,0 x 2,2	60,6

De positie van de verkeersbelasting is variabel. In de berekening worden een viertal hoofdposities per kelder beschouwd:

1 geconcentreerde belasting in het midden van de kelder;
2 geconcentreerde belasting tussen midden van de kelder en 2,2 m uit het midden van de kelder;
3 geconcentreerde belasting op de draagmuur, beginnend aan de achterzijde van de draagmuur en 2,2 m richting midden van de overspanning;
4 geconcentreerde belasting achter de draagmuur. De afstand tot de kelder hangt af van de diepteligging van de kelder, 30 graden vanaf bovenzijde draagmuur.

De tweede laststelsel (Q_{k2}) mag zo ongunstig mogelijk geplaatst worden, met een minimale afstand van Q_{k1} van 1,5 m. Vanwege de aanwezigheid van de gebouwen wordt de tweede laststelsel (Q_{k2}) slechts aan één kant van Q_{k1} geplaatst.

Afbeelding 5.1 Posities Q_{k1} belasting



5.3.2 Belastingmodel 3 (BM3)

Naast de reguliere verkeersbelastingen wordt een berekening uitgevoerd van de belasting bij incidentele inzet van de brandweer. De door de opdrachtgever opgegeven lastmodellen zijn weergegeven in Tabel 5.4. De aangegeven aslasten zijn allen karakteristieke waarden, dus zonder dynamische factoren. Het stelsel van samenstellingen van aslasten die model staan voor de bijzondere zware voertuigen vormen de invulling voor Belastingmodel 3 (BM3) volgens NEN-EN 1991-2/NB.

Tabel 5.4 Stelsels van de samenstelling van de aslasten voor de voertuigen van de brandweer Utrecht. Maatgevende voertuig vetgedrukt

Type voertuig	Aslast vooras [kN]	Aslast achteras [kN]	Afstand wielbasis [m]
blusvoertuig	47,0	93,0	3,61
containervoertuig	75,0	115,0	4,80
ladderwagen	**80,0**	**115,0**	**4,20**
hoogwerker	71,0	115,0	4,80

Op basis van de verstrekte as-configuraties is het voertuig 'ladderwagen' maatgevend (totale aslast belasting). De kelderconstructie zal dus beoordeeld worden voor het stelsel van samenstelling van aslasten van de ladderwagen (maatgevend volgens tabel 5.4). De twee assen van 8 ton en 11,5 ton met een wielbasis afstand van 4,20 m worden als maatgevende assen op de constructie geplaatst.

Volgens art 4.3.4 van NEN-EN 1991-2-C1:2015/NB:2019 geldt bij BM3 dat, wanneer de bijzondere voertuigen bewegen met een snelheid van meer dan 5 km/h (wenselijk, dus onbeperkt gebruik), er voor de verticale belastingen een dynamische vergrotingsfactor in rekening moet zijn gebracht ter grootte van:
$\varphi = 1{,}40 - L / 500$ waar $\varphi \geq 1$ met L = de getalswaarde van de invloedlengte (in meters). Voor de overspanning(en) van de metselwerk kluiskelders is deze klein en dus $\varphi = 1{,}4$ is aangenomen. Dit is een erg conservatieve aanname omdat de snelheid zeer laag zal zijn bij het passeren van de kluiskelder (< 50 km/h).

De belasting van de twee assen wordt verdeeld over een rechthoekig vlak met breedte van 3,0 m en een lengte van 1,0 m. De zware as zal op de maatgevende belastingpositie staan waar de lichtere vooras hier aan de zijde van het plein staat (door de aanwezigheid van de bebouwing aan de overzijde).

Tabel 5.5 Overzicht belastingen BM3

	Q_{vooras}	$Q_{achteras}$
basiswaarde Q [kN]	80,0	115,0
α_q	1,0	1,0
referentieperiode reductie	1,0	1,0
trendreductie	1,0	1,0
aantal zware voertuigen reductie	1,0	1,0
dynamische vergrotingsfactor	1,4	1,4
karakteristieke waarden Q [kN]	112,0	161,0

Tabel 5.6 Spreiding belastingen BM3

Belasting	Q_{vooras} [kN]	$Q_{achteras}$ [kN]	Afmetingen wielvlak [m x m]	q_{vooras} [kN/m^2]	$q_{achteras}$ [kN/m^2]
BM3	112,0	161,0	3,0 x 1,0	37,3	53,7

5.3.3 Veranderlijke belasting gebouw

Naast de permanente belasting van het gebouw wordt ook de veranderlijke belasting meegenomen in de berekening (afbeelding 4.5). Op deze manier wordt de op de fundering overgebrachte voorbelasting (overgebracht op de fundering) op een realistische wijze in rekening gebracht. Dat wordt berekend met behulp van tabel NB.1 - 6 2 van NEN 1991-1-1, gebruiksbelastingen op vloeren van gebouwen (tabel 5.7). Uitgaande vier vloeren (6 x 6 m, verspreid in twee richtingen) in het gebouw, waarbij de begane grond een winkelruimte is en de andere drie woningruimte zijn, is de totale veranderlijke belasting (voor elke meter) gelijk aan 19,5 kN.

Tabel 5.7 NEN 1991-1-1 tabel NB.1 voor gebruiksbelastingen op vloeren van gebouwen

Tabel NB.1 – 6.2 — Gebruiksbelastingen op vloeren, balkons, trappen en bordessen van gebouwen

Klasse van belast oppervlak	q_k kN/m²	Q_k [b] kN
Klasse A (wonen en huishoudelijk gebruik)		
A-gemeenschappelijke vloeren, trappen en balkons	3,0	3
Klasse D (winkelruimten)		
D-omsloten verkeersruimten	4,0	7

5.4 Horizontaal rem- en versnellingskrachten

Horizontale belastingen op de boog door verkeer vinden plaats wanneer de verkeersbelasting op een deel van de boog en/of een landhoofd aanwezig is. Door de spreiding van de verkeersbelasting zal een deel van de boog verticaal en horizontaal belast worden. Deze belastingsituaties zijn meegenomen in de beoordeling.

Dit tweede orde effect is meegenomen in de berekening door de Total Lagrange geometrische niet-lineariteit, zodat de vervormde constructie belast wordt.

Horizontale verkeersbelastingen kunnen ook bestaan uit krachten door remmen/accelereren van voertuigen. Deze krachten worden door de stijfheid van het bovenliggende wegdek en het grondpakket gespreid. Vervolgens ondervindt de drukboog kleine trek- en drukspanningen welke binnen de marges van het toetsen van de globale krachtswerking vallen. Voor de controle van de boogconstructie(s) is de belasting daarom verwaarloosbaar en niet nader uitgewerkt.

5.5 Belastingcombinaties

De totale verticale belasting die in fase 5 bovenop de fundering van het gebouw moet worden opgenomen, wordt berekend met formule 6.14b (karakteristieke combinatie BGT, afbeelding 5.2) en 6.10a/b (fundamentele belastingcombinatie UGT, afbeelding 5.3). Hier worden permanente en variabele belastingen van de bovenbouw vermenigvuldigd met factoren om de rekenwaarde te berekenen. Ψ-factoren zijn overgenomen uit Tabel A1.1 van NEN-EN 1990 (tabel 5.8). γ_G en γ_Q factoren worden als ongunstig beschouwd uit Tabel A1.2(B) van NEN-EN 1990 (tabel 5.9).

Afbeelding 5.2 BGT karakteristiek combinatie

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \Psi_{0,i}\, Q_{k,i} \qquad (6.14b)$$

Afbeelding 5.3 UGT fundamentele combinaties

$$\begin{cases} \sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P P \text{ "+" } \gamma_{Q,1}\psi_{0,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \gamma_{Q,i}\psi_{0,i} Q_{k,i} & (6.10a) \\ \sum_{j\geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \gamma_{Q,i}\psi_{0,i} Q_{k,i} & (6.10b) \end{cases}$$

Tabel 5.8 NEN-EN 1990 tabel A1.1 ψ-factoren voor gebouwen

Tabel A1.1 — Aanbevolen waarden van ψ-factoren voor gebouwen

Belasting	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Voorgeschreven belastingen in gebouwen, categorie (zie EN 1991-1-1)			
Categorie A: woon-, verblijfsruimtes	0,7	0,5	0,3
Categorie D: winkelruimtes	0,7	0,7	0,6

Tabel 5.9 NEN-EN 1990 tabel A1.2(B) rekenwaarden van belastingen (STR/GEO)

Blijvende en tijdelijke ontwerp-situaties	**Blijvende belastingen**		**Overheersende veranderlijke belasting (*)**	**Veranderlijke belastingen (*) gelijktijdig met de overheersende**	
	Ongunstig	Gunstig	Belasting	Belangrijkste	Andere
(Vgl.6.10a)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ $i > 1$
(Vgl.6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ $i > 1$

$\gamma_{G,j,sup} = 1,35$

$\gamma_{G,j,inf} = 1,00$

$\gamma_{Q,1} = 1,50$ daar waar ongunstig (0 daar waar gunstig)

$\gamma_{Q,i} = 1,50$ daar waar ongunstig (0 daar waar gunstig)

$\xi = 0,85$ (zodat $\xi \gamma_{G,j,sup} = 0,85 \times 1,35 \cong 1,15$).

6

VERIFICATIEBEREKENING

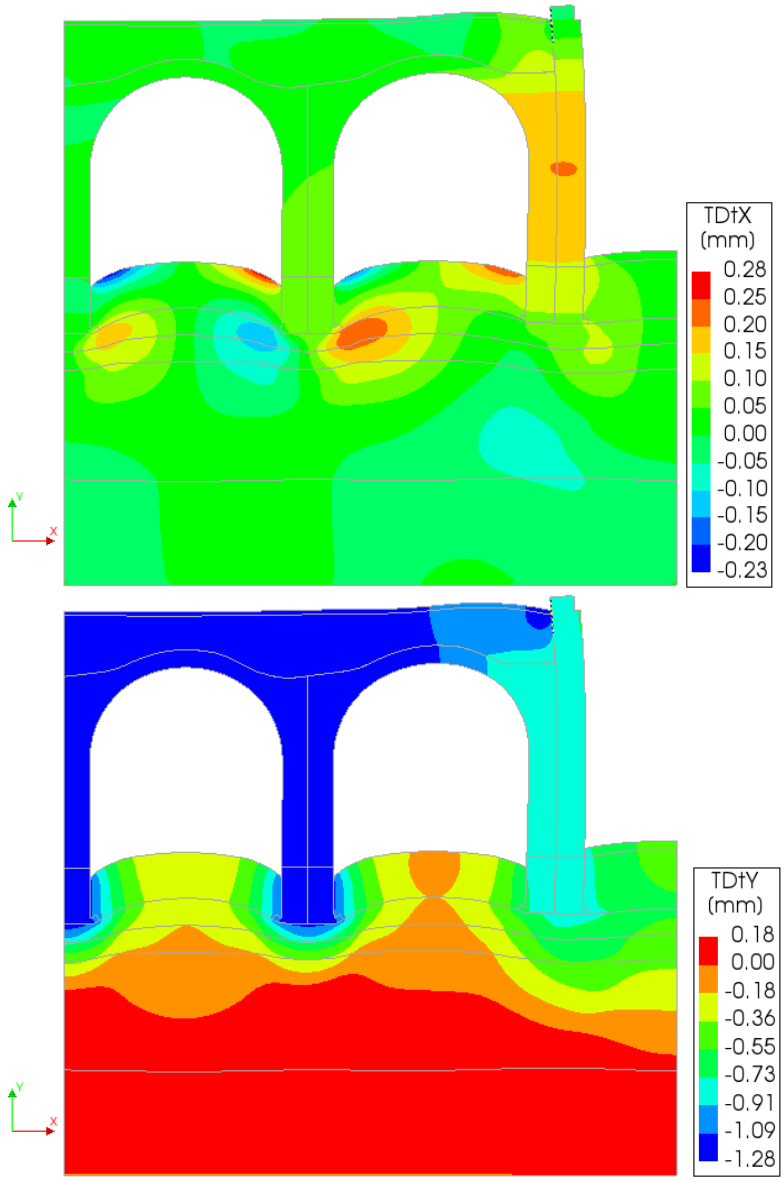
6.1 Inleiding

De boog is getoetst voor negen belastingposities: 1-L (Q_1 op de rechtse rand van de kelder en Q_2 op de draagmuur tussen de twee kelders), 1-M (Q_1 op de rechtse rand van de kelder zonder Q_2), 2-L (Q_1 op de midden van de kelder en Q_2 op de rechtse rand van de andere kelder), 2-M (Q_1 op de midden van de kelder zonder Q_2), 3-L (Q_1 op de linker rand van de kelder en Q_2 op de rechtse rand van de andere kelder), 3-M (Q_1 op de linker rand van de kelder zonder Q_2), 4-L (Q_1 op de draagmuur tussen de twee kelders en Q_2 op de midden van de andere kelder), 4-M (Q_1 op de draagmuur tussen de twee kelders zonder Q_2) en 4-R (Q_1 op de draagmuur tussen de twee kelders en Q_2 op de rechtse rand van de kelder). Hierbij is gekeken naar de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) en de uiterste grenstoestand (UGT). Alle BGT-berekeningsresultaten zijn opgenomen in bijlage II en bijlage III voor C20 bebording en BM3 belasting respectievelijk. Op dezelfde manier worden de resultaten van UGT-GRF en UGT-PF weergegeven in bijlage IV, V en VI, VII. De draagvermogen van de gedeelde draagmuur van de twee kelders is analytisch berekend. Fase 9 van de analyse (grond- en metselwerkconstructie onderhevig aan zwaartekracht en waterdrukbelasting) wordt ook besproken.

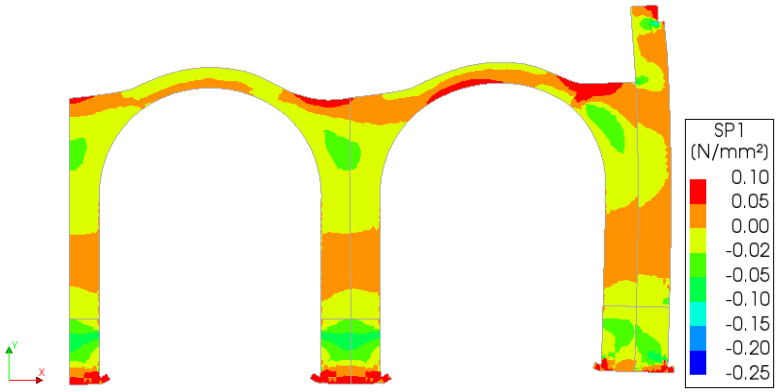
6.2 Resultaten berekening belastinggeval eigen gewicht

De beginsituatie vóór het aanbrengen van de verkeersbelasting wordt gecontroleerd en gerapporteerd. Dit zijn de resultaten van fase 9, waarin de metselwerkconstructie en het aanvulzand volledig in het model worden meegenomen. De resultaten beschrijven de situatie waarin de initialisatie van de aanvulzandspanning en zwaartekrachtbelasting in het model wordt toegepast. De resultaten zijn uitgedrukt in termen van verplaatsing, hoofdspanningen en scheuren van het metselwerk voor BGT-analyses. De situatie beschrijft voornamelijk de zetting van de gedeelde draagmuur van de twee kelders. De maximale verticale vervorming is ongeveer 1,3 mm (afbeelding 6.1). De rechtse draagmuur, verbonden met de fundering van het gebouw (die al in het model zat) verplaatst minder: ongeveer 0,8 mm. De zijdelingse druk van de boog laat de fundering van de gebouw lichtjes horizontaal verplaatsen in eenrichtingsbuiging (afbeelding 6.1). Deze boogdruk zorgt voor een trekspanningsveld boven de rechter draagmuur van de kelder (afbeelding 6.2). Hier de treksterkte wordt bereikt en er vormt zich een (onzichtbare) scheur (afbeelding 6.4). Kleine scheurtjes worden ook gevonden op funderingsniveau. Door de (non-tension) interface tussen metselwerk en grond kan de grond vervormen zonder dat er trekspanningen op de fundatie van de bouwen worden uitgeoefend. Hoofdtrek (SP1) en hoofddrukspanning (SP3) hoofdspanningscontourplots worden weergegeven afbeelding 6.2 en afbeelding 6.3. Het overzicht van de scheurtjes wordt getoond in afbeelding 6.4. Naast de plot met de metselwerkgebieden die de treksterktegrens overschrijden, wordt de scheurbreedte ook met alleen waarden boven de smalste zichtbare scheuren met een breedte van 0,1 mm uitgedrukt [18].

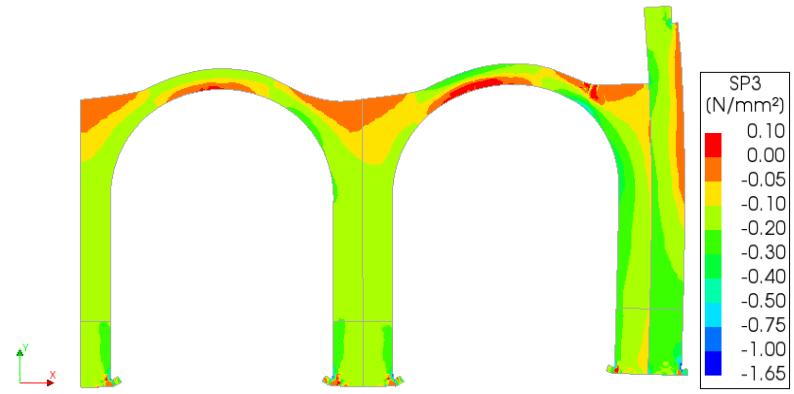
Afbeelding 6.1 Resulterende horizontale (boven) en verticale (onder) vervormingen van fase 9 van BGT analyse



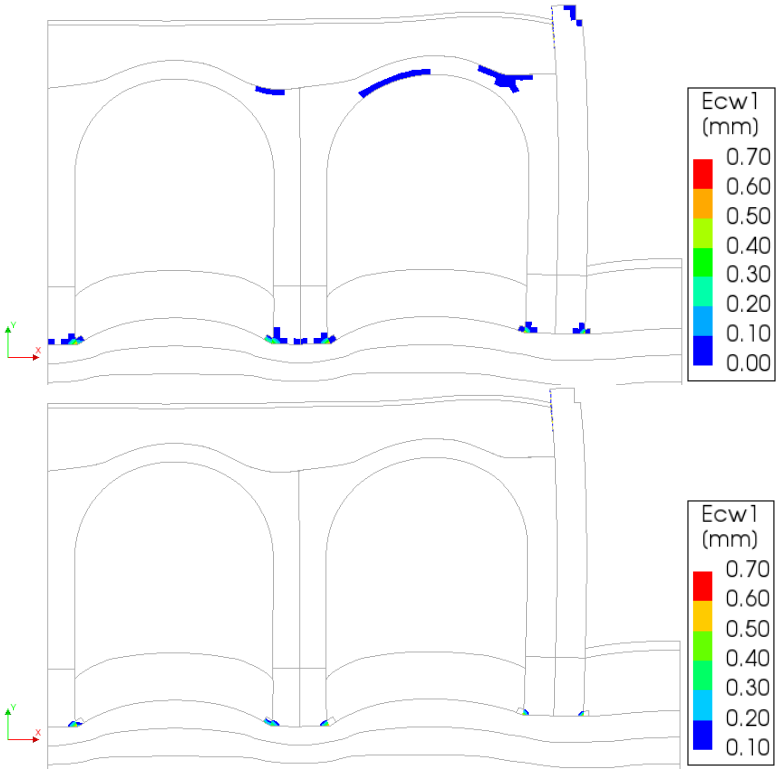
Afbeelding 6.2 Contourplot hoofdtrekspanning (Piola-Kirchhoff) van fase 9 voor BGT-analyse



Afbeelding 6.3 Contourplot hoofddrukspanning (Piola-Kirchhoff) van fase 9 voor BGT-analyse



Afbeelding 6.4 Hoofdscheurbreedte plot- zonder contourlimiet (boven) en degenen met waarden boven 0,1 mm (onder) van fase 9 voor BGT analyse



De belasting door eigen gewicht leidt tot een initiële vervorming van de constructie als gevolg van zetting van de draagmuren. De fundatie van het gebouw ondergaat een kleine eenrichtingsbuiging naar buiten. Aan de rechter bovenkant en binnenkant van de kruin niveau is de treksterkte van de metselwerk overschreden, maar zonder scheurvorming (scheurbreedte kleiner dan 0,1 mm). Door inleiding oplegdrukken kunnen scheuren worden gezien bij het versnijdingen van de funderingen. Het schade niveau van de constructie wordt beschouwd als DL0 (uit tabel 2.2).

6.3 BGT

6.3.1 C20 bebording

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van de BGT-berekeningen voor de 9 belastingposities en de 9 C20-bord belasting (van 3 ton tot en met 12 ton, tabel 5.1). Het overzicht van de locatie van de belastingpositie wordt gegeven in tabel 4.4. De maximaal toelaatbare vervorming van de CHS 2-4 kelder is gelijk aan L / 300 = 11,2 mm, waarin L = overspanningslengte = 3,36 m. De maximale vervorming wordt bepaald als de maximale verplaatsing bij de binnenzijde van de CHS 2-4 boog. Schade is beperkt tot schade niveau 2 (DS1-DL2) wat een ψ-waarde van maximaal 2,4 betekent. Voor alle belastingposities met een C20 bord belasting lager of gelijk aan 9 ton is de maximale vervorming onder de maximaal toelaatbare vervorming van 11,2 mm (tabel 6.1). Bij een belasting van 10 ton (volgens bord C20) vertoont de positie 2-L (meest maatgevend in termen van verplaatsing) een overschrijding van de vervormingscriteria. Bij een belasting van 12 ton, alleen de positie 1-M, 4-L en 4-M voldoen aan de vervormingscriteria (tabel 6.1).
De maximaal drukspanning is voor alle belastingposities lager dan de gemiddelde druksterkte van 8,5 MPa (tabel 6.2). De scheurontwikkeling bij de binnenzijde van de boog (zichtbare scheuren) wordt geregistreerd in termen van scheurbreedte (Tabel 6.3). De berekende schadeparameters ψ van de verschillende scenario's zijn weergegeven in tabel 6.4. Schade niveau 1 (DL1) wordt overschreden voor positie 2-L, 2-M en 3-L voor de belasting met bord van 5 ton. Schade niveau 2 (DL2) voldoet voor een belasting borden van 5 in alle belasting positie. Bij een belasting van 6 ton wordt DL2 overschreden voor de enige positie 2-M. In termen van schade is belastingpositie 2-M het meest maatgevende.

Tabel 6.1 Maximale vervorming [mm]. Toelaatbare maximum, 11,2 mm. Groen: criteria voldoet

Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	0.68	1.05	1.46	2.57	3.79	4.92	6.65	8.14	12.39
1-M	0.46	0.71	1.00	1.36	2.35	3.72	5.08	6.34	10.03
2-L	0.77	1.39	2.19	3.32	5.21	7.20	10.20	12.43	20.63
2-M	0.49	0.75	1.52	2.61	4.10	5.53	6.88	9.21	15.70
3-L	0.82	1.32	2.13	3.03	4.98	6.29	8.57	11.15	18.37
3-M	0.51	0.80	1.26	2.01	3.84	5.41	7.01	8.93	15.89
4-L	0.72	1.15	1.64	2.21	2.94	3.75	4.98	6.04	8.99
4-M	0.45	0.72	1.03	1.41	1.87	2.44	3.16	3.87	5.85
4-R	0.72	1.12	1.58	2.45	3.42	4.65	6.02	7.66	11.04

Tabel 6.2 Maximale drukspanning [MPa]. Maximum druksterkte, 8,5 MPa - ter informatie/geen criterium

Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	-1.07	-1.13	-1.19	-1.84	-2.49	-2.90	-3.47	-3.93	-5.17
1-M	-0.96	-0.99	-1.02	-1.07	-1.72	-2.47	-2.87	-3.32	-4.52
2-L	-1.10	-1.30	-1.66	-2.19	-2.82	-3.38	-3.97	-4.28	-4.83
2-M	-1.01	-1.05	-1.50	-2.09	-2.78	-3.31	-3.74	-4.35	-4.83
3-L	-1.13	-1.20	-1.53	-1.87	-2.46	-2.75	-3.05	-3.18	-4.46
3-M	-1.05	-1.10	-1.19	-1.55	-2.30	-2.79	-3.01	-3.35	-4.96
4-L	-1.12	-1.20	-1.26	-1.35	-1.65	-1.91	-2.01	-2.12	-2.69
4-M	-1.06	-1.12	-1.17	-1.23	-1.30	-1.38	-1.63	-1.78	-2.12
4-R	-1.10	-1.17	-1.24	-1.71	-2.13	-2.55	-3.00	-3.48	-4.43

Tabel 6.3 Maximale scheurbreedte bij de binnenzijde van de boog [mm] - ter informatie/geen criterium

Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	0.01	0.02	0.04	0.63	1.22	1.71	2.75	3.56	6.10
1-M	0.01	0.03	0.07	0.15	0.81	1.85	2.94	3.87	6.90
2-L	0.03	0.25	0.64	1.20	2.39	3.81	6.15	7.77	14.79
2-M	0.03	0.06	0.76	1.74	3.31	4.80	6.10	8.73	16.67
3-L	0.04	0.17	0.52	0.76	1.59	2.04	3.04	4.29	8.06
3-M	0.04	0.08	0.32	0.67	1.76	2.80	3.75	4.98	10.15
4-L	0.03	0.09	0.28	0.46	0.74	1.08	1.70	2.17	3.86
4-M	0.02	0.04	0.13	0.28	0.41	0.60	0.78	1.03	1.86
4-R	0.02	0.03	0.06	0.40	0.78	1.59	2.23	3.03	4.48

Tabel 6.4 Schadewaarde ψ. Groen: criteria DL1 voldoet (ψ<1,5), DL2 in oranje (1,5≤ψ≤2,4) en DL3 in rood (ψ>2,4)

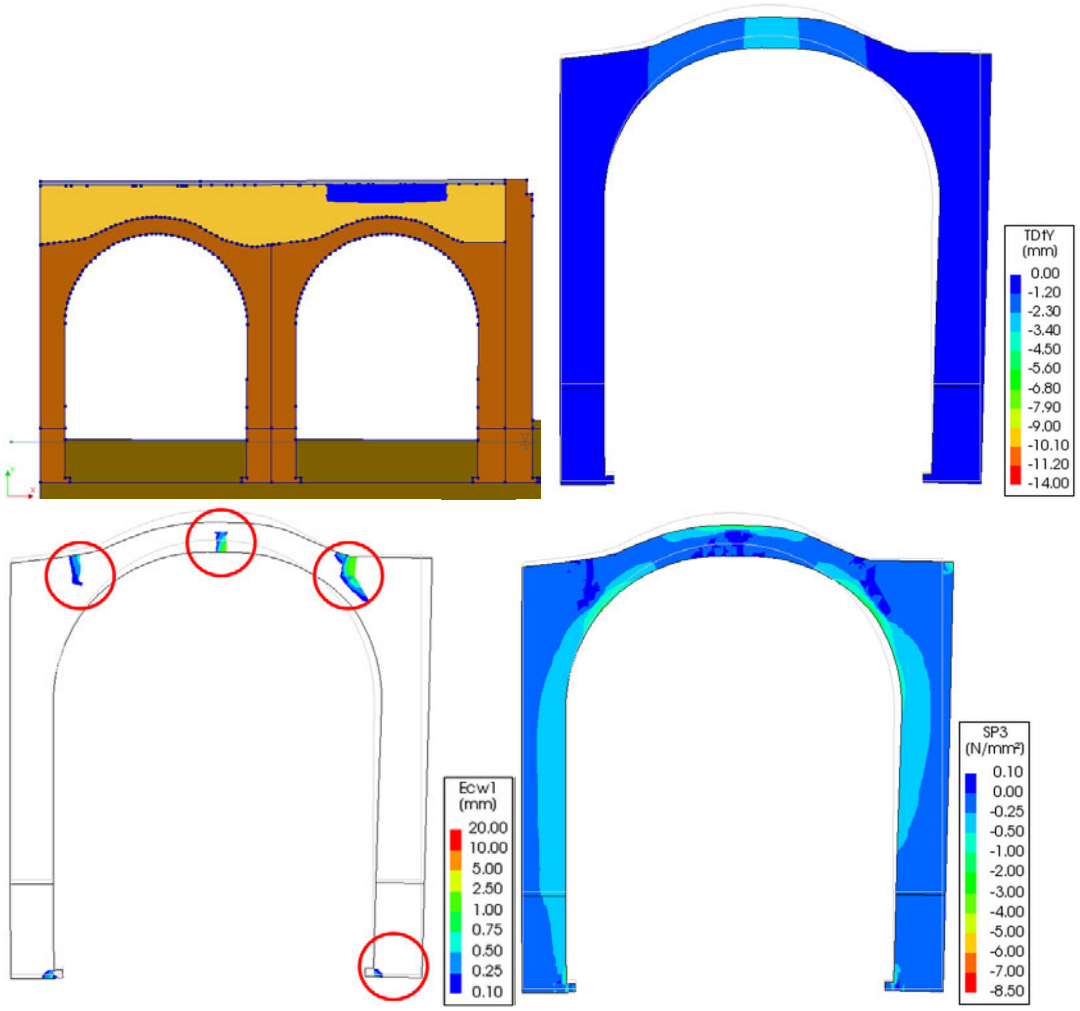
Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	0.0	0.0	0.8	1.7	2.1	2.3	2.7	2.9	3.4
1-M	0.0	0.0	0.9	1.1	1.9	2.4	2.8	3.0	3.6
2-L	0.0	1.3	1.7	2.1	2.6	3.0	3.4	3.7	4.5
2-M	0.0	0.9	2.0	2.6	3.2	3.5	3.8	4.2	5.2
3-L	0.8	1.2	1.6	1.8	2.3	2.5	2.8	3.1	3.7
3-M	0.7	0.9	1.4	1.8	2.4	2.7	3.0	3.2	4.0
4-L	0.0	1.0	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	3.0
4-M	0.0	0.0	1.1	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0	2.4
4-R	0.0	0.0	0.8	1.5	1.9	2.3	2.5	2.8	3.1

Afbeelding 6.5 toont de belangrijkste output gegenereerd uit het modelscenario met een C20 bordbelasting van 6 ton en positie 2-M. De hoofddrukspanningscontour laten zien hoe de drukspanningen in de boog verlopen. Omdat de belasting in het midden van de kelder wordt uitgeoefend, is de drukzone voornamelijk symmetrisch aan de twee binnenzijden van de boog. Op het kruinniveau verschuift de drukzone naar de bovenkant van de boog. Tegenover, bij de binnenzijde van de boog vormt zich een scheur. Twee andere scheuren vormen zich op de linker en rechter bovenkant van de boog. De verticale verplaatsing van de kruin is ongeveer 2,6 mm.

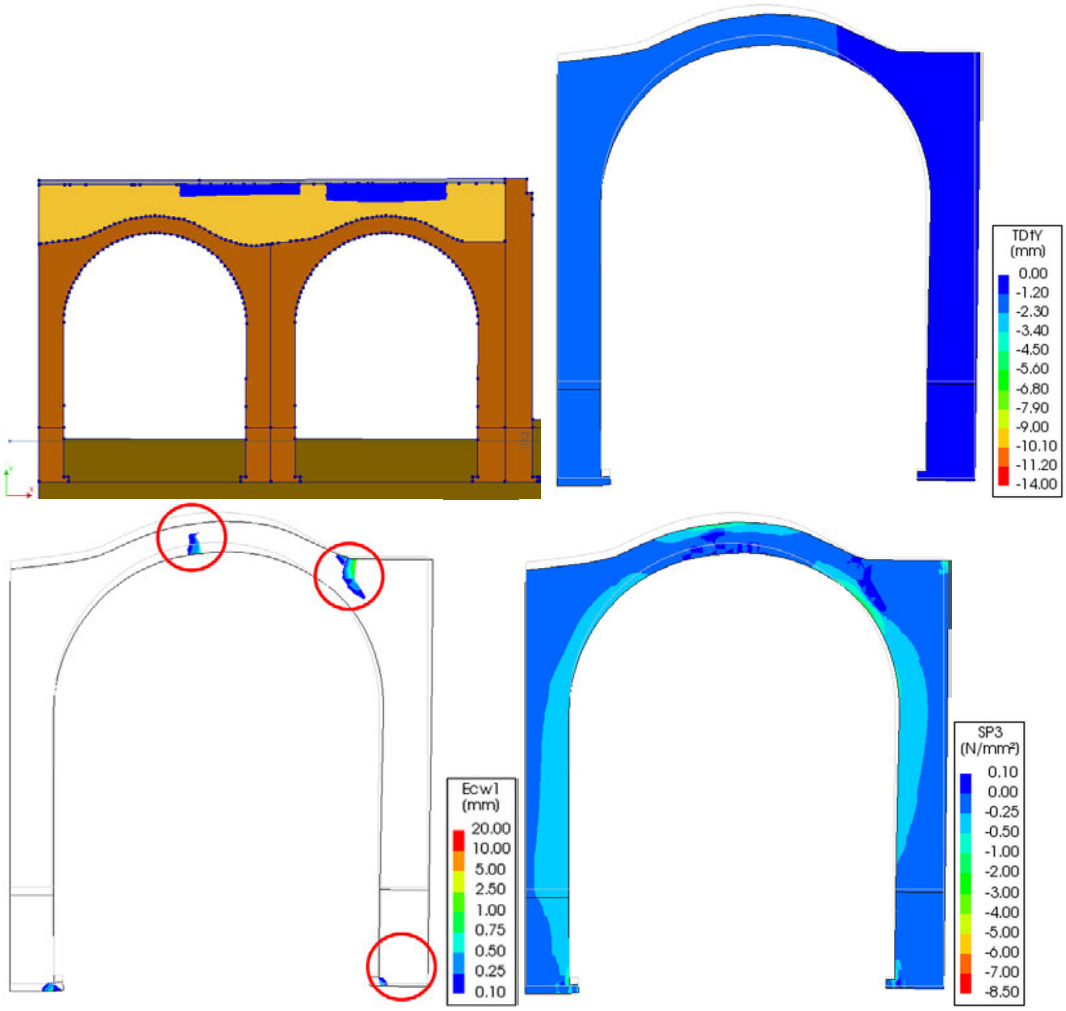
Modelscenario met een C20 bord belasting van 5 ton en positie 2-L wordt getoond in afbeelding 6.6 en modelscenario met een C20 bord belasting van 8 ton en positie 3-M wordt getoond in afbeelding 6.7. Het mechanisme is vergelijkbaar met wat in het vorige geval is waargenomen. Hierbij neemt de uitbuiging van de rechter draagmuur toe, door een verschuiving van de belasting aan de linkerkant. Modelscenario 3-M toont een hogere buiging van de rechter draagmuur door lagere passieve belasting aangebracht op de linker kelder.

Concluderend is aan de vervormingencriteria voldaan voor C20 bord tot 9 ton (grijze kolom, Tabel 6.1), maar anderzijds wordt het schade niveau 2 (DL2) bij C20 6 ton bord overschreden (Tabel 6.4). De BGT toets voldoet dus aan de C20 bord van 5 ton (grijze kolom, tabel 6.4). De volledige set van de resultaten van de BGT-C20-analyse is te vinden in bijlage II. Het convergentiegedrag van BGT-C20 berekeningen is goed. Zoals weergegeven in afbeelding 6.8 voor modelscenario 2-L, volledige convergentie wordt bereikt tot stap 40 (overeenkomend met 6 ton belasting). Na dit punt verliest de krachtnorm aan nauwkeurigheid maar blijft de onbalanskracht in ieder geval onder de 3 %. De verplaatsingsnorm wordt bijna altijd gehaald. Er zijn niet meer dan 2 opeenvolgende stappen waarin deze niet wordt bereikt. Vergelijkbaar gedrag wordt ook gevonden voor de andere belastinglocatie. Het volledige overzicht van het convergentiegedrag van BGT berekeningen wordt getoond in bijlage VIII.

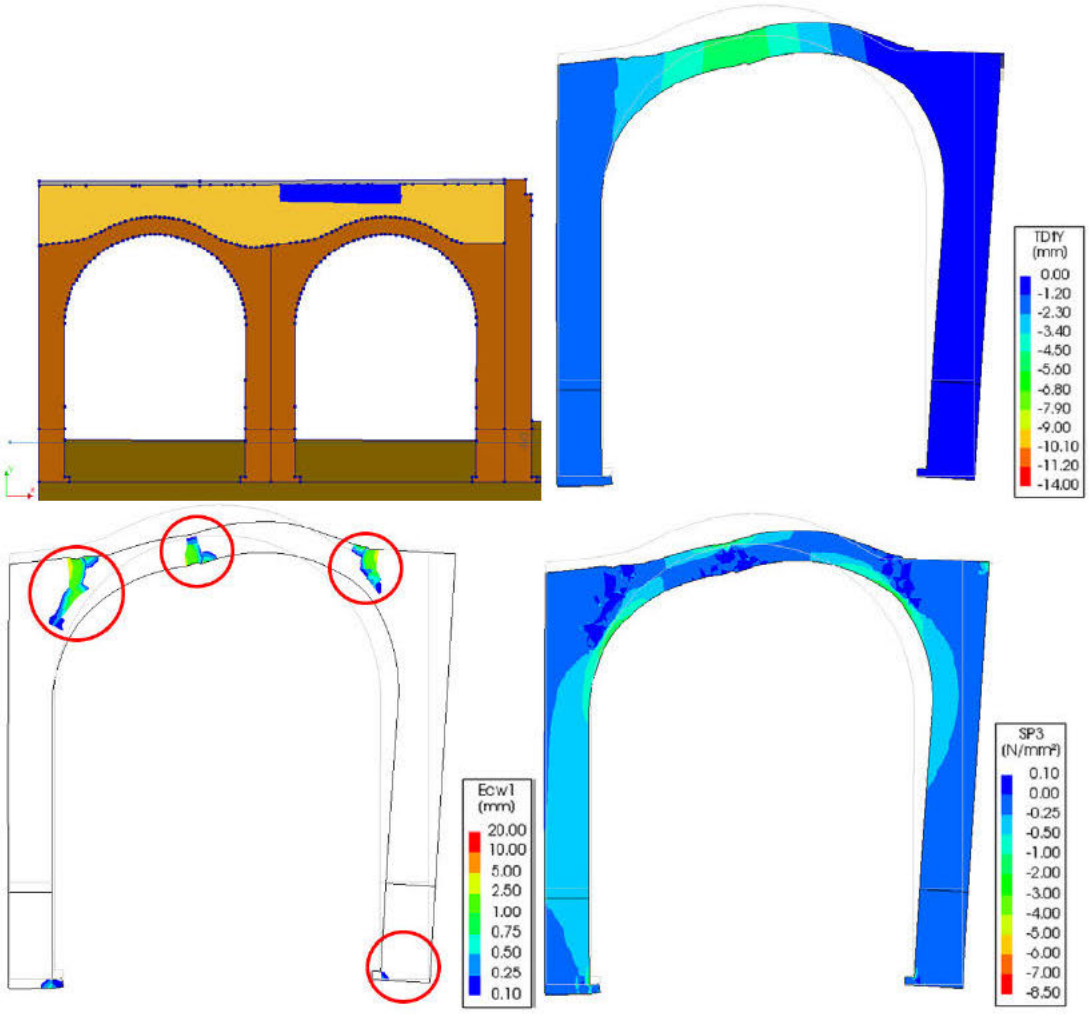
Afbeelding 6.5 Belastingpositie (linksboven), verticale verplaatsing (rechtsboven), scheurbreedte in de hoofdrichting (linksonder) en hoofddrukspanning (rechtsonder) voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 2-M. Scharnieren zijn met cirkels aangegeven



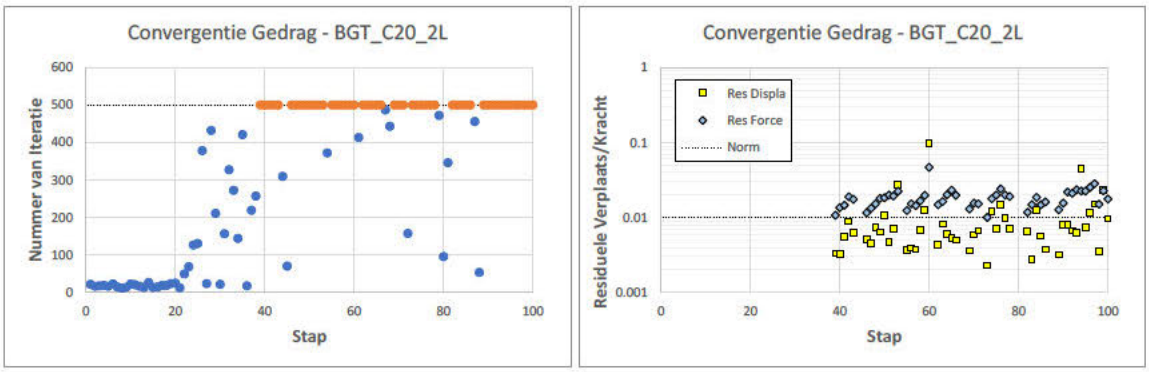
Afbeelding 6.6 Belastingpositie (linksboven), verticale verplaatsing (rechtsboven), scheurbreedte in de hoofdrichting (linksonder) en hoofddrukspanning (rechtsonder) voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 2-L. Scharnieren zijn met cirkels aangegeven



Afbeelding 6.7 Belastingpositie (linksboven), verticale verplaatsing (rechtsboven), scheurbreedte in de hoofdrichting (linksonder) en hoofddrukspanning (rechtsonder) voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 3-M. Scharnieren zijn met cirkels aangegeven



Afbeelding 6.8 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 2-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van ing/kracht van stappen met geen convergentie



6.3.2 BM3

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van de BGT-berekeningen voor de 4 belastingposities voor belasting model 3 (BM3). Het overzicht van de locatie van de belastingpositie wordt gegeven in tabel 4.4. Zoals al gedaan in de C20-belasting (vorige paragraaf), de maximaal toelaatbare vervorming van de CHS 2-4 kelder is gelijk aan 11,2 mm (gelijk aan L / 300). De maximaal toelaatbare vervormingen wordt voor alle belastingposities niet overschreden (Tabel 6.5). Ook de gemiddelde druksterkte van 8,5 MPa wordt voor alle belastingposities niet overschreden (Tabel 6.6). Schade niveau 1 (DL1) wordt overschreden voor positie 2 en 3. Schade niveau 2 (DL2) voldoet voor alle belasting positie. Vergelijkbaar met de C20-belasting wordt de meest maatgevende positie in termen van vervormingen en schade zijn op locatie 2 en 3 gevonden. In deze positie bevindt de belasting van de zwaarder achteras van de ladderwagen zich in het midden en aan de linker ¼ van de overspanning van de CHS 2-4 en de lichtere belasting van het vooras op hetzelfde locatie maar van de naastgelegen kelder. De locaties en de mechanismen voor de twee belastingpositie zijn weergegeven in afbeelding 6.9 en afbeelding 6.10 waar kan worden gezien dat de linker draagmuur een zakking ondergaat. In belastingpositie 2 (afbeelding 6.9) de rechter draagmuur buigt. Belastingpositie 1 resulteert niet in zichtbare schade. In feite heeft in dit specifiek scenario (afbeelding 6.11), de belasting van de vooras (die over de linker kelder wordt geplaatst) een gunstige invloed op het mechanisme. Die verhoogt de passieve druk (stabiliserende druk) van de kelder naar de gedeelde draagmuur van de kelders. Dit resulteert in een vermindering van het buigende moment in de kelder boog en dus van scheurvorming. De zichtbare scheurbreedte (binnenzijde van de kelder) is voor alle belastingposities onder 1,3 mm (tabel 6.7).

Concluderend voldoet de constructie aan de gestelde vervorming- en schadecriteria. De volledige set van de resultaten van de BGT-C20-analyse is te vinden in bijlage III.

Het convergentiegedrag van BGT-BM3 berekeningen is goed. Alle vier modelscenario vertonen volledige convergentie. Het convergentie gedrag van belastingpositie 2 en 3 is aangegeven in afbeelding 6.12. Het volledige overzicht van het convergentiegedrag van BGT berekeningen wordt getoond in bijlage VIII.

Tabel 6.5 Maximale vervorming [mm]. Toelaatbare maximum, 11,2 mm. Groen: criteria voldoet

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	0.20	0.45	0.77	1.13
2	0.22	0.53	1.20	2.42
3	0.22	0.54	0.96	1.64
4	0.16	0.39	0.68	1.01

Tabel 6.6 Maximale drukspanning [MPa]. Maximum druksterkte, 8,5 MPa - ter informatie/geen criterium

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	-0.97	-1.02	-1.08	-1.14
2	-0.98	-1.05	-1.29	-1.80
3	-0.98	-1.06	-1.14	-1.33
4	-0.97	-1.04	-1.11	-1.17

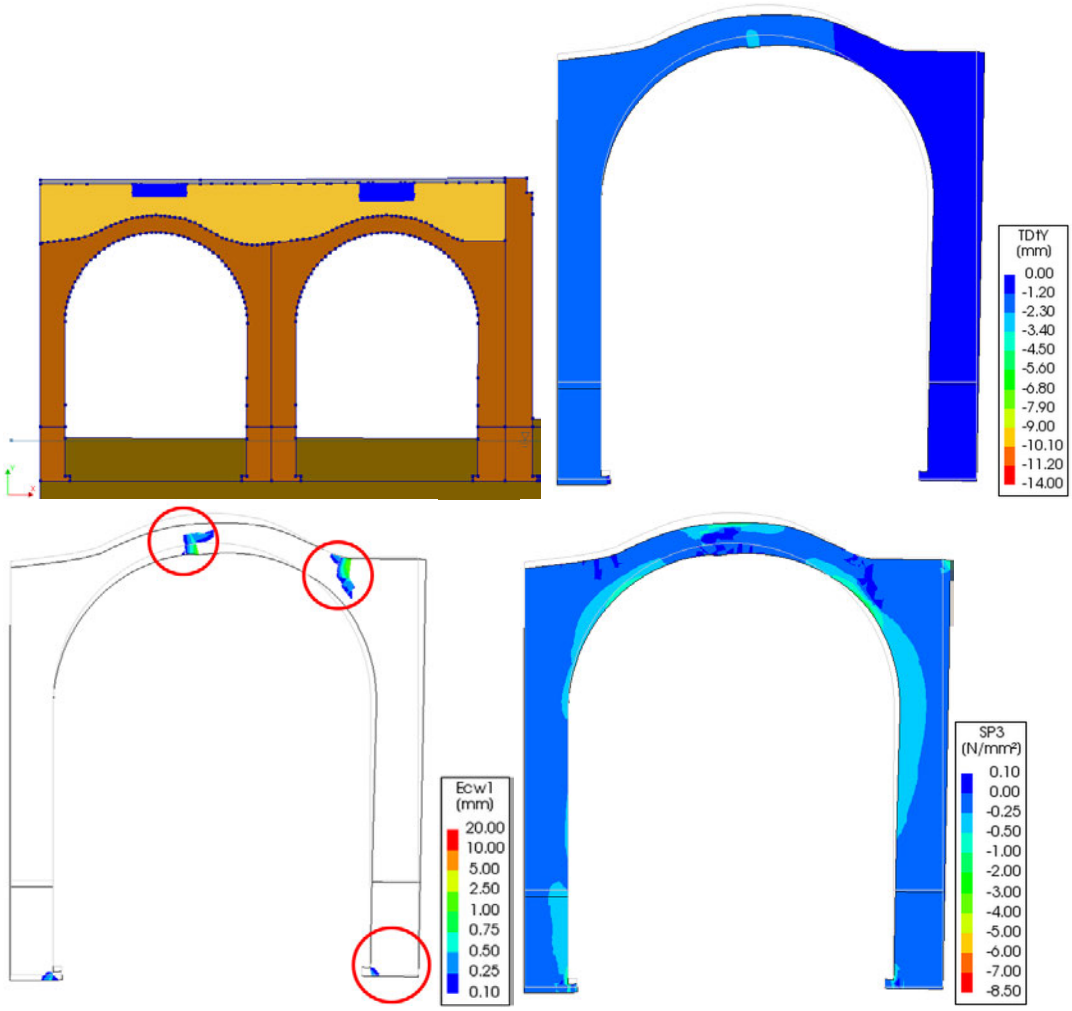
Tabel 6.7 Maximale scheurbreedte bij de binnenzijde van de boog [mm] - ter informatie/geen criterium

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	0.00	0.00	0.01	0.02
2	0.01	0.03	0.34	1.27
3	0.02	0.07	0.25	0.52
4	0.01	0.02	0.03	0.11

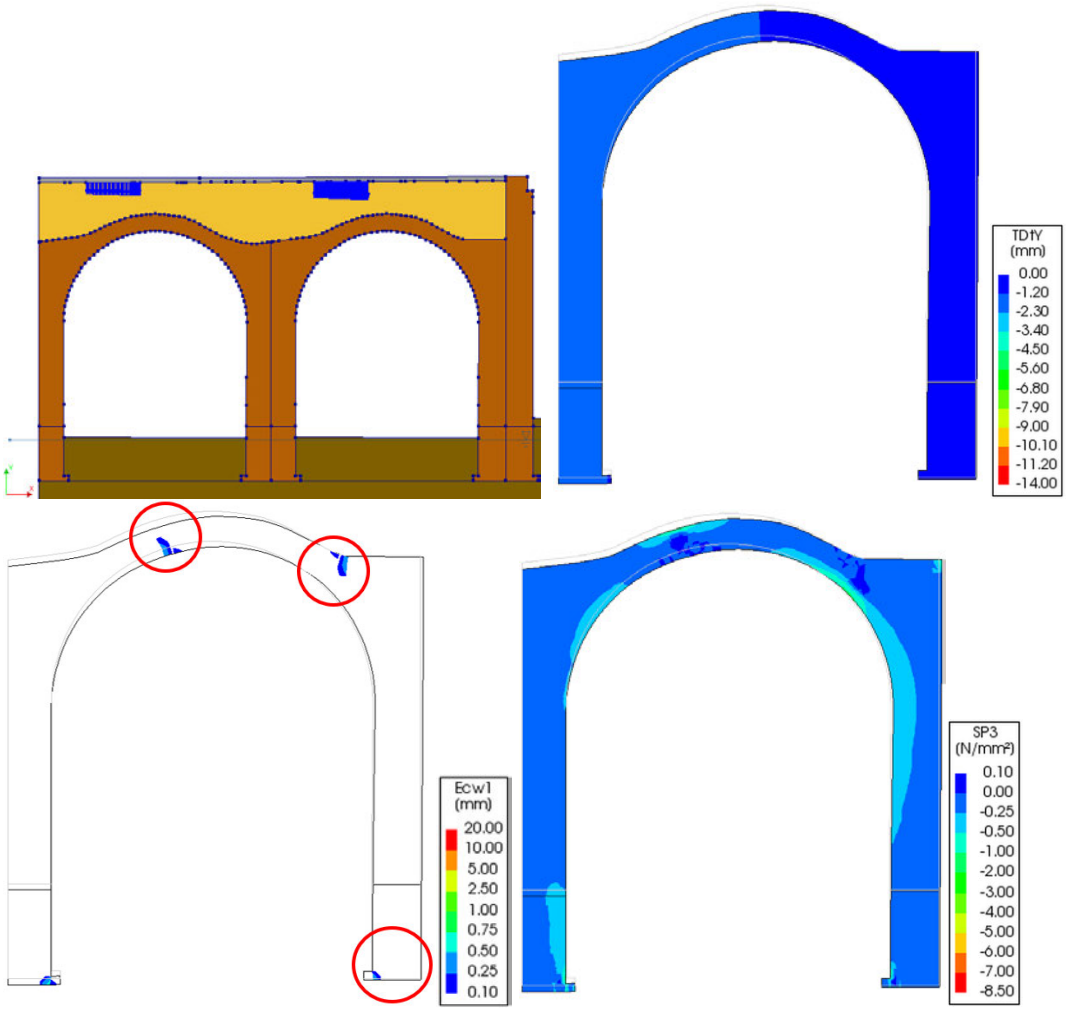
Tabel 6.8 Schadewaarde ψ. Groen: criteria DL1 voldoet (ψ<1,5), DL2 in oranje (1,5≤ψ≤2,4) en DL3 in rood (ψ>2,4)

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	1.5	2.1
3	0.0	0.9	1.3	1.6
4	0.0	0.0	0.0	1.0

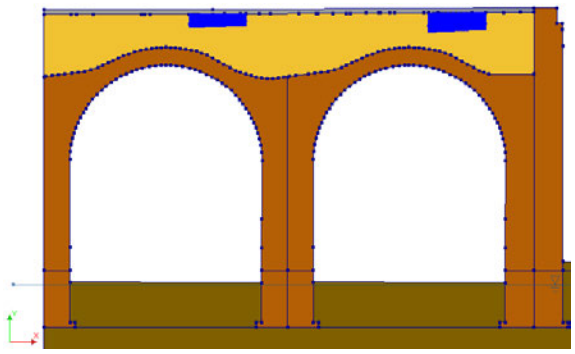
Afbeelding 6.9 Belastingpositie (linksboven), verticale verplaatsing (rechtsboven), scheurbreedte in de hoofdrichting (linksonder) en hoofddrukspanning (rechtsonder) voor scenario met BM3 belasting en belastingpositie 2. Scharnieren zijn met cirkels aangegeven



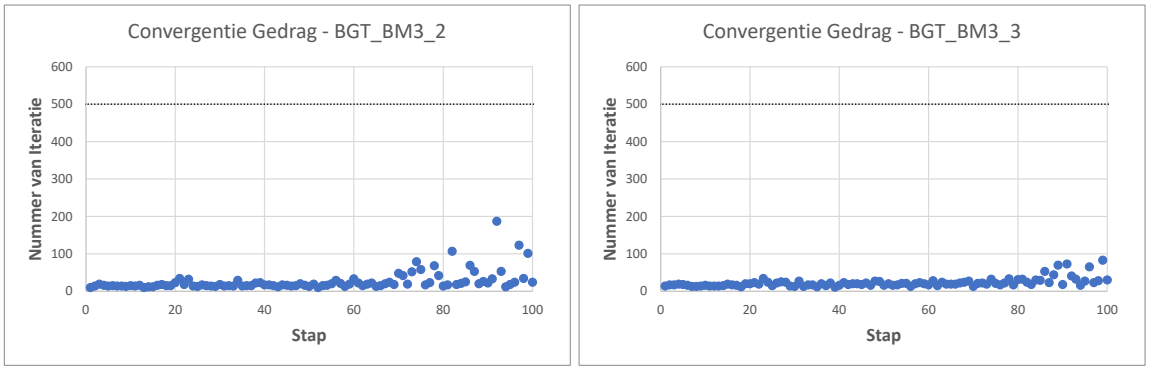
Afbeelding 6.10 Belastingpositie (linksboven), verticale verplaatsing (rechtsboven), scheurbreedte in de hoofdrichting (linksonder) en hoofddrukspanning (rechtsonder) voor scenario met BM3 belasting en belastingpositie 3. Scharnieren zijn met cirkels aangegeven



Afbeelding 6.11 Belastingpositie 1. Stabiliserende druk geleverd door vooras (linkerzijde)



Afbeelding 6.12 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 2 (links) en 3 (rechts). Plot van aantal iteraties



6.4 UGT

Onderstaand is per belastingpositie en C20 bord de UGT-toets weergegeven. De twee verschillende belastingmodellen, namelijk C20 lastbeperking bebording en BM3, worden ook berekend.

Zoals beschreven in §2.3.2 wordt de GRF methode voor de UGT-toets gebruikt.

Bij de GRF-methode wordt er geen partiële factor toegepast op het metselwerk. Ten opzichte van de BGT-berekeningen wordt de karakteristieke druksterkte (5,0 MPa) voor het metselwerkmateriaal gebruikt. Een overzicht over de gehanteerde waarden wordt gegeven in tabel 2.3. De draagkracht van de kelder wordt berekend door de bezwijkcurve (last-verplaatsingsdiagram) te analyseren zoals beschreven in hoofdstuk 2.3.2. Uit de curve wordt het piekcapaciteit (vóór daling van de kracht) vastgesteld. Verschillende punten van de curve (vooral die na een val van de kracht) worden gecontroleerd en vergeleken met het mogelijke bezwijkmechanisme beschreven in afbeelding 2.12.

6.4.1 GRF-C20 bebording

De UGT-GRF-analyseresultaten worden berekend op dezelfde manier als gespecificeerd in de vorige paragraaf. Dus voor de maatgevende belastingpositie wordt de capaciteit van de kelder berekend. Informatieve resultaten van maximale vervorming, maximale drukspanning en maximale scheurbreedte van de rechterboog worden gegeven in tabel 6 9, tabel 6.10, tabel 6.11, respectievelijk. In de UGT is de vervorming fictief omdat met rekenwaarden van verschillende parameters wordt gerekend waardoor de vervormingen geen relatie meer hebben met de werkelijke vervormingen. Wel geeft het vervormingsplaatje een beeld van het meest kritische bezwijkgedrag.

Tabel 6.9 Maximale (fictieve) vervorming [mm] - ter informatie/geen criterium

Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	2.59	4.89	10.23	14.44	32.94	*	*	*	*
1-M	1.76	4.40	7.66	28.17	*	*	*	*	*
2-L	3.67	6.87	15.11	74.81	*	*	*	*	*
2-M	3.60	6.73	20.62	*	*	*	*	*	*
3-L	3.28	6.15	11.29	19.77	55.44	*	*	*	*
3-M	2.36	4.83	8.87	18.96	51.17	*	*	*	*
4-L	2.41	3.94	6.34	9.43	13.15	16.36	21.16	*	*
4-M	1.63	2.60	3.98	6.58	9.55	12.31	17.30	*	*

* slechte convergentie of divergentie

Tabel 6.10 Maximale drukspanning [MPa]. Maximum druksterkte, 5,0 MPa - ter informatie/geen criterium

Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	-1.29	-1.91	-2.09	-2.80	-4.54	*	*	*	*
1-M	-1.27	-1.83	-2.21	-5.00	*	*	*	*	*
2-L	-1.73	-1.93	-3.10	-5.00	*	*	*	*	*
2-M	-1.55	-2.27	-3.77	*	*	*	*	*	*
3-L	-1.47	-1.88	-2.31	-3.15	-4.76	*	*	*	*
3-M	-1.40	-1.88	-2.78	-3.64	-4.77	*	*	*	*
4-L	-1.34	-1.60	-1.83	-3.44	-4.19	-4.52	-4.62	*	*
4-M	-1.22	-1.36	-1.53	-1.85	-3.13	-3.51	-4.02	*	*

* slechte convergentie of divergentie

Tabel 6.11 Maximale scheurbreedte [mm] - ter informatie/geen criterium

Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	0.68	0.80	2.92	4.91	13.37	*	*	*	*
1-M	0.60	0.96	2.18	14.83	*	*	*	*	*
2-L	0.72	1.62	6.20	40.14	*	*	*	*	*
2-M	0.93	2.29	11.04	*	*	*	*	*	*
3-L	0.74	1.20	3.06	6.70	30.62	*	*	*	*
3-M	0.66	1.10	3.02	8.16	27.69	*	*	*	*
4-L	0.70	0.79	2.85	5.91	9.60	12.40	17.32	*	*
4-M	0.67	0.72	0.79	2.96	5.84	8.35	13.77	*	*

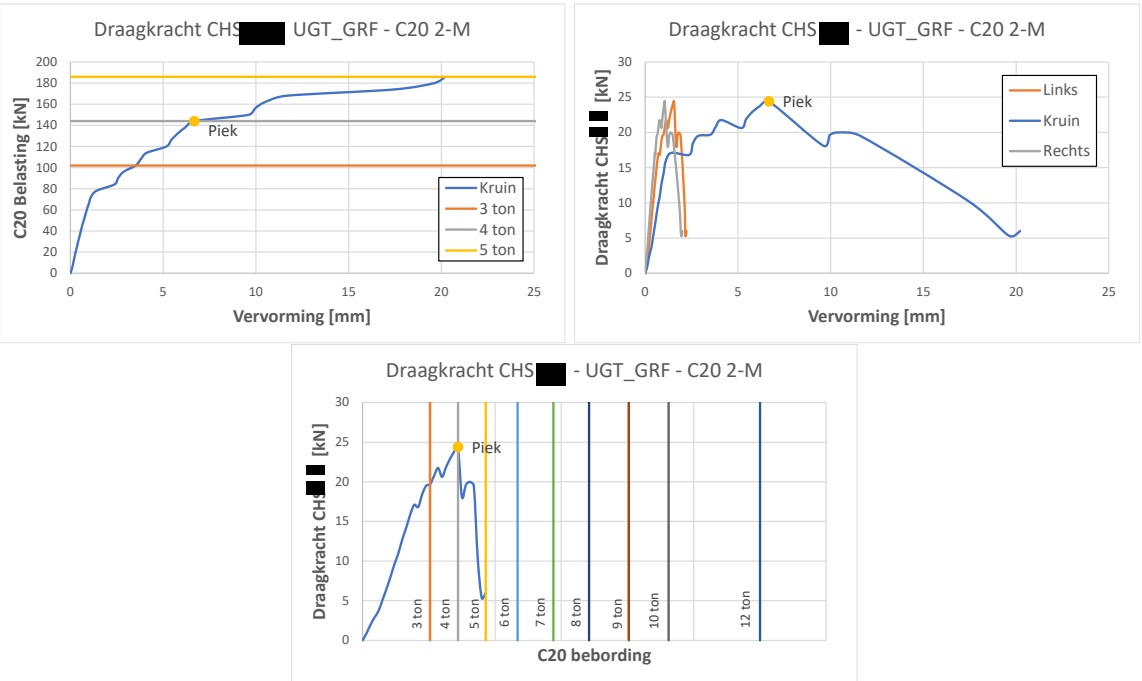
* slechte convergentie of divergentie

De C20 aslast belasting wordt uitgezet tegen de vervorming van de kruin (afbeelding 6.13). Deze belasting wordt verdeeld over verschillende kelders. De kracht die alleen door de rechterboog (CHS[redacted]) wordt gedragen, wordt uitgezet tegen vervormingen op drie verschillende locaties (afbeelding 2.10). Dit wordt getoond in afbeelding 6.13, rechts. Zodra de piekbelasting van de rechterboog is bepaald, wordt de maximaal toegestane C20-belasting geëvalueerd (afbeelding 6.13, onder). Piek punt van afbeelding 6.13 (onder), dat verwijst naar de piekkracht van de rechterboog, wordt verkregen voor een verkeersbelasting van 4 ton. Contourplots van vervorming, scheurbreedte en hoofddrukspanningen worden in afbeelding 6.15, afbeelding 6.16 en afbeelding 6.17 voor twee verschillende belasting (piek/4 ton en 5 ton) van de belastingpositie 2-M (afbeelding 6.14) getoond. De eerste stap verwijst naar de vorming van twee afschuifscheuren dicht bij de kruin. Het effect van de aangebrachte belasting op de kruin, in combinatie met de lage treksterkte van het metselwerk, maakt dat afschuiving optreedt. Dit komt omdat het afschuifbezwijkmechanisme wordt bepaald door het spanningsverloop (stressflow) in de constructie en de treksterkte (die voor metselwerk nul is). Na dit punt groeien de gevormde scheuren snel door de toename van de verkeersbelasting. Tegelijkertijd neemt de kracht af (bij ongeveer 80 %) door het bezwijken van de boog ter hoogte van de kruin. Hier stroomt het spanningsverloop naar een lager gebied, waar dan plotseling de druksterkte wordt bereikt. Na dit punt treedt divergentie op (afbeelding 6.18). Een overzicht van de uiteindelijke draagkracht voor overige belastingposities is weergegeven in tabel 6.12 en uitgezet in afbeelding 6.19.

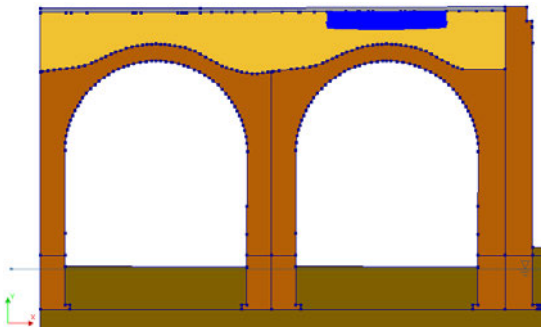
Opgemerkt moet worden dat de berekende draagkracht alleen rekening houdt met de kelderconstructie en niet met de geotechnische draagvermogen. Het aanbrengen van een verkeersbelasting boven de draagmuur (belastingpositie 4-M) is derhalve niet maatgevend voor de kelderconstructie maar kan wel maatgevend zijn voor het geotechnische draagvermogen. Deze berekening wordt beschreven in hoofdstuk 6.5.

In conclusie kan de C20-belasting 4 ton als de ultieme capaciteit voor de UGT-GRF-analyse worden beschouwd. De volledige set van de resultaten van de UGT-GRF-C20-analyse is te vinden in bijlage IV.
Het volledige overzicht van het convergentiegedrag van UGT-GRF berekeningen wordt getoond in bijlage IX.

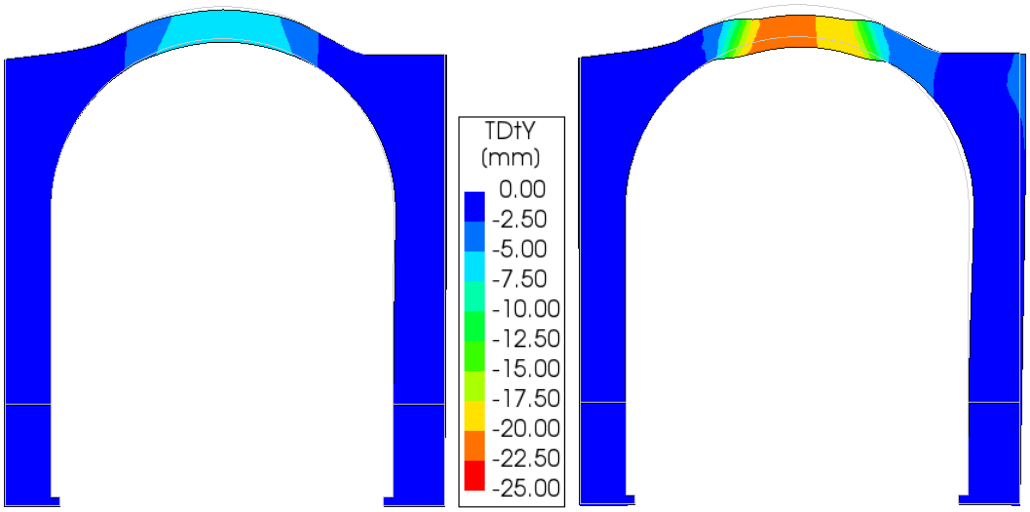
Afbeelding 6.13 C20 belasting-vervorming plot (links). Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 2-M. Kracht-vervorming plot (recht) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (onder)



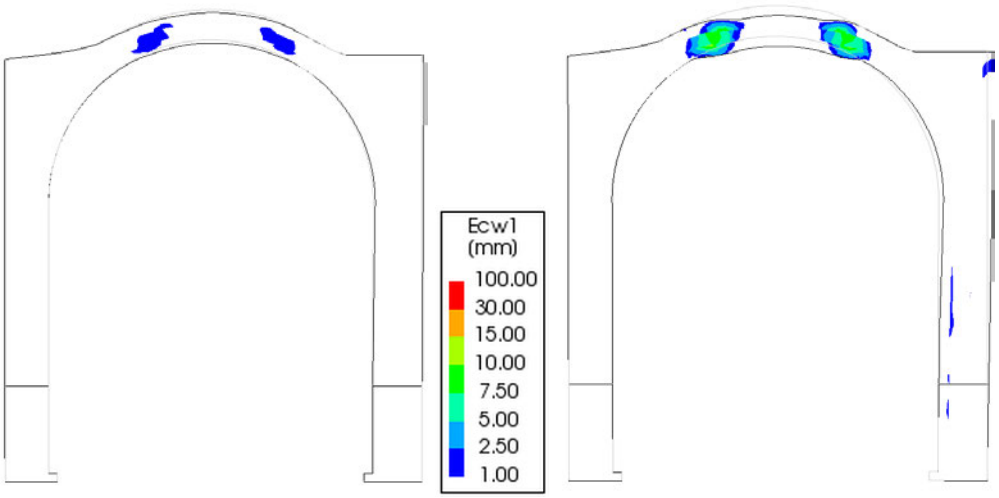
Afbeelding 6.14 Belastingpositie 2-M



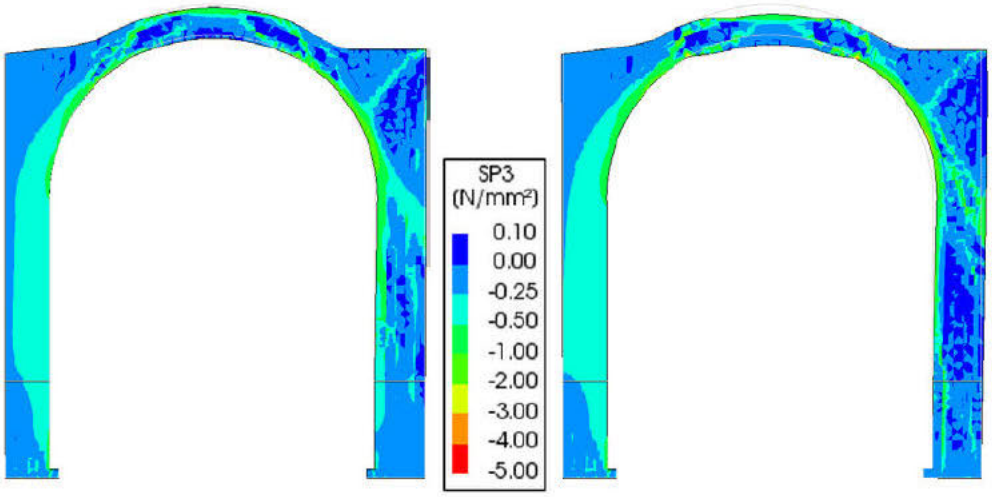
Afbeelding 6.15 Verticale (fictieve) vervorming, voor UGT-GRF met C20 belasting en belastingpositie 2-M. Piekpunt bij 4 ton (links) en 5 ton belasting (rechts)



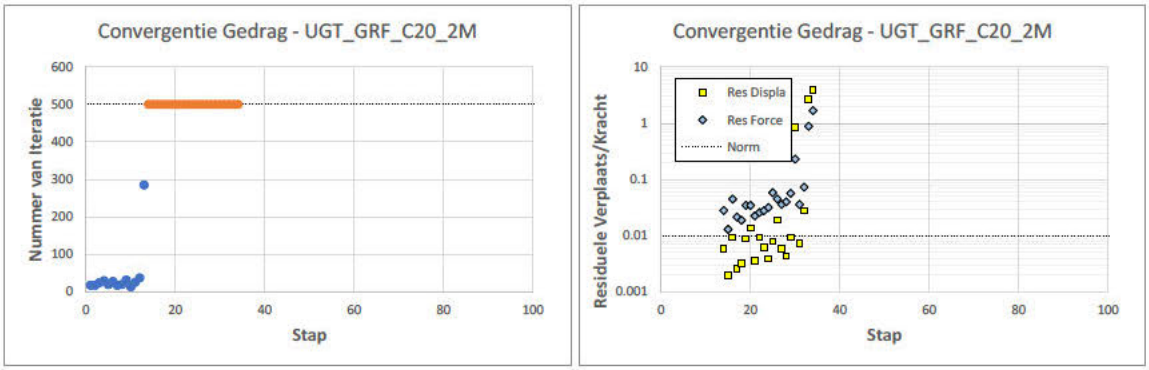
Afbeelding 6.16 Scheurbreedte in de hoofdrichting, voor UGT-GRF met C20 belasting en belastingpositie 2-M. Piekpunt bij 4 ton (links) en 5 ton belasting (rechts)



Afbeelding 6.17 Hoofddrukspanning, voor UGT-GRF met C20 belasting en belastingpositie 2-M. Piekpunt bij 4 ton (links) en 5 ton belasting (rechts)



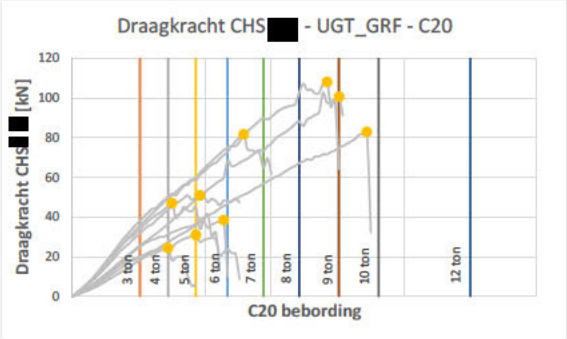
Afbeelding 6.18 Convergentie gedrag van GRF-C20 belasting, belastingpositie 2-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie. Divergentie treedt op bij stap 35



Tabel 6.12 Draagkracht van de UGT-GRF analyse met C20 belasting

Draag kracht	1-L	1-M	2-L	2-M	3-L	3-M	4-L	4-M	4-R
Bord C20 UGT-GRF	6 ton	5 ton	4 ton	4 ton	5 ton	5 ton	9 ton	9 ton	8 ton

Afbeelding 6.19 Overzicht van de draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 voor alles belastingpositie. Evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentiepunt



6.4.2 GRF-BM3

De draagkracht wordt berekend voor de vier belastingposities. Informatieve resultaten van maximale vervorming, maximale drukspanning en maximale scheurbreedte van de rechterboog worden gegeven in tabel 6.13, tabel 6.14, tabel 6.15, respectievelijk. De data wordt bepaald bij de exacte toepassing van de specifieke verkeersbelasting. De draagkracht-vervorming plot wordt getoond in afbeelding 6 20 (links). Bij dit type belastingpositie, waar de zware achteras (met 2,42 belastingfactor) in het midden van de CHS[redacted] boog geplaatst is (afbeelding 6.21), concentreert het mechanisme zich bij de kruin. De meeste verticale vervorming treedt op bij deze gebied. Na een eerste lineaire vertakking en een plateau, een vermindering van ongeveer 80 % wordt gevonden in de last-verplaatsingsdiagram (piekpunt, afbeelding 6.20). Op dit punt laat de schadefoto (afbeelding 6.23, links) in principe twee afschuifscheuren nabij de kruin zien. In de softening vertakking strekken de scheuren zich uit over de volledige boogdoorsnede. Daarnaast begint de rechter draagmuur te buigen. De draagkracht wordt bereikt bij 57 % van de BM3-belasting. Voor het piekpunt en het einde van softening punt in de curve worden contourgrafieken van verplaatsing, scheurbreedte en hoofddrukspanning getoond in afbeelding 6.22, afbeelding 6.23 en afbeelding 6.24. De kelder kan slechts 57 % van de belasting van de ladderwagen dragen. Hiermee wordt niet voldaan aan de toets van UGT-GRF-BM3. Een overzicht van de uiteindelijke draagkracht voor overige belastingposities is weergegeven in Tabel 6.16 en uitgezet in afbeelding 6.26.

Het overzicht van andere belastingposities van de UGT-GRF BM3-resultaten wordt gegeven in bijlage V.

Het convergentiegedrag van UGT-GRF-BM3 belastingpositie 2 berekening is volledig bereikt tot stap 36. De convergentie gedrag is vertoont in Afbeelding 6.25. Het volledige overzicht van het convergentiegedrag van UGT-GRF-BM3 berekeningen wordt getoond in bijlage IX.

Tabel 6.13 Maximale (fictieve) vervorming [mm] - ter informatie/geen criterium

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	0.68	2.05	7.59	*
2	0.78	7.79	*	*
3	0.78	4.26	13.71	*
4	0.58	1.37	2.33	4.03

* slechte convergentie of divergentie

Tabel 6.14 Maximale drukspanning [MPa]. Maximum druksterkte, 5,0 MPa - ter informatie/geen criterium

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	-0.97	-1.34	-2.97	*
2	-1.01	-2.58	*	*
3	-1.02	-1.49	-3.06	*
4	-1.00	-1.18	-1.32	-1.57

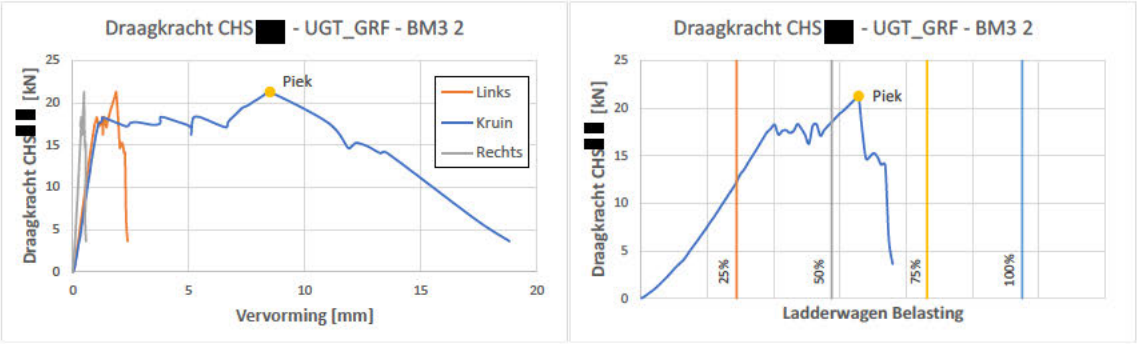
* slechte convergentie of divergentie

Tabel 6.15 Maximale scheurbreedte [mm] - ter informatie/geen criterium

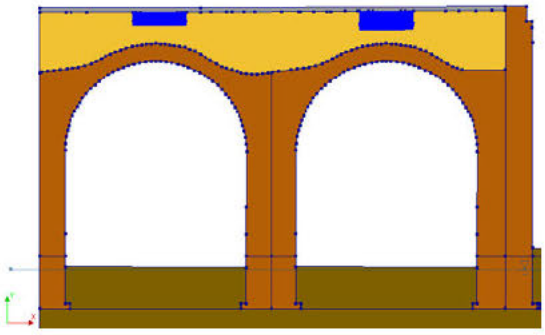
Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	0.61	0.64	4.43	*
2	0.62	4.89	*	*
3	0.62	2.47	11.67	*
4	0.61	0.65	0.69	1.65

* slechte convergentie of divergentie

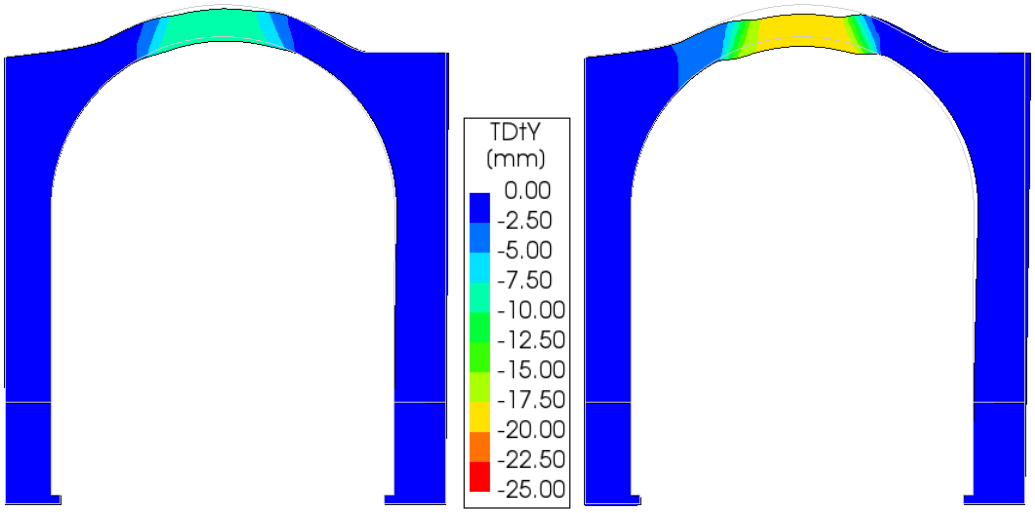
Afbeelding 6.20 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting BM3 in positie 2. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



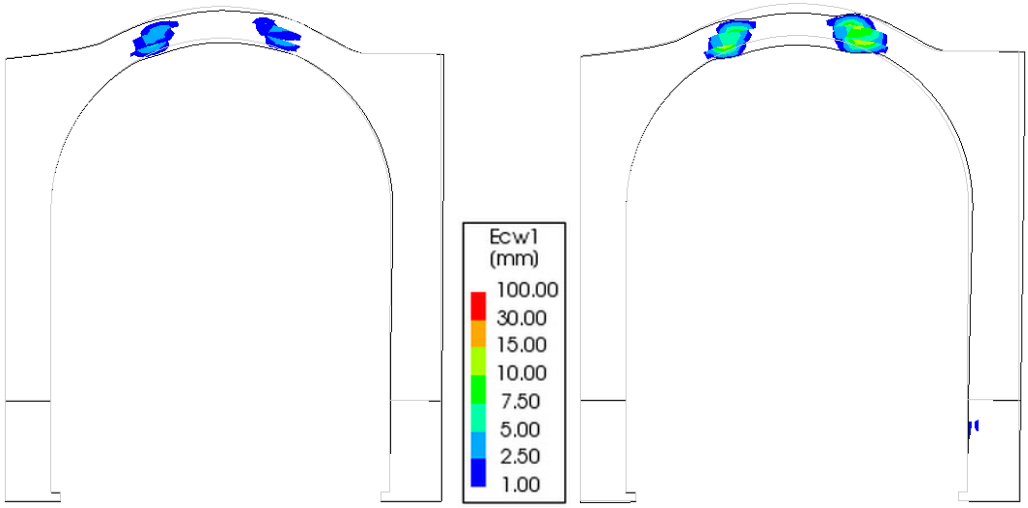
Afbeelding 6.21 Belastingpositie 2



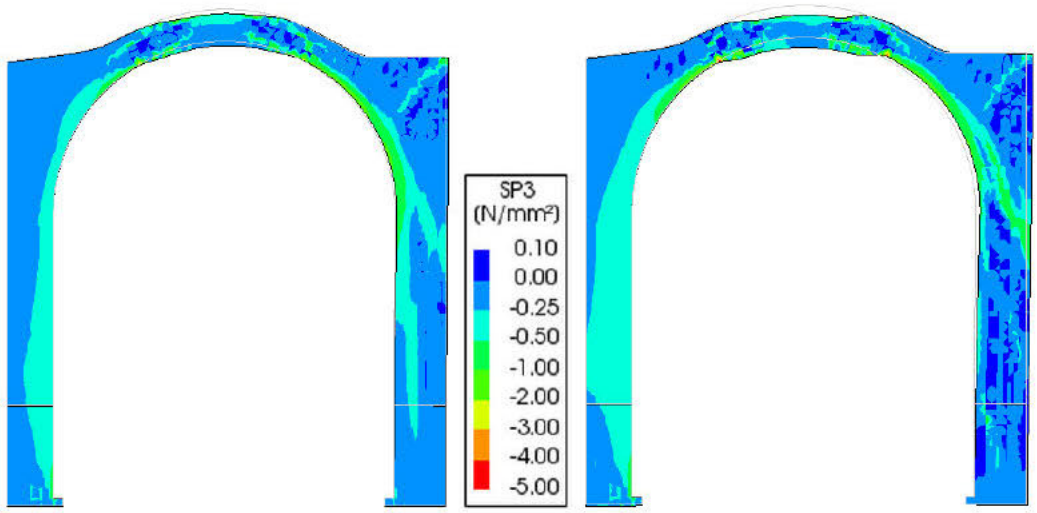
Afbeelding 6.22 Verticale (fictieve) vervorming, voor UGT-GRF met BM3 belasting en belastingpositie 2. Piekpunt bij 57 % van BM3 (links) en 66 % van BM3 belasting (rechts)



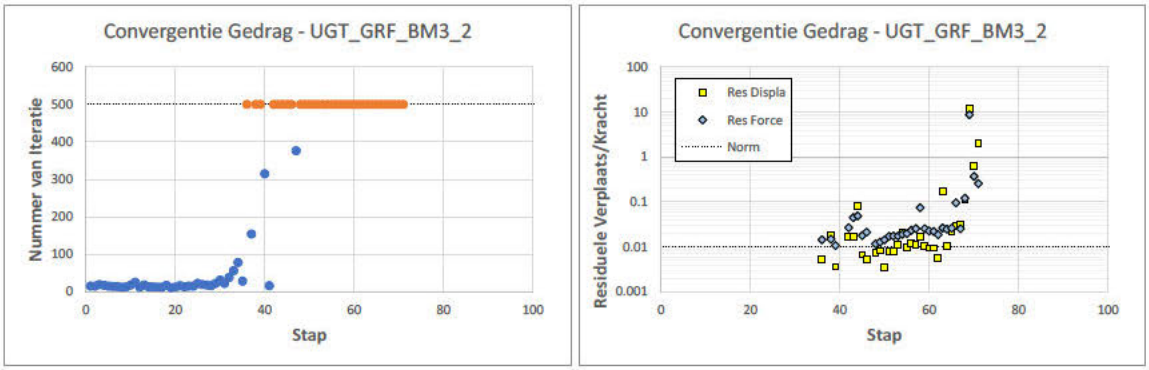
Afbeelding 6.23 Scheurbreedte in de hoofdrichting, voor UGT-GRF met BM3 belasting en belastingpositie 2. Piekpunt bij 57 % van BM3 (links) en 66 % van BM3 belasting (rechts)



Afbeelding 6.24 Hoofddrukspanning, voor UGT-GRF met BM3 belasting en belastingpositie 2. Piekpunt bij 57 % van BM3 (links) en 66 % van BM3 belasting (rechts)



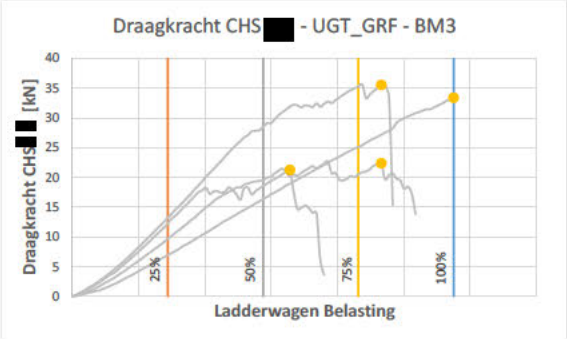
Afbeelding 6.25 Convergentie gedrag van GRF-BM3 belasting, belastingpositie 2. Plot van aantal van iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie. Divergentie treedt op bij stap 72



Tabel 6.16 Draagkracht van de UGT-GRF analyse met BM3 belasting

Draagkracht	1	2	3	4
BM3 UGT-GRF	81 % BM3	57 % BM3	81 % BM3	100 % BM3

Afbeelding 6.26 Overzicht van de draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting BM3 voor alles belastingpositie. Evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt



6.4.3 PF-C20 bebording

Hoewel de GRF-methode wordt gebruikt als primaire verificatieprocedure voor de kelder, wordt de PF-methode gebruikt als ondersteunende beoordelingsprocedure om te bekijken of ondanks de verschillende toewijzing van veiligheidsfactoren een vergelijkbaar antwoord (in termen van maximale draagkracht en bezwijkmechanismen) wordt gevonden. De resultaten van de PF-analyses van de kelder onderworpen aan C20-belasting worden hier beschreven.

De resultaten in termen van vervorming, maximale drukspanning en scheurbreedte geëvalueerd in de CHS[redacted] kelder (rechterboog) worden weergegeven in Tabel 6.17, Tabel 6.18 en Tabel 6.19, respectievelijk. De data wordt bepaald bij de exacte toepassing van de specifieke verkeersbelasting. Wanneer de belasting volgend op de C20 8 ton bord wordt toegepast, bereikt de maximale vervorming een waarde van ongeveer 18 mm voor positie 2-M (meest maatgevend). Voor bijna alle belasting posities en voor een verkeerbelasting tussen 8 en 10 ton wordt de maximale druksterkte in de boog lokaal bereikt. De evaluatie van de stabiliteit en de draagkracht van de boog volgt dezelfde procedure als de GRF-methode.

Tabel 6.17 Maximale (fictieve) vervorming [mm] - ter informatie/geen criterium

Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	0.86	1.30	1.83	2.81	4.32	6.85	9.82	13.07	*
1-M	0.63	0.95	1.34	1.90	4.34	6.60	9.40	27.64	*
2-L	0.96	1.50	2.38	4.71	8.25	11.42	25.24	*	*
2-M	0.66	0.99	1.69	4.42	8.35	17.59	*	*	*
3-L	1.03	1.60	2.39	3.56	6.59	9.21	14.46	*	*
3-M	0.68	1.03	1.55	2.79	5.25	8.67	23.70	*	*
4-L	0.88	1.37	1.89	2.55	3.70	5.07	6.40	8.08	12.49
4-M	0.59	0.92	1.28	1.74	2.30	2.93	4.66	5.98	*

* slechte convergentie of divergentie

Tabel 6.18 Maximale drukspanning [MPa]. Maximum druksterkte, 2,27 MPa - ter informatie/geen criterium

Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	-1.00	-1.08	-1.15	-1.23	-1.68	-1.90	-2.16	-2.27	*
1-M	-0.89	-0.91	-0.93	-1.13	-1.63	-1.96	-2.27	-2.27	*
2-L	-1.05	-1.14	-1.23	-1.57	-2.00	-2.27	-2.27	*	*
2-M	-0.94	-0.98	-1.12	-1.58	-2.14	-2.27	*	*	*
3-L	-1.09	-1.18	-1.28	-1.49	-1.65	-2.04	-2.27	*	*
3-M	-0.98	-1.04	-1.11	-1.44	-1.69	-2.27	-2.27	*	*
4-L	-1.07	-1.16	-1.25	-1.34	-1.49	-1.65	-2.20	-2.27	-2.27
4-M	-1.00	-1.07	-1.15	-1.21	-1.29	-1.37	-1.61	-1.91	*

* slechte convergentie of divergentie

Tabel 6.19 Maximale scheurbreedte [mm] - ter informatie/geen criterium

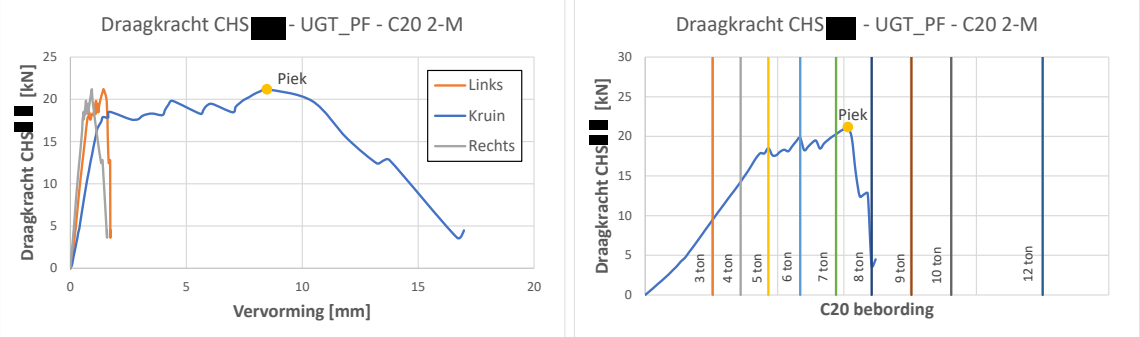
Belasting positie	Bord C20 3 ton	Bord C20 4 ton	Bord C20 5 ton	Bord C20 6 ton	Bord C20 7 ton	Bord C20 8 ton	Bord C20 9 ton	Bord C20 10 ton	Bord C20 12 ton
1-L	0.61	0.63	0.65	0.67	0.81	1.44	3.20	4.76	*
1-M	0.58	0.59	0.59	0.59	1.61	2.85	4.68	17.38	*
2-L	0.62	0.65	0.67	1.42	3.59	5.09	14.60	*	*
2-M	0.59	0.60	0.61	1.97	4.92	11.02	*	*	*
3-L	0.63	0.66	0.69	0.74	2.46	4.24	6.80	*	*
3-M	0.60	0.62	0.63	0.66	2.61	5.02	18.00	*	*
4-L	0.62	0.65	0.67	0.70	1.35	2.60	4.42	7.28	12.35
4-M	0.60	0.62	0.64	0.67	0.70	0.73	2.60	3.96	*

* slechte convergentie of divergentie

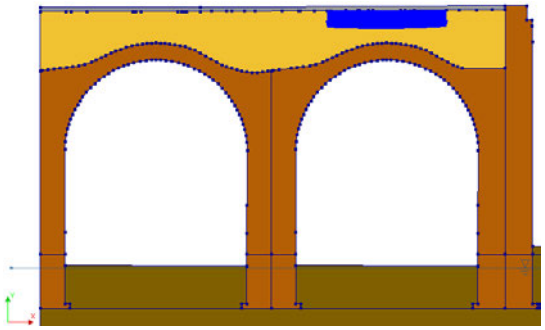
De kracht-vervorming plot van belasting positie 2-M (afbeelding 6.28) wordt getoond in afbeelding 6.27 (links). De meeste verticale vervorming treedt op bij kruin. Na een eerste lineaire vertakking vormen zich twee afschuifscheuren dicht bij de kruin. Ze worden groter bij het naderen van het piekpunt. In de tweede (softening) vertakking evolueren de mechanismen tot het bezwijk van de kruin deel. Voor piek en eind van de softening punten in de curve worden contourgrafieken van verplaatsing, scheurbreedte en hoofddrukspanning getoond in afbeelding 6.29, afbeelding 6.30 en afbeelding 6.31. Het bezwijkmechanisme is vergelijkbaar met wat beschreven is in 6.4.1. De capaciteitscurve van de boog wordt ook uitgezet tegen de toegepaste belasting van het C20 bord (afbeelding 6.27, rechts). Zoals beschreven door de plot de draagkracht van de kelder optreedt direct na het aanbrengen van de belasting beschreven door C20 7 ton. Dit kan worden beschouwd als de ultieme capaciteit voor de UGT-PF-analyse. Na dit punt wordt een krachtreductie van ongeveer 80 % gevonden, wat kan worden aangenomen als bezwijken van de kelder. Een overzicht van de uiteindelijke draagkracht voor overige belastingposities is weergegeven in tabel 6.20 en uitgezet in afbeelding 6.33.

Het convergentie is volledig bereikt tot stap 31. De stappen zonder convergentie worden beschouwd als nog steeds een goede nauwkeurigheid. Divergentie treedt op bij stap 63. Grafieken van het convergentiegedrag wordt gegeven in afbeelding 6.32. Het volledige overzicht van het convergentiegedrag van UGT-PF berekeningen wordt getoond in bijlage X.

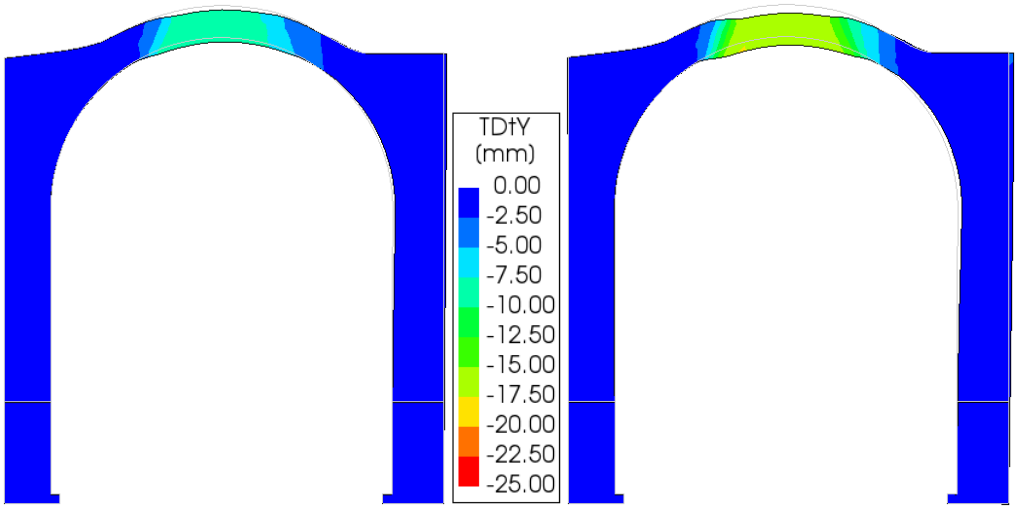
Afbeelding 6.27 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF C20 belasting in positie 2-M. Kracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



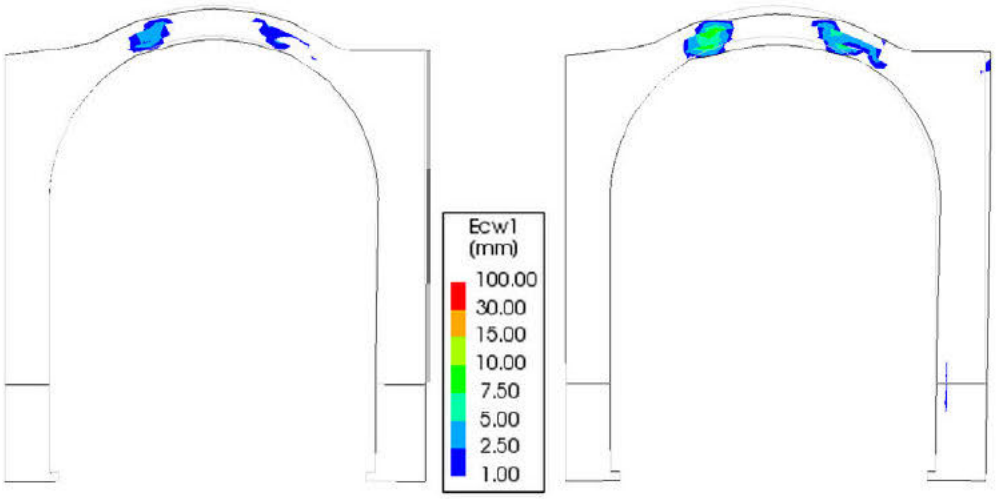
Afbeelding 6.28 Belastingpositie 2-M



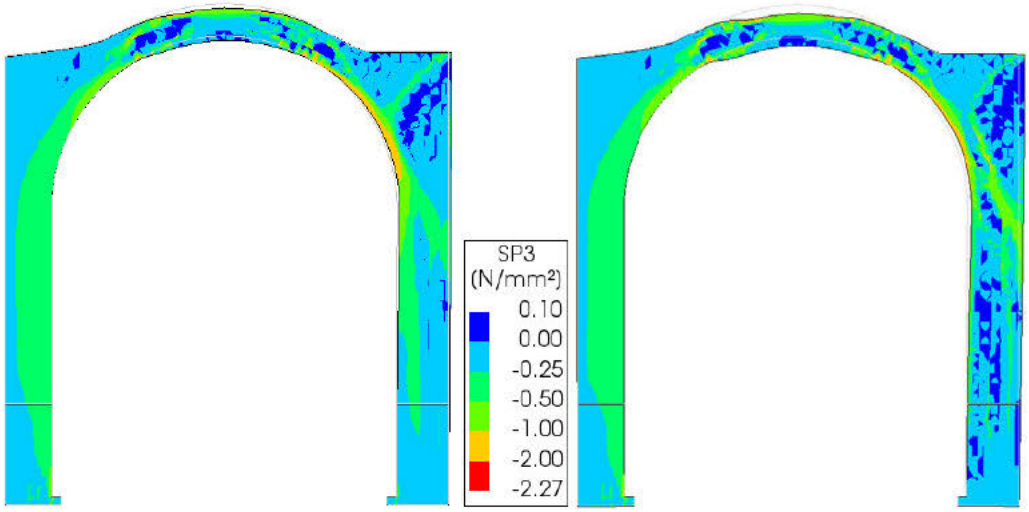
Afbeelding 6.29 Verticale (fictieve) vervorming, voor UGT-PF met C20 belasting en belastingpositie 2-M. Piekpunt (links) en 8 ton punt (rechts)



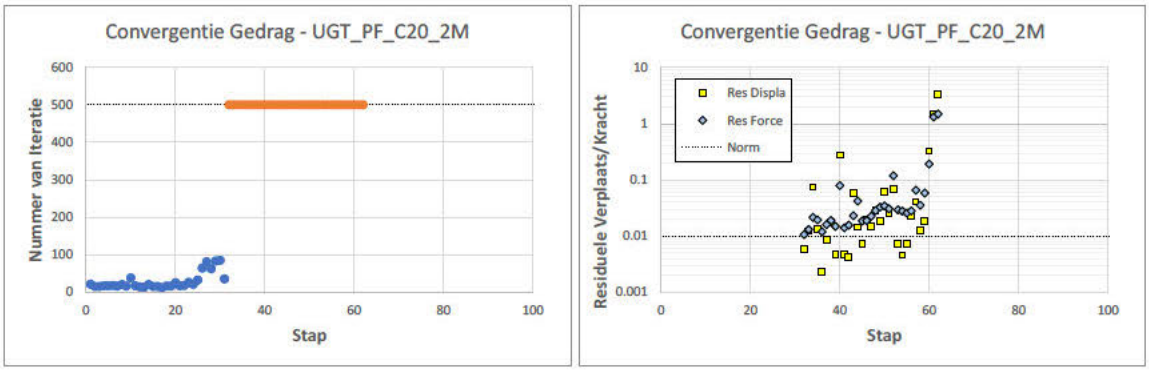
Afbeelding 6.30 Scheurbreedte in de hoofdrichting, voor UGT-PF met C20 belasting en belastingpositie 2-M. Piekpunt (linker plot) en 8 ton (rechts plot). Scharnieren met rondjes intekenen



Afbeelding 6.31 Hoofddrukspanning, voor UGT-PF met C20 belasting en belastingpositie 2-M. Piekpunt (linker plot) en 8 ton (rechts plot)



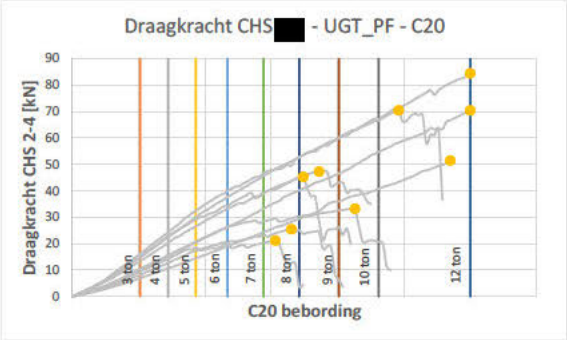
Afbeelding 6.32 Convergentie gedrag van PF-C20 belasting, belastingpositie 2-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie. Divergentie treedt op bij stap 63



Tabel 6.20 Draagkracht van de UGT-PF analyse met C20 belasting

Draag kracht	1-L	1-M	2-L	2-M	3-L	3-M	4-L	4-M	4-R
Bord C20 UGT-PF	10 ton	9 ton	8 ton	7 ton	8 ton	7 ton	12 ton	10 ton	12 ton

Afbeelding 6.33 Overzicht van de draagkracht CHS [redacted] voor UGT-PF belasting C20 voor alles belastingpositie. Evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt



Concluderend geeft de PF-methode een goed overzicht van de gevoeligheid van de druksterkte parameter en de belasting factor. Ten opzichte van de GRF-methode maakt de PF-methode geen verschil in het bezwijkmechanisme en levert het een hogere draagkracht op (7 ton tegen 4 ton). De volledige set van de resultaten van de UGT-PF-C20-analyse is te vinden in bijlage VI.

6.4.4 PF-BM3

De resultaten in termen van vervorming, maximale drukspanning en scheurbreedte geëvalueerd in de CHS 2-4 kelder voor de vier belastingpositie van BM3 worden weergegeven in tabel 6.21, tabel 6.22, en tabel 6.23 respectievelijk.

De draagkracht-vervorming plot van belastingpositie 2 wordt getoond in afbeelding 6.34 (links). Bij dit type belastingpositie, waar de zware achteras in het midden van de CHS [redacted] boog geplaats is, treedt de maximale verticale vervorming op bij kruin. De rechtse draagmuur draait naar binnen. Na een eerste lineaire vertakking vormt zich een klein plateau (afbeelding 6.34) dat de start van het mechanisme beschrijft. In de tweede vertakking evolueren de mechanismen waarbij een afschuifscheur aan de rechter kant van de kruin ontstaat. De kelder kan bij elke stap de belasting dragen en de curve groeit gestaag tot een piek van ongeveer 20 kN (piekpunt in de plot). De piek wordt gevonden bij de voorlaatste stap. Dit betreft slechts een lokale piek aangezien de constructie geen grote verplaatsing of scheuren vertoont. De convergentie is ook vrij stabiel op dit punt van de berekening (afbeelding 6.39). Voor 75 % en 100 % van de BM3-belasting worden contourgrafieken van verplaatsing, scheurbreedte en hoofddrukspanningen getoond in afbeelding 6.36, afbeelding 6.37 en afbeelding 6.38. Een overzicht van de uiteindelijke draagkracht voor overige belastingposities is weergegeven in tabel 6 24 en uitgezet in afbeelding 6.40. Zoals weergegeven in afbeelding 6.37, ontwikkelt zich een afschuifscheur aan één zijde van de kruin, waarbij nog geen bezwijkmechanisme wordt gevormd. De kelder kan de PF-BM3 belasting dragen.

Het overzicht van andere belastingposities van de UGT-PF BM3-resultaten wordt gegeven in bijlage VII.

Het volledige overzicht van het convergentiegedrag van UGT-PF-BM3 berekeningen wordt getoond in bijlage X.

Tabel 6.21 Maximale (fictieve) vervorming [mm] - ter informatie/geen criterium

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	0.29	0.62	1.03	1.75
2	0.33	0.71	1.30	5.21
3	0.32	0.71	1.22	4.16
4	0.25	0.52	0.85	1.22

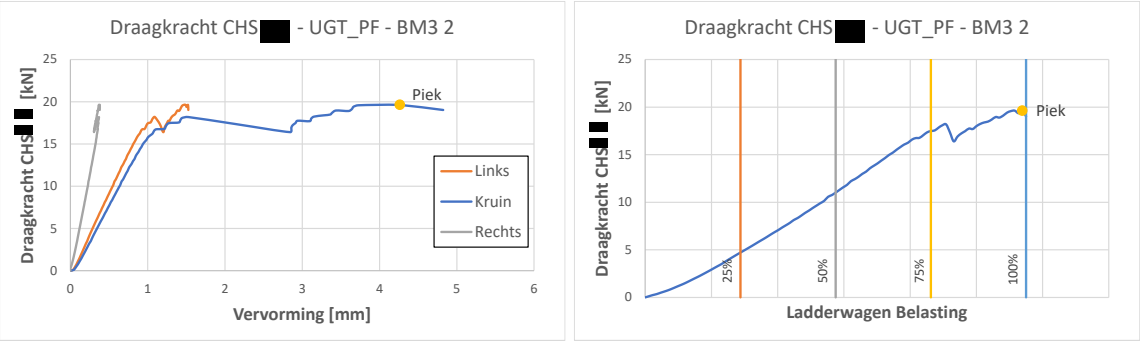
Tabel 6.22 Maximale druksparming [MPa]. Maximum druksterkte, 2,27 MPa - ter informatie/geen criterium

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100 % Belasting
1	-0.92	-0.97	-1.04	-1.13
2	-0.93	-1.00	-1.09	-1.52
3	-0.94	-1.01	-1.10	-1.91
4	-0.93	-0.98	-1.06	-1.13

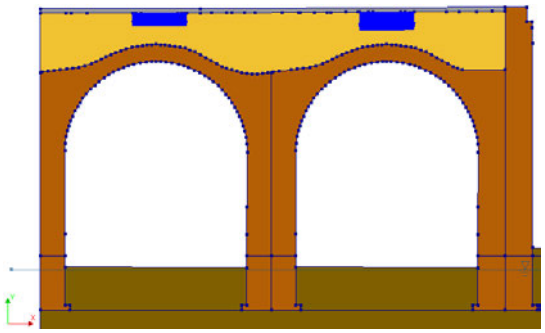
Tabel 6.23 Maximale scheurbreedte [mm] - ter informatie/geen criterium

Belastingpositie	25 % Belasting	50 % Belasting	75 % Belasting	100% Belasting
1	0.58	0.59	0.60	0.62
2	0.59	0.60	0.62	3.61
3	0.59	0.60	0.62	3.06
4	0.59	0.59	0.61	0.62

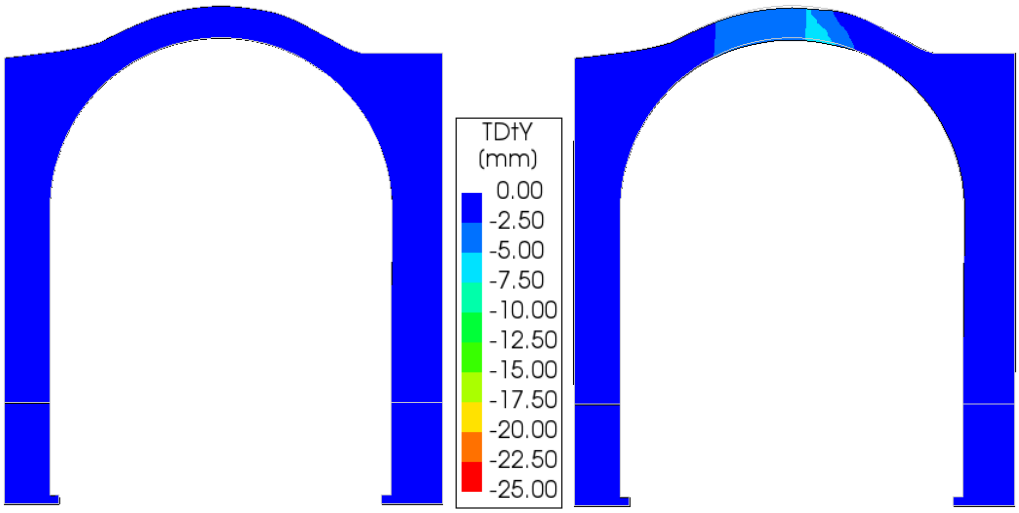
Afbeelding 6.34 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting BM3 in positie 2. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



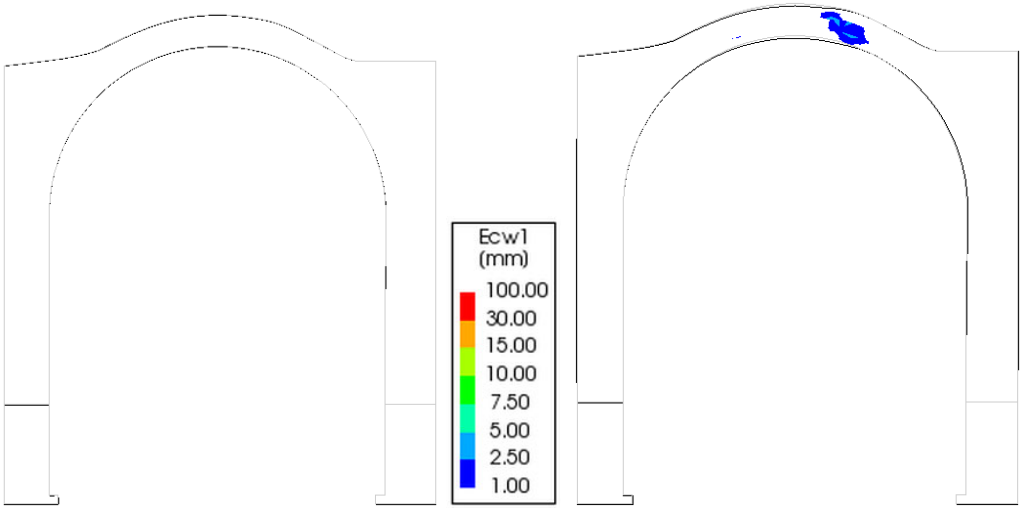
Afbeelding 6.35 Belastingpositie 2



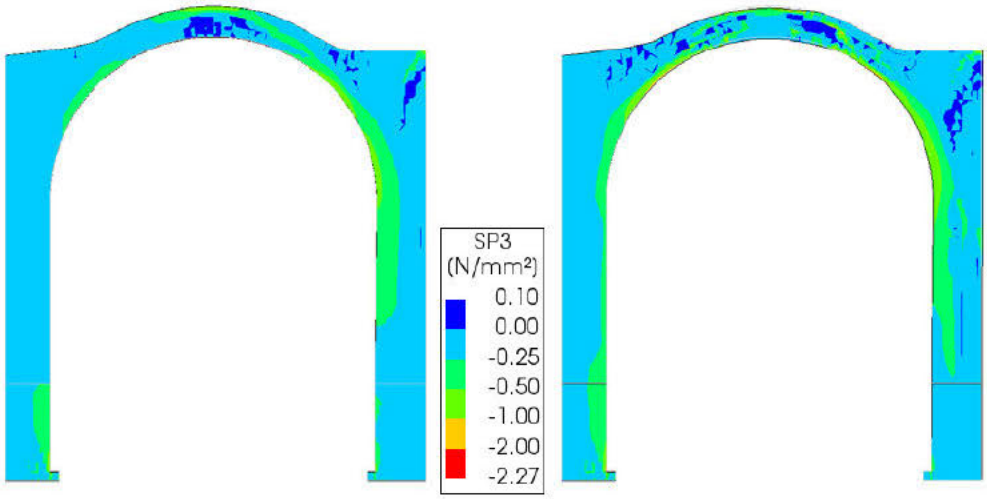
Afbeelding 6.36 Verticale (fictieve) vervorming, voor UGT-PF met BM3 belasting en belastingpositie 2. Piekpunt bij 75 % van BM3 (links) en 100 % van BM3 belasting (rechts)



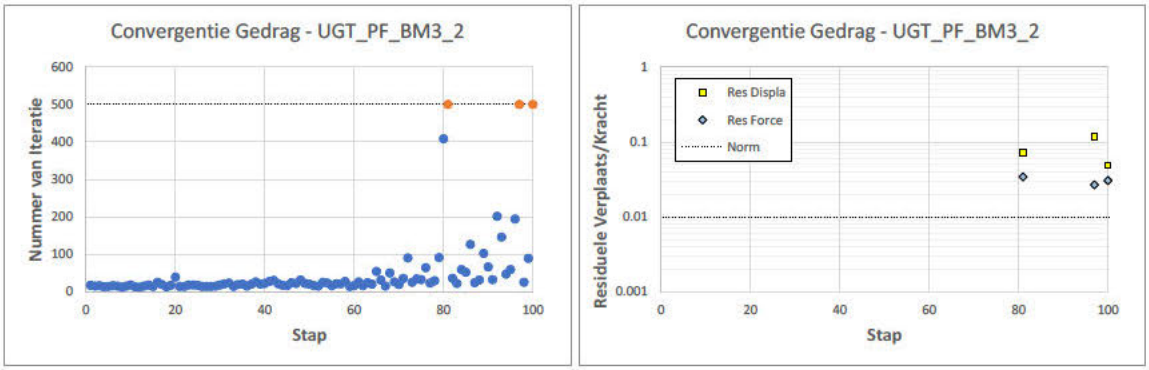
Afbeelding 6.37 Scheurbreedte in de hoofdrichting, voor UGT-PF met BM3 belasting en belastingpositie 2. Piekpunt bij 75 % van BM3 (links) en 100 % van BM3 belasting (rechts). Scharnieren zijn met cirkels aangegeven



Afbeelding 6.38 Hoofddrukspanning, voor UGT-PF met BM3 belasting en belastingpositie 2. Piekpunt bij 75 % van BM3 (links) en 100 % van BM3 belasting (rechts)



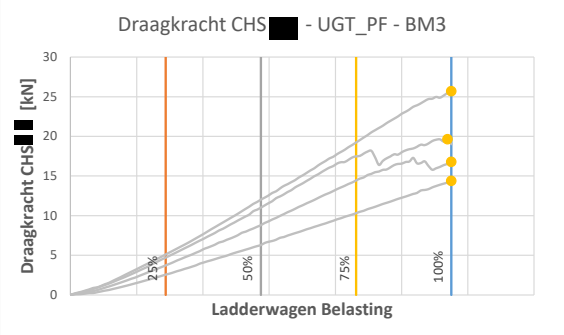
Afbeelding 6.39 Convergentie gedrag van PF-BM3 belasting, belastingpositie 2. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



Tabel 6.24 Draagkracht van de UGT-PF analyse met BM3 belasting

Draagkracht	1	2	3	4
BM3 UGT-GRF	100 % BM3	100 % BM3	100 % BM3	100 % BM3

Afbeelding 6.40 Overzicht van de draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting BM3 voor alles belastingpositie. Evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentiepunt



Wat betreft de vergelijking van de C20-belasting worden ook kleine verschillen gevonden bij het vergelijken van het gedrag van de kelder tussen GRF- en PF-methode voor de BM3-belasting. De lagere druksterkte speelt geen rol in de bezwijkmechanisme en de belastingfactor heeft invloed op het eindresultaat.

6.4.5 Beschouwing geldigheid GRF methode in geval van afschuifbezwijken

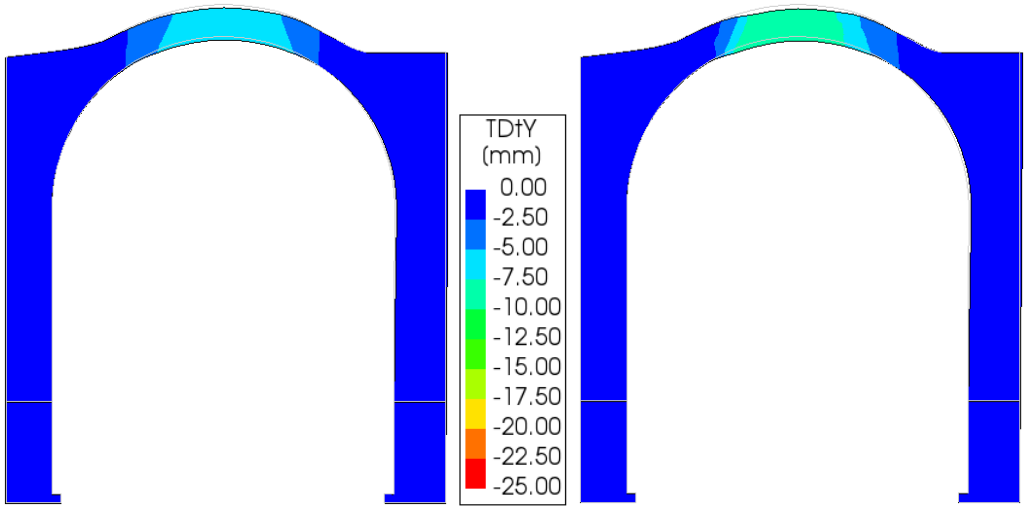
Ten opzichte van de GRF-methode vertoont de PF-methode een hogere draagkracht. De maximaal toegestane belasting volgens de PF methode bedraagt 7 ton versus 4 ton voor de GRF-methode. Het mechanisme is voor de GRF- en PF-methode voor een C20-belasting vergelijkbaar en wordt weergegeven in afbeelding 6.41 en afbeelding 6.42. Twee afschuifscheuren bevinden zich nabij de kruin. Vervormingen en bezwijkmechanisme (bezwijken op afschuiving) is ook vergelijkbaar. Uit tabel 2.3 blijkt dat de belangrijkste verschillen tussen de twee analyses liggen in de druksterkte van het metselwerk (van 5 MPa van GRF-methode tot 2,27 MPa van PF-methode) en de belastingfactor (van 2,42 van GRF-methode tot 1,10 van de PF-methode). De druksterkte van het metselwerk wordt op de piekpunt van beide analyses niet bereikt. De netto verkeersbelasting die in het model wordt toegepast, wordt berekend en vergeleken tussen de twee analyses:

- GRF methode: piekpunt op C20-belasting 4 ton: Q_1 = 2 x 142 kN x 2,42 = 343,6 kN;
- PF methode: piekpunt op C20-belasting >7 ton: Q_1 = 2 x 306 kN x 1,10 = 336,6 kN.

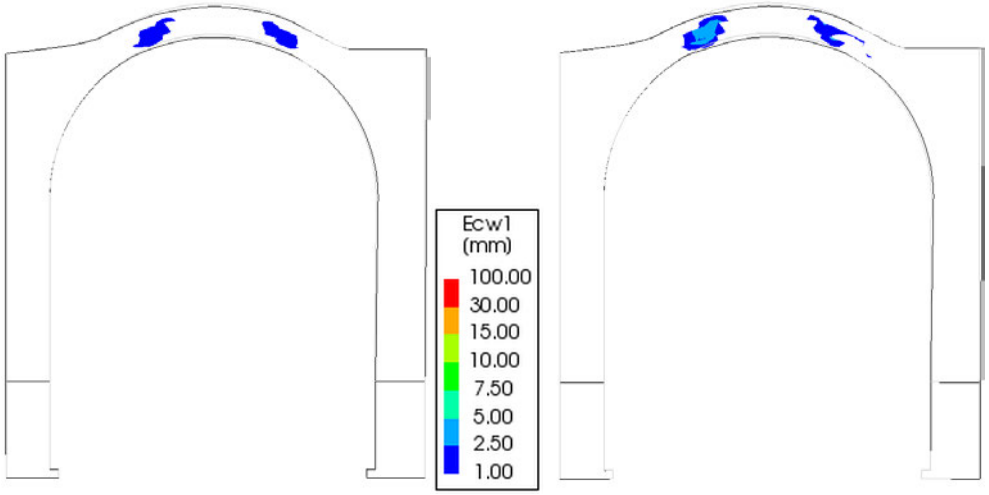
Het verschil tussen de netto belasting toegepast op het piekpunt in het model in GRF- en PF-analyse is slechts 2 %. Dit betekent dat de berekende sterkte van kelder niet wordt verhoogd door het gebruik van karakteristieke waarden van de sterkteparameters in plaats rekenwaarden van deze parameters. Het bezwijkmechanisme is namelijk gebaseerd op afschuiving. De vermindering van de druksterkte van het metselwerk heeft geen invloed op het afschuifbezwijkmechanisme, aangezien deze voornamelijk wordt bepaald door het spanningsverloop (stressflow) in de constructie en de treksterkte (die voor metselwerk nul is). Dit betekent dat, wanneer bezwijken op afschuiving optreedt, het volgen van de GRF-methode (die de materiële factor met de belastingfactor combineert) te conservatief is omdat materieelsterkte geen rol speelt. Omdat materiaalsterkte geen rol speelt wordt er geen veiligheidsmarge overgedragen van het sterktedeel naar het belastingdeel van de berekening en behoeft de belastingfactor daarom ook niet met een factor 1,55 voor verdiscontering materiaalsterkte te worden opgeslagen.

Om deze reden, ook door ervaringen van de berekeningen in ‘s-Hertogenbosch [30] en KNG[redacted] [4], wordt voor de GRF-toetsing de GRF-2-methode aangehouden. De GRF-2 methode onderscheidt zich immers van de GRF-methode met het gegeven dat de veiligheid op materiaalsterkte niet wordt overgedragen naar de belastingzijde van de berekening. De resultaten van deze toetsing zijn weergegeven in paragraaf 6.4.6 en 6.4.7.

Afbeelding 6.41 Verticale (fictieve) vervorming van de piekpunt, voor C20 belasting en belastingpositie 2-M. UGT-GRF (links) en UGT-PF (rechts) analyse. Piekpunt op 4 ton voor GRF en 7 ton voor PF



Afbeelding 6.42 Scheurbreedte in de hoofdrichting, voor C20 belasting 6 ton en belastingpositie 2-M. UGT-GRF (links) en UGT-PF (rechts) analyse. Scharnieren met rondjes intekenen



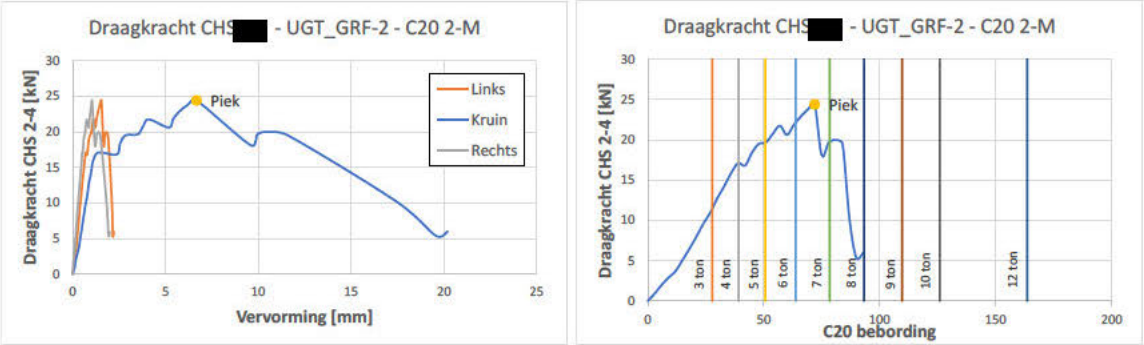
6.4.6 GRF-2-C20 bebording

Zoals reeds aangetoond door de GRF- en PF-analyses, is de impact van de materiaalparameters voor afschuifbezwijkmechanisme vrijwel nihil. Voorts is in de berekeningen met betrekking tot de metselwerkboogbruggen 's-Hertogenbosch [9] en KNG[redacted][3] de GRF-2 methode meer toereikend bevonden dan de GRF-methode doordat de gecombineerde belastingfactor ook in dit project te conservatief bleek voor overdracht van sterkte- naar belastingkant. De resultaten van de GRF-2-analyses van de kelder onderworpen aan C20-belasting worden hier beschreven. De resultaten zijn analytisch geschaald op basis van de resultaten van de GRF-methode.

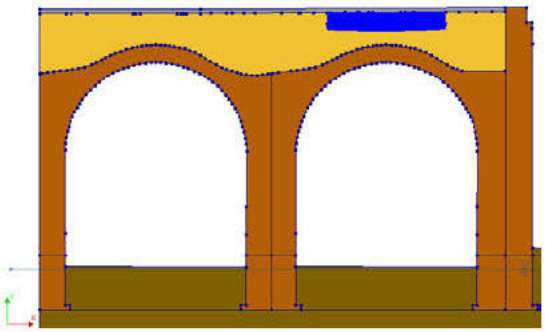
De kracht-vervorming plot van de maatgevende belasting positie 2-M (afbeelding 6.44) wordt getoond in afbeelding 6.43 (links). De meeste verticale vervorming treedt op bij kruin. Na een eerste lineaire vertakking vormen zich twee afschuifscheuren dicht bij de kruin. Ze worden groter bij het naderen van het piekpunt. In de tweede (softening) vertakking evolueren de mechanismen tot het bezwijken van kruin.

De capaciteitscurve van de boog wordt ook uitgezet tegen de toegepaste belasting van het C20 bord (afbeelding 6.43, rechts). Zoals beschreven door de plot wordt de draagkracht van de kelder bereikt na het aanbrengen van de belasting beschreven door C20 6 ton. Dit kan worden beschouwd als de ultieme capaciteit voor de UGT-GRF-2-analyse. Na dit punt wordt een krachtreductie van ongeveer 80 % gevonden, wat kan worden aangenomen als bezwijken van de kelder. Een overzicht van de uiteindelijke draagkracht voor overige belastingposities is weergegeven in tabel 6.25 en uitgezet in afbeelding 6.45.

Afbeelding 6.43 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF-2 C20 belasting in positie 2-M. Kracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



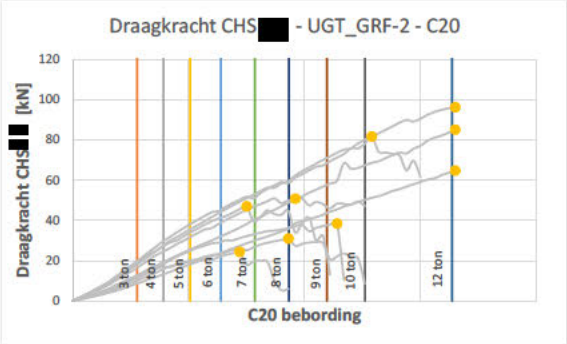
Afbeelding 6.44 Belastingpositie 2-M



Tabel 6.25 Draagkracht van de UGT-GRF-2 analyse met C20 belasting

Draag kracht	1-L	1-M	2-L	2-M	3-L	3-M	4-L	4-M	4-R
Bord C20 UGT-GRF-2	10 ton	9 ton	6 ton	6 ton	8 ton	8 ton	12 ton	12 ton	12 ton

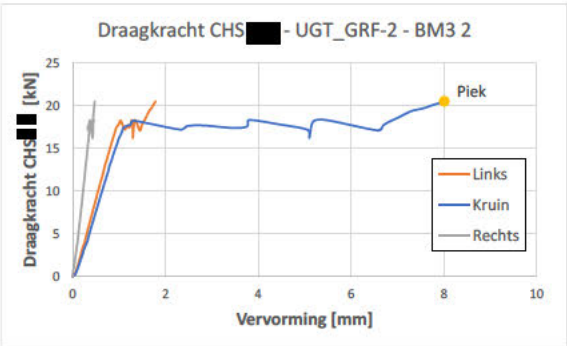
Afbeelding 6.45 Overzicht van de draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF-2 belasting C20 voor alles belastingpositie. Evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt

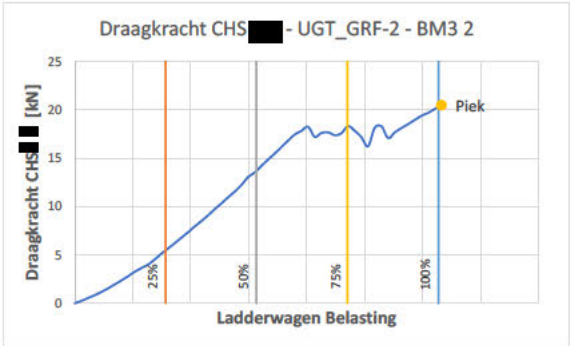


6.4.7 GRF-2-BM3

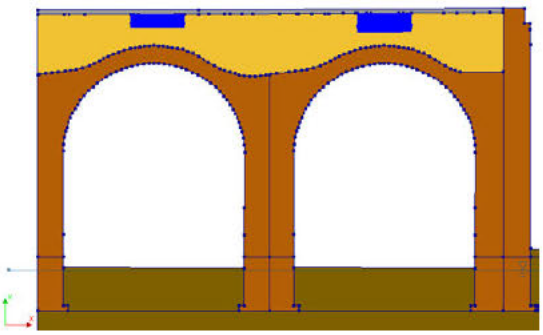
De draagkracht-vervorming plot van de maatgevende belastingpositie 2 (afbeelding 6.47) wordt getoond in afbeelding 6.46 (links). Bij dit type belastingpositie, waar de zware achteras in het midden van de CHS[redacted] boog geplaats is, treedt de meeste verticale vervorming op bij de kruin. De rechter draagmuur draait naar binnen. Een overzicht van de uiteindelijke draagkracht voor overige belastingposities is weergegeven in tabel 6.26 en uitgezet in afbeelding 6.48. Zoals beschreven in de plot, ontwikkelt het keldermechanisme een plastische scharnier die nog geen bezwijkmechanisme vormen. De kelder kan de GRF-2-BM3 belasting dragen.

Afbeelding 6.46 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF-2 belasting BM3 in positie 2. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)





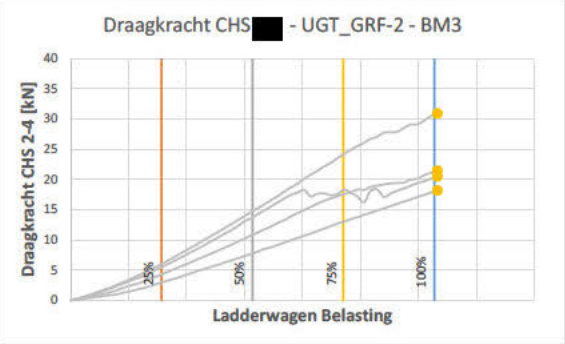
Afbeelding 6.47 Belastingpositie 2



Tabel 6.26 Draagkracht van de UGT-GRF-2 analyse met BM3 belasting

Draagkracht	1	2	3	4
BM3 UGT-GRF-2	100 % BM3	100 % BM3	100 % BM3	100 % BM3

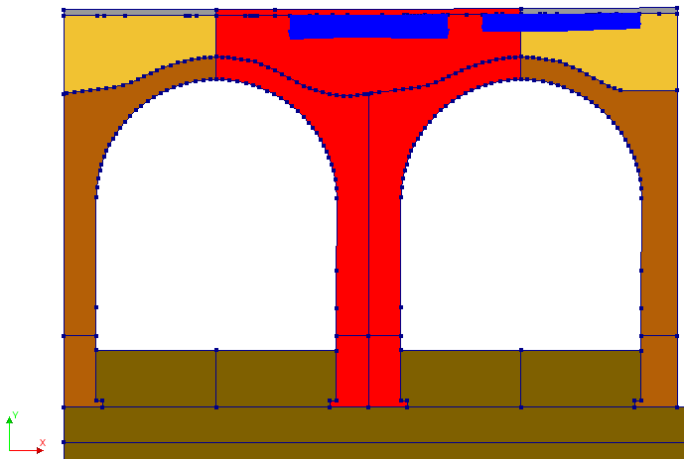
Afbeelding 6.48 Overzicht van de draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF-2 belasting BM3 voor alles belastingpositie. Evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt



6.5 Geotechnisch draagvermogen draagmuur

Het bezwijkgedrag van de grondlaag onder de kelder is onderzocht voor het draagvermogen van de kelder door verkeersbelasting (C20). De fundering van de draagmuur wordt behandeld en berekend als een fundering op staal. Het draagvermogen van de maatgevende draagmuur (gedeelte tussen de twee kelders) is bepaald door de combinatie van de grootte van het fundatieoppervlak, de permanente belasting en de af te dragen verkeersbelasting. De berekening van de fundering op staal wordt uitgevoerd conform aan Eurocode 7 (EN 1997) met Nederlandse Nationale Bijlage (NEN-EN 1997-7/NB) en Nederlandse Aanvullende Bepalingen voor toepassing van Eurocode 7 (NEN 9097-1). De interne spreadsheet 'Fundering Op Staal' versie 1.60 wordt gebruikt. Uitgangspunt is dat de hele draagmuur, de helft van de twee bogen en het bovenliggende grond en asfalt worden als permanente belasting meegerekend (afbeelding 6.49). Voor de verkeersbelasting is aangenomen dat het zware laststelsel op het landhoofd is gepositioneerd en dus volledig afdraagt naar de draagmuur. Een deel van de tweede laststelsel wordt ook binnen de invloedsgebied beschouwd. De helft van de tweede laststelsel belasting is conservatief gekozen. Dus de belastingpositie 4 (L-M-R) wordt onderzocht.

Afbeelding 6.49 Visuele schematisatie voor de bepaling van de permanente en veranderlijke belasting op de draagmuur (geselecteerd gebied getekend in rode kleur)



De permanente belasting zijn:
- metselwerk: oppervlakte = 5,54 m^2, dichtheid = 1950,0 Kg/m^3, belasting = 105,93 kN/m;
- aanvulzand: oppervlakte = 3,72 m^2, dichtheid = 1733,5 Kg/m^3, belasting = 63,42 kN/m;
- klinkerverharding: oppervlakte = 0,34 m^2, dichtheid = 2000,0 Kg/m^3, belasting = 6,68 kN/m.

De totale permanente belasting (inclusief een belastingfactor van 1,1 conform CC2 gebruiksniveau) is gelijk aan 193,63 kN/m. Een in-situ rechthoekige plaat wordt beschouwd als funderingstype met een lengte van 6,25 m. Funderingsniveau is op NAP +0,0 m. In de bodemprofielen wordt onder de fundering van vastgepakt zand (cohesie 0,1 kPa) uitgegaan. Twee verschillende varianten van de hoek van inwendige wrijving worden onderzokt: 30,0° en 32,5°. Het vloerniveau) is op NAP +0,80 m. Het freatisch niveau is ingesteld op NAP +0,75 m. Partiele veiligheidsfactoren voor de materialen worden automatisch bij de berekeningen (volgens de NEN9997-1 tabel A.4a) rekening gehouden. Extra informatie over de draagvermogen berekeningen zijn te vinden in bijlage XIII. De breedte van de fundering hangt af van het aantal versnijdingen aan de basis van de fundering. Zoals al beschreven in hoofdstuk 4.2.3, het aantal versnijdingen volgt niet uit archief gegevens en ook niet uit de inspectie. Onderzoeksresultaten van kluiskelders in de Kromme Nieuwegracht in Utrecht laten allen minimaal versnijdingen vanaf 90 mm tot maximaal 555 mm zien ([5]). De breedte van de fundering wordt dan berekend met verschillende afmetingen om de invloed ervan te evalueren. Er worden vier varianten onderzocht met de volgende versnijdingen lengte: 90 mm, 245 mm, 400 mm, 555 mm. De breedte van de fundatie voor de vier varianten zijn gelijk aan:
- B1 = 910 mm + 2 x 90 mm = 1.090 mm;
- B2 = 910 mm + 2 x 245 mm = 1.400 mm;
- B3 = 910 mm + 2 x 400 mm = 1.710 mm;
- B4 = 910 mm + 2 x 555 mm = 2.020 mm.

De resultaten van de analytisch berekeningen zijn weergegeven voor de twee verschillende varianten van de hoek van inwendige wrijving in tabel 6.27 en tabel 6.28.

Tabel 6.27 Draagvermogen van de draagmuur van de kelders met verschillende fundatiebreedte. φ = 30,0°

Type Fundatie	Weerstand [kN]	Permanente Belasting [kN]	Toegestane verkeersbelasting GRF C20 / [kN]	Unity Check GRF	Toegestane verkeersbelasting PF C20 / [kN]	Unity Check PF
B=1,09 m	893,6	1.208,6	-	1,35	-	1,35
B=1,40 m	1.265,7	1.222,2	3 ton / 324,3	1,22	3 ton / 207,9	1,13
B=1,71 m	1.685,7	1.248,5	3 ton / 324,3	0,93	7 ton / 419,1	0,99

Type Fundatie	Weerstand [kN]	Permanente Belasting [kN]	Toegestane verkeersbelasting GRF C20 / [kN]	Unity Check GRF	Toegestane verkeersbelasting PF C20 / [kN]	Unity Check PF
B=2,02 m	2.151,5	1.287,4	6 ton / 755,0	0,95	10 ton / 680,9	0,91

Tabel 6.28 Draagvermogen van de draagmuur van de kelders met verschillende fundatiebreedte. φ = 32,5°

Type Fundatie	Weerstand [kN]	Permanente Belasting [kN]	Toegestane verkeersbelasting GRF C20 / [kN]	Unity Check GRF	Toegestane verkeersbelasting PF C20 / [kN]	Unity Check PF
B=1,09 m	1.204,9	1.208,6	-	1,01	-	1,01
B=1,40 m	1.717,8	1.222,2	4 ton / 457,4	0,98	7 ton / 419,1	0,96
B=1,71 m	2.299,9	1.248,5	7 ton / 922,0	0,94	12 ton / 880,0	0,93
B=2,02 m	2.940.9	1.287,4	10 ton / 1.498,0	0,95	12 ton / 880,0	0,74

Uit de resultaten blijkt dat zowel de breedte van de fundering als de hoek van inwendige wrijving een vrij gevoelige parameter zijn voor de geotechnisch draagvermogen. Door rekening te houden met een funderingsbreedte van 1,09 m de fundering op staal al niet voldoet aan de benodigde veiligheid op basis van enkel de permanente belastingen. Dit geldt ook voor een breedte van 1,40 m en φ = 30°. Voor dezelfde breedte maar met een meer verdichte zandpakket (φ = 32,5°), kan de fundering op staal een verkeerbelasting van 4 ton (GRF) dragen. Deze limiet gaat tot 7 ton bij gebruik van de PF-methode.
Bij BGT-berekening (geen veiligheidsfactoren toegepast op materiaal en belastingen) kan de fundering op staal met een breedte van 1,09 m (vasgepakt zand met φ = 30°) een belasting van 9 ton (volgens C20 bord) dragen, met een unity check van 0,96. Uit de EEM-berekening blijkt uit de boogconstructie een BGT-limiet van 5 ton (volgens C20 bord). Voor een dergelijke belasting wordt verwacht dat de fundering zich nog in de elastische fase bevindt en de resultaten van de boog worden niet onrealistisch beïnvloed door de sterkte van de fundering.

Er kan geconcludeerd worden dat het draagvermogen van de fundering kritisch is voor de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie. Mogelijk is het draagvermogen al kritisch bij lagere verkeersbelastingen (uitgaande van een hoek van inwendige wrijving van 30 graden). Om hier meer zekerheid over te krijgen zou met grondonderzoek onderzoek gedaan kunnen worden naar de sterkte van de ondergrond. Daarnaast zou ook de breedte van de fundering moet worden onderzocht. Indien de landhoofden niet of nauwelijks zijn gezakt ten opzichte van elkaar zou ook de conclusie worden getrokken dat de verkeersbelasting die tot nu toe is opgetreden toelaatbaar zijn. Als de geschatte breedte van de fundering 1,40 m of meer is, op een goed gepakt zand (φ ≥ 32,5°) dan kan de draagmuur 4 ton verkeersbelasting dragen.

7

CONCLUSIE

De constructieve veiligheid van het object CHS [redacted] wordt beoordeeld door berekening van uiterste grenstoestand (afgekort met UGT) op basis van GRF, PF en GRF-2 methode en bruikbaarheidsgrenstoestanden (afgekort met BGT) condities voor de evaluatie van het draagvermogen. Daarnaast is het geotechnische draagvermogen van de draagmuur berekend. Twee belastingmodellen worden getoetst, C20 lastbeperking bebording en BM3.

Op basis van deze verificatieberekeningen is geconcludeerd dat:

- BGT: voor alle belastingposities met een C20 bord belasting van **5 ton** blijft de maximale vervorming met 2,2 mm onder de maximaal toelaatbare vervorming van 11,6 mm. Het schade niveau 2 (afgekort met DL2) van Damage State 1 (DS1-DL2) met een beperking van de schadeparameter ψ van 2.4 is voor dezelfde belasting (C20 5 ton) niet overschreden. Dit betekent dat fijne scheuren ontstaan, maar de schade is nog steeds binnen de BGT-grenzen (Damage state 1). Ten aanzien van de BGT toets wordt voor en belasting van 5 ton (C20 bord) derhalve aan alle gestelde eisen voldaan. De ladderwagen onder de BM3-belasting voldoet ook aan de eisen qua verplaatsing (maximale vervorming van 1,3 mm) en beschadiging (DS1-DL2) voor alle belastingposities;
- UGT: volgens de GRF berekeningen, wordt een C20-belasting van 4 ton als uiterste capaciteit van de kelder gevonden. Op dit punt is het bezwijkmechanisme volledig doorontwikkeld en vertoont de capaciteitscurve een plotselinge daling. Het opstellen van een ladderwagen voldoet niet aan de UGT-GRF-eisen. In de maatgevende belastingpositie worden twee afschuifscheuren bij de kruin gevormd, waardoor de kelder de ladderwagen belasting niet kan dragen. Volgens de PF berekeningen bedraagt de uiterste capaciteit voor de C20-belasting 7 ton. Belasting model 3 voldoet volgens de PF methode aan de UGT-eisen en bij het toetsen van de ladderwagen belasting wordt eveneens geen bezwijken van de kelder geconstateerd. De gevonden bezwijkmechanismen zijn voor de GRF en PF methoden vergelijkbaar maar de belastingfactor speelt een rol in het uiteindelijke resultaat. De vermindering van de druksterkte van het metselwerk heeft hier bijna geen invloed op het bezwijkmechanisme (bezwijken kruin op afschuiving). Dit betekent dat, wanneer afschuifbezwijken optreedt, het volgen van de GRF-methode (die de materiaalfactor naar de belastingfactor overdraagt) te conservatief is omdat materieelsterkte geen rol speelt voor de verkregen sterkte. Om deze reden, ook door ervaringen van de berekeningen in 's-Hertogenbosch [30] en KNG[redacted] [4], wordt voor de GRF toetsing de GRF-2-methode aangehouden. De GRF-2 methode onderscheidt zich immers van de GRF methode met het gegeven dat de veiligheid op materiaalsterkte niet wordt overgedragen naar de belastingzijde van de berekening. Dus worden alleen de resultaten van de GRF-2-methode gebruikt en wordt een uiterste capaciteit van C20-belasting van **6 ton** aangehouden. Het opstellen van een **ladderwagen voldoet** aan de UGT-GRF-2-eisen.

Conclusie:

- voor standaard verkeer (volgens C20 bord) 5 ton is toegestaan in BGT condities en 6 ton is toegestaan voor de UGT conditie;
- het opstellen van een ladderwagen (volgens BM3 in UGT-GRF-2 conditie) bovenop de kelder voldoet aan de eisen.

Op basis van de uitgevoerde berekening van de kelder Choorstraat [redacted] kan worden geconcludeerd, dat een aslast voor standaard verkeer (C20-bord) tot 6 ton toelaatbaar is. Ook is geconcludeerd dat de kelder voldoende weerstand heeft om de ladderwagen te dragen. Er kan ook geconcludeerd worden dat het draagvermogen van de fundering kritisch is voor de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie.

De aanwezigheid van versnijding, breedte van de draagmuur en grondmateriaal onder de kelder zijn behoorlijk gevoelig voor het eindresultaat. Het wordt aanbevolen om de grond onder de kelder en funderingsafmetingen te onderzoeken. Dit kan door een gat te graven vanuit de binnenkant van de kelder nabij de fundering aan de grachtzijde, waar het niveau van de vloer veel lager is. Op deze manier kunnen eventuele versnijding, funderingsniveau en grond onder de fundering worden geïnspecteerd. Aangetekend dient te worden dat in dezelfde straat mogelijk kelders met een lagere draagkracht liggen. Een verhoging van de verkeerlast tot een maximale aslast van 6 ton zou mogelijk tot aanvullende scheurvorming kunnen leiden, die gemonitord moet worden.

8

REFERENTIES

[1] Rekenplan - Straatkelder Choorstraat [redacted] Witteveen+Bos, 122608/21-007.291, Concept 01, 7 mei 2021.
[2] Kluiskelders Kromme Nieuwegracht [redacted] - Rapport Verificatieberekening, Witteveen+Bos, 122608/21-008.039, Definitief 02, 21 mei 2021.
[3] Verificatieberekening Kromme Nieuwegracht [redacted] te Utrecht, RHDHV, BH3201TPRP2105111106, Definitief 01, 11 mei 2021.
[4] Rekenplan - Kluiskelders Kromme Nieuwegracht [redacted] Witteveen+Bos, 122608/21-001.370, Concept 01, 28 januari 2021.
[5] Rekenplan - Straatkelder Choorstraat [redacted] te Utrecht, RHDHV, BH3201TPNT2102121447 versie 19 april 2021.
[6] Kluiskelders Utrecht: Kromme Nieuwe-gracht [redacted] en [redacted] Plan van Aanpak 'Onderzoek draagkracht 3 kluiskelders: KNG [redacted] en [redacted] 2 September 2020.
[7] Rapport 'Sonderingen Oude Gracht te Utrecht', referentie: WN-19396, d.d. september 2009, WIHA GRONDMECHANICA.
[8] EEM Parameter bepaling Werfkelder Choorstraat [redacted] Witteveen+Bos, 122608/21-003.789, 9 maart 2021.
[9] Metselwerk boogbruggen, Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch, Gemeente 's-Hertogenbosch, 23 Juli 2020.
[10] RO CVK 's-Hertogenbosch Deelopdracht 04: Verificatieberekening KW1115 Judasbrug, 29 Oktober 2020.
[11] Rapport De Prouw BV 'Kromme Nieuwegracht Rak 22 te Utrecht - Inspectie gebreken en risicoafweging buitenring.
[12] Funderingen langs de grachten, bouwhistorische notitie, Frans Kip, 22-09-2009.
[13] Application of Kinematic Method and FEM in Analysis of Ultimate Load Bearing Capacity of Damaged Masonry Arch Bridges – Kaminski T., Bien J. (2013).
[14] DIANA FEA 10.5 Manual. https://dianafea.com/manuals/d105/Diana.html.
[15] DIANA FEA 10.5 Manual. Verification Report, Material Soil Model https://dianafea.com/manuals/d105/Verify/Verifypa6.html#x77-414000VI.
[16] Numerical and experimental investigation of Hydraulic fracturing in kaolin clay. Xu T., Ranjith P.G., Au A.D.K., Wasantha P.L.P., Journal of Petroleum Science and Engineering, August 2015.
[17] DIANA Validation report for Masonry modelling - Schreppers G.M.A. et al. (2017). DIANA FEA BV and TU Delft.
[18] Crack Initiation And Propagation In Unreinforced Masonry Specimes Subjected to Repeated In-Plane Loading During Light Damage. P.A. Korswagen, M. Longo, E. Meulman, J.G. Rots (2019). Bulletin of Earthquake Engineering.
[19] Strengthening of Masonry Arches with Fiber-Reinforced Polymer Strips. Foraboschi P. (2004). Journal of composites for construction.
[20] European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). G. Grünthal (1998). European Seismological Commission, sub commission on Engineering Seismology. Working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Caheirs du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, vol 15, Luxembourg.
[21] Modelling of settlement induced building damage. G. Giardina, J.G. Rots, M.A.N. Hendriks (2013). TU Delft, Delft.
[22] Modelling Deelopdracht 02 -KW1116 Welfbrug Nieuwstraat - Onderzoek Constructieve veiligheid - Fase 2: Vooronderzoek Validatie VK proeven. 15 November 2019.
[23] Guidelines for Nonlinear Finite Element Analysis of Concrete Structures. RTD 1016-1:2017, version 2.1 Final, 15 June 2017.

[24] Guidelines for Nonlinear Finite Element Analysis of Concrete Structures. RTD 1016-1:2020, version 2.2 Final, 2 April 2020.
[25] Spoor 2 - Voorlopige Expertbeoordeling, RHDHV, BH3201TPRP2010271409, definitief/3.0, 26 januari 2021.
[26] Herstel wal- en kluismuren Kromme Nieuwegracht, Bestaande situatie Rak 21-C, Bestek. Stadsingenieurs, Projectnummer 141.2002.05, Tekeningnummer C&B.040-006, 14-07-2017, versie C.
[27] Damage sensitivity of Groningen masonry structures - experimental and computational studies - Stream 1. P.A. Korswagen, M. Longo, E. Meulman, C. van Hoogdalem (2017). C31B69WP0-12, TU Delft.
[28] Nadere beschrijving van de opdracht. Ingenieursproducten Bepaling belastbaarheid kelders. W. Akkermans, Gemeente Utrecht.
[29] Damage sensitivity of Groningen masonry structures - experimental and computational studies - Stream 2, Appendix C. P.A. Korswagen, M. Longo, E. Meulman (2019). C31B69WP0-14-2, TU Delft.
[30] KW1116 Welfbrug Nieuwstraat 's-Hertogenbosch, RHDHV, Fase 5: Verificatieberekening. Versie 0.4/Concept, 13 Juli 2020.

BIJLAGE: MATERIAALPARAMETERS DIANA

De materiaalparameters die in het model worden gebruikt, worden hieronder vermeld.

Grondparameters - Hardening Soil Model

De waarden verwijzen naar de karakteristieke waarden (geen veiligheidsfactoren).

Tabel I.1 Hardening Soil Model parameters in het model gebruikt

HS	Eenheid	Aanvul zand	Sterk zandig klei	Los Zand 1	Zwak zandig Klei	Los Zand 2	Vastgepakt Zand
E_{50}	MPa	10,0	3,5	30,0	3,0	20,0	30,0
E_{UR}	MPa	40,0	14,0	120,0	12,0	80,0	120,0
E_{oed}	MPa	10,0	3,5	30,0	3,0	20,0	30,0
υ	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
c	MPa	0,0001	0,001	0,0001	0,005	0,0001	0,1
φ	graden	30,0	27,5	30,0	22,5	30,0	32,5
ψ	graden	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
q_f/q_a	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
m	-	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,5
p_{ref}	MPa	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
OCR	-	1	1	1	1	1	1
K_{nc}	-	0,50	0,54	0,50	0,62	0,50	0,50
Cut-off	MPa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
γ	kN/m^3	17,0	18,0	17,0	18,0	17,0	17,0
n	-	0,36	0,32	0,36	0,32	0,36	0,36
K_0	-	0,50	0,54	0,50	0,62	0,50	0,50

Metselwerkparameters - Total Strain Rotating Crack Model

De waarden zijn gebaseerd op het type analyse (BGT, UGT-GRF of UGT-PF). In de tabel wordt rekening gehouden met veiligheidsfactoren. De breukenergie op druk voor GRF en PF analyse wordt berekend met de formule G_{fc} = 15 + 0.43 x f_c - 0.0036 x f_c^2 uit [17] die is gebaseerd op experimentele test.

Tabel I.1 Total Strain Rotating Crack Model parameters in het model gebruikt

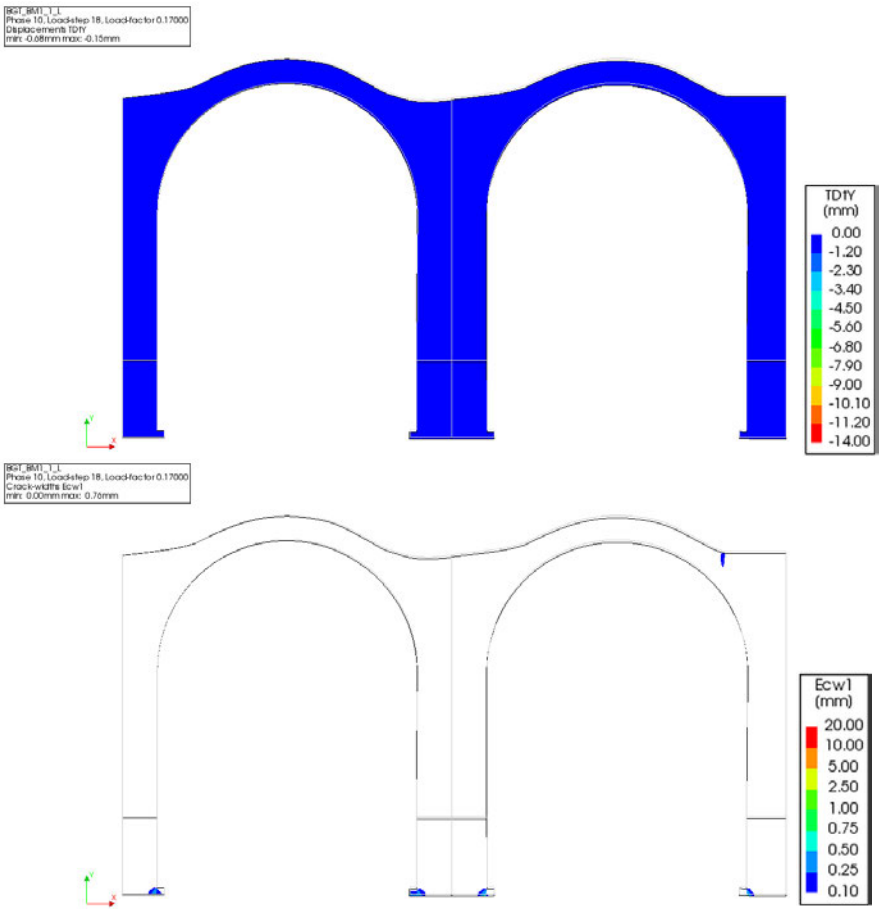
Total Strain Crack Model	Eenheid	BGT	UGT-GRF	UGT-PF
E	MPa	5.000	5.000	5.000
υ	-	0,25	0,25	0,25
γ	kN/m^3	23,0	23,0	23,0
Scheur oriëntatie	-	Rotating	Rotating	Rotating
f_t	MPa	0,10	0,005	0,005
Trekcurve	-	Exponential	Linear-crack energy	Linear-crack energy
$G_{ft,I}$	N/m	10,0	1E+06	1E+06
Scheurbandbreedte specificatie	-	Rots	Rots	Rots
f_c	MPa	8,5	5,0	2,27
drukcurve	-	Parabolic	Parabolic	Parabolic
G_{fc}	N/m	20.000	17.060	15.958

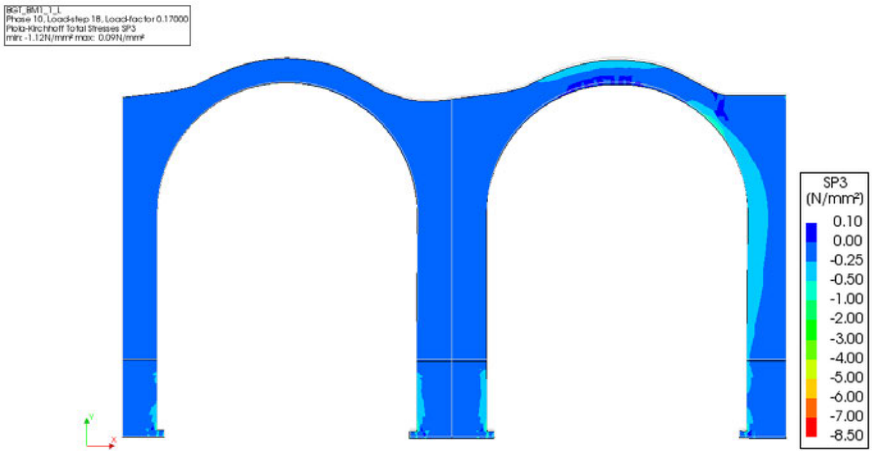
II

BIJLAGE: BGT RESULTATEN - C20 BEBORDING

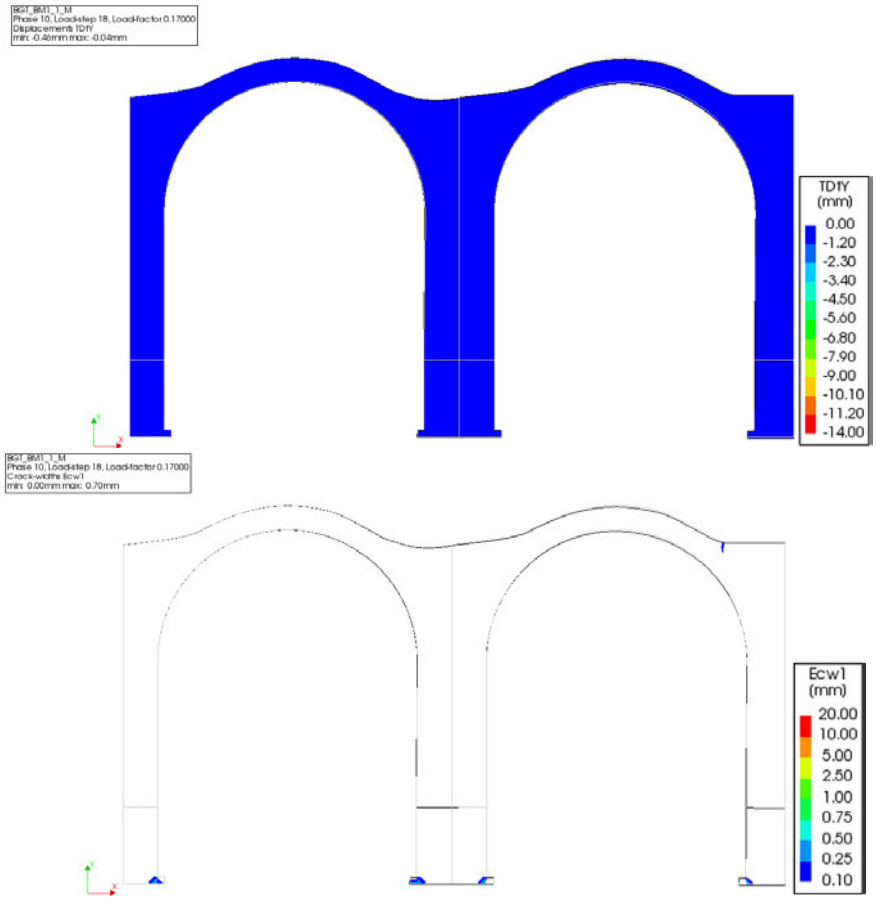
BGT-C20 - 3 ton

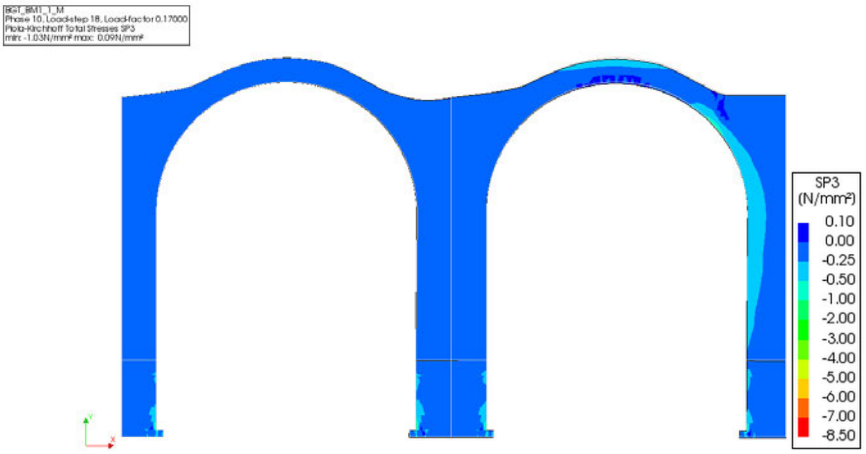
Afbeelding II.1 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 1-L



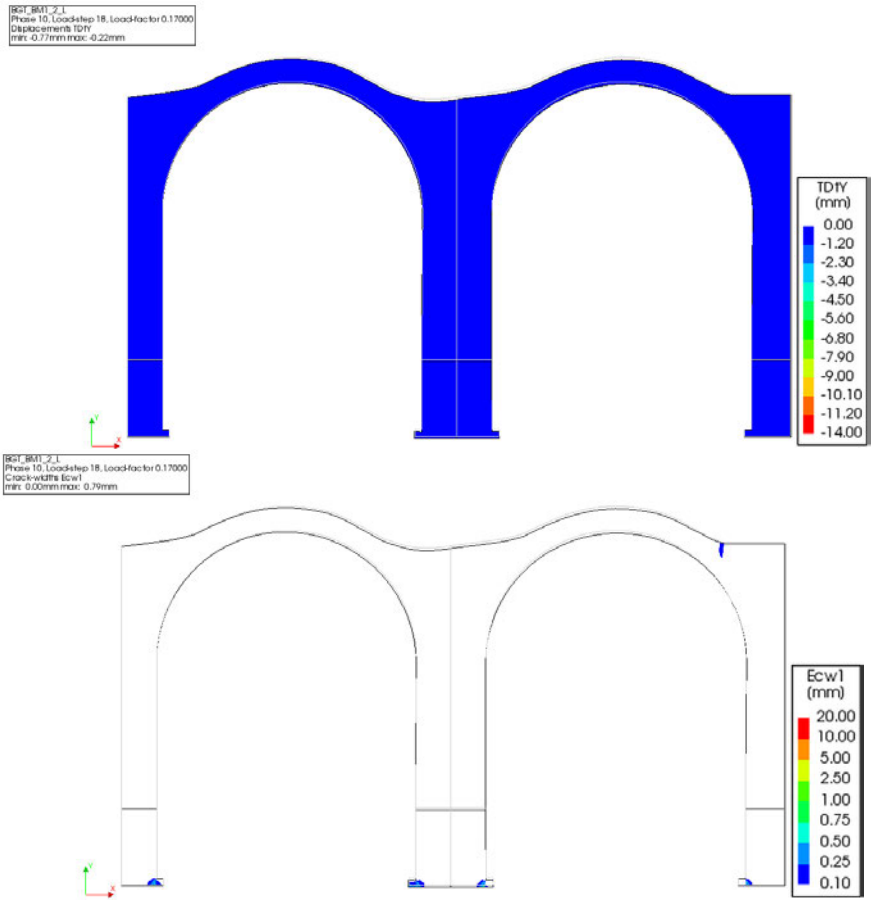


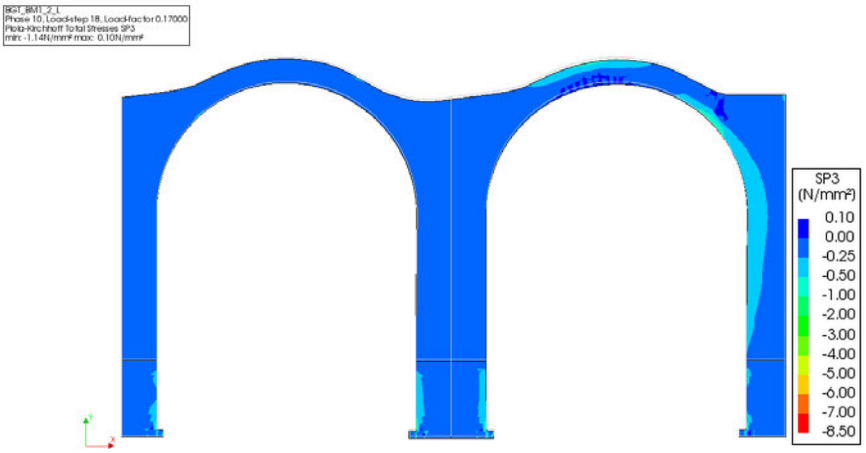
Afbeelding II.2 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 1-M



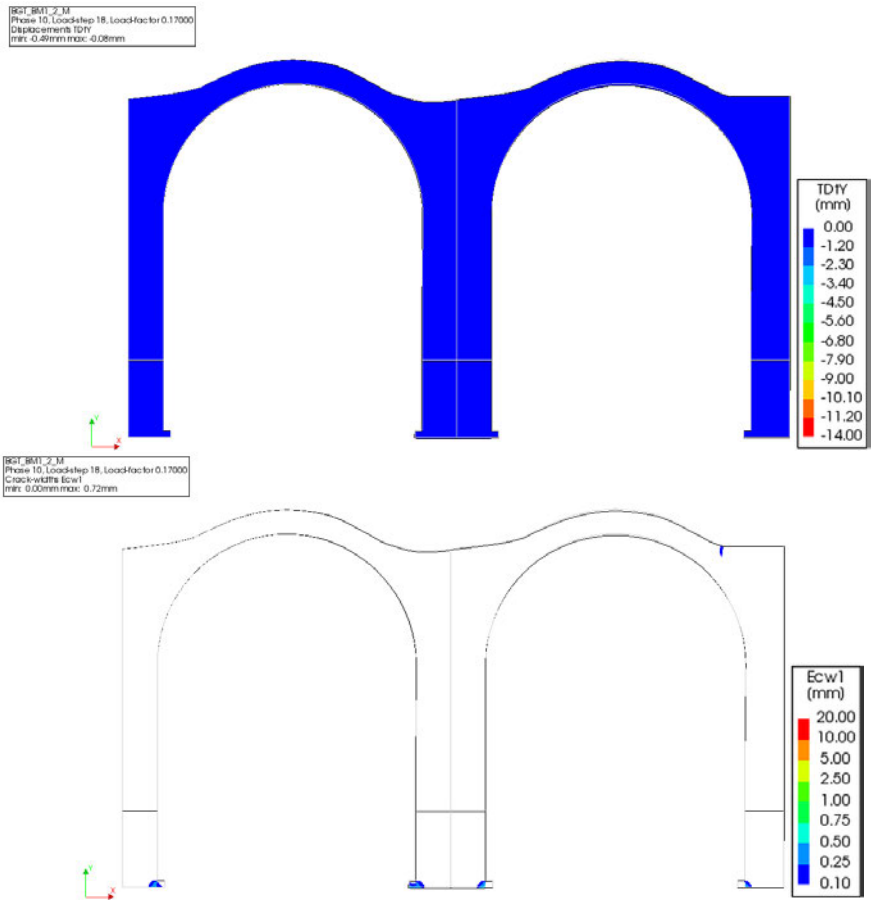


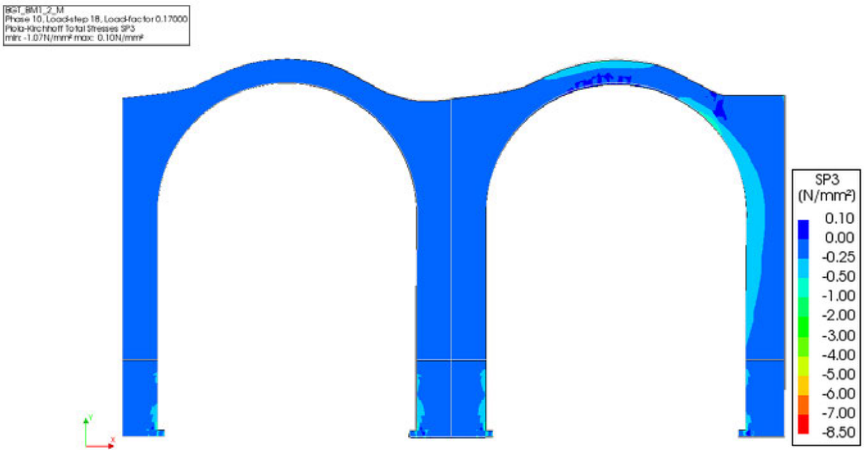
Afbeelding II.3 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 2-L



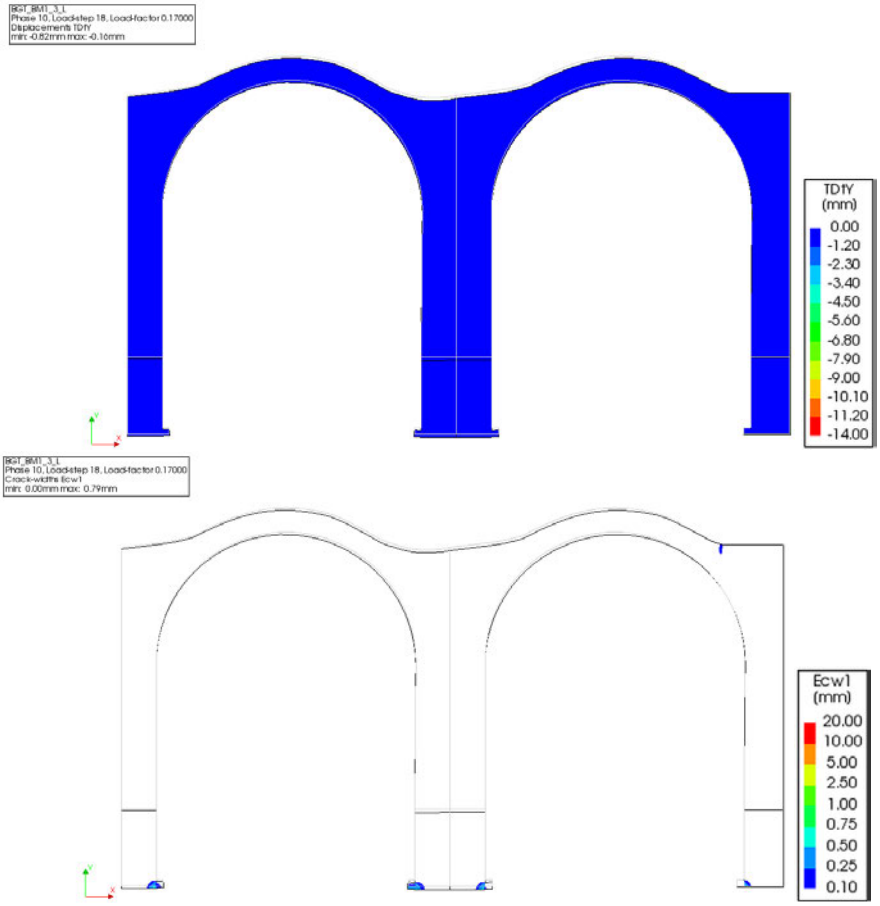


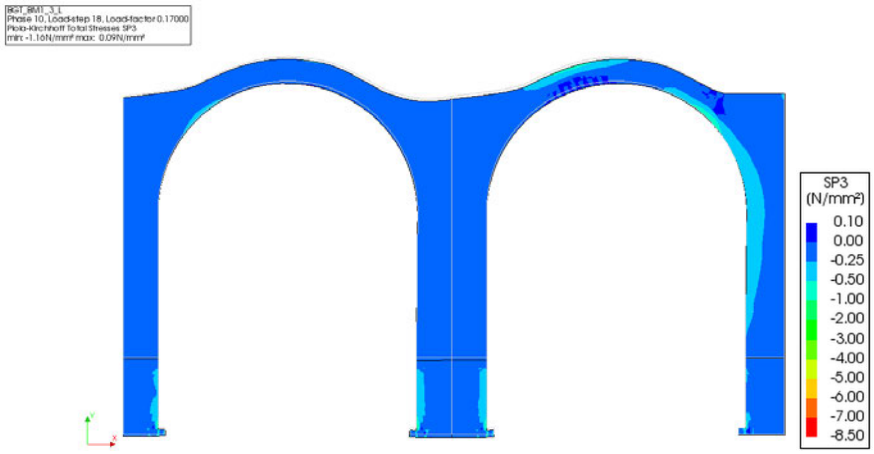
Afbeelding II.4 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 2-M



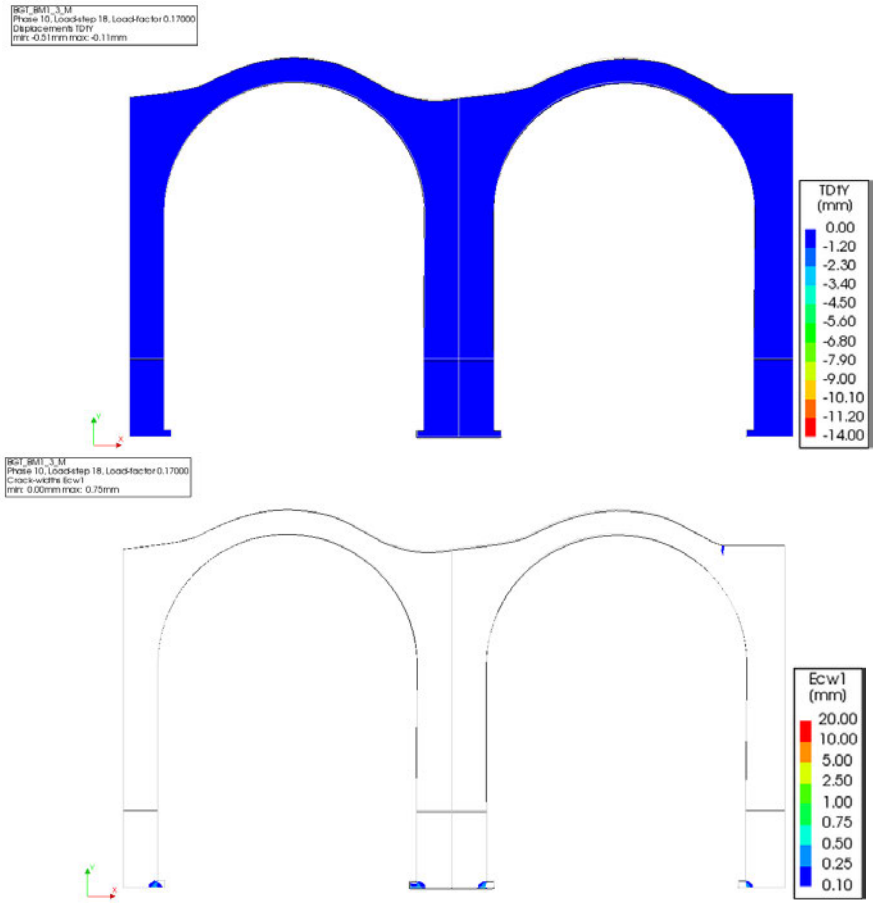


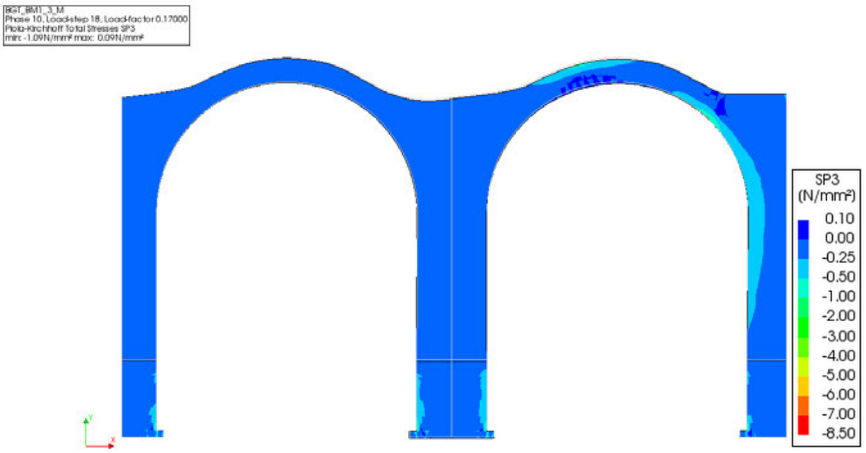
Afbeelding II.5 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 3-L



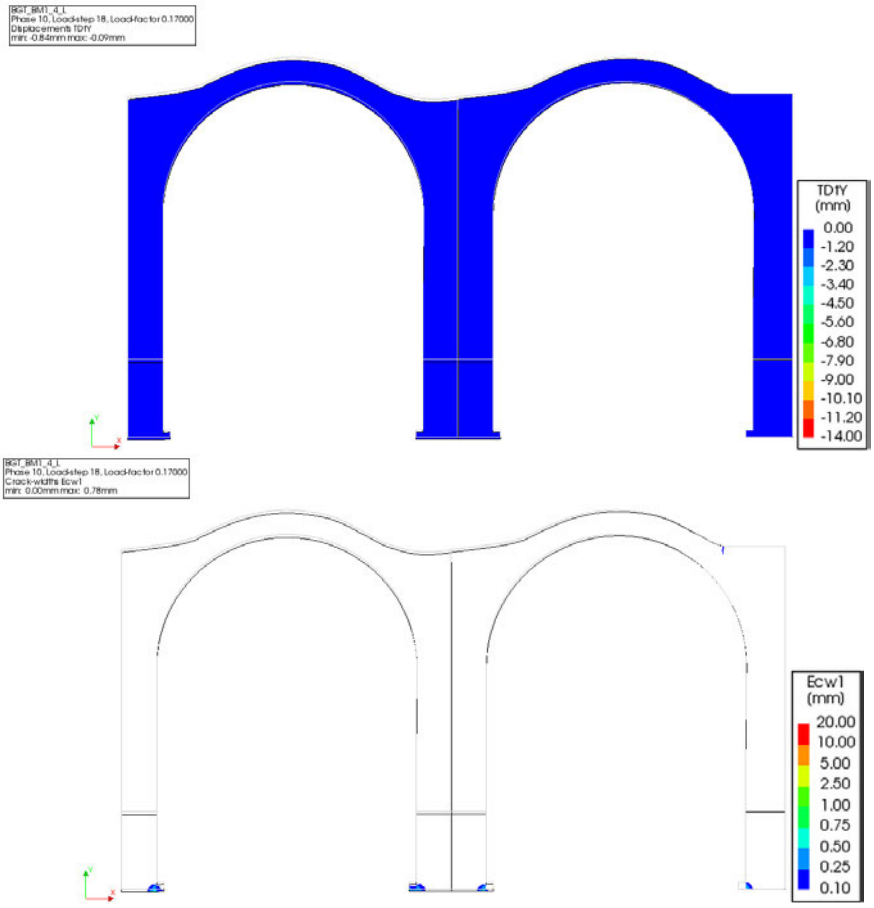


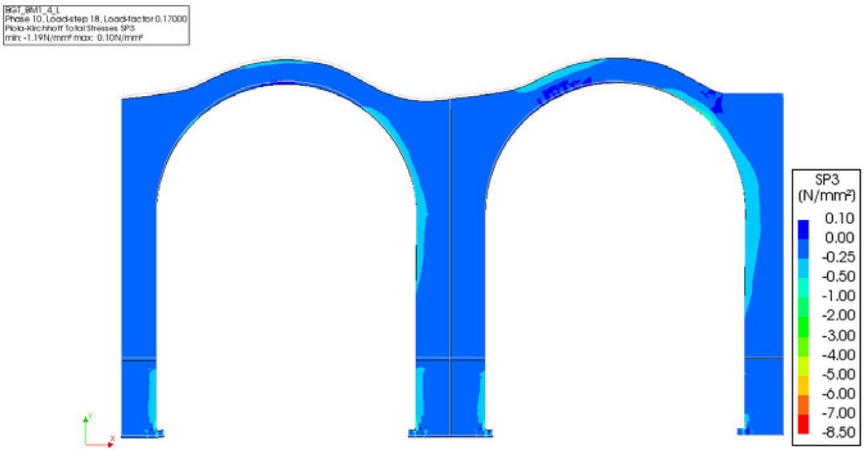
Afbeelding II.6 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 3-M



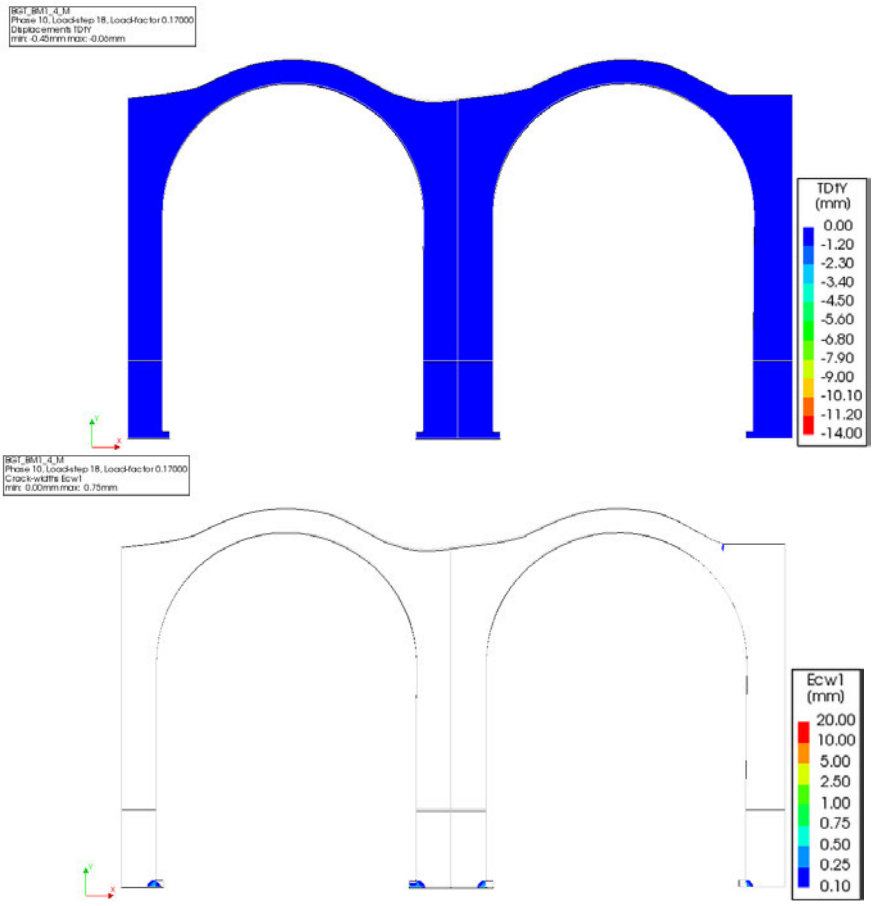


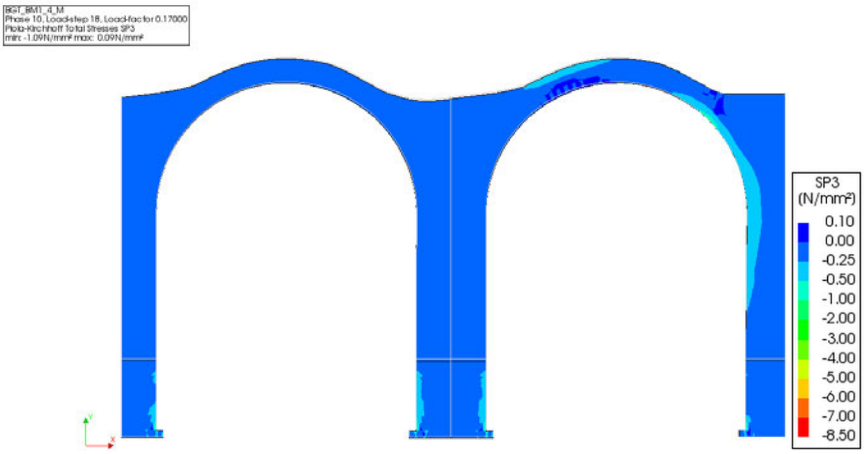
Afbeelding II.7 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-L



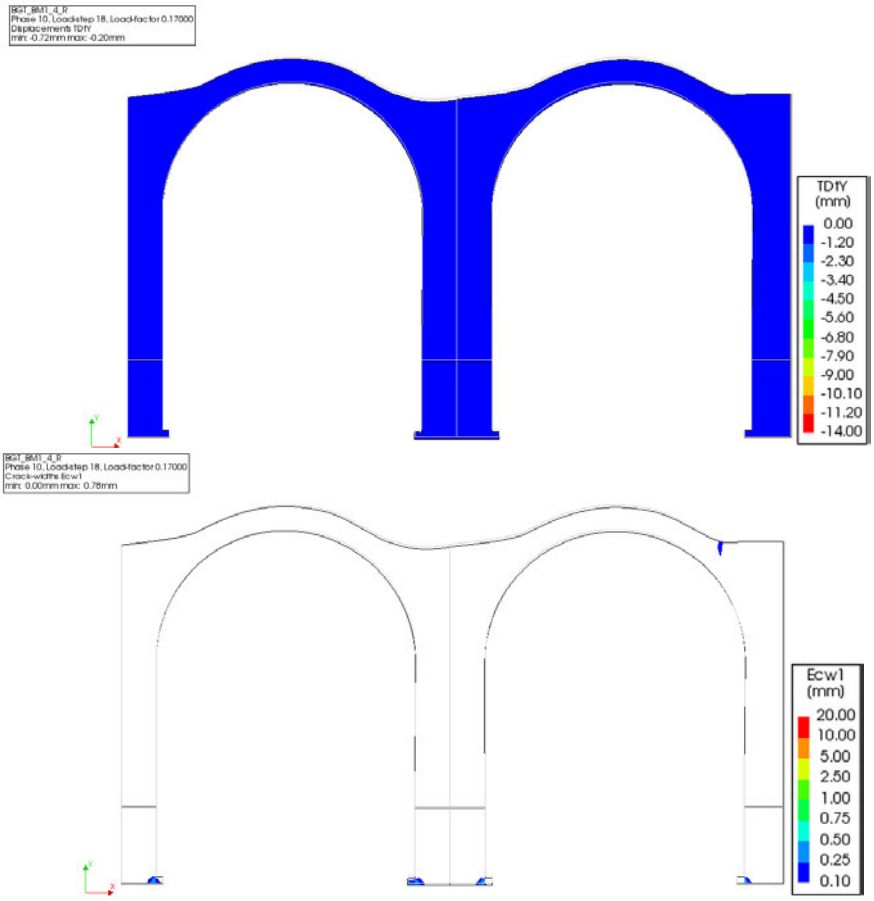


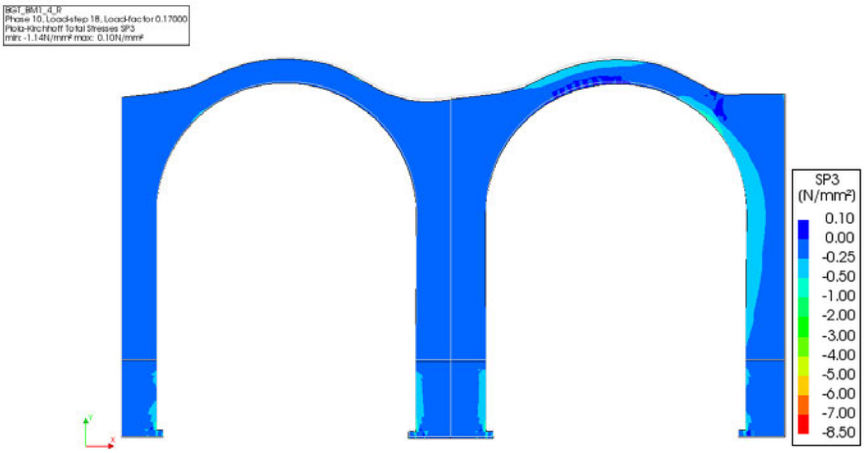
Afbeelding II.8 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-M





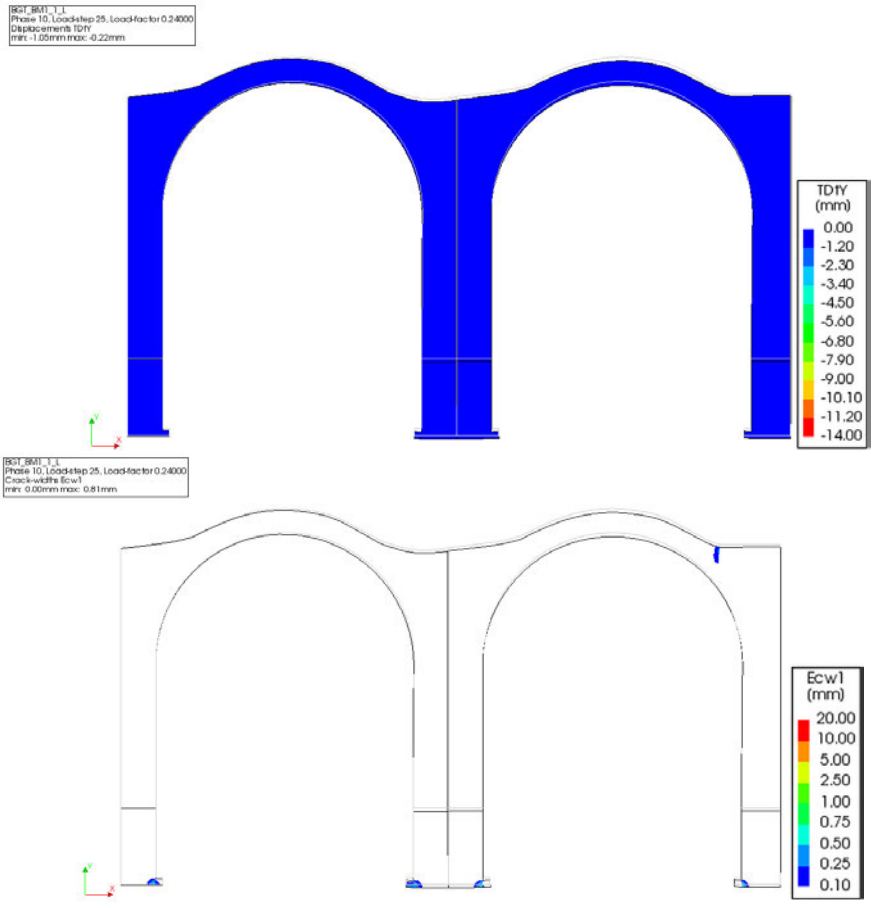
Afbeelding II.9 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-R

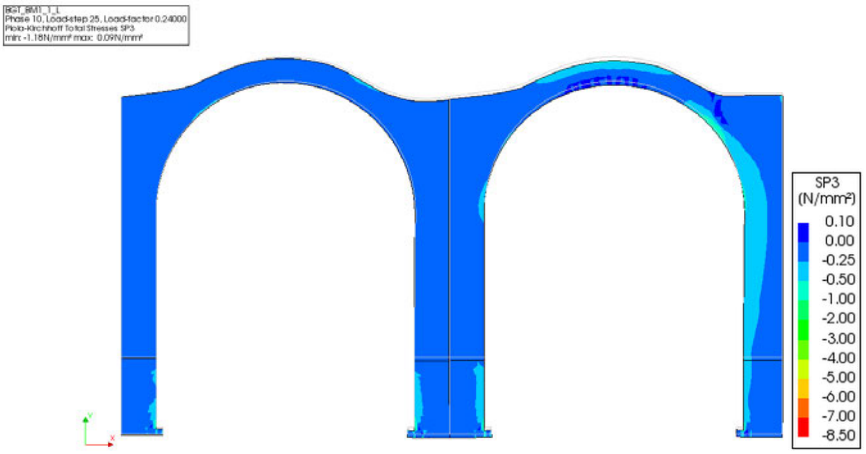




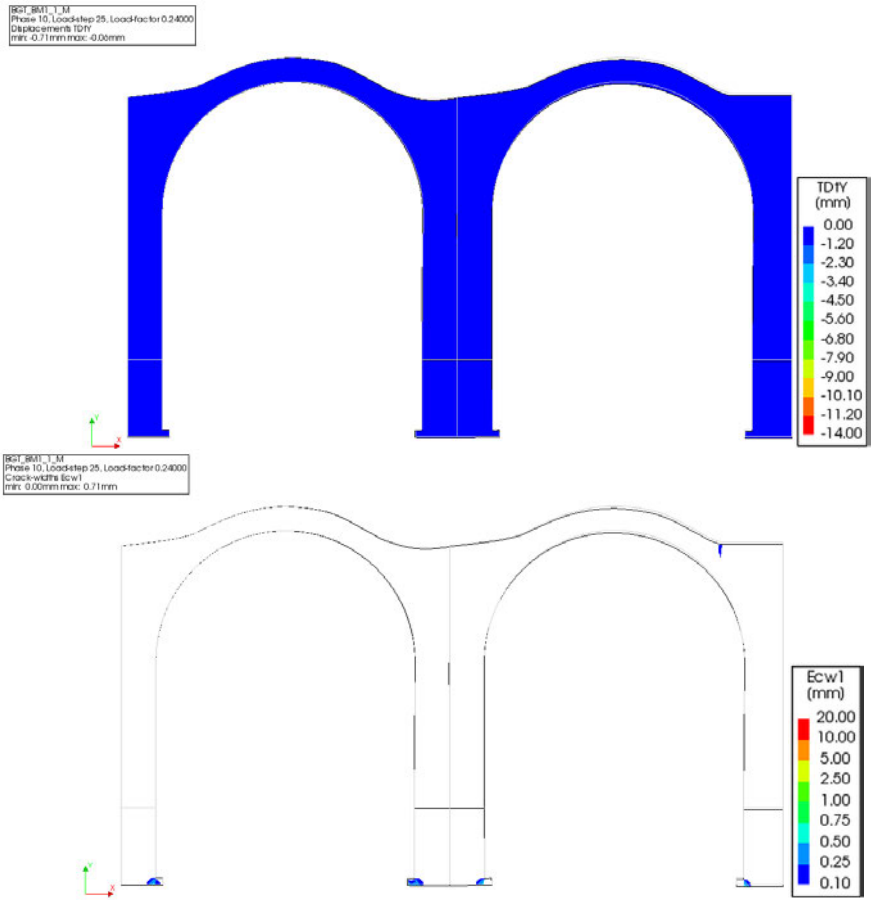
BGT-C20 - 4 ton

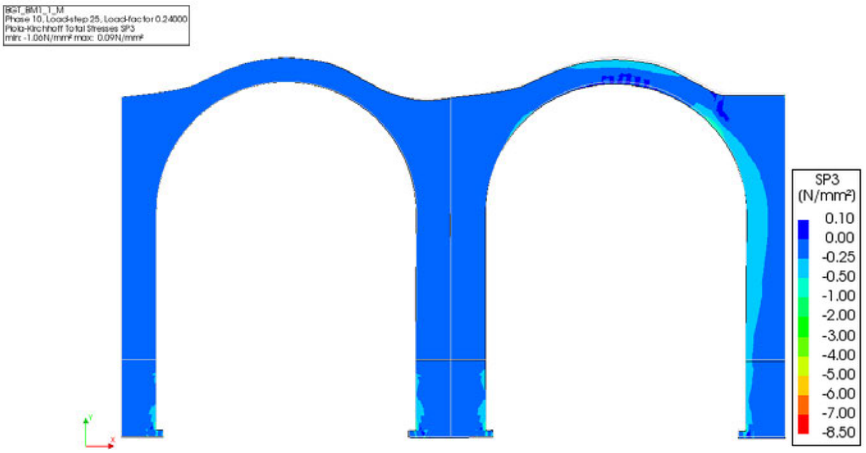
Afbeelding II.10 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 1-L



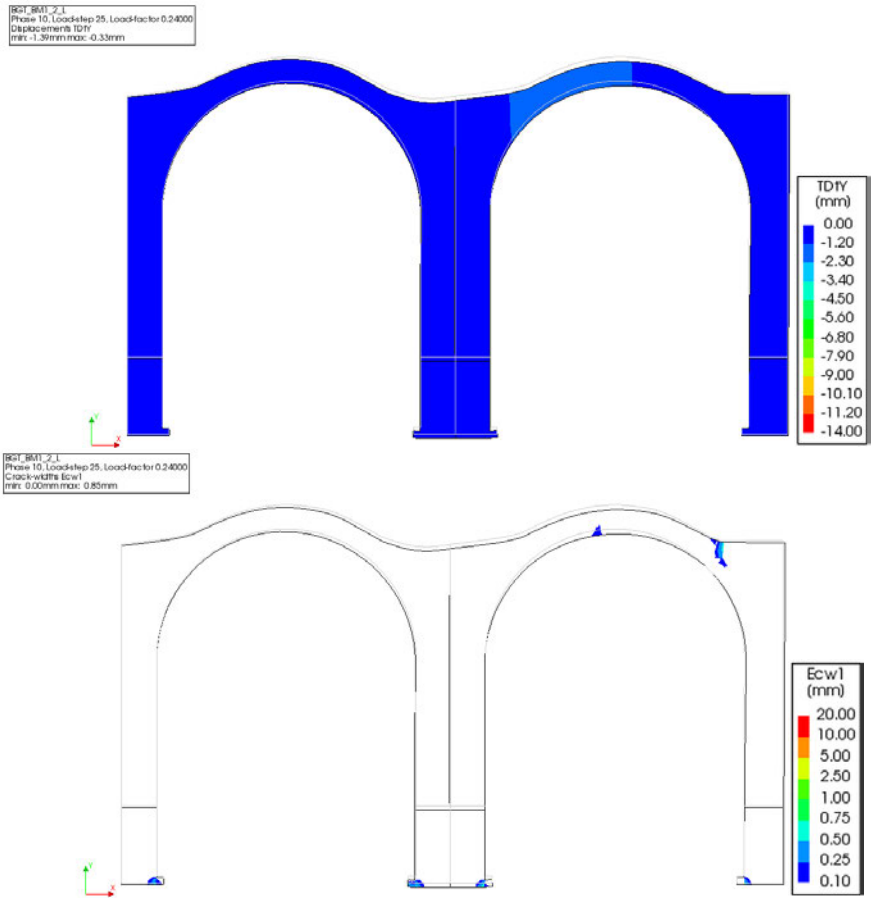


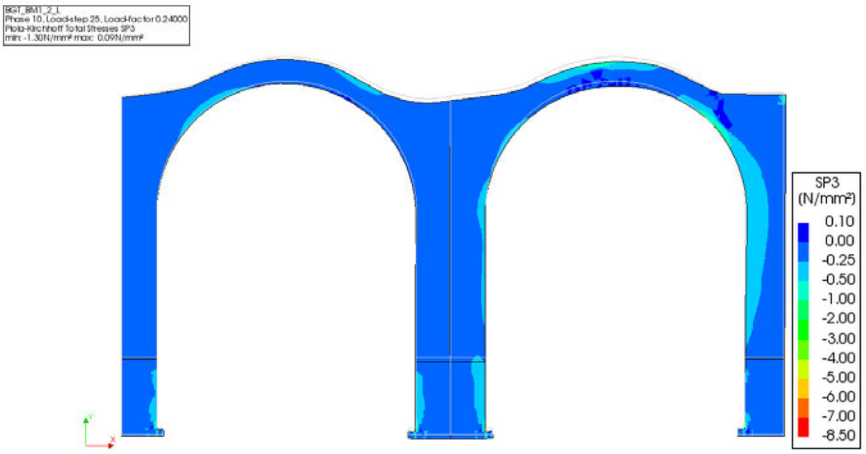
Afbeelding II.11 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 1-M



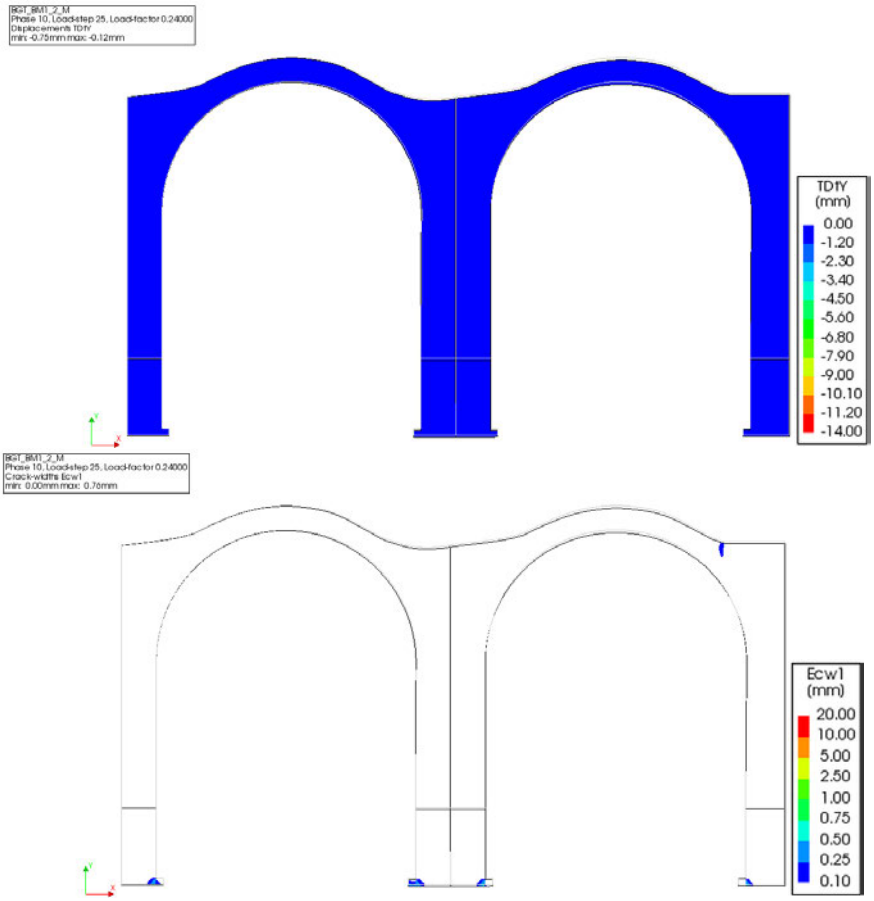


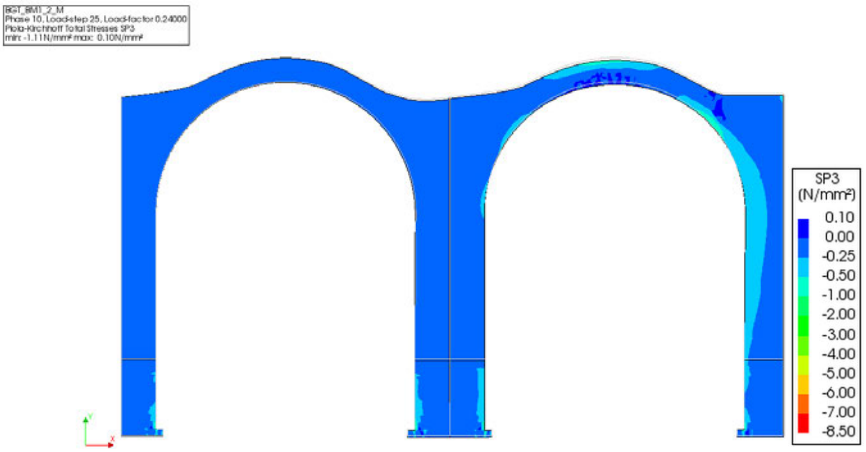
Afbeelding II.12 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 2-L



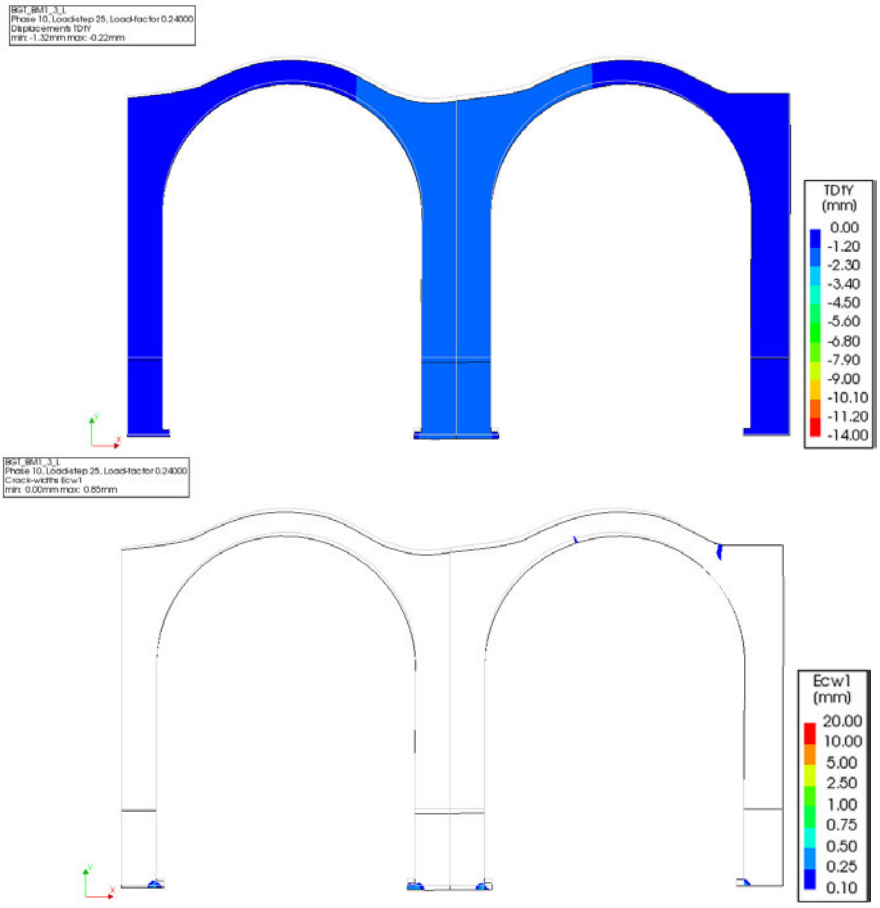


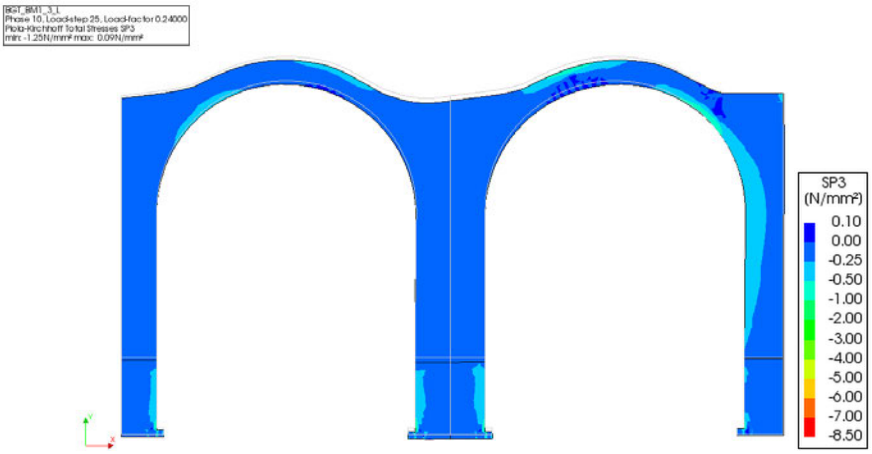
Afbeelding II.13 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 2-M



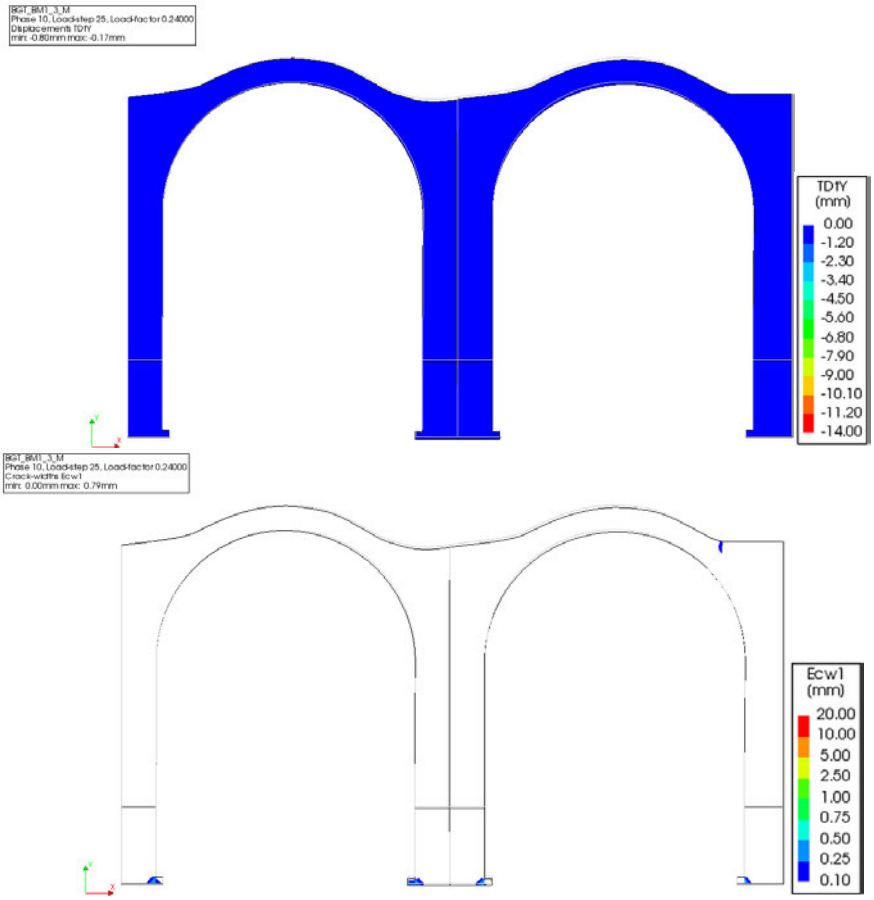


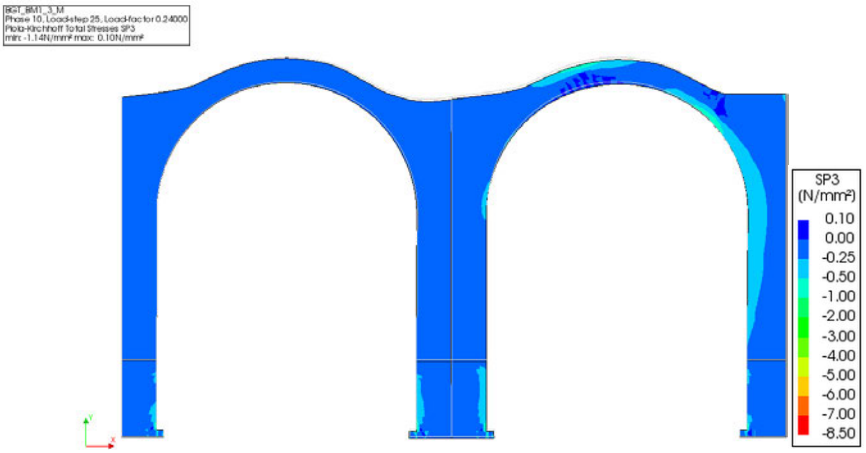
Afbeelding II.14 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 3-L



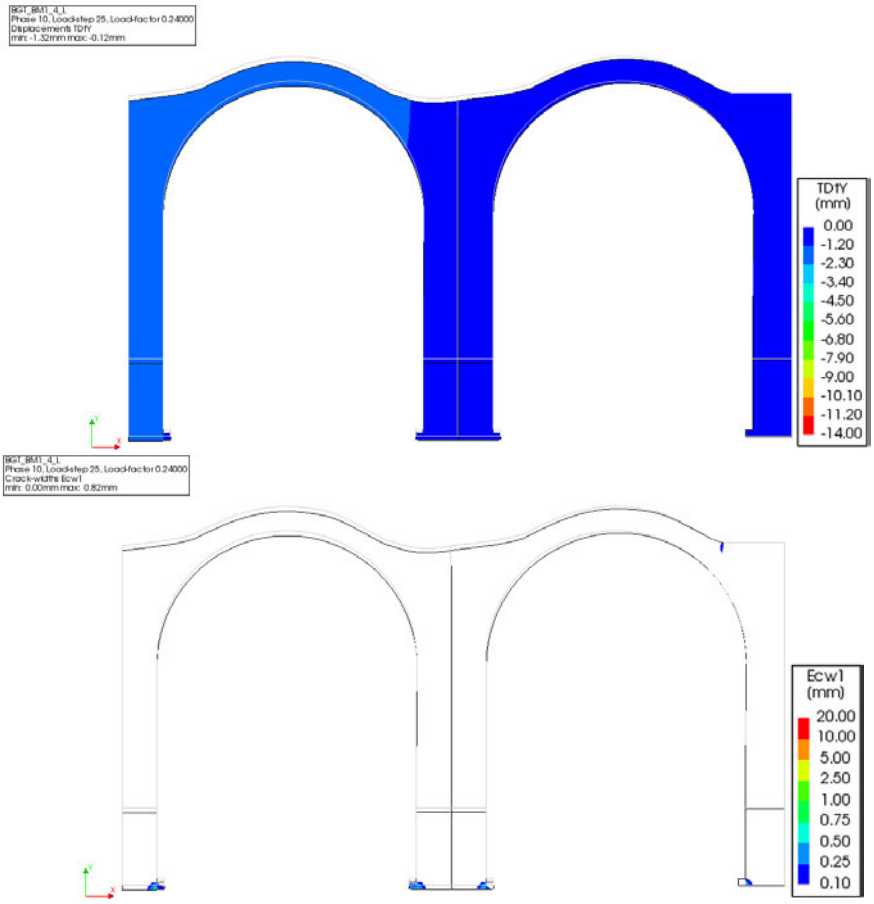


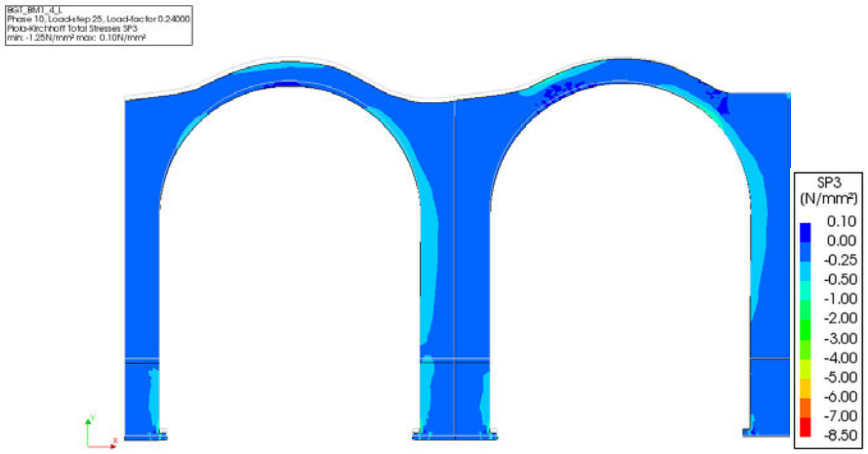
Afbeelding II.15 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 3-M



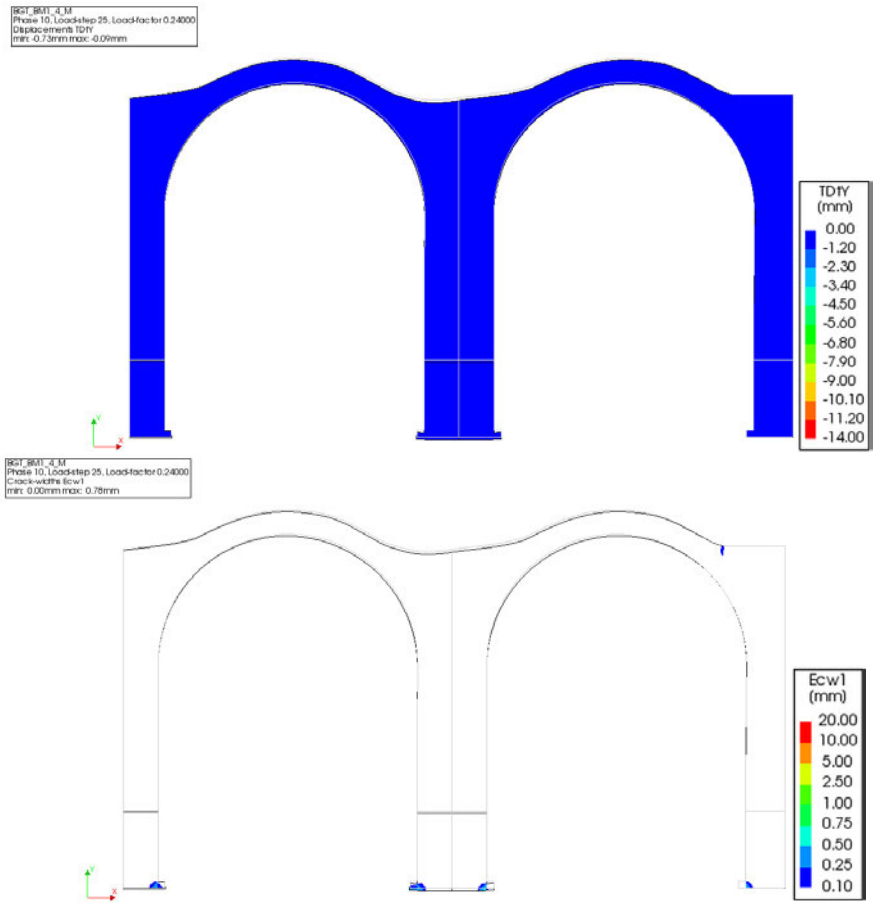


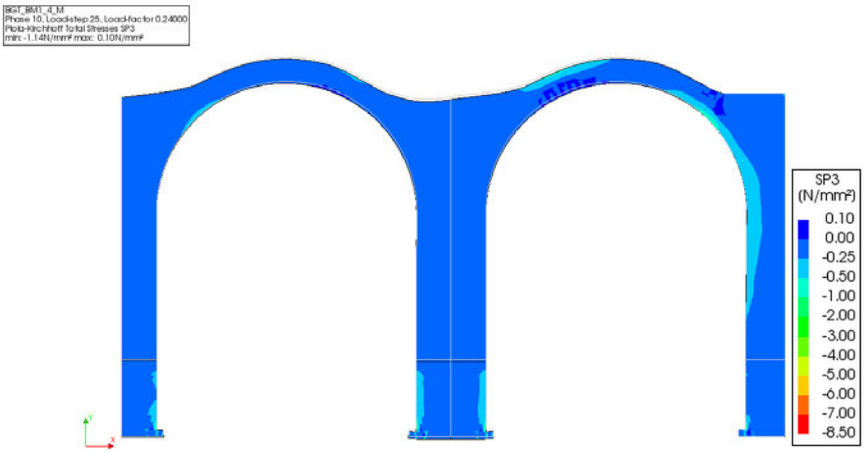
Afbeelding II.16 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-L



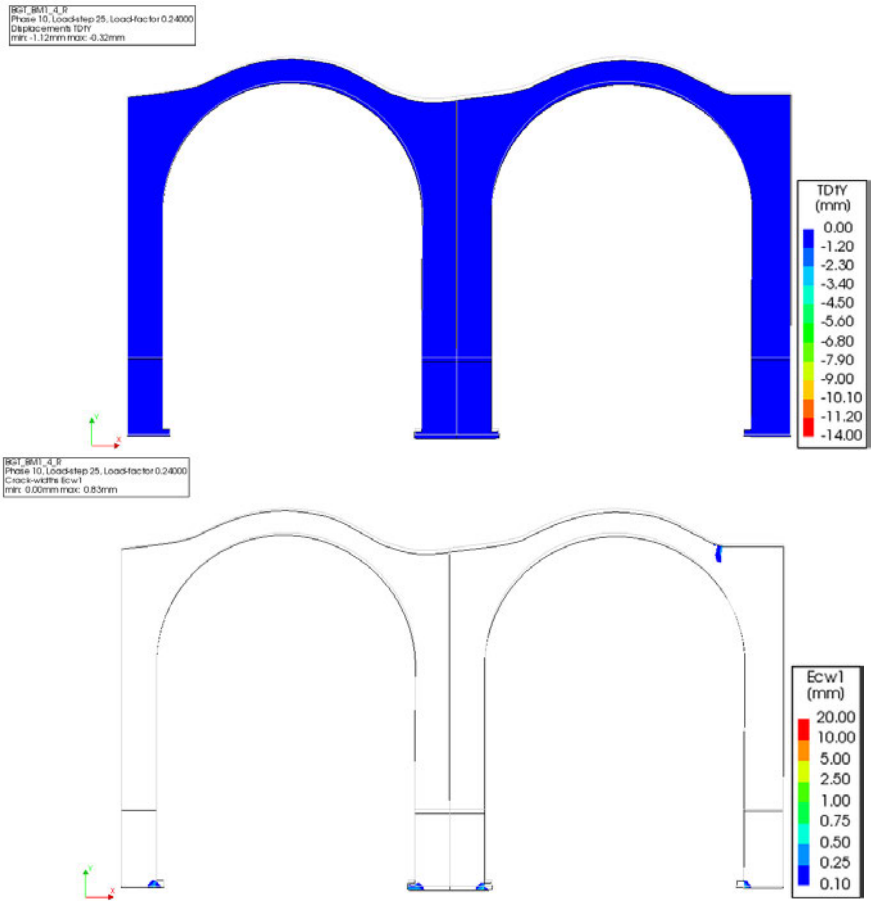


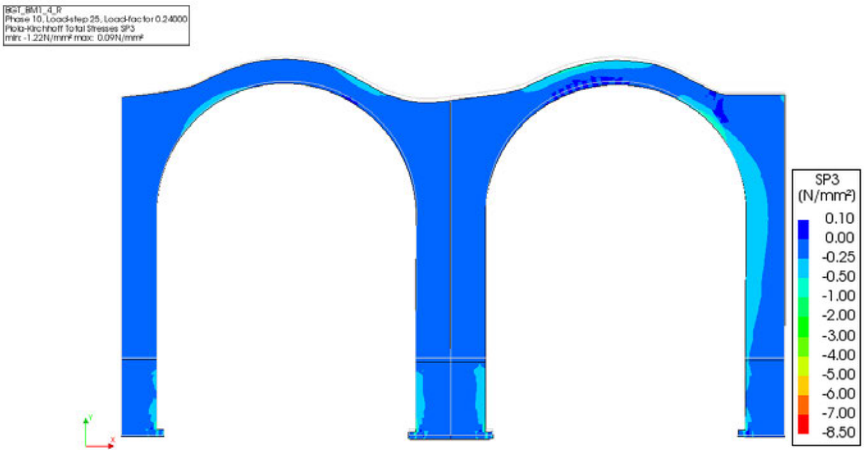
Afbeelding II.17 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-M





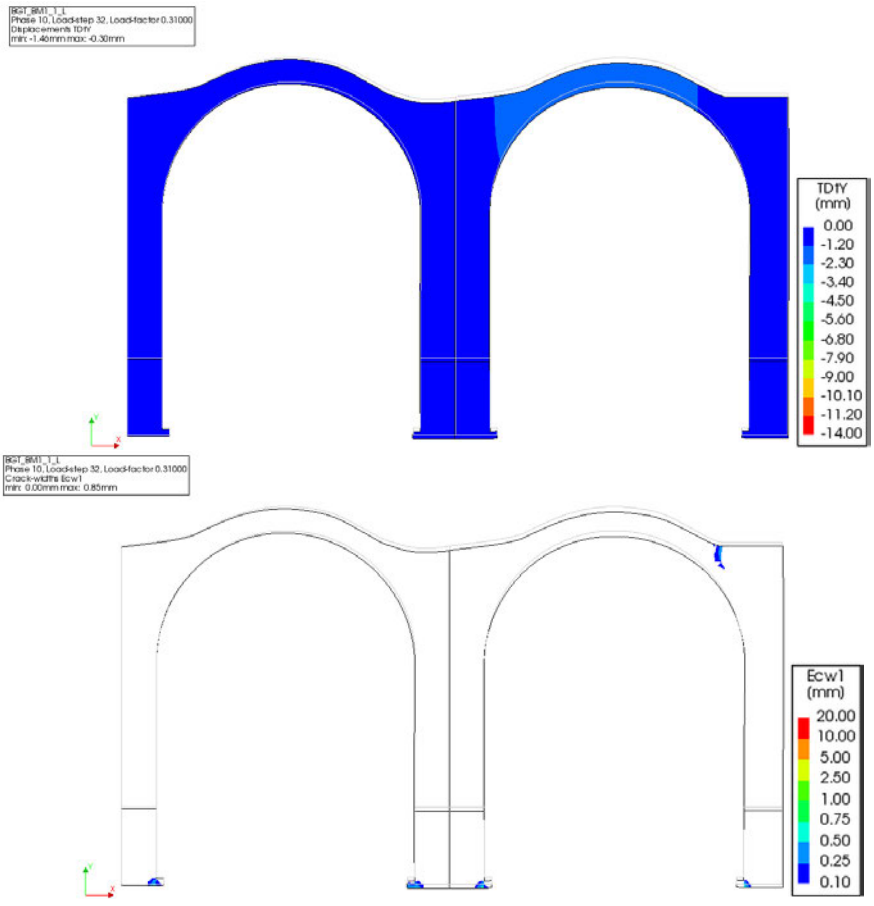
Afbeelding II.18 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-R

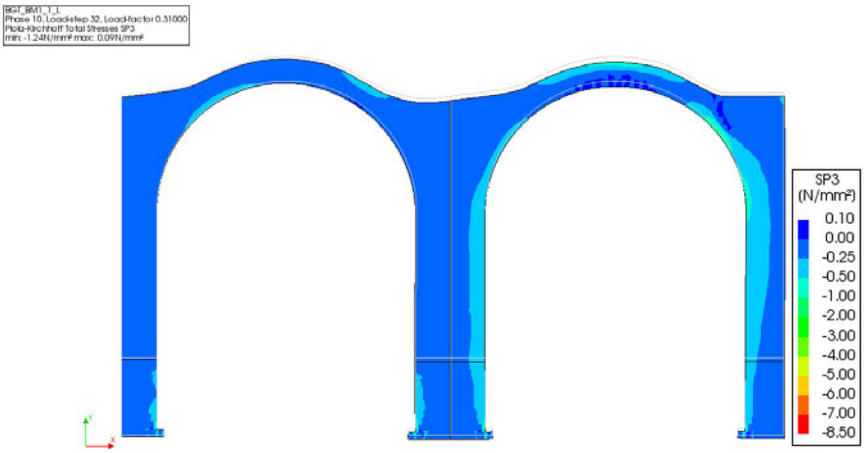




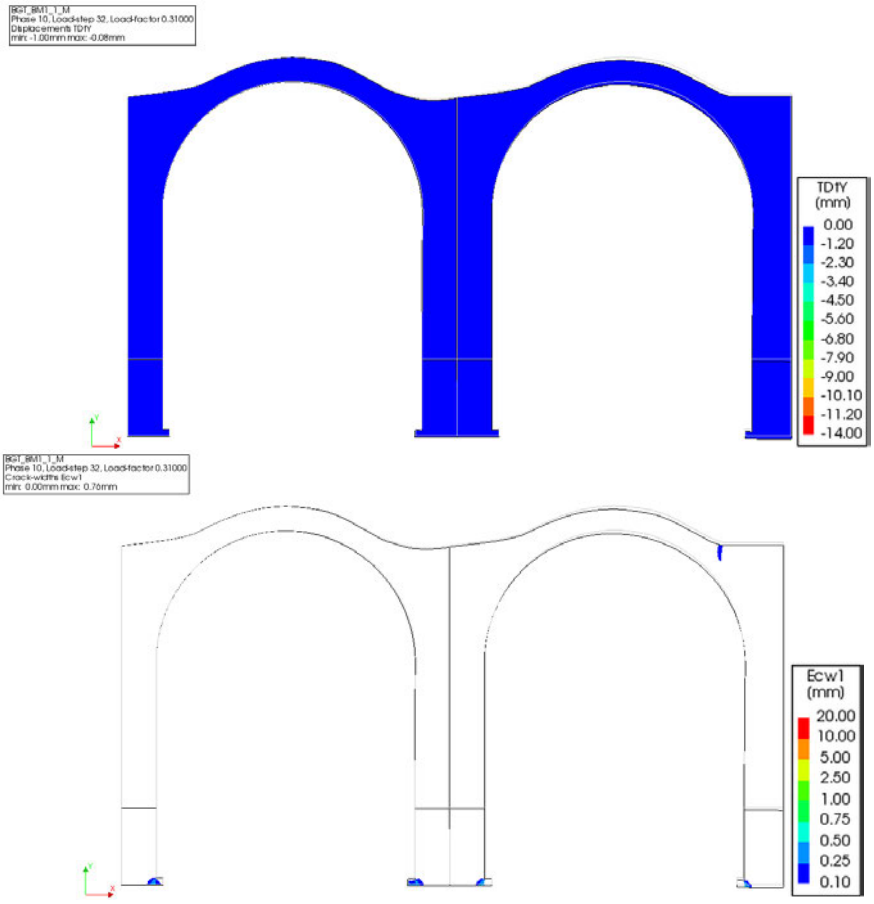
BGT-C20 - 5 ton

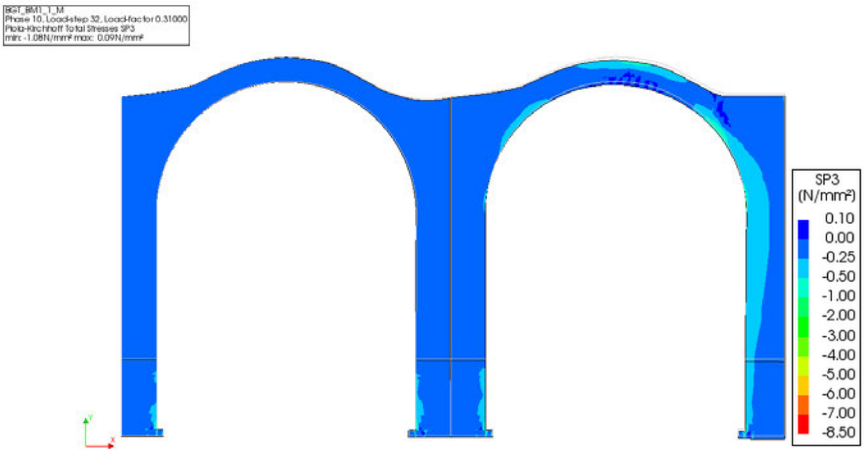
Afbeelding II.19 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 1-L



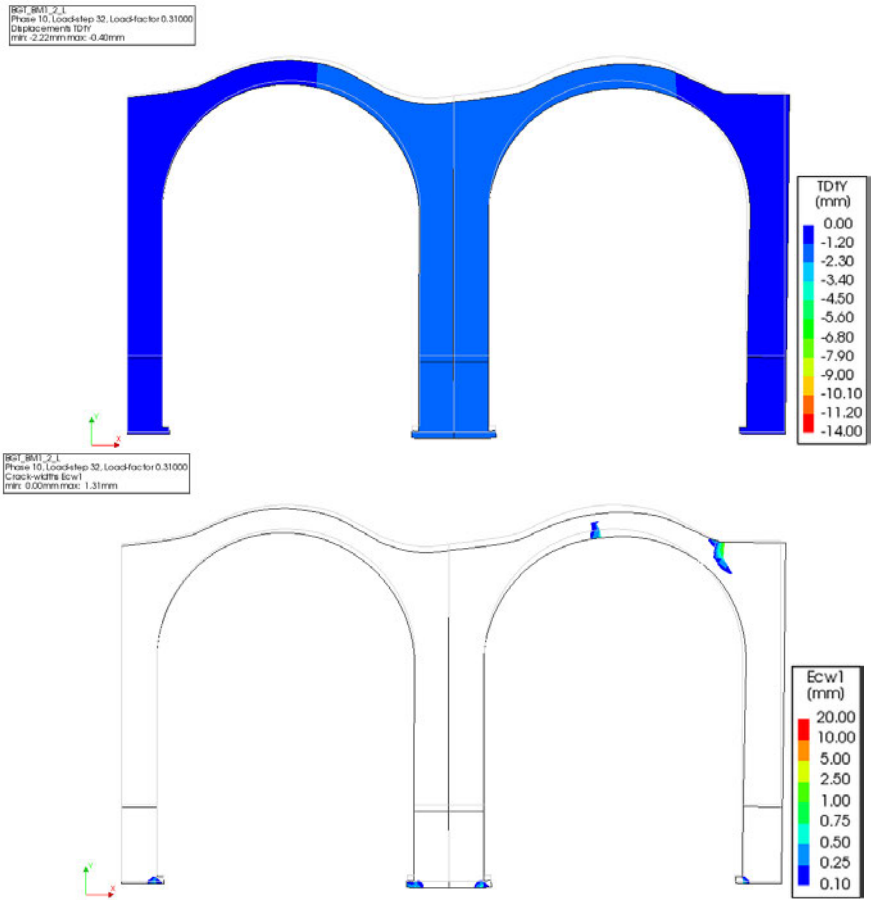


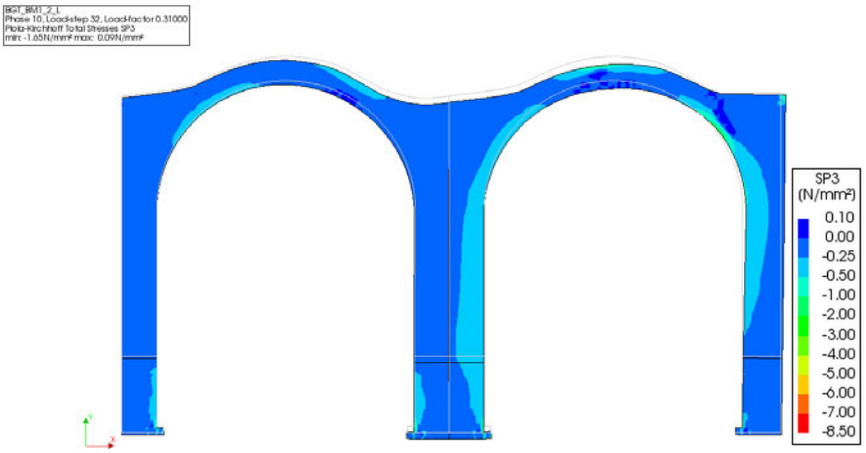
Afbeelding II.20 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 1-M



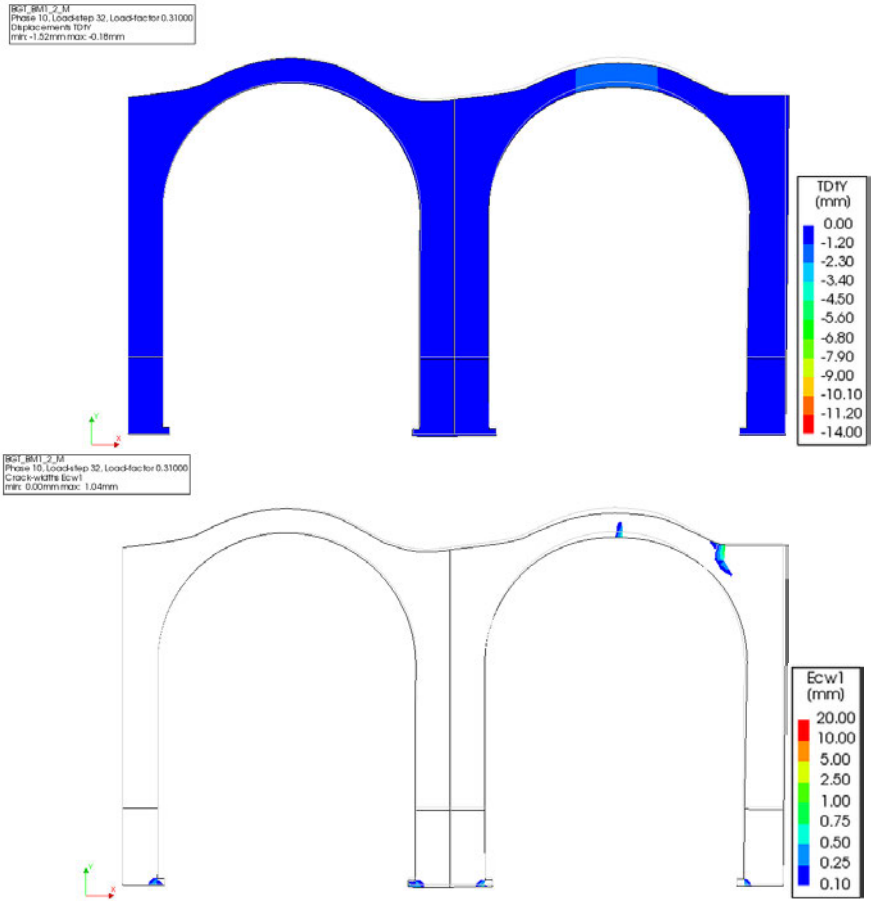


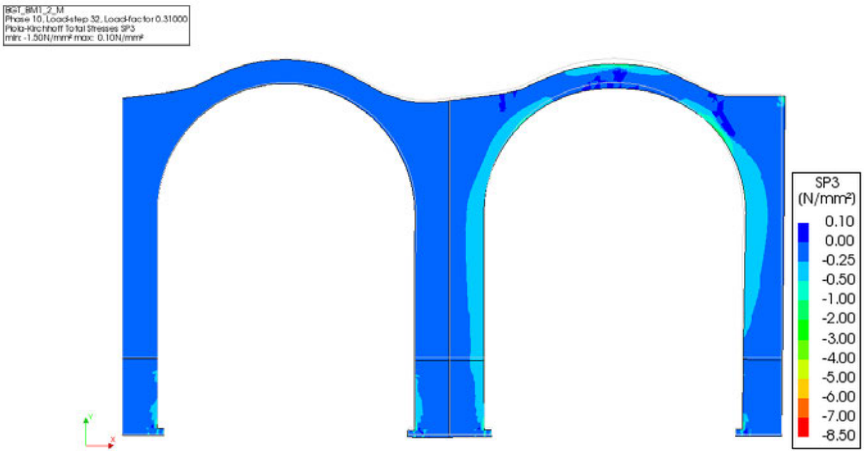
Afbeelding II.21 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 2-L



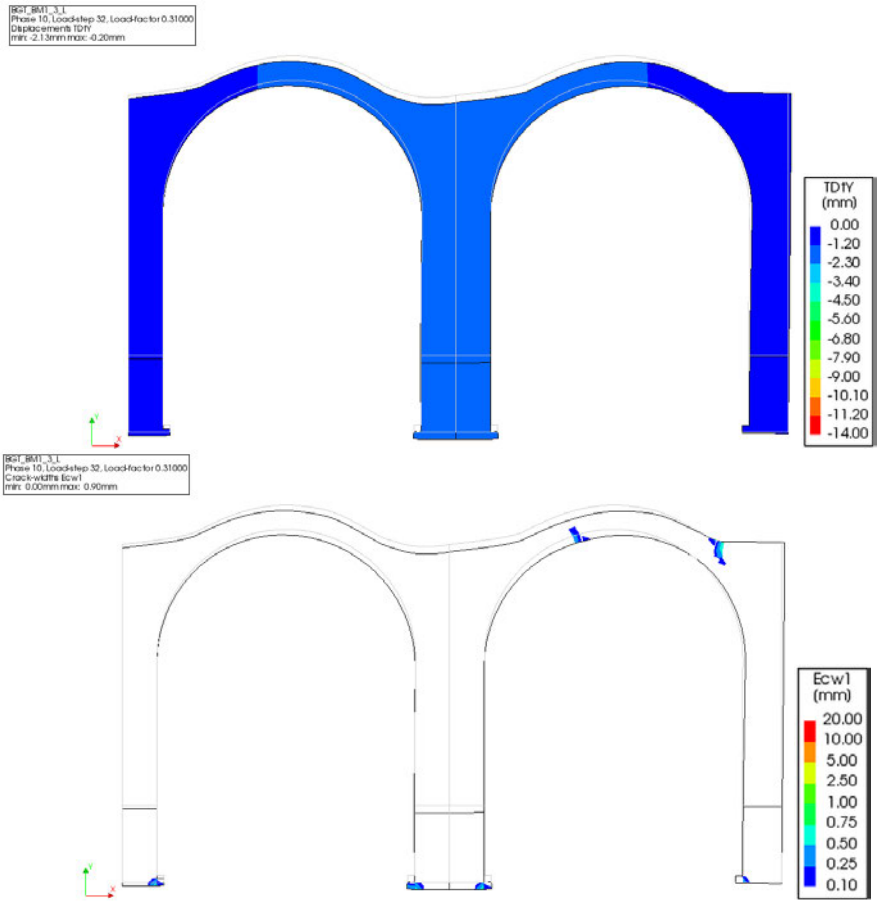


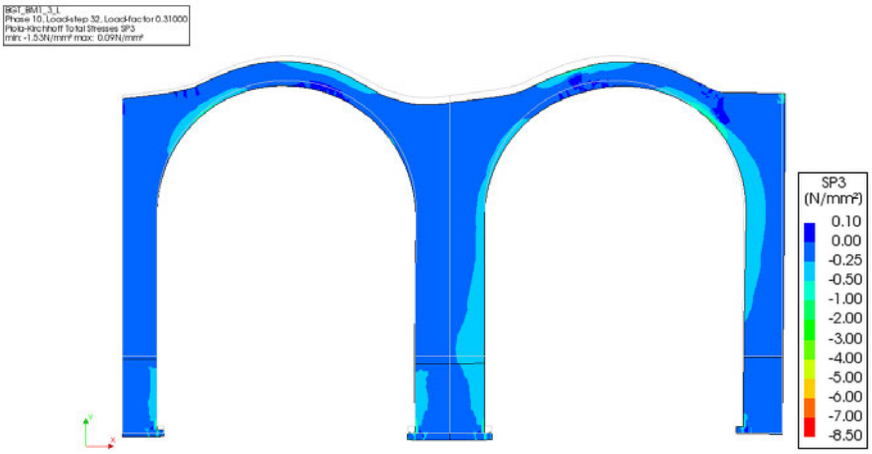
Afbeelding II.22 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 2-M



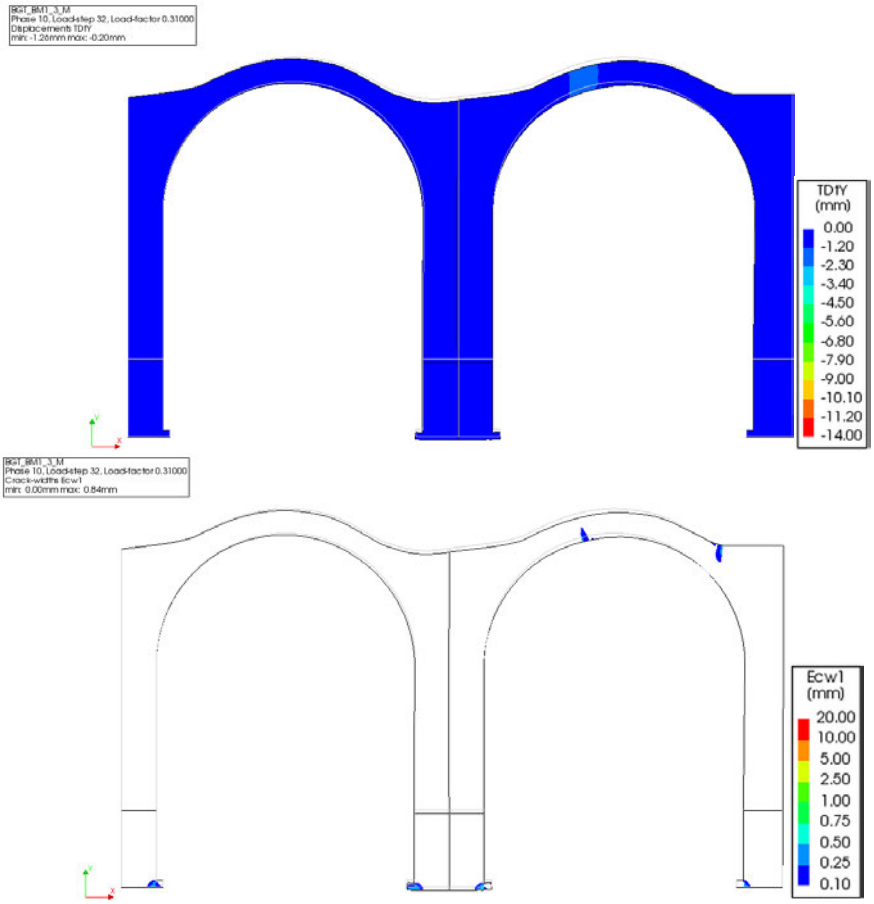


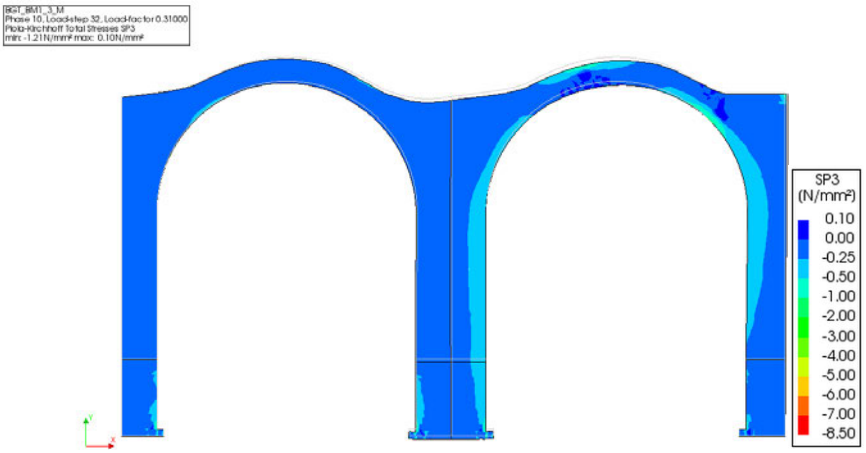
Afbeelding II.23 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 3-L



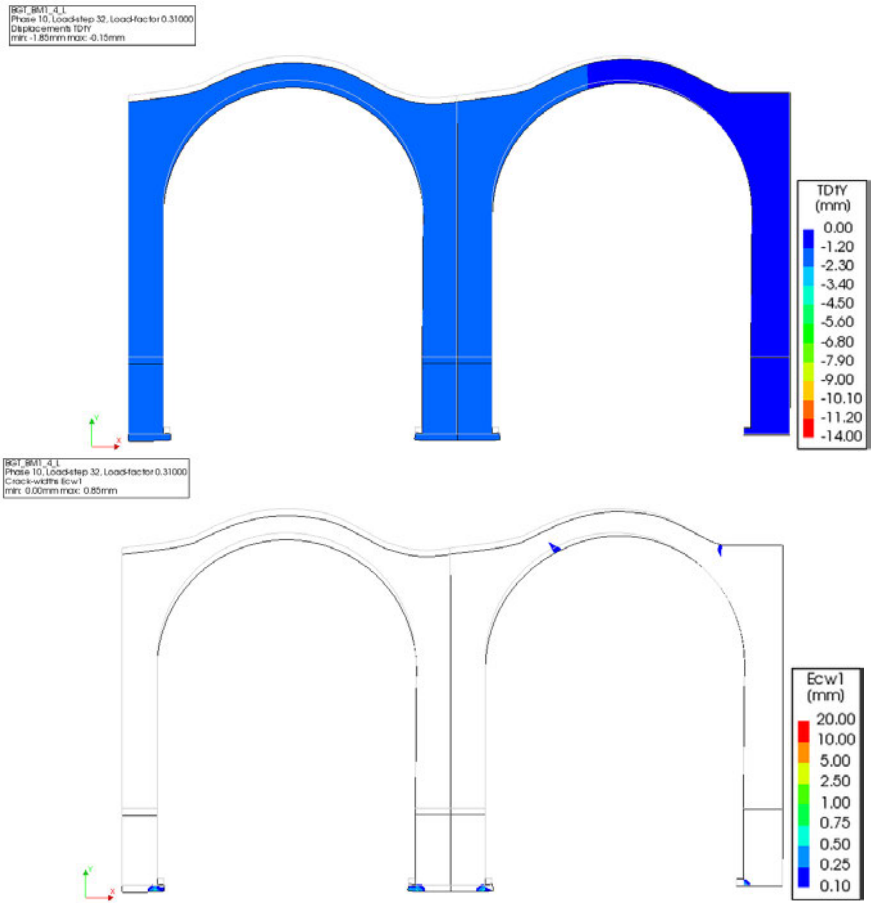


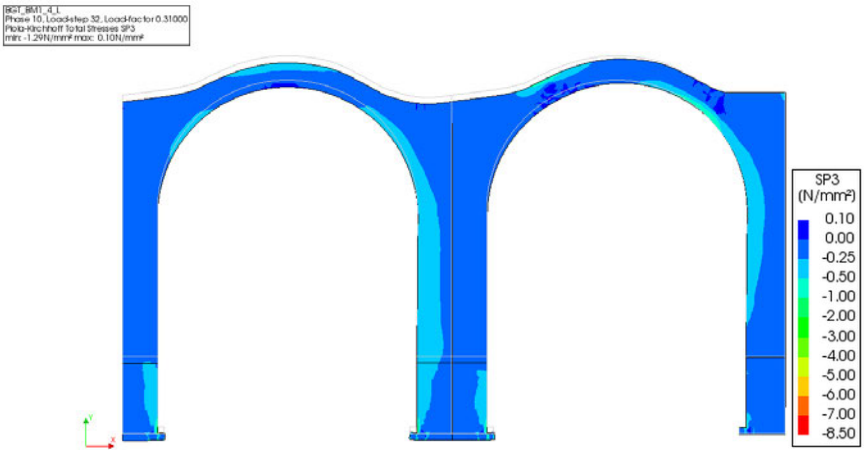
Afbeelding II.24 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 3-M



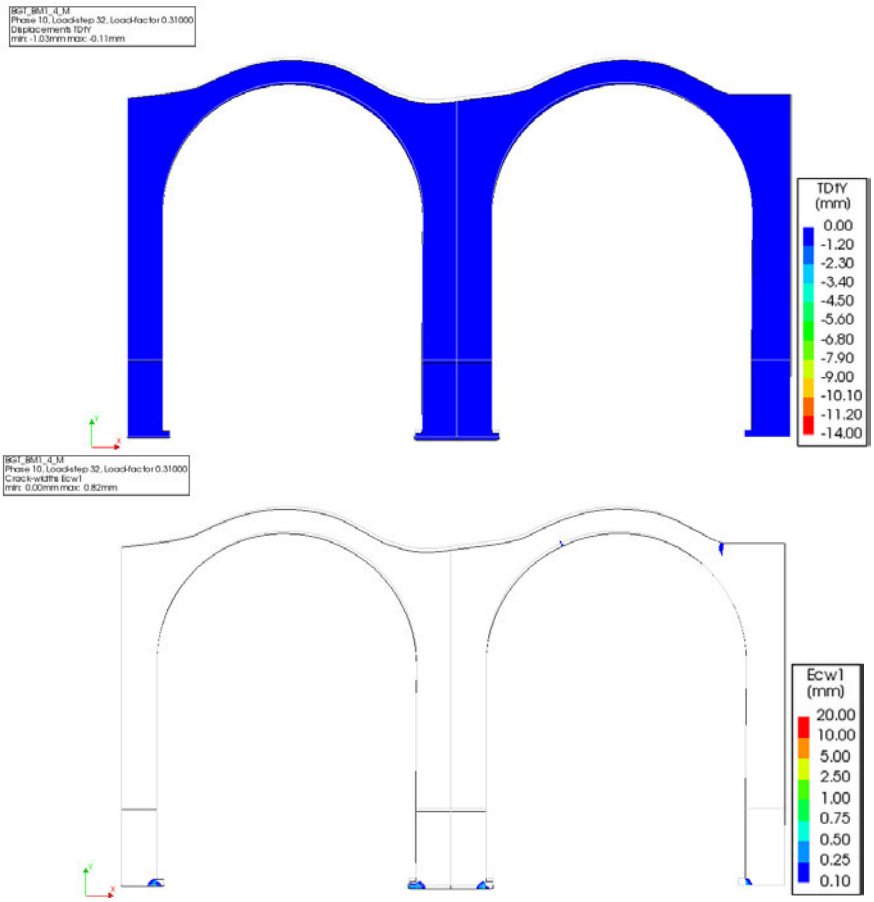


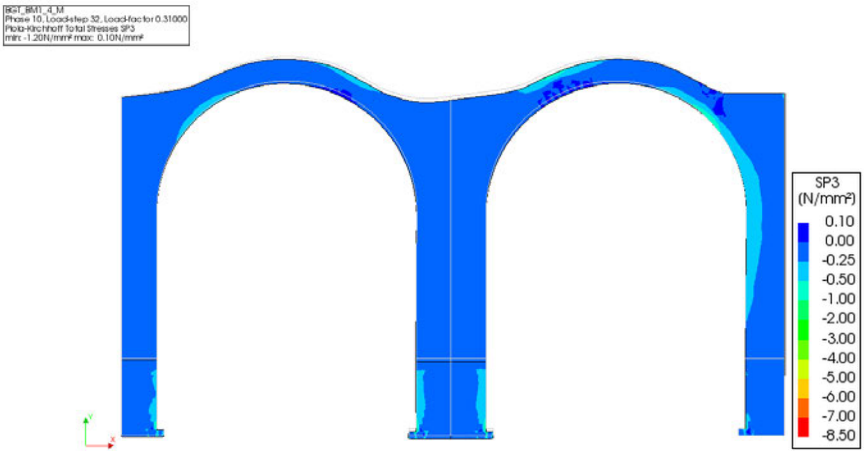
Afbeelding II.25 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-L



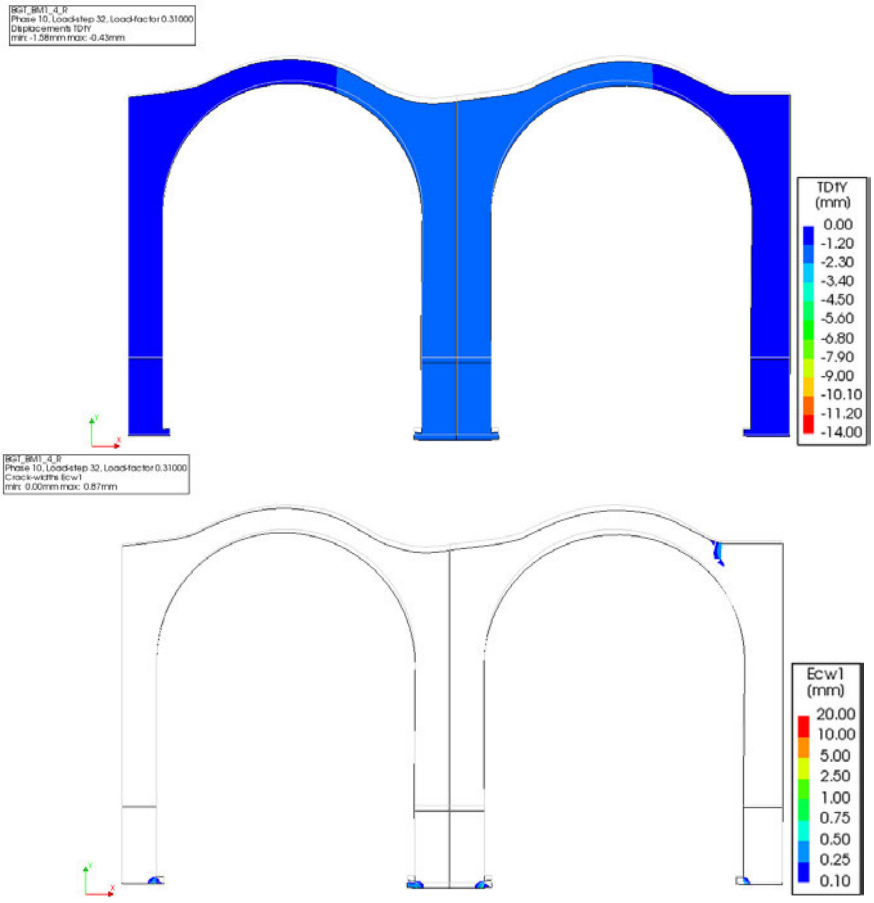


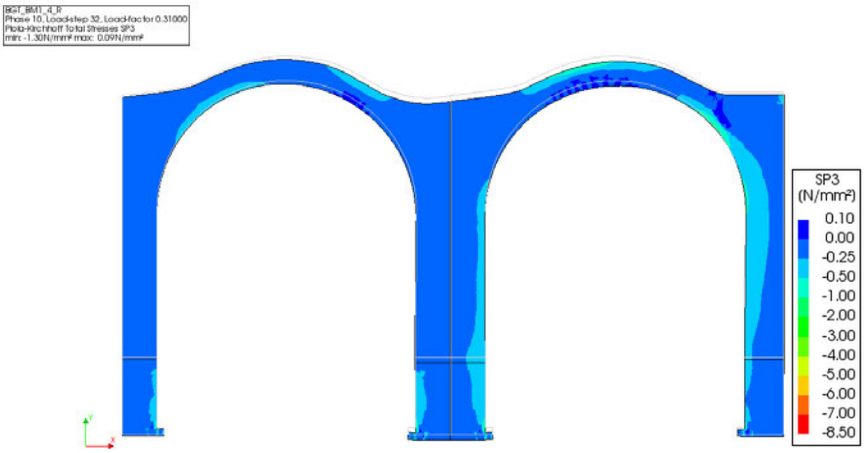
Afbeelding II.26 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-M





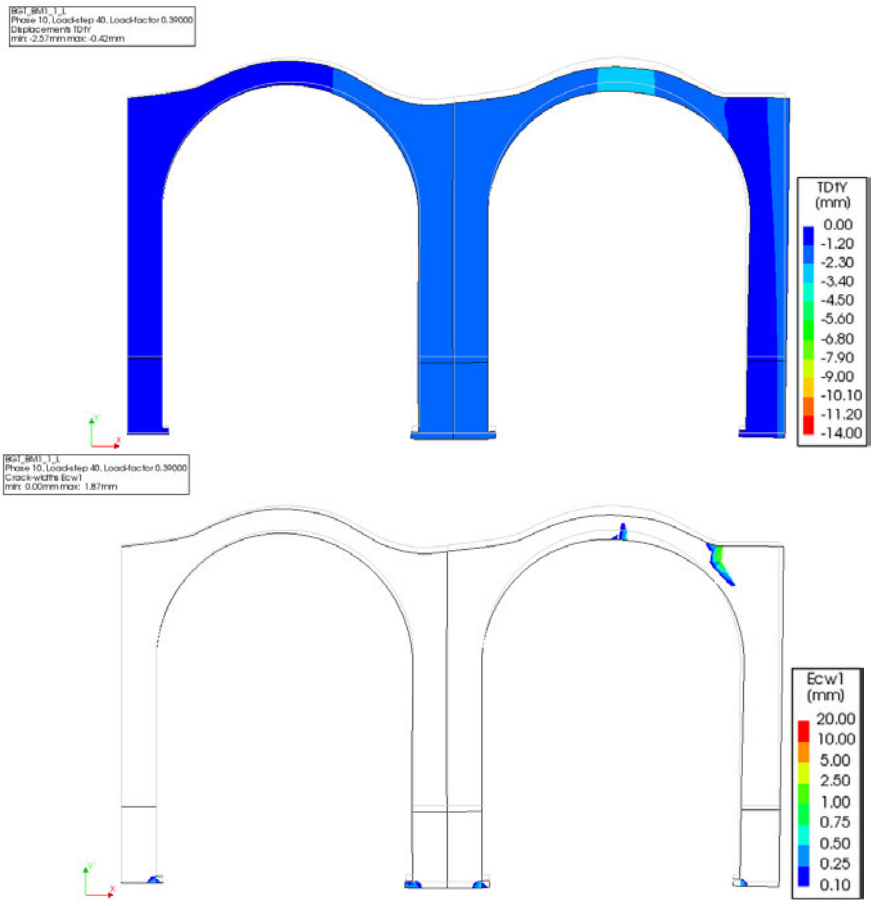
Afbeelding II.27 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-R

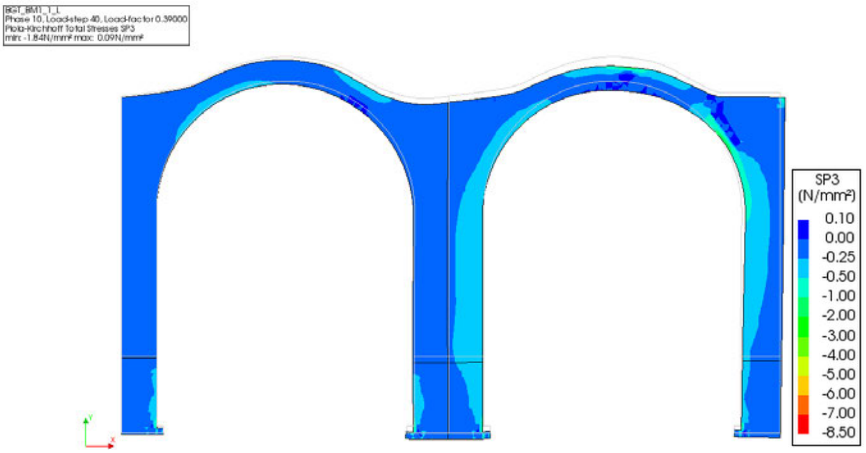




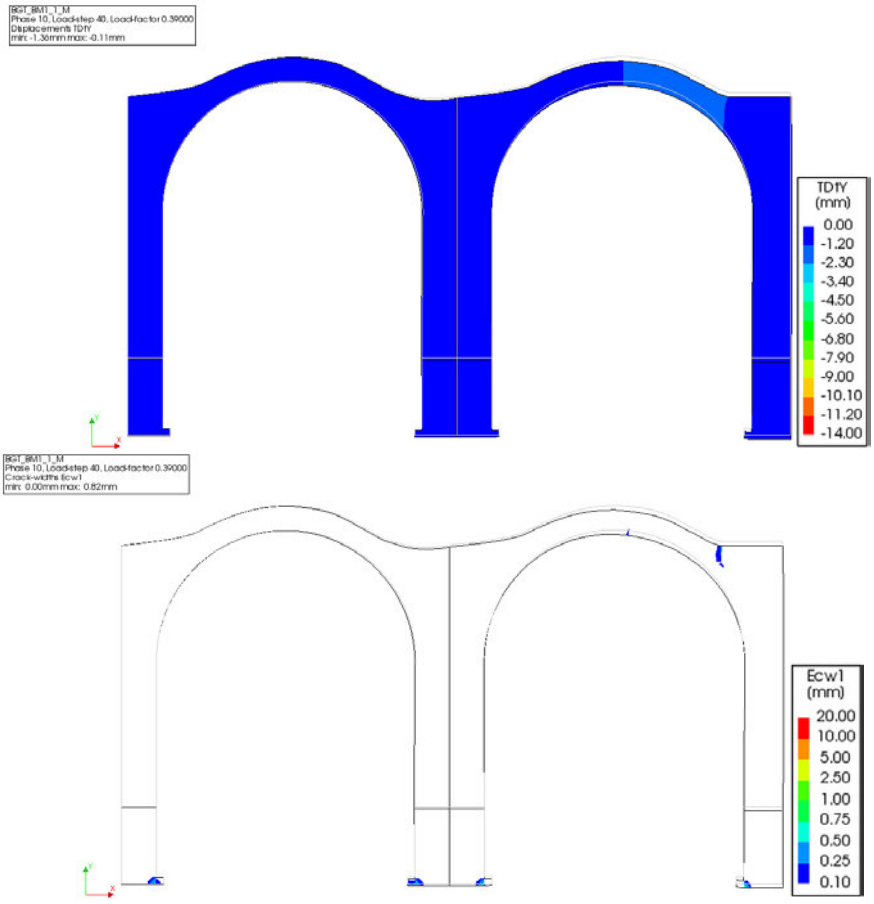
BGT-C20 - 6 ton

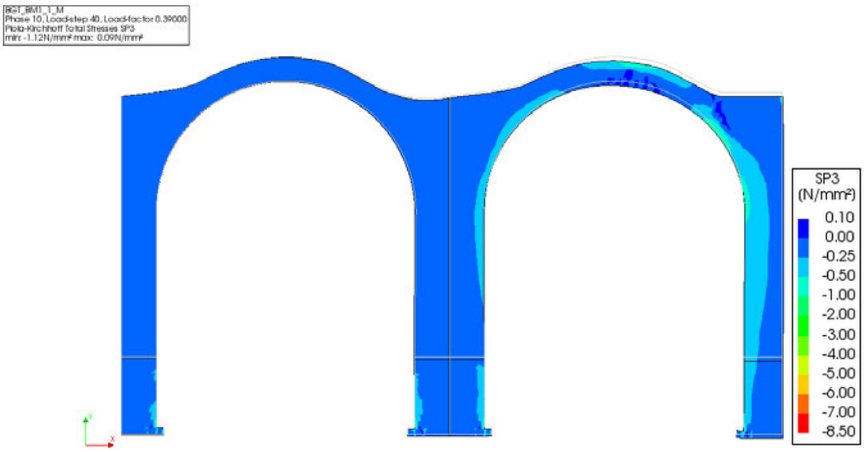
Afbeelding II.28 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 1-L



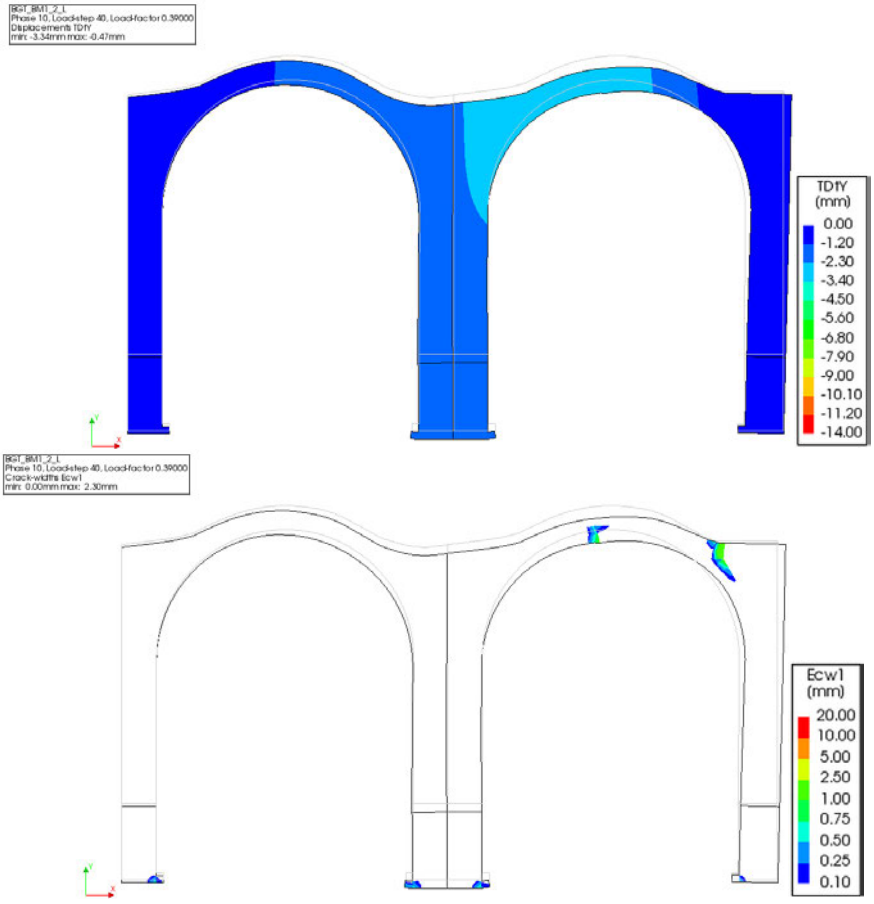


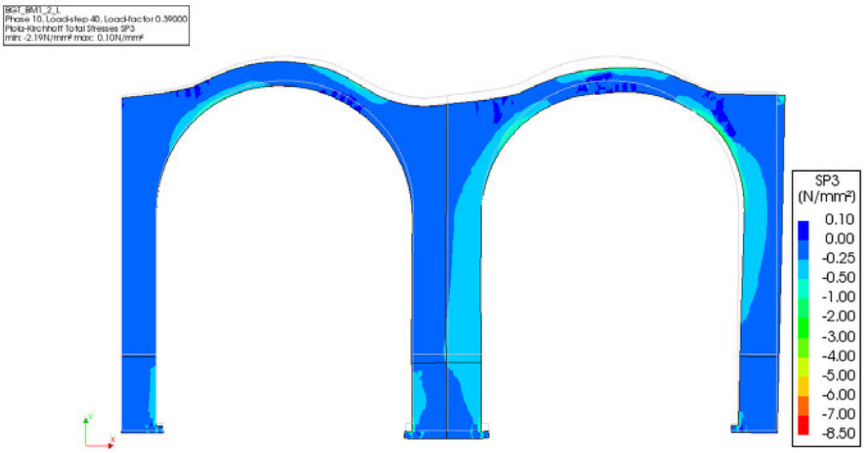
Afbeelding II.29 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 1-M



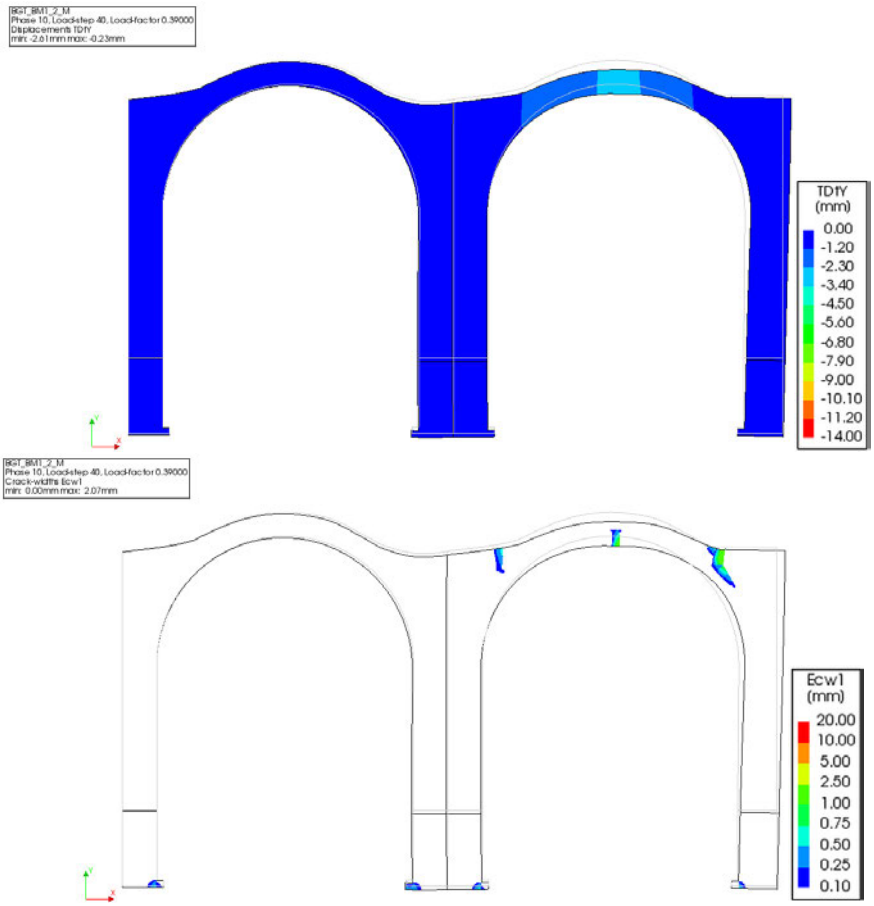


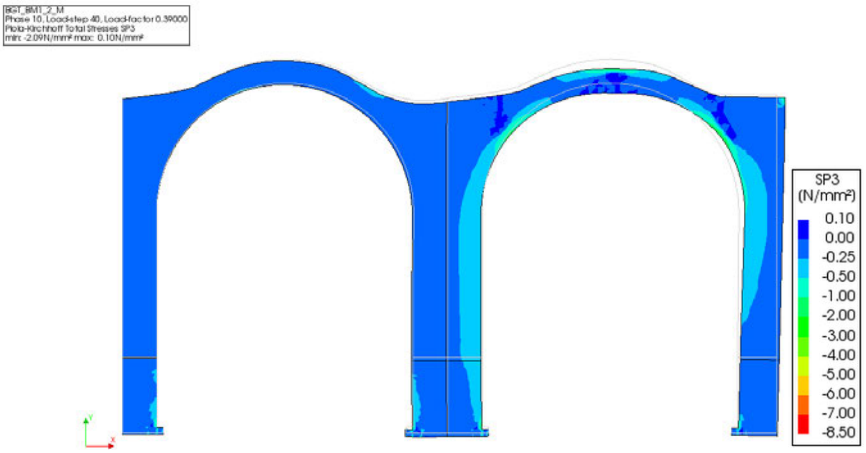
Afbeelding II.30 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 2-L



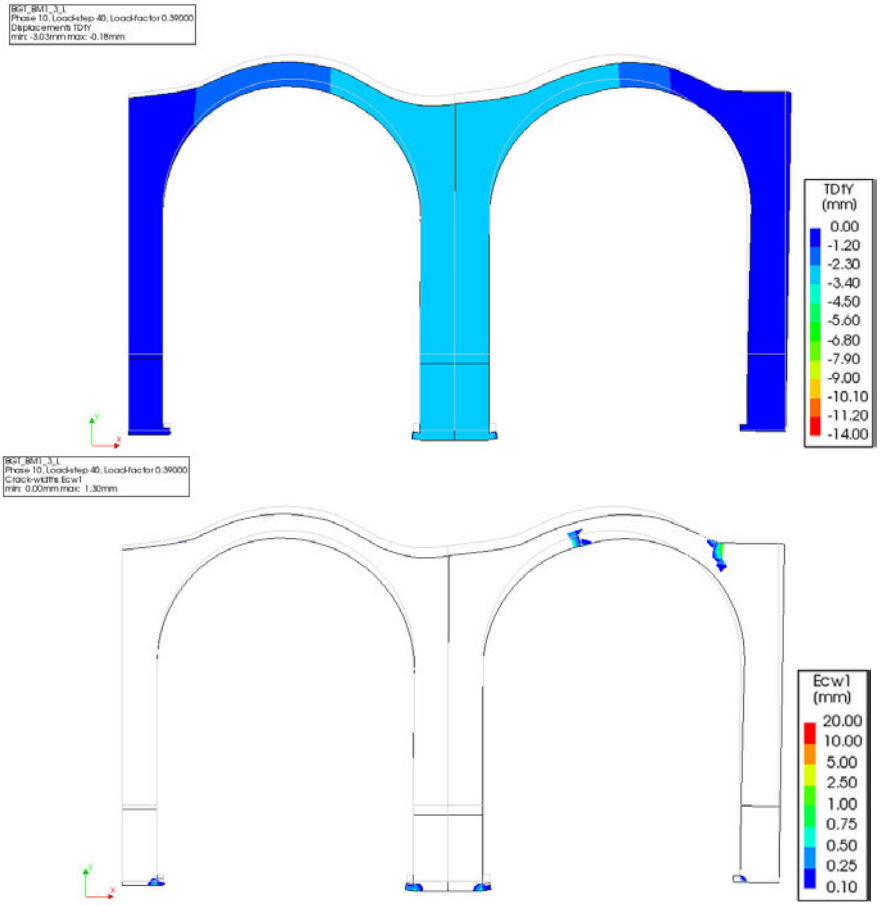


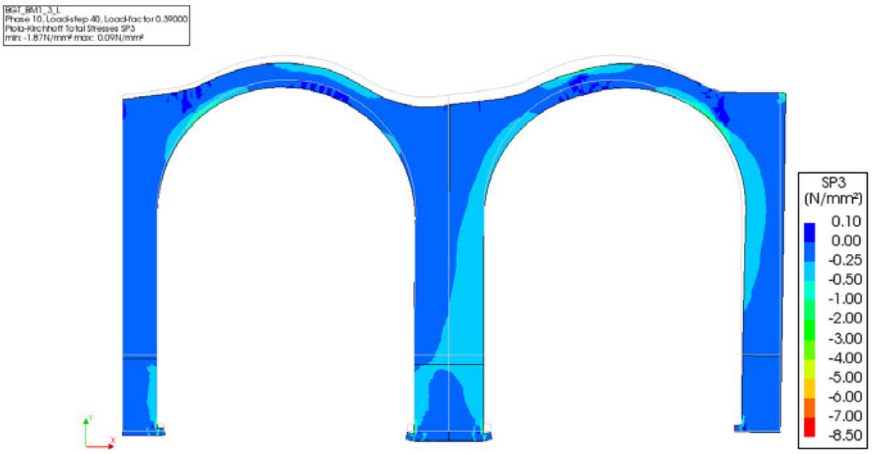
Afbeelding II.31 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 2-M



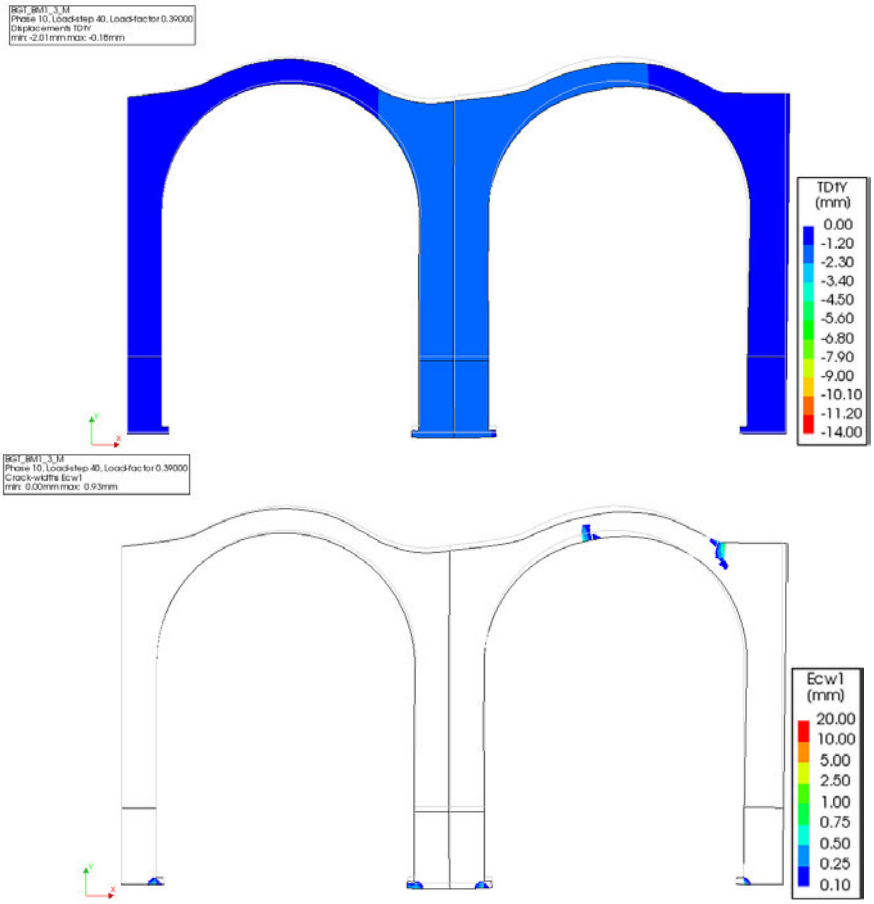


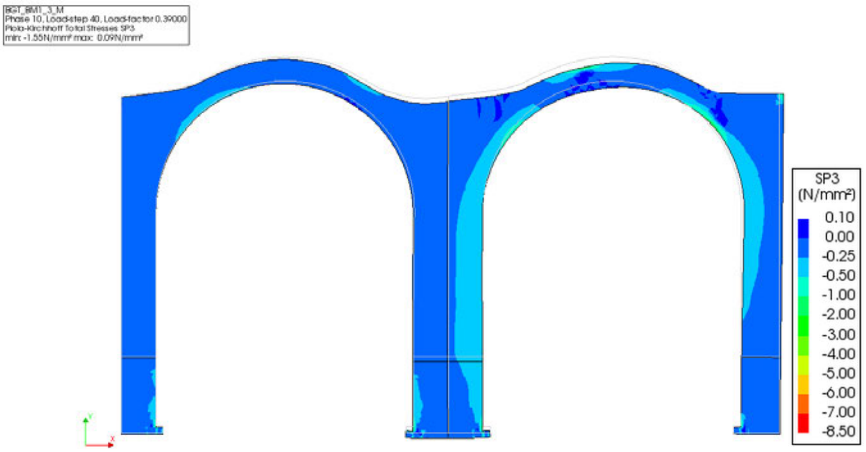
Afbeelding II.32 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 3-L



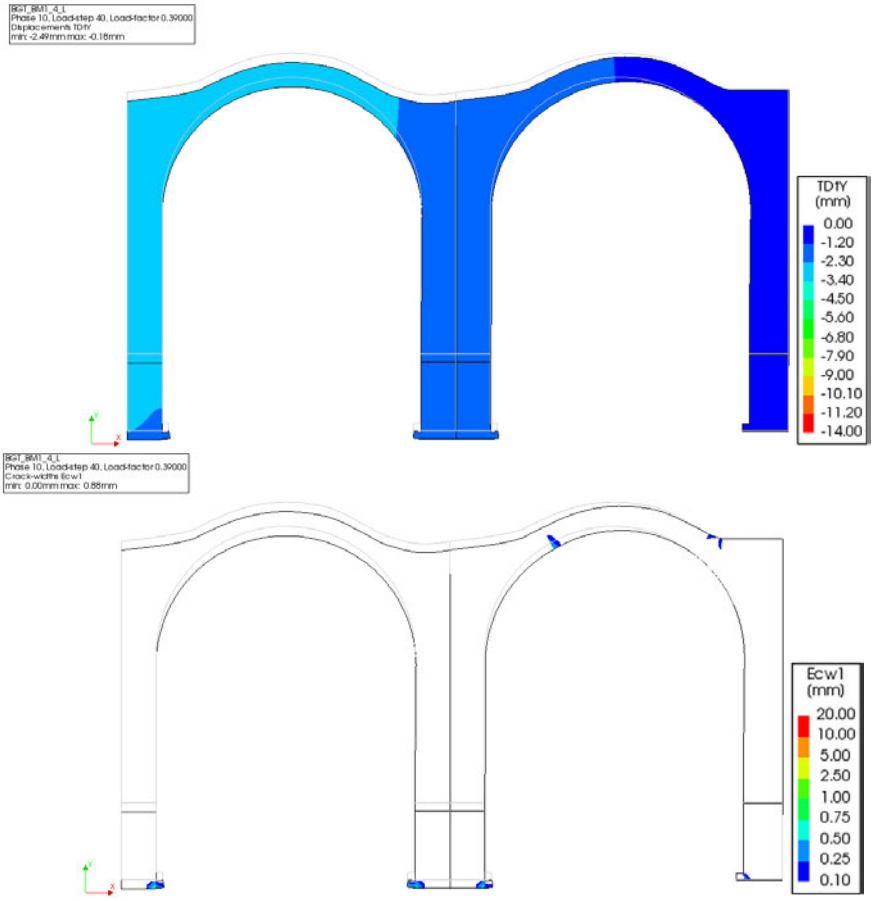


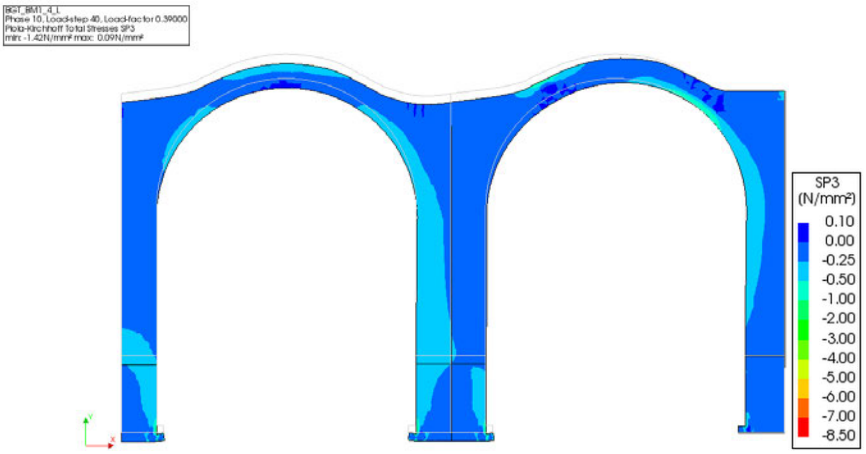
Afbeelding II.33 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 3-M



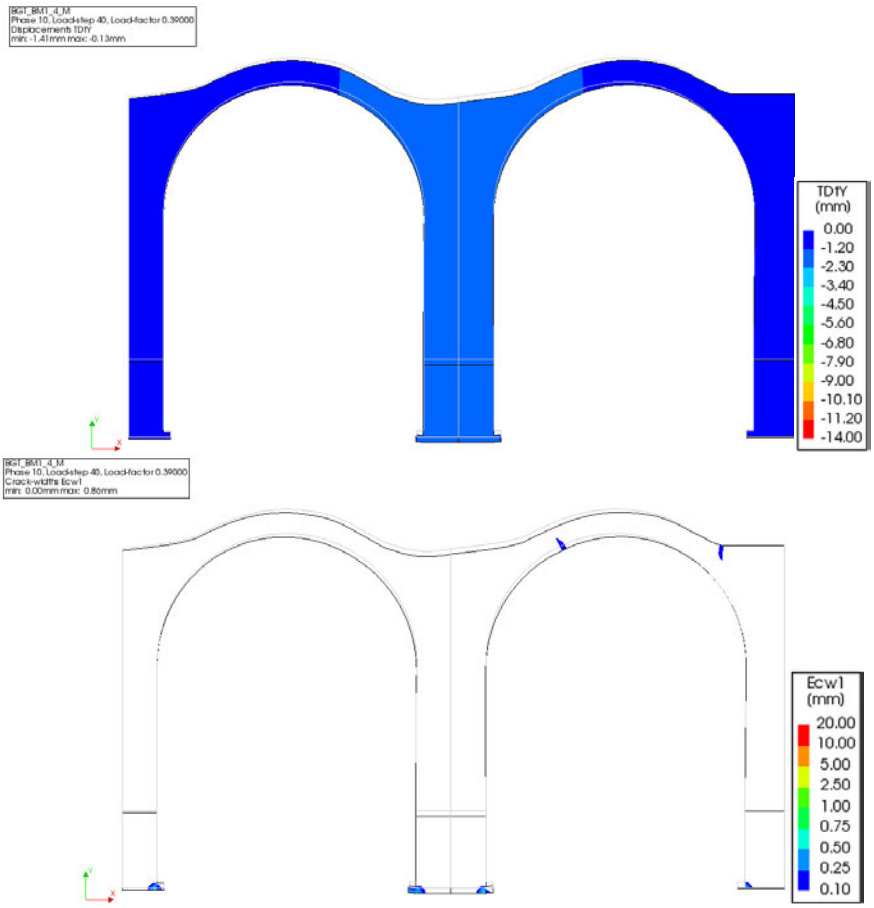


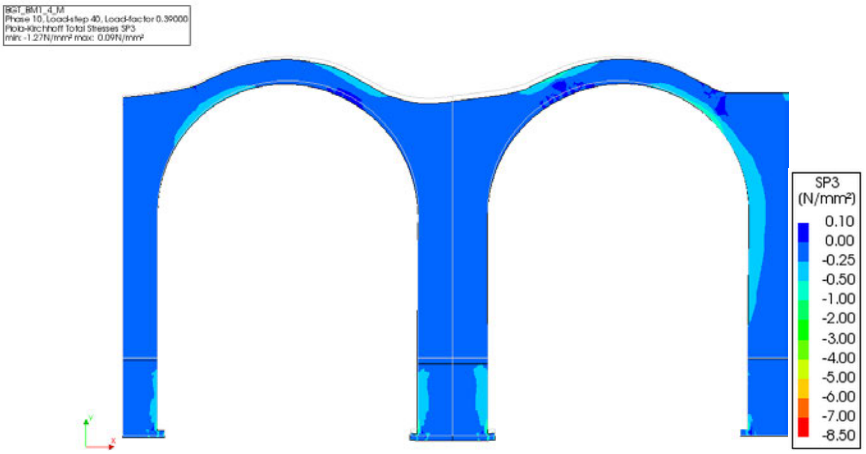
Afbeelding II.34 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-L



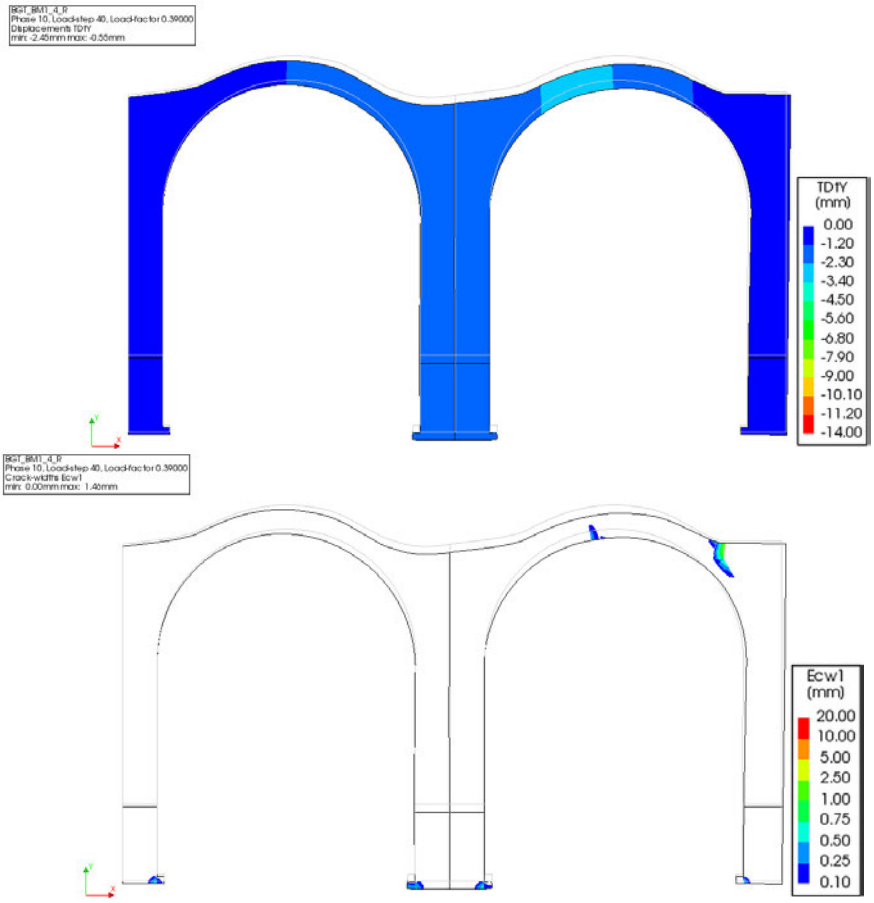


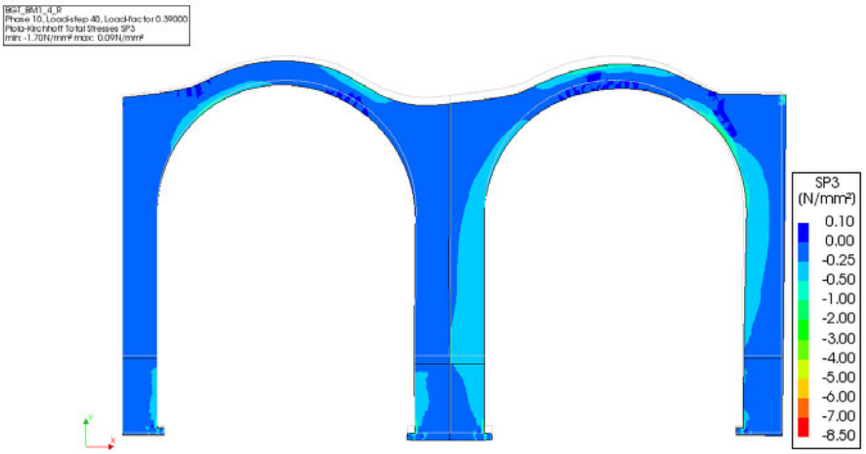
Afbeelding II.35 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-M





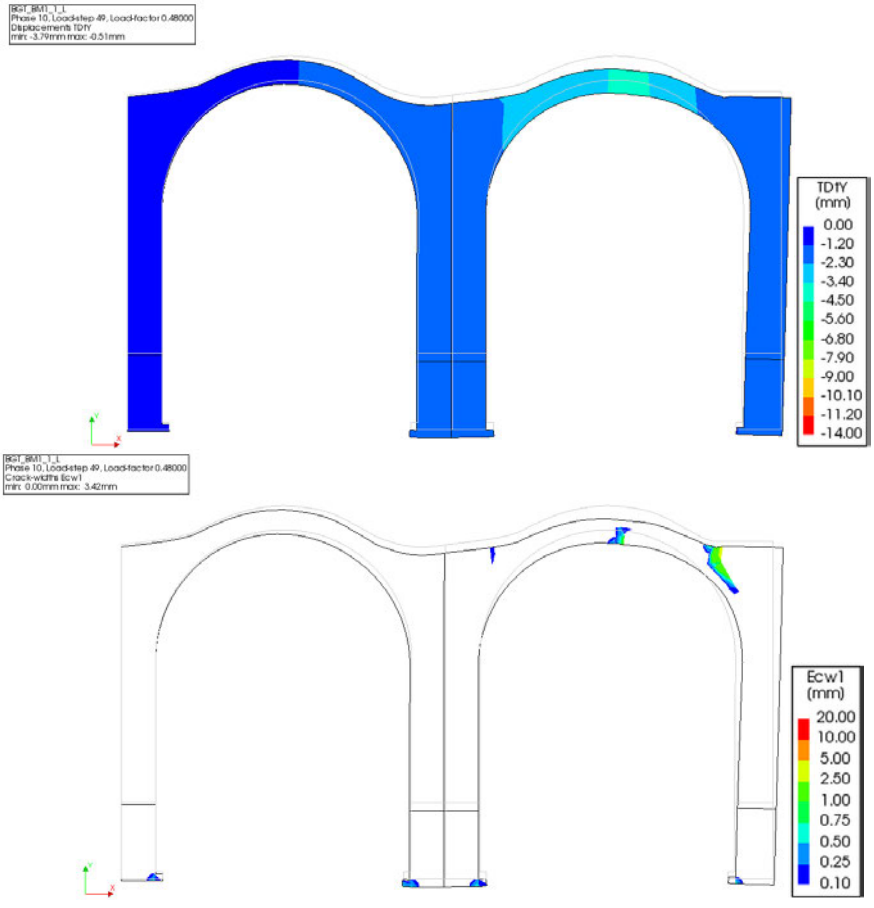
Afbeelding II.36 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-R

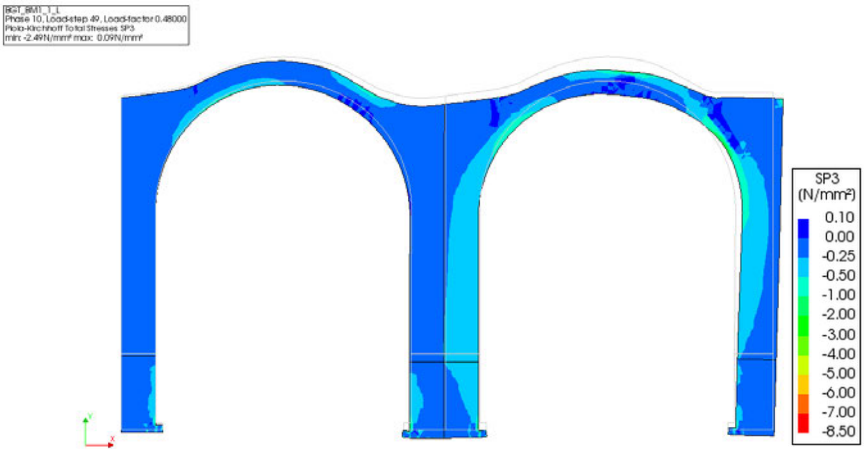




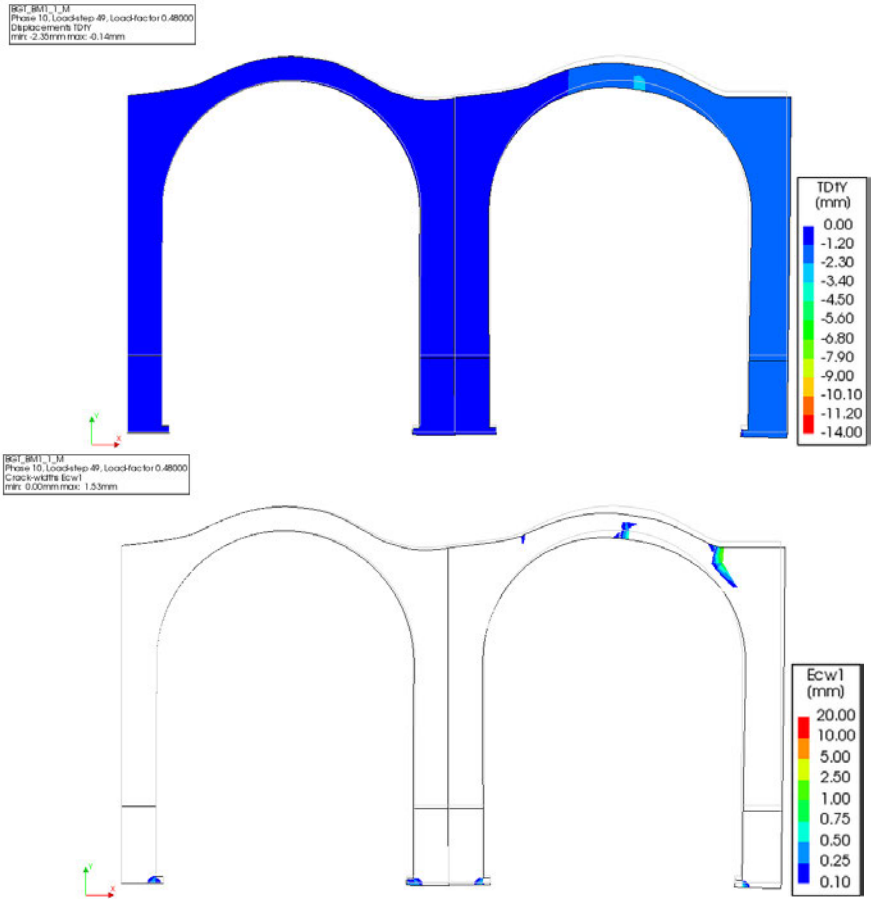
BGT-C20 - 7 ton

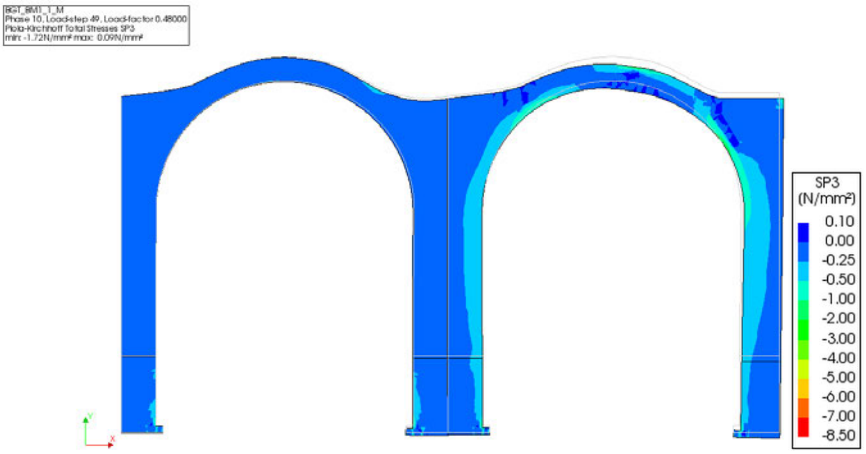
Afbeelding II.37 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 1-L



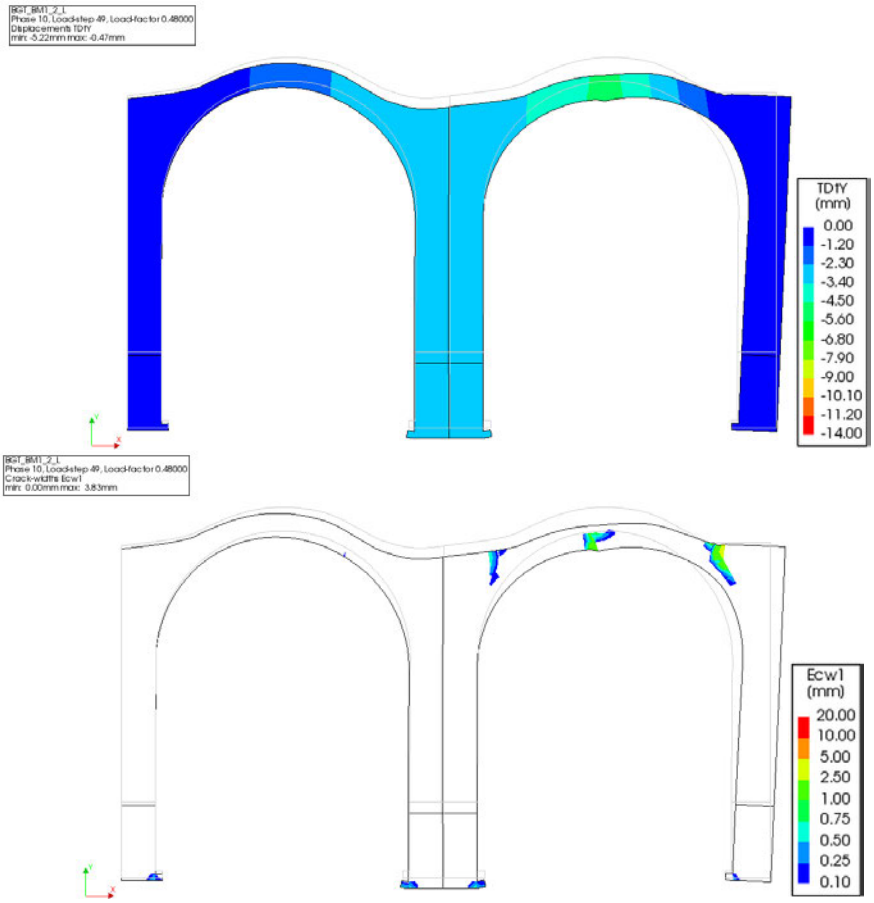


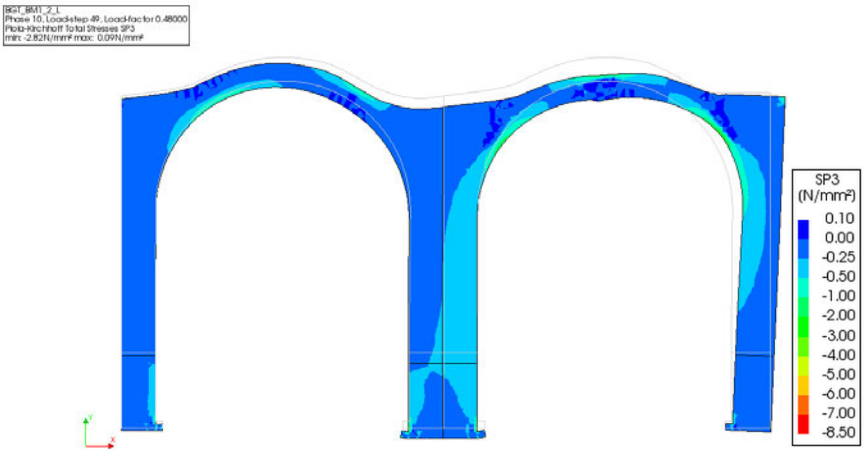
Afbeelding II.38 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 1-M



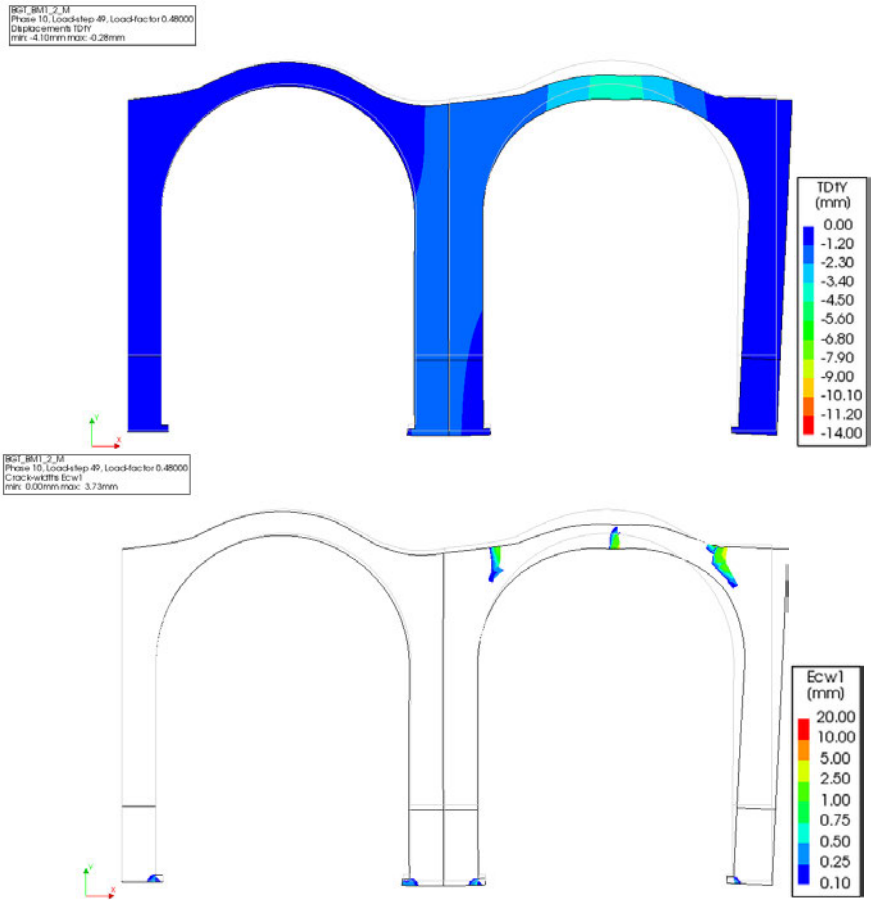


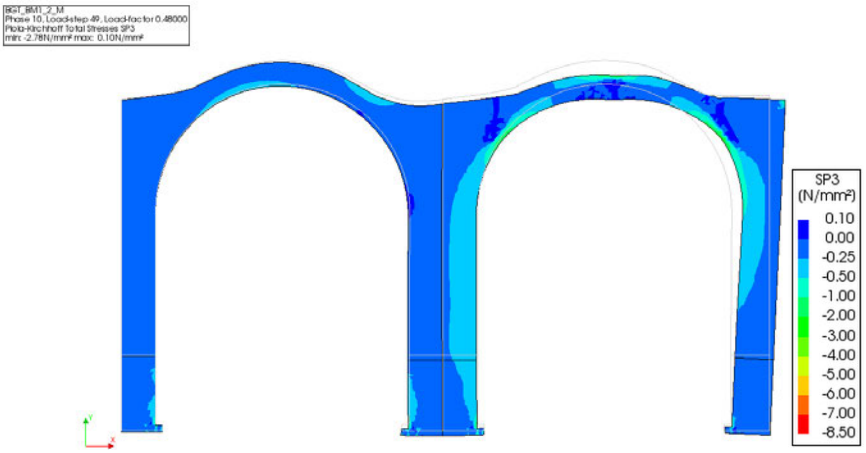
Afbeelding II.39 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 2-L



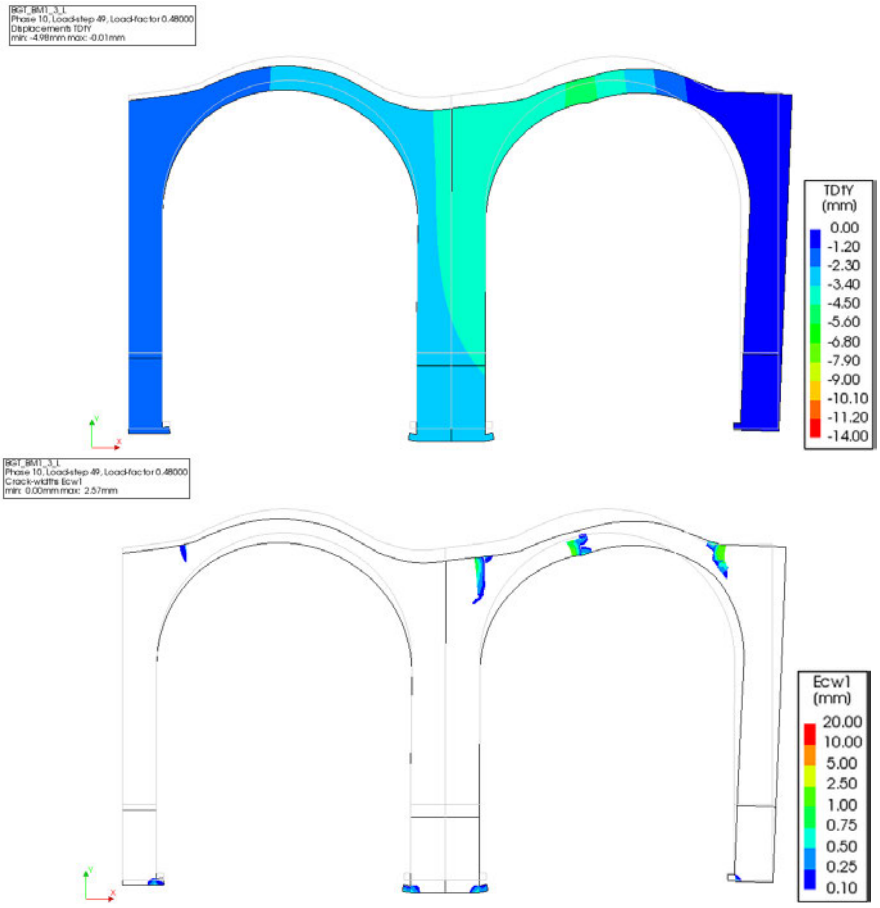


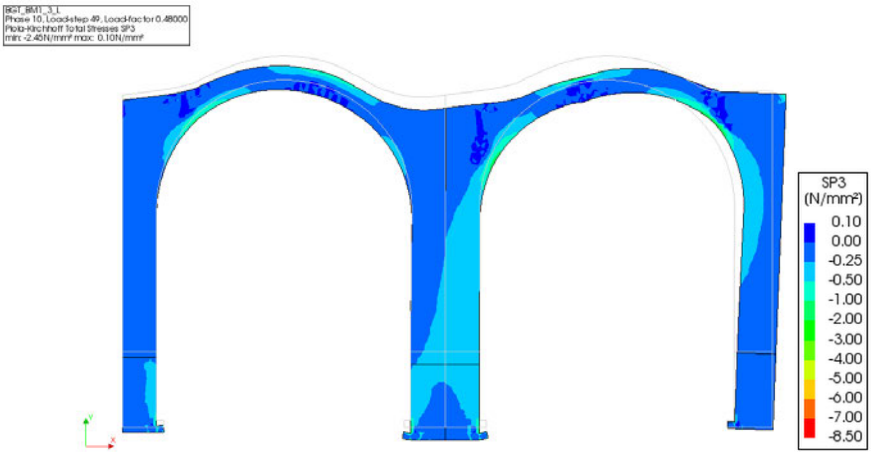
Afbeelding II.40 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 2-M



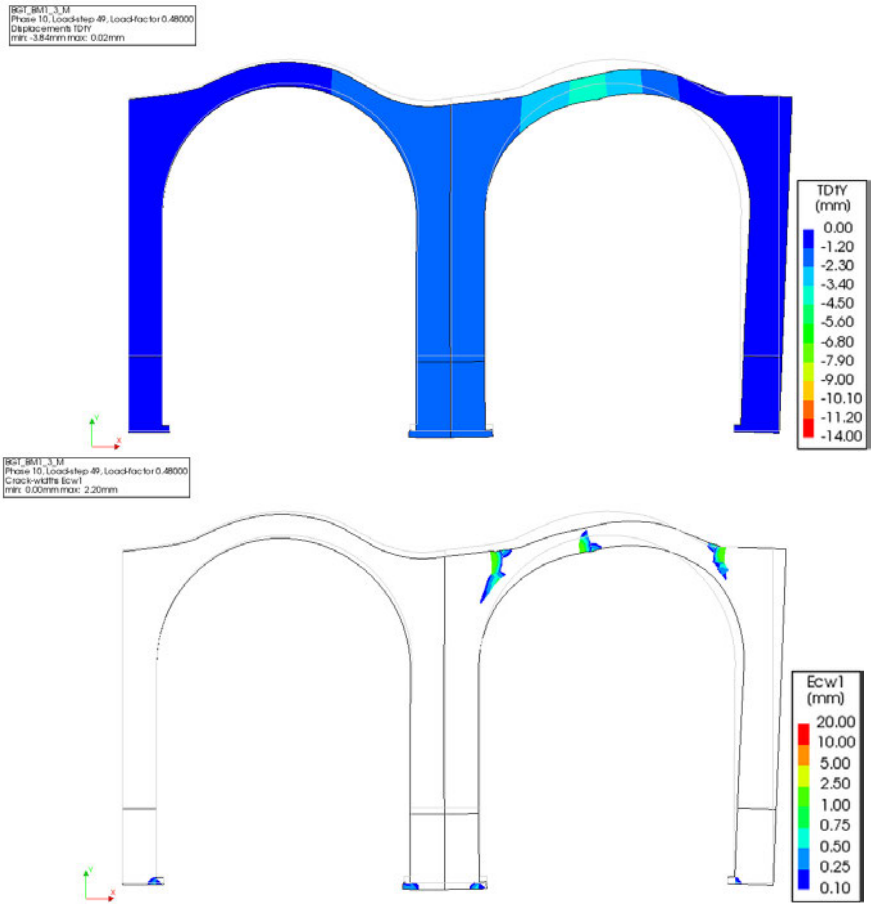


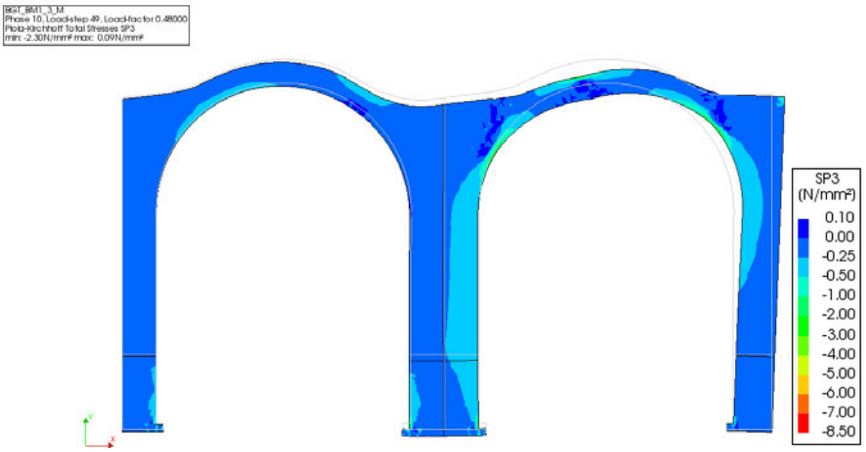
Afbeelding II.41 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 3-L



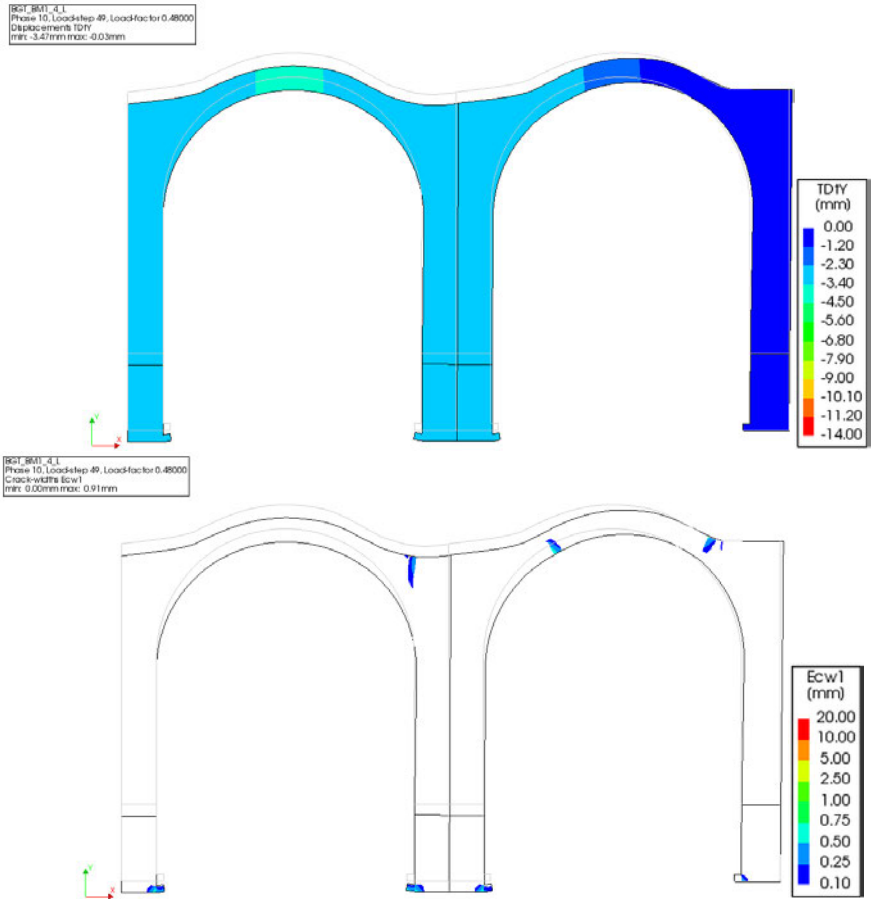


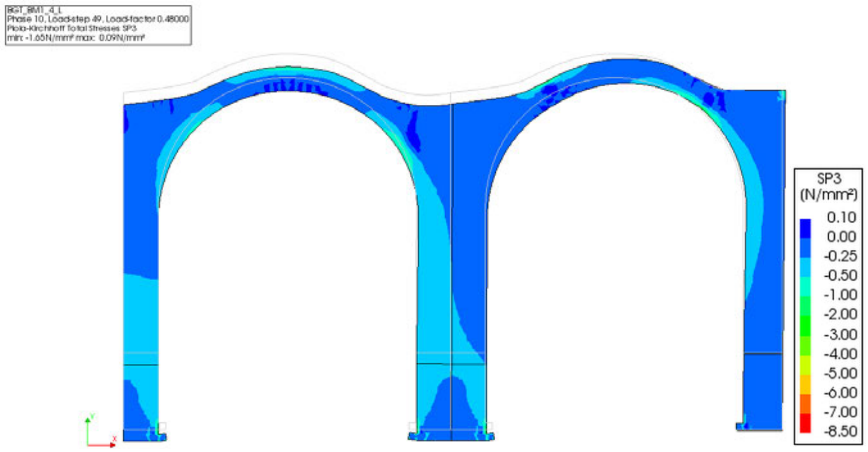
Afbeelding II.42 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 3-M



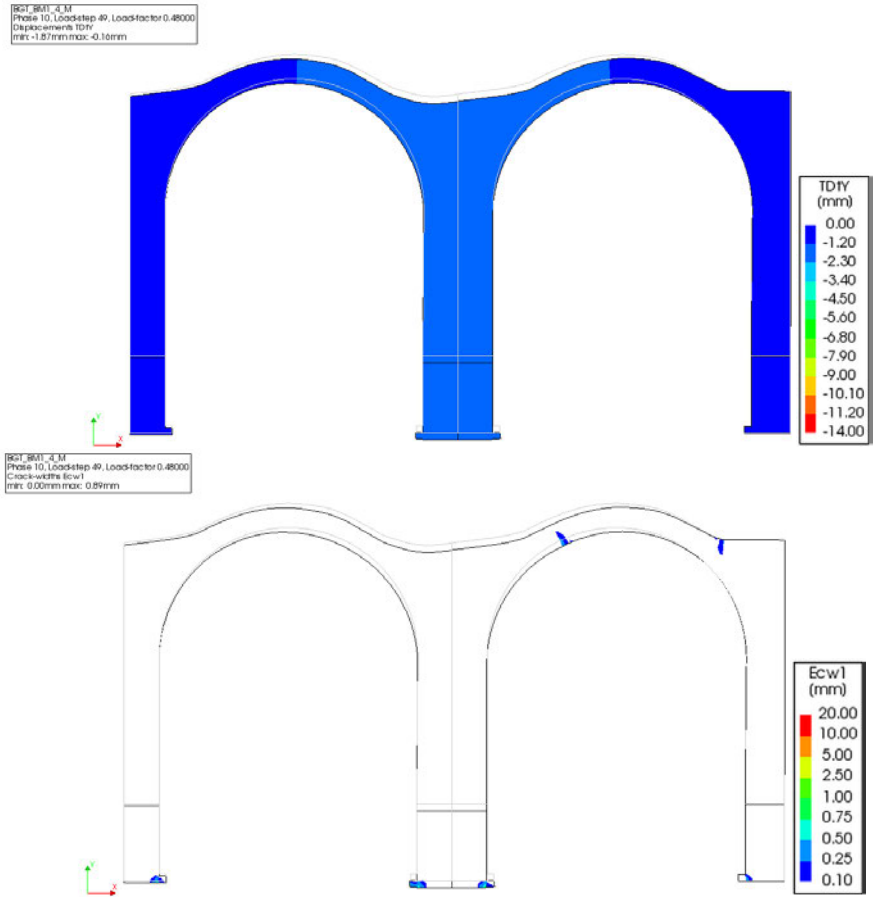


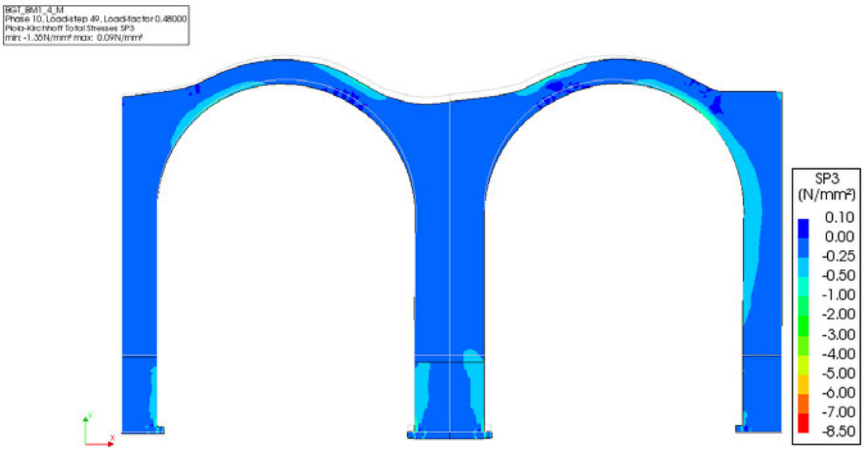
Afbeelding II.43 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-L



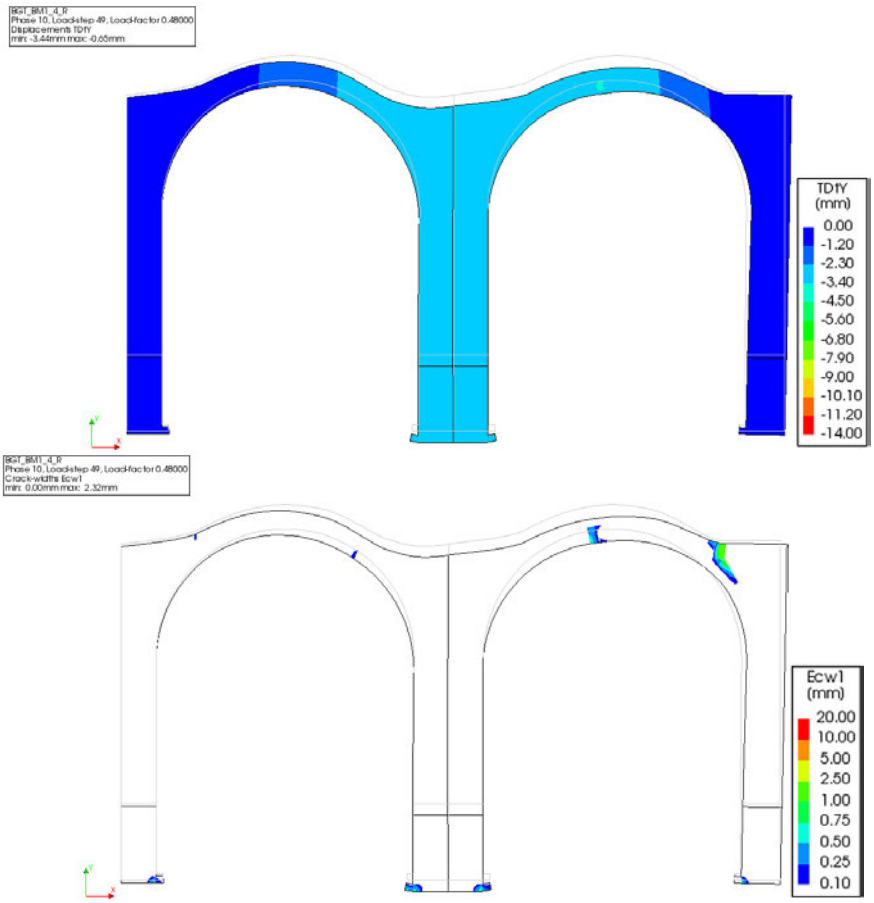


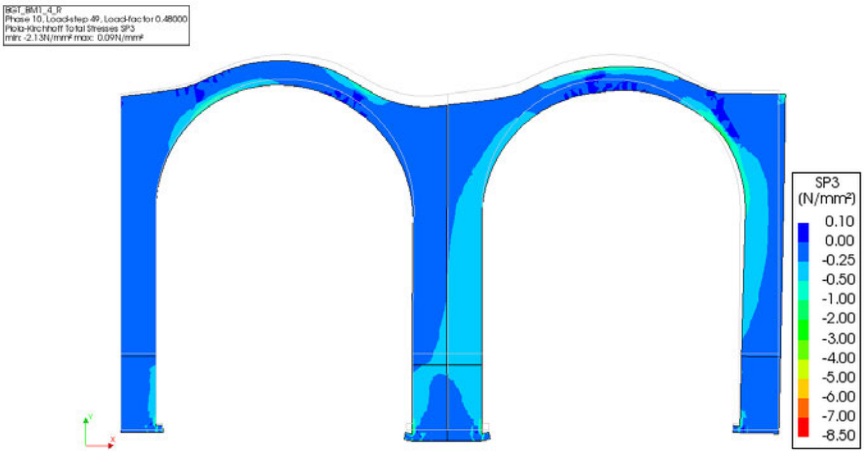
Afbeelding II.44 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-M





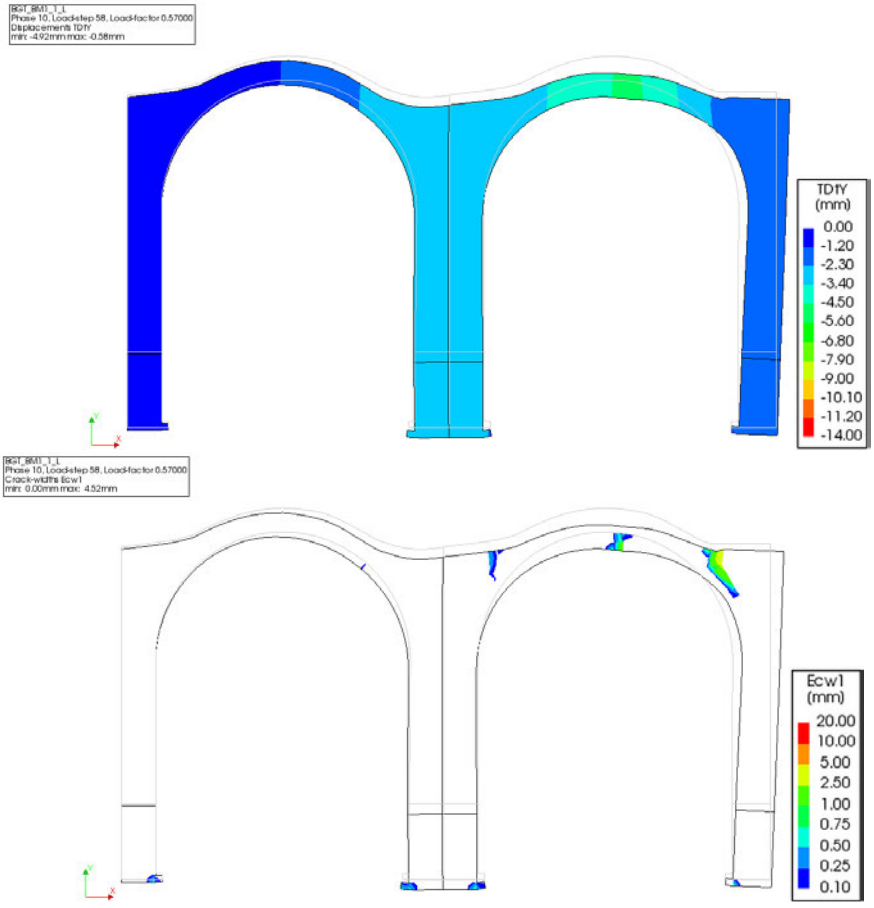
Afbeelding II.45 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-R

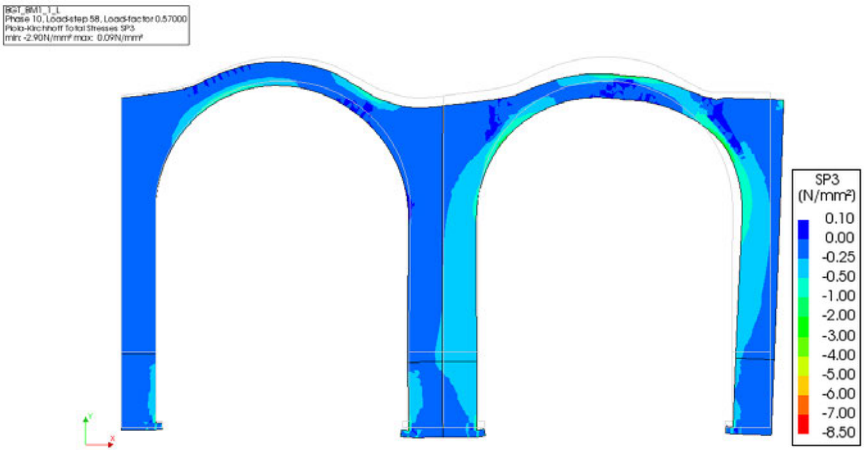




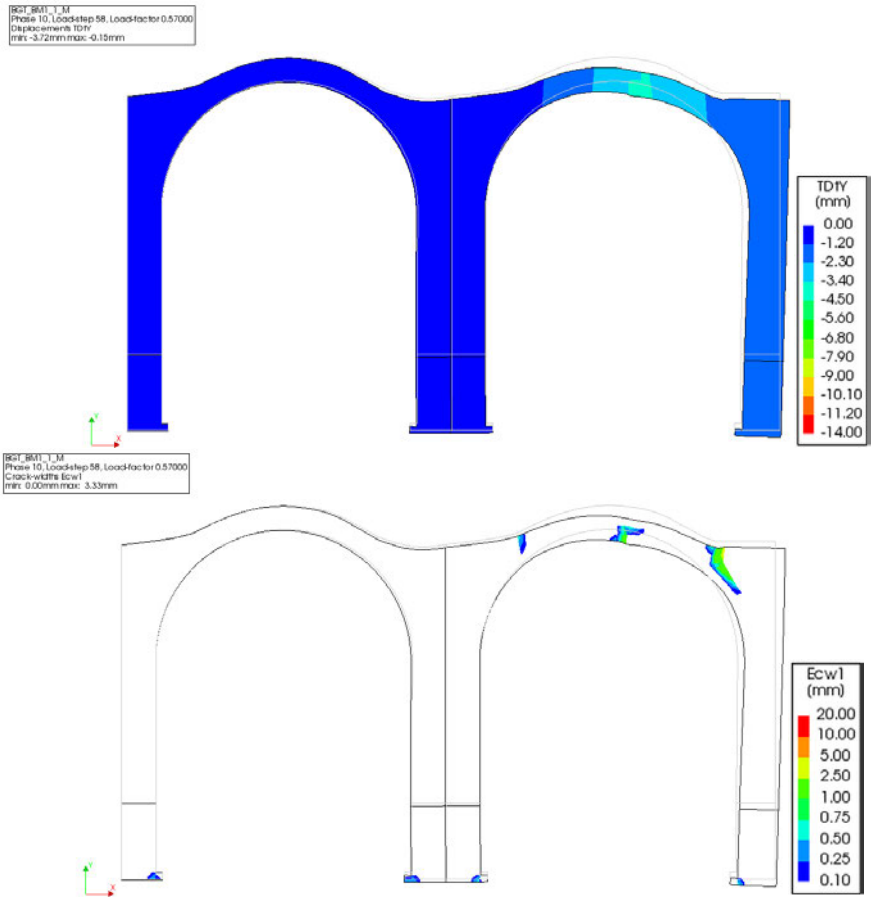
BGT-C20 - 8 ton

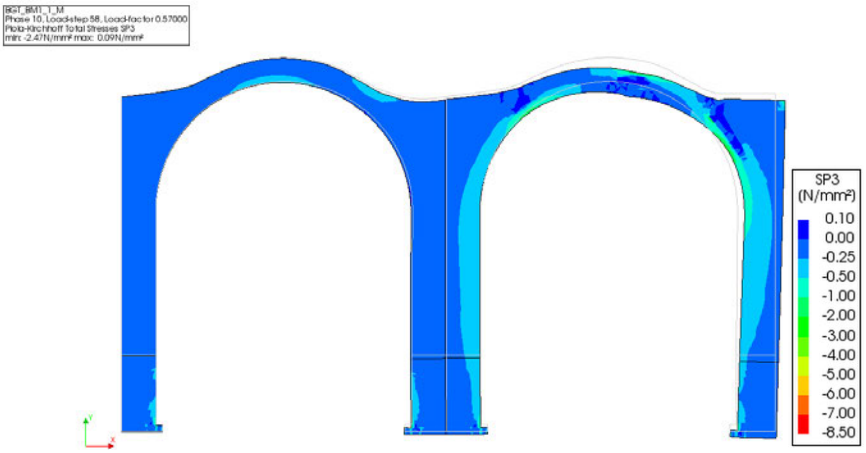
Afbeelding II.46 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 1-L



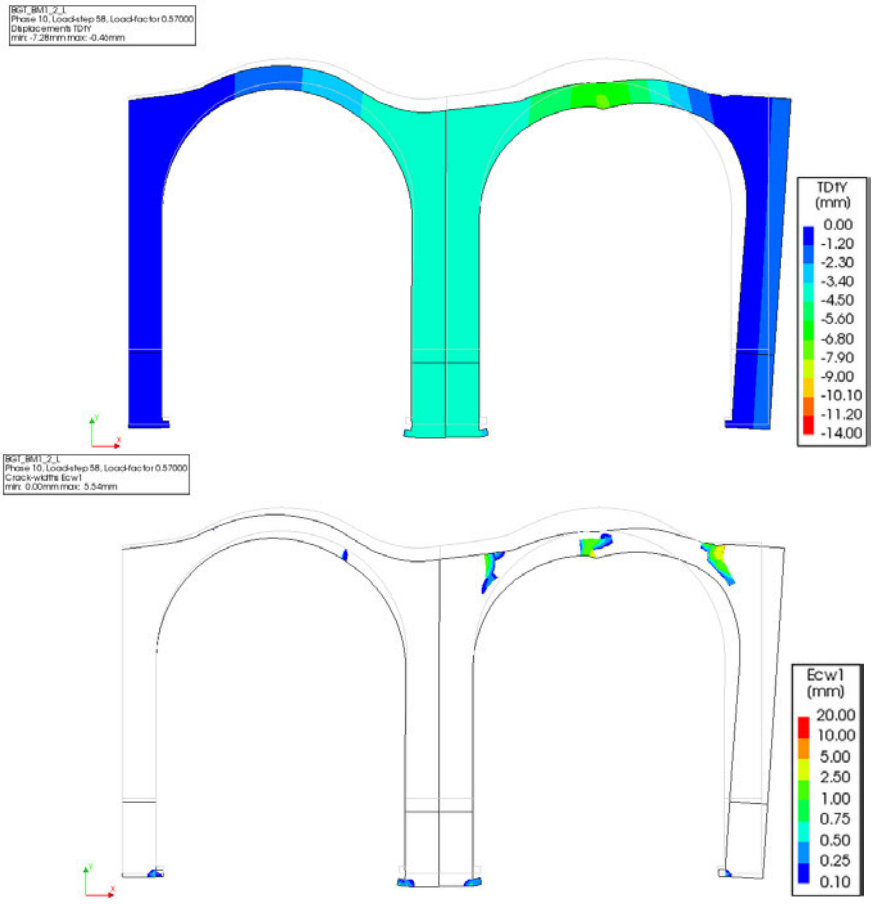


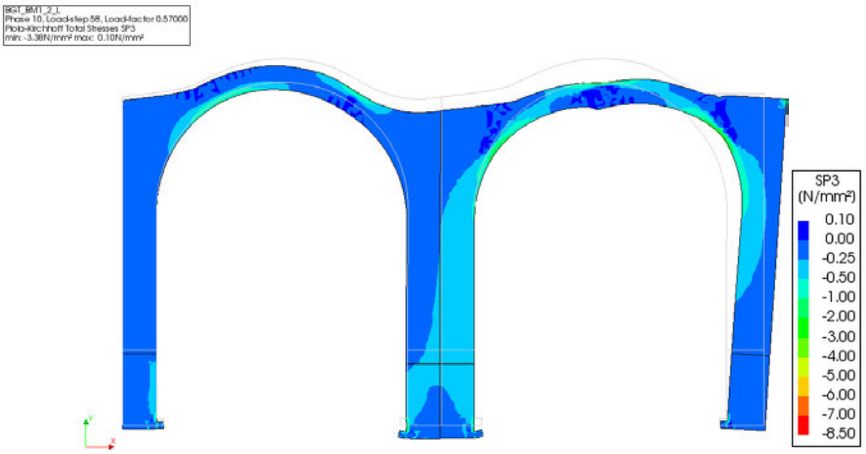
Afbeelding II.47 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 1-M



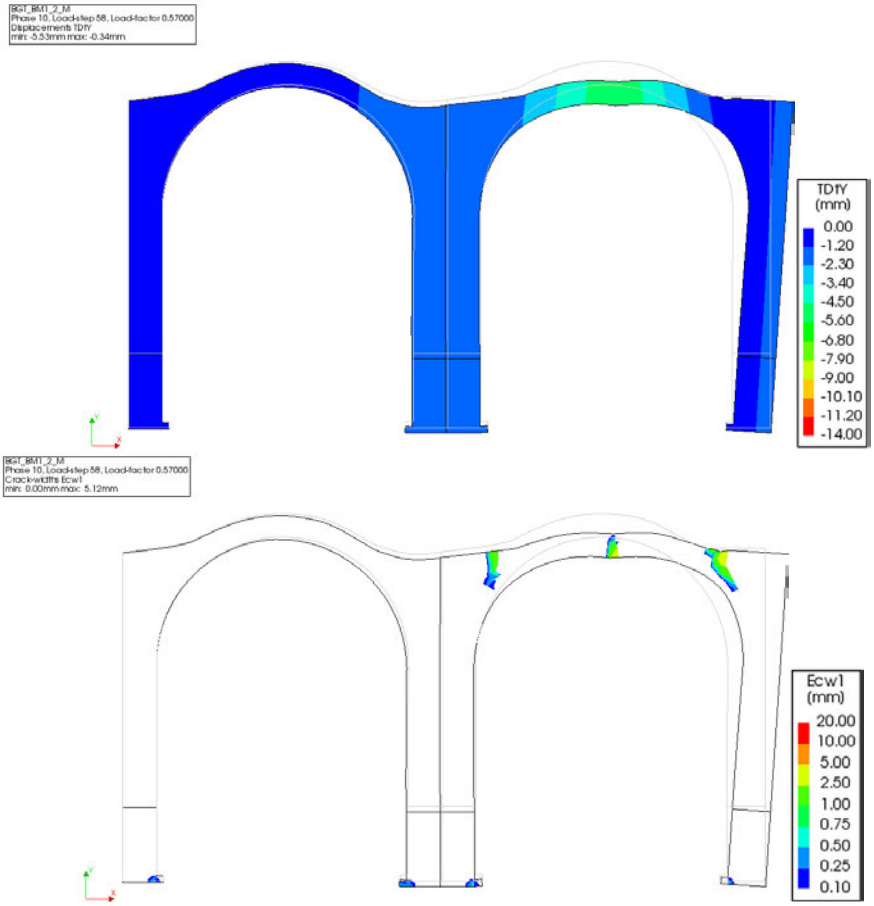


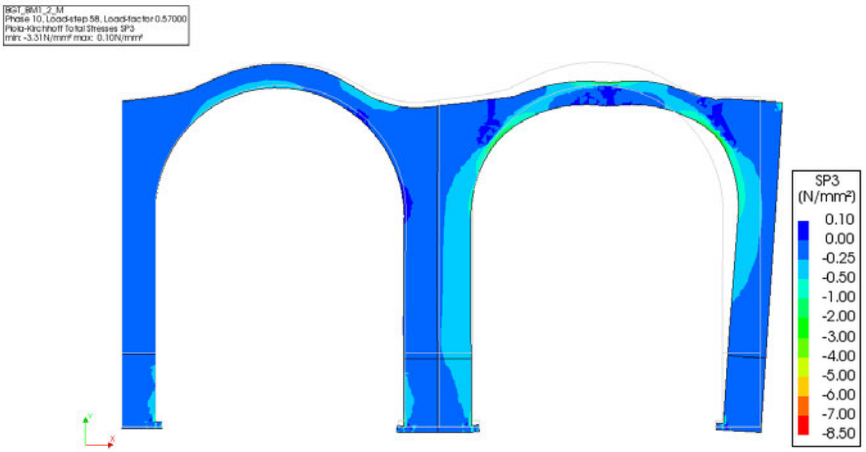
Afbeelding II.48 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 2-L



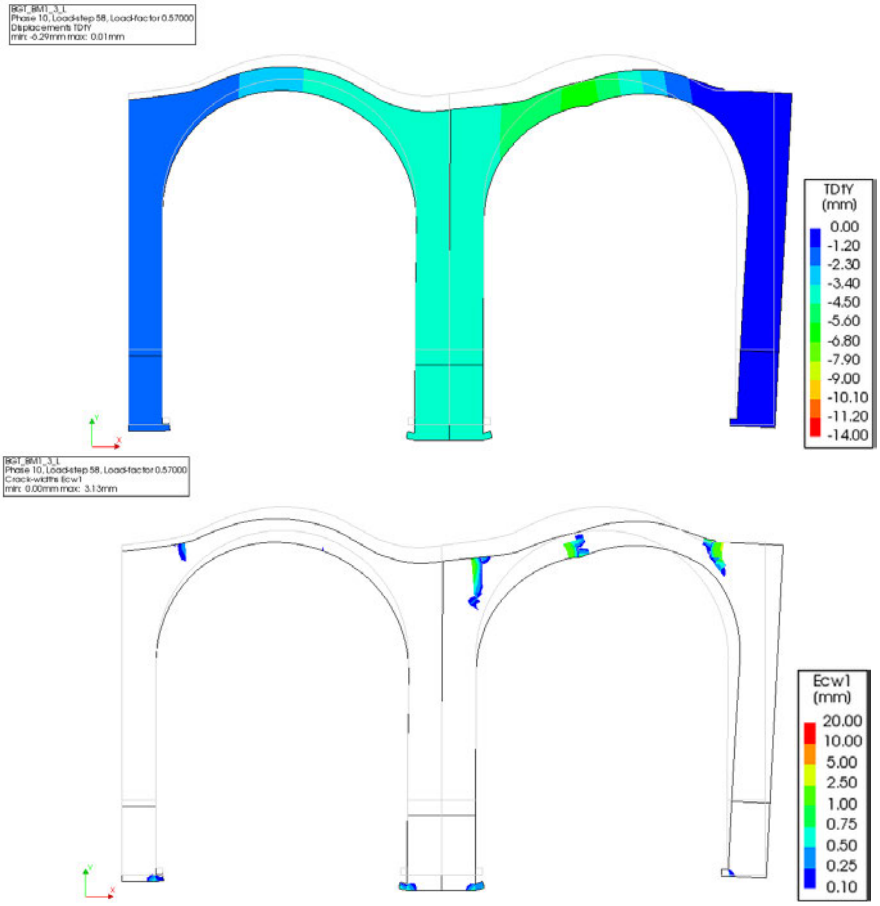


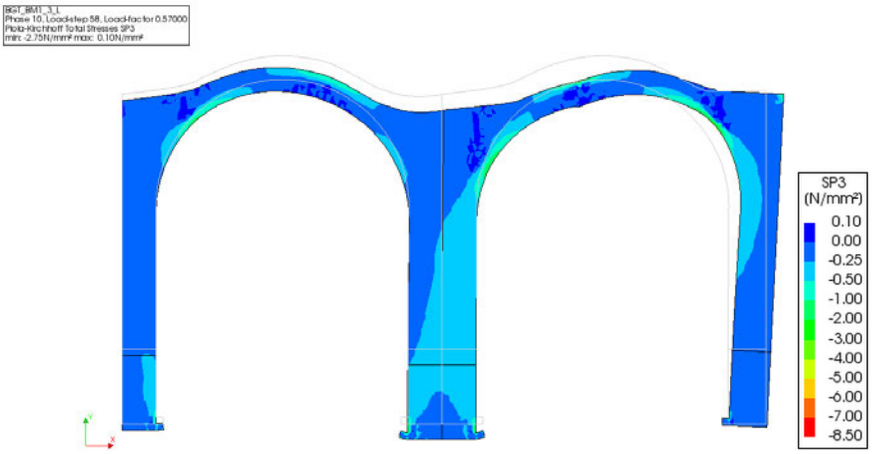
Afbeelding II.49 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 2-M



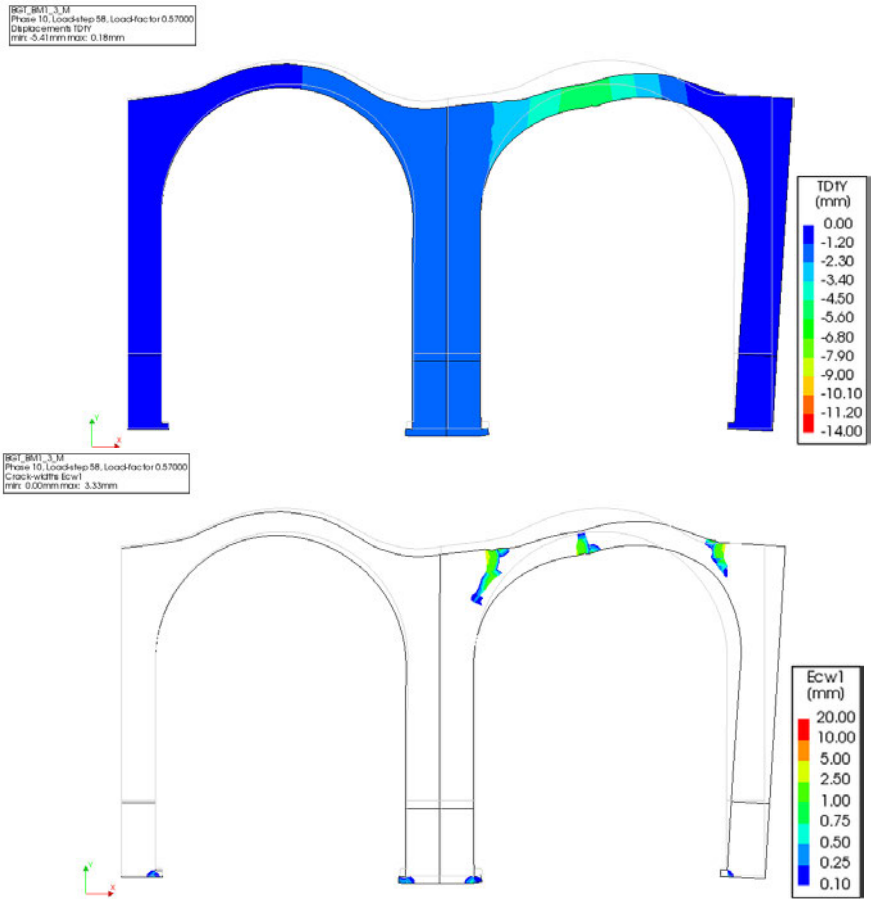


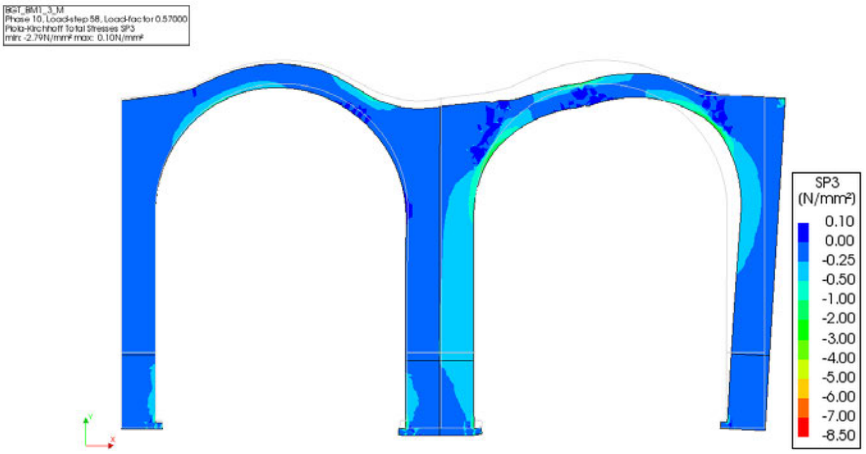
Afbeelding II.50 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 3-L



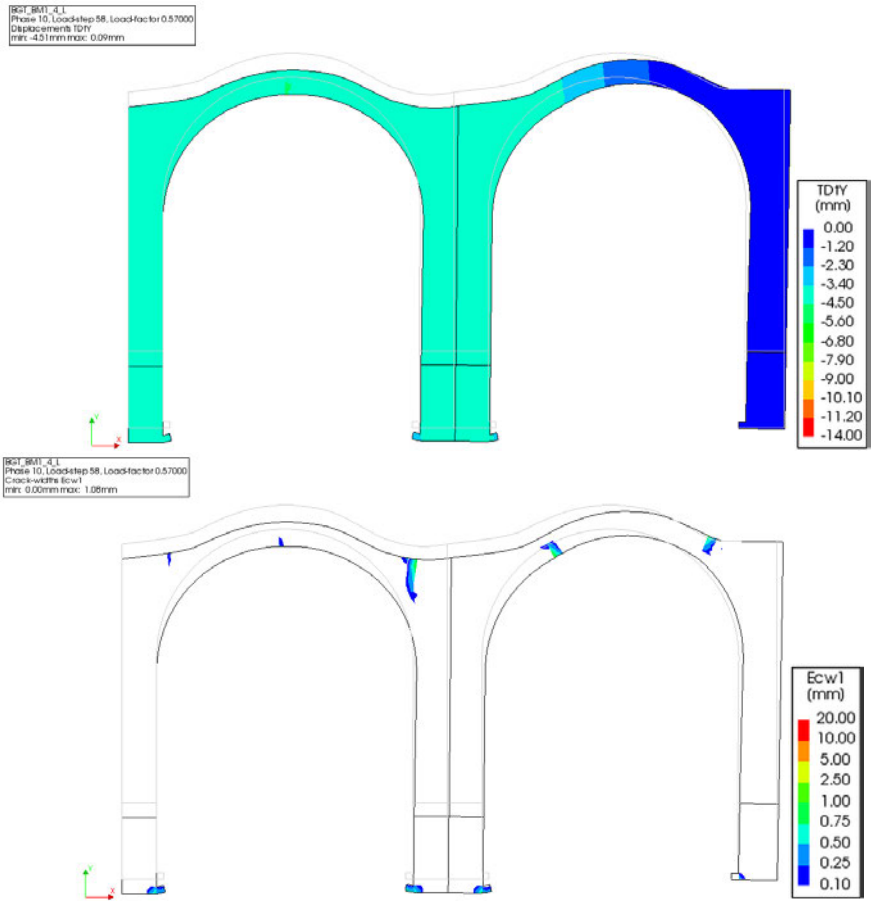


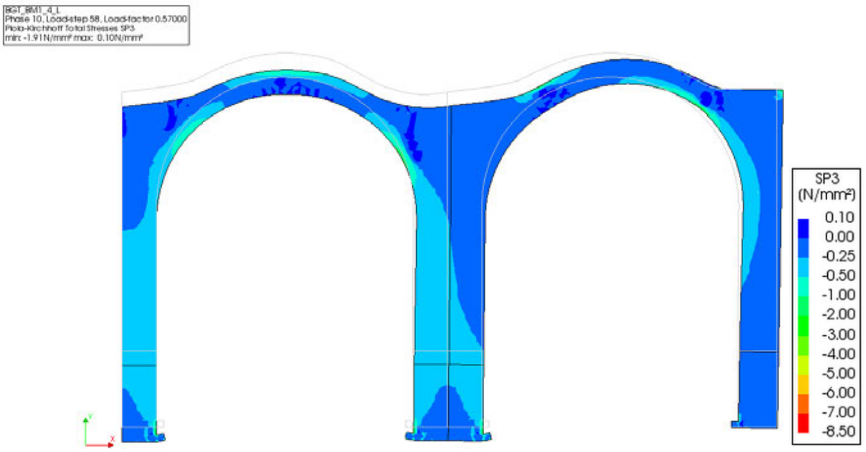
Afbeelding II.51 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 3-M



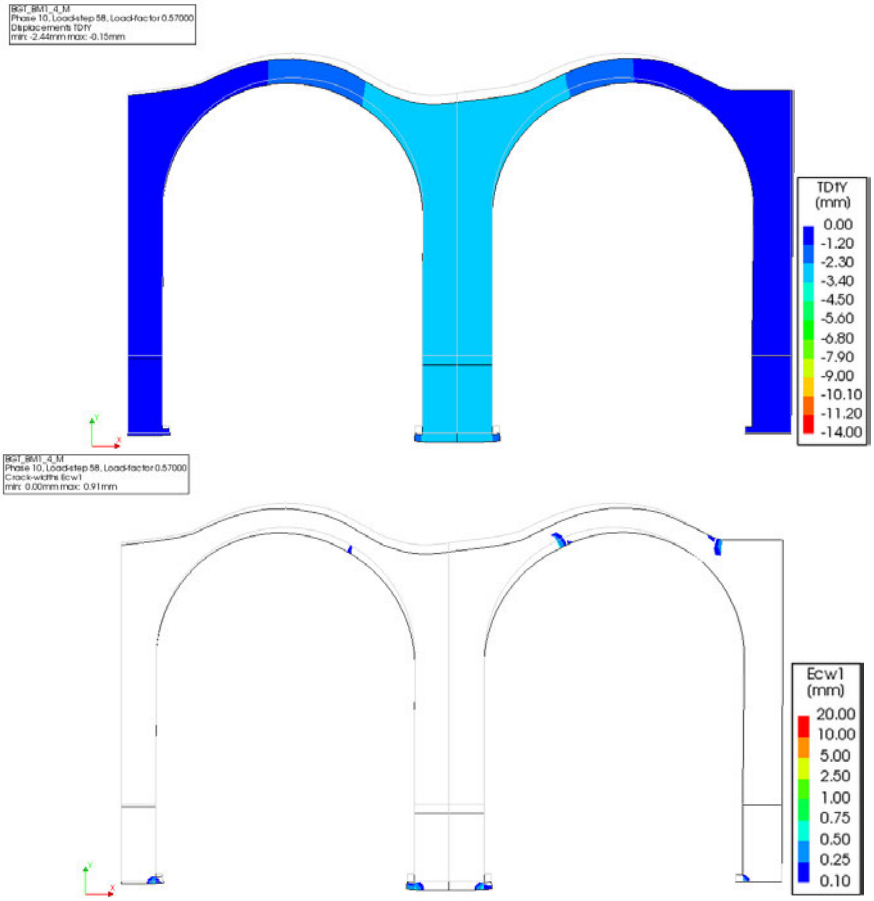


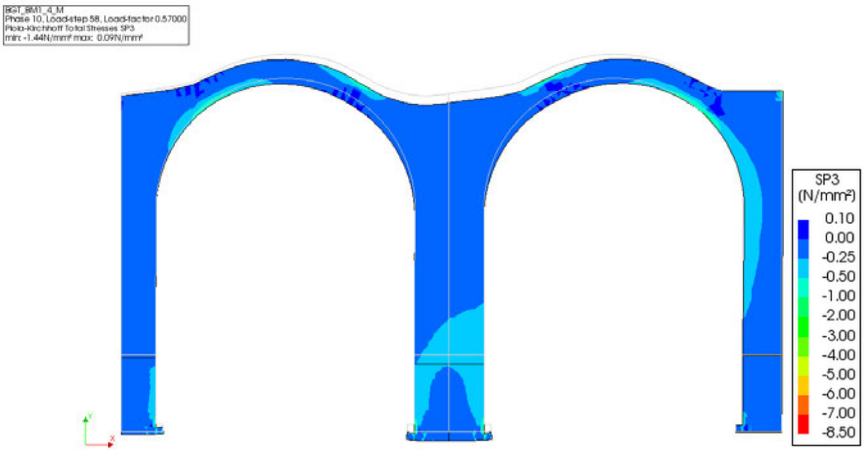
Afbeelding II.52 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-L



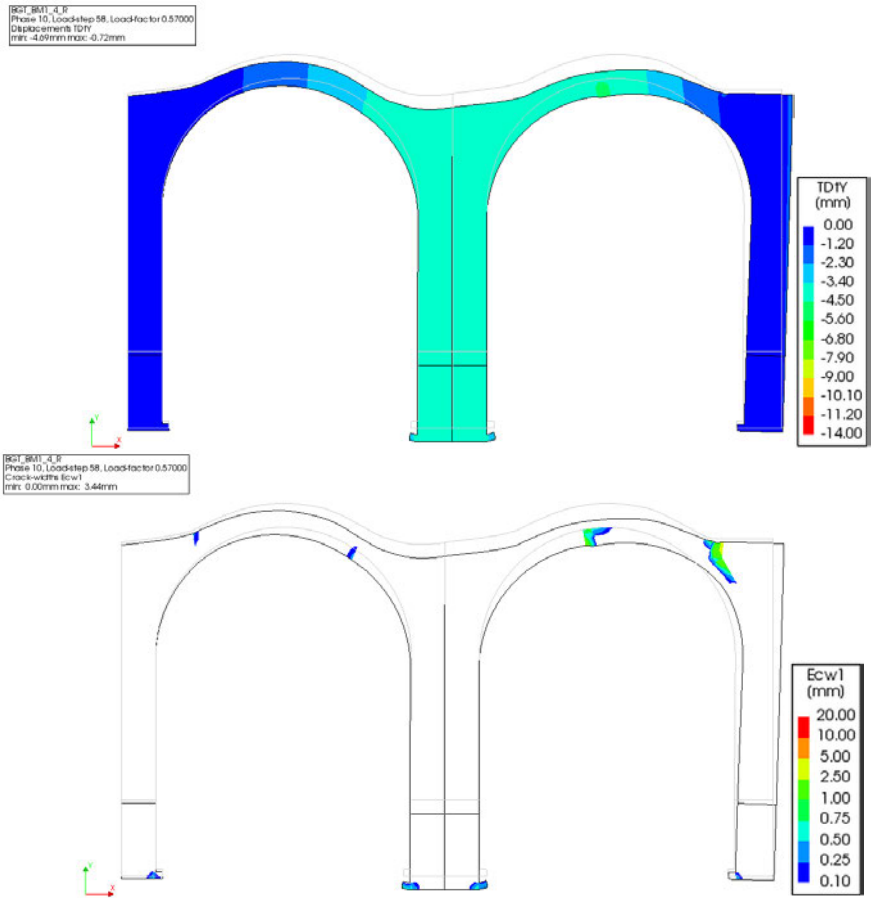


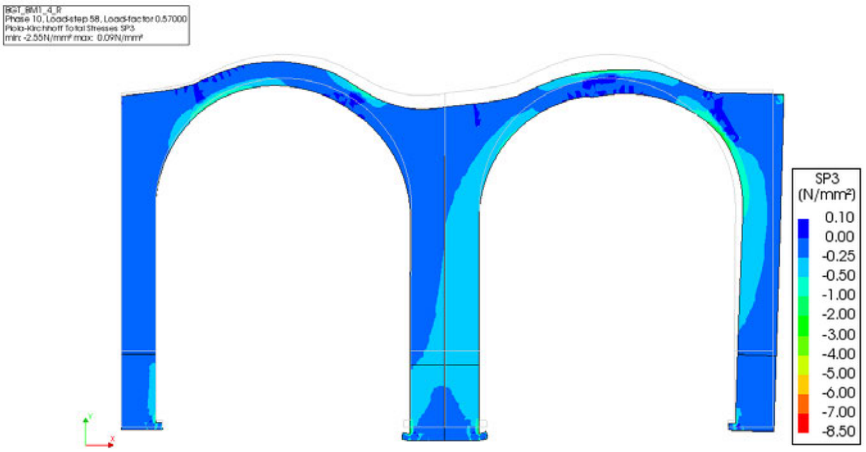
Afbeelding II.53 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-M





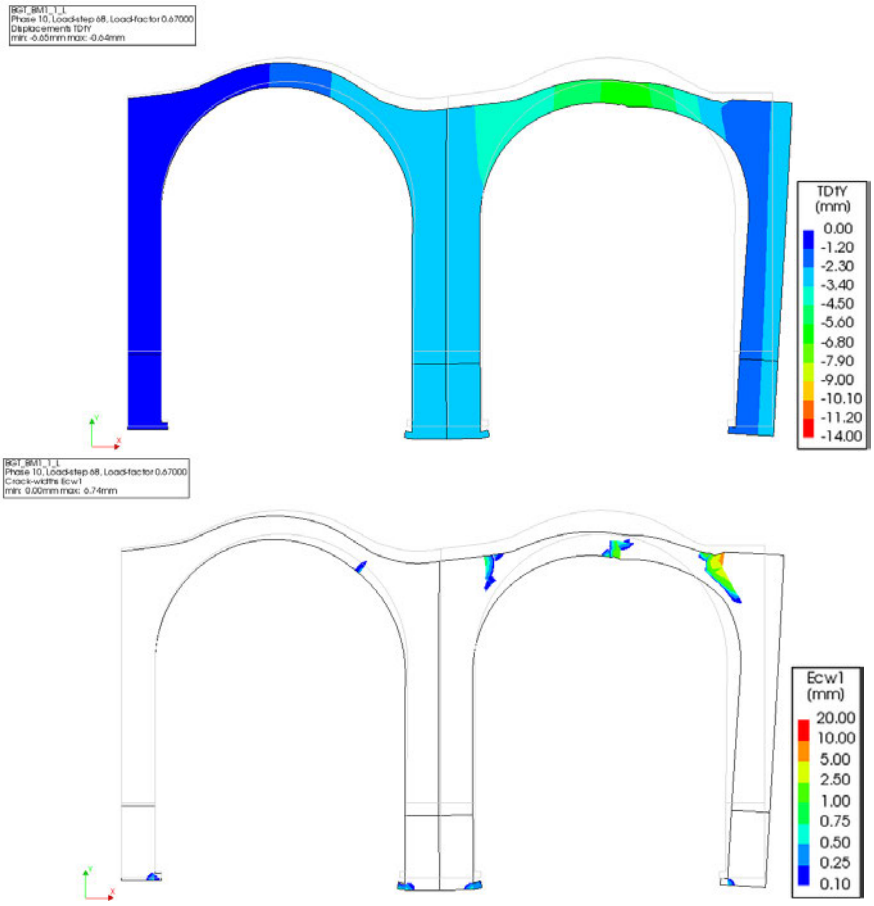
Afbeelding II.54 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-R

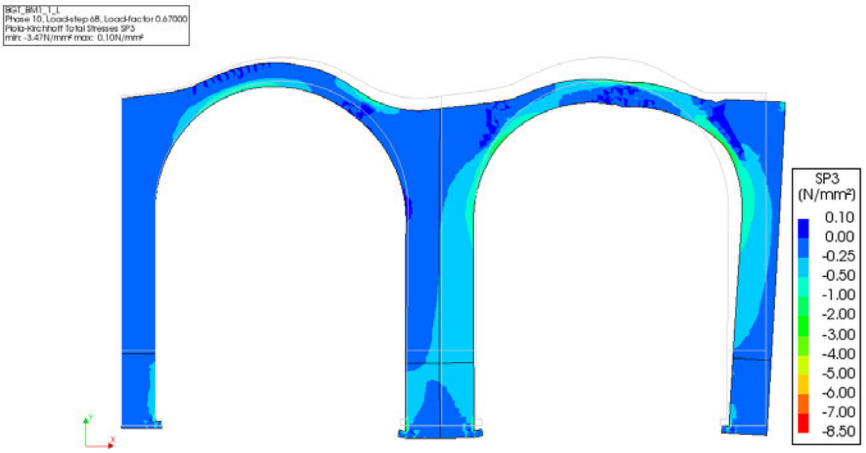




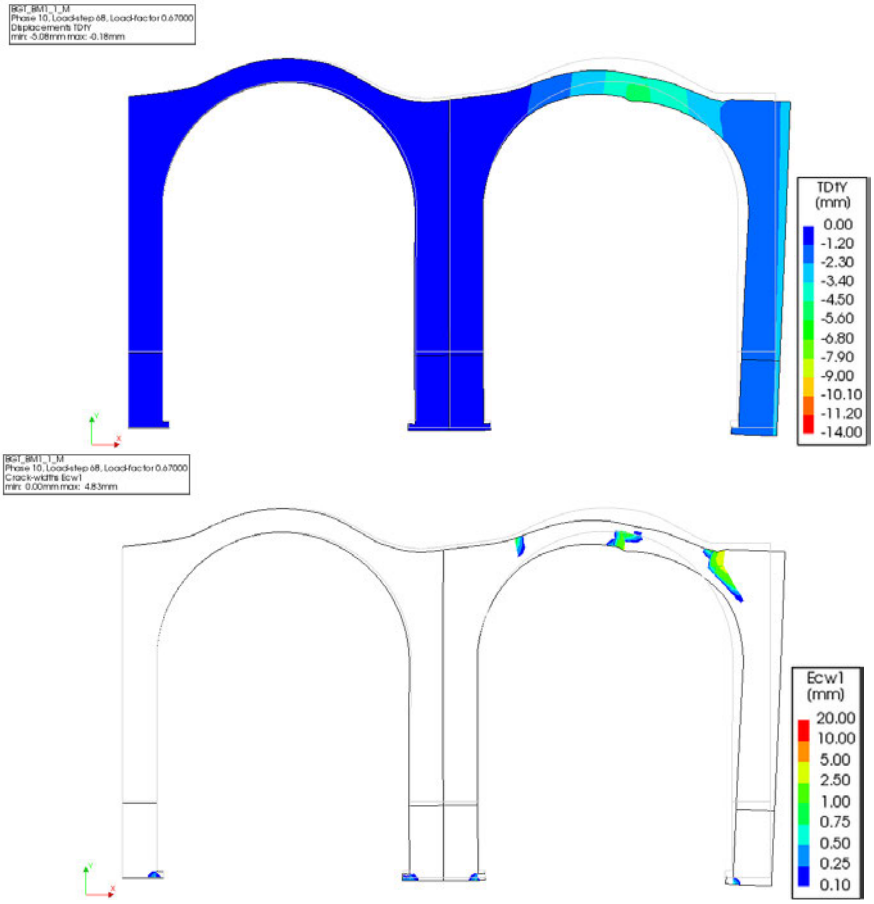
BGT-C20 - 9 ton

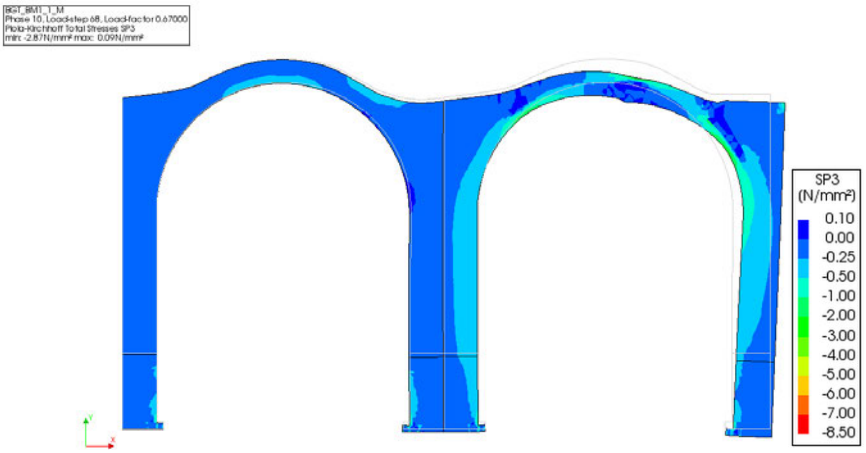
Afbeelding II.55 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 1-L



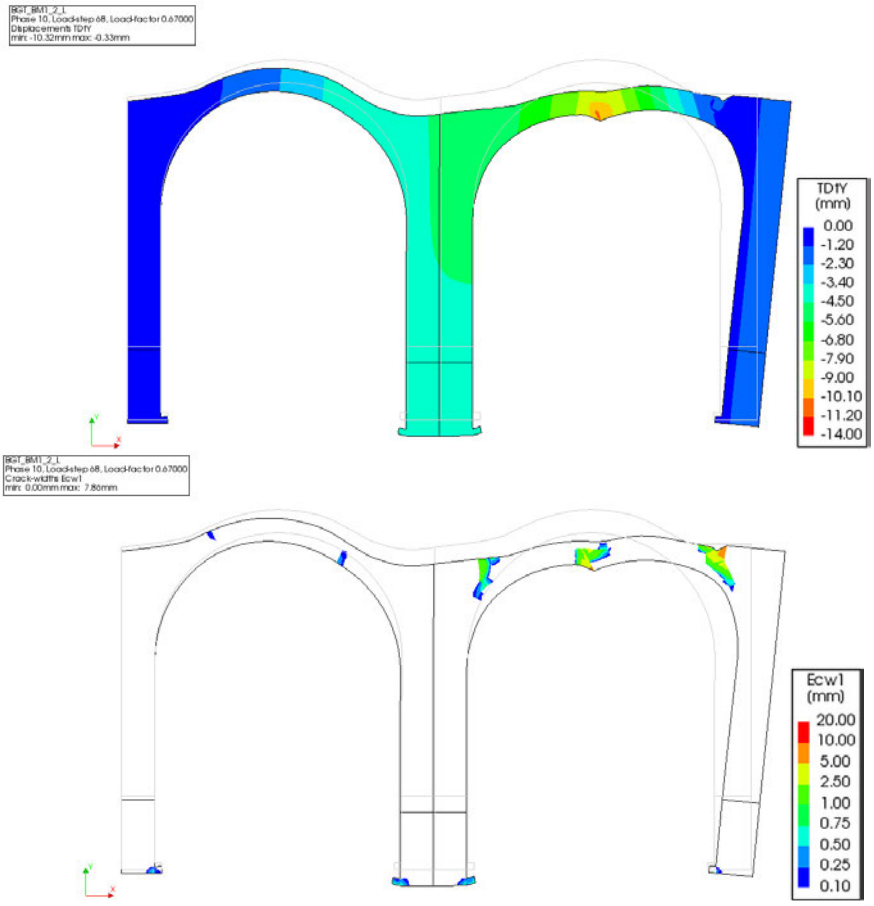


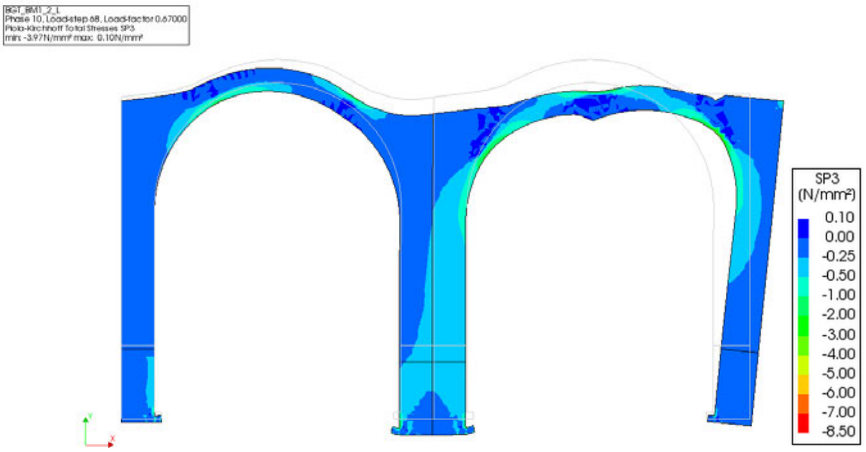
Afbeelding II.56 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 1-M



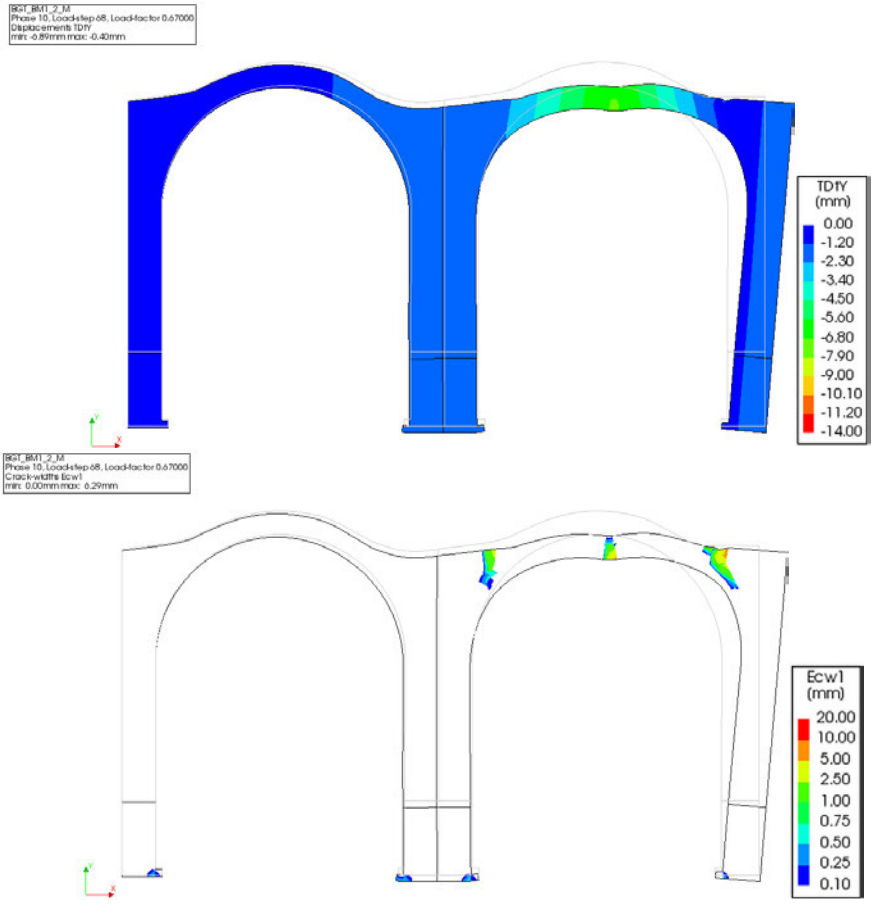


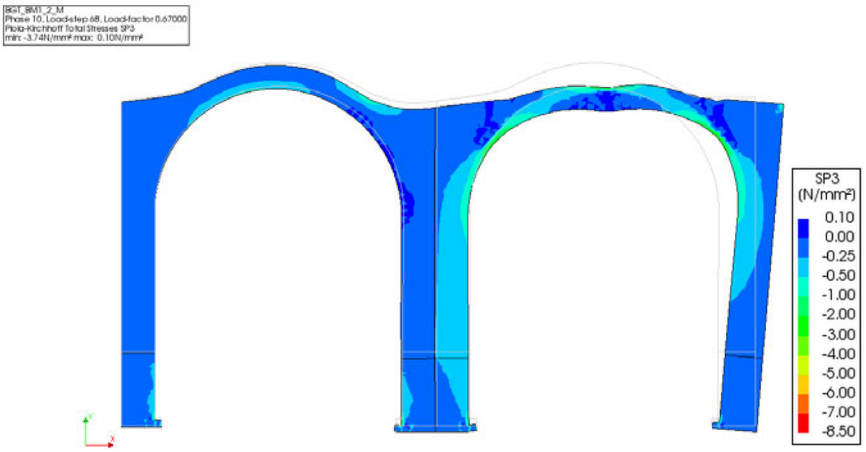
Afbeelding II.57 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 2-L



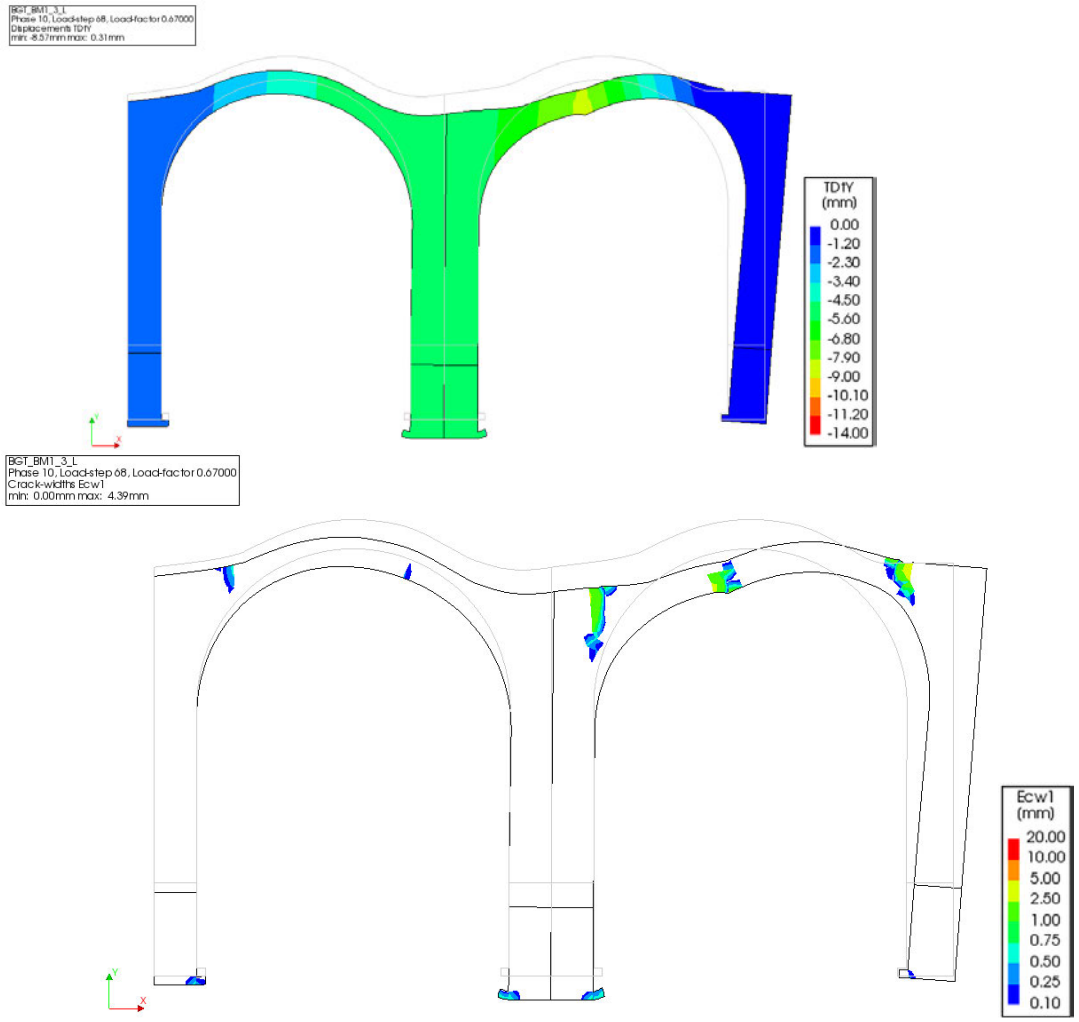


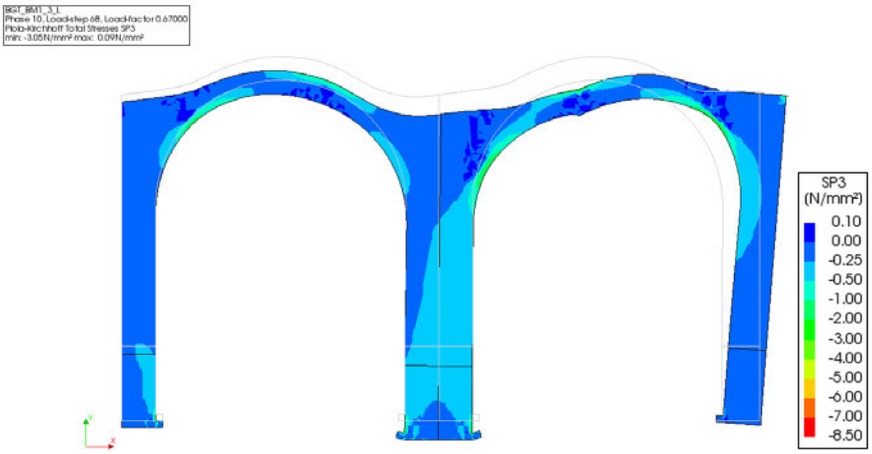
Afbeelding II.58 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 2-M



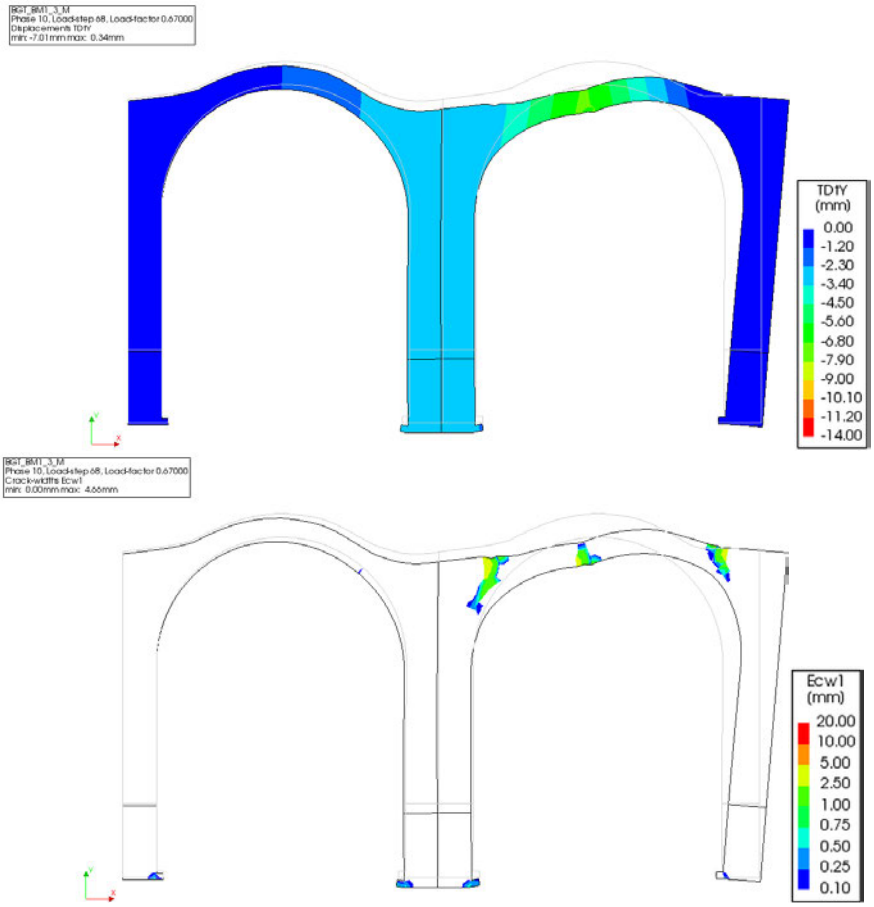


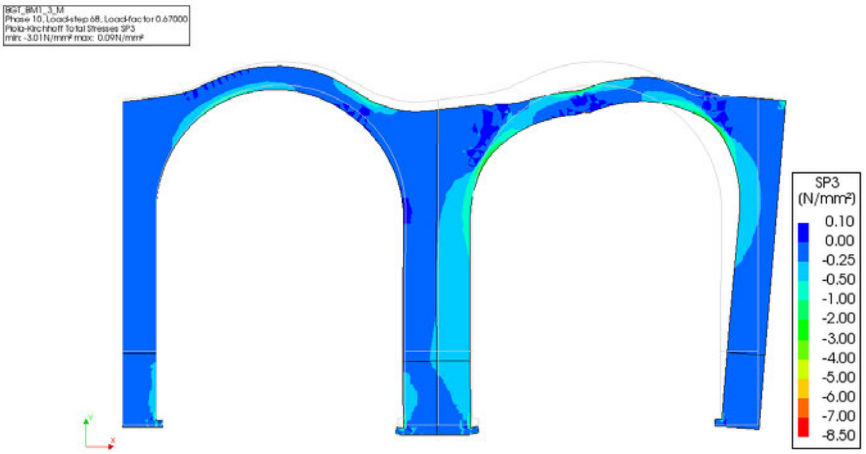
Afbeelding II.59 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 3-L



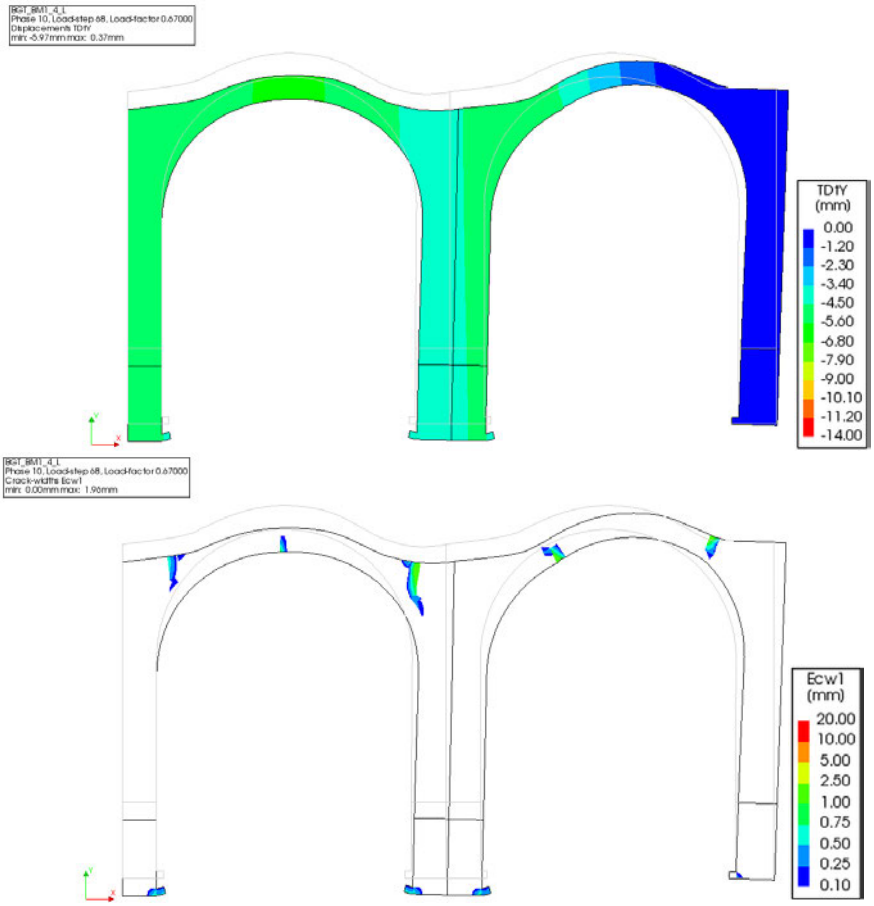


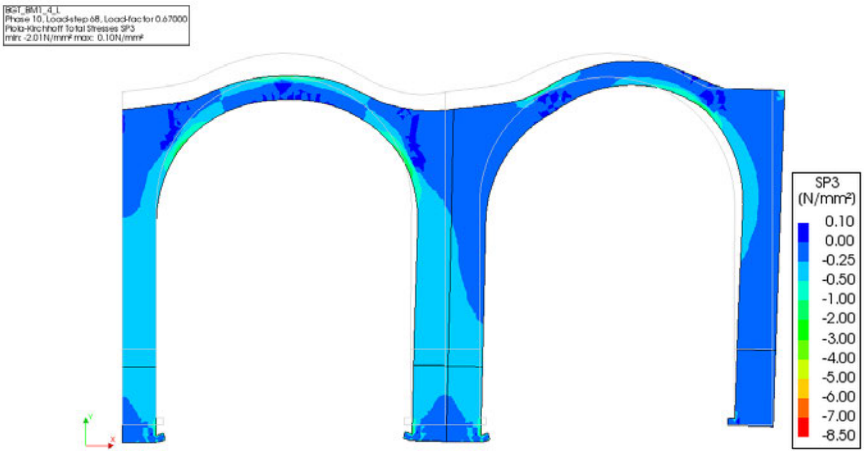
Afbeelding II.60 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 3-M



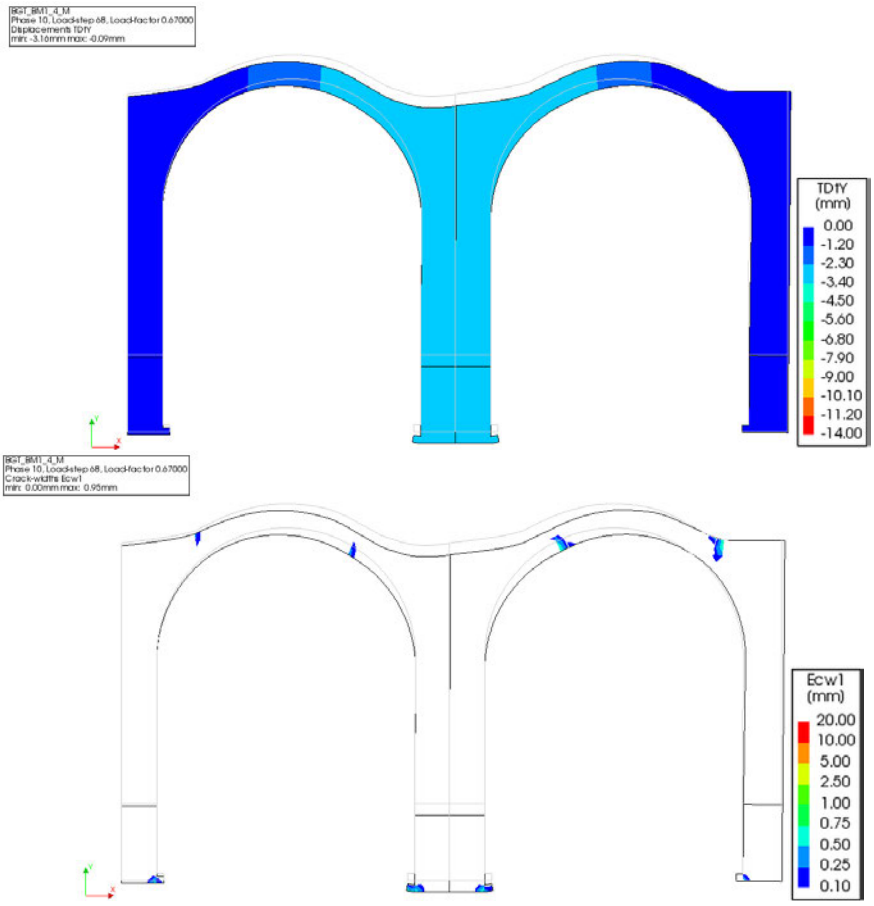


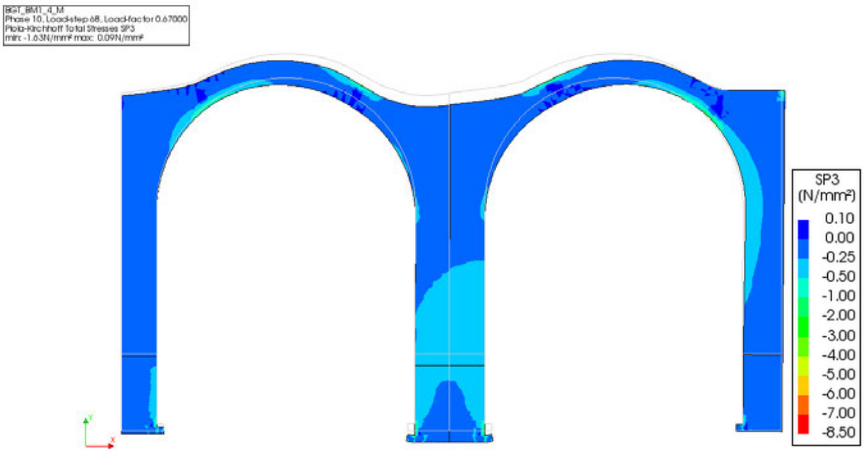
Afbeelding II.61 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-L



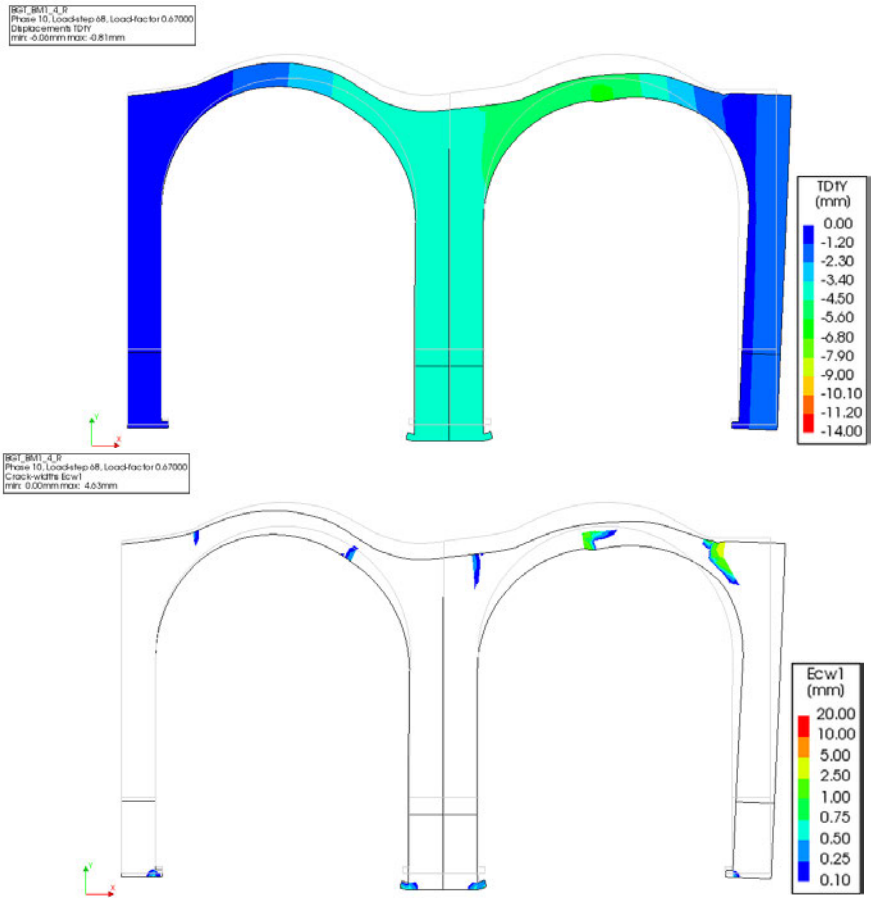


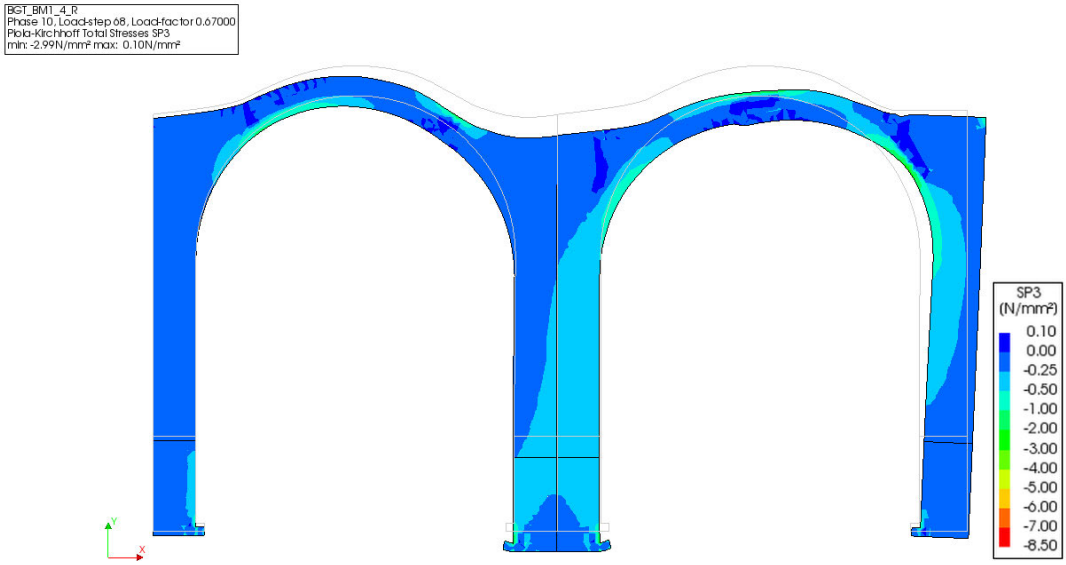
Afbeelding II.62 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-M





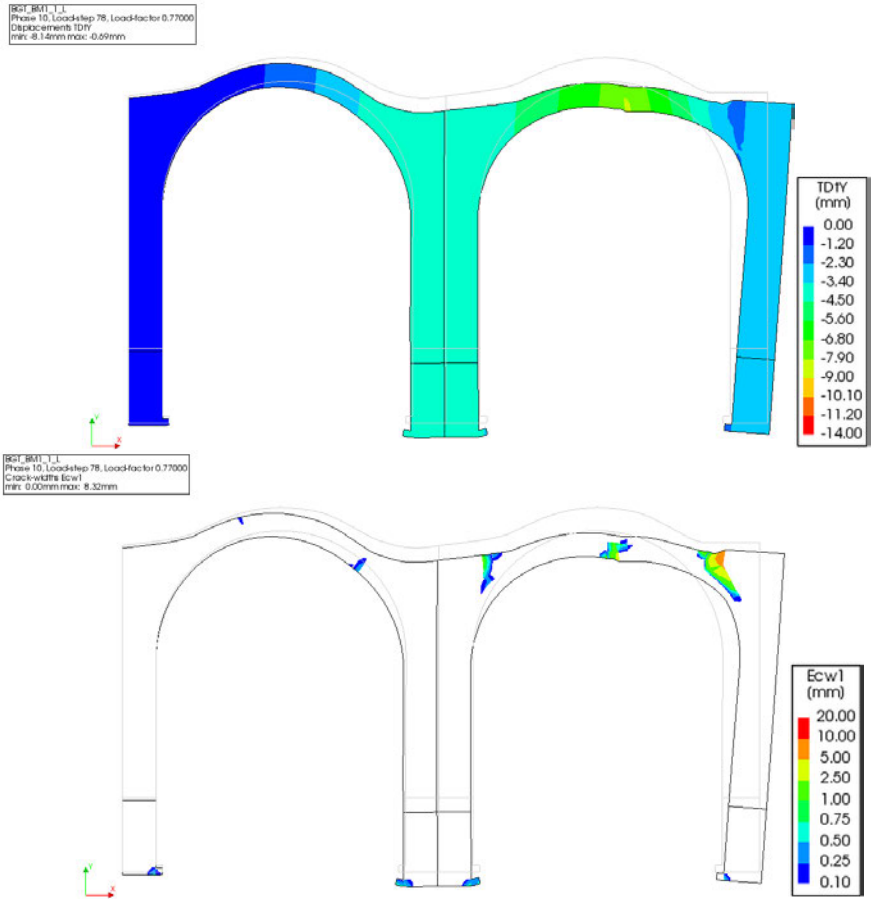
Afbeelding II.63 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-R

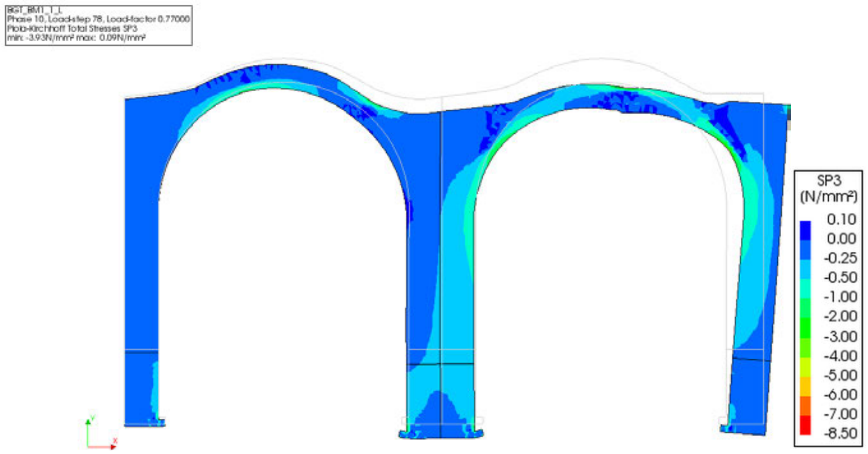




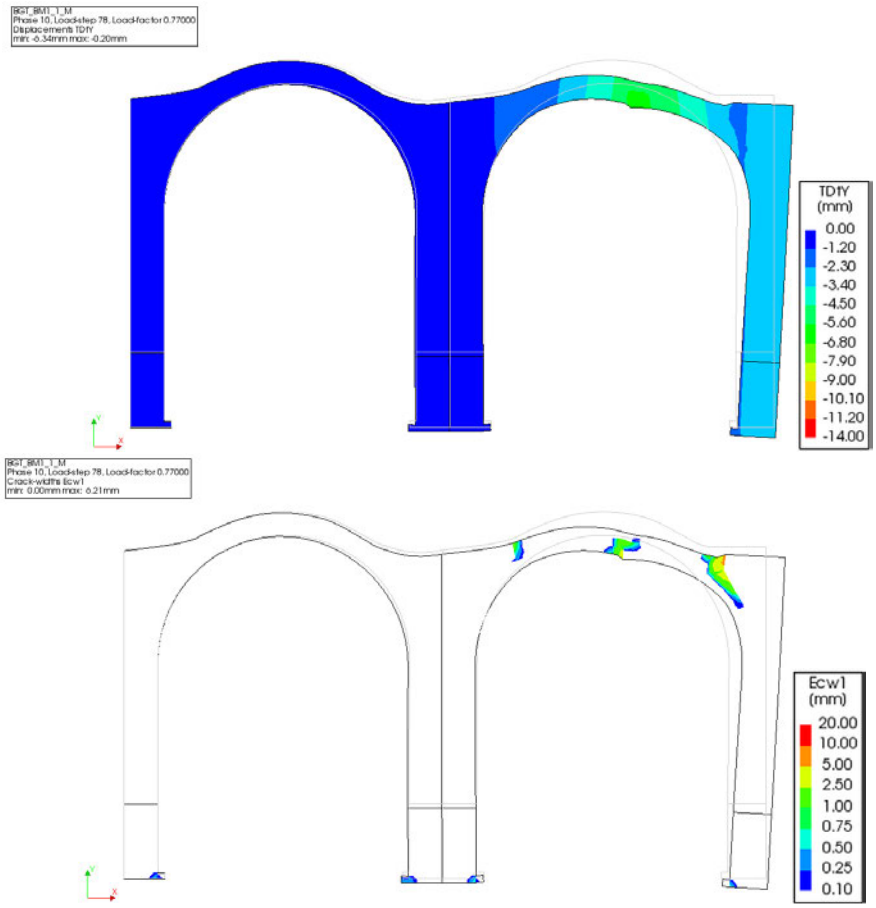
BGT-C20 - 10 ton

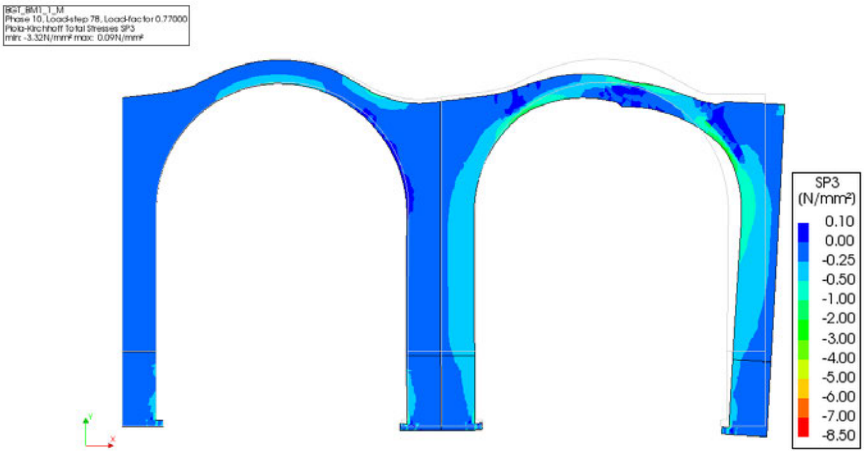
Afbeelding II.64 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 1-L



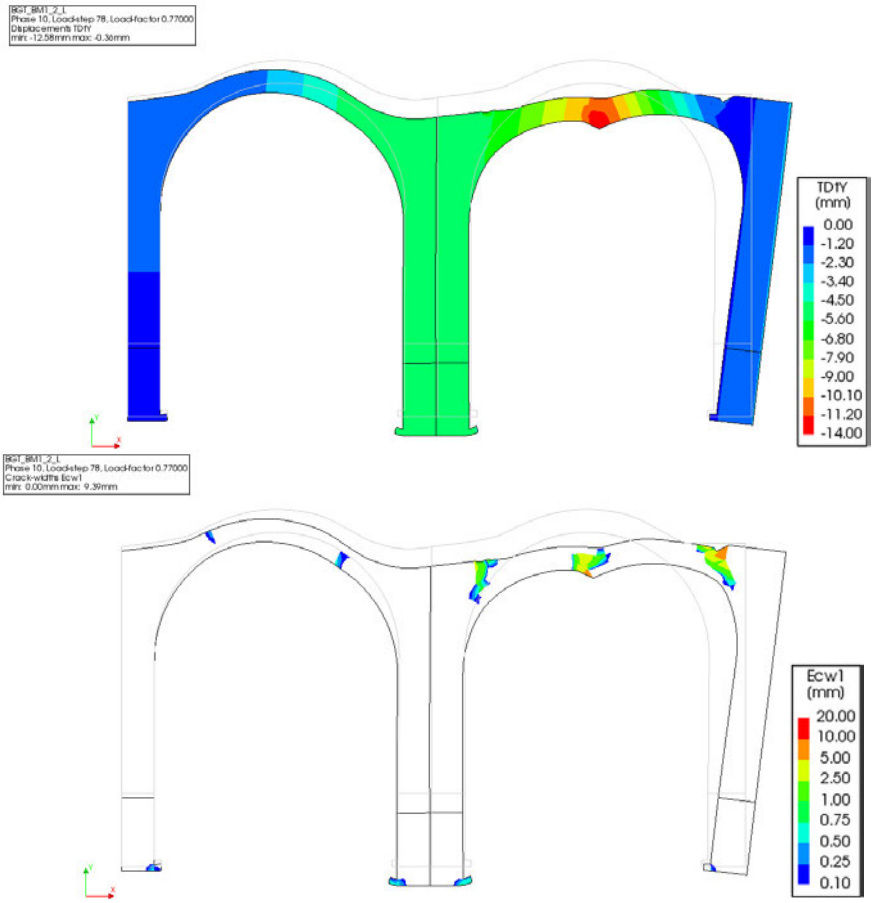


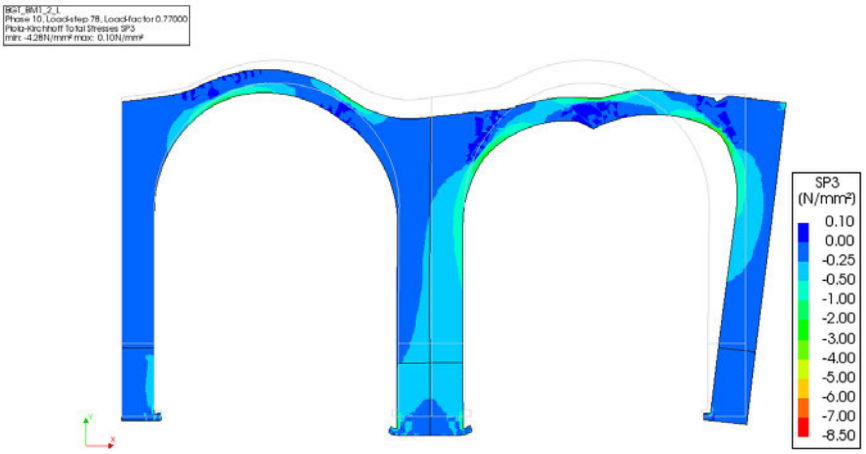
Afbeelding II.65 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 1-M



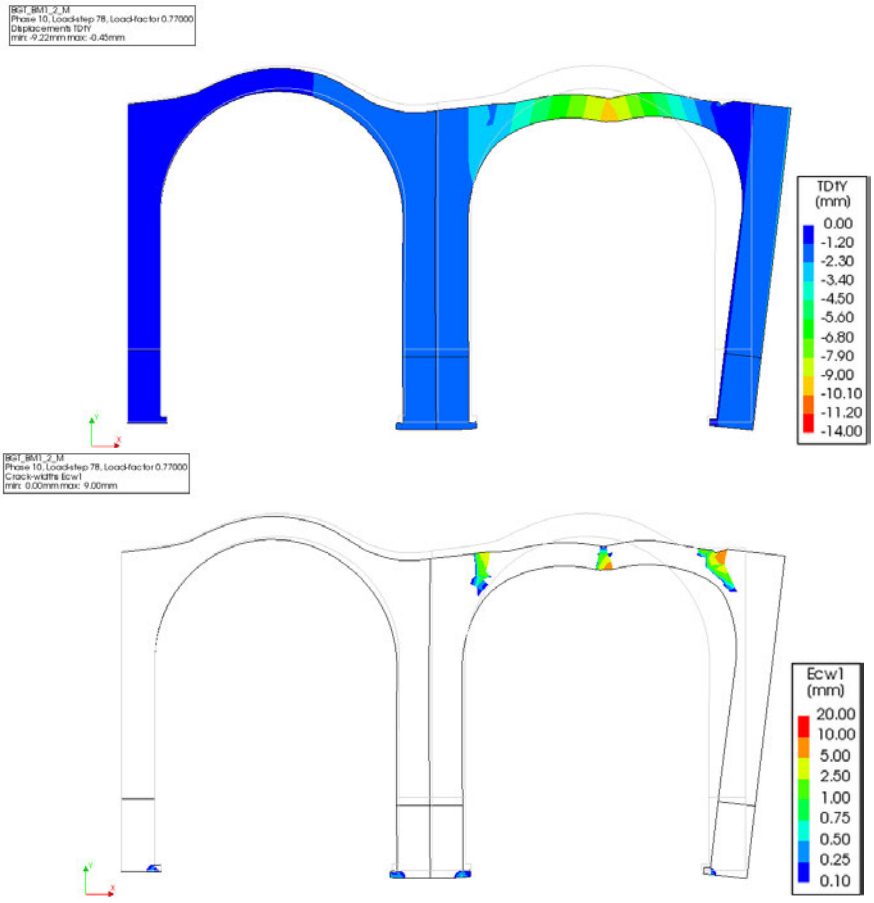


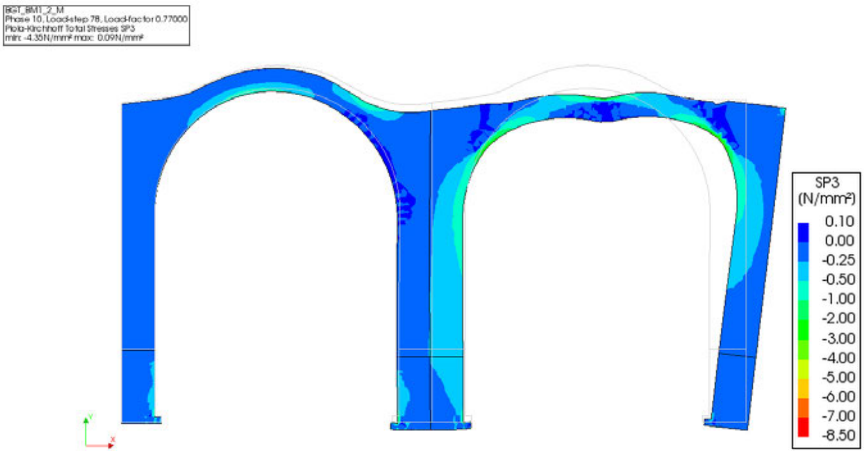
Afbeelding II.66 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 2-L



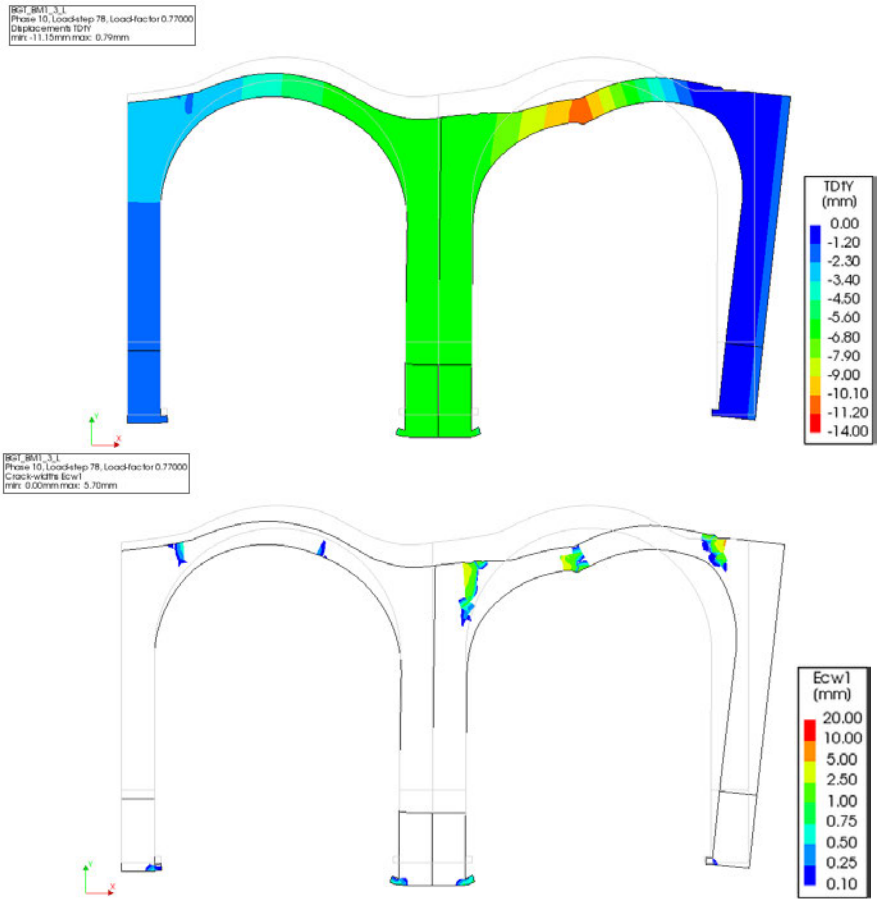


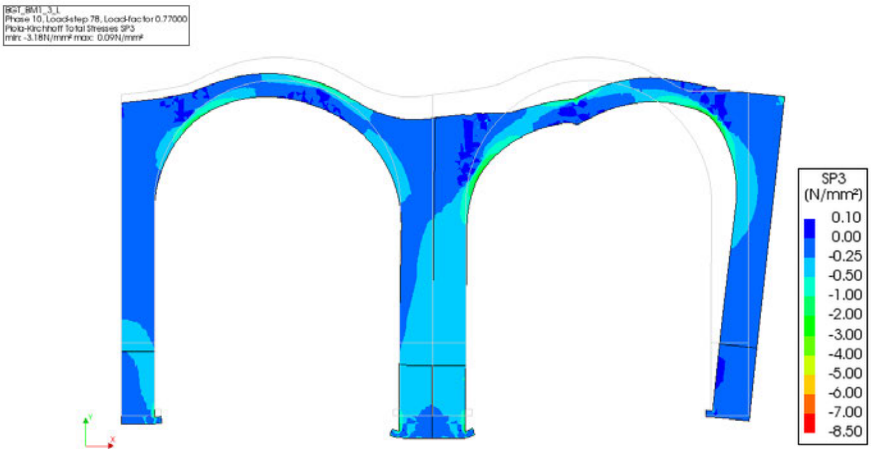
Afbeelding II.67 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 2-M



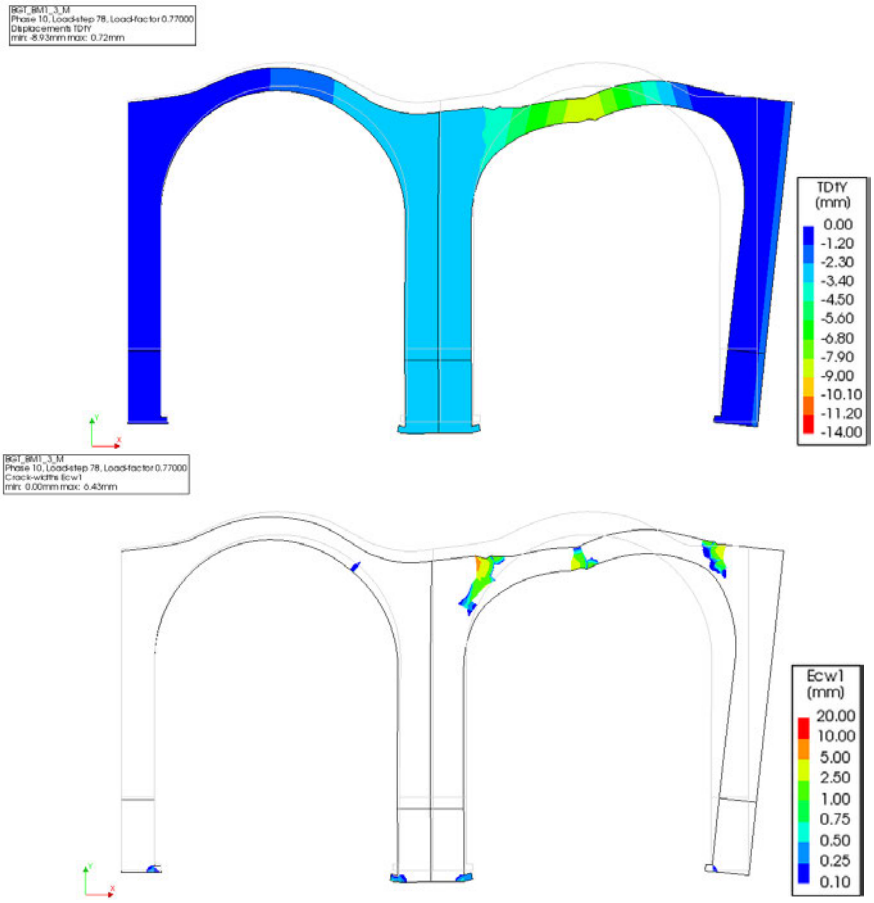


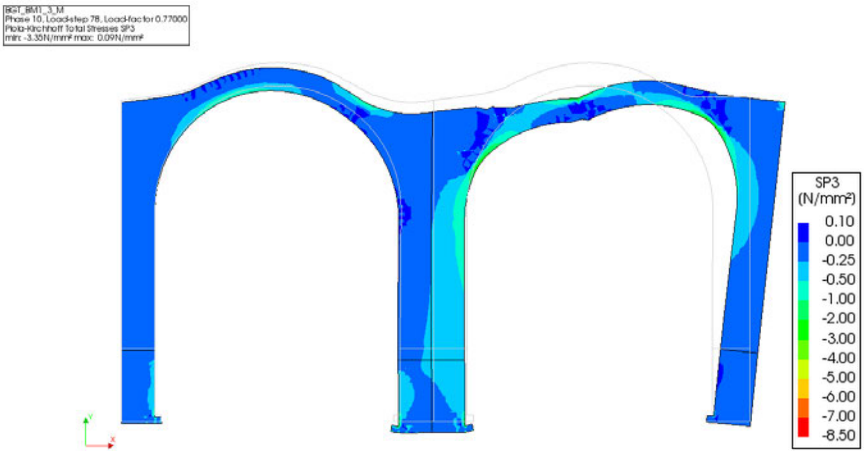
Afbeelding II.68 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 3-L



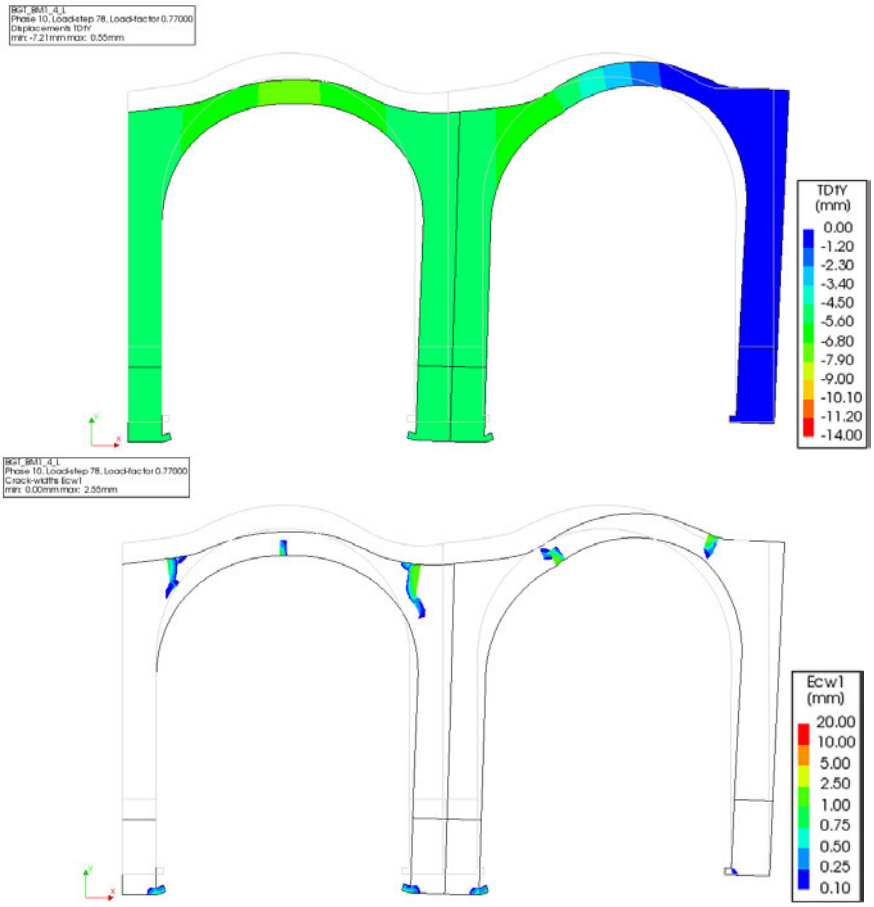


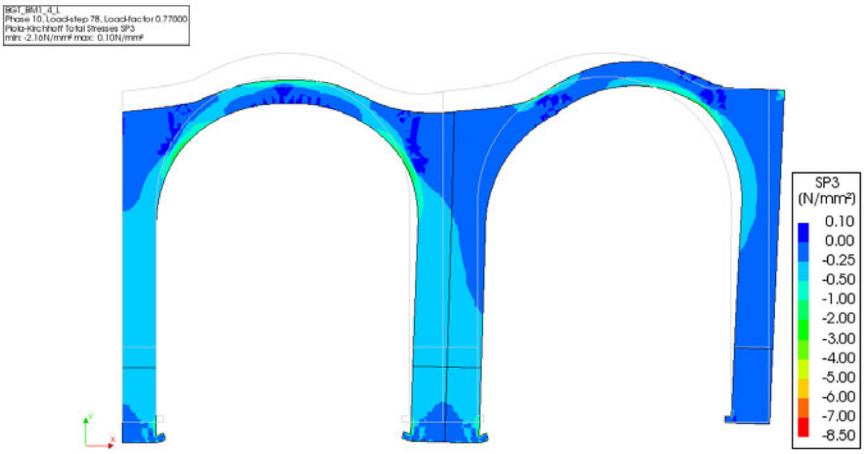
Afbeelding II.69 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 3-M



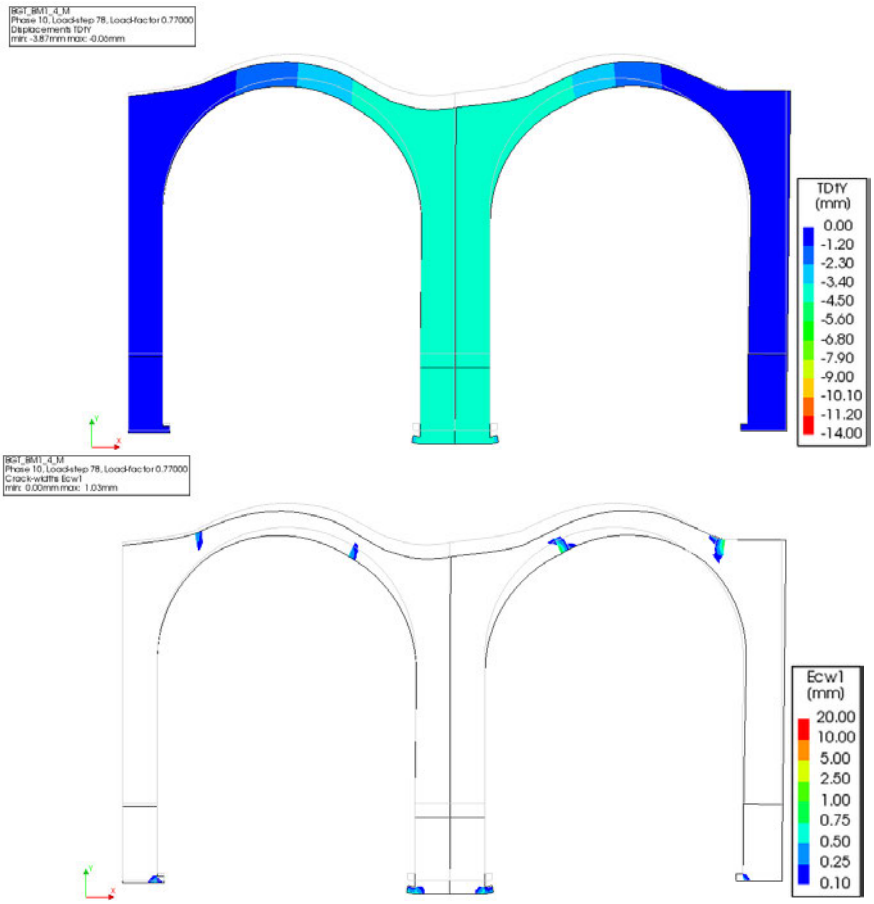


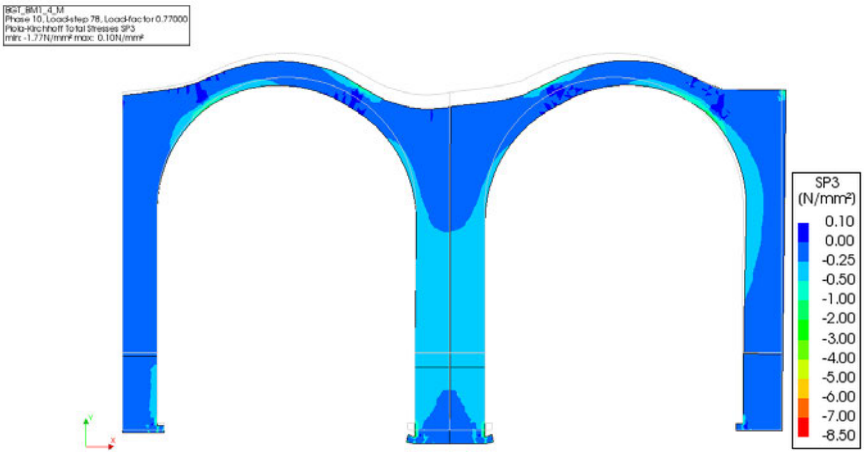
Afbeelding II.70 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 4-L



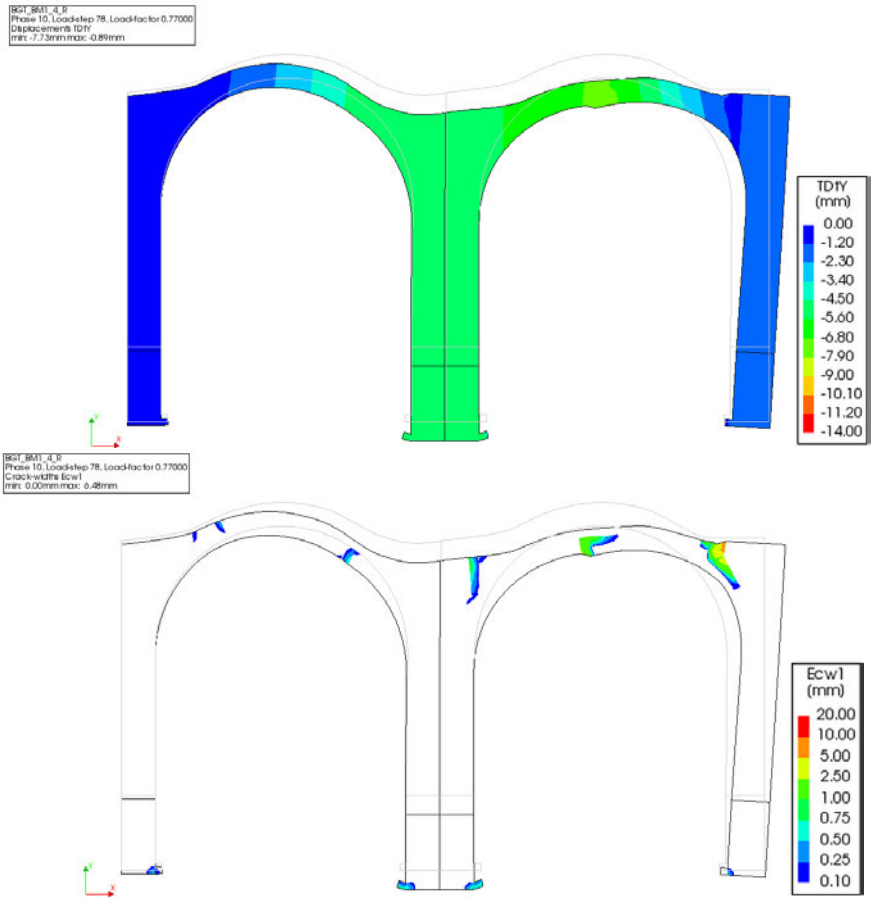


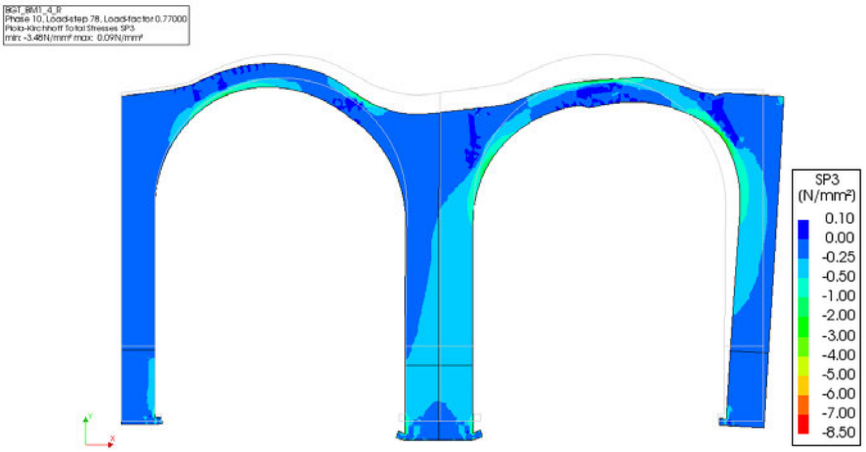
Afbeelding II.71 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 4-M





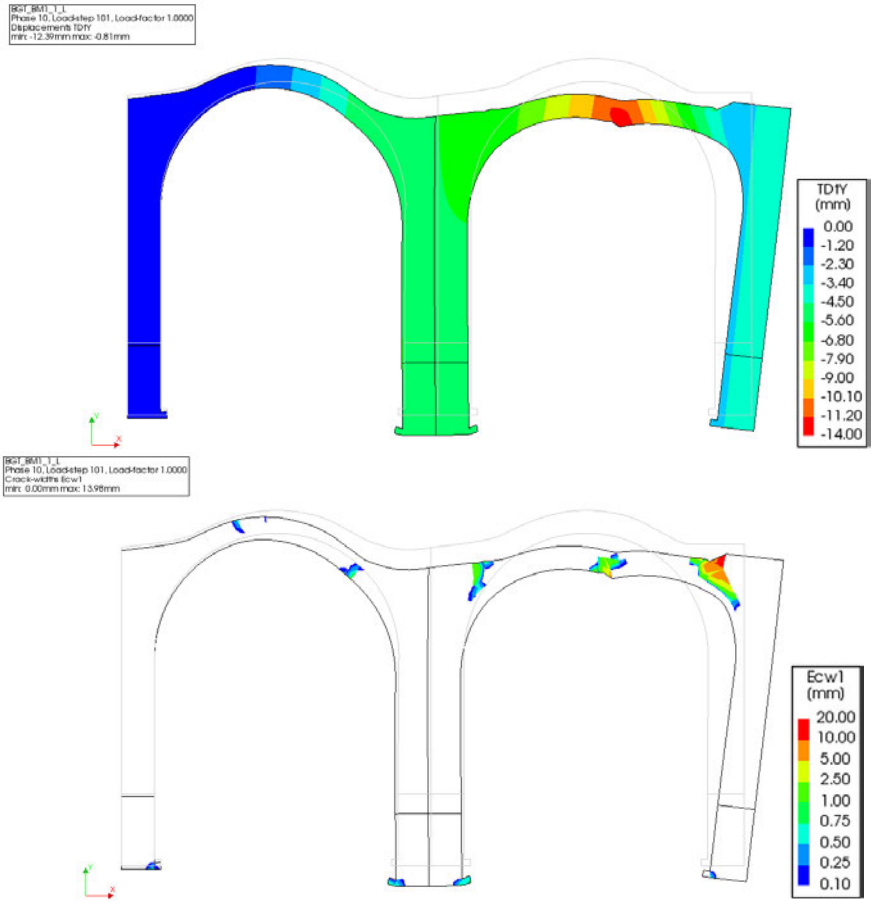
Afbeelding II.72 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 4-R

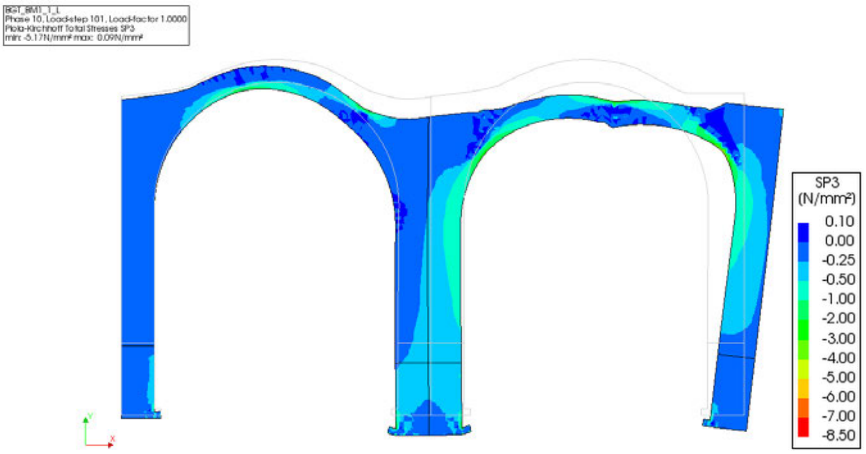




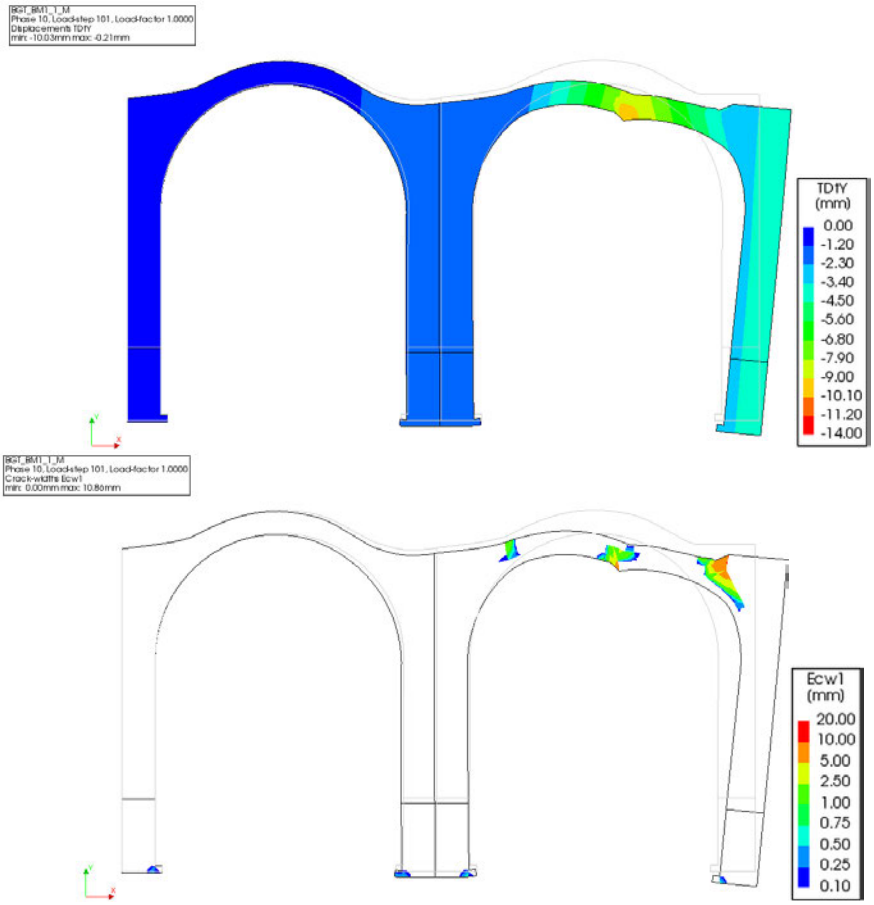
BGT-C20 - 12 ton

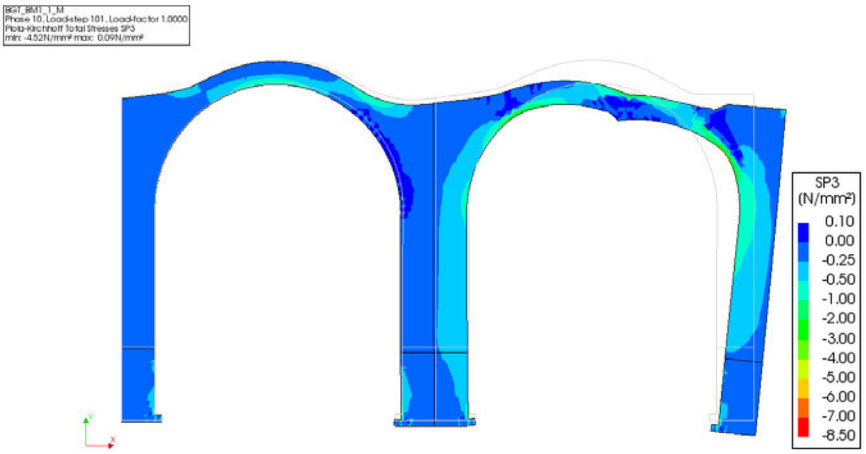
Afbeelding II.73 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 1-L



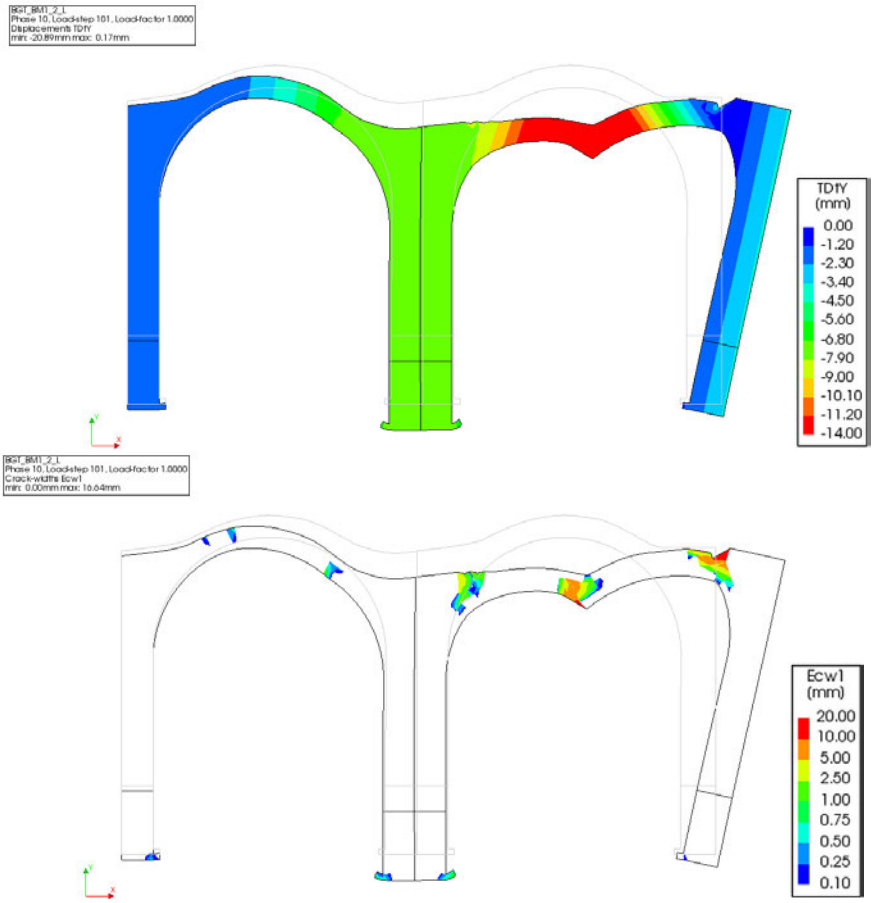


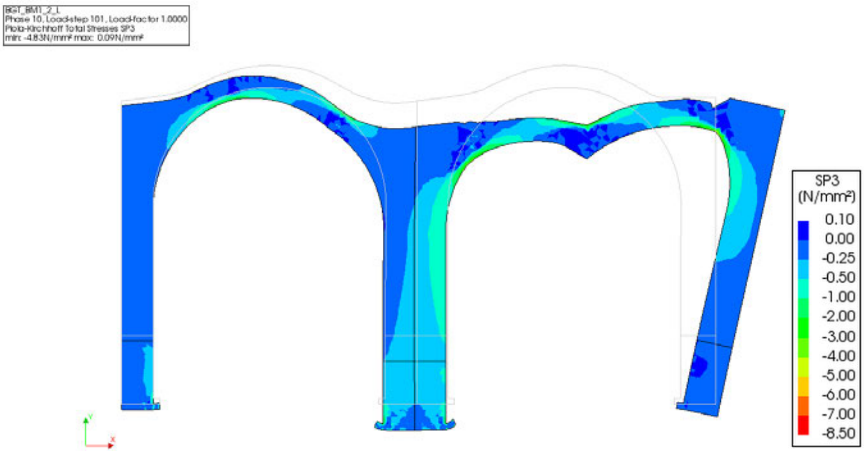
Afbeelding II.74 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 1-M



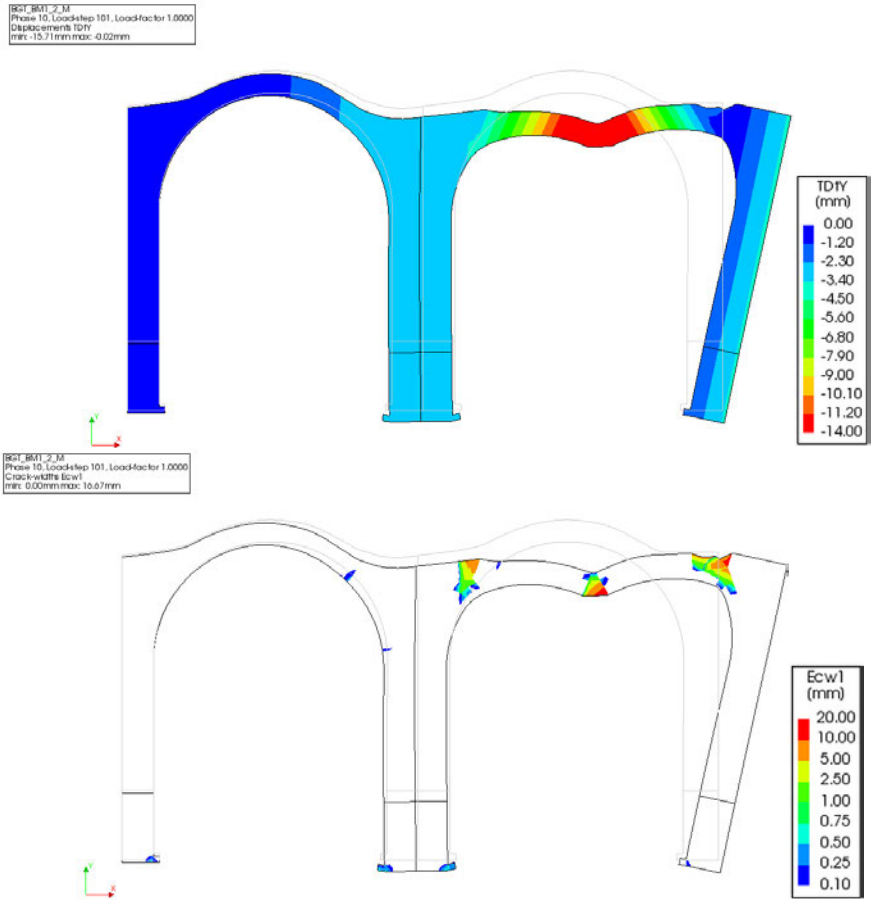


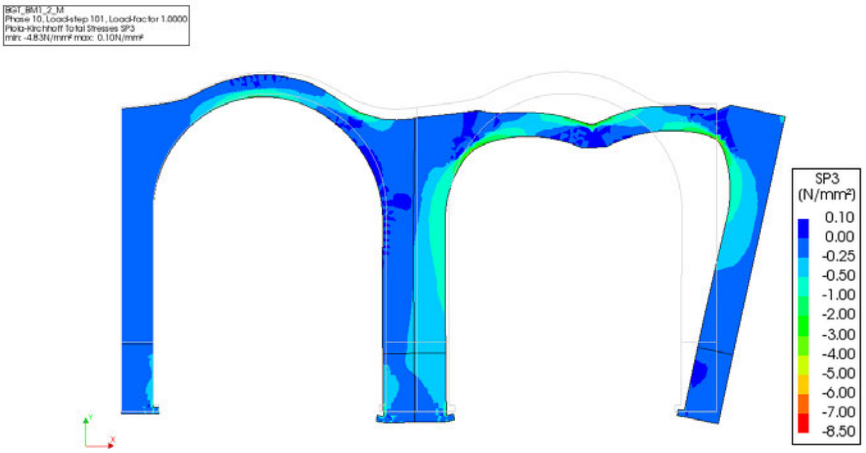
Afbeelding II.75 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 2-L



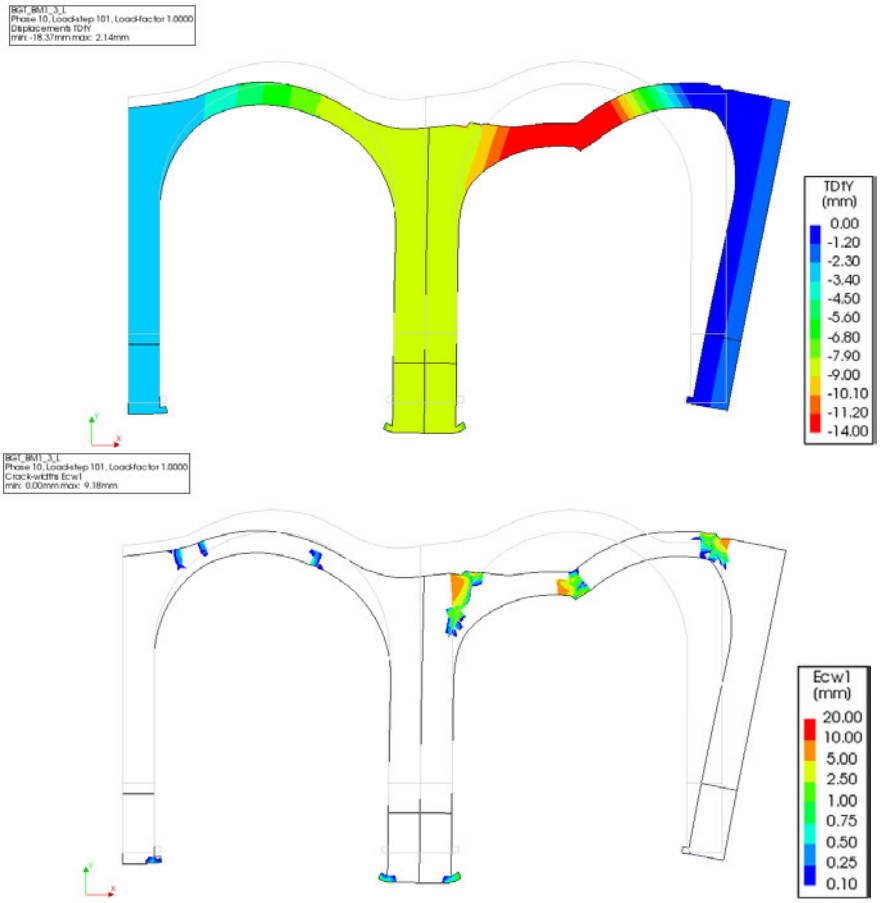


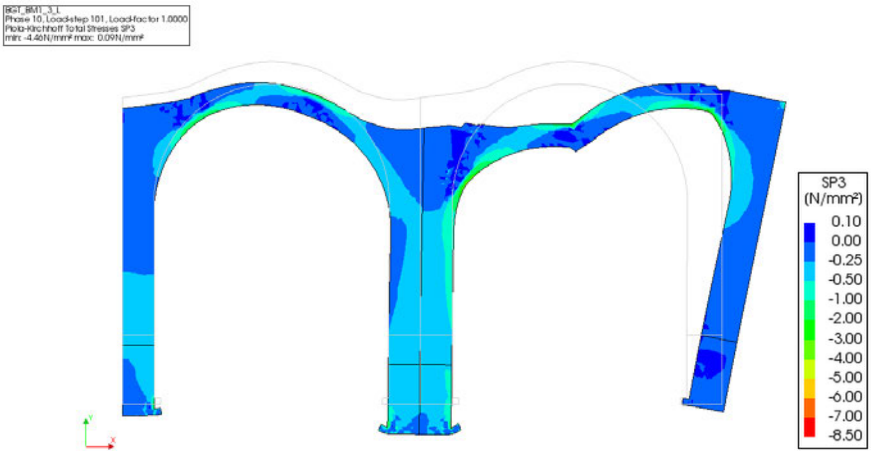
Afbeelding II.76 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 2-M



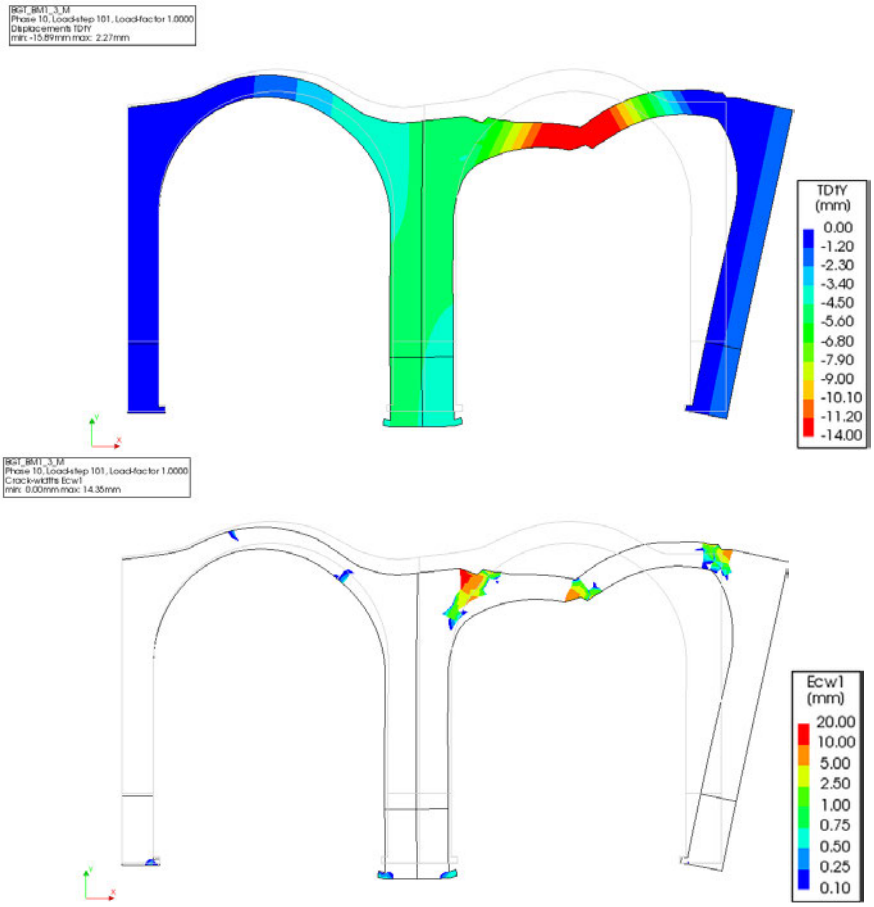


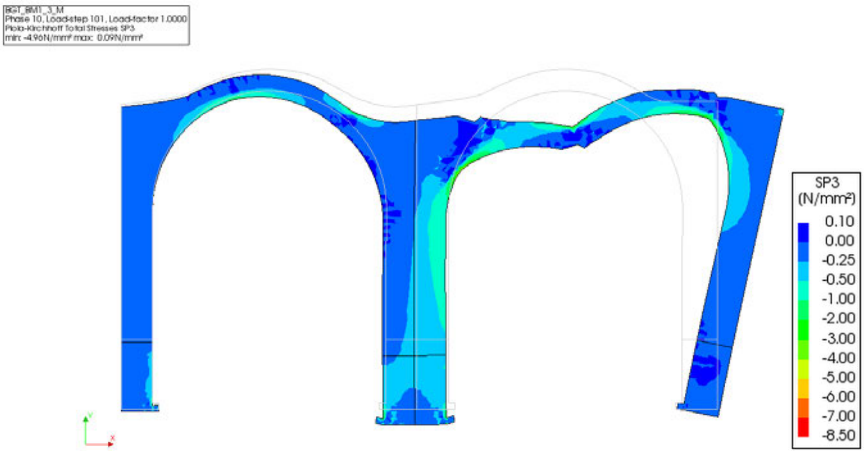
Afbeelding II.77 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 3-L



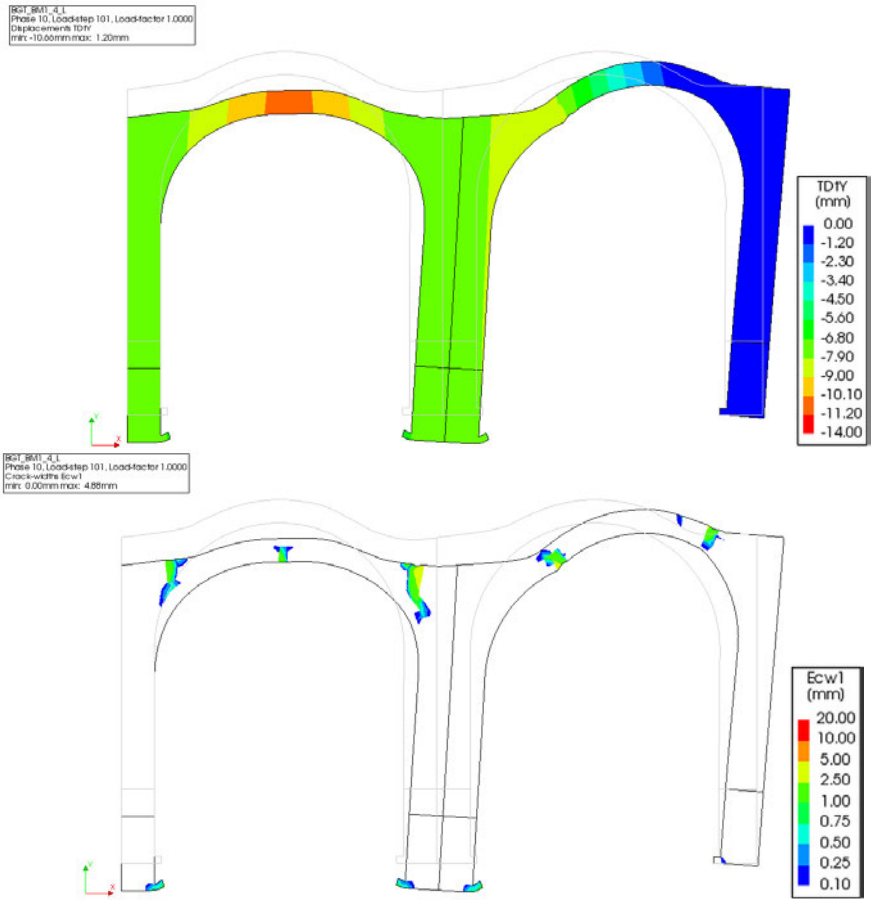


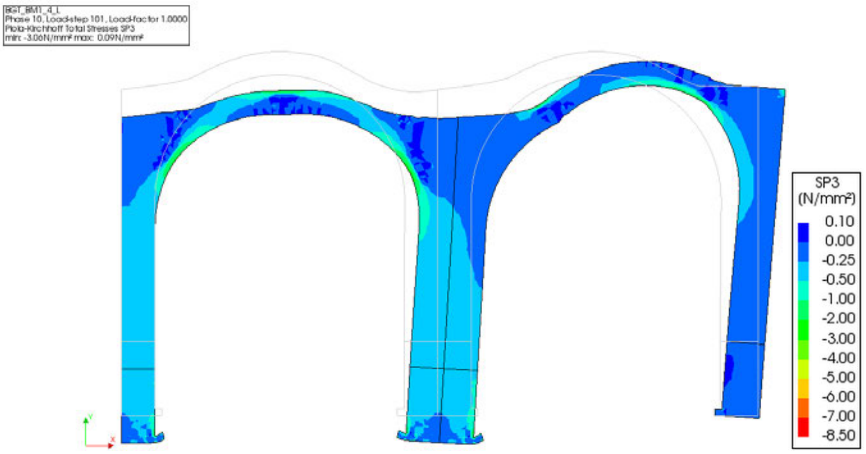
Afbeelding II.78 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 3-M



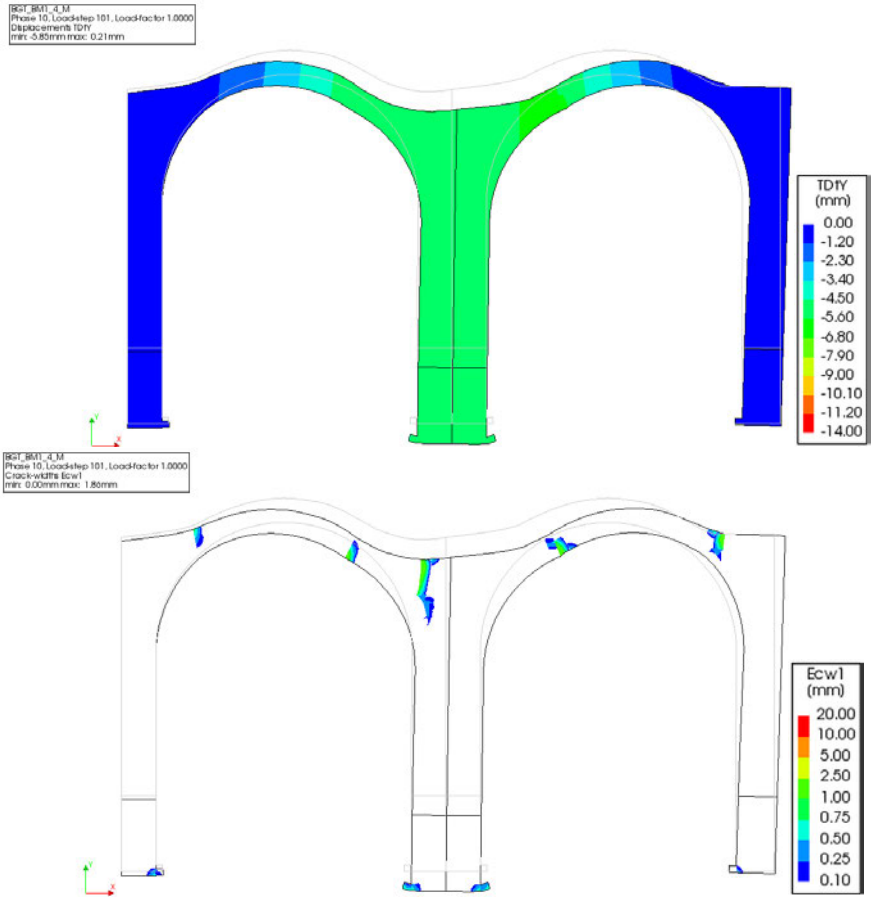


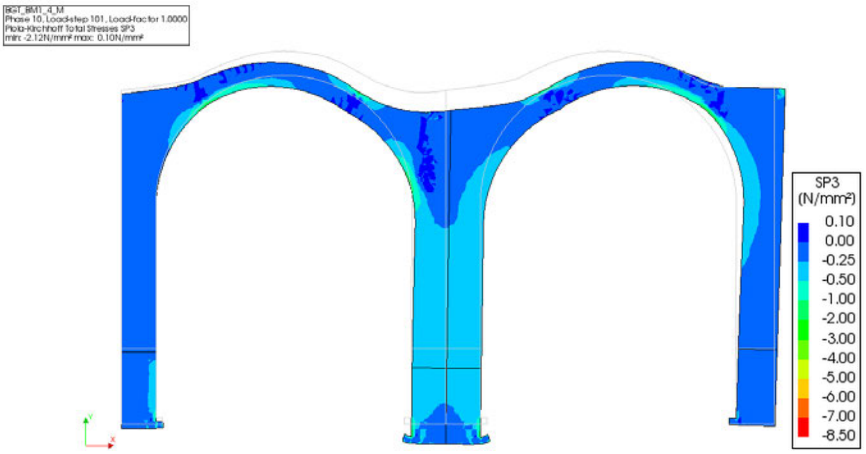
Afbeelding II.79 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 4-L



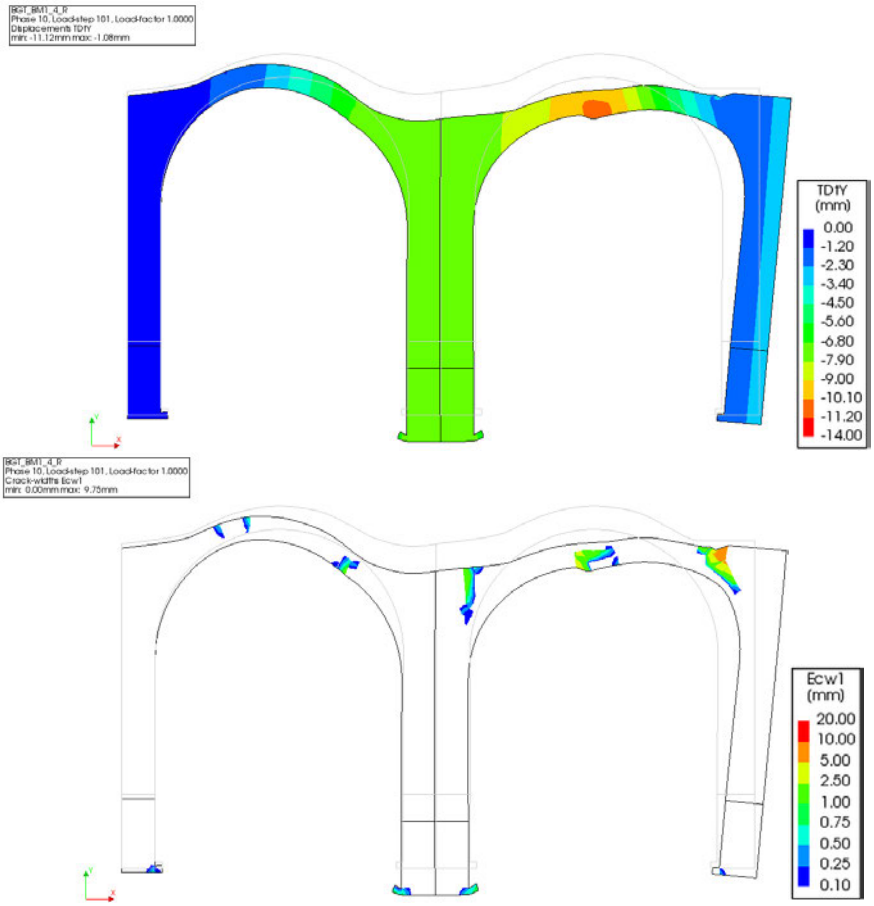


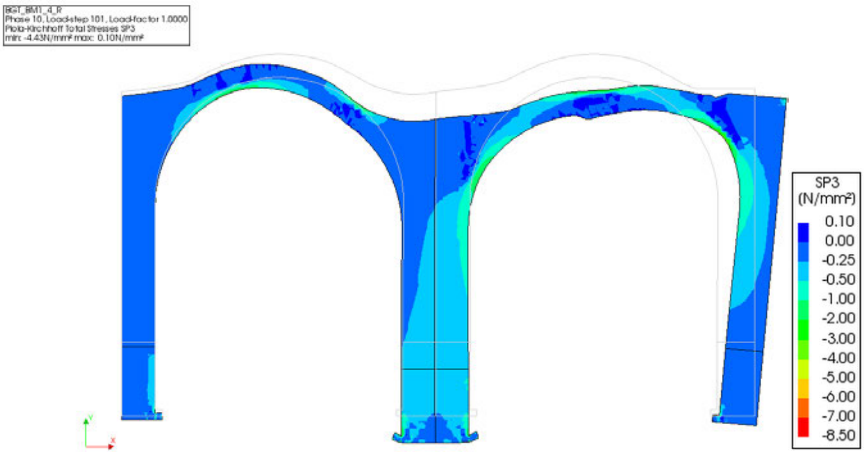
Afbeelding II.80 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 4-M





Afbeelding II.81 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 4-R

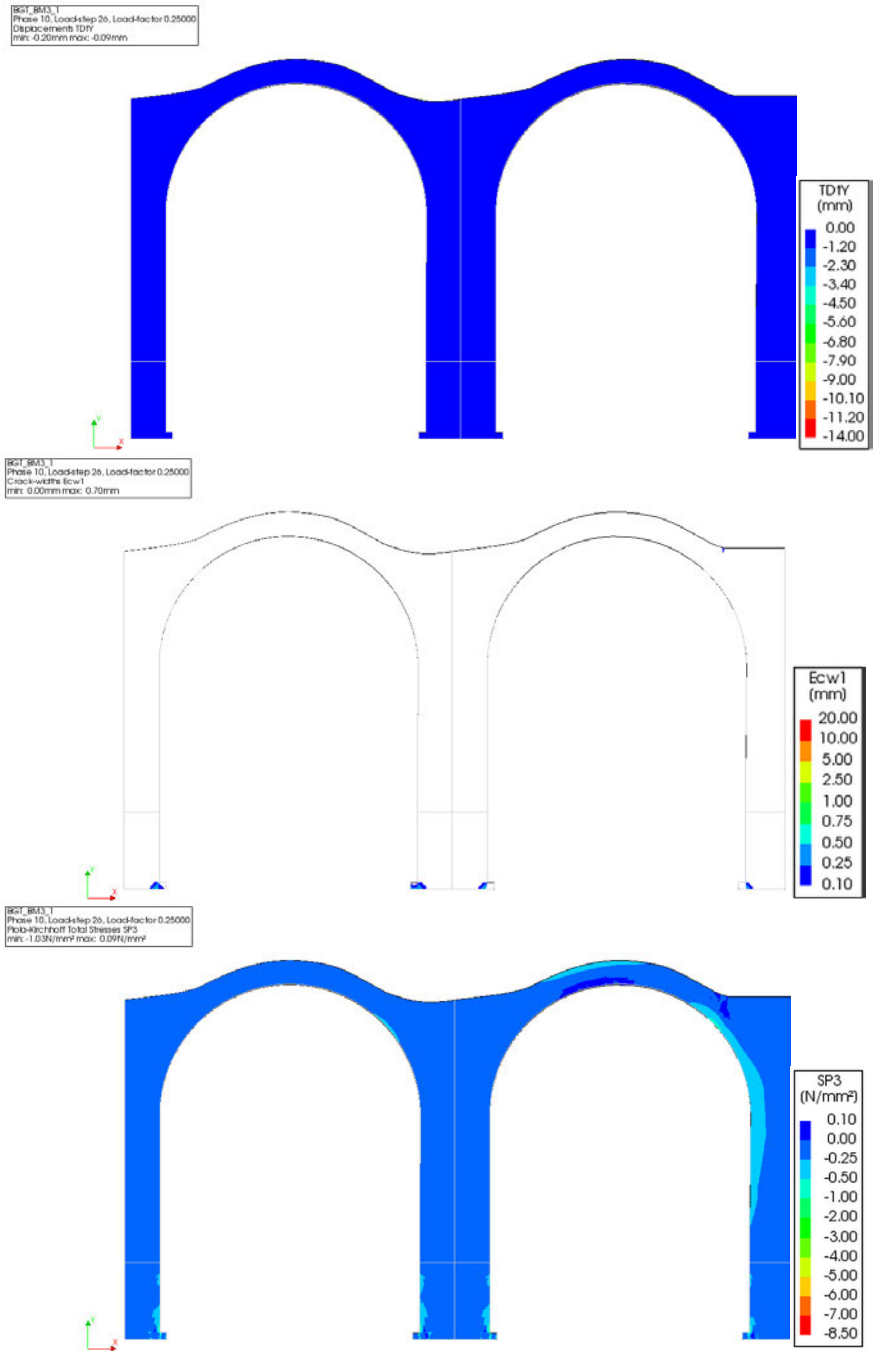



BGT_BM1_4_II
Phase:10, Loadstep:101, Loadfactor:1.0000
Plaxis Kirchhoff Total Stresses SP3
min: -4.43N/mm² max: 0.10N/mm²
SP3
(N/mm²)
0.10
0.00
-0.25
-0.50
-1.00
-2.00
-3.00
-4.00
-5.00
-6.00
-7.00
-8.50

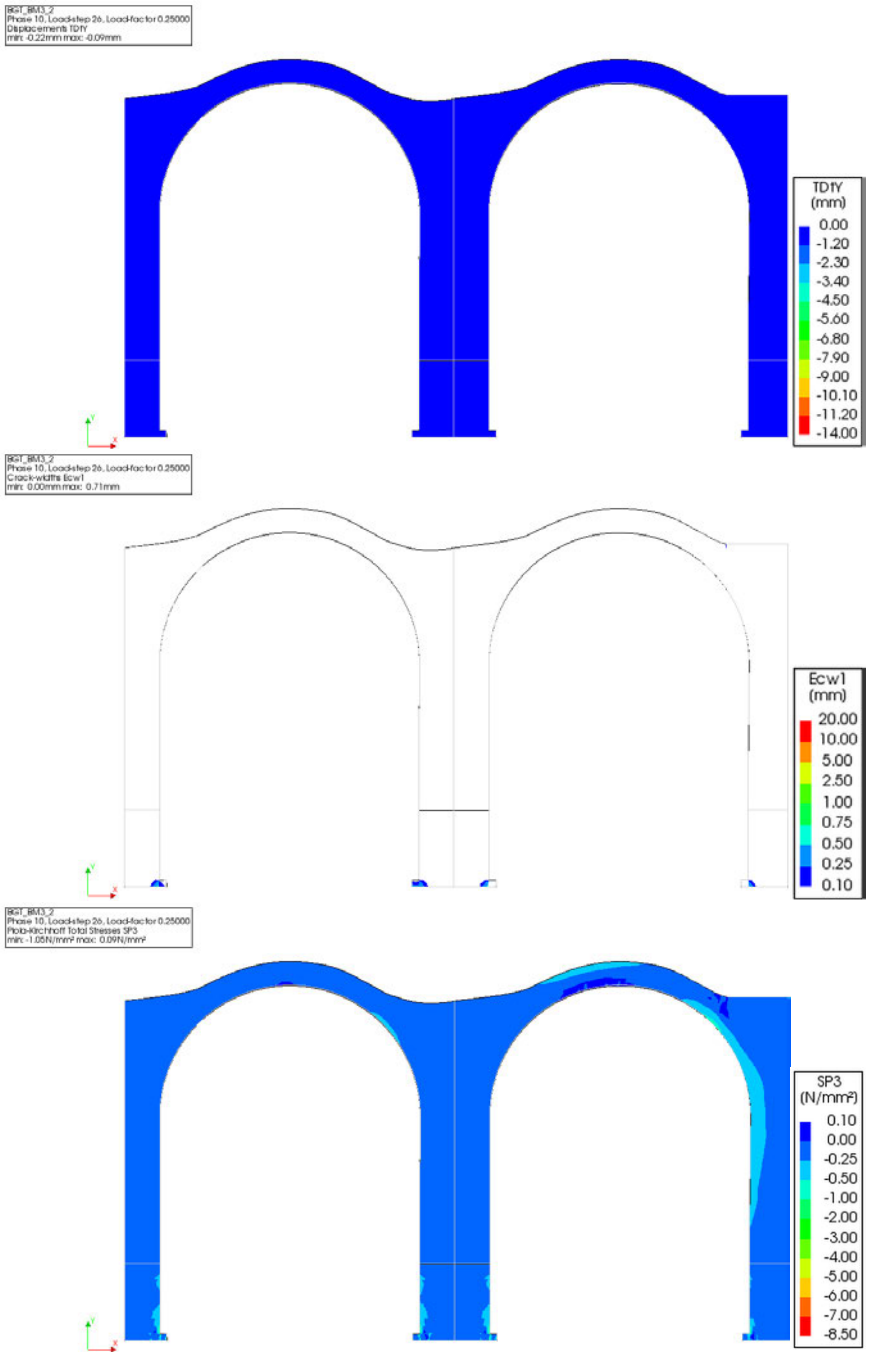
BIJLAGE: BGT RESULTATEN - BM3 BELASTING

BGT-BM3 - 25% Belasting

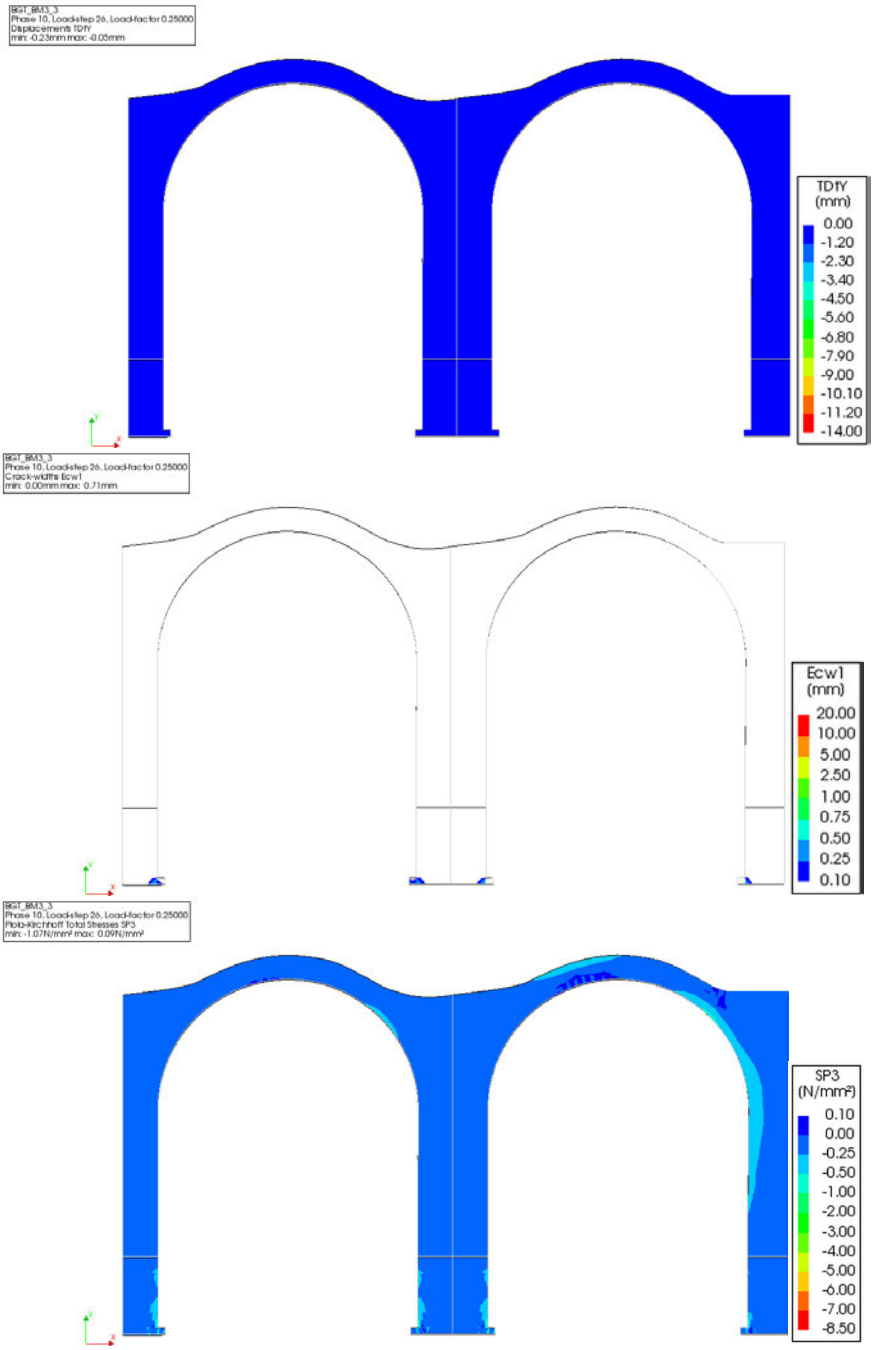
Afbeelding III.1 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25% belasting en belastingpositie 1



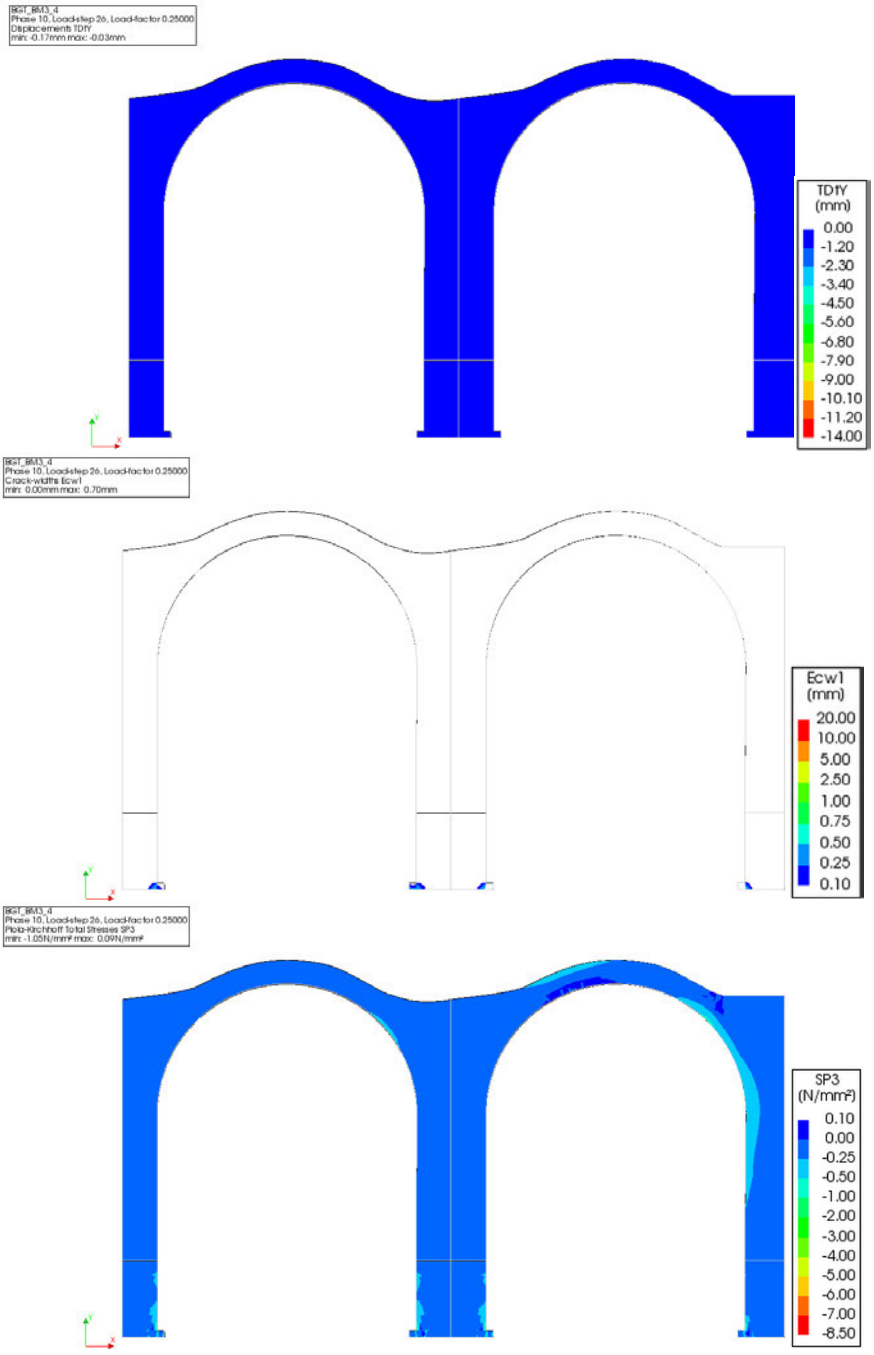
Afbeelding III.2 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25% belasting en belastingpositie 2



Afbeelding III.3 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25% belasting en belastingpositie 3

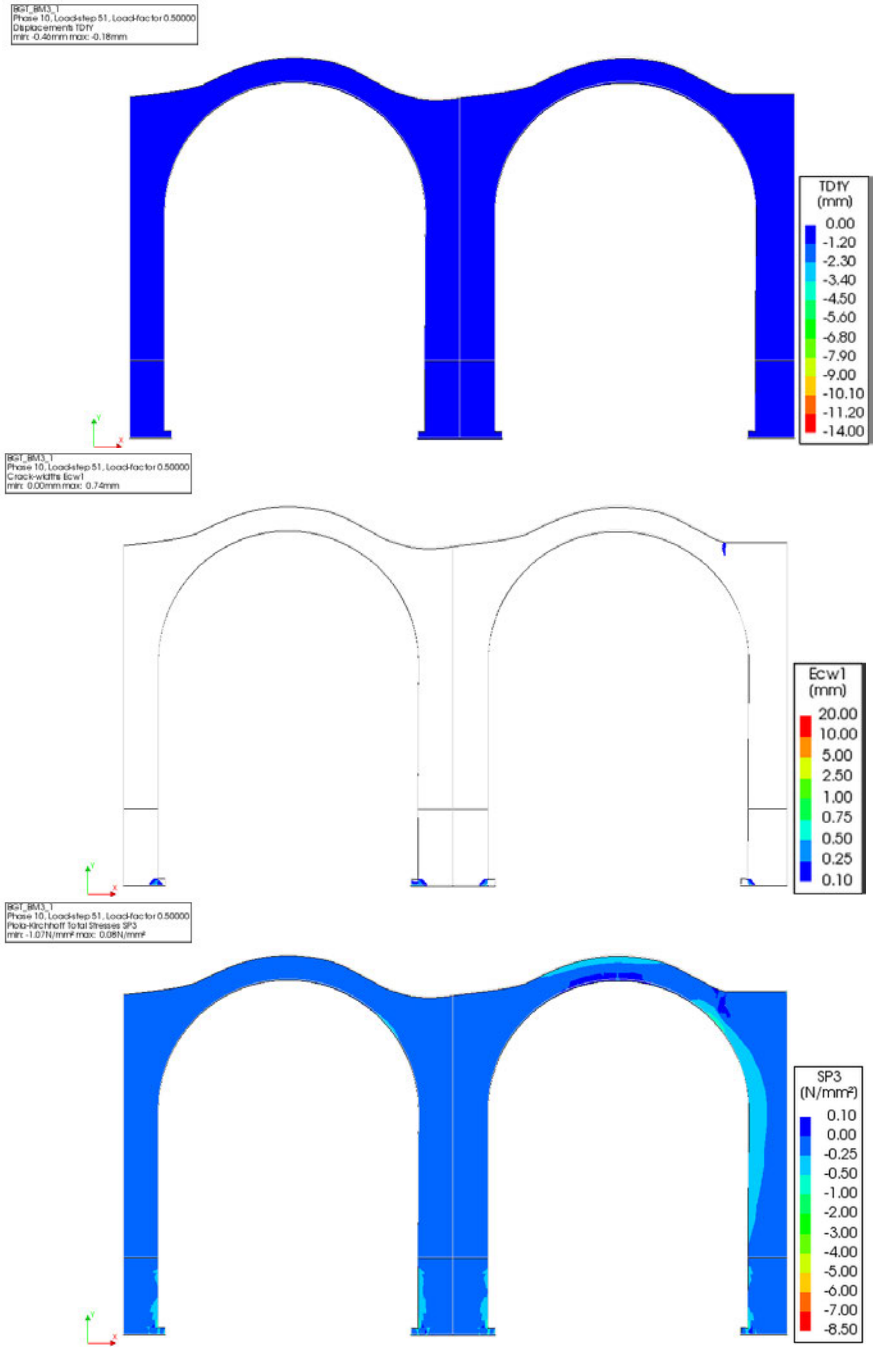


Afbeelding III.4 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25% belasting en belastingpositie 4

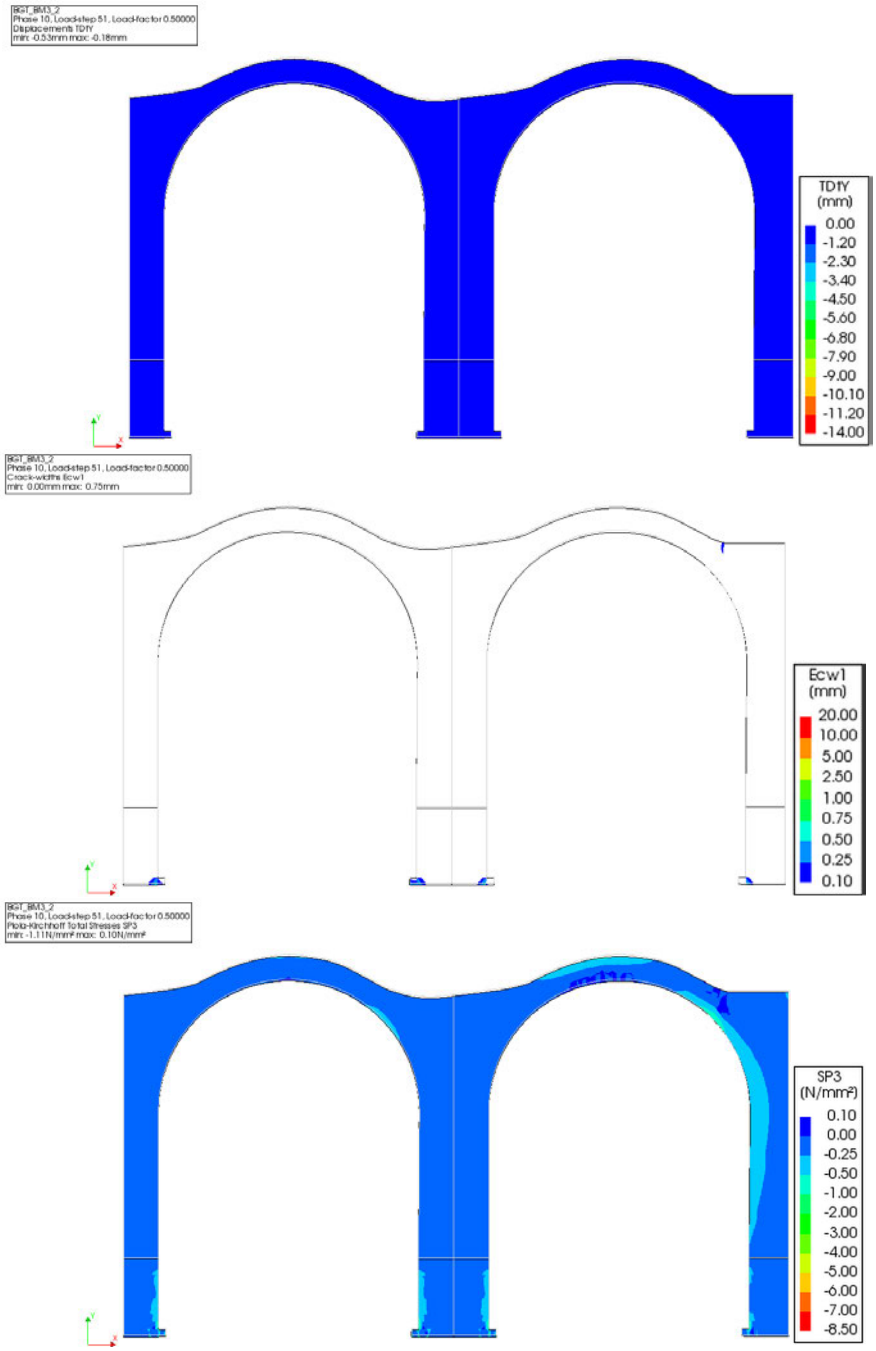


BGT-BM3 - 50% Belasting

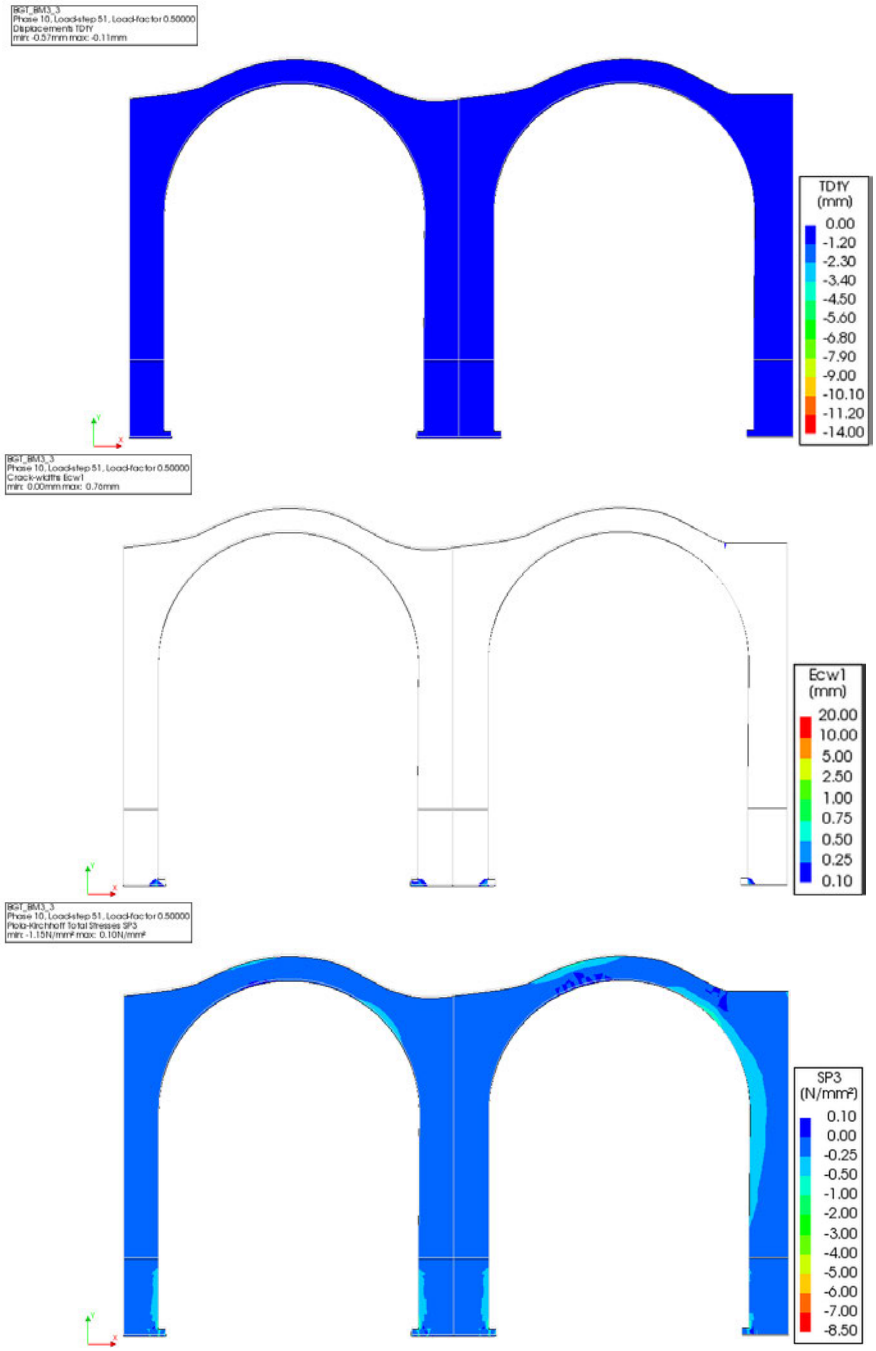
Afbeelding III.5 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50% belasting en belastingpositie 1



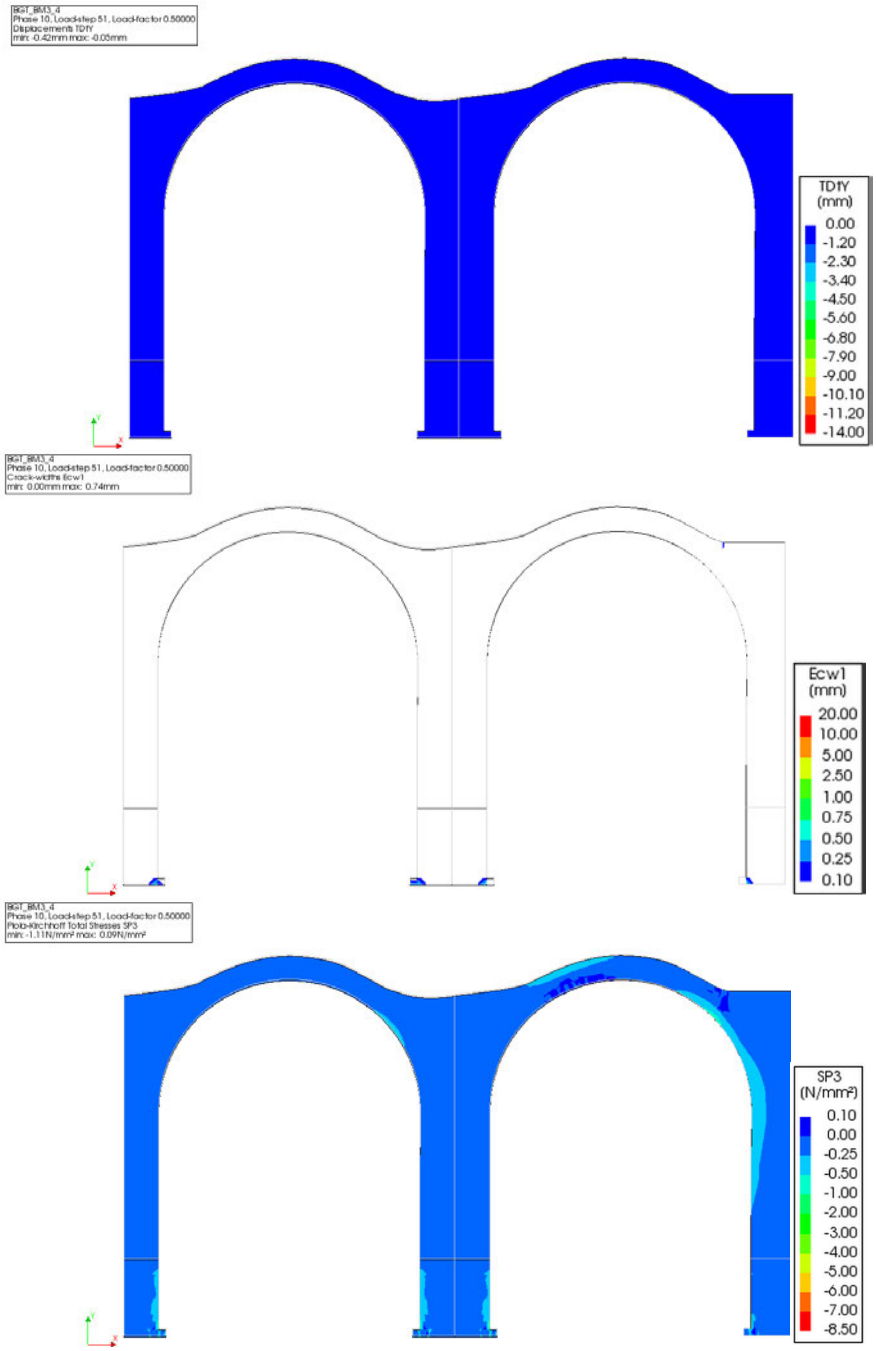
Afbeelding III.6 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50% belasting en belastingpositie 2



Afbeelding III.7 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50% belasting en belastingpositie 3

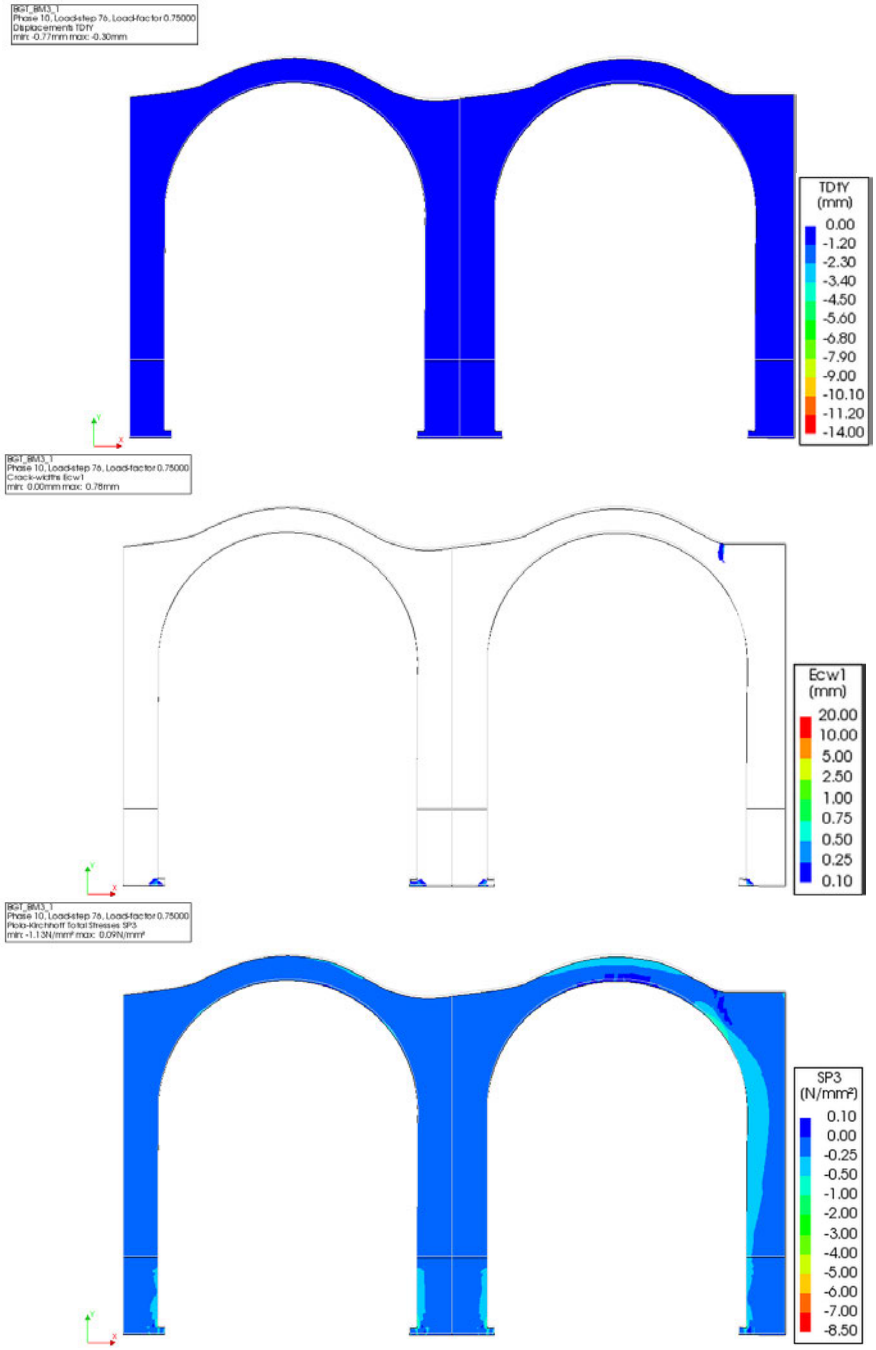


Afbeelding III.8 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50% belasting en belastingpositie 4

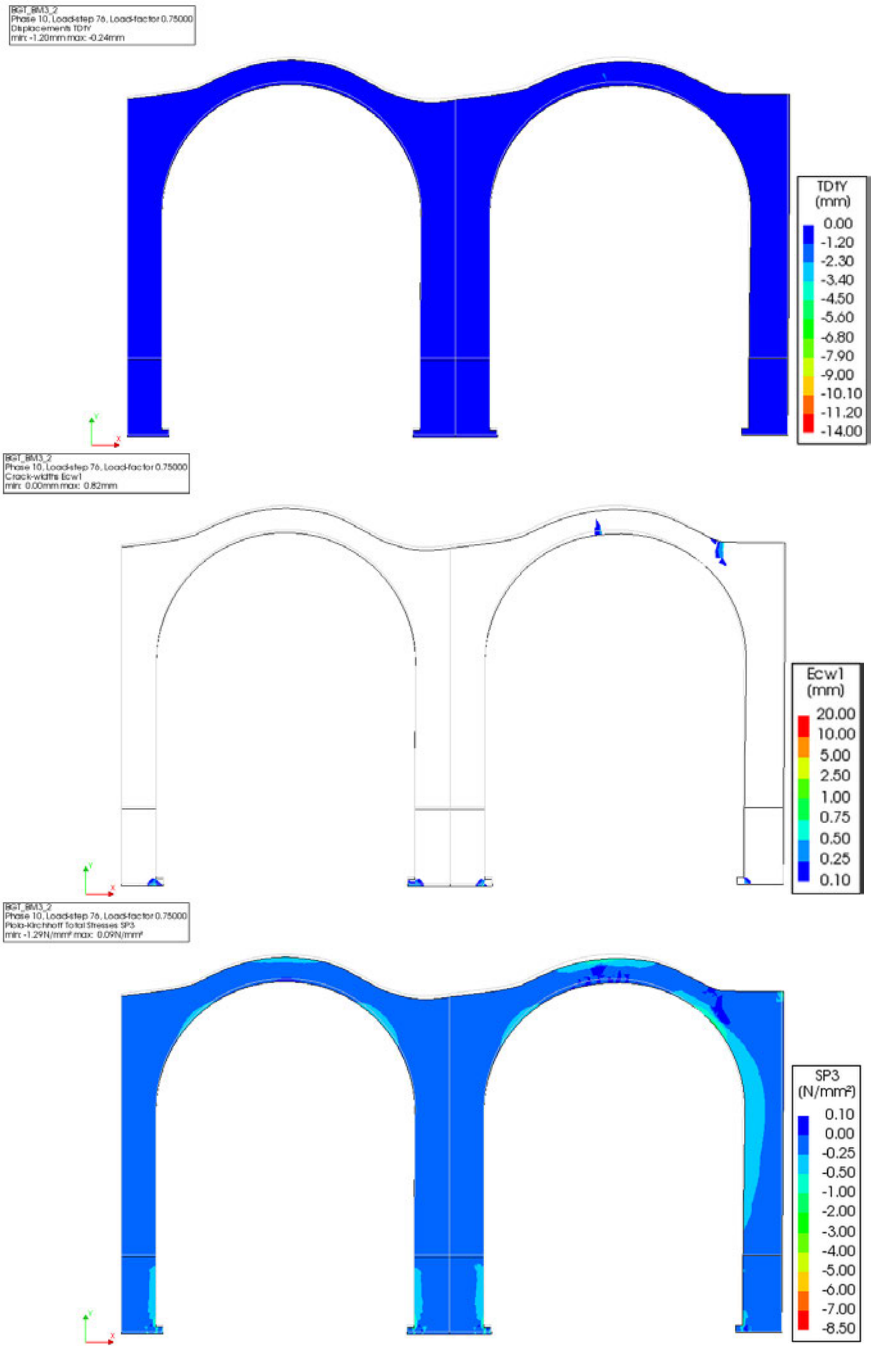


BGT-BM3 - 75% Belasting

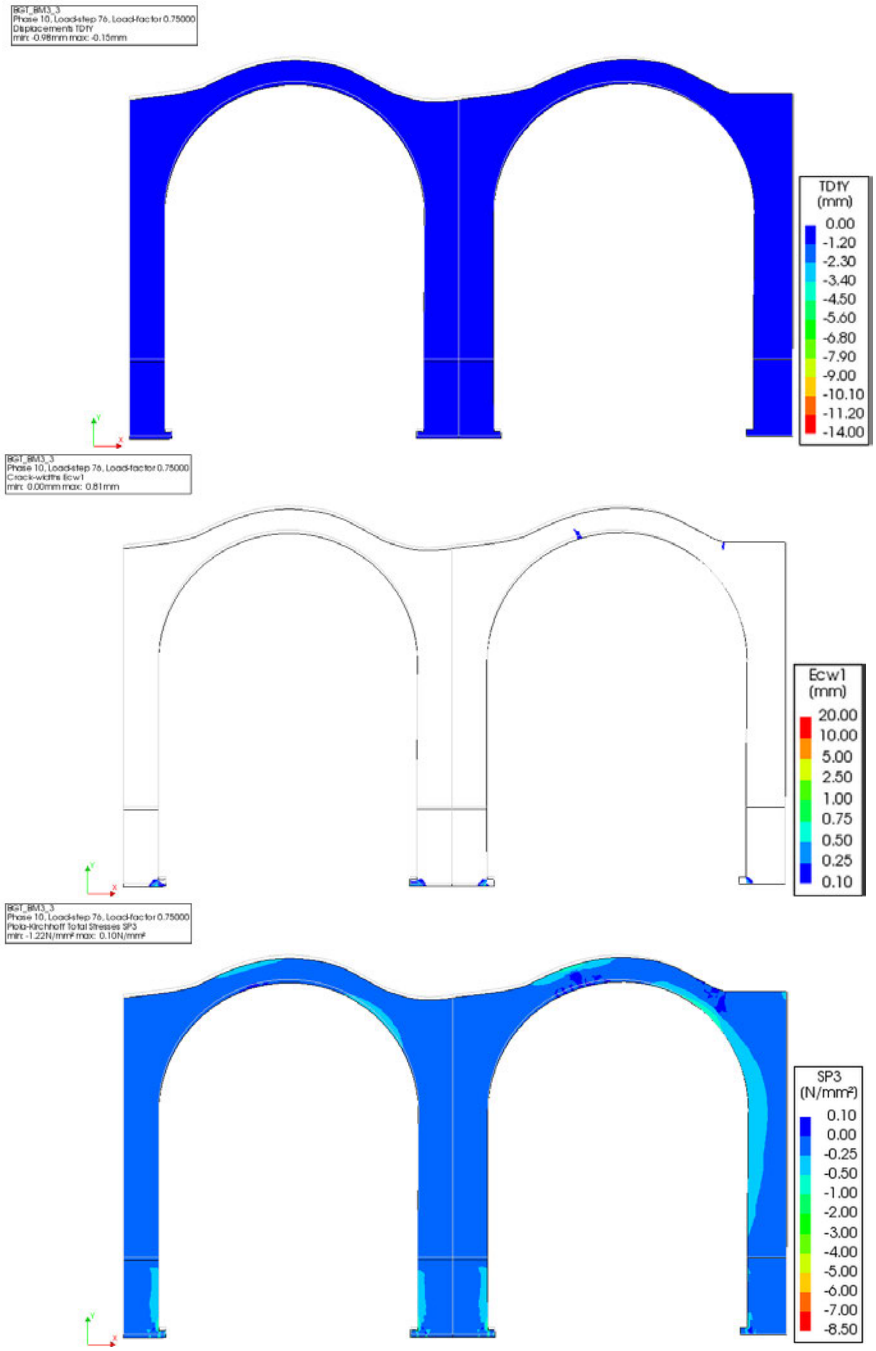
Afbeelding III.9 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75% belasting en belastingpositie 1



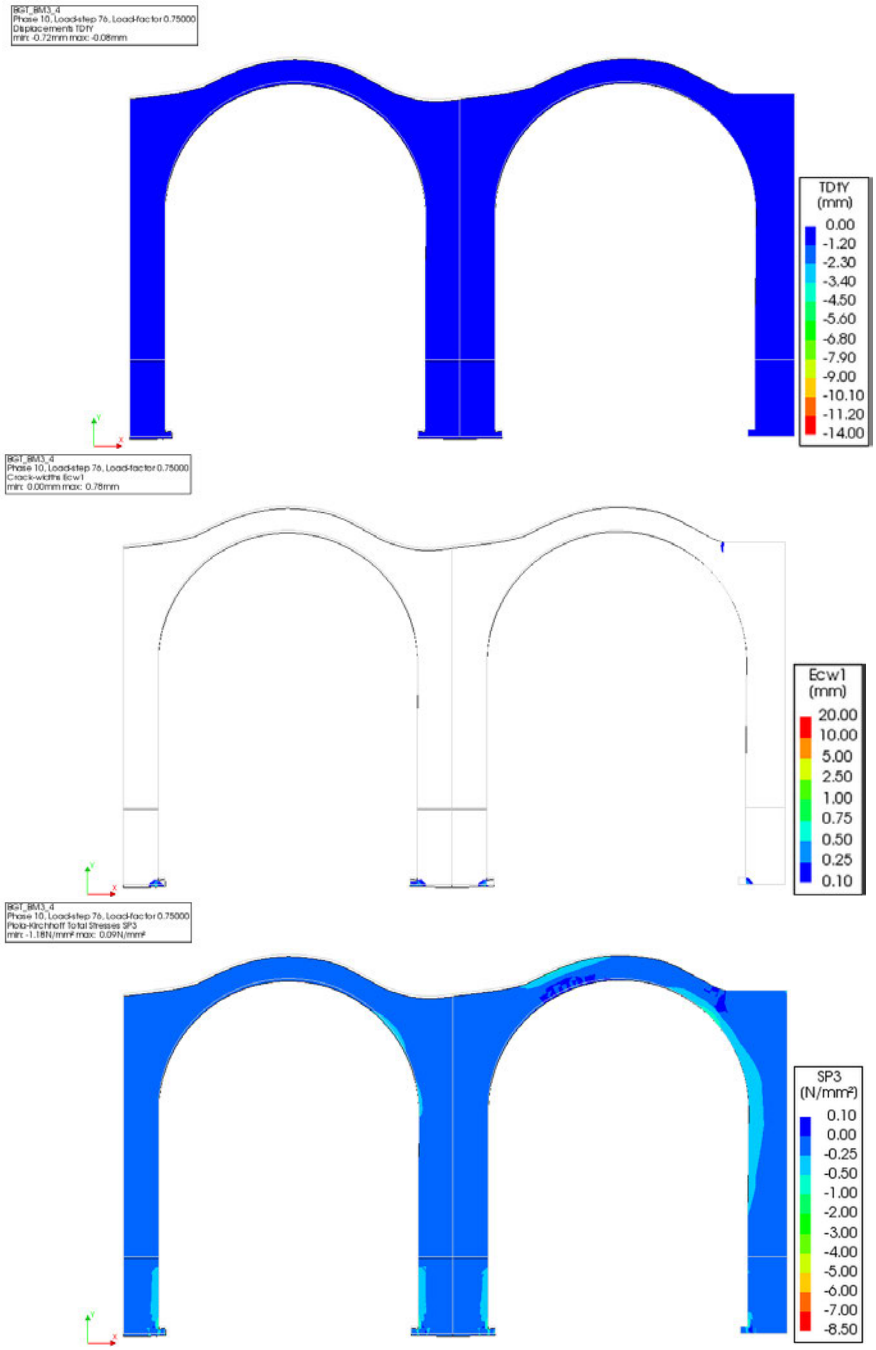
Afbeelding III.10 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75% belasting en belastingpositie 2



Afbeelding III.11 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75% belasting en belastingpositie 3

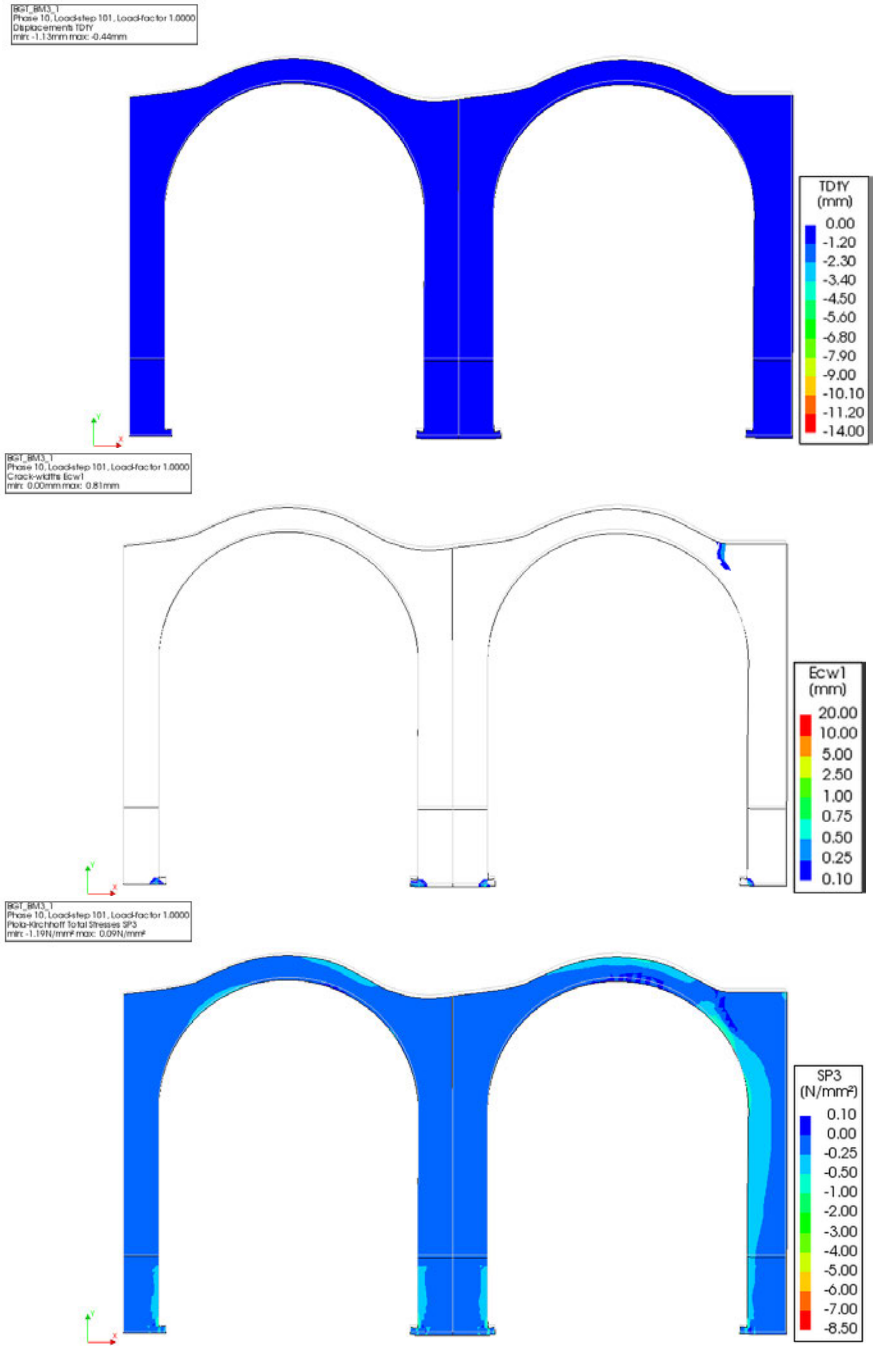


Afbeelding III.12 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75% belasting en belastingpositie 4

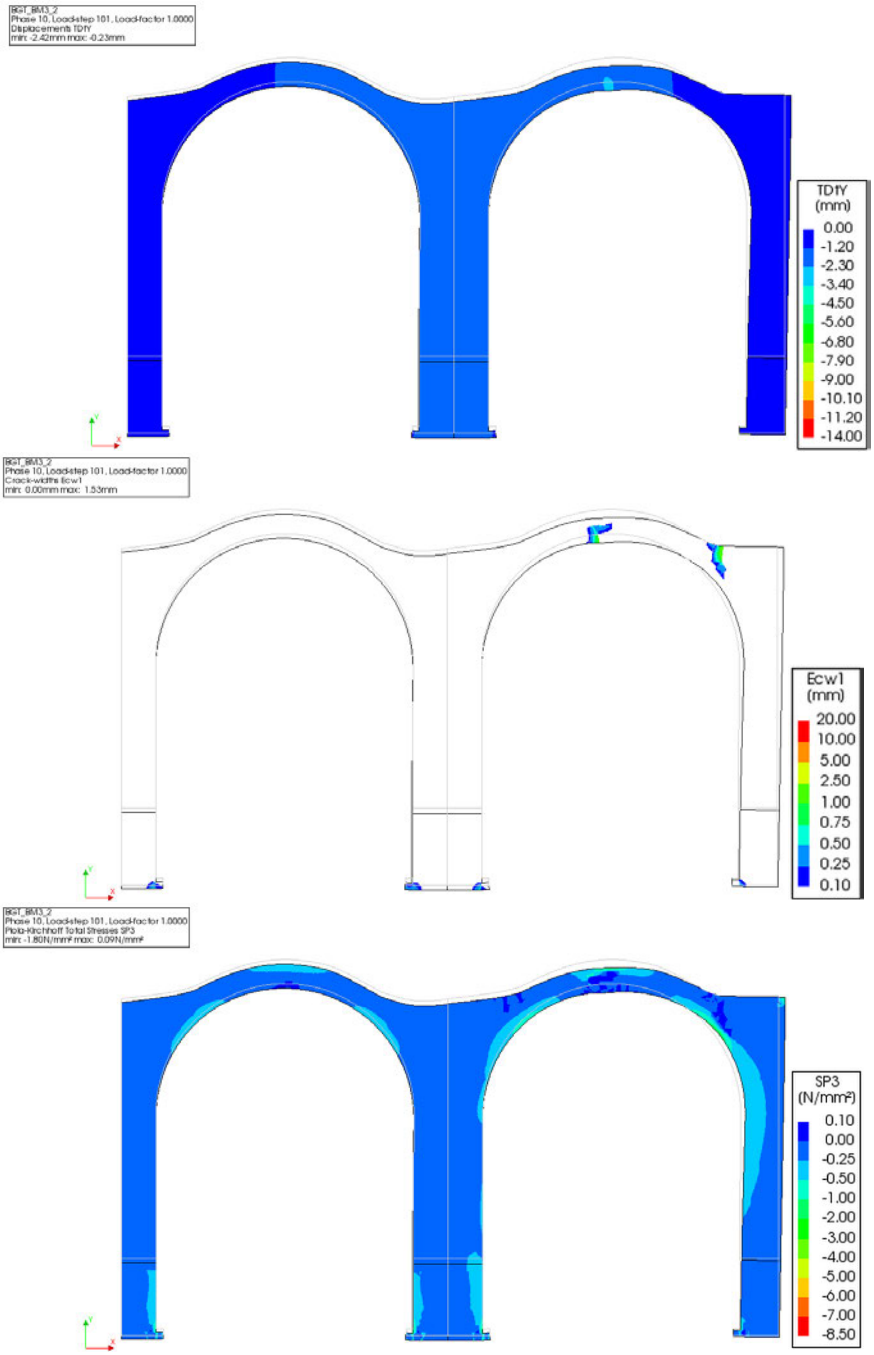


BGT-BM3 - 100% Belasting

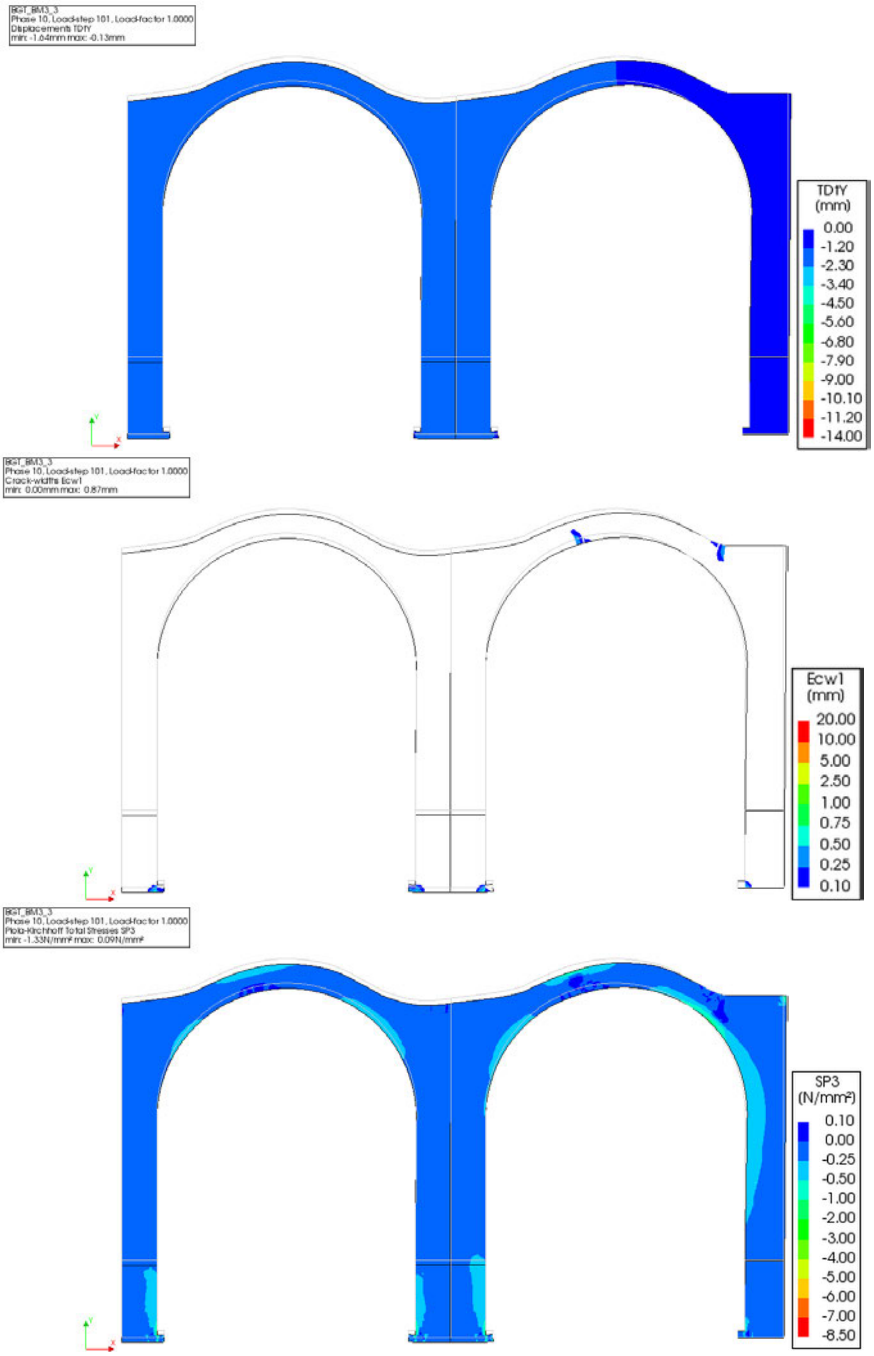
Afbeelding III.13 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100% belasting en belastingpositie 1



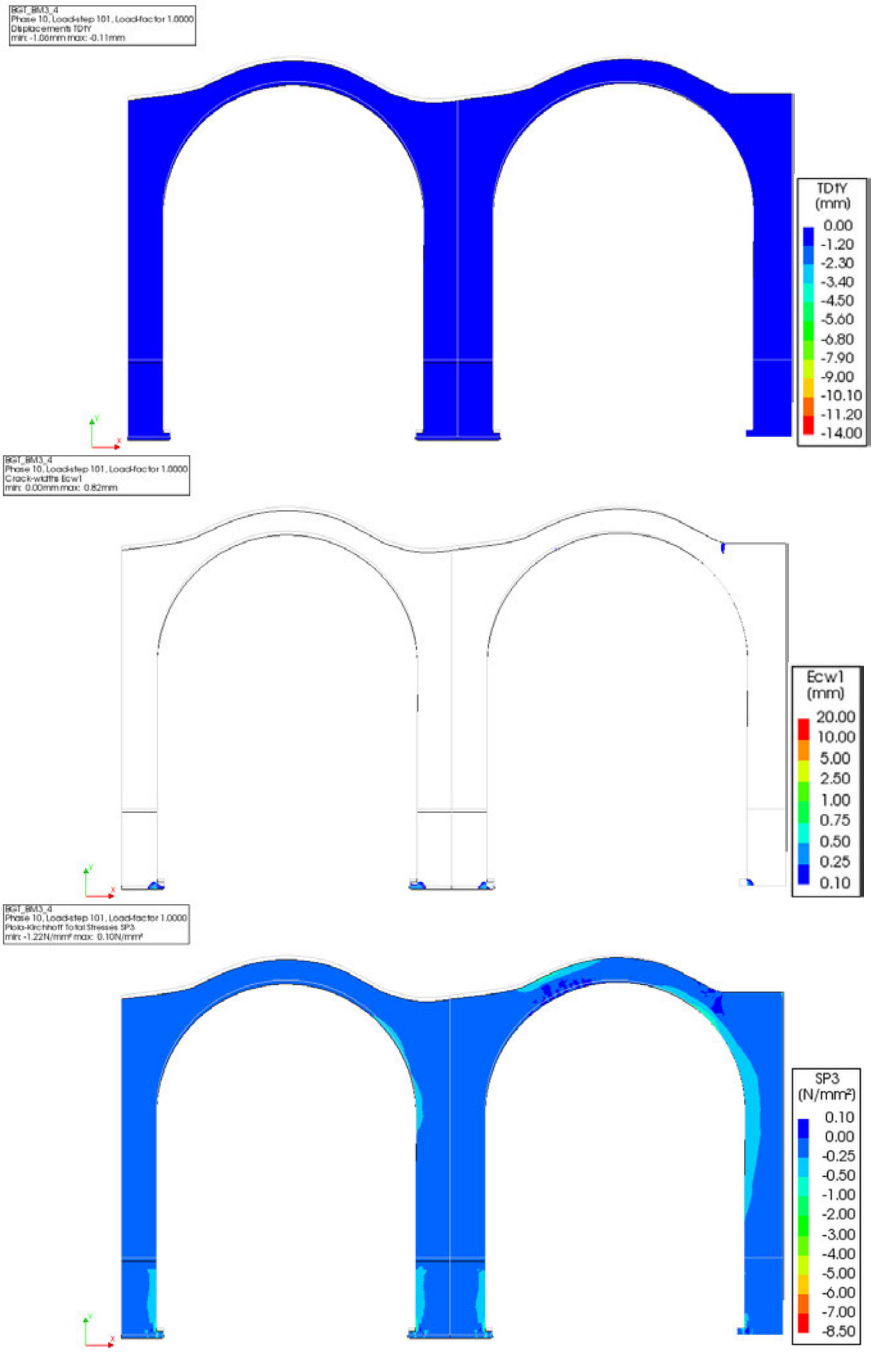
Afbeelding III.14 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100% belasting en belastingpositie 2



Afbeelding III.15 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100% belasting en belastingpositie 3



Afbeelding III.16 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100% belasting en belastingpositie 4

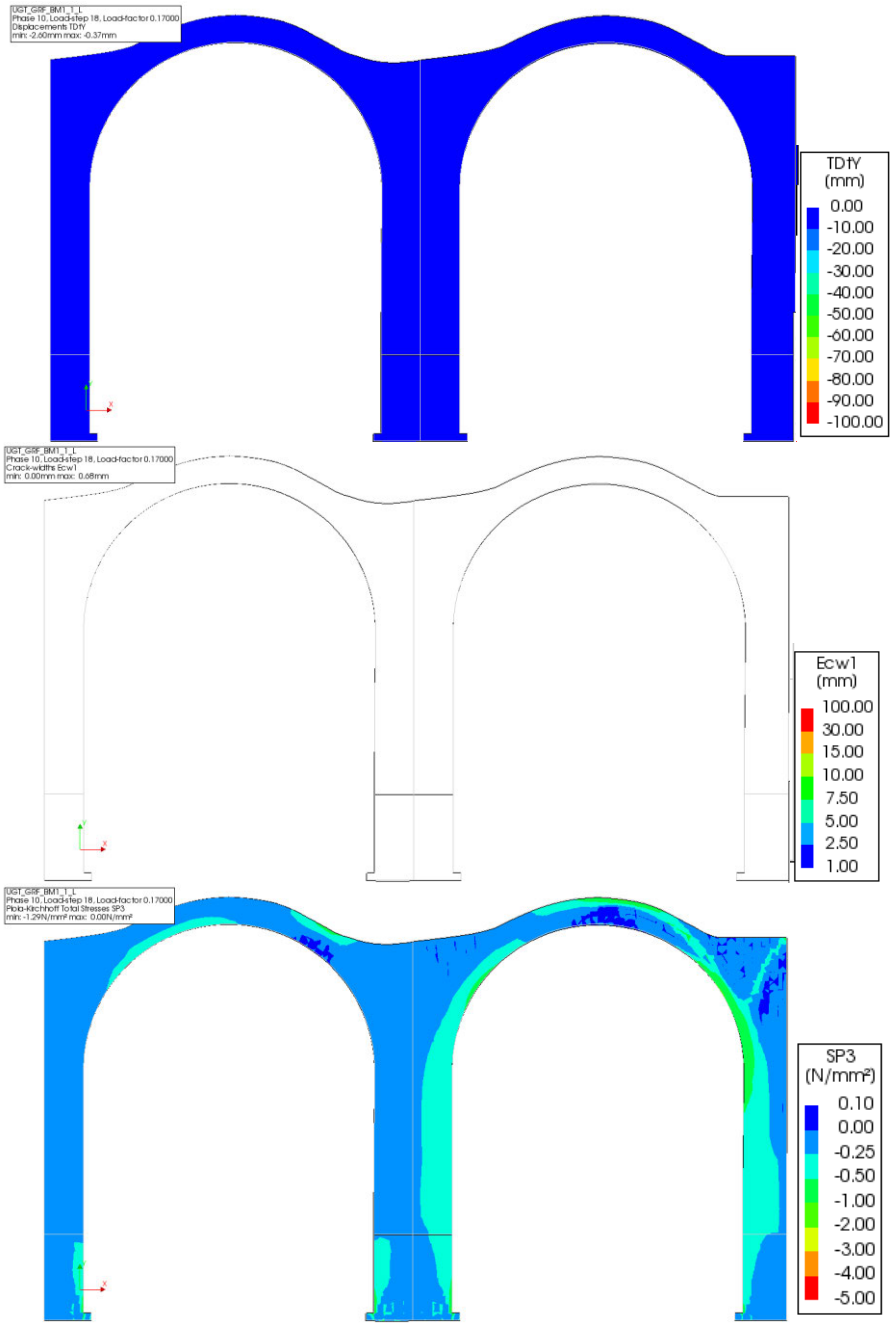


IV

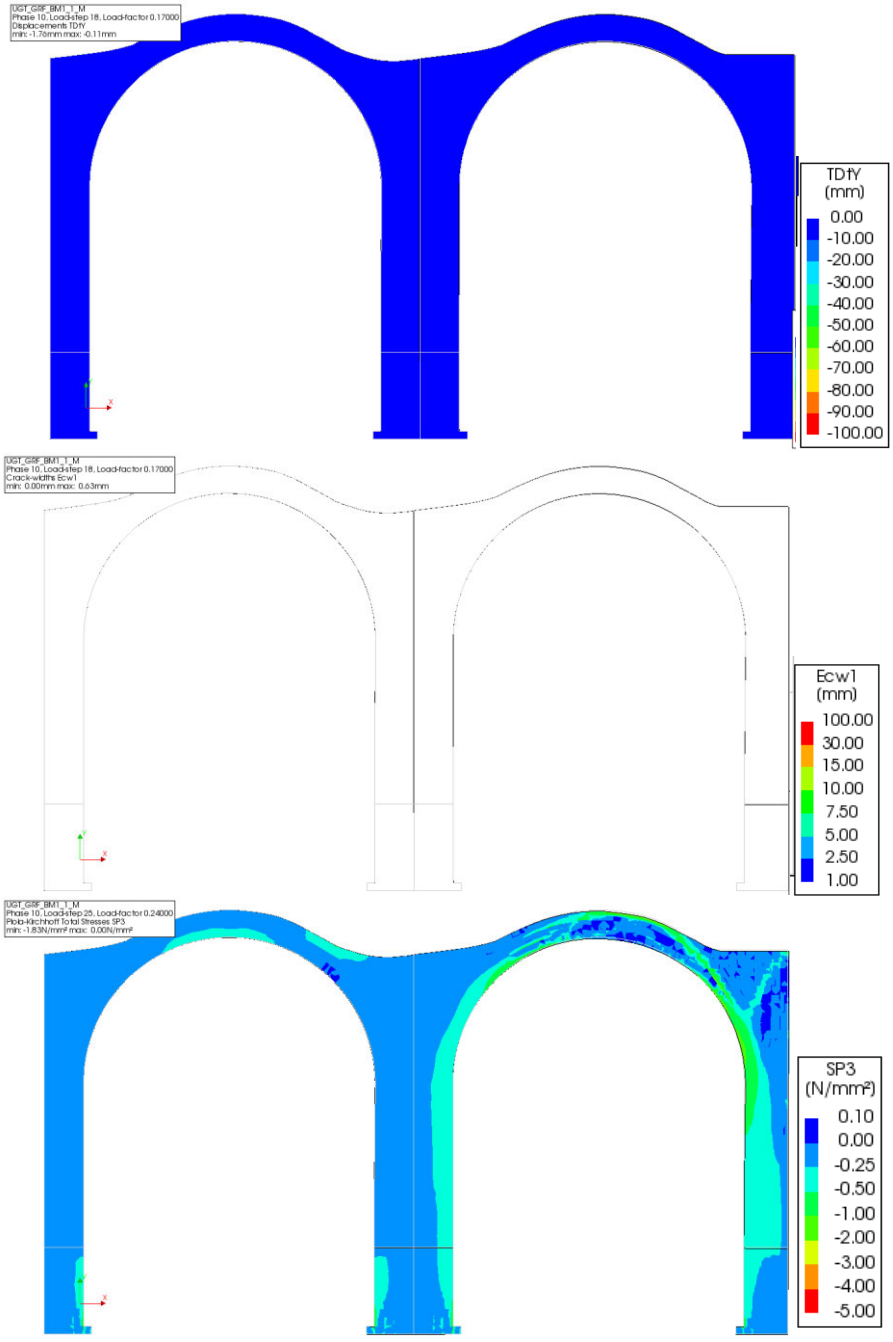
BIJLAGE: UGT-GRF RESULTATEN - C20 BEBORDING

UGT-GRF-C20 - 3 ton

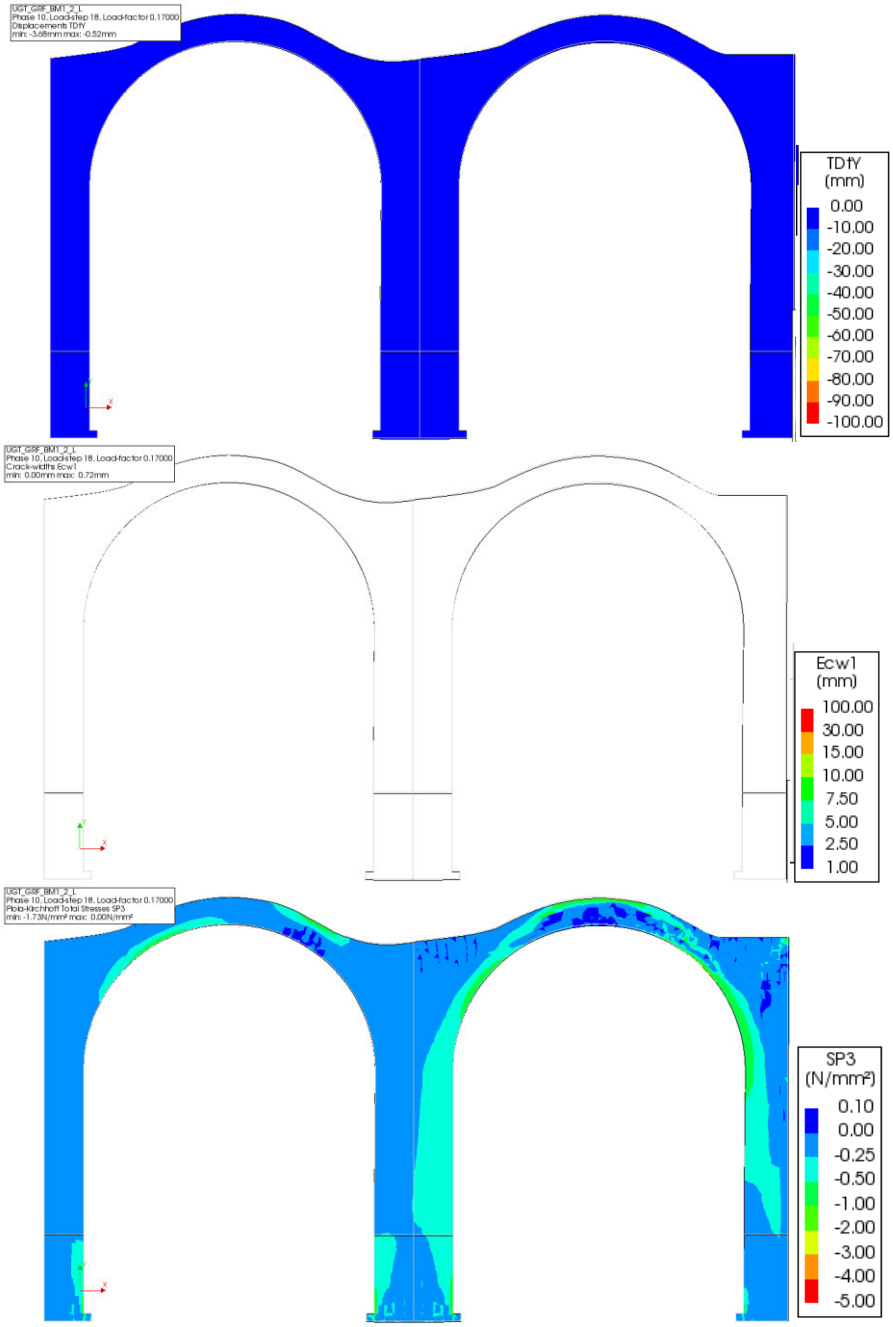
Afbeelding IV.1 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 1-L



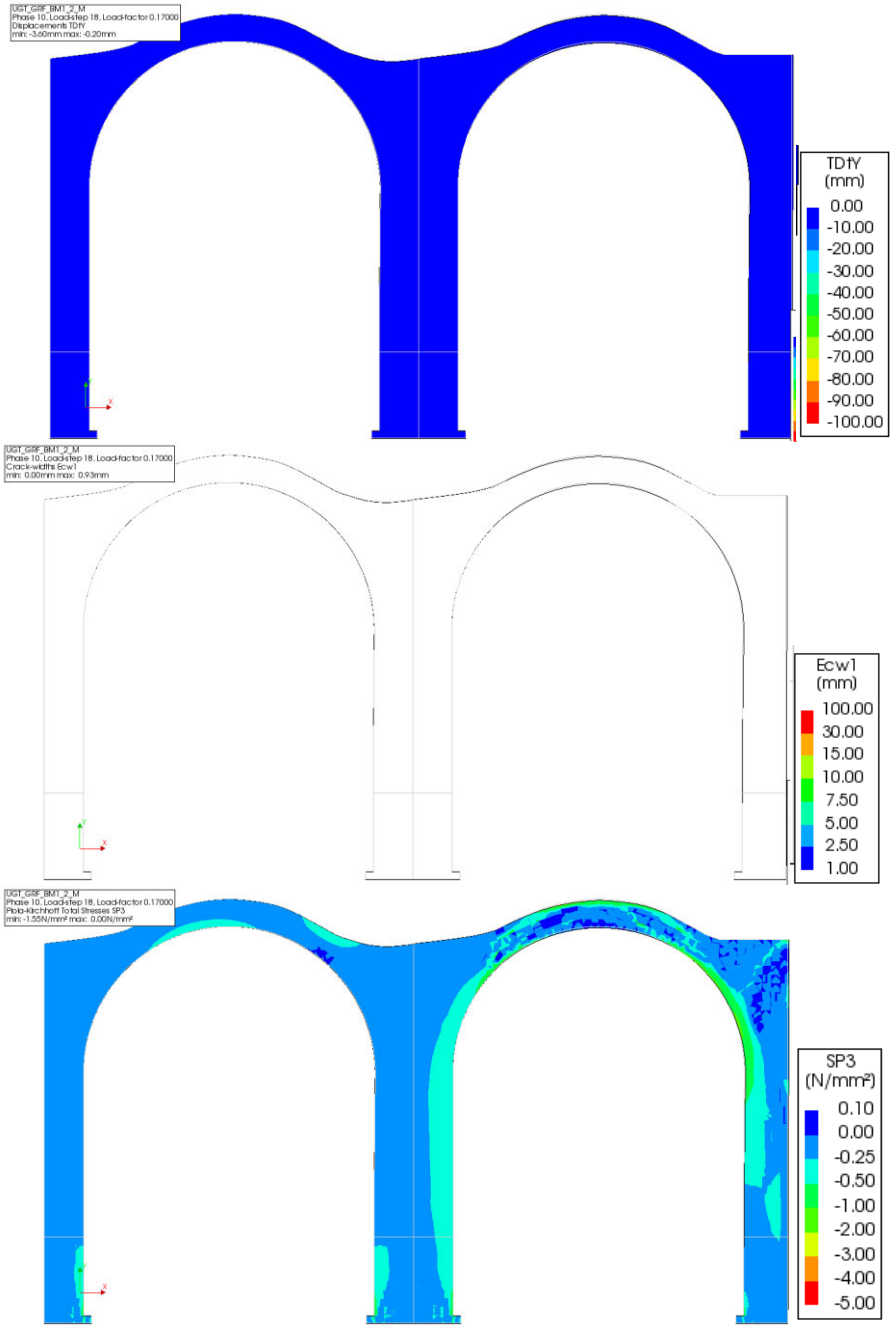
Afbeelding IV.2 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 1-M



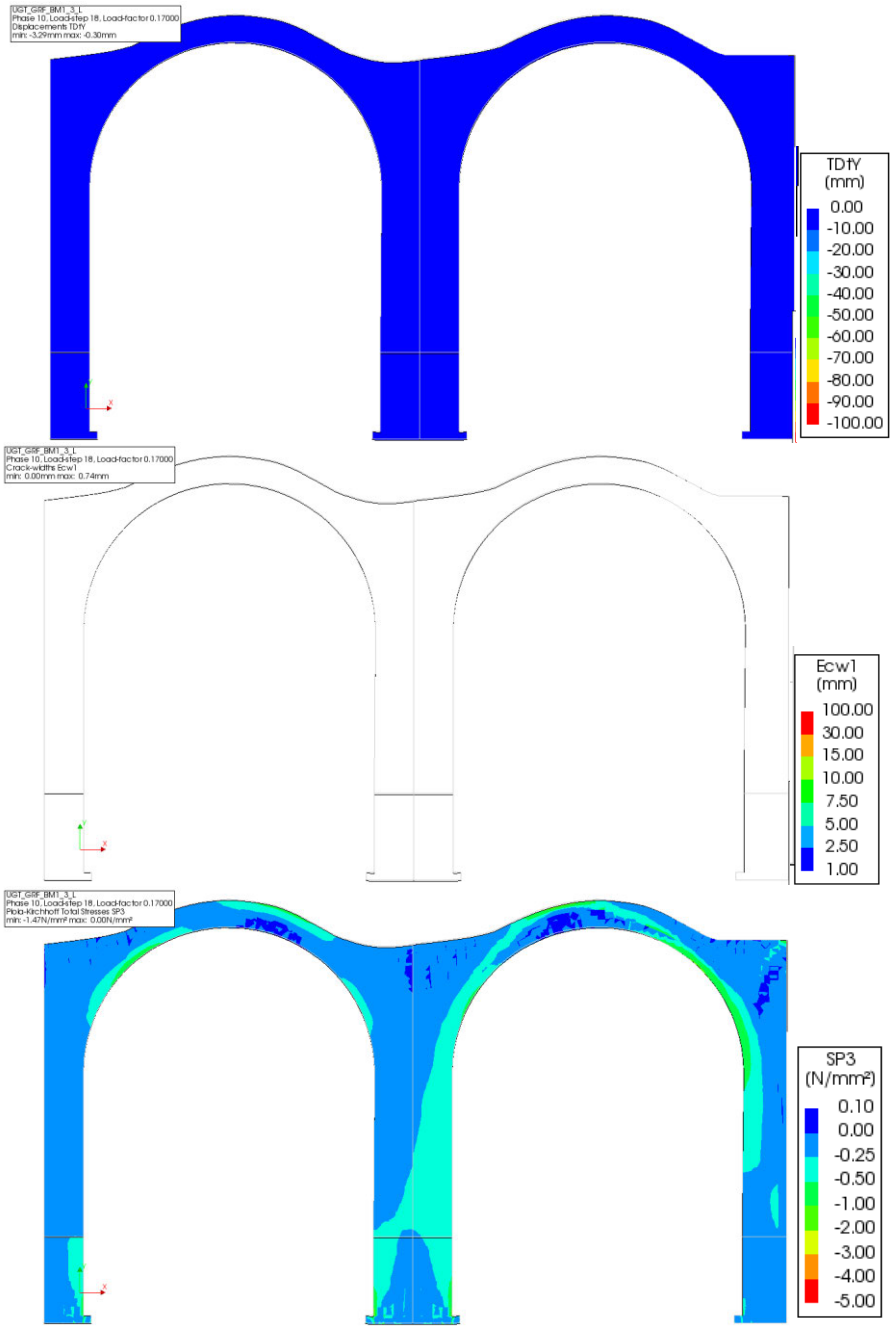
Afbeelding IV.3 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 2-L



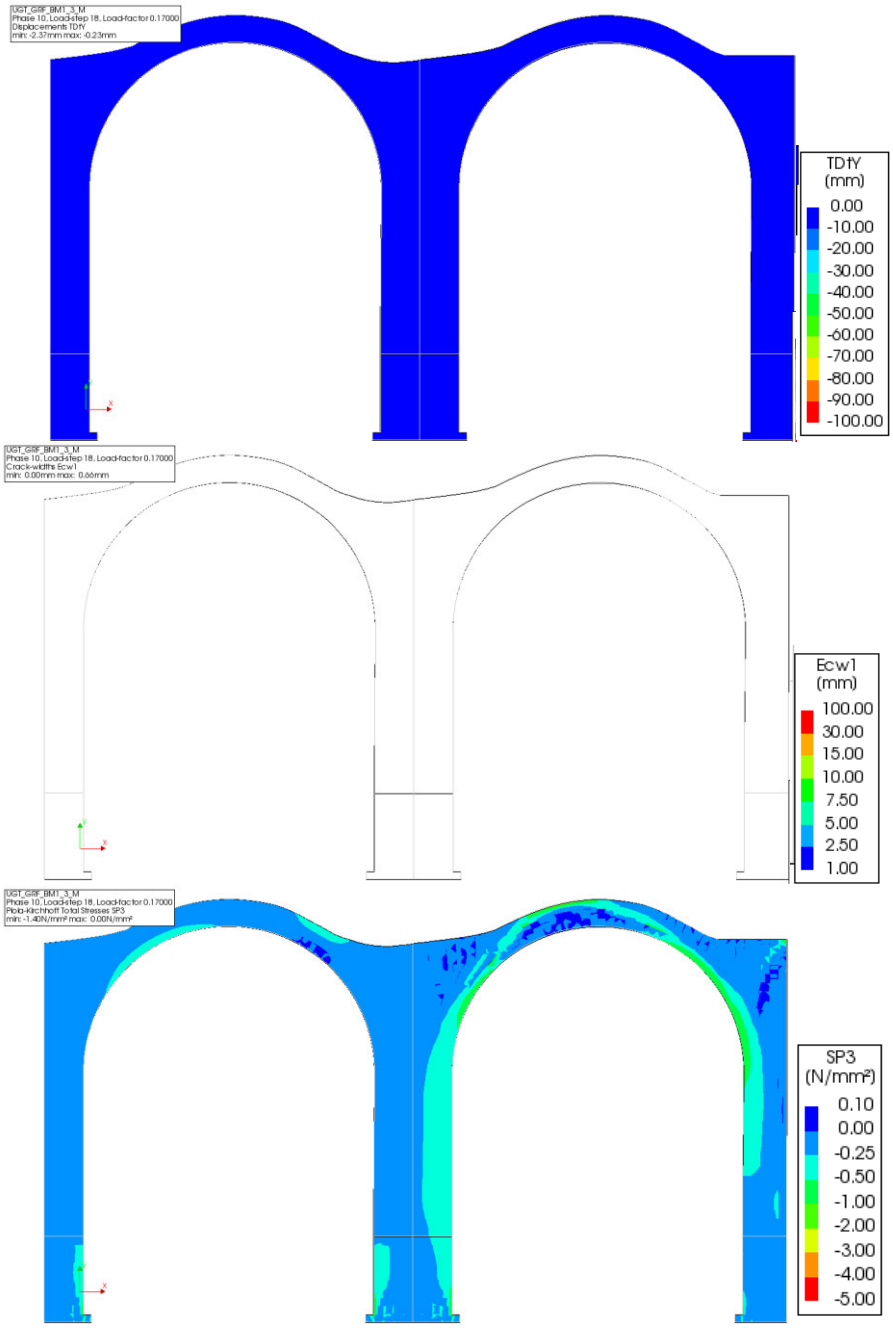
Afbeelding IV.4 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 2-M



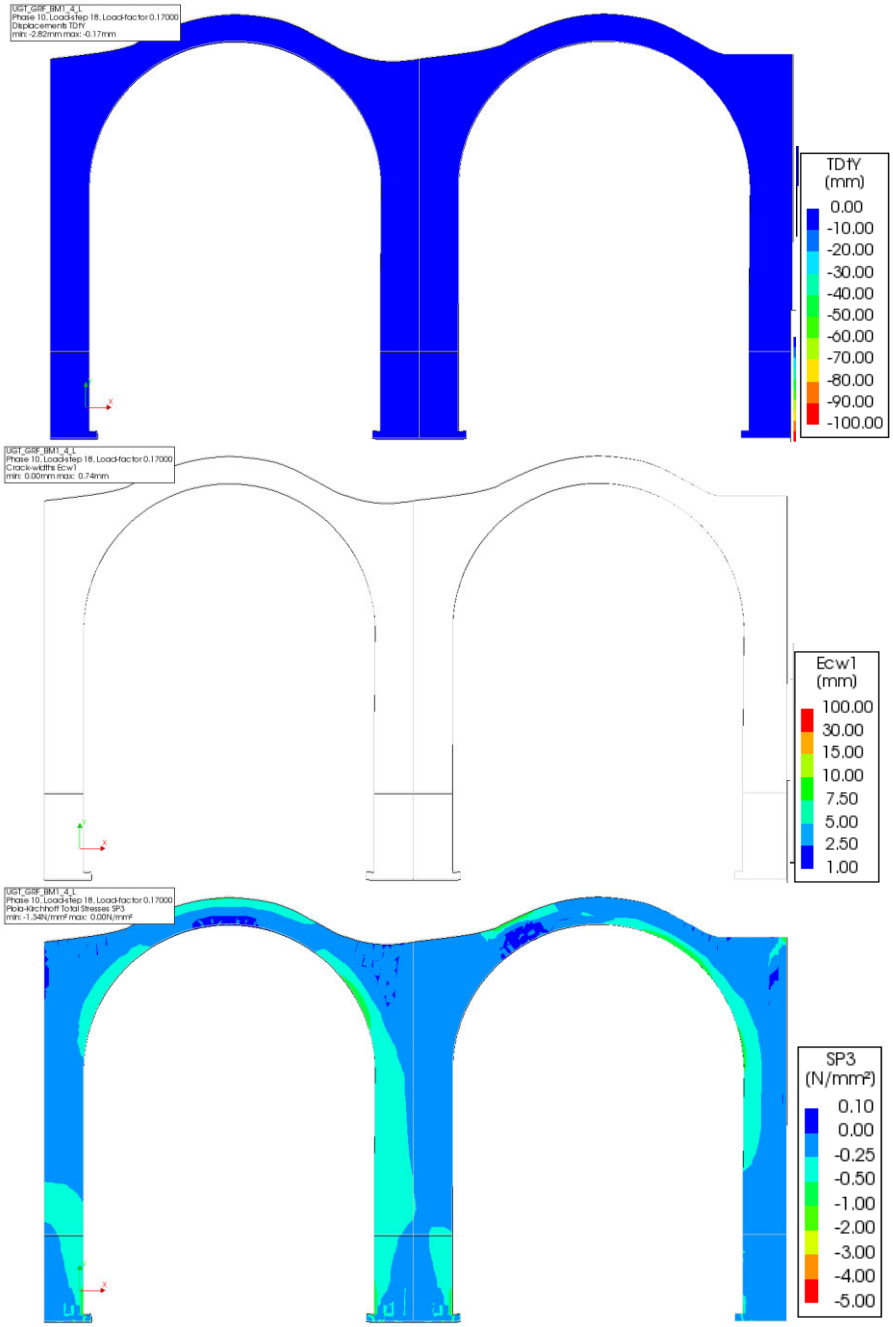
Afbeelding IV.5 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 3-L



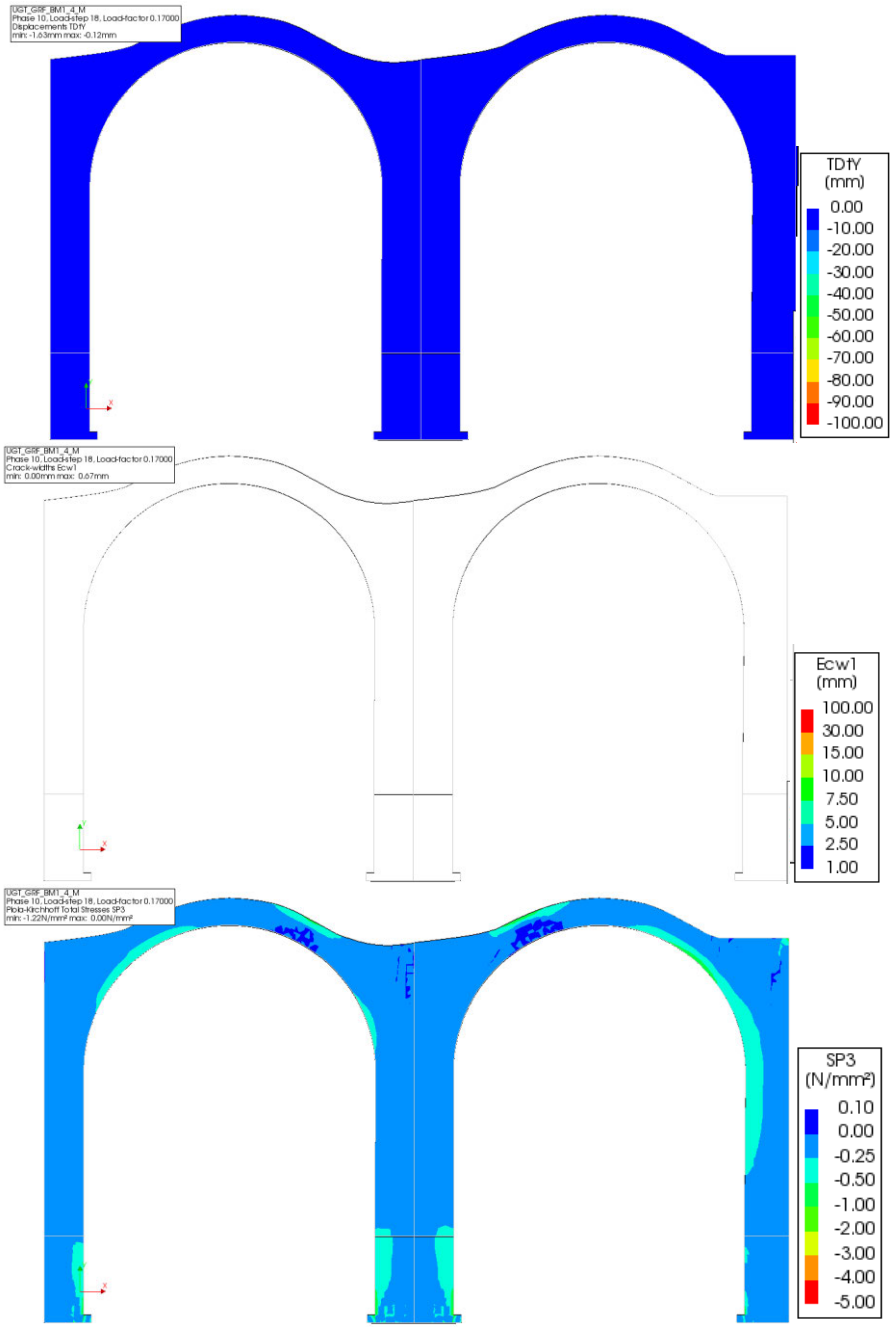
Afbeelding IV.6 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 3-M



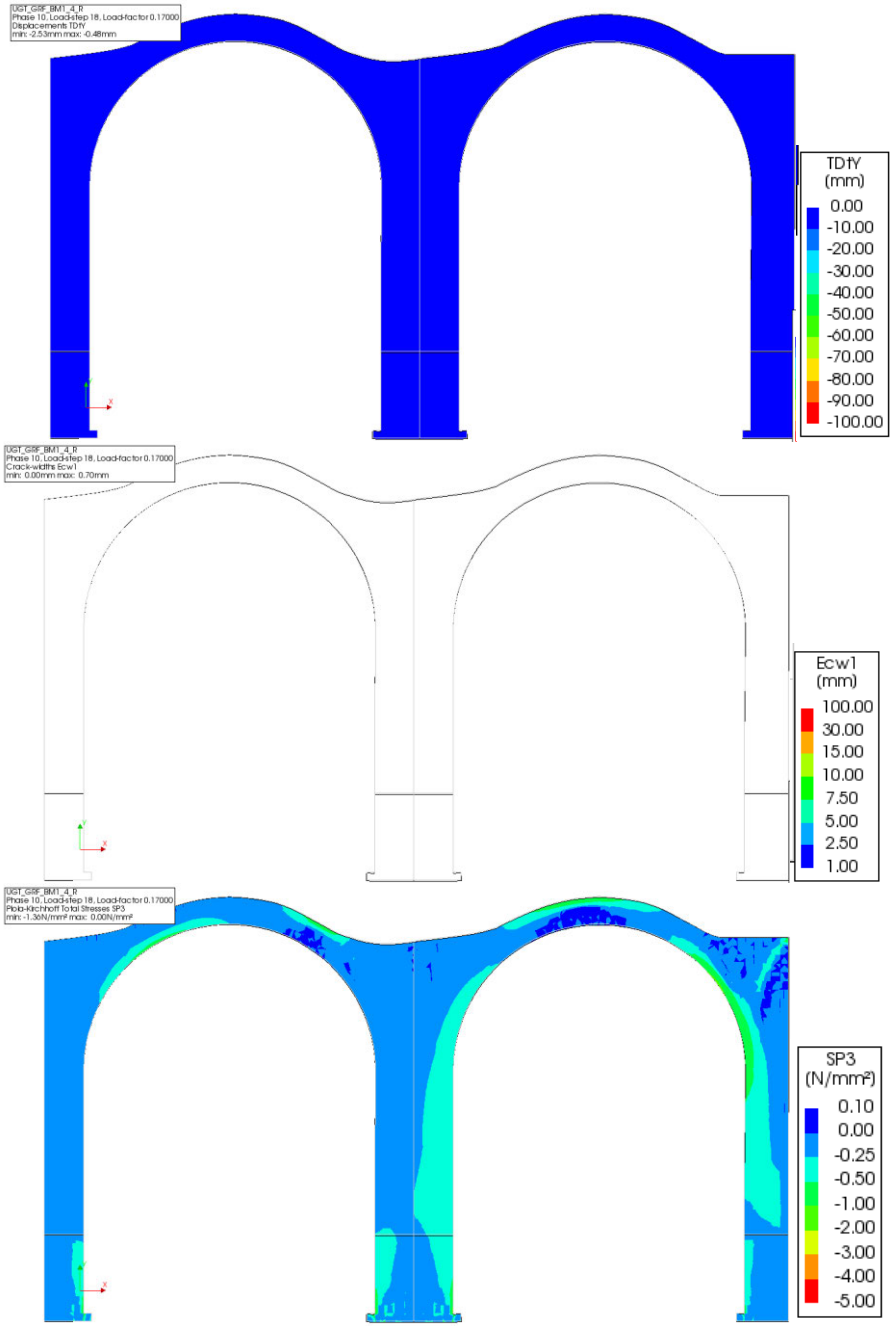
Afbeelding IV.7 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding IV.8 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-M

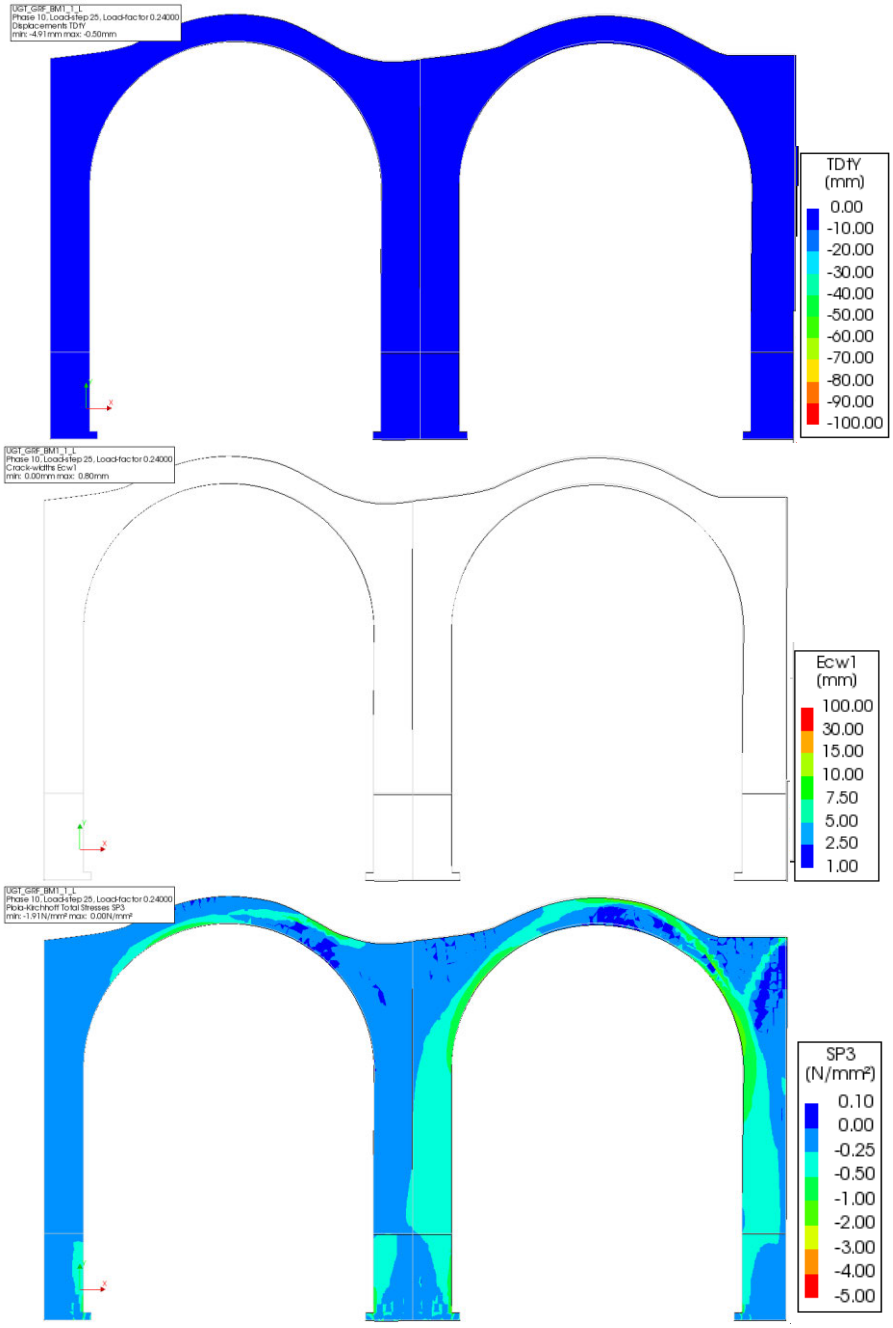


Afbeelding IV.9 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-R

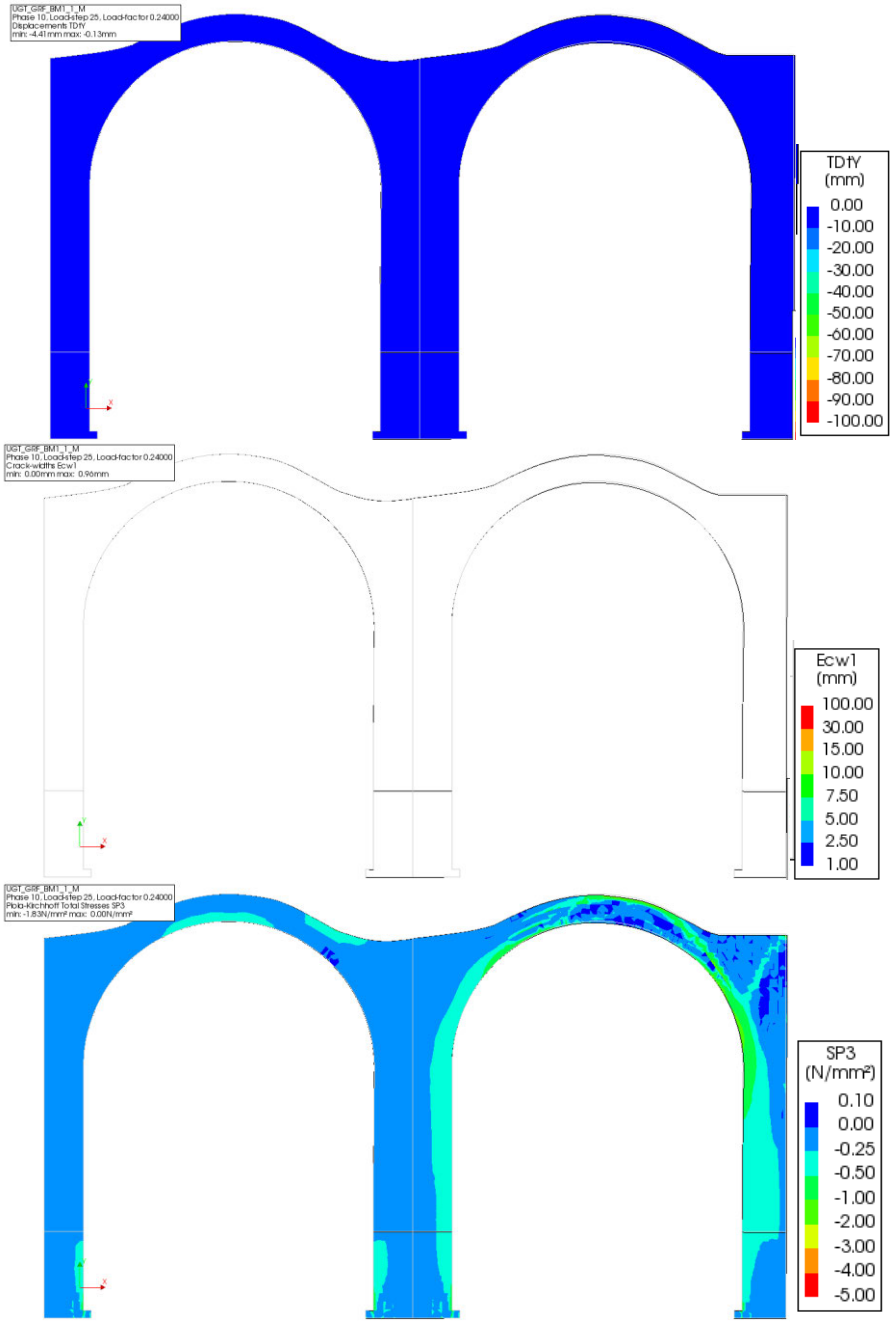


UGT-GRF-C20 - 4 ton

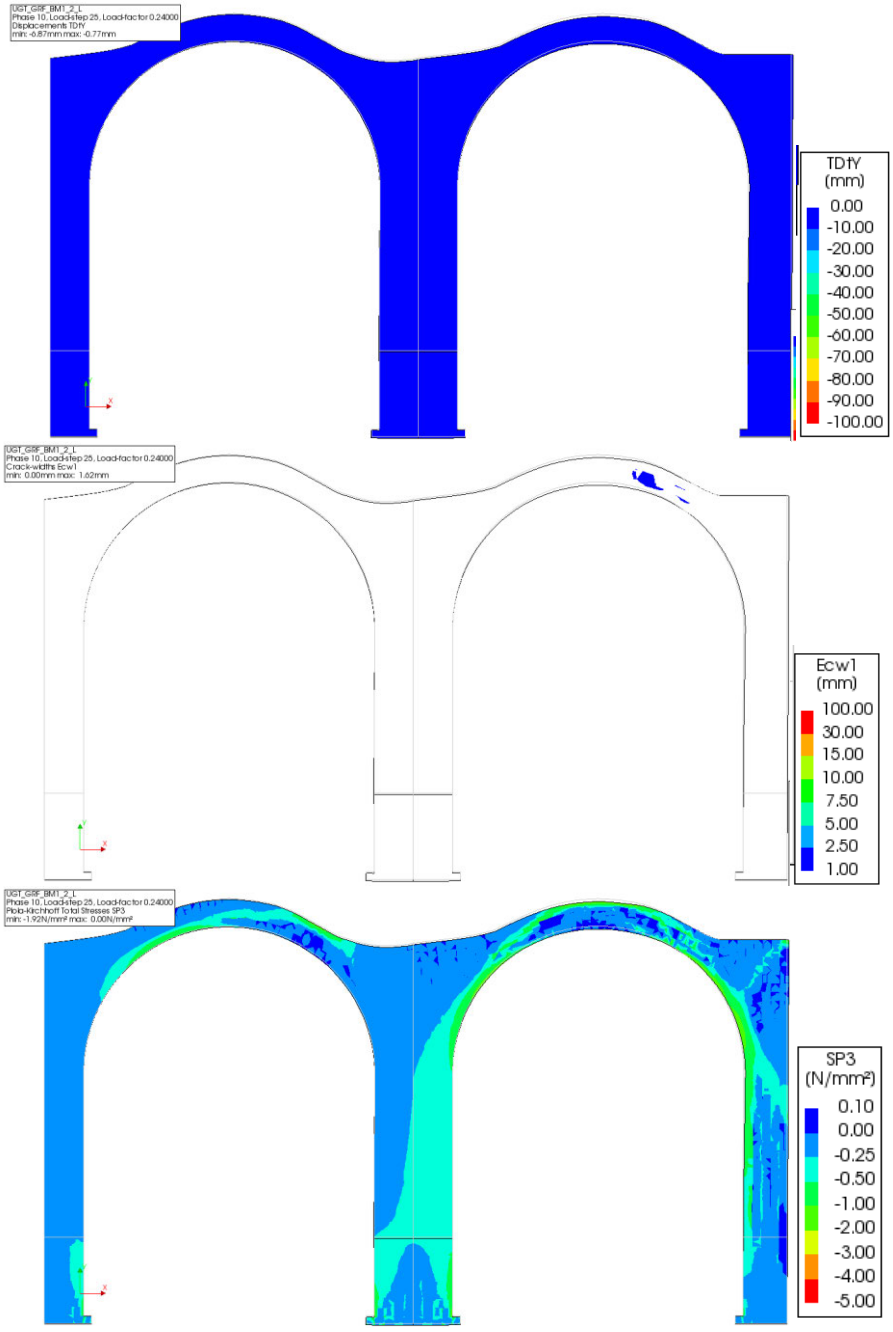
Afbeelding IV.10 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 1-L



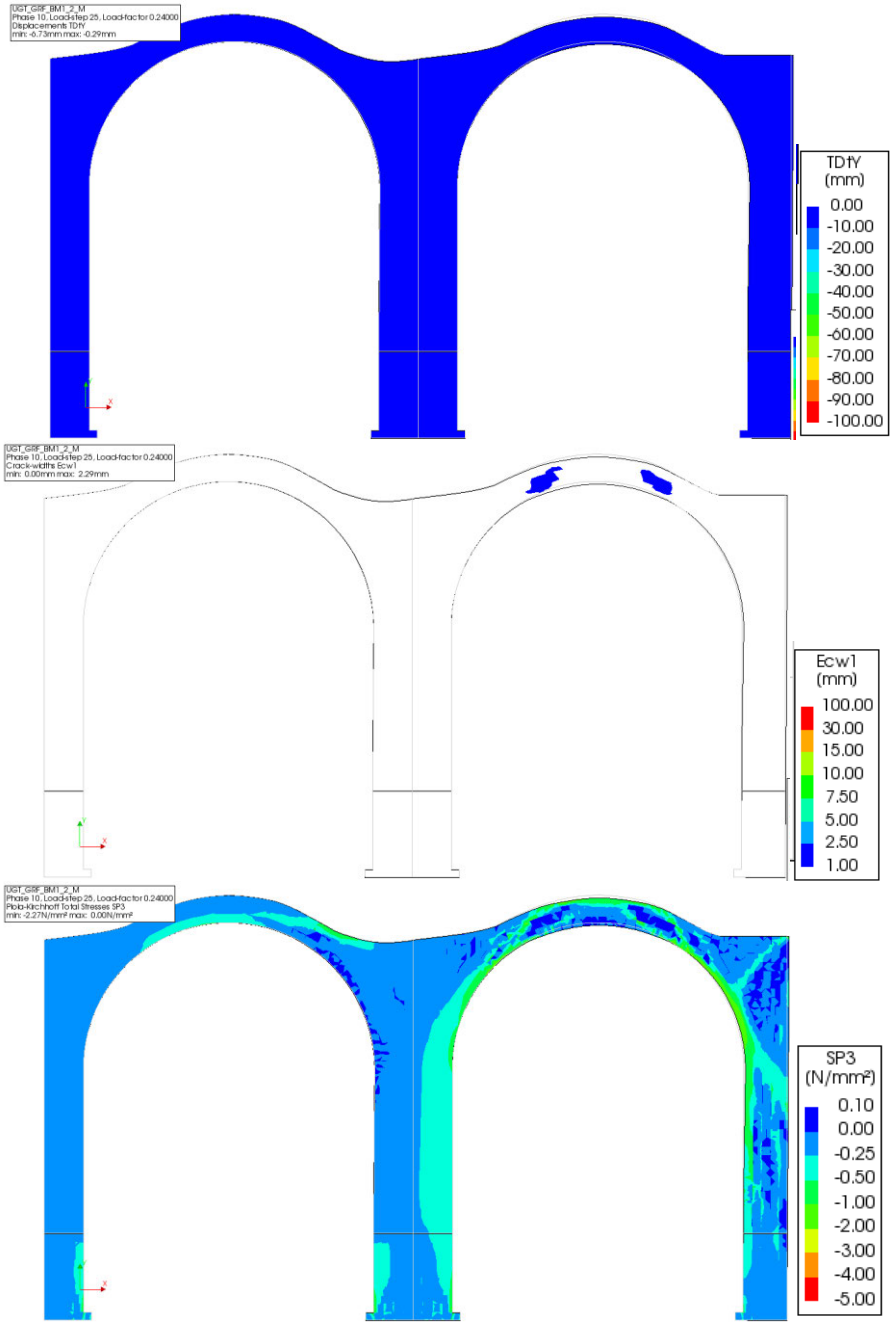
Afbeelding IV.11 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 1-M



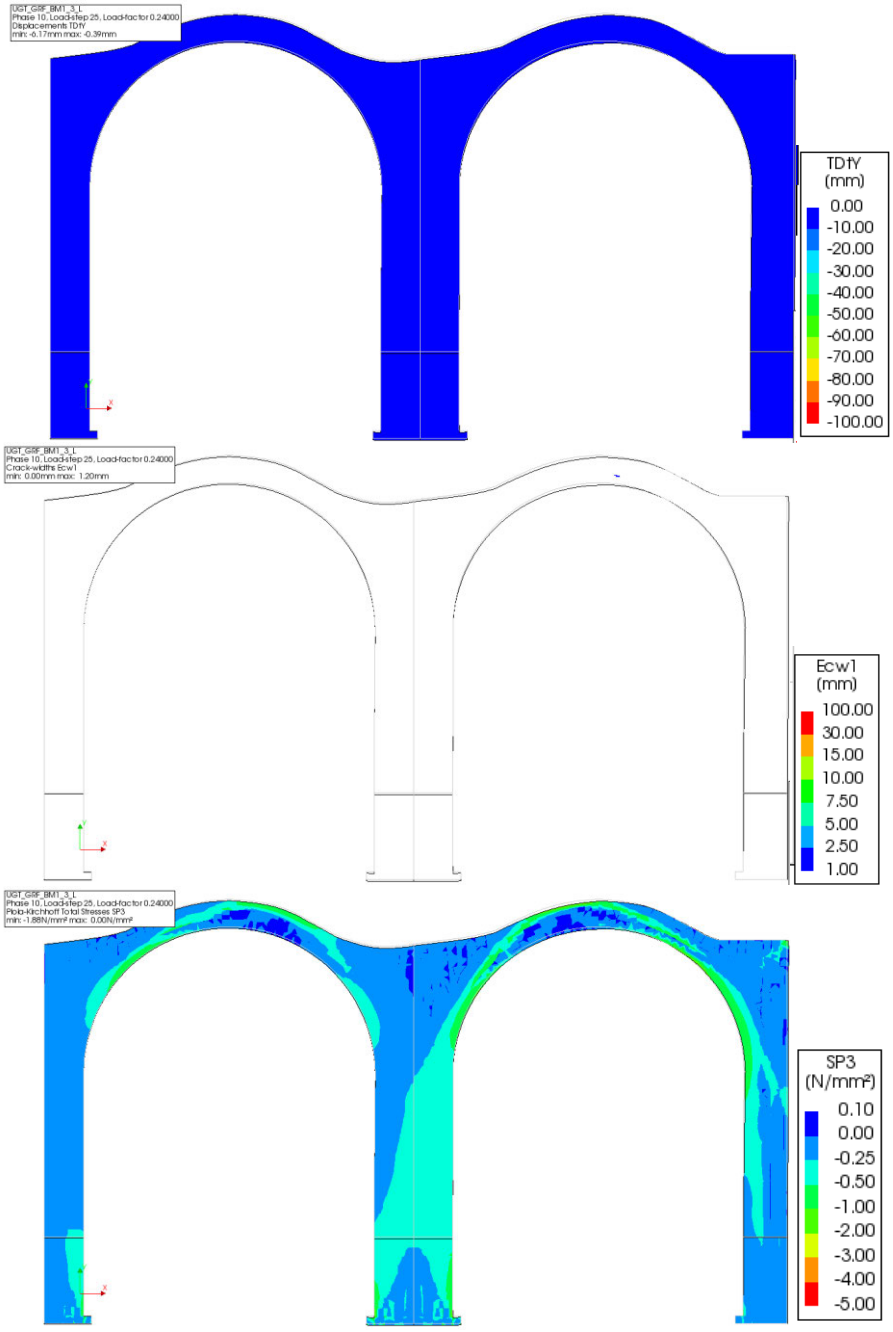
Afbeelding IV.12 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 2-L



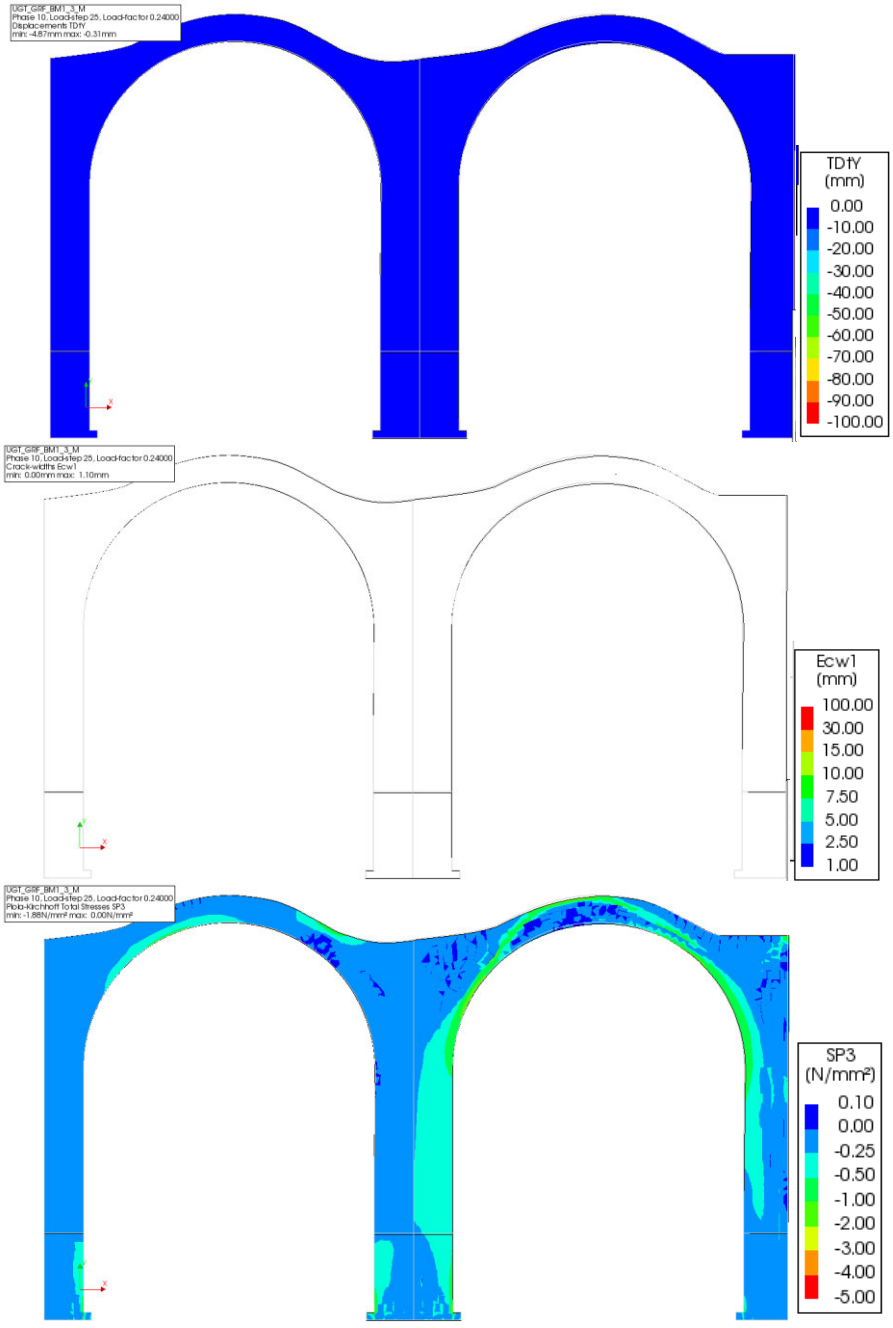
Afbeelding IV.13 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 2-M



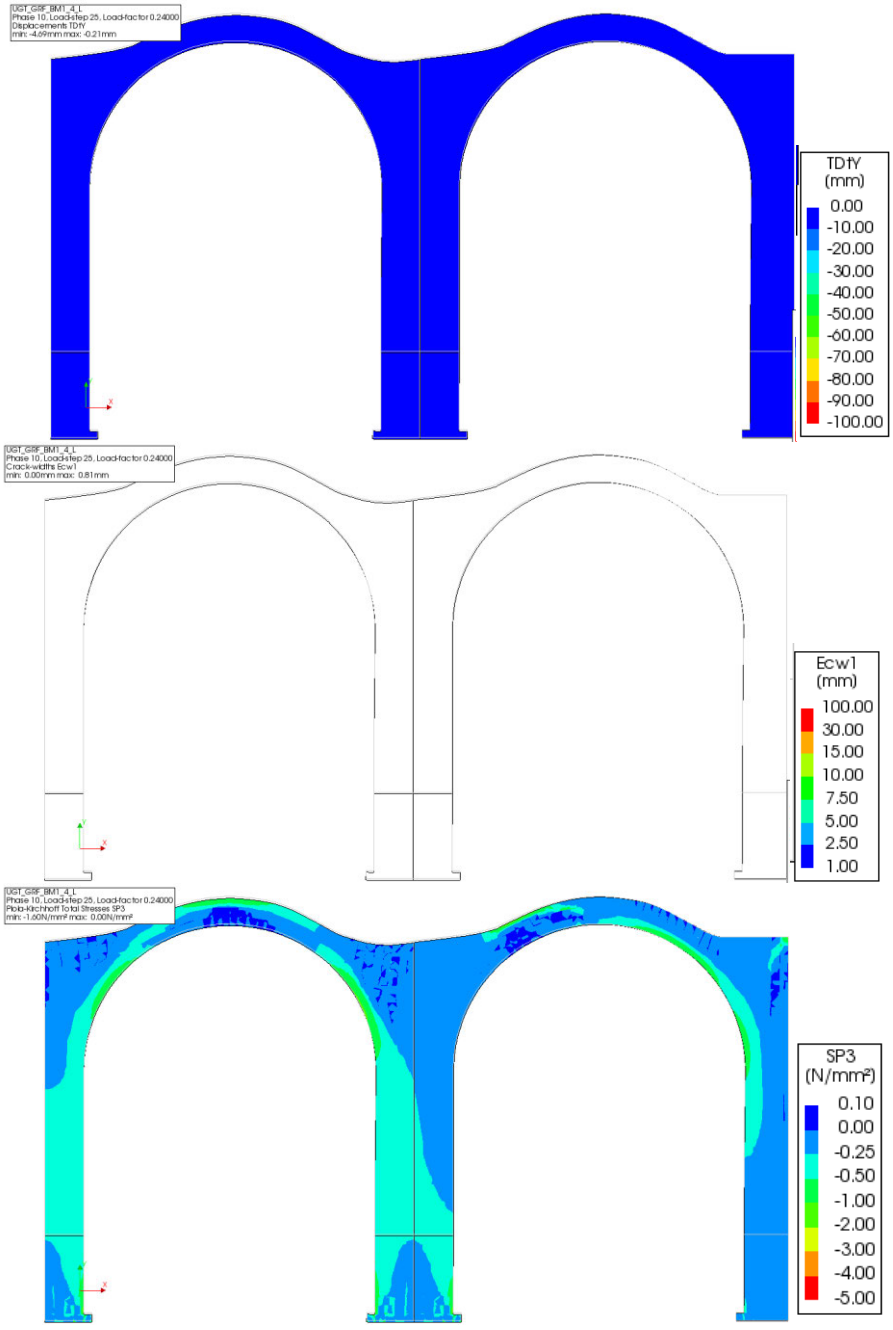
Afbeelding IV.14 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 3-L



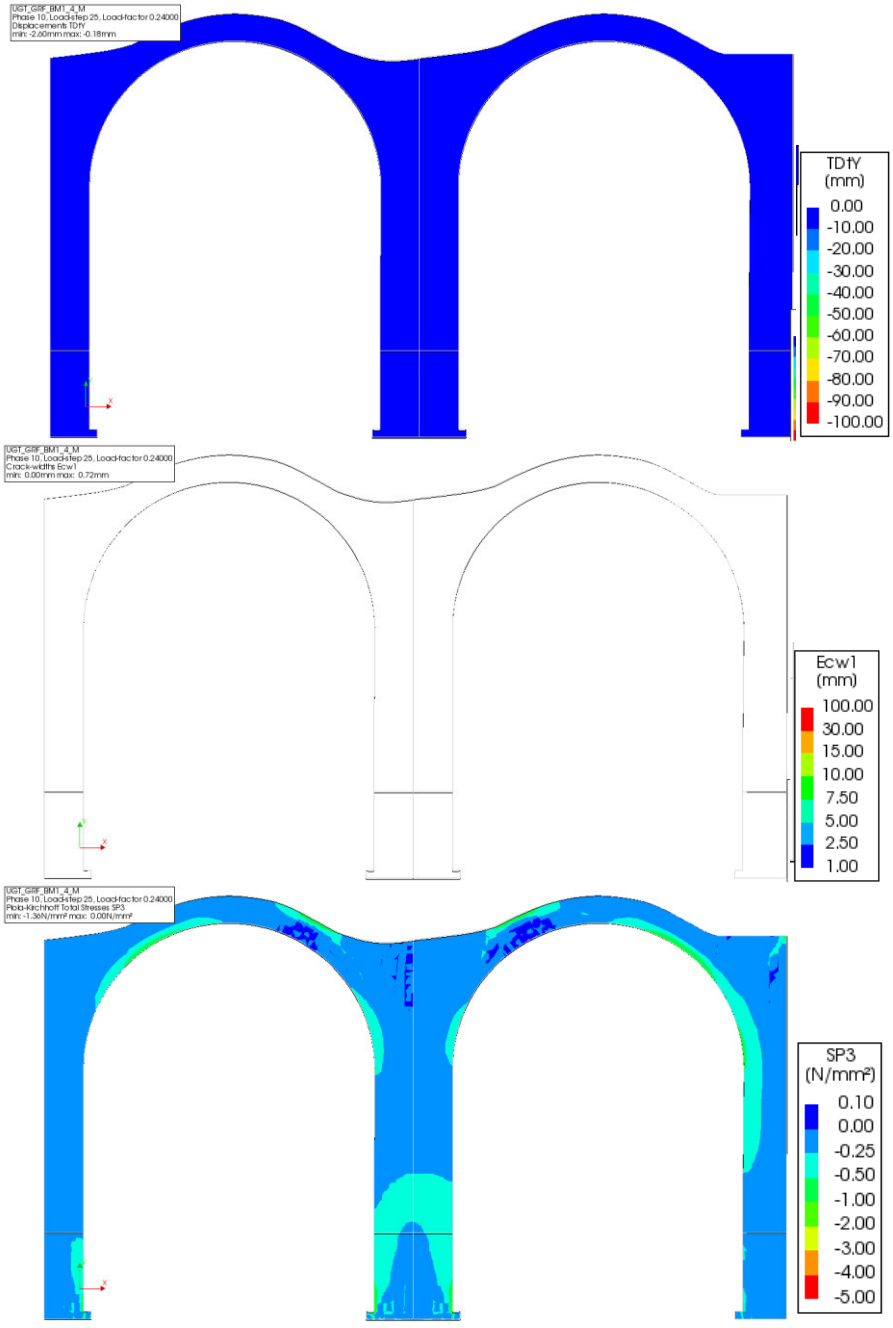
Afbeelding IV.15 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 3-M



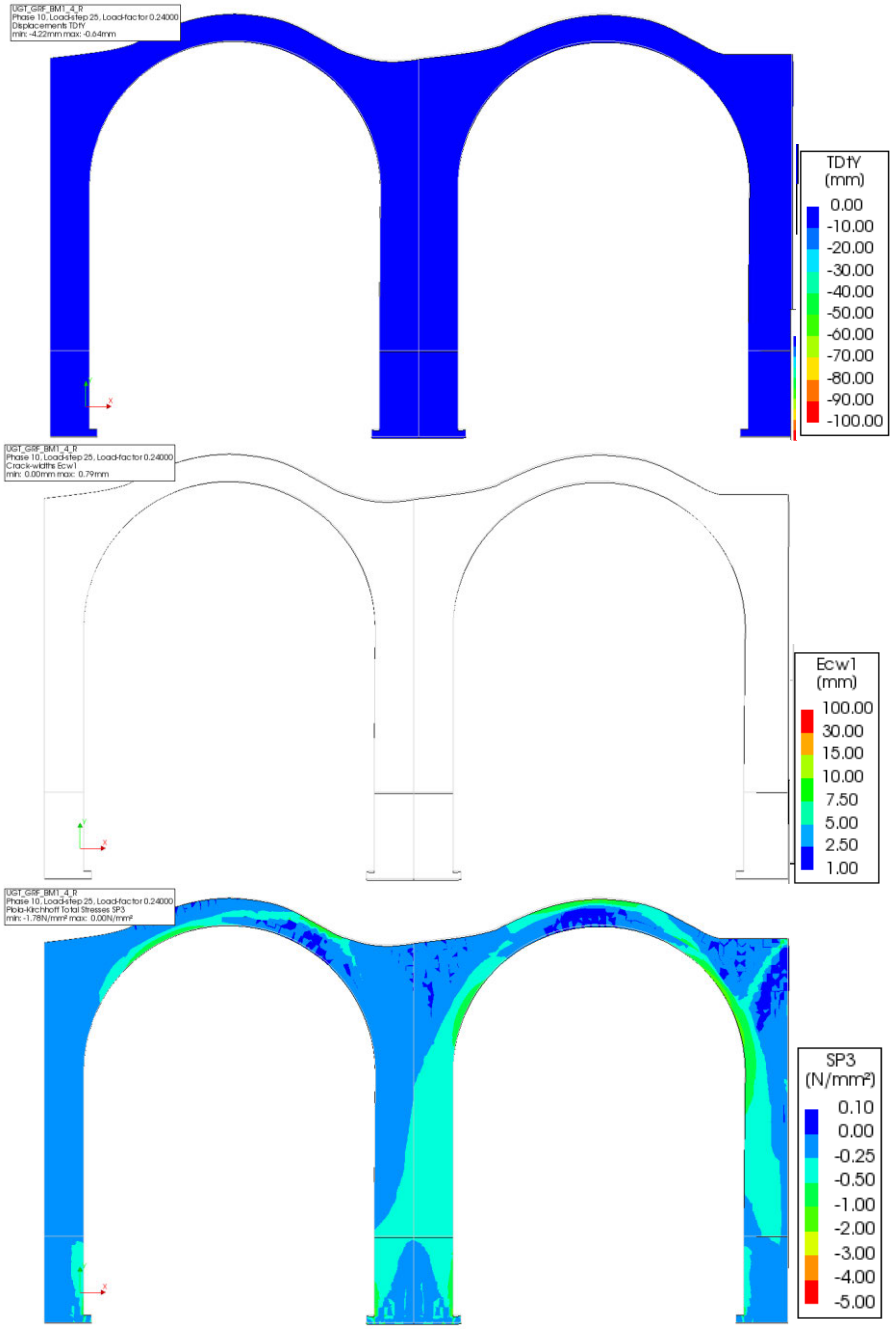
Afbeelding IV.16 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding IV.17 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-M

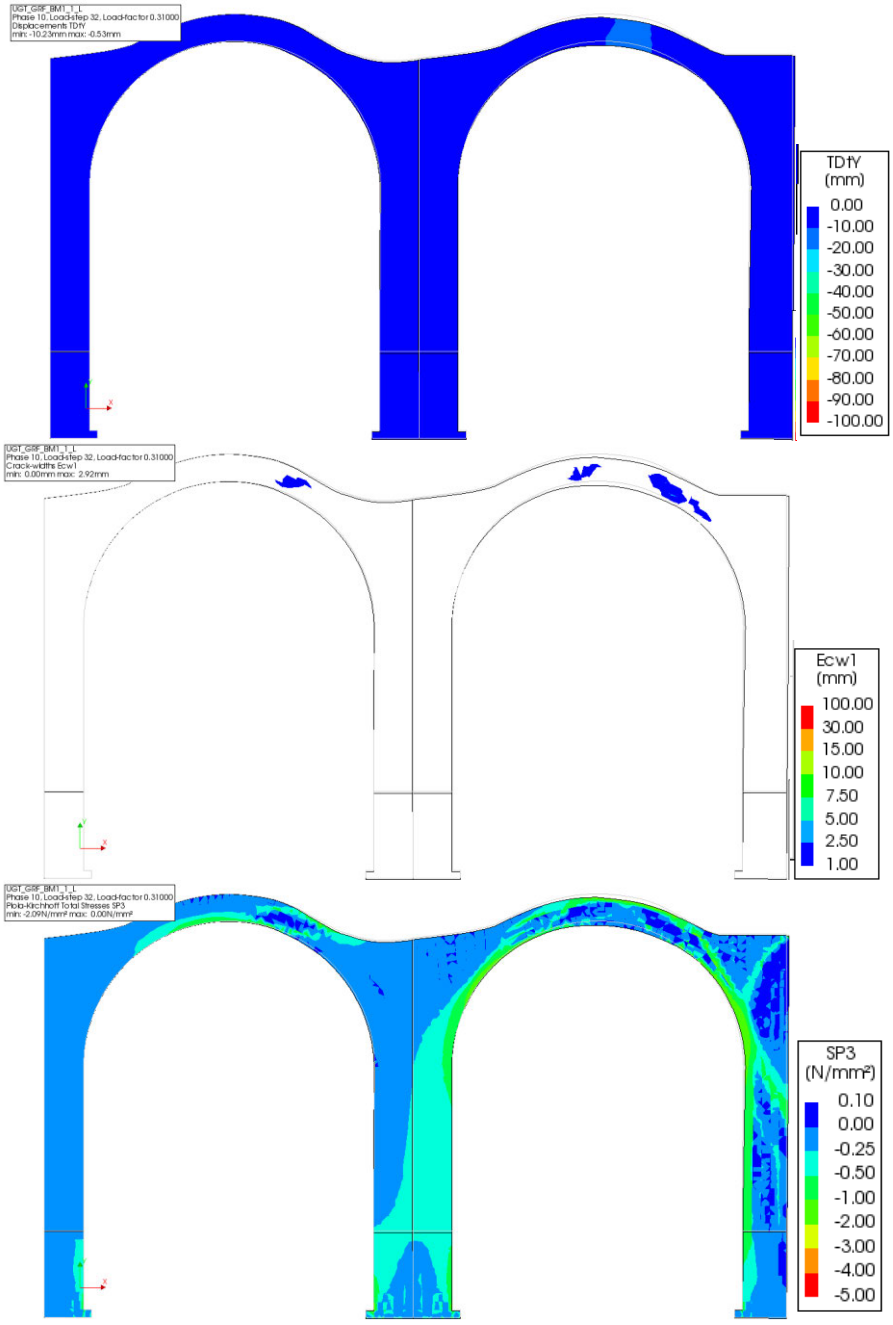


Afbeelding IV.18 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-R

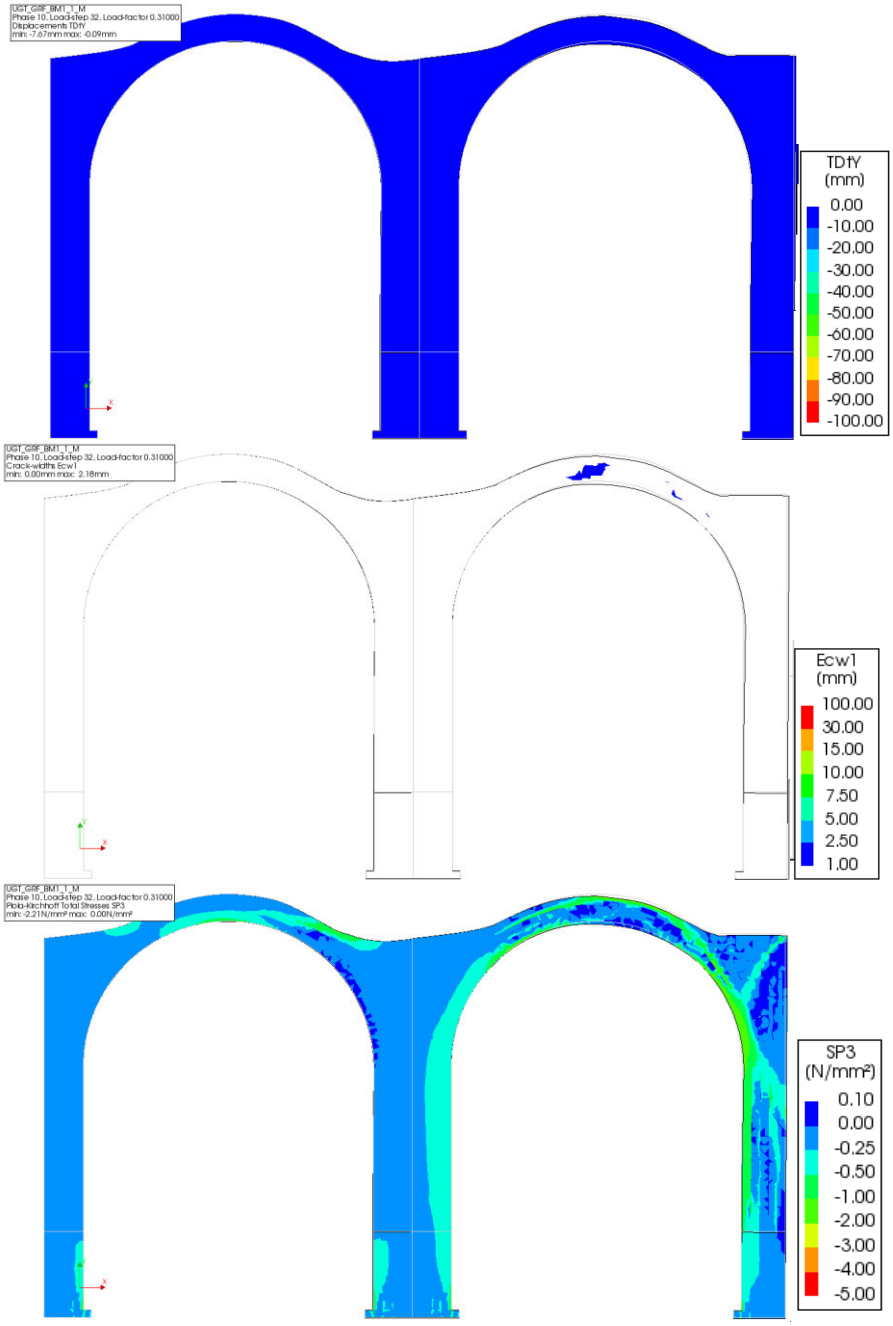


UGT-GRF-C20 - 5 ton

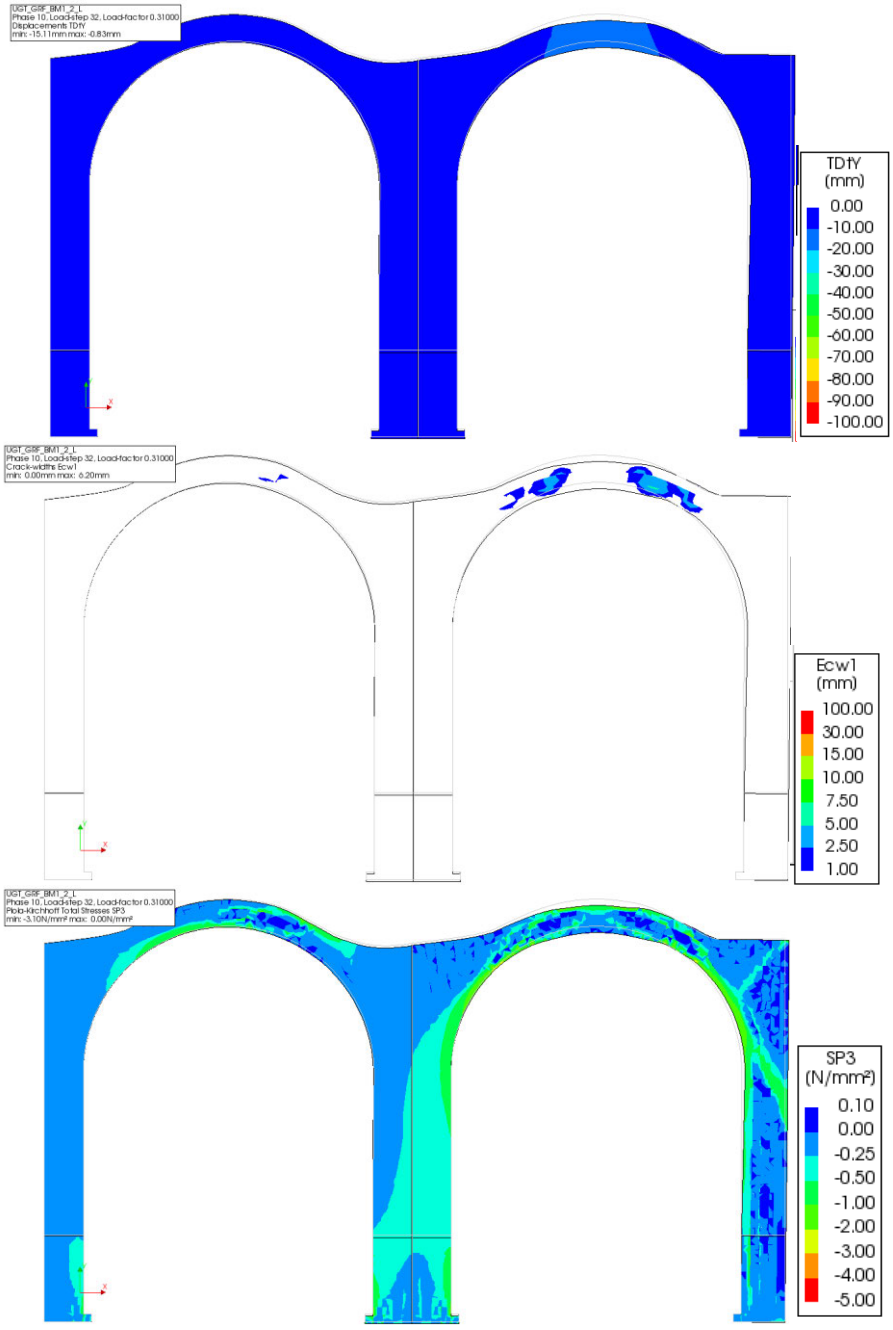
Afbeelding IV.19 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 1-L



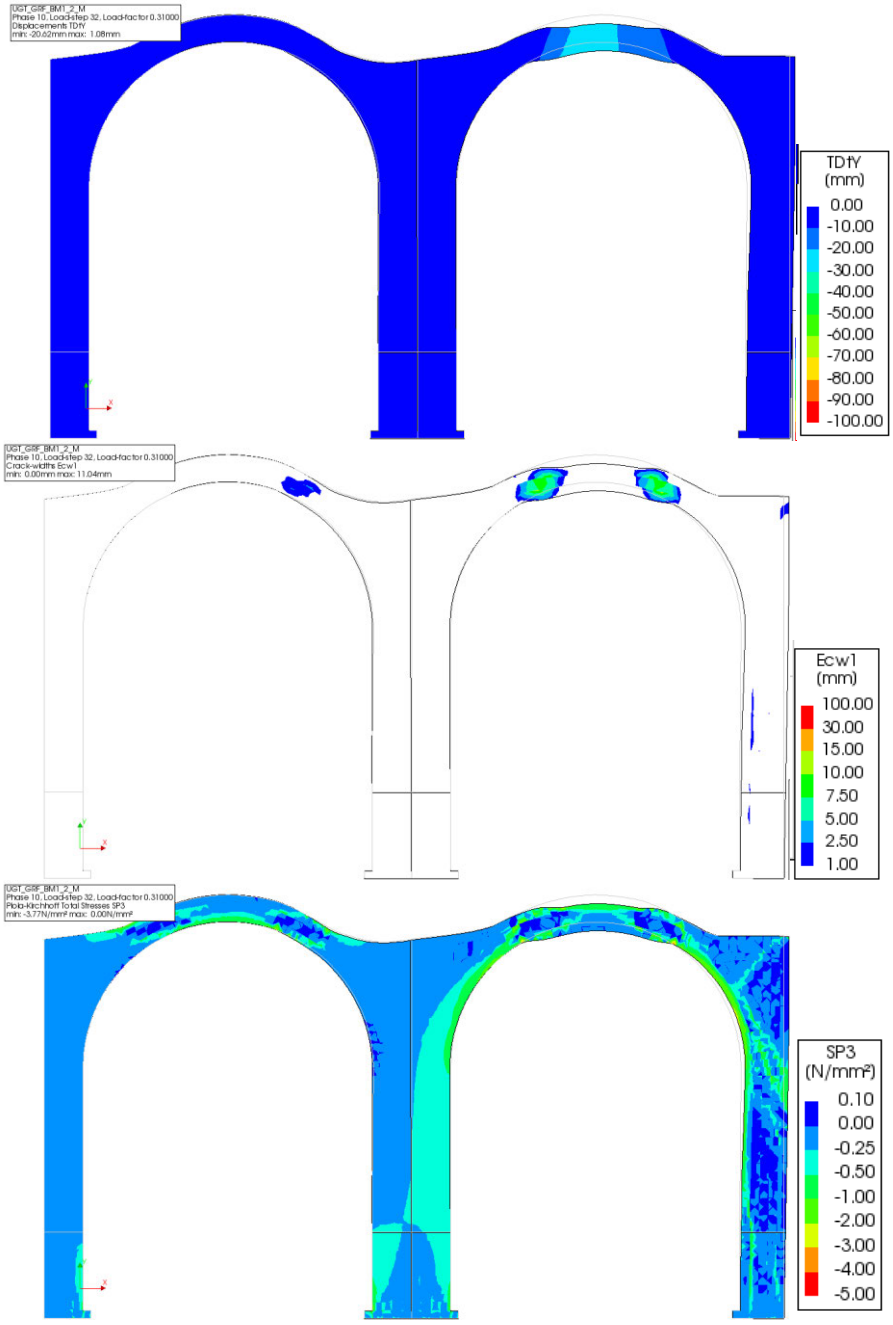
Afbeelding IV.20 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 1-M



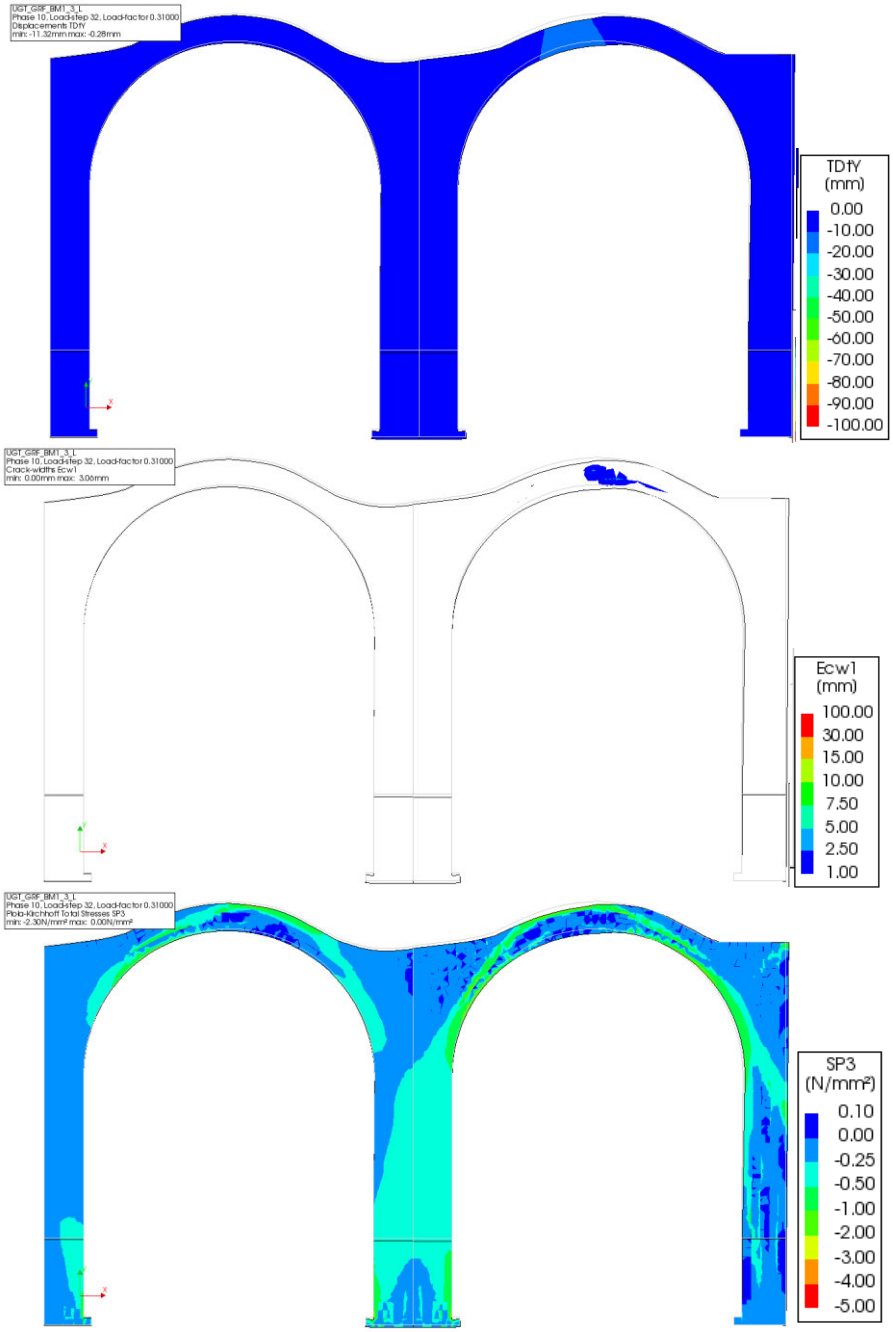
Afbeelding IV.21 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 2-L



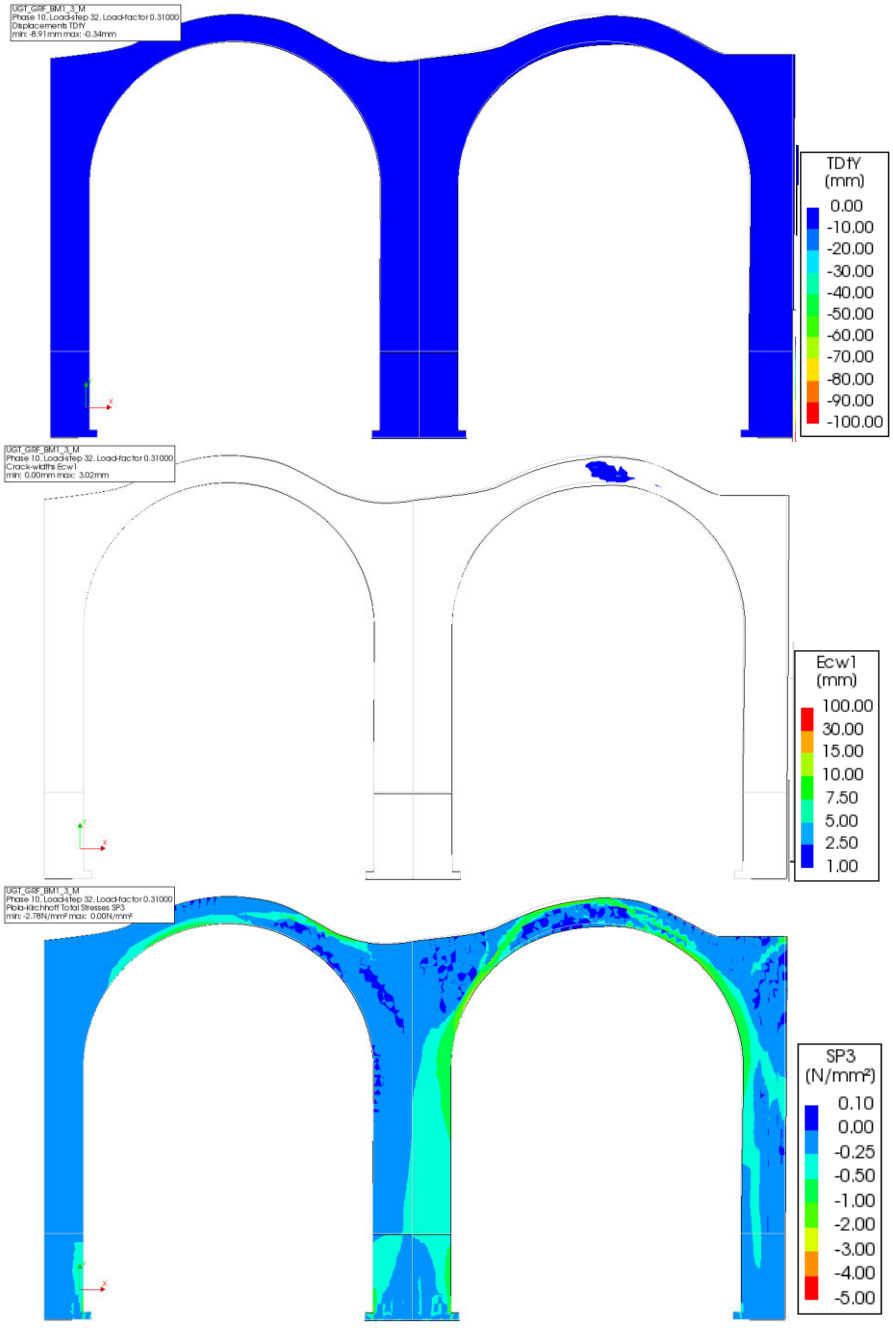
Afbeelding IV.22 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 2-M



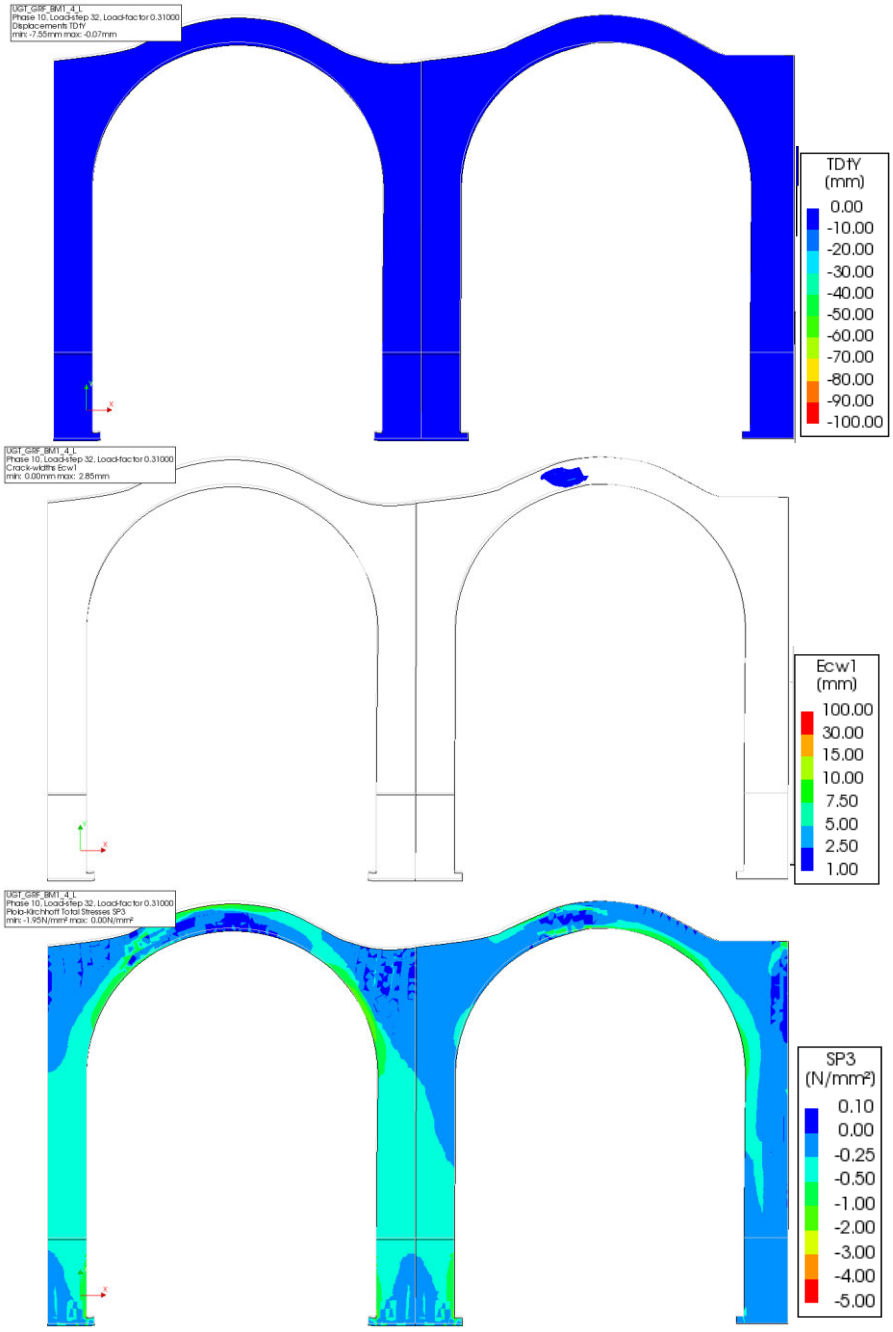
Afbeelding IV.23 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 3-L



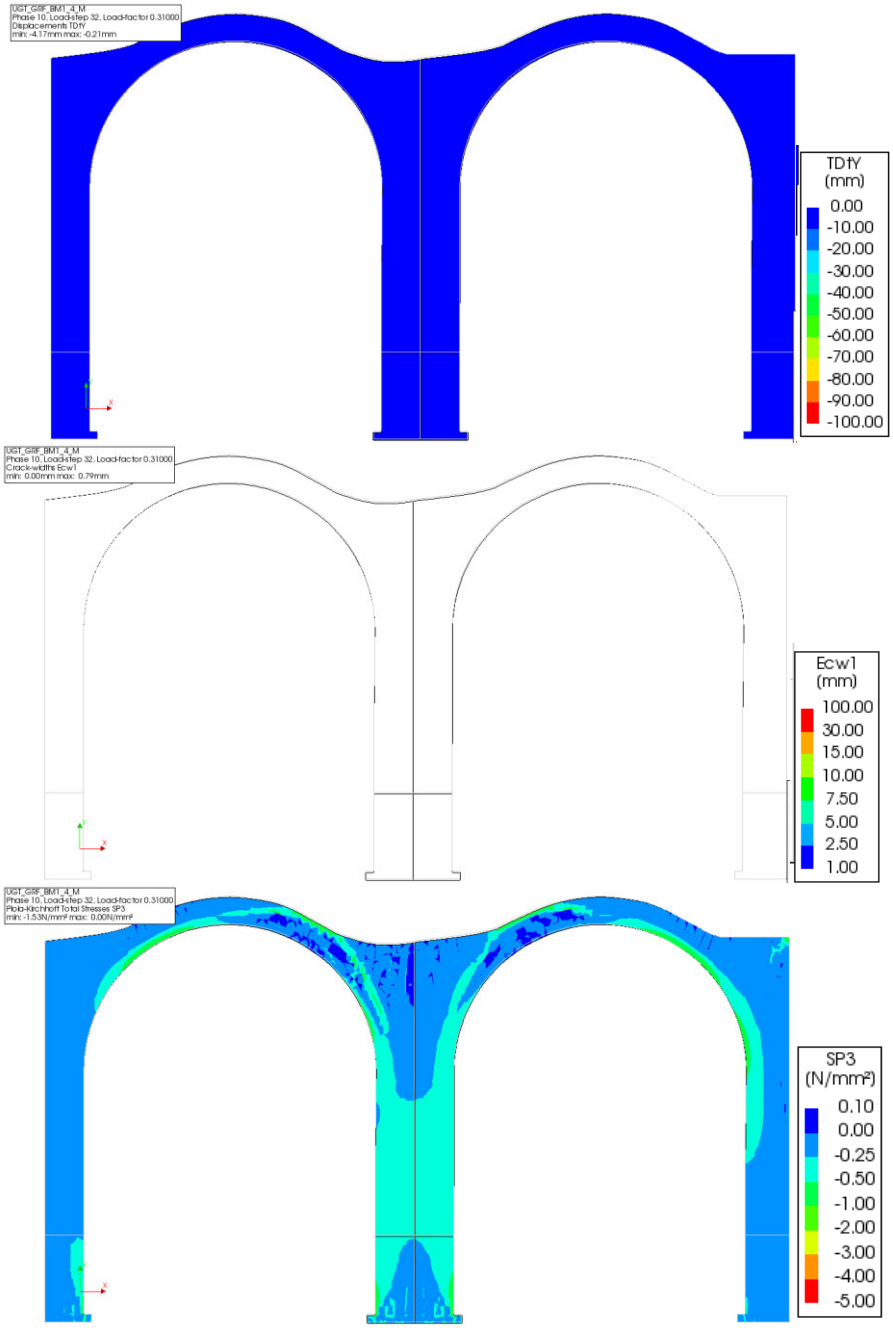
Afbeelding IV.24 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 3-M



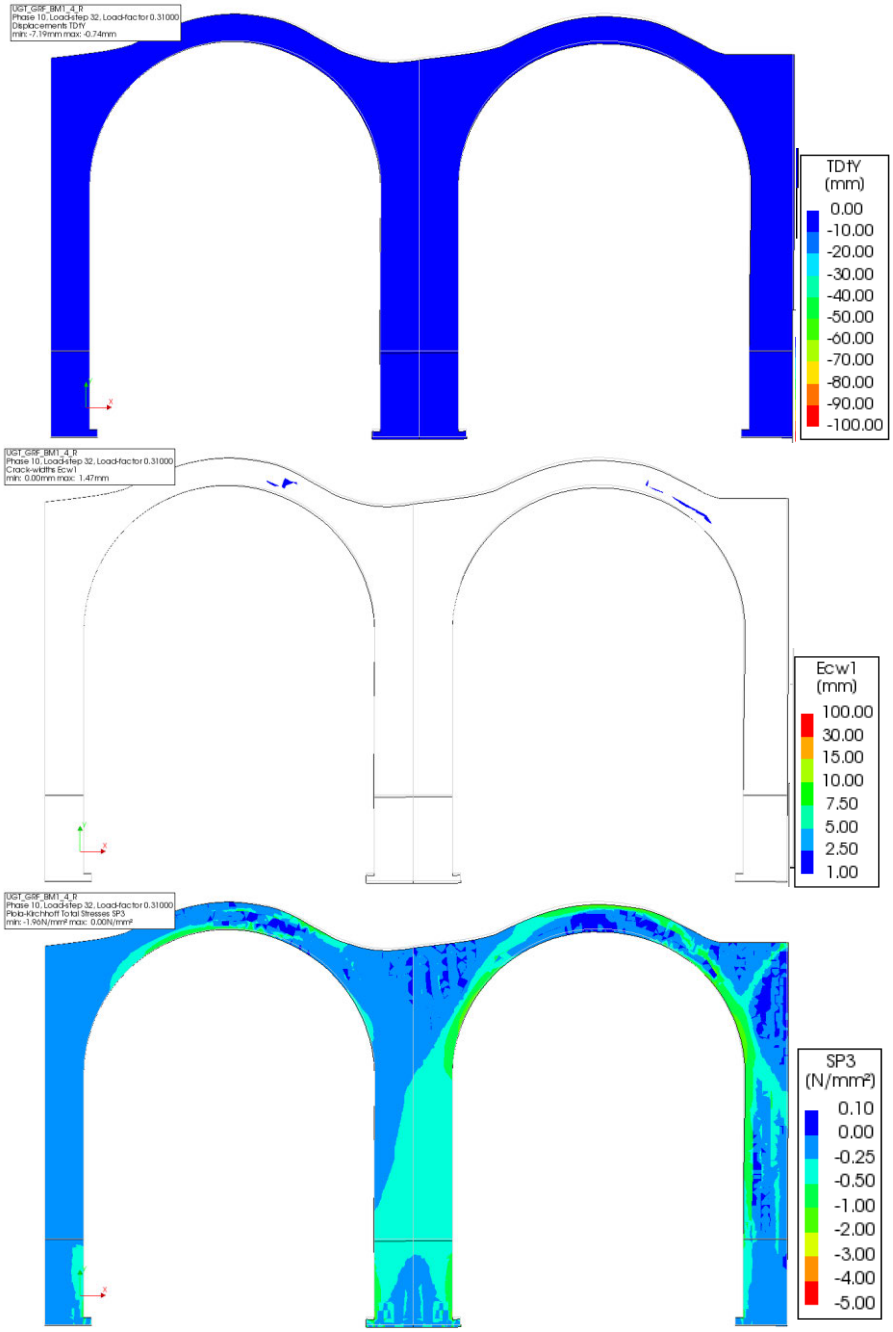
Afbeelding IV.25 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding IV.26 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-M

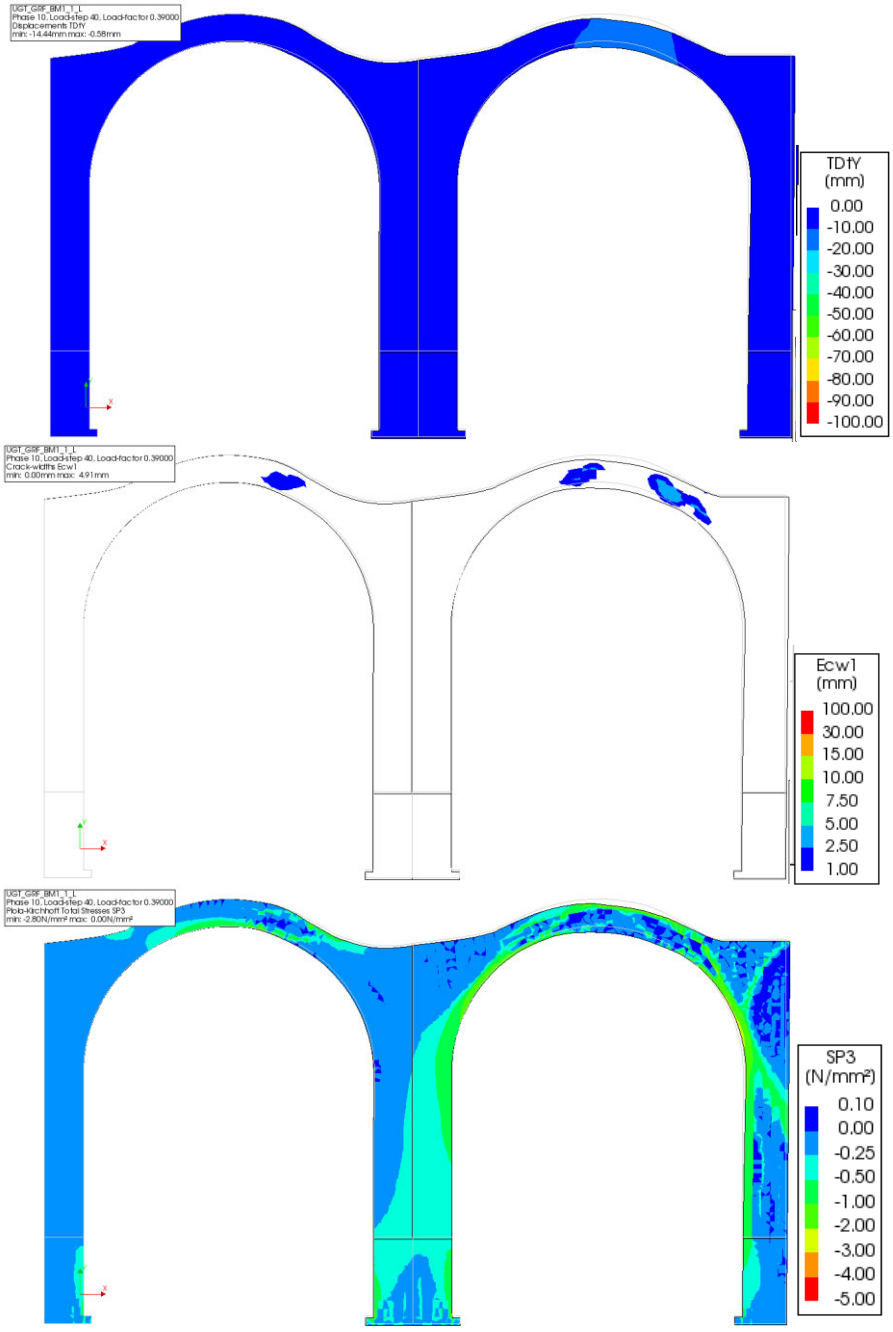


Afbeelding IV.27 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-R

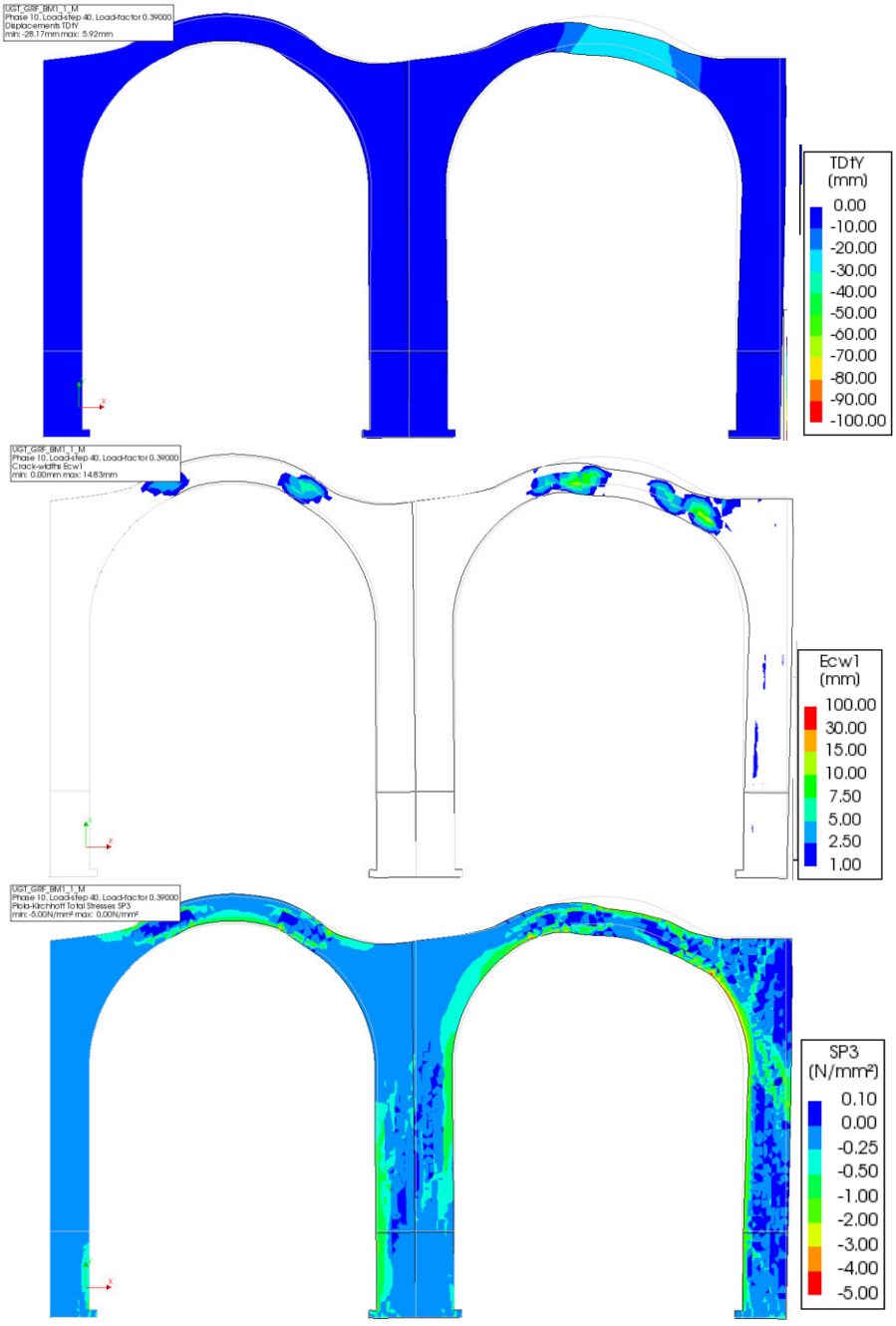


UGT-PF-C20 - 6 ton

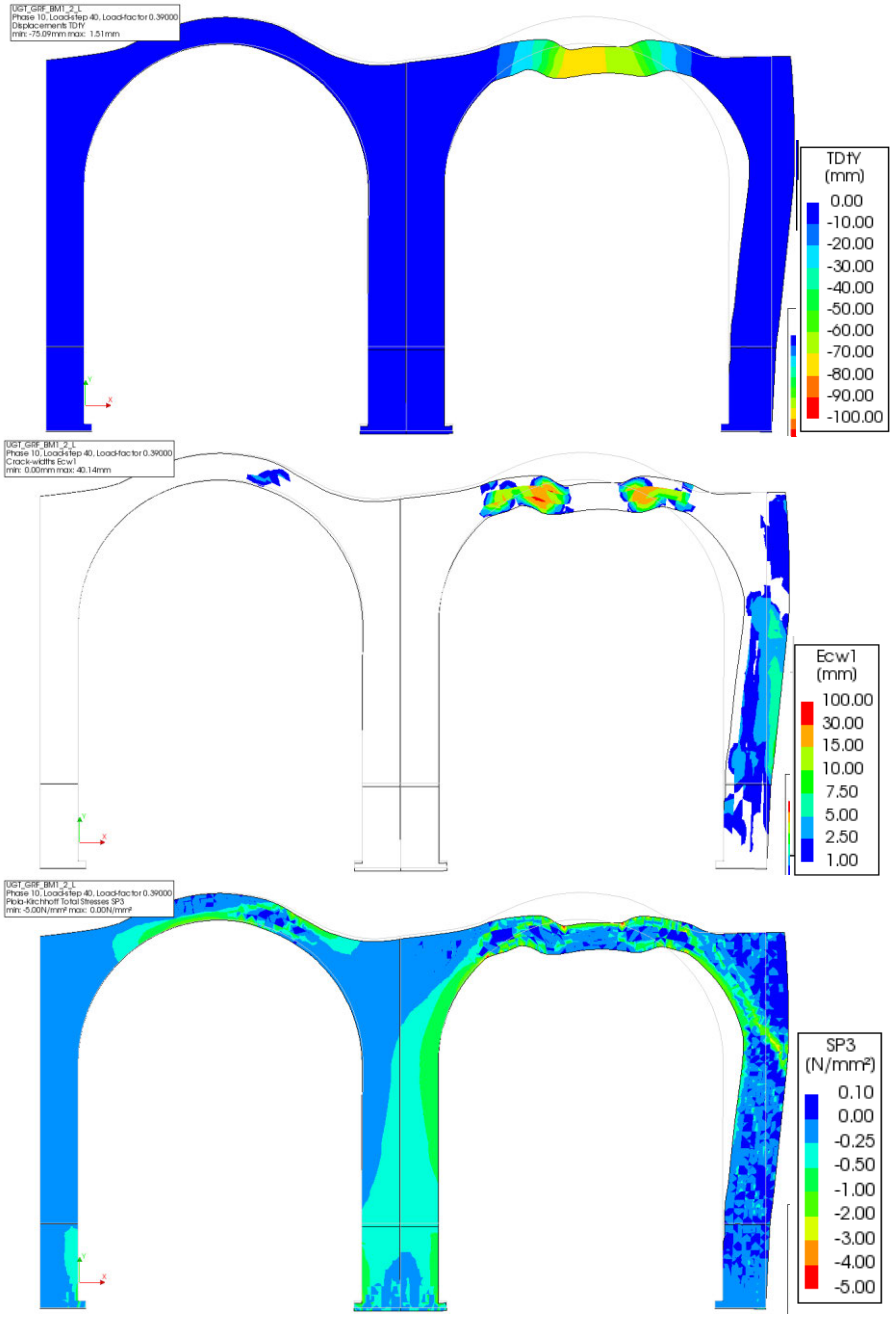
Afbeelding IV.28 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 1-L



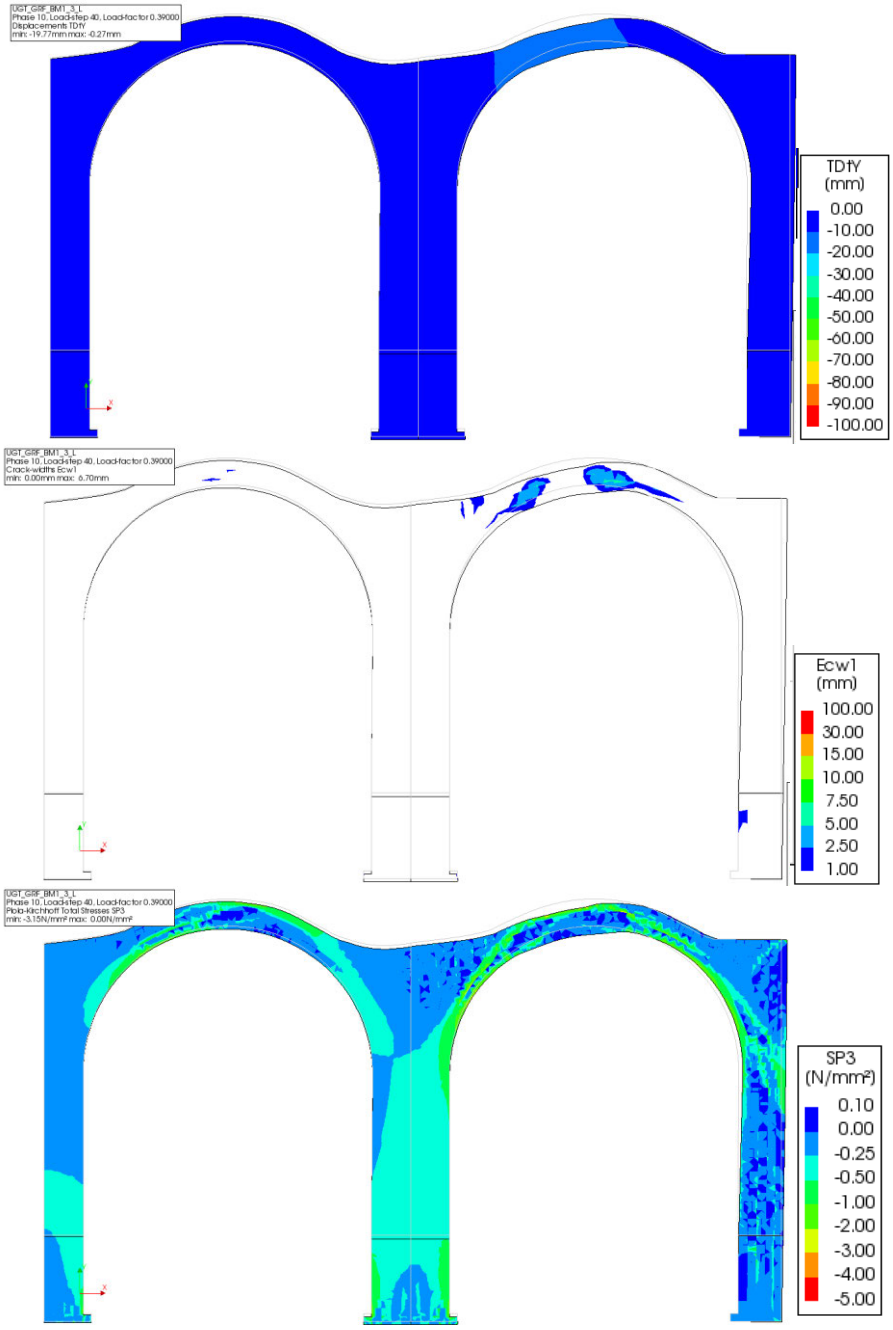
Afbeelding IV.29 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 1-M



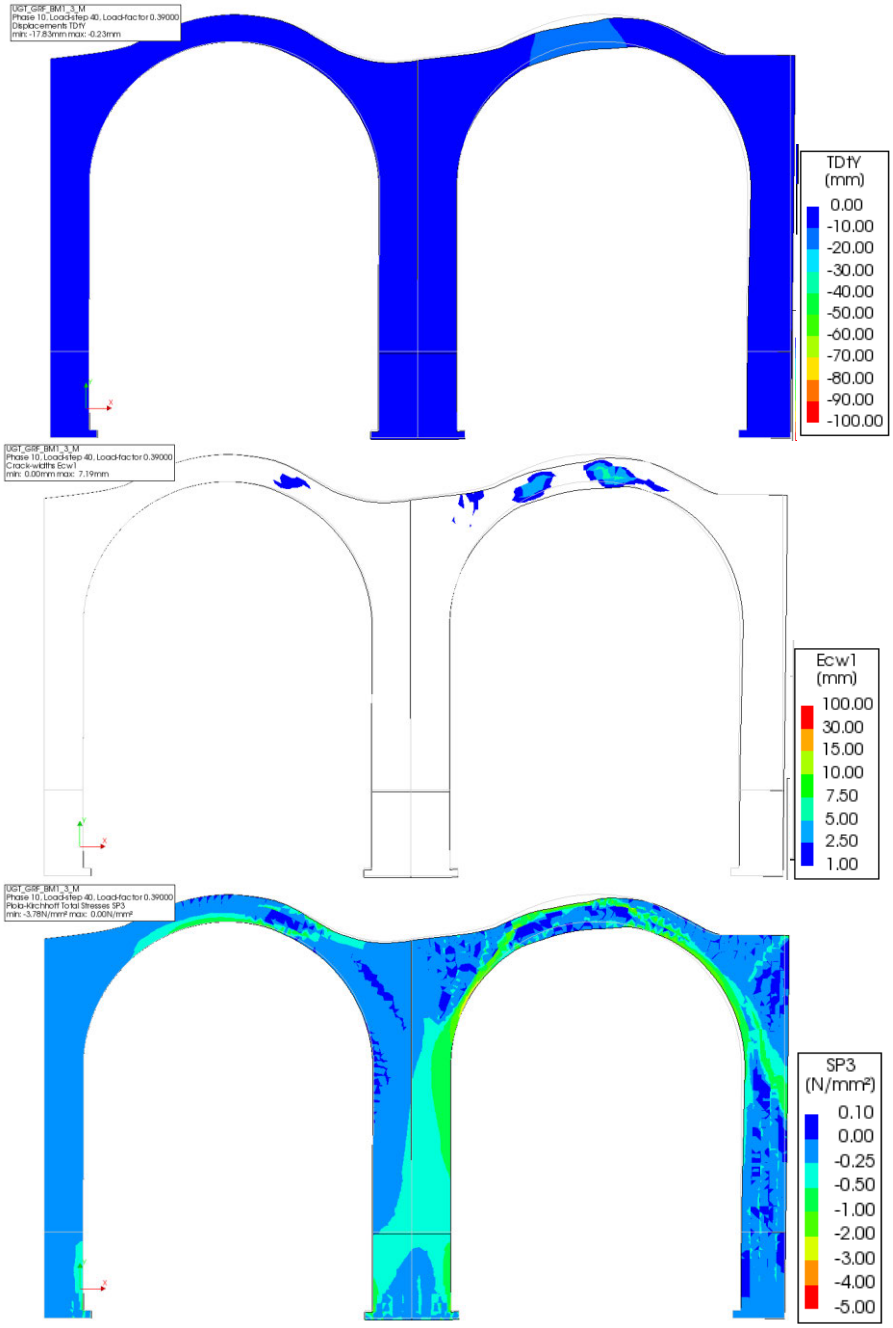
Afbeelding IV.30 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 2-L



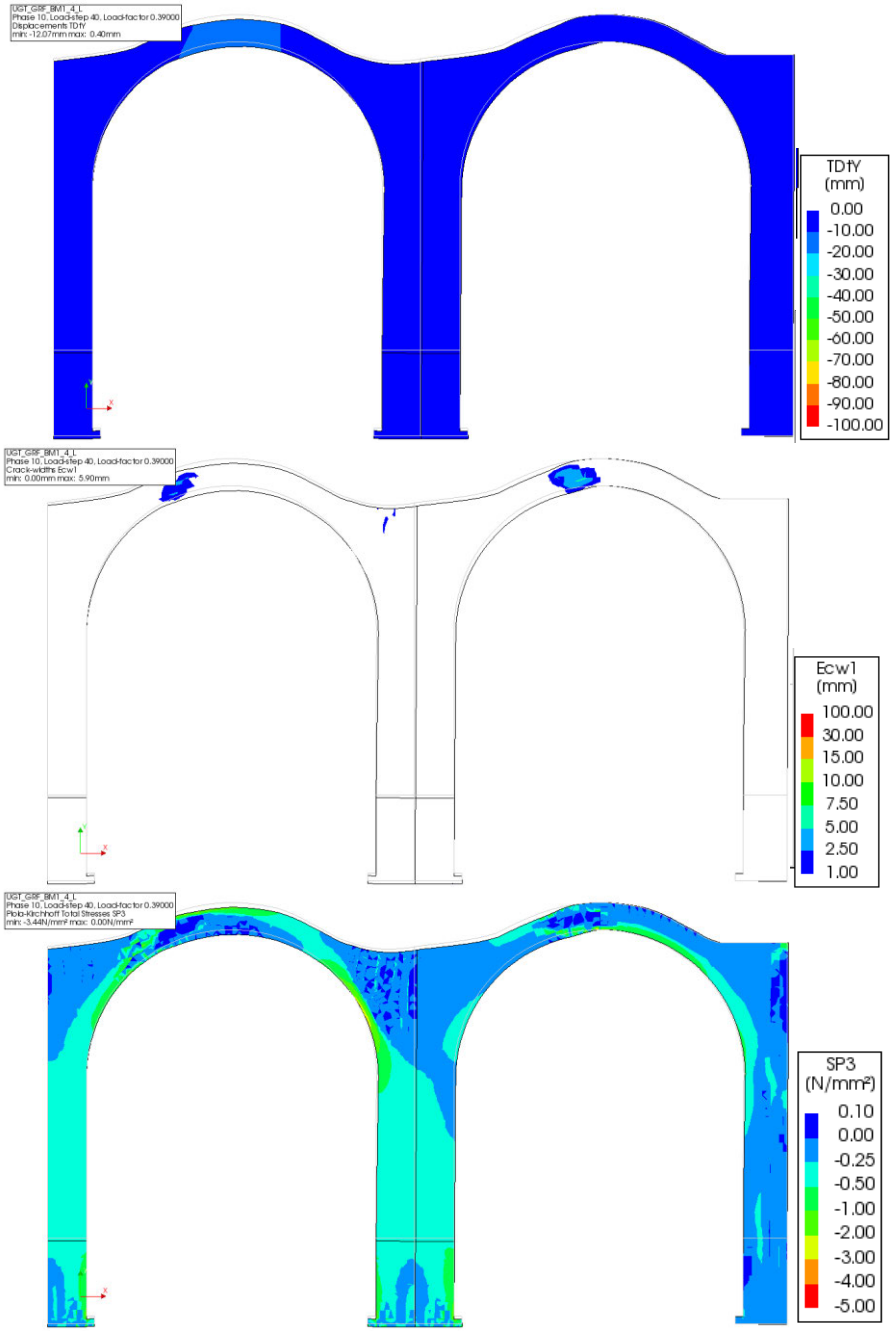
Afbeelding IV.31 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 3-L



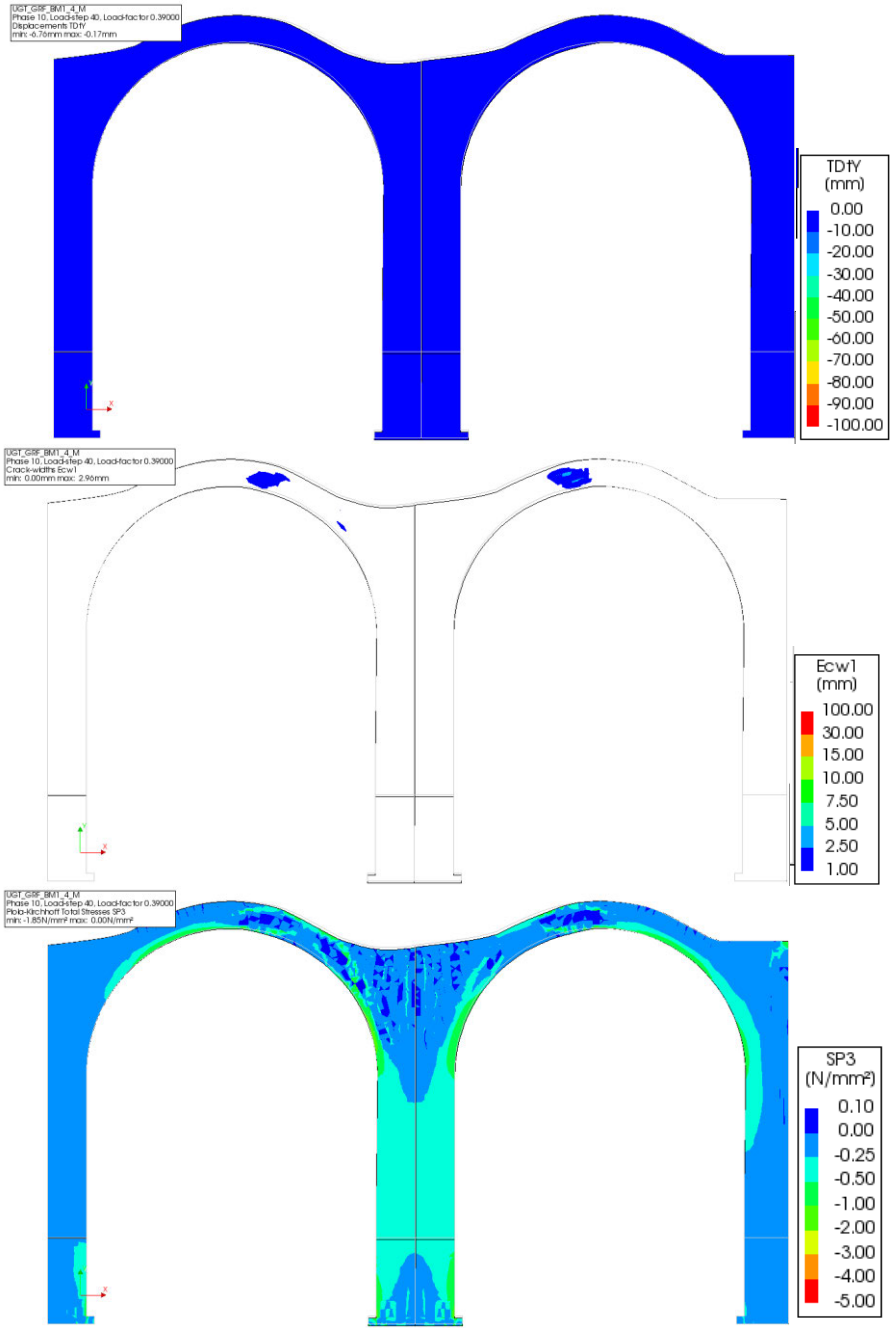
Afbeelding IV.32 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 3-M



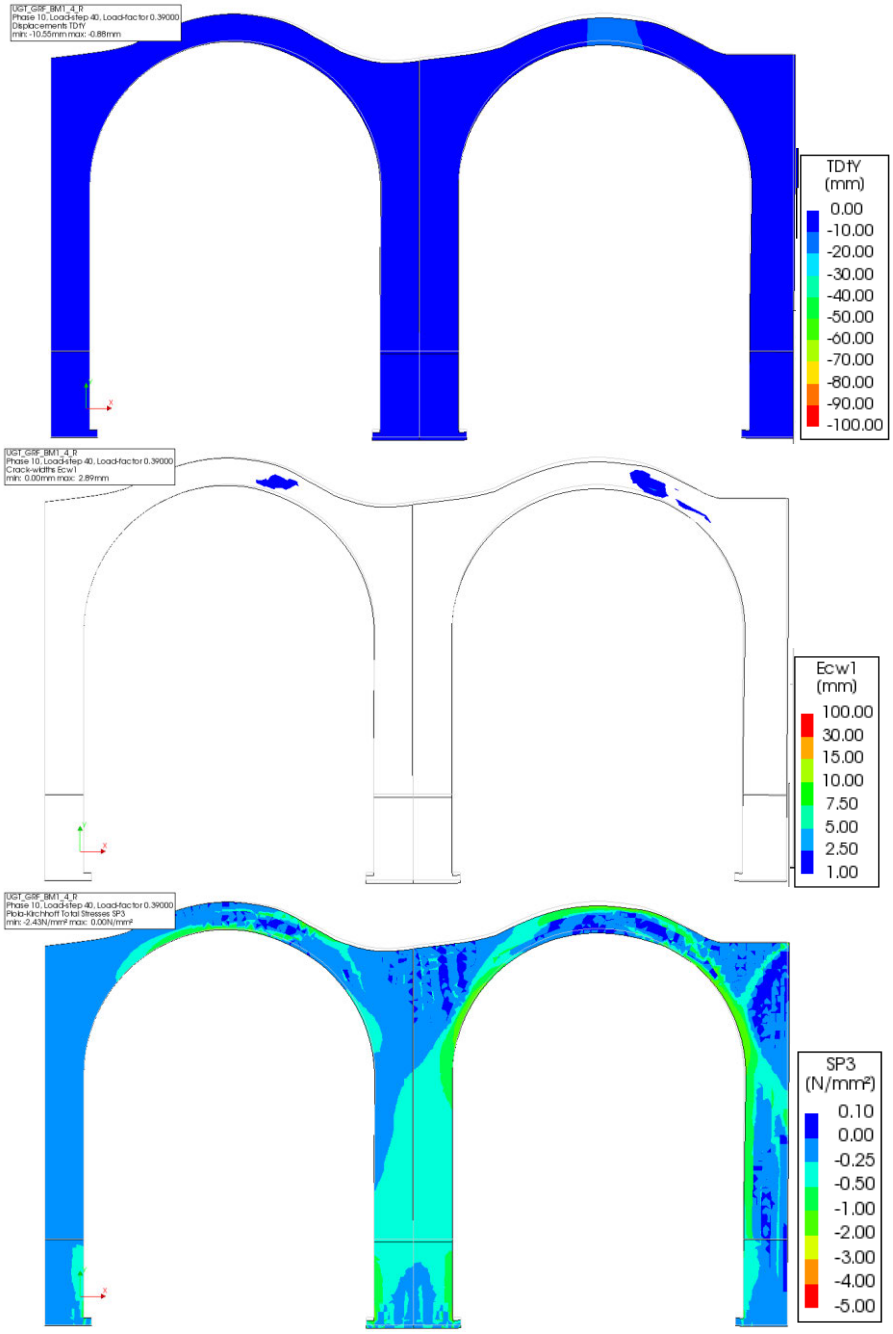
Afbeelding IV.33 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding IV.34 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-M

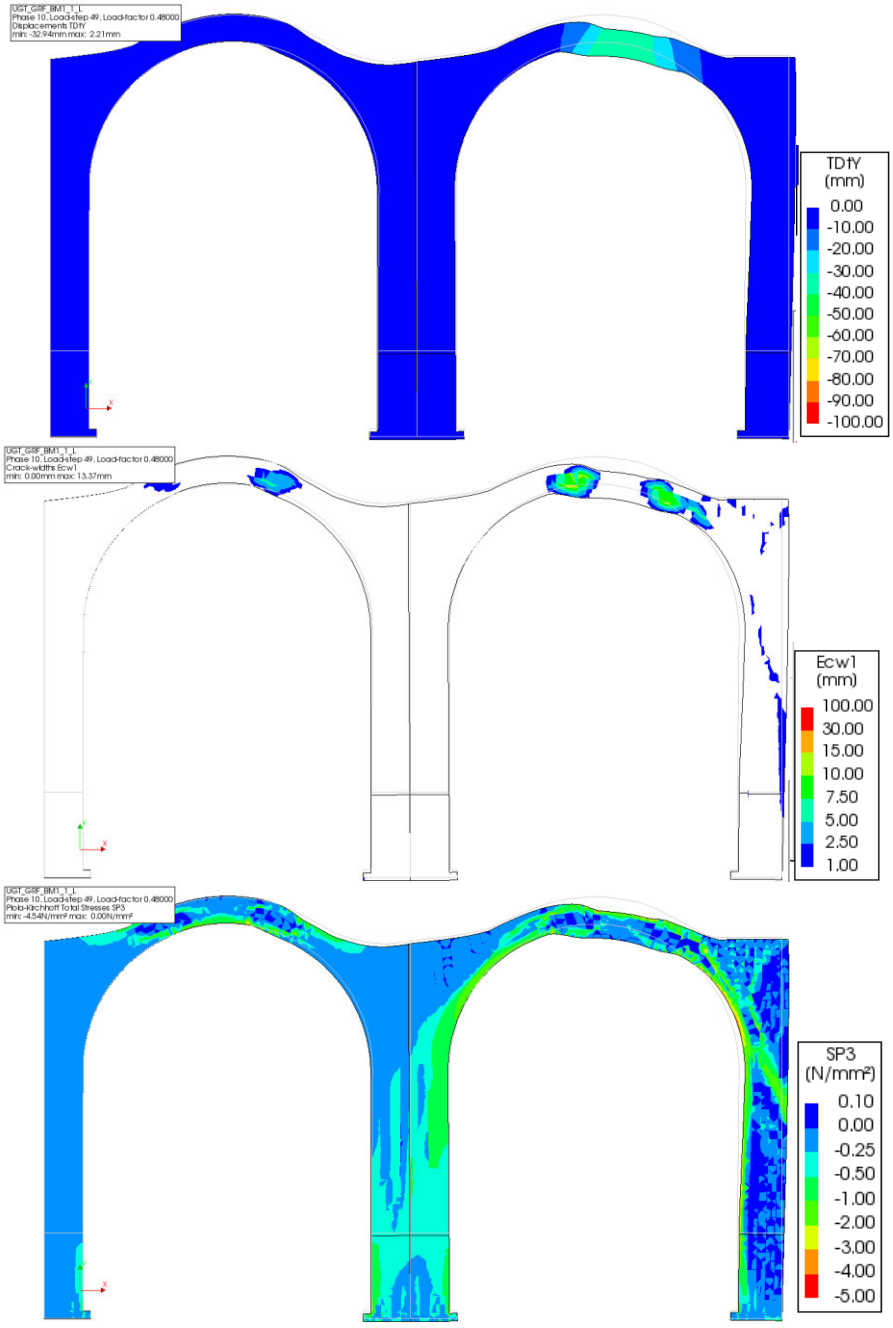


Afbeelding IV.35 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-R

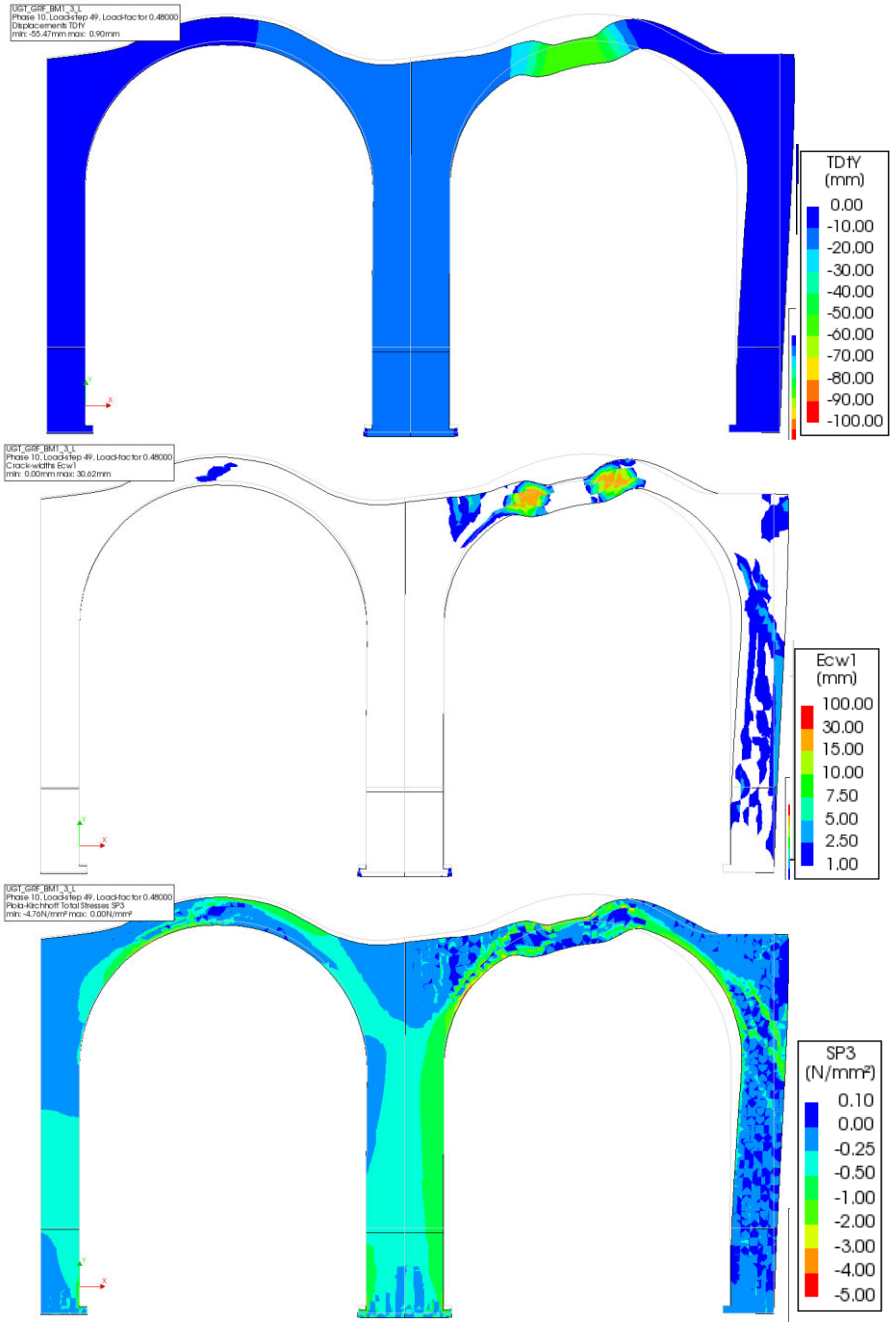


UGT-GRF-C20 - 7 ton

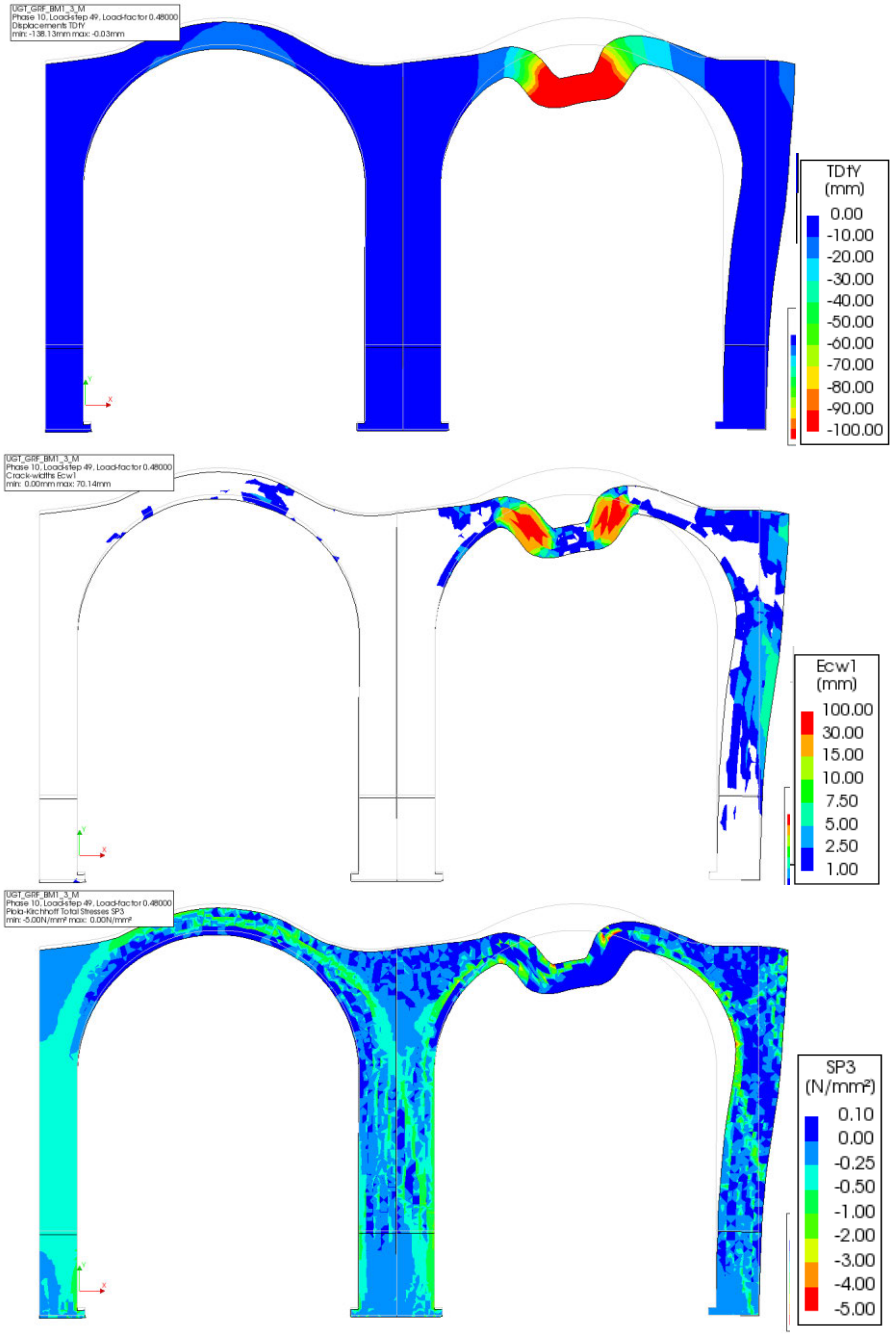
Afbeelding IV.36 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 1-L



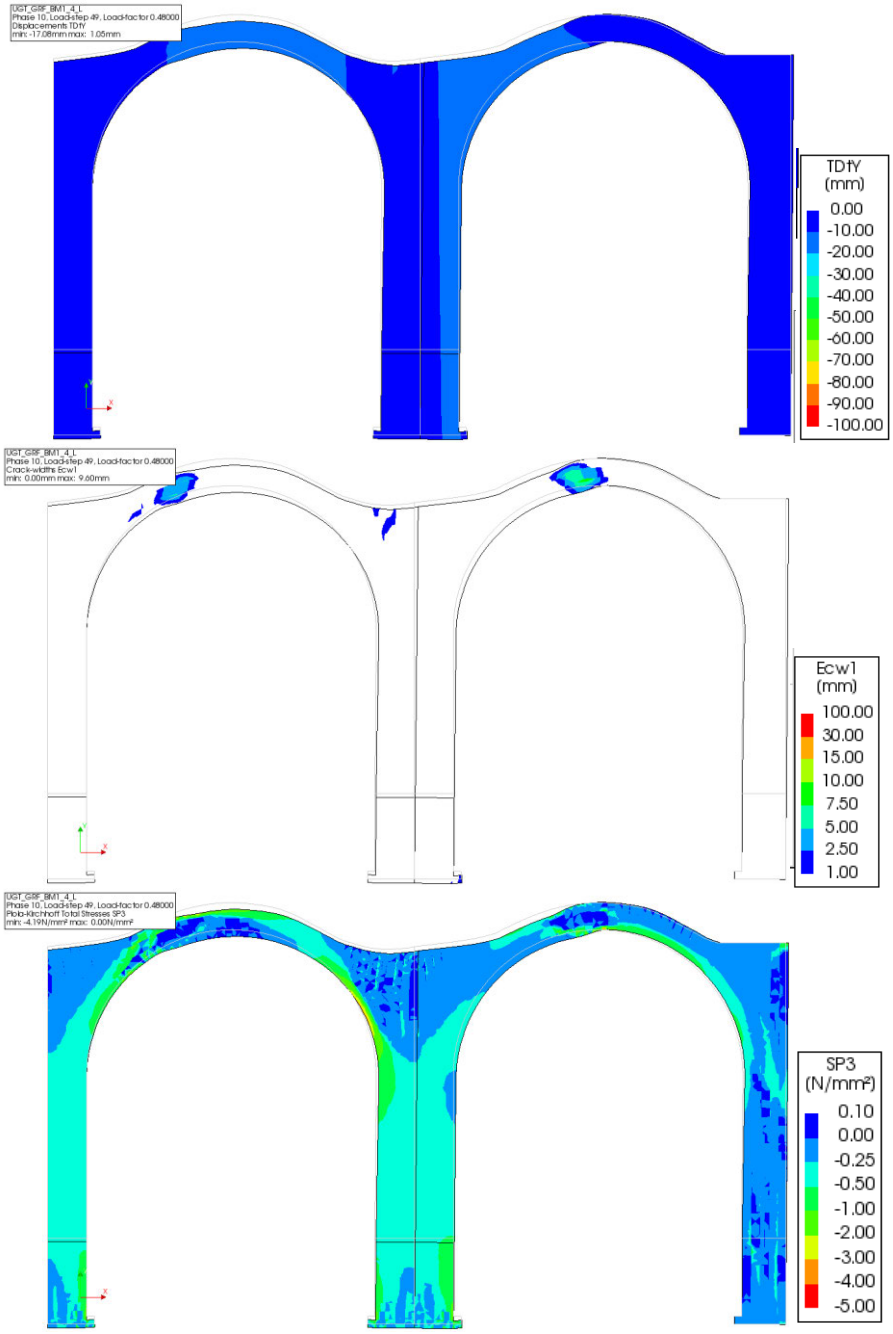
Afbeelding IV.37 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 3-L



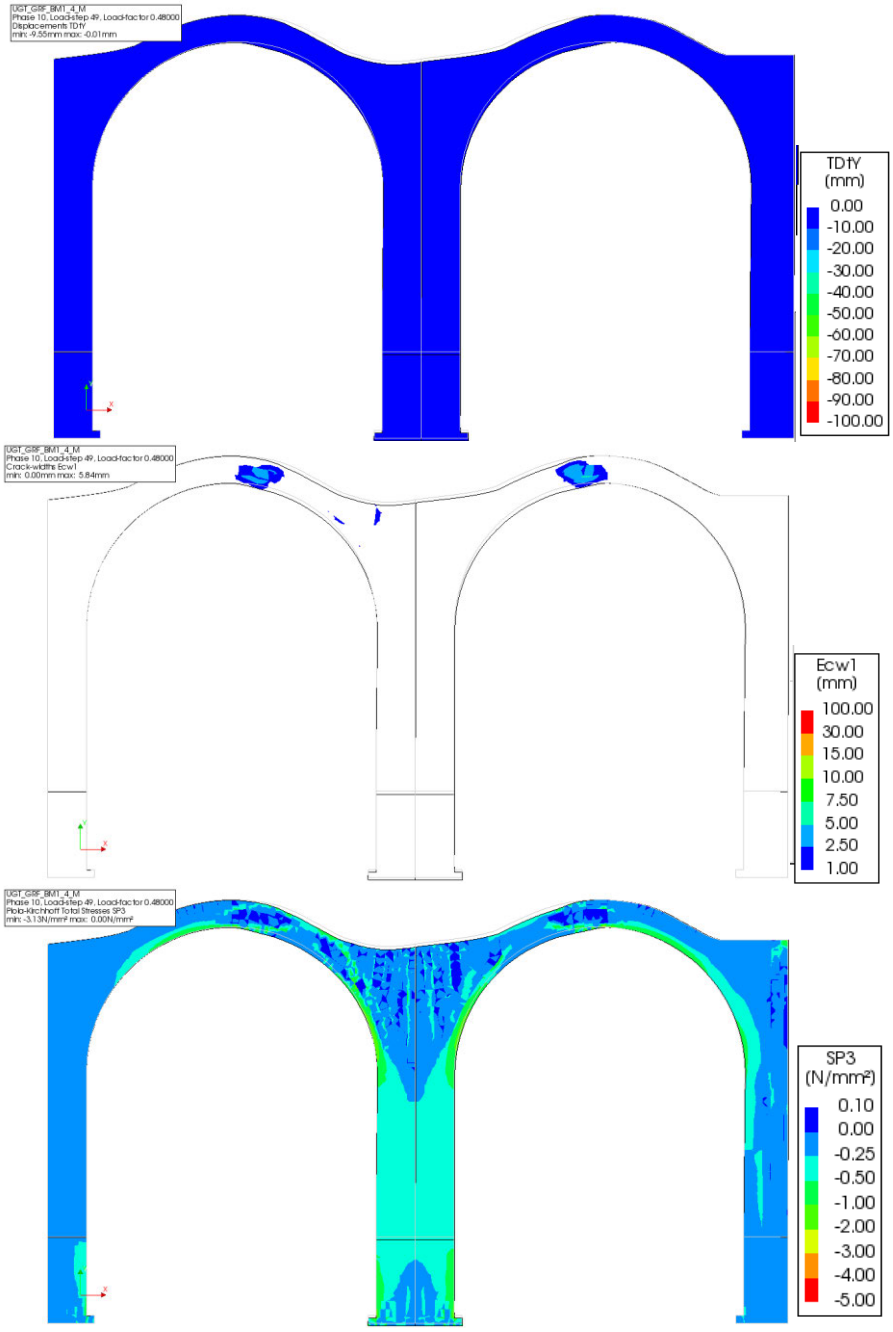
Afbeelding IV.38 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 3-M



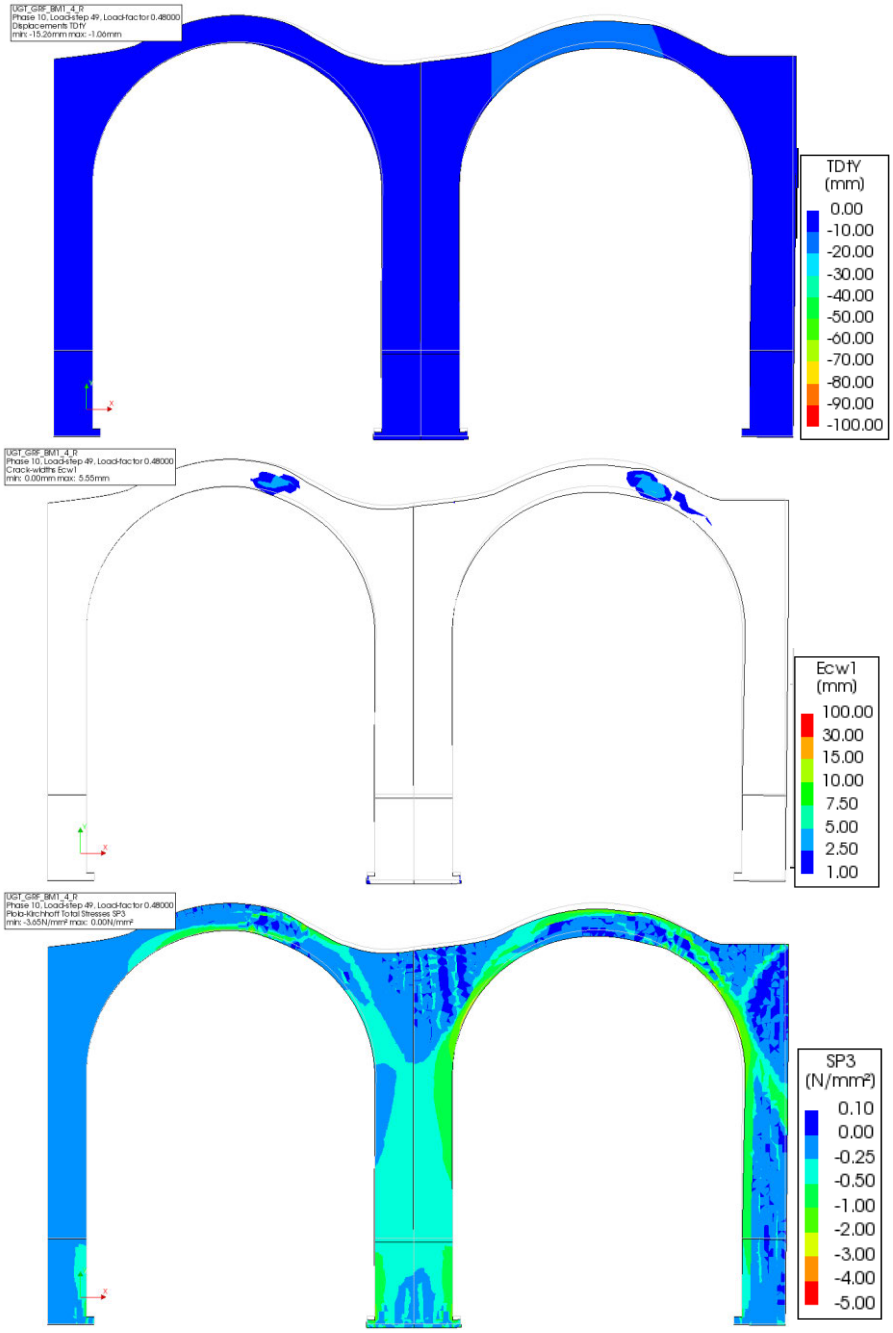
Afbeelding IV.39 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding IV.40 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-M

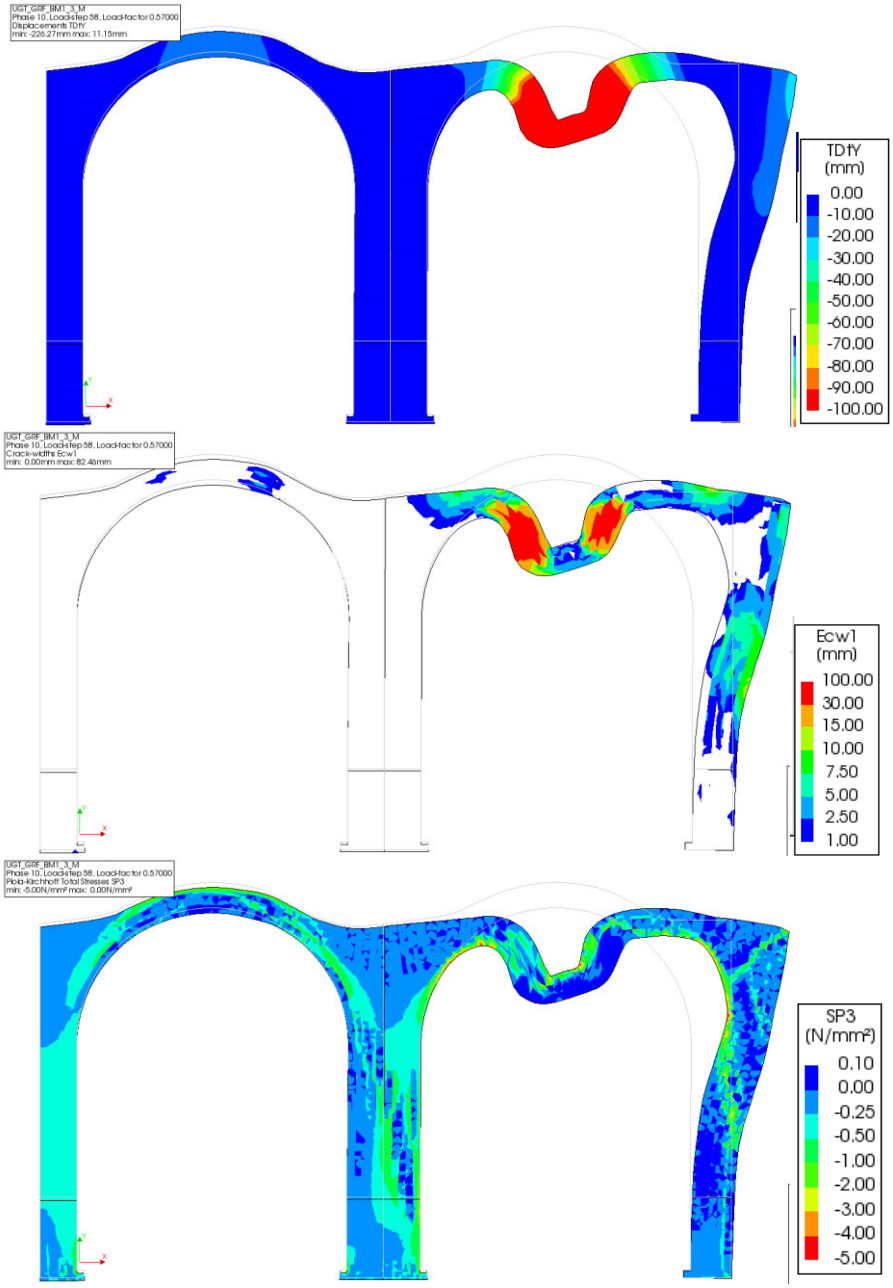


Afbeelding IV.41 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-R

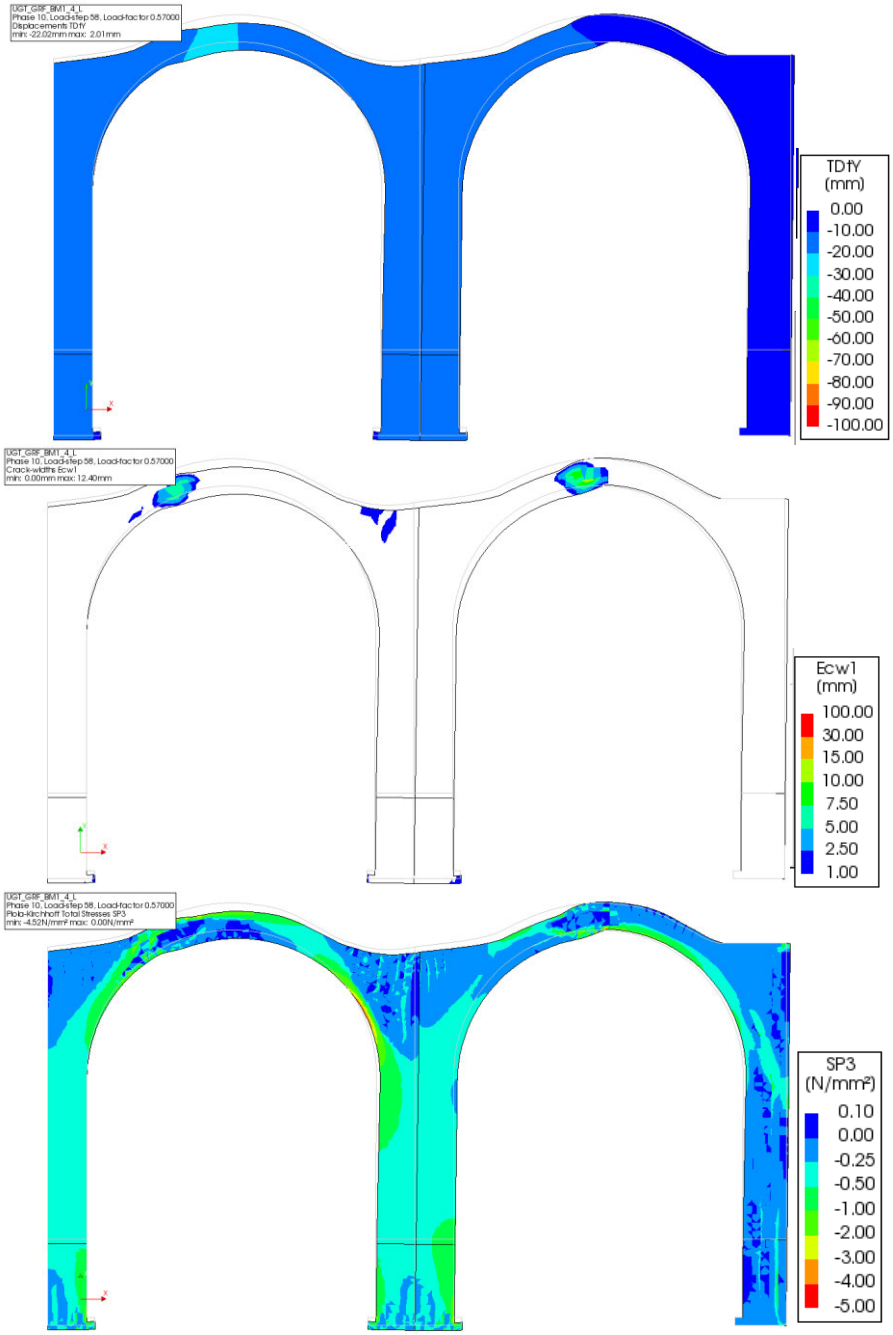


UGT-GRF-C20 - 8 ton

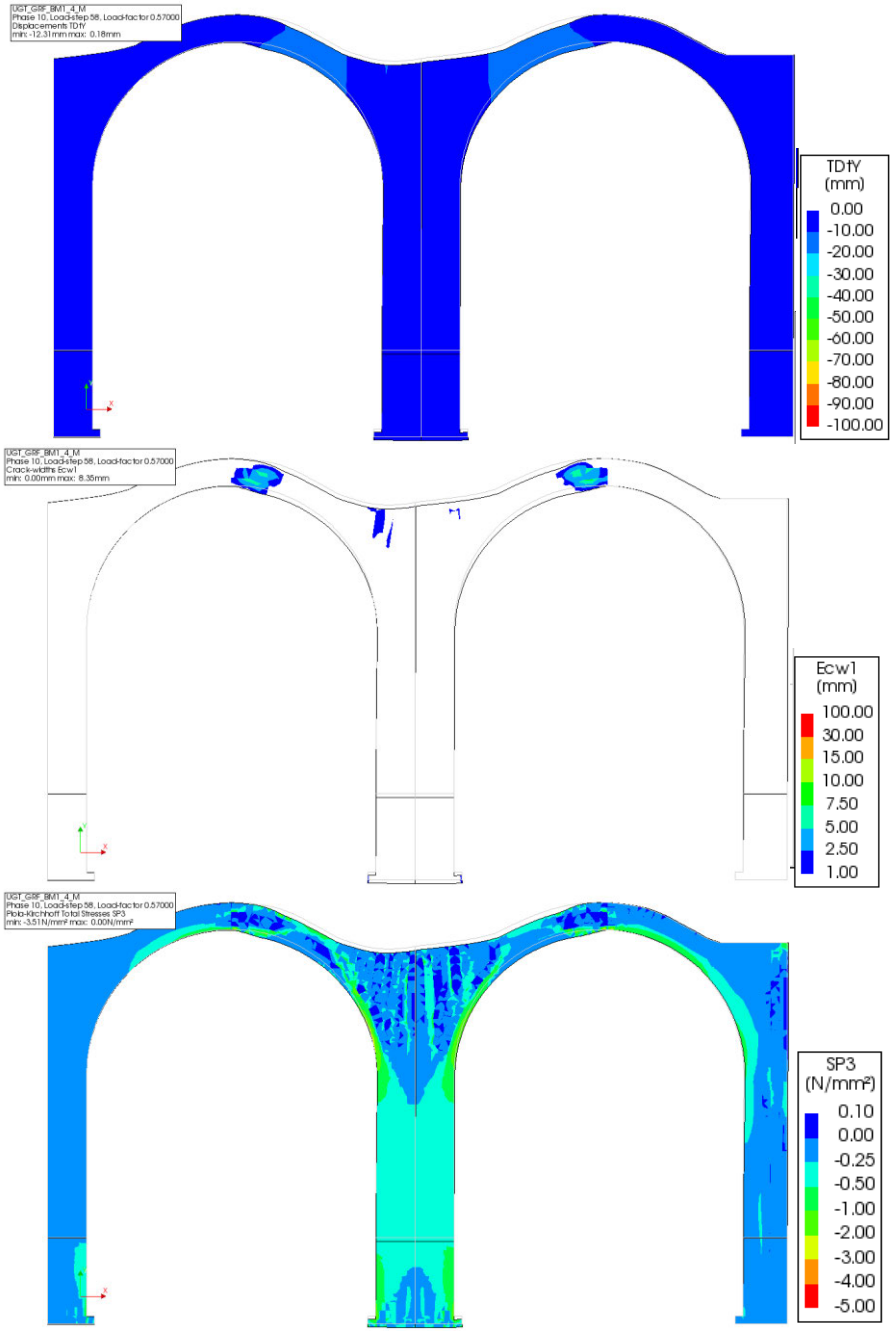
Afbeelding IV.42 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 3-M



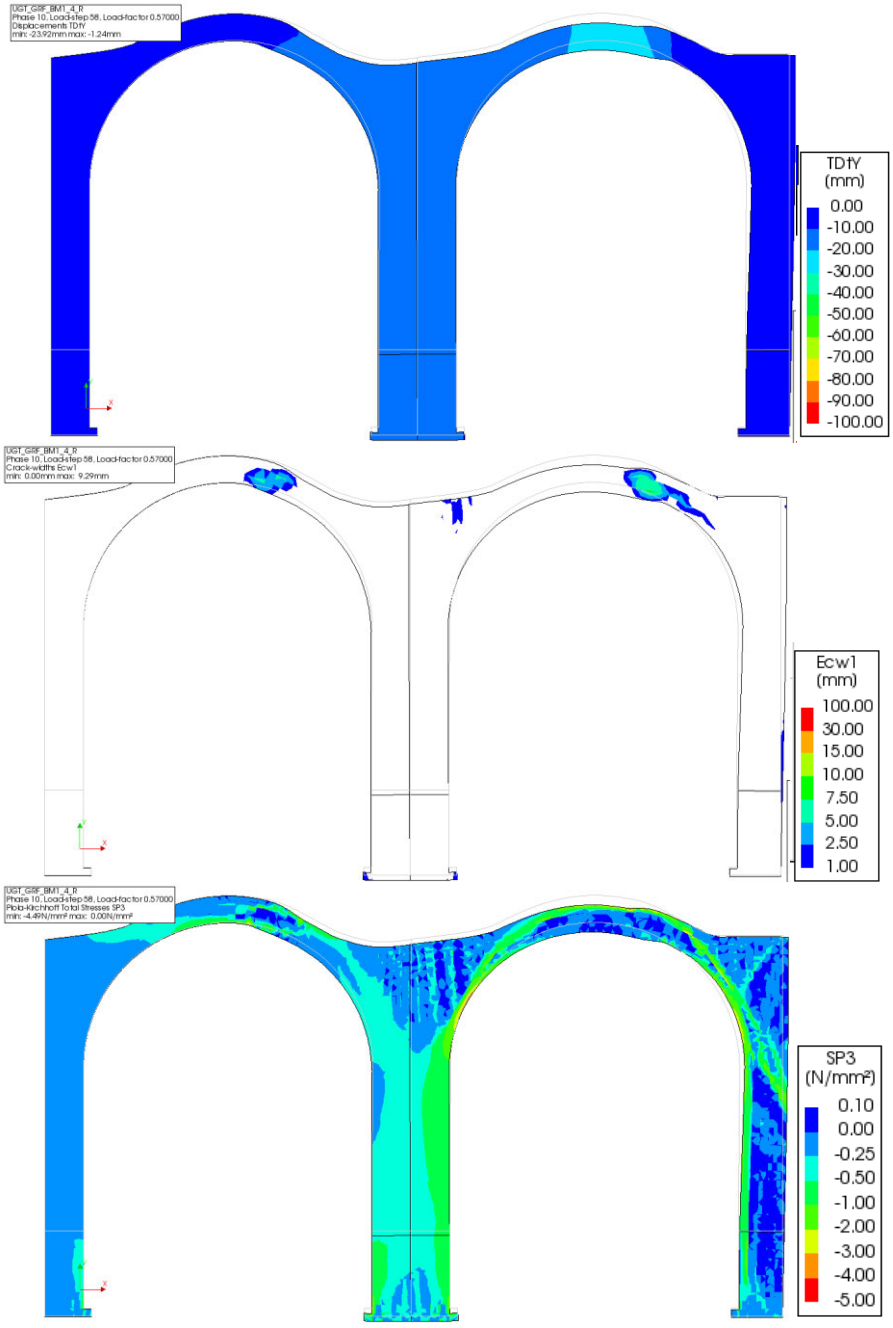
Afbeelding IV.43 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding IV.44 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-M

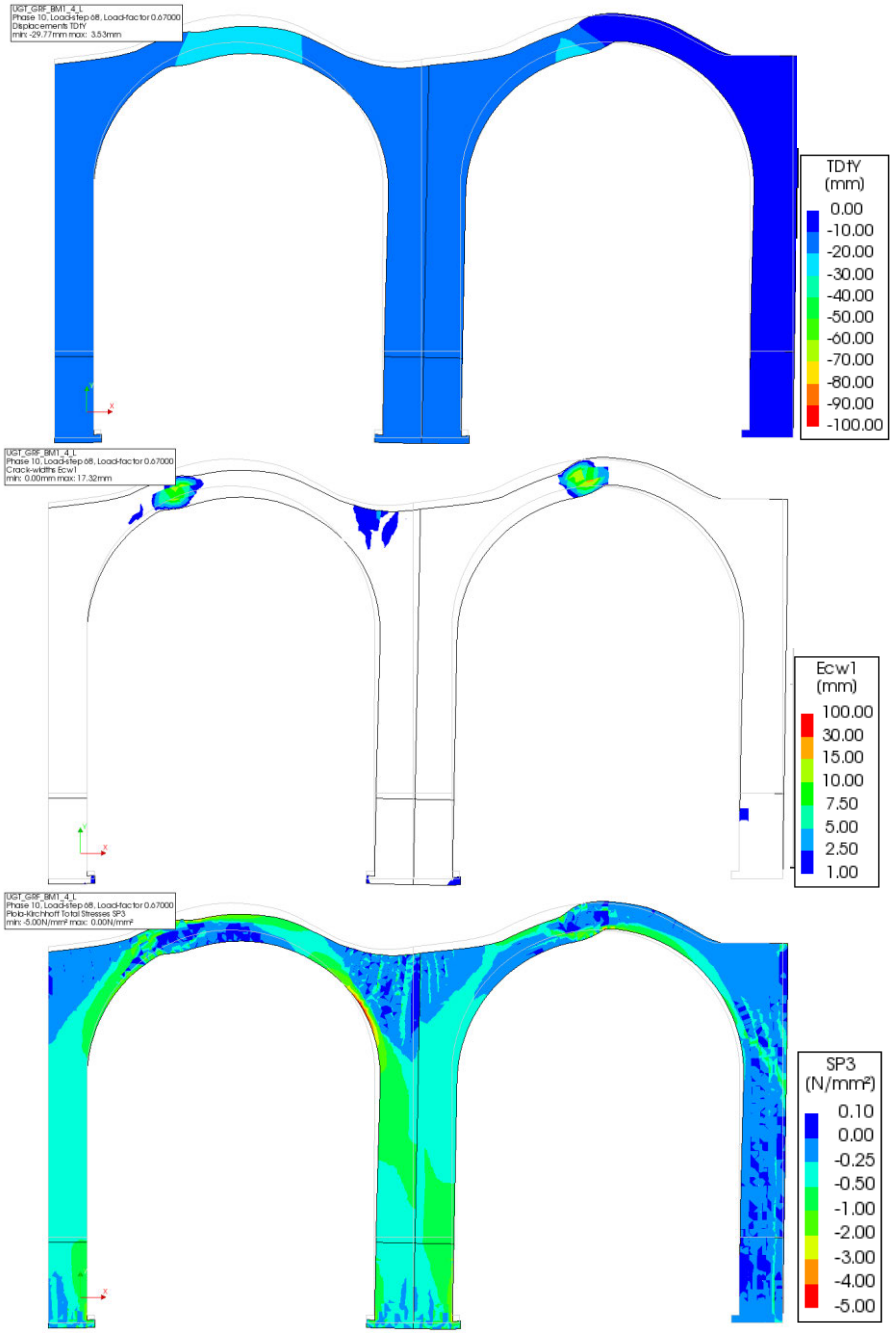


Afbeelding IV.45 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-R

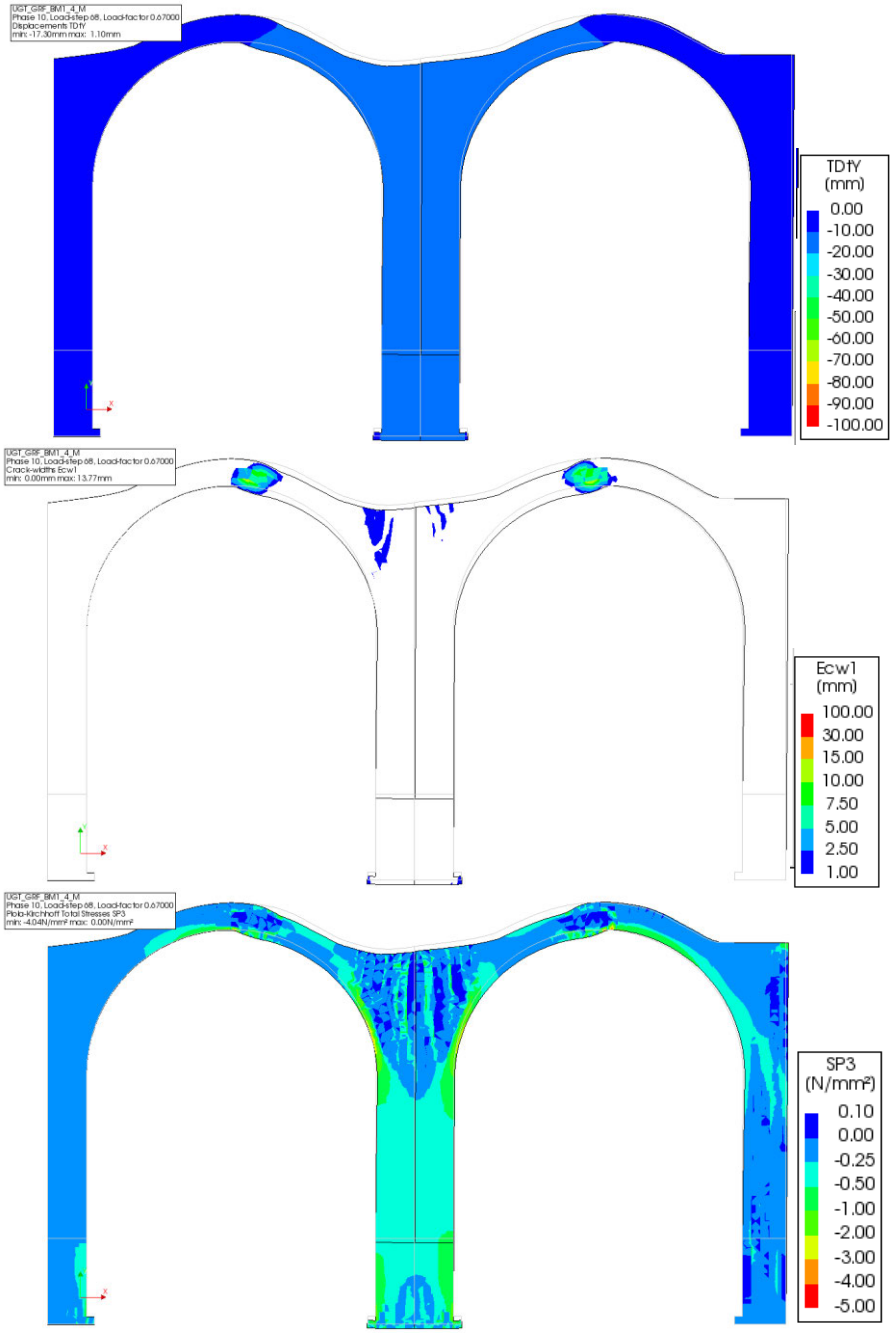


UGT-GRF-C20 - 9 ton

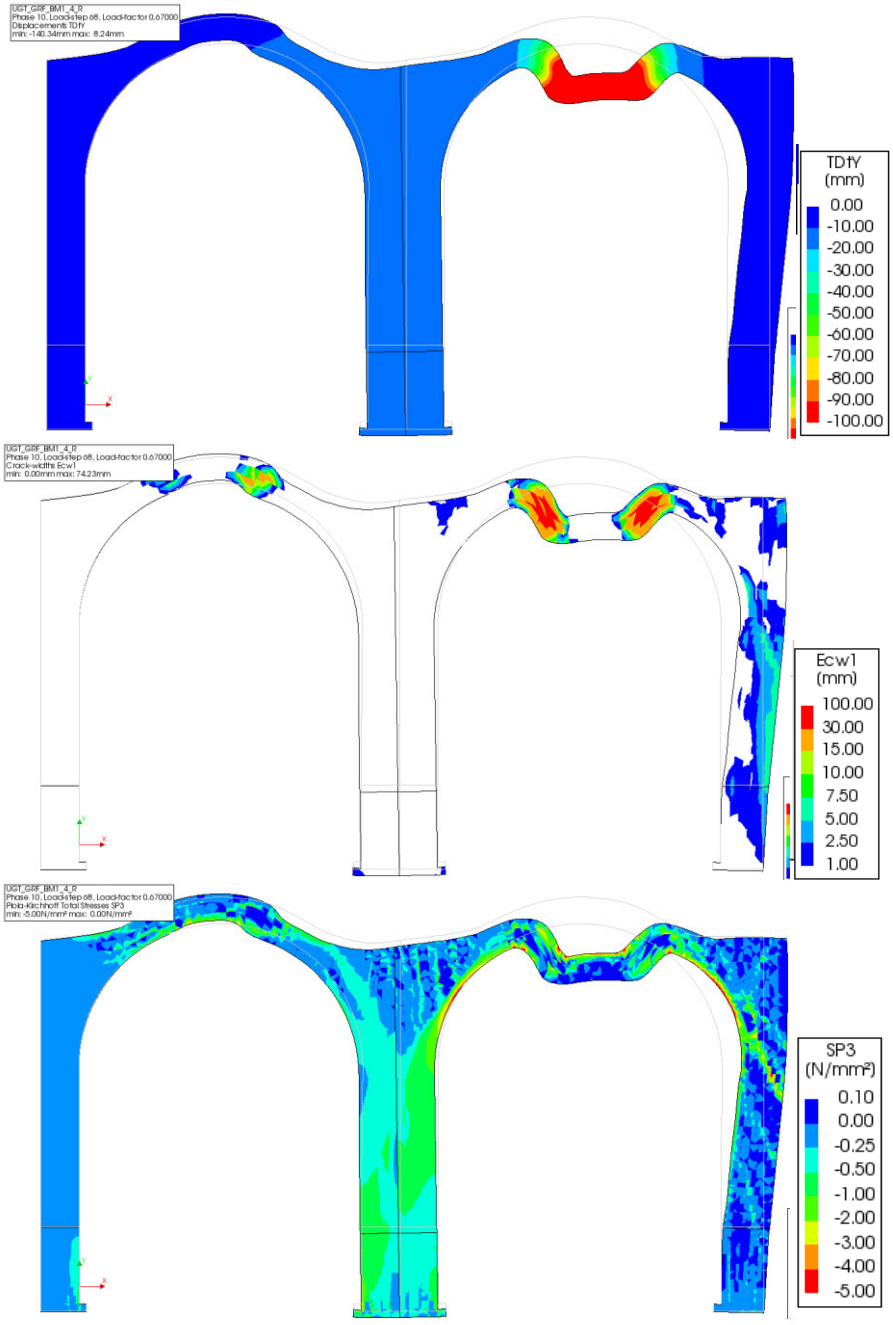
Afbeelding IV.46 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding IV.47 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-M



Afbeelding IV.48 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-R

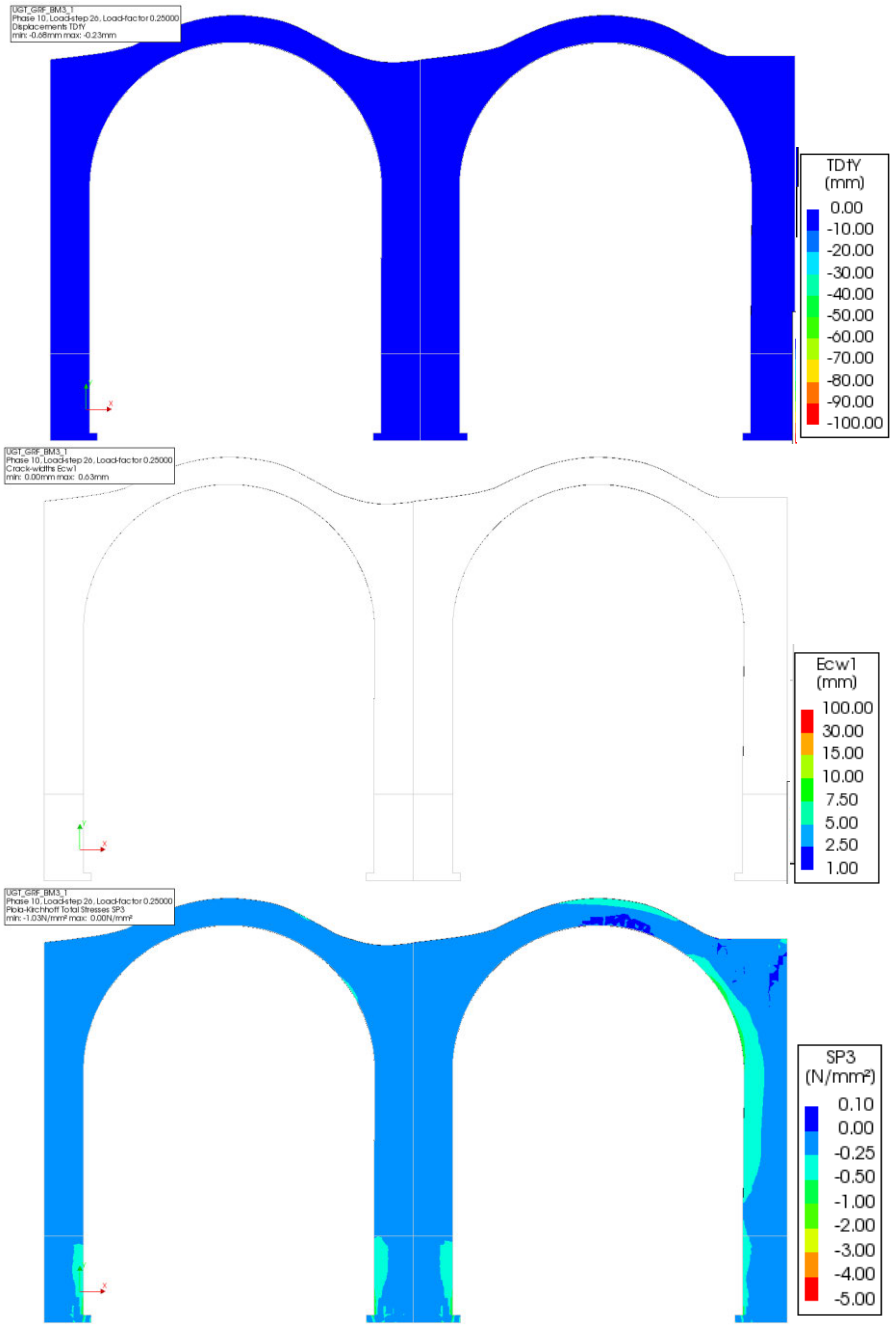

UGT_GRF_BM1_4_R
Phase 10, Load-step 68, Load-factor 0.67000
Displacements TDfY
min: -140.34mm max: 8.24mm
TDfY
(mm)
0.00
-10.00
-20.00
-30.00
-40.00
-50.00
-60.00
-70.00
-80.00
-90.00
-100.00
UGT_GRF_BM1_4_R
Phase 10, Load-step 68, Load-factor 0.67000
Crack-widths Ecw1
min: 0.00mm max: 74.23mm
Ecw1
(mm)
100.00
30.00
15.00
10.00
7.50
5.00
2.50
1.00
UGT_GRF_BM1_4_R
Phase 10, Load-step 68, Load-factor 0.67000
Plaq-Kirchhoff Total Stresses SP3
min: -5.00N/mm² max: 0.00N/mm²
SP3
(N/mm²)
0.10
0.00
-0.25
-0.50
-1.00
-2.00
-3.00
-4.00
-5.00

V

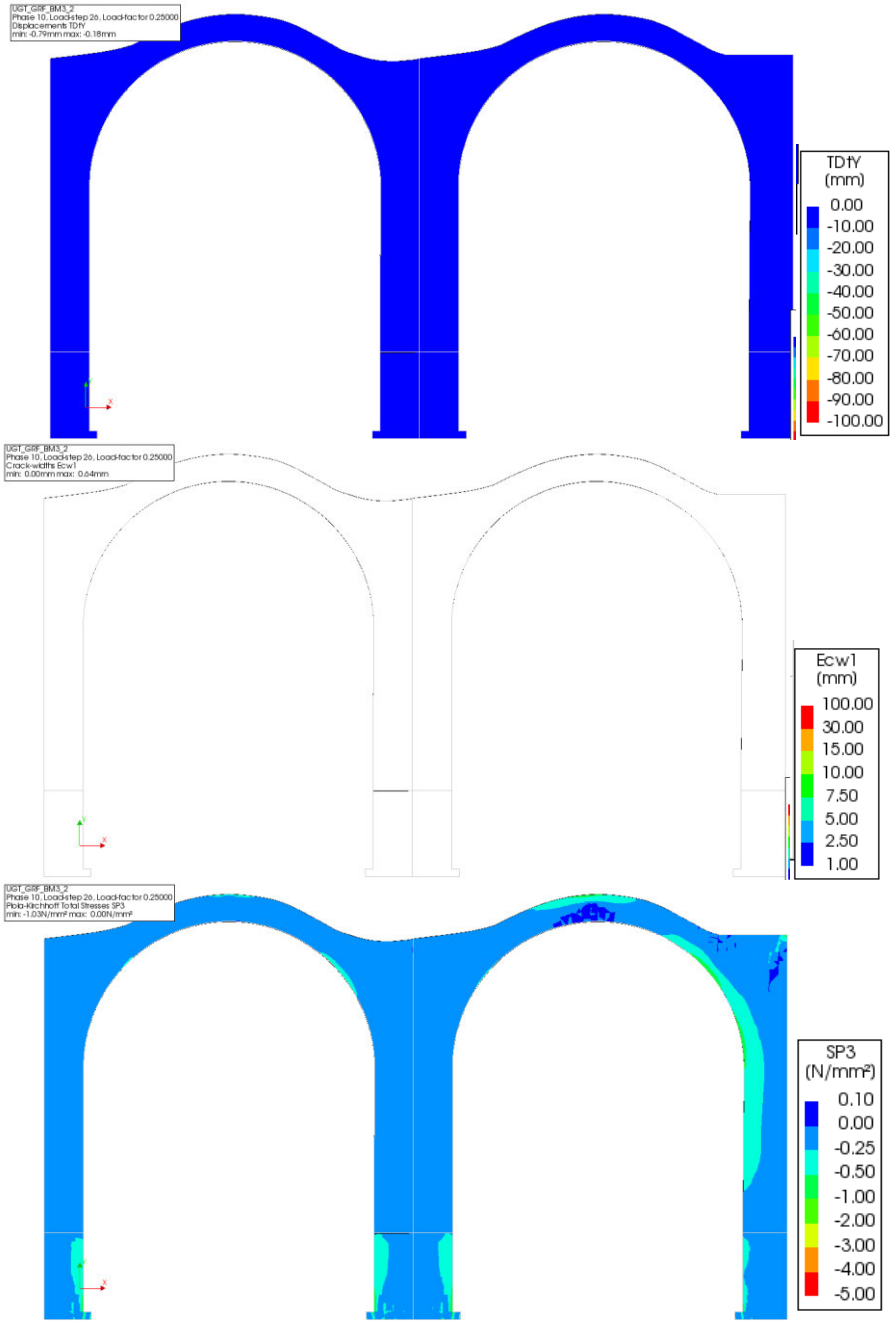
BIJLAGE: UGT-GRF RESULTATEN - BM3 BELASTING

UGT-GRF-BM3 - 25 % Belasting

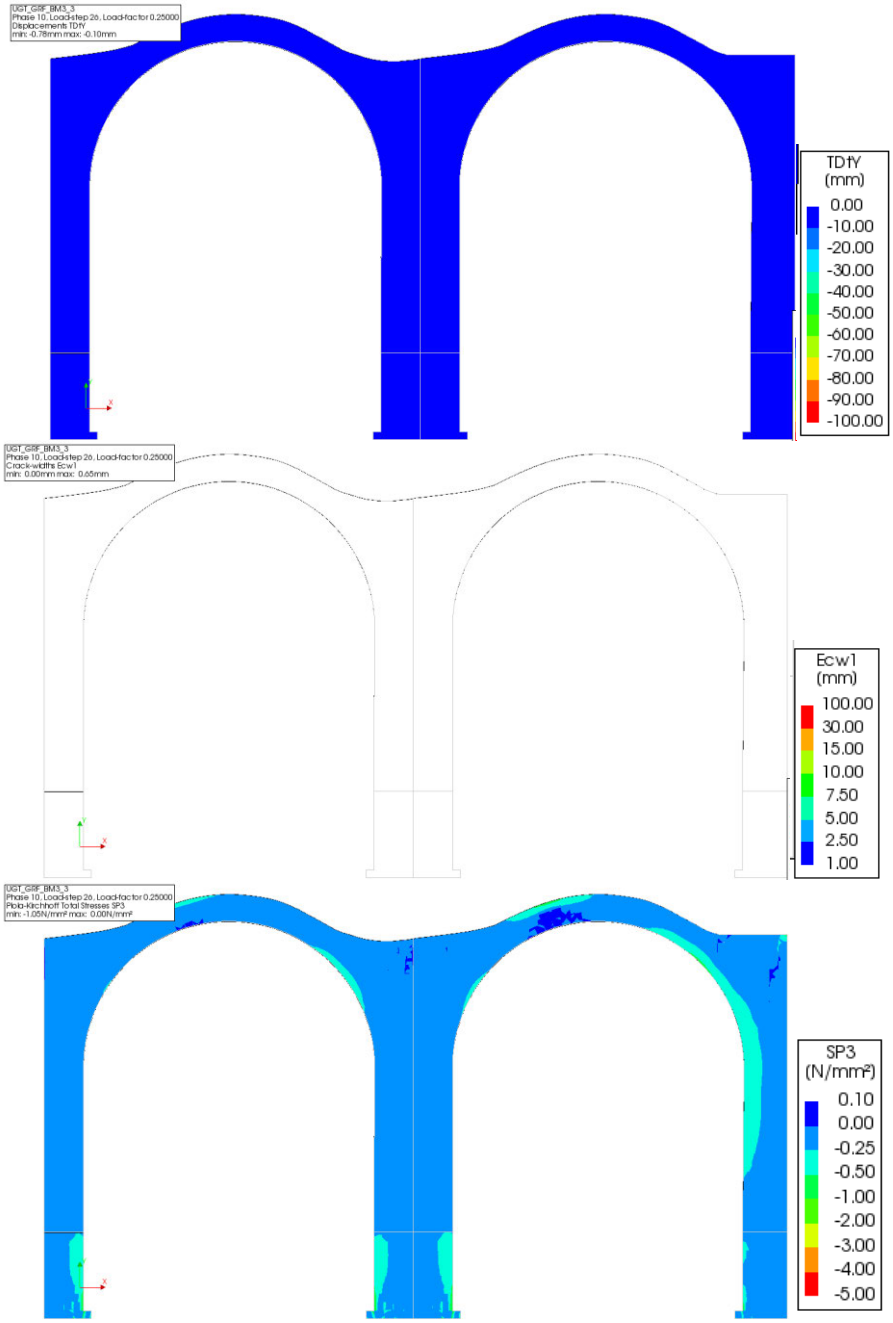
Afbeelding V.1 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25% belasting en belastingpositie 1



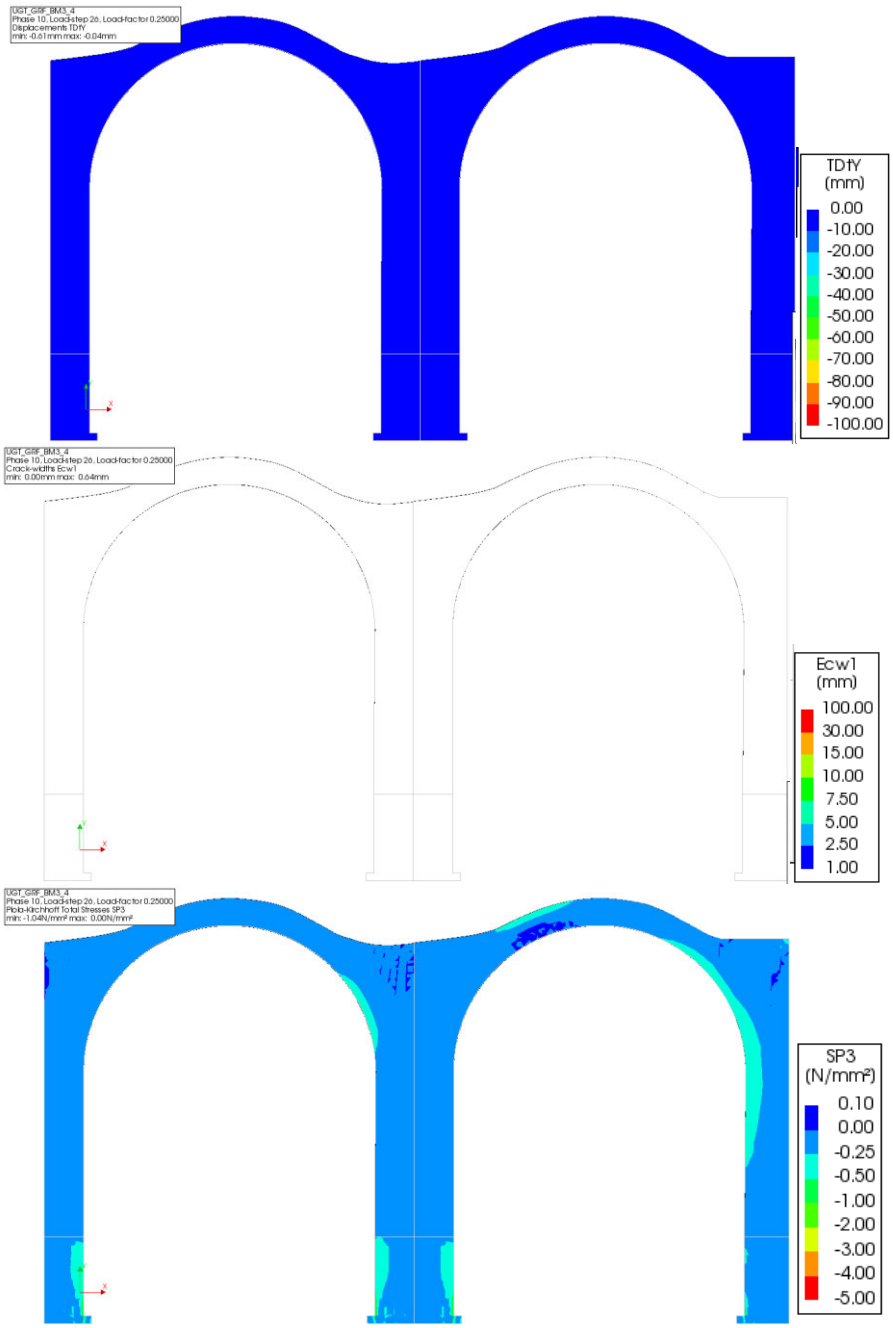
Afbeelding V.2 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25% belasting en belastingpositie 2



Afbeelding V.3 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25% belasting en belastingpositie 3

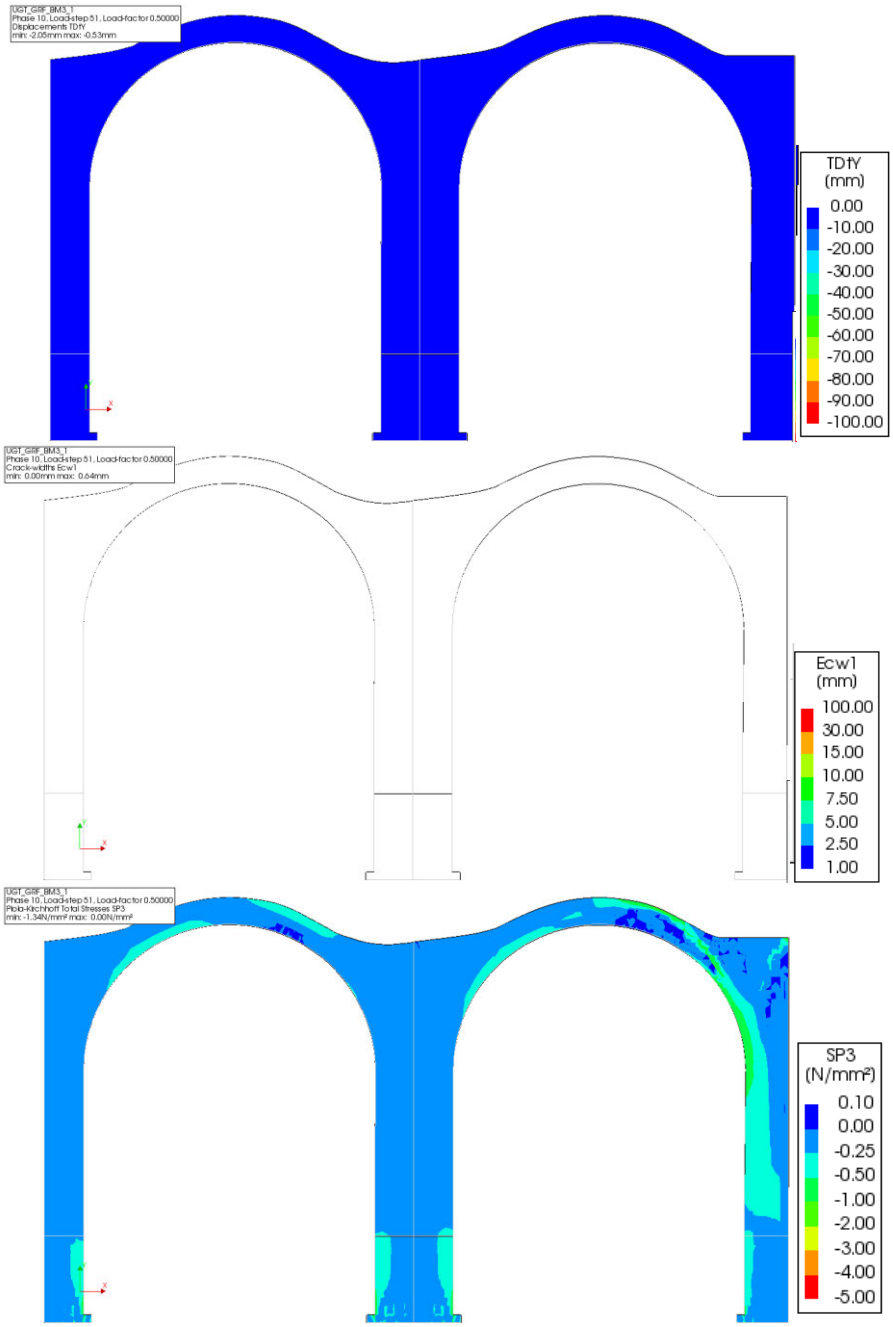


Afbeelding V.4 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25% belasting en belastingpositie 4

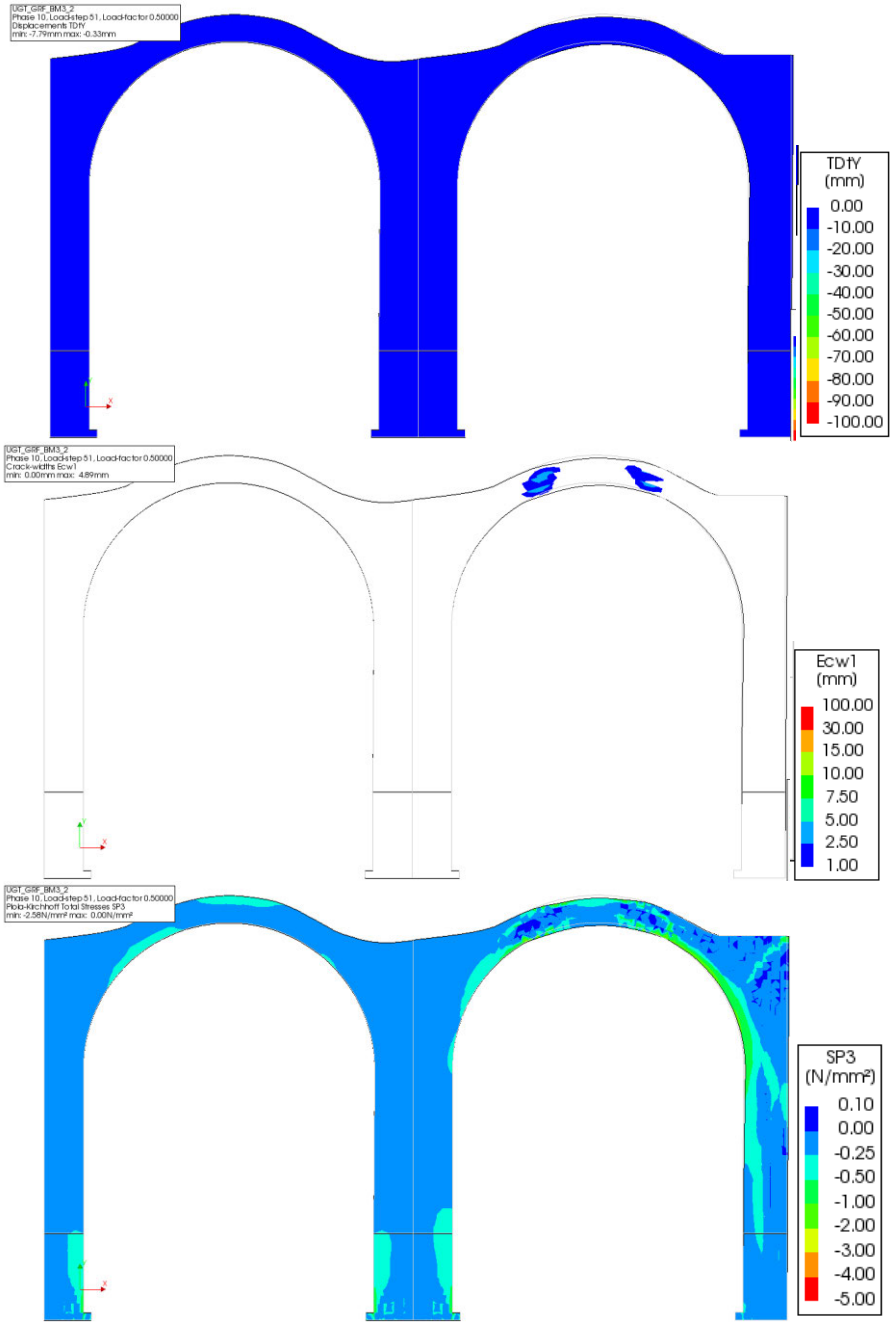


UGT-GRF-BM3 - 50% Belasting

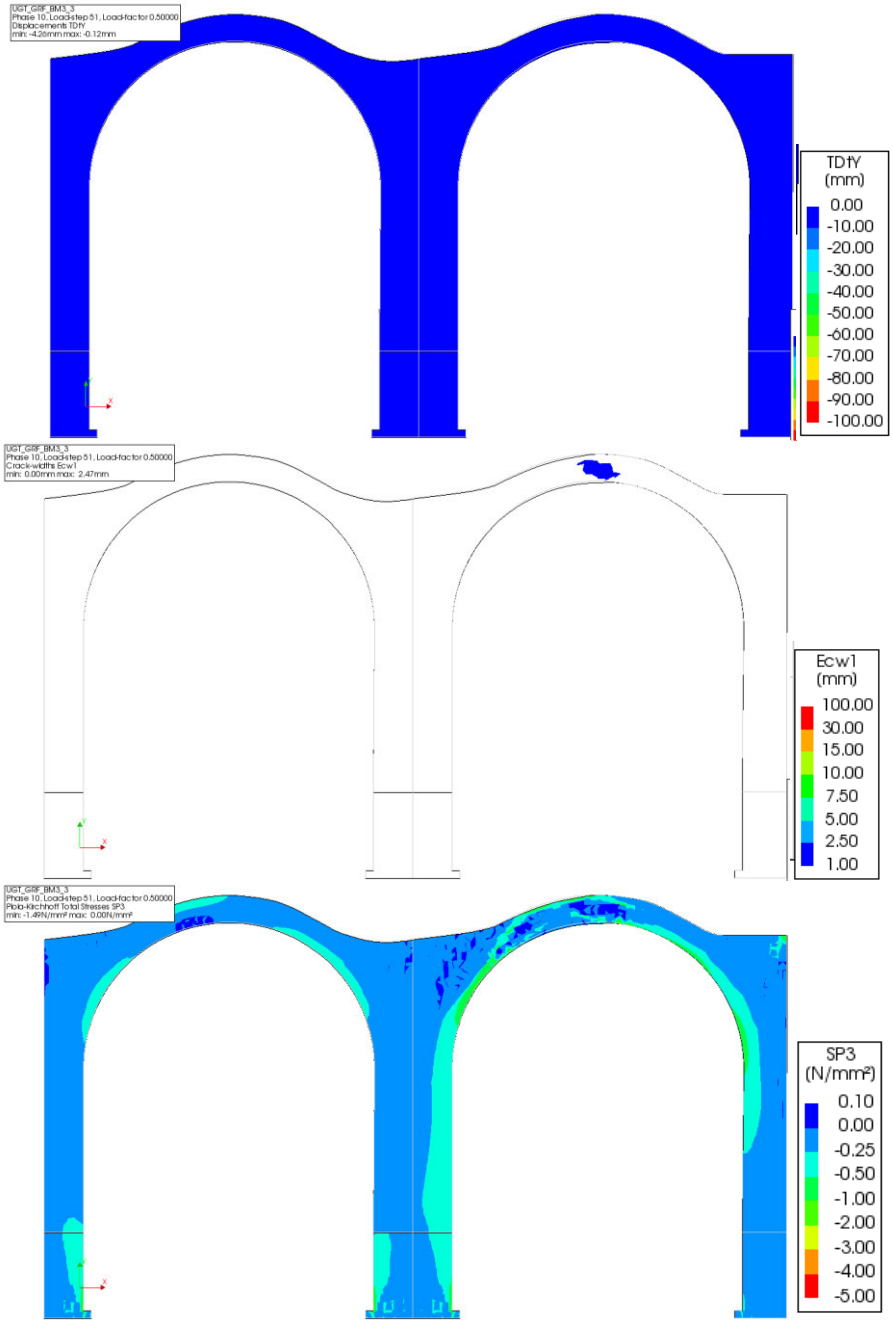
Afbeelding V.5 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50% belasting en belastingpositie 1



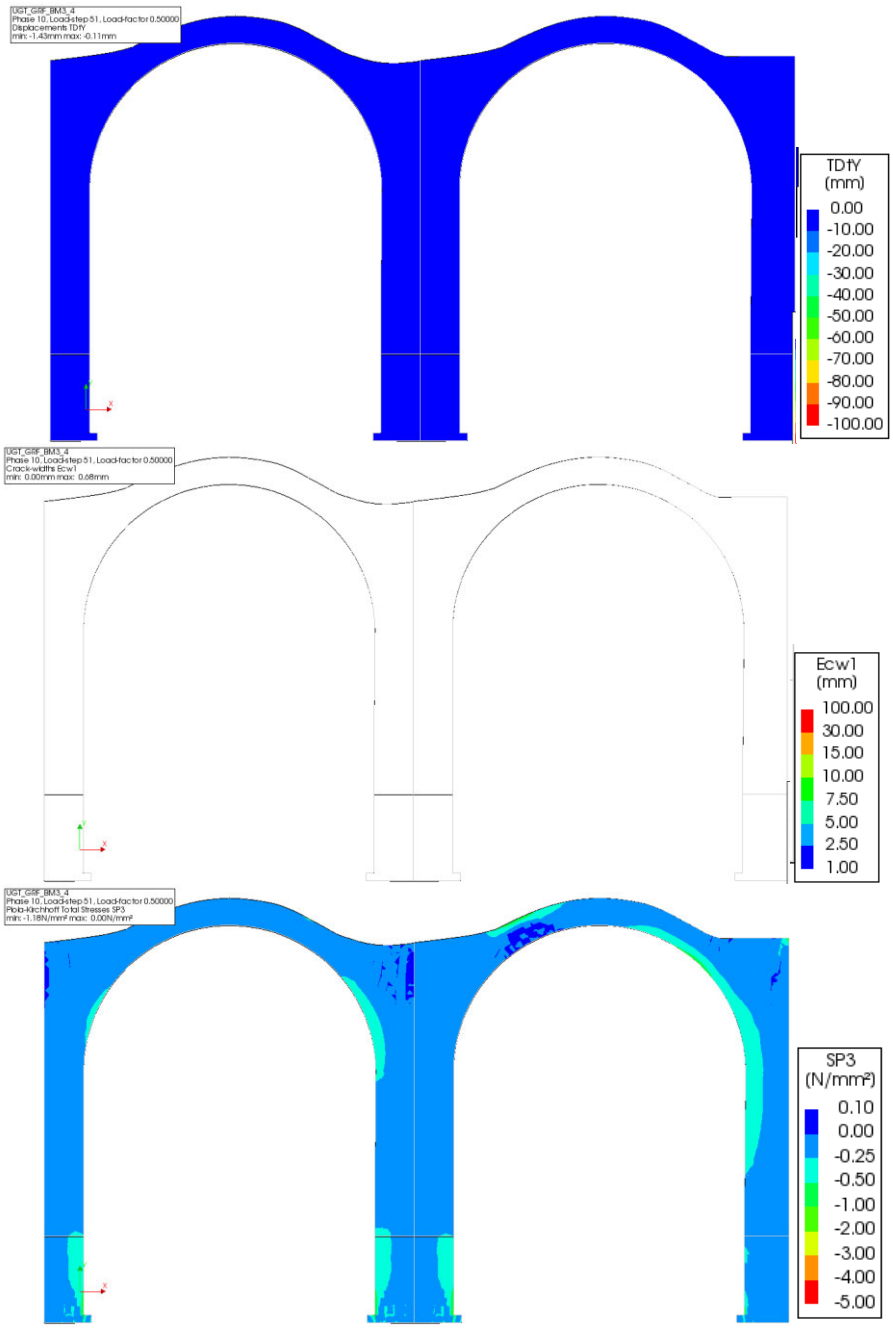
Afbeelding V.6 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50% belasting en belastingpositie 2



Afbeelding V.7 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50% belasting en belastingpositie 3

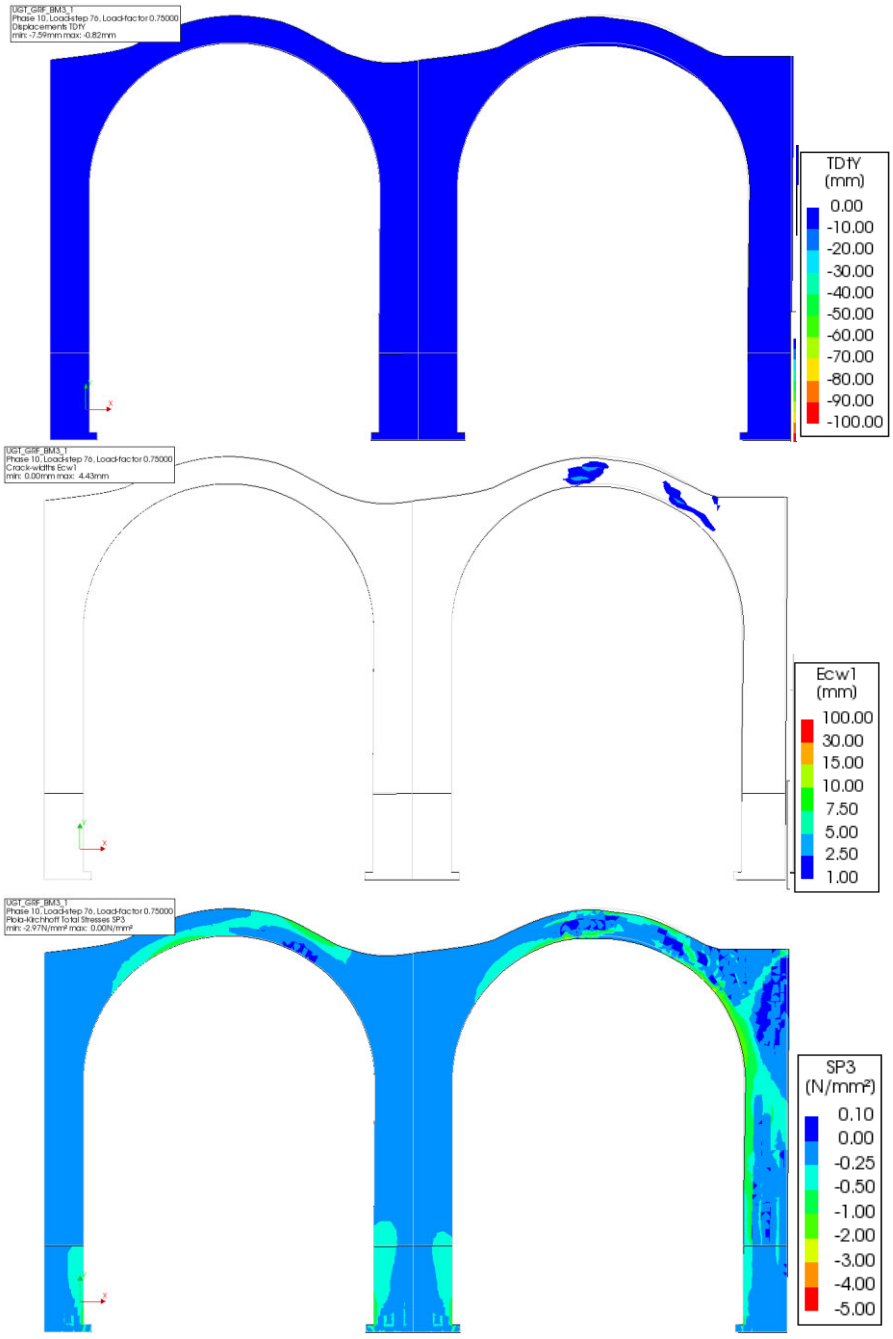


Afbeelding V.8 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50% belasting en belastingpositie 4

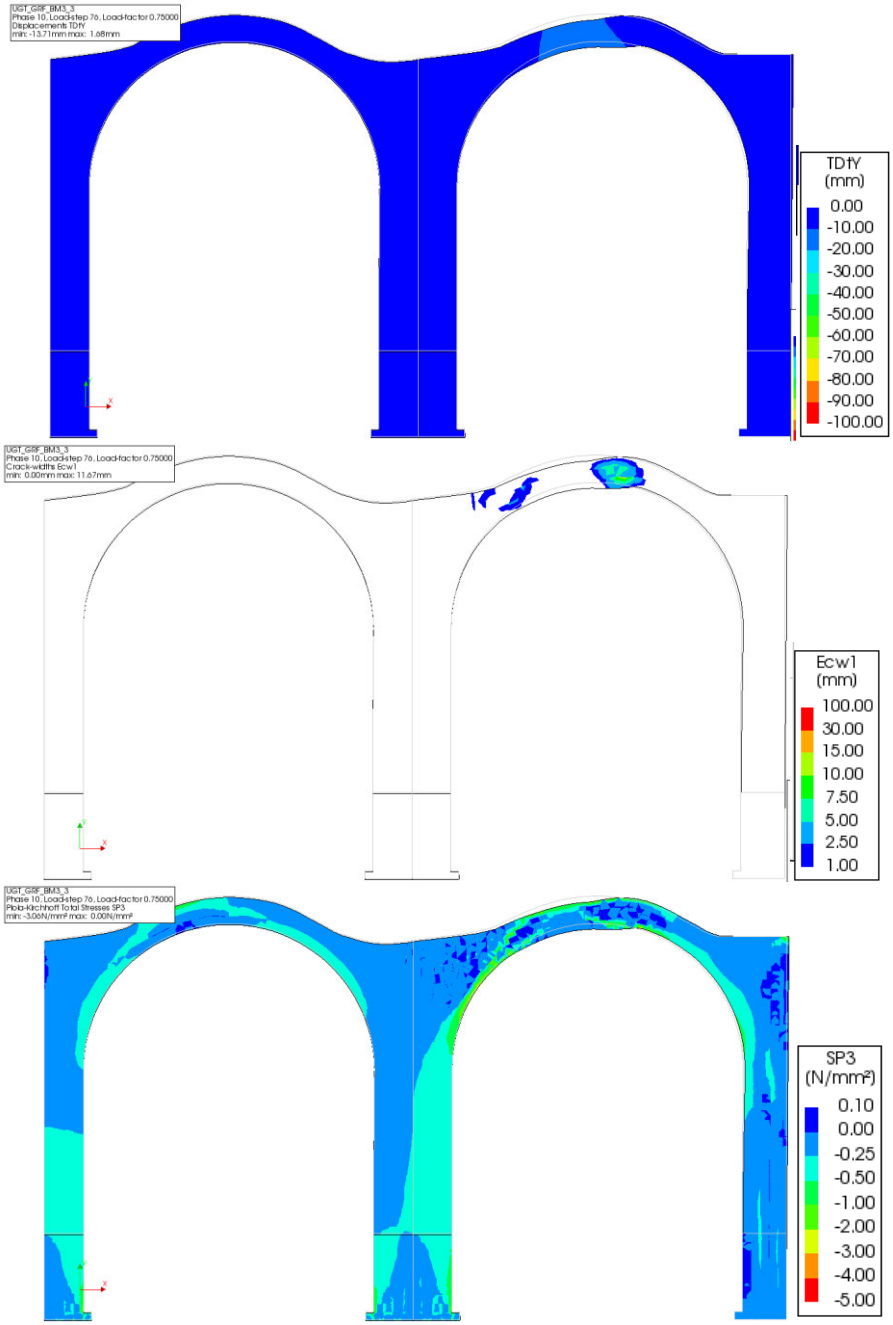


UGT-GRF-BM3 - 75% Belasting

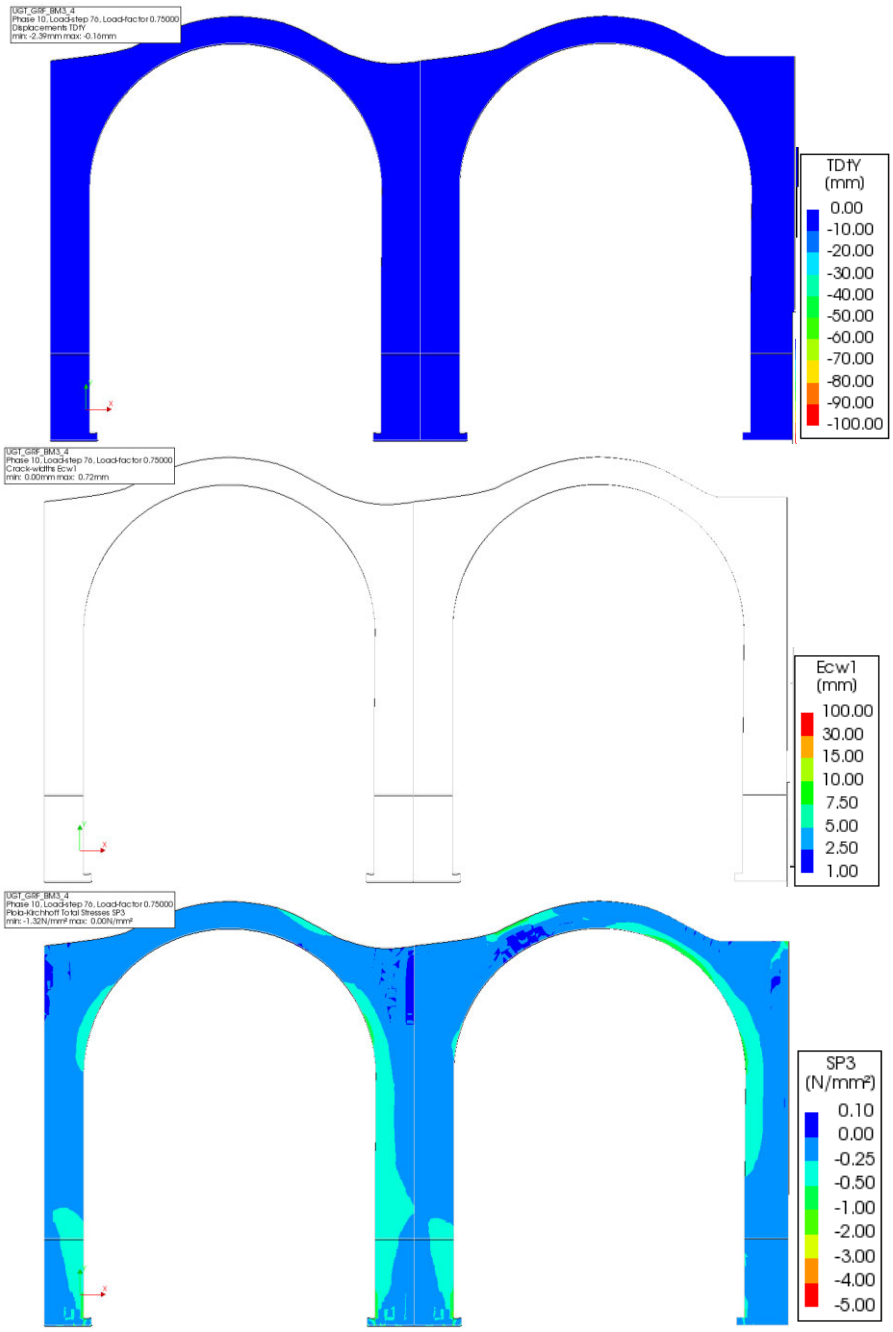
Afbeelding V.9 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75% belasting en belastingpositie 1



Afbeelding V.10 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75% belasting en belastingpositie 3

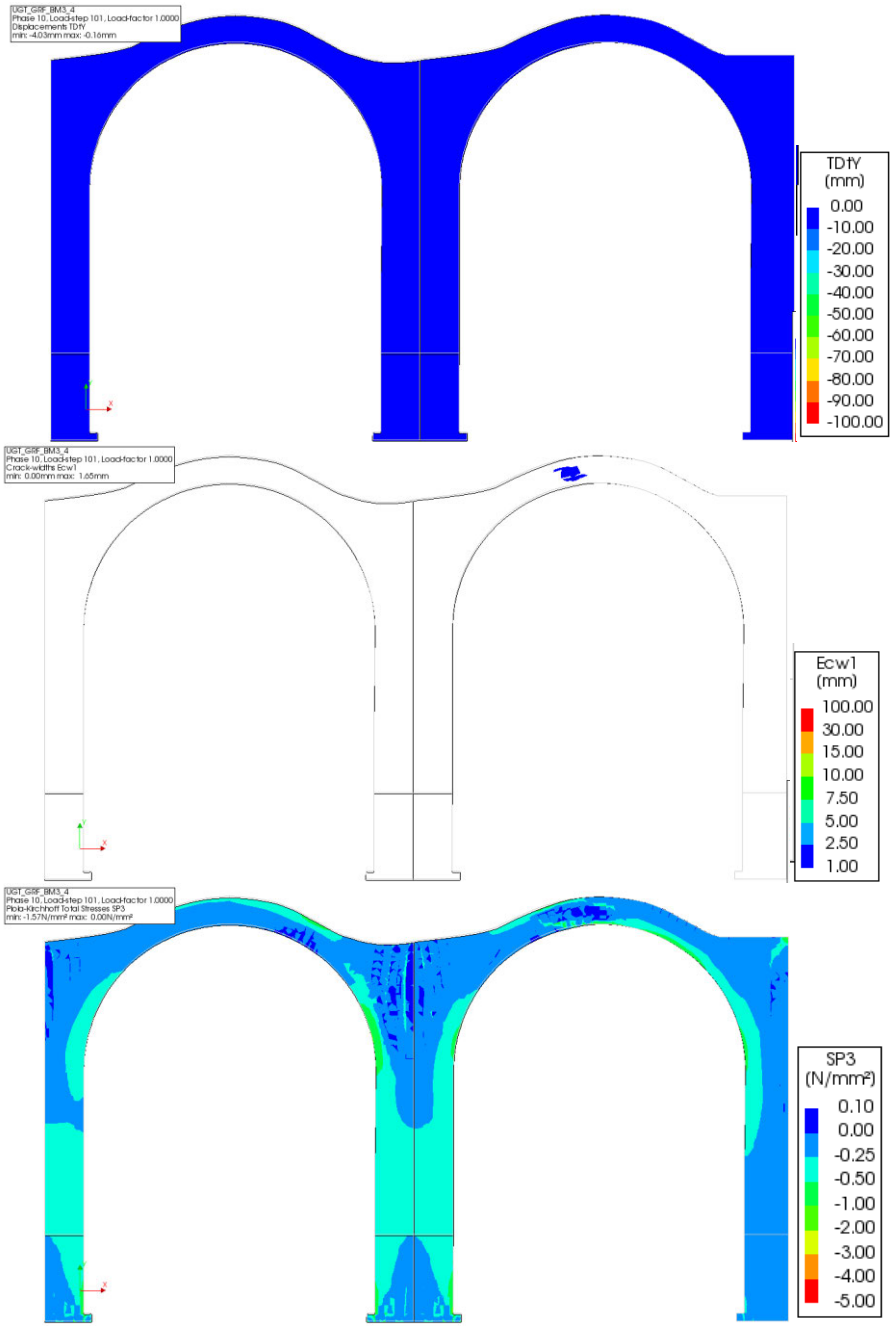


Afbeelding V.11 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75 % belasting en belastingpositie 4



UGT-GRF-BM3 - 100 % Belasting

Afbeelding V.12 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100 % belasting en belastingpositie 4

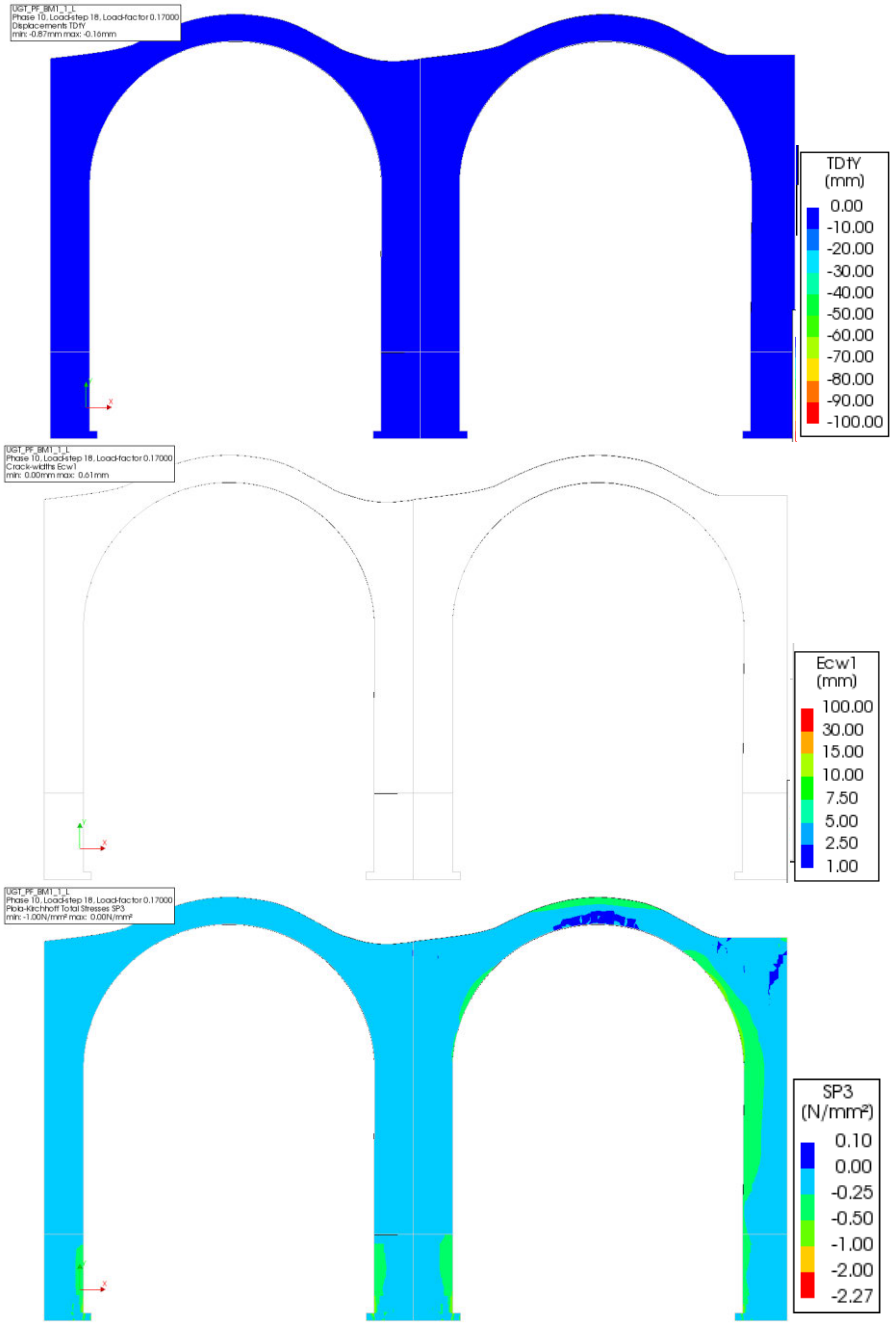


VI

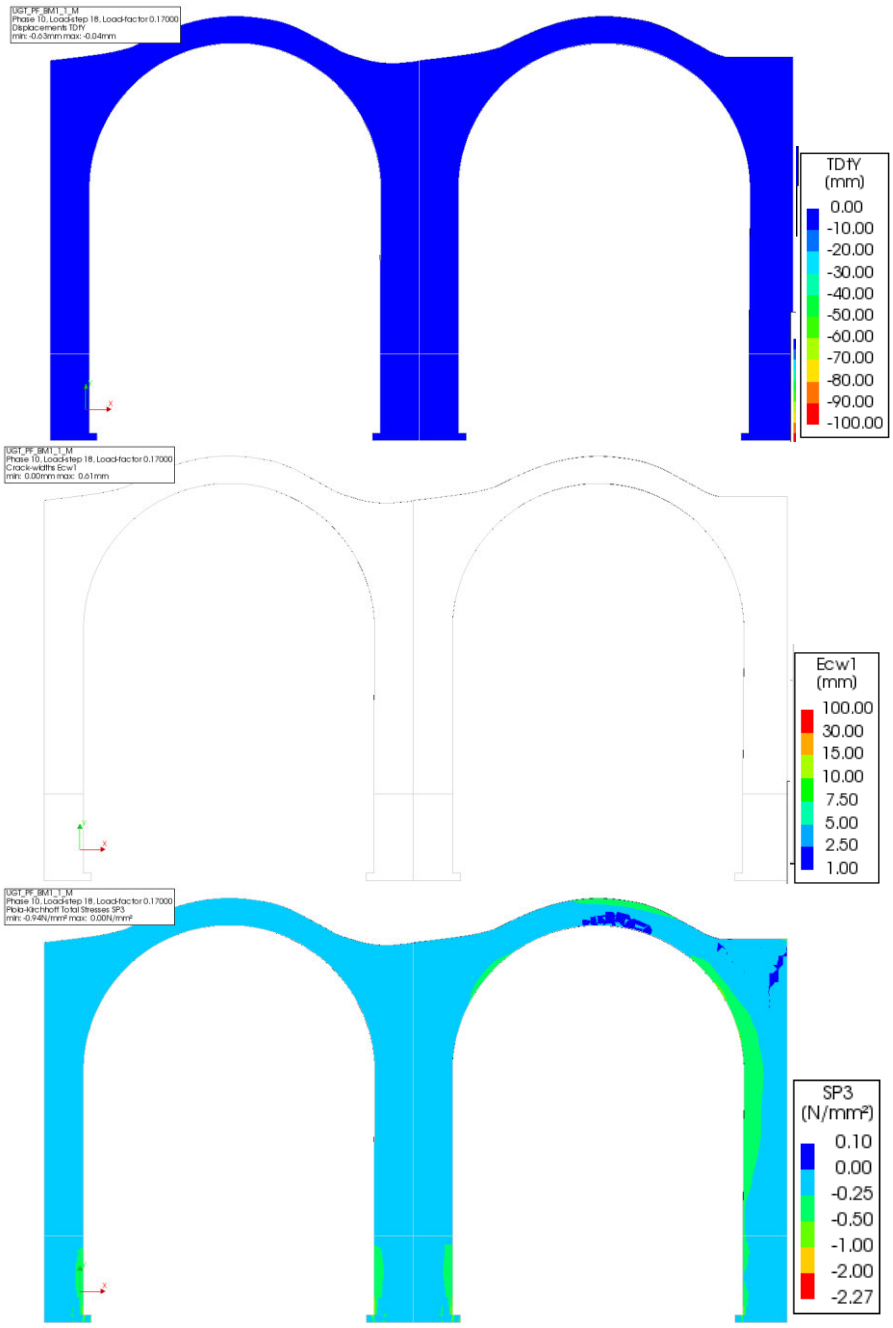
BIJLAGE: UGT-PF RESULTATEN - C20 BEBORDING

UGT-PF-C20 - 3 ton

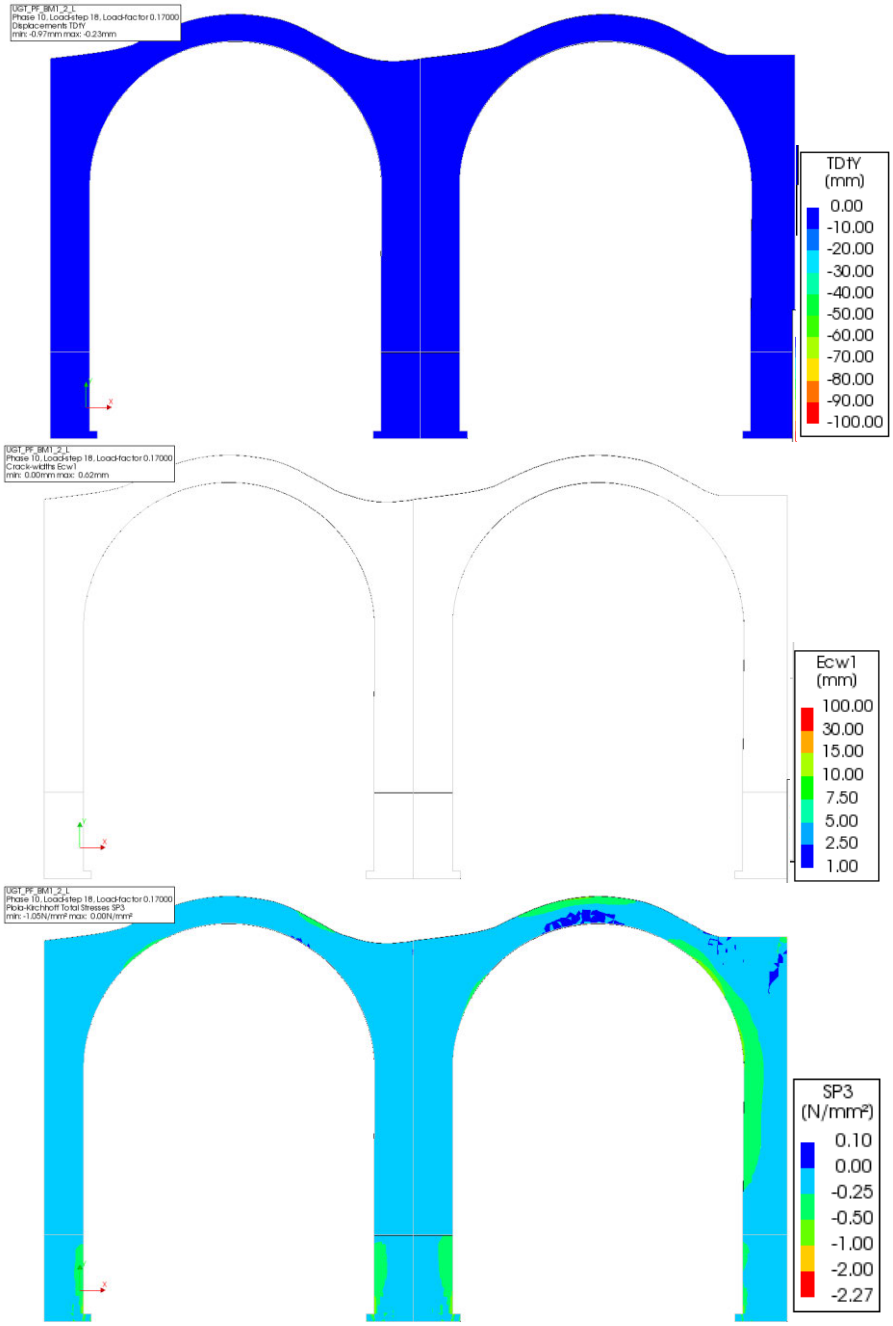
Afbeelding VI.1 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 1-L



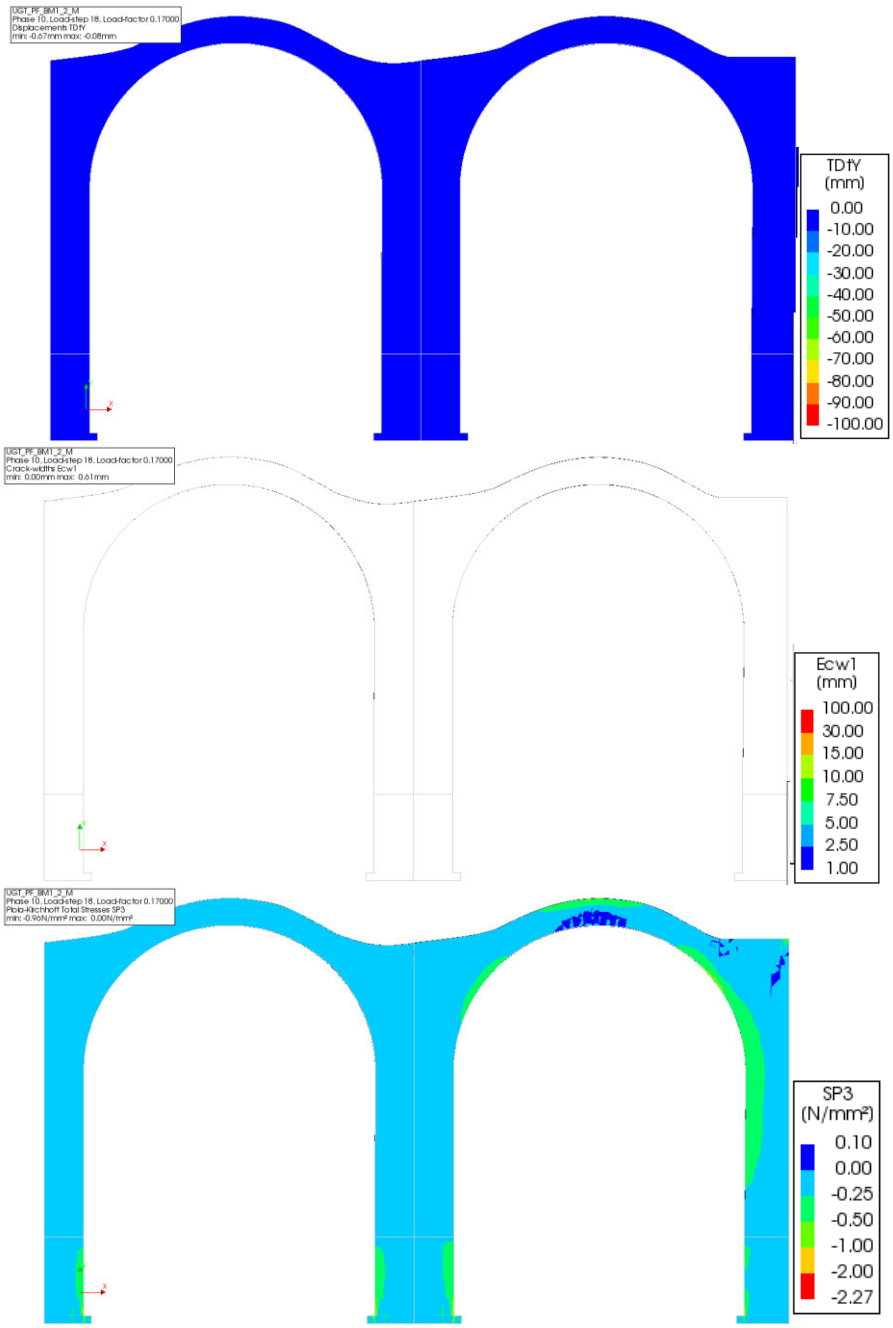
Afbeelding VI.2 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 1-M



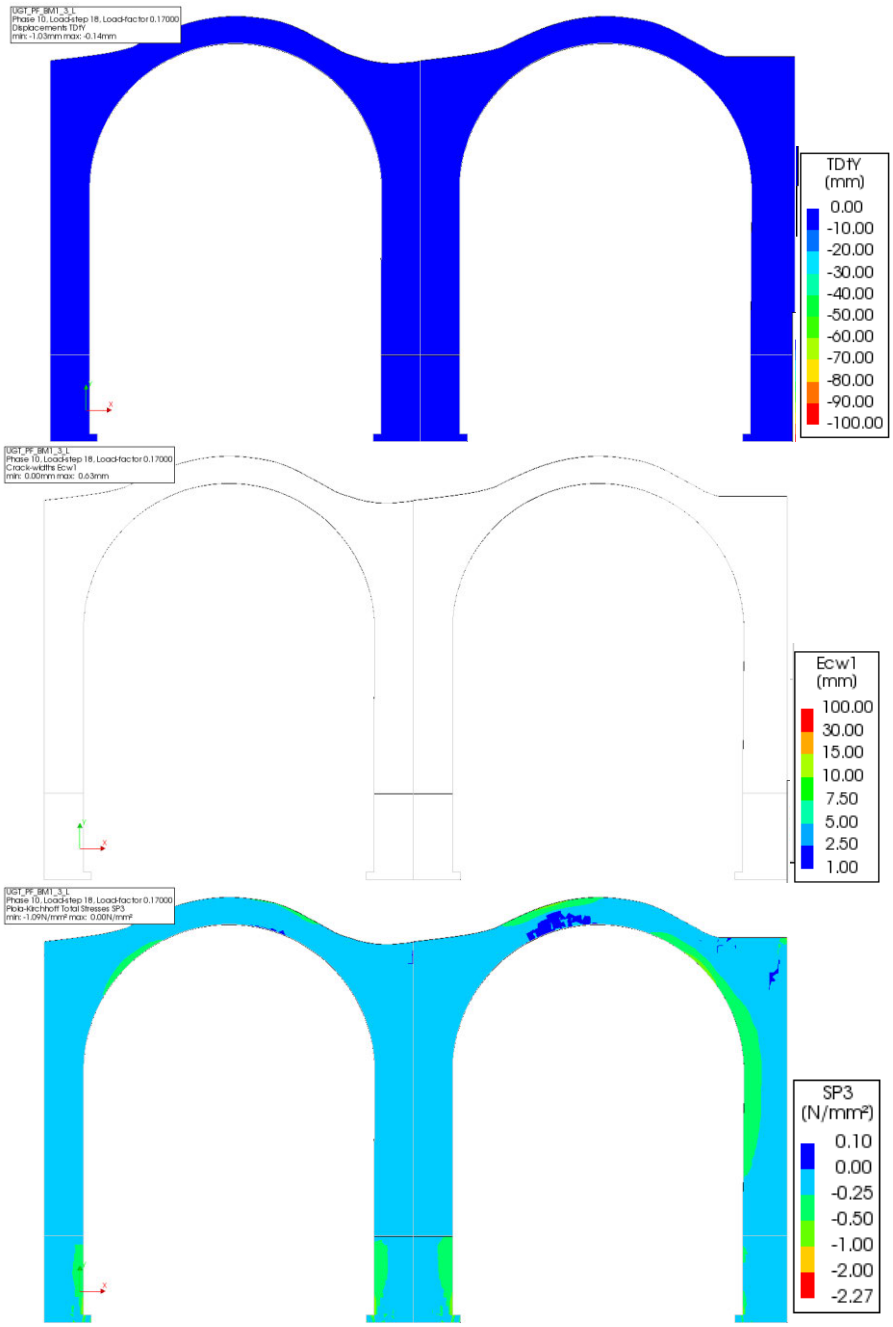
Afbeelding VI.3 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 2-L



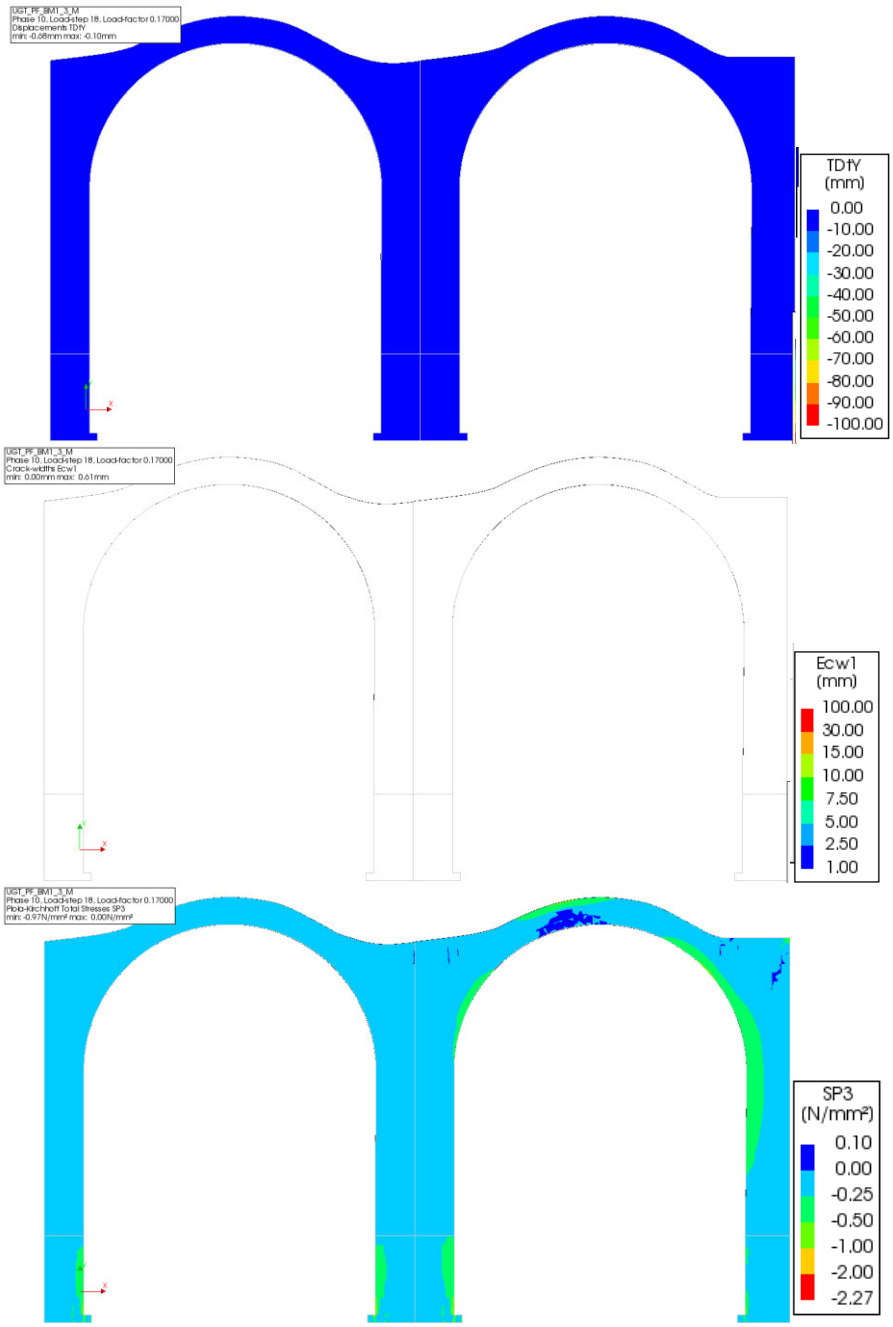
Afbeelding VI.4 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 2-M



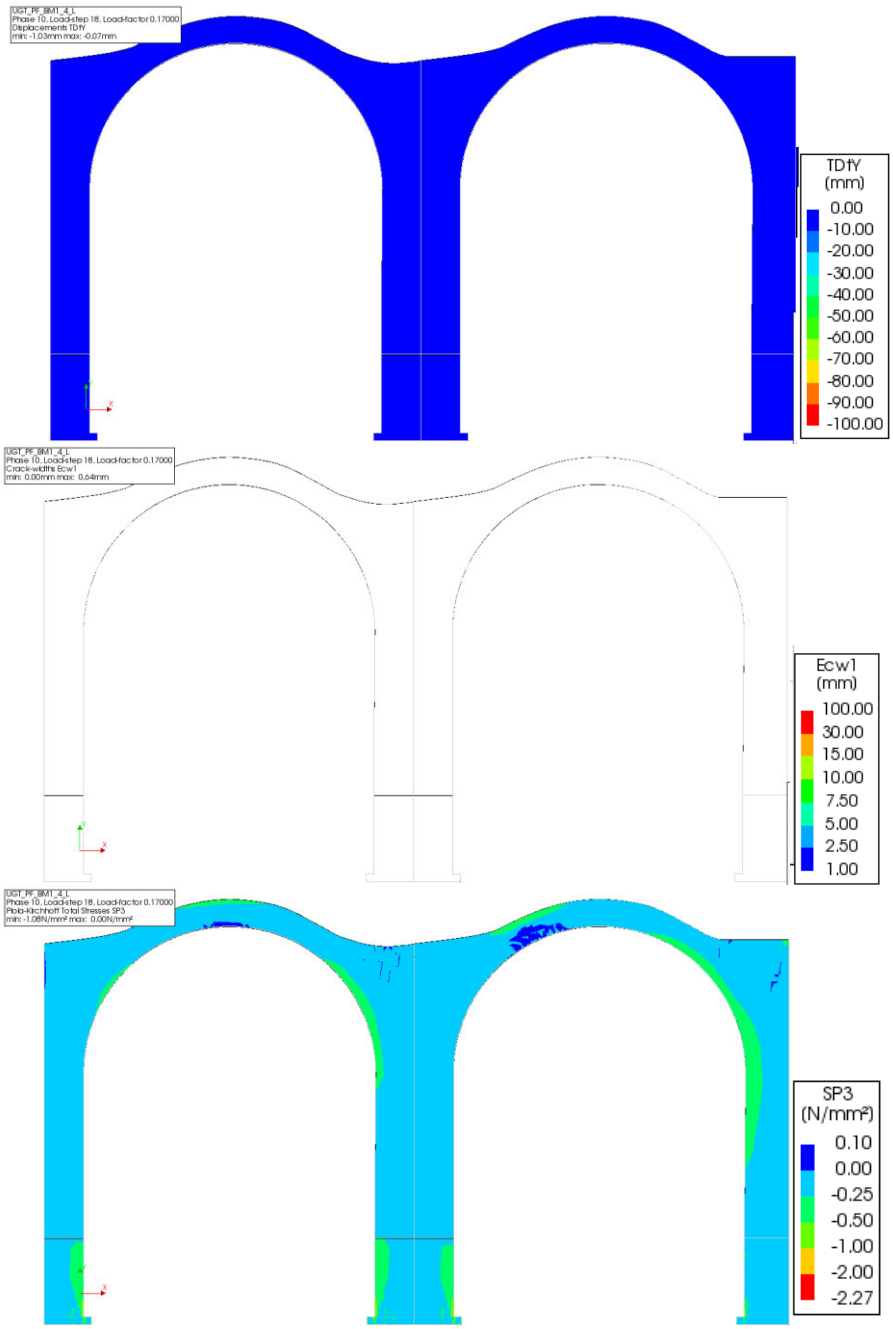
Afbeelding VI.5 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 3-L



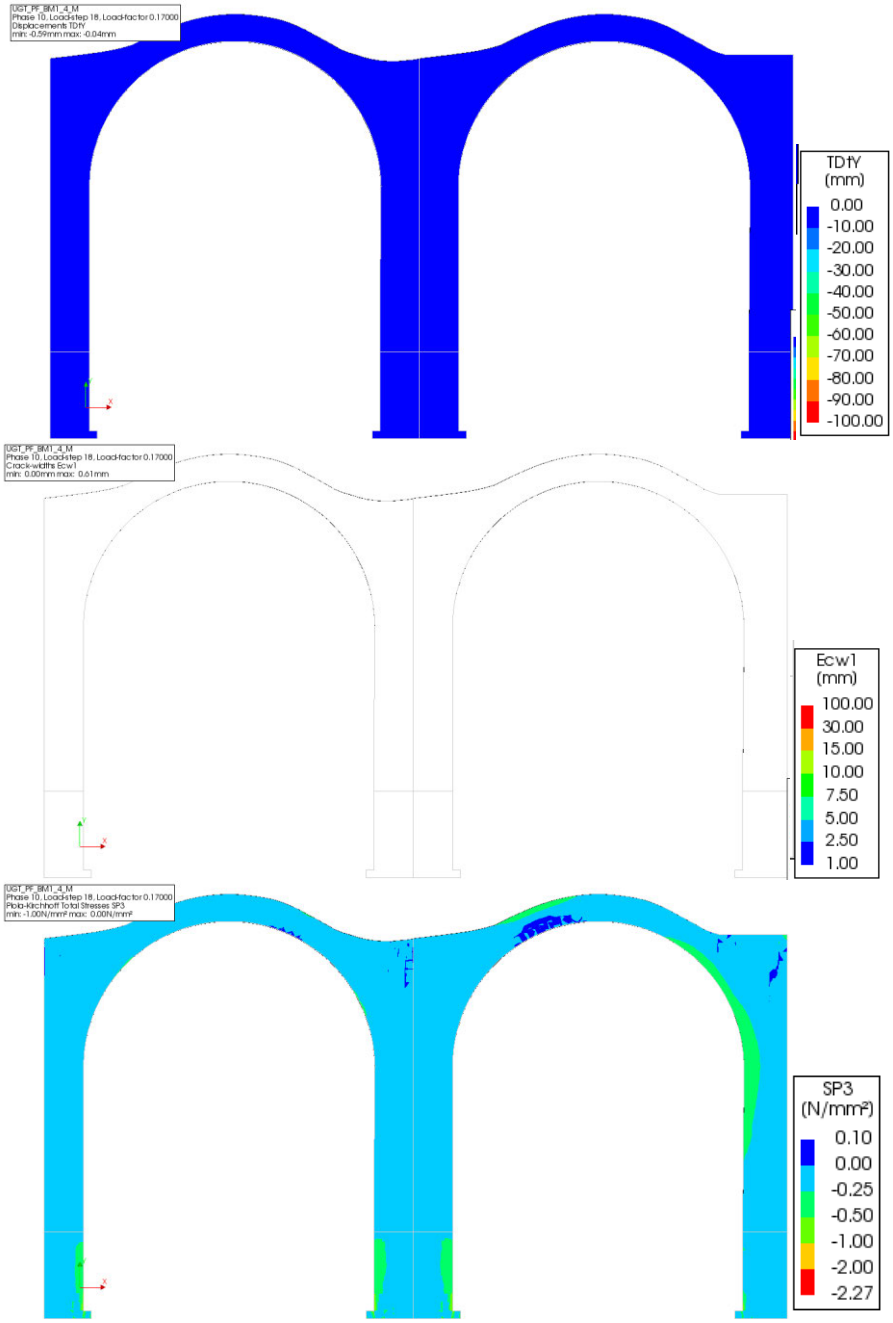
Afbeelding VI.6 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 3-M



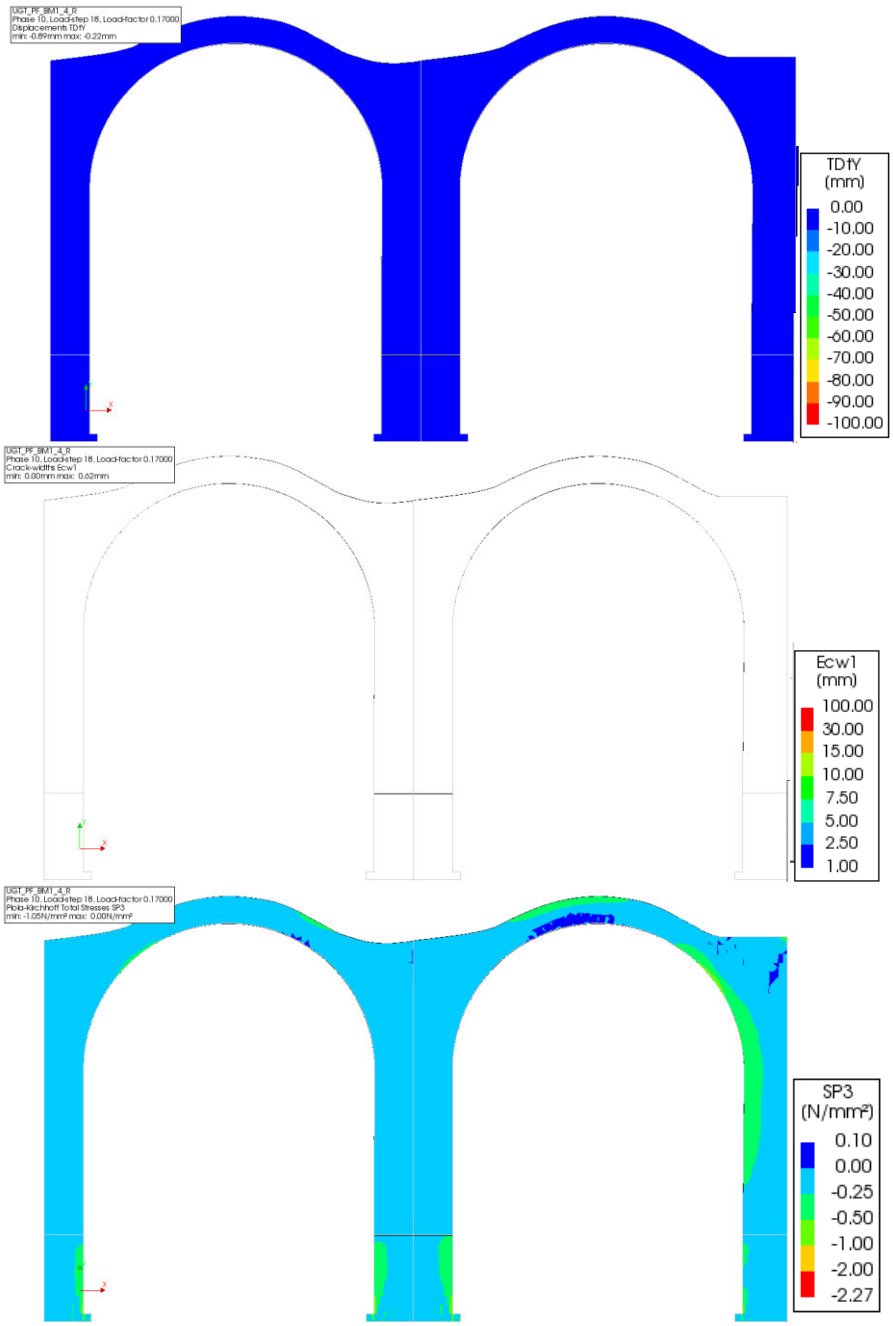
Afbeelding VI.7 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.8 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-M

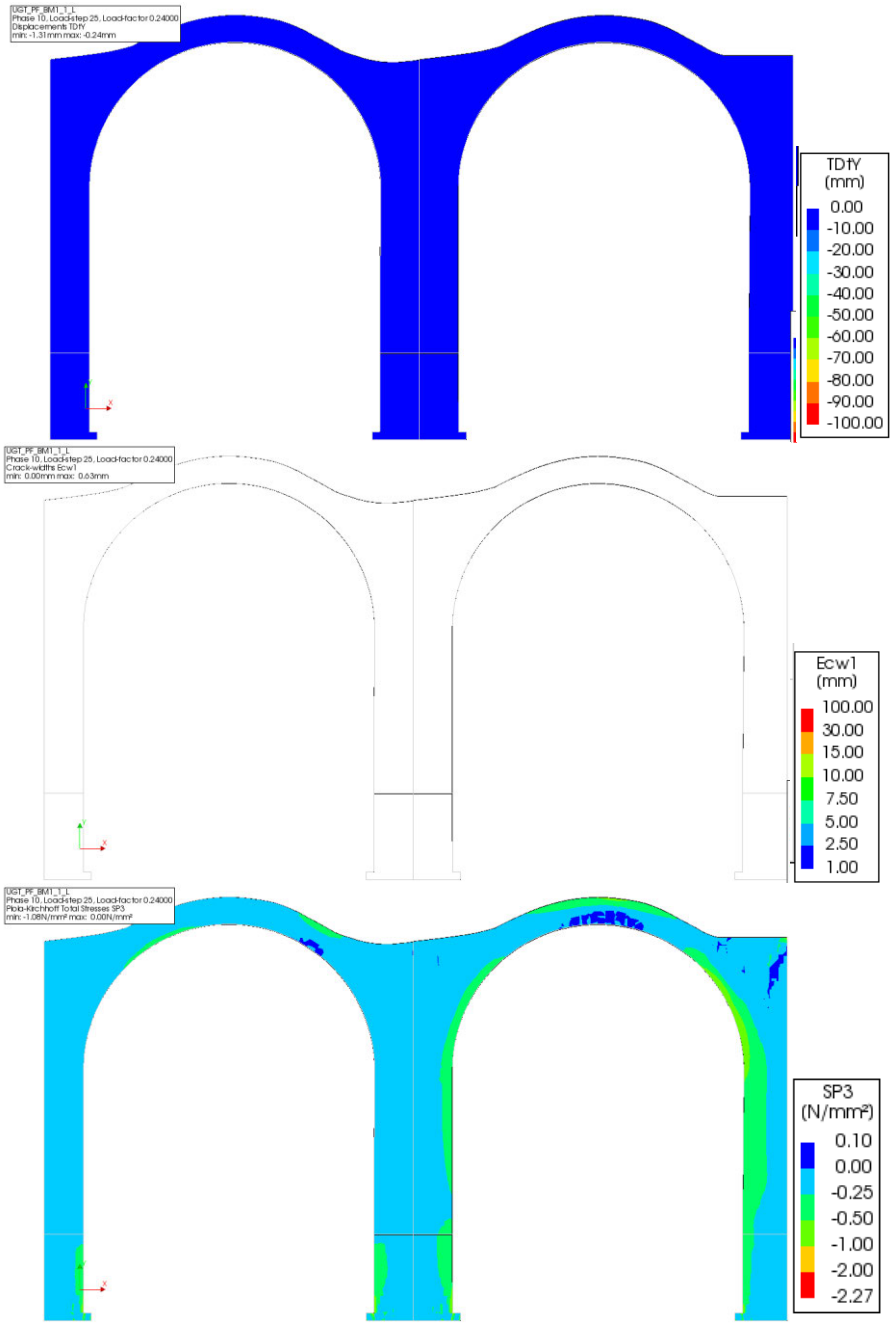


Afbeelding VI.9 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 3 ton belasting en belastingpositie 4-R

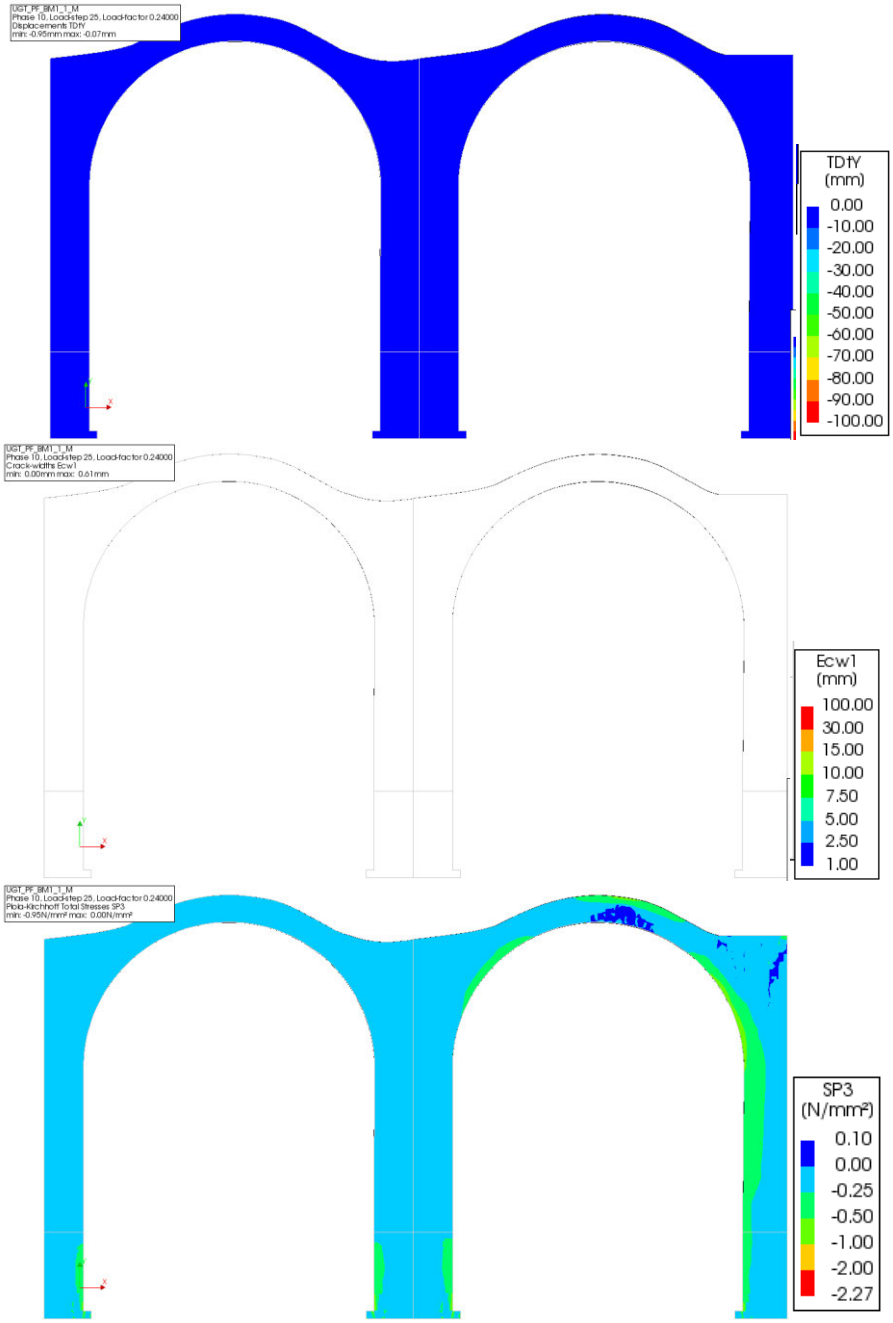


UGT-PF-C20 - 4 ton

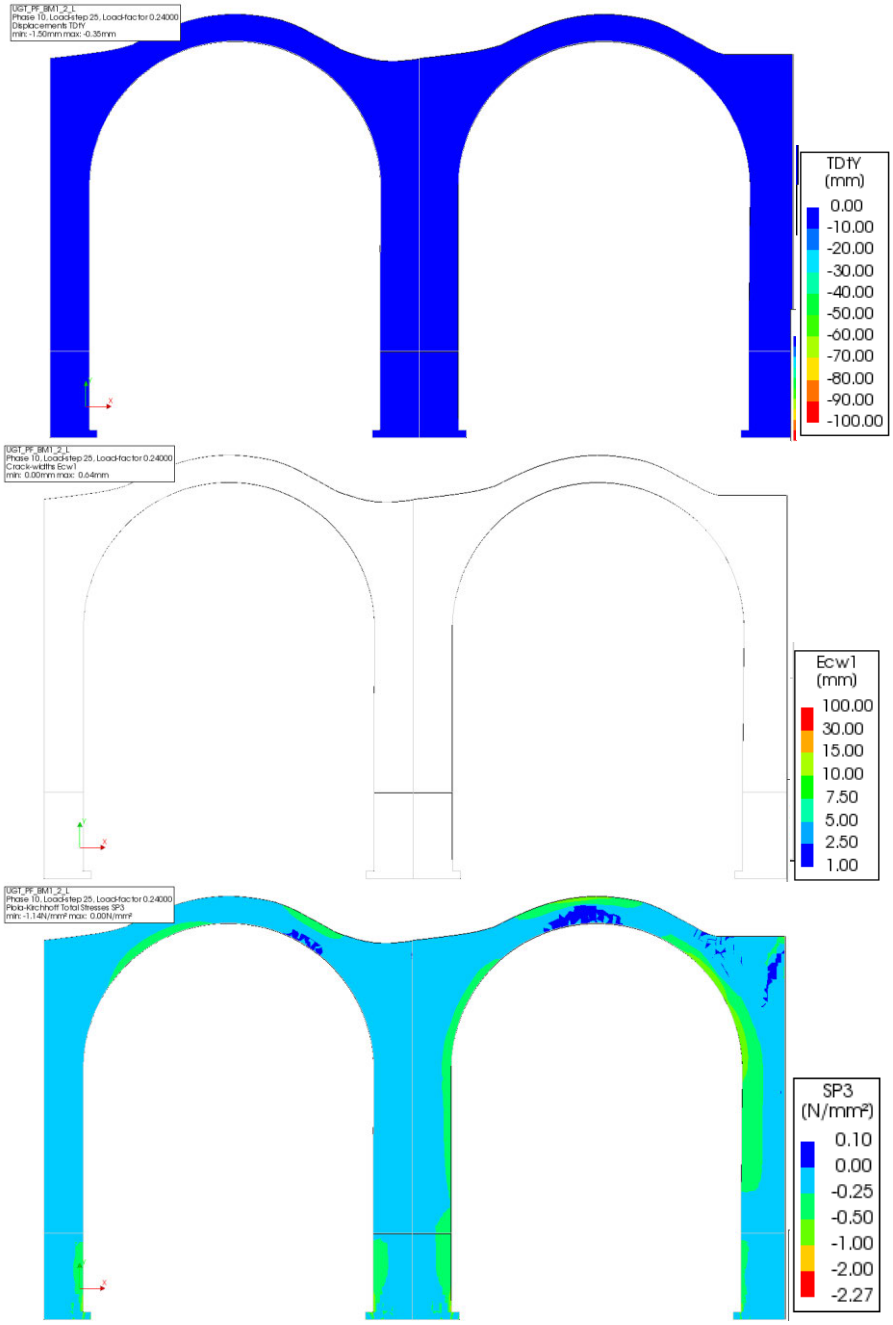
Afbeelding VI.10 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 1-L



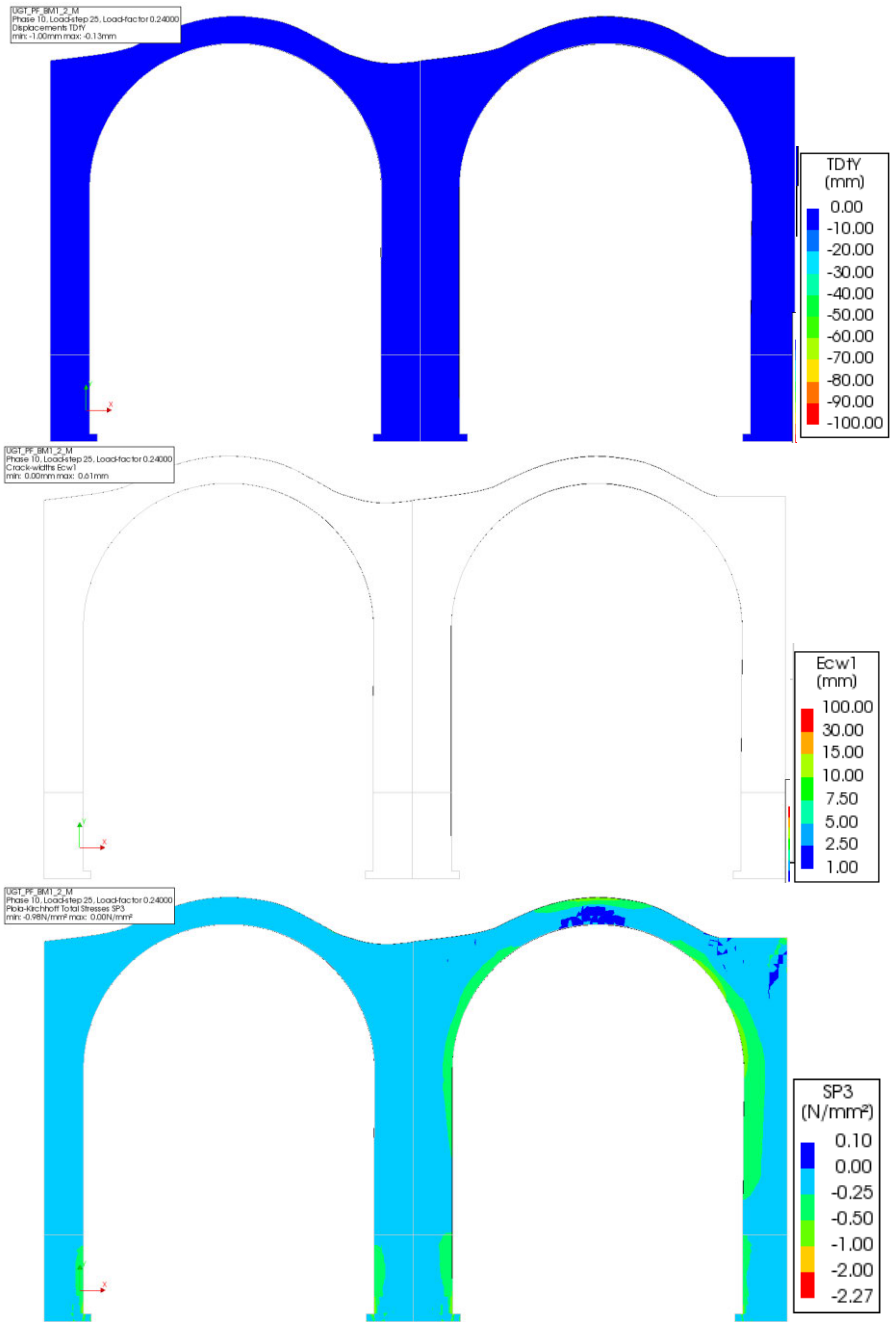
Afbeelding VI.11 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 1-M



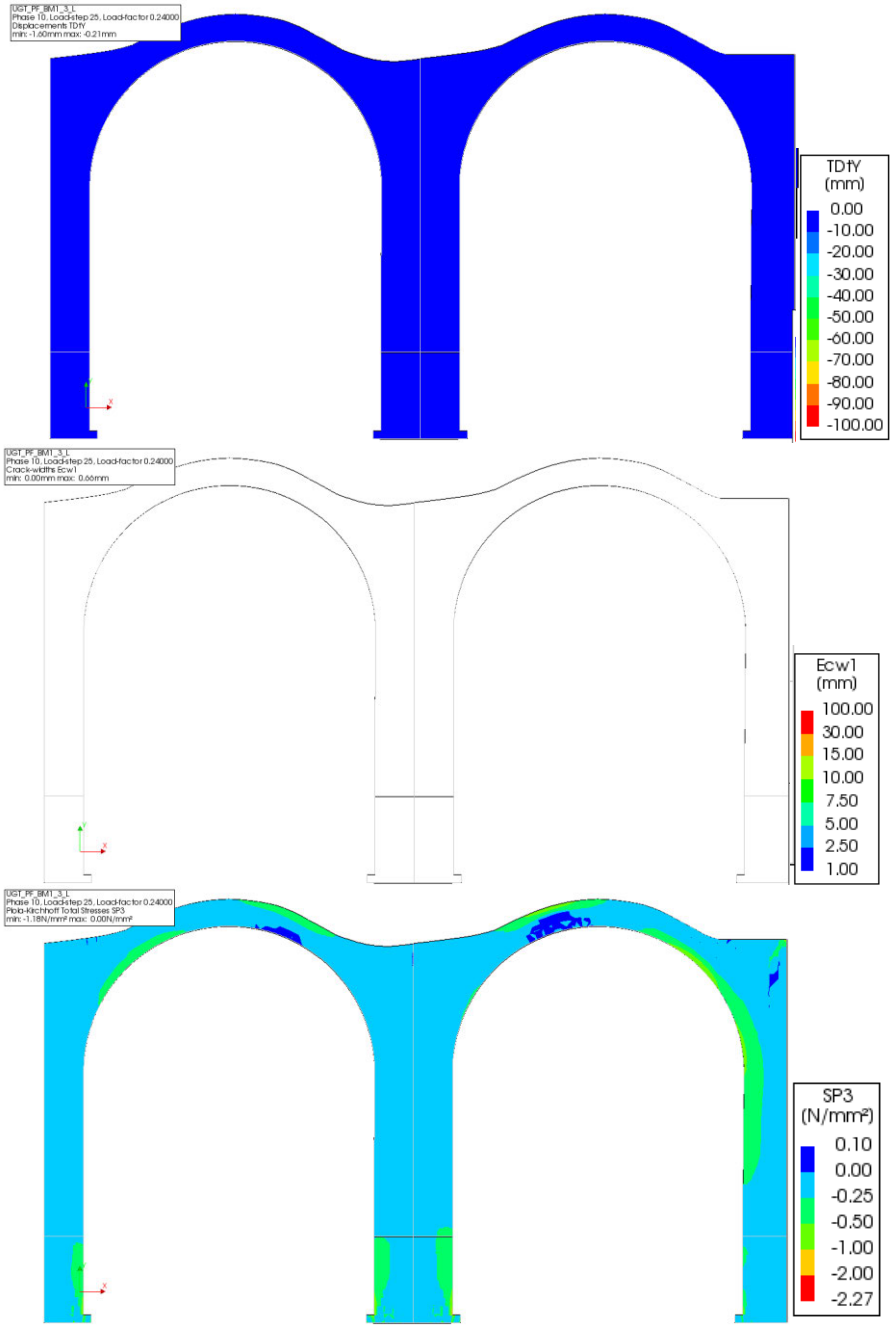
Afbeelding VI.12 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 2-L



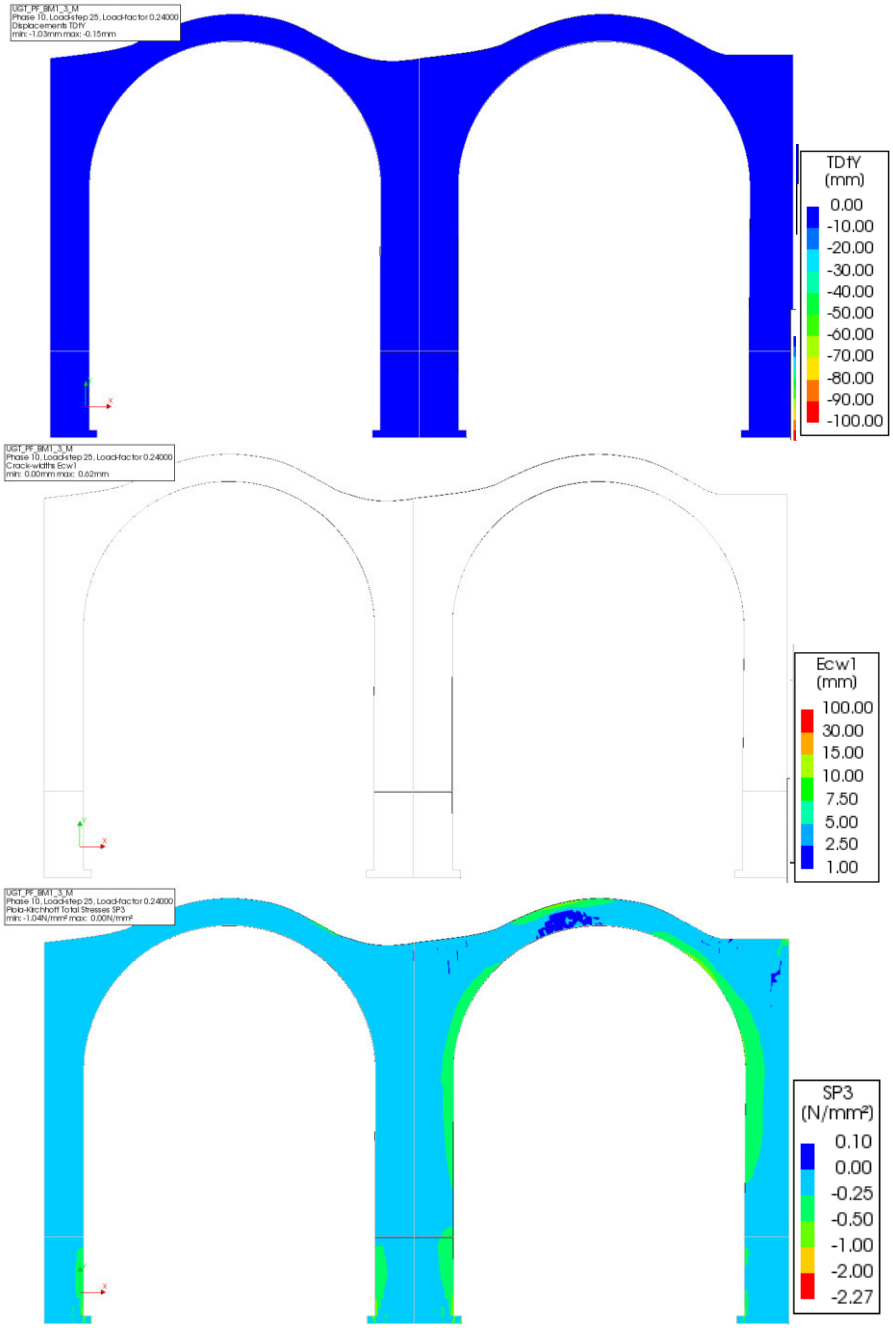
Afbeelding VI.13 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 2-M



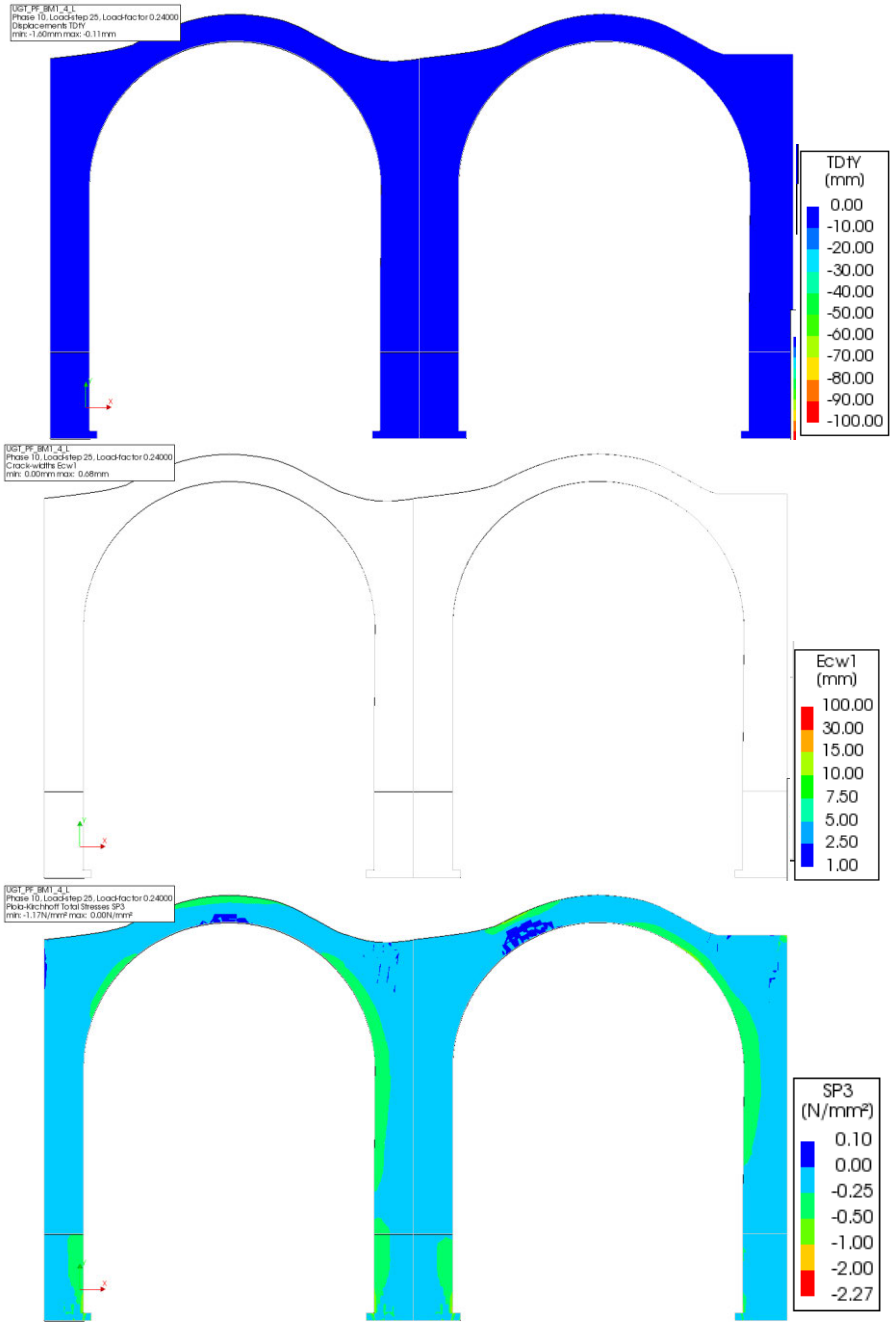
Afbeelding VI.14 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 3-L



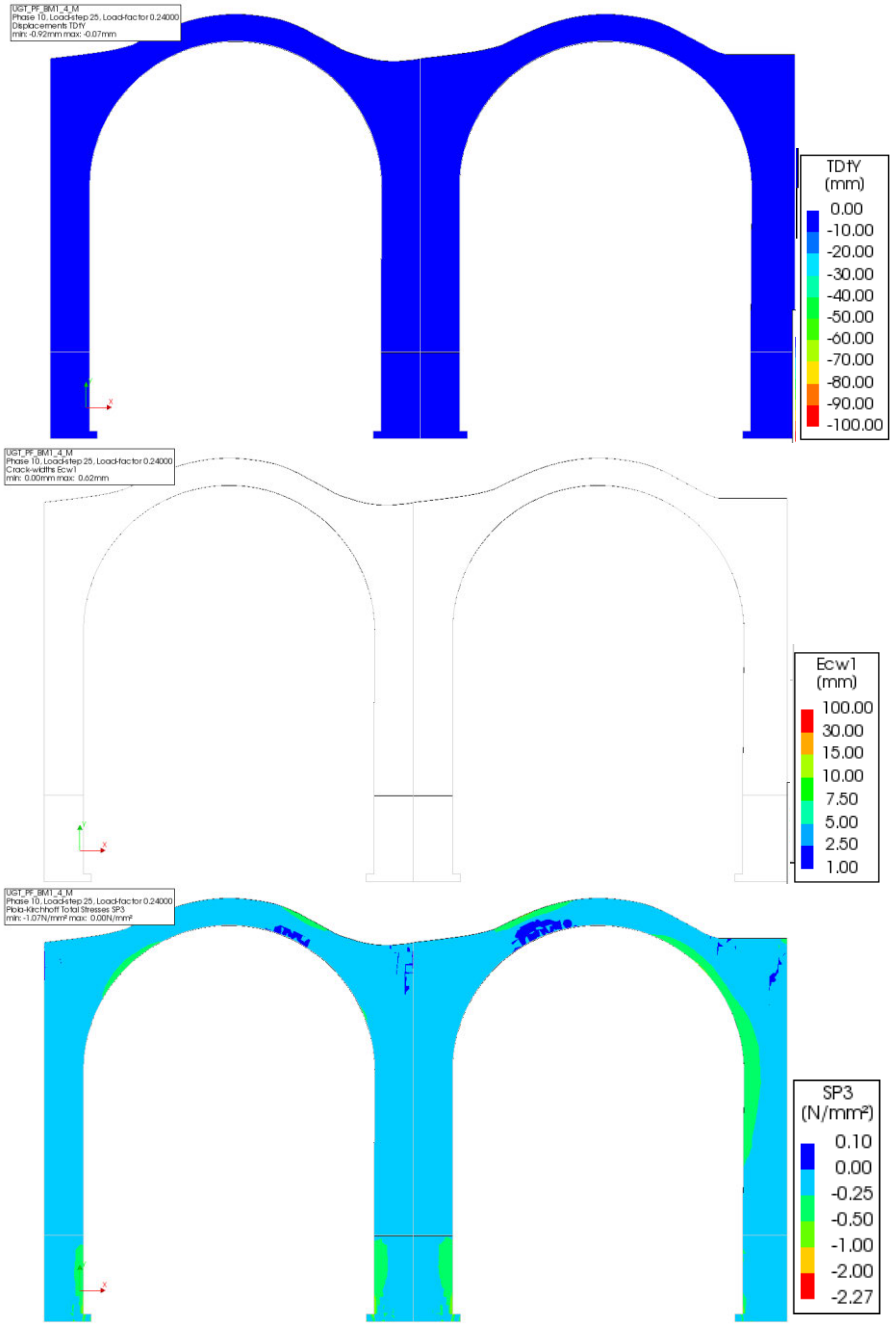
Afbeelding VI.15 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 3-M



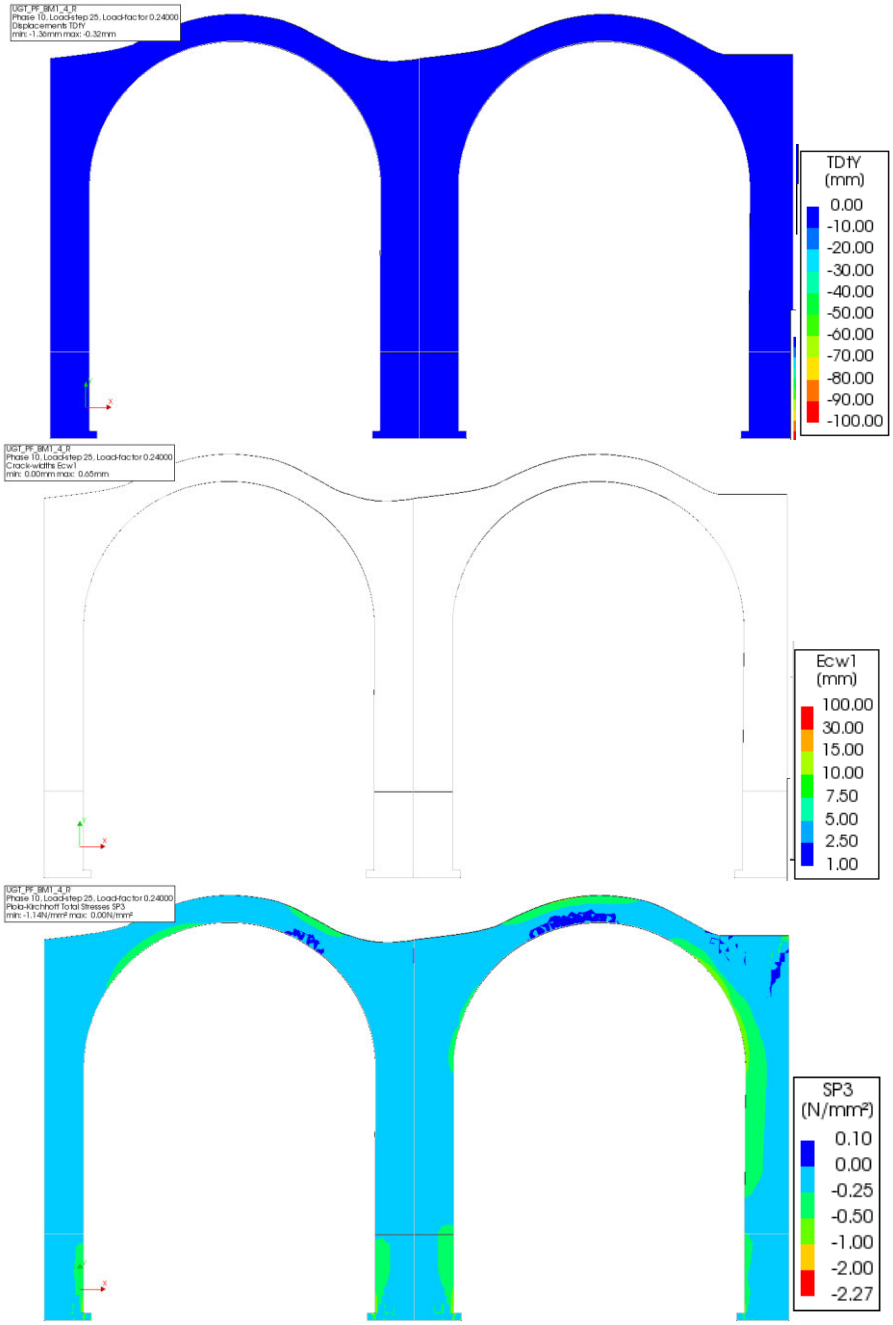
Afbeelding VI.16 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.17 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-M

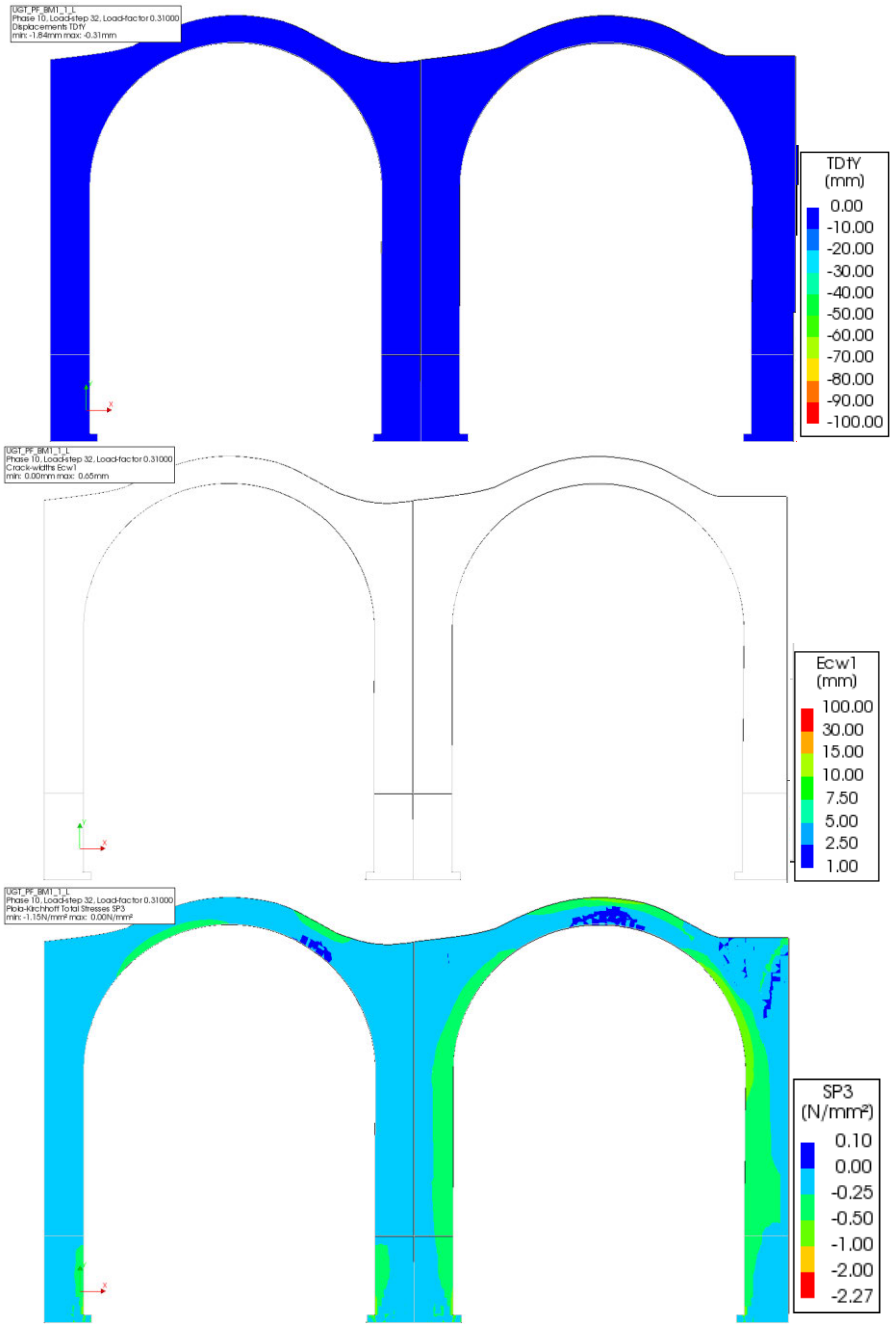


Afbeelding VI.18 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 4 ton belasting en belastingpositie 4-R

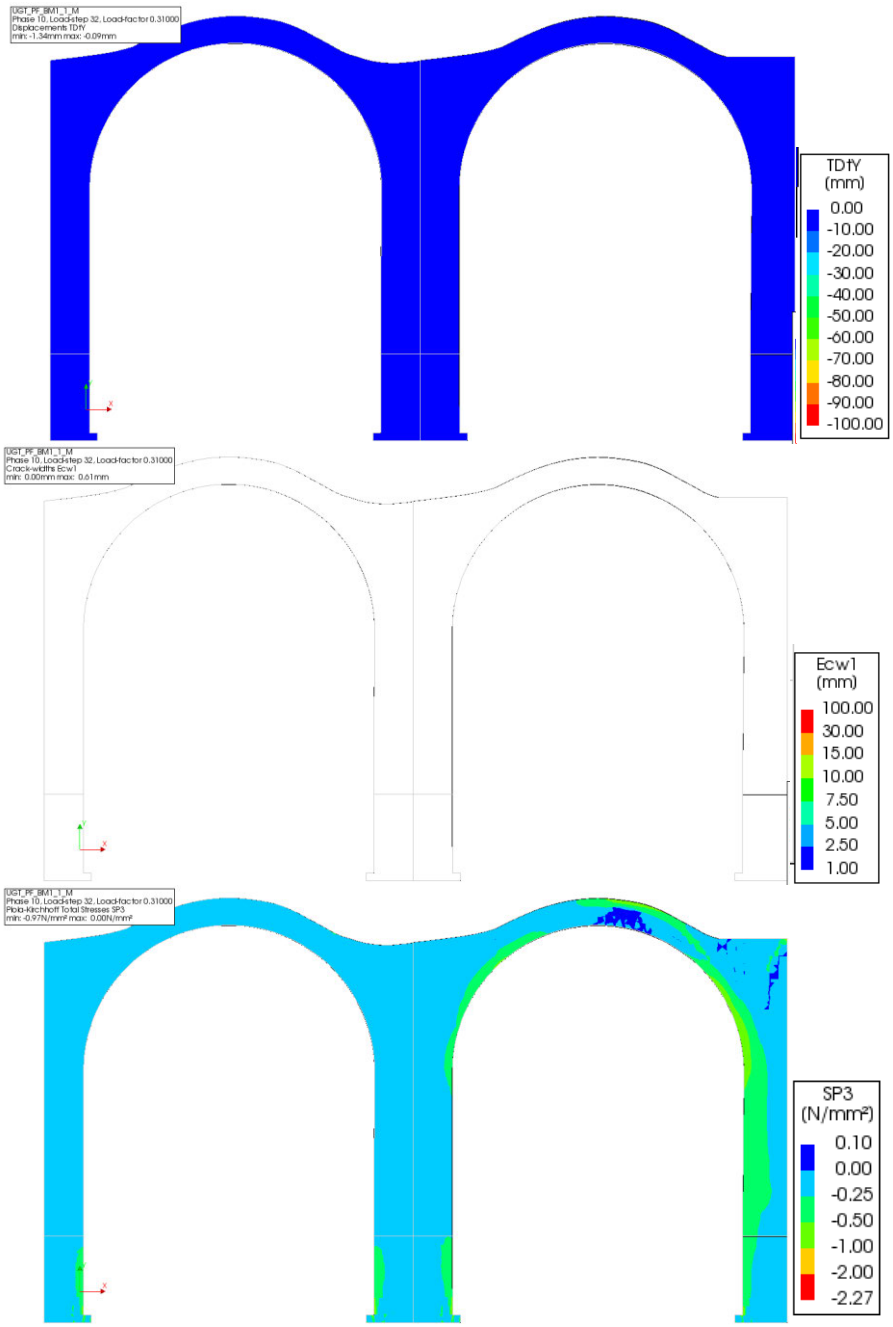


UGT-PF-C20 - 5 ton

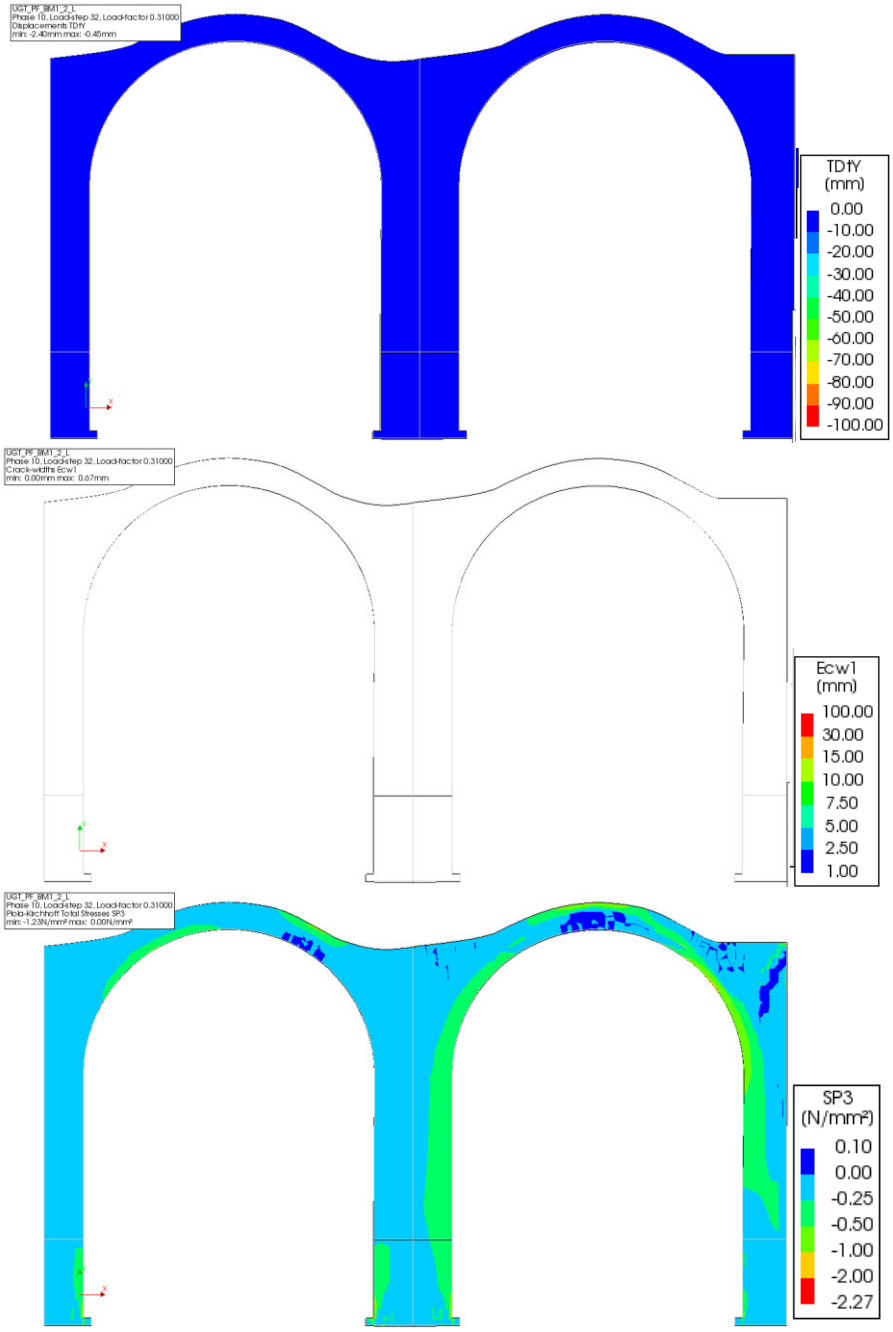
Afbeelding VI.19 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 1-L



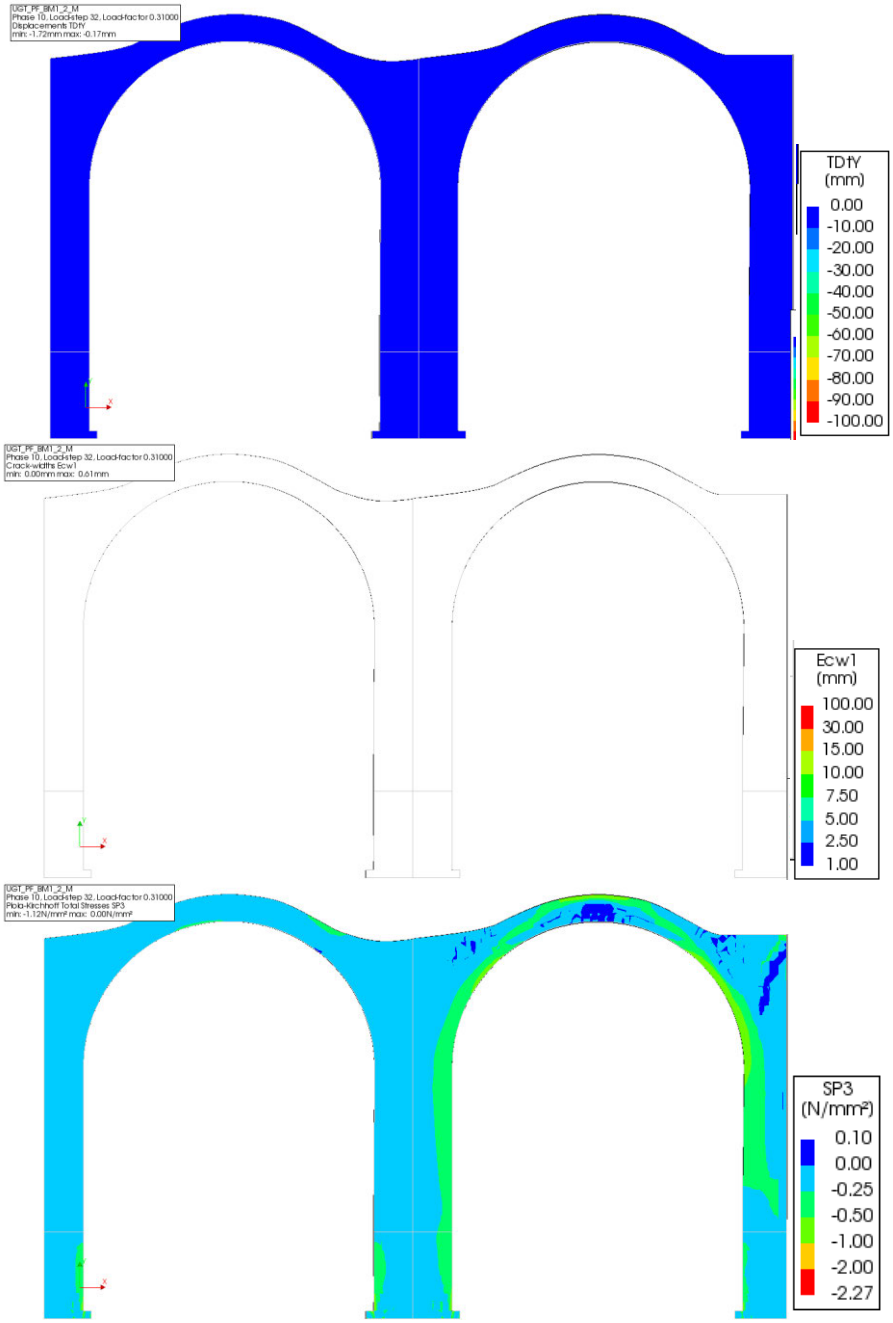
Afbeelding VI.20 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 1-M



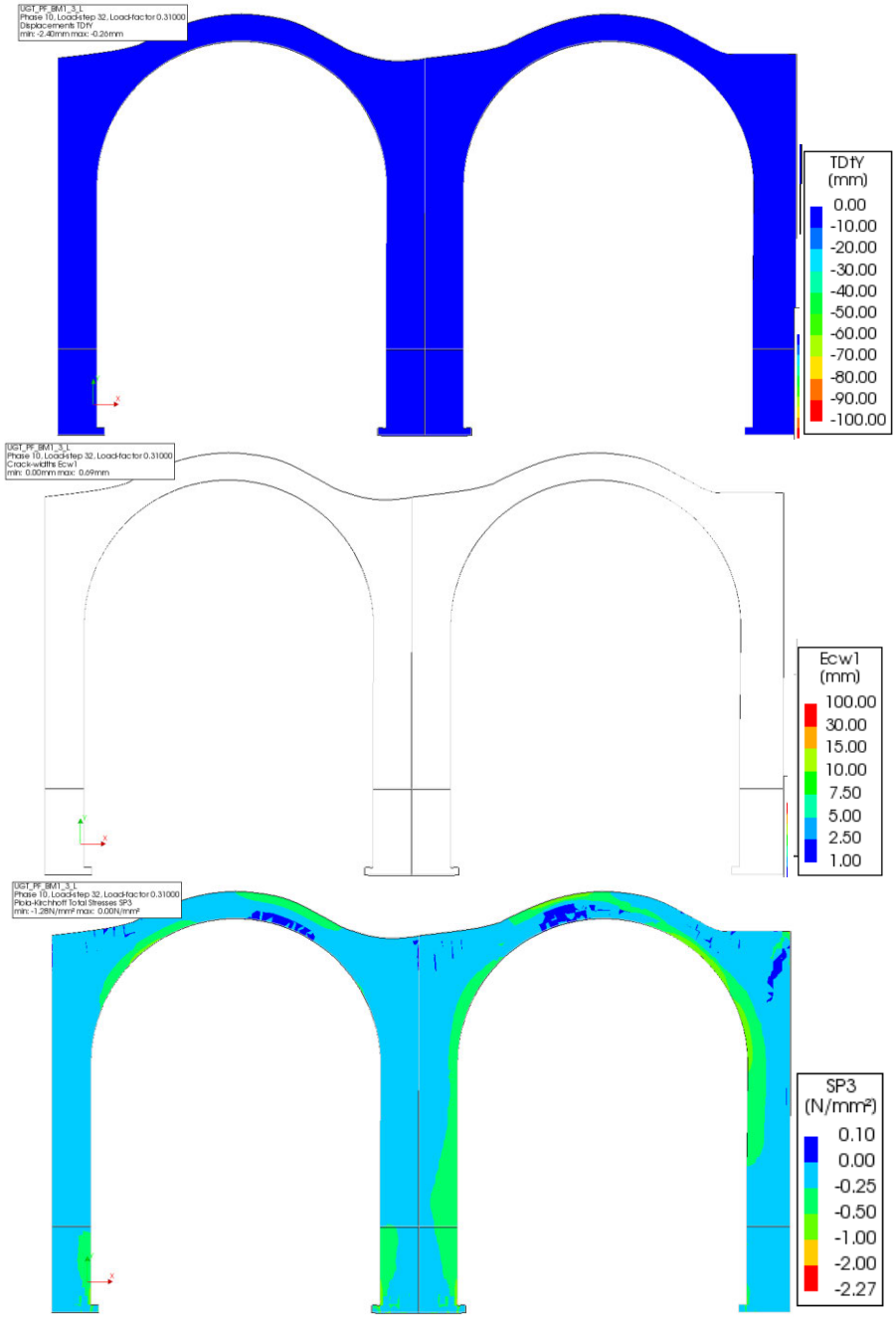
Afbeelding VI.21 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 2-L



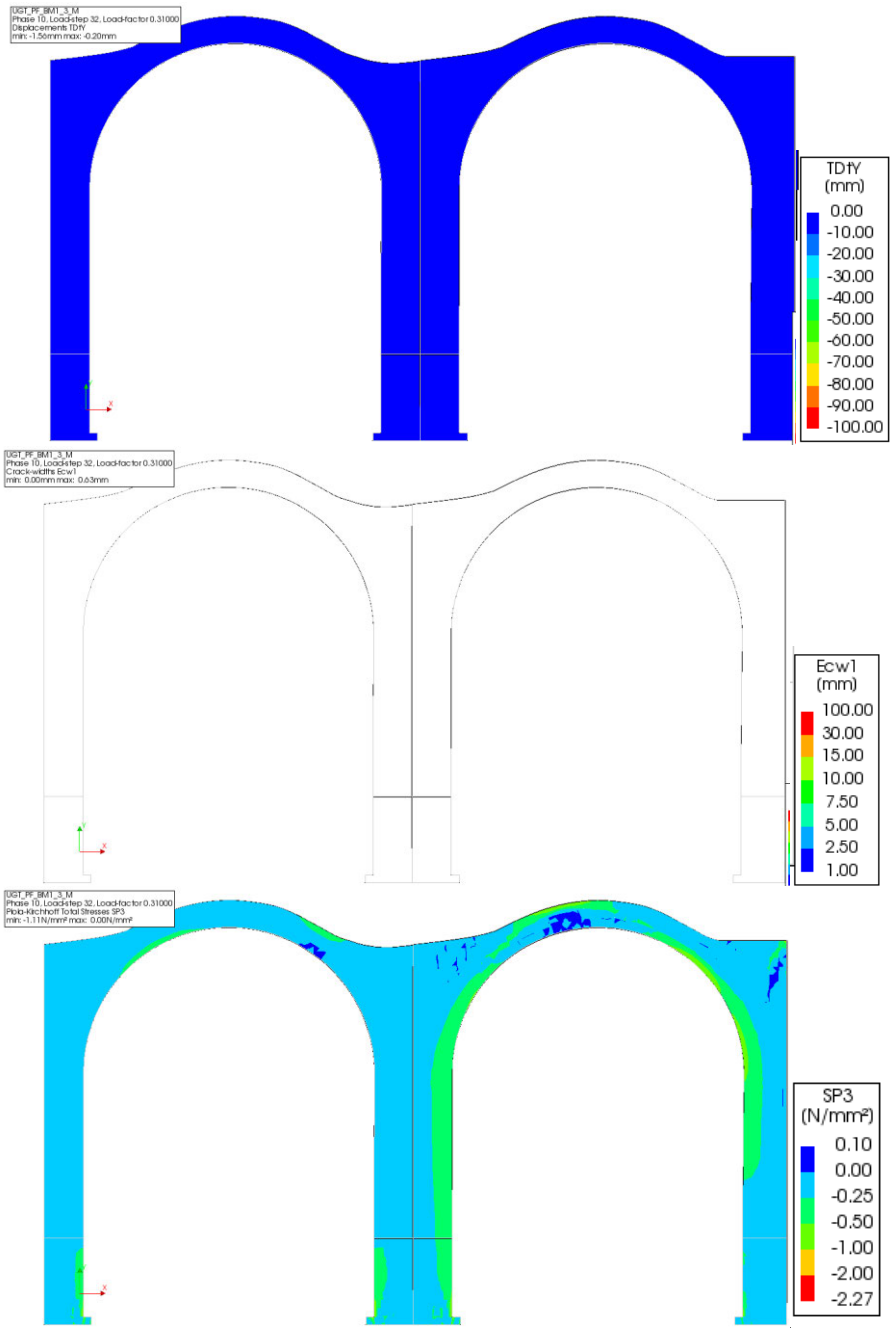
Afbeelding VI.22 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 2-M



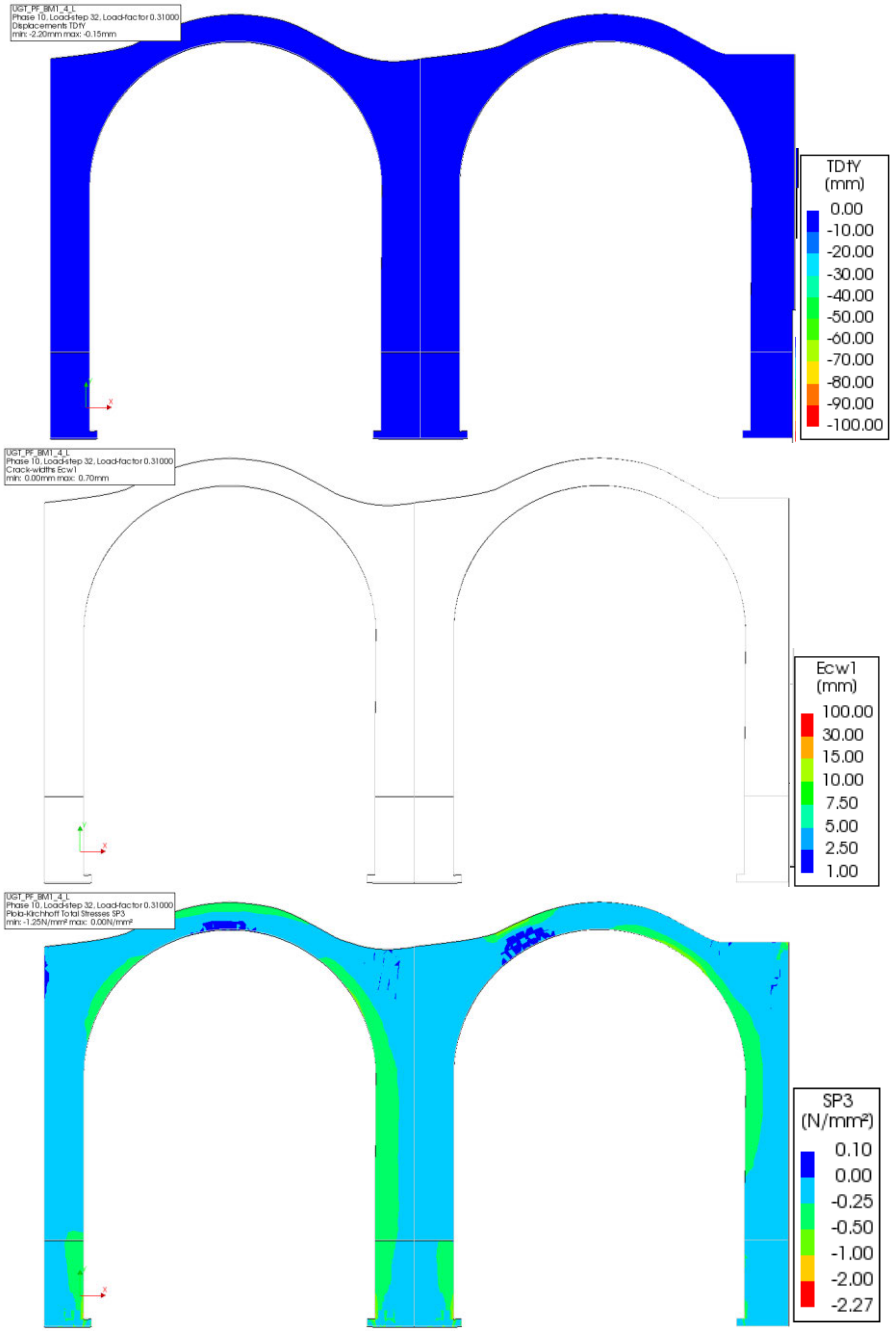
Afbeelding VI.23 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 3-L



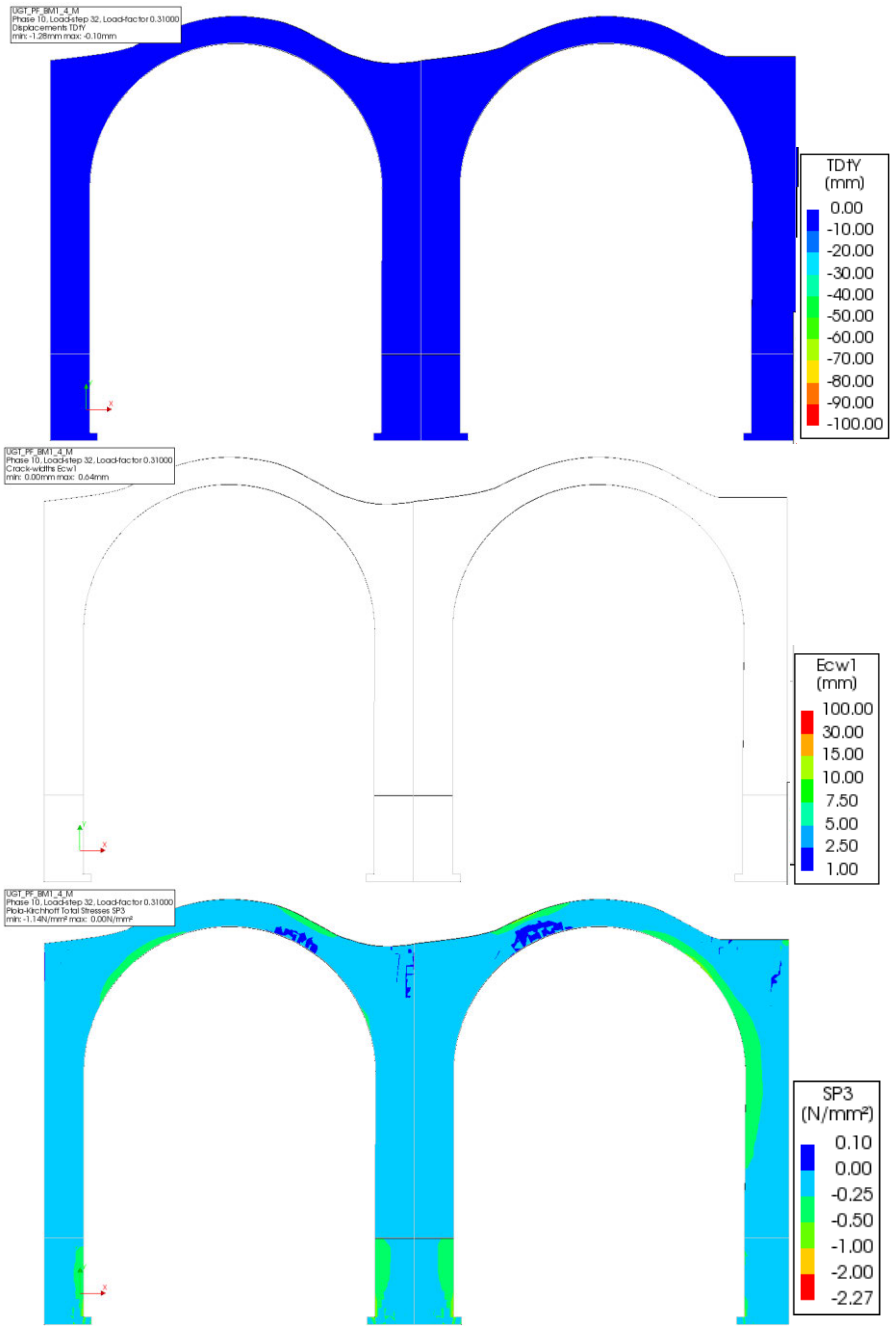
Afbeelding VI.24 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 3-M



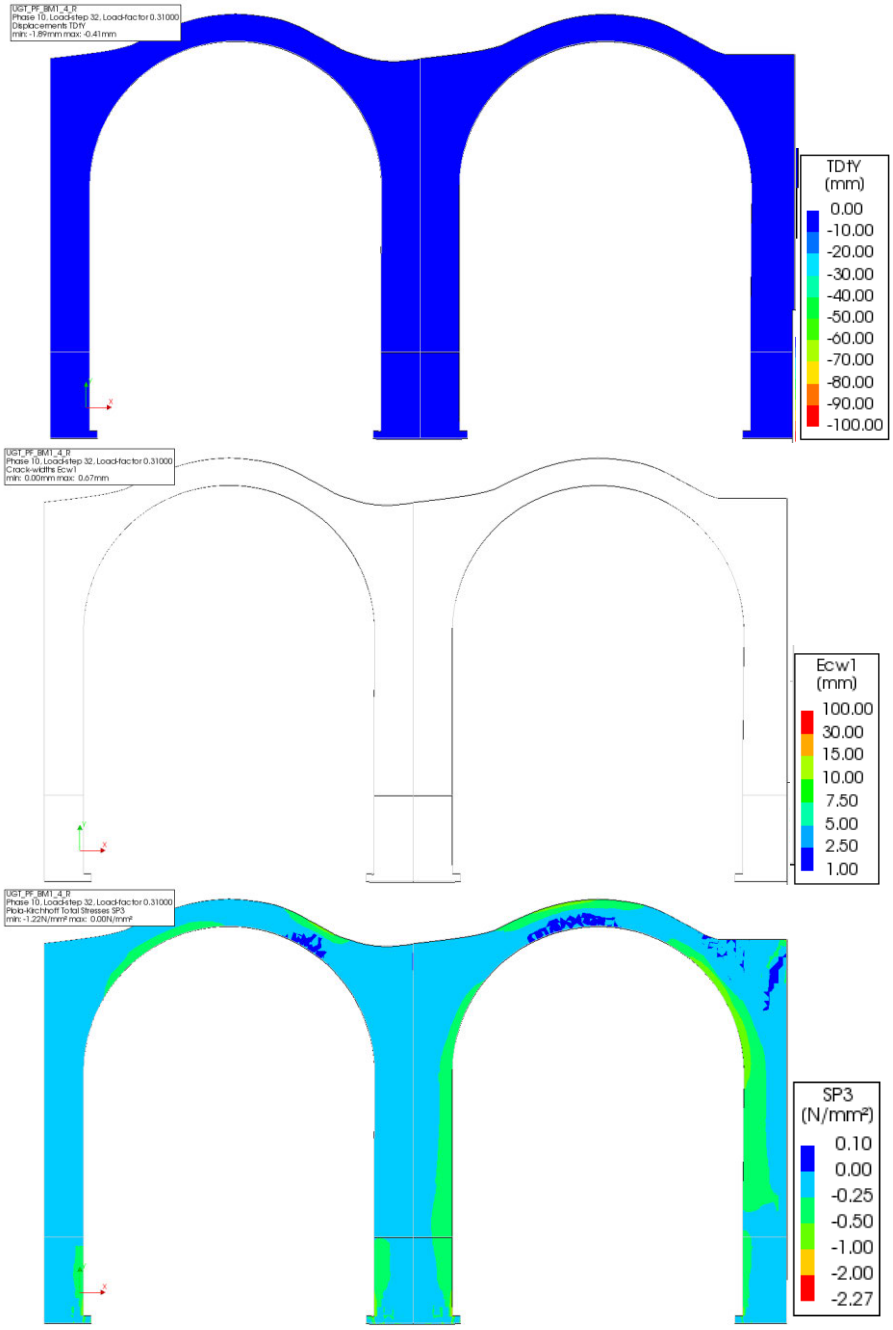
Afbeelding VI.25 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.26 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-M

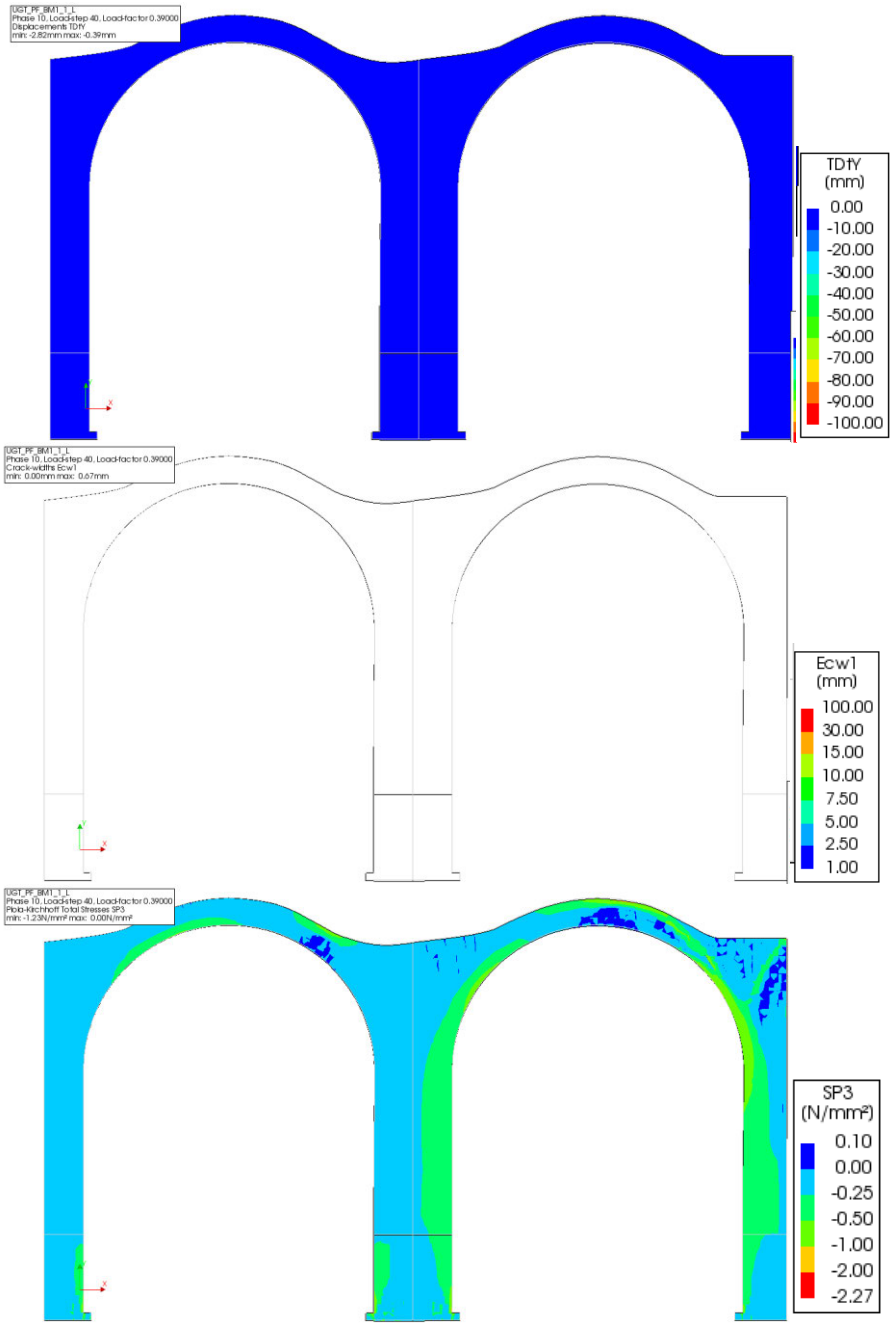


Afbeelding VI.27 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 5 ton belasting en belastingpositie 4-R

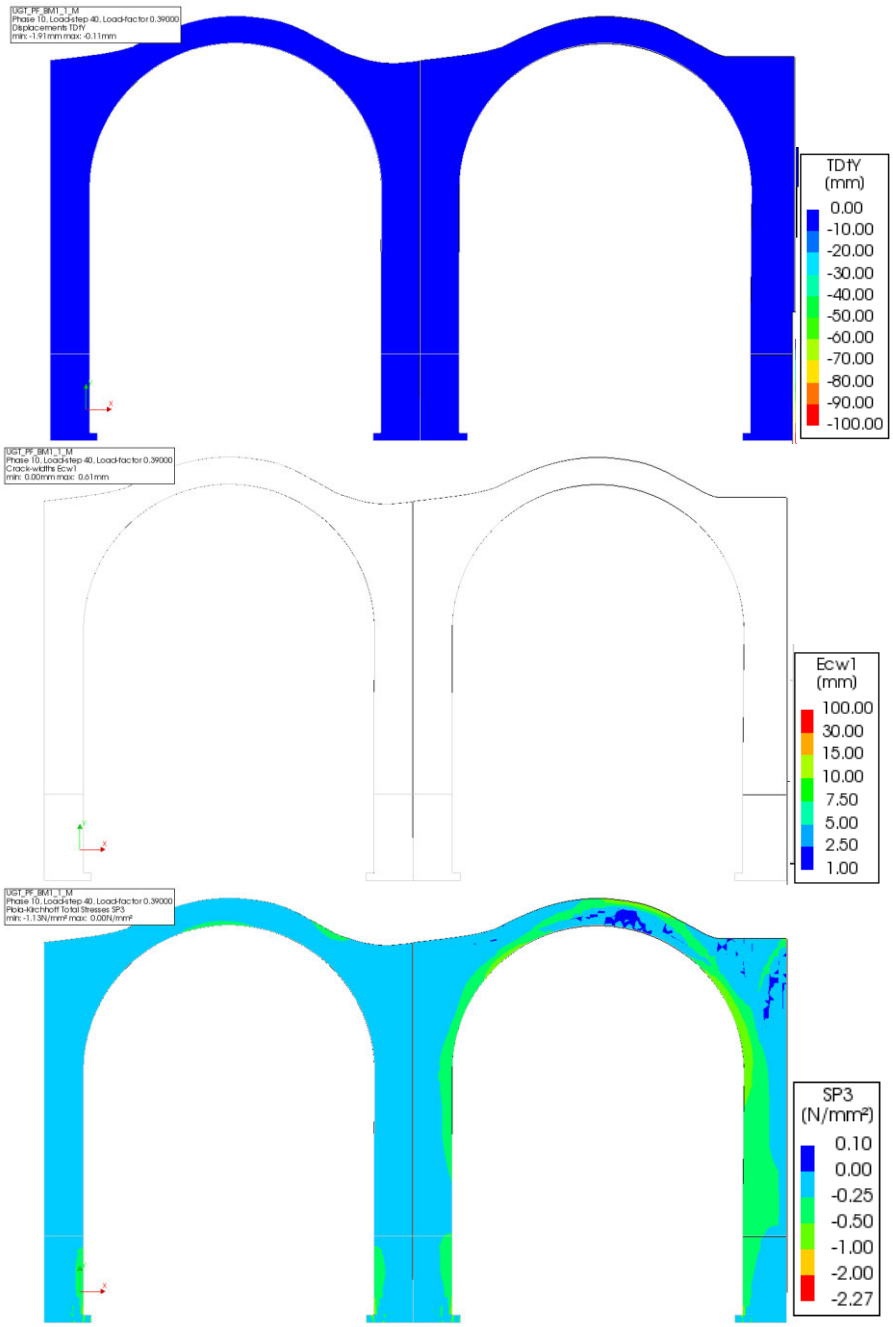


UGT-PF-C20 - 6 ton

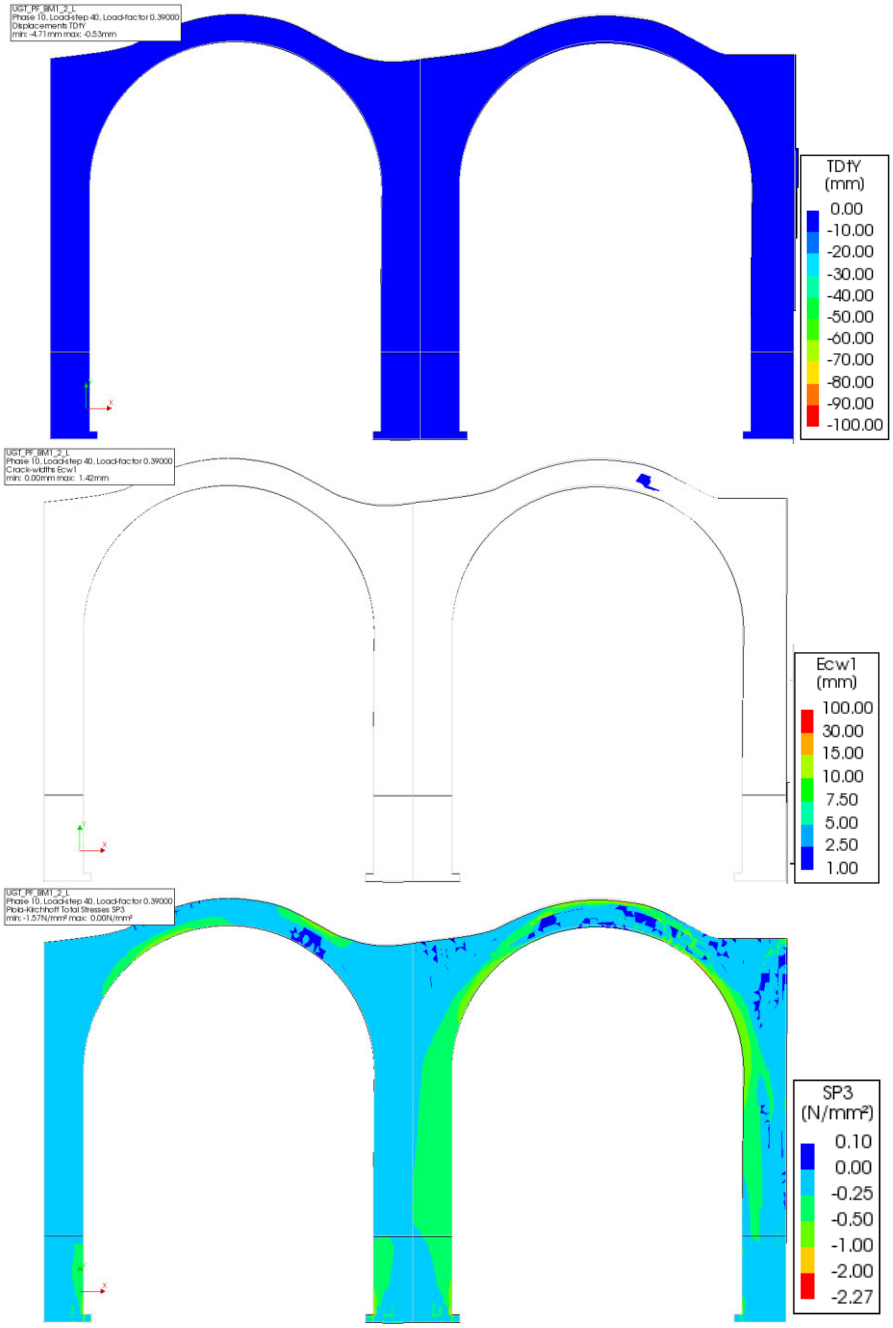
Afbeelding VI.28 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 1-L



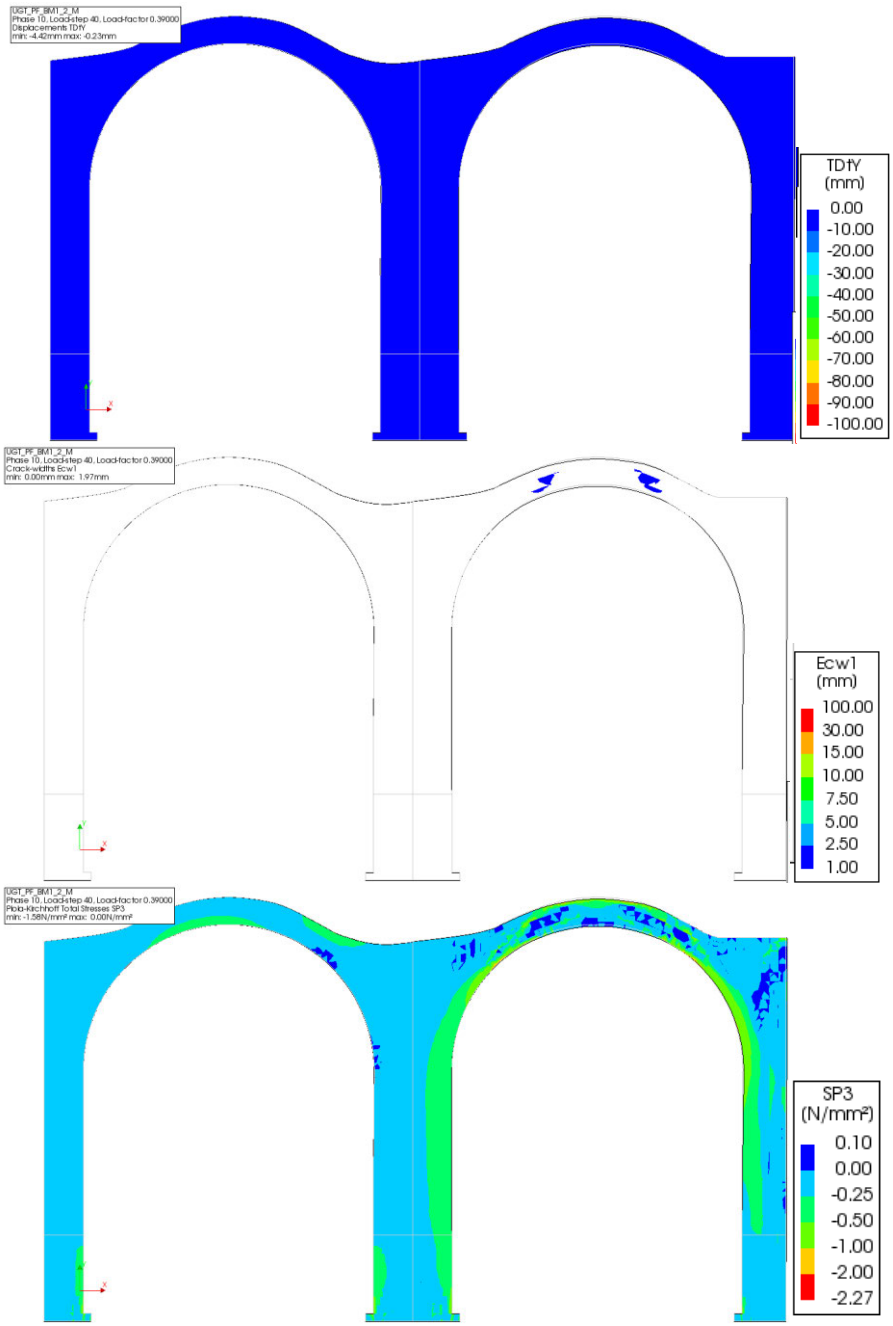
Afbeelding VI.29 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 1-M



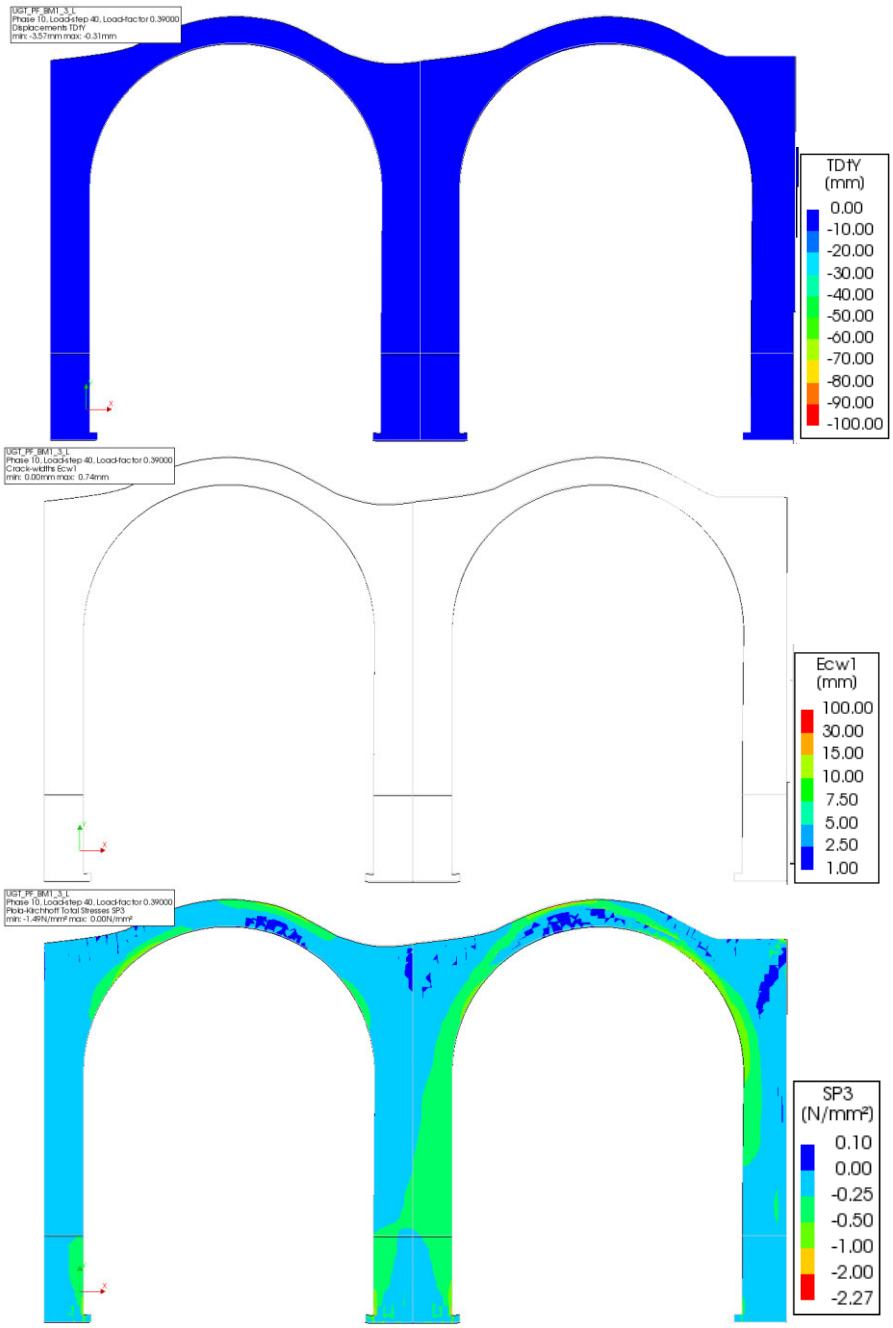
Afbeelding VI.30 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 2-L



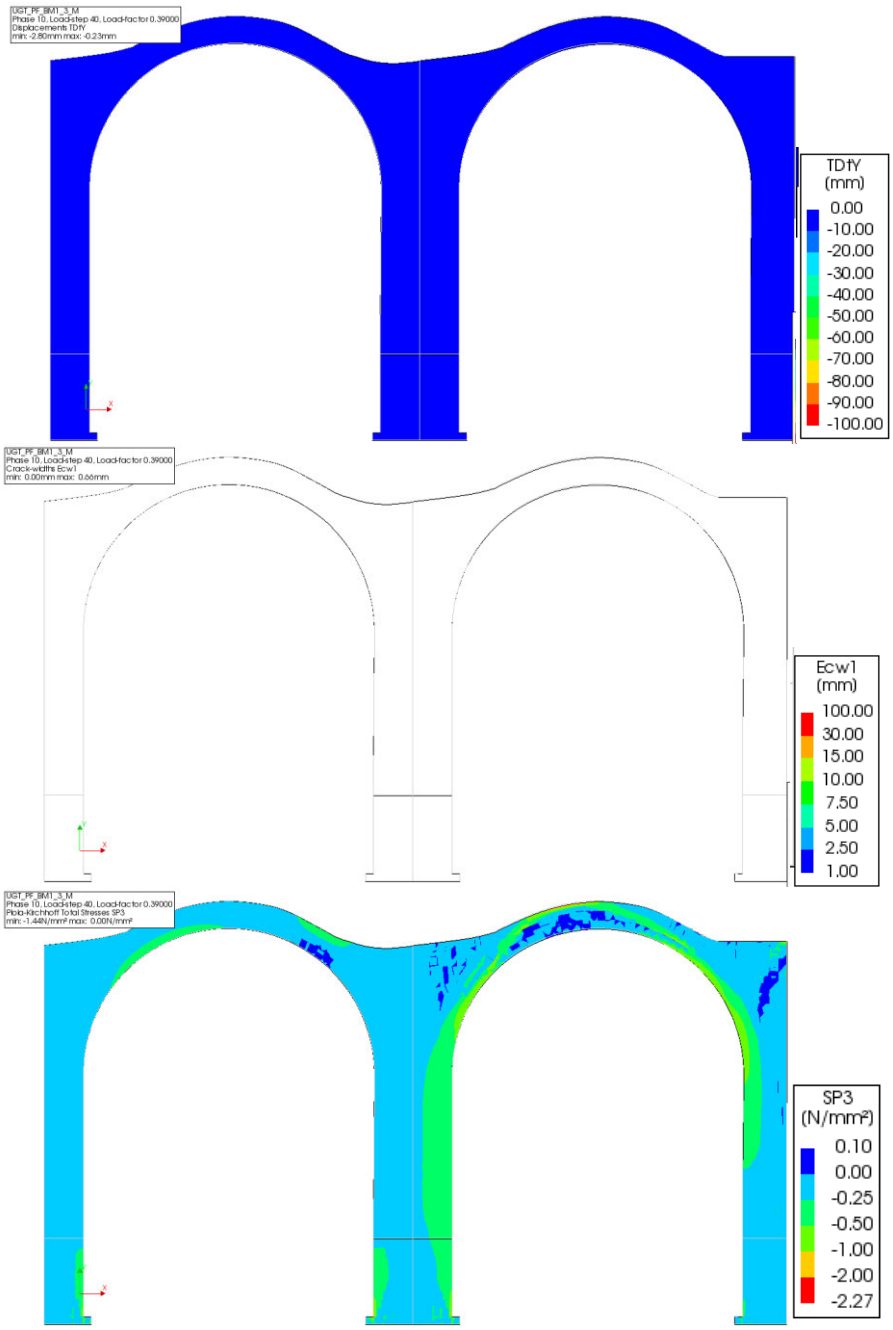
Afbeelding VI.31 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 2-M



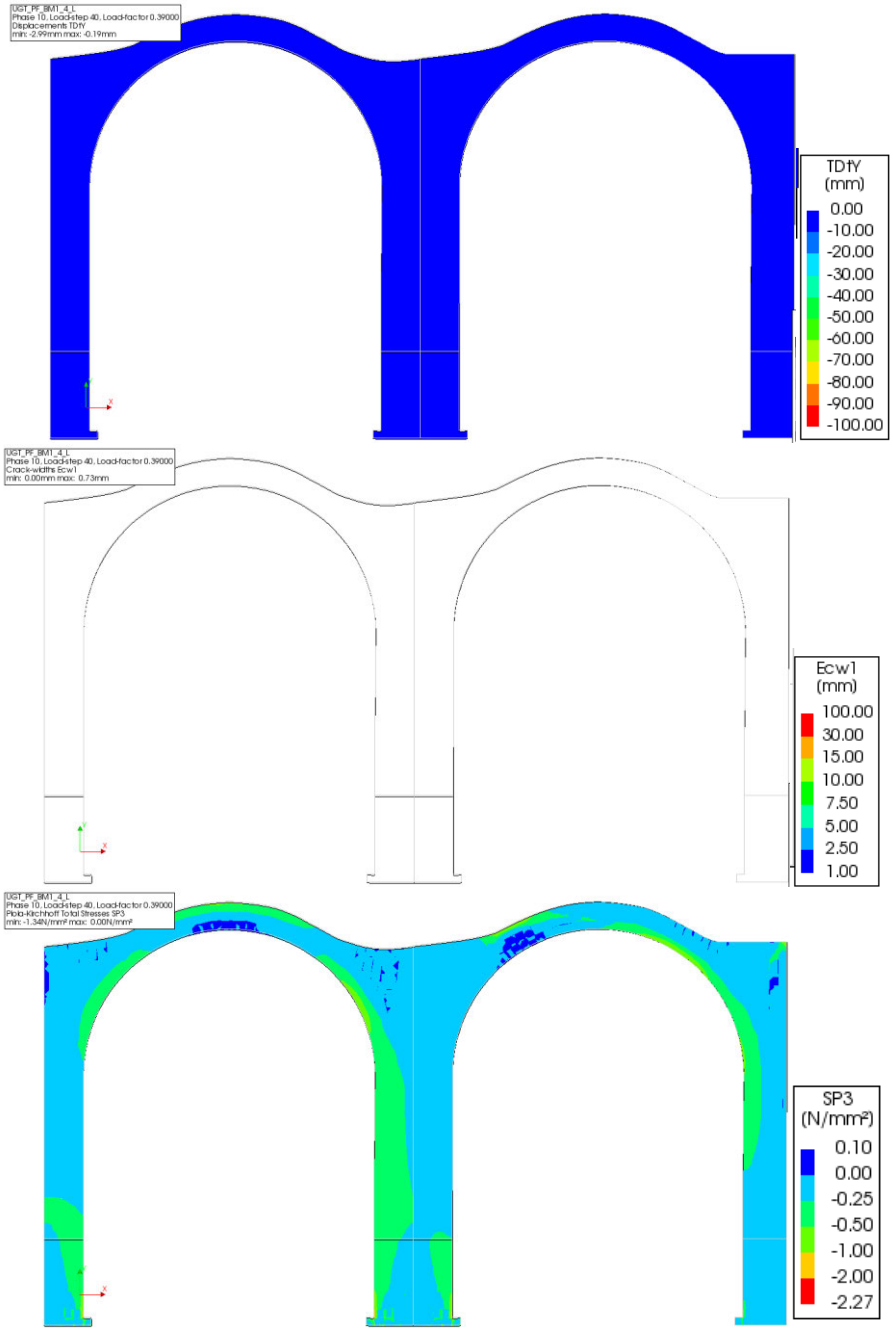
Afbeelding IV.32 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 3-L



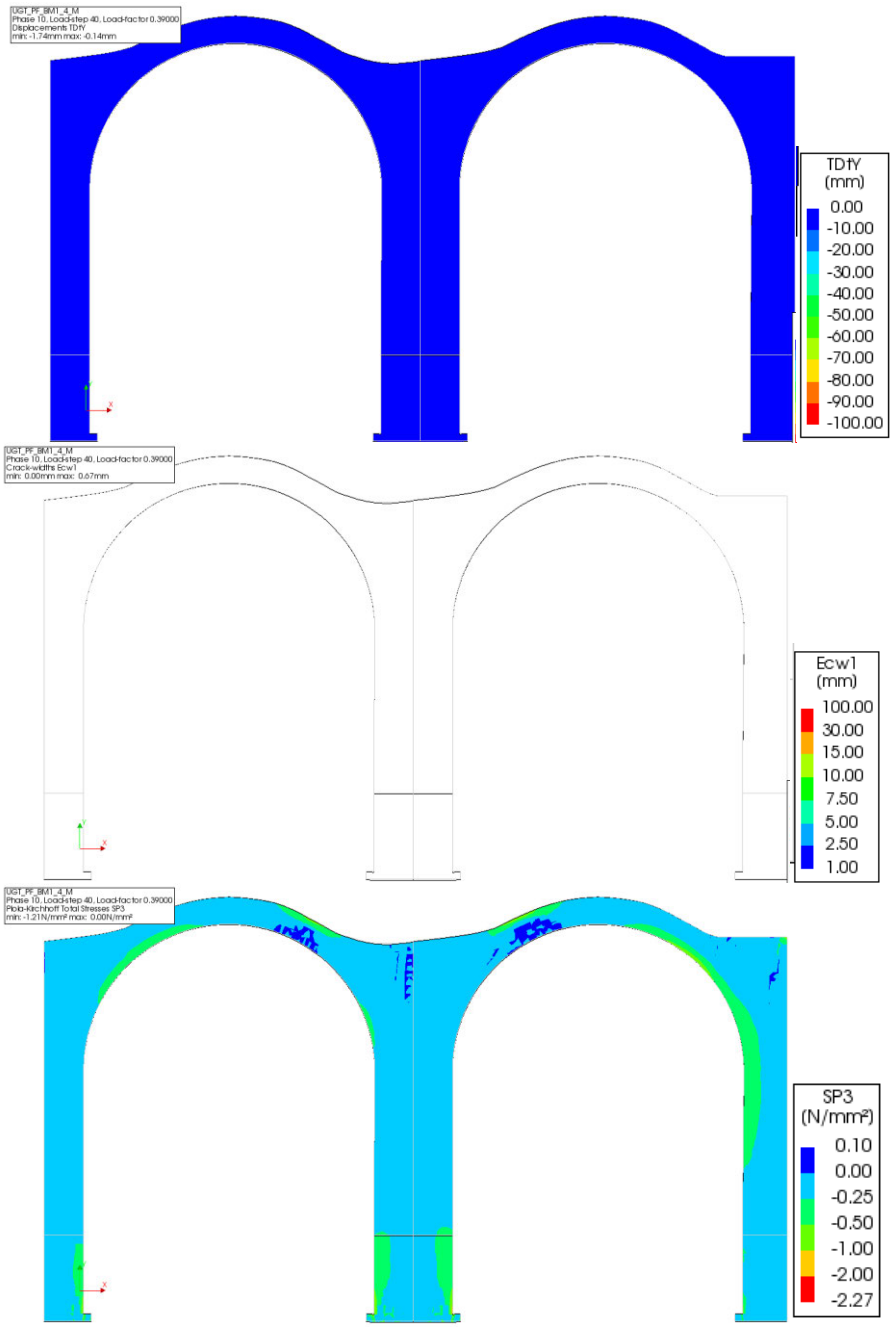
Afbeelding VI.33 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 3-M



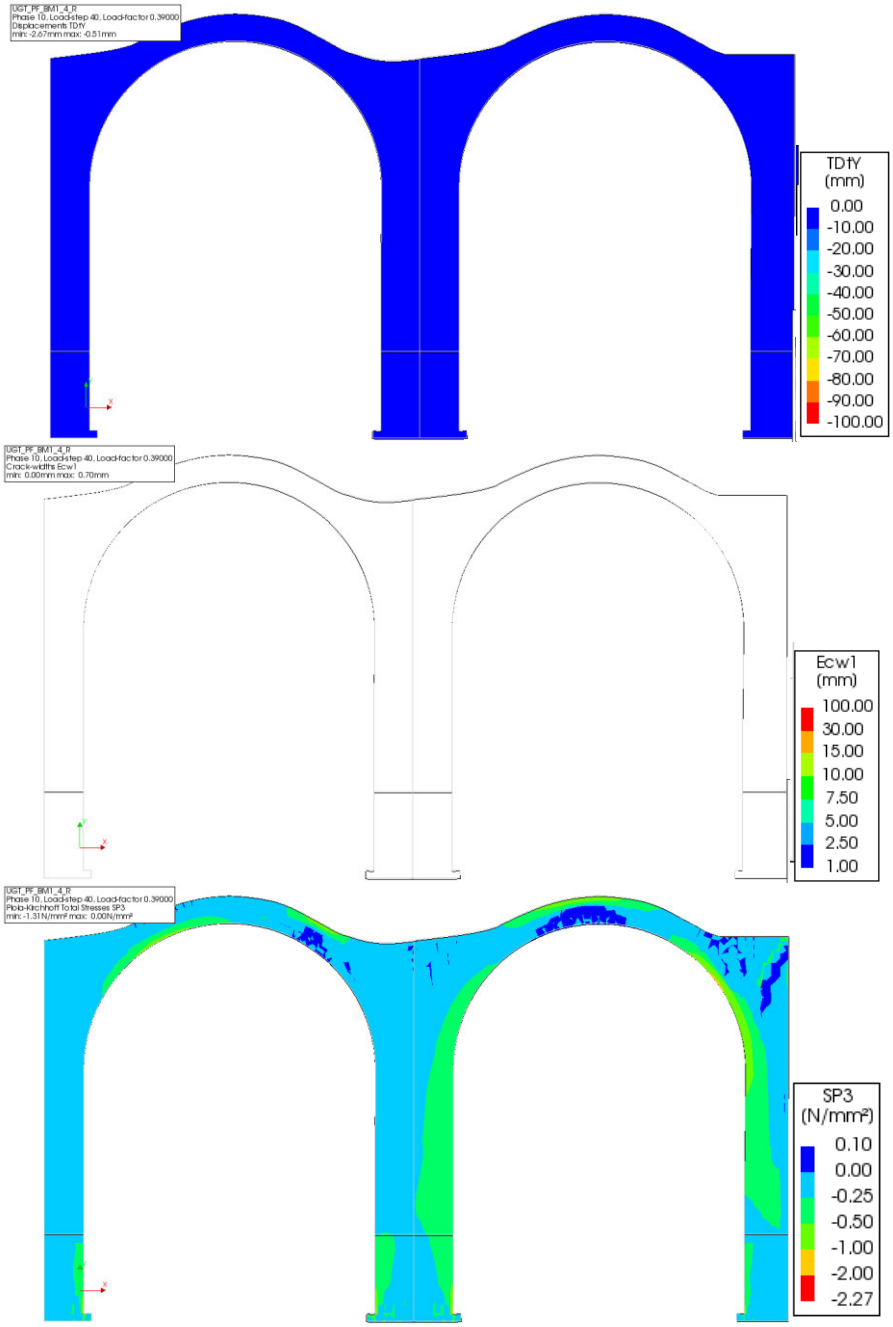
Afbeelding VI.34 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.35 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-M

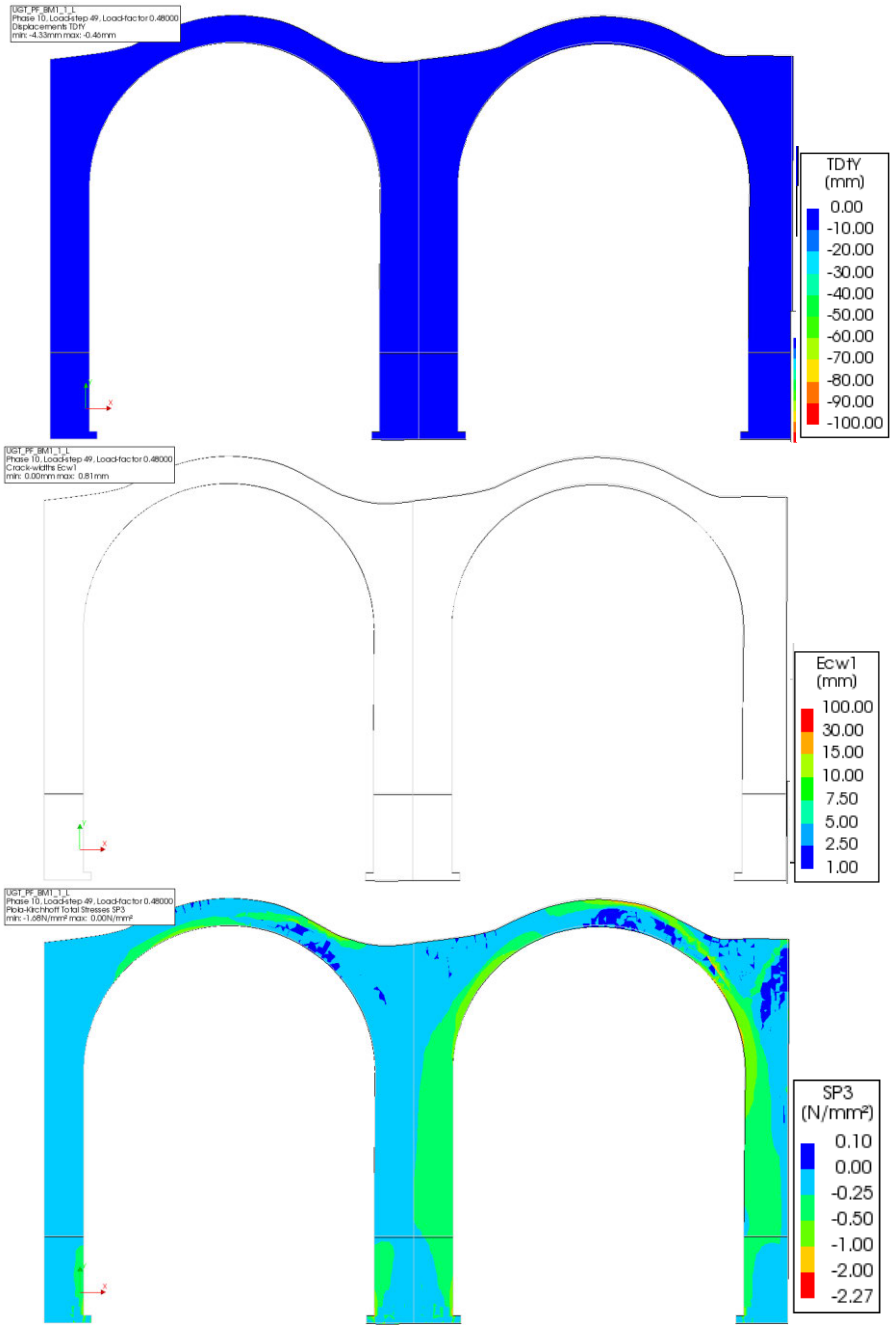


Afbeelding VI.36 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 6 ton belasting en belastingpositie 4-R

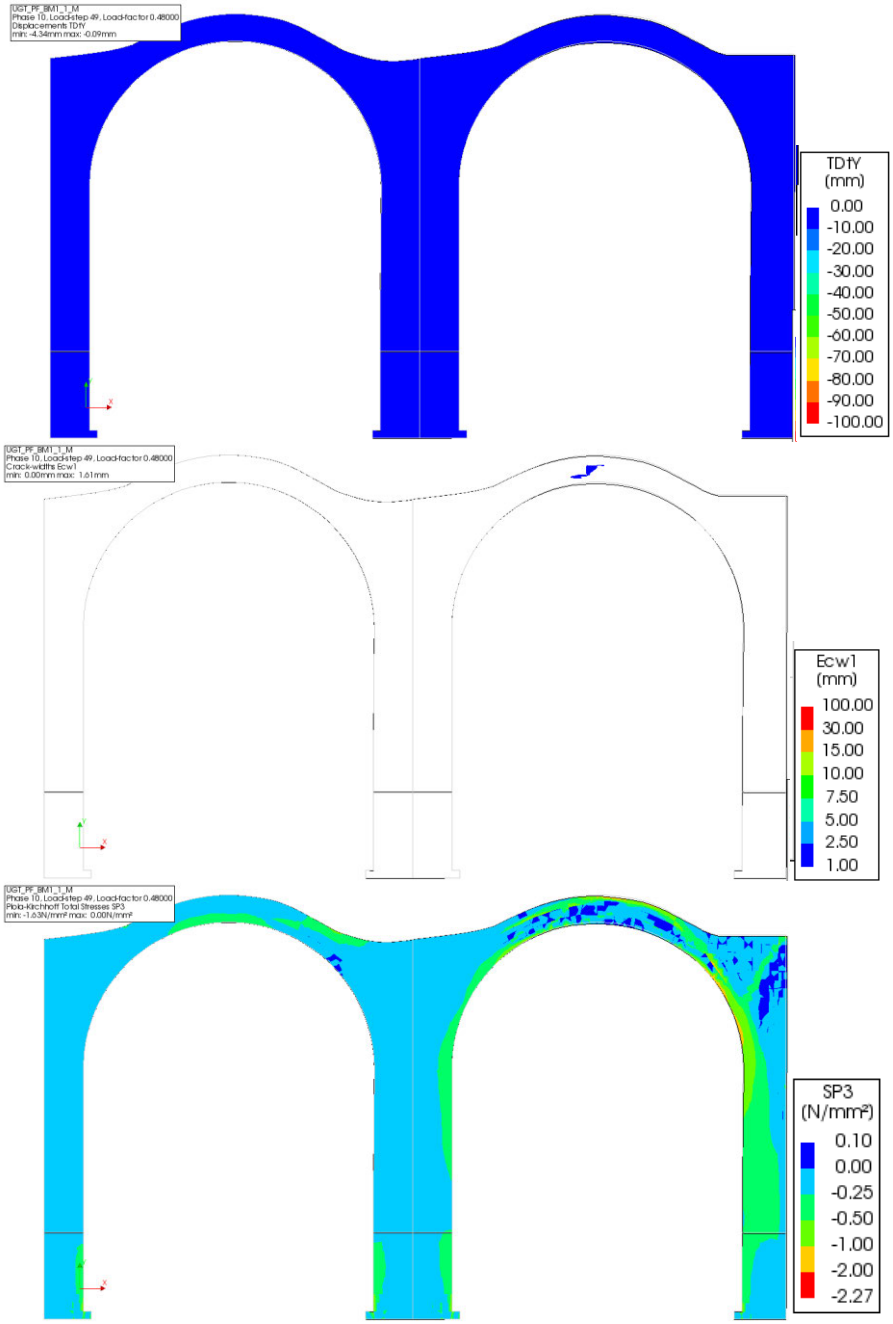


UGT-PF-C20 - 7 ton

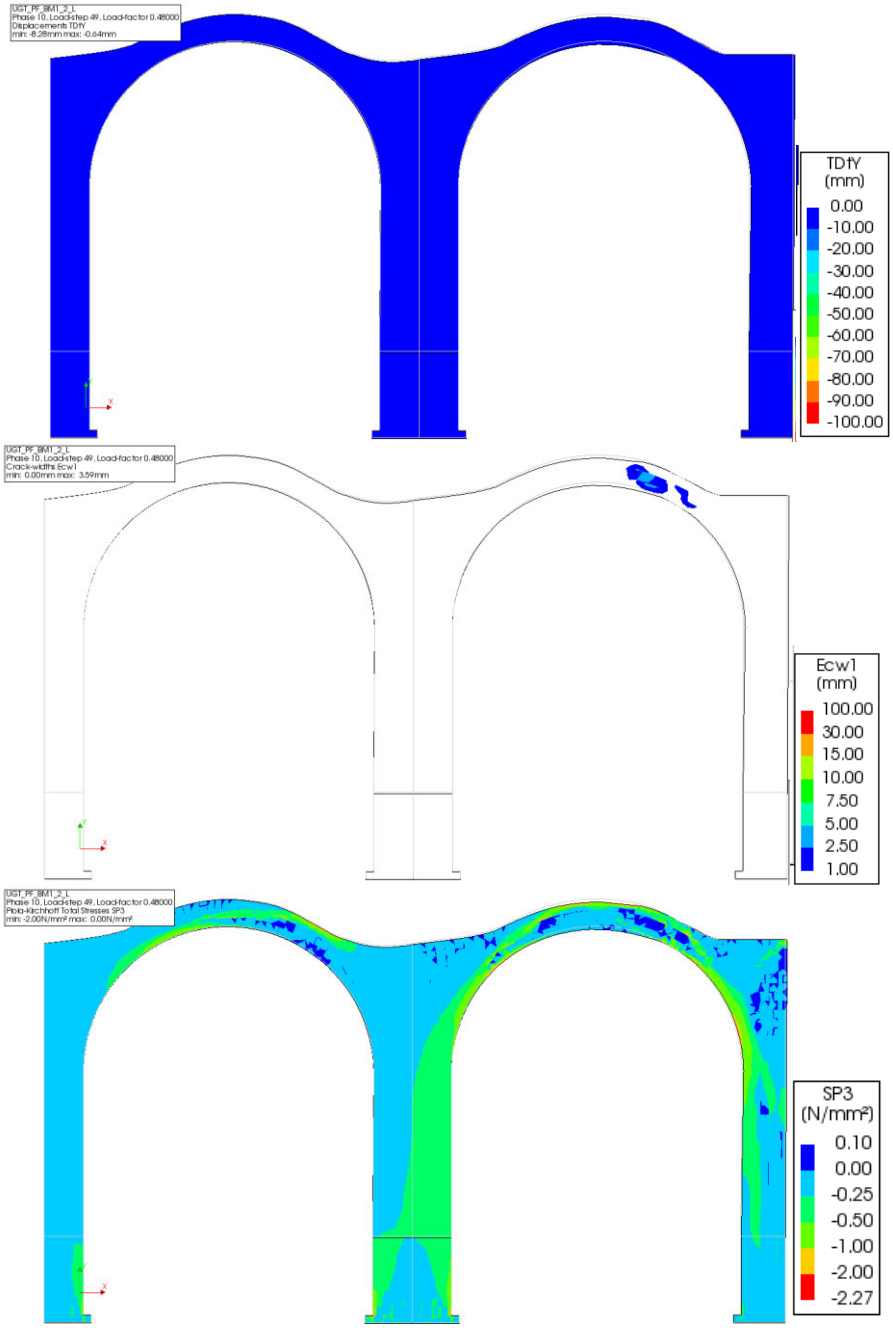
Afbeelding VI.37 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 1-L



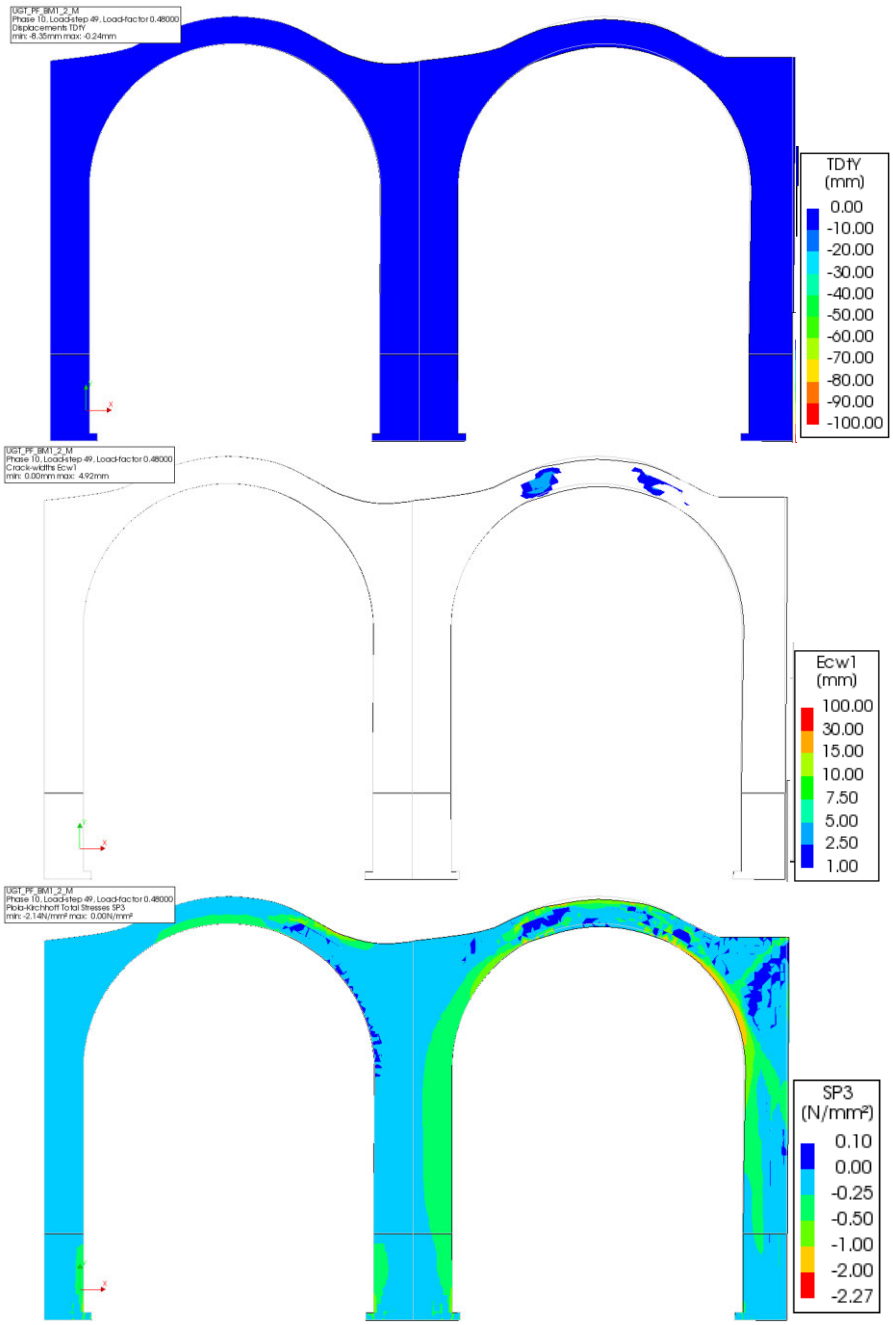
Afbeelding VI.38 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 1-M



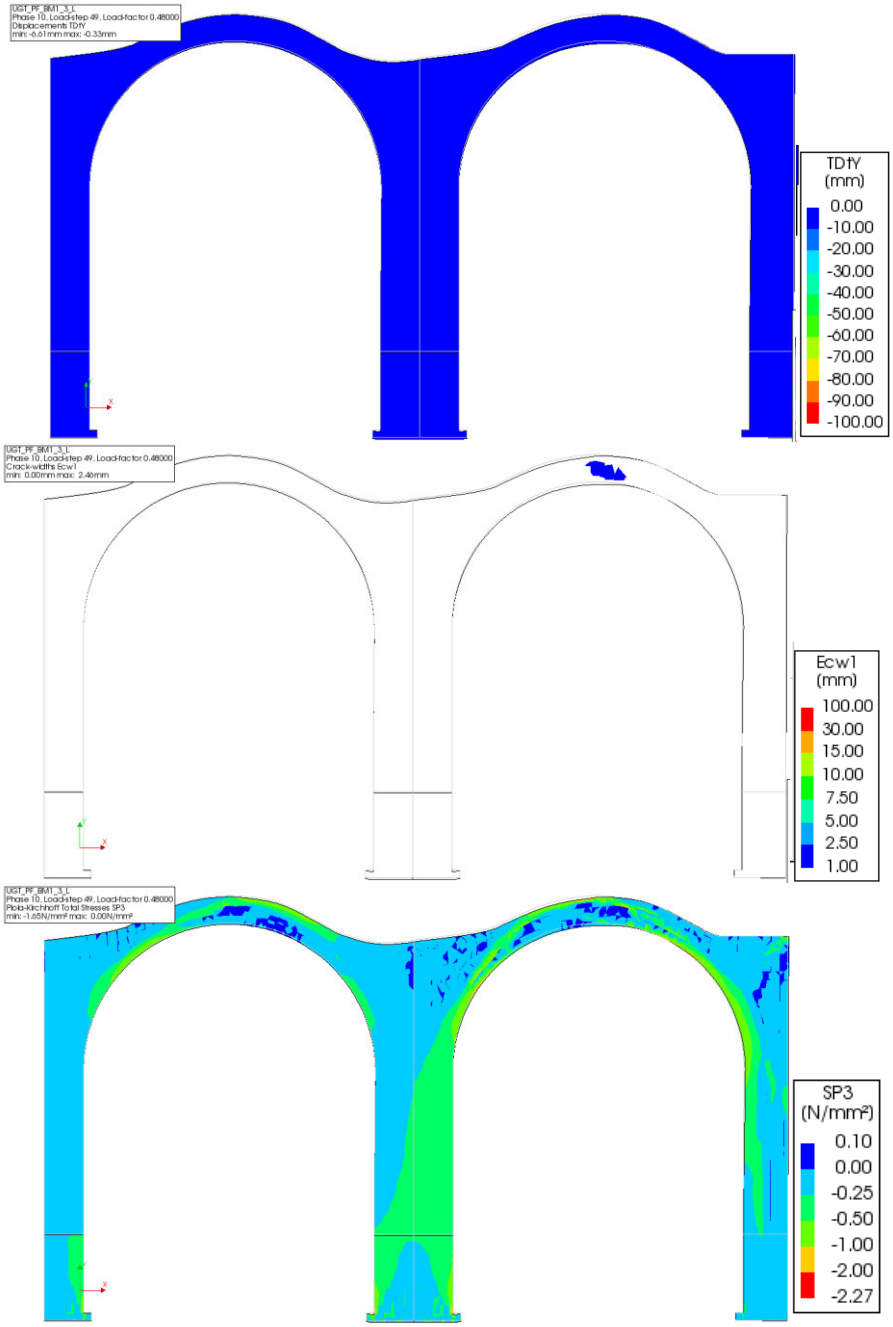
Afbeelding VI.39 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 2-L



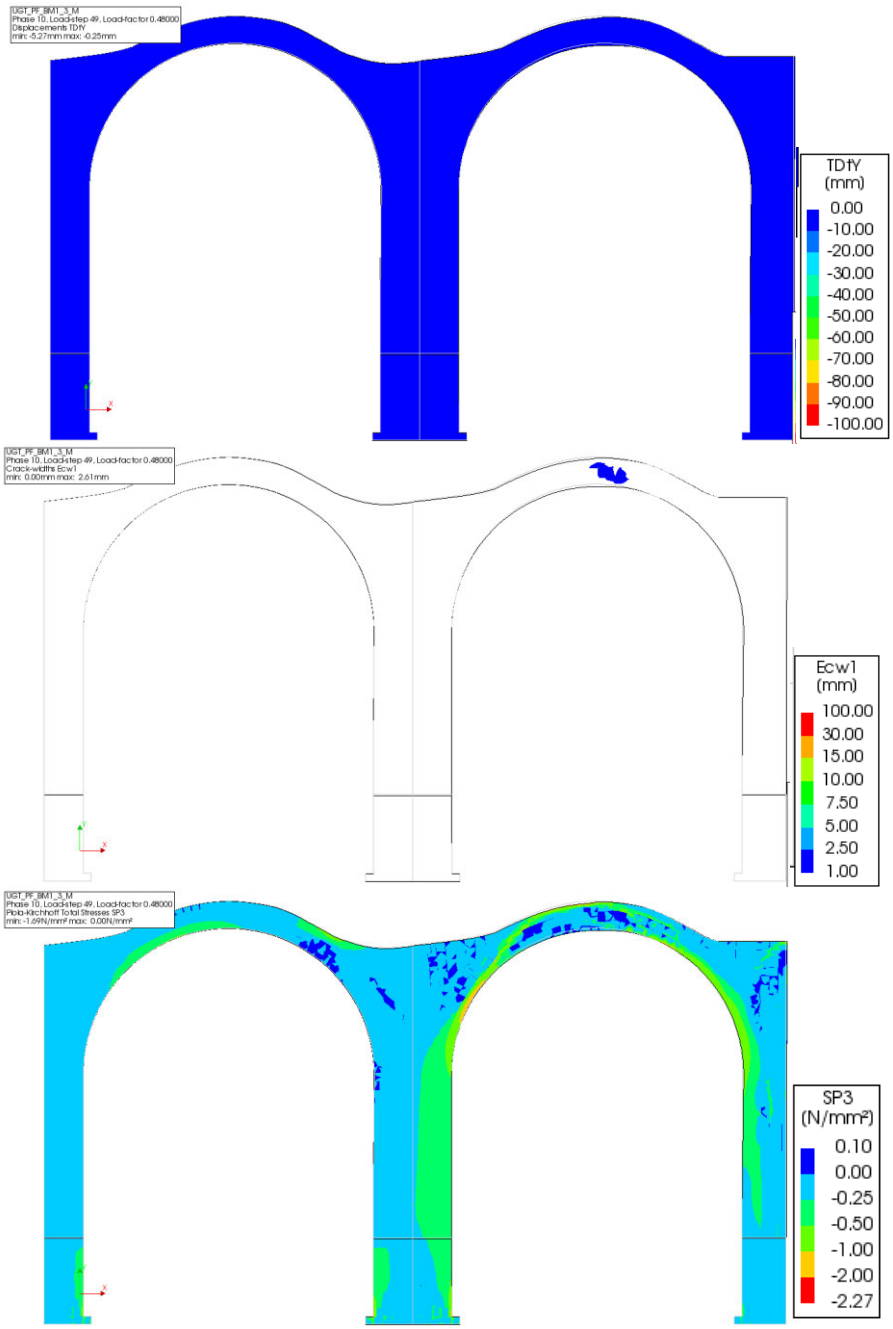
Afbeelding VI.40 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 2-M



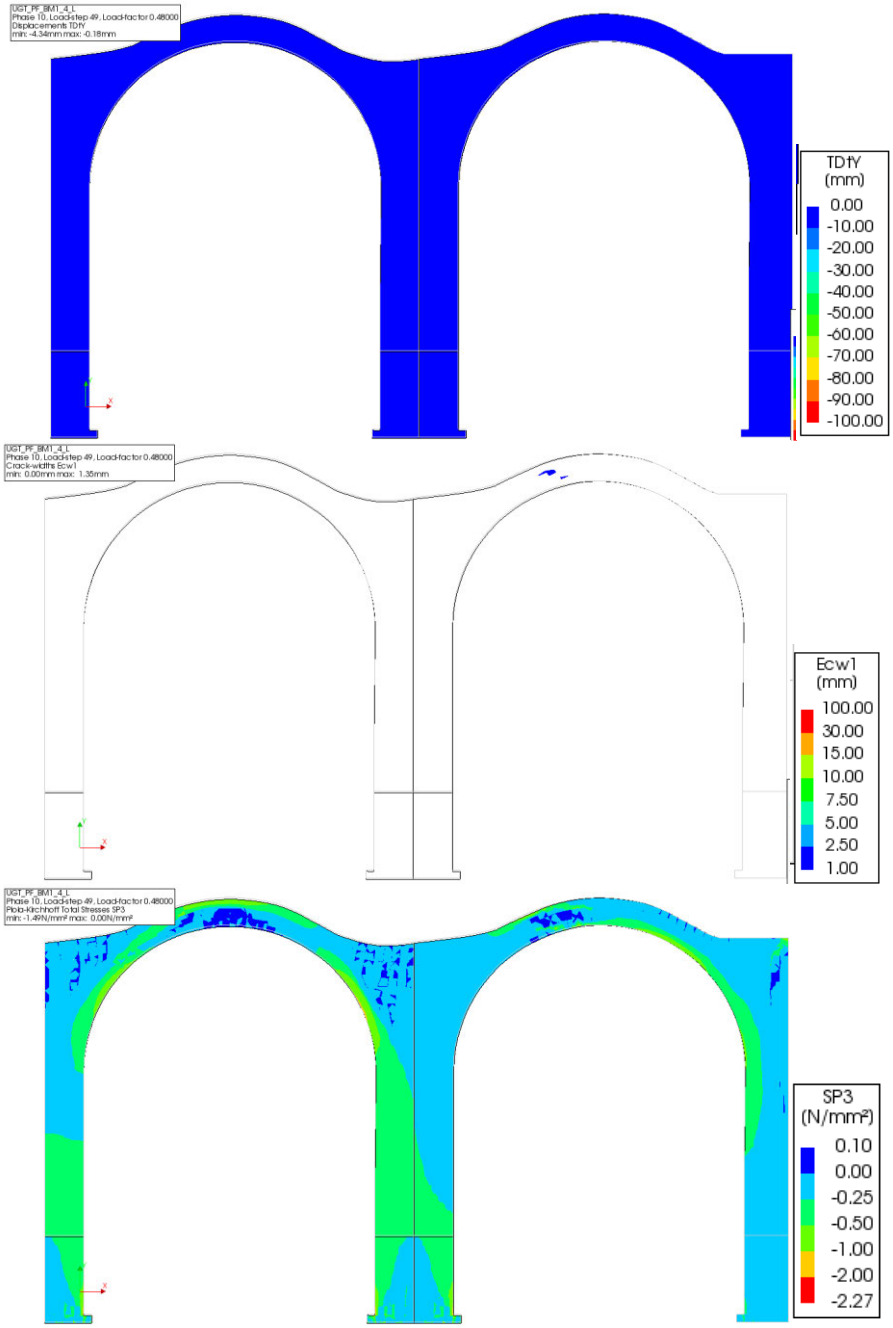
Afbeelding VI.41 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 3-L



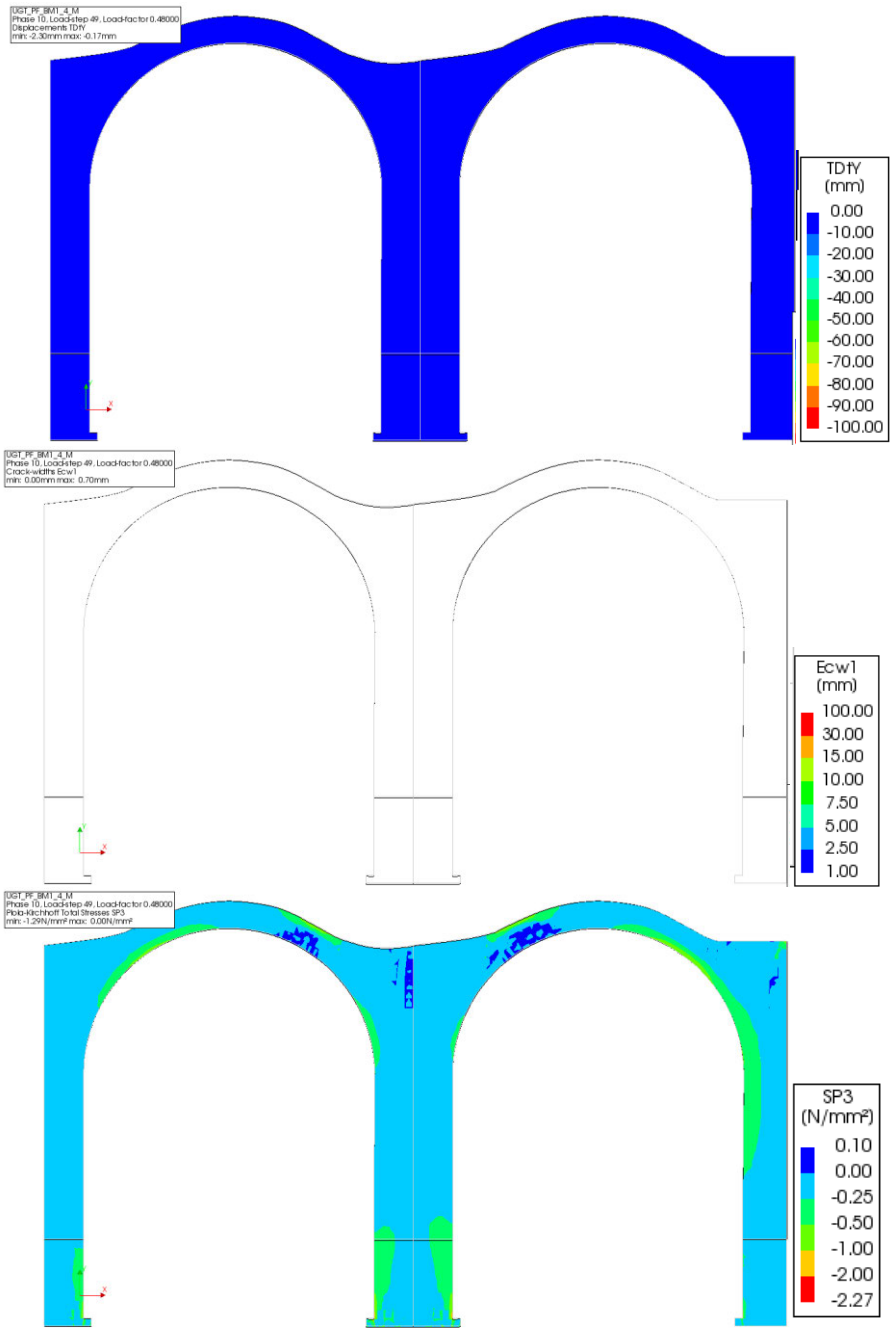
Afbeelding VI.42 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 3-M



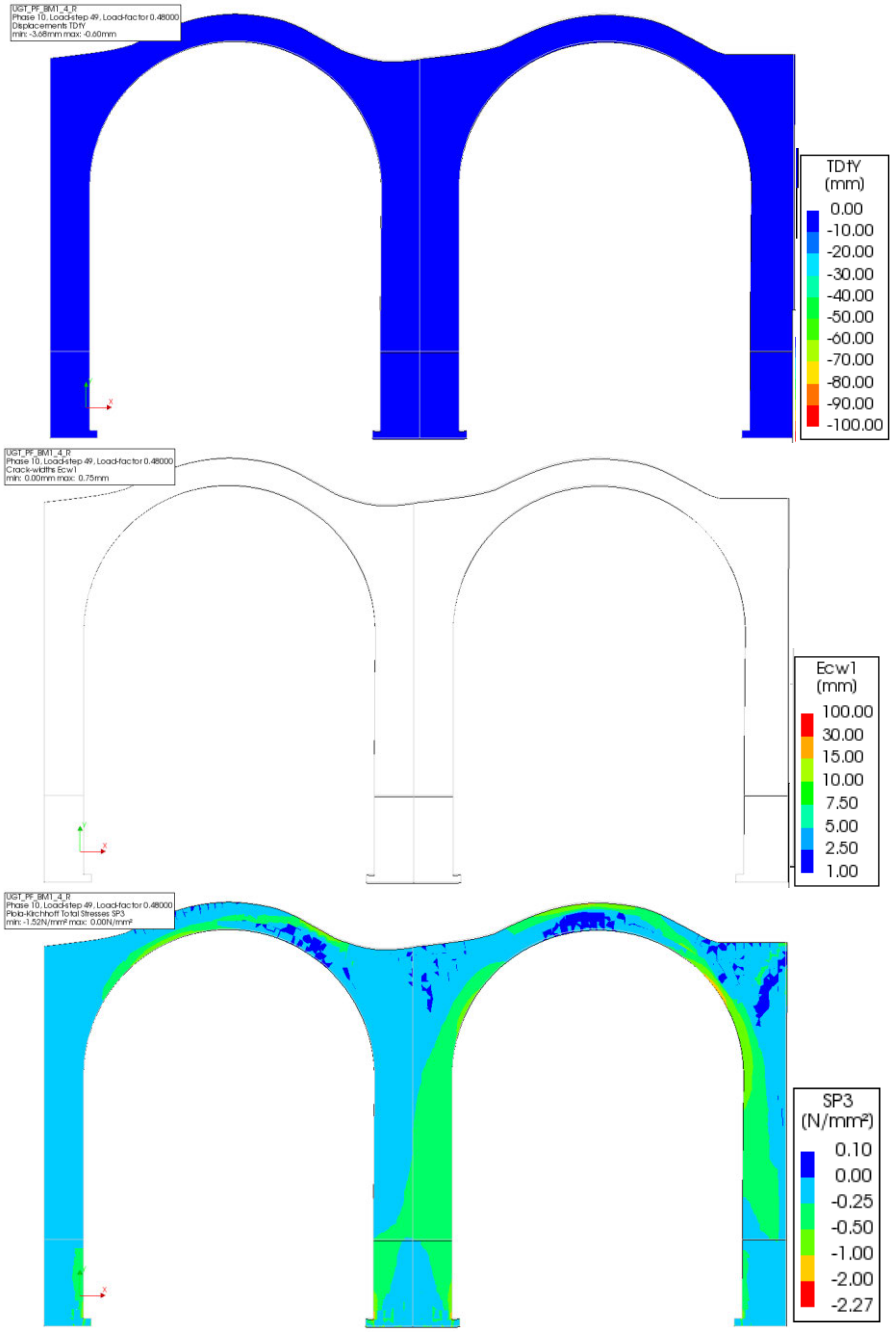
Afbeelding VI.43 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.44 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-M

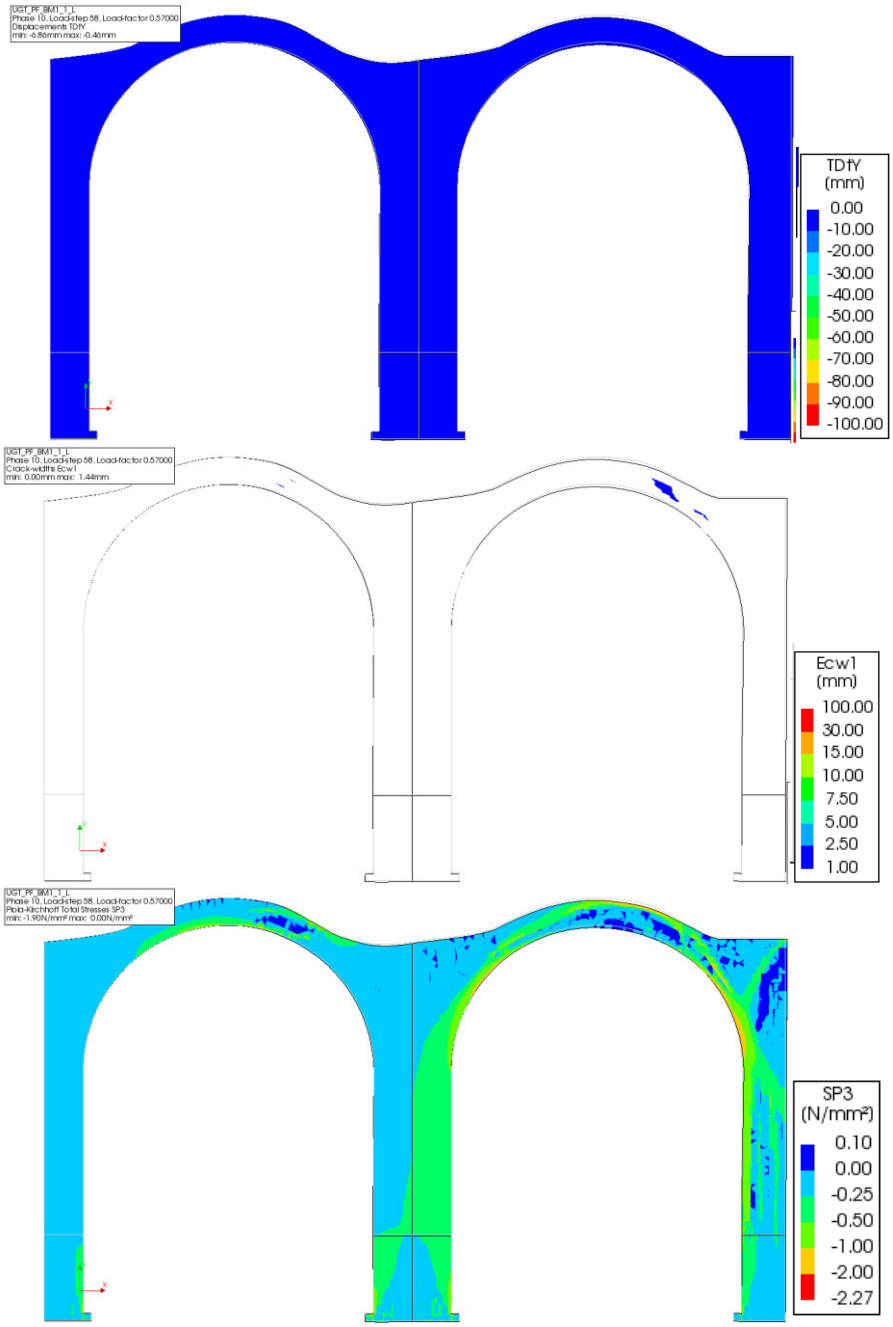


Afbeelding VI.45 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 7 ton belasting en belastingpositie 4-R

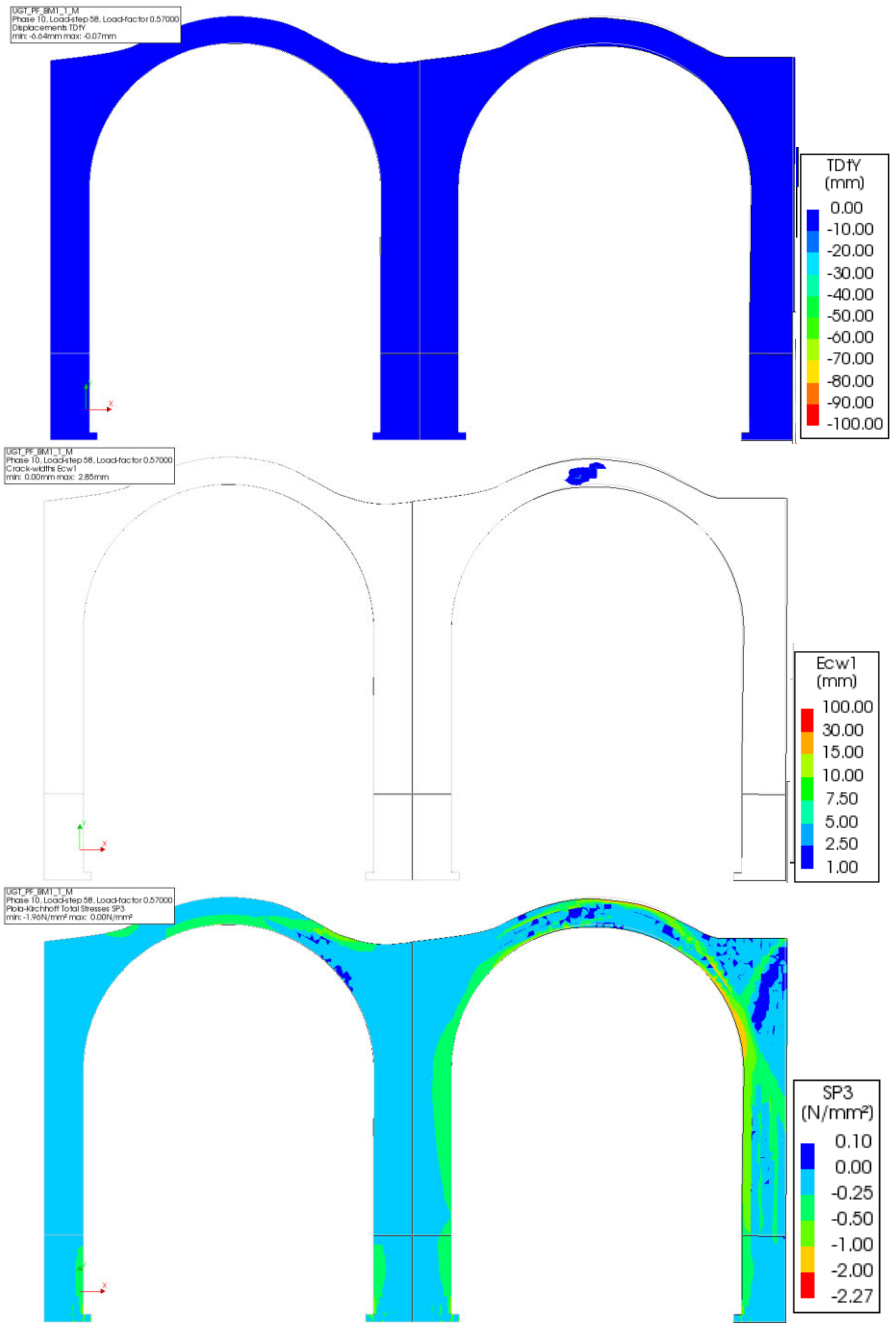


UGT-PF-C20 - 8 ton

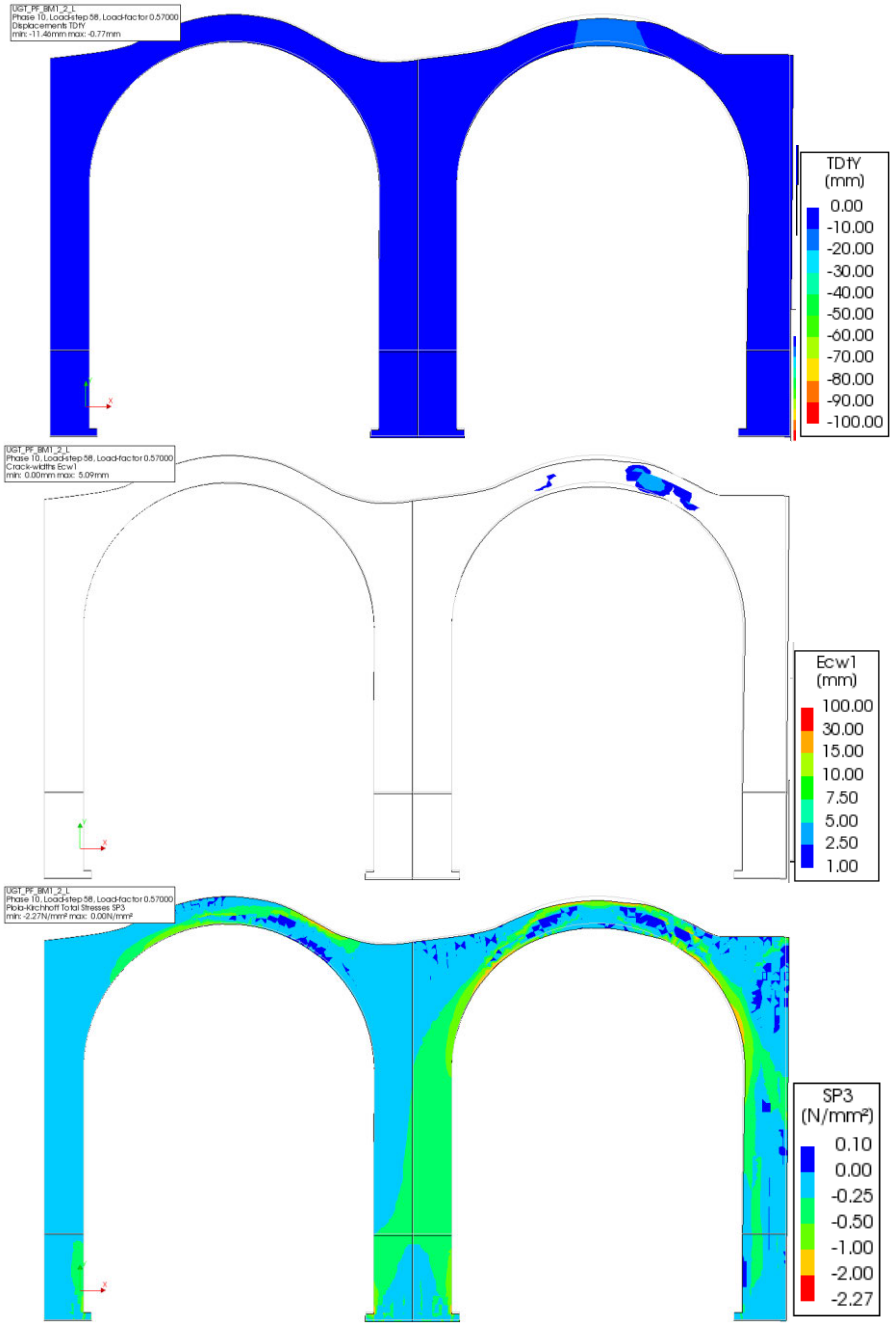
Afbeelding VI.46 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 1-L



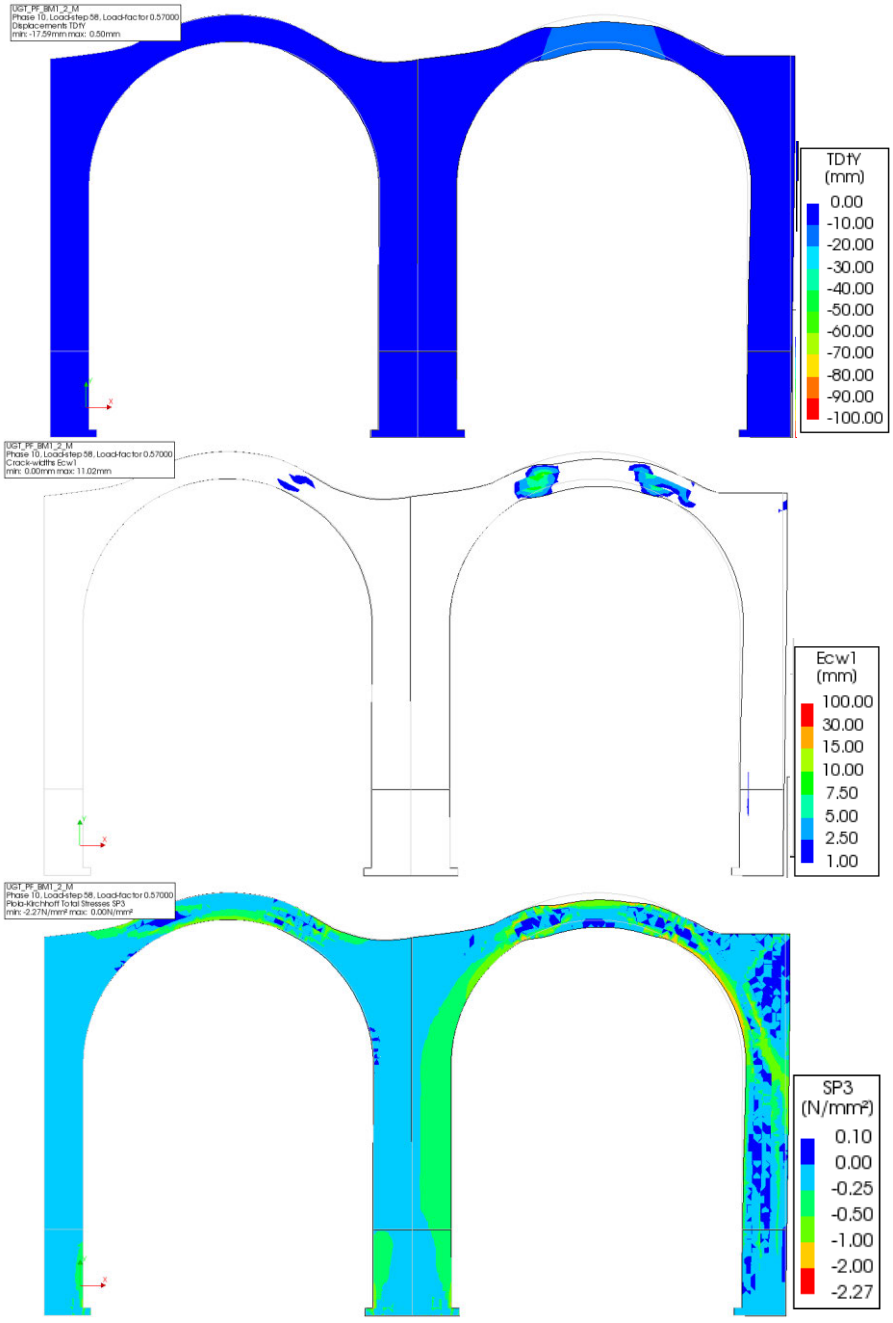
Afbeelding VI.47 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 1-M



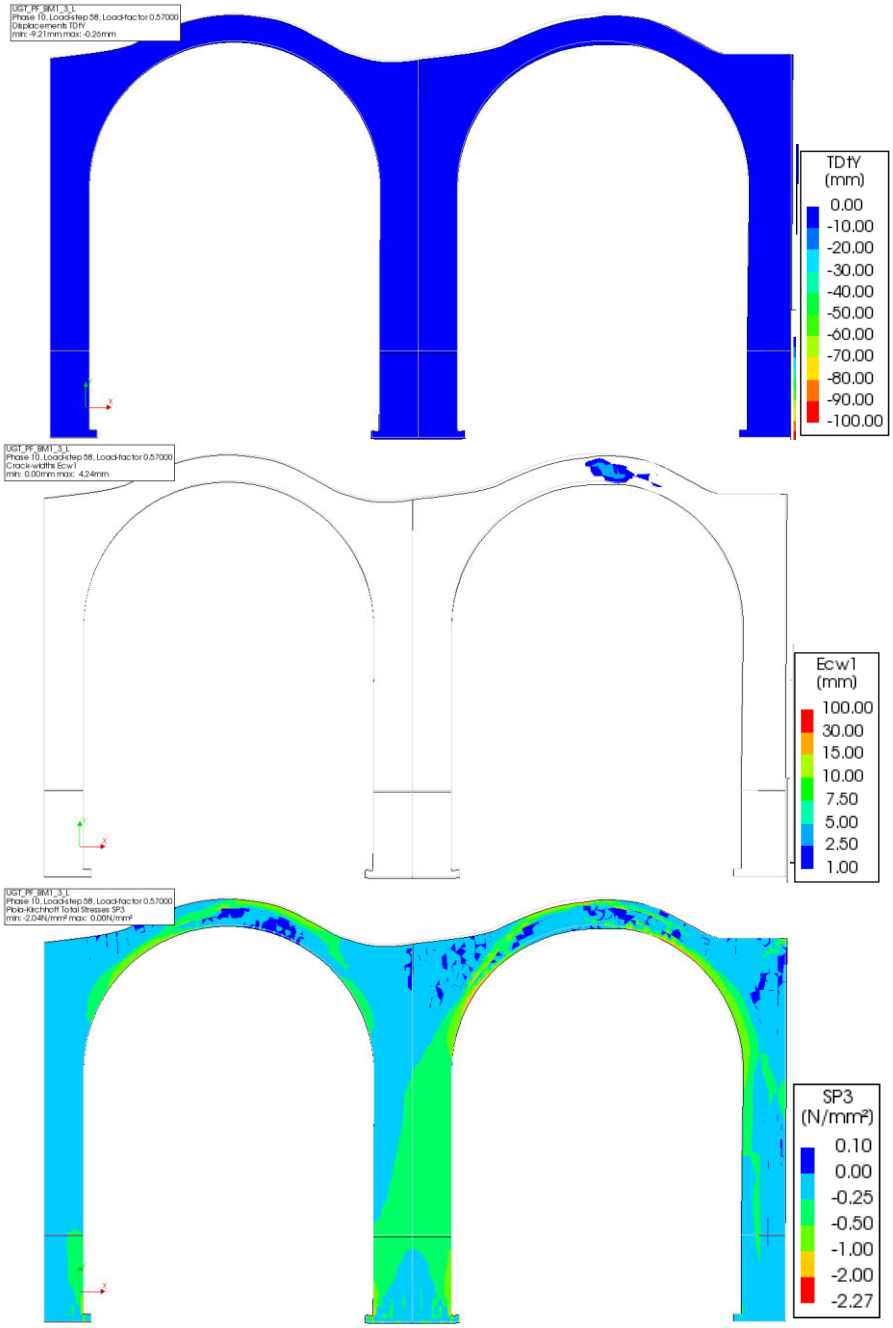
Afbeelding VI.48 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 2-L



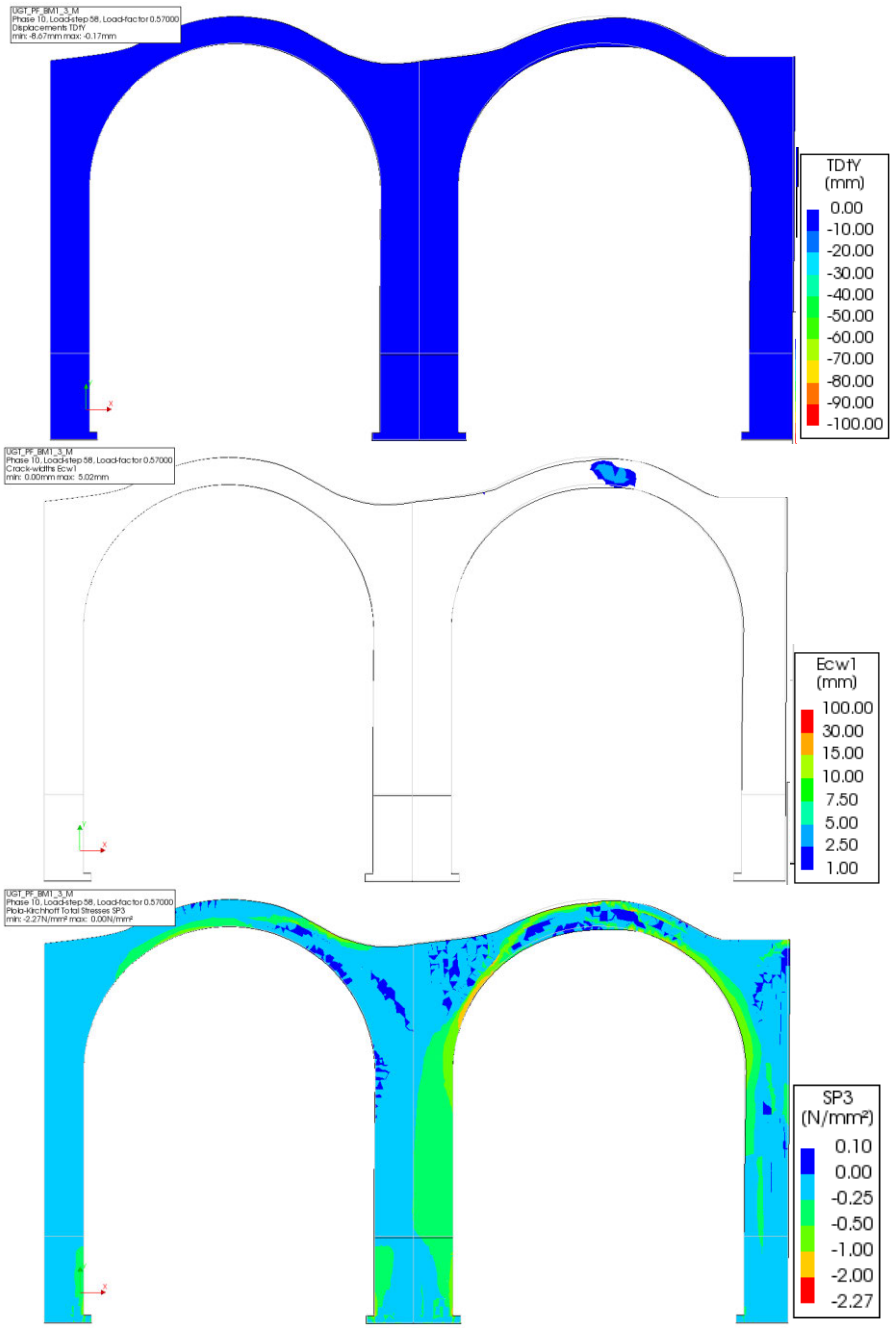
Afbeelding VI.49 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 2-M



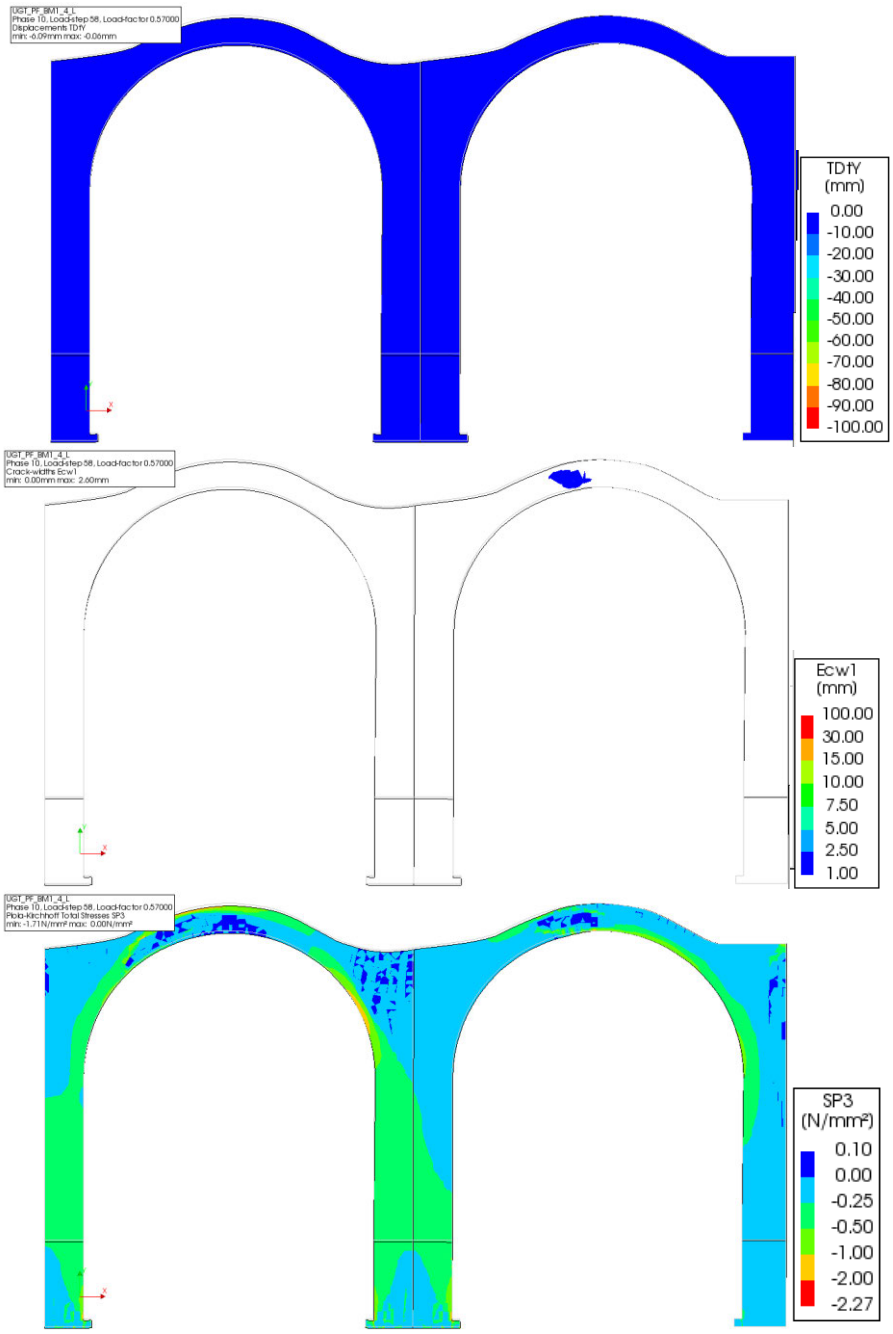
Afbeelding VI.50 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 3-L



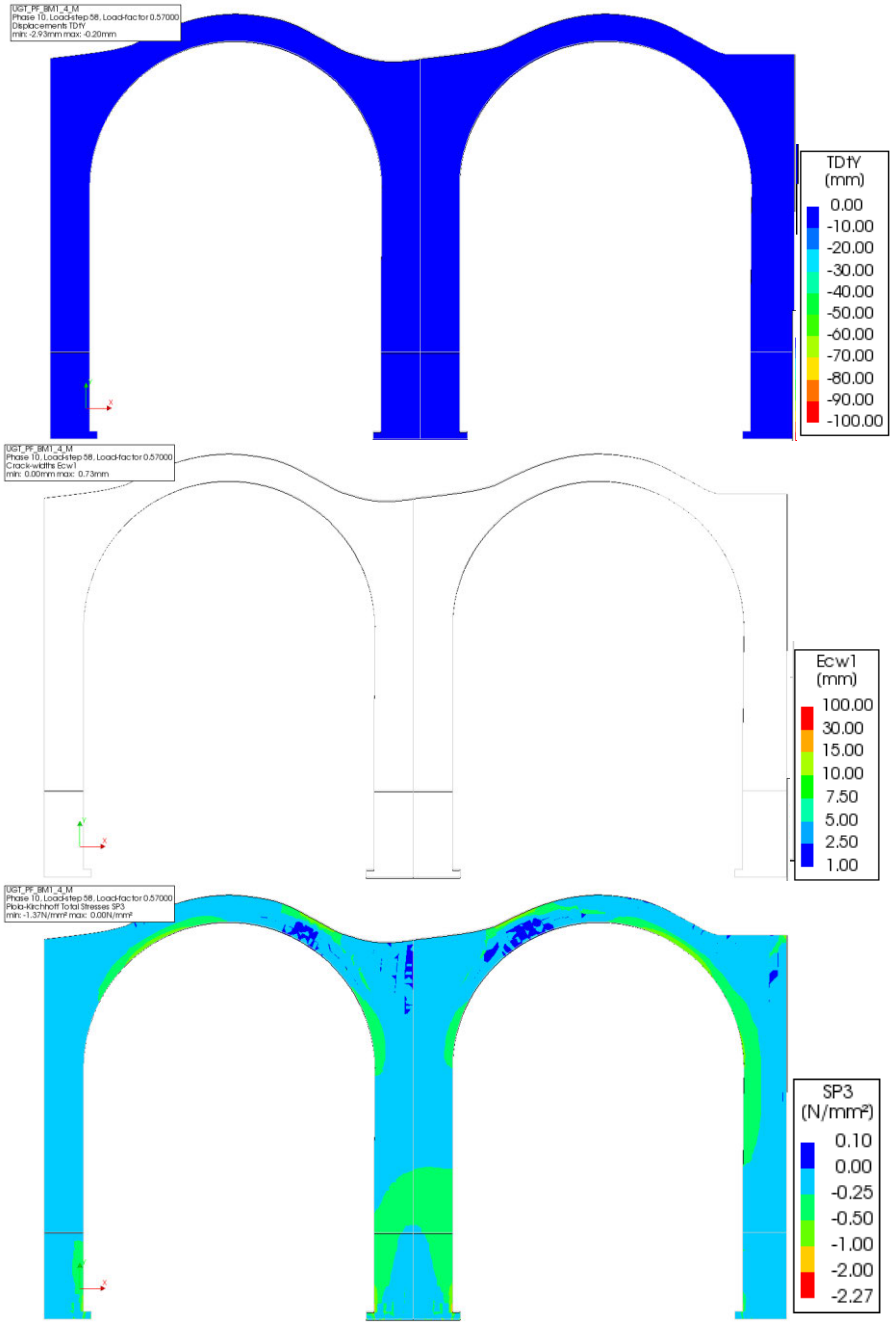
Afbeelding VI.51 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 3-M



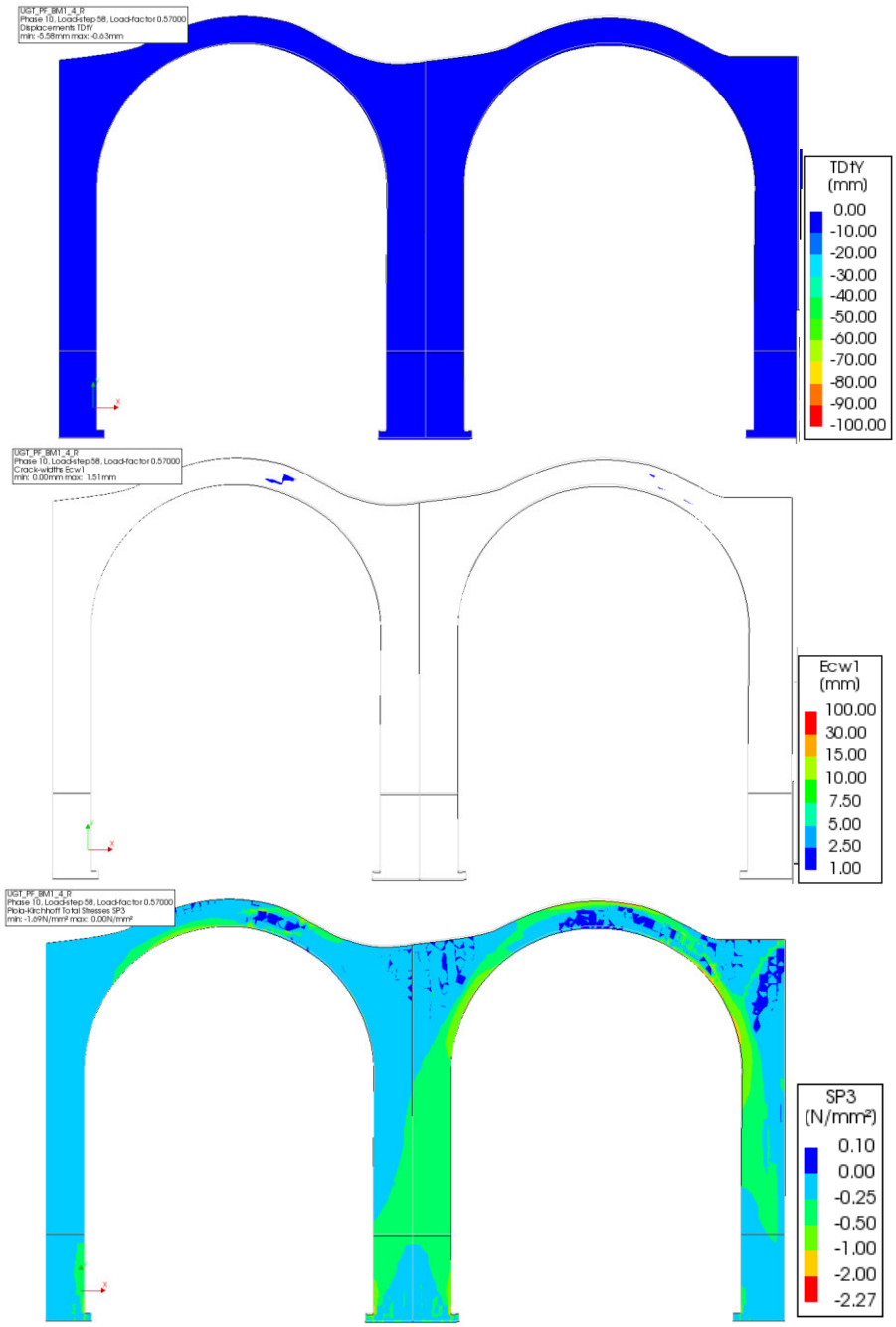
Afbeelding VI.52 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.53 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-M

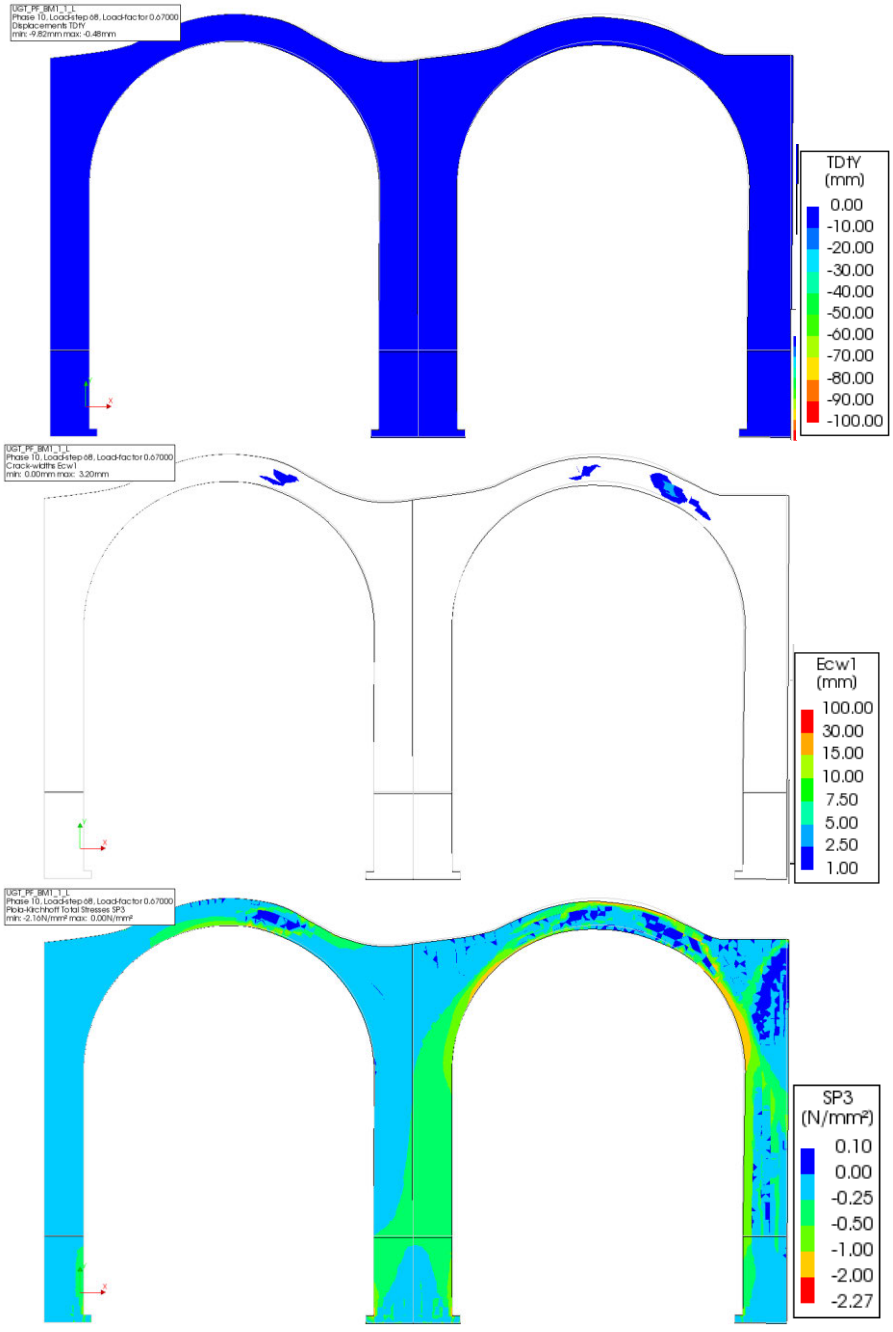


Afbeelding VI.54 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 8 ton belasting en belastingpositie 4-R

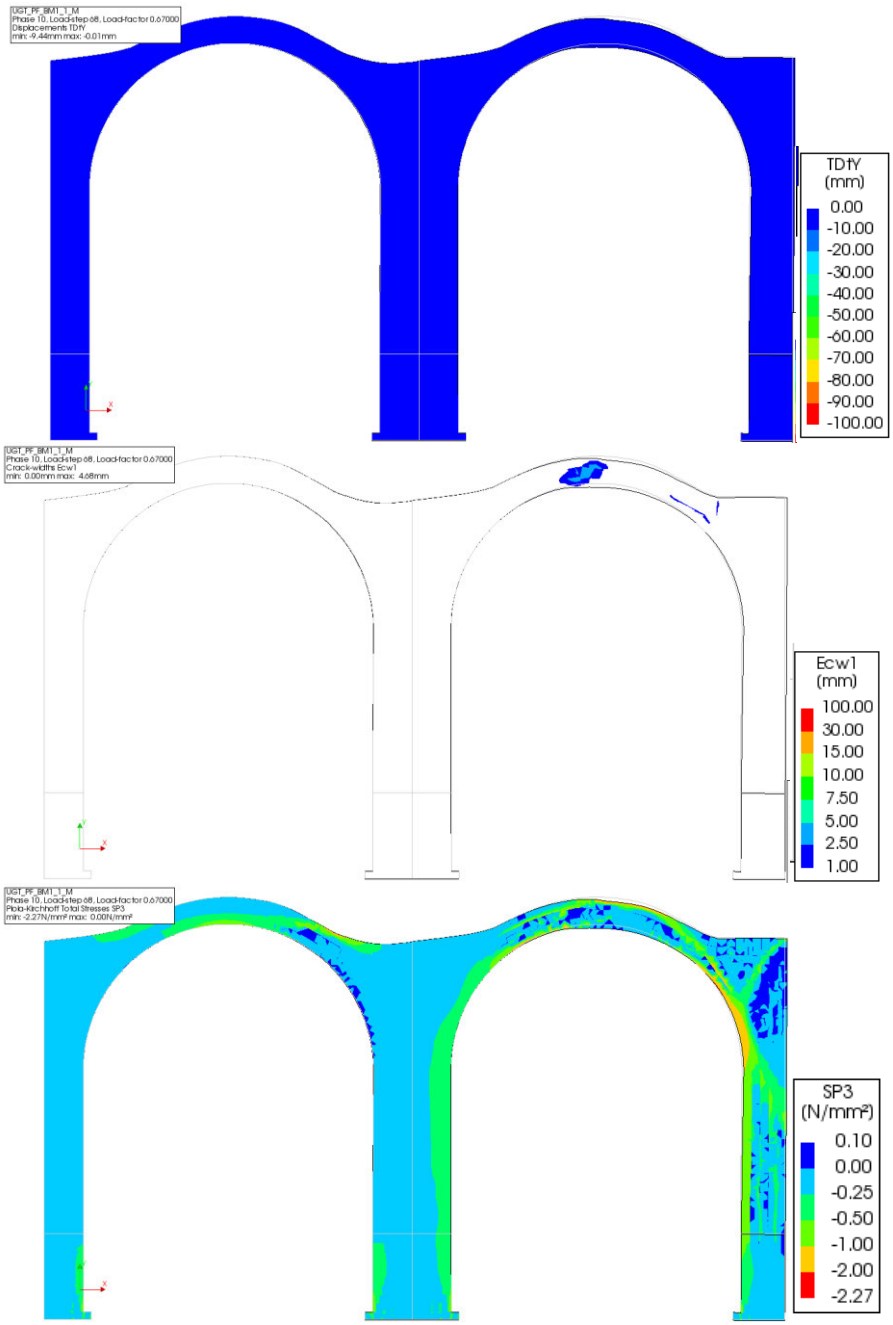


UGT-PF-C20 - 9 ton

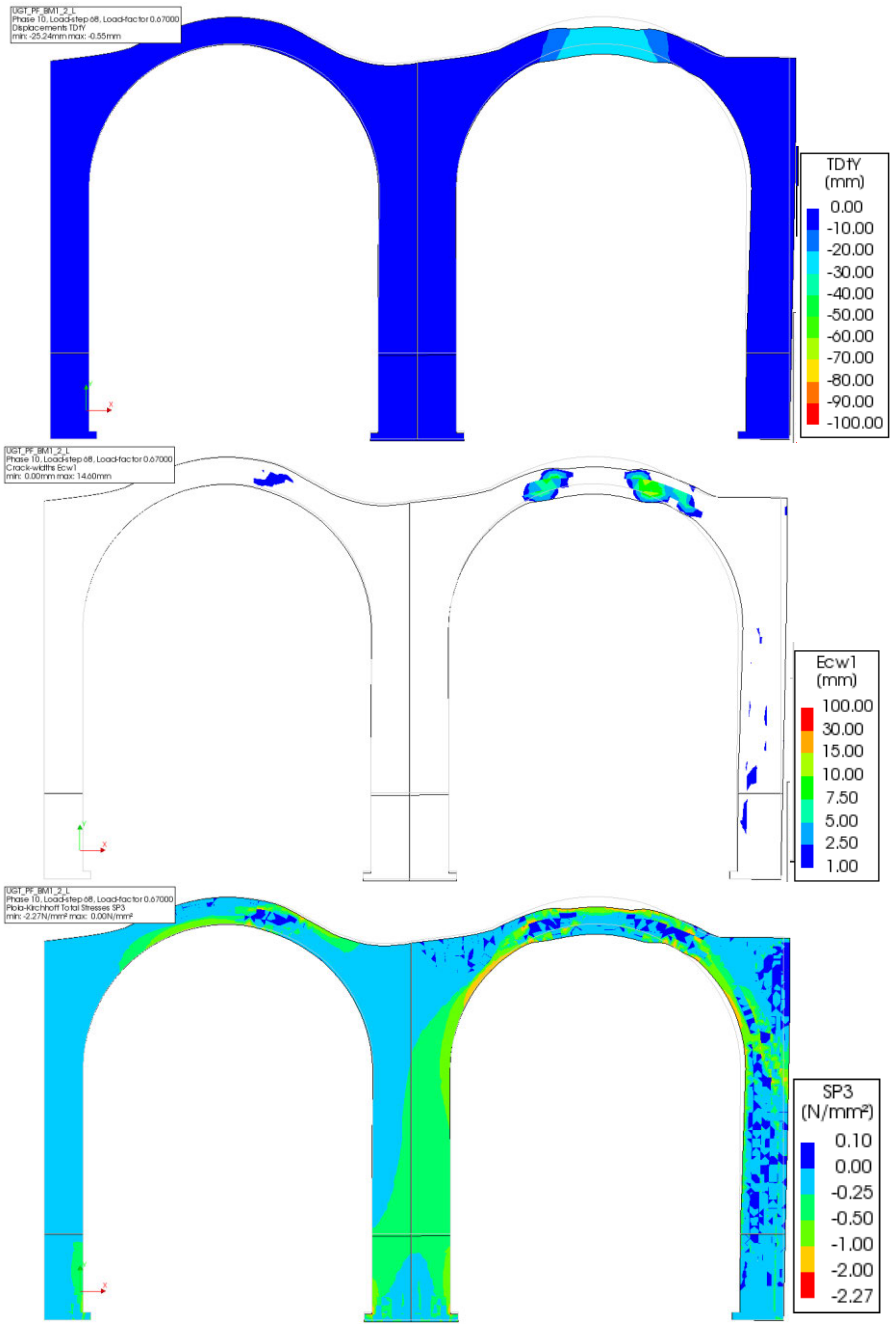
Afbeelding VI.55 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 1-L



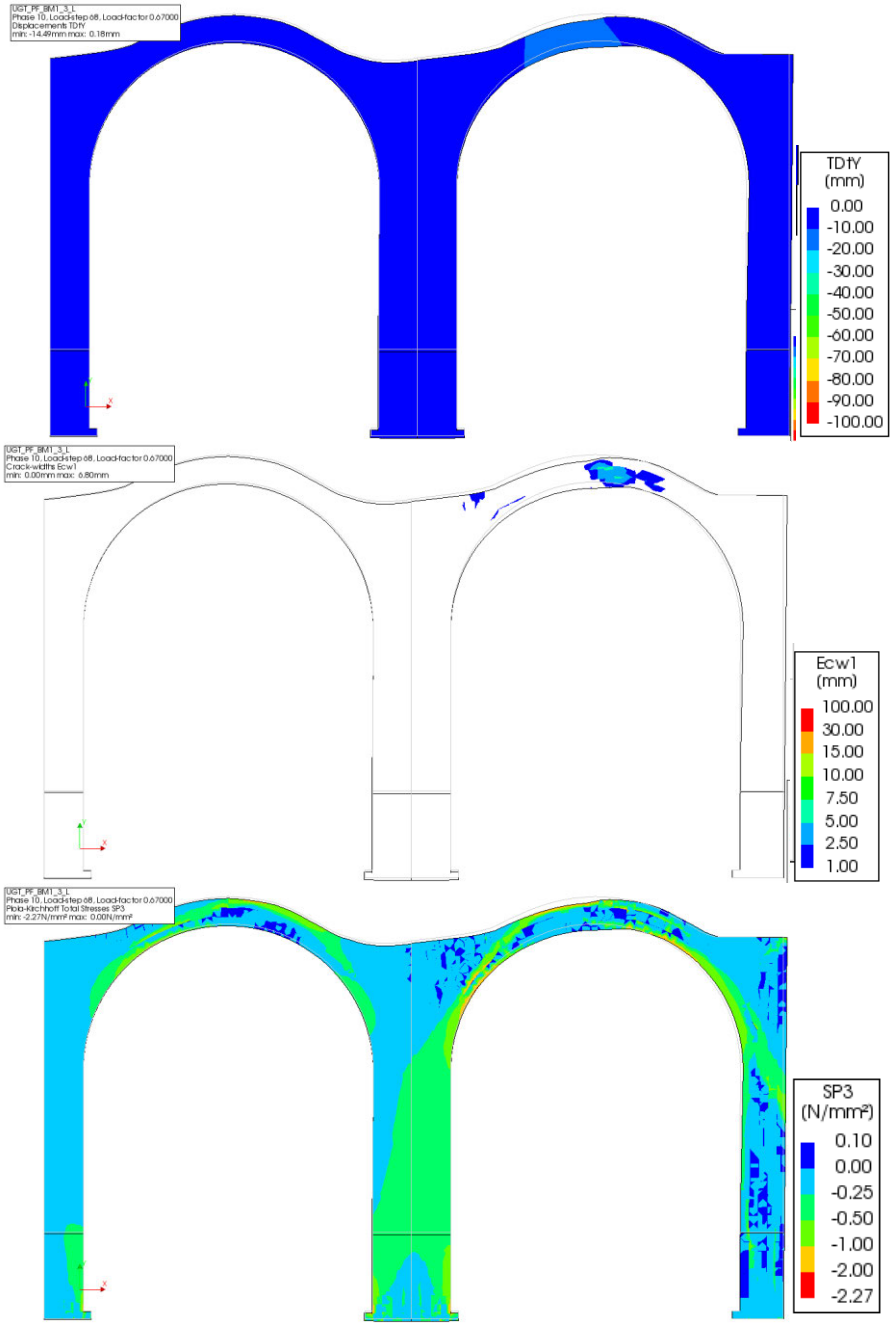
Afbeelding VI.56 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 1-M



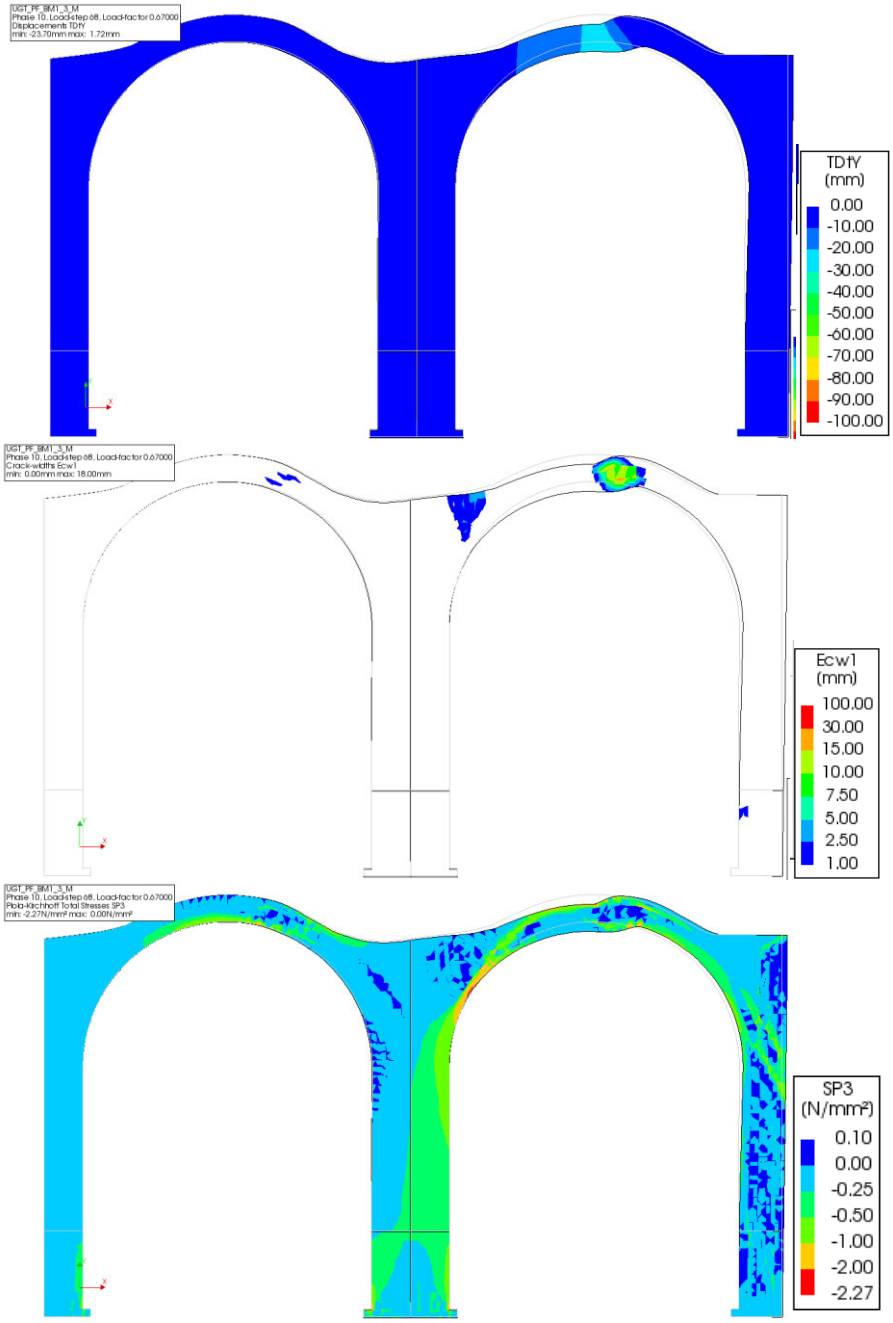
Afbeelding VI.57 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 2-L



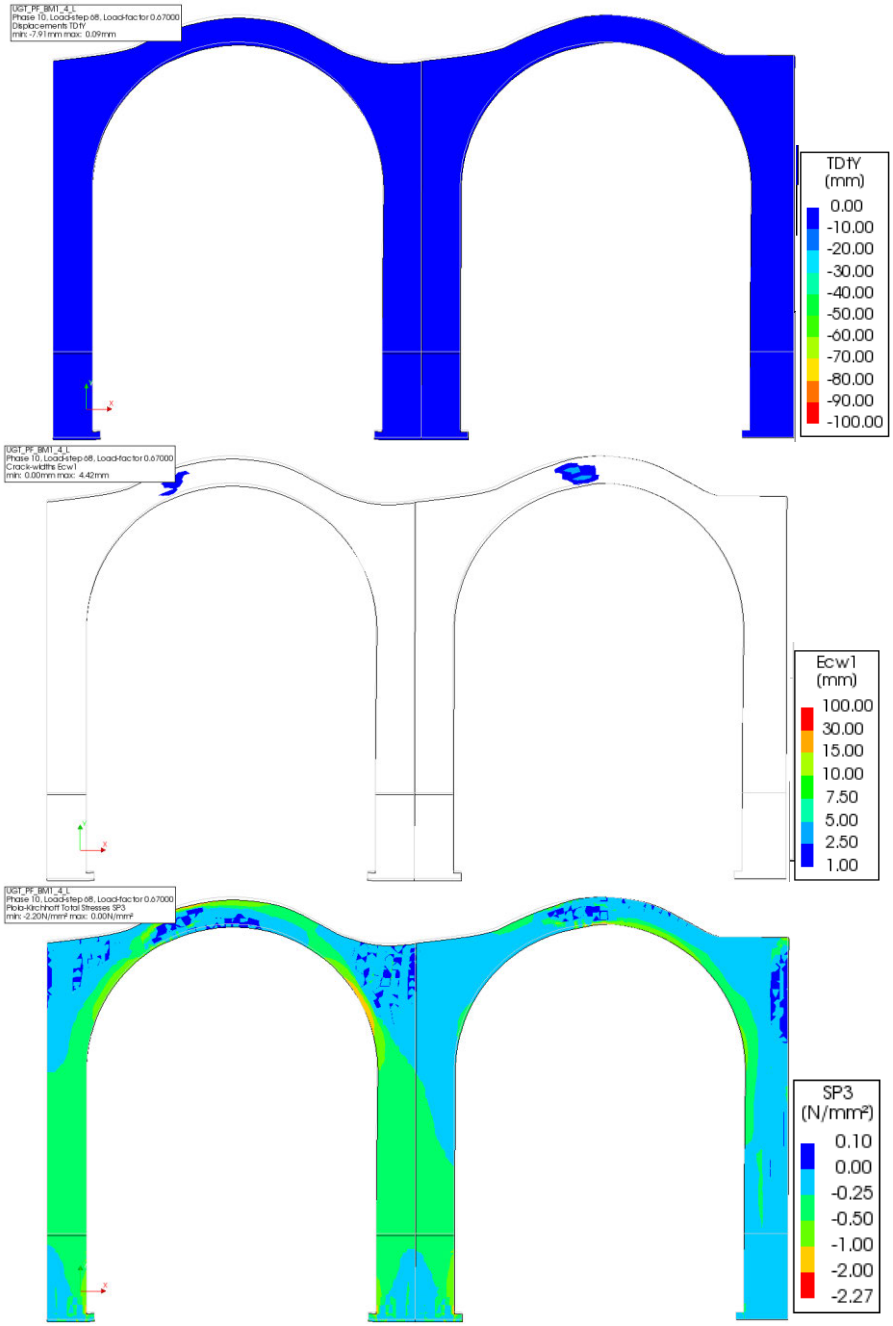
Afbeelding VI.58 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 3-L



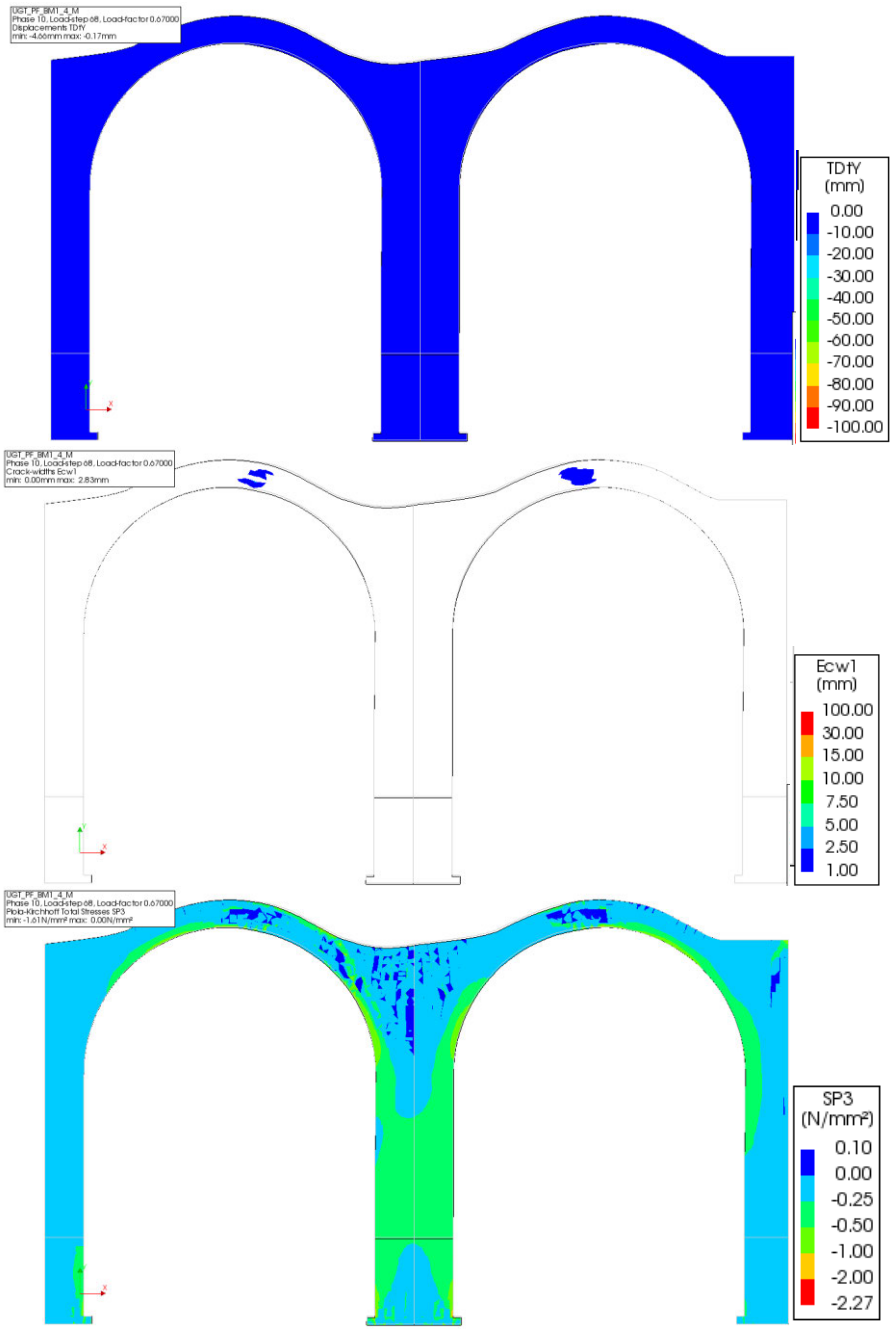
Afbeelding VI.59 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 3-M



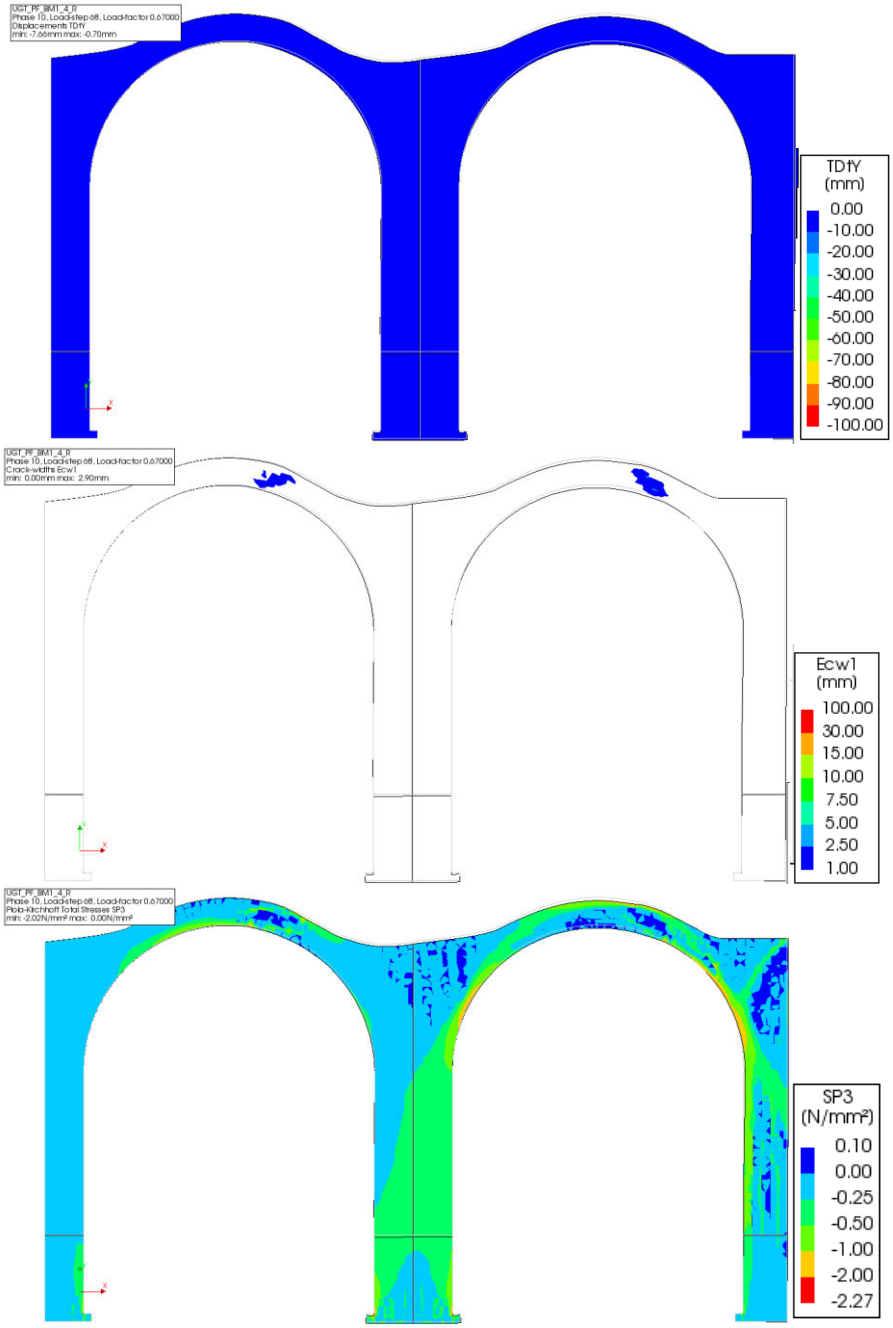
Afbeelding VI.60 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.61 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-M

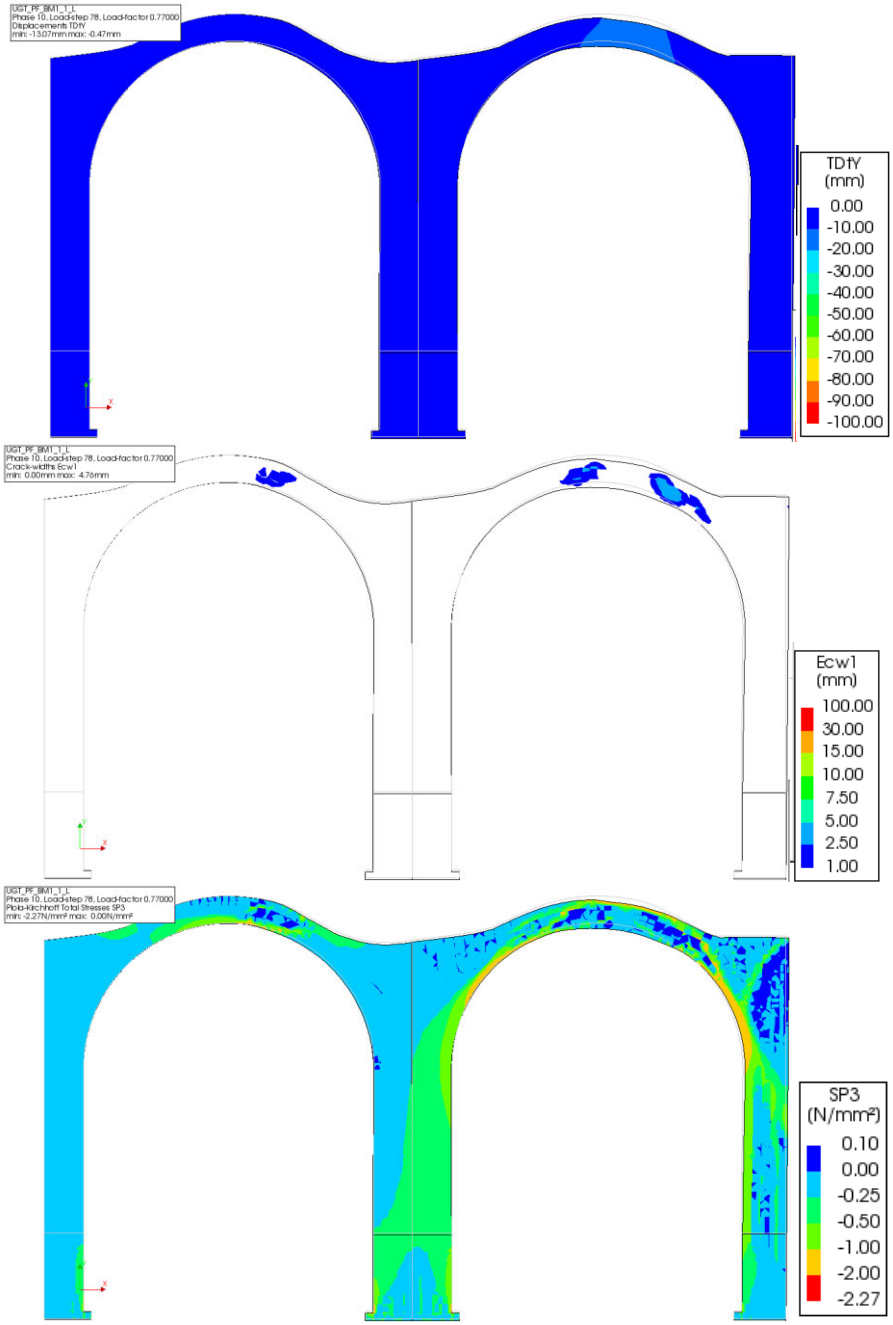


Afbeelding VI.62 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 9 ton belasting en belastingpositie 4-R

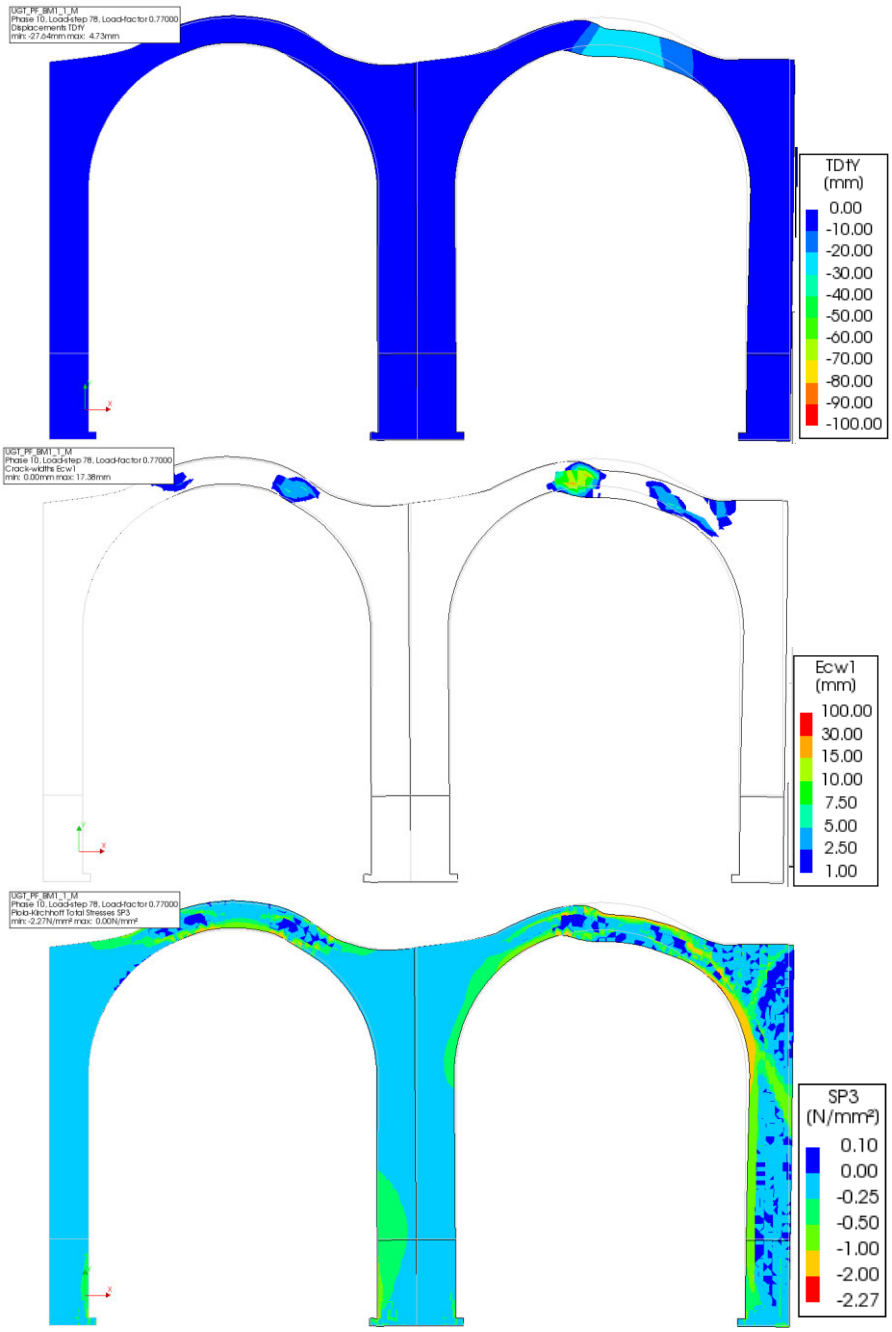


UGT-PF-C20 - 10 ton

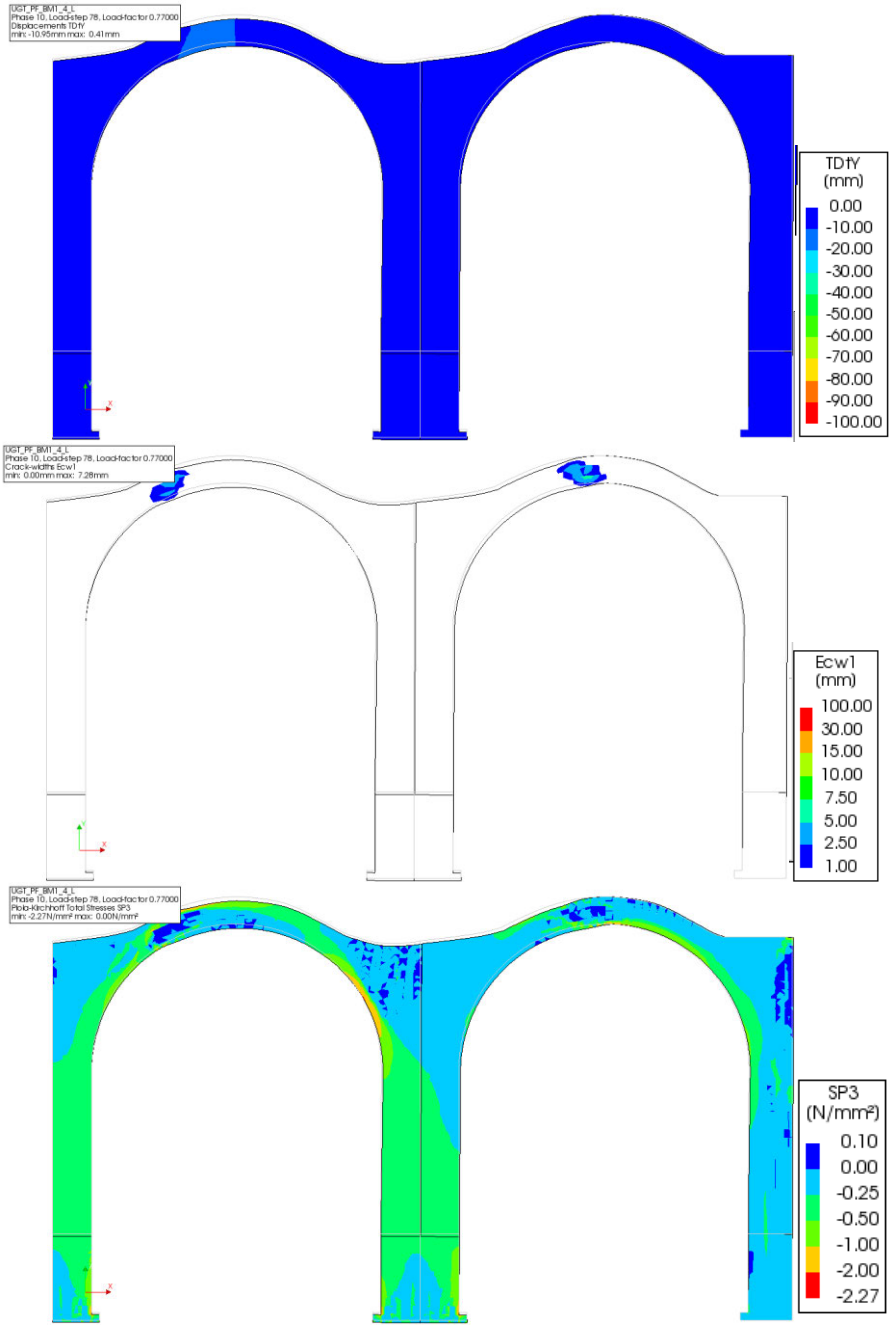
Afbeelding VI.63 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 1-L



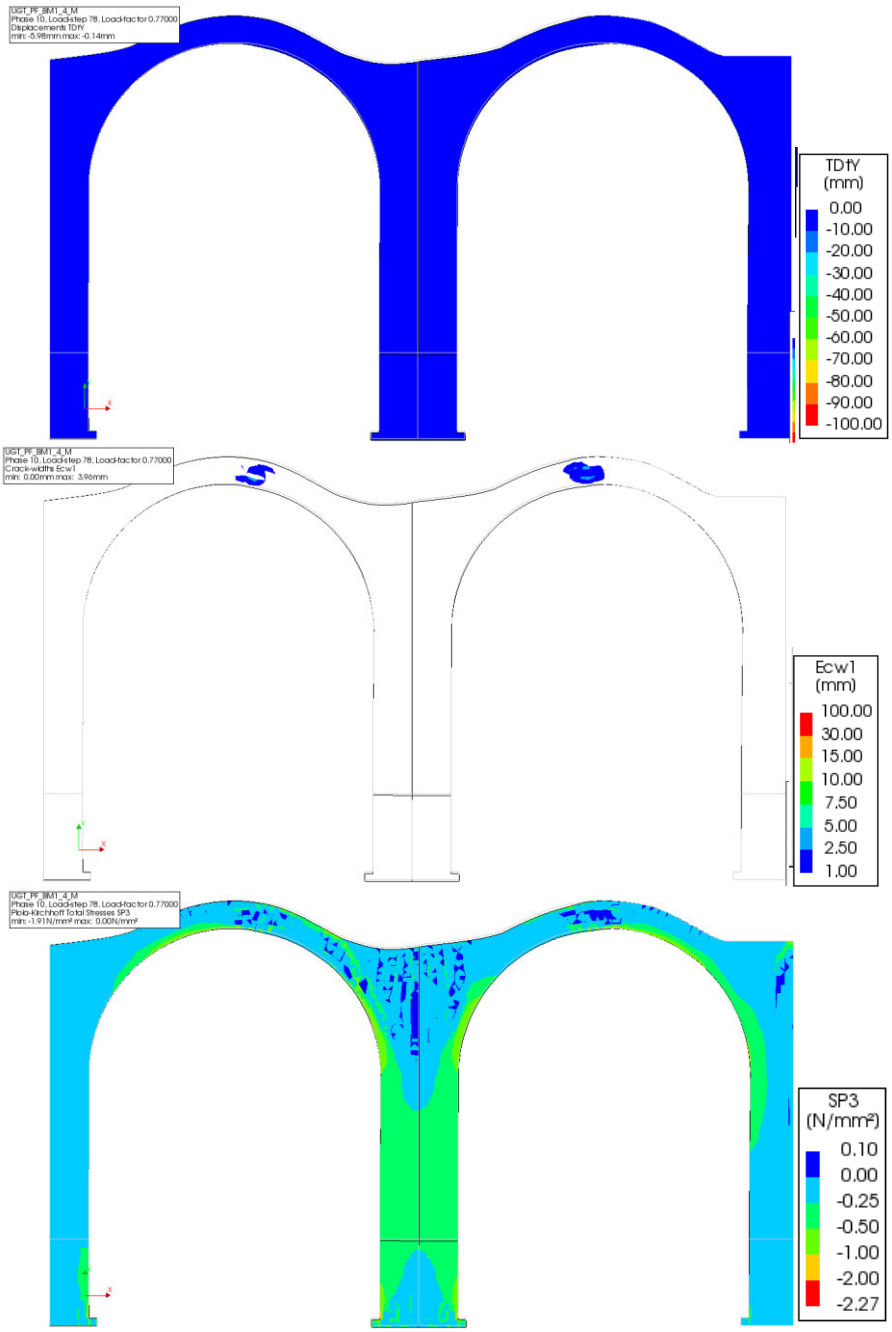
Afbeelding VI.64 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 1-M



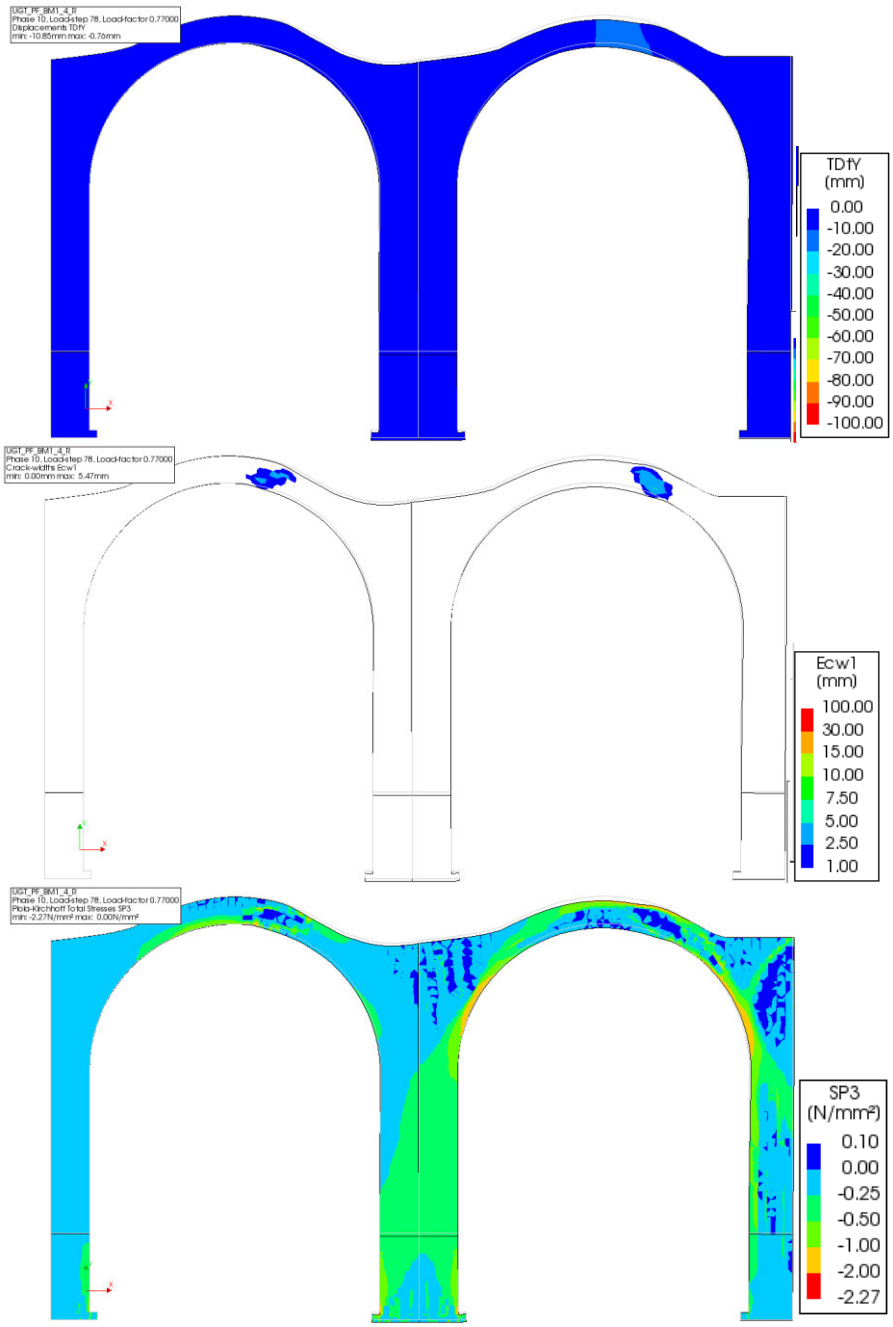
Afbeelding VI.65 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.66 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 4-M

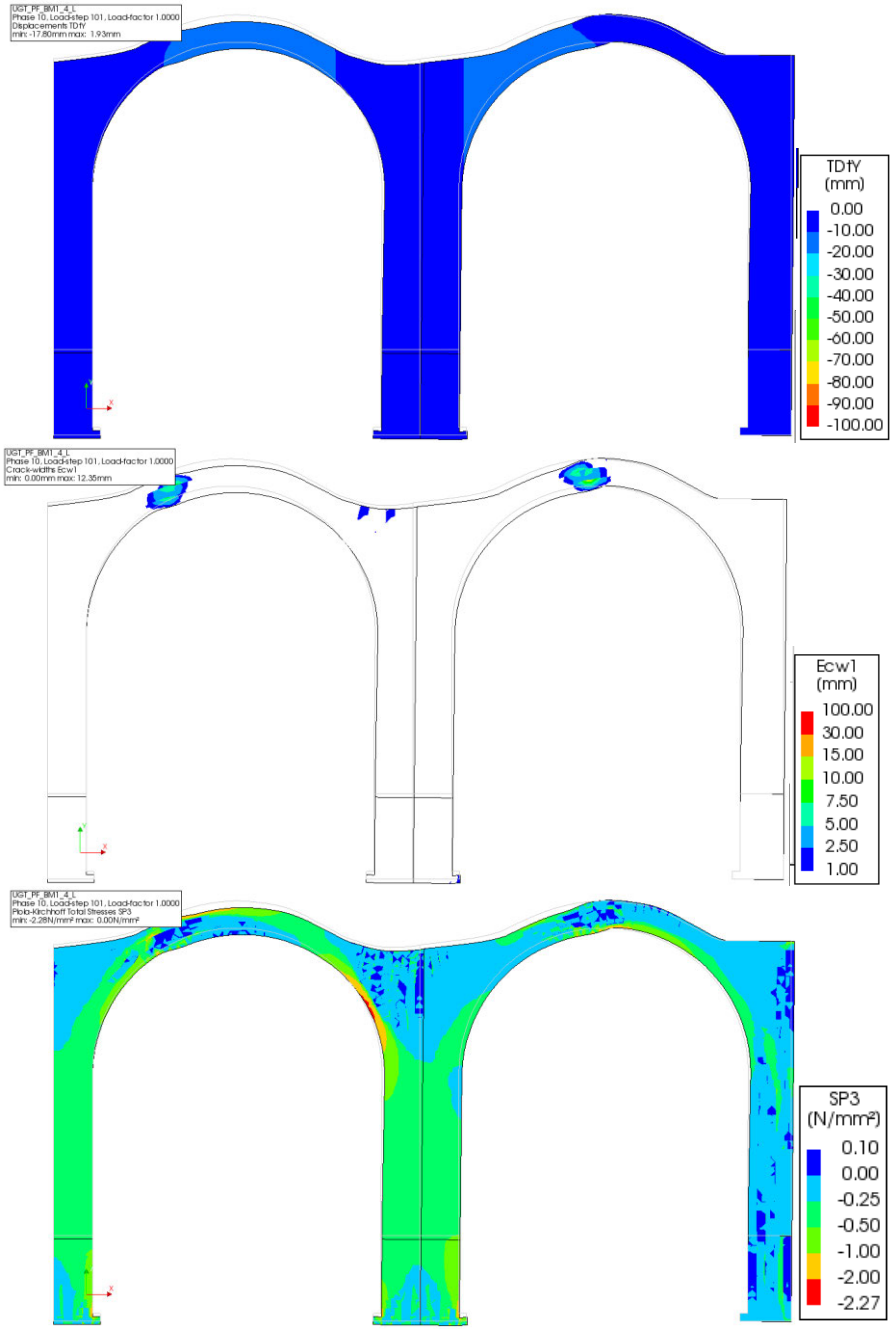


Afbeelding VI.67 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 10 ton belasting en belastingpositie 4-R

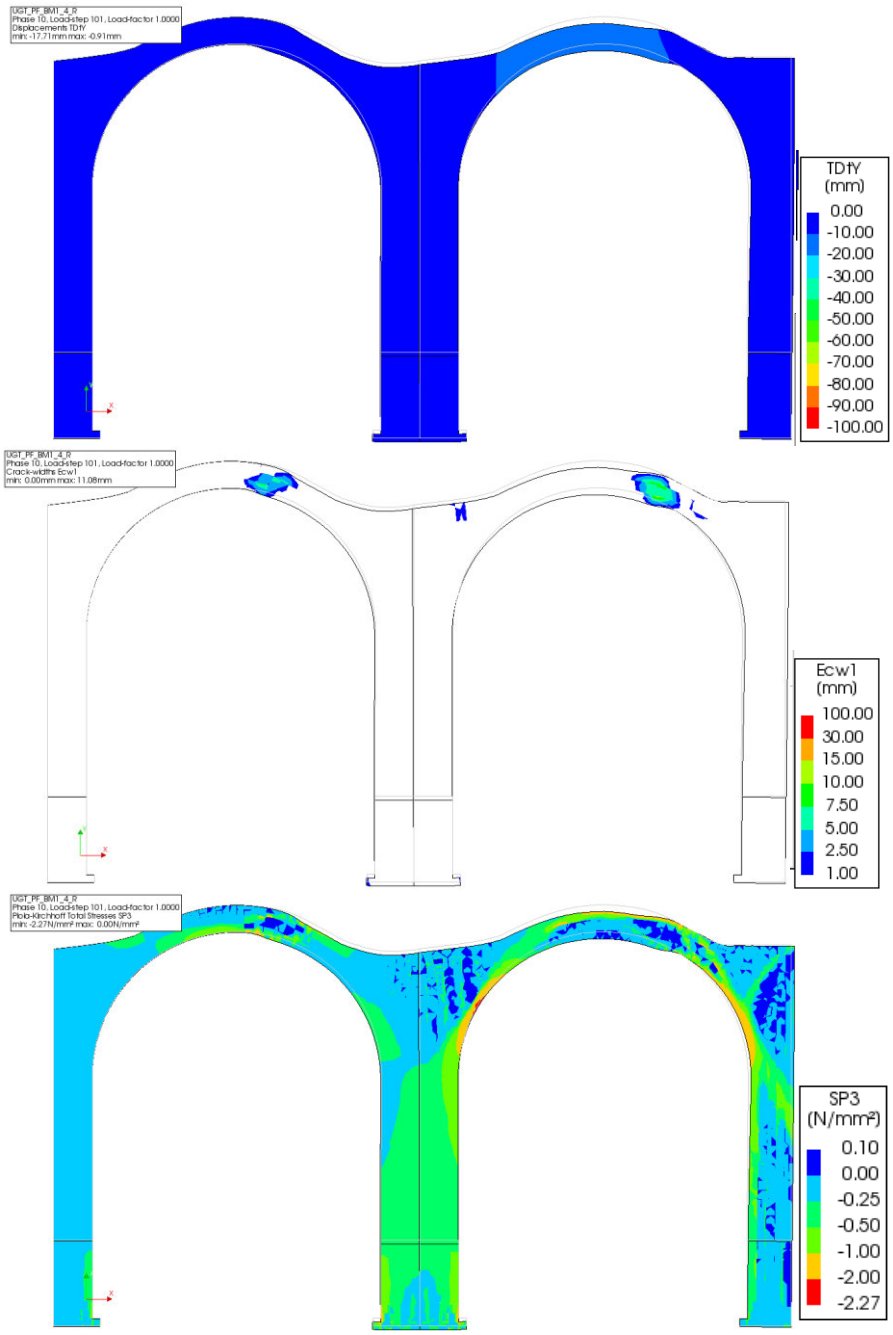


UGT-PF-C20 - 12 ton

Afbeelding VI.68 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 4-L



Afbeelding VI.69 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario met C20 12 ton belasting en belastingpositie 4-R

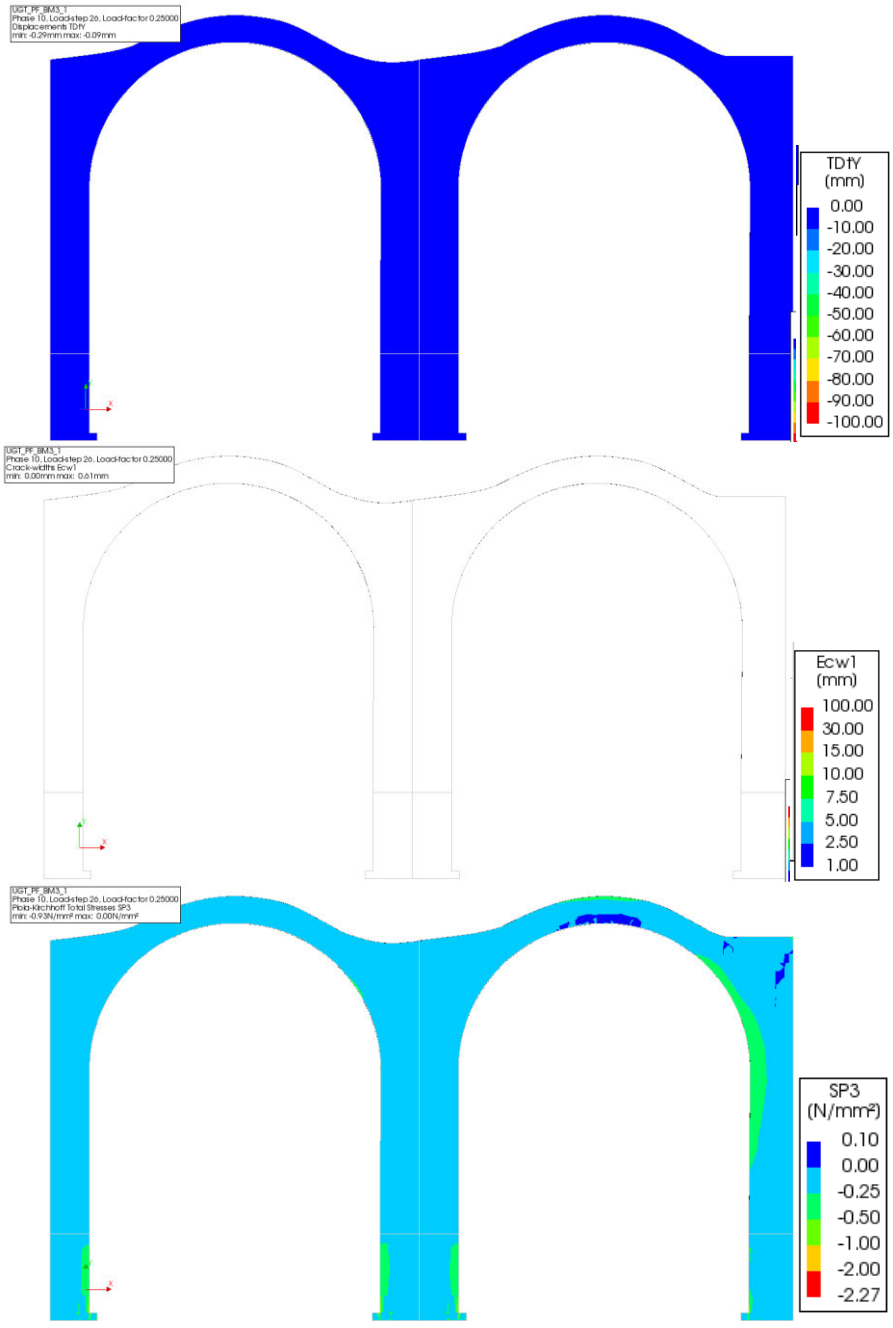


VII

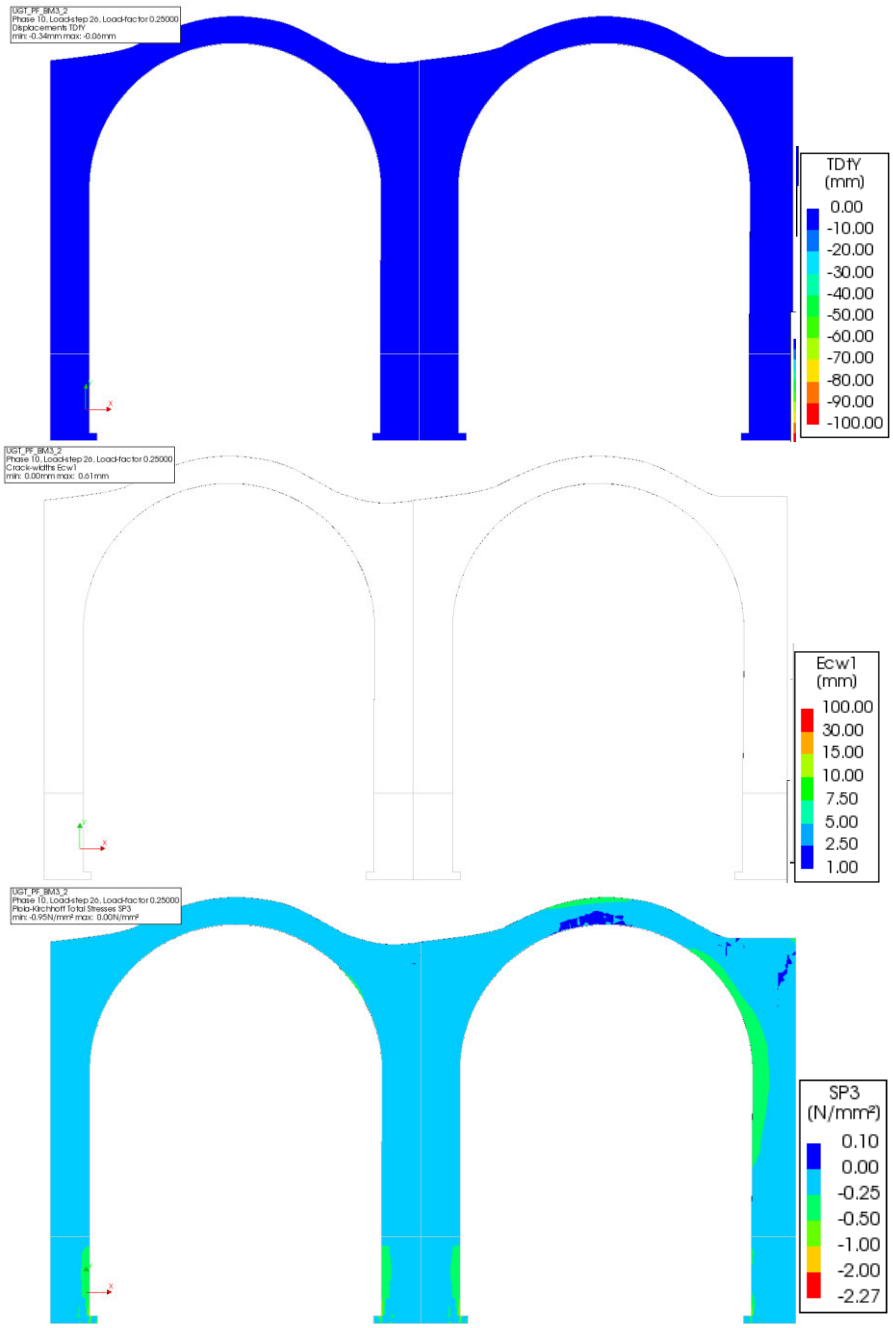
BIJLAGE: UGT-PF RESULTATEN - BM3 BELASTING

UGT-PF-BM3 - 25 % Belasting

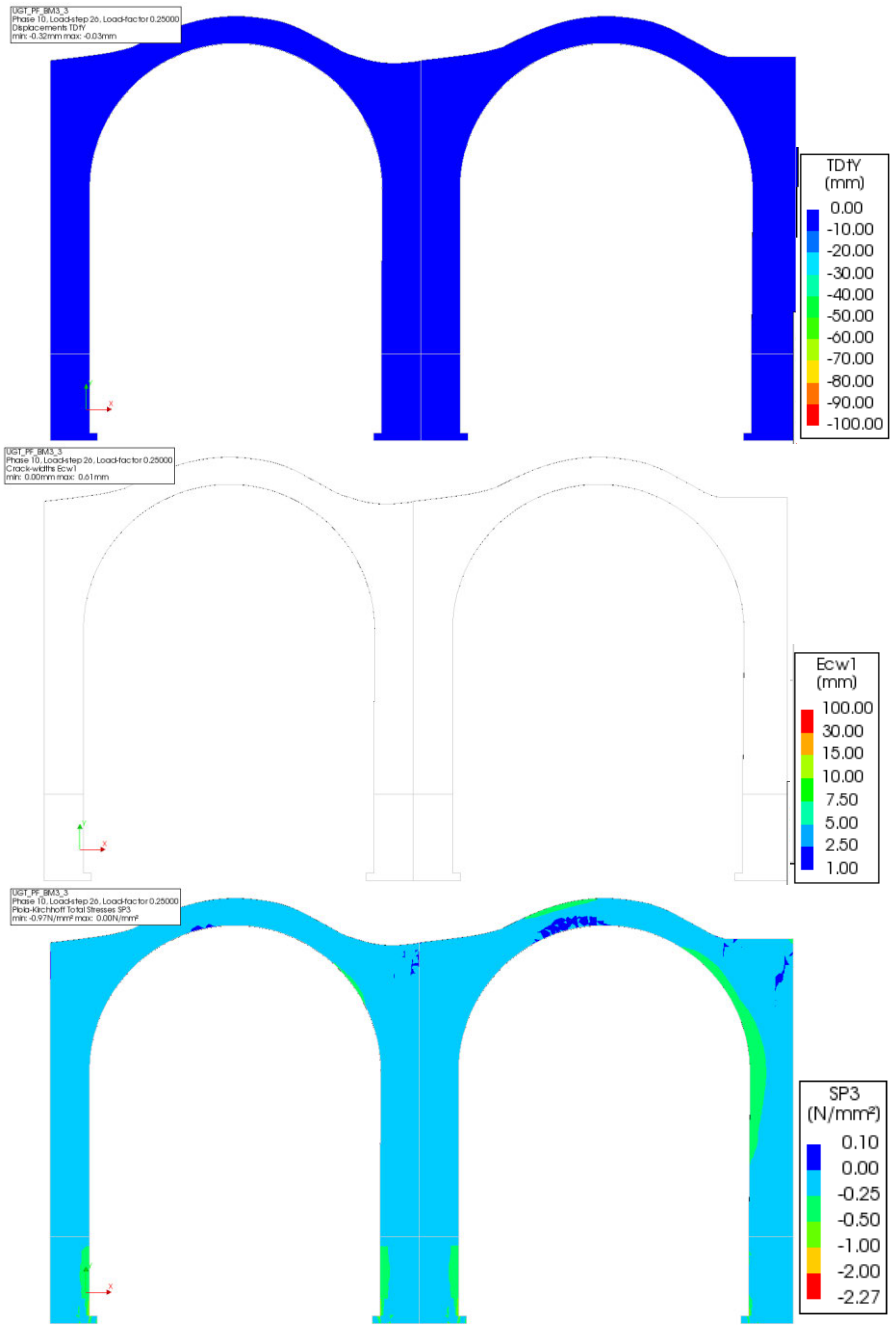
Afbeelding VII.1 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25 % belasting en belastingpositie 1



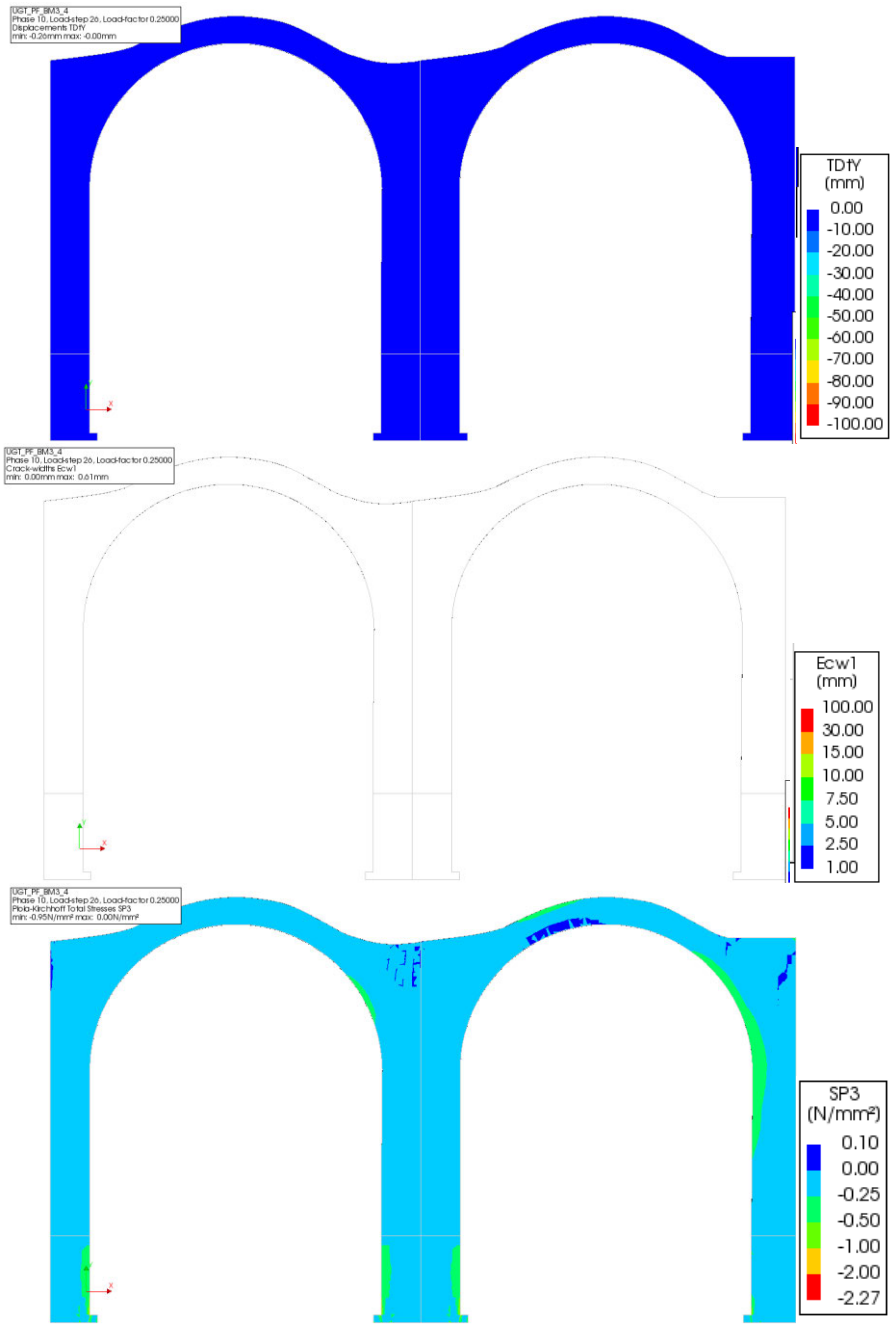
Afbeelding VII.2 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25 % belasting en belastingpositie 2



Afbeelding VII.3 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25 % belasting en belastingpositie 3

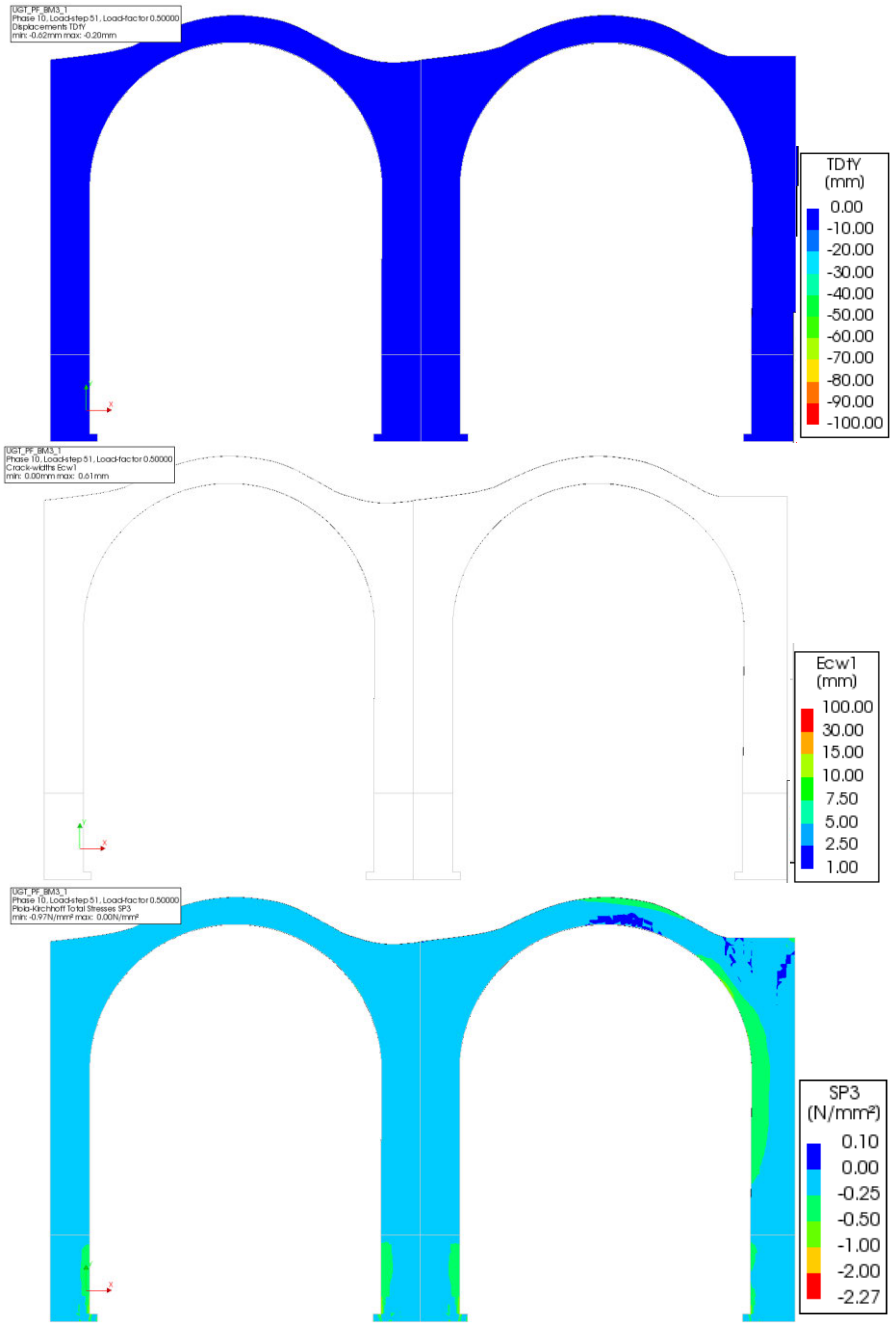


Afbeelding VII.4 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 25 % belasting en belastingpositie 4

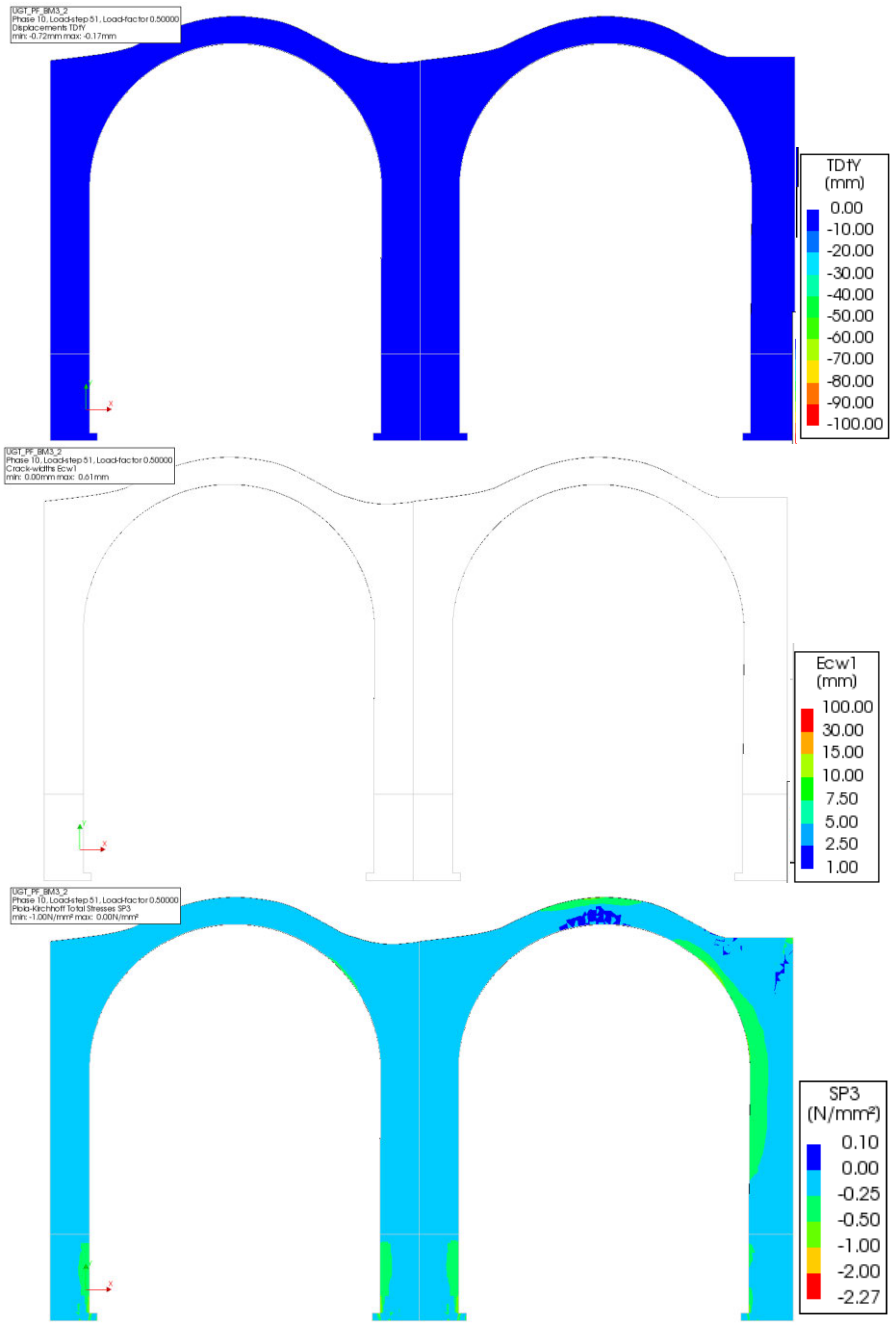


UGT-PF-BM3 - 50 % Belasting

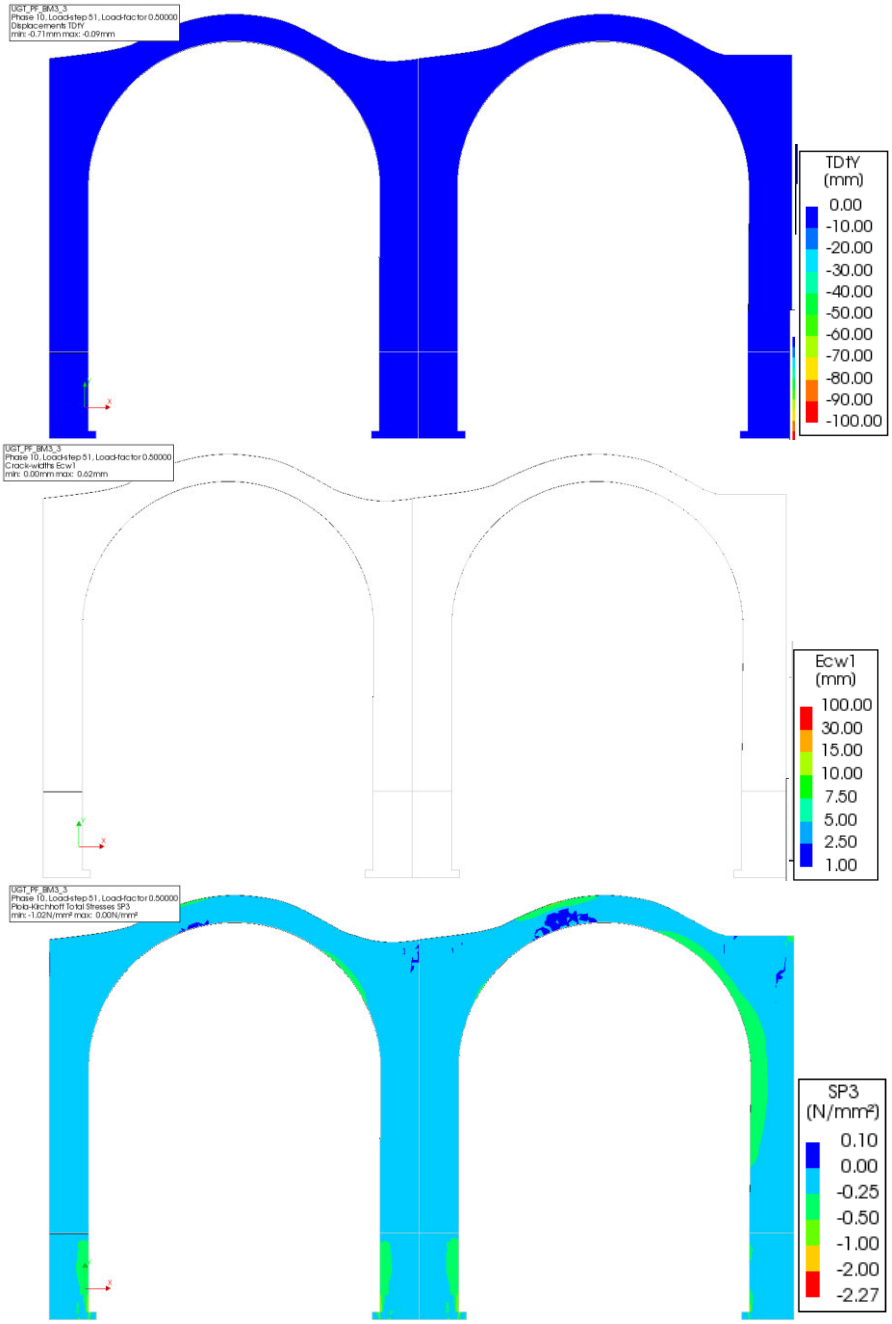
Afbeelding VII.5 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50 % belasting en belastingpositie 1



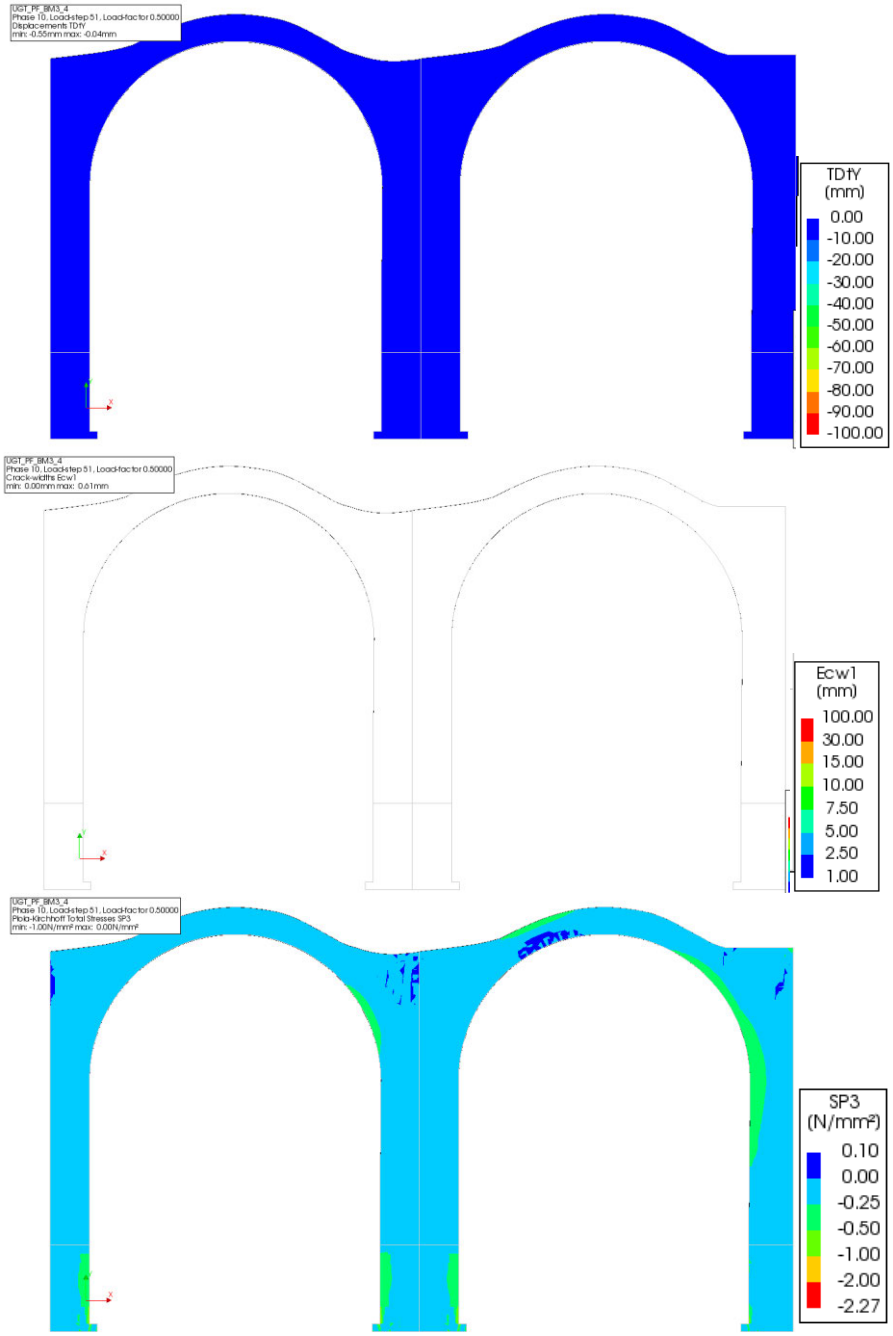
Afbeelding VII.6 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50 % belasting en belastingpositie 2



Afbeelding VII.7 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50 % belasting en belastingpositie 3

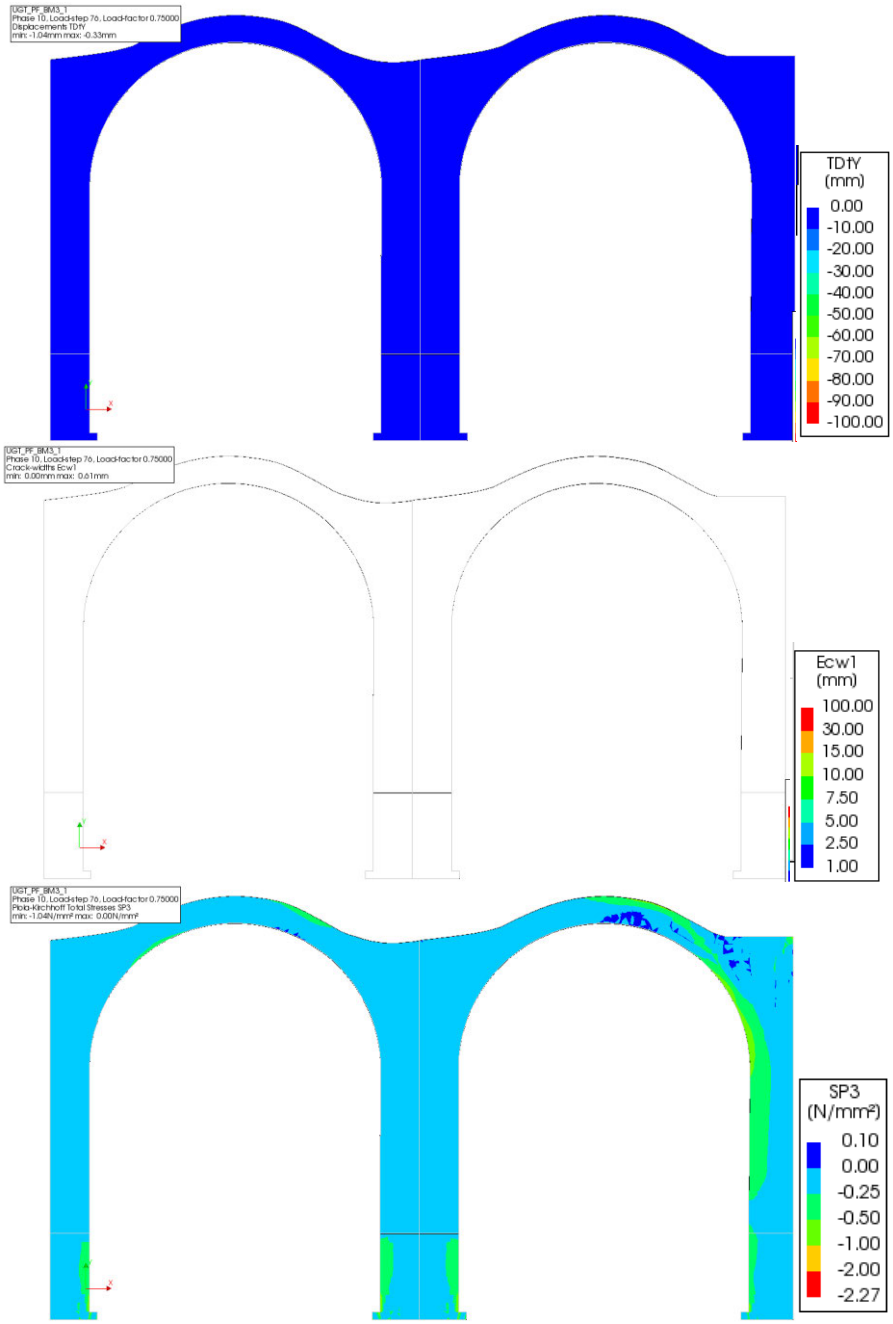


Afbeelding VII.8 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 50 % belasting en belastingpositie 4

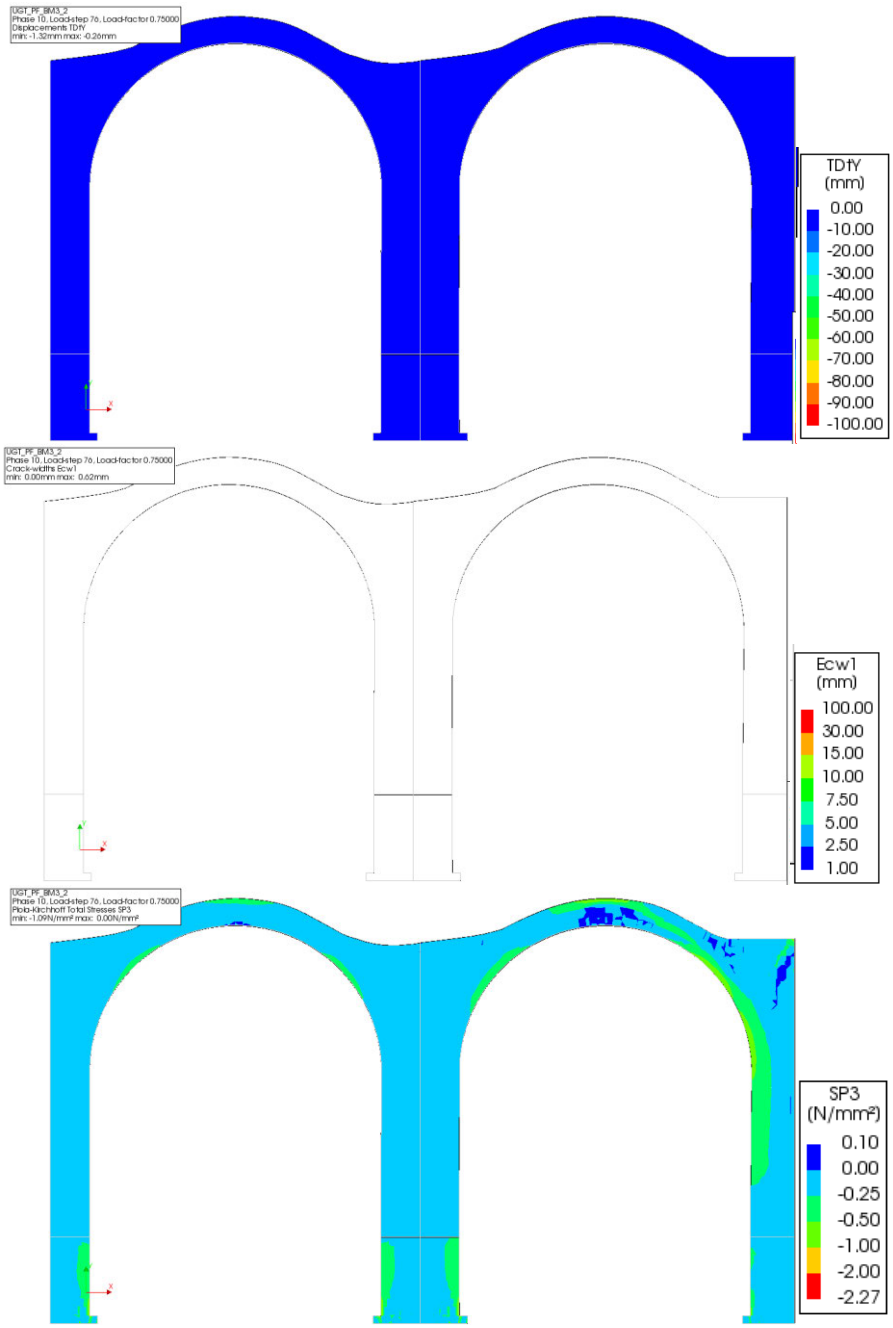


UGT-PF-BM3 - 75 % Belasting

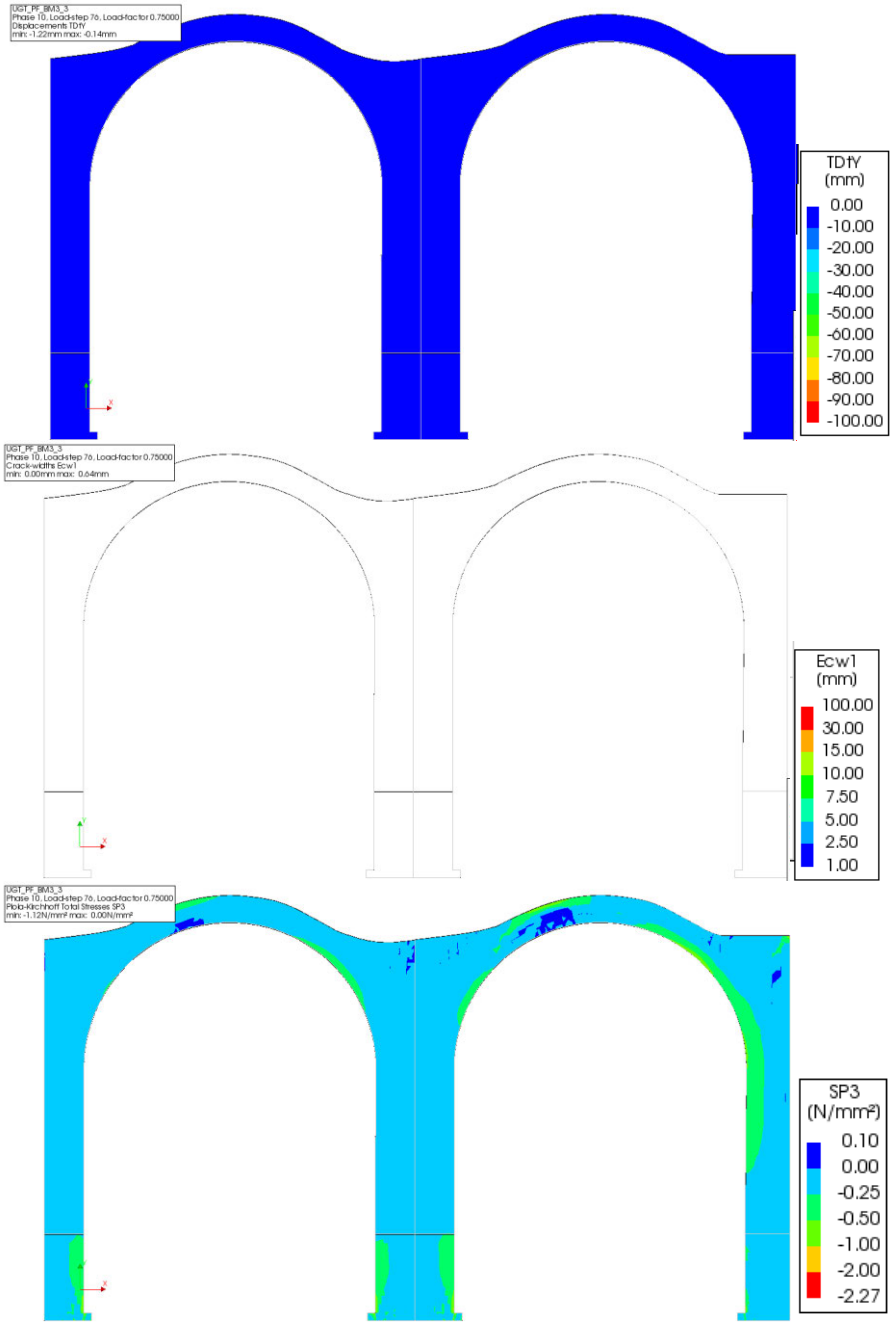
Afbeelding VII.9 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75 % belasting en belastingpositie 1



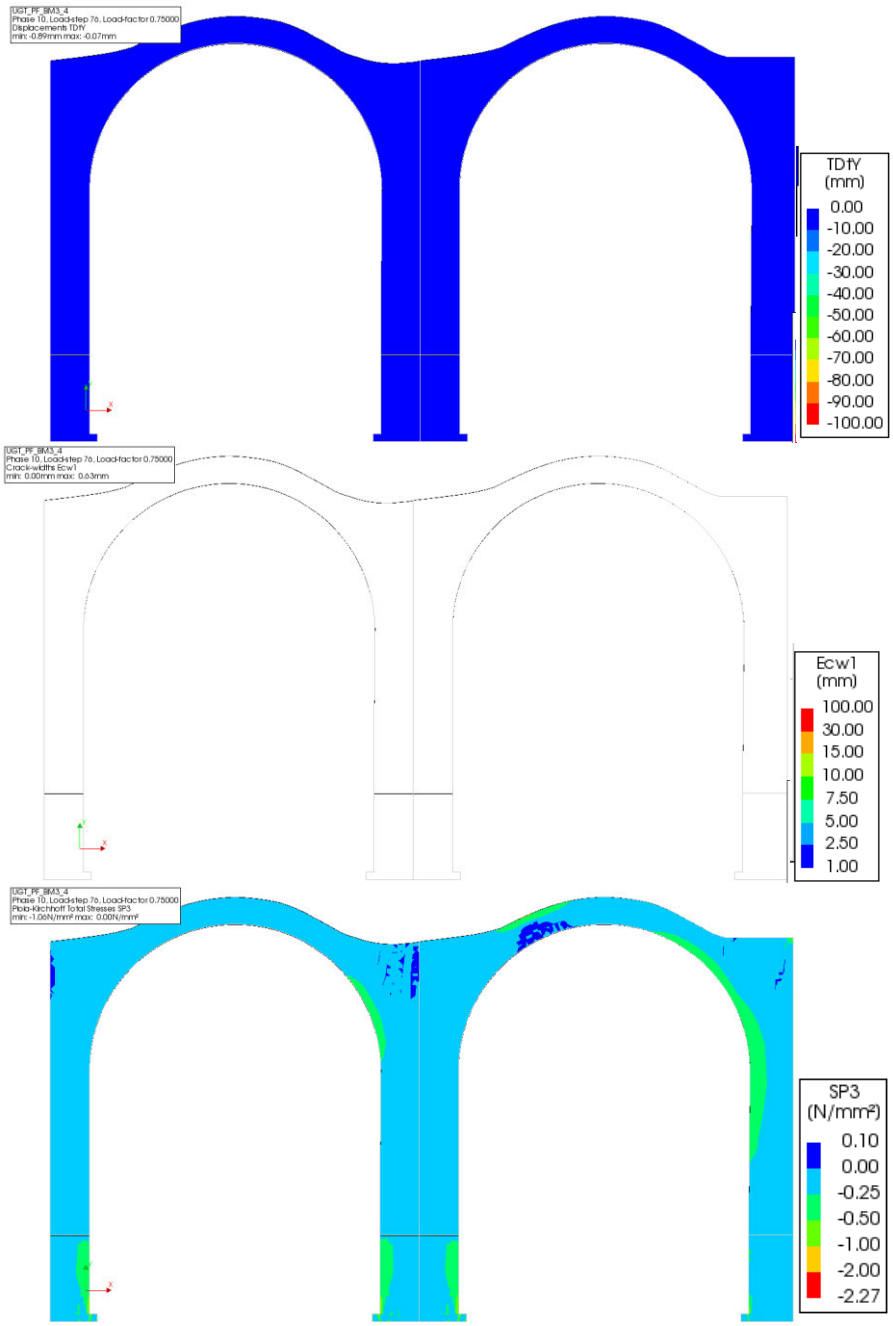
Afbeelding VII.10 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75 % belasting en belastingpositie 2



Afbeelding VII.11 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75 % belasting en belastingpositie 3

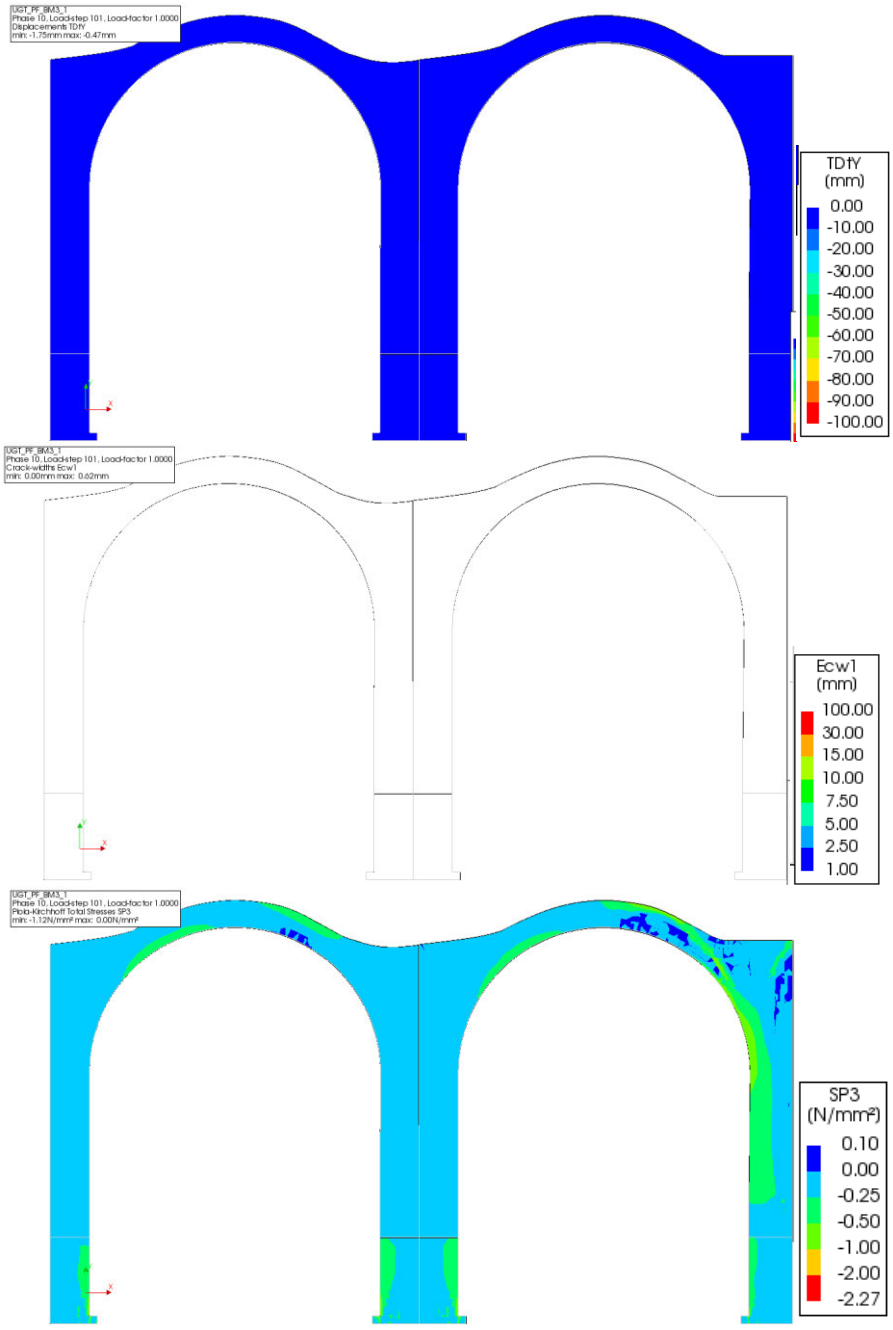


Afbeelding VII.12 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 75 % belasting en belastingpositie 4

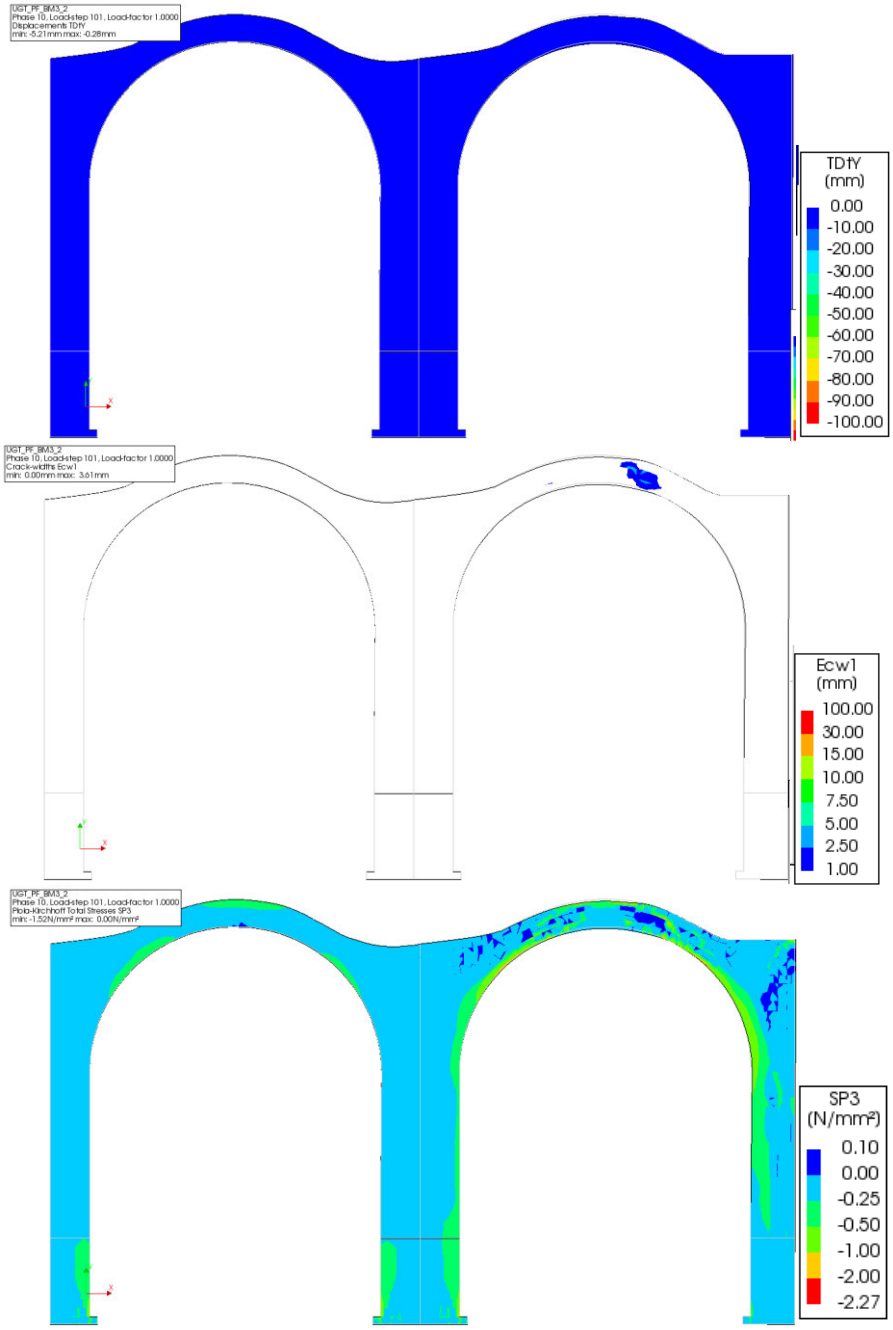


UGT-PF-BM3 - 100 % Belasting

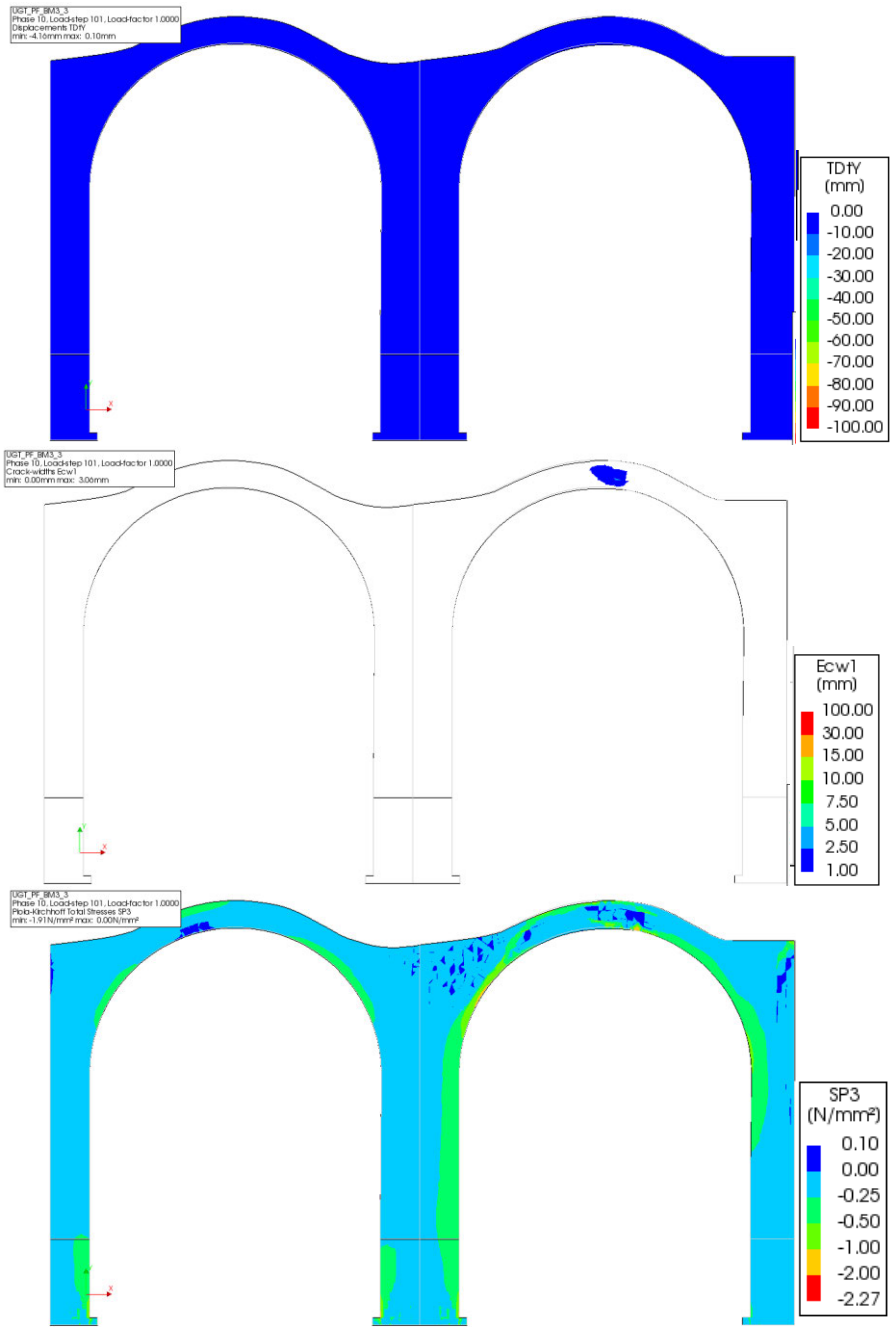
Afbeelding VII.13 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100 % belasting en belastingpositie 1



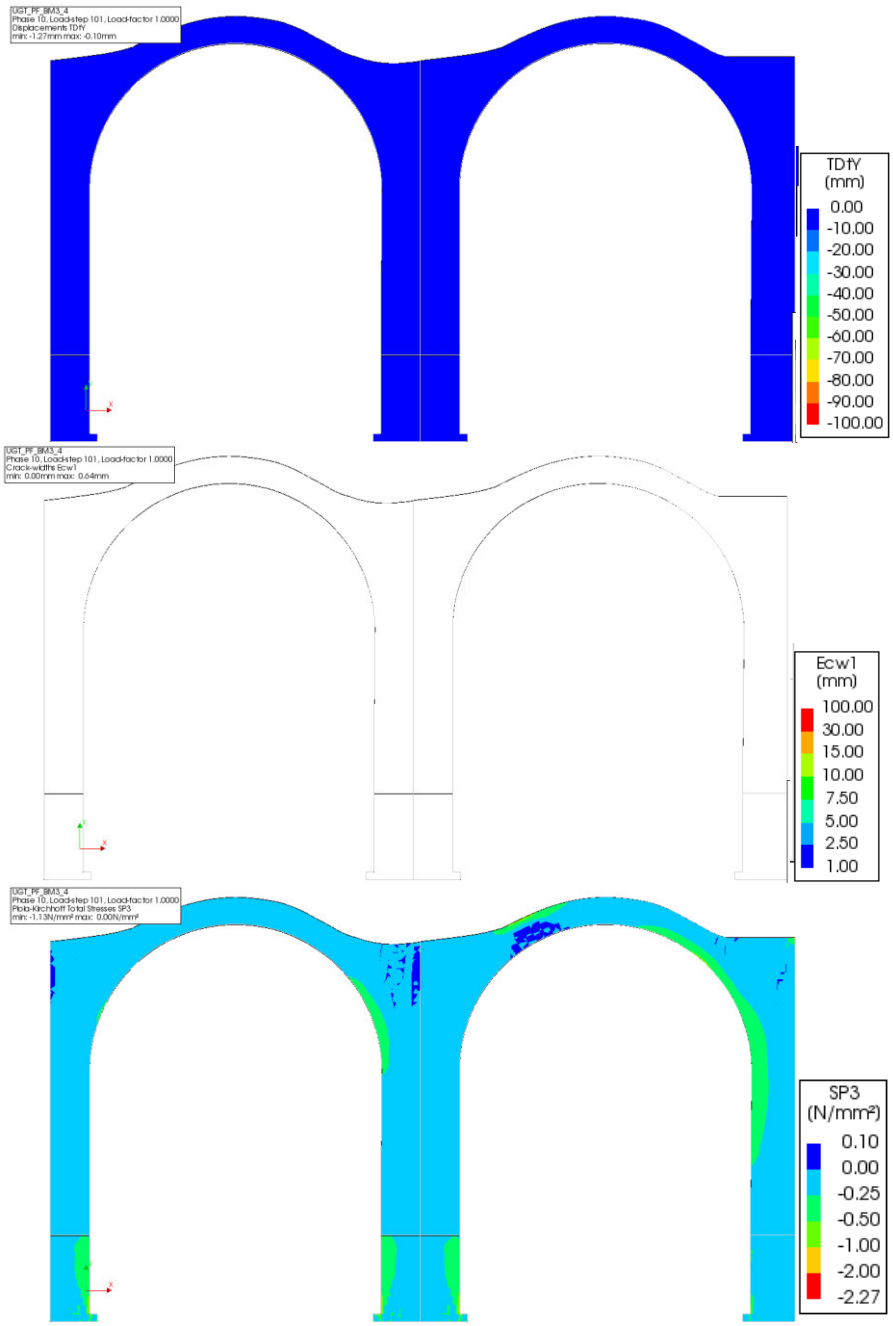
Afbeelding VII.14 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100 % belasting en belastingpositie 2



Afbeelding VII.15 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100 % belasting en belastingpositie 3



Afbeelding VII.16 Verticale verplaatsing, scheurbreedte in de hoofdrichting en hoofddrukspanning voor scenario BM3 belasting, 100 % belasting en belastingpositie 4

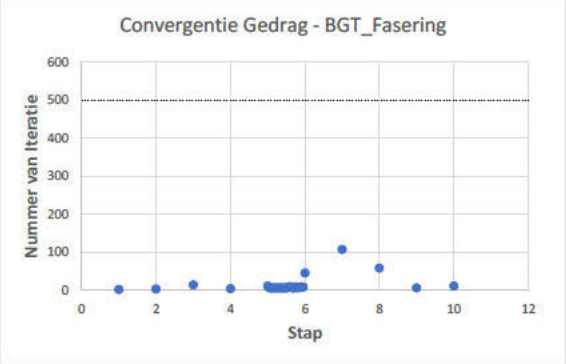


VIII

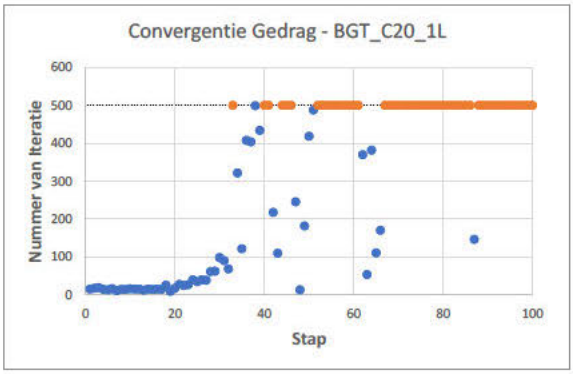
BIJLAGE: BGT ANALYSES - CONVERGENTIE GEDRAG

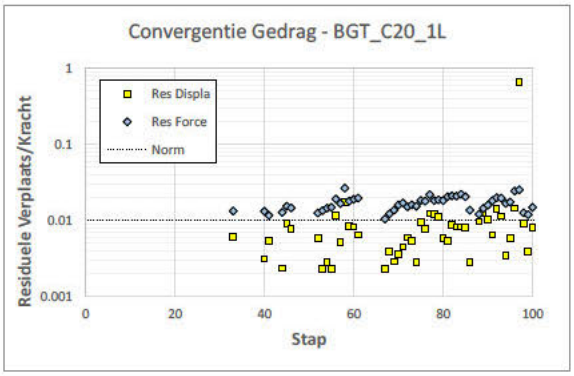
BGT-C20

Afbeelding VIII.1 Convergentie gedrag van C20 belasting, fasering. Plot van aantal iteraties

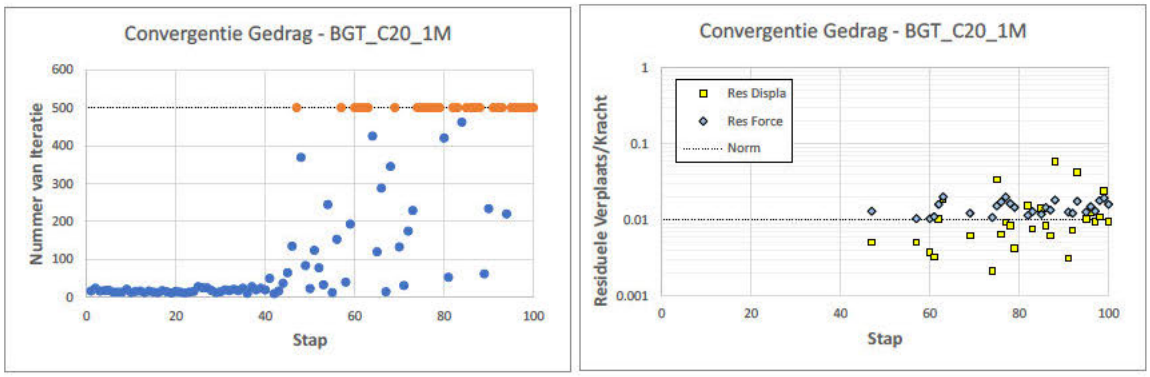


Afbeelding VIII.2 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 1-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie

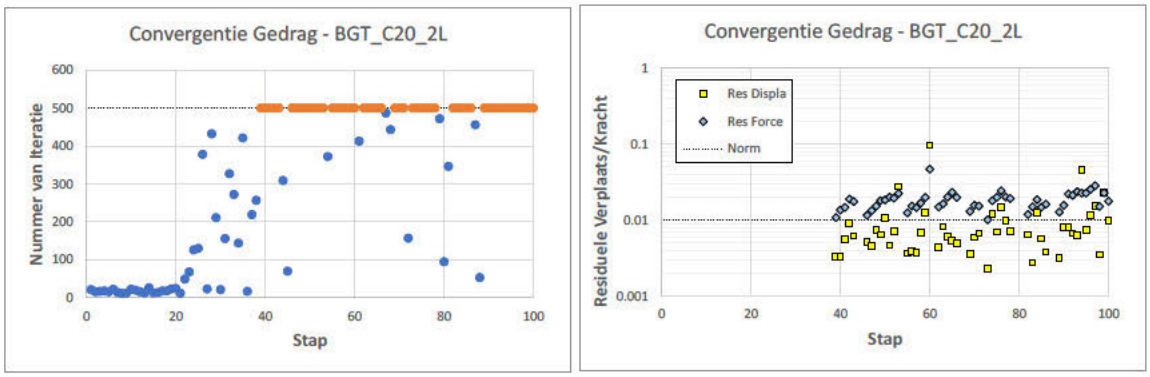




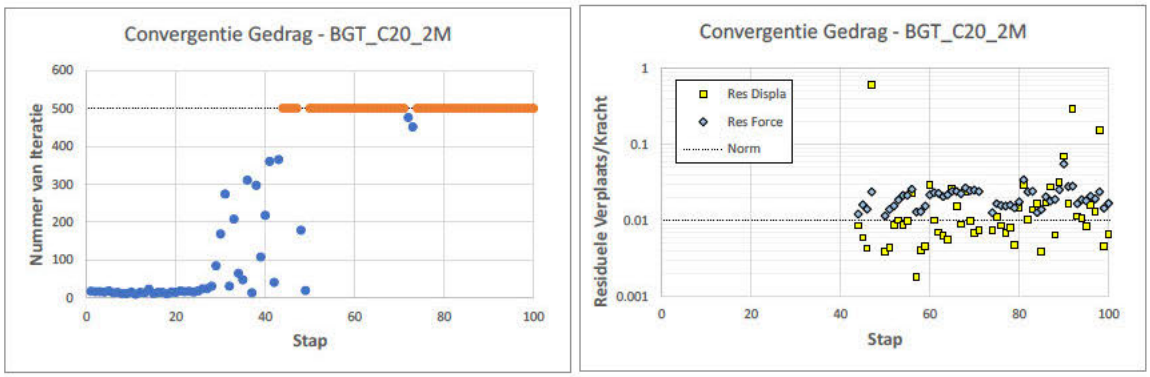
Afbeelding VIII.3 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 1-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



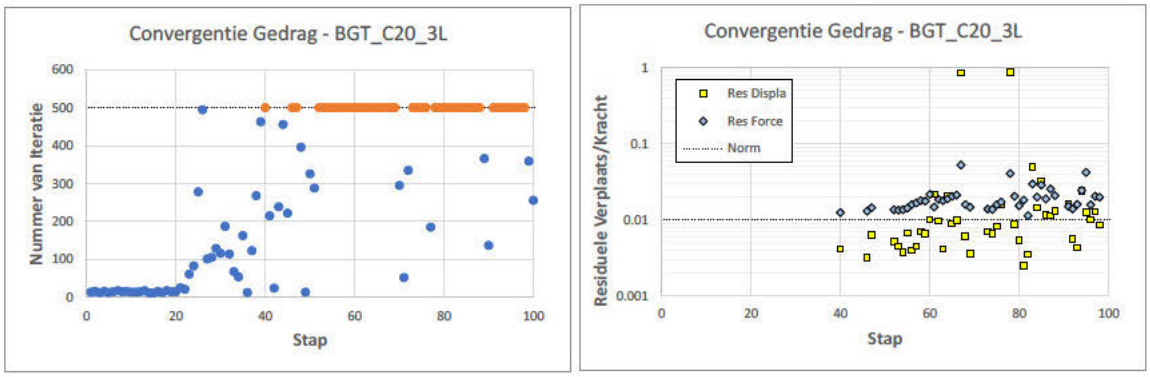
Afbeelding VIII.4 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 2-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



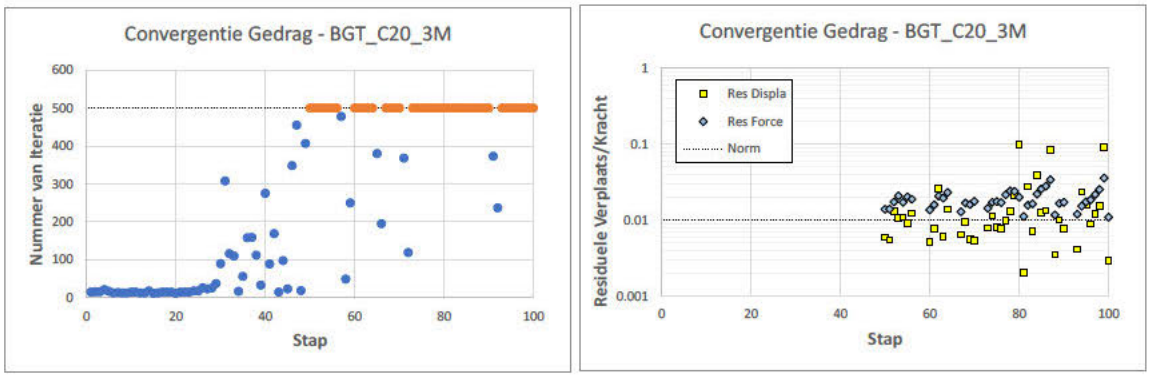
Afbeelding VIII.5 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 2-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



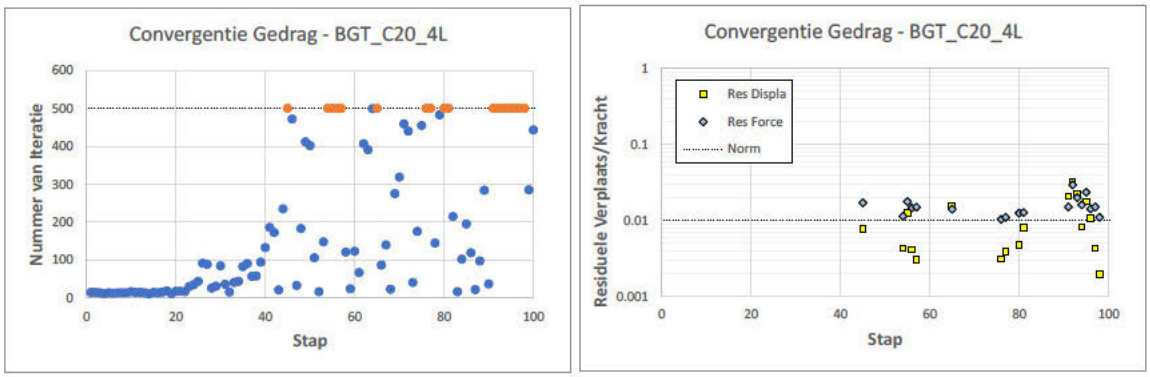
Afbeelding VIII.6 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 3-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



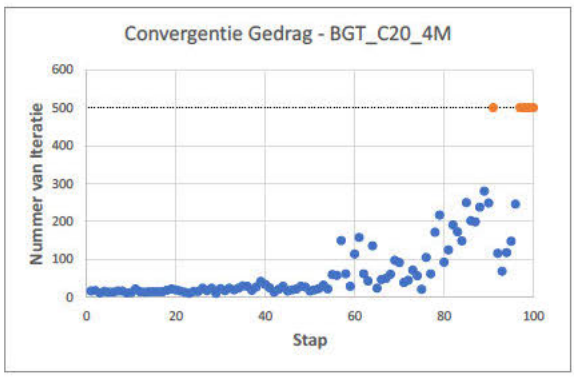
Afbeelding VIII.7 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 3-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie

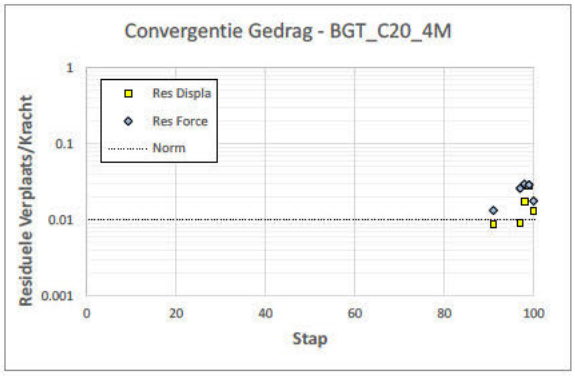


Afbeelding VIII.8 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie

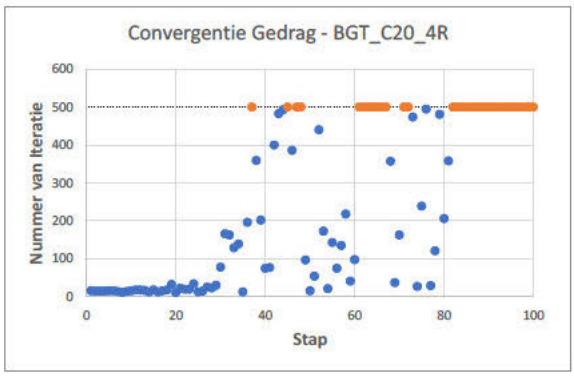


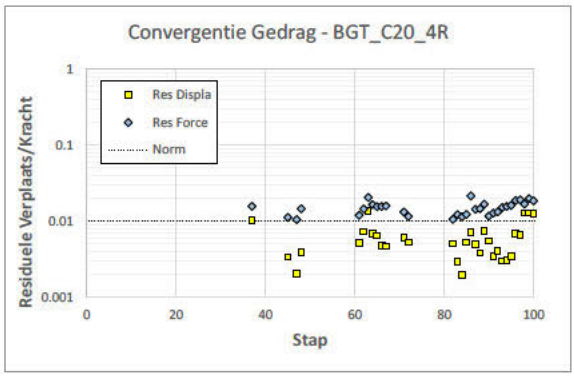
Afbeelding VIII.9 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie





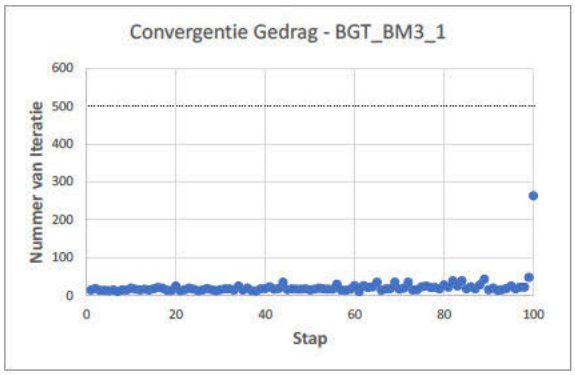
Afbeelding VIII.10 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-R. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



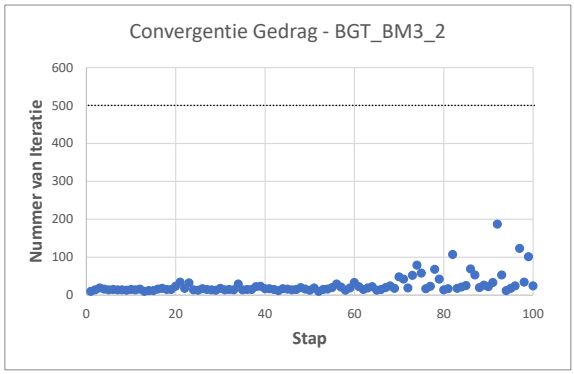


BGT-BM3

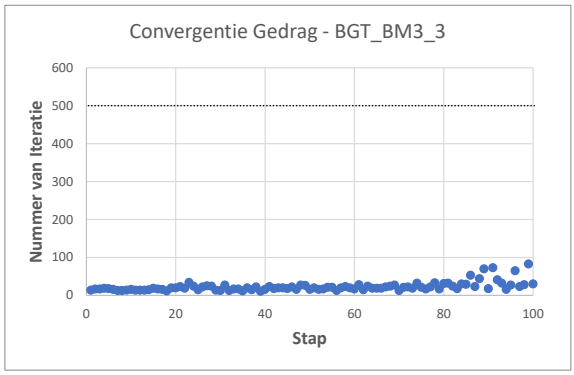
Afbeelding VIII.11 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 1. Plot van aantal iteraties



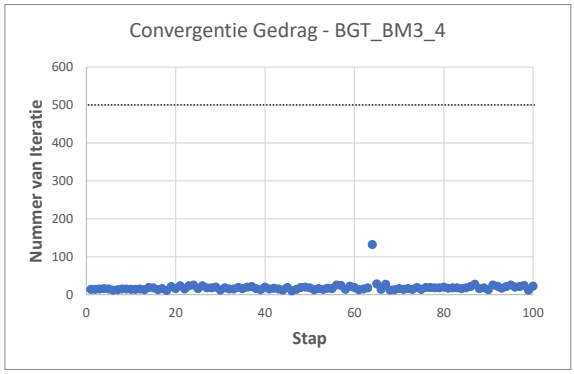
Afbeelding VIII.12 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 2. Plot van aantal iteraties



Afbeelding VIII.13 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 3. Plot van aantal iteraties



Afbeelding VIII.14 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 4. Plot van aantal iteraties

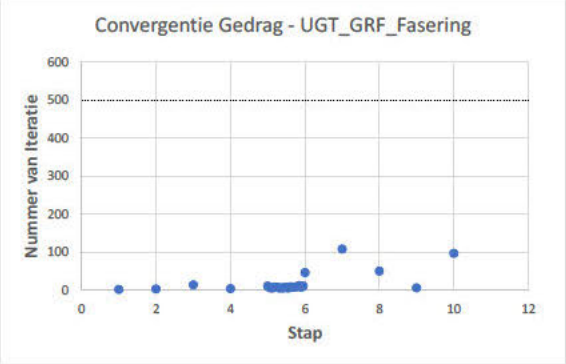


IX

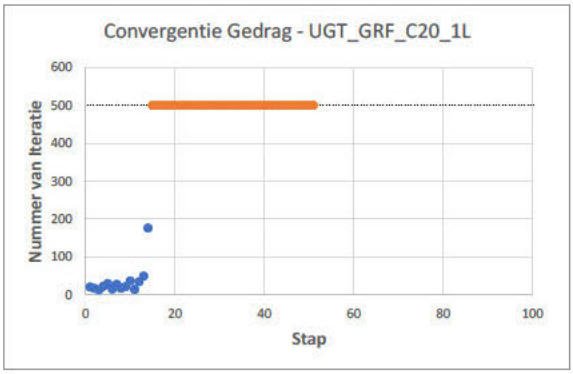
BIJLAGE: UGT-GRF ANALYSES - CONVERGENTIE GEDRAG

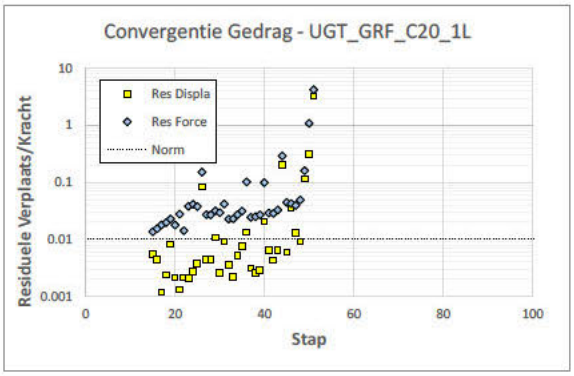
UGT-GRF-C20

Afbeelding IX.1 Convergentie gedrag van C20 belasting, fasering. Plot van aantal iteraties

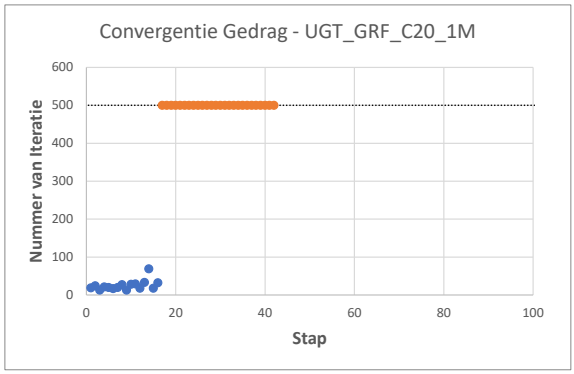


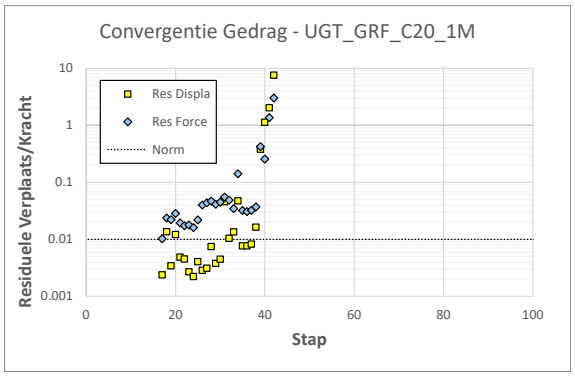
Afbeelding IX.2 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 1-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



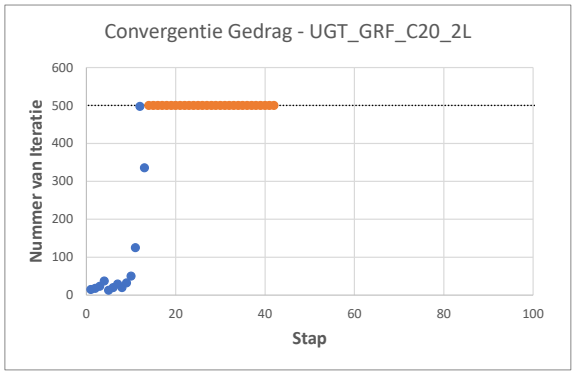


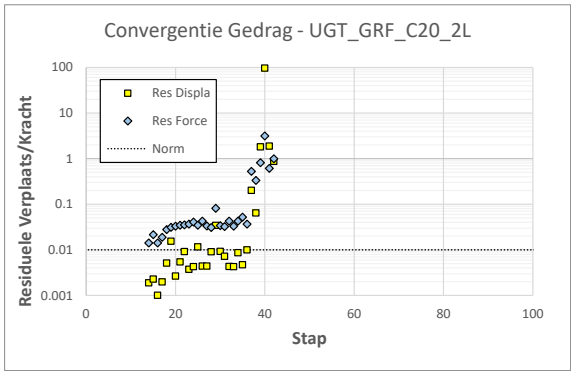
Afbeelding IX.3 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 1-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



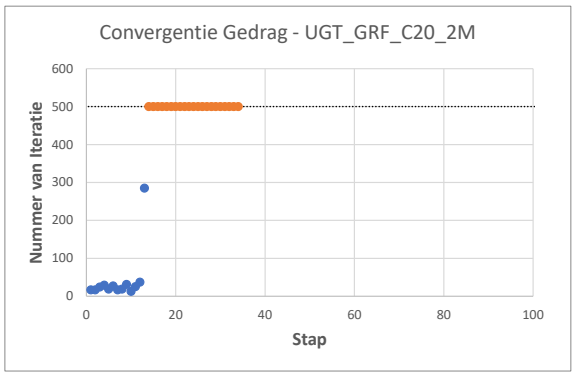


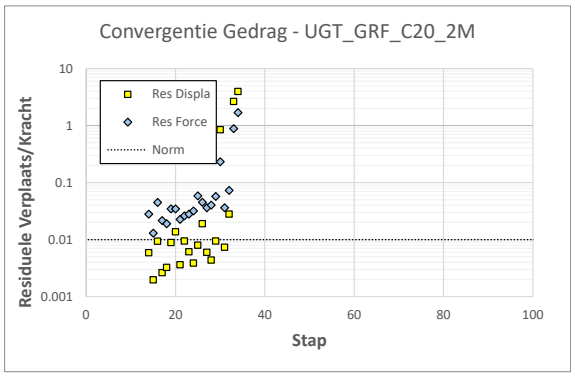
Afbeelding IX.4 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 2-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



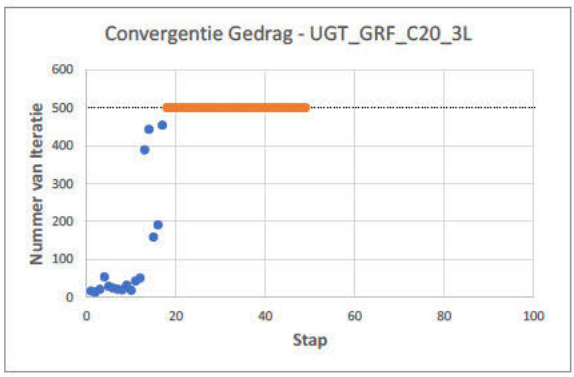


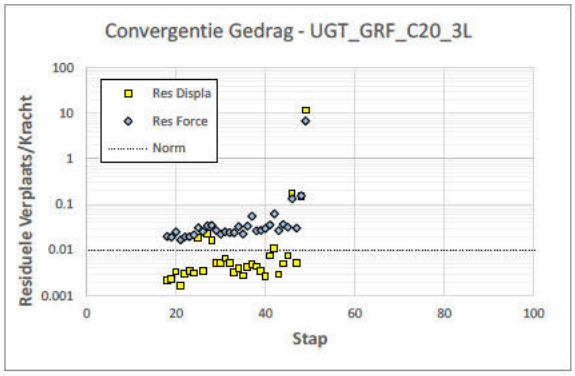
Afbeelding IX.5 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 2-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



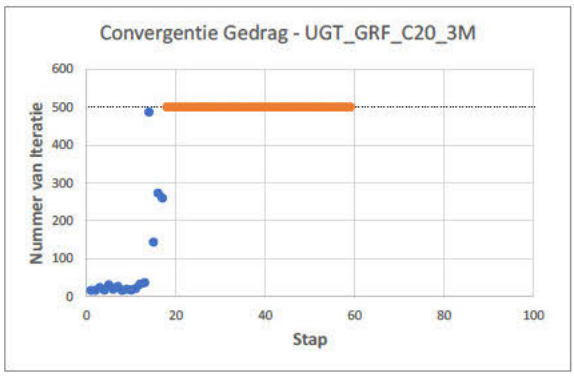


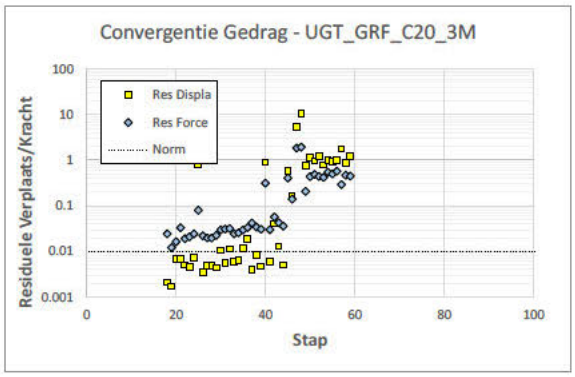
Afbeelding IX.6 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 3-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



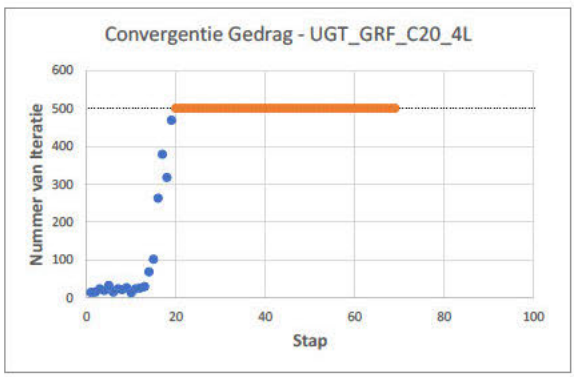


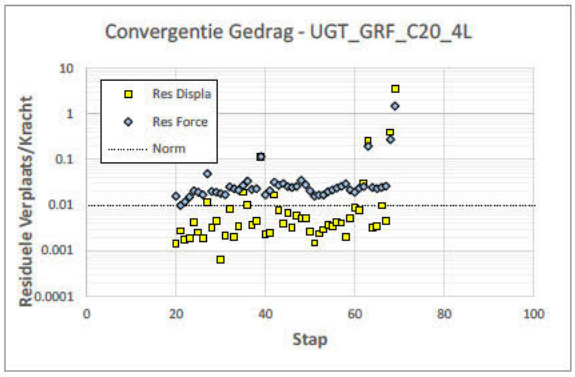
Afbeelding IX.7 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 3-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



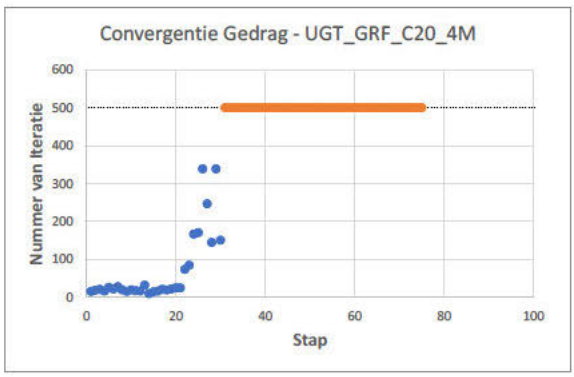


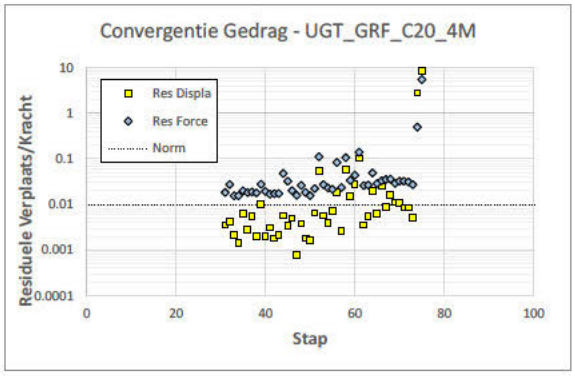
Afbeelding IX.8 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



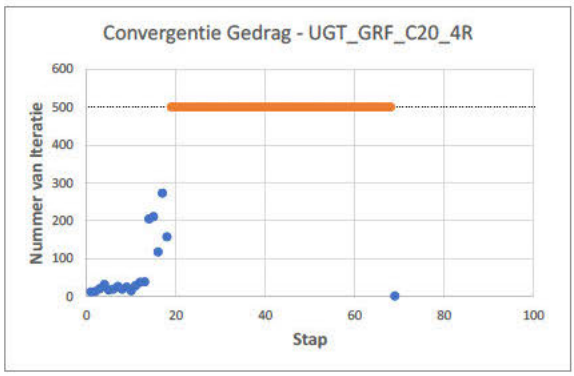


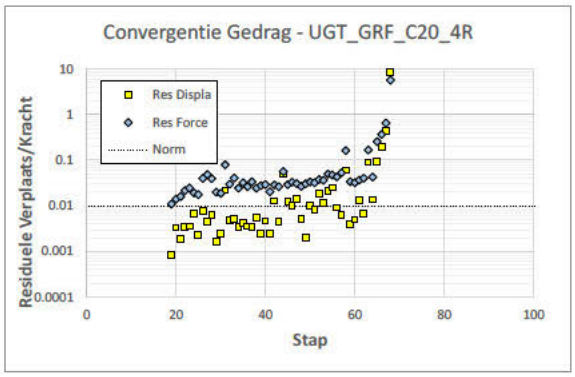
Afbeelding IX.9 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie





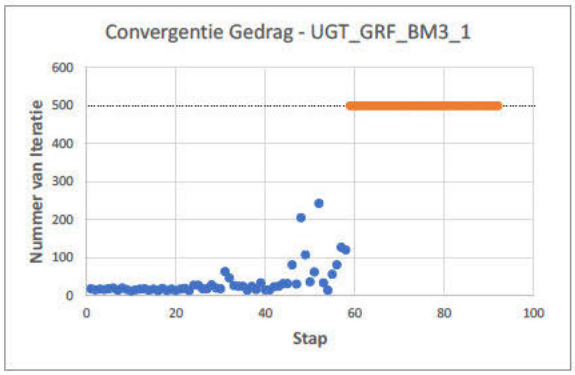
Afbeelding IX.10 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-R. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie

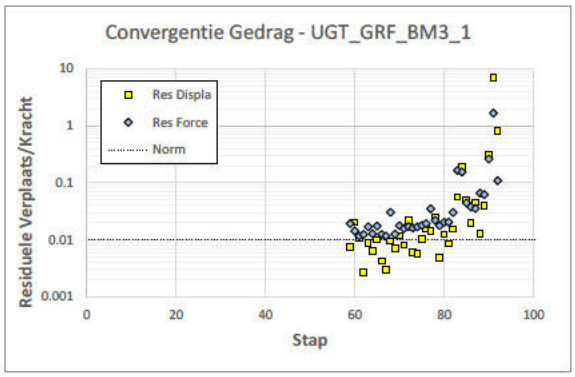




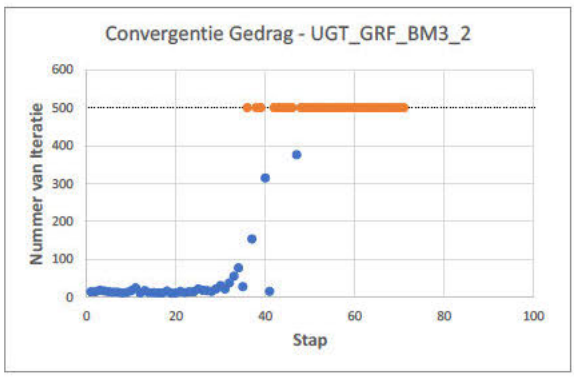
UGT-GRF-BM3

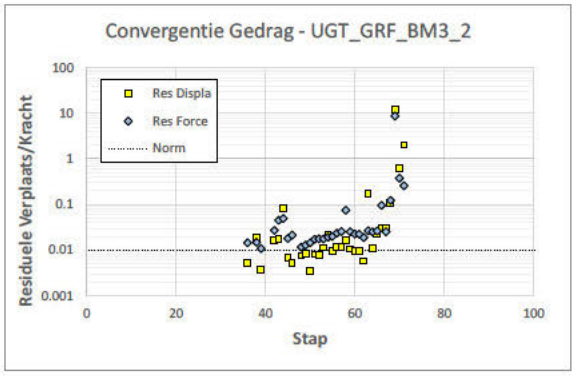
Afbeelding IX.11 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 1. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



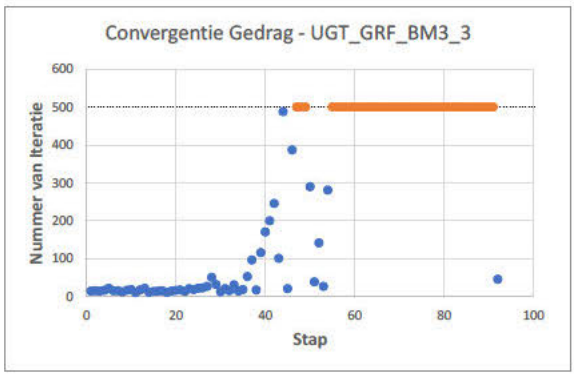


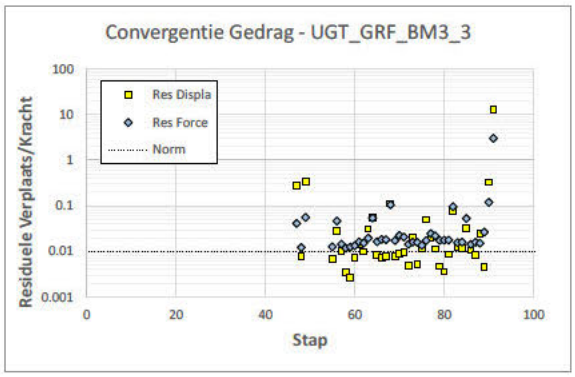
Afbeelding IX.12 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 2. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



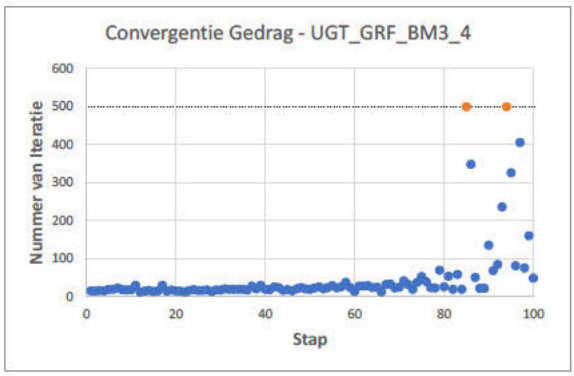


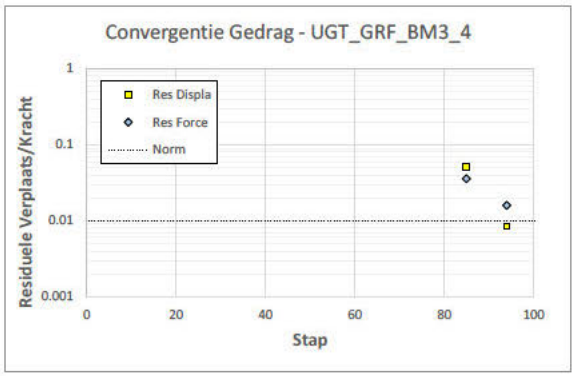
Afbeelding IX.13 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 3. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie





Afbeelding IX.14 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 4. Plot van aantal iteraties



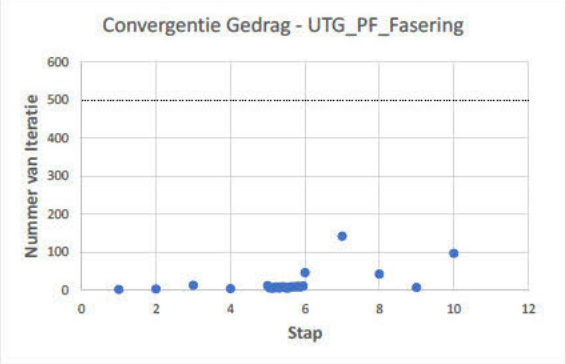


X

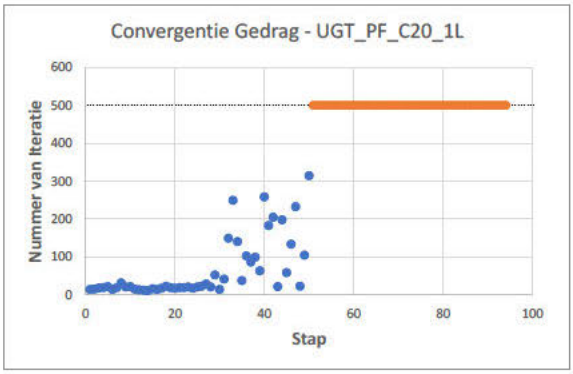
BIJLAGE: UGT-PF ANALYSES - CONVERGENTIE GEDRAG

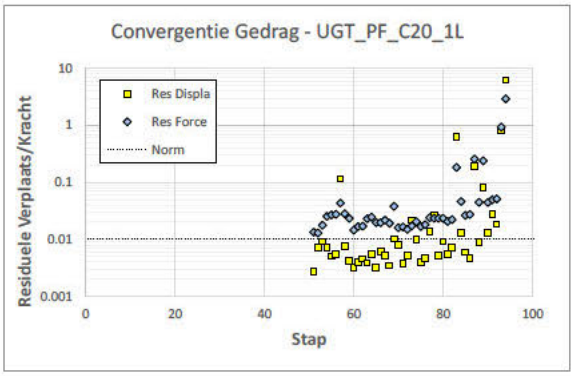
UGT-PF-C20

Afbeelding X.1 Convergentie gedrag van C20 belasting, fasering. Plot van aantal iteraties

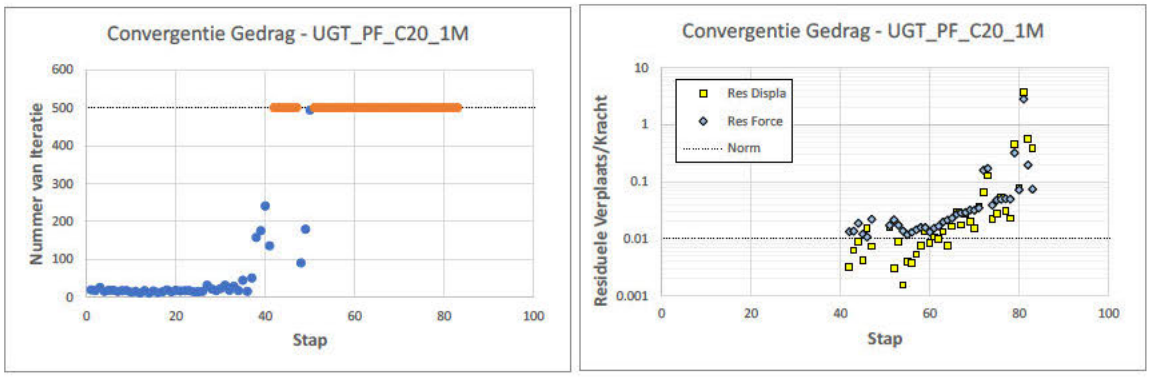


Afbeelding X.2 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 1-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie

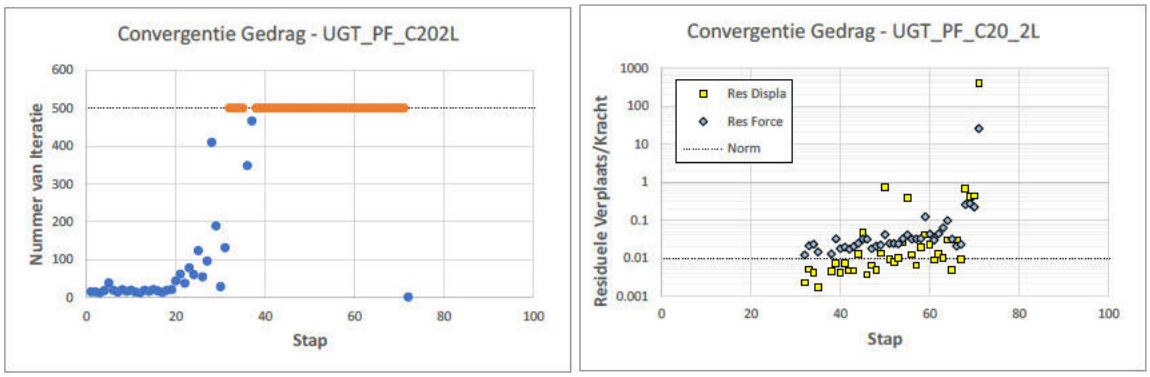




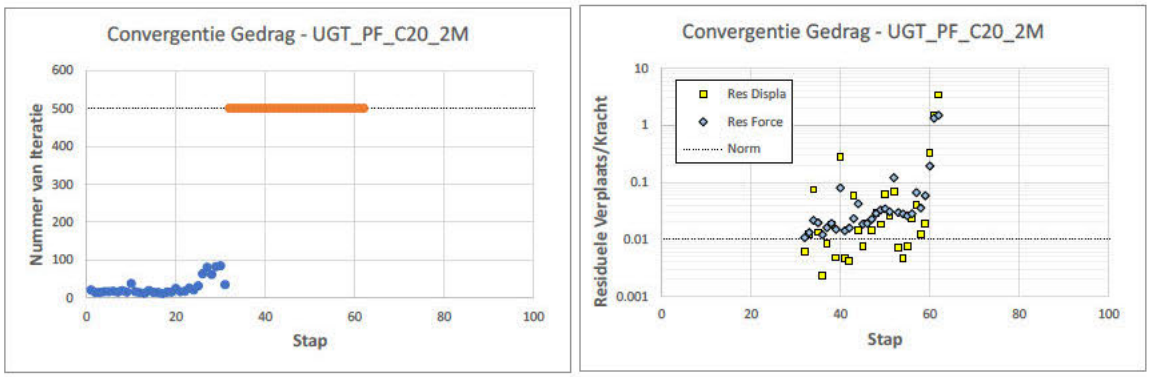
Afbeelding X.3 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 1-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



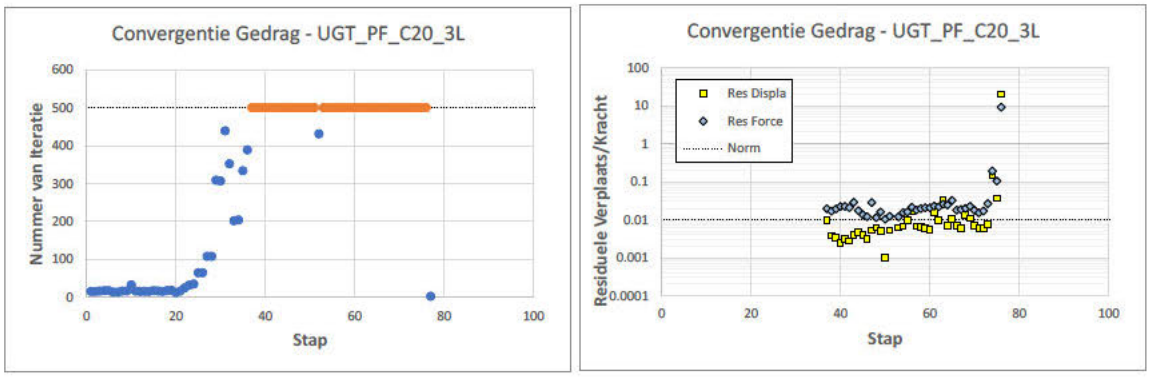
Afbeelding X.4 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 2-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



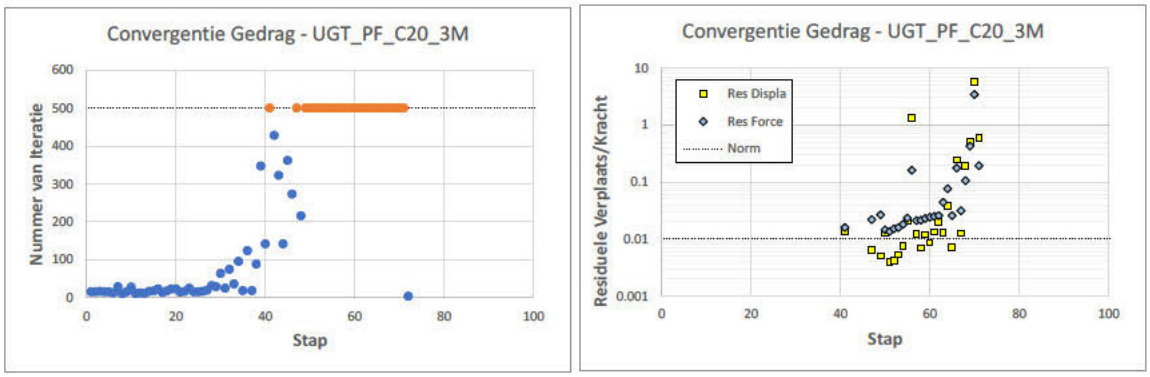
Afbeelding X.5 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 2-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



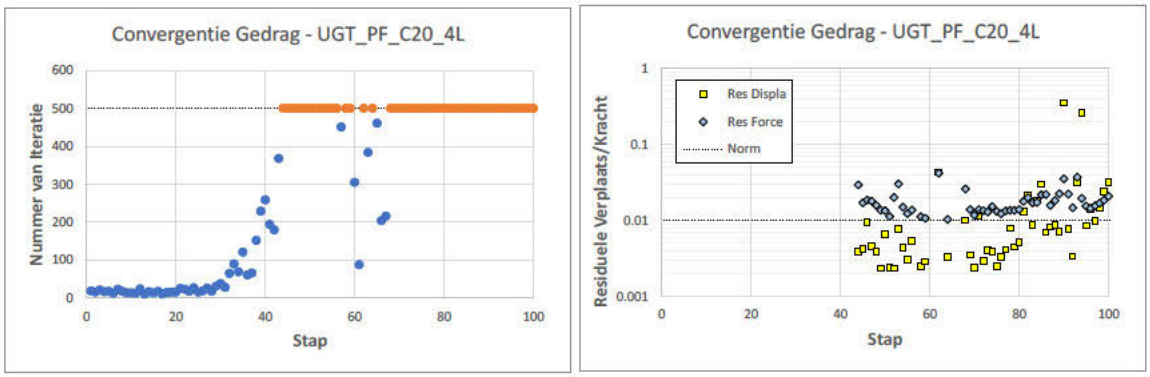
Afbeelding X.6 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 3-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



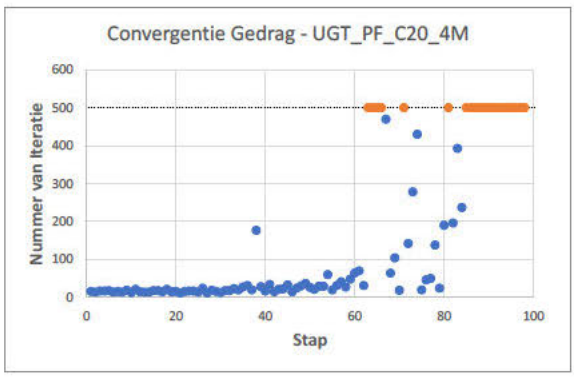
Afbeelding VIII.7 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 3-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie

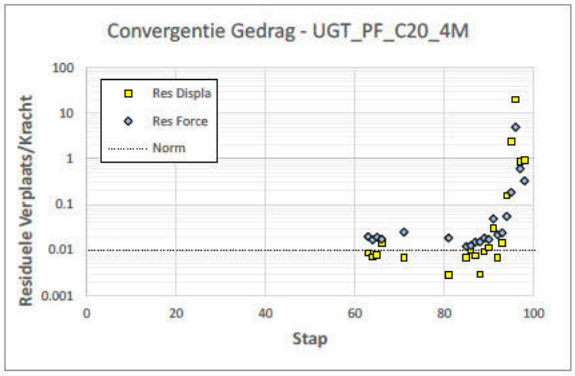


Afbeelding X.8 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-L. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie

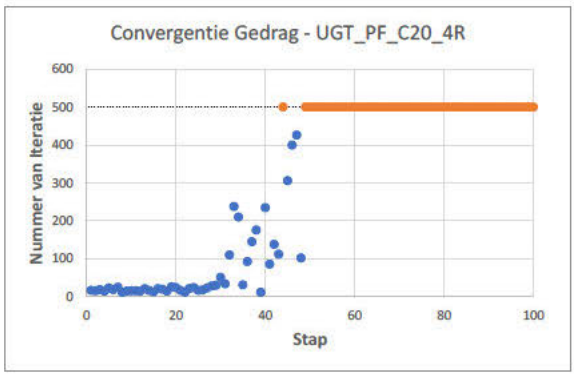


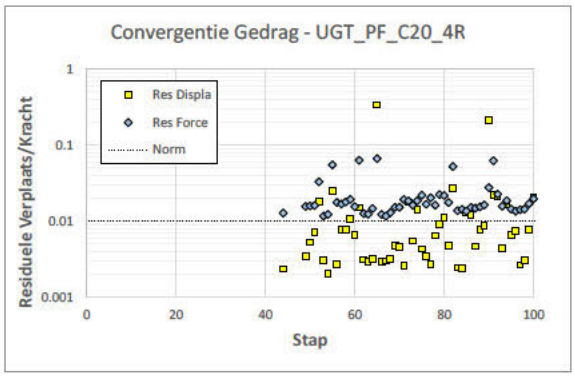
Afbeelding X.9 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-M. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie





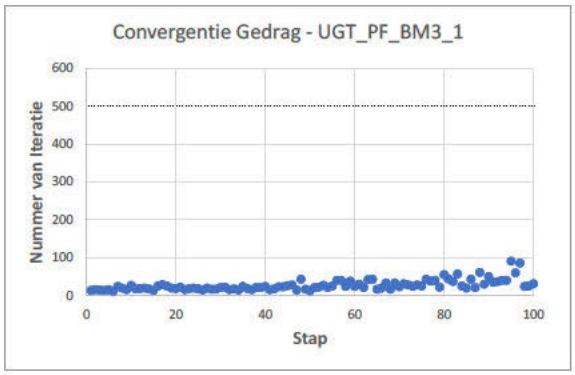
Afbeelding X.10 Convergentie gedrag van C20 belasting, belastingpositie 4-R. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



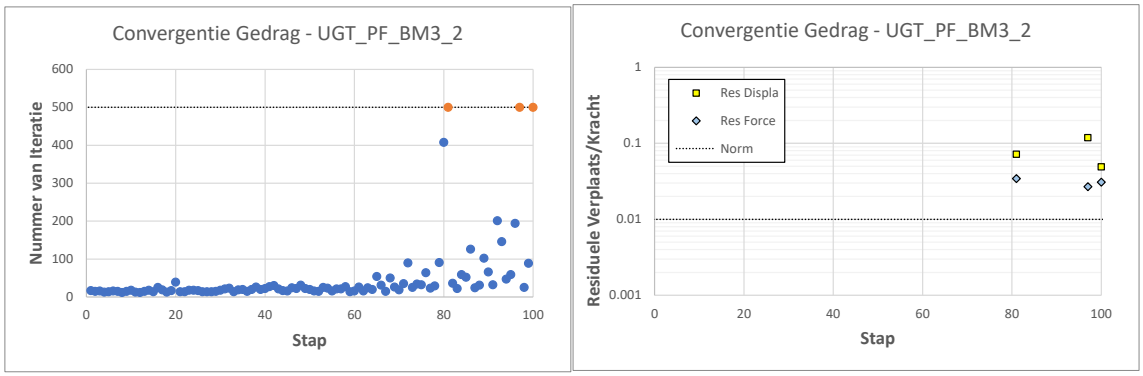


UGT-PF-BM3

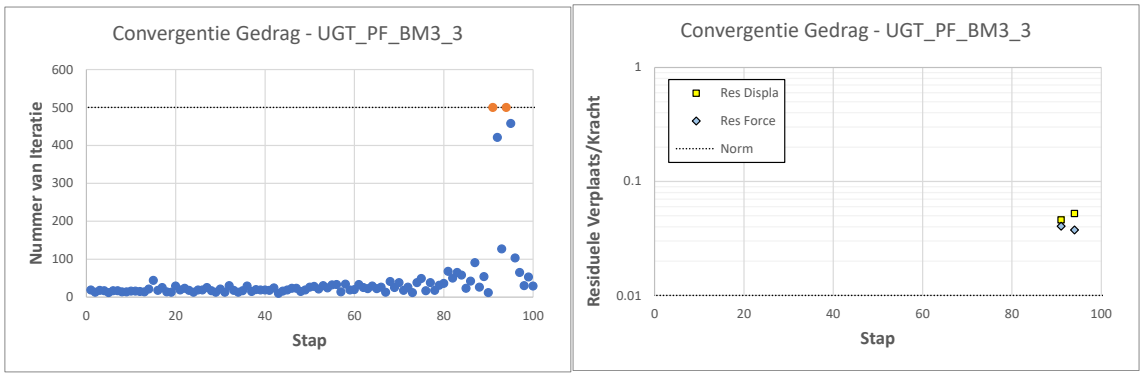
Afbeelding X.11 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 1. Plot van aantal iteraties



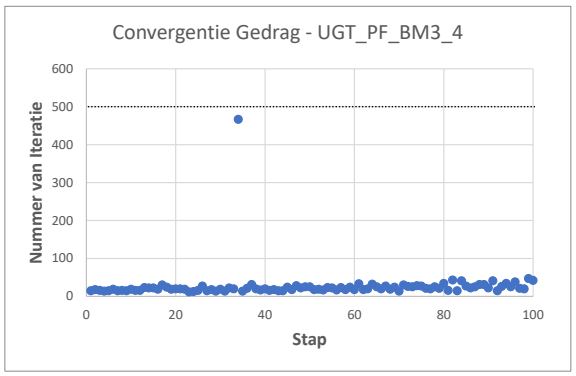
Afbeelding X.12 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 2. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



Afbeelding X.13 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 3. Plot van aantal iteraties (links) en plot van residuele verplaatsing/kracht van stappen met geen convergentie



Afbeelding X.14 Convergentie gedrag van BM3 belasting, belastingpositie 4. Plot van aantal iteraties

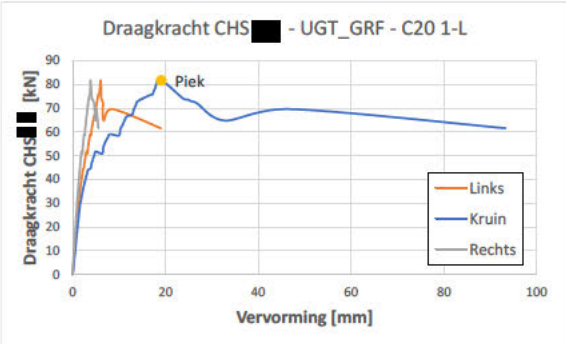


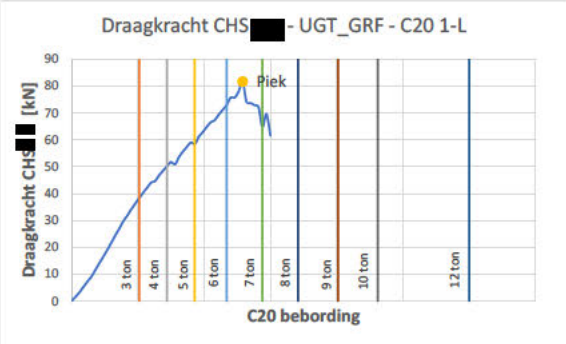
XI

BIJLAGE: UGT-GRF ANALYSES - DRAAGKRACHT-VERVORMING PLOTS

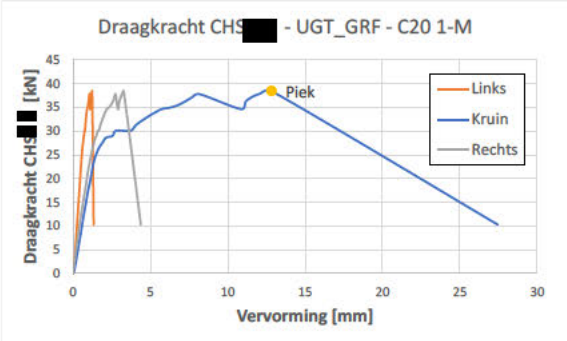
UGT-GRF-C20

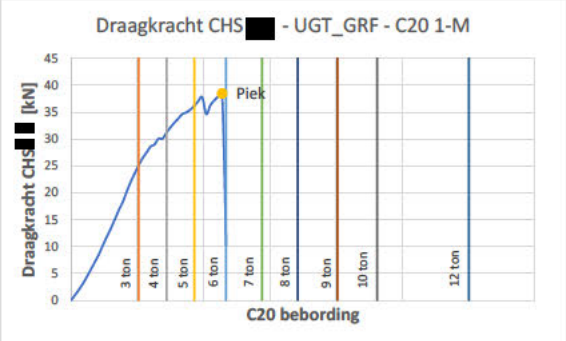
Afbeelding XI.1 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 1-L. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



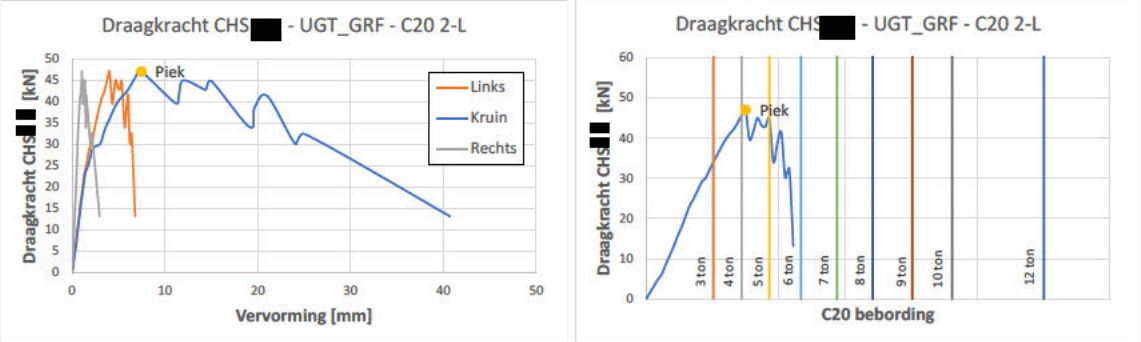


Afbeelding XI.2 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 1-M. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)

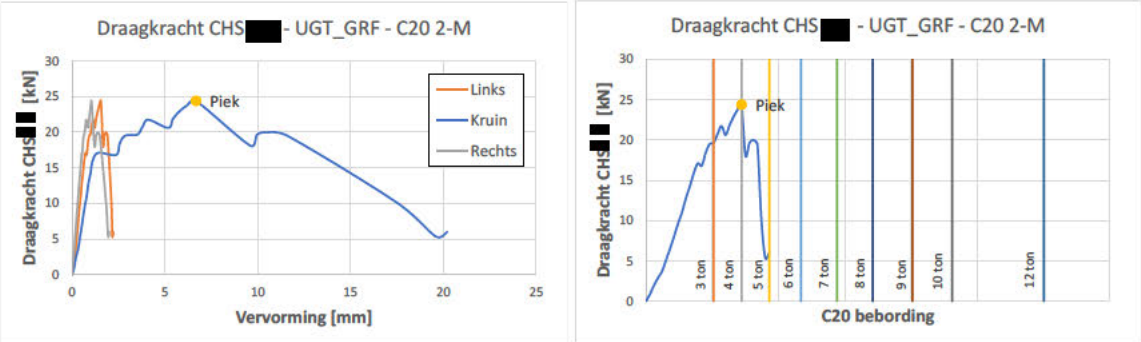




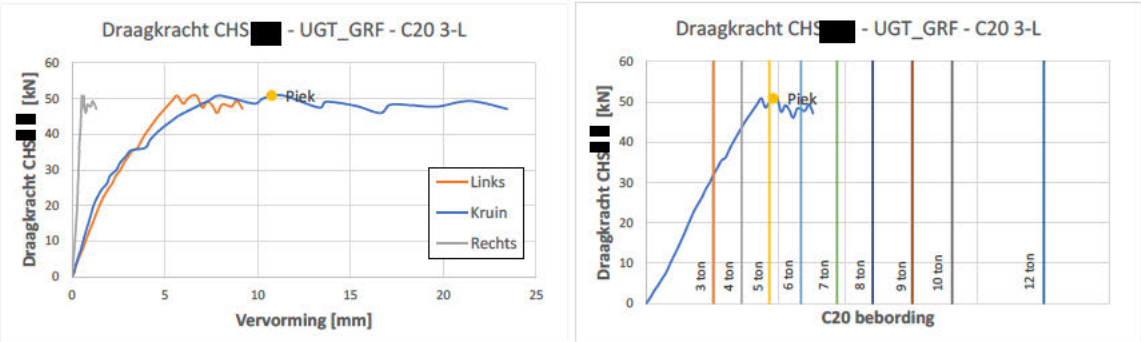
Afbeelding XI.3 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 2-L. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



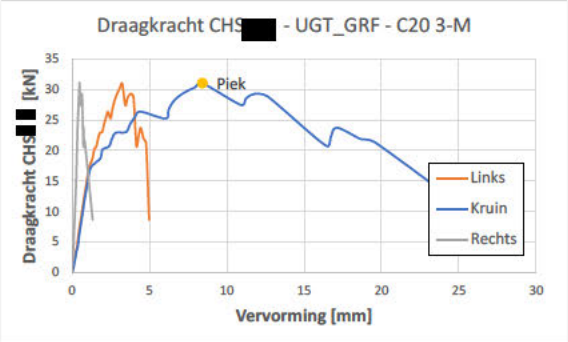
Afbeelding XI.4 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 2-M. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)

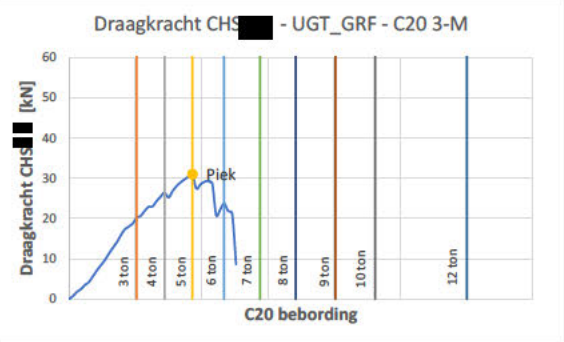


Afbeelding XI.5 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 3-L. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)

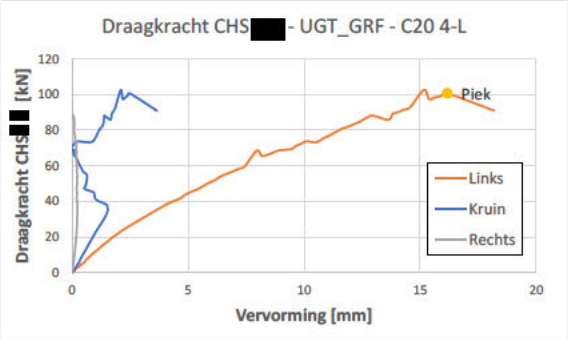


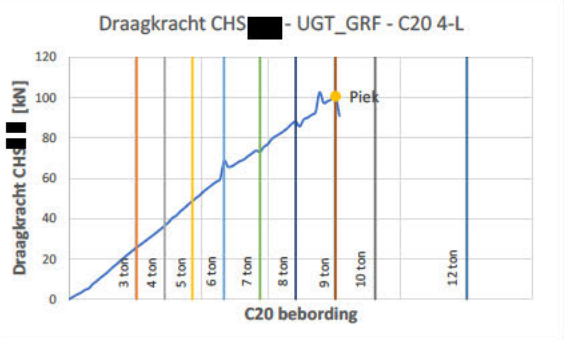
Afbeelding XI.6 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 3-M. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



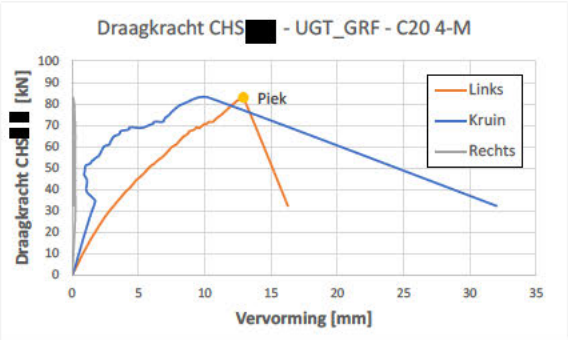


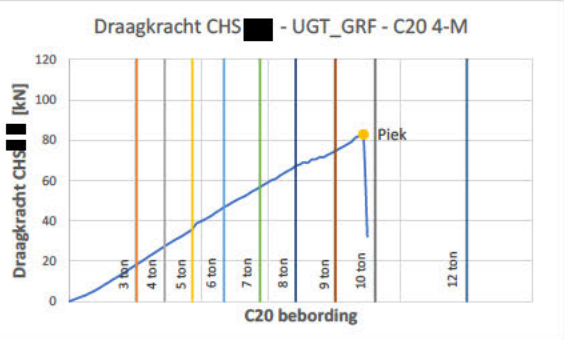
Afbeelding XI.7 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 4-L. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



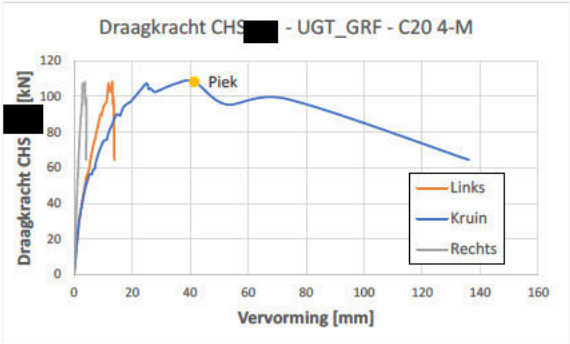


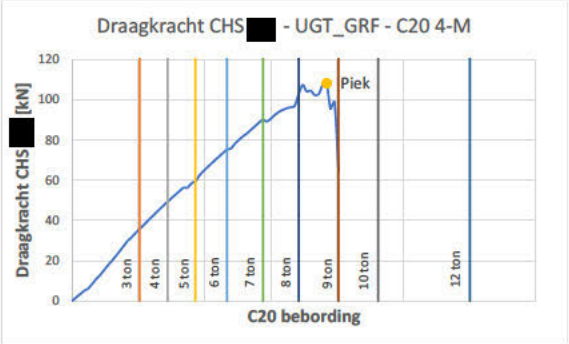
Afbeelding XI.8 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 4-M. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met links punt als referentie punt (rechts)





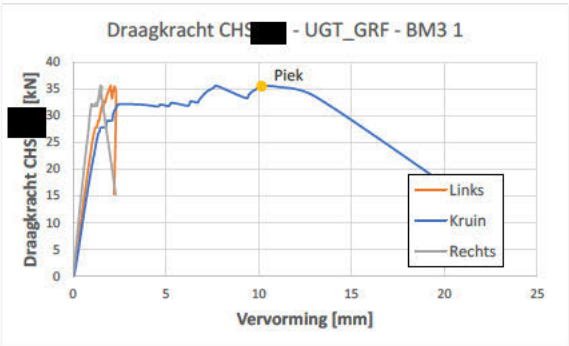
Afbeelding XI.9 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting C20 in positie 4-R. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)

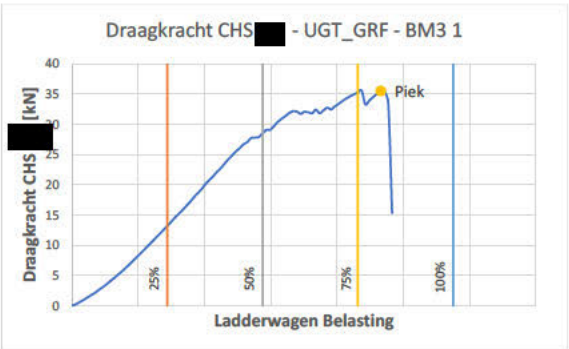




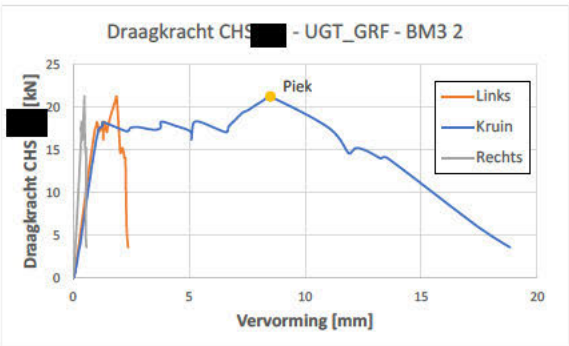
UGT-GRF-BM3

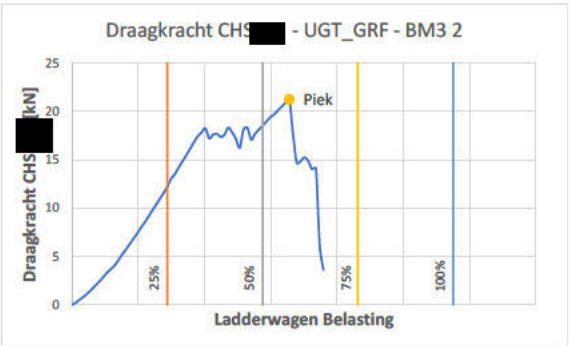
Afbeelding XI.10 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting BM3 in positie 2. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



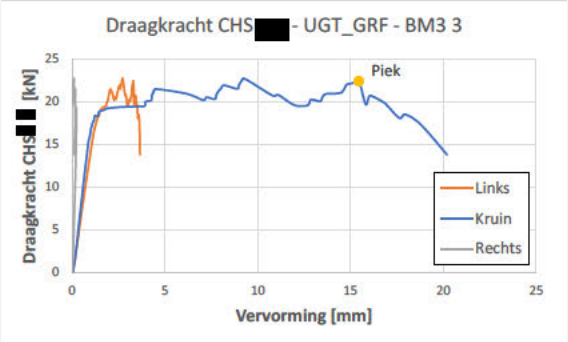


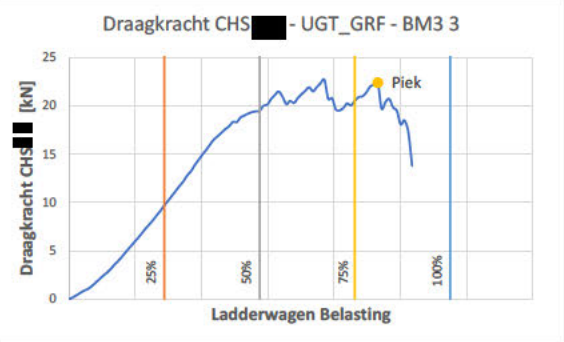
Afbeelding XI.11 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting BM3 in positie 2. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



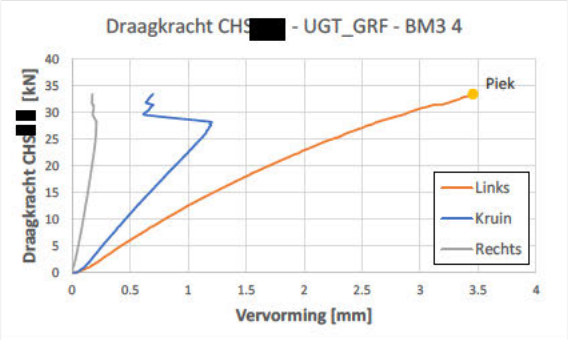


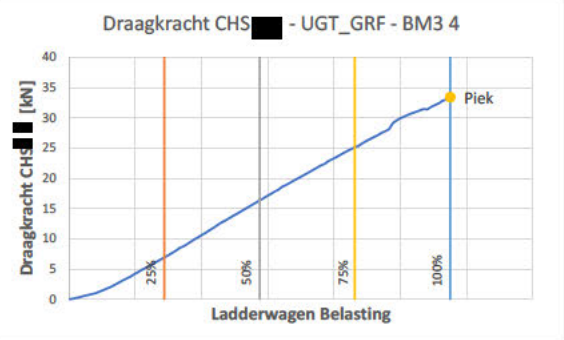
Afbeelding XI.12 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting BM3 in positie 3. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)





Afbeelding XI.13 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-GRF belasting BM3 in positie 4. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met links punt als referentie punt (rechts)



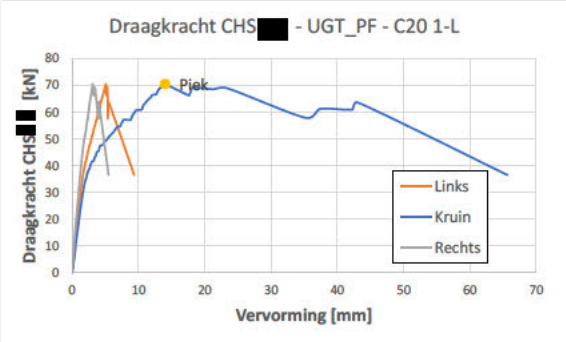


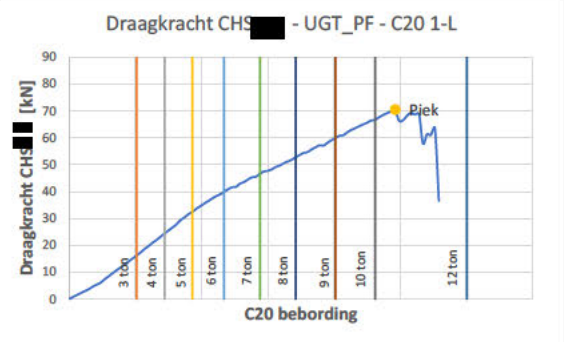
XII

BIJLAGE: UGT-PF ANALYSES - DRAAGKRACHT-VERVORMING PLOTS

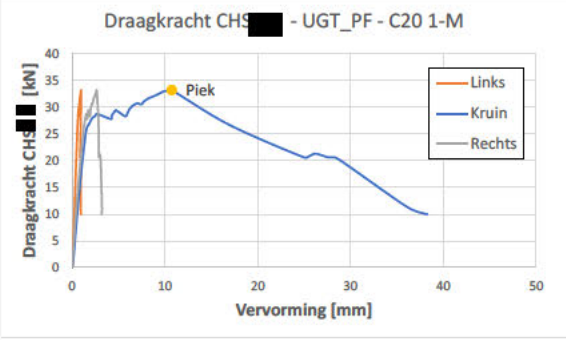
UGT-PF-C20

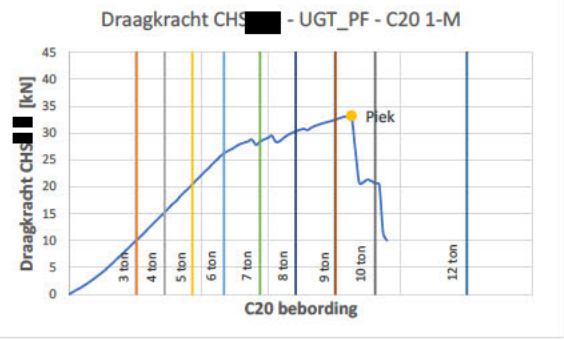
Afbeelding XII.1 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting C20 in positie 1-L. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



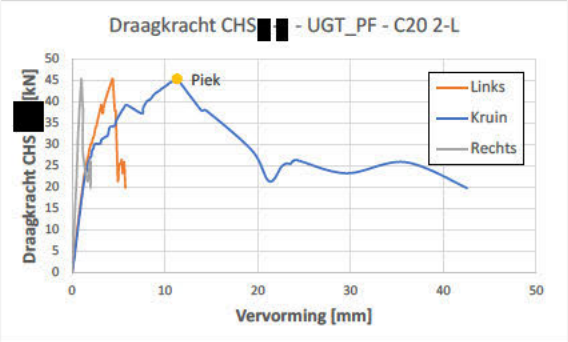


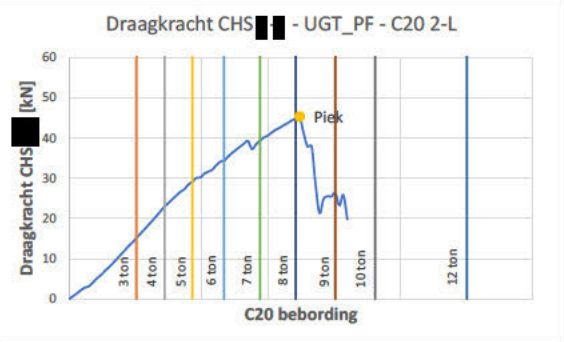
Afbeelding XII.2 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting C20 in positie 1-M. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



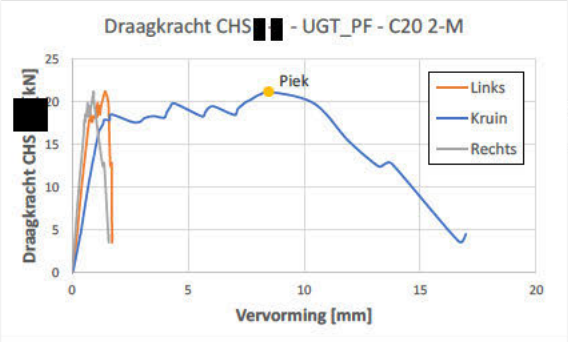


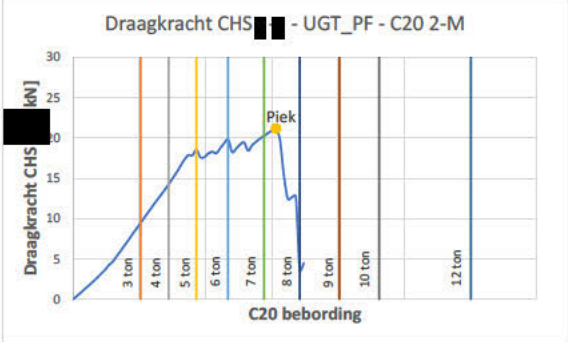
Afbeelding XII.3 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting C20 in positie 2-L. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



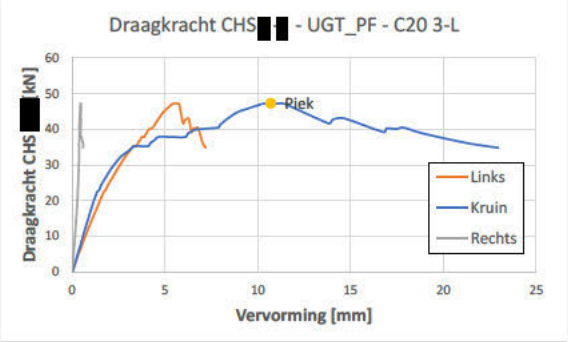


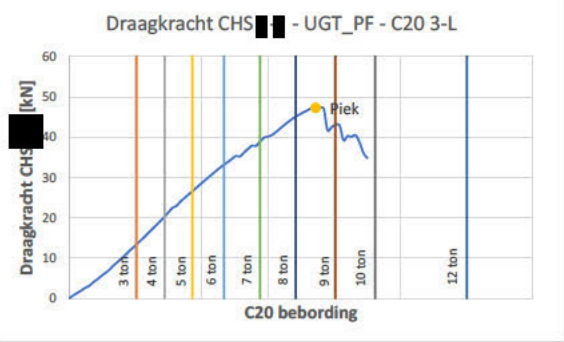
Afbeelding XII.4 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting C20 in positie 2-M. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



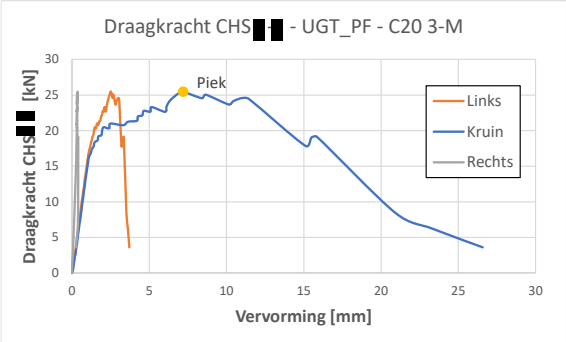


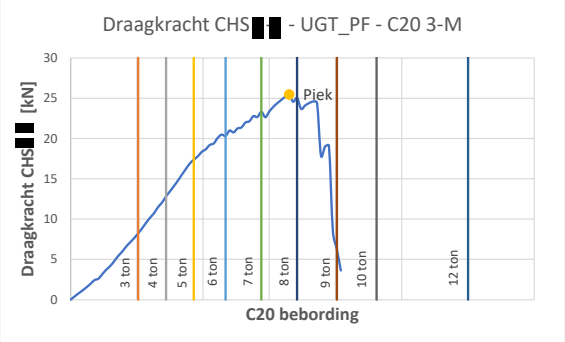
Afbeelding XII.5 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting C20 in positie 3-L. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



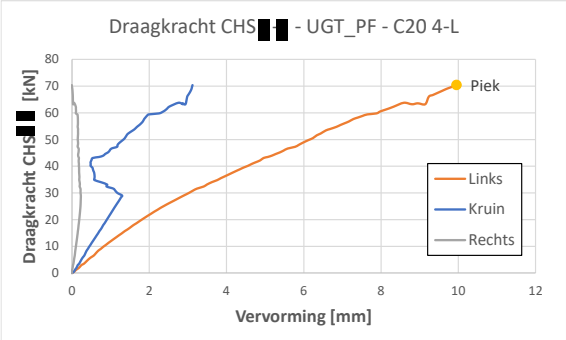


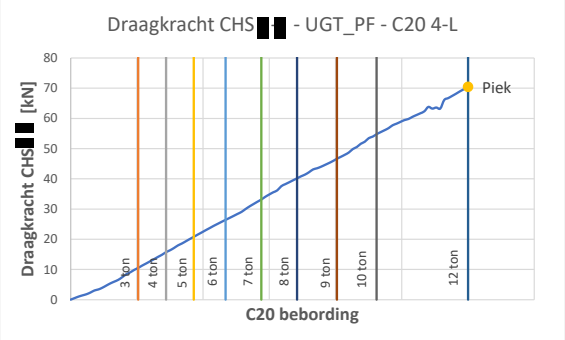
Afbeelding XII.6 Draagkracht CHS■ ■ voor UGT-PF belasting C20 in positie 3-M. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



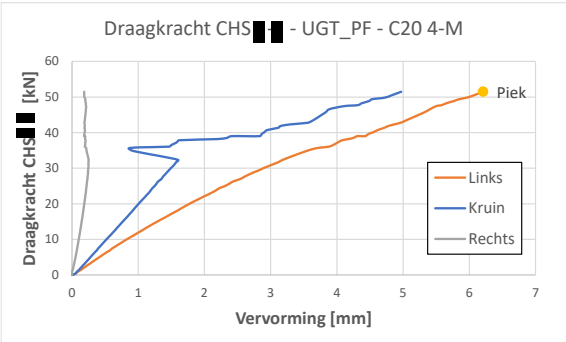


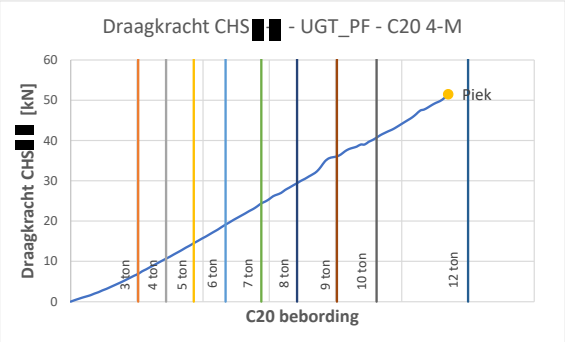
Afbeelding XII.7 Draagkracht CHS■ ■ voor UGT-PF belasting C20 in positie 4-L. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



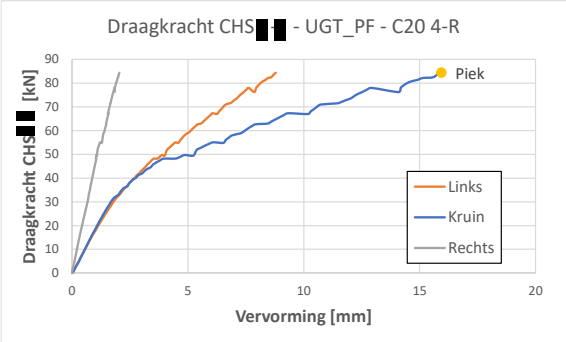


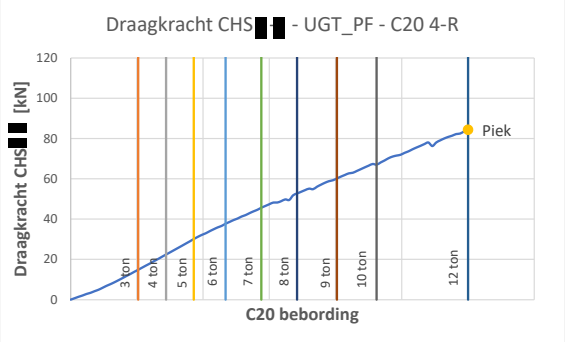
Afbeelding XII.8 Draagkracht CHS■ ■ voor UGT-PF belasting C20 in positie 4-M. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)





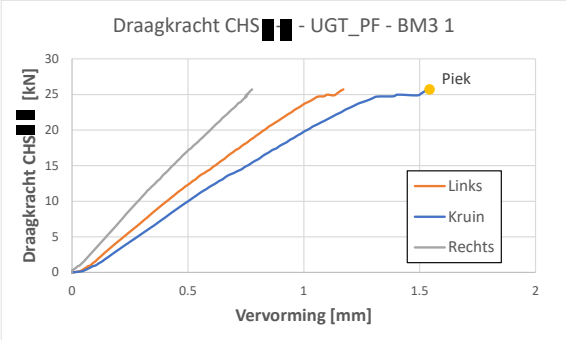
Afbeelding XII.9 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting C20 in positie 4-R. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)

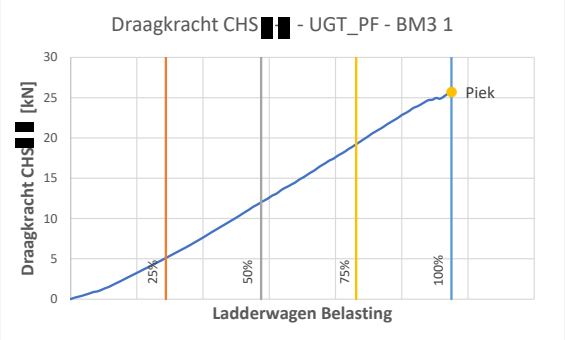




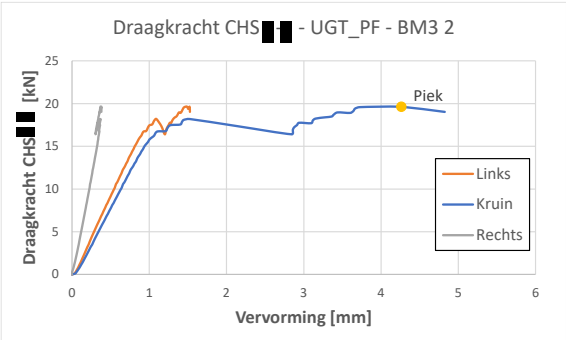
UGT-PF-BM3

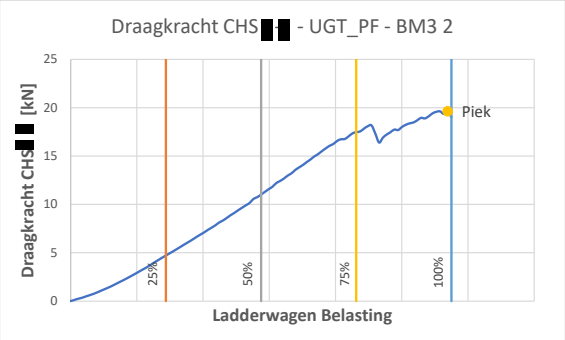
Afbeelding XII.10 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting BM3 in positie 1. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



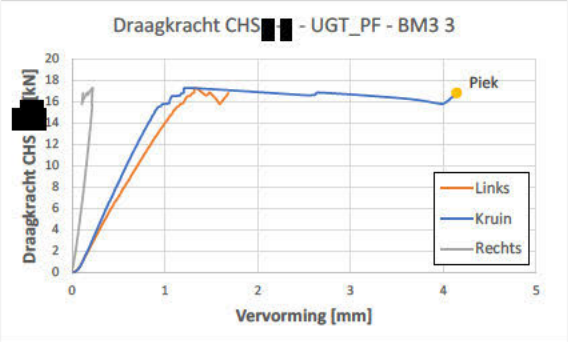


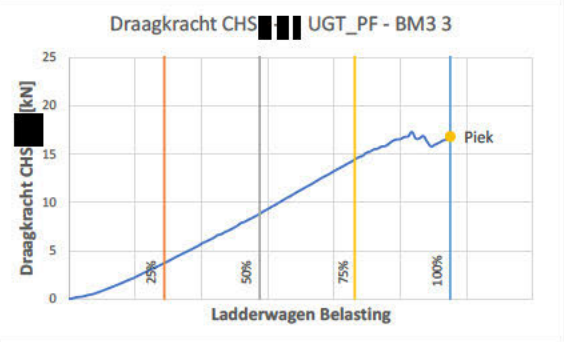
Afbeelding XII.11 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting BM3 in positie 2. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)



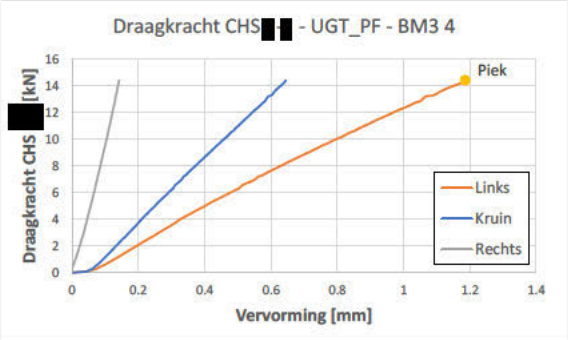


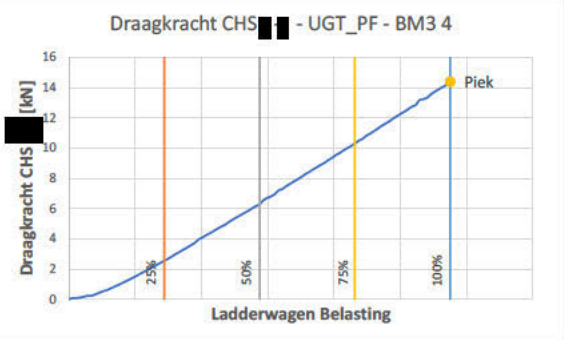
Afbeelding XII.12 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting BM3 in positie 3. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)





Afbeelding XII.13 Draagkracht CHS[redacted] voor UGT-PF belasting BM3 in positie 4. Draagkracht-vervorming plot (links) en evaluatie van toegestane belasting met kruin als referentie punt (rechts)





XIII

BIJLAGE: GEOTECHNISCHE DRAAGVERMOGEN KELDER DRAAGMUUR

ALGEMENE UITGANGSPUNTEN

Afbeelding XIII.1 Algemene uitgangspunten van de geotechnische berekeningen voor de draagvermogen van de draagmuur van de kelder CHS[redacted]

algemeen					grondopbouw				
taal		=	NL		maaiveld	$z_{surface}$	=	0.80	m+NAP
referentieniveau		=	NAP		maaiveldhelling (§6.5.2.2(p))	β	=	0.00	°
veiligheidsklasse		=	RC2		funderingsniveau	$z_{foundation}$	=	0.00	m+NAP
volumiek gewicht water	$\gamma_{w;d}$	=	10 kN/m³		freatisch niveau	$z_{phreatic}$	=	0.75	m+NAP

Afbeelding XIII.2 Grondlagen van de berekeningen met vastgepakt zand φ = 30,0°

grondlagen tussen maaiveld en invloedsniveau

laag nr.	grond-soort	b.k. laag [m+NAP]	o.k. laag [m+NAP]	dikte [m]	φ'_k [°]	c'_k [kPa]	$c_{u;k}$ [kPa]	γ_k [kN/m³]	$\gamma_{sat;k}$ [kN/m³]	γ'_d [kN/m³]	$\sigma'_{v;z;d}$ [kPa]	X	H·X	H·X·c'_d	H·X·φ'_d	H·X·γ'_d
1	sand	0.80	0.75	0.05	32.5	0.1	0.1	17.0	19.0	15.5	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	sand	0.75	0.00	0.75	32.5	0.1	0.1	17.0	19.0	7.3	6.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	sand	0.00	-3.20	3.20	30.0	0.1	0.1	17.0	19.0	7.3	29.5	0.87	1.50	0.09	40.00	10.91
4	sand	-3.20	-5.10	1.90	30.0	0.1	0.1	17.0	19.0	7.3	43.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	clay	-5.10	-5.60	0.50	17.5	0.0	0.0	14.0	14.0	2.7	44.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	sand	-5.60	-10.00	4.40	30.0	0.1	0.1	17.0	19.0	7.3	76.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	sand	-10.00	-80.00	70.00	32.5	0.1	0.1	18.0	20.0	8.2	649.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8																
9																
10																
	partiële veiligheidsfactoren (materiaal)				1.15	1.60	1.35	1.10				Σ	1.50	0.09	40.00	10.91

Afbeelding XIII.3 Grondlagen van de berekeningen met vastgepakt zand φ = 32,5°

grondlagen tussen maaiveld en invloedsniveau

laag nr.	grond-soort	b.k. laag [m+NAP]	o.k. laag [m+NAP]	dikte [m]	φ'_k [°]	c'_k [kPa]	$c_{u;k}$ [kPa]	γ_k [kN/m³]	$\gamma_{sat;k}$ [kN/m³]	γ'_d [kN/m³]	$\sigma'_{v;z;d}$ [kPa]	X	H·X	H·X·c'_d	H·X·φ'_d	H·X·γ'_d
1	sand	0.80	0.75	0.05	32.5	0.1	0.1	17.0	19.0	15.5	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	sand	0.75	0.00	0.75	32.5	0.1	0.1	17.0	19.0	7.3	6.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	sand	0.00	-3.20	3.20	32.5	0.1	0.1	17.0	19.0	7.3	29.5	0.95	1.79	0.11	51.80	13.00
4	sand	-3.20	-5.10	1.90	30.0	0.1	0.1	17.0	19.0	7.3	43.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	clay	-5.10	-5.60	0.50	17.5	0.0	0.0	14.0	14.0	2.7	44.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	sand	-5.60	-10.00	4.40	30.0	0.1	0.1	17.0	19.0	7.3	76.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	sand	-10.00	-80.00	70.00	32.5	0.1	0.1	18.0	20.0	8.2	649.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8																
9																
10																
	partiële veiligheidsfactoren (materiaal)				1.15	1.60	1.35	1.10				Σ	1.79	0.11	51.80	13.00

B = 1,09 m - φ = 30,0°

Afbeelding XIII.4 Uitgangspunten van fundering geometrie gegevens

geometrie			
type fundering			rechthoekige plaat
prefab / in-situ			in-situ
breedte	B	=	1.09 m
lengte	L	=	6.25 m

Afbeelding XIII.5 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,09 m en φ = 30°, beide UGT-GRF en -PF methode. Permanente belasting en geen verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1208.6	893.6	1.35	niet ok

B = 1,40 m - φ = 30,0°

Afbeelding XIII.6 Uitgangspunten van fundering geometrie gegevens

geometrie

type fundering			rechthoekige plaat
prefab / in-situ			in-situ
breedte	B	=	1.40 m
lengte	L	=	6.25 m

Afbeelding XIII.7 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,40 m en φ = 30°, UGT-GRF methode. Permanente belasting en C 20 3 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1546.5	1265.7	1.22	niet ok

Afbeelding XIII.8 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,40 m en φ = 30°, UGT-PF methode. Permanente belasting en C 20 3 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1430.1	1265.7	1.13	niet ok

B = 1,71 m - φ = 30,0°

Afbeelding XIII.9 Uitgangspunten van fundering geometrie gegevens

geometrie

type fundering			rechthoekige plaat
prefab / in-situ			in-situ
breedte	B	=	1.71 m
lengte	L	=	6.25 m

Afbeelding XIII.10 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,71 m en φ = 30°, UGT-GRF methode. Permanente belasting en C 20 3 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1572.8	1685.7	0.93	ok

Afbeelding XIII.11 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,71 m en φ = 30°, UGT-PF methode. Permanente belasting en C 20 7 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1667.6	1685.7	0.99	ok

B = 2,02 m - φ = 30,0°

Afbeelding XIII.12 Uitgangspunten van fundering geometrie gegevens

geometrie			
type fundering			rechthoekige plaat
prefab / in-situ			in-situ
breedte	B	=	2.02 m
lengte	L	=	6.25 m

Afbeelding XIII.13 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 2,02 m en φ = 30°, UGT-GRF methode. Permanente belasting en C 20 6 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	2042.4	2151.5	0.95	ok

Afbeelding XIII.14 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 2,02 m en φ = 30°, UGT-PF methode. Permanente belasting en C 20 10 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1968.3	2151.5	0.91	ok

B = 1,09 m - φ = 32,5°

Afbeelding XIII.4 Uitgangspunten van fundering geometrie gegevens

geometrie			
type fundering			rechthoekige plaat
prefab / in-situ			in-situ
breedte	B	=	1.09 m
lengte	L	=	6.25 m

Afbeelding XIII.15 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,09 m en φ = 32,5°, beide UGT-GRF en -PF methode. Permanente belasting en geen verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1208.6	1204.9	1.00	niet ok

B = 1,40 m - φ = 32,5°

Afbeelding XIII.16 Uitgangspunten van fundering geometrie gegevens

geometrie			
type fundering			rechthoekige plaat
prefab / in-situ			in-situ
breedte	B	=	1.40 m
lengte	L	=	6.25 m

Afbeelding XIII.17 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,40 m en φ = 32,5°, UGT-GRF methode. Permanente belasting en C 20 4 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1679.6	1717.8	0.98	ok

Afbeelding XIII.18 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,40 m en φ = 32,5°, UGT-PF methode. Permanente belasting en C 20 7 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	1641.3	1717.8	0.96	ok

B = 1,71 m - φ = 32,5°

Afbeelding XIII.19 Uitgangspunten van fundering geometrie gegevens

geometrie

type fundering			rechthoekige plaat	
prefab / in-situ			in-situ	
breedte	B	=	1.71	m
lengte	L	=	6.25	m

Afbeelding XIII.20 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,71 m en φ = 32,5°, UGT-GRF methode. Permanente belasting en C 20 7 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	2170.5	2299.9	0.94	ok

Afbeelding XIII.21 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 1,71 m en φ = 32,5°, UGT-PF methode. Permanente belasting en C 20 12 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	2128.5	2299.9	0.93	ok

B = 2,02 m - φ = 32,5°

Afbeelding XIII.22 Uitgangspunten van fundering geometrie gegevens

geometrie

type fundering			rechthoekige plaat	
prefab / in-situ			in-situ	
breedte	B	=	2.02	m
lengte	L	=	6.25	m

Afbeelding XIII.23 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 2,02 m en φ = 32,5°, UGT-GRF methode. Permanente belasting en C 20 10 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	2785.4	2940.9	0.95	ok

Afbeelding XIII.24 Verificatie fundering verticaal draagvermogen, B = 2,02 m en φ = 32,5°, UGT-PF methode. Permanente belasting en C 20 12 ton verkeersbelasting

SAMENVATTING

verificatie	situatie	verticale belasting	belasting	weerstand	unity check	check
verificatie verticaal draagvermogen	gedraineerd	ongunstig	2167.4	2940.9	0.74	ok

XIV

BIJLAGE: WERFKELDER CHOORSTRAAT[redacted] - ONDERZOEKS- EN INSPECTIERAPPORT, ANTEA GROUP, PROJECTNUMMER 0413927.128, DEFINITIEF, 9 APRIL 2021



413927.128 insp rap werfkelder choorstraa

Werfkelder Choorstraat [redacted]

Onderzoeks- en inspectierapport

projectnummer 0413927.128
definitief
9 april 2021

Understanding today.
Improving tomorrow.

Werfkelder Choorstraat [redacted]

Onderzoeks- en inspectierapport

projectnummer 0413927.128

definitief revisie 1.0
9 april 2021

Auteurs

[redacted]

Opdrachtgever

Gemeente Utrecht
Stadsplateau 1
3521 AZ UTRECHT

datum vrijgave	beschrijving revisie 1.0	goedkeuring	vrijgave
12-04-2021	definitief	[redacted]	[redacted]

Inhoudsopgave

		Blz.
1	**Inleiding**	**1**
1.1	Algemeen	1
1.2	Doel en scope van het rapport	1
1.3	Leeswijzer	1
2	**Overzicht straatkelder**	**2**
2.1	Situatie	2
3	**Uitgevoerde onderzoeken en inspecties**	**3**
3.1	Algemeen	3
3.2	Overzicht onderzoeken	3
3.3	Overzicht inspectie	3
3.4	Werkwijze	3
4	**Bepaling van de geometrie**	**5**
4.1	Algemene omschrijving van de kelder	5
4.2	Metselwerk, maatvoering en verband	6
4.3	Resultaat proefsleuven	7
4.4	Resultaten 3D-scan en tachimetrische inmeting	8
4.5	Kernboringen	10
4.6	Vaststelling geometrie	13
5	**Geconstateerde gebreken**	**14**
5.1	Geconstateerde gebreken in voorgaande onderzoeken (expertmeeting)	14
5.2	Geconstateerde gebreken	14
5.3	Analyse van de gebreken	21
6	**Conclusie**	**23**

Bijlage 1 Meetgegevens

Bijlage 2 Resultaten 3D scan

Bijlage 3 Inspectietekening

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Om een beter inzicht te krijgen in te toelaatbare belastingen op de kelders onder de openbare weg in Utrecht worden een 6-tal kelders onderworpen aan onderzoeken, inspecties en herberekeningen. Met de werkzaamheden wordt getracht een betrouwbaar beeld van de belastbaarheid van de werfkelders te krijgen. De werkzaamheden worden uitgevoerd in opdracht van de gemeente Utrecht in samenwerking met Royal HaskoningDHV en Witteveen en Bos.

Antea Group heeft de onderzoeken en inspecties georganiseerd/uitgevoerd voor de drie geselecteerde kelders ter plaatse van de Choorstraat. Voorliggend rapport betreffen de resultaten van de inspecties en onderzoeken voor de straatkelder behorende bij Choorstraat [redacted].

1.2 Doel en scope van het rapport

Het rapport vormt de basis voor de uit te voeren herberekeningen en omvat een uitgebreid overzicht van de constructieve opbouw van de kelders en de geconstateerde gebreken. Van de gebreken is bepaald of deze van invloed zijn op de constructieve sterkte. De onderzoeksresultaten zijn in het rapport beschreven en op tekening vastgelegd, welke is bijgevoegd als bijlage.

1.3 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd:
In hoofdstuk 2 is een algemene beschrijving van de constructie gegeven, waarin kort de constructie en het huidige gebruik van de kelder worden toegelicht. Hoofdstuk 3 geeft een kort overzicht van alle uitgevoerde onderzoeken en inspecties.
In hoofdstuk 4 worden vervolgens de resultaten van de onderzoeken uiteengezet. In hoofdstuk 5 worden alle aangetroffen gebreken/schaden gepresenteerd en geanalyseerd.

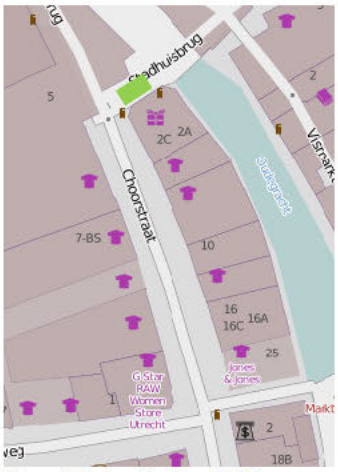
In hoofdstuk 6 wordt de conclusie gegeven. De conclusie omvat een overzicht van de constructieve opbouw en de schades welke van invloed kunnen zijn op de constructieve sterkte. Hiermee vormt hoofdstuk 6 de basis voor de constructieve herberekening.

De uitgebreide resultaten van de onderzoeken zijn toegevoegd als bijlage aan het rapport.

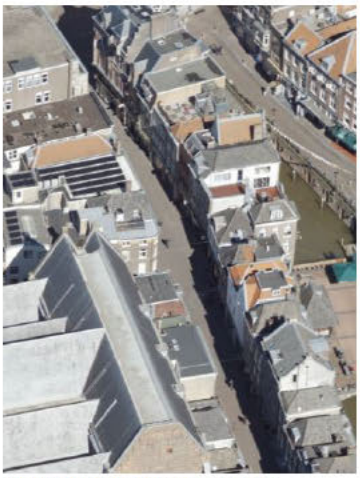
2 Overzicht straatkelder

2.1 Situatie

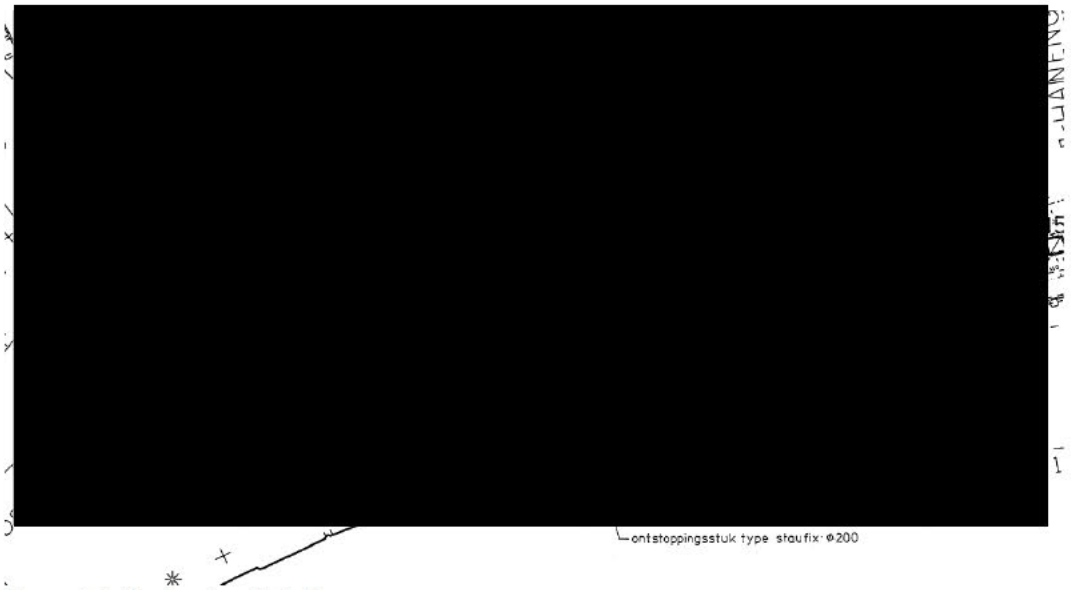
De kelder behorende bij Choorstraat[redacted] is gelegen achter de stadshuisbrug in het verlengde van de choorstaat. De bovengelegen weg betreft een winkelstraat (voetgangersgebied) in het centrum van Utrecht. Van maandag t/m zaterdag is het van 6:00 tot 11:30 uur toegestaan om te laden en lossen. Voor de straat geldt een aslastbeperking van 2.0 ton. De kelders onder de Choorstraat zijn monumentale private constructies onder de openbare weg. De te inspecteren kelder bevindt zich naast de fundatie van het pand, aansluitend op de brug.



Figuur 2-1: locatie straatkelders


Figuur 2-2: Situatie Choorstraat


Figuur 2-3: Oostzijde Kelders - Oudegracht



Figuur 4: indicatieve locatie kelder

3 Uitgevoerde onderzoeken en inspecties

3.1 Algemeen

De uitgevoerde onderzoeken, inspecties en de werkwijze hiervan worden onderstaand in grote lijnen kort herhaald. Voor een volledige beschrijving wordt verwezen naar het opgestelde onderzoeksplan: “Herberekening werfkelders Choorstraat te Utrecht, inspectie en onderzoeksplan”, d.d. 17-02-2021, definitief/2.0.

3.2 Overzicht onderzoeken

De onderstaande onderzoeken zijn uitgevoerd voor de kelder behorende bij Choorstraat [redacted].

- Visuele bepaling gronddekking en verharding op de kelders;
- Inmeting geometrie buitenzijde kelders d.m.v. een tachymetrische inmeting;
- Nemen van kernboringen t.b.v. het bepalen van de dikte van de toog en afwerklagen;
- 3D-laserscan voor de bepaling van de contouren van de binnenzijde van de werfkelders;
- Uitvoeren van een lintvoegmeting

3.3 Overzicht inspectie

Er is een visuele inspectie uitgevoerd conform de CUR-aanbeveling 117:2015 (B2). Waarbij bovenstaande onderzoeken ter aanvulling zijn uitgevoerd om meer inzicht in de constructieopbouw en de staat van het metselwerk te krijgen. Onderstaand is de werkwijze, het onderzoeksmoment en de afwijkingen ten opzichte van het inspectieplan beschreven.

3.4 Werkwijze

De inspecties zijn uitgevoerd door een inspectieteam bestaande uit een inspecteur van Antea Group en een constructeur van Witteveen en Bos. De onderzoeken zijn in onderaanneming uitgevoerd.

De kelder behorende bij Choorstraat [redacted] is toegankelijk via de bijbehorende winkel in Choorstraat. Achter een deur in de opslagruimte is een sparing in de vloer aanwezig, die toegang bied tot de kelder onder het pand. Vanuit de kelder onder het pand is een doorgang aanwezig naar de te inspecteren kelder.

3.4.1 Onderzoekmoment en omstandigheden:

De onderzoeken en inspecties zijn op de volgende momenten in 2021 uitgevoerd:

Graven proefsleuven:	1&2 maart	Gebr. De Leeuw
Inmeten bovenzijde en binnenzijde kelder	2 maart	VWB Geogroep
Uitvoeren kernboringen	2 maart	[redacted]
Inspectie	2 maart	[redacted] (inspecteur Antea Group)
		[redacted] (constructeur Witteveen& Bos)

Het weerbeeld tijdens de onderzoeksdagen was droog en 6^{o}C. In de twee weken voorafgaand aan de onderzoeksperiode is geen neerslag gevallen.

3.4.2 Afwijkingen t.o.v. inspectieplan

Bij het uitvoeren van de inspecties en onderzoeken is rekening gehouden met het feit dat de onderzoeken plaatsvonden in monumentale private eigendommen. De mogelijkheid tot destructief onderzoek was daarom beperkt. Hierdoor hebben een aantal onderzoeken niet of slechts beperkt plaats kunnen vinden. Onderdelen van de inspectie of onderzoeken waarbij is afgeweken van het overeengekomen plan zijn onderstaand gegeven.

- In de kelderwanden zijn geen boringen verricht om de wanddikte te bepalen;
- Er is geen stucwerk verwijderd om het type en afmetingen van de steen of het metselverband te bepalen.

Naast de bovengenoemde afwijkingen zijn er geen ladders en/of steigers ingezet om de gehele onderzijde van het gewelf onder handbereik te inspecteren. De wanden en boog zijn tot circa 2 m hoogte afgeklopt. De resultaten hiervan zijn geïnterpreteerd op het visuele beeld van het oppervlak van de boog dat buiten handbereik is. Er zijn binnen handbereik geen holle ruimtes aangetroffen in het metselwerk, die aanleiding geven voor het afkloppen van de gehele onderzijde van de boog.

4 Bepaling van de geometrie

De ontbrekende informatie m.b.t. de geometrie is zo veel mogelijk achterhaald met behulp van onderzoeken. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de uitgevoerde onderzoeken uiteengezet. Het hoofdstuk resulteert in een eenduidige omschrijving van de constructie opbouw. Alvorens in te gaan op de onderzoeken wordt eerst een algemene omschrijving van de kelder gegeven.

4.1 Algemene omschrijving van de kelder

De kelder is in lengterichting opgebouwd uit twee verschillende gewelven. Het gewelf aan de grachtzijde is langer, breder en hoger dan het gewelf aan de achterzijde. De vloer in de kelder loopt omhoog vanaf de gracht. Bij beide gewelven begint de boog op dezelfde hoogte ten opzichte van de referentiehoogte. Door het aanwezige spachtelwerk op het metselwerk is de aansluiting in het metselwerk tussen beide bogen niet zichtbaar. Het spachtelwerk loopt, zonder visuele afwijking, volledig door over de aansluiting.



Figuur 5 Overzichtsfoto binnenzijde kelder

Bereikbaarheid kelder

De kelder behorende bij Choorstraat [redacted] is toegankelijk via de bijbehorende winkel in de Choorstraat. Onder de winkel is de opslag. In de opslag is een deur aanwezig, waarachter een gat in de vloer is. In dit gat staat een losse ladder naar beneden naar kruipruimte/kelder onder de winkel. In de westelijke wand van de kuipruimte is een doorgang naar de te onderzoeken kelder. De kelder is ook toegankelijk vanaf het water via een deur welke zich onder de brug bevindt. De sleutel van het slot in de deur is niet beschikbaar. Omdat er geen tweede vluchtweg is, is de te onderzoeken kelder aangeduid als een besloten ruimte. Hierdoor is er tijdens de inspecties aanvullend gebruik gemaakt van een verantwoordelijke (mangatwacht) die in geval van een calamiteit alarm kon slaan.

4.2 Metselwerk, maatvoering en verband

Het metselwerk van de beide gewelven is nagenoeg geheel voorzien van spachtelwerk, van enkele millimeters tot enkele centimeters dik, waardoor de stenen zelf niet goed zichtbaar zijn. De voegen tekenen zich wel af in het spachtelwerk.



Figuur 6 Aanzicht wanden achterste gewelf



Figuur 7 Aanzicht oppervlakte structuur

Op de westelijke wand van het gewelf aan de grachtzijde is het spachtelwerk dermate minimaal dat stenen ingemeten konden worden en een lintvoegwaterpassing mogelijk was. De meting is in bijlage 1 weergegeven en de locatie van de lintvoegmeting is in bijlage 2 weergegeven. In Tabel 1 en Tabel 2 is een samenvatting van de metingen gepresenteerd.

Tabel 1 Afmeting en verband metselwerk gewelf grachtzijde

Locatie	bouwdeel	verband	maatvoering
Gewelf grachtzijde	Westelijke wand	Staand	Gem. lengte 210 mm[1] Gem. hoogte 53 mm[1]
	Lintvoegwaterpassing	Over 2,64 m[1] is de lintvoeg aan de grachtzijde 2,75 mm[1] lager (ca. 1 mm[1]/m[1])	
	Oostelijke wand	Staand	Gem. lengte 210 mm[1] Gem. breedte 100 mm[1] Gem. hoogte 53 mm[1]
	Wand grachtzijde	Niet zichtbaar	Niet meetbaar
	Boog	Halfsteens	Niet meetbaar
	Vloer	Halfsteens	Gem. lengte 212 mm[1] Gem. hoogte 102 mm[1]

Tabel 2 Afmeting en verband metselwerk achterste gewelf

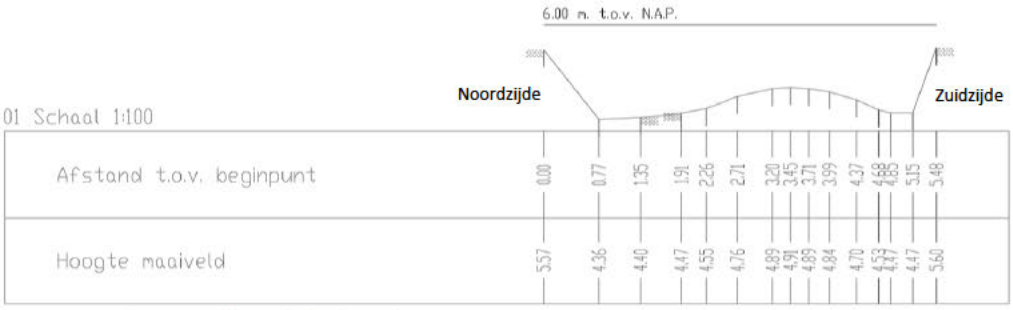
Locatie	bouwdeel	verband	maatvoering
Gewelf achterzijde	Westelijke wand	Niet zichtbaar	Niet meetbaar
	Oostelijke wand	Niet zichtbaar	Niet meetbaar
	Wand achterzijde	Niet zichtbaar	Niet meetbaar
	Boog	Niet zichtbaar	Niet meetbaar
	Vloer	Halfsteens	Gelijk aan voorste gewelf

Op basis van de steenafmetingen lijkt het gewelf uit één steenmaat te zijn opgebouwd. De standaardafwijking in de metingen is tussen de 1 tot 3 mm[1]. De stenen in de vloer zijn in dit geval plat gelegd.

Zowel de stenen, de voegen als het spachtelwerk hebben een hard oppervlak.

4.3 Resultaat proefsleuven

Met het graven van de proefsleuf is inzicht verkregen in de opbouw van het wegcunet en de vorm van de bovenzijde van de kelder. De bovenzijde van de kelder is ook tachimetrisch ingemeten, hoogtematen vanuit deze meting zijn overgenomen in Tabel 3. De resultaten van de inmeting zijn in de volgende paragraaf uiteengezet.



Figuur 8: Resultaten tachimetrische inmeting

Tabel 3 Opbouw van het cunet boven het gewelf

Opbouw	hoogte	dikted	Opmerking
Bovenkant bestrating	ca. 5,6 m + m[1] NAP		
Straatstenen		0,10 m[1]	
Bovenzijde gewelf	4,47 + m[1] NAP	1,03 m[1]	Westelijke wand
	4,91 + m[1] NAP	0,59 m[1]	Top boog
	4,47 + m[1] NAP	1,03 m[1]	Oostelijke wand,
Gronddicht doek	0		Niet aanwezig
Grond	0		Niet aanwezig

Het metselwerk van het gewelf is minimaal 69 cm[1] beneden het bestratingsoppervlak gelegen. Er is 59 tot 93 cm[1] zand aanwezig tussen de bestrating en het gewelf.

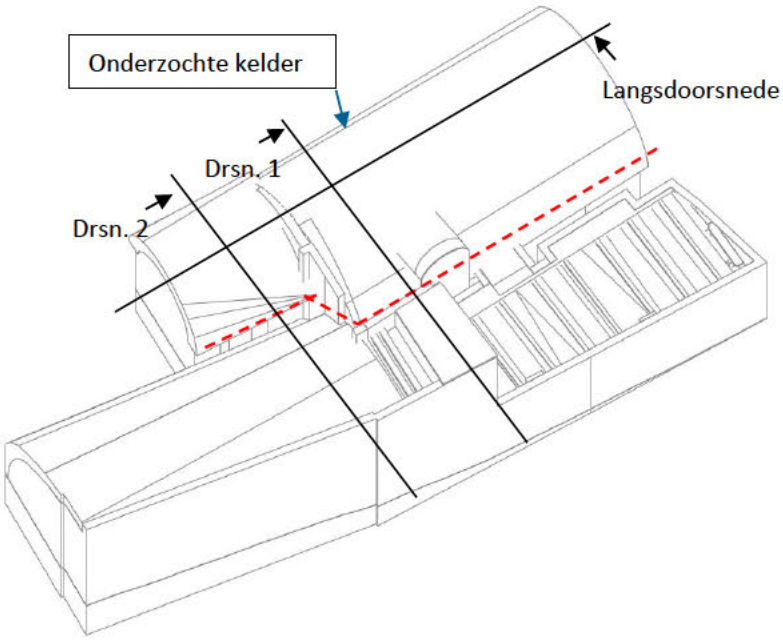


Figuur 9 Bovenaanzicht gewelf

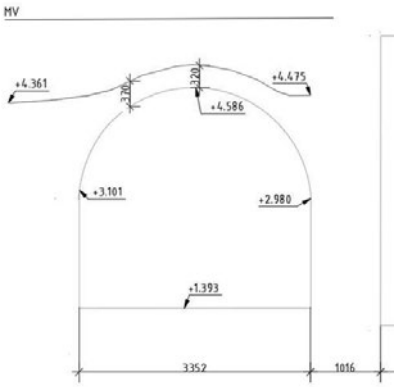
De dikte van de wanden is aan de buitenzijde wel/niet afleidbaar van de vorm van het gewelf.

4.4 Resultaten 3D-scan en tachimetrische inmeting

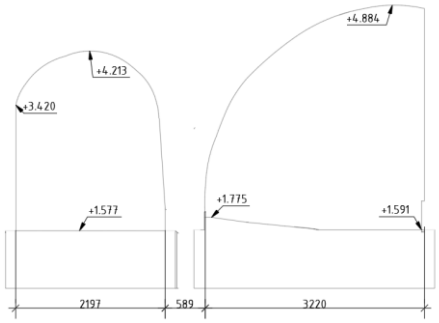
In bijlage 2 zijn de resultaten van de 3D-scan en tachimetrische inmeting samengevoegd tot een model. Vanuit dit model is de hoofdmaatvoering van de gewelven bepaald, welke in onderstaande figuren zijn gepresenteerd. De kelder behorende bij Choorstraat 2/4 is gekoppeld aan de kelder onder het pand. Voor de exacte geometrie wordt verwezen naar de tekening welke is bijgevoegd als bijlage 2.



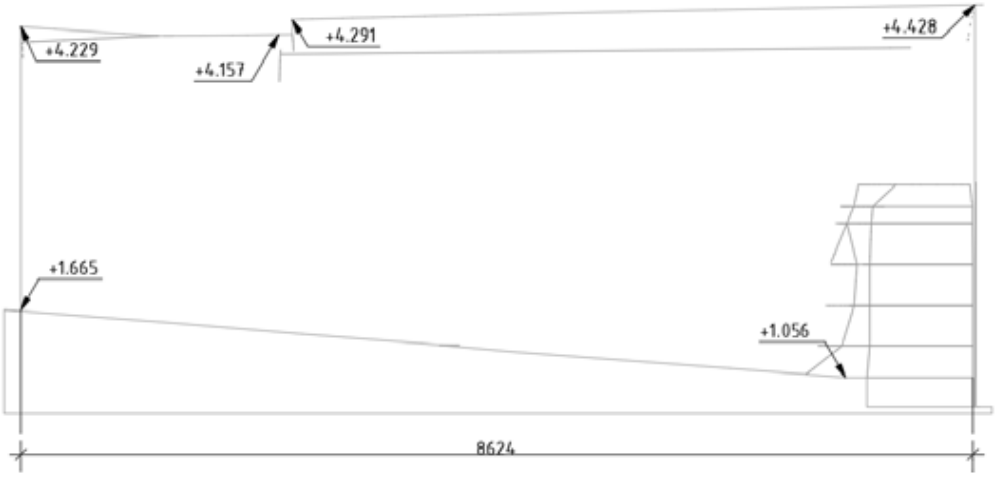
Figuur 10: 3D impressie kelder incl. werkgrens



Figuur 11 Doorsnede 1 gewelf grachtzijde



Figuur 12 Doorsnede 2 gewelf achterzijde (linker deel is scope, rechterdeel buiten scope)



Figuur 13 Langsdoorsnede 3 gewelf (gracht aan rechterzijde)

Uit het 3D-model in combinatie met de tachimetrische inmeting aan de bovenzijde zijn de volgende gegevens te destilleren:

- De geïnspecteerde lengte van de kelder is circa 8,6 m[1];
- De keldervloer loopt af richting de gracht, het hoogteverschil op vloerniveau 61 cm[1];
- Het verloop van de top van de boog is voor beide gewelven verschillend. Ter plaatse van de aansluiting is het laagste punt. In het achterste gewelf is het verschil in hoogte van de top van de boog 7 cm[1], in het gewelf aan grachtzijde 13 cm[1];
- De totale hoogte van het gewelf neemt af met de diepte van het gewelf. Aan grachtzijde is de interne hoogte 3,38 m[1], ter plaatse van de overgang 2,64 m[1] en tegen de achterwand 2,56 m[1];
- De dagmaat van het gewelf aan grachtzijde is 3,35 m[1] en aan de achterzijde 2,20 m[1];
- De beide bogen zijn symmetrisch, het hart van de bogen ligt niet in elkaars verlengde;
- De dikte van de top van de boog aan grachtzijde is 32 cm[1];

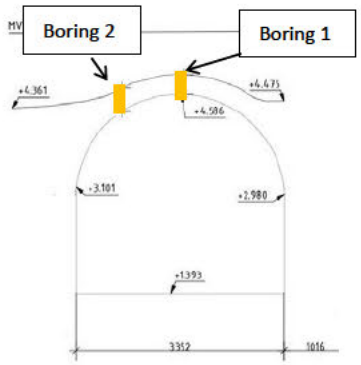
- De dikte van de westelijke wand kan niet worden bepaald uit een combinatie van het dwarsprofiel en het 3D model. Waarschijnlijk is er naast de kelder nog een kelder gelegen, waardoor er niet tot het einde van de constructie ontgraven kon worden.
- De wanddikte van de oostelijke wand van het gewelf aan grachtzijde is verschillend aan weerszijde van de toegang tot de kelder. Aan grachtzijde van de toegang is de wand 1,3 m^1 dik, inclusief de verdikking aan het begin en einde. De verdikking is over de volledige hoogte 0,3m^1. De wanddikte tussen de verdikking is 1,0m^1. De wanddikte aan de andere zijde van de toegang is 0,67 cm^1 dik. Ook deze wand heeft richting de achterzijde een verdikking van 0,3 m1 over de volledige hoogte.
  In de toegang van de kelder is in beide wanden geen verticale scheidslijn zichtbaar, de oostelijke wand lijkt uit één geheel te bestaan, de wand draagt het gewelf en de vloer van het pand;
- Van het achterste gewelf is de westelijke wanddikte niet bepaald.

Verder blijkt uit het model en de inmeting dat de volledige kelder onder de openbare weg ligt.

4.5 Kernboringen

Met behulp van de kernboringen is de dikte van de boogconstructie bepaald. In het gewelf zijn drie boringen gemaakt. Er is een boring in de top van de constructie gemaakt. De andere boring is ca. 1 m^1 uit de top genomen.

De locatie van de boringen is in de onderstaande afbeelding indicatief aangegeven.



Figuur 14 Locatie kernboringen

Tabel 4 Omschrijving van de kernboringen

Boring	Boring 1	Boring 2
Locatie	Gewelf grachtzijde: Top van de boog	Gewelf grachtzijde: 1 m[1] ten westen uit de top van de boog
Lengte boorgat (dikte constructie)	32 cm[1]	37 cm[1]
Diameter	Ø 35 mm[1]	Ø 35 mm[1]
Omschrijving	De kern is in 3 delen gebroken. De breuk is aanwezig in de voeg en in de steen. Het onderste deel van de kern ontbreekt.	De kern is in 3 delen gebroken. De breuk is aanwezig in de voeg en in de steen.
Dikte spachtellaag buitenzijde	0,5 cm[1] Op de spachtellaag is een bitumineus membraan van enkele millimeters dikte aanwezig	0,5 cm[1] Op de spachtellaag is een bitumineus membraan van 0,5 cm[1]dikte aanwezig
Totale dikte metselwerk in kern	22 cm[1] Er ontbreekt een deel van het metselwerk	35 cm[1]
Dikte spachtellaag binnenzijde	Er ontbreekt een deel van de kern	De spachtellaag is van de kern afgebroken tijdens het uithalen, de dikte is ingeschat op enkele millimeters.
Foto	 *Figuur 15 Kern ter plaatse van top boog*	 *Figuur 16 Kern op 1 meter uit top van de boog*

De breuk van de kernen lijkt een logisch gevolg te zijn van de lengte-diameter verhouding van de kernboring. Tijdens het boren ontstaat wrijving tussen de kern en boor, waardoor de kern wil roteren/torderen. De geringe doorsnede van de kern kan deze krachten niet opnemen, met breuk tot gevolg. De schone breukvlakken duiden eveneens op breuk tijdens boren. Het boorgat is te klein om te kunnen inspecteren op scheuren.

Vanuit de kernboringen is een verloop in dikte zichtbaar. In beide kernboringen zijn staande en liggende stenen aangetroffen. De opbouw in de kernen is spiegelbeeldig aan elkaar, dit als gevolg van het metselverband. Uit beide boringen blijkt een dikte van anderhalfsteens metselwerk. In het constructieoppervlak zijn ter plaatse van de kernboringen geen verschillen ten opzichte van elkaar geconstateerd. De sterke ronding in de boog in combinatie met de zuiver verticale boring verklaart het verschil in lengte van het boorgat. Samengevat is de dikte van het metselwerk in de boog 32 cm[1].



Figuur 17 Principe profiel boorkern

In het algemeen kan gesteld worden dat de gemetselde boog is afgewerkt met dunne laag mortel, welke is afgedekt met een membraan. Het zandcunet is op het membraan aangebracht.

4.6 Vaststelling geometrie

De kelder is opgebouwd uit 2 gewelven, die in elkaars verlengde liggen. In onderstaande tabel zijn de geometrische gegevens vermeld.

Tabel 5 Samenvatting geometrie

Onderdeel	Voldoende gegevens	Opmerking
Overspanning(en) (dagmaat)	Ja	Gewelf grachtzijde 3,35 m¹ Gewelf achterzijde 2,2 m¹
Hoogte toog/togen	Ja	De hoogte varieert: Gewelf aan de grachtzijde verlopend van 3,38 m¹ naar 2,82 m¹ Gewelf aan de grachtzijde ter plaatse van sparing vloer 3,62 m¹ Achterste gewelf verlopend van 2,72m¹ naar 2,57 m¹
(Verloop) dikte toog /togen	Deels	Doormiddel van een boring is de dikte van de boog van het grote gewelf vastgesteld op 0,32 m¹, anderhalfsteens dikte De dikte van het boog van het kleine gewelf is onbekend.
Aantal togen achter elkaar (wel/niet gekoppeld)	Nee	De koppeling aan de westzijde is onbekend. De koppeling aan de oostzijde wordt weergegeven in het 3D model.
Dikte wanden	Ja	De dikte van de wand tussen de kelder onder de Choorstraat en het pand is (hierbij is er niet met zekerheid vast te stellen dat het om een massieve wand gaat): • Gewelf grachtzijde, westelijke wand onbekend • Gewelf grachtzijde, oostelijke wand, grachtzijde 0,69 m¹ • Gewelf grachtzijde, oostelijke wand, achterzijde onbekend • Gewelf achterzijde, westelijke wand, achterzijde 0,59 m¹ • Gewelf achterzijde, oostelijke wand, achterzijde onbekend
Opbouw en dikte keldervloer	Nee	Onbekend
Gronddekking (opbouw en incl. bestrating)	Ja	Op de top van de boog is een zandpakket aanwezig van 59 cm¹ dik, exclusief straatwerk)
Fundatieniveau en -Type (op staal of palen)	Nee	Is onbekend, geen onderzoek naar verricht.
Aanwezigheid/afmetingen steunberen (wanden binnenzijde werfkelder)	Deels inzichtelijk	Ter plaatse van de overgang tussen het gewelf aan grachtzijde en de achterzijde is een wand in dwarsrichting aanwezig. De dikte va de wand is onbekend. In de oostelijke wand van het gewelf aan grachtzijde zijn een drietal verdikkingen aanwezig van 0,3m1 diep. De diepte van de verdikking is over de volledige hoogte gelijk, de breedte is sterk verschillend.
Aansluitingen met en geometrie van belendende objecten of onderdelen daarvan	Nee	Onbekend

5 Geconstateerde gebreken

In dit hoofdstuk zijn de aangetroffen gebreken verwoord. Als eerste zijn de gebreken uit de expertmeeting benoemd en vervolgens de gebreken die tijdens de inspectie zijn aangetroffen. Tot slot is een analyse opgesteld naar de oorzaak en de constructieve gevolgen van de gebreken.

5.1 Geconstateerde gebreken in voorgaande onderzoeken (expertmeeting)

In een eerder stadium zijn al inspecties uitgevoerd aan de kelders. Vooruitlopend op voorliggend onderzoek is een expert-beoordeling op locatie geweest, gerapporteerd in: “Spoor 2 – Voorlopige Expertbeoordeling”, d.d. 08-01-2021, definitief/1.0. De expert-beoordeling heeft geleid tot aandachtspunten met betrekking tot aanwezige gebreken die de potentiële sterkte van de kelder significant verminderen voor de belastbaarheid door verkeer. Voor de kelder aansluitend op Choorstraat [redacted] is het volgende geconstateerd door de experts:

- In het gewelf is een lange scheur in de overspanningsrichting aanwezig. De scheur verhindert belastingspreiding in de breedterichting, wat direct effect heeft op de draagcapaciteit van de kelder voor verkeer.

5.2 Geconstateerde gebreken

In de kelder zijn de volgende gebreken geconstateerd:

1. Scheur in boog gewelf
2. Scheuren in aansluiting tussen 2 gewelven 3 4
3. Scheur in de vloer 8
4. Horizontale scheur in oostelijke wand 1 7
5. Scheuren in kelderwand aan grachtzijde5
6. Holklinkend metselwerk in aansluiting tussen gewelven
7. Holklinkende spachtelwerk in westelijke wand 6

De gebreken zijn in bijlage 3 weergegeven op tekening en onderstaand beschreven.

5.2.1 Scheur in boog gewelf (1)

Ten oosten van de top van de boog in het grote gewelf is een scheur in lengterichting van het gewelf aanwezig. De scheur start ter hoogte van de doorgang in de oostelijke wand, loopt door de nis en vervolgt op halve hoogte van het gewelf tot aan de aansluitende wand naar het kleinere gewelf. De totale lengte is 7 m^1. De scheur was niet onder handbereik, de scheurwijdte is niet gemeten en ingeschat op kleiner dan 1 mm. De scheur volgt de aftekening van het voegwerk in de spachtelwerk. De scheur is niet zichtbaar in de wand ter plaatse met de aansluiting op het kleiner gewelf.
Er is geen verschuiving van de scheurranden of vochtdoorslag geconstateerd.

Dit betreft de scheur, die genoemd is in 5.1.



Figuur 18 Scheur in gewelf



Figuur 19 Scheur loopt door in nis



Figuur 20 Scheur loopt na nis door in de boog

5.2.2 Scheuren in aansluiting tussen 2 gewelven (2)

In de aansluiting van het achterste gewelf op het gewelf aan grachtzijde zijn twee verticale scheuren aanwezig. De totale scheurlengte bedraagt 12 m^1.

Oostelijke aansluiting
De scheur aan de oostelijke aansluiting van de gewelven is verticaal en niet vertakt. De scheur loopt vanaf 60 cm^1 boven de vloer tot halververwege de hoogte van de boog van het gewelf aan grachtzijde. Op deze hoogte “verdwijnt” de scheur om de hoek in de aansluitende wand tussen de beide gewelven. De scheurwijdte neemt toe met de hoogte vanaf de vloer. Op 1,7 m^1 vanaf de vloer is de scheurwijdte 2,0mm^1. Door de aanwezige spachtelwerk is niet zichtbaar of de scheur door de stenen gaat. Er is geen verschuiving van de scheurranden of vochtdoorslag geconstateerd.



Figuur 21 Aanzicht oostelijke aansluiting



Figuur 22 Detail scheur in oostelijke aansluiting

Westelijke aansluiting

In de westelijke aansluiting is in basis een verticale scheur aanwezig. Op vanaf 1,15m[1] boven de vloer komen twee scheuren vanaf de vloer samen tot één verticale scheur. De scheurwijdte op dit punt is 2,0 mm[1]. De verticale scheur gaat naar boven door tot in de top van de boog van het achterste gewelf. Vanaf dat punt loopt de scheur horizontaal in de wand richting de oostzijde van de kelder. In het horizontale deel verkleint de scheurwijdte naar 0 mm[1]. Ter plaatse van ontbrekend spachtelwerk is zichtbaar dat de scheur door de stenen loopt.
In de aansluiting is aan weerszijden van de scheur veel kalkafzetting aanwezig, wat duidt op vochttransport door de scheur. Tijdens de inspectie was het oppervlak droog.
De twee scheuren onder de 1,15 m[1] boven de vloer zijn een diagonale scheur vanuit de wand van het achterste gewelf en een horizontale scheur vanuit de wand van het gewelf aan grachtzijde.

De diagonale scheur vanuit het achterste gewelf eindigt op 35 cm[1] boven de vloer en bestaat uit meerdere parallelle scheuren met een beperkte scheurwijdte. Het spachtelwerk is over de gehele scheurlengte aanwezig, ter plaatse van de ruimere scheurwijdtes is zichtbaar dat de scheuren ook door het achterliggende metselwerk gaat.

De horizontale scheur in wand van het gewelf aan grachtzijde buigt op 65 cm[1] van het beginpunt diagonaal af richting de vloer. De scheurwijdte in het diagonale deel is 3 mm[1]. Vanaf 40 cm[1] boven de vloer loopt de scheur verticaal tot een centimeter boven de aansluiting met de vloer. De scheurwijdte van het verticale deel is kleiner dan 0,1 mm[1]. Vervolgens gaat de scheur een centimeter boven de aansluiting met de vloer horizontaal over 1,55 m[1] richting de gracht, de scheurwijdte is 2 mm[1]. Op 40 cm[1] voor het einde sluit de scheur vanuit de vloer haaks aan op deze scheur, waarna de scheurwijdte in de wand zich vernauwt naar 0 mm[1].
Ter plaatse van het horizontale deel van de scheur tussen de aansluiting met de scheur uit de vloer en het verticale deel is het metselwerk aan de bovenzijde van de scheur 2 mm[1] naar voren afgeschoven. Op andere locaties langs de scheur is geen verschuiving van de scheurranden geconstateerd. Ook is geen vochtdoorslag ter plaatse van de scheur geconstateerd.



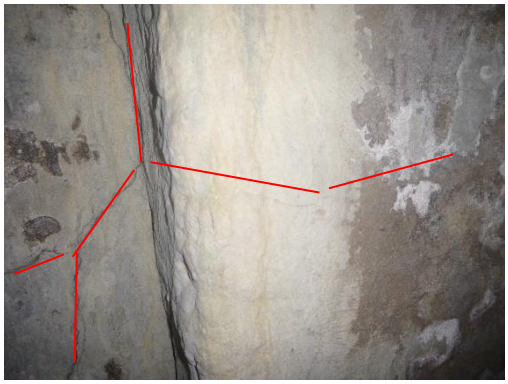
Figuur 23Aanzicht westelijke aansluiting



Figuur 24 Overzicht samenkomst scheuren in aansluiting



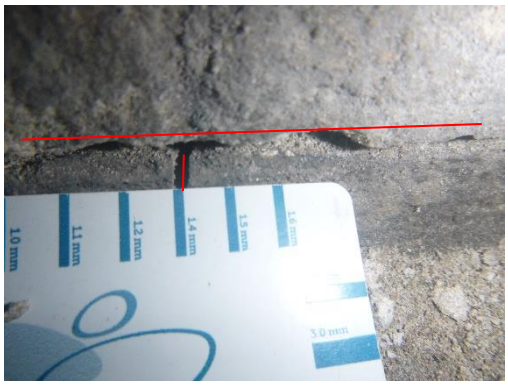
Figuur 25 aanzicht overgang kleiner gewelf naar groter gewelf



Figuur 26 Detail samenkomst scheuren in aansluiting



Figuur 27 Aansluiting scheur vanuit wand naar vloer



Figuur 28 Detail scheur in wand boven de vloer

5.2.3 Scheur in vloer (3)

In de vloer van het gewelf aan grachtzijde is aan de westzijde ter hoogte van de nis in de oostelijke wand een scheur in dwarsrichting van de kelder aanwezig. De scheurlengte is 2,06 m^1. De scheur sluit haaks aan op de scheur in de westelijke wand. De scheur loopt volledig door het voegwerk van de vloer en aan het einde vertrapt de scheur over één steenlengte richting de achterzijde van de kelder. De scheurwijdte ter plaatse van de westelijke wand is 1,5 mm^1, de scheurwijdte vernauwd geleidelijk over de volledige lengte tot 0 mm^1 aan de oostzijde. Er is geen verschuiving van de scheurranden of vochtdoorslag geconstateerd.



Figuur 29 Overzicht scheur in vloer



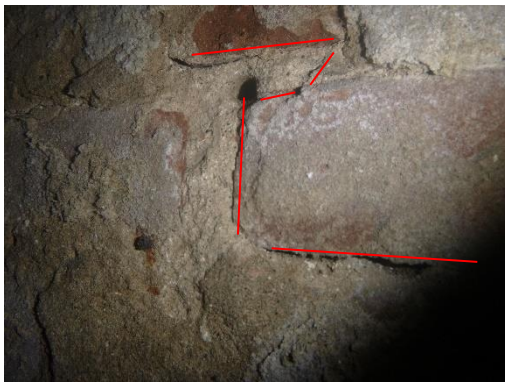
Figuur 30 Detail scheur in vloer

5.2.4 Horizontale scheur in oostelijke wand (4)

In de oostelijke wand is een horizontale scheur aanwezig over nagenoeg de volledige lengte. De scheur bevindt zich in de verticale wand, vlak onder de start van de boog. De scheur verspringt enigszins over 2 strekse lagen en loopt door het voegwerk. De scheurwijdte is variabel, op 25 cm^1 aan de grachtzijde van de toegang tot de kelder is de scheurwijdte 1,0 mm^1, op 2,0 m^1 uit de toegang 0,6 tot 0,8 mm^1. De scheur loopt niet door in de wand langs de gracht en is eveneens niet zichtbaar in de aansluiting met deze wand. De scheurlengte is 3 m^1 aan de grachtzijde van de toegang tot de kelder.
Aan de ander zijde van de toegang tot de kelder tekent de scheur zich minder duidelijk af. Op gelijke hoogte is in het hart van de wand is de scheur over 90 cm^1 zichtbaar met een scheurwijdte van 0,1 mm1.
Er is geen verschuiving van de scheurranden of vochtdoorslag geconstateerd.



Figuur 31 Horizontale scheur in oostelijke wand, aan de grachtzijde



Figuur 32 Detail van het verloop van de scheur in 2 strekse lagen

5.2.5 Scheuren in keldergevel (grachtzijde) (5)

In de gevel van de kelder langs de gracht is een diagonale scheur aanwezig, die van halverwege de oostzijde van het gewelf diagonaal naar beneden gaat. Op 2,54 m^1 boven de vloer splitst de scheur zich naar beide hoeken van het kozijn van de deur. Beide scheuren bestaan uit meerdere fijne scheuren, die regelmatig samen komen tot 1 scheur met grotere scheurwijdte. De scheuren bevonden zich niet onder handbereik, de scheurwijdte is niet gemeten. De totale scheurlengte is 4 m^1, waarbij de fijne scheuren eenmalig zijn meegeteld, als zijnde 1 scheur met grote scheurwijdte.
De scheuren gaan door het voegwerk en de door de stenen. Rondom de deur is nieuwer metselwerk aanwezig, dat de ruimte tussen de ouder rollaag en het deurkozijn opvult. Het nieuwe metselwerk is eveneens gescheurd.
Boven de linkerzijde van het kozijn, is het oppervlak sterk aangetast, het oppervlak is rondom de scheuren tot enkele centimeters diepte weg, de scheurranden zijn zeer grof en er vindt verschuiving van de scheurranden plaats tot 10 mm^1.
Er is geen vochtdoorslag geconstateerd.



Figuur 33 Overzicht gevel grachtzijde



Figuur 34 Detail scheur aan oostzijde



Figuur 35 Detail scheur links boven het kozijn met zeer grove scheurranden en afschuiving



Figuur 36 detail "nieuwer" metselwerk incl scheur

5.2.6 Holklinkend metselwerk in aansluiting gewelven (6)

Ter plaatse van de aansluiting van het achterste gewelf op het gewelf aan de grachtzijde is een wand aanwezig haaks in de kelder. Het achterste gewelf vormt als het ware een sparing in de westzijde van de wand. De wand is volledig voorzien van spachtelwerk. In het spachtelwerk is fijnmazige patroon van enkele scheuren met een scheurwijdte van kleiner dan 0,1 mm1 zichtbaar. Ter plaatse van dit scheurpatroon klinkt het oppervlak hol.

Opvallend is de vorm van de holklinkende ruimte. Aan de westzijde start de holklinkende ruimte ter plaatse van de “oostelijke scheur van gebrek 2”. Deze scheur “verdwijnt” in het oppervlak van de wand. Aan de oostzijde start de holle ruimte aan de bovenzijde van de wand, ter plaatse van de aansluiting op de scheur van gebrek 1. Ten oosten/beneden de denkbeeldige diagonale lijn klinkt het oppervlak over een breedte variërend van 1 tot 2 m^1 hol. Het totale holklinkend oppervlak is 1,75 m^2.



Figuur 37 Aanzicht holklinkende ruimte



Figuur 38 Zijaanzicht holklinkende ruimte met oostelijke scheur van gebrek 2

5.2.7 Holklinkende spachtelwerk in westelijke wand (7)

In de aansluiting van de westelijke wand op de gevel langs de gracht is het spachtelwerk hol over 5 m^1 breedte en 2,5 m^1 hoogte, totaal 12,5 m^2. Het oppervlak oogt donkerder dan het overige spachtelwerk, wat kan duiden op vocht. Het oppervlak voelt niet vochtig aan en in het oppervlak zijn geen scheuren aanwezig.



Figuur 39 Hol klinkend spachtelwerk

5.3 Analyse van de gebreken

De gebreken 1, 2, 3, 4 en 6 hebben een relatie met elkaar. De scheuren in de aansluiting (gebrek 2) tussen de gewelven hebben aan de bovenzijde een grotere scheurwijdte dan onderin en ten oosten van deze aansluiting wordt de buitenste laag metselwerk afgedrukt (gebrek 6). Uiteindelijk leidt de verplaatsing aan de westelijke wand tot een scheur in dwarsrichting van de vloer met een toenemende scheurwijdte aan de westzijde (gebrek 3). Deze gebreken duiden op dat het grote gewelf scheef richting de grachtzijde van de woning is verzakt.

De kelder wordt aan de oostzijde verhinderd door de aanwezigheid van een kelder onder het gebouw. De kelder onder het gebouw fixeert de oostelijke wand, wat tot de scheur in

lengterichting van de oostelijke wand en in de boog van het gewelf heeft geleid (gebrek 1 en 4). De toename van scheurwijdte aan de grachtzijde past binnen het beeld van een ongelijke verzakking.

Aan de grachtzijde wordt de gevel eveneens gefixeerd door de aanwezigheid van een gewelfbrug. In de aansluiting tussen de gevel en de westelijke wand is vermoedelijke een steunbeer van de brug zichtbaar. Dit massieve element verhindert de vervorming in het gewelf, wat leidt tot scheurvorming in de gevel en de afschuiving boven het kozijn (gebrek 5).

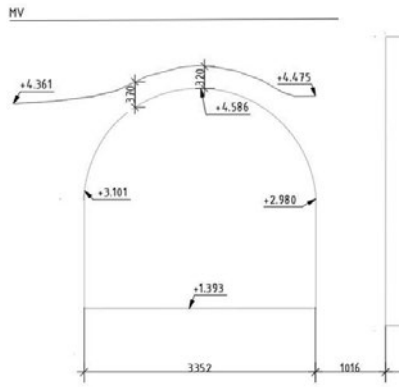
De oorzaak van gebrek 7, de donkerdere kleur van het spachtelwerk kan een gevolg zijn van extra vochtaanbod vanaf de brug. De brug is een gemetseld gewelf, waarover een wegcunet aanwezig is met elementenverharding.

Samengevat zijn in de gewelven de volgende gebreken aanwezig die van invloed kunnen zijn op de constructieve eigenschappen van de gewelven:

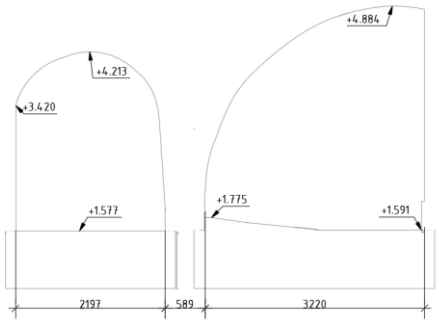
- De scheur in langs richting van de boog van het gewelf aan grachtzijde (1);
- De horizontale scheur in de oostelijke wand (4);
- De scheur in de overgang van beide gewelven (2).

6 Conclusie

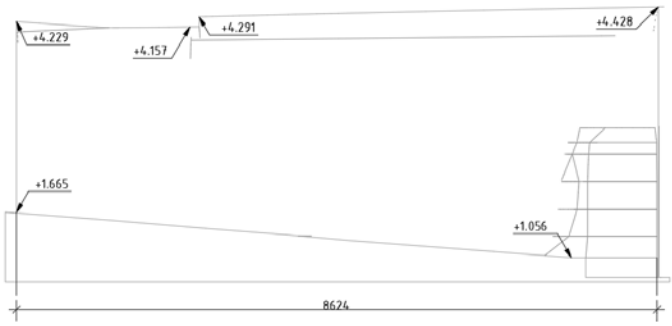
De kelder bestaat uit twee gewelven in elkaars verlengde. Aan de zijde van de gracht is een groter gewelf aanwezig, aan de achterzijde een kleiner gewelf. De constructieve vorm, -dikte de opbouw van het grondlichaam op het grote gewelf aan grachtzijde zijn bekend, behoudens de westelijke wanddikte. De constructiediktes van het achterste gewelf zijn niet bekend. De doorsneden zijn in onderstaande figuren weergegeven.



Figuur 40 doorsnede gewelf grachtzijde



Figuur 41 Doorsnede gewelf achterzijde (linker deel is scope, rechterdeel buiten scope)



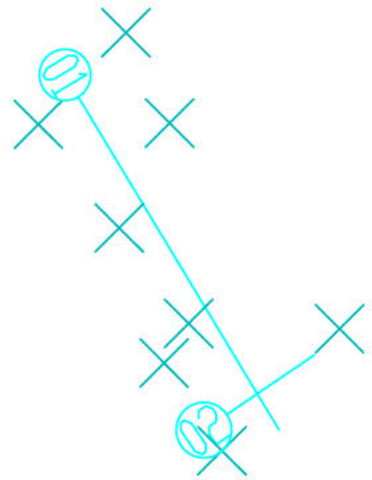
Figuur 42 Langsdoorsnede gewelf (gracht aan rechterzijde)

In deze kelder zijn de volgende gebreken aanwezig die van invloed kunnen zijn op de constructieve eigenschappen van het gewelf:

- scheur in top boog langsrichting gewelf (1);
- scheur in de oostelijke wand (4);
- scheur in aansluiting van de gewelven (2).

Geadviseerd wordt de invloed van de scheuren te beoordelen bij het opstellen van de constructieve berekening van de kelder.

Bijlage 1 Resultaten tachimetrische inmeting bovenzijde





Opdrachtgever

Antea

Project

Onderzoeken kelders Choorstraat 2 te Utrecht

.\LOGO\antea.jpg

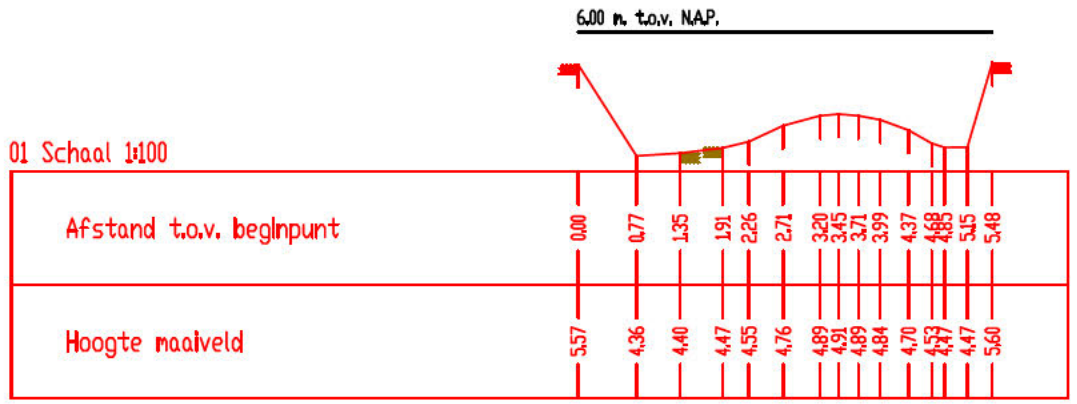
Onderdeel

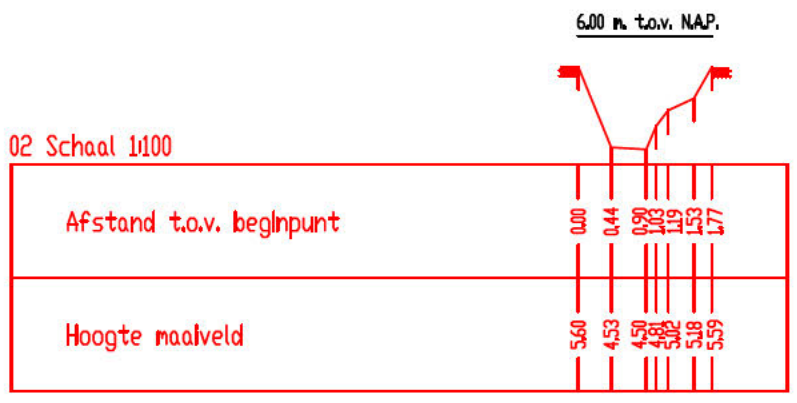
Situatie bovenkant kelder

Tekeningnummer	Rev.	Bestandsnaam	Formaat	Schaal	Blad	Aantal
T001		Choorstraat.dwg	A3	1:100	1	2

Kantoor	Projectnummer	Besteknummer	Datum van uitgave	Get.	Gez.	Acc.
Lieren	G700014		15-03-2021			

www.geogroep.nl







Opdrachtgever
Antea

Project
Onderzoeken kelders Choorstraat 2 te Utrecht

Onderdeel
Dwarsprofiel bovenkant kelder

.\LOGO\antea.jpg

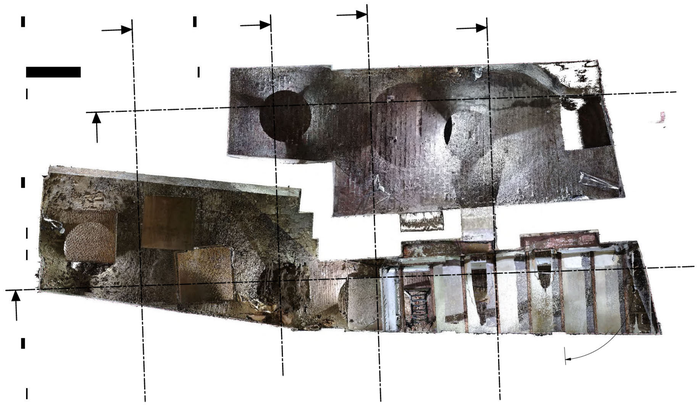
Tekeningnummer	Rev.	Bestandsnaam	Formaat	Schaal	Blad	Aantal
T001		Choorstraat.dwg	A3	1:100	2	2

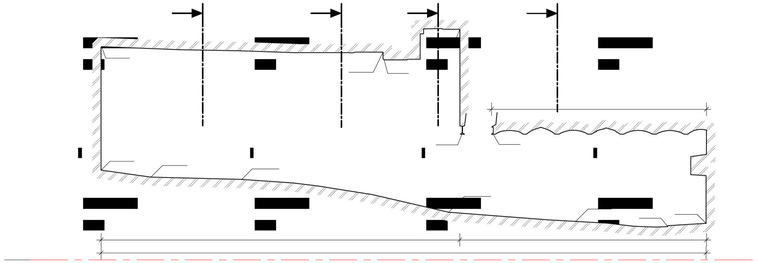
Kantoor	Projectnummer	Besteknummer	Datum van uitgave	Gel.	Gez.	Acc.
Lieren	G700014		15-03-2021			

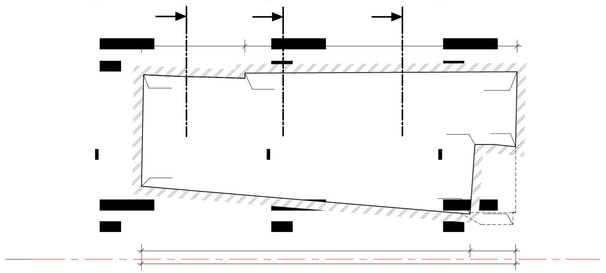
VNB geogroep

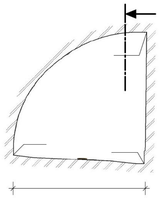
www.geogroep.nl

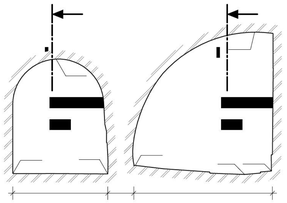
Bijlage 2 Resultaten 3D scan

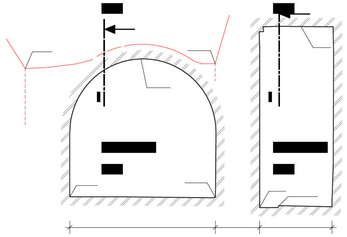


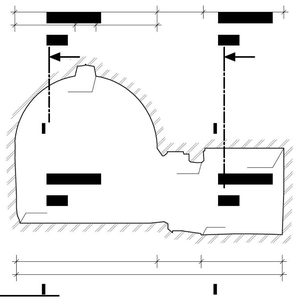


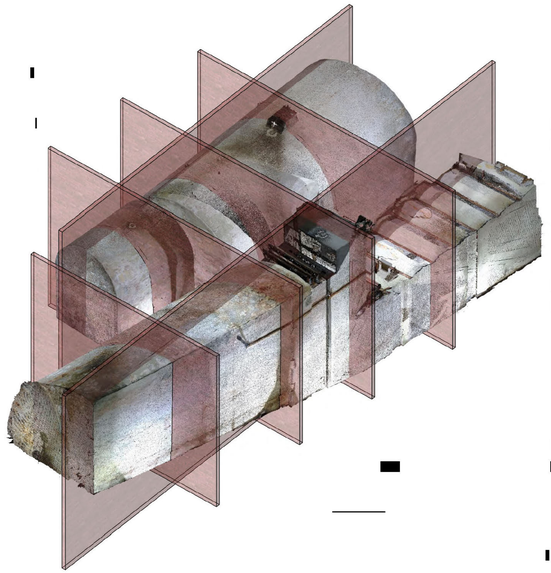


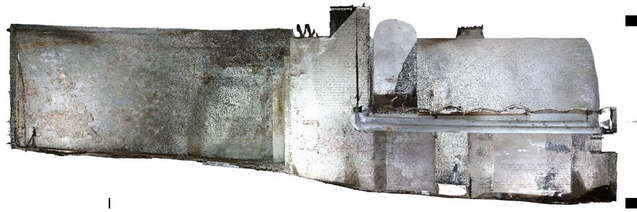










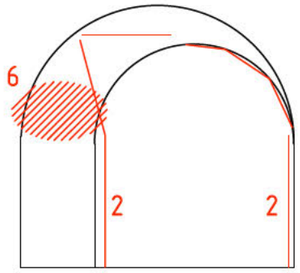


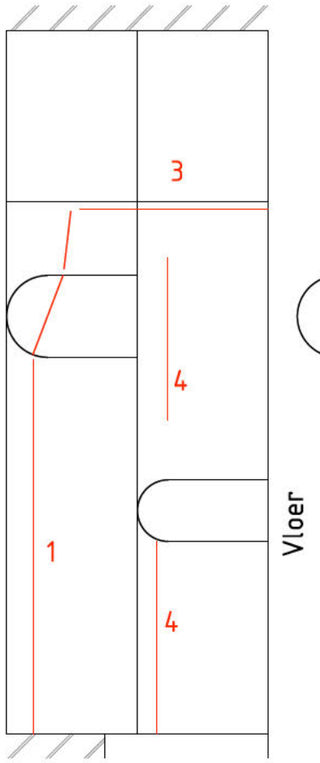


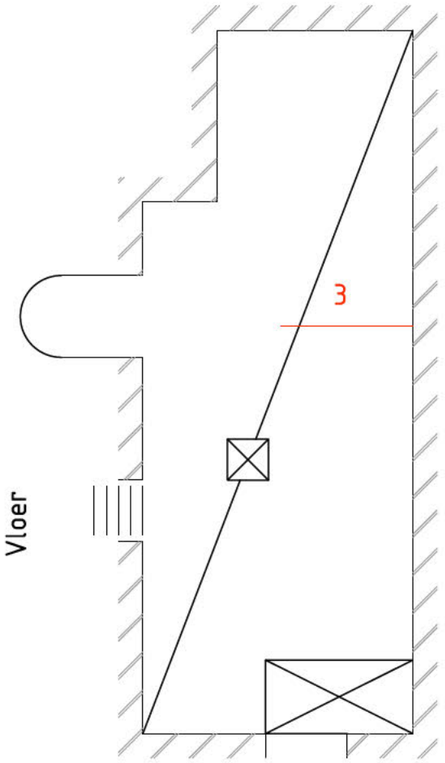
anteagroup

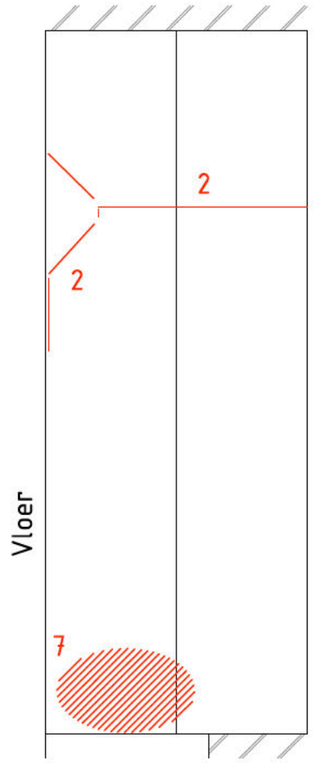
Bijlage 3 Inspectietekening

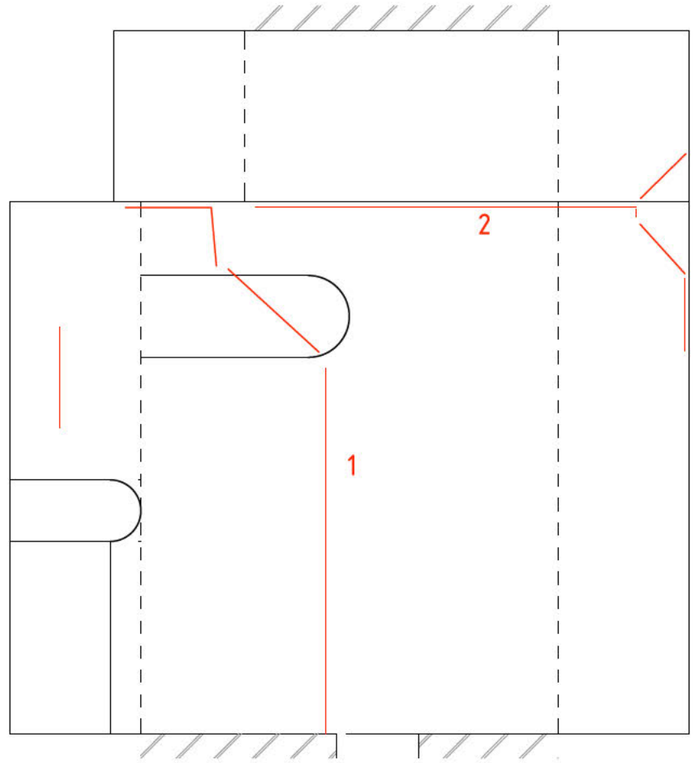


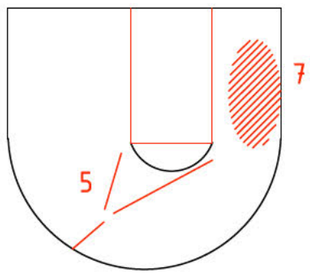












Uitslag

D0	12-04-2021	DEFINITIEF	A.H.R.
Nr	Datum	Wijziging	Tek

Gemeente Utrecht
-
Herberekening Werfkelders Choorstraat
Choorstraat [redacted] kelder 2
-
Inspectietekening
-
Bovenaanzicht, zijaanzichten en uitslag

Tekeningnummer
413927.128-C-6-0001

Tekenaar [redacted]
Schaal 1:75
Projectleider [redacted]
Formaat A3
1 IN 3
Status DEFINITIEF
Wijz.nr. D0

www.anteagroup.nl

anteagroup

P:\00410000\00413927\413927.128\Constructief\Acad\6_Beheer\413927.128-C-6-0001.dwg

Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Monitorweg 29
1322 BK ALMERE
Postbus 10044
1301 AA ALMERE
T. (06) 51 34 51 58

www.anteagroup.nl

Copyright © 2021
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.