RAPPORT

Verificatieberekening Choorstraat [redacted] te Utrecht

Herberekening kelderconstructie conform de NEN 8700/8701 en CUR124

Klant: Stadingenieurs Stadsbedrijven Gemeente Utrecht

Referentie: BH3201TPRP2106301659

Status: Definitief/1.0

Datum: 27 augustus 2021

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85
3068 AX ROTTERDAM
Mobility & Infrastructure
Trade register number: 56515154

+31 88 348 90 00 T
+31 10 209 44 26 F
info@rhdhv.com E
royalhaskoningdhv.com W

Titel document: Verificatieberekening Choorstraat [redacted] te Utrecht

Ondertitel: Herberekening kelderconstructie CHS [redacted]
Referentie: BH3201TPRP2106301659
Status: 1.0/Definitief
Datum: 27 augustus 2021
Projectnaam: Utrecht Werfkelders
Projectnummer: BH3201
Auteur(s): [redacted]

Opgesteld door [redacted] & ir. [redacted]

Gecontroleerd door [redacted]

Datum: 24-8-2021 & 30-8-2021

Goedgekeurd door: [redacted]

Datum: 7 september 2021

Classificatie
Vertrouwelijk

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Royal HaskoningDHV

Inhoud

Managementsamenvatting **3**

1 Inleiding **5**
1.1 Aanleiding 5
1.2 Doel van de beoordeling 5
1.3 Kwaliteitsborging 5

2 Algemene uitgangspunten **6**
2.1 Beschikbare gegevens 6
2.2 Beschrijving van het object 6
2.3 Relevante inspectieresultaten 8
2.4 Te berekenen verkeerssystemen 8
2.5 Classificatie van de constructie 8
2.6 Normen & richtlijnen 8

3 Onderzoek naar de materiaal gegevens **10**
3.1 Grondopbouw en geotechnische parameters 10
3.2 Eigenschappen metselwerk 11
3.3 Fasering 13

4 Belastingen, -combinaties en -factoren **15**
4.1 Permanente belastingen 15
4.1.1 Eigen gewicht 15
4.1.2 Rustende belasting 15
4.1.3 Gronddruk 15
4.1.4 Waterdruk 15
4.2 Variabele belastingen 16
4.2.1 Verkeersbelasting wegverkeer – verticaal (inclusief factoren) 16
4.2.2 Verkeersbelasting wegverkeer – horizontaal 19
4.2.3 Verkeersbelasting wegverkeer – vermoeiing 19
4.2.4 Overige veranderlijke belastingen 19
4.2.5 Buitengewone belastingen 20
4.3 Belastingcombinaties 20

5 Modellering **21**
5.1 Algemeen 21
5.2 Modelvorming 22

6 Resultaten verificatie **27**
6.1 Draagvermogen fundering op staal 27

6.2 Lastbeperking via bebording – bord C20 (BM1) 27
6.2.1 BGT 28
6.2.2 Fasering 30
6.2.3 UGT 31
6.3 BM3 – inzet brandweer 33
6.3.1 BGT 34
6.3.2 UGT 34

7 Conclusie en aanbevelingen 36
7.1 Conclusie 36
7.2 Aanbeveling 37

Bijlagen 38
A1 Onderzoek geotechnische draagkracht 38
A2 Rapportage inspectie en onderzoek OG[redacted]9 juni 2021 door Witteveen+Bos 43
A3 Archiefgegevens 44
A4 Grondonderzoek 45
A5 Verificatieberekening Plaxis-resultaten Choorstraat [redacted] 46
A6 Plaxis-resultaten Choorstraat [redacted] (2 belastingposities BM1) 112
A7 Berekening zonder fasering 119

Royal HaskoningDHV

Managementsamenvatting

Waarom dit rapport?

Dit rapport beschrijft de constructieve beoordeling van de kelderconstructie behorende bij het adres Choorstraat [redacted] te Utrecht. De berekening is onderdeel van een overkoepelend onderzoek naar de onbekende belastbaarheid van de kelderconstructies. Dit geeft richting aan beleidskeuzes, die bedoeld zijn om de veiligheid en het behoud van het erfgoed beter te kunnen waarborgen.

Wat is er gedaan?

RHDHV heeft de kelderconstructie van de Choorstraat [redacted] constructief beoordeeld met een verificatieberekening volgens NEN 8700 en NEN 8701. Daarbij is de structuur van CROW/CUR-aanbeveling 124 ‘Constructieve veiligheid bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden’ gebruikt. De beoordeling is gericht op de inschatting van het risico op scheurvorming door verkeersbelasting en de bepaling van de maximale draagkracht van de kelderconstructie. RHDHV heeft de lastbeperking via bebording en de inzet van nooddiensten (brandweer) onderzocht. Ondergrenswaarden voor het metselwerk zijn aangehouden, dat een conservatief uitgangspunt is.

Rekenmethode

De kelder in de Oudegracht is de tweede kelderconstructie en de vijfde metselwerk boogconstructie die is getoetst op basis van de rekenmethodiek uit de ‘Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen ‘s-Hertogenbosch’. Enkele belangrijke verschillen tussen de metselwerk boogconstructies in ’s-Hertogenbosch en de kelderconstructies in Utrecht zijn onderzocht en gerapporteerd in een onderzoeksrapport die is opgenomen als bijlage A1 van de verificatieberekening van KNG[redacted] BH3201TPRP2105111106. Er zijn berekeningen voor de bruikbaarheidsgrenstoestand uitgevoerd voor het beoordelen van het risico op scheuren van het metselwerk door verkeersbelastingen. De uiterste grenstoestand is beoordeeld met twee rekenmethodes (PF en GRF-2) voor het bepalen van de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie. De beoordeling gaat uit van gevolgklasse CC2 en het beoordelingsniveau ‘gebruik’ conform de NEN 8700-serie.

Wat leveren de berekeningen op?

- Het geotechnisch draagvermogen van de fundering op staal (geen funderingspalen) geeft ruimte voor verkeersbelasting behorende bij een aslastbeperking tot 3 ton en is kritisch bevonden voor de bezwijkbelasting. Kortom, het verkeer drukt de kelder de grond in wat de boogconstructie verstoord en eerder bezwijkt. Dit is dus maatgevend voor de kelder.
- Er is een risico op scheurvorming van het metselwerk (loodrecht op de rijrichting) door de verkeersbelasting vanaf een aslastbeperking van 6 ton. Indien een aslastbeperking van 6 ton geldt, is het maximaal toelaatbaar totaalgewicht van het voertuig: 23 ton.
- De kelderconstructie bezwijkt bij de verkeersbelasting behorende bij een 12 ton aslastbeperking. Dus het passeren van verkeer met aslasten van 10 ton leidt nog niet tot bezwijken.
- Het passeren van de nooddiensten (brandweer) heeft een risico op scheurvorming maar kan de kelder wel veilig passeren.

Hoe nu verder?

RHDHV adviseert dat verkeer met aslasten tot 3 ton, de kelder van Choorstraat [redacted] mag passeren, om het erfgoed en eigendom te behouden. Dit limiet komt door het maatgevend zijn van het draagvermogen van de ondergrond. Extra onderzoek naar de ondergrond en de fundering van kelder is aanbevolen.

De kelderconstructie van Choorstaat [redacted] heeft als limiet aslasten tot 6 ton, als het draagvermogen van de ondergrond buiten beschouwing wordt gelaten. Echter, is het mogelijk dat in dezelfde straat een zwakkere kelder ligt, doordat de geometrie ongunstiger is of door een slechtere staat. In dat geval is de toelaatbare verkeersbelasting lager. Dit zal onderzocht moeten worden. Bovendien is het bekend dat het plaatsen van verkeersborden alleen niet voldoende is om zwaar verkeer te weren. De toegang tot de straat zal fysiek onmogelijk gemaakt moeten worden voor verkeer met aslasten zwaarder van 3 ton.
De berekeningsresultaten van de kelderconstructie van Choorstraat [redacted] en de andere zes kelders in het onderzoek, geven een beeld van het risico op scheuren en bepalen de bezwijkbelasting door verkeersbelasting. De berekeningsresultaten van de individuele kelders gelden als validatie voor de voorlopige expertbeoordeling (spoor 2). Hier classificeren de bureaus een grotere groep kelders op basis van de geometrie en het schadebeeld.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Voor de gemeente Utrecht doen Witteveen+Bos, Antea Group en Royal HaskoningDHV onderzoek naar de belastbaarheid van metselwerk kelders in de historische binnenstad. De metselwerk kelders bestaan uit werf-, kluis- en straatkelders. Dit onderzoek is gesplitst in twee sporen:

- Spoor 1 onderzoekt de belastbaarheid van de kelders van zes adressen middels verificatieberekeningen op basis van inspecties en technische onderzoeken.
- Spoor 2 is een expertbeoordeling over de historische kelders.

De voorliggende rapportage beschrijft de bevindingen uit de verificatieberekening van de kelder van de **Choorstraat** [redacted] Beide sporen lopen parallel. De resultaten en bevinding uit spoor 1 worden gebruikt om de expertbeoordeling uit spoor 2 te valideren.

De gemeente heeft in overeenstemming met de bewoners van de Choorstraat het verzoek om de belastbaarheid van een straatkelder te bepalen. Uiteindelijk is er één kelder in de Choorstraat aangedragen die voor dit onderzoek in aanmerking komt, namelijk die gelegen aan de Choorstraat [redacted] afgekort met CHS [redacted]

1.2 Doel van de beoordeling

Het doel van de expertbeoordeling is om een beter beeld te krijgen van de (rest)sterkte van de kelders. Dit geeft richting aan beleidskeuzes, die bedoeld zijn om de veiligheid en het behoud van het erfgoed beter te kunnen waarborgen. Om hier stapsgewijs keuzes in te kunnen maken, moet het niveau van kennis over de sterkte van de kelders worden verhoogd. Dit niveau bestaat momenteel uit de bureaustudie uit 2014. Spoor 1 en 2 van het onderzoek naar de sterkte van de kelders moeten dit niveau van kennis voldoende omhoog brengen om beleidskeuzes richting te geven.
De beleidskeuzes bestaan uit de volgende onderdelen:

- Het instellen van een verkeersregime dat past bij een acceptabele verkeersbelasting, die is afgestemd op veiligheid en behoud van de kelders onder de straten.
- Het opzetten van een uitvoerbare handhaving bij het in te stellen verkeersregime.
- Het bepalen van de minimale eisen aan de stabiliteit en staat van de kelders, die passen bij de belastingen, voortvloeiend uit het in te stellen verkeersregime en de bijbehorende handhaving.
- Het vastleggen van afspraken tussen de gemeente en de eigenaren van kelders over de minimaal vereiste staat van onderhoud, de eventueel uit te voeren versterking en de verantwoordelijkheden voor het realiseren van dit niveau van onderhoud en de eventuele versterking.

1.3 Kwaliteitsborging

De kwaliteitsbewaking bij de totstandkoming van dit product is volgens het kwaliteitsmanagementsysteem van Royal HaskoningDHV uitgevoerd. Dit systeem is gecertificeerd volgens ISO 9001, ISO 14001 en OHSAS 18001. Het proces van toetsing en aanpassing is aantoonbaar doorlopen. Bewijsstukken hiervan in de vorm van getoetste exemplaren met commentaar en correspondentie zijn beschikbaar voor inzage.

2 Algemene uitgangspunten

2.1 Beschikbare gegevens

De beschikbare documentatie per straatkelder is aangegeven in het document 'Choorstraat [redacted] Plan van Aanpak'. De beschikbare en meest maatgevende (geometrische) gegevens van de straatkelder(s) zijn tijdens het onderzoek geverifieerd. De onbekende en benodigde gegevens voor het maken van een berekening zijn tijdens het onderzoek vastgesteld. De inspectierapportage is toegevoegd als bijlage A2.

Tabel 1: Overzicht van de beschikbare informatie van de kelder in de Choorstraat[redacted]

Type informatie	Aanwezig	Kwaliteit	Opmerking
Bestek	Nee		
Bestektekening	Nee		
Ontwerpberekening	Nee		
Herberekening	Nee		
Inspectierapportages	Ja	Goed	Rapportage inspectie en onderzoek Choorstraat [redacted] 9 juni 2021 door Witteveen+Bos. Visuele inspectie straatkelder Choorstraat [redacted] (WK Choorstraat [redacted]-2020-RAP002) door Iv-Infra B.V.
Metingen	Ja	Goed	3D pointcloud van de binnenzijde kelder(s) en de proefsleuf (bovenzijde)

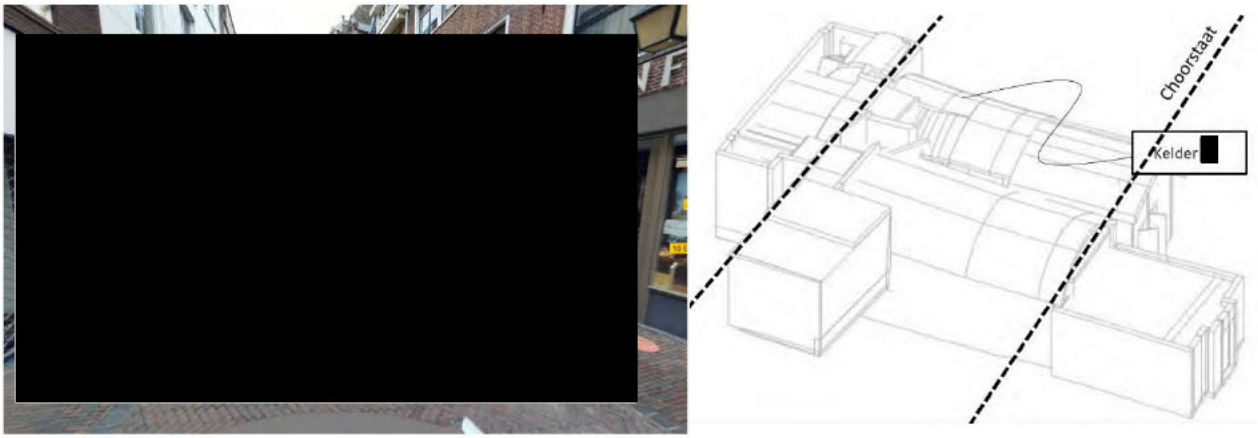
Tabel 2 toont de relevante rapportages van de kelder. Archief tekeningen zijn niet beschikbaar. De 3D-point cloud gemaakt tijdens de inspectie in juni 2021 is de enge visualisatie van de kelder. De relevante inspectie- en inventarisatiedocumenten staan in bijlage A2-A3.

Tabel 2: Relevante rapportages (alle digitaal geraadpleegd).

Ref.	Rapportagenummer	Omschrijving
[R1]	1226089-21-009.055	Rapportage inspectie en onderzoek Choorstraat [redacted] 9 juni 2021 door Witteveen+Bos
[R2]	BH3201TPNT2102121447	Rekenplan Choorstraat [redacted] incl. bijlagen
[R3]	Nvt.	Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch, RHDHV/Nebest, Witteveen+Bos, Iv-Infra, 23-07-2020
[R4]	BH3021TPRP2105111106	Verificatieberekening KNG[redacted]

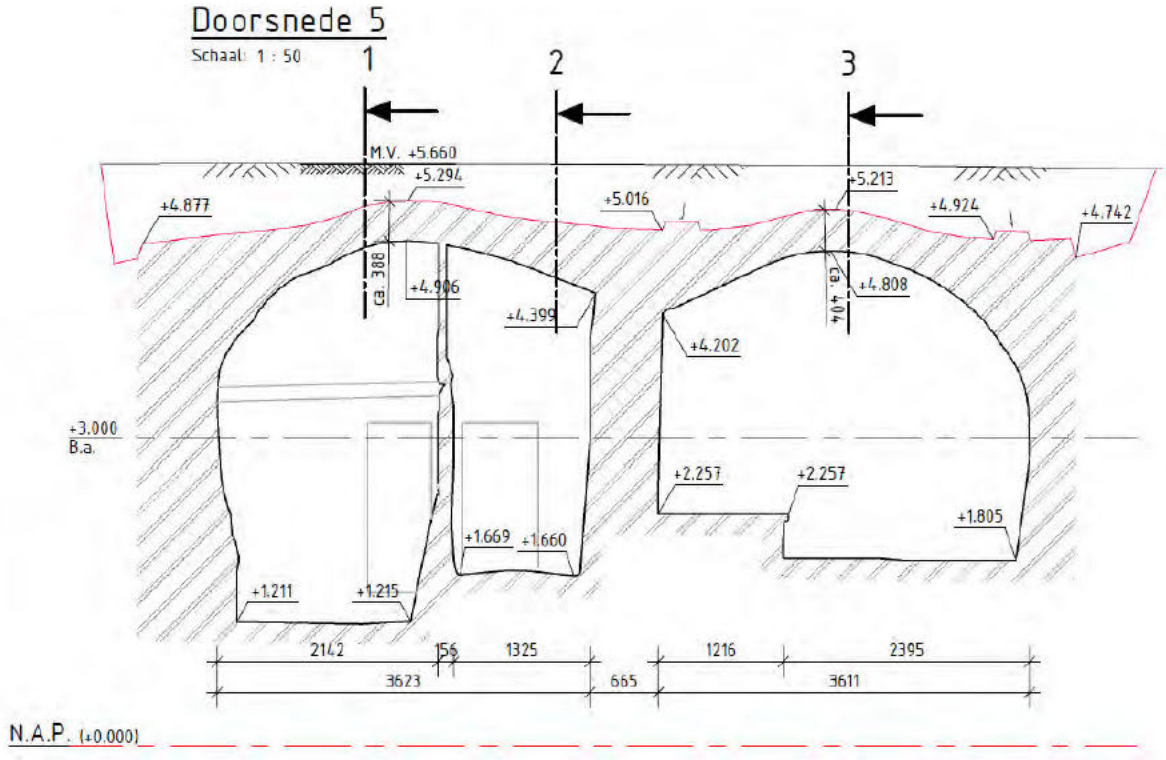
2.2 Beschrijving van het object

Figuur 1 visualiseert de straatkelderconstructie ten hoogte van Choorstraat [redacted] en [redacted] Een straatkelder is een gemetselde constructie onder de openbare weg die te bereiken is via een woning. De gevel van de woning geeft aan waar de kelder onder de woning overgaat in de straatkelder. Ditzelfde geldt voor de naastgelegen kelder CHS [redacted] die vermoedelijk aangebouwd zijn aan de kelder CHS [redacted] (of andersom). De constructie bestaat uit een tongewelf op verticale wanden. De kelder is op staal gefundeerd rond 0,0 m NAP en een onbekend aantal versnijdingen voor de fundatievoet zijn toegepast. Uit de inspecties blijkt dat de kelder geen waterdichte laag heeft op de bovenzijde van de kelder. Scheidingsmuren zijn onder de toog gebouwd om de kelder in compartimenten in te delen.



Figuur 1: links: de locatie van de straatkelder in de Choorstraat en rechts: een 3D-tekening van de kelder CHS en

De geometrie van de kelder CHS volgt uit de onderzoeken, zie Figuur 2 uit bijlage A2. De overspanning van CHS is nagenoeg constant en ca. 3,6 m. Het vloerniveau is voor de twee compartimenten van de kelder verschillend. Op het laagste punt is het vloerniveau gemiddeld circa NAP+1,07 m en op het hoogste niveau NAP+2,47 m. De locaties van de geboorten van de boog zijn niet symmetrisch en ligt op circa NAP+3,5 m en NAP+4,4 m. Een proefsleuf is gegraven in de lengterichting van de straat aan de zijde van de winkel Manfield. De ingemeten doorsnede in de proefsleuf, is aangehouden in de berekeningen. De constructieve dikte van de boog van CHS is onderzocht en in paragraaf 5.2 beschouwd. Boven op de boog ligt een aanvulling van grond met straatwerk.



Figuur 2: Doorsnede van de kelders t.p.v. de proefsleuf bij de adressen Choorstraat (links) en (rechts).

2.3 Relevante inspectieresultaten

De opvolgende bevindingen uit het onderzoek zijn van toepassing op de berekeningen:

1. Het oppervlak van het metselwerk aan de binnenzijde is erg vervuild. Een combinatie van kalk, aanslag en een verweerde spachtellaag maakt inspectie van het metselwerk lastig. Het afkloppen van het metselwerk heeft niet tot de conclusie geleidt dat het metselwerk zelf hol klinkt. Gevonden scheuren in het metselwerk liggen veelal in de rijrichting. Het metselwerk is vermoedelijk van hoge leeftijd. De verwachting is dat de ondergrenswaarden uit de NPR9998 voor metselwerk volstaat voor de metselwerkkwaliteit van CHS [redacted] Deze waarden zullen niet verder verlaagd worden omdat er samenhang is tussen de stenen en het voegwerk, de vulling van de voegen nog aanwezig is en er nog een voldoende indeling en hechtingspatroon is.
2. De scheidingsmuur lijken op de keldervloer (ca. NAP+2,2 m) gefundeerd te zijn en zijn niet constructief verbonden met de metselwerk boog. De ruimte tussen de muur en de boog is opgevuld met houtwerk. Dit leidt tot het sterke vermoeden dat de muur in de BGT-berekening en UGT-berekening een verwaarloosbare capaciteit toevoegt. De scheidingsmuur heeft hoofdzakelijk een bouwkundige functie en wordt daarom niet meegenomen in de modellering.
3. Één van de wanden (steunpunten) van CHS [redacted] is gedeeld met de boog van de kelder CHS [redacted] De metselwerkvoet met versnijdingen zal voor de geotechnische draagkracht zorgen, welk onder deze wand aanwezig zal zijn. Het is om deze redenen aannemelijk dat deze wand constructief als één wand gezien kan worden.
4. De kelderdoorsnede verandert in de richting van de woningen met oneven huisnummers. Aan deze zijde van de straat is de kelder onder de bebouwing van Choorstraat [redacted] te bereiken. Echter is alleen de doorsnede van kelder CHS [redacted] beoordeeld omdat voornamelijk hierboven de openbare weg ligt.

2.4 Te berekenen verkeerssystemen

De verkeerssystemen volgens de Eurocode, NEN 8701 worden beschouwd. Welke van de systemen in de berekening betrokken wordt, hangt af van de rekenresultaten, de toegepaste verfijningen en ook het gehanteerde beoordelingsniveau. Indien de reguliere verkeersmodellen (BM1 en BM2) niet toelaatbaar zijn, zal lastbeperking via bebording toegepast moeten worden. Een vrij indeelbare wegindeling is beschouwd met maximaal één rijstrook waar de parkeerstrook in beschouwing is genomen. De project specifiek voorgeschreven voertuigen die de kelders in de Choorstraat zullen passeren, vormen samen Belastingsmodel 3 (BM3). Dit is nader toegelicht in Hoofdstuk 4.2.1.

2.5 Classificatie van de constructie

De aan te houden gevolgklasse is gelijk aan CC2, conform NEN 8700. De kelderconstructie zijn ‘erfgoed’ en in de berekeningen uit 2014 door de gemeente Utrecht is ook dezelfde gevolgklasse aangehouden. Bij toepassing van bebording zijn reducties van de karakteristieke belasting op basis van: aantal vrachtwagens per jaar, kortere referentieperiode en de trend niet toegestaan, zie bijlage B uit de NEN 8701.

2.6 Normen & richtlijnen

De kelderconstructie is beoordeeld conform het Bouwbesluit 2012. Bij de beoordeling van de constructieve veiligheid hoeven alleen de uiterste grenstoestanden (UGT) te worden beschouwd. Aan de bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) worden wettelijk geen eisen gesteld. Echter de wens is, dat de metselwerk boogbruggen duurzaam veilig zijn en geen (grote) tekenen van degradatie zoals scheurvorming en vervormingen vertonen. Om hieraan te voldoen, zullen ook bruikbaarheidsgrens-toestanden beschouwd worden. Tabel 3 geeft de normen, richtlijnen en voorschriften die van toepassing zijn binnen de verificatie.

Royal HaskoningDHV

Tabel 3 Normen, richtlijnen en voorschriften van toepassing op de berekening.

Document	Titel	Organisatie
NEN-EN 1990+A1+A1IC2;2011 NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB:2019	Grondslagen van het constructief ontwerp	NEN
NEN-EN 1991-1-1+C1;2011 NEN-EN 1991-1-1+C1/NB:2019	Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen	NEN
NEN-EN 1991-2+C1:2015 NEN-EN 1991-2+C1/NB:2019	Belastingen op constructies – Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen	NEN
NEN-EN 1992-1-1+C2:2011 NEN-EN 1992-1-1+C2/NB:A1-2020	Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen	NEN
NEN-EN 1997-1+C2:2016 NEN-EN 1997-1+C2:2016/NB:2019	Geotechnisch ontwerp – Deel1: algemene regels	NEN
CUR-aanbeveling 117:2015	Inspectie en advies civiele kunstwerken	CROW-CUR
CUR-aanbeveling 124:2019	Constructieve veiligheid bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden	CROW-CUR
NEN 8700+A1:2020	Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren-Grondslagen	NEN
NEN 8701+A1:2020	Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren-Belastingen	NEN
NEN 8707:2018	Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeur – Geotechnische constructies	NEN
NPR 9998:2018+C1 NPR 9998:2018+C1:A1:2020	Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren - Geïnduceerde aardbevingen - Grondslagen, belastingen en weerstanden	NPR
RBK-1-1 (RTD-1006:2013)	Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken (ter informatie gebruikt)	RWS
RTD 1016-1(2020) version 2.2 (final 20200402)	Guidelines for non-lineair finite element analysis	RWS
	Gemeente 's-Hertogenbosch, Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen, versie concept v0d, dd 15 juni 2020 (nog in bewerking)	

3 Onderzoek naar de materiaal gegevens

3.1 Grondopbouw en geotechnische parameters

Sinds de 13de eeuw zijn er al straatkelder in de Choorstraat 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' en dat er geen zakkingen meer optreden als gevolg van de aanwezigheid van slappe lagen. Uit het archief van de gemeente Utrecht zijn enkele sonderingen en boringen uit de nabijgelegen omgeving bekend. Een aantal sonderingen bevindt zich in de naastgelegen watergang en beginnen op ca. NAP -1,5 m. Het meest nabijgelegen grondonderzoek dat ook de grondlagen tussen NAP +5,65 m en NAP -1,5 m laat zien bevindt zich op ca. 40 meter afstand van de kelder. Daarmee is er een grote onzekerheid omtrent de grondslag op die hoogtes ter plaatse van Choorstraat [redacted] en dan met name direct onder het funderingsniveau. Het wordt aanbevolen om extra grondonderzoek uit te voeren nabij de werfkelder om meer zekerheid te krijgen.

Achter de landhoofden is waarschijnlijk niet aangevuld met schoon zand, maar waarschijnlijk met wat voorradig was. Dat zal een combinatie zijn geweest van klei, zand en puin. Daarom is sterk zandige klei aangehouden.

De grondopbouw is geschematiseerd zoals weergegeven in Tabel 4. Hiervoor is gebruik gemaakt van de boring afkomstig uit DINO Loket (zie Bijlage B), S6 uitgevoerd in 2009 en S26 uitgevoerd in 1984 beiden door de Gemeente Utrecht. De grond is in Plaxis gemodelleerd met het Hardening Soil-model (HS). Voor de grondparameters is aangesloten op tabel 2.b van de NEN 1997-1+C2 en de overige parameters zijn conservatief aangehouden.

De boring laat klei zien op funderingsniveau. Het is aannemelijk dat de fundering geplaatst is op zandige grond. Daarom wordt er in de schematisering tussen het funderingsniveau en de eerste volgende gedefinieerde laag "klei, sterk zandig" aangehouden. Daarnaast is er tijdens de inspectie naar voren gekomen dat er boven de boog van de werfkelder zand bevindt. Vanwege het geringe onderzoek is niet te zeggen tot hoe diep dit zit. Daarom is in het grondprofiel "klei, zwak zandig, matig" aangehouden.

Het berekeningsonderzoek voor de Kromme Nieuwegracht toont aan dat het geotechnische draagvermogen van de fundering op staal kritisch kan zijn voor de bezwijkbelasting van de kelder. Dit is middels D-foundation en Plaxis berekeningen onderzocht.

Om te voorkomen dat bij de toetsing van de boogconstructie het draagvermogen van de ondergrond maatgevend is in de Plaxis-berekening, is de cohesie van de grondlaag onder de kelder verhoogd. Zodat de boogconstructie constructief kan worden beoordeeld zonder dat het bezwijken van de ondergrond maatgevend is..

Het funderingsniveau is aangehouden op NAP +0,5 m. Volgens het grondonderzoek en de schematisering bevindt zich "Klei, sterk zandig" onder het funderingsniveau. Het is aannemelijk dat tijdens de bouw grondverbetering is toegepast onder het funderingsniveau. Dit kan echter alleen worden aangetoond als er extra (grond)onderzoek wordt uitgevoerd. In de berekening wordt eerst uitgegaan van het conservatieve, maar aannemelijke uitgangspunt dat een klei, sterk zandige laag op het fundatieniveau aanwezig is.

Tabel 4 Schematisering bodemopbouw met karakteristieke grondparameters (HS-model) – conservatief.

Bovenkant [m+ NAP]	Grondsoort [-]	γ/γ_{sat} [kN/m³]	Φ' [°]	Ψ [-]	c' [kN/m²]	$E_{oed}^{ref}/E_{50}^{ref}/E_{ur}$ [MN/m²]	m [-]
Onderkant klinkerverharding (ca. NAP+5,65 m)	Klei, zwak zandig, matig	18/18	22,5	0	0	4,0/2,0/8,5	0,8
0,5	Klei, sterk zandig	18/18	27,5	0	0	5,0/2,5/11,6	0,8
0,2	Zand, kleiig	18/20	25,0	0	0	20/20/77	0,6
-1,8	Klei, sterk zandig	18/18	27,5	0	0	5,0/2,5/11,6	0,8
-2,5	Zand, los	17/19	30,0	0	0	20/20/81	0,55
-4,3	Zand, matig	18/20	32,5	2,5	0	60/60/247	0,5
+1,95 tot + 0,5	Keldervloer	19/20	35	5	0,1	75/65/30	0,55

3.2 Eigenschappen metselwerk

Voor de materiaaleigenschappen van metselwerk kan worden uitgegaan van de eigenschappen gegeven in de NPR 9998+C1:2020. In onderstaande tabel zijn de karakteristieke waarden volgens 9.3.2.2 van NPR 9998+C1:2020 van de metselwerk parameters (metselwerk met mortel in geval van CC1) opgenomen. Deze metselwerk eigenschappen zijn ondergrenswaarden en mogen derhalve ook voor de kelders CC2 toegepast worden. Voor de gemiddelde waarden mag tabel F.2 van de NPR 9998+C1:2020 aangehouden worden met de metselwerk categorie: baksteen met mortel voor algemene toepassing (voor 1945).
Om op de gemiddelde waarden te komen mag de karakteristieke waarde eventueel ook worden verhoogd met een factor 1,5, zie 9.1.3.2 van NPR 9998+C1:2020. 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. Indien onbekend kan voor het volumieke gewicht van metselwerk 23 kN/m³ worden aangehouden.

Royal HaskoningDHV

Tabel 5 Materiaal eigenschappen metselwerk.

	Artikel 9.3.2.2 NPR 9998	Karakteristieke waarde	Tabel F.2 NPR 9998 (2020)	Gemiddelde waarde	
Druksterkte	f_k	5,0	$f_{ma;m}$	8,5	N/mm²
Elasticiteitsmodulus	E_k	3500 [1)]	E_m	5000	N/mm²
Glijmodulus	G_k	1458 [2)]	G_m	2000	N/mm²
Buigtreksterkte bezwijkvlak evenwijdig aan lintvoeg	$f_{x;1;k}$	0,12	$f_{x;1;m}$	0,15	N/mm²
Buigtreksterkte bezwijkvlak loodrecht op lintvoeg	$f_{x;2;k}$	0,42	$f_{x;2;m}$	0,55	N/mm²
Treksterkte bezwijkvlak evenwijdig aan lintvoeg = sterkte loodrecht op de voeg			$f_{ma;b;per}$	0,1	N/mm²
Treksterkte bezwijkvlak loodrecht op lintvoeg			$f_{ma;v;0}$	0,35	N/mm²
Initiële schuifsterkte	$f_{v;0;k}$	0,2	$f_{ma;v;0}$	0,3	N/mm²
Maximale schuifsterkte	$f_{;v;max;k}$	0,78			N/mm²
Wrijvingscoëfficiënt			$\mu_{ma;m}$	0,75	[-]
Breukenergie trek loodrecht op lintvoegen			$G_{ft;per}$	10	N/m
Breukenergie trek evenw jdig aan lintvoegen			$G_{ft;par}$	35	N/m
Breukenergie belasting op druk			$G_{f;c}$	20000	N/m
Breukenergie bij afschuiving (lintvoeg)			$G_{ft;v;par}$	100	N/m

De bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) wordt berekend met gemiddelde waarden voor het metselwerk en karakteristieke waarden voor de diverse grootheden van grondeigenschappen en de variabele belasting, dus zonder belastingfactoren. De BGT-berekening is nog steeds een conservatieve benadering van de werkelijkheid, omdat voor de grondparameters met de karakteristieke waarden (in plaats van gemiddelden) wordt gerekend. De werkelijke vervormingen zullen dus naar verwachting kleiner zijn dan volgens de BGT-berekening. 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. Voor de uiterste grenstoestand (UGT) wordt ervan uitgegaan, dat het metselwerk geen trek op kan nemen. Omdat een absolute waarde van 0 veelal voor instabiliteit in de niet-lineaire berekening zorgt, is in de berekeningen een zeer lage plastische waarde (5 kPa=0,005 MPa) voor de treksterkte ingevoerd.

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 sterktefactor van γ_m =1,55.

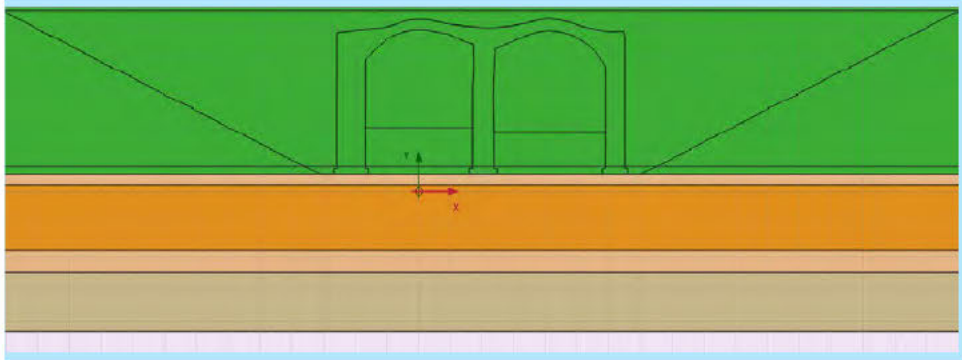
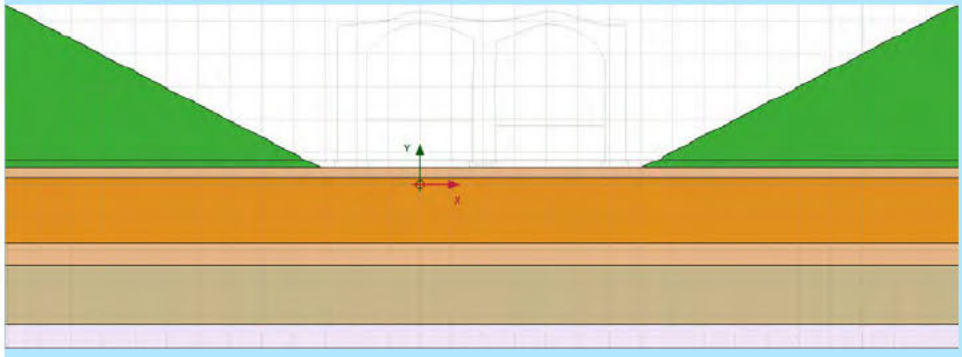
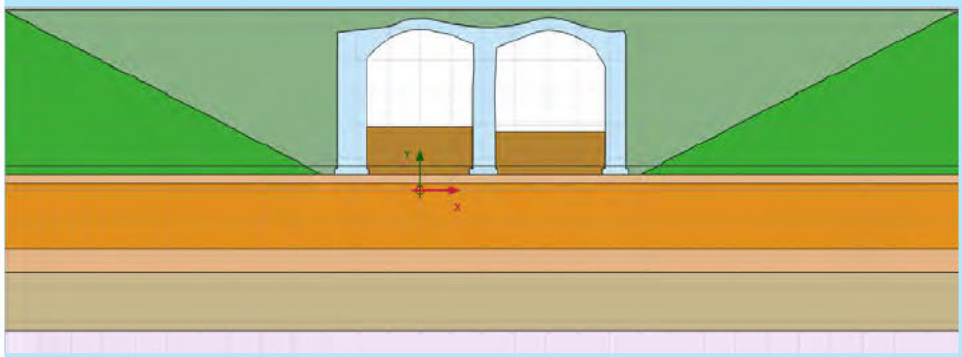
[1] 700 maal de druksterkte
[2] Op basis van de dwarscontractiecoëfficiënt v= 0,20-G = E/(2(1+v))*

3.3 Fasering

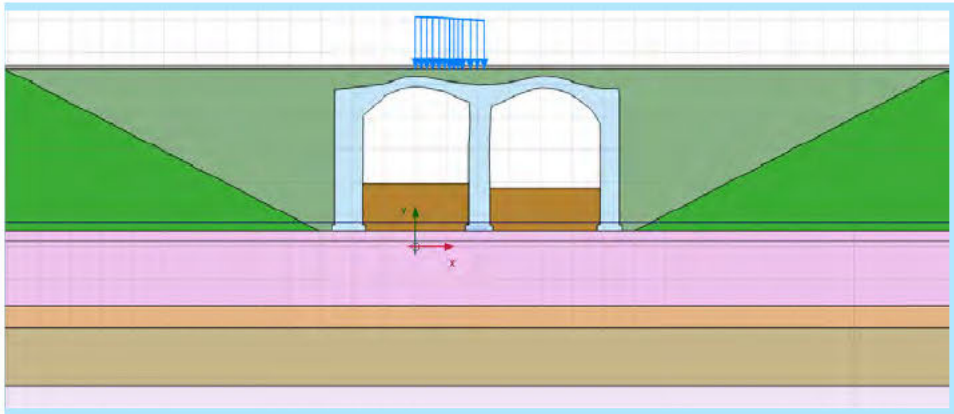
Over de fasering van de aanleg van de straatkelder zijn geen gegevens bekend. In de berekening wordt ervan uitgegaan dat er geen significant tijdelijk hoogteverschil van de aanvulling aan weerskanten van de boog heeft plaatsgevonden.

De volgende fasering is aangehouden (zie ook Tabel 6): Voor de aanleg van de straatkelder is uitgegaan van een maaiveld op ca. NAP+5,61 m in combinatie met een grondwaterstand van NAP +0,5 m. Vervolgens is er tot NAP +0,5 m een cunet gegraven, vanaf de wanden van de kelderconstructie een taludhelling (ca. 2:1). Daarna is aangehouden dat de boogconstructie van CHS [redacted] en CHS [redacted] gelijktijdig zijn aangebracht, opgehoogd tot het huidig niveau en de klinkerverharding aangebracht tot het huidig maaiveldniveau. Tenslotte is het (grond)waterniveau aangebracht op basis waarvan de verificatieberekeningen zijn gemaakt en is de verkeersbelasting (BM1 en BM3) op de verschillende posities aangebracht.

Tabel 6 Fasering aanleg kelders en eerste verkeersbelasting.

Fase	Beschrijving
	Origineel maaiveld voor aanleg kelder
	Ontgraven in cunet tot NAP +0,5 m.
	Boogconstructies CHS [redacted] en CHS [redacted] aanbrengen; aanvullen tot huidig niveau en verharding aanbrengen.

Royal HaskoningDHV



Grondwaterniveau aangepast en verkeersbelasting aanbrengen. Funderingslaag aangepast (zie §3.1).

4 Belastingen, -combinaties en -factoren

4.1 Permanente belastingen

4.1.1 Eigen gewicht

Voor het soortelijk gewicht van het metselwerk is $\gamma = 23$ kN/m^3 aangehouden.

4.1.2 Rustende belasting

De beoogde opbouw van de verharding op de straatkelder is aangehouden volgens de beschikbare gegevens en de inspectieresultaten: Bestrating 100 mm. Het soortelijk gewicht van de bestrating is $\gamma = 23$ kN/m^3 en van het zand $\gamma = 18$ kN/m^3. Op basis van de algemene hoogtekaart Nederland (AHN.nl) blijkt dat het maaiveld nagenoeg horizontaal verloopt (van west ca NAP+5,65 m naar oost ca NAP+5,61 m). De dikte van de bestrating en aanvulling op de gewelven zijn geverifieerd tijdens de inspecties. De resultaten van de metingen op locatie komen hiermee goed overeen, zie bijlage A2.

4.1.3 Gronddruk

De gronddruk wordt automatisch meegenomen in het Plaxis-model op basis van de eigenschappen van de grond en de aangenomen fasering.

4.1.4 Waterdruk

Het gemiddelde grondwaterpeil in het meest nabijgelegen meetpunt van de Choorstraat betreft volgens het Dinoloket (peilbuis B001 in de Voetiusstraat) fluctueert tussen de NAP+0,10m en NAP+0,80m, zie bijlage A4. Het streefpeil van de Kromme Nieuwegracht bedraagt volgens het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijlanden:

- Bovenpeil (bij instelling peilen van peilbesluit) NAP+1,32m
- Onderpeil (bij instelling peilen van peilbesluit) NAP+0,51m
- Datum vaststelling peilbesluit 2 Okt 2013

Het gemiddeld grondwaterpeil is het meest praktisch om mee te rekenen. Uit het onderzoek in ’s-Hertogenbosch is de bevinding dat de eventuele fluctuaties in het grondwaterpeil, minder dan 5% effect hebben op de resultaten uit de berekeningen. Bij een bovenpeil in de gracht van NAP+1,32 m staat de kelder van CHS [redacted] onderwater.
Het verloop van de grondwaterstand is onbekend. Doordat de kelders geschakeld zijn, bevindt er geen grondlichaam en dus grondwater achter de kelders. Er kan geconcludeerd worden dat de grondwaterstand (onder de kelders) enkele decimeters kan afwijken van het waterpeil. Uit het onderzoek van de Nieuwstraat in ’s-Hertogenbosch blijkt de invloed van het verloop van de grondwaterstand nihil. Er is geen aanleiding om te veronderstellen dat de grondwaterstand onder de kelders anders is dan naast de kelders, aan de walzijde. Rekening is gehouden met een grondwaterstand van NAP+0,75 m.

Onderhoudswerkzaamheden waarbij (delen van) de grachten in Utrecht zijn drooggezet zijn in het verleden wel voorgekomen maar wordt nu als te risicovol beoordeeld. Doordat de fundaties van de wal-/werfmuren en kelders (bijna) altijd op staal is, bestaat er een risico op zettingen en (verschil)zakkingen.

4.2 Variabele belastingen

4.2.1 Verkeersbelasting wegverkeer – verticaal (inclusief factoren)

De verkeersbelasting is bepaald conform NEN-EN 1991-2. Voor de globale krachtswerking is BM1 (60 ton + UDL) vanaf overspanningen groter dan ca. 2 meter maatgevend boven BM2 (40 ton). Het normatieve BM1 omvat regulier verkeer met doorgaande ontheffingen tot 100 ton. 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 BM1 en vervolgens is ook BM3 uitgewerkt.

Verkeersbelasting – BM1

De straatkelders liggen in het lokale wegennet. De bogen hebben een doorgaand metselwerkverband loodrecht op de rijrichting. De rijbaanbreedte over de kelder is >5,4 m namelijk circa 8 m zodat er bij de fictieve indeling twee theoretische rijstroken op passen. Aanvullend is het verzoek om de werkelijke rijbaan indeling aan te houden van één rijstrook. De ligging buiten het hoofdwegennet maakt dat de correctiefactoren onder fictief en werkelijk gebruik gelijk zijn aan α_{q1} = 1,0 en α_{qi} = 1,0 (voor i>1). Het aantal zware voertuigen (per jaar per rijstrook; N_{obs}) is niet precies bekend. De verwachting is dat dit aantal laag is <5.000 stuks.

Aangepast BM1 voor buiten het hoofdwegennet

Tevens is gekeken naar de toepassing van het lastmodel dat door TNO is aangepast voor bruggen/viaducten buiten het hoofdwegennet. Dit gereduceerde BM1 (decentraal lastmodel) is vastgelegd in het wijzigingsblad NEN 8701+A1:2020. (Belastingen). Vanaf een aslastbord van ongeveer 9 ton zou ook het decentraal model kunnen volstaan mits de andere kelders in de straat hier ook aan voldoen. Het decentraal lastmodel is dus niet interessant voor het beperkte aantal (totaal 6 stuks) kelders in de scope van spoor 1.

Belastingmodel 3 (BM3)

Naast de reguliere verkeersbelastingen wordt ook een berekening uitgevoerd van de belasting bij incidentele inzet van de brandweer. De door de opdrachtgever opgegeven lastmodellen zijn weergegeven in Tabel 6. De aangegeven aslasten zijn allemaal karakteristieke waarden, dus zonder dynamische factoren. Het stelsel van samenstellingen van aslasten die model staan voor de bijzondere zware voertuigen vormen de invulling voor Belastingsmodel 3 (BM3) volgens NEN-EN 1991-2/NB.
Een verdeelde verkeersbelasting zoals in BM1 is afwezig in BM3. Gelijktijdigheid van BM1 met BM3 valt buiten de scope.

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: φ = 1,40−L/500 waar $\varphi \geq 1$ met L = de getalswaarde van de invloedlengte (in meters). Voor de overspanning(en) van de metselwerk straatkelder is deze klein en dus is φ = 1,4 is aangenomen. Dit is een erg conservatieve aanname omdat de snelheid zeer laag zal zijn bij het passeren van de straatkelder (<50km/h).

Royal HaskoningDHV

Toepassing verkeersbelasting

Het verkeer kan niet op de rand van de boog rijden maar wel dicht in de buurt komen. Parkeren op de rijbaan is gebruikelijk waardoor hier rekening dient te worden gehouden met spreiden van verkeersbelasting. In de berekeningen van de verkeersbelasting, zit belastingspreiding van de belasting over de breedte nog niet verwerkt. Volgens NEN-EN 1991-2-C1 mag het tandemstelsel (bestaande uit twee aslasten h.o.h. 1,2 m) worden vervangen door een equivalente, gelijkmatig verdeelde belasting q_{eq} die wordt verdeeld over een rechthoekig vlak met breedte van 3,0 m en lengte van 2,2 m. Dat is op onderkant verharding=bovenkant grond (onderkant klinkerverharding). De spreiding in de breedte richting zal gereduceerd worden van 3,0 m naar 2,7 m om rekening te houden met belasting uit een parkerend voertuig (eenzijdige spanningsspreiding). De rest van de spreiding in langsrichting volgt uit het 2D Plaxis-model. In de breedterichting wordt op de straatkelder spanningsspreiding verondersteld onder een hoek van 30º over de hoogte van het grondpakket tot de as van de metselwerkboog met als maximum de kelderbreedte. De spanningsspreiding wordt dus richting de wanden groter dan ter plaatse van het midden van de boog. Naast de kelder kan spanningsspreiding onder 45º tot de afstand van de wanden worden toegepast, zoals gebruikelijk is voor bijvoorbeeld damwandberekeningen, met als maximum de kelderbreedte. De verkeersbelasting kan op elke willekeurige positie op de straatkelder of naast/achter de wanden van de kelder staan.

Lastbeperking via bebording

Het werkelijke gebruik van de bovenliggende straten in het centrum van Utrecht is beperkt door bebording. De huidige lastbeperking is bewerkstelligd door een beperking van de maximum aslast van een voertuig (bord C20). NEN 8701:2011+A1:2020 stelt het volgende:

- De verkeersborden aangeduid met C20 is ontleend aan het Reglement verkeersregels en verkeerstekens.
- Borden die de weg afsluiten voor bepaalde typen voertuigen, in het kader van belastingbeperking zijn niet effectief. Het reglement voertuigen maakt voor de diverse categorieën voertuigen nauwelijks onderscheid in de maxima voor totale massa, aslast en wiellast.
- Uitgangspunt voor de belastingbeperking via bebording is het belastingmodel BM1 van NEN-EN 1991-2+C1:2015, 4.3.2, met dien verstande dat in het geval dat op de kelder de rijstroken zijn aangegeven, in plaats van de fictieve rijstroken de werkelijke rijstrookindeling wordt gebruikt.

De verwachting is dat de constructie zal falen voordat de volledige normatieve verkeersbelasting BM1 op de constructie geplaatst kan worden. Om deze reden zal de reductiefactor α_{c20} uit NEN 8701 bijlage B toegepast worden voor het bepalen van de maximale toelaatbare aslast. Conform NEN 8701 moet tegelijkertijd de maximaal toelaatbare massa van de te passeren voertuigen zijn beperkt tot α_{c20} x 60 ton. Indien de invloedslengte van de boogconstructie zo kort is dat er geen zesassig voertuig op kan worden geplaatst, in de praktijk betekent dat een invloedslijn korter dan 6 m, is automatisch aan de eis van de maximale massa voldaan. Dit is het geval voor de kelder van CHS [redacted] Hier geldt dat bij toepassing van bebording, reducties van de karakteristieke belasting niet toelaatbaar zijn.

Afhankelijk van het type berekening (BGT of UGT) zal een reductiefactor α_{c20} uit de oplegde belasting voortkomen (verwachting onder de 1,0). De belasting bestaat uit twee tandem stellen met een minimale onderlinge afstand van 1,5 m voor de dichtst bij elkaar liggende assen. In afwijking van BM1 moet dus een tweede laststelsel in rijstrook 1 zo ongunstig mogelijk geplaatst worden. Een verdeelde verkeersbelasting (UDL) is niet nodig in afwijking met BM1. De belasting in het rekenmodel inclusief veiligheidsfactoren (belastingfactor) vermenigvuldigd met de reductiefactor (Q_{1b}= α_{c20} x Q_1) worden vervolgens vergeleken met de rekenwaarden (Q_{1b}) uit de Tabel B.2 van de NEN 8701 kolom 4 zodat een bijbehorend bord C20 hieruit volgt. De NEN 8701 stelt indien een aslastbeperking met bord C20 is toegepast, moet tegelijkertijd de maximaal toelaatbare massa zijn beperkt tot α_{c20} x 60 ton.

In de praktijk betekent dat een constructie met een invloedslijn korter dan 6 m automatisch aan de eis van de maximale massa voldoet. Dat is voor de individuele kelder van CHS [redacted] het geval.

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

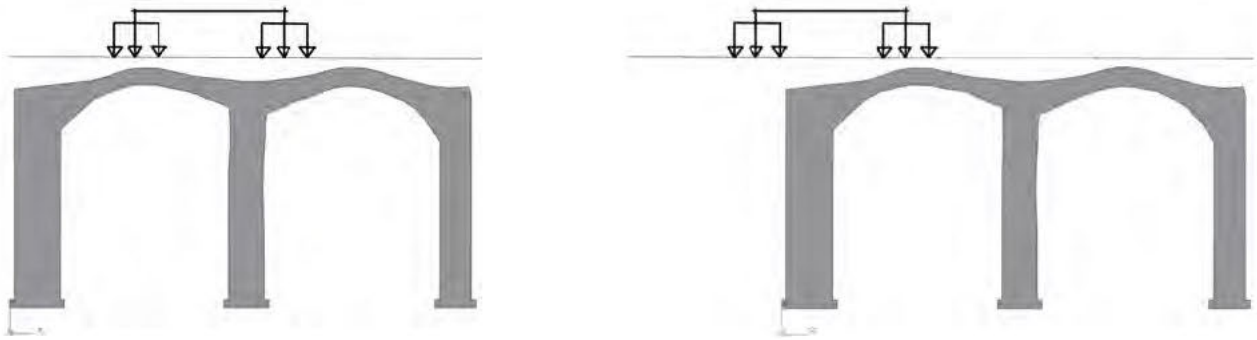
α_{C20}	bord C20 (ton)	bord C20 (kN)	Q_{1b} per as (kN)	Q_{2b} per as (kN)
1,000	12	120	300	200
0,773	**10**	**100**	232	155
0,668	**9**	**90**	200	134
0,569	**8**	**80**	171	114
0,477	**7**	**70**	143	95
0,391	**6**	**60**	117	78
0,310	**5**	**50**	93	62
0,236	**4**	**40**	71	47
0,168	3	**30**	50	34

Op de kelder met een rijbaanbreedte van circa 8 m is maximaal één bijzonder voertuig uit BM3 geplaatst. Op basis van de verstrekte as-configuraties is het voertuig 'Ladderwagen' maatgevend bevonden eerst op het criteria van het zwaarste aslast gewicht en vervolgens op de wielbasis in relatie tot de kelderconstructie (overspanning). De kelderconstructie zal dus beoordeeld worden voor het stelsel van samenstelling van aslasten van de Ladderwagen. Er kan uitgegaan worden van een kleiner belasting effect (minder maatgevend) door de overige drie voertuigen en zullen niet individueel beoordeeld worden. 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.

Tabel 7: Stelsels van de samenstelling van de aslasten voor de voertuigen van de brandweer Utrecht.

Type voertuig	Aslast [kN] vooras	Aslast [kN] achteras	Afstand [m] wielbasis
Blusvoertuig	47	93	3,61
Containervoertuig	75	115	4,80
Ladderwagen	80	115	4,20
Hoogwerker	71	115	4,80

Voor BM3 wordt voor de vooras 1,4*80kN / (2,7*1,0) = 41,5 kN/m^2 en voor de achteras 1,4*115kN / (2,7*1,0) = 59,6 kN/m^2 aangehouden (zonder UDL). De spreiding in de rijrichting is hier beperkt gehouden om het faalmechanisme pons te onderzoeken omdat het hier om specifieke en 'bekende' aslasten gaat. Zie onderstaande figuur voor de positionering op de kelderconstructie, waarbij de lichtere vooras links of rechts van de zwaardere achteras staat. De Choorstraat een tweerichtingsweg waardoor het voertuig twee verschillende richtingen op kan staan. De zware achteras zal steeds op de belastingposities geplaatst worden zoals in Figuur 3 is aangegeven.



Figuur 3: Doorsnede kelders met lastmodel 'Ladderwagen' met de zware achteras midden op de boog, naar links of naar rechts rijdend.

Tabel 8 Verkeersbelasting conform NEN 8701, het gebruik van reductiefactoren α_{c20} voor de karakteristieke belasting bij gebruik van bord C20 en het maatgevende lastmodel BM3.

	BM1 Q_{k1}	BM1 Q_{k2}	BM3 Q_{vooras}	BM3 $Q_{achteras}$
Basiswaarde Q=[kN]	300	200	80	115
α_q	1,0	1,0	1,0	1,0
Referentieperiode reductie	1,0	1,0	1,0	1,0
Trendreductie	1,0	1,0	1,0	1,0
Referentieperiode & Trendreductie	1,0	1,0	1,0	1,0
Dynamische vergrotingsfactor	-	-	1,4	1,4
Karakteristieke waarden Q=[kN]	α_{c20} x 300	α_{c20} x 200	112	161

4.2.2 Verkeersbelasting wegverkeer – horizontaal

Horizontale belastingen op de boog door verkeer vinden plaats wanneer de verkeersbelasting op een deel van de toog en/of een wand 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, zie Hoofdstuk 5. Het tweede orde effect is meegenomen in de berekening door te modelleren met Updated Mesh, zodat de vervormde constructie belast wordt door een belasting gestuurde berekening.

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.

4.2.3 Verkeersbelasting wegverkeer – vermoeiing

Er zijn geen vermoeiingsberekeningen uitgevoerd omdat dit constructietype geacht wordt niet gevoelig te zijn voor vermoeiingsbelastingen en door het lage aantal belastingcycli door (zwaar) vrachtverkeer.

4.2.4 Overige veranderlijke belastingen

Windbelasting

Voor de kelderconstructie is de windbelasting (horizontaal en verticaal) ten opzichte van de andere belastingen verwaarloosbaar klein.

Temperatuurbelasting
Belastingen door temperatuur invloeden zijn voor de kelderconstructie verwaarloosbaar klein. Daarnaast hoeven deze niet te worden betrokken in het toetsen van de uiterste grenstoestand. Om die reden is deze belasting niet nader uitgewerkt en/of opgenomen in de modellen.

4.2.5 Buitengewone belastingen

Belasting door impact
Belasting door impact is niet aan de orde. Eventuele lokale schades aan het metselwerk na botsing of overige oorzaken zullen tijdens periodieke inspecties gerepareerd kunnen worden.

Belasting door aardbevingen
In art. 3.2 van NEN 8700 staat dat voor het beoordelingsniveau 'verbouw' rekening gehouden moet worden met aardbevingsbelastingen. Dit geld niet voor het beoordelingsniveau 'gebruik' en is daarom niet meegenomen in de beoordeling. Eveneens is de regio Utrecht niet aardbevingsgevoelig.

Brandbelasting
Volgens art. 5.2 uit het Bouwbesluit 2012 dient de periode dat de hoofddraagconstructie niet mag bezwijken bij bestaande bouw 30 minuten is, zodanig dat er tijd is om de constructies te ontruimen voordat deze is verzwakt. Voor de kelderconstructie is de benodigde tijd voor ontruiming veel kleiner dan de gestelde ondergrens van 30 minuten.

4.3 Belastingcombinaties

Alleen de uiterste grenstoestand moeten zijn beschouwd met fundamentele belastingcombinaties. Bij het opstellen ervan zijn verkeersbelastingen gegroepeerd.

Fundamentele belastingcombinaties
Fundamentele belastingcombinaties zijn opgebouwd via vergelijkingen 6.10a en 6.10b uit NEN-EN 1990:

$$6.10a: \sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{"+"} \gamma_P \cdot P \text{"+"} \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} \text{" + "} \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$6.10b: \sum_{j\geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{"+"} \gamma_P \cdot P \text{"+"} \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{" + "} \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

De bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) is voor de karakteristieke belastingcombinatie beoordeeld maar mag met de frequente combinatie beoordeeld worden waar de factoren uit Tabel 8 voor de variabele belasting gelden, in dit geval de verkeersbelasting.

Tabel 9 ψ-factoren conform de NEN-EN 1990+A1/C2/NB:2019 voor gebouwen en bruggen.

ψ-factoren voor gebouwen en bruggen	$\psi 1$
Verkeersbelasting (TS+UDL) NEN-EN 1991+A1:/C2/NG:2019	0,8
Gebouwen: categorie E: opslagruimtes	0,9
Gebouwen: industrieel gebruik waarbij de veranderlijke belasting langduig aanwezig is	0,9

5 Modellering

5.1 Algemeen

Theorieën en rekenprogrammatuur
De berekeningen zijn uitgevoerd met Plaxis 2D V20 als Plane strain model (oneindig doorgaande constante doorsnede). Het opsluiten van de kelder tussen de huiskelders motiveren deze keuze. In de berekening voor het bepalen van het gedrag van de metselwerk boog is de niet-lineaire eindige elementen methode toegepast, (NLEEM of NLFEA). Voor het behoud van het erfgoed is de wens dat kelders duurzaam veilig zijn en geen tekenen van degradatie zoals scheurvorming en vervormingen vertonen door verkeersbelasting. Om hieraan te voldoen, zijn ook bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) beschouwd. In de UGT moet de sterkte van de constructie worden gecontroleerd. In de NLFEA (gebaseerd op FIBmodelcode2010) worden hiervoor drie verschillende methoden toegepast en uitgelegd in het document ‘Aanpak beoordeling metselwerk boogbruggen ‘s-Hertogenbosch’ [R3]:

1. Global Resistance Factor-methode (GRF);
2. Partial Factor method (PF);
3. Estimate of Coëfficiënt Of Variation of resistance method (ECOV).

De ervaring uit ’s-Hertogenbosch is dat de ECOV-methode tijdrovend is ten opzichte van de andere twee methoden en wordt dan ook alleen uitgevoerd indien met de GRF en/of PF-methode afwijkend onvoldoende sterkte wordt aangetoond. Daarbij kan via alle drie de methoden de veiligheid afdoende worden aangetoond zodat in principe de meest gunstige methode mag worden toegepast voor de verificatie van de constructie.
Uit ervaring van de berekeningen in ’s-Hertogenbosch is de GRF-2 methode meer toereikend bevonden dan de GRF-methode doordat de gecombineerde belastingfactor te conservatief is voor de capaciteitskant van het metselwerk en de grondeigenschappen.

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 en 1,44 voor CC2 verbouw. 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) heeft een verwaarloosbare invloed op het resultaat;
- 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 / CC2 verbouw: 1,44).

UGT-PF: rekent met rekenwaarden voor zowel metselwerk, grond als variabele belasting. Voor een beoordeling volgens het gebruiksniveau CC2 conform NEN 8700:2020 bedraagt γ_Q=1,1 (en γ_Q=1,2 conform CC2 verbouwniveau).

Uit de gevoeligheidsanalyse voor de metselwerkbogen in ‘s-Hertogenbosch blijkt, dat de bezwijkbelasting met name beïnvloed wordt door het volumieke gewicht van de grond en de sterkteparameters. Hiervoor worden rekenparameters aangehouden op basis ven de NEN 9997 Tabel A.4a kolom Keerwand. Voor de overige parameters worden karakteristieke waarden toegepast.

De PF ziet er als volgt uit:

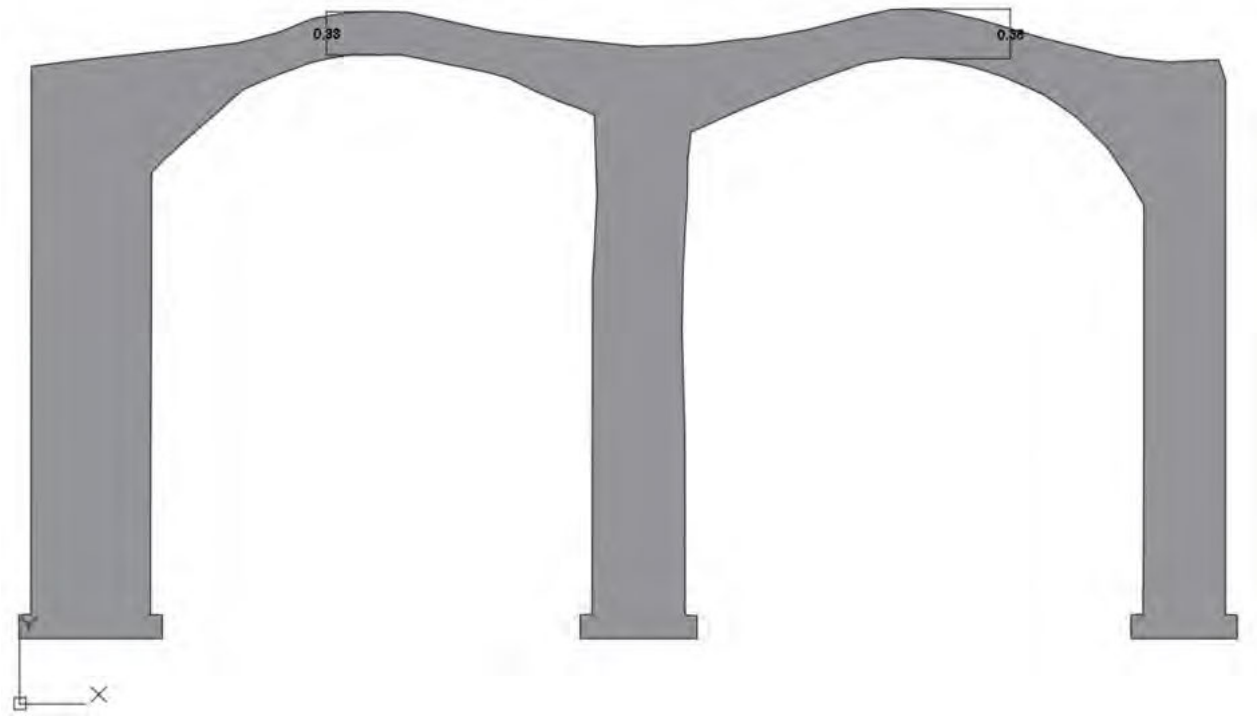
- rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk (karakteristiek/2,2);
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot, dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer doorrekent. Een waarde van maximaal 5 kPa (0,005 N/mm^2) heeft een verwaarloosbare invloed op het resultaat;
- gemiddelde waarde van het volumieke 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 NEN9997-1+C2-Keermuur;
- lage karakteristieke waarde van het laaggemiddelde van de cohesie van de grond met een partiële factor van 1,5 conform Tabel A.4a NEN9997-1+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 NEN9997-1+C2-Keermuur (Geldt met name naast de brug. Een reductie van het grondgewicht op de brug mag geen gunstige invloed hebben op het resultaat, wat bij een grote gronddekking (meer dan een meter) in de beschouwing moet worden meegenomen);
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond;
- rekenwaarde van de variabele belasting (Karakteristieke waarde maal belastingfactor (CC2 gebruik: 1,1/CC2 verbouw: 1,2).

De vervorming van de straatkelder zelf kan invloed hebben op het berekeningsresultaat. De kromming van de boog of de wanden gefundeerd op staal kunnen nadelig vervormen ten gevolge van de belasting. Om dit tweede orde effect mee te nemen zijn de berekeningen uitgevoerd met Updated Mesh. Het metselwerk is gemodelleerd op basis van het Mohr Coulomb model. Dit betekent dat bij een bepaalde spanningstoestand het metselwerk brosse deformatie vertoont.
Voor de cohesie wordt de helft van druksterkte van het metselwerk aangehouden en de hoek van inwendige wrijving op 0 gesteld. De tension cutoff (maximale trekspanning) is gelijkgesteld aan de (fictieve) buigtreksterkte bezwijkvlak loodrecht op de lintvoeg. Voor de Poisson verhouding is een waarde 0,2 aangehouden.

5.2 Modelvorming

Geometrie doorsnede kelderconstructie

De geometrie is niet bekend uit archiefgegevens. De inmeting met de 3D-pointcloud van de binnenkant van de kelder en de bovenkant in de proefsleuf zijn gebruikt. Tijdens het onderzoek is ook door middel van boringen de dikte en opbouw van het metselwerk bepaald op drie locaties. Voor de locatie van de boring is verwezen naar het inspectierapport in bijlage A2. De opbouw bestaat uit een éénsteens metselwerk boog in de kruin en verdikt naar de wanden toe. Op de boog liggen twee lagen platte stenen in de kalkmortel.



Figuur 4: De doorsnede uit de archieftekeningen [T1], [T2], [T3] en [T4], bijlage A2, met de ingemeten geometrie van de kelder tot het niveau van de keldervloer. Aannamen zijn gedaan voor de versnijding en het fundatieniveau.

Constructief gezien kan met de éénsteens boog (230 mm) inclusief de twee lagen stenen (40 mm) in de mortel gerekend worden. Dit levert een metselwerk dikte van 230+10+40+10+40 = 330 mm. Conform de gevonden verschillen in boorlengtes neemt de dikte van de boog toe in de richting van de wanden. De dikte van boogconstructie van Choorstraat [redacted] is ook vastgesteld en hier is een minimale waarde van 39 cm gevonden. Wanneer bepaalde geometrie parameters niet gevalideerd zijn tijdens het onderzoek, zoals de fundatiediepte en de versnijdingen, zijn aannemelijke waarden aangehouden. Ondanks de beperkte beschikbaarheid van archiefgegevens van straatkelders, zijn archiefgegevens van kluis- en werfkelders bruikbaar. Het algemene beeld is dat minimaal twee versnijdingen aanwezig zijn bij kluis- en werfkelders. Voor de straatkelder CHS [redacted] is één versnijding aangehouden, wat waarschijnlijk conservatief is. De hoogteligging van de kelder is ook niet gevalideerd, waardoor het fundatieniveau op een aannemelijke hoogt van NAP +0,5 m is aangehouden.

Een stenen vloer lijkt aanwezig in de hele kelder. Een stempelwerking door de vloer kan niet toegekend worden omdat de dikte van de vloer en de druksterkte van het materiaal onbekend is. Ook is de aansluiting van de vloer op de wanden niet onderzocht. In de berekening is de keldervloer gemodelleerd als een laag vastgepakt zand.

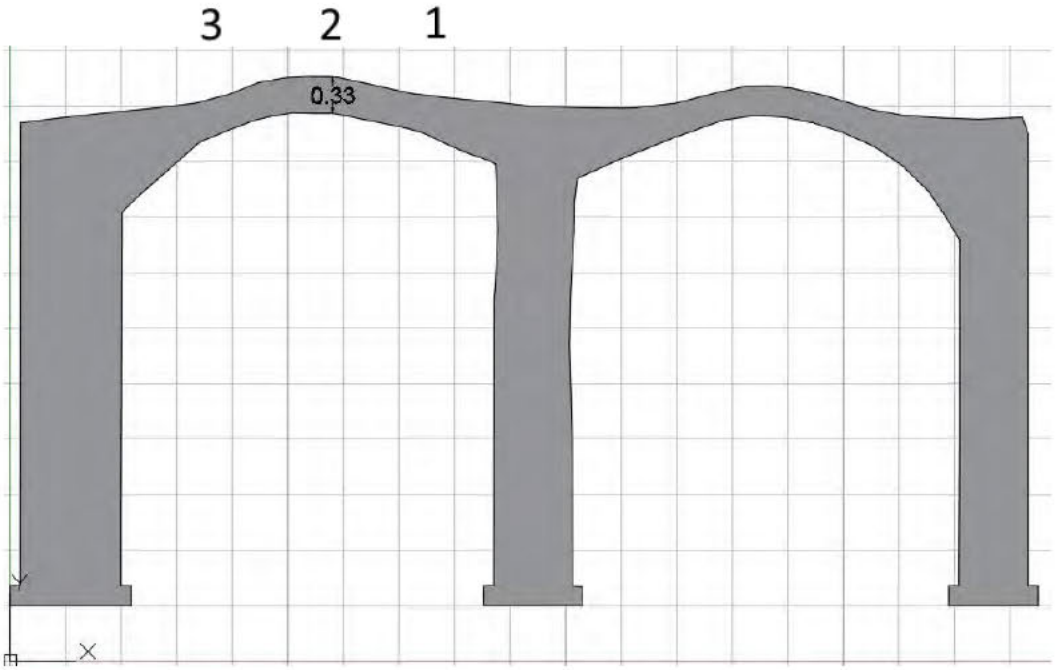
Scheidingsmuren

Van de scheidingsmuren in de kelder is het fundatieniveau alleen visueel onderzocht. Het doet er sterk op lijken dat de muren op de bestaande keldervloer zijn gebouwd. Er is op geen enkele locatie een verbinding tussen de scheidingsmuren en het gewelf aangetroffen. Als aansluiting tussen de muren en het gewelf is houtwerk aanwezig. Deze bevindingen bevestigen de keuze om een 2D berekening te maken en de beperkte 3D-effecten achterwegen te laten. Dit is een conservatief uitgangspunt voor de bepaling van de bezwijkdraagkracht omdat de scheidingsmuur gunstig kan bijdragen. Het algemene beeld is dat de muren lokale scheurvorming kunnen veroorzaken, door het verstoren van de (druk)boogwerking. De drukspanningen in de metselwerk boog nabij de muren kan verstoord worden door een dragende werking van de muren zodat lokale trekspanningen (parallel aan deze muren) op kunnen treden.

Grondopbouw en geotechnische parameters
In de berekening is een karakteristieke bodemopbouw aangehouden, waarbij naast de kelderconstructies en achter/op de wanden met zand is aangevuld. Voor de constructieve berekening van de boogconstructie dient de sterkte van de grond te worden aangehouden bij een lage rekstijfheid (<2%). Voor de berekening van het draagvermogen van de wanden (fundering op staal) mag de piekwaarde of residuele sterkte worden toegepast, zie 3.2 van NEN 8707. In de praktijk zal in de Plaxis-berekening de sterkte van de grond bij lage rekken worden aangehouden ten behoeve van de toetsing van de constructie. Indien het draagvermogen hierbij kritisch is, is dus nog enige ruimte aanwezig.
In lijn met beton waarvoor conform 6.5.3 (10) van NEN 9997-1+C2 de wandwrijving gelijk mag worden gehouden aan de hoek van inwendige wrijving van het omringende materiaal, wordt rond het metselwerk geen interface toegepast.

Draagvermogen steunpunten
Het geotechnisch draagvermogen is onderzocht middels een D-foundation berekening waar er met 5% rek voor de funderingslaag is gerekend. Voor het beoordelen van de UGT is het gebruikelijk uit te gaan van 5% vervormingen of de piekwaarde.

Maatgevende belastingposities
De ‘Aanpak beoordeling metselwerk boogbruggen ’s-Hertogenbosch’ [R3] schrijft (minimaal) vier posities voor van de belasting in de lengterichting op de werfkelder welke in de berekening moeten worden beschouwd. Deze analogie is toegepast en uitgebreid onderzocht in de beoordeling van de kelder van Kromme Nieuwegracht [redacted] [R4]. De conclusie van dat onderzoek is dat de belastingposities centraal op de boog met symmetrische en asymmetrische verkeersbelasting maatgevend is. De verkeersbelasting boven op de wand en daarachter is niet maatgevend voor het bepalen van het moment van scheuren en de bezwijkbelasting. De belastingpositie boven de wand is wel maatgevend voor het draagvermogen van de ondergrond. Dit is met D-foundation onderzocht, zie paragraaf 6.1.
Omdat het hier constructief gezien één constructie betreft, bestaande uit een aaneenschakeling van twee kelders zullen er aanzienlijk meer unieke belastingposities onderzocht moeten worden. Echter hebben de berekeningen van de kelders van de Kromme Nieuwegracht [redacted] aangetoond dat de maatgevende posities op de boog zijn. In Figuur 5 zijn alle unieke belastingposities schematisch aangegeven waar het hart van de (gespreide) verkeersbelasting (TS 1) ter plaatse van elk cijfer staat. Vervolgens kan het tweede tandem stelsel (TS 2) links, rechts of op grote afstand staan van tandem stelsel (TS 1). Totaal worden dus 9 belastingposities beoordeeld.



Figuur 5: De te beoordelen belastingposities voor de doorsnede van de kelderconstructies.

Per positie zijn de berekeningen uitgevoerd. De NLEEM-berekening is als volgt opgebouwd:

Tabel 10 Opbouw NLEEM-berekening in Plaxis, BM1.

Stap	Omschrijving	Wijziging in stap
A		Oorspronkel jke bodemopbouw (maaiveldniveau NAP+5,61 m en grondwaterstand NAP +0,5 m)
B		Ontgraving tot onderkant fundering en grondwaterstand NAP +0,5 m onder ontgravingsniveau
C		Straatkelder en aanvulling tot huidige situatie
D		Gemiddelde grondwaterstand gedurende de volledige levensduur
1 (in D)	Huidige situatie met maatgevende maaiveld niveaus en (grond)- waterstanden	Metselwerk: Gemiddelde waarde druksterkte en treksterkte, Gemiddelde waarde volumiek gewicht en st jfheid Grond: Karakteristieke waarde sterkte- en stijfheidsparameters, Gemiddelde waarde volumiek gewicht Verkeersbelasting: Geen
2	Toets BGT Normatief lastmodel	Verkeersbelasting: Normatief lastmodel tot de reductiefactor α_{c20} conform de aslast beperking met het bord C20.
3	Karakteristieke druksterkte metselwerk en verwaarlozing treksterkte	Metselwerk: Karakteristieke waarde Druksterkte en Treksterkte 5 kPa
4	Rekenwaarden grond en metselwerk	Metselwerk: Rekenwaarde druksterkte (Karakteristiek/2,2), Treksterkte 5 kPa/2,2 Grond: Rekenwaarde hoek van inwendige wr jving (karakteristiek/1,2), Rekenwaarde cohesie (karakteristiek/1,5) Rekenwaarde volumieke gewicht (karakteristiek/1,1) [gedraineerd]
5	Toets UGT-PF lastbeperking BM1	Verkeersbelasting: Rekenwaarde (Belastingfactor CC2 Gebruik: 1,1) [ongedraineerd]

6 (vanaf 3)	Rekenwaarden grond en metselwerk	Metselwerk: Rekenwaarde druksterkte (Karakteristiek*0,545), Treksterkte 5 kPa*0,545 Grond: karakteristieke waarde hoek van inwendige wrijving, Rekenwaarde cohesie (karakteristiek*0,8) Gemiddelde waarde volumieke gewicht [gedraineerd]
7	Toets UGT-GRF-2 lastbeperking BM1 (vanaf stap 3)	Verkeersbelasting: Rekenwaarde (Belastingfactor CC2 Gebruik: 1,32) [ongedraineerd]

Tabel 11 Opbouw NLEEM-berekening in Plaxis, BM3.

Stap	Omschrijving	Wijziging in stap
A		Oorspronkel jke bodemopbouw (maaiveldniveau NAP+5,61 m en grondwaterstand NAP +0,5 m)
B		Ontgraving tot onderkant fundering en grondwaterstand NAP +0,5 m onder ontgravingsniveau
C		Straatkelder en aanvulling tot huidige situatie
D		Gemiddelde grondwaterstand gedurende de volledige levensduur
1 (in D)	Huidige situatie met maatgevende maaiveld niveaus en (grond)- waterstanden	Metselwerk: Gemiddelde waarde druksterkte en treksterkte, Gemiddelde waarde volumiek gewicht en st jfheid Grond: Karakteristieke waarde sterkte- en stijfheidsparameters, Gemiddelde waarde volumiek gewicht Verkeersbelasting: Geen
2	Toets BGT BM3	Verkeersbelasting: bijzonder zwaar transport
3	Karakteristieke druksterkte metselwerk en verwaarlozing treksterkte	Metselwerk: Karakteristieke waarde Druksterkte en Treksterkte 5 kPa
4	Rekenwaarden grond en metselwerk	Metselwerk: Rekenwaarde druksterkte (Karakteristiek/2,2), Treksterkte 5 kPa/2,2 Grond: Rekenwaarde hoek van inwendige wr jving (karakteristiek/1,2), Rekenwaarde cohesie (karakteristiek/1,5) Rekenwaarde volumieke gewicht (karakteristiek/1,1) [gedraineerd]
5	Toets UGT-PF BM3	Verkeersbelasting: Rekenwaarde (Belastingfactor CC2 Gebruik: 1,1) [ongedraineerd]
6 (vanaf 3)	Rekenwaarden grond en metselwerk	Metselwerk: Rekenwaarde druksterkte (Karakteristiek*0,545), Treksterkte 5 kPa*0,545 Grond: karakteristieke waarde hoek van inwendige wrijving, Rekenwaarde cohesie (karakteristiek*0,8), Gemiddelde waarde volumieke gewicht [gedraineerd]
7	Toets UGT-GRF-2 BM3	Verkeersbelasting: Rekenwaarde (Belastingfactor CC2 Gebruik: 1,32) [ongedraineerd]

6 Resultaten verificatie

6.1 Draagvermogen fundering op staal

Aanvullende berekeningen zijn gemaakt om een inschatting te geven van de geotechnische draagkracht van de fundering op staal, zie bijlage A1. Er is gerekend met een funderingsoppervlak met een breedte van 1,087 m en een lengte van 8,973 m. Deze breedte komt tot stand doordat er één versnijdinging toegepast is van ca. 9 cm per versnijding. Het eigengewicht inclusief belastingfactoren is toegepast waar een 'rest capaciteit' voor het verkeer overblijft. Met D-Foundation is het draagvermogen van de ondergrond berekend. Als het draagvermogen wordt overschreden zal grote zakking plaatsvinden.
De berekeningen in D-foundations leidt tot het inzicht dat bij verkeersbelastingen behorende bij een aslastbeperking van groter of gelijk aan 3 ton (α_{C20}=0,168) een significante zakking van de fundering op staal waarschijnlijk is. Dit is dus het berekende draagvermogen van de ondergrond naast het eigengewicht van de kelder, grondaanvulling en het straatwerk. Indien de verkeersbelasting op de kelder toeneemt zal ook de zakking van de wanden van de kelder toenemen. Dit inzicht beïnvloedt de beoordeling van de BGT en UGT, doordat de toenemende zakking van de wanden de boogwerking beïnvloedt en hierdoor ook de constructieve sterkte.

6.2 Lastbeperking via bebording – bord C20 (BM1)

De BGT-berekeningen beoordelen het risico op scheuren van het metselwerk door verkeersbelasting aan de hand van de buigtreksterkte van het metselwerk. Het gaat erom dat voor de constructieve beschouwing van de boogconstructie het draagvermogen van de ondergrond niet wordt beoordeeld. Indien namelijk het draagvermogen van de ondergrond maatgevend is, zal de boog vervormen, wat invloed zal hebben op de constructieve toetsing. Belangrijker is echter dat de Plaxis-berekening dan als maatgevend bezwijkmechanisme het draagvermogen van de ondergrond levert en de constructieve sterkte dan niet verder beoordeeld kan worden. Om te voorkomen dat het draagvermogen van de ondergrond kritisch kan worden is de cohesie verhoogd. Het draagvermogen van de ondergrond is in 6.1 apart beschouwd. Het falen van de fundering op staal is onwaarschijnlijk voor de relatief lage verkeersbelasting behorende bij de BGT toetsen. De verkeersbelasting uit deze berekeningen is verwacht frequent voor te komen. Zodoende ligt de focus op de beoordeling van de constructieve sterkte van de boog.
Voor de lastbeperking via bebording met het bord C20 is voor alle 3 belastingposities de BGT getoetst. Voor elke positie is het tweede laststelsel links (B), rechts (A) of op grote afstand (-) ten opzichte van het eerste laststelsel geplaatst. De afstand tussen de twee laststellen is minimaal 1,5 m, waar in de beoordeling deze minimale afstand is toegepast zodat het grootste belastingeffect optreedt. Op basis van de berekeningsresultaten zijn de maatgevende belastingposities bepaald. De resultaten voor de verkeersbelasting behorende bij een bord C20 6 ton aslast-beperking voor de BGT zijn opgenomen in Tabel 11.

De UGT-berekeningen bepalen/benaderen de bezwijkcapaciteit van de constructie door verkeersbelasting. Doordat het draagvermogen in werkelijkheid kritisch is voor het bezwijken van de fundering op staal, zal het Hardening Soil-model toegepast moeten worden. De spreiding tot 2,7 m in de breedte richting is té conservatief voor het geotechnisch draagvermogen en zodoende is aan de sterkte kant dit verrekend door de cohesie te verhogen. De breedte van de kelder aan de onderzijde van de metselwerk voet is namelijk circa 8 m. Door de hogere cohesie wordt het draagvermogen uitgeschakeld om de boogconstructie te kunnen toetsen. De fundering op staal zal nu niet/minder maatgevend zijn. De resultaten van de Plaxis berekeningen zijn met een HS-model met een verhoogde cohesie van 10 kPa. Dit komt overeen met de aanpak van de beoordeling van de kelder van de Kromme Nieuwegracht [redacted] [R4].

Voor de UGT-toetsing zijn de PF en de GRF-2 methodes uitgevoerd voor alleen de maatgevende belastingposities voor de beoordeling van de boogconstructies. De berekeningsresultaten voor de

maatgevende belastingposities voor de UGT met de verkeersbelasting bij een bord C20 10 ton zijn weergeven in Tabel 12. De resultaten van de maatgevende belastingpositie met het tweede laststelsel links (B), rechts (A) of op grote afstand (-) van het zware laststel zijn steeds gegeven. Hier zijn enkele belastingposities achterwege gelaten omdat uit de BGT-toetsing bleek dat deze niet maatgevend zijn.

De boogconstructie van CHS [redacted] is indirect deels beoordeeld omdat deze aaneengeschakeld gemodelleerd is in Plaxis. Aanvullend is éénmaal het verkeer op de maatgevende positie midden op de boog geplaatst. De resultaten van de CHS [redacted] zijn echter niet meegenomen in de hoofdrapportage maar er is wel een berekening gemaakt met de belastingposities 1A en 2 t.o.v. CHS [redacted] voor toets BM1 en de BGT en UGT-belasting op respectievelijk 6 en 9 ton. Deze berekening is toegevoegd in Bijlage A6.

Samenvatting berekeningsresultaten

Voor de maatgevende verkeersbelasting zijn in de onderstaande tabellen de resultaten gegeven. De beoordeling is gescheiden door het beoordelen van de onderkant en bovenkant van de boog. Dit is gedaan omdat de fasering trekspanningen aan de bovenkant van de boog veroorzaakt, zie paragraaf 6.2.2. Tabel 11 geeft aan dat de maximale toelaatbare buigtreksterkte van het metselwerk aan de onderzijde van de boog niet wordt bereikt bij de verkeersbelasting van 6 ton aslastbeperking. Voor belastingpositie 3B wordt deze wel bereikt bij een verkeersbelasting van 7 ton want de trekspanning bedraagt dan 570 kN/m^2, dit is groter dan de toelaatbare buigtreksterkte van 550 kN/m^2. Tabel 12 geeft aan of de constructie voldoet in de UGT voor de verkeersbelasting van 10 ton. Hier is de buigtreksterkte verwaarsloosd en de drukspanning (afhankelijk van de beoordelingsmethode) niet mag worden overschreden. Bij een verkeersbelasting van 12 ton voldeed de constructie niet voor belastingpositie 2.

Tabel 12 Berekeningsresultaten BGT - Bord C20 6 ton (BM1). Maximaal berekende druk- en trekspanning in de onderkant van het metselwerk per belastingpositie.

Belastingpositie	3B	3	3A	2B	2	2A	1B	1	1A
BGT(-8500/550)[1)]	-2860/335	-2630/200	-2500/20	-3580/20	-3290/20	-2850/20	-3090/10	-2750/10	-2360/10

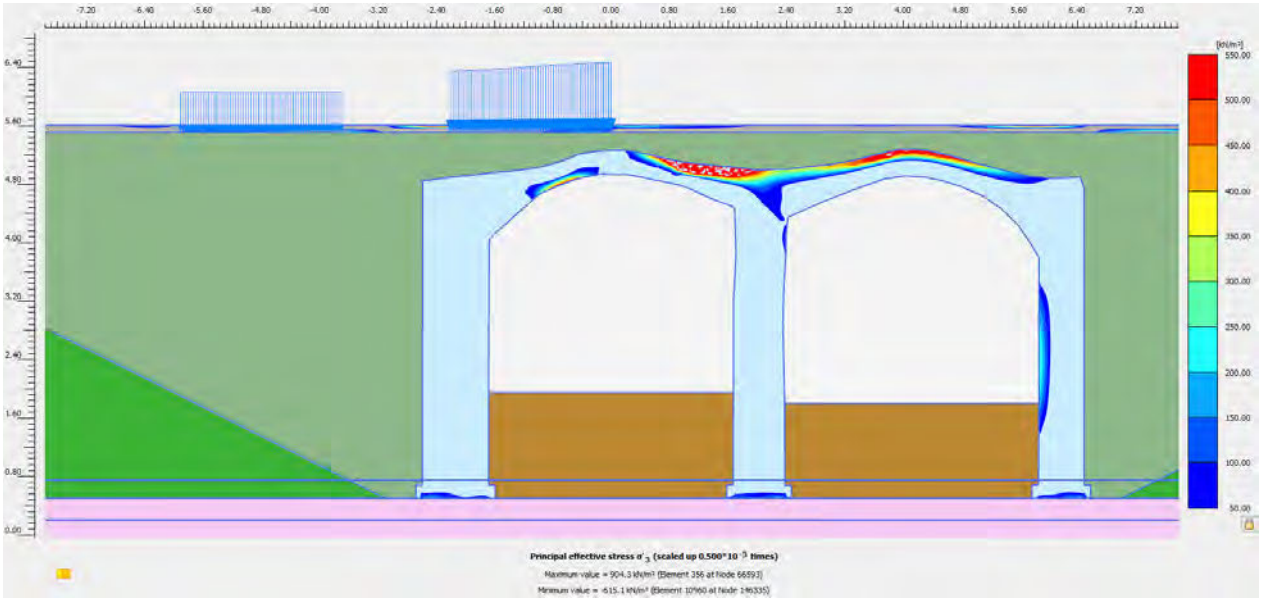
1) (gemiddelde druksterkte metselwerk / gemiddelde buigtreksterkte metselwerk bezwijkvlak loodrecht op lintvoeg)

Tabel 13 Berekeningsresultaten UGT – Bord C20 10 ton (BM1).

Belastingpositie	3B	3	3A	2B	2	2A	1B	1	1A
PF	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet
GRF-2	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet

6.2.1 BGT

In Figuur 6 is een voorbeeld opgenomen waar (net) niet wordt voldaan aan de treksterkte in de BGT-toets.

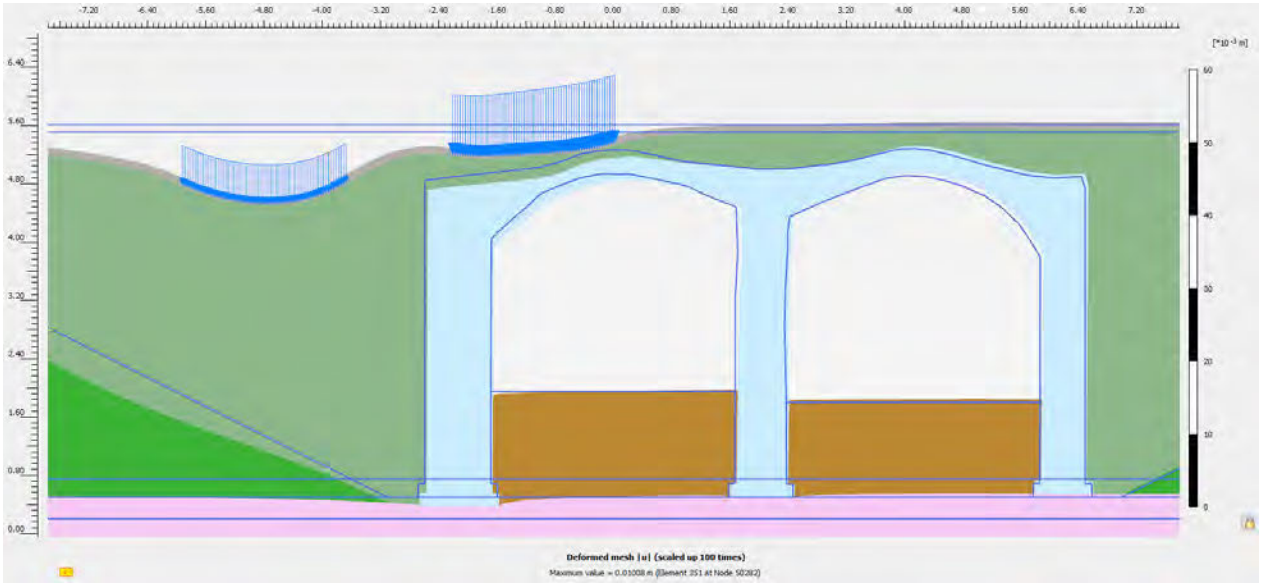


Figuur 6 BGT-toets voor de verkeersbelasting op belastingposities 3 B behorende bij een 7 ton aslastbeperking (HS-model met c=10 kPa in funderingslaag).

In bijlage A5 zijn de berekende druk- en trekspanningen weergegeven voor alle belastingposities. De toelaatbare drukspanning van 8500 kN/m^2 (aangehouden gemiddelde druksterkte metselwerk) wordt nergens overschreden. De toelaatbare trekspanning (aangehouden gemiddelde treksterkte metselwerk loodrecht op lintvoeg) van 550 kN/m^2 wordt bereikt aan de onderzijde van de boog bij een aslastbeperking van 7 ton. De toelaatbare trekspanning aan de bovenzijde van de boog is al overschreden in de fasering (zie §6.2.2).

In de BGT-toetsing is gerekend met de ‘karakteristieke’ verkeersbelasting. Dit is een hoge en niet vaak optredende belasting. Normaliter in het ontwerp van een betonconstructie is de frequente belastingsituatie leidend voor de vormingen (scheurwijdte) en deze is een factor circa 0,8 lager (ψ_1), zie Tabel 8. Omdat er voor een lastbeperking beoordeeld is, zal de kans groter zijn op het voorkomen van voertuigbelastingen nabij de geldende lastbeperking dan de frequente situatie. Derhalve zou bijvoorbeeld met een factor van 0,9 meer gepast zijn, zie Tabel 8. Hierdoor zal de optredende trekspanningen afnemen tot een smallere strook waardoor de maximale scheurwijdte mogelijk afneemt. Bij een lagere belasting neemt daarna de grootte van de optredende trekspanning af.

In Figuur 7 is een voorbeeld opgenomen van de berekende vervorming van de boog bij de BGT-toets. De maximale vervorming van 10 mm treedt op direct onder de belasting voornamelijk door het inzakken van de bovenliggende grond. De vervorming van de boog bedraagt ca. 1 mm en de vervorming van de linkerwand ca. 1,0 mm. Totaal is de bovenbelasting door de twee tandemstellen: 2 x 117 kN + 2 x 78 kN = 390 kN, waarvan een groot deel naar de wand gaat die de grootste zakking laat zien. In bijlage A5 zijn de berekende vervormingen weergegeven voor alle belastingposities.

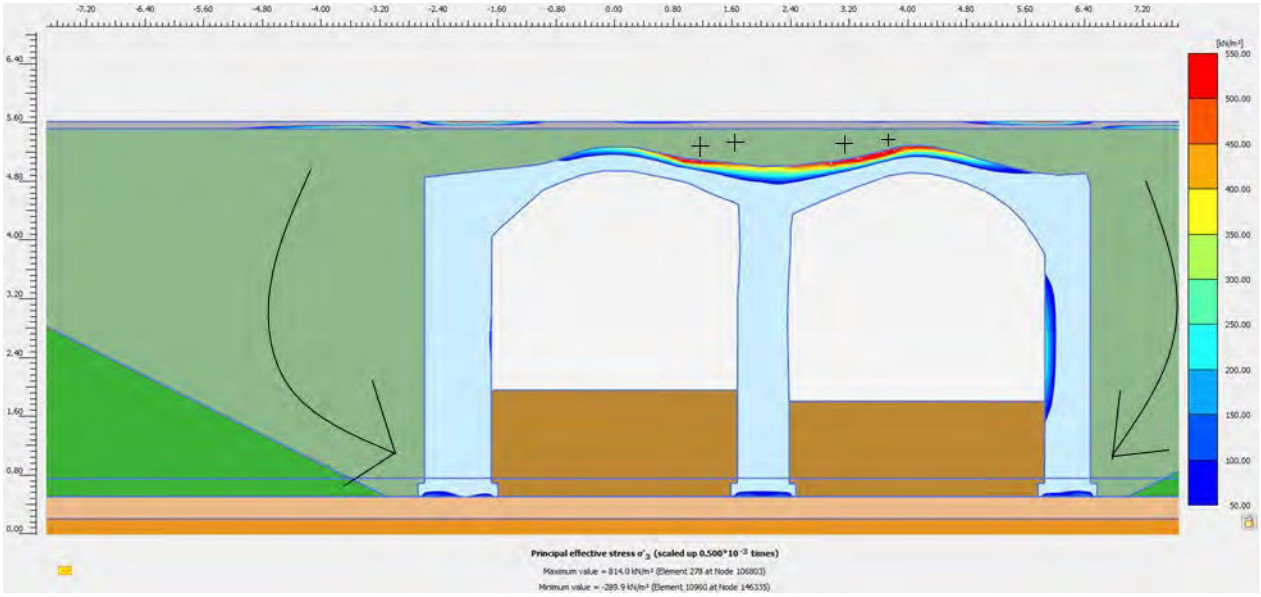


Figuur 7 Vervormingen voor de verkeersbelasting op belastingposities 3 B behorende bij een 6 ton aslastbeperking (HS -model met c=10 kPa). Zakking van de wand = 1 mm.

6.2.2 Fasering

De trekspanningen aan de bovenkant van de bogen worden veroorzaakt door de horizontale gronddruk naast de wanden en zijn het gevolg van de aangehouden bouwfasering. Na het uitgraven wordt de kelder in zijn geheel gemetseld en vervolgens wordt er grond aangevuld waarbij de grond dus tegen de kelder aan drukt. Dit zorgt ervoor dat er een horizontale gronddruk op de buitenste wanden van de twee kelders komt waarmee de bogen omhoog worden gedrukt. Dit zorgt voor trekspanningen aan de bovenzijde van de bogen, zie Figuur 8, aangegeven met het plus-teken. De berekeningsresultaten laten over een lengte van circa 4 m hoge trekspanningen zien. Echter is het onbekend in welke richting scheuren door het opbollen van de kelder ontstaan.
Tijdens de inspectie is de bovenzijde van beide bogen zichtbaar geweest in de proefsleuf. De proefsleuf lag op de doorsnede waar het keldervloerniveau voor CHS [redacted] het laagst is. Dit zou het meest maatgevend zijn voor het opbollen van de kelder omdat de gronddruk in de kelder hier het laagst is. Echter is er geen scheurvorming waargenomen aan de bovenzijde van de boogconstructies. Mogelijk is het metselwerk in het verleden eens vernieuwd of is er een extra laag platte stenen aangebracht op de boog. Voor de beoordeling is het overschrijden van de treksterkte aan de bovenzijde niet verder beoordeeld. Vanwege deze hoge trekspanningen aan de bovenkant is er ook een hoge BGT-verkeersbelasting mogelijk omdat de trekspanning in de top eerst moeten worden gecompenseerd voordat er hoge trekspanningen komen in de onderkant van de boog.

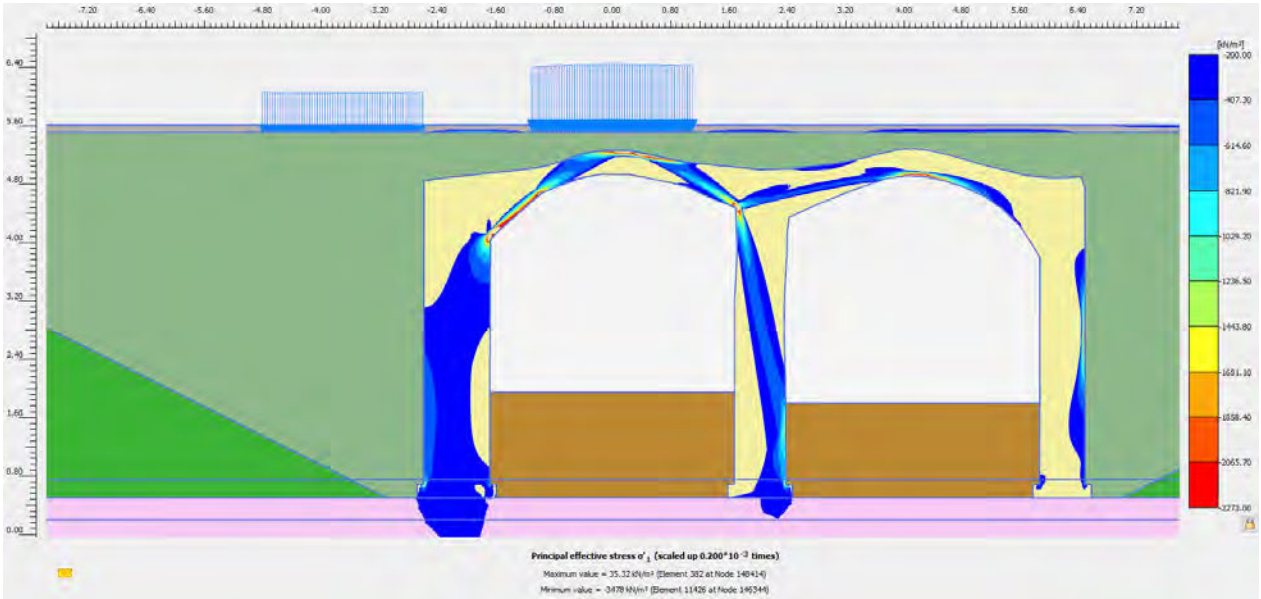
In Bijlage A7 is de krachtswerkingzonder de fasering kort onderzocht en besproken. De conclusie van deze resultaten is dat geen significante verschillen in de krachtswerking door de fasering optreden. Zodoende is de huidige aanpak aangehouden, die ook voor de andere herberekende kelders in dit spoor geldt.



Figuur 8 Trekspanning in de fase na het aanvullen van grond met een langdurige waterstand en vóór het toepassen van verkeersbelasting (stap D uit Tabel 10 en Tabel 11).

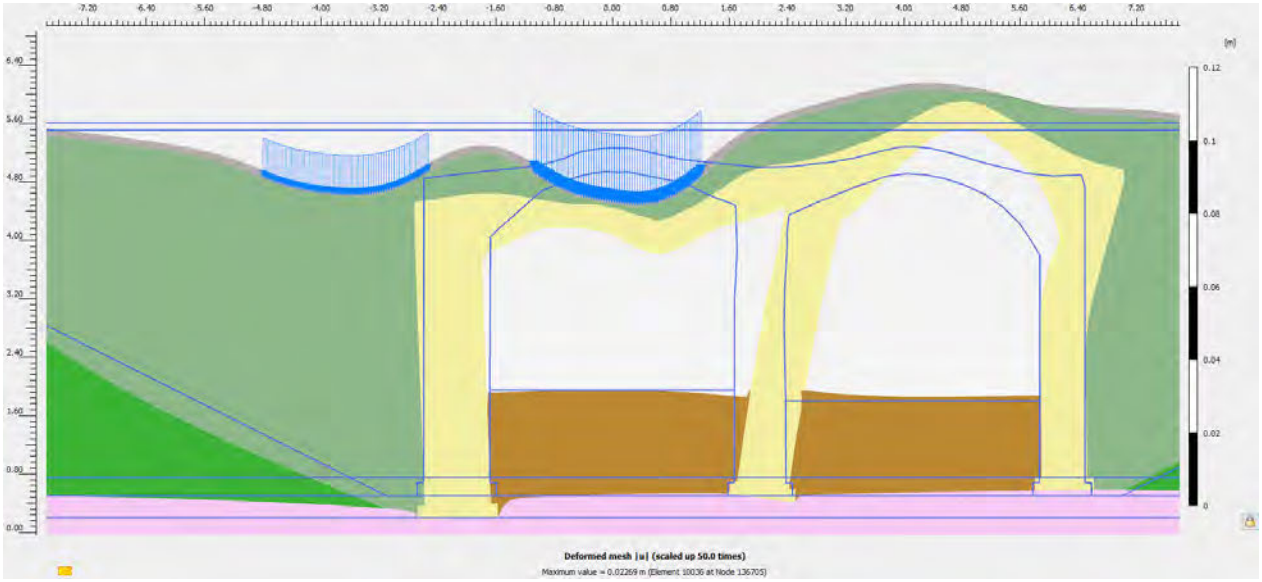
6.2.3 UGT

Voor alle berekende belastingposities wordt voor de verkeersbelasting behorende bij een bord C20 van 10 ton voldaan aan de benodigde constructieve veiligheid. Belastingpositie 2B is maatgevend en geeft de resultaten die het dichtst bij bezwijken van de constructie zijn gelegen. Dat wil zeggen dat in combinatie met de lage aangehouden trekspanning in het metselwerk over de breedte van de resterende drukboog de toelaatbare drukspanning in het metselwerk (net) niet wordt overschreden, te weten bij de PF-methode (5000/2,2 =) 2272 kN/m^2 en de GRF-2-methode (5000/2,2*1,2) = 2725 kN/m^2. Het ontstaan van plastische scharnieren is zichtbaar op drie locaties maar de optredende buigende momenten zijn nog niet op elke locatie gelijk aan de capaciteit dus faalt de constructie (nog) niet.



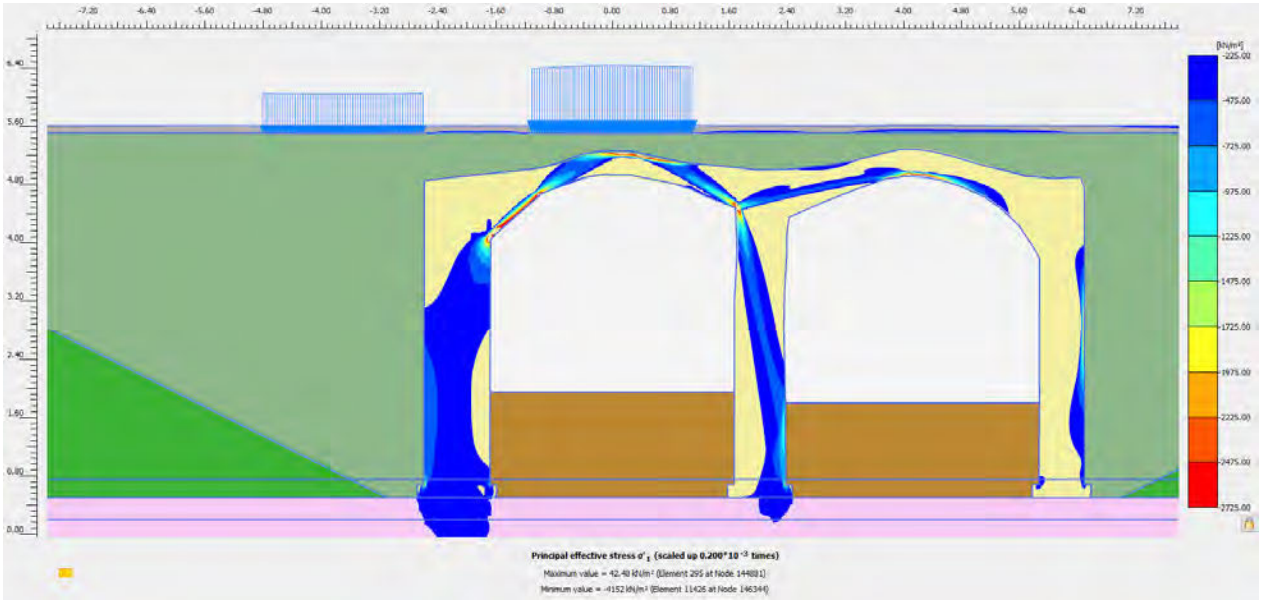
Figuur 9 UGT-toets PF-methode voor de verkeersbelasting op belastingpositie 2 behorende bij een 10 ton aslastbeperking.

In Figuur 11 is de (fictieve) vervorming weergegeven met een vergrotingsfactor van 50, bij de verkeersbelasting op belastingpositie 2B behorende bij een 10 ton aslastbeperking voor de PF-methode. 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. De fictieve zakking van de boog in de UGT ligt rond de 2 cm waarvan circa 0,6 cm wordt veroorzaakt door de zakking van de wanden en de overige door de indrukking van de boog zelf.



Figuur 10 Vervormingen voor de verkeersbelasting op belastingpositie 2 behorende bij een 6 ton aslastbeperking

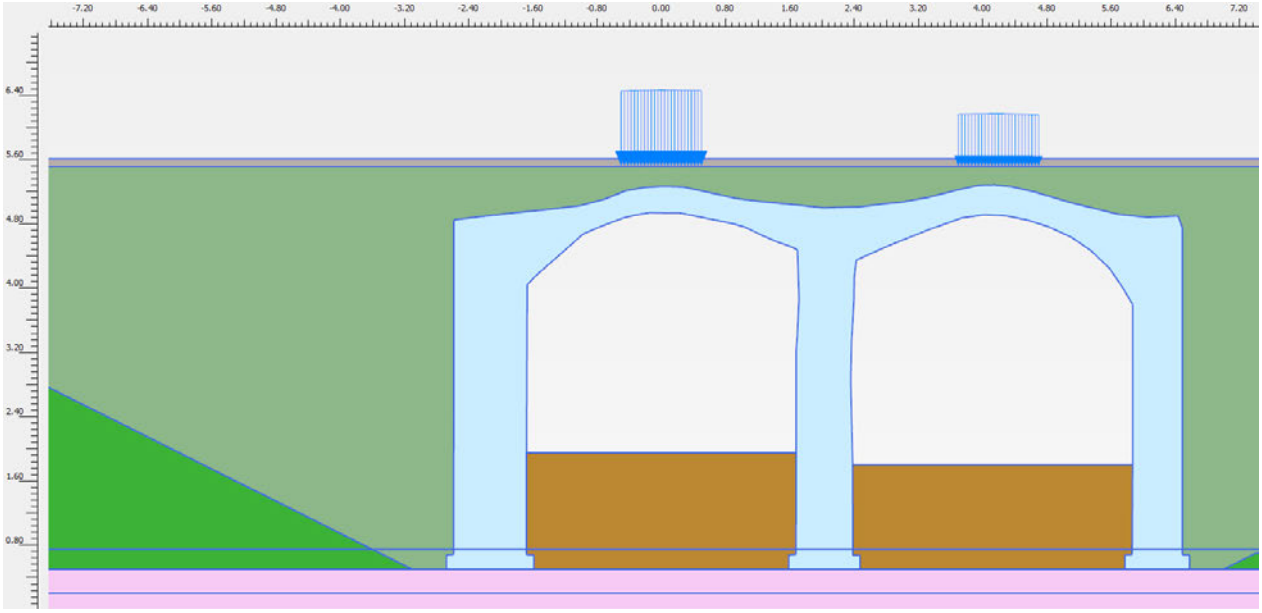
Belastingpositie 2 met het verkeer behorende bij een 10 ton aslast beperking geeft een maximale zakking van de boog van 0,026 m. Hier is het kritische draagvermogen van de grond als niet maatgevend gemaakt door een hogere sterkteparameters aan te houden waaronder een cohesie van 10 kPa zodat de boog maatgevend is. Voor 3 punten in de boog is de maximale druksterkte overschreden en vormt het begin van een bezwijkmechanisme, zie Figuur 12. Echter is de maximale drukspanning nog over een kleine dikte van de boog gemobiliseerd. Wanneer de verkeersbelasting wordt verhoogd conform de NEN8701 Tabel B2 is de verkeersbelasting voor het bord C20; 12 ton aslastbeperking. De kelderconstructie bezwijkt voordat deze belasting bereikt is waardoor de limiet bij het bord C20 op 10 ton aslastbeperking ligt. Bij 12 ton zorgen de 3 plastische scharnieren voor dusdanige grote vervorming dat de boog bezwijkt, zie Figuur 12. Dit betekent dat eventueel het decentraal belasting model, verkeer tot 60 ton totaalgewicht toelaatbaar is op basis van sterkte, voor de kelder van CHS [redacted]



Figuur 11 UGT-toets GRF-methode voor de verkeersbelasting op belastingpositie 2B behorende bij een 10 ton aslastbeperking.

6.3 BM3 – inzet brandweer

In Figuur 13 is de schematisering van de boog weergegeven met de BM3-belasting ‘ladderwagen’ met de zware achteras (11,5 ton) op het midden van boog (belastingpositie 2). De vooras staat hier op een afstand van 4,2 m voor de achteras.



Figuur 12 schematisering van de twee assen op de boogconstructie.

De beoordeling van BM3 (brandweer) benodigd voor de BGT en UGT eenzelfde aanpak als voor BM1 doordat het belastingeffect van de ‘ladderwagen’ dezelfde orde van grote is als de verkeersbelasting behorende bij een 4 à 5 ton aslastbeperking. Voor de BM3 verkeersbelasting zijn alle belastingposities de BGT-toetsing en de UGT-toetsing (methoden PF, de GRF-2) uitgevoerd. In de berekening is het HS-model toegepast met een cohesie van c=10 kPa. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 13.

Tabel 14 Berekeningsresultaten BM3.

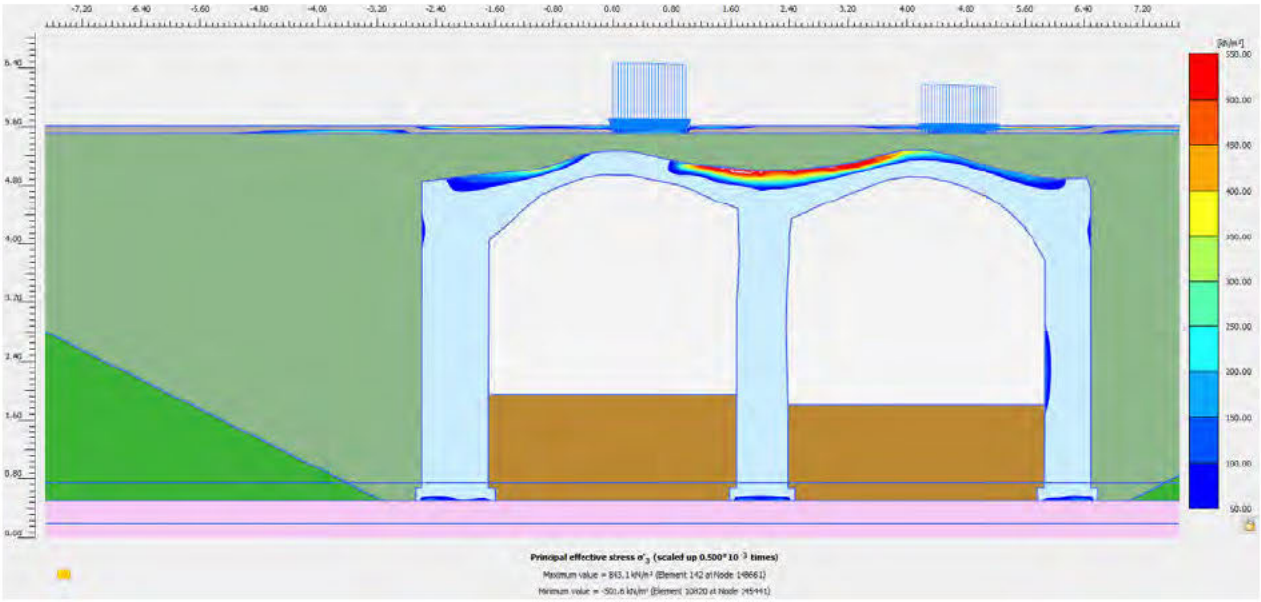
Belastingpositie	3B	3A	2B	2A	1B	1A
BGT (max -8500/550)[1)]	-2690/120	-2370/10	-2980/10	-2610/10	-3070/20	-2690/10
PF	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
GRF-2	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet

1) (gemiddelde druksterkte metselwerk / gemiddelde buigtreksterkte metselwerk bezwijkvlak loodrecht op lintvoeg)
2) (maximaal berekende drukspanning / trekspanning)

6.3.1 BGT

In bijlage A5 zijn de berekende druk- en trekspanningen weergegeven voor alle belastingposities. De toelaatbare drukspanning van 8500 kNm^2 wordt nergens overschreden, maar de toelaatbare trekspanning van 550 kN/m^2 wordt in alle gevallen aan de bovenzijde van de boog overschreden. Zoals beschreven in §6.2.1 bevindt de meeste trekspanning zich in de bovenkant van de boog als gevolg van de fasering. De BM3 belastingen zijn niet hoog genoeg om te trekspanning in de bovenkant te compenseren en trekspanningen in de onderkant te laten optreden.

De scheuren in de bovenkant van de boog zullen loodrecht op de rijrichting optreden, gecodeerd als Type I scheur conform het onderzoek uit spoor 2. In Figuur 14 is een voorbeeld opgenomen waar de toelaatbare trekspanning wordt overschreden in de bovenkant van de boog.

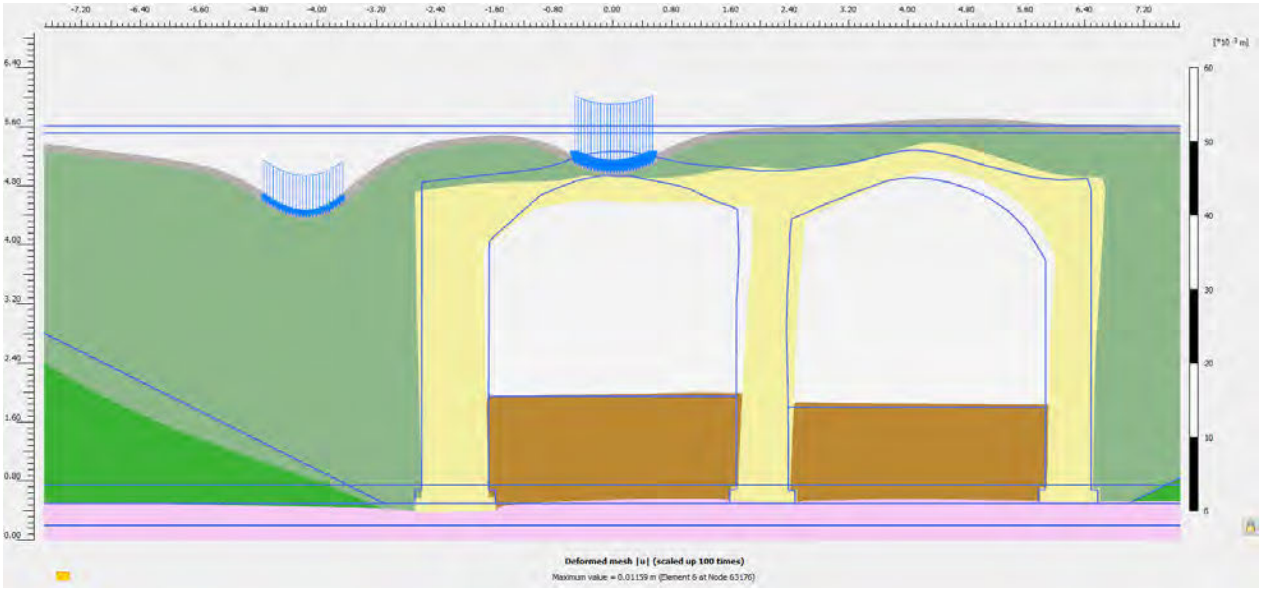


Figuur 13 BGT-toets BM3 op belastingpositie 1A (trekspanning van 550 kN/m^2 wordt op meerdere locatie overschreden)

6.3.2 UGT

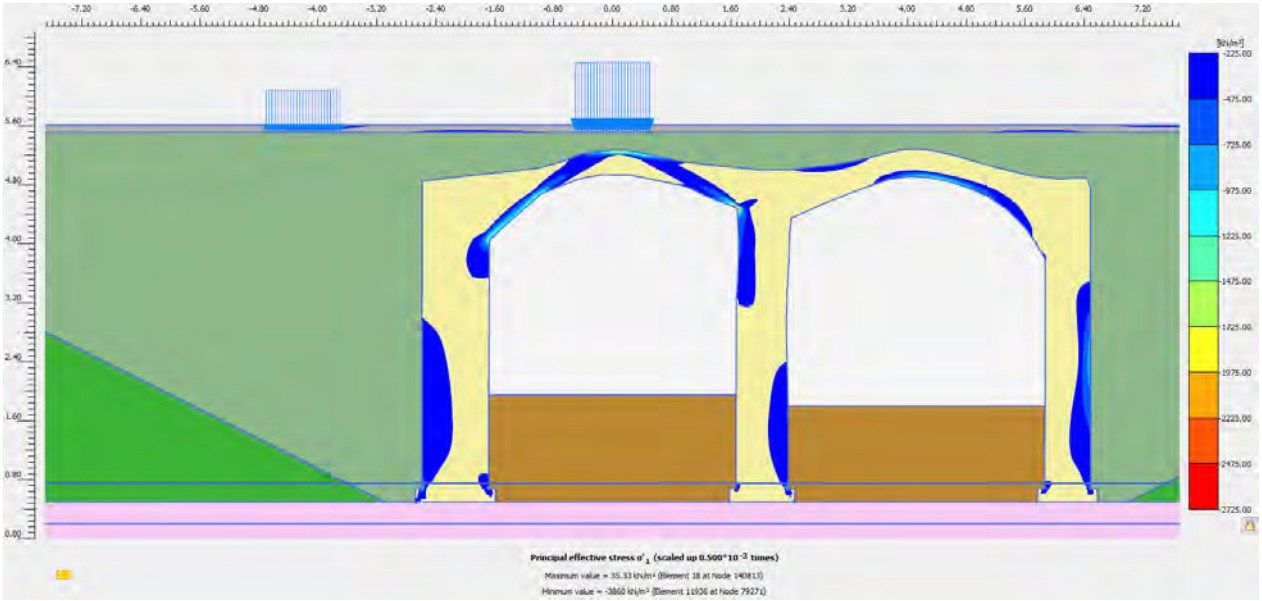
Voor alle berekende belastingposities wordt, voor de verkeersbelasting door de ladderwagen, voldaan aan de benodigde constructieve veiligheid. Belastingpositie 2A geeft de resultaten die het dichtst bij het bezwijken van de constructie zijn gelegen. Dat wil zeggen dat in combinatie met de lage aangehouden trekspanning in het metselwerk over de breedte van de resterende drukboog de toelaatbare drukspanning in het metselwerk (net) niet wordt overschreden, te weten bij de GRF-2-methode (5000/2,2*1,2=) 2725 kN/m^2 en bij de PF-methode (5000/2,2 =) 2272 kN/m^2.

In Figuur 15 is de (fictieve) vervorming weergegeven bij de voertuigbelasting op belastingpositie 2B bij de GRF-methode. 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. De fictieve zakking van de boog in de UGT is ca. 0,5 cm waarvan circa 0,1 cm wordt veroorzaakt door de zakking van de wanden en de overige door de indrukking van de boog zelf.



Figuur 14 Vervormingen door de aslasten van de ladderwagen; belastingpositie 2B.

In Figuur 16 is voor dezelfde belastingpositie het bijbehorende drukspanningsverloop weergegeven. De drukbogen zijn al duidelijk zichtbaar, maar de maximaal toelaatbare druksterkte wordt nog lang niet over de drukboogbreedte gemobiliseerd.



Figuur 15 UGT GRF-2-methode BM3 op positie 2B – Drukspanningen (max ca. 2725 kN/m2)

7 Conclusie en aanbevelingen

7.1 Conclusie

Dit rapport bevat de resultaten van de verificatieberekening van de kelderconstructies van de Choorstraat [redacted] (CHS [redacted] in Utrecht. Het overrijden door verkeer met een lastbeperking via bebording (NEN 8701) en bijzondere verkeersbelasting (BM3) is voor de kelder in de huidige staat beoordeeld.

De Plaxis-berekeningen laten een overschrijding zien van de buigtreksterkte in de bovenkant van de boog als gevolg van de fasering. Na het metselen van de kelder is er aangevuld waarbij de grond tegen de kelders aan druk. Deze horizontale gronddruk zorgt voor een lichte vervorming van de kelderwanden naar binnen toe en daarmee een toename van de trekspanningen in de bovenkant van de boog. De overschrijding betekent een risico tot scheuren. Tijdens de inspectie zijn er geen scheuren in het dak van de kelder aangetroffen. Mogelijk is het metselwerk in het verleden eens vernieuwd of is er tijdens de bouw naast de kelder aangevuld voordat de gehele kelder gemetseld was.

De berekeningen van de fundering op staal hebben, met de beschikbare grondgegevens, geleidt tot het inzicht dat overschrijden van het geotechnisch draagvermogen optreedt bij de verkeersbelastingen **groter dan 3 ton aslastbeperking**. Het gevolg hiervan is het verstoren van de boogvorm waardoor de spanningen in de boog toenemen onder gelijke belasting. Er kan geconcludeerd worden dat het draagvermogen van de fundering kritisch is voor de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie.

Op basis van de Plaxis-berekeningen is aangetoond dat de boog van CHS [redacted] een risico heeft op het overschrijden van de buigtreksterkte (ondergrenswaarde) van het metselwerk aan de onderkant van de boog bij de karakteristieke verkeersbelasting behorende bij een 7 ton aslastbeperking. Tijdens de inspectie is nagenoeg geen schade aan het metselwerk aangetroffen dat overbelasting doet vermoeden. Zodoende is het risico op scheuren van het metselwerk voor de verkeersbelasting behorende tot een **6 ton aslastbeperking** acceptabel bevonden. Bij hogere verkeersbelastingen neemt het risico op scheuren sterk toe. Conform NEN 8701 moet tegelijkertijd de maximaal toelaatbare massa van de te passeren voertuigen zijn beperkt tot α_{c20} x 60 ton = 0,391 x 60 = 23 ton. Er is geen reductie op de referentieperiode (100 jaar) en de verkeerstrend voor de belastinggrootte (het jaar 2060) toegepast want dit is niet toelaatbaar bij bebording.

Conform de NEN 8700 zijn alleen eisen aan de constructieve veiligheid gesteld van een bestaande constructie. Op basis van de Plaxis-berekeningen is bepaald dat de boogconstructie van CHS [redacted] voor de verkeersbelasting behorende **bij een 12 ton aslastbeperking bezwijkt** (uiterste grenstoestand). De verkeersbelasting behorende bij een 10 ton aslastbeperking leidt niet tot bezwijken. In deze analyse is het belasten centraal op de boog (positie 2) met een tweede tandemstelsel links maatgevend bevonden.

De berekeningsresultaten van het maatgevende voertuig (‘ladderwagen’) uit de bijzondere verkeersbelasting (BM3) laten zien dat er een risico is op scheurvorming (loodrecht op de rijrichting) tijdens het passeren van de kelderconstructies. Echter is er tijdens de inspecties geen scheurvorming loodrecht op de rijrichting aangetroffen wat duidt op overbelasting door verkeer. De resultaten in acht genomen, is de bezwijkbelasting van de betreffende kelder hoger dan de belasting door dit voertuig inclusief de maximale dynamische factor.

Mogelijk is gezien het conservatieve rekenen en de beperkte beschikbare gegevens extra marge op de resultaten te behalen. De werkelijke (trek)sterkte van het metselwerk kan hoger blijken uit materiaalonderzoek. De grondeigenschappen uit het onderzoek naast de kelder is toegepast voor onder

en achter de kelder in combinatie met een grondverbetering met zand. Daarbij is voor de lastbeperking met de ‘karakteristieke’ verkeersbelasting gerekend, wat een hoge niet (vaak) optredende belasting betreft. Bij een meer frequente belastingsituatie is de belasting circa een factor 0,9 of 0,8 lager. De maximale dynamische factor van 1,4 is toegepast voor de bijzondere verkeersbelasting (BM3) dat ook conservatief is. In de berekening wordt de treksterkte aan de onderzijde en bovenzijde van de boog overschreden. Scheurvorming aan de bovenzijde is in de praktijk moeilijk te inspecteren/monitoren.

7.2 Aanbeveling

Het advies is het verkeer in de Choorstraat te beperken op de maximaal toelaatbare aslast. Conform de NEN 8701 moet tegelijkertijd de maximaal toelaatbare massa van de te passeren voertuigen zijn beperkt tot α_{c20} x 60 ton (in het geval van een 3 ton aslastbeperking: 0,168 x 60 = 10 ton). Om zeker te zijn van handhaving is alleen bebording niet voldoende. De opmerking die de NEN 8701 stelt in bijlage B is: Borden die de weg afsluiten voor bepaalde typen voertuigen zijn in het kader van belastingbeperking niet effectief. Het reglement voertuigen maakt voor de diverse categorieën voertuigen nauwelijks onderscheid in de maxima voor totale massa, aslast en wiellast.

Het advies is om onderzoek te doen naar de meest kritische kelders in de Choorstraat op basis van geometrie en de staat. Deze meest kritische kelder(s) bepalen het toelaatbare verkeer op de bovenliggende straat.

Het wordt sterk aanbevolen om extra grondonderzoek uit te voeren nabij de straatkelder om meer zekerheid te krijgen. Het meest nabijgelegen grondonderzoek dat ook de grondlagen tussen NAP +5,65 m en NAP -1,5 m laat zien bevindt zich op ca. 40 meter afstand van de kelder. Daarmee is er een grote onzekerheid omtrent de grondslag op die hoogtes ter plaatse van Choorstraat [redacted] en dan met name op direct onder het funderingsniveau. Daarnaast is er geen onderzoek gedaan naar het funderingsniveau en de versnijdingen van de voet van de wanden. Indien zand aanwezig is onder de fundering van de kelder kan er met grotere zekerheid een hoger draagvermogen worden bepaald. . Ook een bredere voet door versnijdingen zal het draagvermogen aanzienlijk verhogen dan nu het uitgangspunt is. Daarmee zal de toelaatbare verkeersbelasting toenemen omdat de fundering maatgevend is.

Door proefbelasting tegelijk met meting/monitoring is mogelijk een zwaarder voertuig toelaatbaar. Deze manier van onderzoeken kan per individuele kelder extra capaciteit aantonen en de toegepaste uitgangspunten en rekenmethode aanscherpen.

Tijdens de inspectie zijn scheuren aangetroffen aan de binnenzijde boog en wanden in de rijrichting. De mogelijkheid bestaat dat vlak na de bouw van de kelder al scheurvorming heeft opgetreden door het opbollen van de kelders door de horizontale gronddruk. Echter is er geen scheurvorming waargenomen voor de bovenkant boog in de proefsleuf. Ook is er geen scheurvorming loodrecht op de rijrichting waargenomen waardoor overbelasting door verkeer niet aannemelijk is. (Verschil)zakkingen van de fundering op staal (op zand) is ook een aannemelijke oorzaak voor het verklaren van de scheurvorming.

Het advies is de lekkage door de scheurvorming te stoppen door de afwatering op de kelder te reguleren. Er kan bijvoorbeeld een waterdichte laag aangebracht worden in combinatie met een hemelwaterafvoer op het riool of de gracht.

Bijlagen

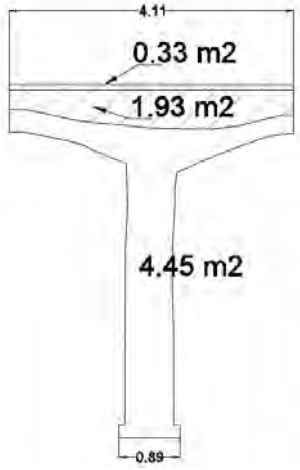
A1 Onderzoek geotechnische draagkracht

Inleiding

Aanvullend op de vergaarde kennis uit het onderzoek naar de metselwerk boogbruggen in 's-Hertogenbosch is rekenkundig onderzoek gedaan naar de geotechnische draagkracht voor de metselwerk werfkelder. Dit aanvullend rekenkundig onderzoek geldt als bijlage voor de rapportage van de verificatieberekening van de kelderconstructies van het adres Choorstraat [redacted] De bevindingen kunnen ook bruikbaar zijn voor de verificatieberekeningen van soortgelijke kelderconstructies in Utrecht.

Toetsing draagkracht landhoofd

Het geotechnisch draagvermogen van de steunwanden/landhoofden is onderzocht door het beoordelen van een fundering op staal (Eng: shallow foundation). Het maatgevende tussensteunpunt is bepaald door de combinatie van de grootte van het fundatieoppervlak en de af te dragen verkeersbelasting. Op basis van deze twee aspecten is de gedeelde wand van de kelders CHS[redacted] en CHS[redacted] als maatgevend bevonden, zie de doorsnede in de onderstaande figuur.



Figuur 16: in rekening gebracht doorsnede waar het maaiveld binnekant kelder op NAP+1,2m, onderkant fundatie op NAP+0,5m en een kelder breedte van 8,97 m.

Voor de verkeersbelasting is aangenomen dat het zware laststelsel op het landhoofd is gepositioneerd en dus volledig afdraagt naar de wand en het tweede laststelsel welke in dezelfde rijbaan staat wordt voor 50% afgedragen via deze wand. Het draagvermogen van de fundering op staal is 1035 kN voor de lengte van 8,97 m bij een laag direct onder de fundering conform het grondonderzoek uit Bijlage A4 met een hoek van inwendige wrijving (Φ') van 27,5^0 (klei, sterk zandig volgens tabel 2b van NEN9997-1+C2), zie Bijlage A1.1. Het eigengewicht van de kelderconstructie (102 kN/m x 8,973m) = 920 kN, de bovenliggende aanvulling met verharding ((35+8) x 8,973 m) = 380 kN leiden tot een bovenbelasting van (820 + 380) x 1,1 = 1430 kN (inclusief een belastingfactor van 1,1 conform CC2 gebruiksniveau). Dit zou betekenen dat de fundering op staal al niet voldoet aan de benodigde veiligheid op basis van enkel de permanente belastingen. Mogelijk is de hoek van inwendige wrijving hoger dan de aangenomen 27,5°. Het is aannemelijk dat er grondverbetering is toegepast voordat de kelder werd opgemetseld. De capaciteit van de fundering op staal is 1160 kN bij een φ' = 30º; en 1480 kN bij een φ' = 32,5°, zie respectievelijk Bijlages A1.2 en A1.3.

Het draagvermogen bij φ' = 32,5° heeft ruimte voor de toelaatbare variabele belasting van ongeveer 50 kN. Voor het metselwerk is het ook gebruikelijk (maar minder conservatief) een soortelijk gewicht van 20 kN/m^3 aan te houden. Daarmee wordt de marge (184 kN) verkregen waarbij de fundering op staal voldoet bij een karakteristieke verkeersbelasting behorende bij een 3 ton aslastbeperking van (2 x 50 + 0,5 x 2 x 34) x 1,1 = 148 kN. Waar het tweede laststelsel Q2b maar voor een klein deel (conservatief 50%) naar deze zelfde wand afdraagt.

De D-foundation (versie 19.1) berekening voor het bepalen van het draagvermogen van de fundering op staal leidt tot het inzicht dat de zakking van de fundatie waarschijnlijk bij verkeersbelastingen ≥ 3 ton sterk zal toenemen, doordat het draagvermogen kritisch wordt of zelfs overschreden. Er kan worden geconcludeerd dat het draagvermogen van de wanden kritisch is voor de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie. Uitgaande van een hoek van inwendige wrijving van 30º, zou het draagvermogen al kritisch zijn bij lagere verkeersbelastingen. Echter is het aannemelijk dat verkeer met een totaalgewicht van 12 ton of een aslast van circa. 12 ton al eens de kelder heeft gepasseerd, terwijl er geen (verschil)zakkingen van de wanden zijn waargenomen. Om hier meer zekerheid over te krijgen zou met grondonderzoek onderzoek gedaan kunnen worden naar de sterkte van de ondergrond in combinatie met het bepalen van het funderingsoppervlak (aantal en afmetingen van de versnijdingen). Indien de wanden 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.

A1.1 Draagvermogen berekening met φ = 27,5° (D-Foundations rapport)

Rapport voor D-Foundations 17.1

Ontwerp en Verificatie volgens Eurocode 7 van Strook- en Paalfunderingen
Ontwikkeld door Deltares

Bedrijfsnaam:	Royal HaskoningDHV
Datum van rapport:	5-8-2021
Tijd van rapport:	13:04:56
Datum van berekening:	19-7-2021
Tijd van berekening:	10:20:09
Bestandsnaam:	C:\..\Geotechnisch draagvermogen\CHS[redacted] Werfkelder draagvermogen
Projectbeschrijving:	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted] Utrecht Werfkelder D-Foundations CHS[redacted] Werfkelder draagvermogen

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave 2
2 Invoergegevens 3
2.1 Algemene Invoergegevens 3
2.2 Rapportage Gegevens 3
2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal 3
2.4 Bovenbouw 3
2.5 Algemene Sondeergegevens 3
2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan 3
2.6 Grondgegevens 4
2.6.1 Grondprofiel CPT 4
2.7 Funderingsgegevens 5
2.8 Funderingsplan 5
2.8.1 Overzicht Funderingsplan 5
2.9 Belastingsgegevens 5
2.9.1 Verticale belastingen 5
2.9.2 Horizontale belastingen 5
2.10 Eisen 6
2.11 Opgegeven Parameters 6
2.12 Model Opties 6
3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing 7
3.1 Toetsing Grenstoestand STR 7
3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie 7
3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie 7
3.1.3 Horizontale Draagkracht 7
3.1.4 Stabiliteit 7
3.2 Toetsing Grenstoestand GEO 7
3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand GEO 7
3.3 Verificatie Bruikbaarheidsgrenstoestand 8
3.3.1 Zakkingscontrole van de Bruikbaarheidsgrenstoestand 8
3.4 Aanvullende Informatie 8

2 Invoergegevens

2.1 Algemene Invoergegevens

Model	Shallow Foundations (EC7-NL)

2.2 Rapportage Gegevens

Geotechnisch adviseur :	
Constructeur bovenbouw :	
Opdrachtgever :	
Titel 1 :	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted]
Titel 2 :	Utrecht Werfkelder
Titel 3 :	D-Foundations CHS[redacted]Werfkelder draagvermogen
Nummer project :	
Locatie project :	

2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal

De toetsingen uitgevoerd door het model fundering op staal van D-FOUNDATIONS hebben betrekking op funderingen op staal waarop statische of quasi-statische krachten werken. Het funderingsoppervlak mag hierbij een hoek met de horizontaal maken van ten hoogste 2.5 graden.

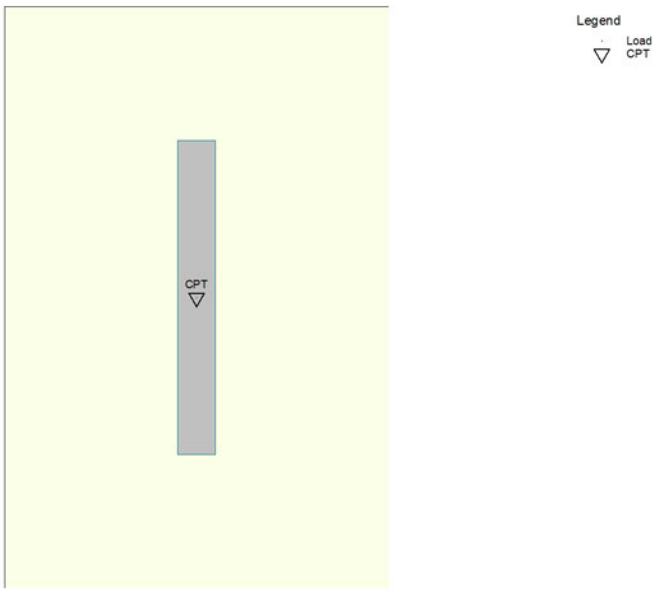
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek :	Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen :	1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



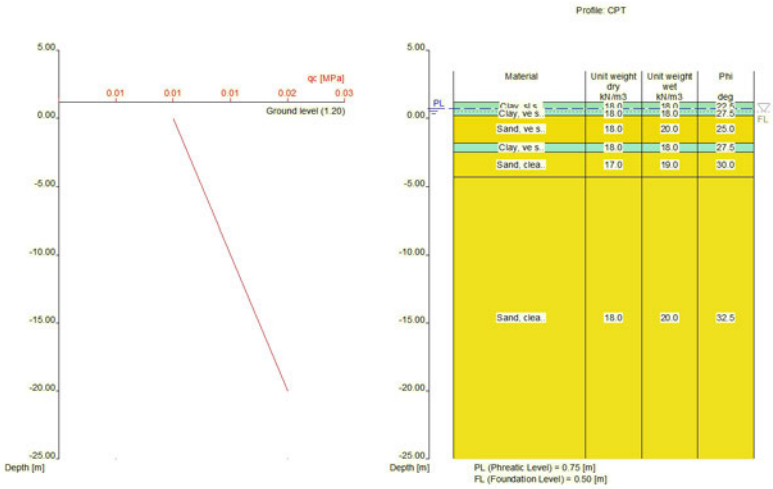
Nummer/naam sondering	X-coor-dinaat [m]	Y-coor-dinaat [m]
1: CPT	0.00	0.00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel CPT

Behorende bij sondering	CPT
Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :	1.20
Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :	0.75
Funderingsniveau in [m t.o.v. R.N.] =	0.50
Concentratiegetal van Frohlich [-] =	3
Aantal lagen in profiel :	6



Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	Gamma [kN/m3]	Gamma sat [kN/m3]	Phi [deg]	Cohesie [kPa]	f;undr [kPa]	Cc [-]	Ca [-]
1	1.200	18.00	18.00	22.50	0.00	80.00	0.12	0.00
2	0.500	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
3	0.200	18.00	20.00	25.00	0.00	0.00	0.01	0.00
4	-1.800	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
5	-2.500	17.00	19.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
6	-4.300	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00

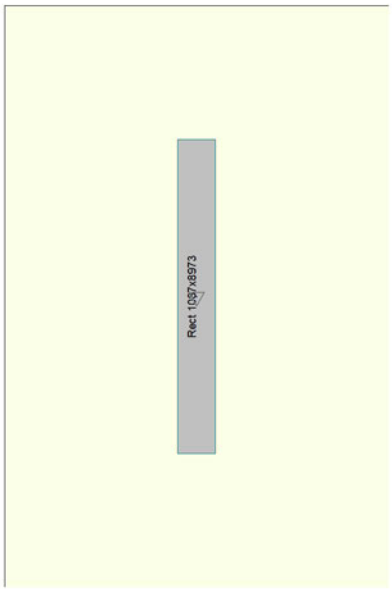
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e0 [-]	Grond-soort
1	1.200	0.00	Klei
2	0.500	0.00	Klei
3	0.200	0.26	Zand
4	-1.800	0.00	Klei
5	-2.500	0.26	Zand
6	-4.300	0.26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Rect 1087x8973	Rechthoekige poer	1.09	8.97	nvt	Prefab

2.8 Funderingsplan

2.8.1 Overzicht Funderingsplan



Element nummer/ naam	Xm [m]	Ym [m]	hoek [deg]	Element type naam	Grond-profiel naam	Belastings-geval naam	Talud nr.
1: 1	0.00	0.00	0.00	Rect 1087x8973	CPT ...	Belasting	None

2.9 Belastingsgegevens

2.9.1 Verticale belastingen

Belas-tings geval	GT STR/GEO			BGT		
	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]
Belasting	0.00	0.00	1430.00	0.00	0.00	1300.00

2.9.2 Horizontale belastingen

Belas-tings geval	GT STR/GEO		BGT		Kappa [deg]
	eH [m]	Hd [kN]	eH [m]	Hd [kN]	
Belasting	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00

2.10 Eisen

Grenstoestand GEO	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 100
Bruikbaarheidgrenstoestand	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 300

2.11 Opgegeven Parameters

Alle parameters volgens de standaard.

2.12 Model Opties

Gebruik tussenresultaten file
Maak geen gebruik van het interactie model.

3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing

3.1 Toetsing Grenstoestand STR

Eis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.8: Ed <= Cd.

3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Bereke-nings-geval	Vd [kN]	Rd [kN]	Rd (Squeeze) [kN]	Ftrek [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval B	1430.00	87.34	0.00	0.00	Voldoet NIET

- voor de toetsing is de hoogste waarde van Rd aangehouden!
-Ftrek (0.5 * b' * cu;d) is de trekkracht per strekkende meter
welke opgenomen moet kunnen worden door de fundering bij squeeze
(zie art. 6.5.2.2 (r) NEN 9997-1:2016).

3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Bereke-nings-geval	Vd [kN]	Rd [kN]	Vd (Pons) [kN]	Rd (Pons) [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval B	1430.00	1035.34	0.00	0.00	Voldoet NIET

NB:bij toetsing voor zowel situatie met als zonder pons, moet aan beide worden voldaan!

3.1.3 Horizontale Draagkracht

Fund. elem. naam	Hd [kN]	Rd ongedr. [kN]	Rd gedrain. [kN]	Resultaat toetsing ongedraineerd	Resultaat toetsing gedraineerd
1	0.00	0.00	0.00	VOLDOET	VOLDOET

N.B.: daar passieve noch actieve grondbelasting in de beschouwing van de horizontale draagkracht is meegenomen, is "Voldoet NIET" in de bovenstaande tabel GEEN definitief oordeel aangaande deze horizontale draagkracht. Aanvullende berekeningen op basis van hoofdstuk 9 van NEN 9997-1:2016 kunnen tot een ander oordeel leiden.

3.1.4 Stabiliteit

Fund. elem. naam	Minimale l' [m]	Minimale b' [m]	Phi`d [deg]	Kantel-stabiliteit	Totale stabiliteit
1	8.97	1.09	22.96	VOLDOET	VOLDOET

3.2 Toetsing Grenstoestand GEO

Zakkingseis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.9: Sd <= Sreq.Sreq = 0.150 [m] Sd = s1;d + s2;d

3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand GEO

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0.096	0.096	0.018	VOLDOET	VOLDOET

NB: de 20% toetsing is conform de norm, de 5% toetsing is aanvullend!

De maximale spanningsverhoging bij de berekening van de zakking bedraagt 99 % van de effectieve funderingsdruk.

Bij 1 element is er geen sprake van rotatie zoals bedoeld in de norm.

3.3 Verificatie Bruikbaarheidsgrenstoestand

Zakkingseis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.9: Sd <= Sreq.
Voor woningen en woongebouwen geldt : Sreq = 0.05 m. Voor overige typen bovenbouw geldt deze eis eveneens tenzij er een nadere zakkingseis is gedefinieerd.
Seq = 0.150 Sd = s1;d + s2;d

3.3.1 Zakkingscontrole van de Bruikbaarheidsgrenstoestand

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0.067	0.067	0.015	VOLDOET	VOLDOET

NB: de 20% toetsing is conform de norm, de 5% toetsing is aanvullend!

De maximale spanningsverhoging bij de berekening van de zakking bedraagt 99 % van de effectieve funderingsdruk.
Bij 1 element is er geen sprake van rotatie zoals bedoeld in de norm.

3.4 Aanvullende Informatie

De maximale zakking in Grenstoestand GEO bedraagt 0.115 meter en
is gevonden bij funderingselement 1
De maximale zakking in de Bruikbaarheidsgrenstoestand bedraagt 0.082 meter en
is gevonden bij funderingselement 1

Einde Rapport

A1.2 Draagvermogen berekening met φ = 30,0° (D-Foundations rapport)

Rapport voor D-Foundations 17.1

Ontwerp en Verificatie volgens Eurocode 7 van Strook- en Paalfunderingen
Ontwikkeld door Deltares

Bedrijfsnaam:	Royal HaskoningDHV
Datum van rapport:	5-8-2021
Tijd van rapport:	13:04:12
Datum van berekening:	19-7-2021
Tijd van berekening:	10:20:39
Bestandsnaam:	C:\..\Geotechnisch draagvermogen\CHS[redacted]Werfkelder draagvermogen_phi30
Projectbeschrijving:	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted] Utrecht Werfkelder D-Foundations CHS[redacted]Werfkelder draagvermogen_phi30

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave 2
2 Invoergegevens 3
2.1 Algemene Invoergegevens 3
2.2 Rapportage Gegevens 3
2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal 3
2.4 Bovenbouw 3
2.5 Algemene Sondeergegevens 3
2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan 3
2.6 Grondgegevens 4
2.6.1 Grondprofiel CPT 4
2.7 Funderingsgegevens 5
2.8 Funderingsplan 5
2.8.1 Overzicht Funderingsplan 5
2.9 Belastingsgegevens 5
2.9.1 Verticale belastingen 5
2.9.2 Horizontale belastingen 5
2.10 Eisen 6
2.11 Opgegeven Parameters 6
2.12 Model Opties 6
3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing 7
3.1 Toetsing Grenstoestand STR 7
3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie 7
3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie 7
3.1.3 Horizontale Draagkracht 7
3.1.4 Stabiliteit 7
3.2 Toetsing Grenstoestand GEO 7
3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand GEO 7
3.3 Verificatie Bruikbaarheidsgrenstoestand 8
3.3.1 Zakkingscontrole van de Bruikbaarheidsgrenstoestand 8
3.4 Aanvullende Informatie 8

2 Invoergegevens

2.1 Algemene Invoergegevens

Model	Shallow Foundations (EC7-NL)

2.2 Rapportage Gegevens

Geotechnisch adviseur :	
Constructeur bovenbouw :	
Opdrachtgever :	
Titel 1 :	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted]
Titel 2 :	Utrecht Werfkelder
Titel 3 :	D-Foundations CHS[redacted] Werfkelder draagvermogen_phi30
Nummer project :	
Locatie project :	

2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal

De toetsingen uitgevoerd door het model fundering op staal van D-FOUNDATIONS hebben betrekking op funderingen op staal waarop statische of quasi-statische krachten werken. Het funderingsoppervlak mag hierbij een hoek met de horizontaal maken van ten hoogste 2.5 graden.

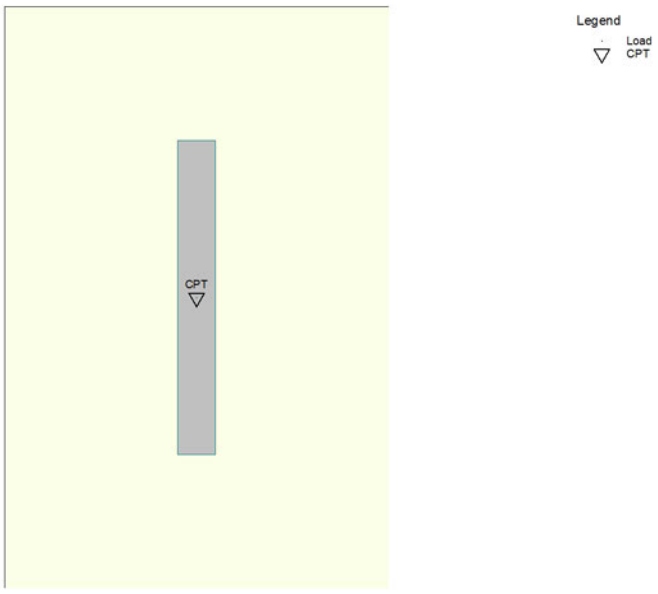
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek :	Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen :	1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



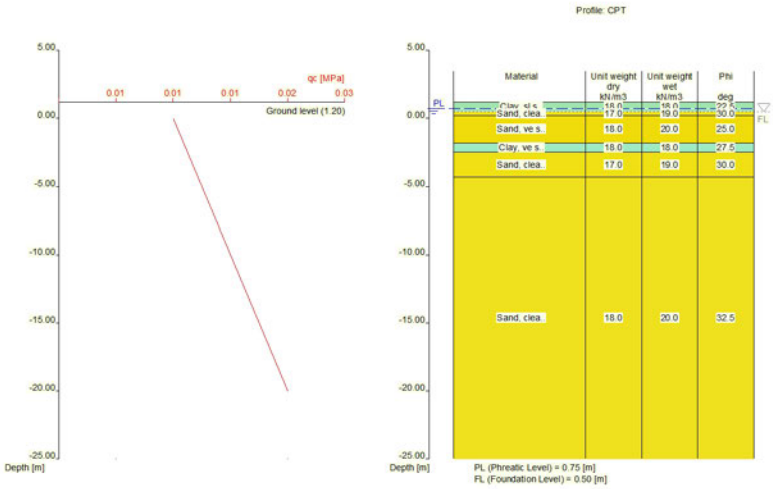
Nummer/naam sondering	X-coor-dinaat [m]	Y-coor-dinaat [m]
1: CPT	0.00	0.00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel CPT

Behorende bij sondering	CPT
Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :	1.20
Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :	0.75
Funderingsniveau in [m t.o.v. R.N.] =	0.50
Concentratiegetal van Frohlich [-] =	3
Aantal lagen in profiel :	6



Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	Gamma [kN/m3]	Gamma sat [kN/m3]	Phi [deg]	Cohesie [kPa]	f;undr [kPa]	Cc [-]	Ca [-]
1	1.200	18.00	18.00	22.50	0.00	80.00	0.12	0.00
2	0.500	17.00	19.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
3	0.200	18.00	20.00	25.00	0.00	0.00	0.01	0.00
4	-1.800	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
5	-2.500	17.00	19.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
6	-4.300	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00

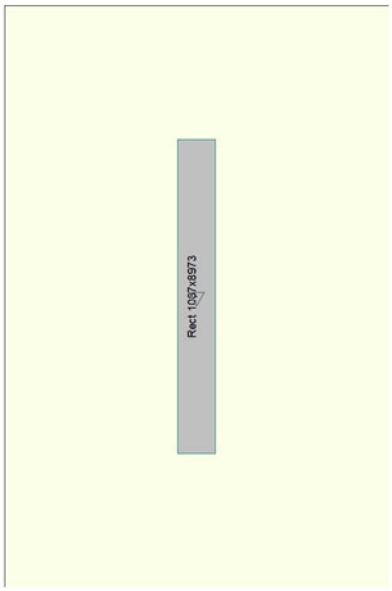
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e0 [-]	Grond-soort
1	1.200	0.00	Klei
2	0.500	0.26	Zand
3	0.200	0.26	Zand
4	-1.800	0.00	Klei
5	-2.500	0.26	Zand
6	-4.300	0.26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Rect 1087x8973	Rechthoekige poer	1.09	8.97	nvt	Prefab

2.8 Funderingsplan

2.8.1 Overzicht Funderingsplan



Element nummer/ naam	Xm [m]	Ym [m]	hoek [deg]	Element type naam	Grond-profiel naam	Belastings-geval naam	Talud nr.
1: 1	0.00	0.00	0.00	Rect 1087x8973	CPT ...	Belasting	None

2.9 Belastingsgegevens

2.9.1 Verticale belastingen

Belas-tings geval	GT STR/GEO			BGT		
	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]
Belasting	0.00	0.00	1430.00	0.00	0.00	1300.00

2.9.2 Horizontale belastingen

Belas-tings geval	GT STR/GEO		BGT		Kappa [deg]
	eH [m]	Hd [kN]	eH [m]	Hd [kN]	
Belasting	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00

2.10 Eisen

Grenstoestand GEO	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 100
Bruikbaarheidgrenstoestand	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 300

2.11 Opgegeven Parameters

Alle parameters volgens de standaard.

2.12 Model Opties

Gebruik tussenresultaten file
Maak geen gebruik van het interactie model.

3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing

3.1 Toetsing Grenstoestand STR

Eis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.8: Ed <= Cd.

3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Bereke-nings-geval	Vd [kN]	Rd [kN]	Rd (Squeeze) [kN]	Ftrek [kN]	Resultaat toetsing
1	GEEN					

- voor de toetsing is de hoogste waarde van Rd aangehouden!
-Ftrek (0.5 * b' * cu;d) is de trekkracht per strekkende meter
welke opgenomen moet kunnen worden door de fundering bij squeeze
(zie art. 6.5.2.2 (r) NEN 9997-1:2016).

3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Bereke-nings-geval	Vd [kN]	Rd [kN]	Vd (Pons) [kN]	Rd (Pons) [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval C	1430.00	1160.75	1430.00	1271.16	Voldoet NIET

NB:bij toetsing voor zowel situatie met als zonder pons, moet aan beide worden voldaan!

3.1.3 Horizontale Draagkracht

Fund. elem. naam	Hd [kN]	Rd ongedr. [kN]	Rd gedrain. [kN]	Resultaat toetsing ongedraineerd	Resultaat toetsing gedraineerd
1	0.00	0.00	0.00	nvt	VOLDOET

N.B.: daar passieve noch actieve grondbelasting in de beschouwing van de horizontale draagkracht is meegenomen, is "Voldoet NIET" in de bovenstaande tabel GEEN definitief oordeel aangaande deze horizontale draagkracht. Aanvullende berekeningen op basis van hoofdstuk 9 van NEN 9997-1:2016 kunnen tot een ander oordeel leiden.

3.1.4 Stabiliteit

Fund. elem. naam	Minimale l' [m]	Minimale b' [m]	Phi`d [deg]	Kantel-stabiliteit	Totale stabiliteit
1	8.97	1.09	23.82	VOLDOET	VOLDOET

3.2 Toetsing Grenstoestand GEO

Zakkingseis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.9: Sd <= Sreq.Sreq = 0.150 [m] Sd = s1;d + s2;d

3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand GEO

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0.060	0.060	0.013	VOLDOET	VOLDOET

NB: de 20% toetsing is conform de norm, de 5% toetsing is aanvullend!

De maximale spanningsverhoging bij de berekening van de zakking bedraagt 99 % van de effectieve funderingsdruk.

Bij 1 element is er geen sprake van rotatie zoals bedoeld in de norm.

3.3 Verificatie Bruikbaarheidsgrenstoestand

Zakkingseis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.9: Sd <= Sreq.
Voor woningen en woongebouwen geldt : Sreq = 0.05 m. Voor overige typen bovenbouw geldt deze eis eveneens tenzij er een nadere zakkingseis is gedefinieerd.
Seq = 0.150 Sd = s1;d + s2;d

3.3.1 Zakkingscontrole van de Bruikbaarheidsgrenstoestand

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0.040	0.041	0.010	VOLDOET	VOLDOET

NB: de 20% toetsing is conform de norm, de 5% toetsing is aanvullend!

De maximale spanningsverhoging bij de berekening van de zakking bedraagt 99 % van de effectieve funderingsdruk.
Bij 1 element is er geen sprake van rotatie zoals bedoeld in de norm.

3.4 Aanvullende Informatie

De maximale zakking in Grenstoestand GEO bedraagt 0.073 meter en
is gevonden bij funderingselement 1
De maximale zakking in de Bruikbaarheidsgrenstoestand bedraagt 0.051 meter en
is gevonden bij funderingselement 1

Einde Rapport

A1.3 Draagvermogen berekening met φ = 32,5° (D-Foundations rapport)

Rapport voor D-Foundations 17.1

Ontwerp en Verificatie volgens Eurocode 7 van Strook- en Paalfunderingen
Ontwikkeld door Deltares

Bedrijfsnaam:	Royal HaskoningDHV
Datum van rapport:	5-8-2021
Tijd van rapport:	13:03:33
Datum van berekening:	5-8-2021
Tijd van berekening:	12:53:05
Bestandsnaam:	C:\..\Geotechnisch draagvermogen\CHS[redacted] Werfkelder draagvermogen_phi32.5
Projectbeschrijving:	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted] Utrecht Werfkelder D-Foundations CHS[redacted]Werfkelder draagvermogen_phi32.5

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave 2
2 Invoergegevens 3
2.1 Algemene Invoergegevens 3
2.2 Rapportage Gegevens 3
2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal 3
2.4 Bovenbouw 3
2.5 Algemene Sondeergegevens 3
2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan 3
2.6 Grondgegevens 4
2.6.1 Grondprofiel CPT 4
2.7 Funderingsgegevens 5
2.8 Funderingsplan 5
2.8.1 Overzicht Funderingsplan 5
2.9 Belastingsgegevens 5
2.9.1 Verticale belastingen 5
2.9.2 Horizontale belastingen 5
2.10 Eisen 6
2.11 Opgegeven Parameters 6
2.12 Model Opties 6
3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing 7
3.1 Toetsing Grenstoestand STR 7
3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie 7
3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie 7
3.1.3 Horizontale Draagkracht 7
3.1.4 Stabiliteit 7
3.2 Toetsing Grenstoestand GEO 7
3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand GEO 7
3.3 Verificatie Bruikbaarheidsgrenstoestand 8
3.3.1 Zakkingscontrole van de Bruikbaarheidsgrenstoestand 8
3.4 Aanvullende Informatie 8

2 Invoergegevens

2.1 Algemene Invoergegevens

Model	Shallow Foundations (EC7-NL)

2.2 Rapportage Gegevens

Geotechnisch adviseur :	
Constructeur bovenbouw :	
Opdrachtgever :	
Titel 1 :	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted]
Titel 2 :	Utrecht Werfkelder
Titel 3 :	D-Foundations CHS[redacted]Werfkelder draagvermogen_phi32.5
Nummer project :	
Locatie project :	

2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal

De toetsingen uitgevoerd door het model fundering op staal van D-FOUNDATIONS hebben betrekking op funderingen op staal waarop statische of quasi-statische krachten werken. Het funderingsoppervlak mag hierbij een hoek met de horizontaal maken van ten hoogste 2.5 graden.

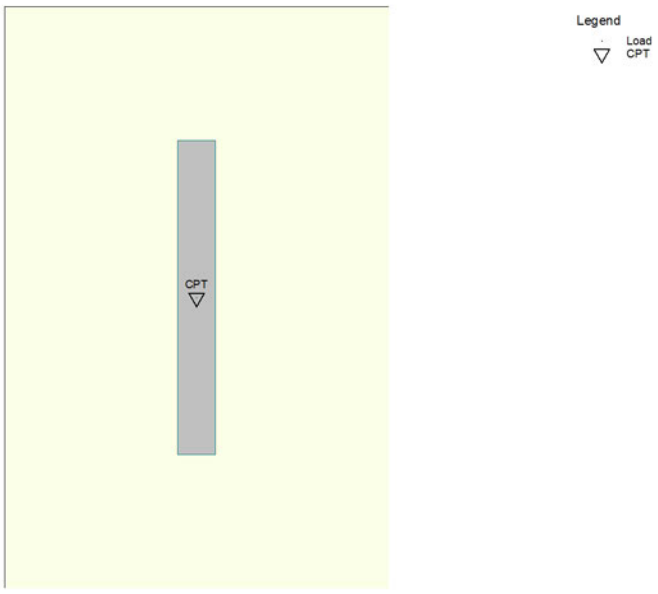
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek :	Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen :	1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



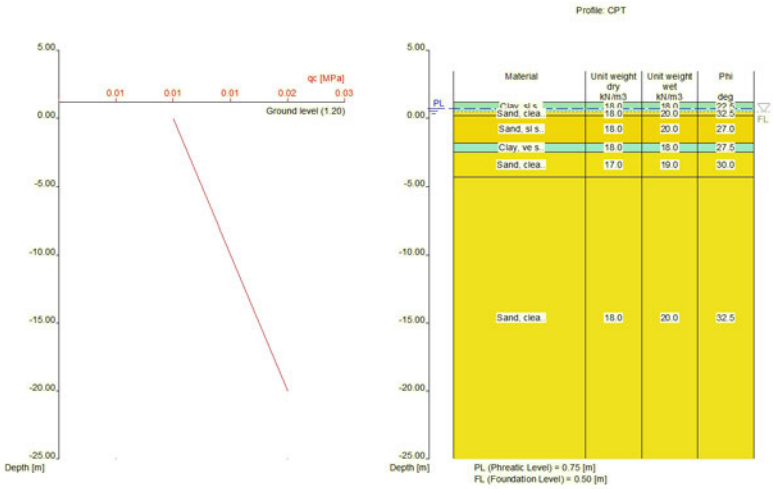
Nummer/naam sondering	X-coor-dinaat [m]	Y-coor-dinaat [m]
1: CPT	0.00	0.00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel CPT

Behorende bij sondering	CPT
Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :	1.20
Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :	0.75
Funderingsniveau in [m t.o.v. R.N.] =	0.50
Concentratiegetal van Frohlich [-] =	3
Aantal lagen in profiel :	6



Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	Gamma [kN/m3]	Gamma sat [kN/m3]	Phi [deg]	Cohesie [kPa]	f;undr [kPa]	Cc [-]	Ca [-]
1	1.200	18.00	18.00	22.50	0.00	80.00	0.12	0.00
2	0.500	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.200	18.00	20.00	27.00	0.00	0.00	0.01	0.00
4	-1.800	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
5	-2.500	17.00	19.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
6	-4.300	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00

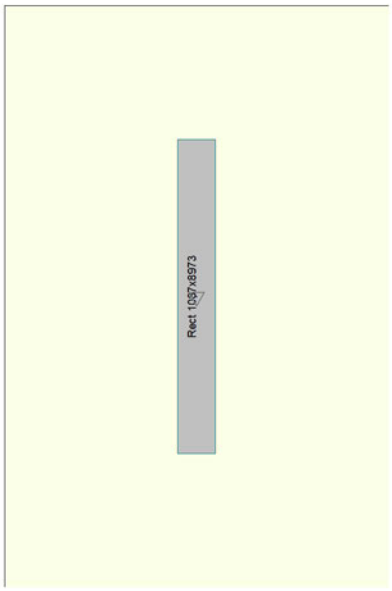
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e0 [-]	Grond-soort
1	1.200	0.00	Klei
2	0.500	0.26	Zand
3	0.200	0.26	Zand
4	-1.800	0.00	Klei
5	-2.500	0.26	Zand
6	-4.300	0.26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Rect 1087x8973	Rechthoekige poer	1.09	8.97	nvt	Prefab

2.8 Funderingsplan

2.8.1 Overzicht Funderingsplan



Element nummer/ naam	Xm [m]	Ym [m]	hoek [deg]	Element type naam	Grond-profiel naam	Belastings-geval naam	Talud nr.
1: 1	0.00	0.00	0.00	Rect 1087x8973	CPT ...	Belasting	None

2.9 Belastingsgegevens

2.9.1 Verticale belastingen

Belas-tings geval	GT STR/GEO			BGT		
	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]
Belasting	0.00	0.00	1430.00	0.00	0.00	1300.00

2.9.2 Horizontale belastingen

Belas-tings geval	GT STR/GEO		BGT		Kappa [deg]
	eH [m]	Hd [kN]	eH [m]	Hd [kN]	
Belasting	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00

2.10 Eisen

Grenstoestand GEO	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 100
Bruikbaarheidgrenstoestand	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 300

2.11 Opgegeven Parameters

Alle parameters volgens de standaard.

2.12 Model Opties

Gebruik tussenresultaten file
Maak geen gebruik van het interactie model.

3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing

3.1 Toetsing Grenstoestand STR

Eis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.8: Ed <= Cd.

3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Bereke-nings-geval	Vd [kN]	Rd [kN]	Rd (Squeeze) [kN]	Ftrek [kN]	Resultaat toetsing
1	GEEN					

- voor de toetsing is de hoogste waarde van Rd aangehouden!
-Ftrek (0.5 * b' * cu;d) is de trekkracht per strekkende meter
welke opgenomen moet kunnen worden door de fundering bij squeeze
(zie art. 6.5.2.2 (r) NEN 9997-1:2016).

3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Bereke-nings-geval	Vd [kN]	Rd [kN]	Vd (Pons) [kN]	Rd (Pons) [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval C	1430.00	1482.33	1430.00	1617.76	VOLDOET

NB:bij toetsing voor zowel situatie met als zonder pons, moet aan beide worden voldaan!

3.1.3 Horizontale Draagkracht

Fund. elem. naam	Hd [kN]	Rd ongedr. [kN]	Rd gedrain. [kN]	Resultaat toetsing ongedraineerd	Resultaat toetsing gedraineerd
1	0.00	0.00	0.00	nvt	VOLDOET

N.B.: daar passieve noch actieve grondbelasting in de beschouwing van de horizontale draagkracht is meegenomen, is "Voldoet NIET" in de bovenstaande tabel GEEN definitief oordeel aangaande deze horizontale draagkracht. Aanvullende berekeningen op basis van hoofdstuk 9 van NEN 9997-1:2016 kunnen tot een ander oordeel leiden.

3.1.4 Stabiliteit

Fund. elem. naam	Minimale l' [m]	Minimale b' [m]	Phi`d [deg]	Kantel-stabiliteit	Totale stabiliteit
1	8.97	1.09	25.73	VOLDOET	VOLDOET

3.2 Toetsing Grenstoestand GEO

Zakkingseis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.9: Sd <= Sreq.Sreq = 0.150 [m] Sd = s1;d + s2;d

3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand GEO

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0.045	0.045	0.013	VOLDOET	VOLDOET

NB: de 20% toetsing is conform de norm, de 5% toetsing is aanvullend!

De maximale spanningsverhoging bij de berekening van de zakking bedraagt 99 % van de effectieve funderingsdruk.

Bij 1 element is er geen sprake van rotatie zoals bedoeld in de norm.

3.3 Verificatie Bruikbaarheidsgrenstoestand

Zakkingseis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.9: Sd <= Sreq.
Voor woningen en woongebouwen geldt : Sreq = 0.05 m. Voor overige typen bovenbouw geldt deze eis eveneens tenzij er een nadere zakkingseis is gedefinieerd.
Seq = 0.150 Sd = s1;d + s2;d

3.3.1 Zakkingscontrole van de Bruikbaarheidsgrenstoestand

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0.030	0.030	0.010	VOLDOET	VOLDOET

NB: de 20% toetsing is conform de norm, de 5% toetsing is aanvullend!

De maximale spanningsverhoging bij de berekening van de zakking bedraagt 99 % van de effectieve funderingsdruk.
Bij 1 element is er geen sprake van rotatie zoals bedoeld in de norm.

3.4 Aanvullende Informatie

De maximale zakking in Grenstoestand GEO bedraagt 0.058 meter en
is gevonden bij funderingselement 1
De maximale zakking in de Bruikbaarheidsgrenstoestand bedraagt 0.040 meter en
is gevonden bij funderingselement 1

Einde Rapport

A2 Rapportage inspectie en onderzoek OG[redacted], 9 juni 2021 door Witteveen+Bos

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	9
4.6	Vaststelling geometrie	12
5	**Geconstateerde gebreken**	**13**
5.1	Geconstateerde gebreken in voorgaande onderzoeken (expertmeeting)	13
5.2	Geconstateerde gebreken	13
5.3	Analyse	22
6	**Conclusie**	**24**

Bijlage 1 Resultaten tachymetrische metingbovenzijde

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

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.
In hoofdstuk 4 worden vervolgens de resultaten van de onderzoeken uiteengezet. In hoofdstuk 5 worden alle aangetroffen gebreken/schaden gepresenteerd en geanalyseerd.

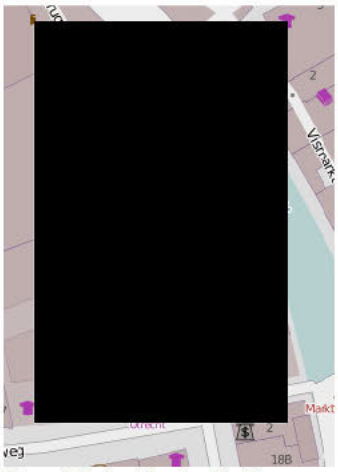
In hoofdstuk 6 wordt de conclusie gegeven. De conclusie omvat een overzicht van de constructieve opbouw en de schades welke van invloed kunnen zijn op de constructieve sterkte. Hiermee vormt hoofdstuk 6 de basis voor de constructieve herberekening.

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

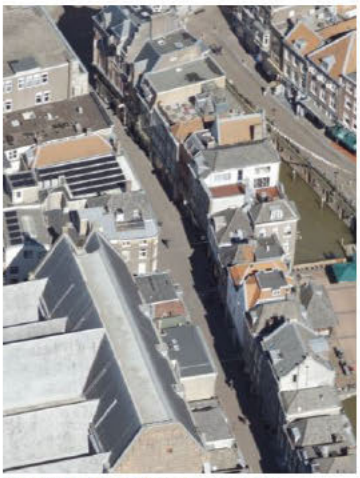
2 Overzicht straatkelder

2.1 Situatie

De kelder behorende bij Choorstraat is gelegen onder Choorstaat ter hoogte van huisnummer 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 tussen de fundatie van het pand en de gang aan de achterzijde van de kelder.

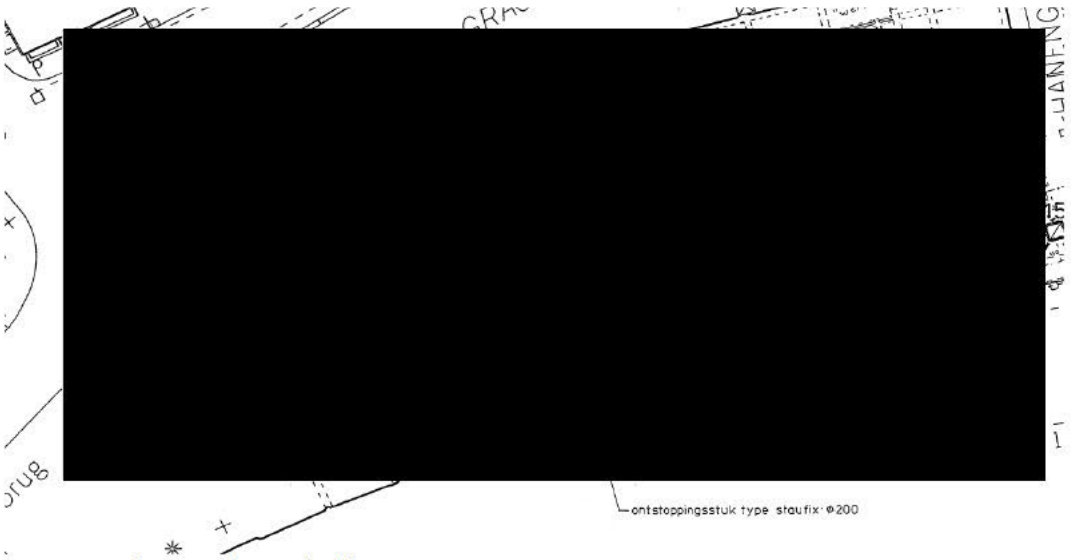


Figuur 2-1: Locatie straatkelder



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
- 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;

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 en een constructeur van Antea Group. De onderzoeken zijn in onderaanneming uitgevoerd.

De kelder behorende bij Choorstraat is toegankelijk via de bijbehorende winkel in de Choorstraat. De gemetselde kelder is bereikbaar vanuit de woonruimte en opslag onder de winkel.

3.4.1 Onderzoekmoment en omstandigheden:

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

Graven proefsleuven:	24 t/m 26 Februari	Gebr. De Leeuw
Inmeten bovenzijde en binnenzijde kelder	24 Februari	VWB Geogroep
Uitvoeren kernboringen	24 februari	
Inspectie	2 maart	(inspecteur Antea Group (AG)) Focks (constructeur AG)

Het weerbeeld op 24 februari was 15°C en zonnig. In de week voorafgaand aan de werkzaamheden was er strenge vorst met sneeuw. Op 2 maart was het weerbeeld droog en 6°C. In de twee weken voorafgaand aan 2 maart is geen neerslag gevallen.

3.4.2 Afwijkingen t.o.v. inspectieplan

Bij het uitvoeren van de inspecties en/of 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 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 dikte te bepalen;
- Er is geen stucwerk verwijderd om het type en afmetingen van de steen of het metselverband te bepalen;
- Het uitvoeren van een lintvoegmeting was niet mogelijk, de lintvoeg was niet eenduidig te volgen.

Naast de bovengenoemde afwijkingen zijn geen ladders en/of steigers ingezet om de gehele onderzijde van het gewelf onder handbereik te inspecteren, de laatste meter was buiten handbereik. 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. De grenzen van de aangetroffen holle ruimtes bevinden zich binnen handbereik en lopen door buiten handbereik. Er is geen aanleiding voor het afkloppen van het resterende deel, de top, 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 bestaat uit één gewelf en is in lengterichting verdeeld door een scheidingswand. Halverwege de kelder is in de boog van het gewelf een wand in overspanningsrichting van het gewelf aanwezig. De vloer in de bewoonde kelder ligt lager dan de keldervloer onder de Choorstraat.

Aan het einde van de kelder is een gang aanwezig. Deze gang is ondergronds parallel aan de gevels gesitueerd en verbindt meerdere kelders met elkaar. In deze gang is onder andere de riolering en de stadsverwarming ondergebracht. De gang valt buiten de scope van de inspectie. De kelder is niet aangemerkt als besloten ruimte.

Het metselwerk van kelder is over nagenoeg het gehele oppervlak voorzien van een spachtellaag. De vloer van de kelder is opgebouwd uit halfsteens straatwerk. De vloer loopt niet zichtbaar af.

Figuur 5 Overzichtsfoto binnenzijde westelijke deel van de kelder

Bereikbaarheid kelder

De kelder van Choorstraat [redacted] is bereikbaar via een vaste trap vanuit de bewoonde kelder onder de winkel. De bewoonde kelder biedt naast een keuken ook een terras aan het water. Vanuit de opslagruimte zijn twee deuren aanwezig, die toegang bieden tot de kelder.

4.2 Metselwerk, maatvoering en verband

In het voegwerk in het gewelf is in de boog geen verband te herkennen door het aanwezige spachtelwerk en de vervuiling. In de oostelijke wand is het verband zichtbaar, het verband is niet eenduidig. Samengevat is het metselwerk opgebouwd uit twee strek en vervolgens één of meerdere koppen. Het verband is geclassificeerd als “vrij of wild-verband”.
Het verband in de westelijke wand is afwijkend en niet vast te stellen door de aanwezig vervuiling en restanten spachtelwerk.
Van de oostelijke wand is de maatvoering opgenomen. In bijlage 1 zijn de metingen weergegeven en in Tabel 1 is een samenvatting van de metingen gepresenteerd.

Figuur 6 Aanzicht westelijke wand

Figuur 7 Aanzicht oostelijke wand

Door het beperkte zicht op de voegen is een lintvoegwaterpassing niet mogelijk geweest.

Tabel 1 Afmeting en verband metselwerk

Locatie	bouwdeel	verband	maatvoering
Gewelf	Oostelijke wand	Wild-verband	Gem. lengte 225 mm[1] Gem. breedte 106 mm[1] Gem. hoogte 47 mm[1]

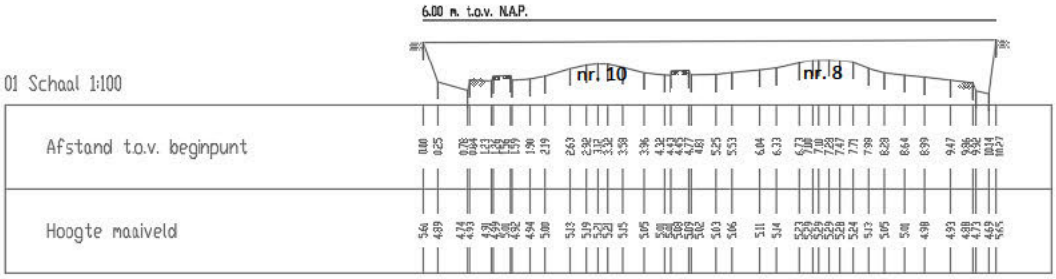
In de afmeting van de stenen zijn sterke afwijkingen geconstateerd. Verspreid in het metselwerk zijn duidelijk grotere stenen aanwezig, dit is echter niet gebonden aan een bepaalde laag in het metselwerk. Indien sprake is van een verschil in hoogte van de steen is, het verschil opgevuld met mortel.

De stenen in de vloer zijn vierkant 20 cm[1] en in blokverband gestraat. De bestrating is niet met mortel gevoegd.

Het verband in de scheidings- en tussenwand is niet nader beoordeeld omdat deze wanden vermoedelijk op een later moment zijn aangebracht.

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 2. De resultaten van de inmeting zijn in de volgende paragraaf uiteengezet.



Figuur 8: Resultaten tachimetrische inmeting

Tabel 2 Opbouw van het cunet boven het gewelf

Opbouw	Hoogte t.o.v. NAP	Dikte	Opmerking
Bovenkant bestrating	5,61+ tot 5,65+ m¹ NAP		Gemiddeld 5,63 +
Straatstenen		0,10 m¹	
Bovenzijde gewelf	4,88 + m¹ NAP	0,67 m¹ (t.o.v. 5,65+)	Westelijke wand
	5,29 + m¹ NAP	0,26 m¹ (t.o.v. 5,65+)	Top boog
	5,02+ m¹ NAP	0,51 m¹ (t.o.v. 5,63+)	Oostelijke wand, overgang bogen
Gonddicht doek	0		Niet aanwezig
Grond	0		Niet aanwezig

De top van de boog van het gewelf is slechts 36 cm¹ beneden het bestratingsoppervlak. Er is slechts 26 cm¹ zand aanwezig tussen de bestrating en de top van het gewelf.

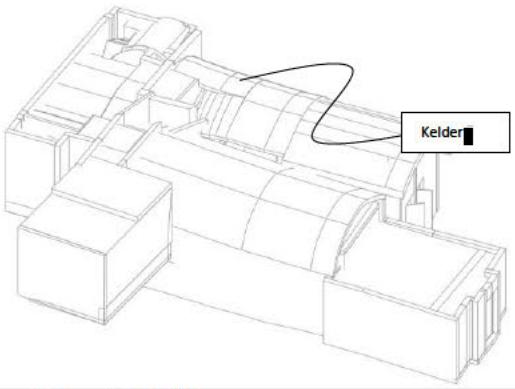
Figuur 9 Bovenzijde gewelf

Figuur 10 overgang van gewelf nr. [redacted] & nr. [redacted]

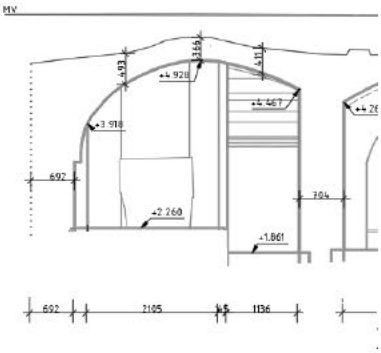
De dikte van de wanden is aan de buitenzijde deels afleidbaar van de vorm van het gewelf. De westelijke wand is duidelijk te bepalen. Boven de oostelijke wand, ter plaatse van de overgang van het gewelf van Choorstraat [redacted] en naar Choorstraat [redacted] is een gestapelde hemelwaterafvoer aangebracht. Het spachtelwerk, de vertinlaag, gaat aaneengesloten door.

4.4 Resultaten 3D-scan en tachimetrische inmeting

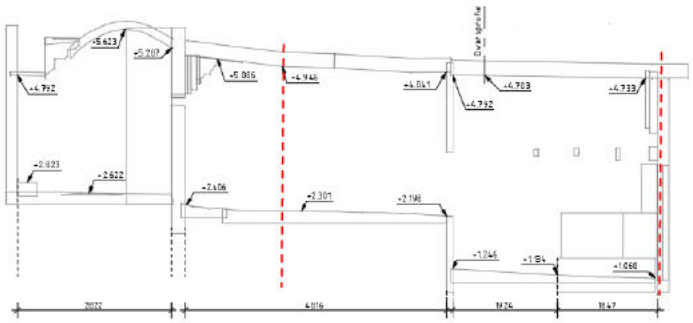
In bijlage 2 zijn de resultaten van de 3D-scan en tachimetrische inmeting samengevoegd tot een model. Vanuit dit model is de hoofdmaatvoering van de gewelven bepaald, welke in onderstaande figuren zijn gepresenteerd. Voor de Tachimetrische inmeting wordt verwezen naar figuur 8. De kelder behorende bij Choorstraat [redacted] is gekoppeld aan meerdere kelders. Om een indruk van de totale constructie te geven is tevens het 3D model gepresenteerd.



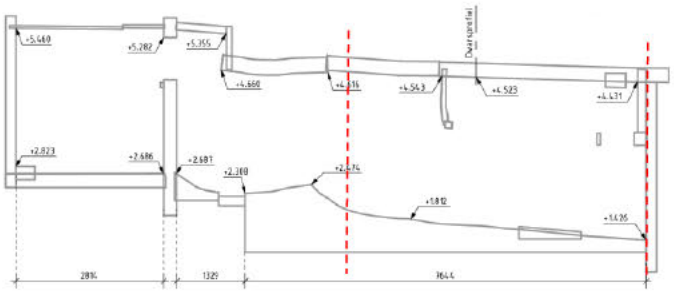
Figuur 11 Overzicht kelders



Figuur 12: Principe dwarsdoorsnede gewelf



Figuur 13 Principe langsdoorsnede gewelf, westelijke kelderdeel inclusief werkgrens



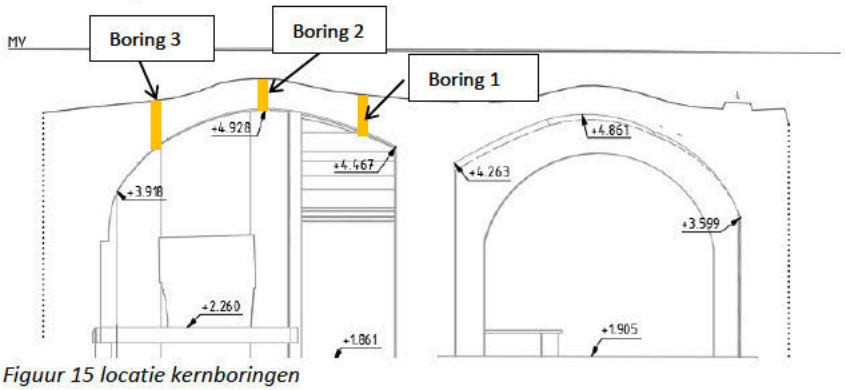
Figuur 14: Principe langsdoorsnede gewelf, oostelijke kelderdeel inclusief werkgrens

Uit het 3D-model in combinatie met de tachimetrische inmeting aan de bovenzijde zijn de volgende gegevens te destilleren. De 3D meting is uitgewerkt op tekening, deze is bijgevoegd als bijlage 1 aan dit rapport:

- De geïnspecteerde lengte van de kelder is circa 6,5 m[1];
- In figuur 13 en 14 is te zien dat er een afschot bestaat in de welfconstructie richting de gracht ten behoeve van de afvoer van hemelwater en grondwater. Het afschot is tevens terug te zien op vloerniveau. In het westelijk deel is het hoogteverschil op vloerniveau 28 cm[1] In de top van de boog (in de welfconstructie) is het hoogteverschil aan weerszijde van de scheidingswand verschillend, aan westzijde bedraagt dit 21 cm[1] en aan de oostzijde 18 cm[1];
- De hoogte van het gewelf blijft nagenoeg gelijk over de diepte. In het achterste deel aan de westzijde van de scheidingswand is de hoogte 2,64 m1. Er zijn de volgende aandachtspunten:
  - De vloer in de voorzijde van het westelijke kelderdeel is verlaagd, resulterend in een hoogte van 3,5 tot 3,6 m[1].
  - Aan de oostzijde van de scheidingswand is de vloer dermate vervuild dat geen vergelijking is te maken op basis van de meetgegevens;
- De dagmaat van het gewelf 3,39 m[1];
- De boog is niet symmetrisch, de westelijke wand (richting Choorstraat [redacted]) is 85 cm[1] hoger dan de oostelijke wand;
- De dikte van de top van de boog is 36 cm[1];
- De wanddikte van de westelijk wand kan worden bepaald uit een combinatie van het dwarsprofiel en het 3D model. Er is tot aan het einde van de constructie ontgraven. Wanneer dit punt wordt doorgezet naar beneden resulteert dit in een wanddikte van circa 70 cm[1];
- Vanuit het 3D-model en de dwarsprofielmeting is de wanddikte van de oostelijke wand te bepalen. De wanddikte is ca 70 cm[1];

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 overige twee boringen zijn ca. 1 m[1] uit de top genomen. In het voorste gewelfdeel, aan grachtzijde, zijn drie boringen gemaakt.
De locatie van de boringen is in de onderstaande afbeelding indicatief aangegeven.



Figuur 15 locatie kernboringen

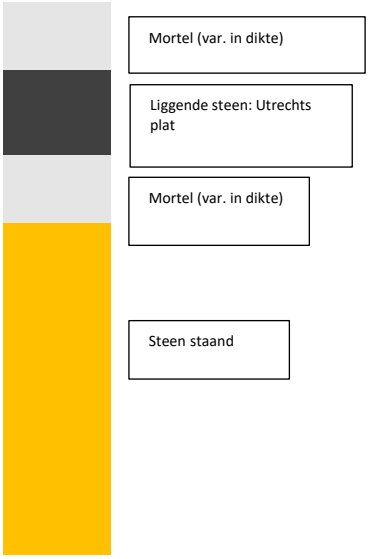
Tabel 3 Resultaat kernboringen

Boring	Boring 1	Boring 2	Boring 3
Locatie	1 m[1] ten oosten uit de top van de boog	Top van de boog	1 m[1] ten westen uit de top van de boog
Lengte boorgat (dikte constructie)	41 cm[1]	36 cm[1]	34 cm[1]
Diameter	Ø 35 mm[1]	Ø 35 mm[1]	Ø 35 mm[1]
Omschrijving	De kern is in 7 delen gebroken, de breuken bevinden zich hoofdzakelijk door de steen of in de aansluiting mortel-steen.	De kern is in 7 delen gebroken. De breuken bevinden zich door de steen en de mortel.	De kern is in 5 delen gebroken, de breuken bevinden zich door de steen en de mortel
Dikte spachtellaag buitenzijde	10-12 cm[1], waarbij in de bovenste 5 cm stenen zijn ingelegd, "vol en zat bestraat in de mortel"	12 cm[1], waarbij in de bovenste 6 cm stenen zijn ingelegd, "vol en zat bestraat in de mortel", de bestrating is met 2 cm1 mortel afgewerkt	14 cm[1], waarbij in de bovenste 6 cm stenen zijn ingelegd, "vol en zat bestraat in de mortel", de bestrating is met 2 cm1 mortel afgewerkt
Totale dikte metselwerk in kern	29 cm[1]	24 cm[1]	22 cm[1]
Dikte spachtellaag binnenzijde	0-2 cm[1]	0 cm[1] laatste deel van de kern lijkt een voeg te zijn en is in het metselwerk meegerekend	De binnenzijde van de van de wand is verloren gegaan bij het uitnemen van de kern
Foto	*Figuur 16 Kern 1 Choorstraat*	*Figuur 17 Kern 2 Choorstraat*	*Figuur 18 Kern 3 Choorstraat*

De breuk van de kernen lijkt een logisch gevolg te zijn van de lengte-diameter verhouding van de kerboring. 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.

De eerste kern is aanmerkelijk langer dan de twee andere kernen. Deze kern is geboord ter plaatse van de scheidingswand onder het gewelf.

Vanuit de kernboringen blijkt een eenduidige dikte of opbouw van de boog, het metselwerk is ongeveer 24 cm[1] dik. In boring 2 en 3 zijn staande stenen aangetroffen. Het metselwerk van de boog is steens dik. In boring 1 is een liggende steen aan de binnenzijde aanwezig, deze steen is afkomstig uit de scheidingswand.



Figuur 19 Principe profiel boorkern

In het algemeen kan gesteld worden dat de gemetselde boog is afgewerkt met dikke laag mortel, waarin stenen zijn gelegd. De ingelegde steen is van het type “Utrechts plat”. De hoogte van deze ingelegde stenen is variabel in de mortellaag, vanaf het oppervlak tot 2 cm onder het morteloppervlak. Het zandcunet is op de mortellaag aangebracht.

4.6 Vaststelling geometrie

De kelder is opgebouwd uit één gewelf met een scheidingswand onder de top van de boog. In onderstaande tabel zijn de geometrische gegevens vermeld.

Tabel 4 Samenvatting geometrie

Onderdeel	Voldoende gegevens	Opmerking
Overspanning(en) (dagmaat)	Ja	3,39 m¹
Hoogte toog/togen	Ja	2,64 m¹
(Verloop) dikte boog /bogen	Ja	Het metselwerk in de boog is steens dik, op de boog is een mortellaag met variabele dikte aanwezig
Aantal togen achter elkaar (wel/niet gekoppeld)	ja	Één boog, met een wand op een meter ter westen van de top van de boog
Dikte wanden	Ja	Westelijke wand 70 cm¹ Oostelijke wand 60 cm¹
Opbouw en dikte keldervloer	Nee	Onbekend. In het westelijke deel is deels een extra houten tussenvloer aanwezig zonder constructieve functie. De overige vloeren waren vervuild, de bestrating lijkt in zand te zijn gestraat.
Gronddekking (opbouw en incl. bestrating)	Ja	Op de top van de boog is een zandpakket aanwezig van 26 cm¹ dik, exclusief straatwerk.
Fundatieniveau en -type (op staal of palen)	Nee	Is onbekend, geen onderzoek naar verricht, het vermoeden is dat de kelder op staal gefundeerd is. Tijdens de inspectie is er aanvullend langs de buitenmuur naar de voet geprikt. Er is op diepte een harde stenen oppervlakte gevoeld buiten de wanddikte wat leidt tot het vermoeden van versnijdingen van een voet onder de wand.
Aanwezigheid/afmetingen steunberen (wanden binnenzijde werfkelder)	Ja	Over de lengte van de kelder is op 1 m¹ ten westen van de top een scheidingswand aanwezig en halverwege is een wand in dwarsrichting aanwezig.
Aansluitingen met en geometrie van belendende objecten of onderdelen daarvan	Ja	Aan de oostzijde van de kelder is de kelder van Choorstraat [redacted] gebouwd. De mortellaag over beide gewelven is ononderbroken ter plaatse van de wand. De indruk is dat bogen van beide gewelven rusten op één wand. Aan de oostzijde is tot 3 meter diepte zand langs de kelderwand aangetroffen Aan de voorzijde van de kelder is de fundatie van het pand "koud" tegen de kelder aangebouwd. Aan de achterzijde is kelder integraal verbonden met het gewelf van de gang achter de kelder.

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:

- Lange scheur in de rijrichting verhinderd belastingspreiding in de breedterichting wat direct effect heeft op de draagcapaciteit van de kelder voor verkeer;
- Mate van vochtigheid metselwerk.

5.2 Geconstateerde gebreken

In de kelder zijn de volgende gebreken geconstateerd:

1. Verticale scheur in westelijk deel gewelf;
2. Scheur door gehele gewelf ter hoogte van tussenwand westelijke gewelf;
3. Scheur in gewelf naast fundatie pand;
4. Scheur in oostelijk deel gewelf nabij einde scheidingswand;
5. Scheuren in scheidingswand onder boog van het gewelf;
6. Scheuren in tussenwand westelijke deel gewelf;
7. Oppervlakte schade.

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

5.2.1 Verticale scheur in westelijk deel gewelf (1)

Voorbij het einde van de scheidingswand is aan de westzijde van de kelder een scheur in dwarsrichting aanwezig. De scheur start in de westelijke wand boven de vloer en gaat nagenoeg verticaal vertand omhoog tot de top van de boog. De scheur volgt niet over de gehele lengte het voegwerk. Vooral in de boog zijn verschillen in het verloop van de scheuren zichtbaar. De scheurwijdte neemt toe met de hoogte van 0,1 mm^1 onderin tot 0,4 mm^1 bovenin. De totale scheurlengte is 3,4 m^1.
De scheurranden zijn sterk vervuild, er is afzetting op de scheurranden aanwezig. Nabij de top van de boog is zichtbaar dat mortel ontbreekt ter plaatse van de scheurranden. De vervuiling en de aangetaste voegmortel duiden op een watervoerende scheur. Tijdens de inspectie was de scheur droog. Onder nattere omstandigheden kan beoordeeld worden of de scheur watervoerend is of niet.
Er is geen verschuiving ten opzichte van de scheurranden geconstateerd.

Figuur 20 Scheurverloop in de wand

Figuur 21Scheurverloop in overgang wand-boog, aandachtspunt is de gescheurde steen

Figuur 22 Scheurpatroon in gewelf

Figuur 23 Detail van de scheur, wijdte 0,4 mm[1]

5.2.2 Scheur door gehele gewelf ter hoogte van tussenwand westelijke gewelf (2)

Nabij de tussenwand in het westelijk deel van het gewelf is dwars op de kelder een scheur aanwezig vanuit de westelijk wand, door de boog tot in de oostelijke wand.

In de westelijke wand start de scheur boven de vloer en gaat verticaal omhoog. De scheurwijdte neemt toe met de hoogte. Op 0,5 m[1] hoogte is de scheurwijdte 1,5 mm[1] en op 1,6 m[1] hoogte is de wijdte 10 mm[1].
Bij de start van de boog splitst de scheur zich in 2 scheuren, één verloopt richting de aansluiting van de tussenwand op de scheidingswand en de top van de boog, de andere scheur gaat schuin de andere zijde op naar de top van de boog.
Ter plaatse van de scheur, die “schuin de andere zijde” opgaat, heeft afschuiving plaatsgevonden halverwege de boog. De scheurwijdte op dit punt is 10 mm[1], de verschuiving tussen de scheurranden is eveneens 10 mm[1].

Tussen de beide buitenste scheuren zijn in de top van de boog een 5-tal scheuren aanwezig, die een halve tot hele meter uit de top doorlopen, richting het splitsingspunt van het verticale deel van de scheur. In de scheidingswand is geen aftekening van deze scheuren zichtbaar.

Aan de andere zijde van de scheidingswand is een nagenoeg spiegelbeeldig scheurpatroon in het gewelf zichtbaar. Vanuit de top van de boog voegen de scheuren zich geleidelijk samen tot één scheur vlak boven de overgang in de oostelijke wand. De scheur heeft op dit punt een scheurwijdte van 3,0 mm[1]. De scheur loopt nagenoeg door tot aan de vloer. Aan de oostzijde geen afschuiving ten opzichte van de scheurranden geconstateerd.

In de westelijke wand is enige witte afzetting op de muur rondom de scheur zichtbaar, dit is niet zichtbaar in de boog of de oostelijke wand. De witte afzetting duidt op vochttransport door de scheur, tijdens de inspectie is geen vochttransport geconstateerd.

De volledige scheur gaat door zowel de stenen als het voegwerk. Van begin tot eindpunt van de scheur is de lengte 9 m[1], de totale scheurlengte is 16 m[1].

Figuur 24 Scheur in westelijke wand

Figuur 25 Scheur in westelijke wand - begin boog

Figuur 26 Gescheurde top van de boog en scheur in aansluiting scheidingswand met tussenwand

Figuur 27 Afschuiving van beide scheurdelen in de top van de boog

Figuur 28 Scheur vanuit top van de boog naar oostelijke wand

Figuur 29 Scheur in oostelijke wand

5.2.3 Scheur in gewelf naast fundatie pand (3)

Aan het begin van de kelder is de wand van het gewelf verdikt en is de fundatie van het pand opgenomen of tegen het verdikte metselwerk aangebracht. In het westelijke en oostelijke deel van de boog is in overspanningsrichting van de boog een scheur aanwezig.

In het westelijke deel van de boog gaat de scheur vanaf de top tot aan de westelijke muur. De scheur vertakt zich halverwege de boog in twee richtingen, diagonaal terug naar de top en diagonaal naar de westelijke wand. Op korte afstand van het snijpunt van de diagonale aftakking naar de top van de boog is een fijne scheur aanwezig in de overspanningsrichting van de boog. Deze scheur gaat vanuit de top van de boog tot de wand. Over het algemeen volgen de diagonale scheuren in de boog het voegwerk, de delen van de scheur in overspanningsrichting van de boog volgen over het algemeen niet het voegwerk. De scheurwijdte is beperkt en niet binnen handbereik, de totale scheurlengte is 5,8 m^1. Er heeft geen verschuiving van de scheurranden plaats gevonden en er zijn geen tekenen van actueel vochttransport langs de scheur.

In het oostelijke deel van het gewelf is het gewelf vanaf de wand tot de top van de boog losgescheurd van het verdikte metselwerk, de scheurlengte is 3 m^1 In de top van de boog is de scheurwijdte 10 mm^1, top van de boog is ten opzichte van het verdikte metselwerk naar beneden afgeschoven en draagt af op de scheidingswand. Ter plaatse van dit contactpunt is het metselwerk van de scheidingswand over 0,5m^2 afgedrukt (3b).
De scheurwijdte en verschuiving van de scheurranden neemt af richting de oostelijke wand. Er is tijdens de inspectie geen vochttransport in de scheur geconstateerd.

De totale scheurlengte in deze doorsnede van het gewelf is circa 9 m^1.

Figuur 30 Scheur vanuit top van de boor richting westelijke wand

Figuur 31 Scheur in de boog

Figuur 32 Uiteinde vertakte scheur op westelijke wand

Figuur 33 Fijne scheur vanuit top van de boog tpv uiteinde vertakte scheur

Figuur 34 Scheur tussen gewelf en fundatie pand

Figuur 35 Detail van de scheur

Figuur 36 Scheur en afgedrukt oppervlak van scheidingswand

Figuur 37Detail afgedrukt oppervlak

5.2.4 Scheur in oostelijk deel gewelf nabij einde scheidingswand (4)

Vlak voor het einde van de scheidingswand is in de oostelijke wand een scheur aanwezig, die schuin omhoog gaat. Ter plaatst van de overgang van de wand in de boog buigt de scheur sterker diagonaal af richting het einde van de scheidingswand.
De scheur is in de boog minder goed zichtbaar, het pleisterwerk bevat meerdere fijne craquelé scheuren en klinkt hol (zie gebrek 7). Ter plaatse van het einde van de scheidingswand tekent de scheur zich weer beter af in het oppervlak van de boog. De scheur stopt bij het einde van de scheidingswand. De scheurwijdte is 0,5 tot 1,5 mm[1] en de scheurlengte is 6 m[1].
Er is geen afschuiving ten opzichte van de scheurranden geconstateerd en er zijn geen tekenen van vochttransport geconstateerd.

Figuur 38 Schuine scheur in oostelijke wand

Figuur 39 Scheur ter plaatse van overgang wand op boog

Figuur 40 Scheur in boog

Figuur 41 Verloop van de scheur ter plaatse van einde scheidingswand

5.2.5 Scheuren in scheidingswand onder boog van gewelf (5)

In de scheidingswand is een nagenoeg verticale scheur aanwezig achter de tussenwand in het westelijke deel van het gewelf. Vanuit de verhoogde vloer gaat de scheur in de aansluiting van de scheidingswand op de tussenwand omhoog. Op ongeveer een meter van de bovenzijde van de wand buigt de scheur van de tussenwand af en loopt door tot de bovenzijde van de wand. Op deze locatie zijn in de boog van het gewelf meerdere scheuren (gebrek 2) aanwezig. De scheurwijdte in het verticale deel van de scheur is 0,6 mm[1]. Er is geen verschuiving ten opzichte van de scheurranden geconstateerd. De totale scheurlengte (enkelzijdig gemeten) is 3 m[1].
Aan de andere zijde van de scheidingswand is de scheur met dezelfde omvang en verloop zichtbaar. De vloer in dit deel van het gewelf is lager. Aan de onderzijde van de wand is een zuiver verticale aftekening van de tussenwand zichtbaar.
Naast deze aftekening zijn het spachtelwerk op de scheidingswanden ook aftekeningen aanwezig van de ingemetselde houten stijlen en baddingen (veelal ontbreekt het spachtelwerk ter plaatse van het houtwerk).

Figuur 42 Scheur aan achterzijde in de aansluiting van de scheidingswand op de tussenwand in het westelijke deel van het gewelf

Figuur 43 Oostelijk aanzicht scheidingswand met scheuraftekening vanaf tussenwand aan westzijde

Figuur 44 Aftekening van houten stijl in spachtelwerk

Figuur 45 Uiteinde scheidingswand

5.2.6 Scheuren in tussenwand westelijke deel gewelf (6)

In de tussenwand zijn een tweetal scheuren aanwezig. Één scheur loopt vanaf de tussenwand diagonaal omhoog naar de hoek van de sparing en vervolgens verticaal omhoog naar de boog van het gewelf. De andere scheur start in het midden van de wand boven de sparing en gaat verticaal naar beneden, deze scheur splits zich op enig moment. Het metselwerk boven de sparing en tussen de gesplitste scheurdelen hangt los in het verband. Beide scheuren volgen het voegwerk. De scheurwijdte is tot 0,5 mm^1 en de totale scheurlengte is 6 m^1. Ter plaatse van het loshangende deel is de scheurwijdte oplopend tot 5 mm^1 en verschuiving tussen de scheurranden is 2 mm^1.

Figuur 46 Scheuren in tussenwand

Figuur 47 Scheuraanzicht in hoger deel van de wand

Figuur 48 Loshangend deel van de scheur

5.2.7 Oppervlakteschade (7)

Het metselwerk is over het algemeen vervuild met kalk en groene aanslag, plaatselijk resteert nog spachtelwerk van enkele millimeters laagdikte. Over het algemeen is het metselverband en steenformaat niet zichtbaar. De aanwezige vervuiling zijn de restanten / sporen van lekkages en vochtdoorslag uit het verleden. Het oppervlak van het metselwerk is over het algemeen aangetast, de stenen hebben geen duidelijke hoeken, ze zijn afgerond. Het voegwerk heeft een gelijke diepte met de afgeronde hoeken. De metselsteen, -mortel en het spachtelwerk is tot enkele millimeters diep bekrasbaar met een priem. Tijdens de inspectie waren de oppervlaktes droog, echter op basis van geconstateerde kwaliteit kan worden afgeleid dat het metselwerk in het verleden structureel met vocht is belast.

Ter plaatse van de scheur in de oostelijke wand (4) is holklinkend spachtelwerk in de boog aanwezig. Dit spachtelwerk bevat meerdere fijne scheuren. De holklinkende ruimte is ongeveer 2 x2 m^1.

Figuur 49 Algemeen beeld van het metselwerk

Figuur 50Algemeen beeld van het metselwerk

Figuur 51 Resterend holklinkend spachtelwerk met kalkafzetting

Figuur 52 Loskomend spachtelwerk

5.3 Analyse

In de kelder zijn drie scheuren (2,3&4) aangetroffen, die vanuit de westelijke wand door de boog naar de oostelijk wand gaan. De scheurwijdte van de scheuren is in alle gevallen in de boog het grootste en neemt af richting de vloer. Bij scheur 2 en 3 is plaatselijke enige afschuiving (oplopend tot 10 mm[1]) tussen de scheurranden geconstateerd.
De scheidingswand, tussenwand en de fundatie van het pand zijn vormvaste constructiedelen in de kelder. Waarbij de tussenwand een halfsteensmuur bedraagt. De laatste ruimte tussen de onderkant boog en het metselwerk is opgevuld met specie. De gebreken in de scheidingswand (3 & 5) en tussenwand (6) duiden erop dat krachten vanuit het gewelf worden overgedragen op deze wanden. Ter plaatse van contactpunten tussen de wand en het gewelf worden vervormingen in de boog verhinderd, wat leidt tot de aangetroffen scheuren.
De boog van het gewelf wordt op meerdere plaatsen gefixeerd door de onderliggende wanden en draagt, mogelijk onbedoeld, krachten af op de onderliggende wanden.

De verticale scheur aan het einde van de westelijke wand (1) eindigt in de top van de boog. Op dit punt eindigt de boog van het gewelf in de boog van de achter gelegen gang, de overspanningsrichtingen van beide bogen staan haaks op elkaar. De scheur is niet zichtbaar in de boog van de achtergelegen gang. De veranderende constructieopbouw verhinderd vervormingen en heeft geleid tot deze scheur.

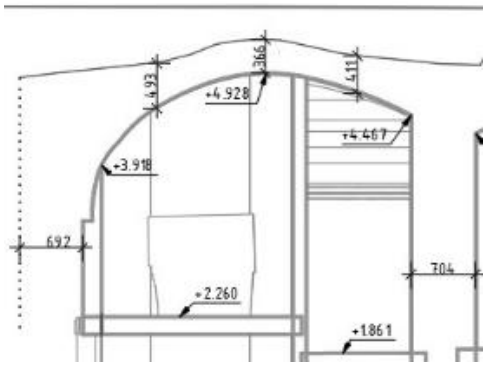
De aanwezige vervuiling op het metselwerk duidt op zeer vochtige omstandigheden in de kelder. In het materiaaloppervlak is zichtbaar dat aantasting heeft plaatst gevonden. Tijdens de inspectie zijn echter geen natte oppervlakken of lekkages geconstateerd. Op basis van de omvang en intensiteit is de conclusie dat het aangetroffen oppervlakte niet van noemenswaardige invloed is op de constructieve eigenschappen van de constructie.

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

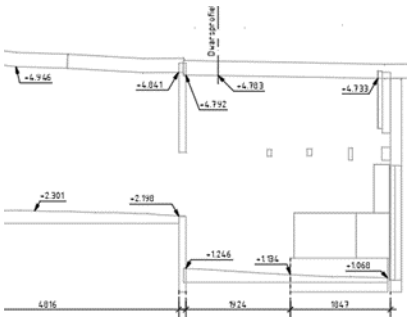
- de scheuren in overspanningsrichting van de boog (1, 2,3 & 4);
- de mogelijk onbedoelde afdracht van krachten op de onderliggende wanden van halfsteens metselwerk.

6 Conclusie

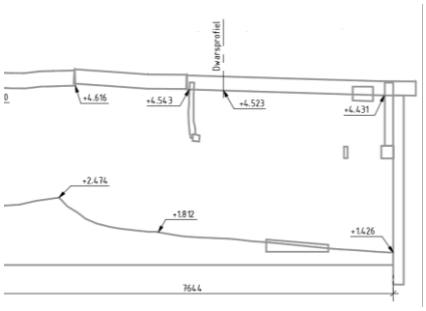
De kelder bestaat uit één gewelf. De constructieve vorm, -dikte de opbouw van het grondlichaam op het gewelf zijn bekend. De doorsneden zijn in onderstaande figuren weergegeven. Voor de volledige geometrie wordt verwezen naar de tekeningen in bijlage 2.



Figuur 53 Principe dwarsdoorsnede gewelf



Figuur 54 Principe langsdoorsnede westzijde kelder



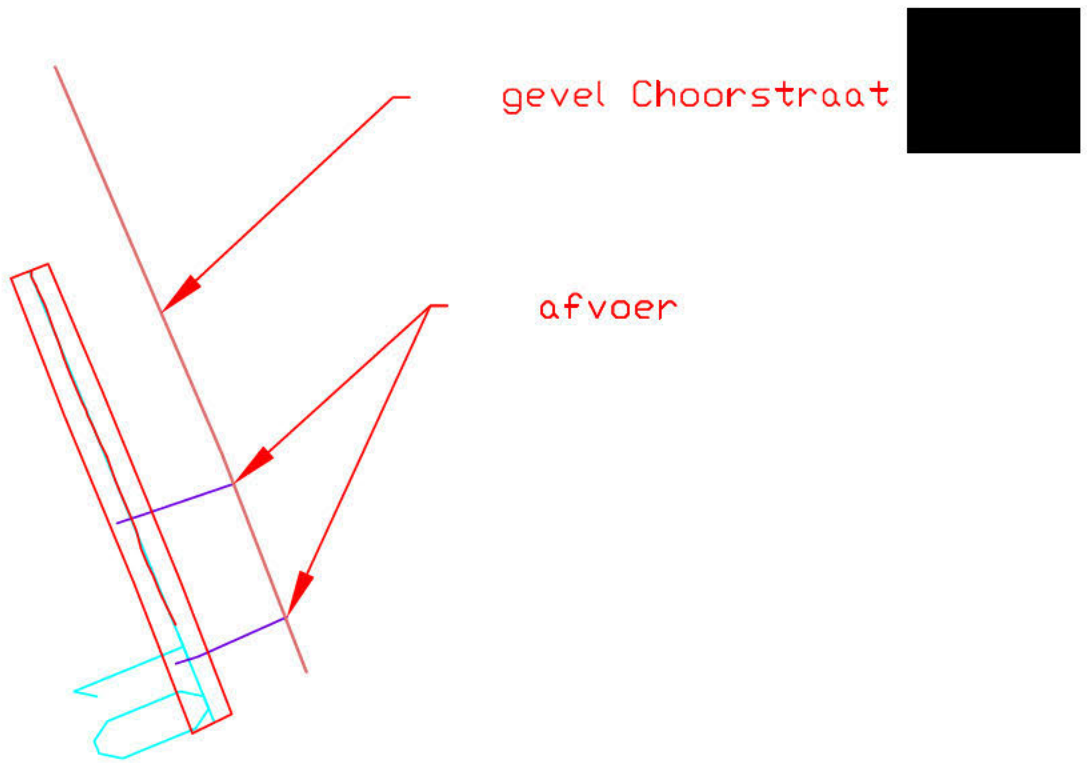
Figuur 55 Principe langsdoorsnede oostzijde kelder

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

- de scheuren in overspanningsrichting van de boog (1, 2,3 & 4);
- de mogelijk onbedoelde afdracht van krachten op de onderliggende wanden van halfsteens metselwerk.

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

Bijlage 1 Resultaten tachimetrische meting bovenzijde



Opdrachtgever

Antea

Project

Onderzoeken kelders Choorstraat [redacted] te Utrecht

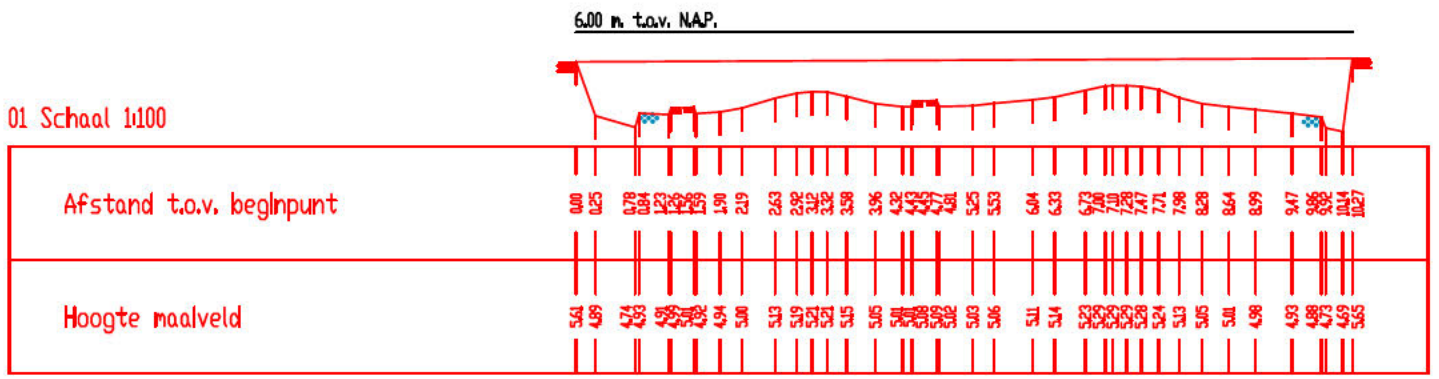
Onderdeel

Situatie bovenkant kelder

Tekeningnummer	Rev.	Bestandsnaam	Formaat	Schaal	Blad	Aantal
T001		G700014-001 Choorstraat[redacted]Dwarsprofiel.dwg		100	1	2

Kantoor	Projectnummer	Besteknummer	Datum van uitgave	Get.	Gez.	Acc.
Lieren	G700014		25-02-2021			

www.geogroep.nl



Opdrachtgever

Antea

Project

Onderzoeken kelders Choorstraat [redacted] te Utrecht

Onderdeel

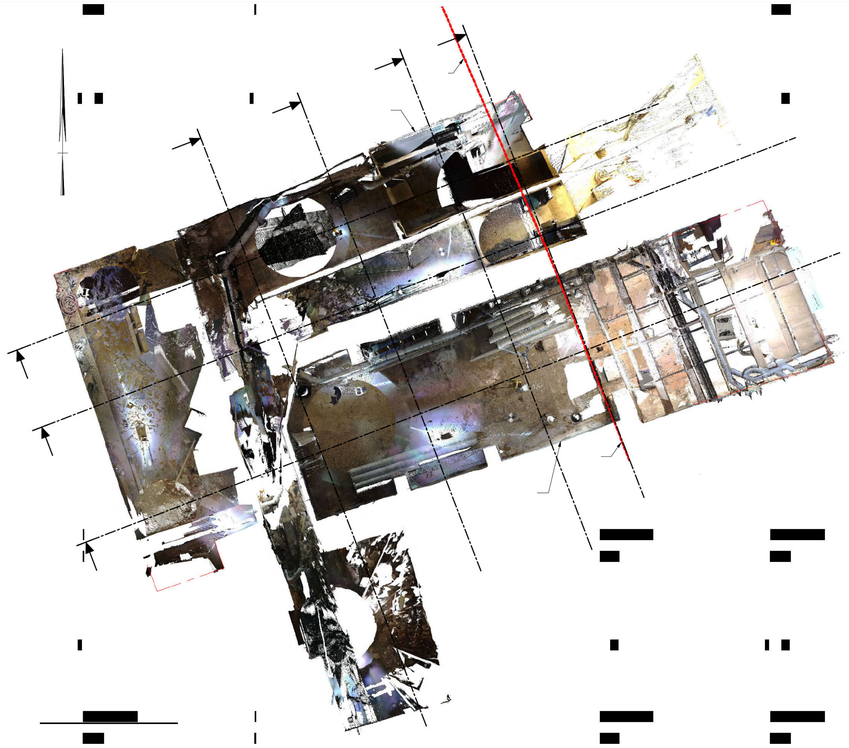
Dwarsprofiel bovenkant kelder

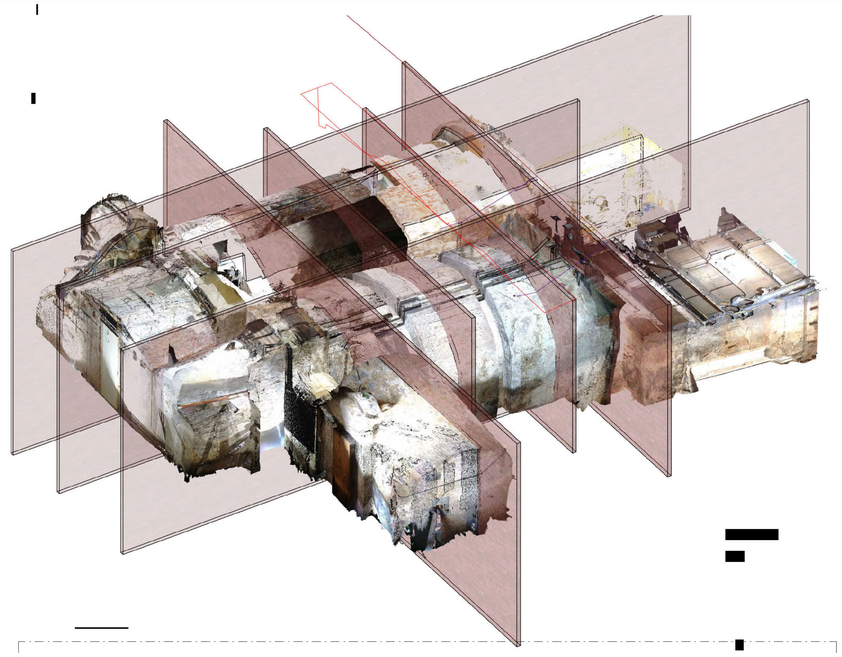
Tekeningnummer	Rev.	Bestandsnaam	Schaal	Blad	Aantal
T001		G700014-001 Choorstraa[redacted]0 Dwarsprofiel.dwg	1:100	2	2

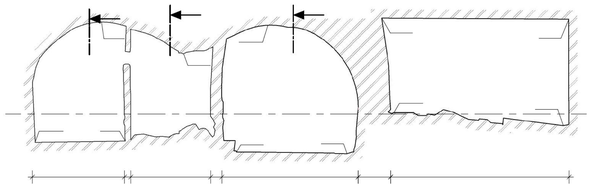
Kantoor	Projectnummer	Besteknummer	Datum van uitgave	Get.	Gez.	Acc.
Lieren	G700014		25-02-2021			

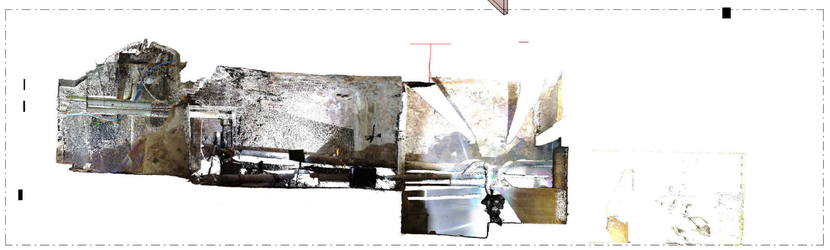
www.geogroep.nl

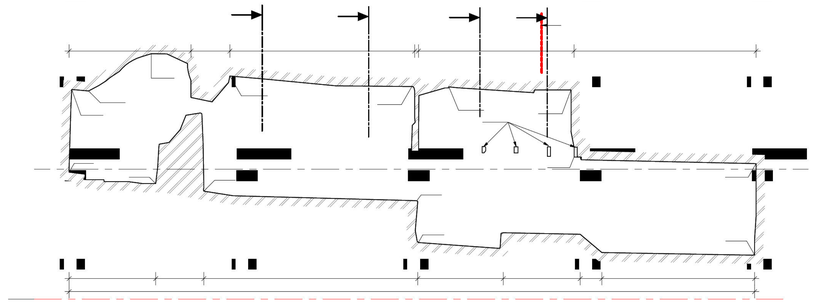
Bijlage 2 Resultaten 3D scan

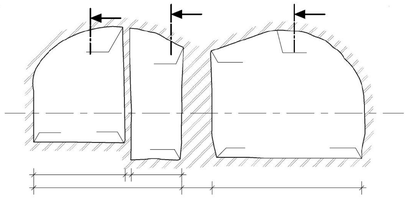


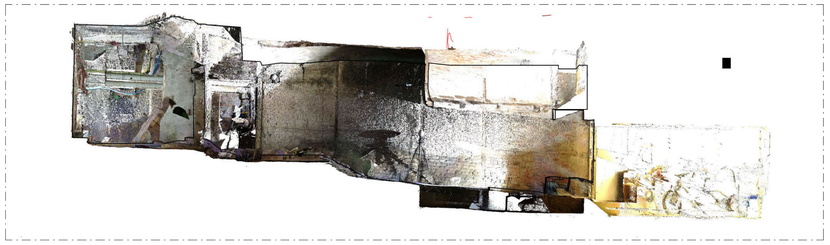


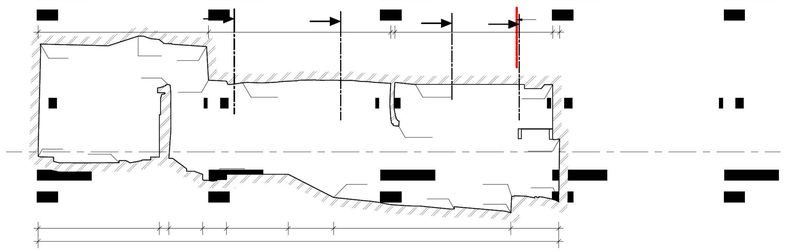


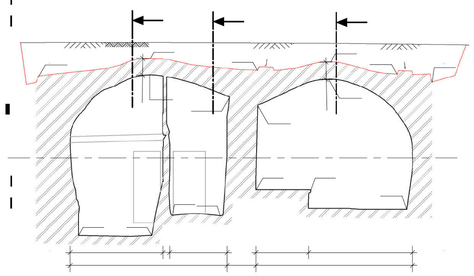


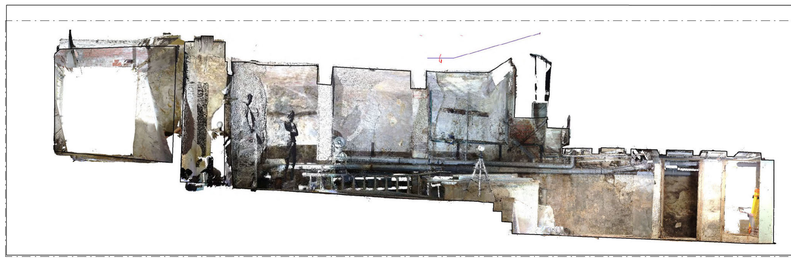


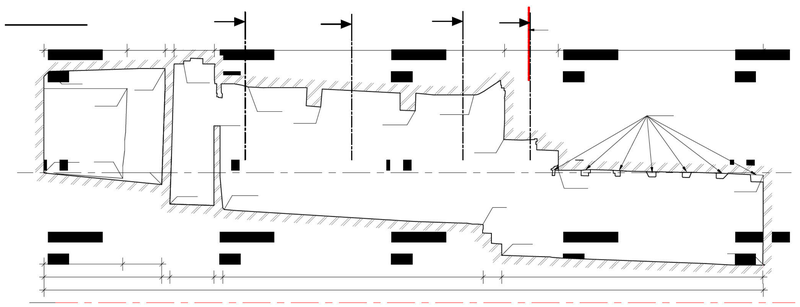


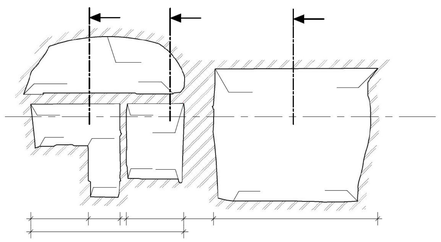


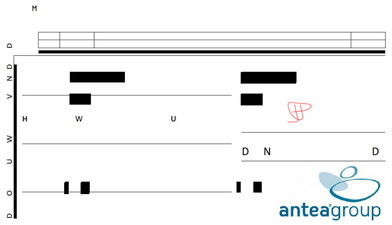




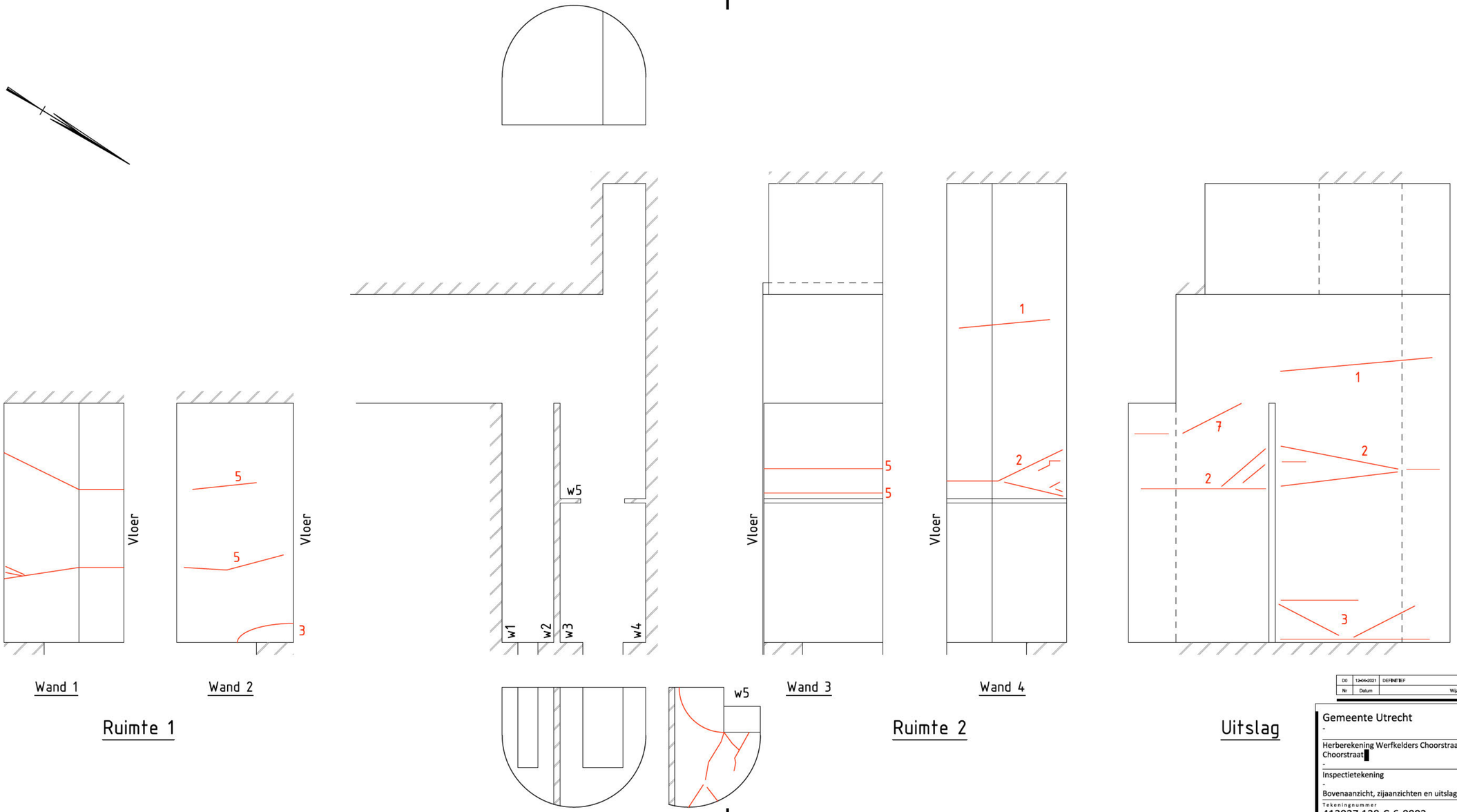







anteagroup

Bijlage 3 Inspectietekening



Wand 1

Wand 2

Wand 3

Wand 4

Ruimte 1

Ruimte 2

Uitslag

Nr	Datum	Wijziging	Tek
D0	13-04-2021	DEFINITIEF	AJ/JL

Gemeente Utrecht
-
Herberekening Werfkelders Choorstraat Choorstraat
-
Inspectietekening
-
Bovenaanzicht, zijaanzichten en uitslag

Tekeningnummer
413927.128-C-6-0002

Tekenaar [redacted]
Projectleider [redacted]

Schaal 1:75
Formaat 297x594
2 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.

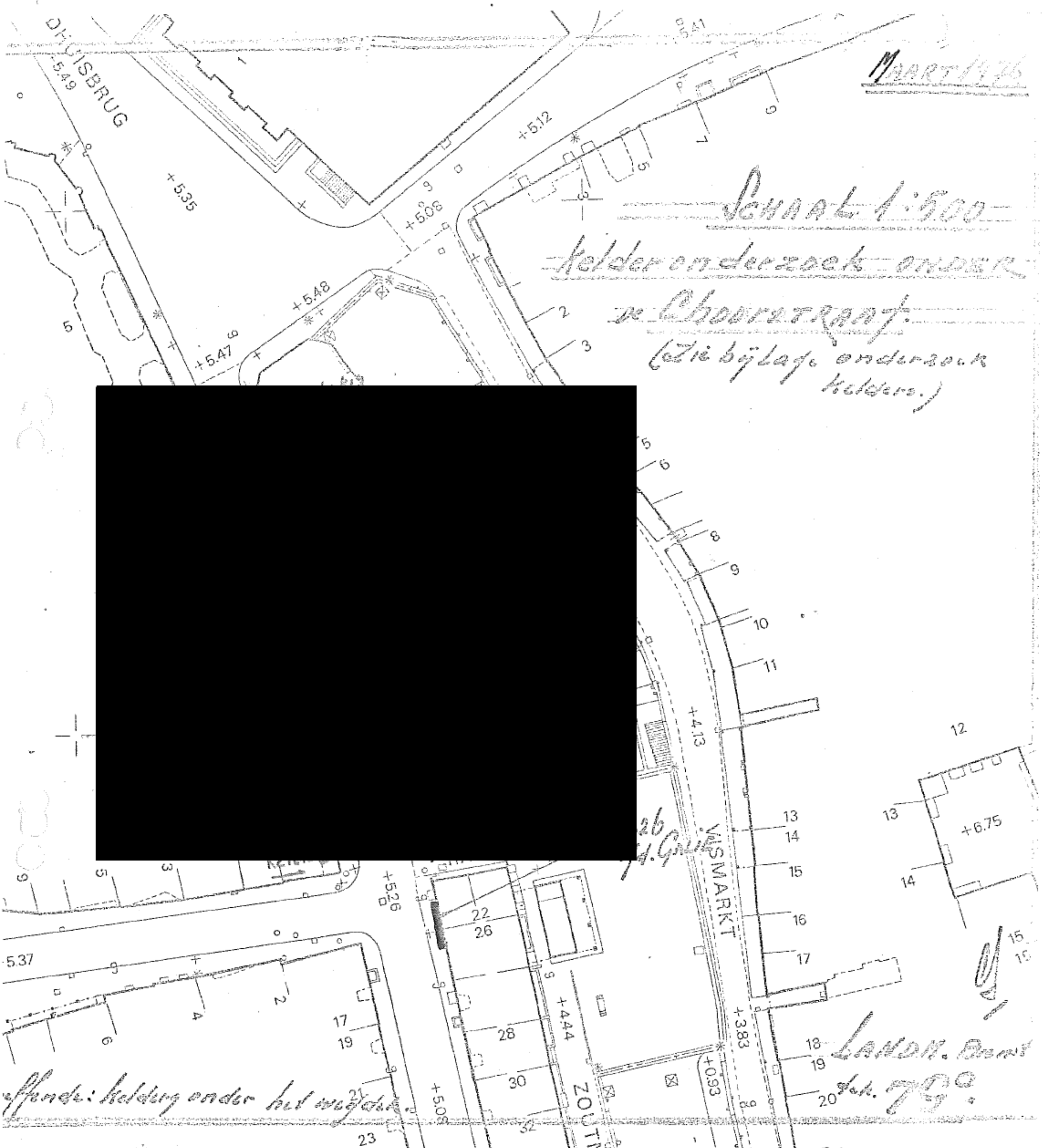
Contactgegevens

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.

A3 Archiefgegevens



Maart 1976
Schaal 1:500
Kelder onderzoek onder v. Oberstraat.
(Zie bijlage onderzoek kelders.)
Landm. Dienst
DROISBRUG
VISMARKT
ZOUTM
+5.35
+5.12
+5.08
+5.48
+5.47
+4.13
+6.75
+5.26
+4.44
+3.83
+0.93

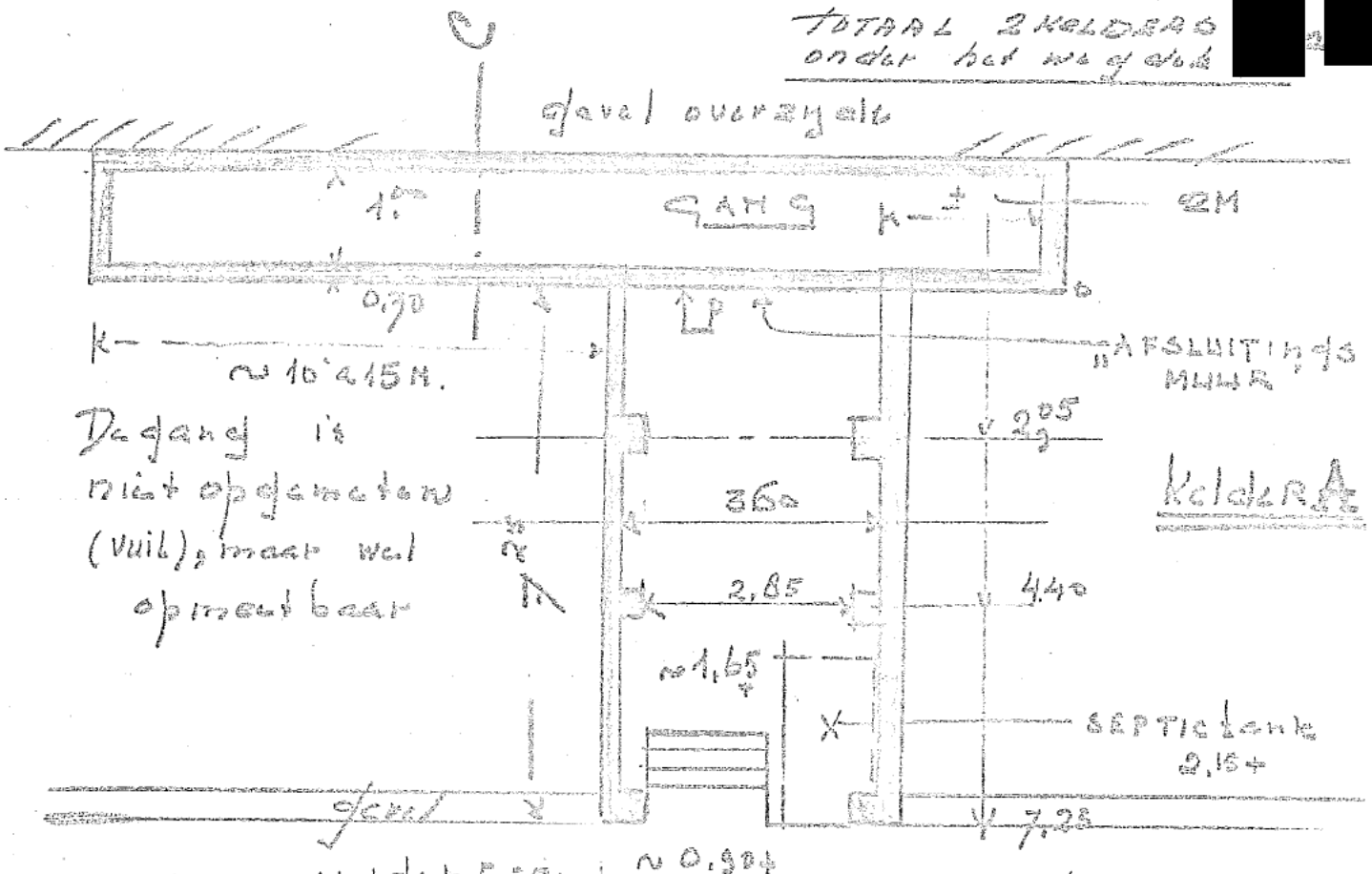
[redacted]

Onderzoek Kelder Oosterbroek [redacted]

Schoenmakers Handel

23-12-1975

TOTAAL 2 KELDERS onder het weggedeelte [redacted]



Dgn: C.

Waarschijnlijk dat weg dek hoog ligt

Toestand Kelder A van perceel Choorstr[redacted]
+ gang doorsnede C .

Onderzoek: 25-7-1976 Zeer Buiig weer

a) kelder is kurk droog. gebouwd van
b) " " ongebruikt "grote moppen"
c) " " degelijk
d) " " onbepleisterd
e) " " electr. verlicht.

Kelder A strekt zich uit tot 7,25 uit de gevel aan 't eind bij P kan men over de afsluitmuur in een gang kijken, die ± 15 m lang is. en ± 1m breed. - deze gang is niet onderzocht, ligt vol "rommel" - maar zou wel te onderzoeken zijn als dit nodig is, zie doorsnede C.

Vloerhoogte kelder A: ± 1,65+ (uit gracht gemeten)

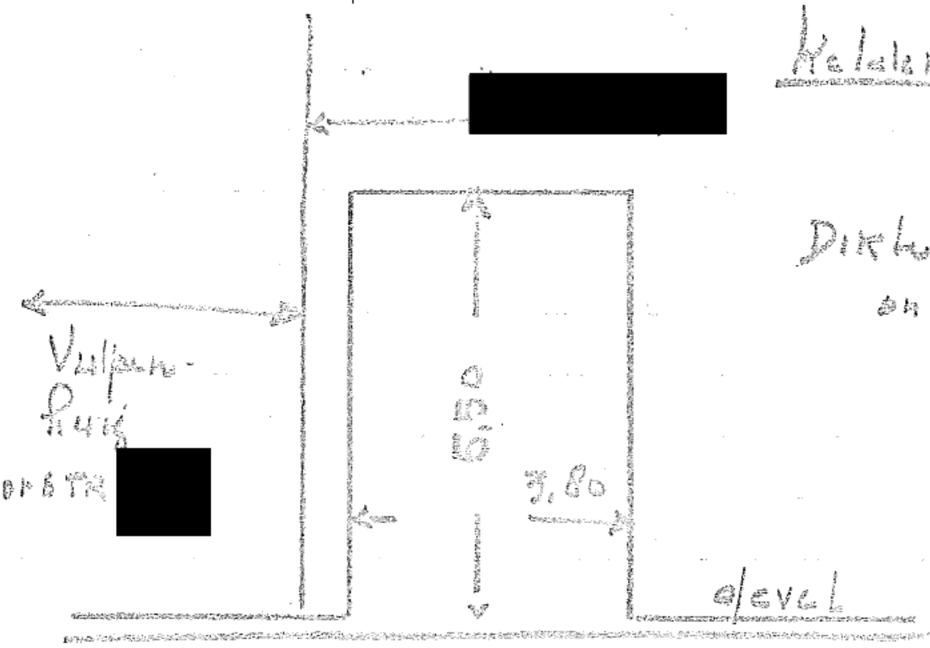
Gesproken met:
bedr. leider Manfield
Hr v Poelgeest
(zeer prettig en medewerkend)

C. Snijderling afd. W.C.B.
Oldenhof afd Mon.

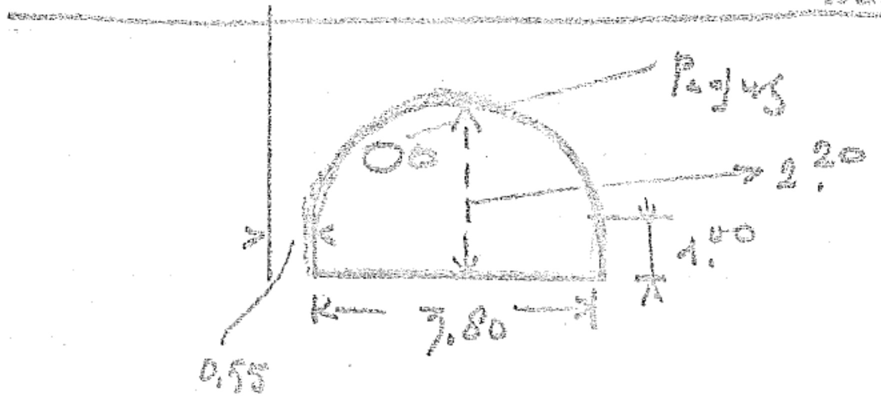
[signature]

Choorstr. [redacted]

Kelder B



Dikte boog
onbekend



a) tong gewelf
b) droge kelder (25-3-1976 was het buiigweer)
c) niet gebruikte kelder
d) gebouwd v. ronde moppen"
e) vloer plavuizen
f) Pegus leiding.
g) AFM: 5,50x7,80

SITUATIE [redacted]

Oldenhof
25-3-76

29-3-'76

Onderzoek: CHOORSTRAAT (kelders onderhijwerd)

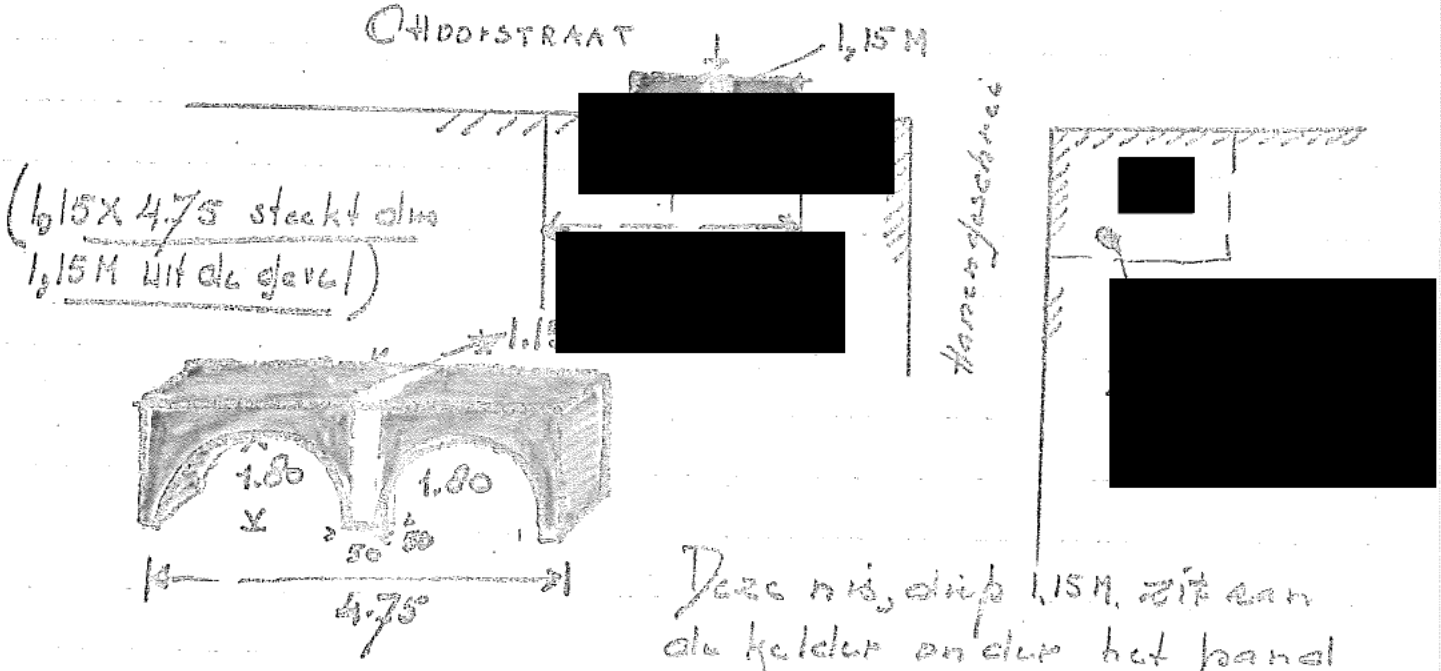
Pand nr [redacted]
29-3-76

heeft geen kelder aan de STRAAT, maar [redacted]
bezocht door: [redacted]

Pand [redacted]
29-3-1976

Bakhanaal [redacted]

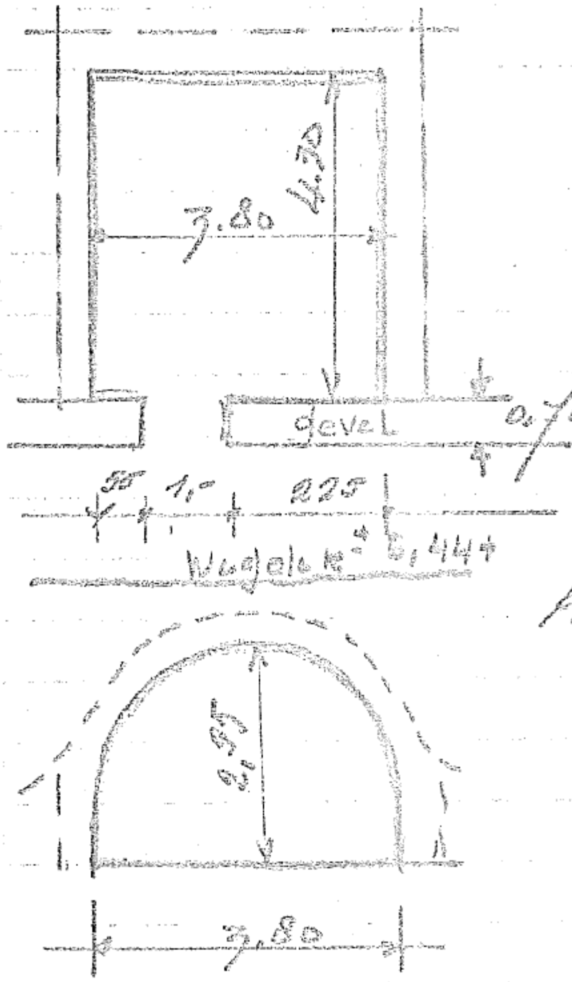
Langs de gevel v/h. pand op 1,15 M diepte en 4,75 lengte
Langs de gevel een kelder nis



Deze nis, diep 1,15 M. zit aan de kelder en door het pand vast. Ziet er duidelijk uit —
geen klachten alsmo Horst Gallé
droge kelder ook
onder het pand.

bezocht door:
Offringa
29/3-76

ONDERZOEK KELDER CHOORSTR. [redacted]
„VOLPERTHUIS"
Best. van Winkelformule
Onderzocht 25-3-7[illegible]



Kelder boog: slecht bepleisterd
; zie ker degelijk in
gebouwd dan ;
„ rauze moppen".
ELECTRISCH verlicht
niet gebruikt
(ligt wat emballage in)

Kelder lekt niet.

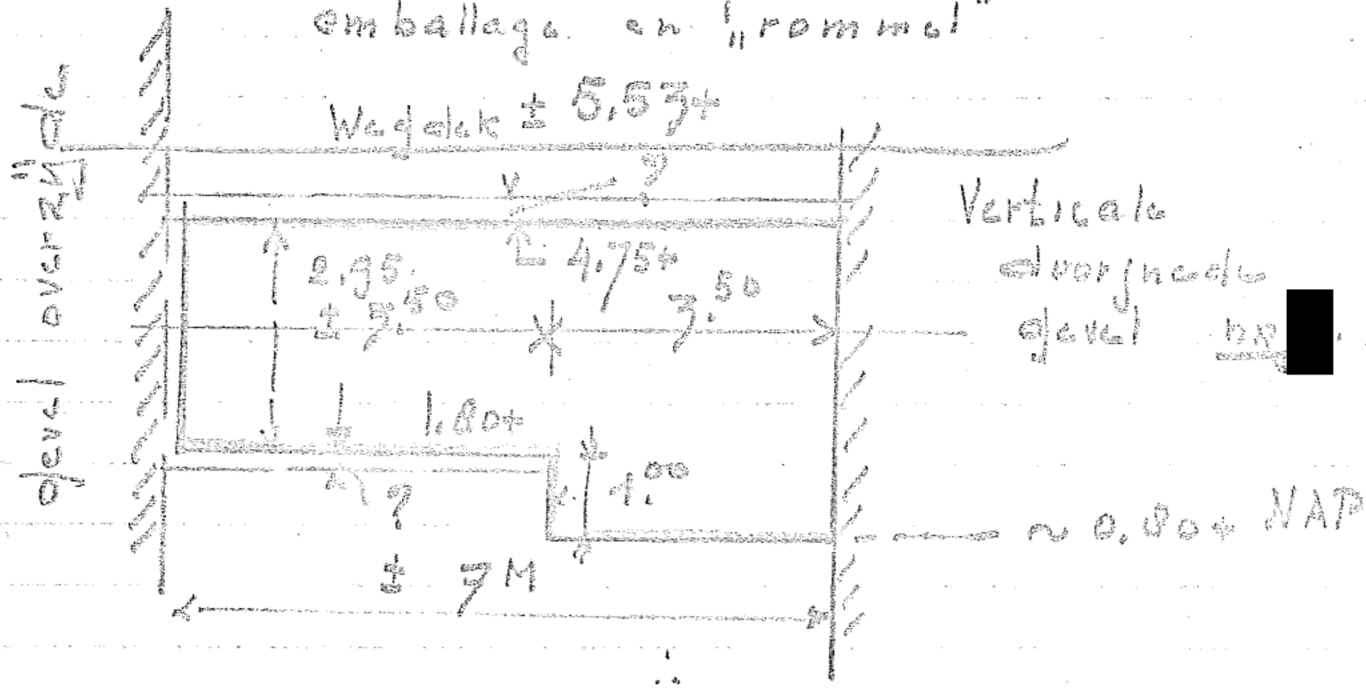
Zeer buig weer 25/5-76

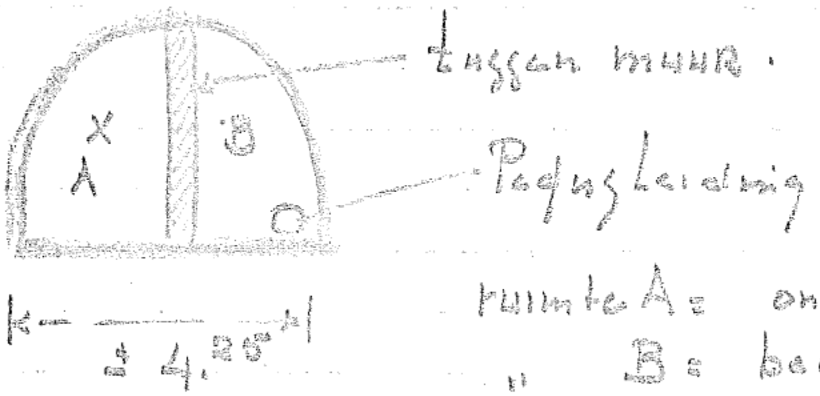
[illegible] W.C.B.
[illegible]

Onderz. [illegible]

„Staal Solingen" Chaarstr [redacted]

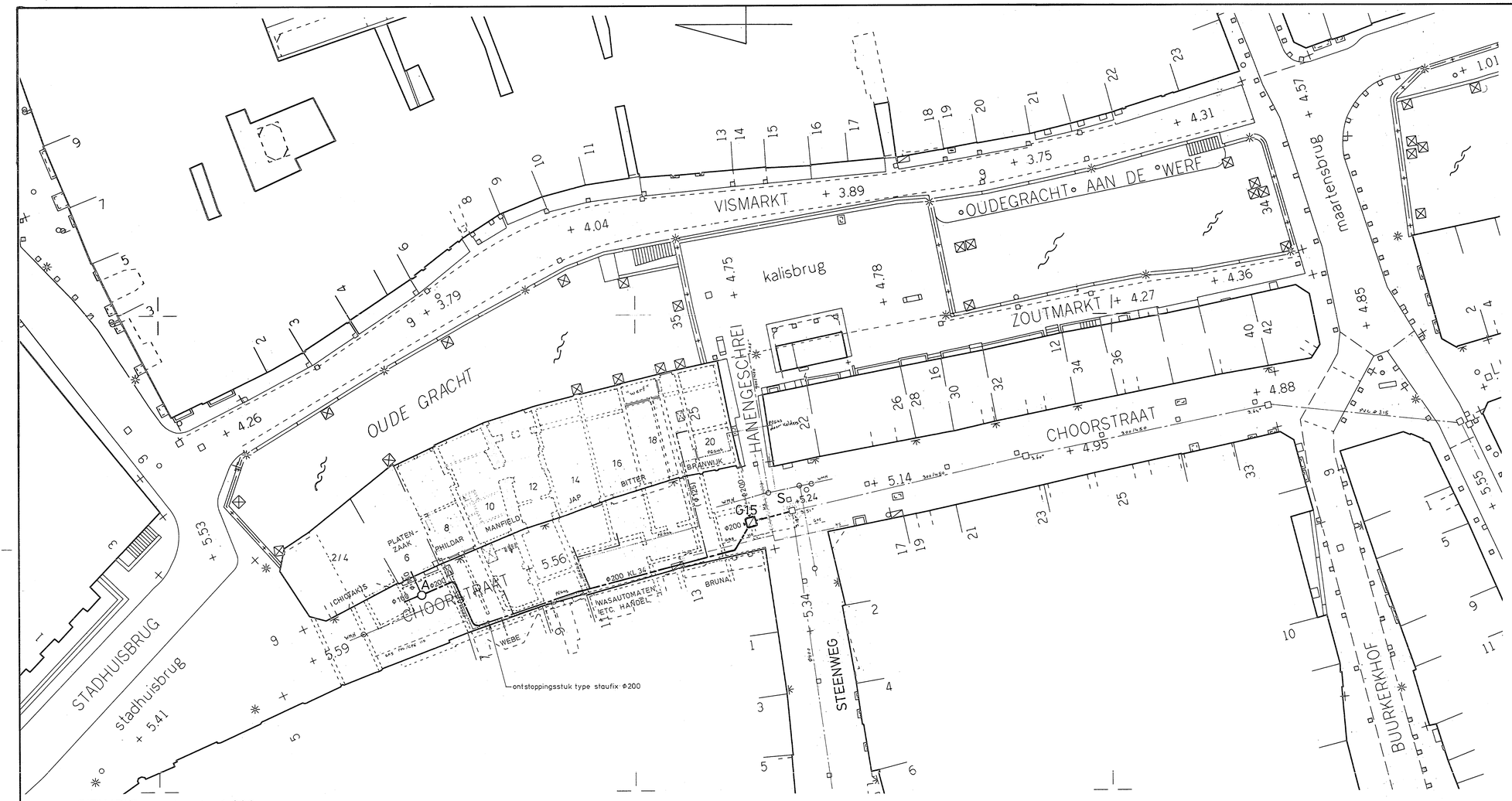
Nogal moeilijk op te meten : veel emballage en „rommel"



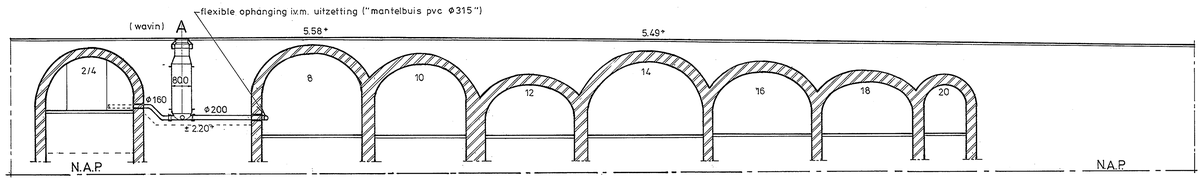


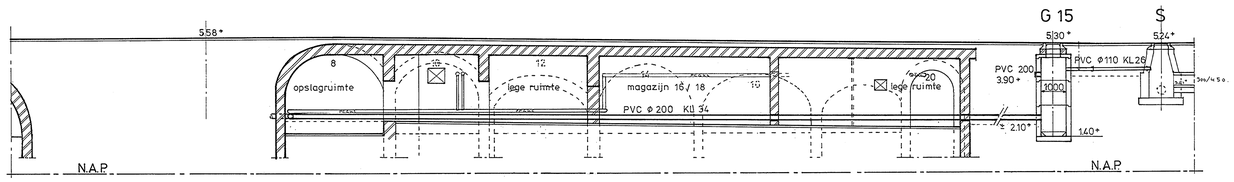
ruimte A : onbenut
„ B : benut (vol emball.)

a) ~~afmeten drogekelder~~ 25/3-76 buurvrouw
b) volle breedte pand.
c) droge lucht
d) gedeeltelijk afgepleisterd
e) electr. verlicht.
f) vriendelijke ontvangst (HR en Mevrouw).



SITUATIE schaal 1:200





LENGTEPROFIEL schaal 1:100

HOOFDRIOOL PVC Φ200 KL 34, IN DE KELDERS ONDERSTEUND MET STALEN BEUGELS VOORZIEN VAN EPOXYTEER COATING. BEUGELS H.O.H. 1 METER

AANSLUIT MOGELIJKHEID VOOR HUISAANSLUITINGEN D.M.V. T-STUKKEN 200/125

DE HUISAANSLUITINGEN WORDEN IN REGIE GEMAAKT

STELPOSTEN :

OPRUIMEN KELDERS	f 5.000
ONVOORZIEN	f 2.500

DE MAXIMAAL TOEGESTANE WIELDRUK IN DE CHOORSTRAAT IS 1 TON

DE BEVOORRADING VAN DE WINKELS MOET ALTIJD MOGELIJK ZIJN

HET TOEGESTANE VERKEER VAN MAARTENSBRUG NAAR DE STEENWEG V.V. MOET ALTIJD VRIJE DOORGANG HEBBEN

VERKLARING

- BESTAAND RIOOL MET INSPECTIEPUT: GEMENGD STELSEL
- BESTAAND RIOOL MET INSPECTIEPUT; VUILWATER
- BESTAANDE BEERPUT
- AAN TE BRENGEN RIOOL MET INSPECTIEPUT: GEMENGD STELSEL
- AAN TE BRENGEN POMPPUT MET PERSLEIDING
- AAN TE BRENGEN HUISAANSLUITING VUILWATER (IN REGI)
- BOOM
- LICHTMAST / VERKEERSLICHT
- WATERLEIDING MET BRANDKRAAN W.M.N.
- P.E.G.U.S.- LEIDING
- GASLEIDING G.E.B. / G.C.N. / NED. GASUNIE
- HOOGSPANNINGSKABELS G.E.B.
- LAAGSPANNINGSKABELS G.E.B.
- TELEFOONKABELS
- C.A.I. KABEL
- P.U.E.M. KABEL

ZIE DE LEIDINGTEKENINGEN VAN DE BEDRIJVEN

- BRANDPUT c.q. PEILBUIS

DE VORM EN HOOGTELIGGING VAN DE KELDERS ZIJN NIET EXACT BEKEND

DE JUISTE MATEN IN HET WERK TE BEPALEN

ALLE MATEN IN MM TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN

ALLE HOOGTEMATEN IN METERS T.O.V. N.A.P.

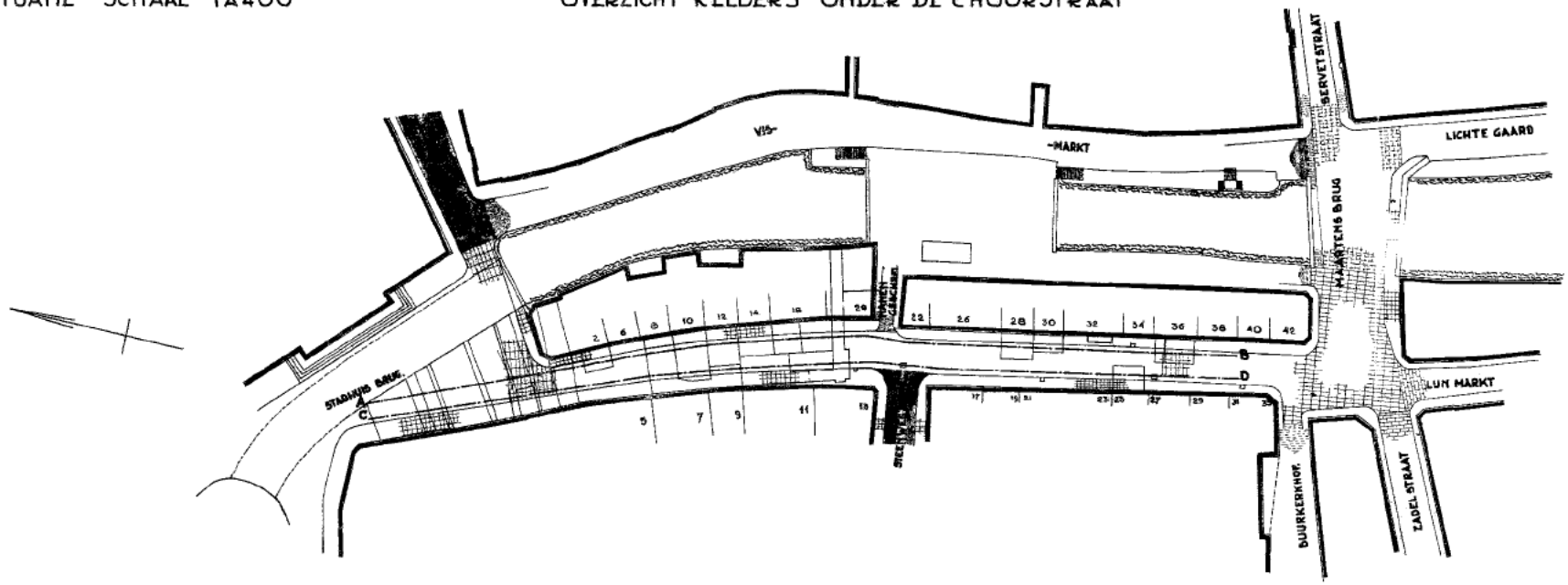
VOOR ALGEMENE DETAILS RIOLERINGSWERKEN ZIE TEK. 4766-G

JUISTE PLAATS KABELS EN/OF LEIDINGEN IN HET WERK TE BEPALEN

DIENSTENSTRUCTUUR R.O.V.U.				Ravellaan 96, UTRECHT	
DIENST OPENBARE WERKEN				Afd. Riol. en Waterhuish.	
WERK	HET UITVOEREN VAN GROND-, RIOLERINGS-, EN VERHARDINGSWERKEN IN DE CHOORSTRAAT TUSSEN STEENWEG EN STADHUISBRUG.				BESTEK 54 O.W. 1988
OMSCHR.	SITUATIE, LENGTEPROFIELEN EN DETAILS				GEZ.
SCHAAL 1:200 1:100	GET. 20-09-1989	GEC.		GEBIED 20-II	FORMAAT 105 x 75 15.350-1

SITUATIE SCHAAL 1:400

OVERZICHT KELDERS ONDER DE CHOORSTRAAT



VERKLARING

BESTAANDE BEBOUWING.
HOUT BESTRATING.
KEI " "
TEGEL " "
KLINKERS BESTR.
DRIELING " "
ASFALT VERHARDING.

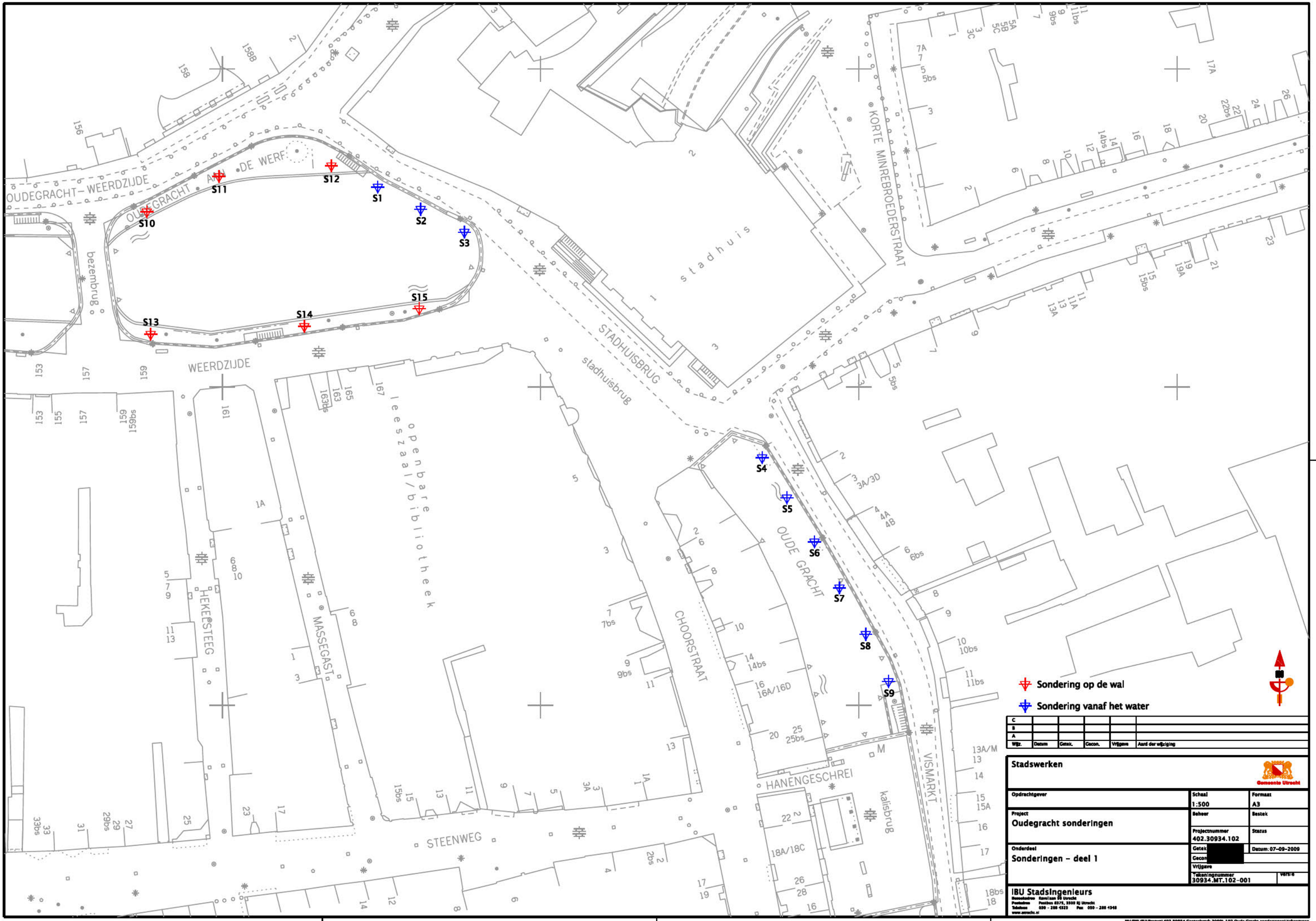
LENGTE SCHAAL 1:200

LENGTE PROFIEL A-B

LENGTEPROFIEL C-D.

GEMEENTE WERKEN-UTRECHT TEK: No 514.

A4 Grondonderzoek



Wijz.	Datum	Getek.	Gecon.	Vrijgave	Aard der wijziging
C					
B					
A					

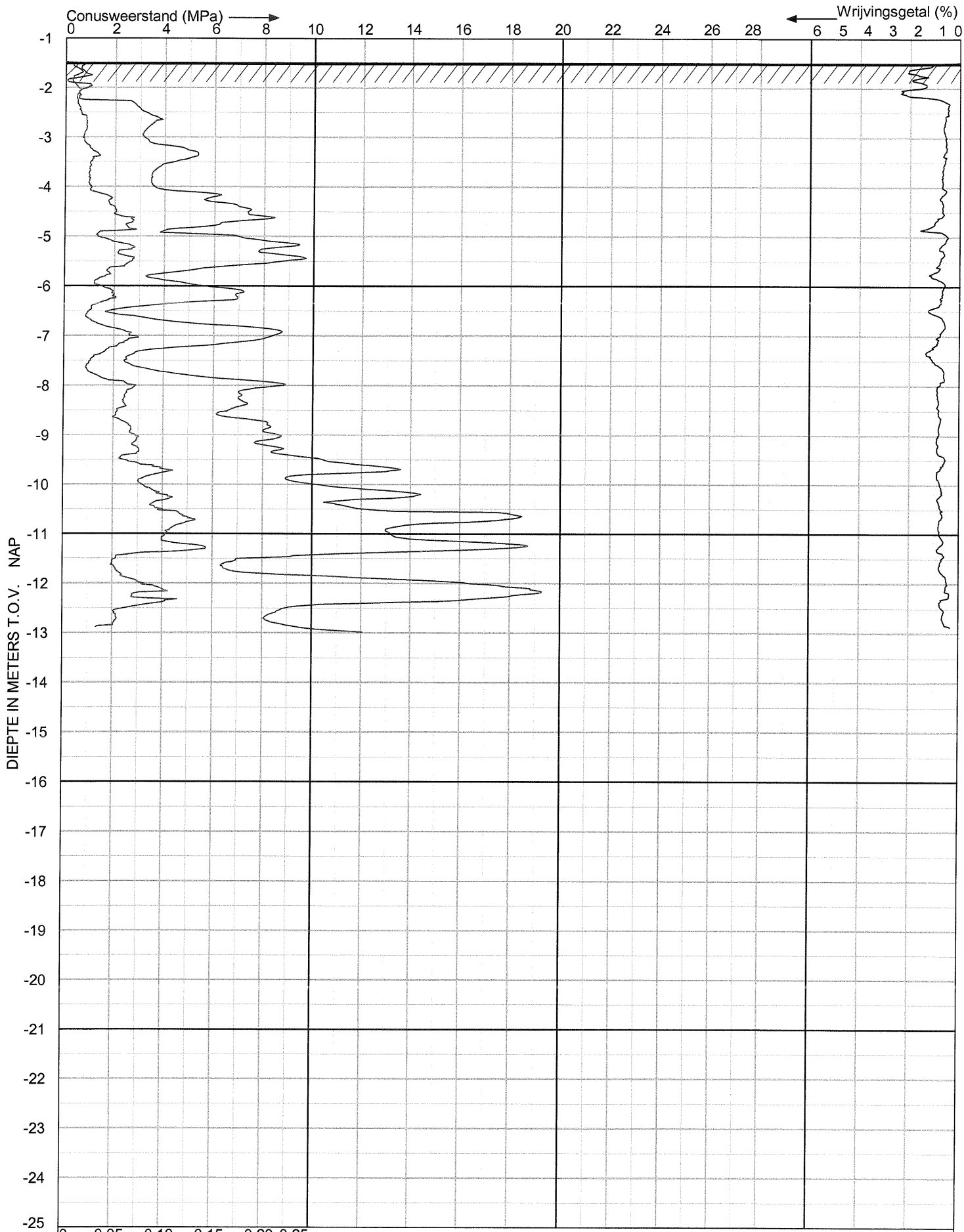
Stadswerken

Gemeente Utrecht

Opdrachtgever	Schaal 1:500	Formaat A3
Project Oudegracht sonderingen	Beheer	Bestek
	Projectnummer 402.30934.102	Status
Onderdeel Sonderingen – deel 1	Getek [redacted]	Datum: 07-09-2009
	Gecon [redacted]	
	Vrijgave	
	Tekeningnummer 30934.MT.102-001	versie

IBU StadsIngenieurs
Bezoekadres Ravellaan 90 Utrecht
Postadres Postbus 8375, 3509 RJ Utrecht
Telefoon 030 - 288 4323 Fax 030 - 288 4348
www.utrecht.nl

W:\SW\IBU\Project\402.30934 Geotechniek 2009\ 102 Oude Gracht sonderingen\Tekeningen



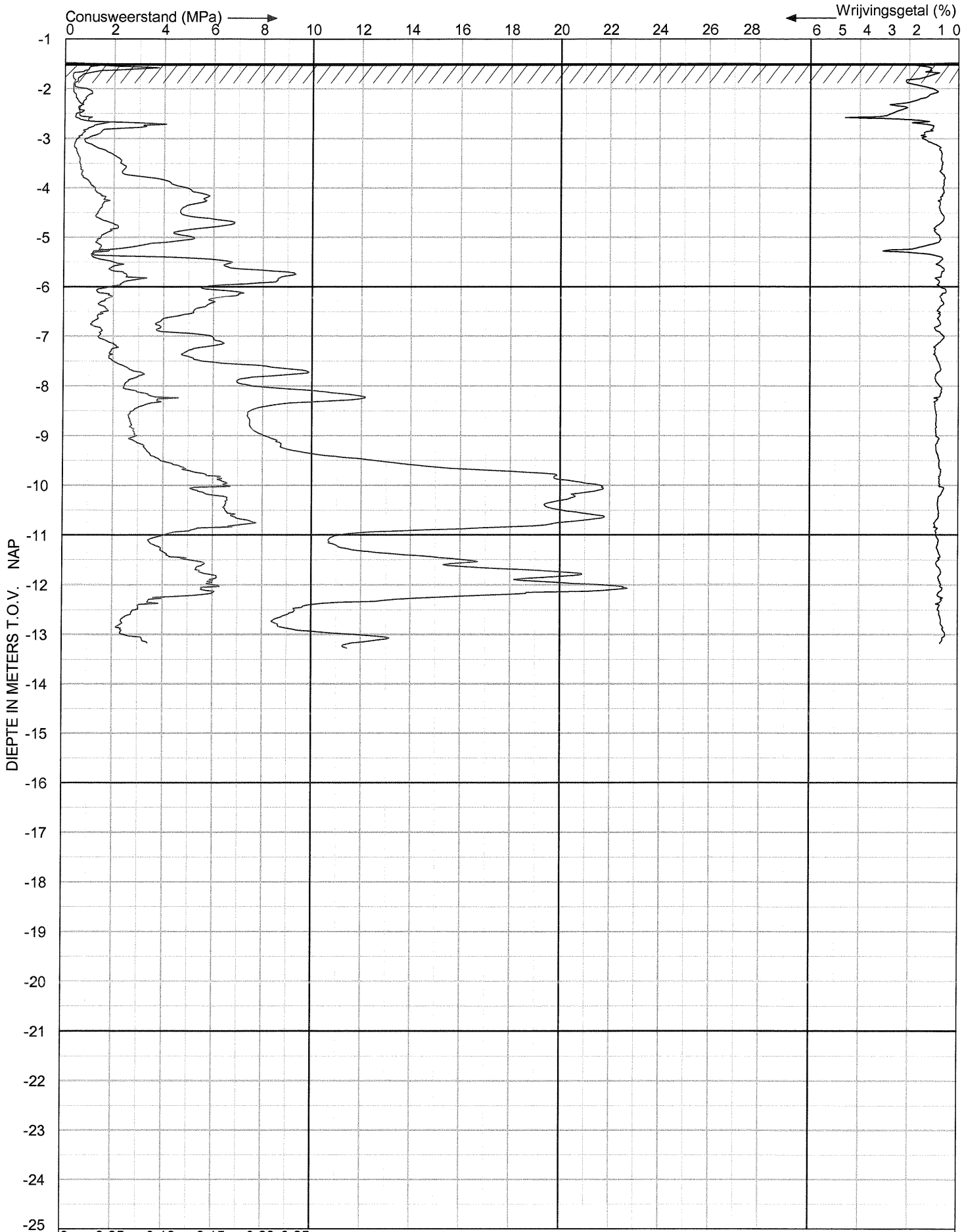
WIHA GRONDMECHANICA

Sondering volgens NEN 5140, klasse 2 - cylindrisch elektrisch

Sonderingen, Oude Gracht te Utrecht
te Utrecht

Project nr. : **WN-19396**
Sondeer nr. : **4**

Datum : 23-9-2009
Conusnr. : 000000
MV. is -1.48 m tov NAP



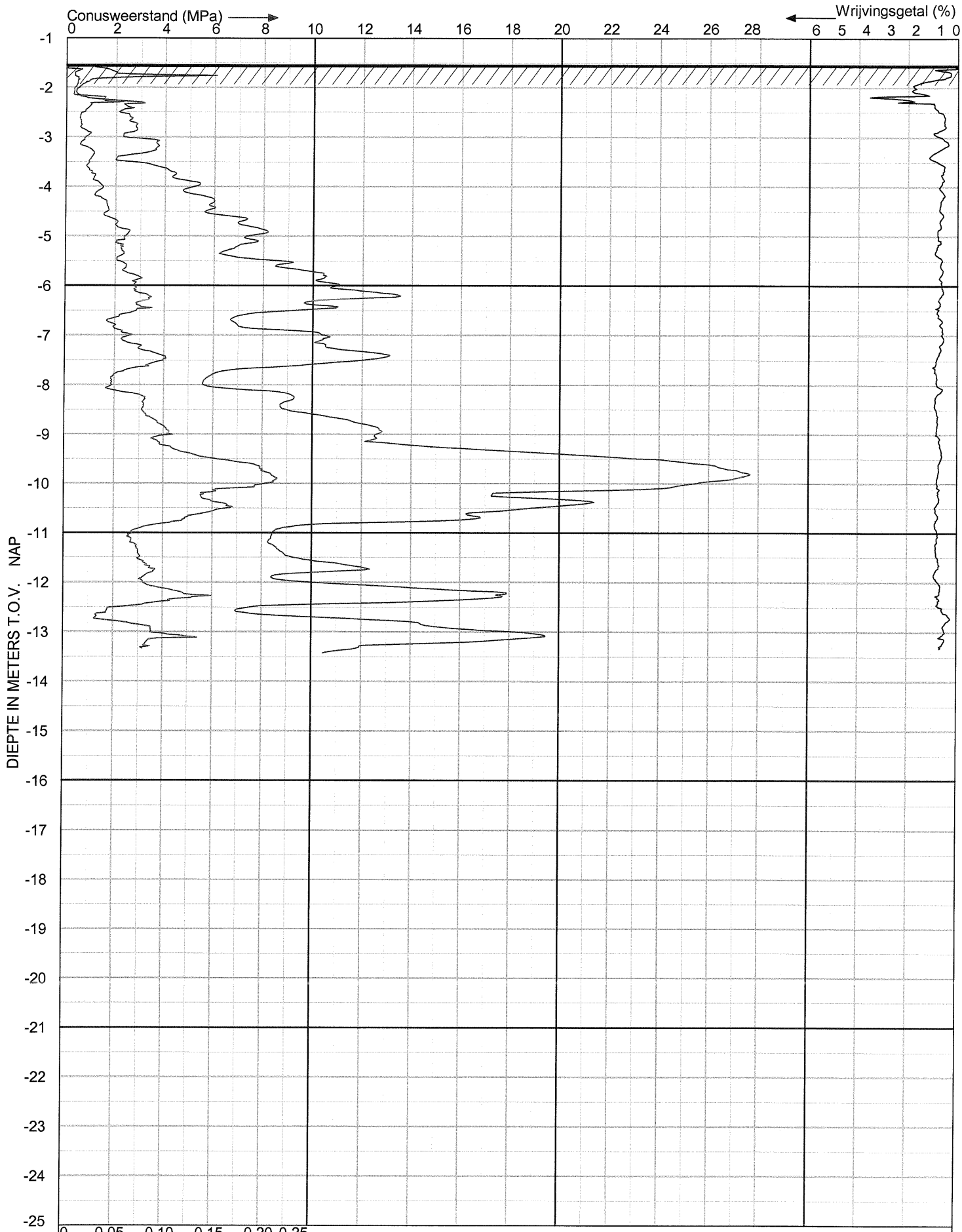
WIHA GRONDMECHANICA

Sondering volgens NEN 5140, klasse 2 - cylindrisch elektrisch

Sonderingen, Oude Gracht te Utrecht
te Utrecht

Project nr. : **WN-19396**
Sondeer nr. : **5**

Datum : 22-9-2009
Conusnr. : 000000
MV. is -1.48 m tov NAP



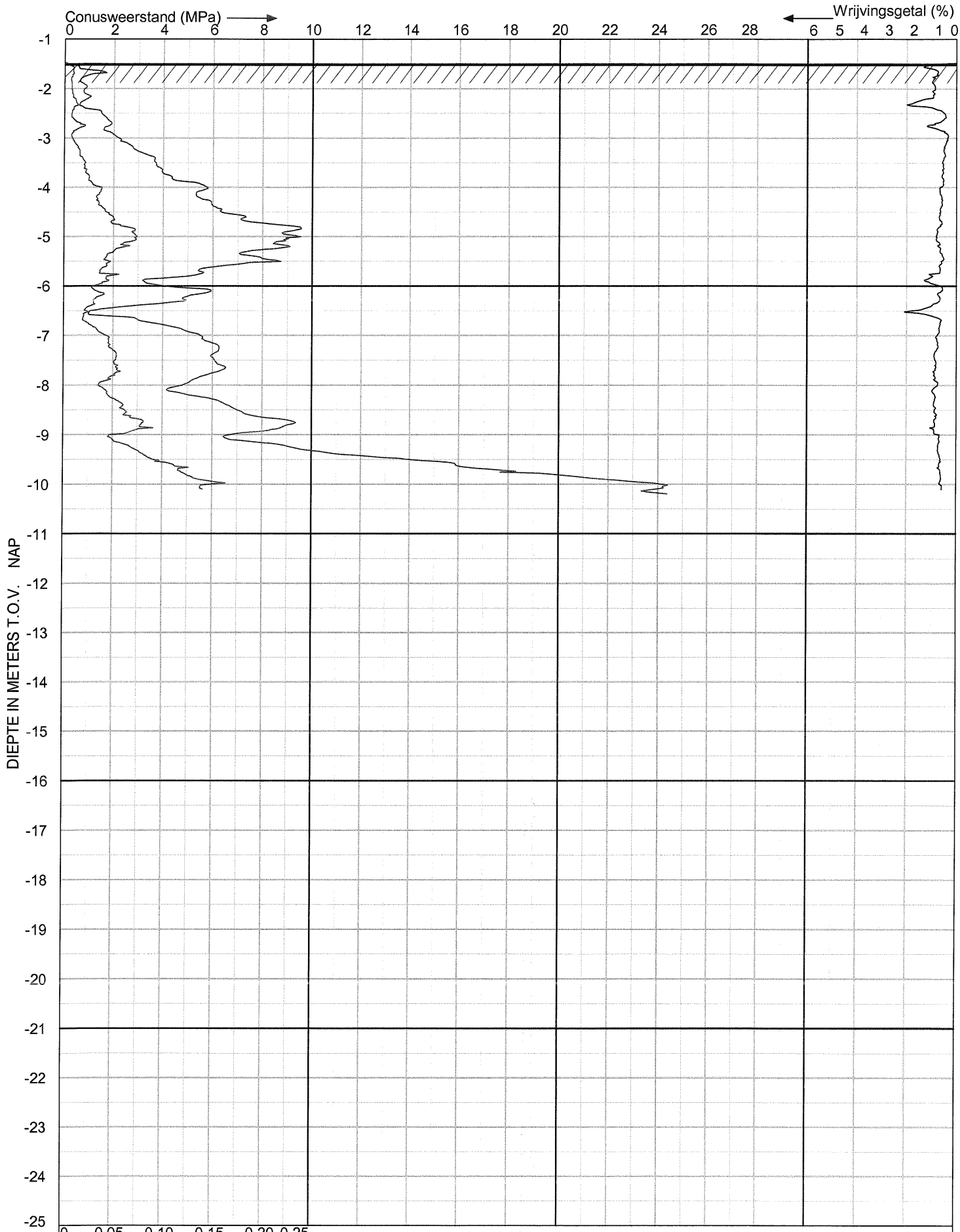
WIHA GRONDMECHANICA

Sondering volgens NEN 5140, klasse 2 - cylindrisch elektrisch

Sonderingen, Oude Gracht te Utrecht
te Utrecht

Project nr. : **WN-19396**
Sondeer nr. : **6**

Datum : 22-9-2009
Conusnr. : 000000
MV. is -1.53 m tov NAP



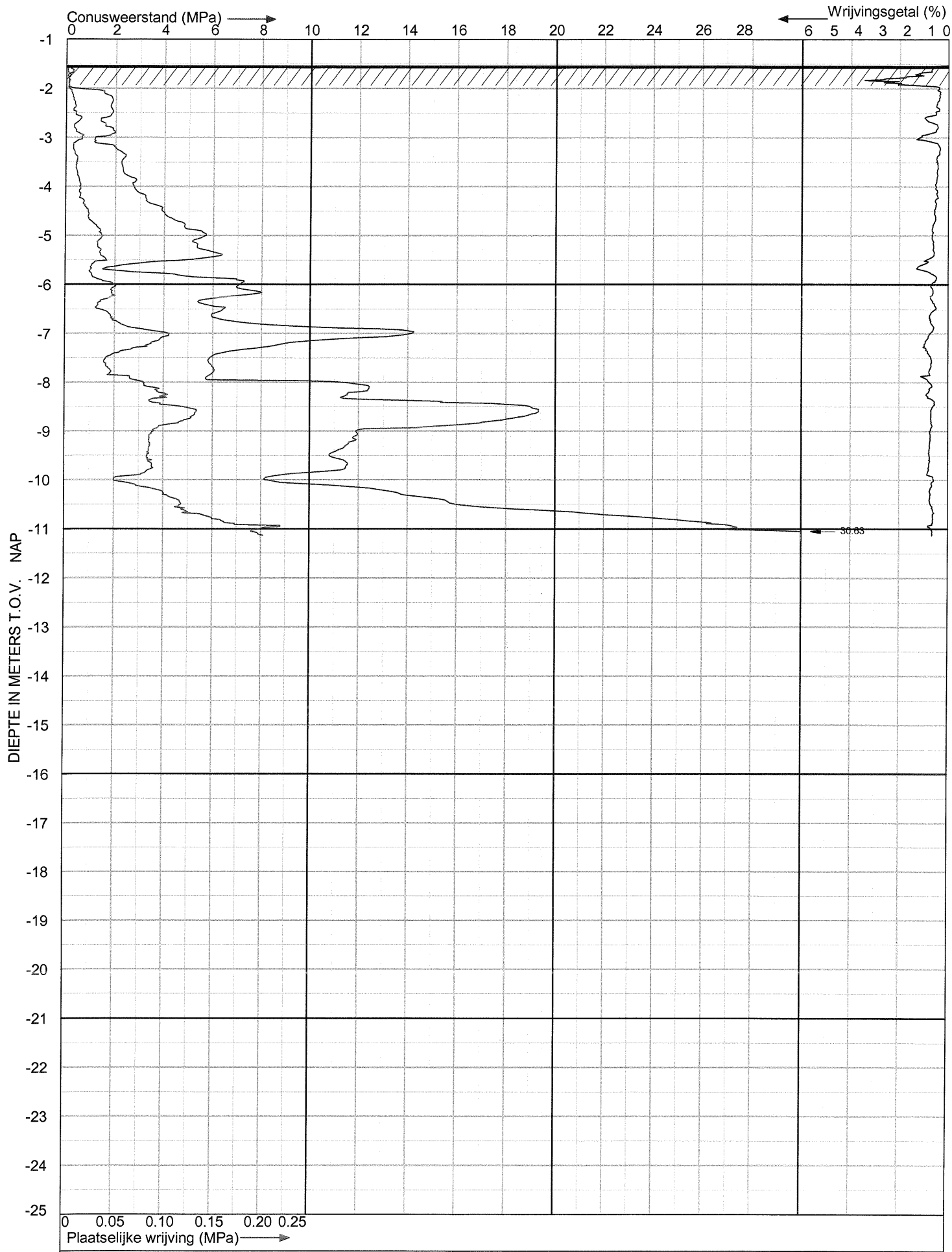
WIHA GRONDMECHANICA

Sondering volgens NEN 5140, klasse 2 - cylindrisch elektrisch

Sonderingen, Oude Gracht te Utrecht
te Utrecht

Project nr. : **WN-19396**
Sondeer nr. : **7**

Datum : 23-9-2009
Conusnr. : 000000
MV. is -1.48 m tov NAP



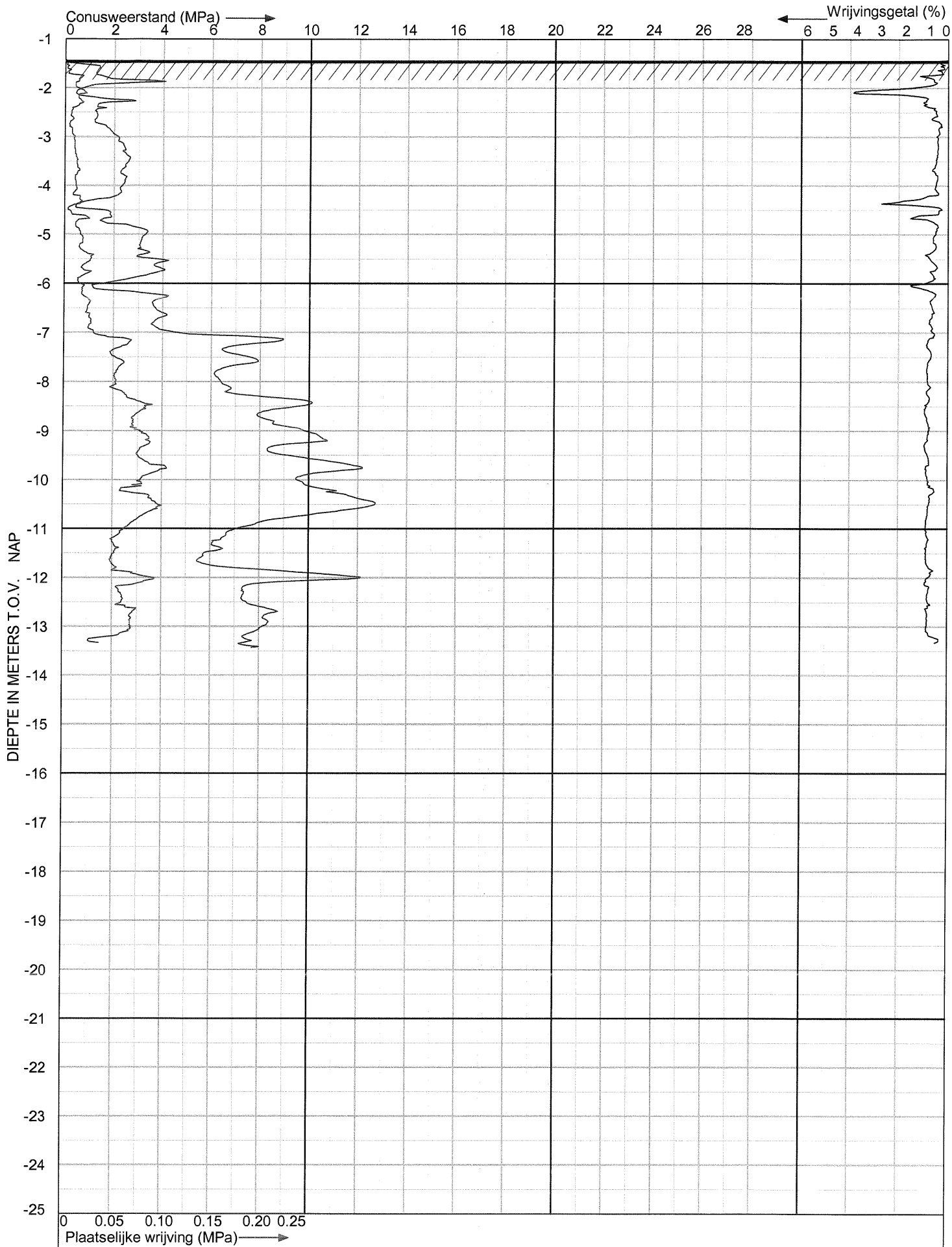
WIHA GRONDMECHANICA

Sondering volgens NEN 5140, klasse 2 - cylindrisch elektrisch

Sonderingen, Oude Gracht te Utrecht
te Utrecht

Project nr. : **WN-19396**
Sondeer nr. : **8**

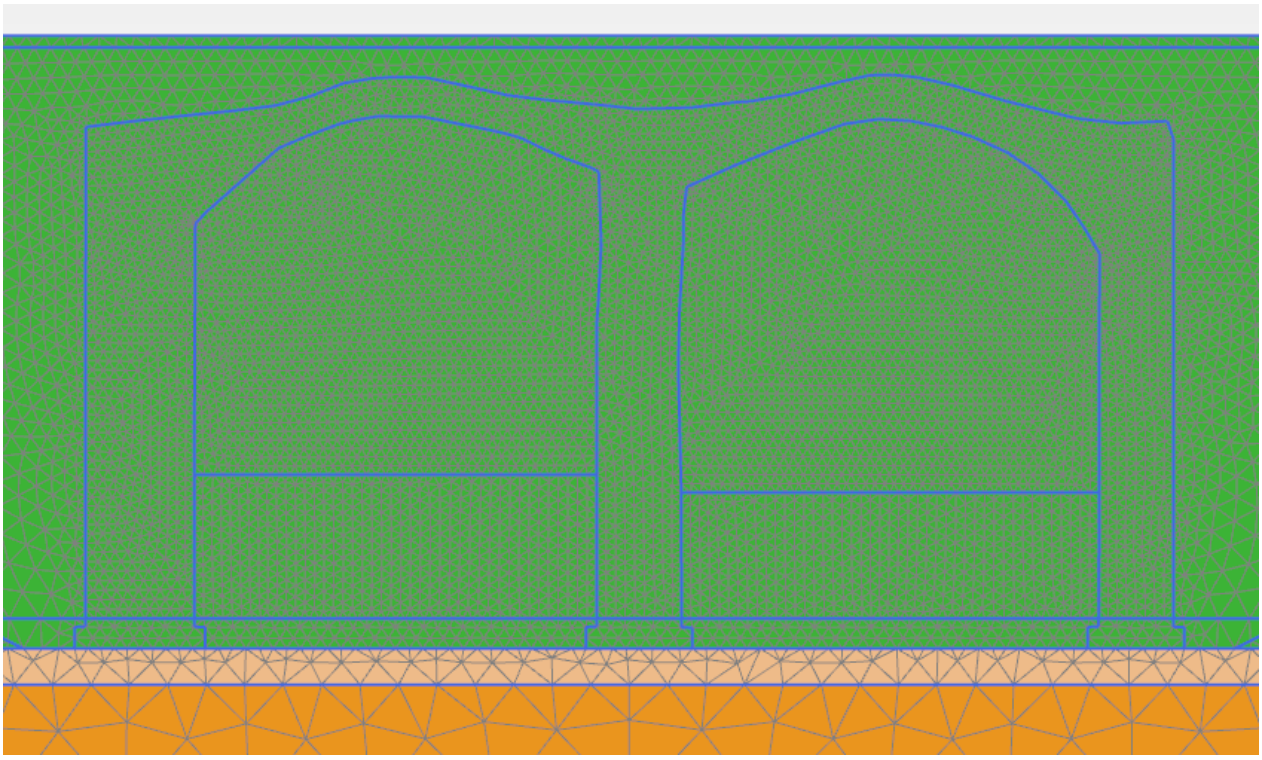
Datum : 23-9-2009
Conusnr. : 000000
MV. is -1.53 m tov NAP



WIHA GRONDMECHANICA	Sondering volgens NEN 5140, klasse 2 - cylindrisch elektrisch
Sonderingen, Oude Gracht te Utrecht te Utrecht	Project nr. : **WN-19396** Sondeer nr. : **9**
	Datum : 24-9-2009 Conusnr. : 000000 MV. is -1.43 m tov NAP

A5 Verificatieberekening Plaxis-resultaten Choorstraat

Mesh



Plaxis stappenplan

ID	Calculation type	Loading type (D)	Pore pressure calcula...	Time interval	Estimated end time	Ignore undr. behavio...	Reset displacements ...	Updated mesh (D)	Max steps (D)	First step	Last step
A Initial phase (K0, MV NAP+5,61, GWS +0,5 NAP) [InitialPhas				**0.000 day**	**0.000 day**	☑	☐	☐	**1000**	**0**	**0**
B Aanleg afgraving tot o.k. fundering (NAP+0,5 m) en GWS (NAP 0,5m)				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☐	1000	1	15
C Aanvullen tot huidig MV (NAP +5,61m) en GWS NAP +0,5 m [Phase_2				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☐	1000	16	176
D Maximaal waterpeil NAP +1,5m en GWS NAP +0,75m [Phase_7]				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☑	1000	177	179
2N-1 Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_5]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1284	1305
3N-1 [Phase_18]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	206	278
4N-1 PF [10 ton] [Phase_19]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1328	1434
5N-1 PF [10 ton] [Phase_20]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1435	1539
6N-1 GRF [10 ton] [Phase_21]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1540	1639
7N-1 GRF [Phase_29]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1640	1786
2N-1-R Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_9]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1306	1327
3N-1-R [Phase_22]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	279	335
4N-1-R PF [10 ton] [Phase_30]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1787	1886
5N-1-R PF [Phase_31]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1887	1986
6N-1-R GRF [10 ton] [Phase_32]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1987	2086
7N-1-R [Phase_33]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2087	2199
2N-1-L Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_4]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	421	442
3N-1-L [Phase_23]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	336	402
4N-1-L PF [10 ton] [Phase_34]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2200	2305
5N-1-L PF [Phase_35]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2306	2461
6N-1-L GRF [10 ton] [Phase_36]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2462	2561
7N-1-L GRF [Phase_37]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2562	2692
2N-2 Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_10]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	180	187
3N-2 [Phase_16]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	443	503
4N-2 PF [10 ton] [Phase_3]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	504	603
5N-2 PF [10 ton] [Phase_17]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	604	717
6N-2 GRF [10 ton] [Phase_6]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2693	2801
7N-2 GRF [10 ton] [Phase_8]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2802	2994
2N-2-R Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_11]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	188	205
3N-2-R [Phase_24]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	718	785
4N-2-R PF [10 ton] [Phase_38]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2995	3094
5N-2-R PF [Phase_39]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3095	3194
6N-2-R GRF [10 ton] [Phase_40]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	3195	3294
7N-2-R GRF [Phase_41]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3295	3405
2N-2-L Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_12]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	812	838
3N-2-L [Phase_25]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	839	930
4N-2-L PF [9 ton] [Phase_42]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	3406	3509
5N-2-L PF [Phase_43]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3510	3609
6N-2-L GRF [9 ton] [Phase_44]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	3610	3713
7N-2-L GRF [Phase_45]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3714	3842

ID	Calculation type	Loading type (D)	Pore pressure calcula...	Time interval	Estimated end time	Ignore undr. behavio...	Reset displacements ...	Updated mesh (D)	Max steps (D)	First step	Last step
2N-3 Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_13]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	968	988
3N-3 [Phase_26]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	989	1054
4N-3 PF [10 ton] [Phase_46]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	4624	4723
5N-3 PF [Phase_47]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	4724	4823
6N-3 GRF [10 ton] [Phase_48]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	4824	4923
7N-3 GRF [Phase_49]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	4924	5023
2N-3-R Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_14]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1066	1085
3N-3-R [Phase_27]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1086	1137
4N-3-R PF [10 ton] [Phase_50]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	5024	5123
5N-3-R PF [Phase_51]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	5124	5223
6N-3-R GRF [10 ton] [Phase_52]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	5224	5323
7N-3-R GRF [Phase_53]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	5324	5423
2N-3-L Toets SLS Normbelasting [6 ton] [Phase_15]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1150	1179
3N-3-L [Phase_28]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1180	1262
4N-3-L PF [10 ton] [Phase_54]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	5424	5526
5N-3-L PF [Phase_55]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	5527	5626
6N-3-L GRF [10 ton] [Phase_56]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	5627	5728
7N-3-L GRF [Phase_57]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	5729	5830

Belastingspreiding tot hart metselwerk doorsnede

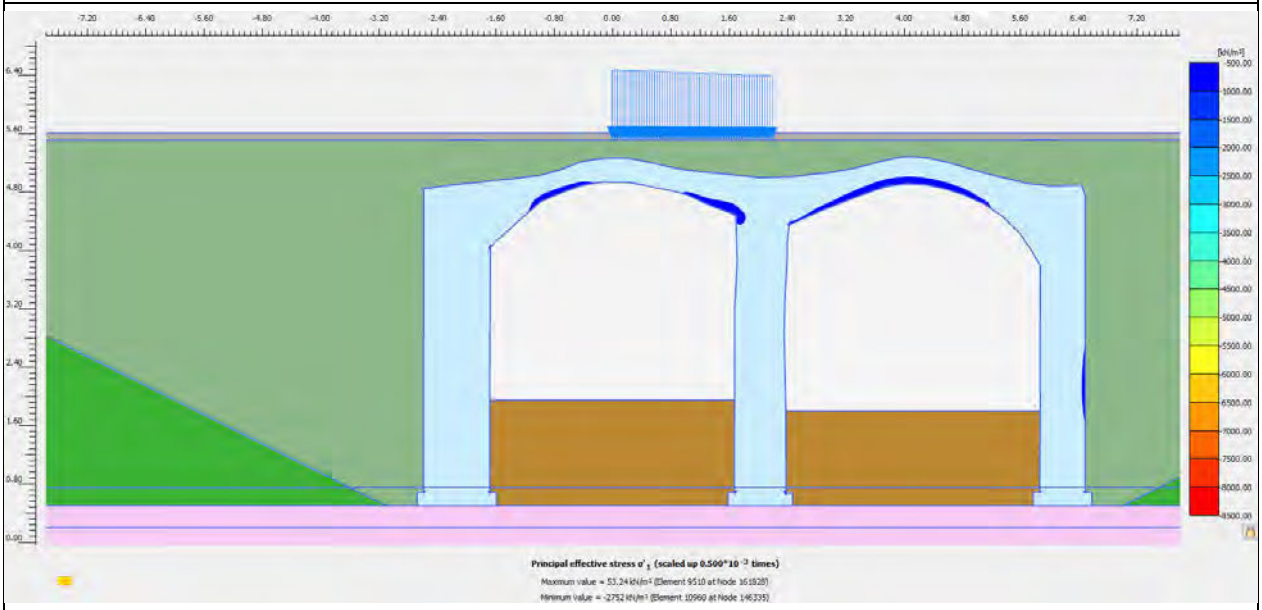
(voorbeeld voor verkeersbelasting bij bord C20 van 10 ton)

					Normbelasting (gereduceerd Qk1)			Normbelasting (gereduceerd Qk2)		
			30		Enkelzijdig			Enkelzijdig		
	Niveau	Niveau		Extra breedte	Belasting			Belasting		
Punt	Maaiveld	Halverwege boog		Enkelzijdig	78.1	0.0		52.1	0.0	
-5.9	5.61	4.35		0.72746	61.5	**61.5**		41.0	**41.0**	3.73
-5.35	5.61	4.35		0.72746	61.5	**61.5**		41.0	**41.0**	4.28
-4.8	5.61	4.35		0.72746	61.5	**61.5**		41.0	**41.0**	4.83
-4.25	5.61	4.35		0.72746	61.5	**61.5**		41.0	**41.0**	5.38
-3.7	5.61	4.35		0.72746	61.5	**61.5**		41.0	**41.0**	5.93
-3.15	5.61	4.35		0.72746	61.5	**61.5**		41.0	**41.0**	6.48
-2.6	5.61	4.35		0.72746	61.5	**61.5**		41.0	**41.0**	7.03
-2.2	5.61	4.35		0.72746	61.5	**61.5**		41.0	**41.0**	7.43
-1.5	5.61	4.59		0.5889	64.1	**64.1**		42.7	**42.7**	8.13
-1.1	5.61	4.79		0.47343	66.4	**66.4**		44.3	**44.3**	8.53
-0.55	5.61	5		0.35218	69.1	**69.1**		46.0	**46.0**	9.08
0	5.61	5.09		0.30022	70.3	**70.3**		46.8	**46.8**	9.63
0.55	5.61	5.03		0.33486	69.5	**69.5**		46.3	**46.3**	10.18
1.1	5.61	4.91		0.40415	67.9	**67.9**		45.3	**45.3**	10.73
1.5	5.61	4.8		0.46765	66.6	**66.6**		44.4	**44.4**	11.13
2.2	5.61	4.68		0.53694	65.1	**65.1**		43.4	**43.4**	11.83
2.6	5.61	4.72		0.51384	65.6	**65.6**		43.7	**43.7**	12.23
3.15	5.61	4.83		0.45033	66.9	**66.9**		44.6	**44.6**	12.78
3.7	5.61	4.98		0.36373	68.8	**68.8**		45.9	**45.9**	13.33
4.25	5.61	5.04		0.32909	69.6	**69.6**		46.4	**46.4**	13.88
4.8	5.61	4.91		0.40415	67.9	**67.9**		45.3	**45.3**	14.43
5.35	5.61	4.7		0.52539	65.4	**65.4**		43.6	**43.6**	14.98
5.9	5.61	4.45		0.66973	62.6	**62.6**		41.7	**41.7**	15.53

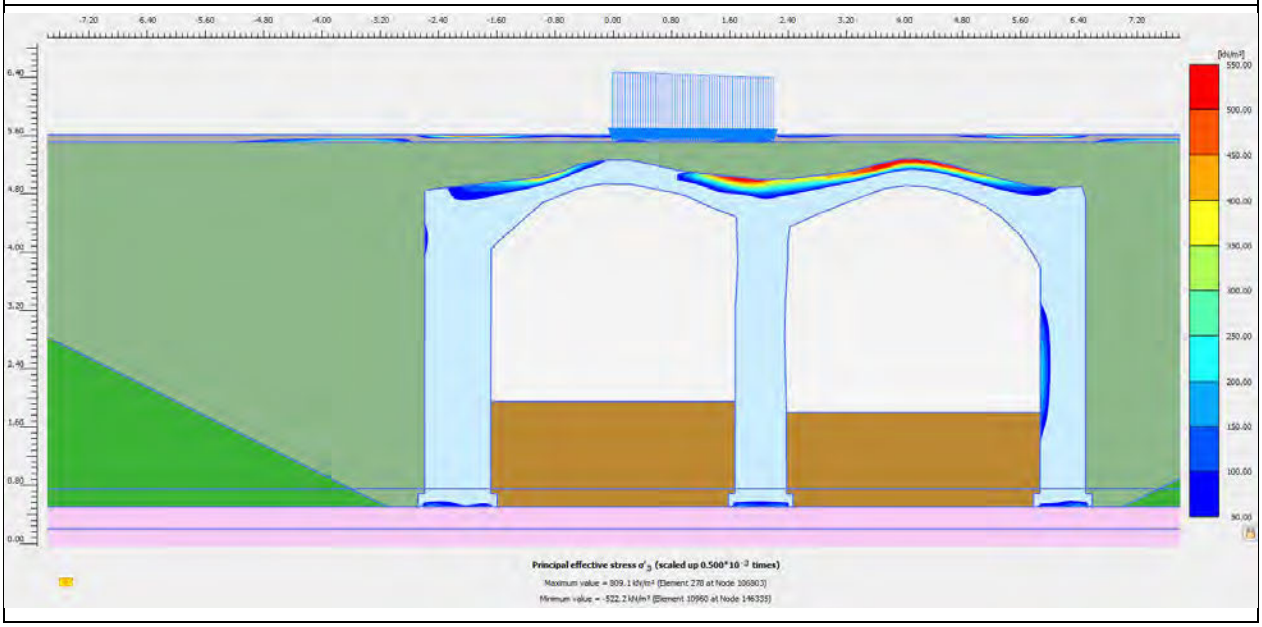
A5.1 BGT lastbeperking BM1

Druk- en trekspanningen

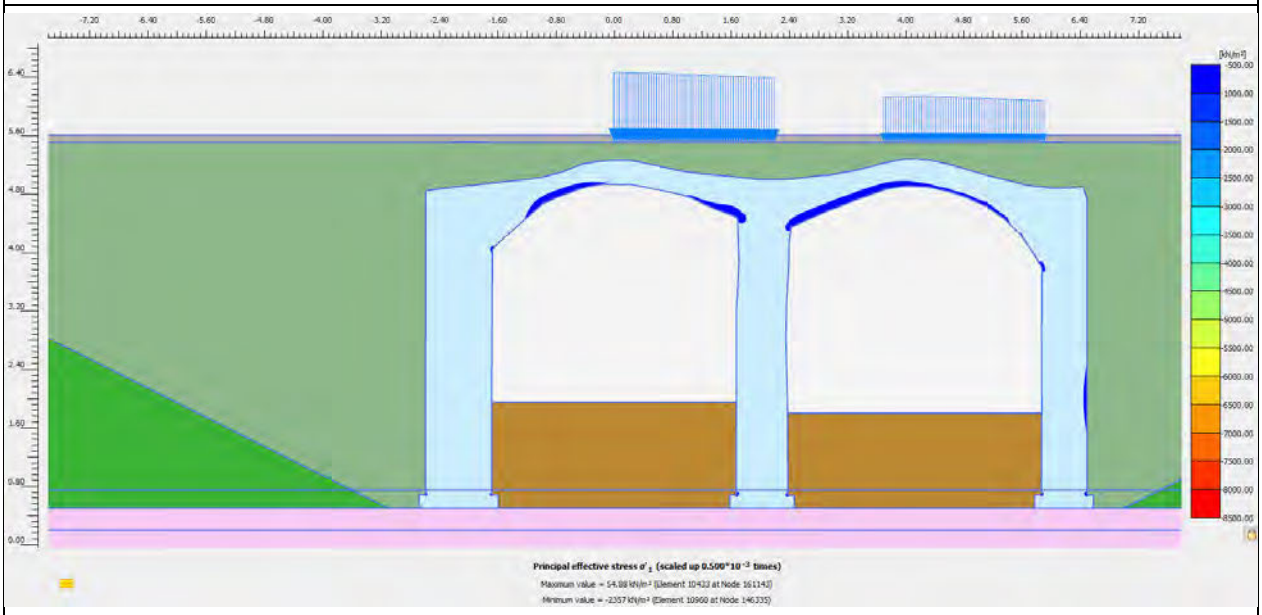
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



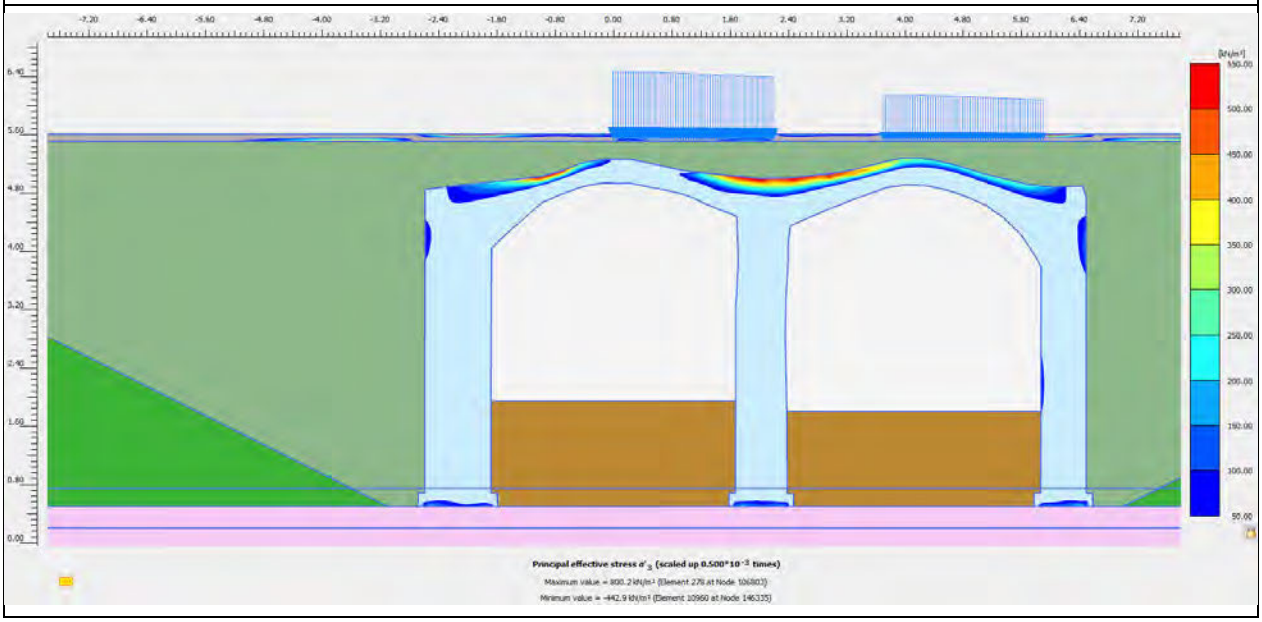
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



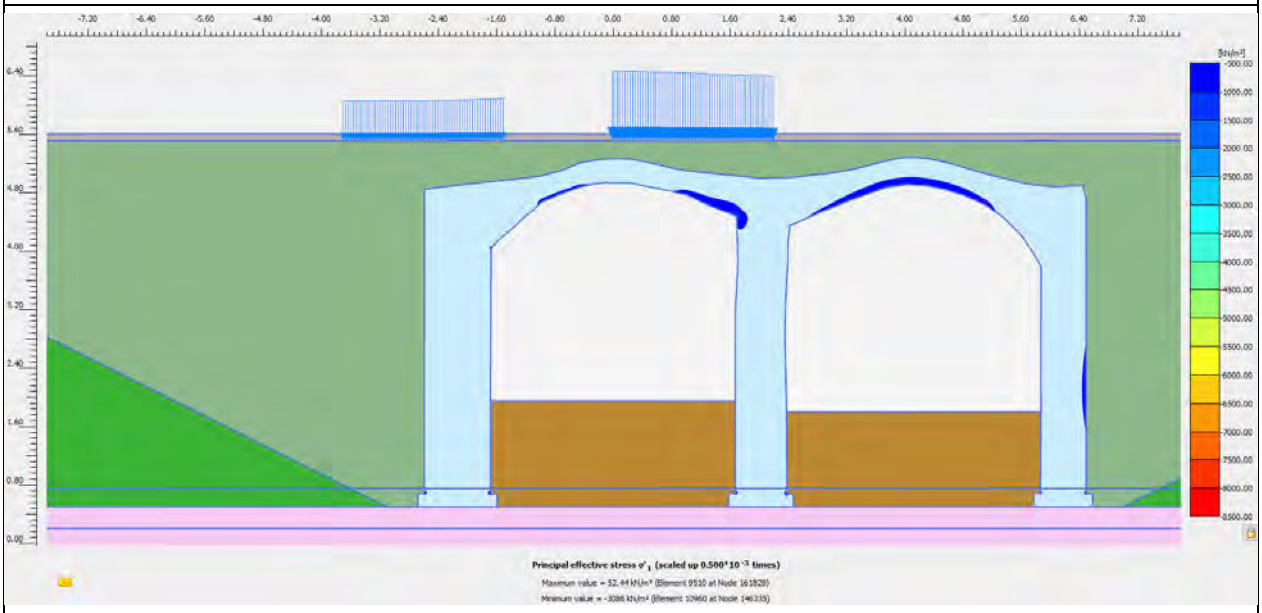
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



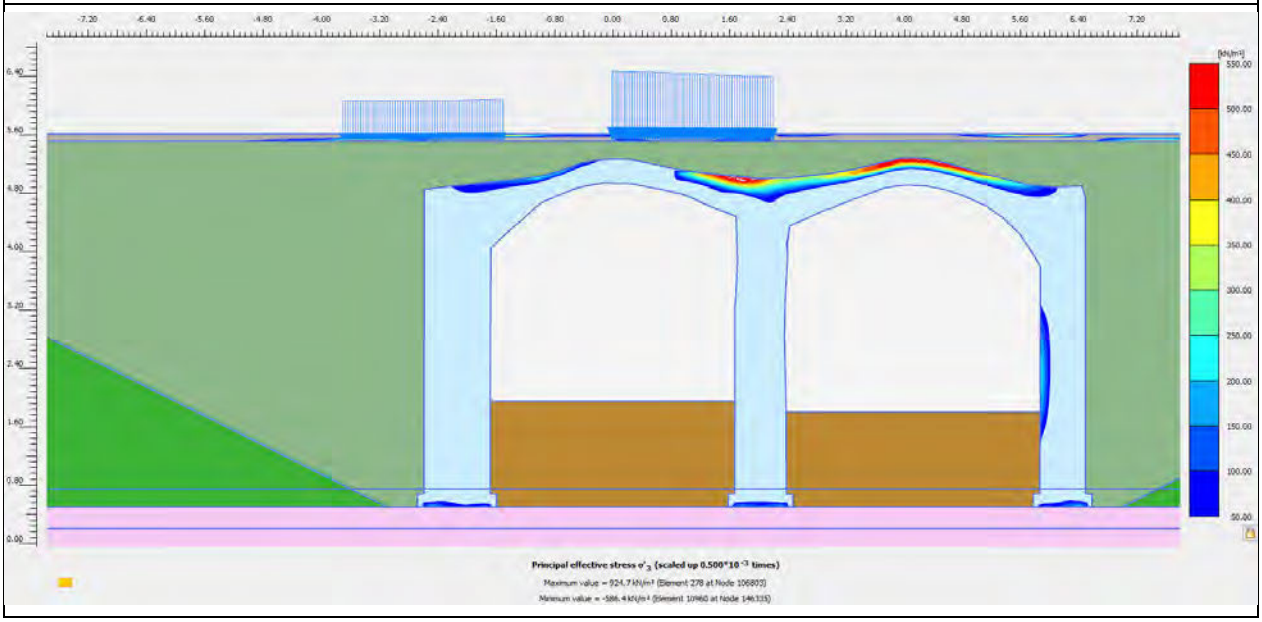
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



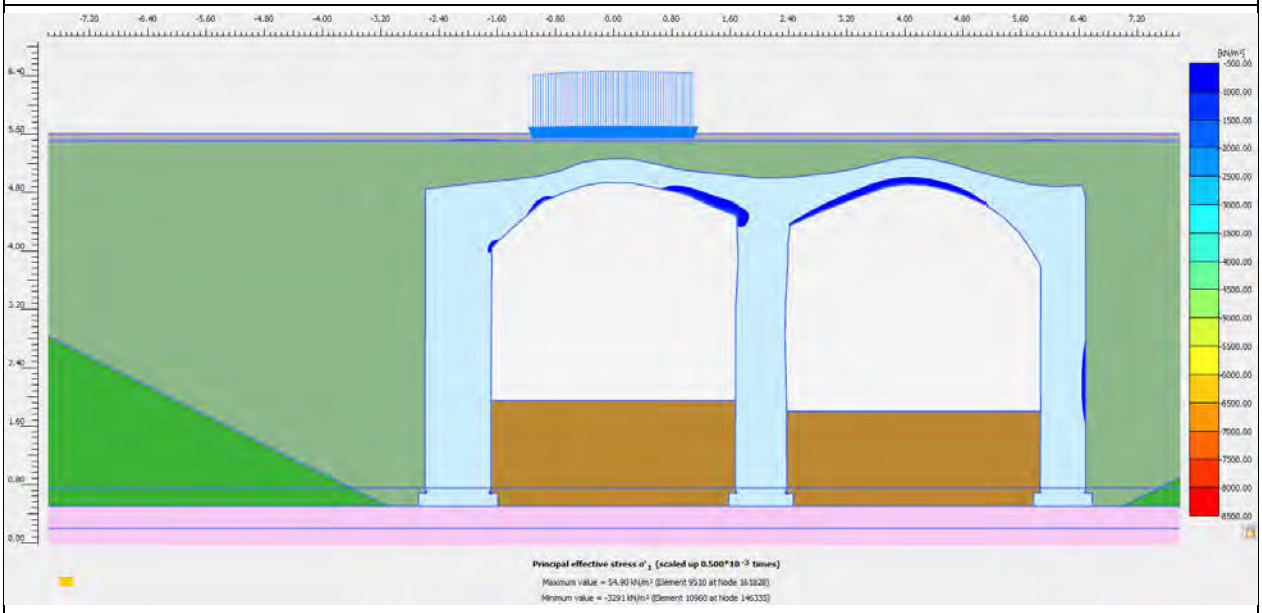
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



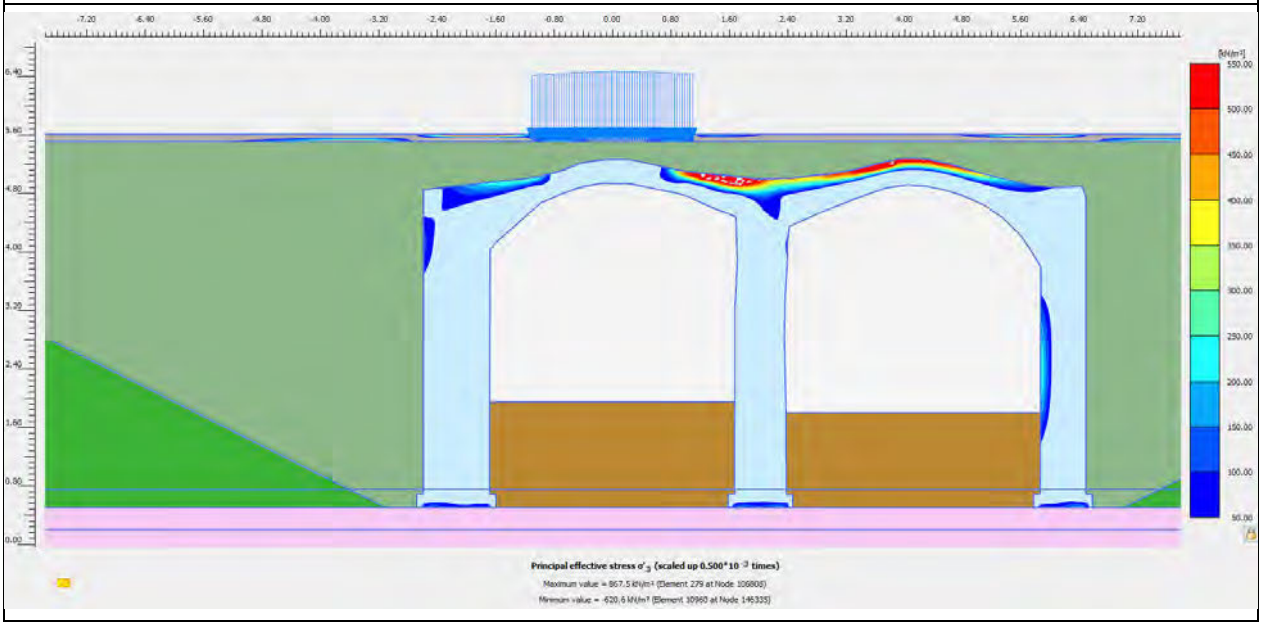
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



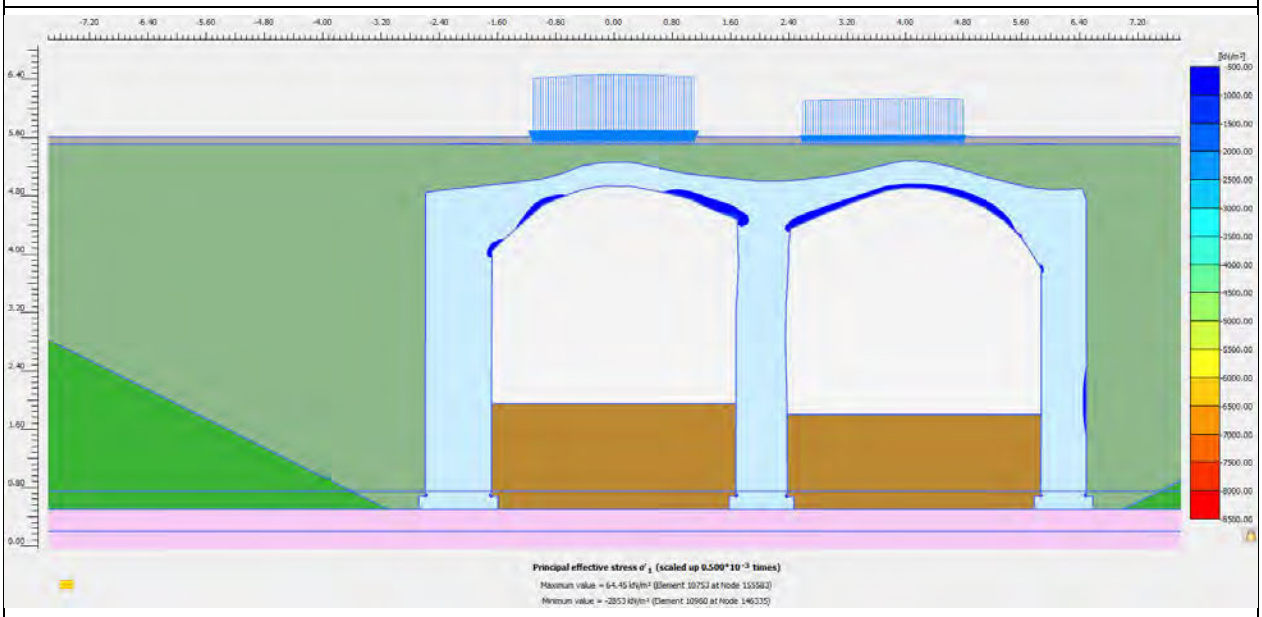
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



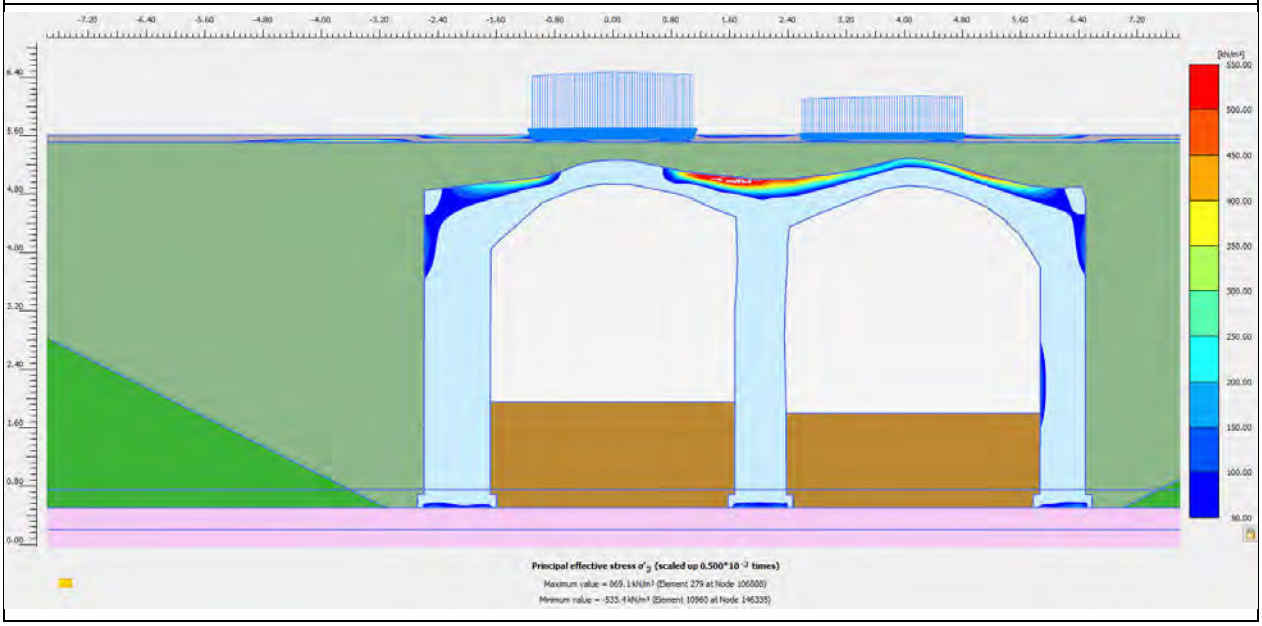
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



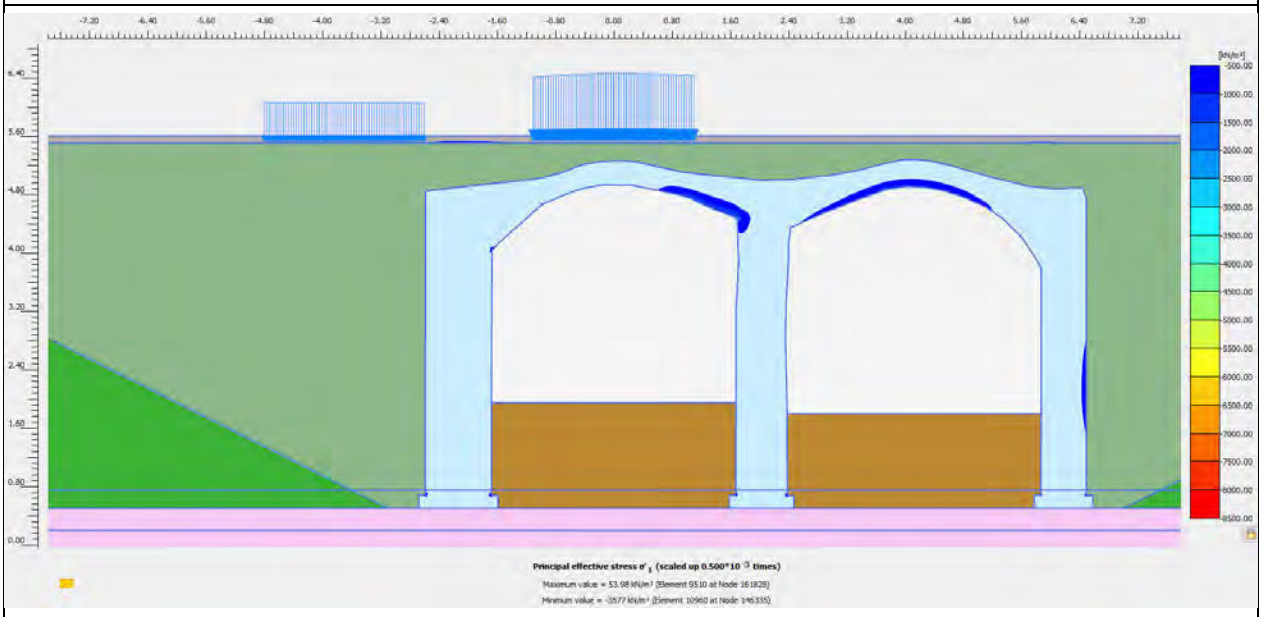
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



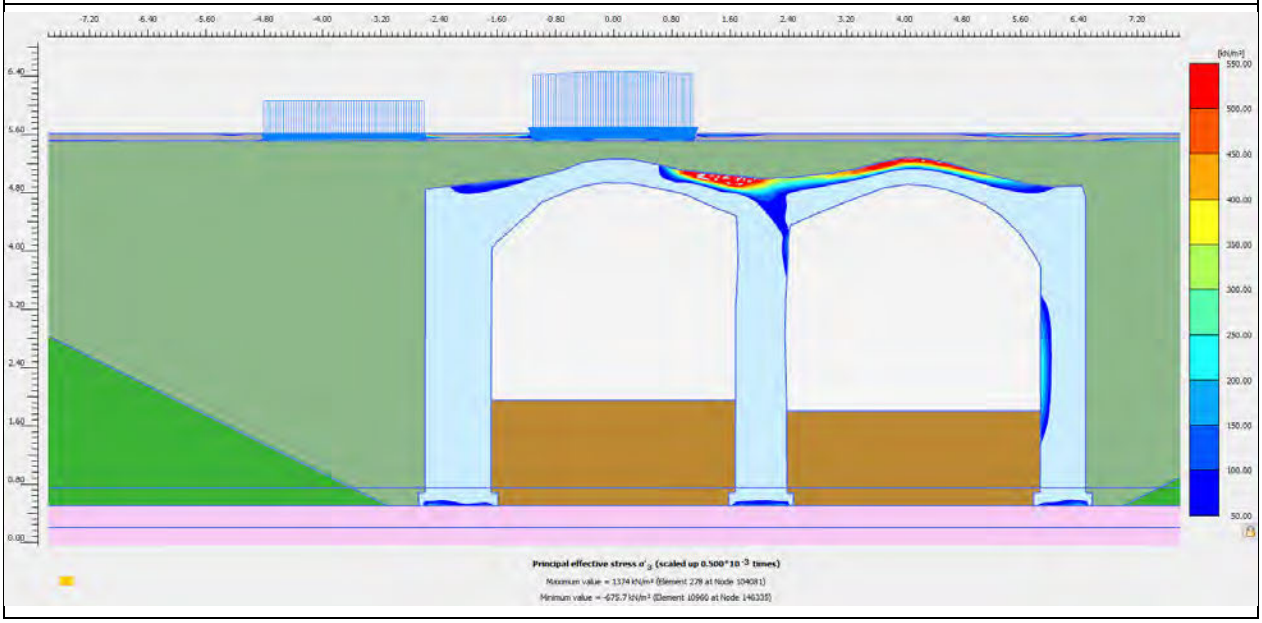
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



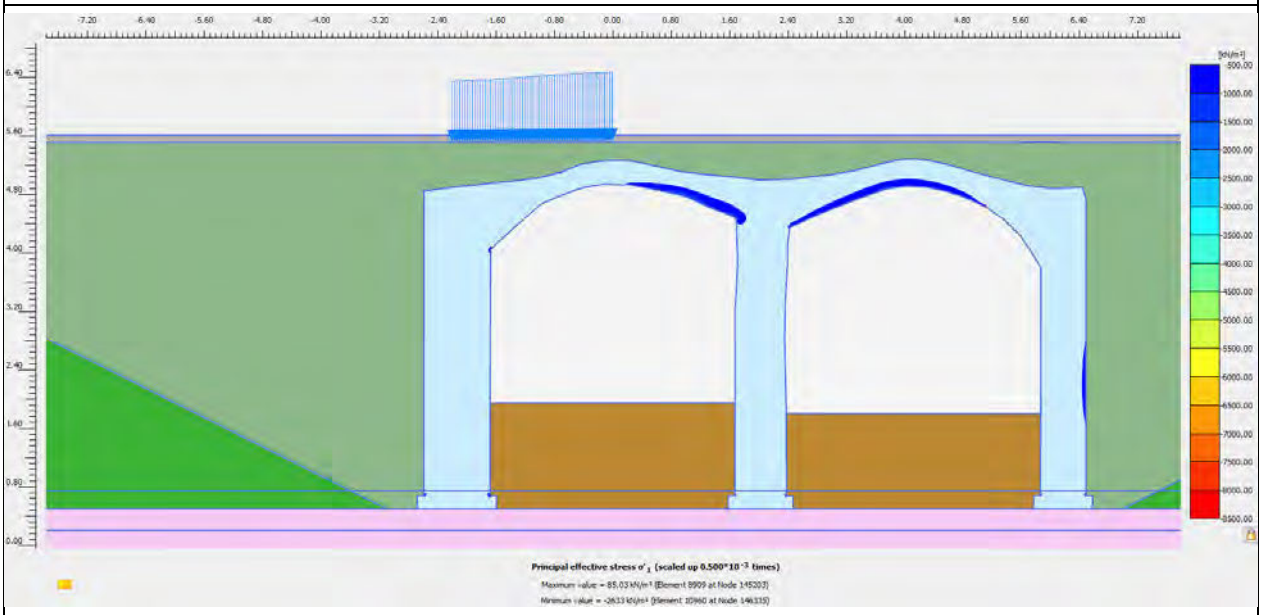
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



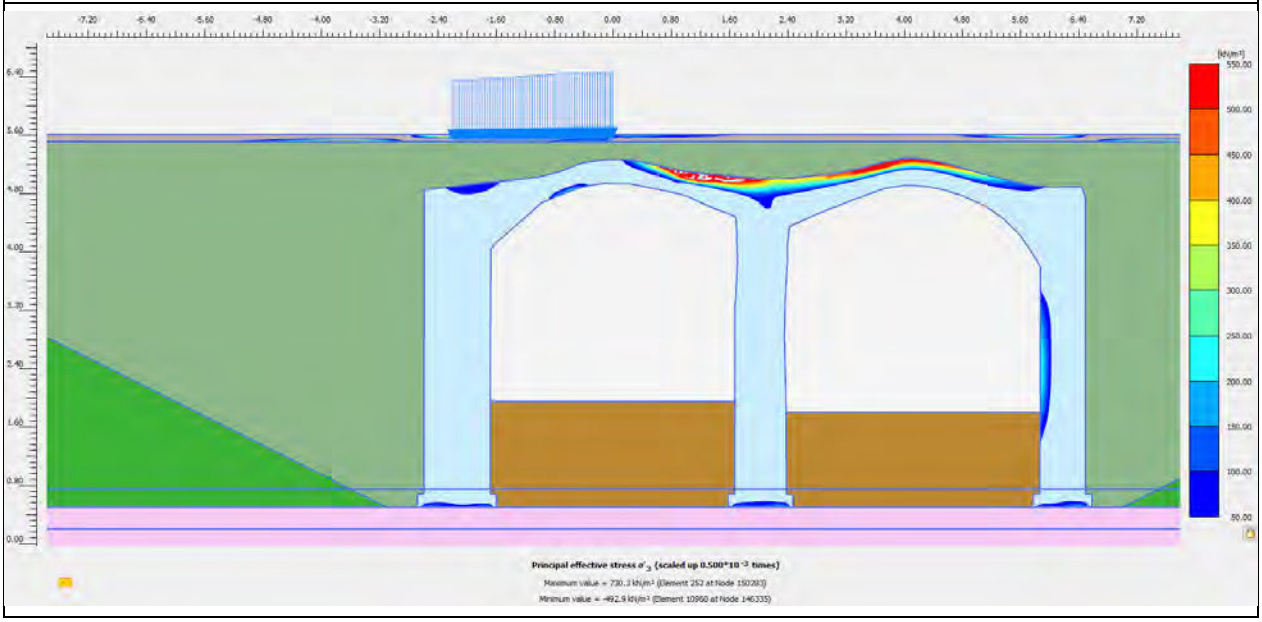
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



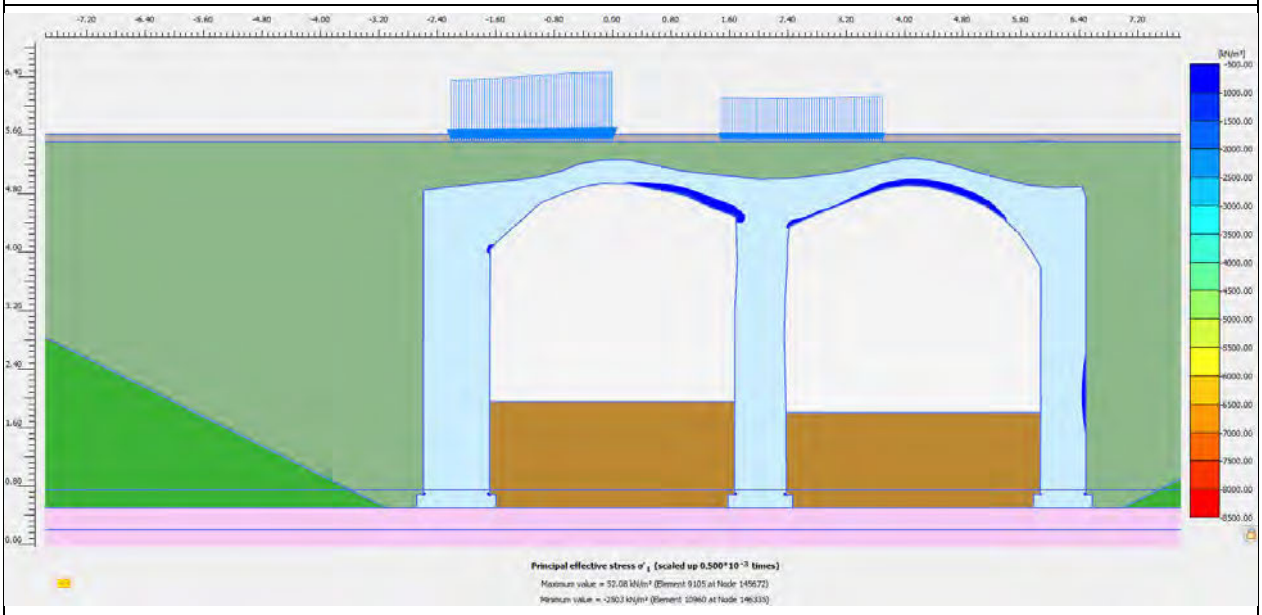
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



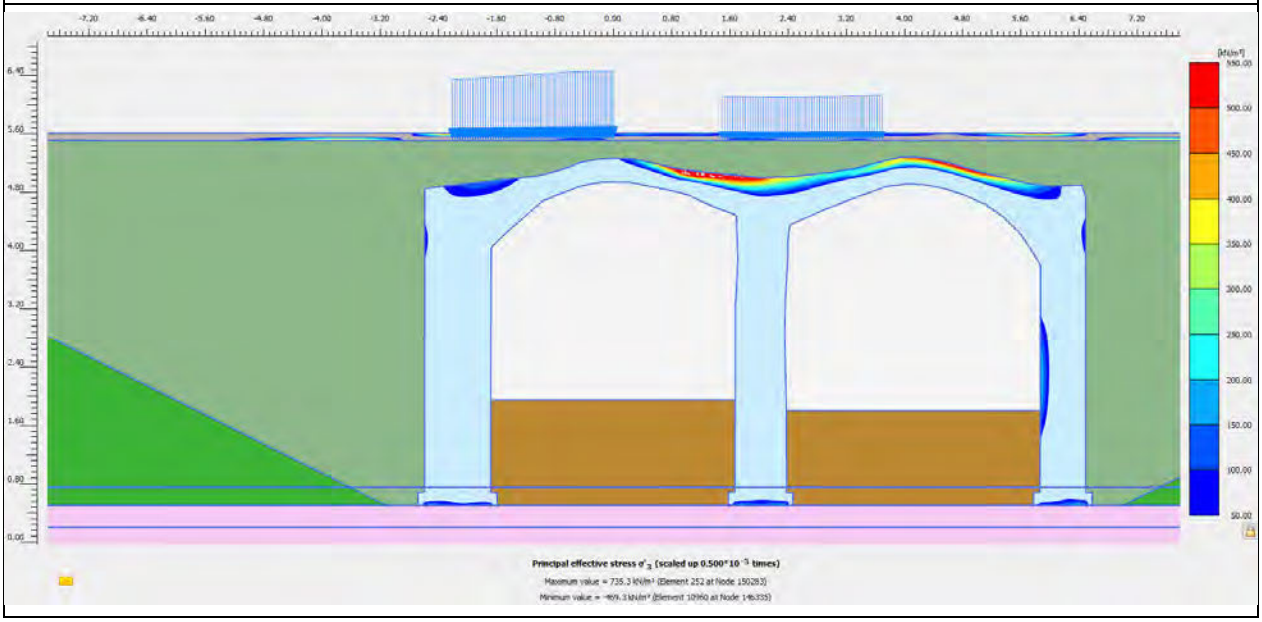
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



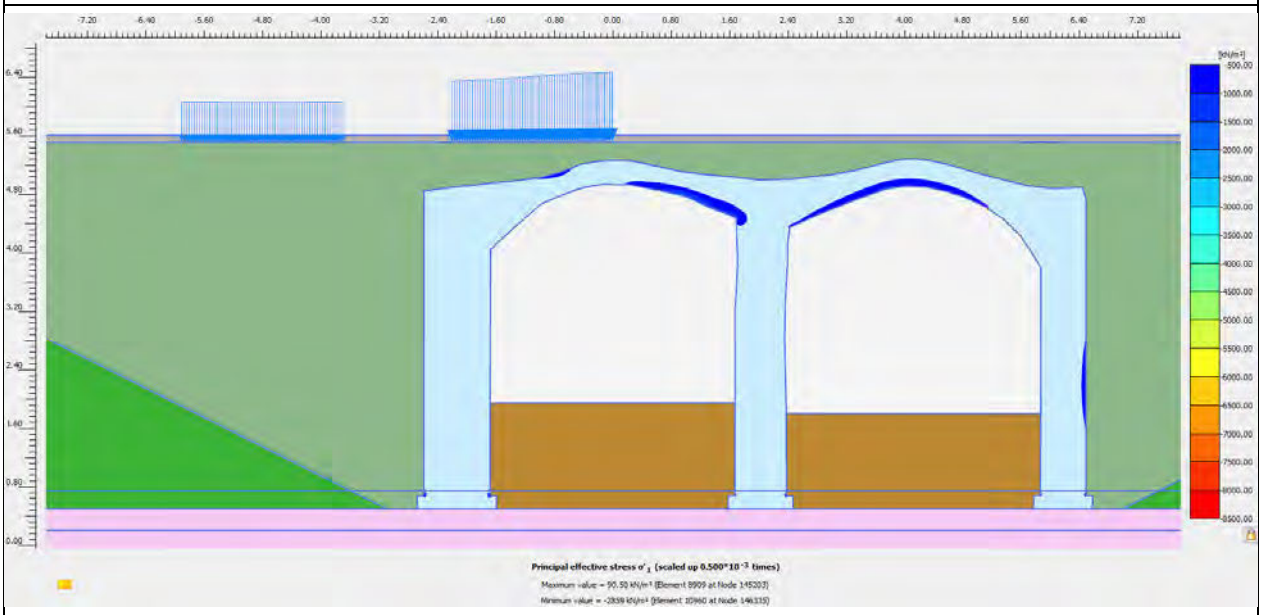
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



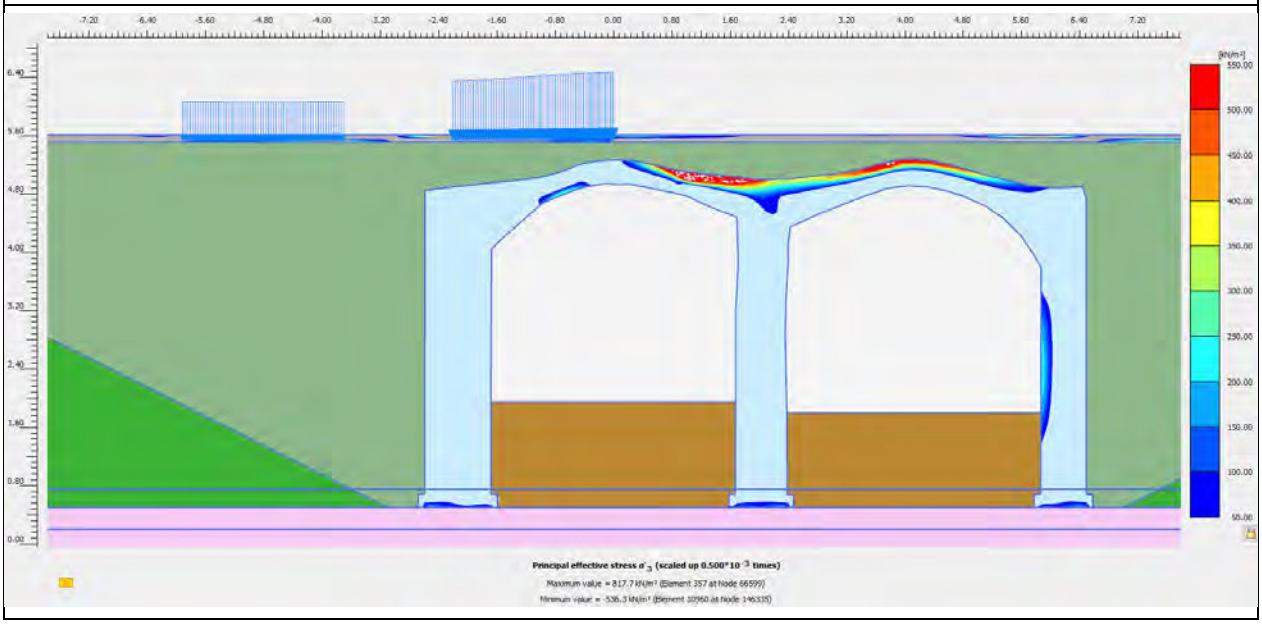
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



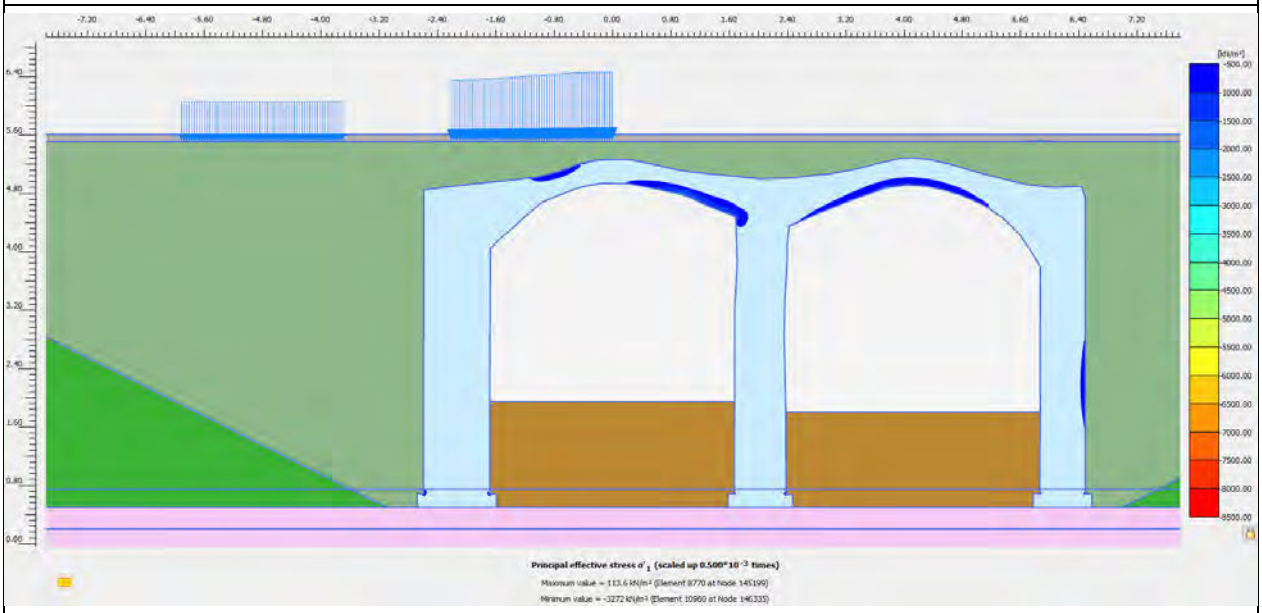
Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



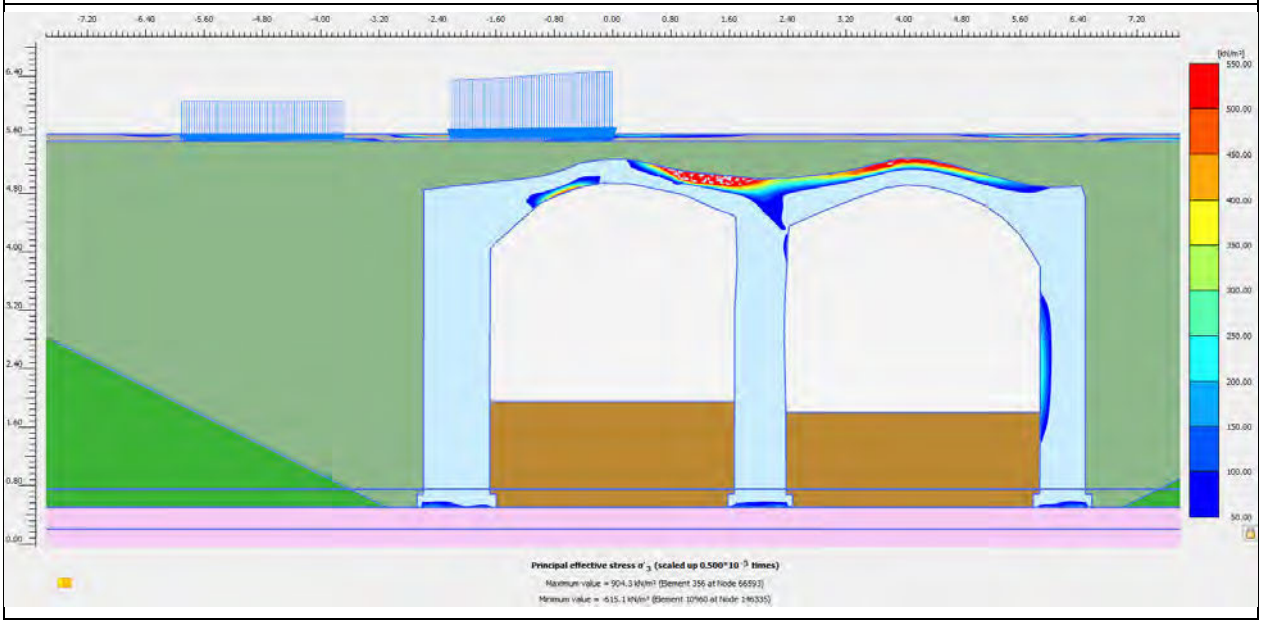
Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)

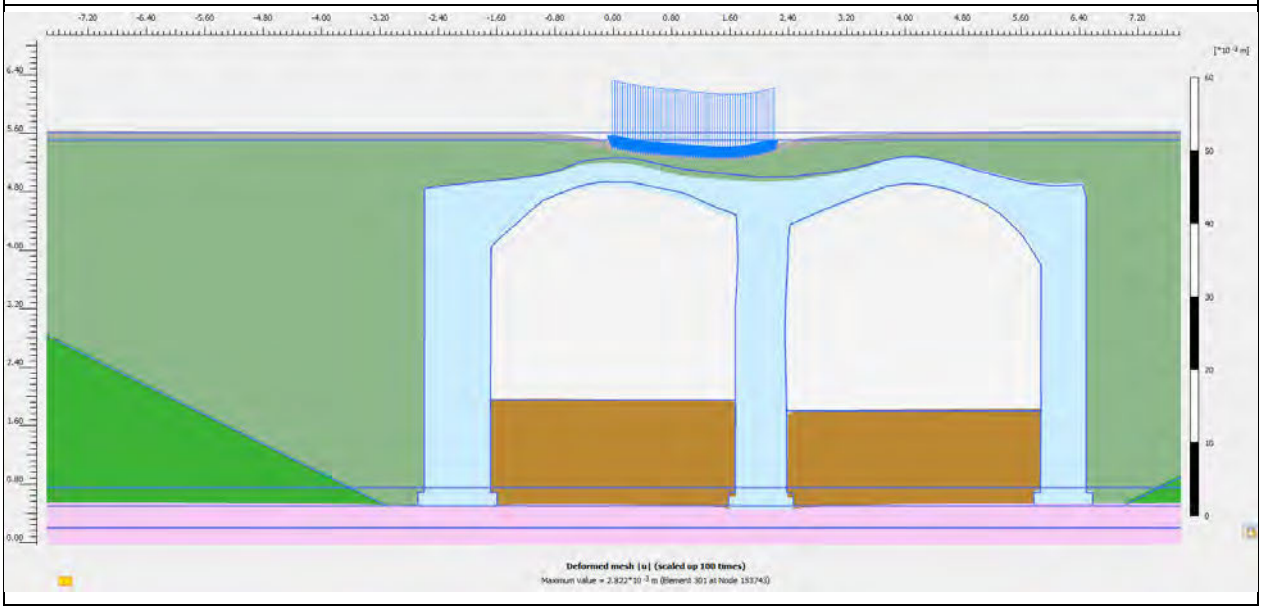


Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)

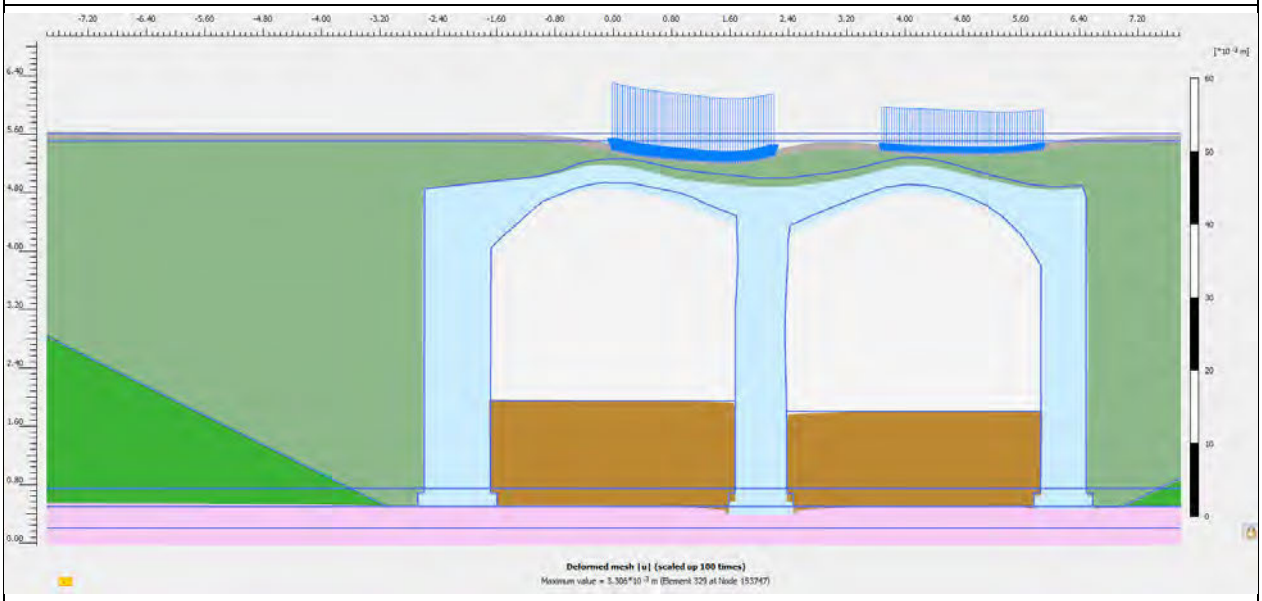


Vervormingen (100x vergroot)

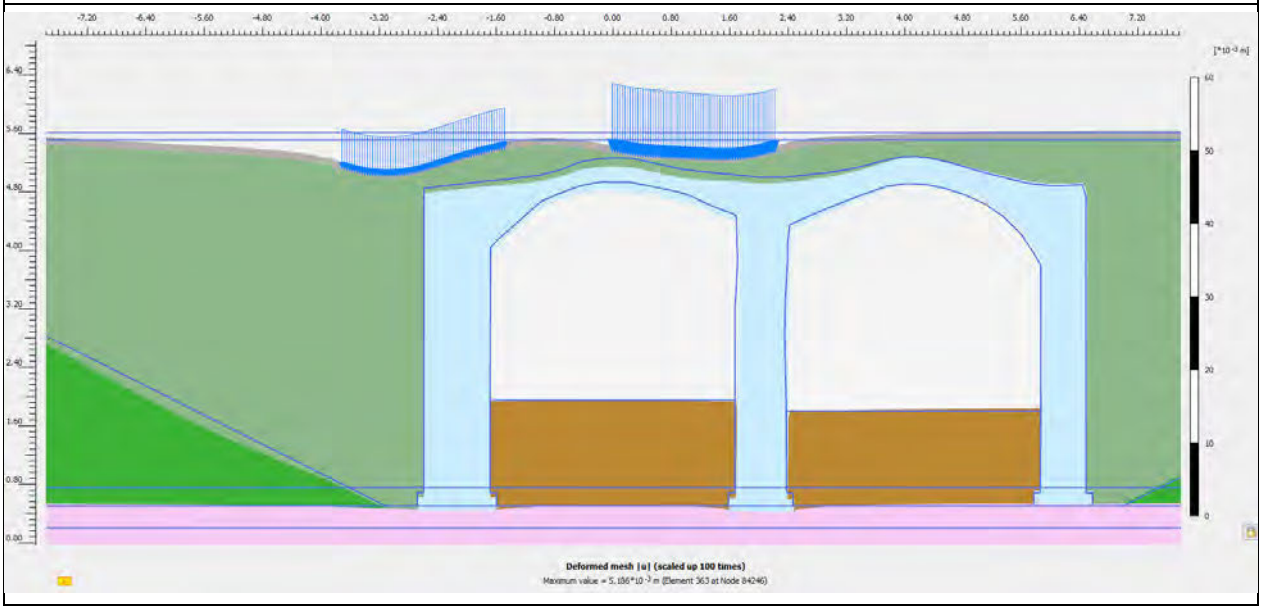
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



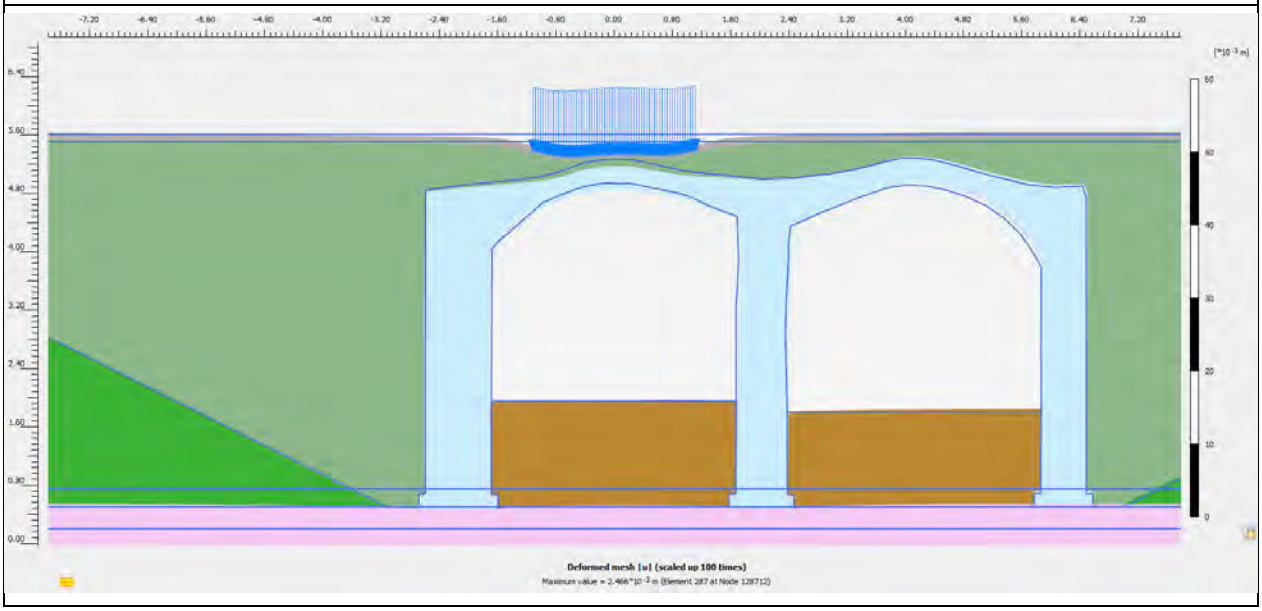
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



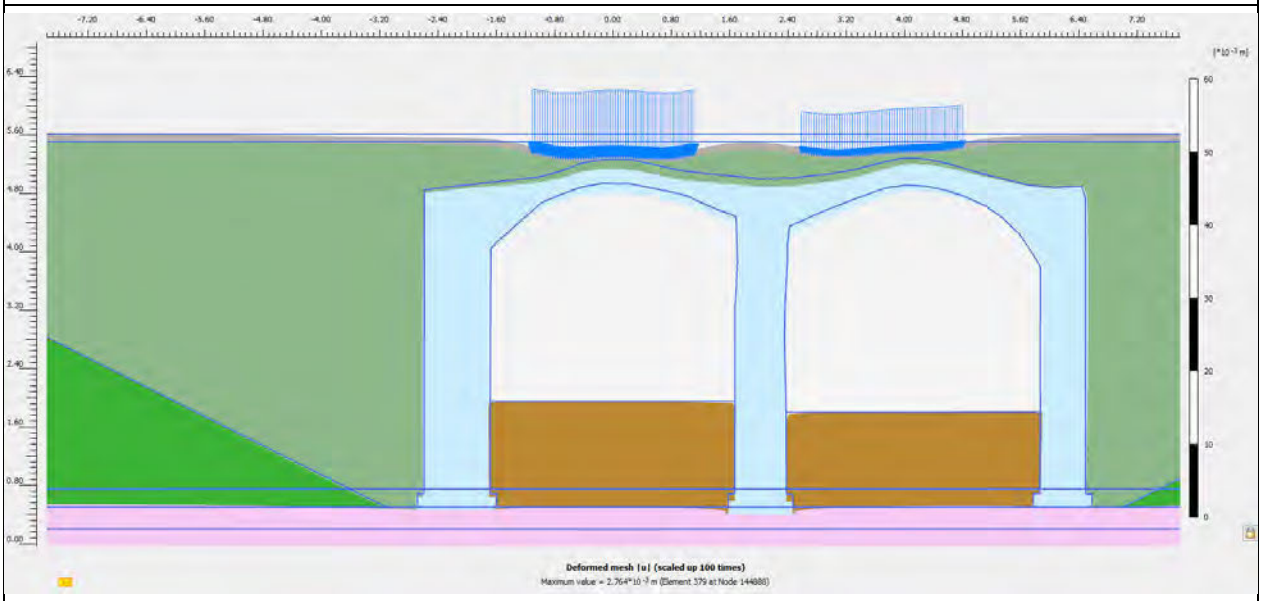
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



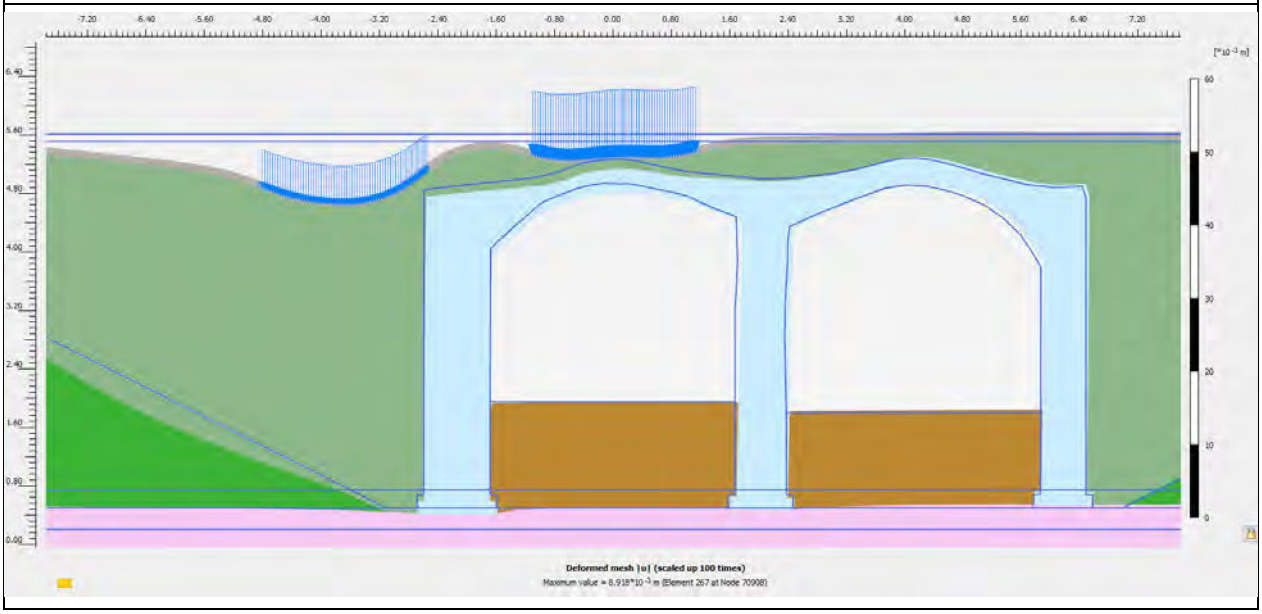
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



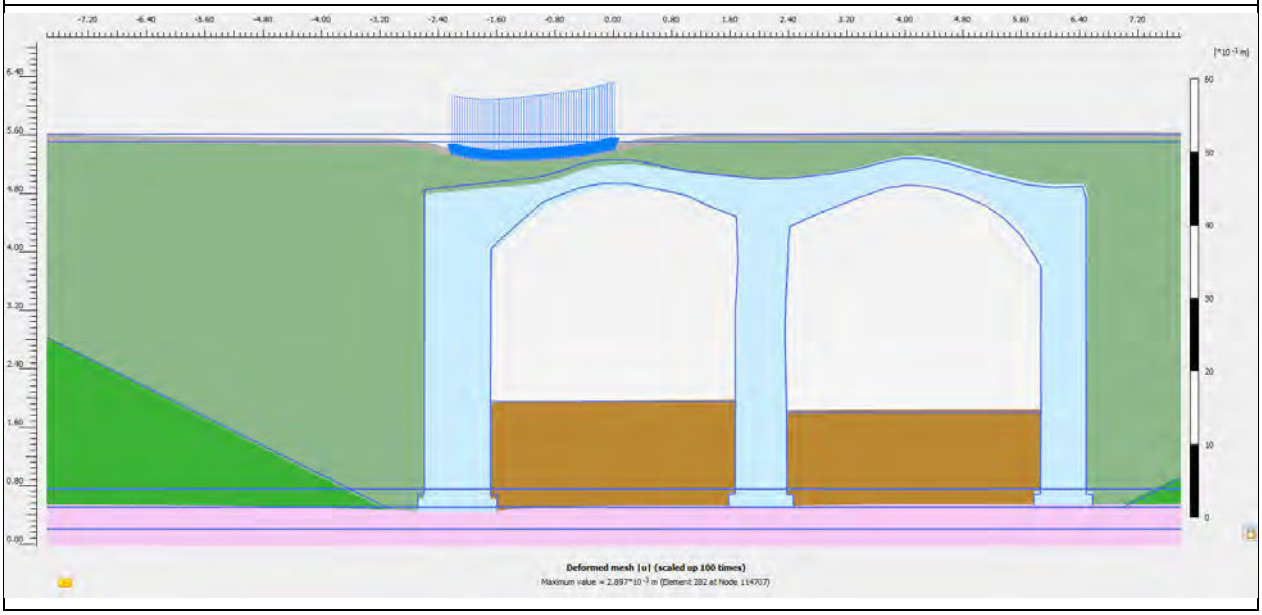
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



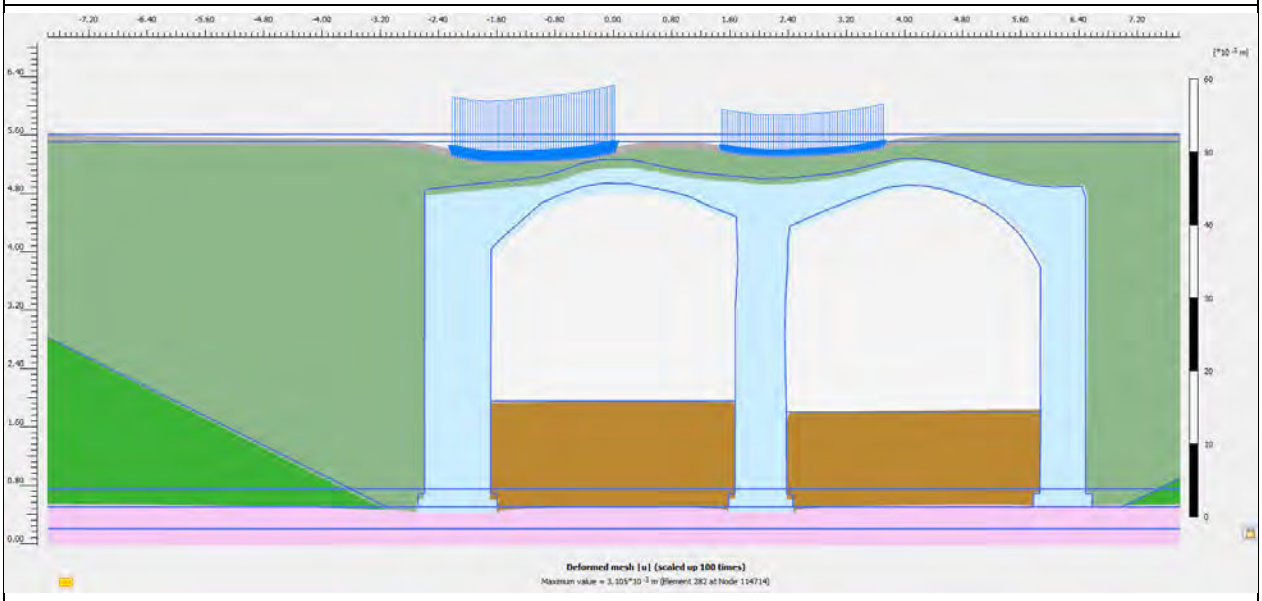
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



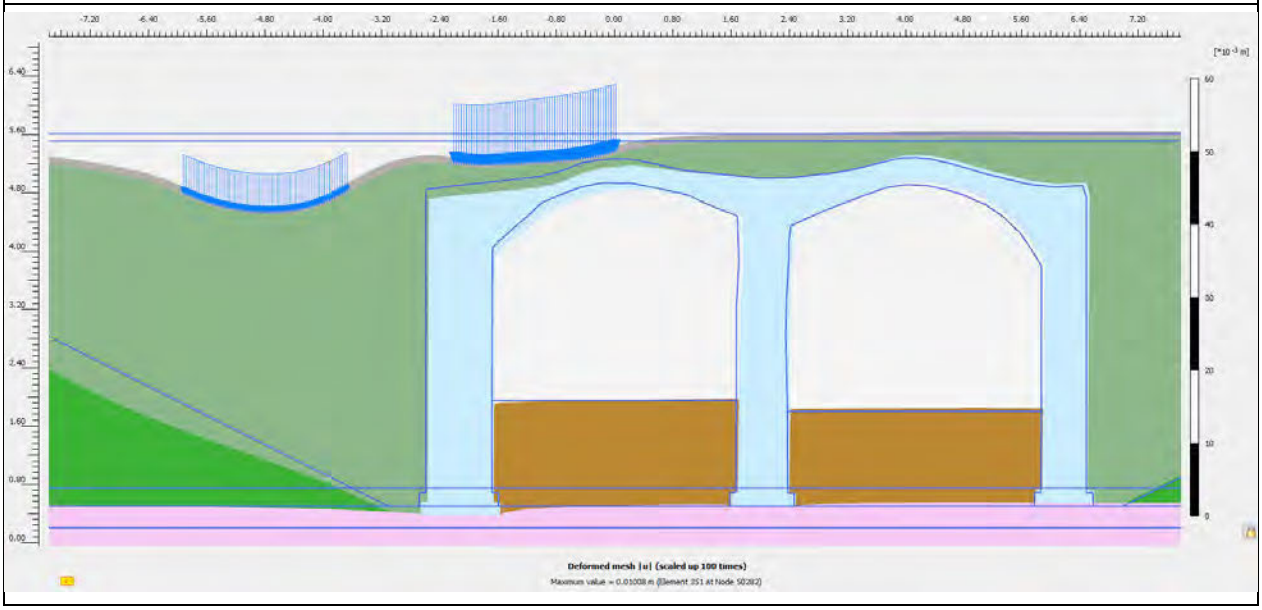
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



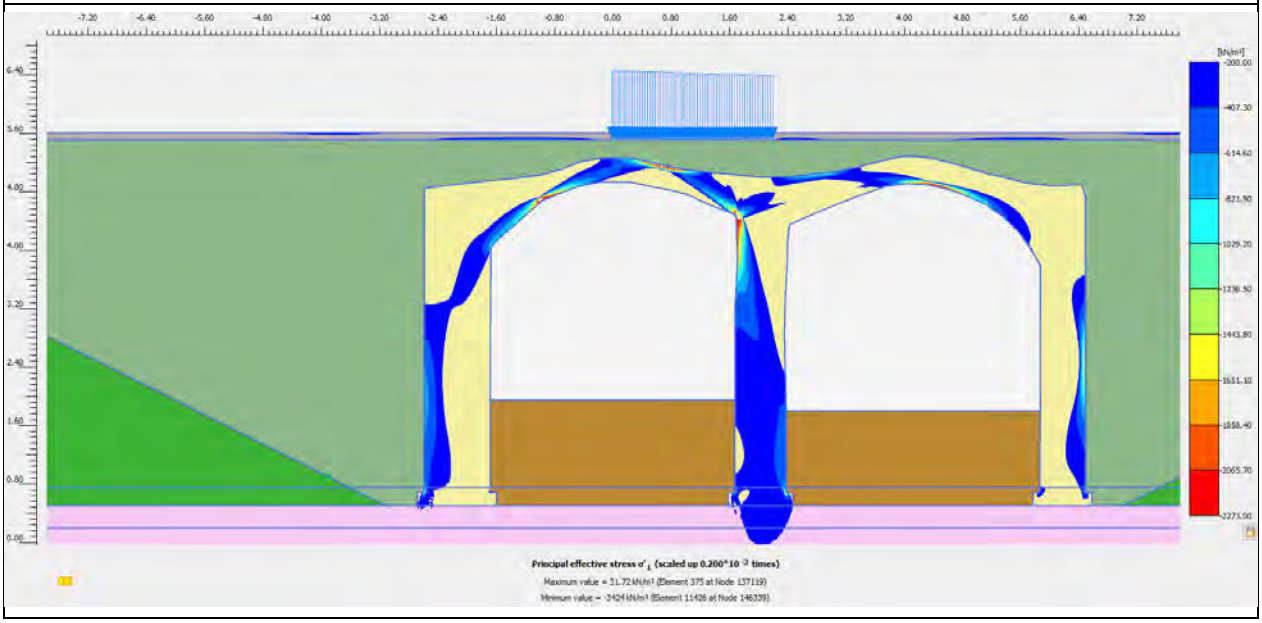
Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



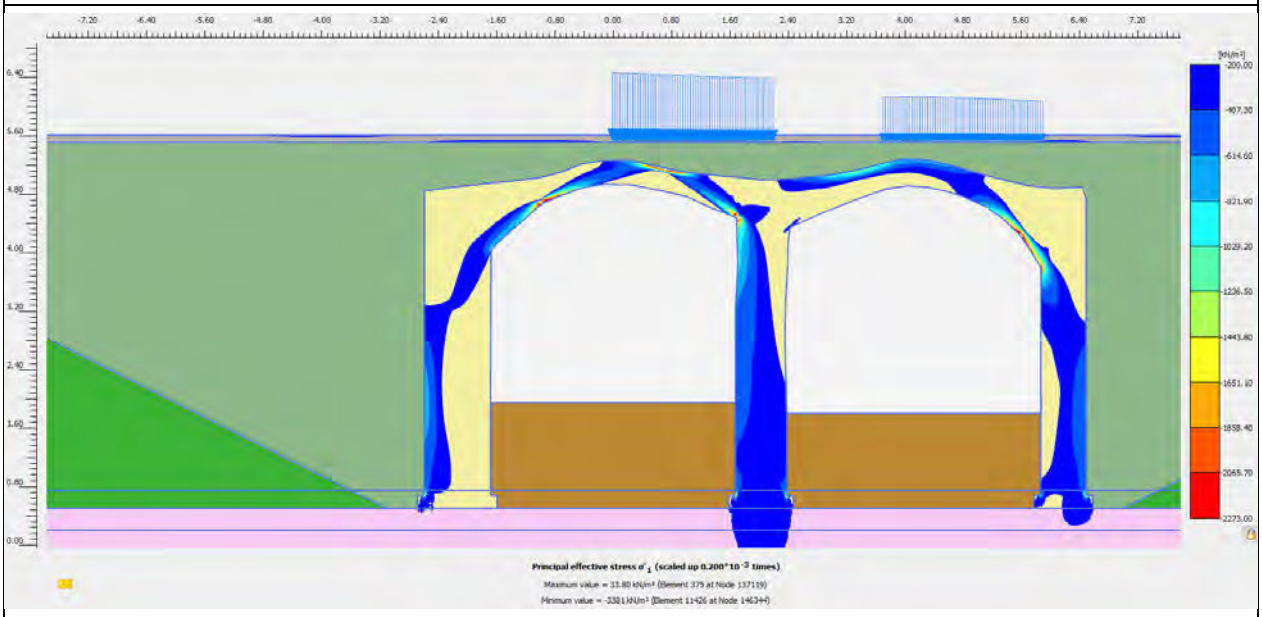
A5.2 UGT lastbeperking BM1

Drukspanningen PF (maximaal 5000/2,2 = 2273 kN/m^2)

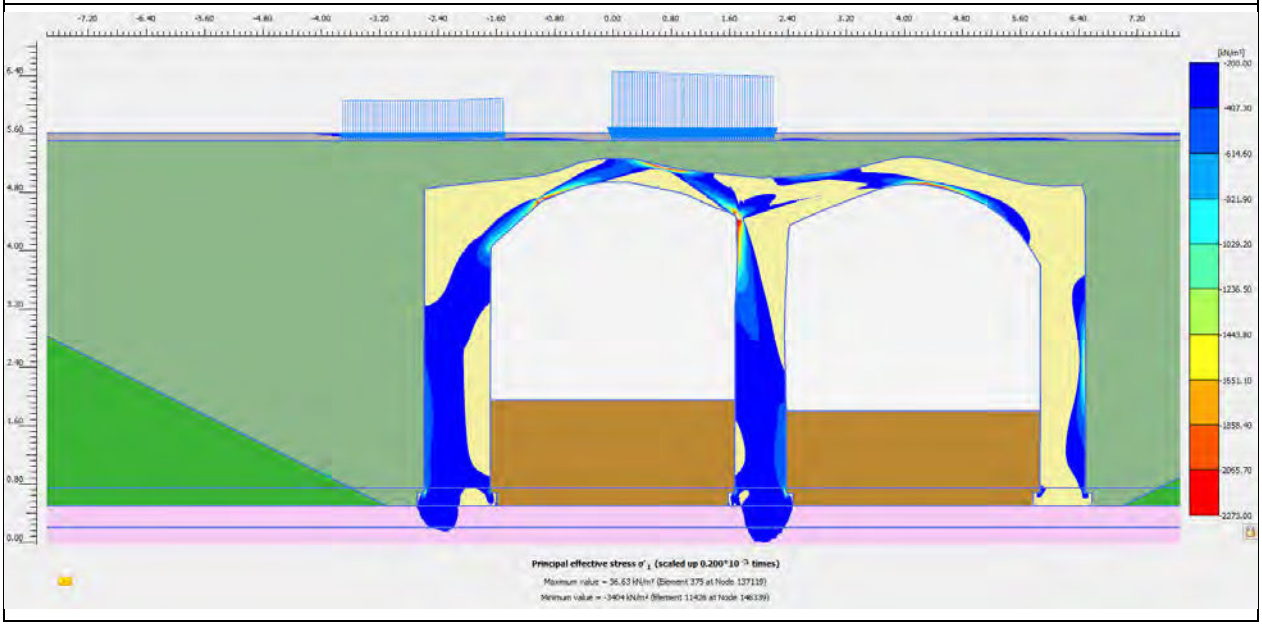
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



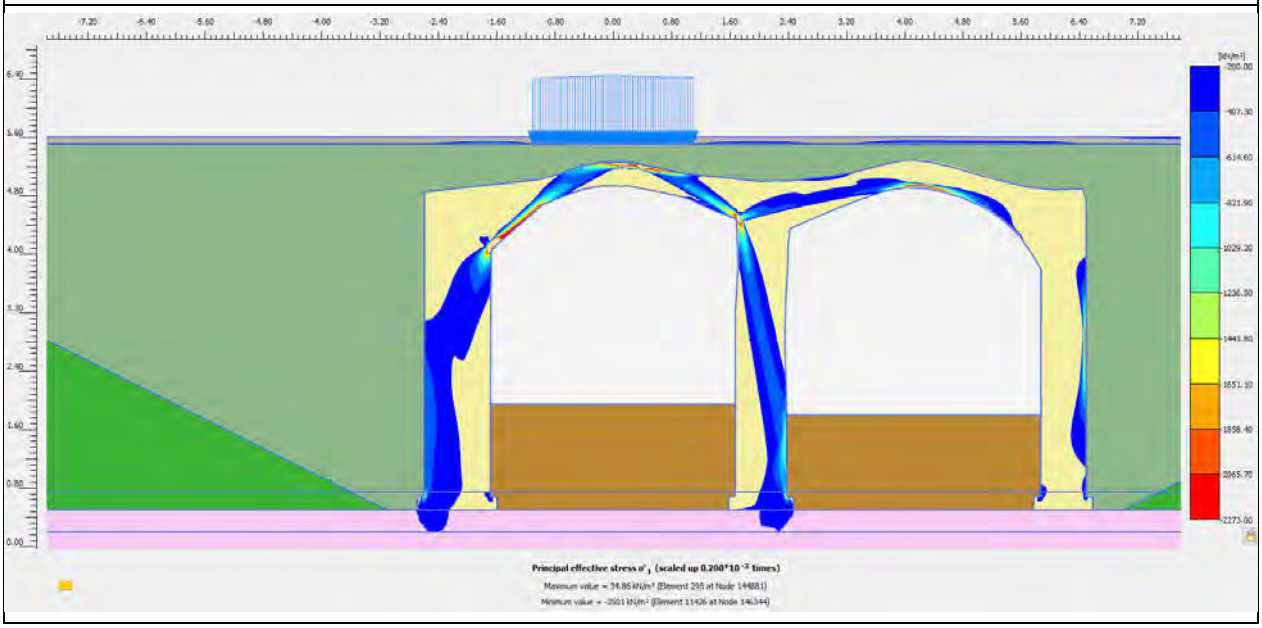
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



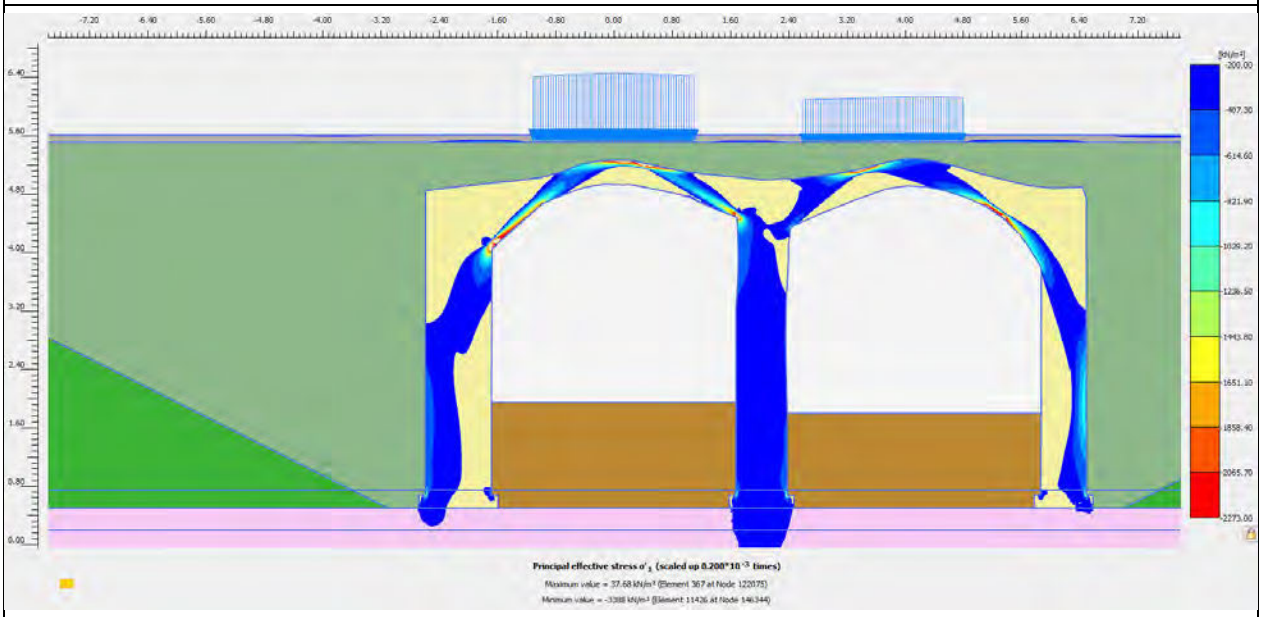
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



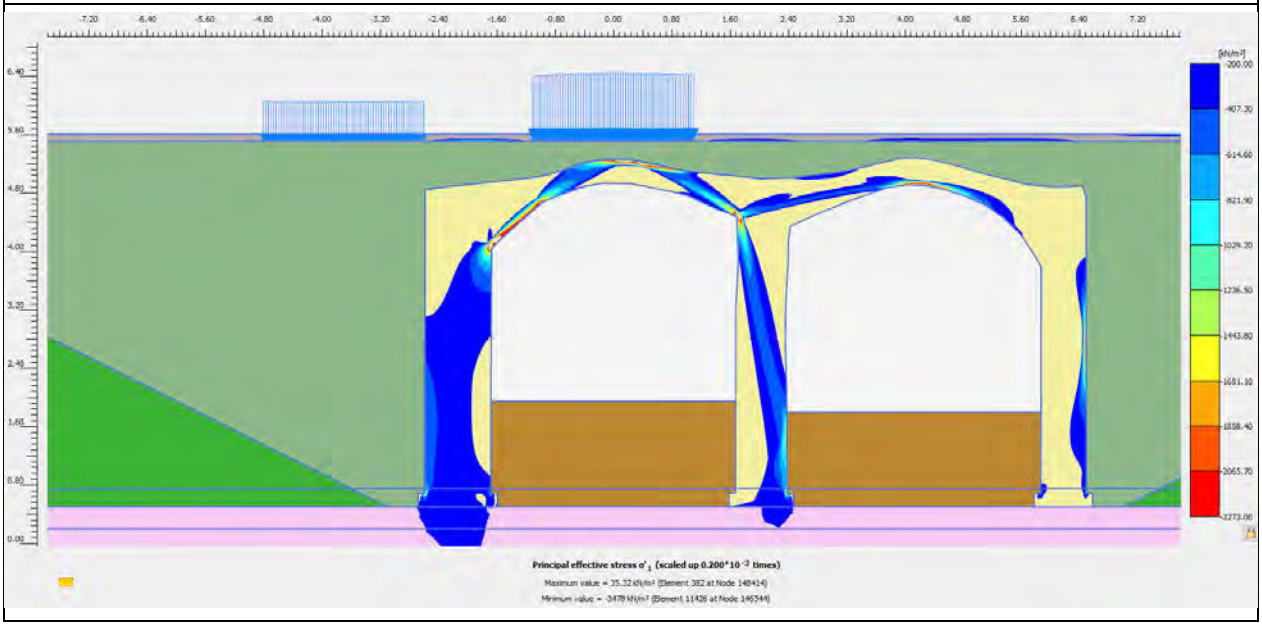
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



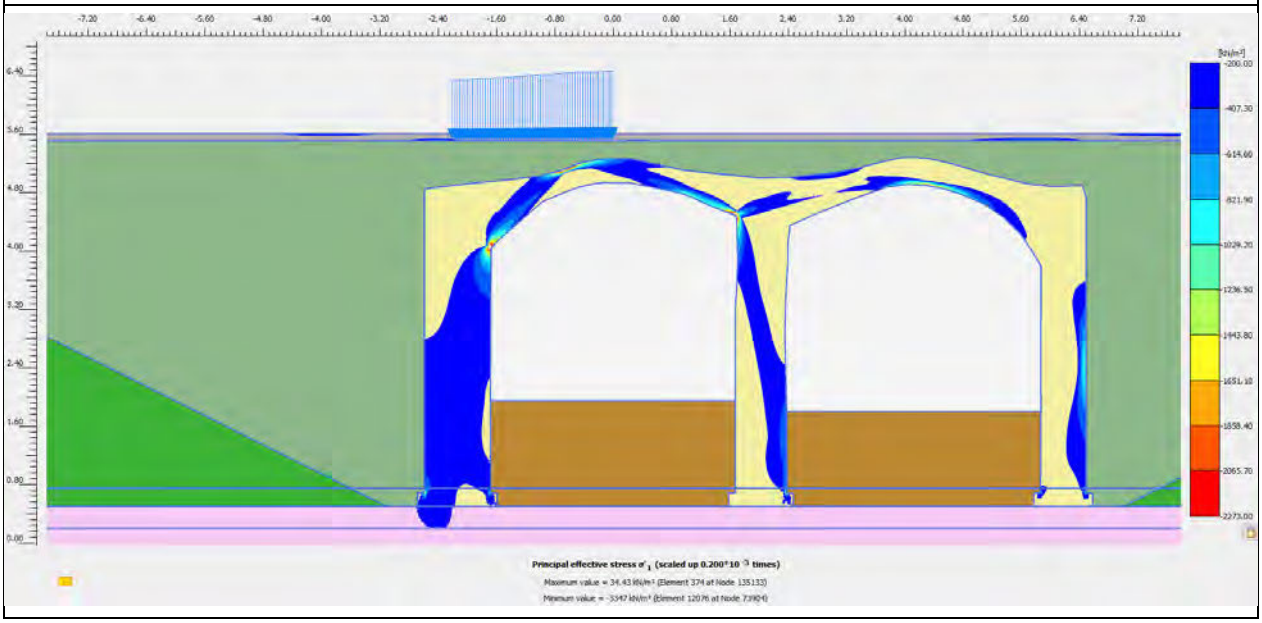
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



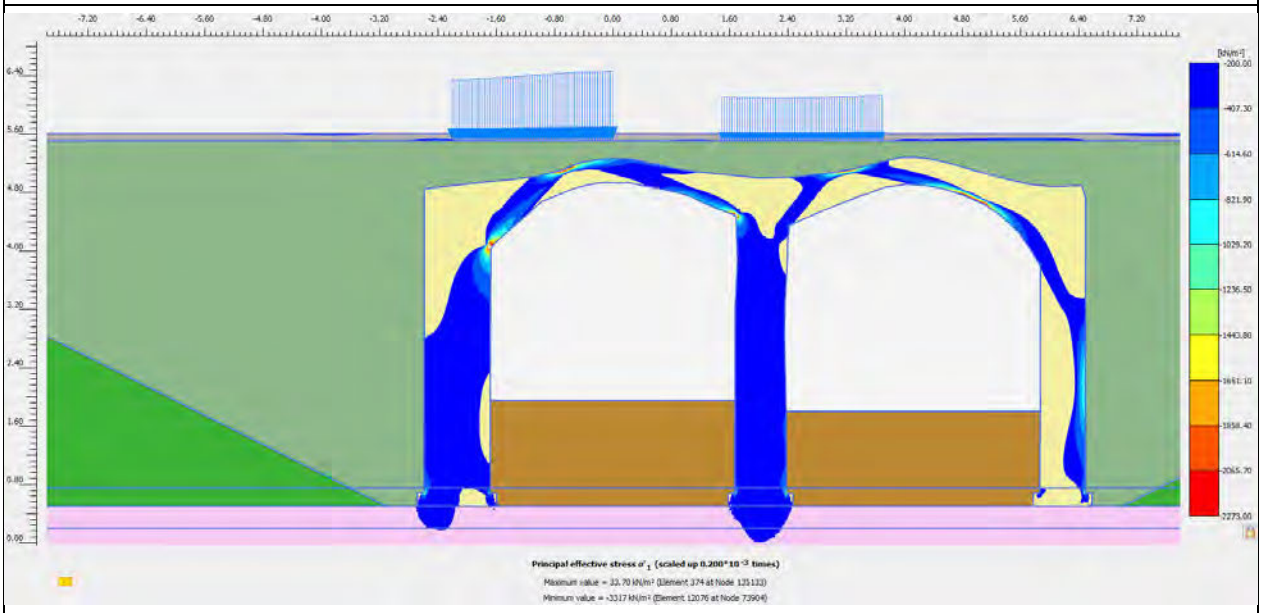
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



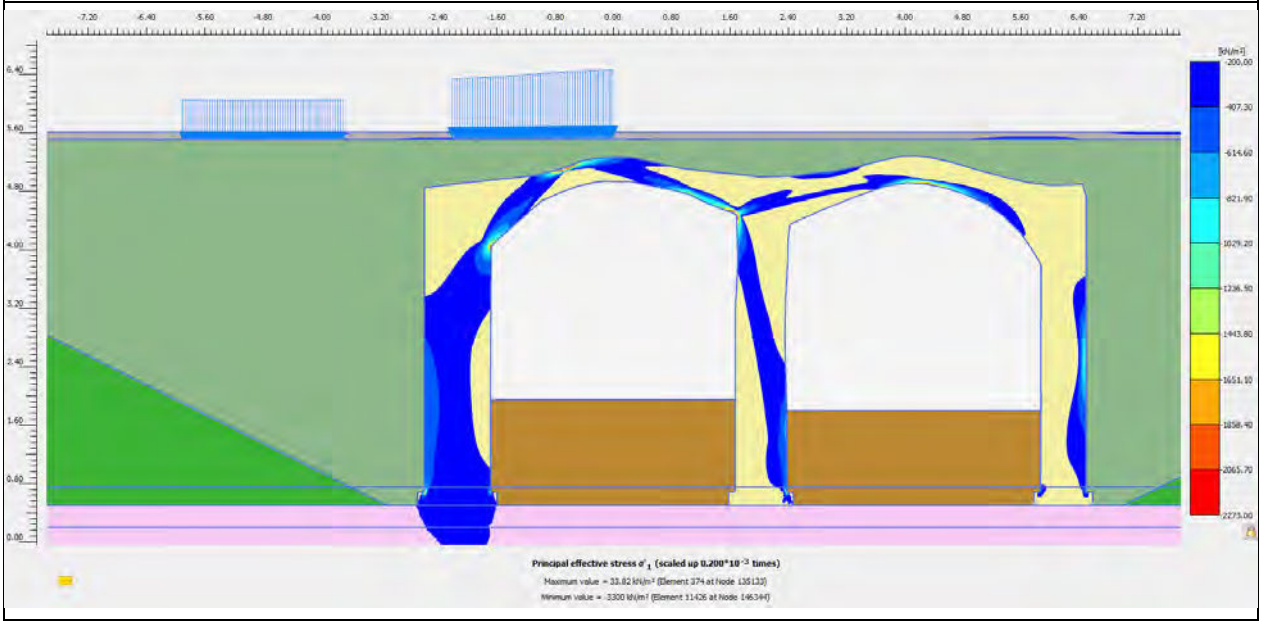
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

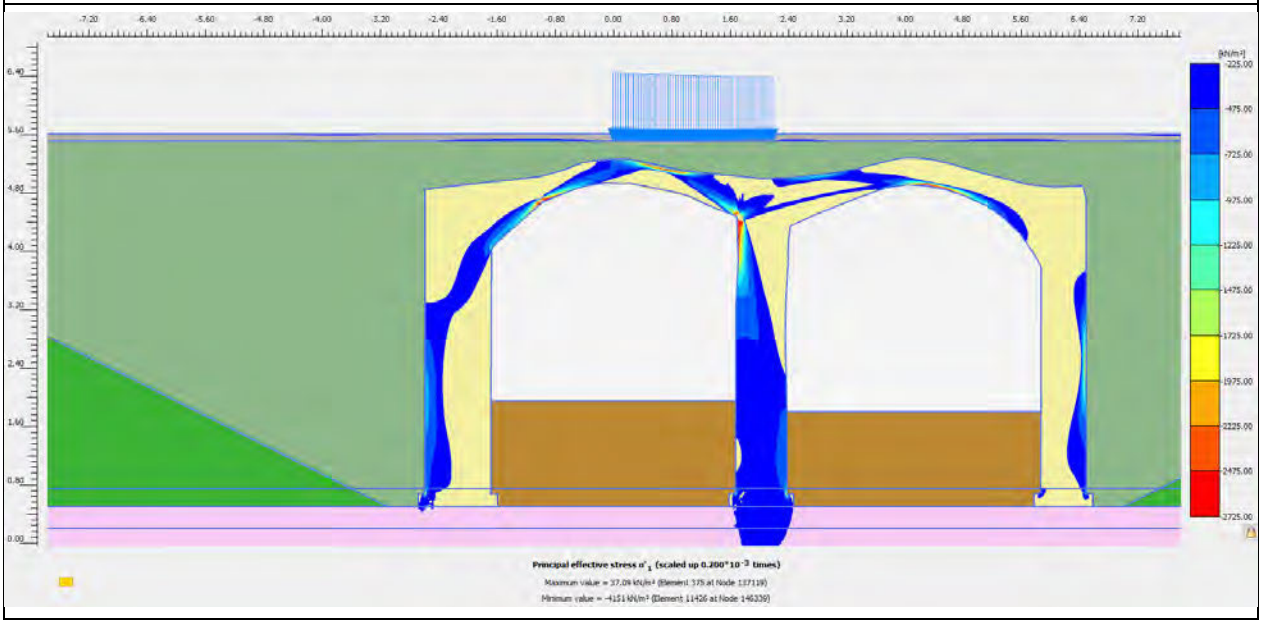


Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

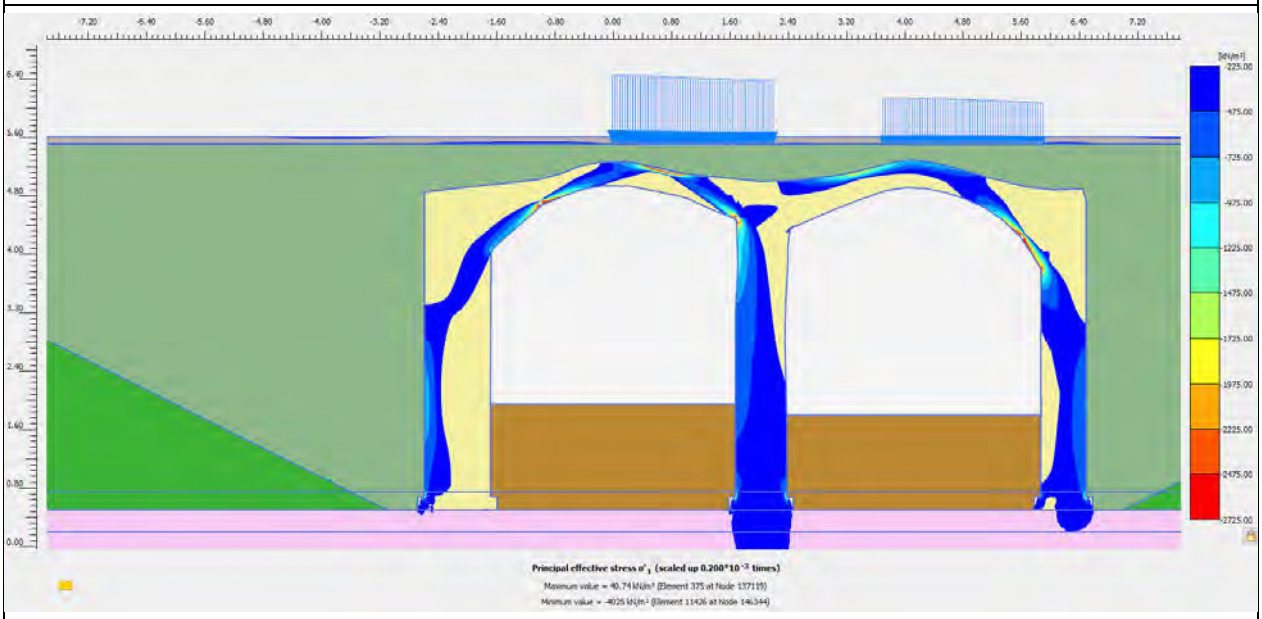


Drukspanningen GRF-2 (maximaal 5000/2,2*1,2 = 2725 kN/m^2)

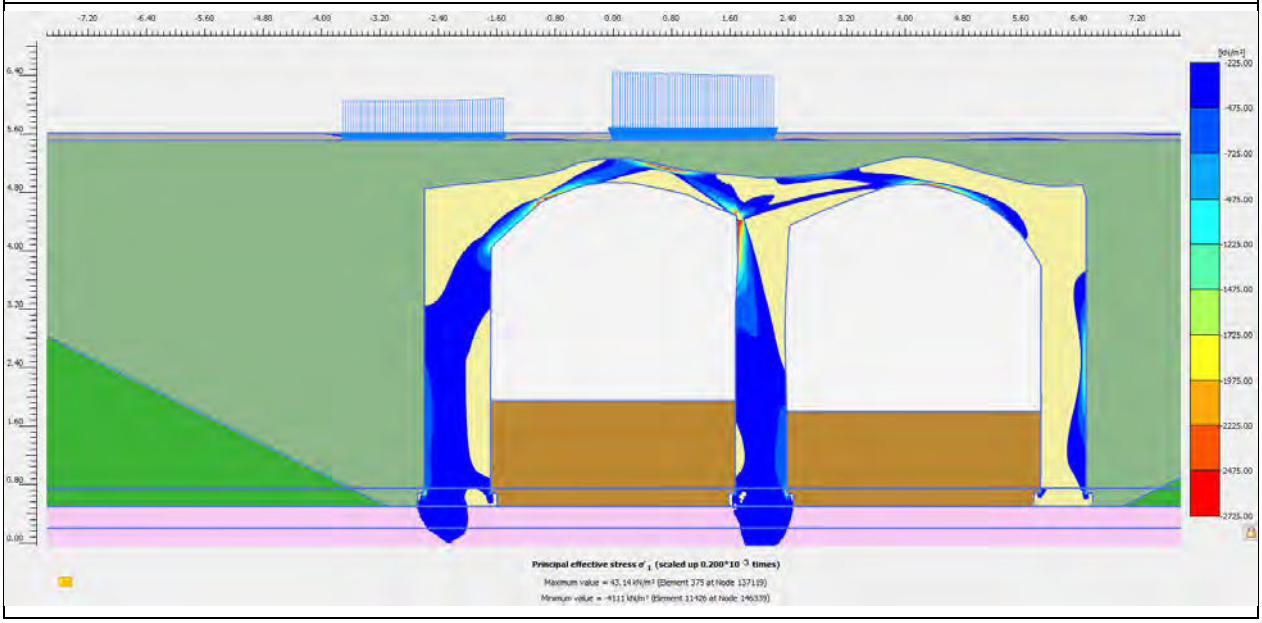
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



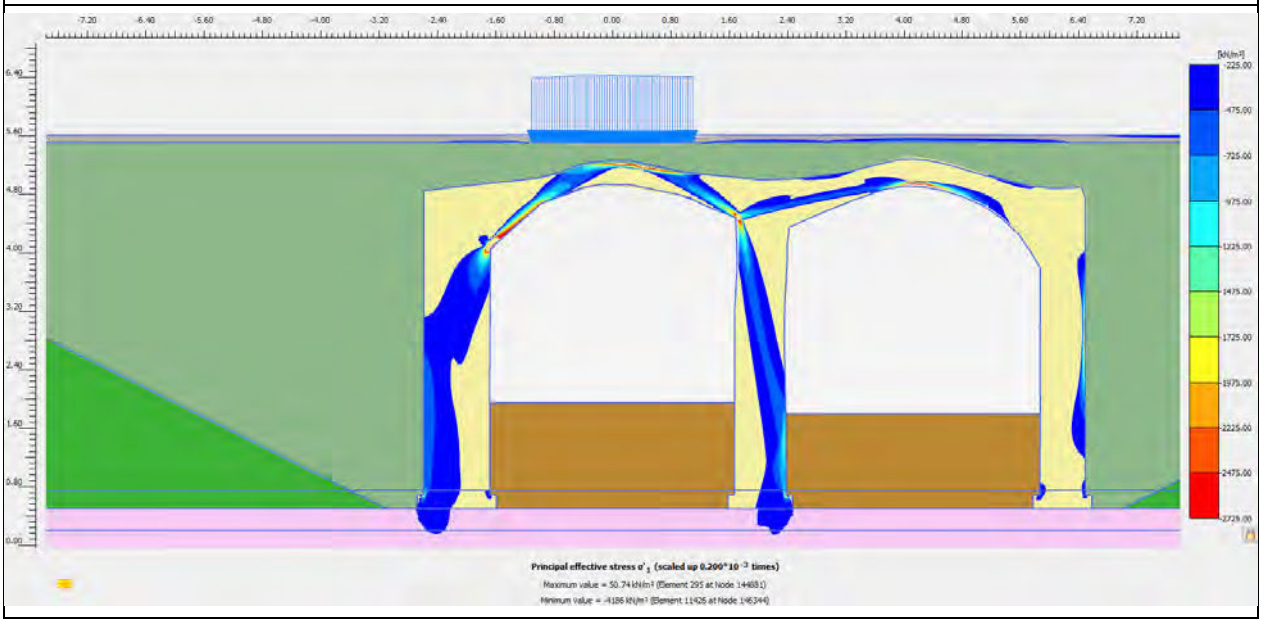
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



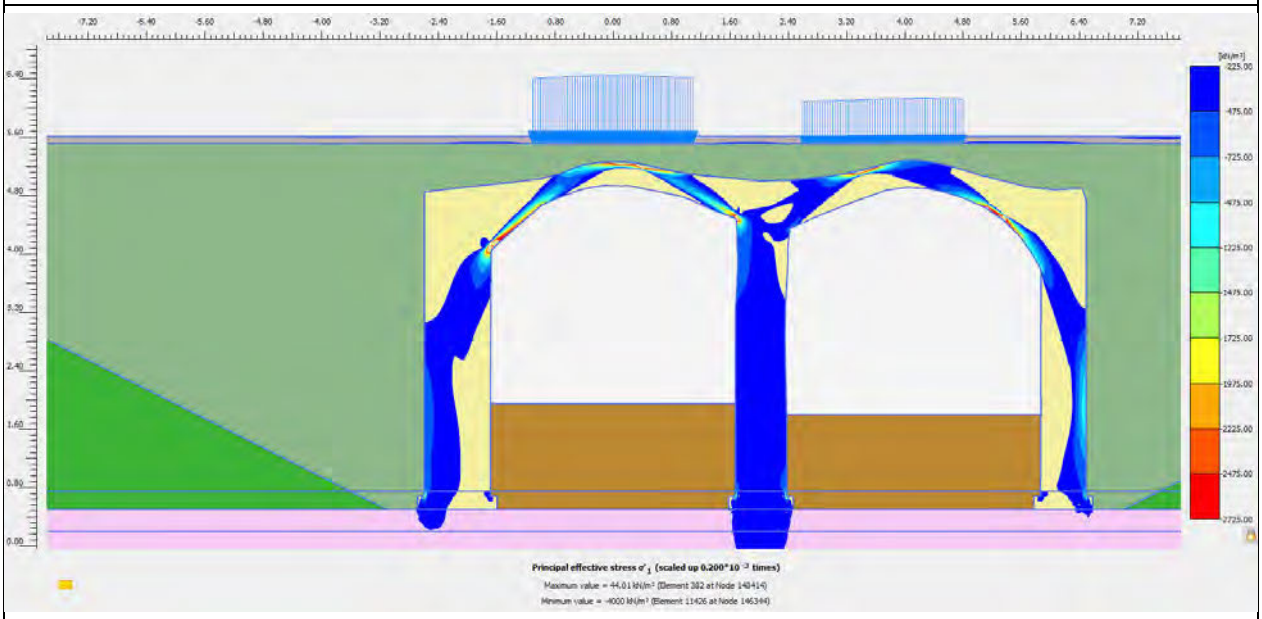
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



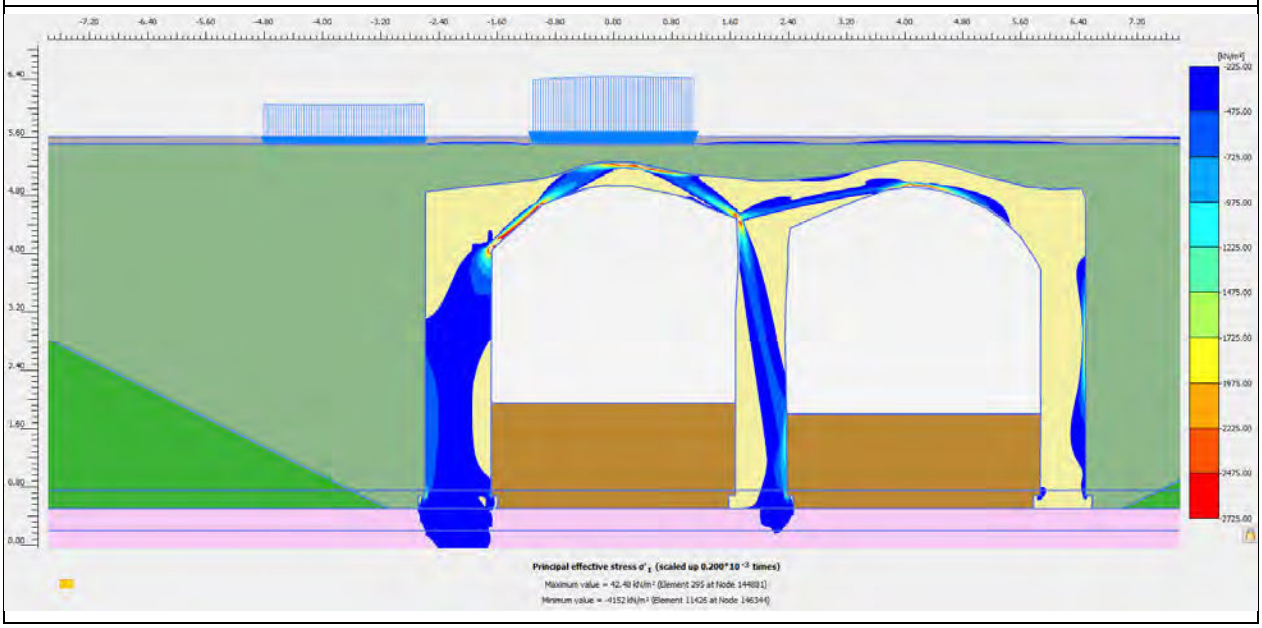
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



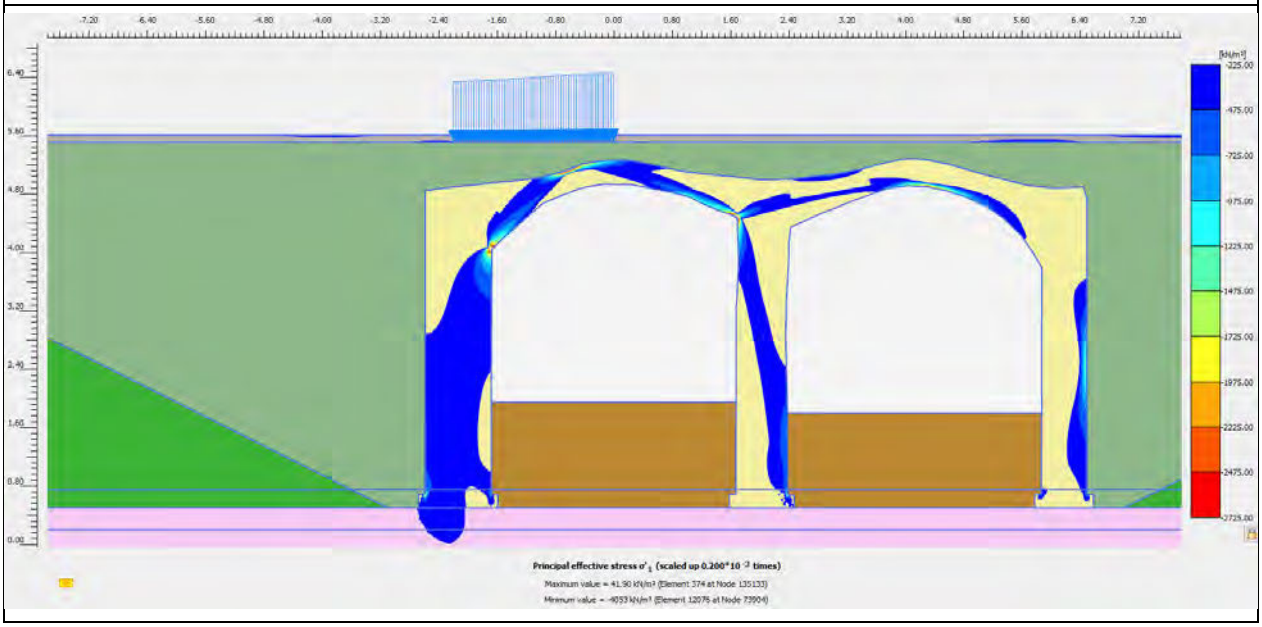
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



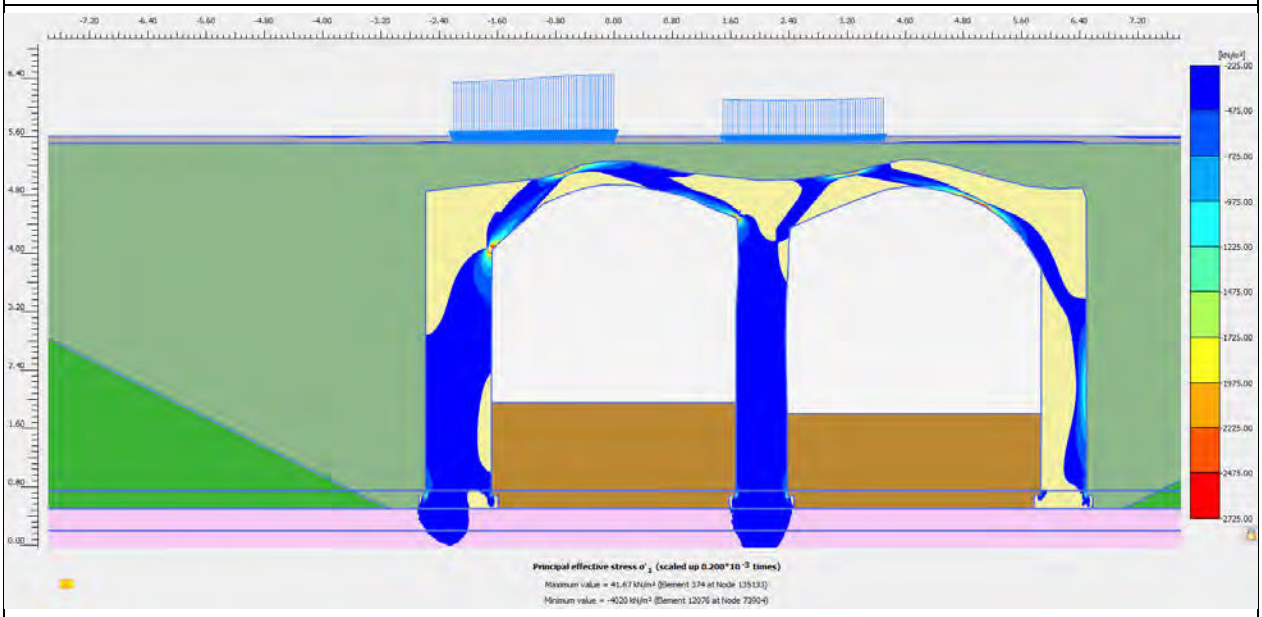
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



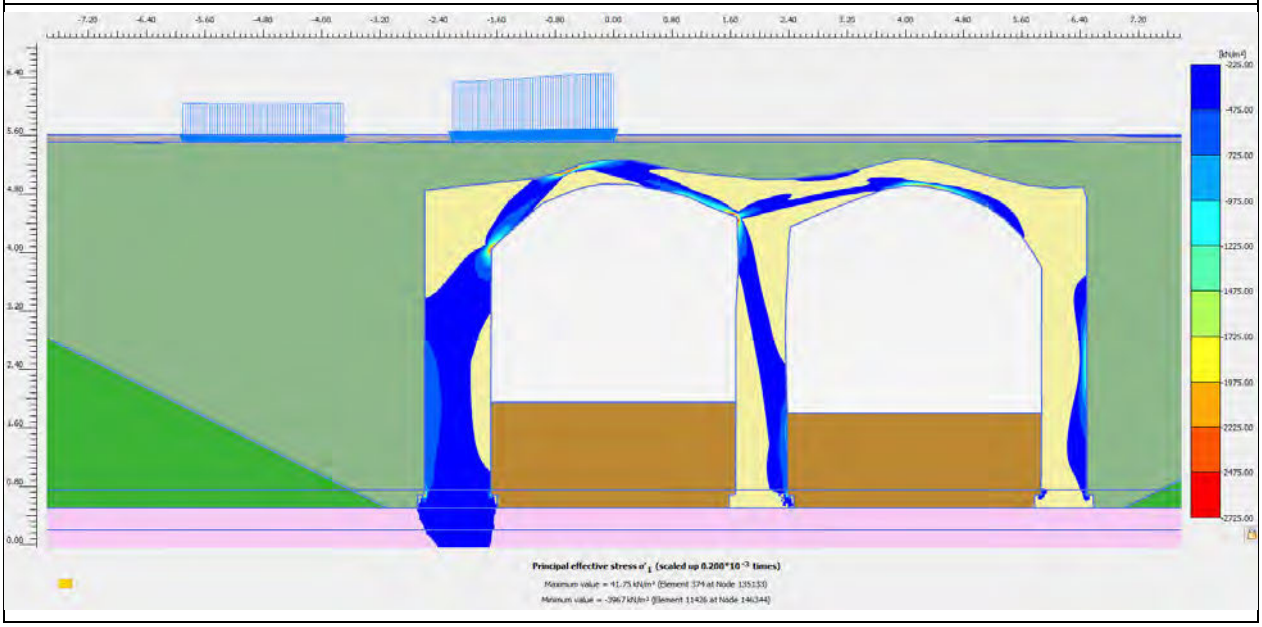
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

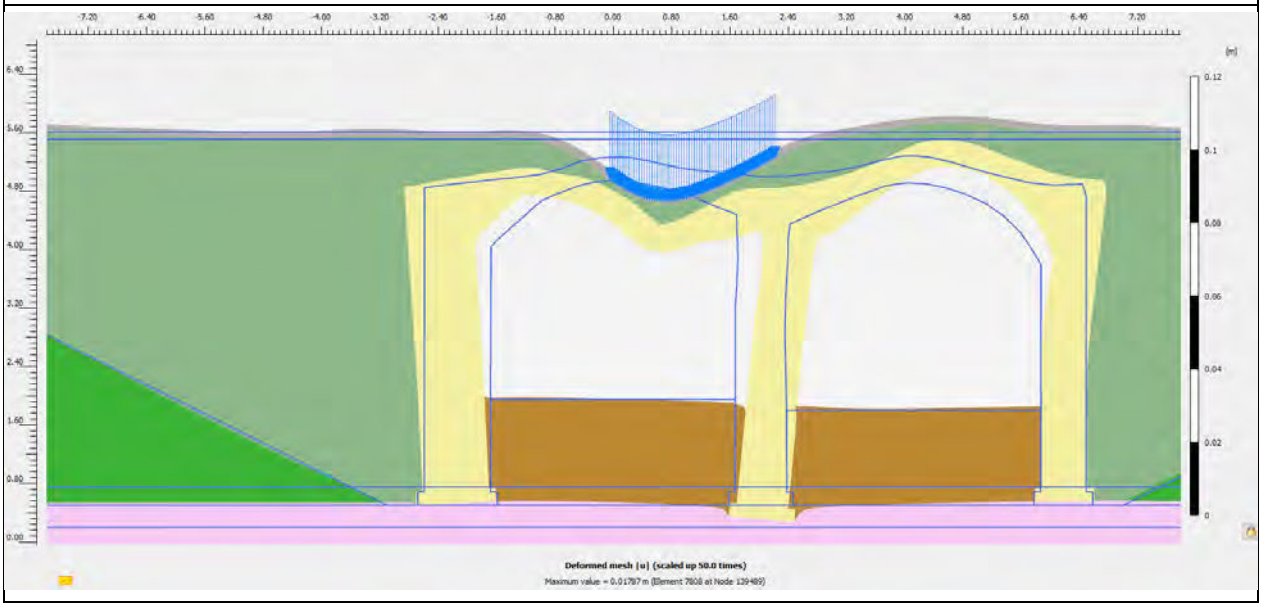


Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

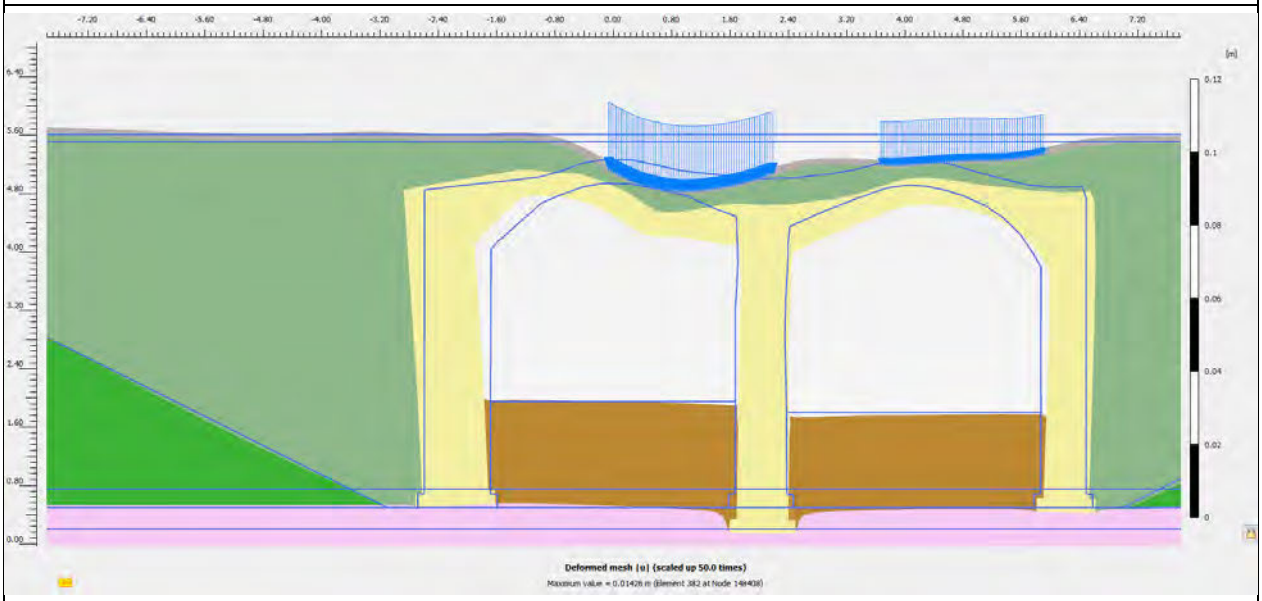


Vervorming PF-methode (x50)

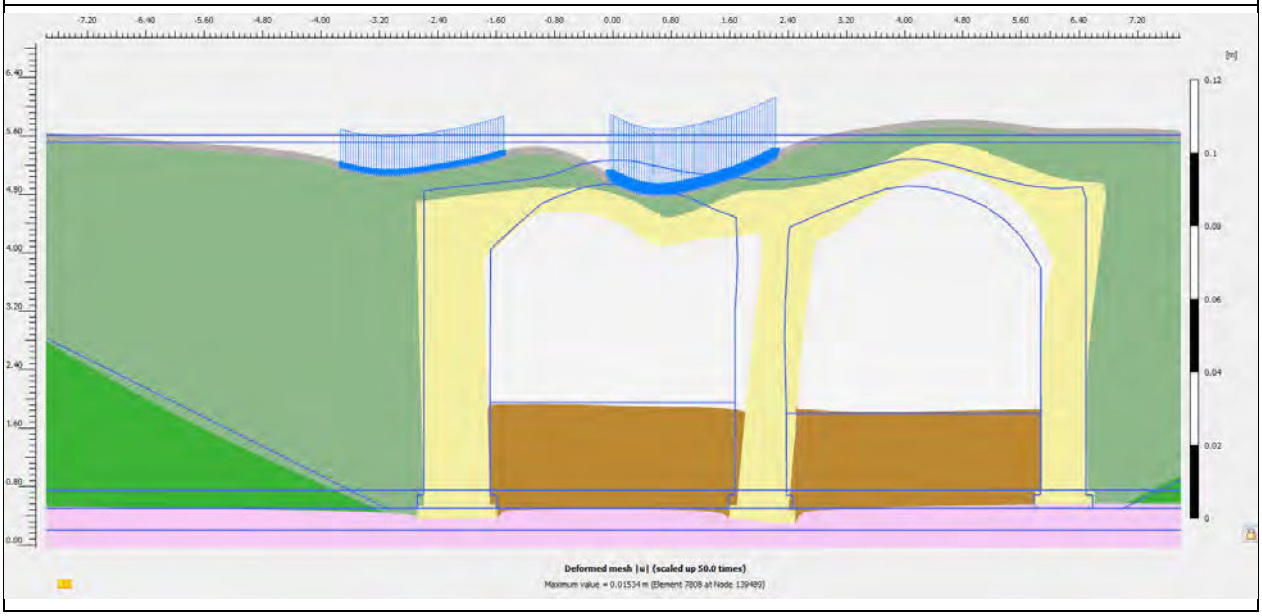
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



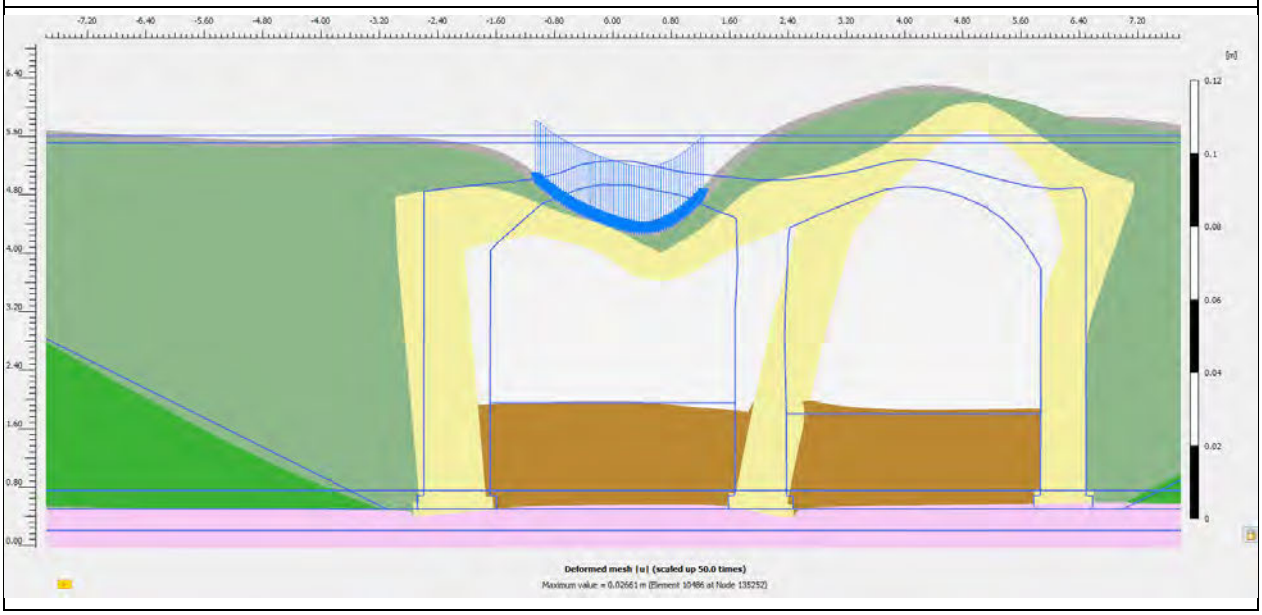
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



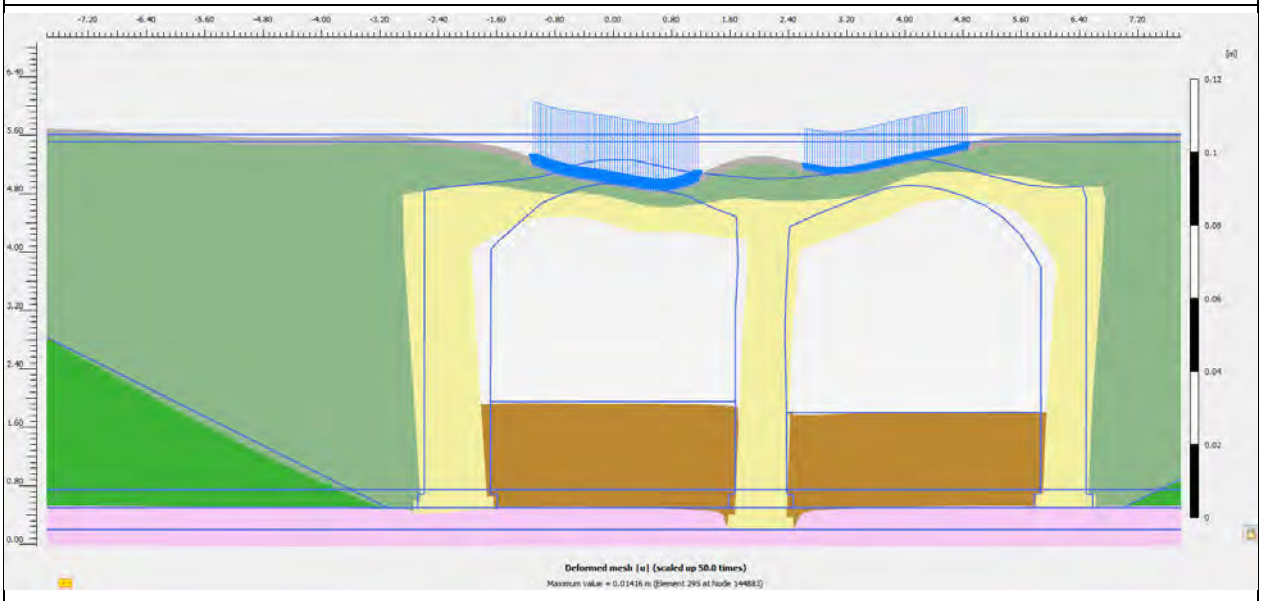
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



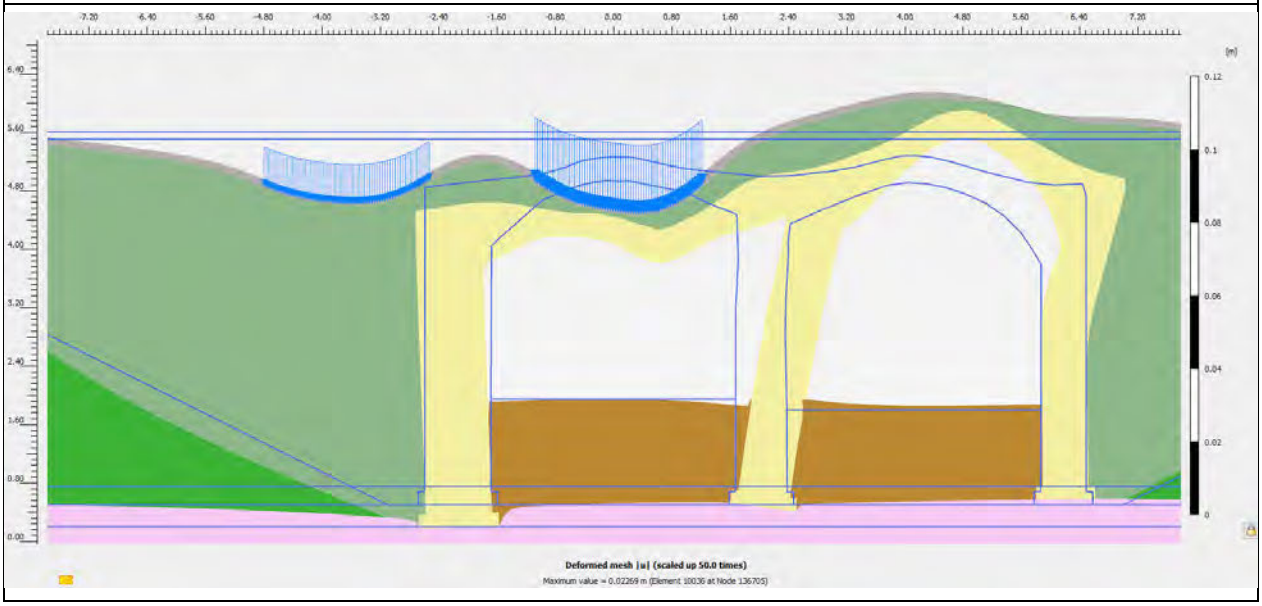
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



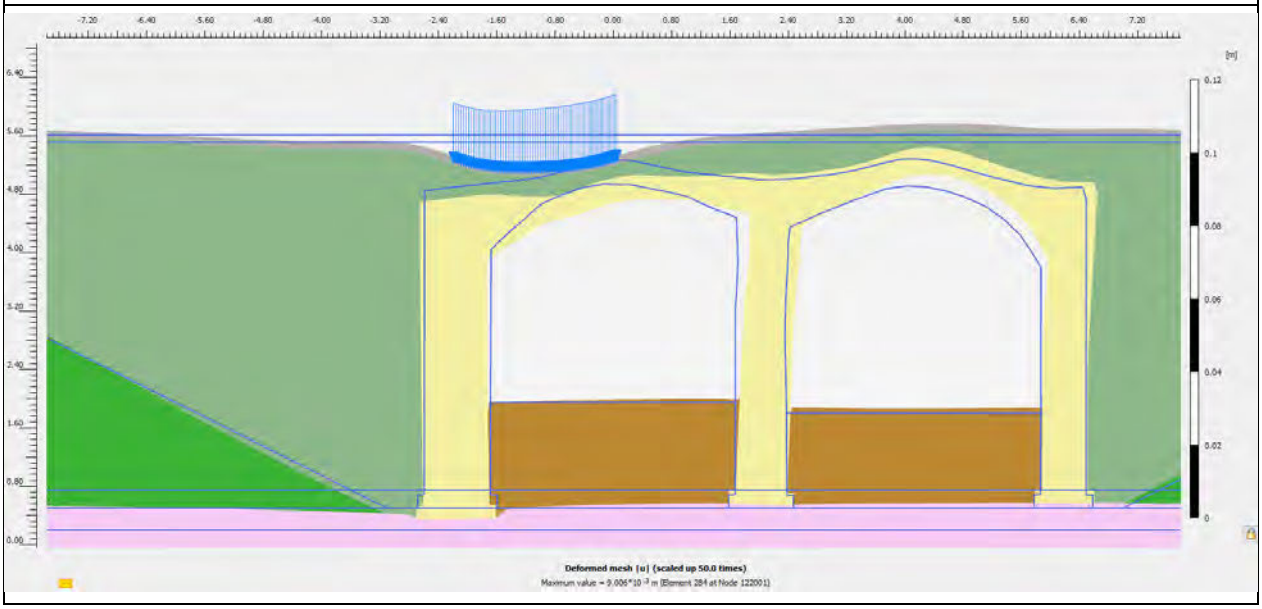
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



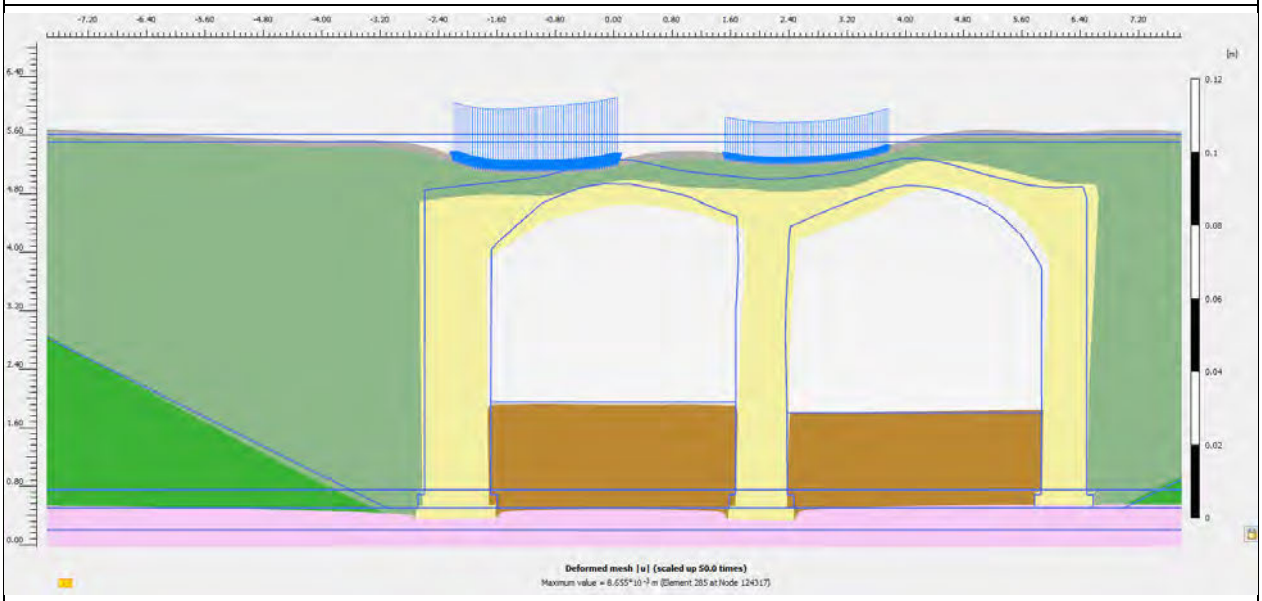
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



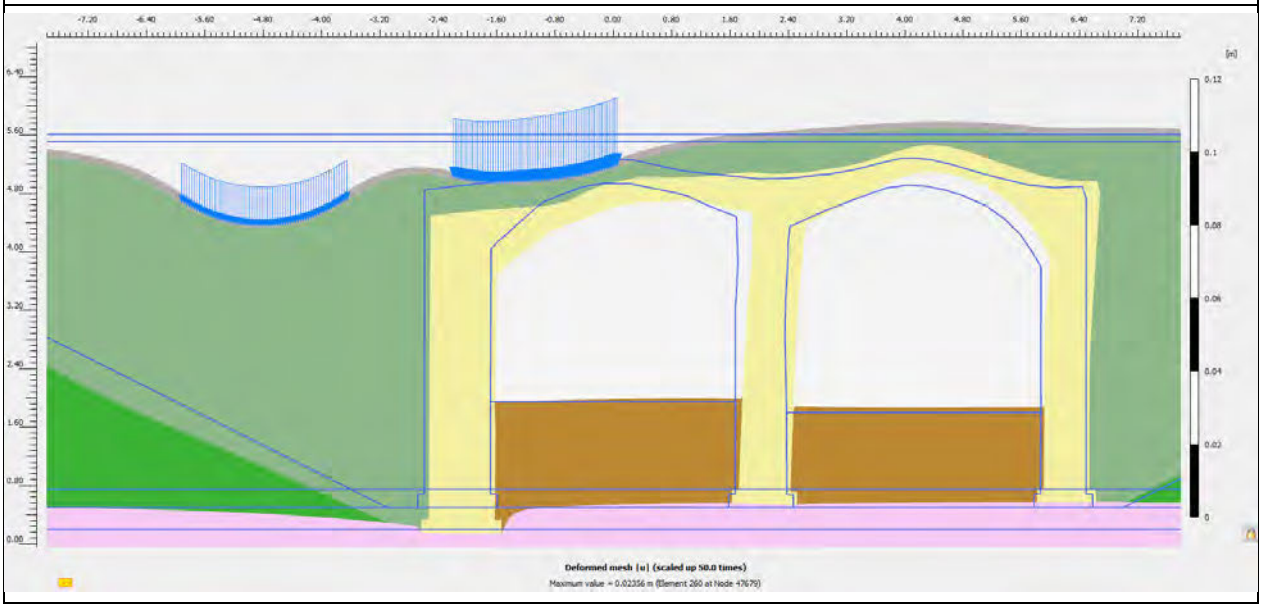
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton

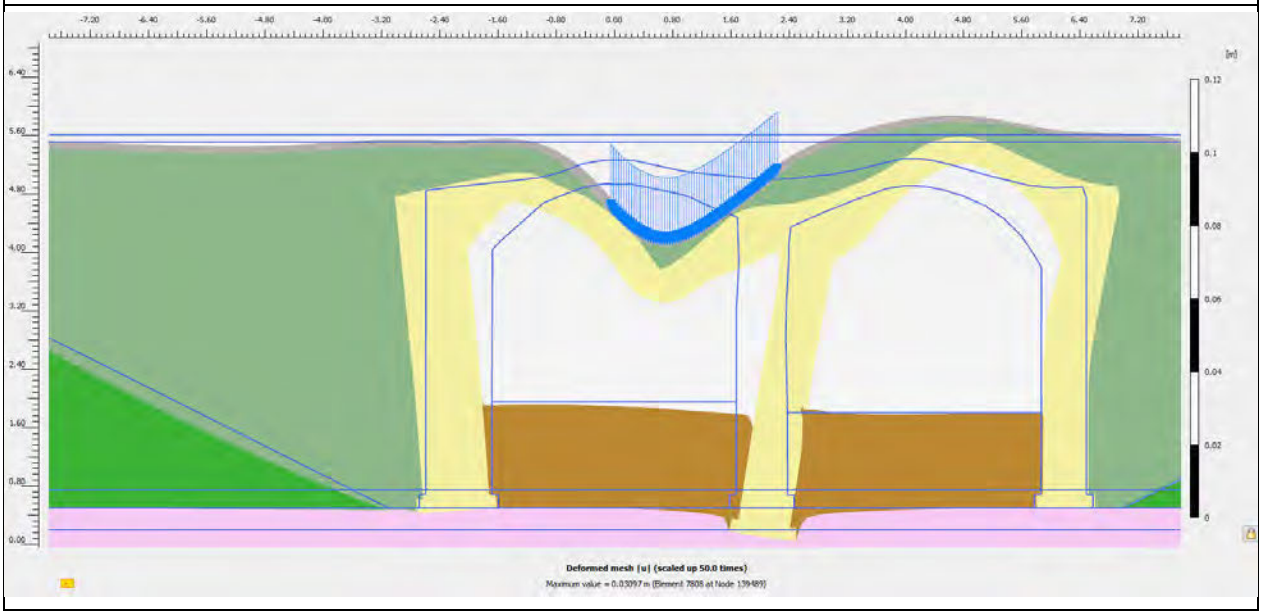


Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton

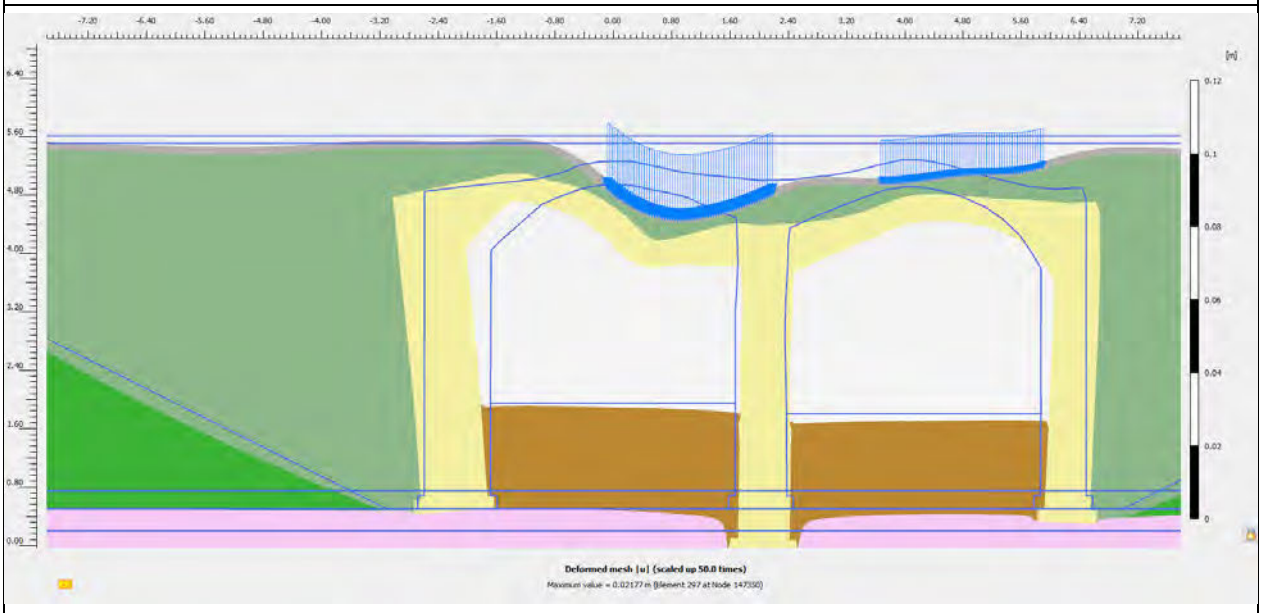


Vervorming GRF-2-methode (50x)

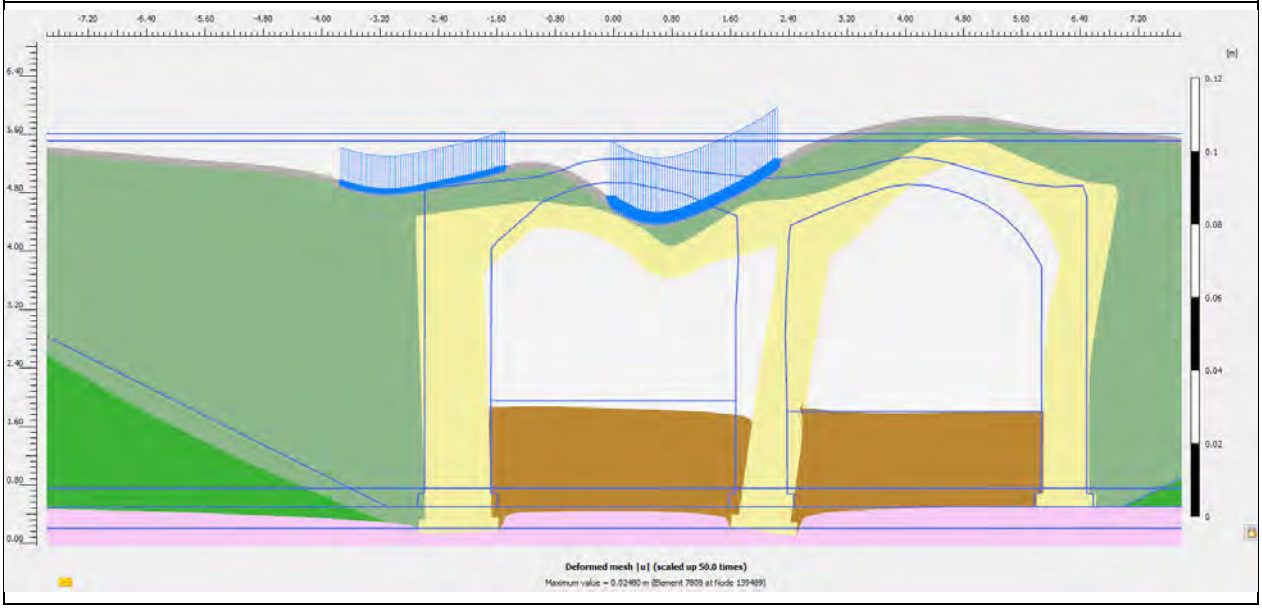
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



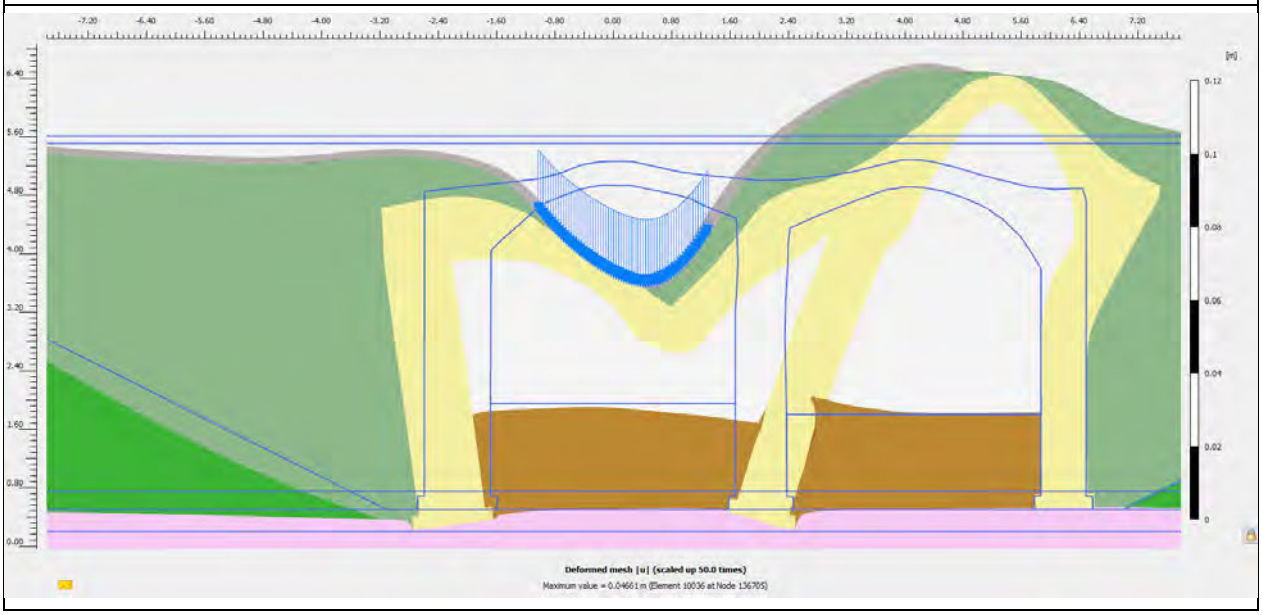
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



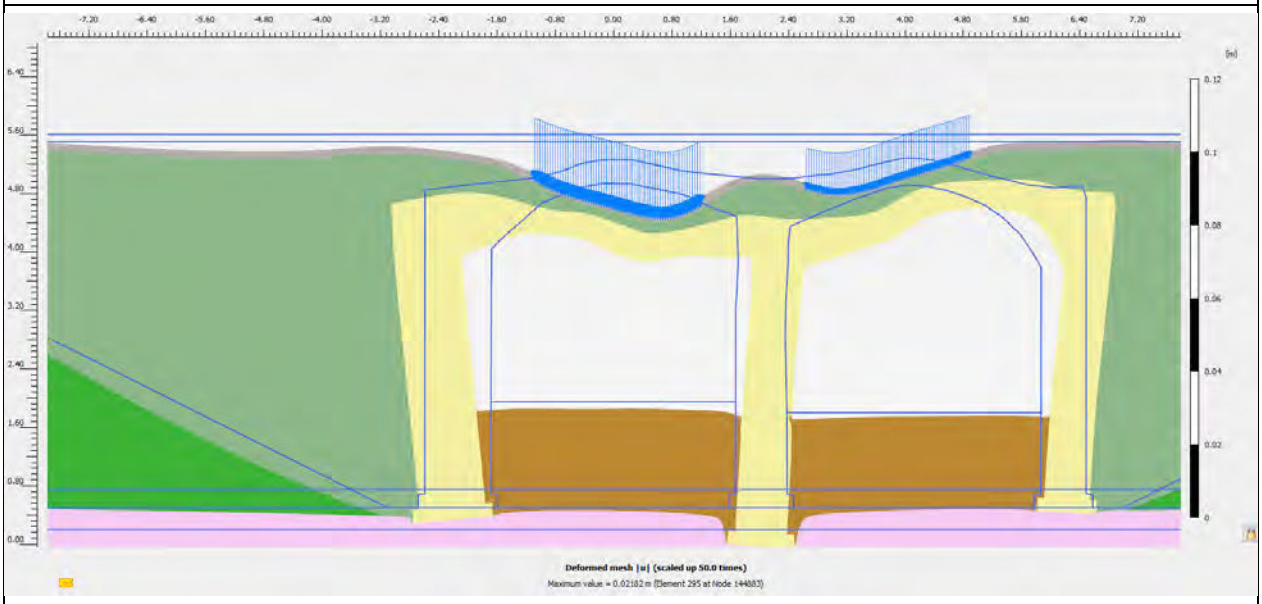
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



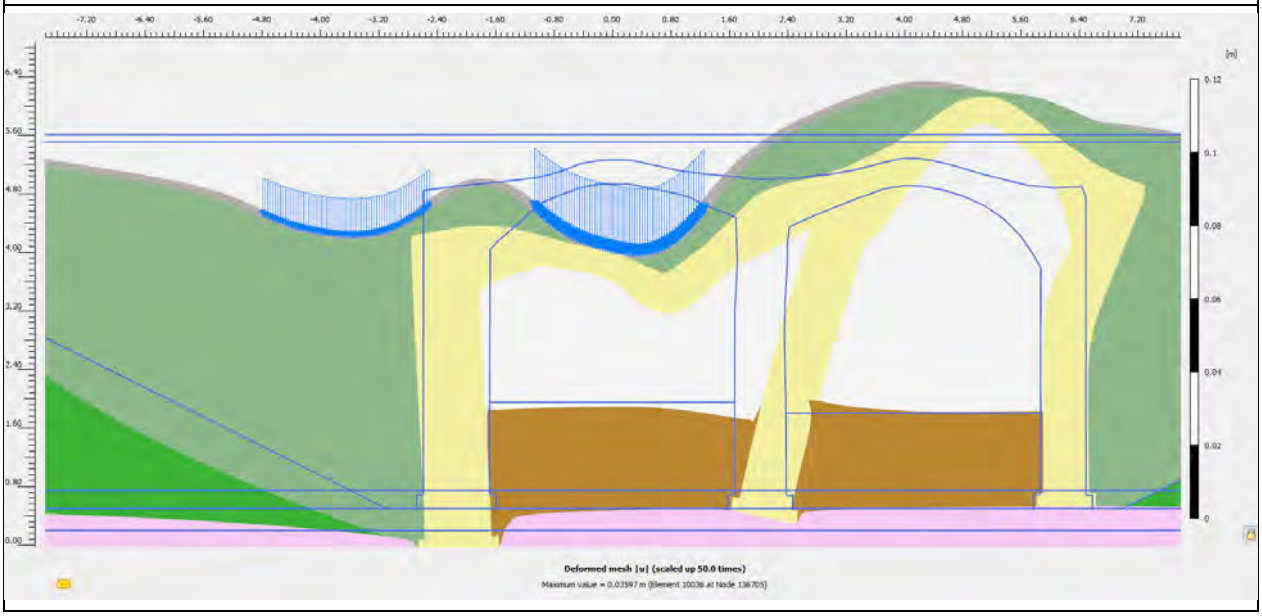
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



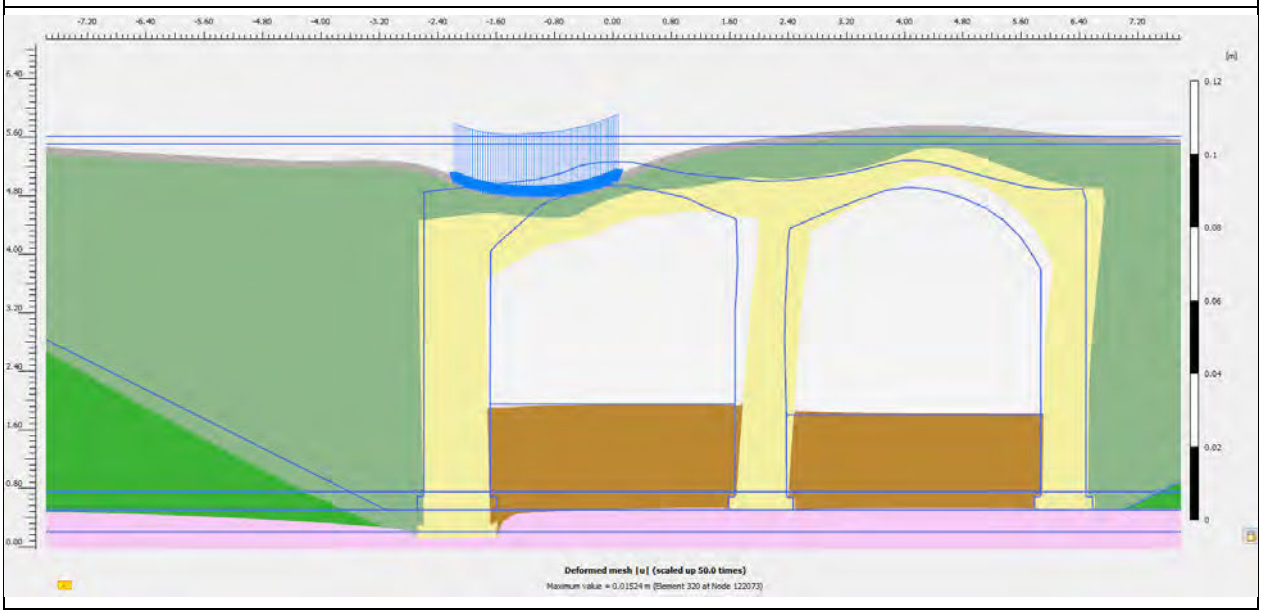
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



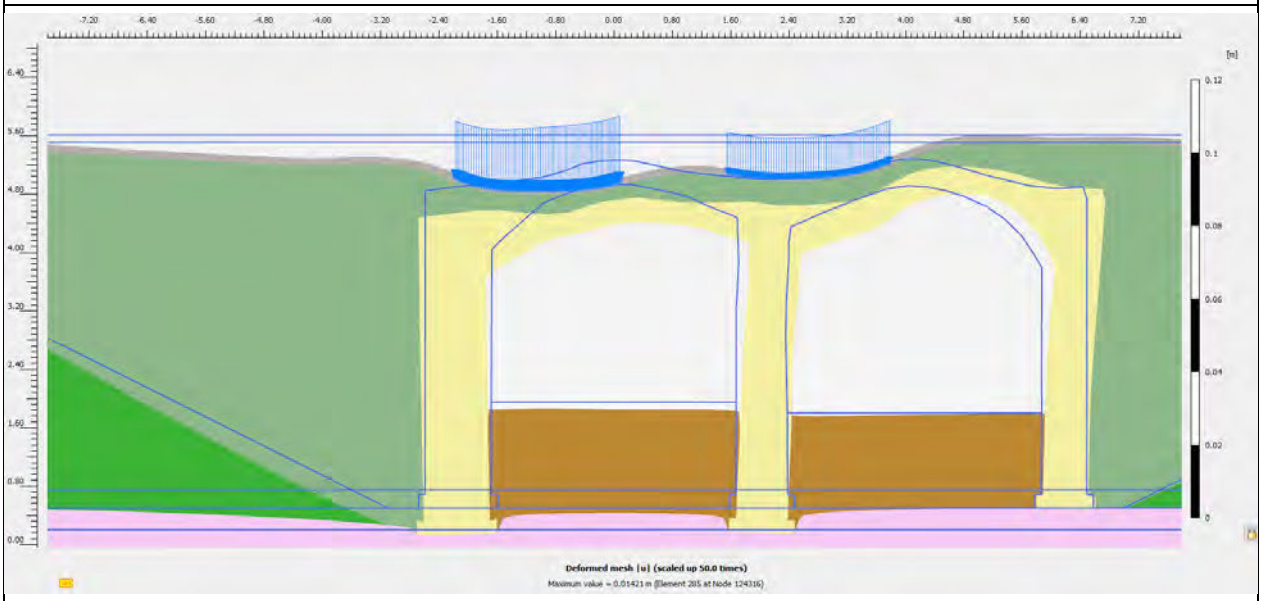
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



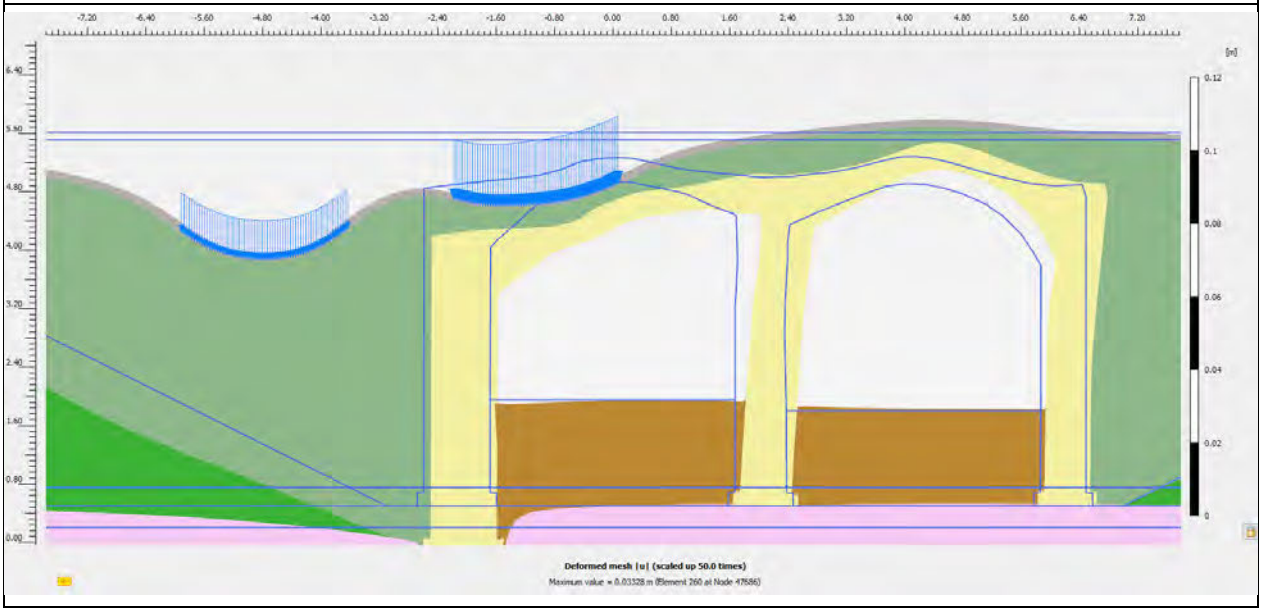
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 10 ton



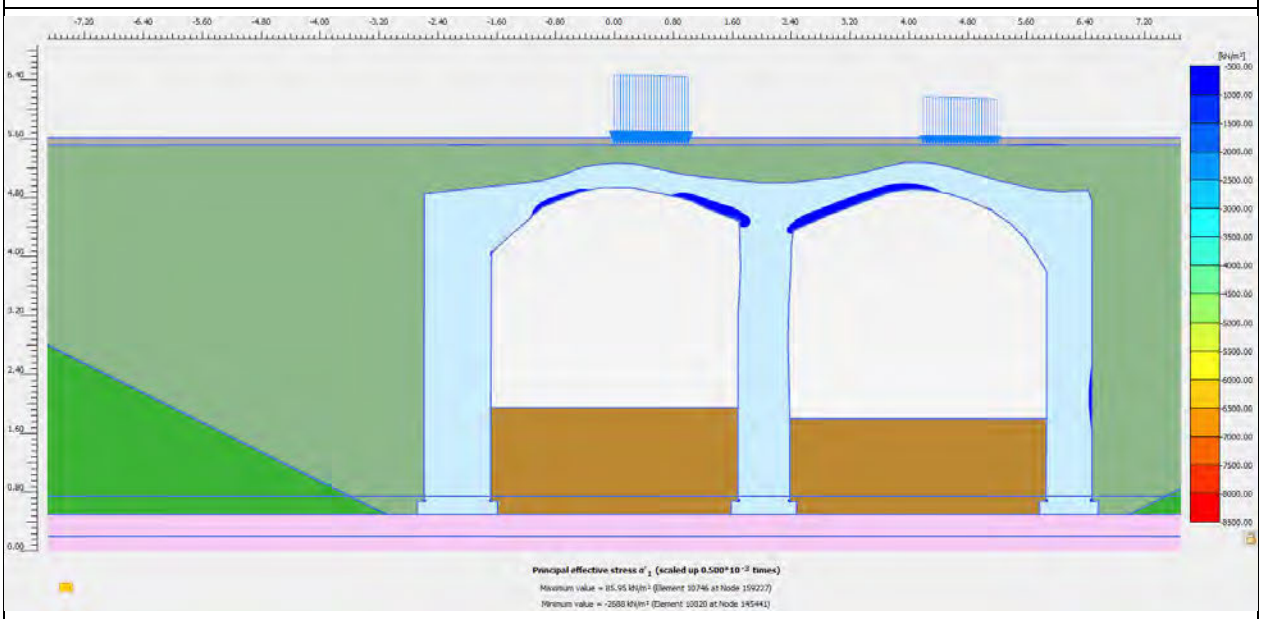
A5.3 BGT BM3

ID	Calculation type	Loading type (D)	Pore pressure calcula...	Time interval	Estimated end time	Ignore undr. behavio...	Reset displacements ...	Updated mesh (D)	Max steps (D)	First step	Last step
A Initial phase (K0, MV NAP+5,61, GWS +0,5 NAP) [InitialPhas				**0.000 day**	**0.000 day**	☑	☐	☐	**1000**	**0**	**0**
B Aanleg afgraving tot o.k. fundering (NAP+0,5 m) en GWS (NAP 0,5m)				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☐	1000	1	15
C Aanvullen tot huidig MV (NAP +5,61m) en GWS NAP +0,5 m [Phase_2				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☐	1000	16	163
D Maximaal waterpeil NAP +1,5m en GWS NAP +0,75m [Phase_7]				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☑	1000	164	166
2N-1-R Toets SLS Normbelasting [Phase_9]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	167	174
3N-1-R [Phase_22]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	175	226
4N-1-R PF [Phase_30]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	227	326
5N-1-R PF [Phase_31]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	327	426
6N-1-R GRF [Phase_32]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	427	526
7N-1-R [Phase_33]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	527	626
2N-1-L Toets SLS Normbelasting [Phase_4]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	627	635
3N-1-L [Phase_23]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	636	685
4N-1-L PF [Phase_34]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	686	785
5N-1-L PF [Phase_35]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	786	885
6N-1-L GRF [Phase_36]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	886	985
7N-1-L GRF [Phase_37]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	986	1085
2N-2-R Toets SLS Normbelasting [Phase_11]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1086	1093
3N-2-R [Phase_24]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1094	1137
4N-2-R PF [Phase_38]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1138	1237
5N-2-R PF [Phase_39]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1238	1337
6N-2-R GRF [Phase_40]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1338	1437
7N-2-R GRF [Phase_41]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1438	1537
2N-2-L Toets SLS Normbelasting [Phase_12]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1538	1547
3N-2-L [Phase_25]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1548	1590
4N-2-L PF [Phase_42]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1591	1690
5N-2-L PF [Phase_43]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1691	1790
6N-2-L GRF [Phase_44]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1791	1890
7N-2-L GRF [Phase_45]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1891	1990
2N-3-R Toets SLS Normbelasting [Phase_14]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1991	1998
3N-3-R [Phase_27]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1999	2050
4N-3-R PF [Phase_50]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2051	2150
5N-3-R PF [Phase_51]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2151	2250
6N-3-R GRF [Phase_52]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2251	2350
7N-3-R GRF [Phase_53]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2351	2450
2N-3-L Toets SLS Normbelasting [Phase_15]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2451	2460
3N-3-L [Phase_28]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2461	2494
4N-3-L PF [Phase_54]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2495	2594
5N-3-L PF [Phase_55]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2595	2694
6N-3-L GRF [Phase_56]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2695	2794
7N-3-L GRF [Phase_57]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2795	2894

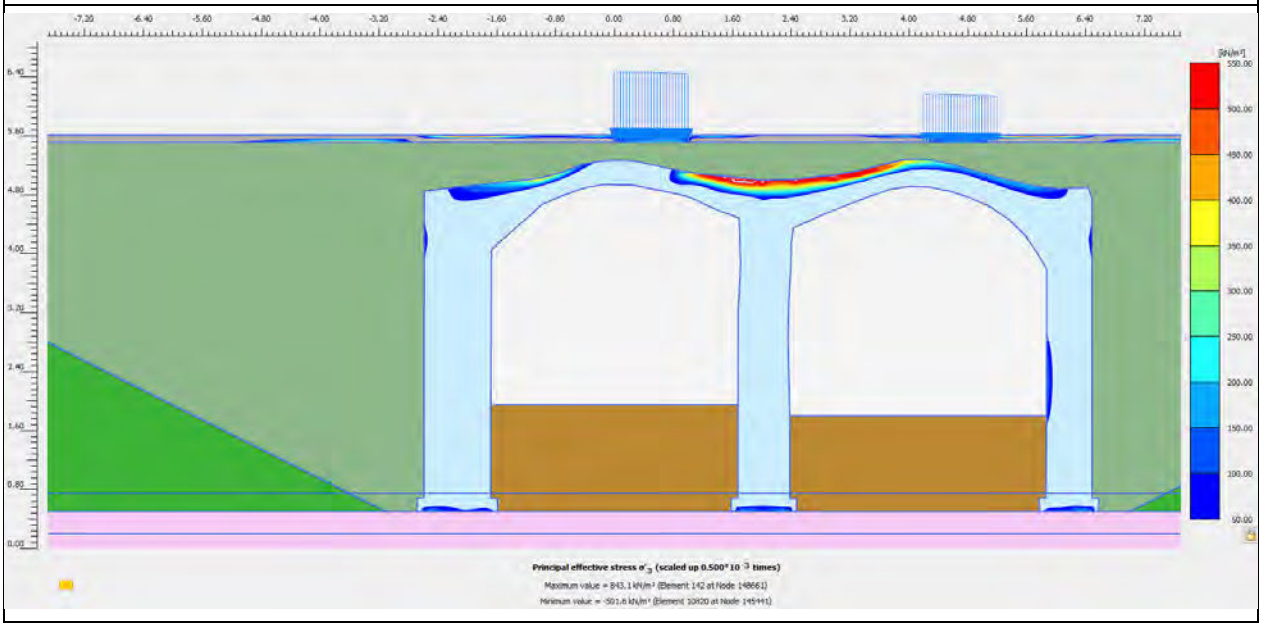
					Asbelasting (vooras)			Asbelasting (achteras)	
					Enkelzijdig			Enkelzijdig	
	Niveau	Niveau		Extra breedte	Belasting			Belasting	
Punt	Maaiveld	Halverwege	boog	Enkelzijdig	41.5	0.0		59.6	0.0
-5.2	5.61	4.35	-2.525	0.727461	32.7	**32.7**		47.0	**47.0**
-4.7	5.61	4.35	-2.025	0.727461	32.7	**32.7**		47.0	**47.0**
-4.2	5.61	4.35	-1.525	0.727461	32.7	**32.7**		47.0	**47.0**
-3.7	5.61	4.35	-1.025	0.727461	32.7	**32.7**		47.0	**47.0**
-3.2	5.61	4.35	-0.525	0.727461	32.7	**32.7**		47.0	**47.0**
-1	5.61	4.84	1.675	0.44456	35.6	**35.6**		51.2	**51.2**
-0.5	5.61	5.02	2.175	0.340637	36.8	**36.8**		52.9	**52.9**
0	5.61	5.09	2.675	0.300222	37.3	**37.3**		53.7	**53.7**
0.5	5.61	5.04	3.175	0.32909	37.0	**37.0**		53.2	**53.2**
1	5.61	4.93	3.675	0.392598	36.2	**36.2**		52.1	**52.1**
3.2	5.61	4.84	5.875	0.44456	35.6	**35.6**		51.2	**51.2**
3.7	5.61	4.99	6.375	0.357957	36.6	**36.6**		52.6	**52.6**
4.2	5.61	5.04	6.875	0.32909	37.0	**37.0**		53.2	**53.2**
4.7	5.61	4.94	7.375	0.386825	36.3	**36.3**		52.2	**52.2**
5.2	5.61	4.76	7.875	0.490748	35.1	**35.1**		50.5	**50.5**

Druk- en trekspanningen

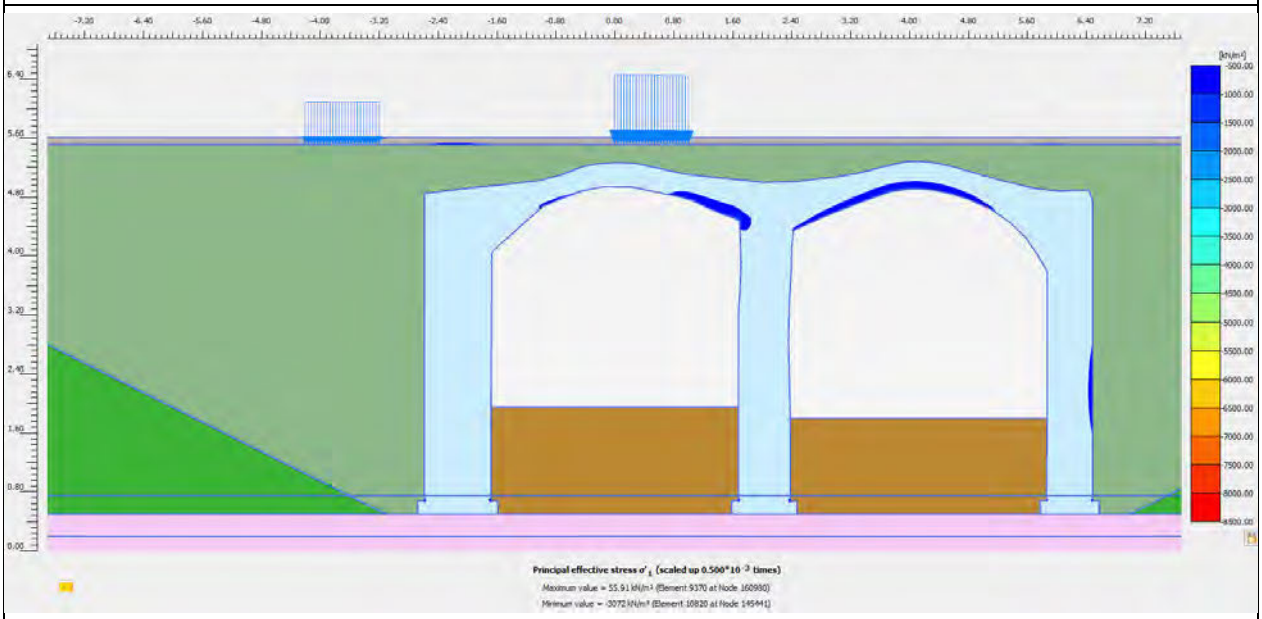
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



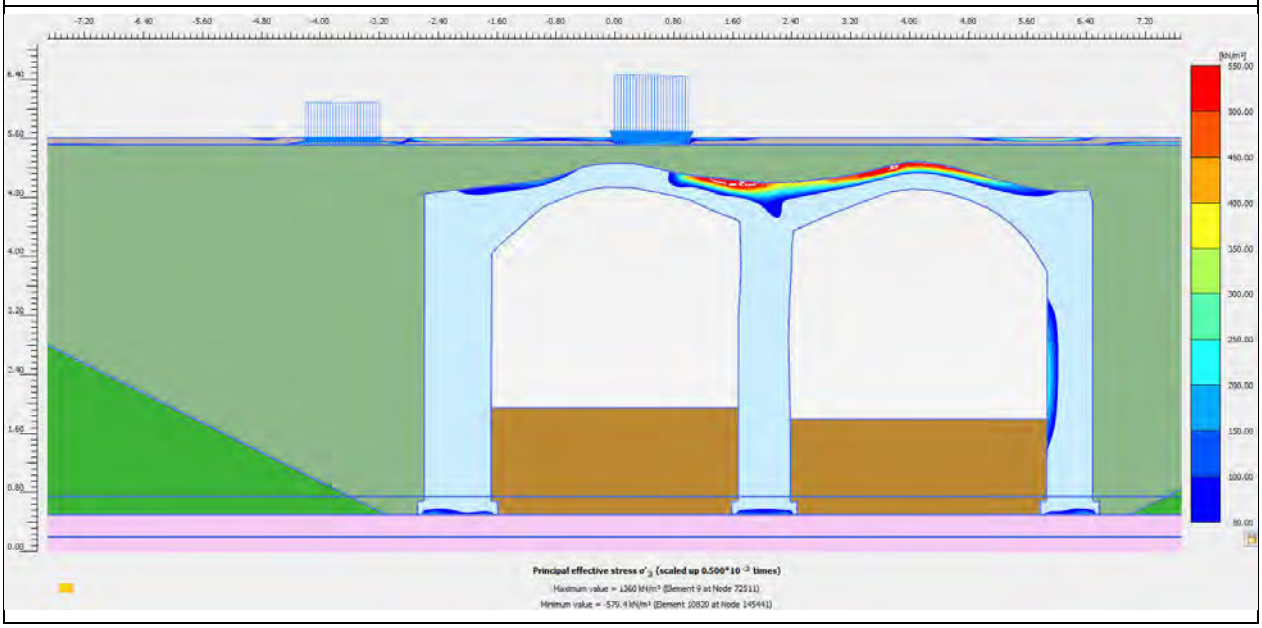
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



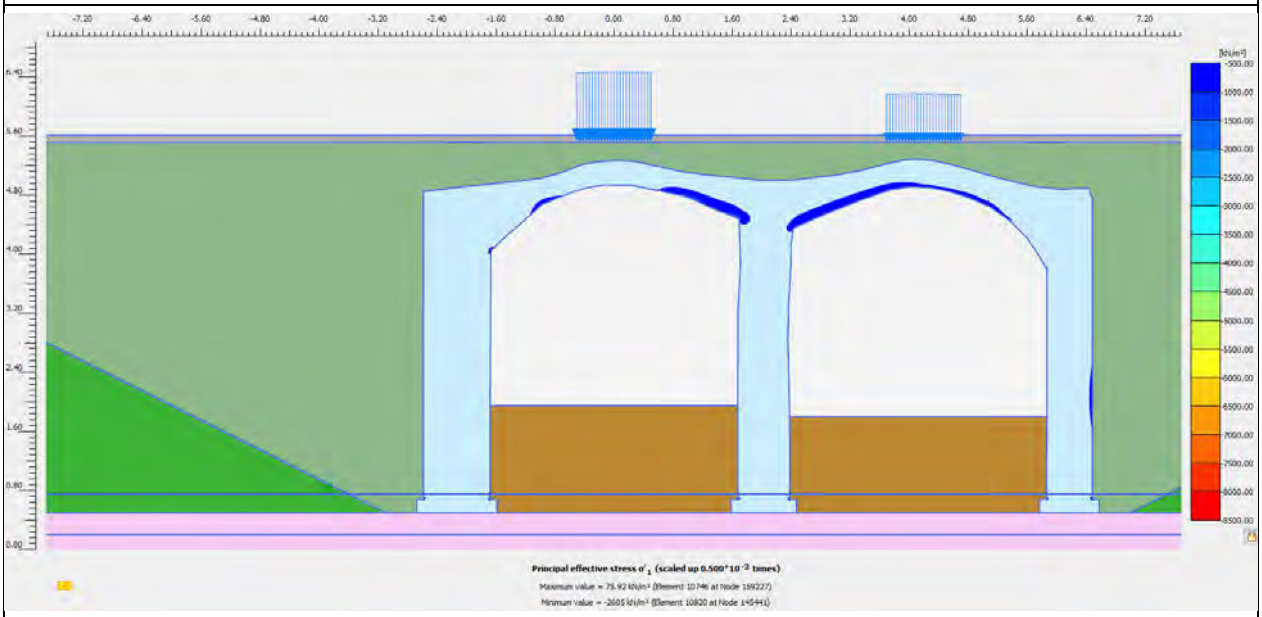
Belastingpositie 1-B – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



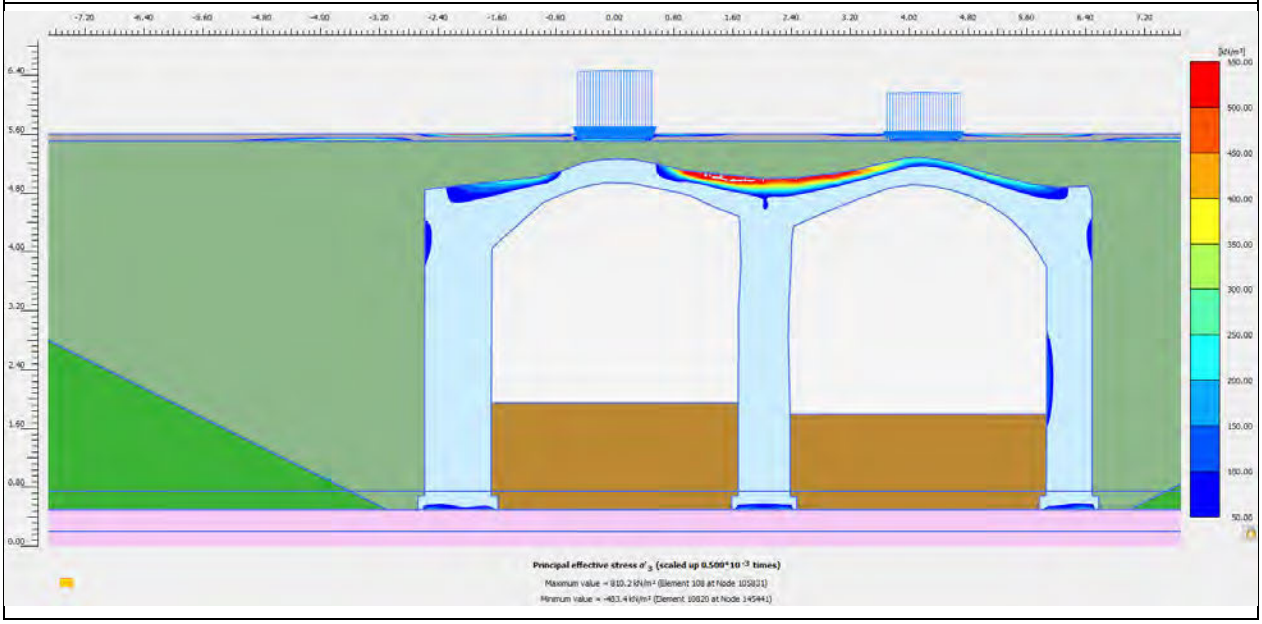
Belastingpositie 1-B – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



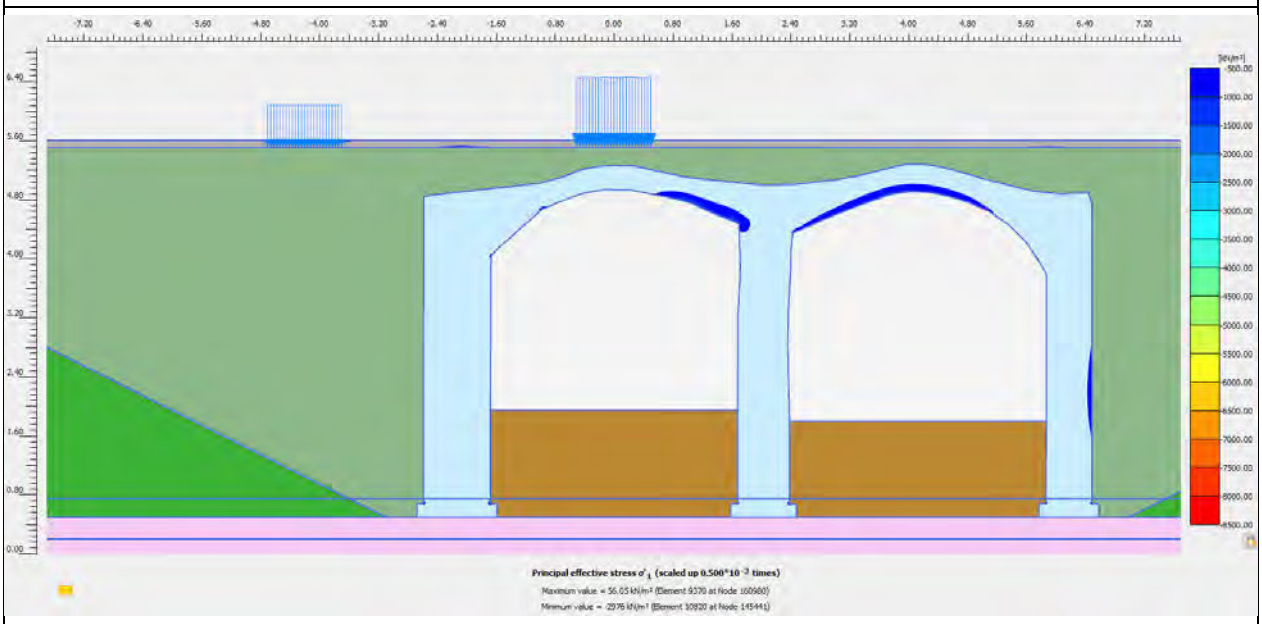
Belastingpositie 2-A – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



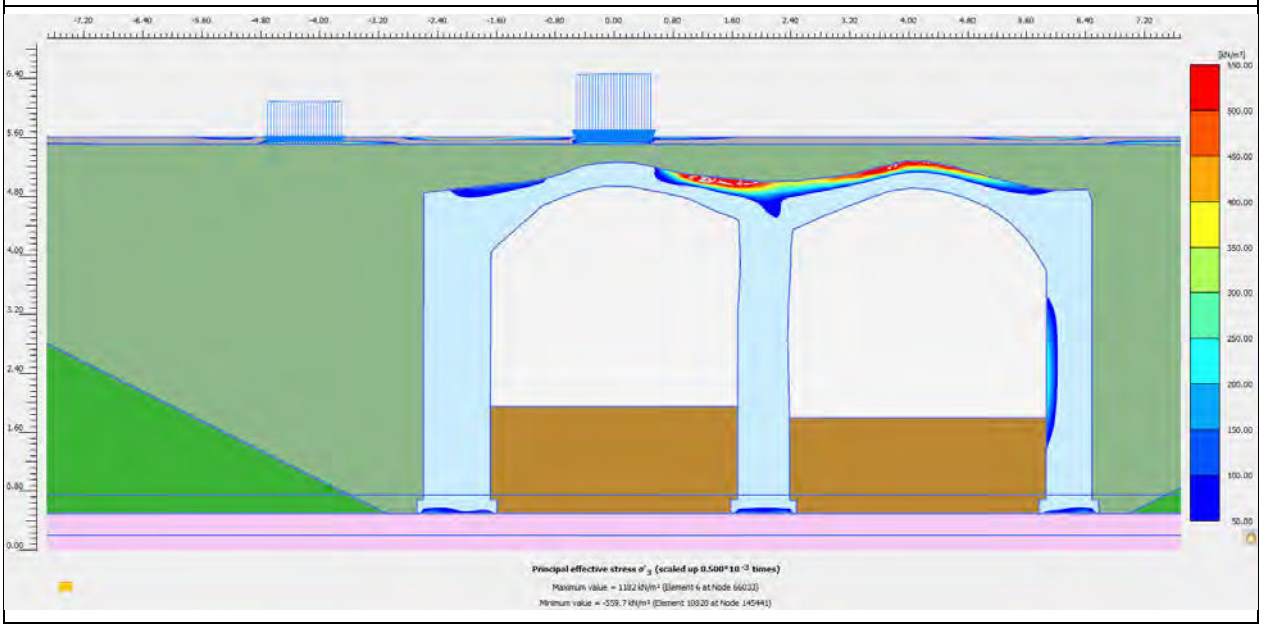
Belastingpositie 2-A – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



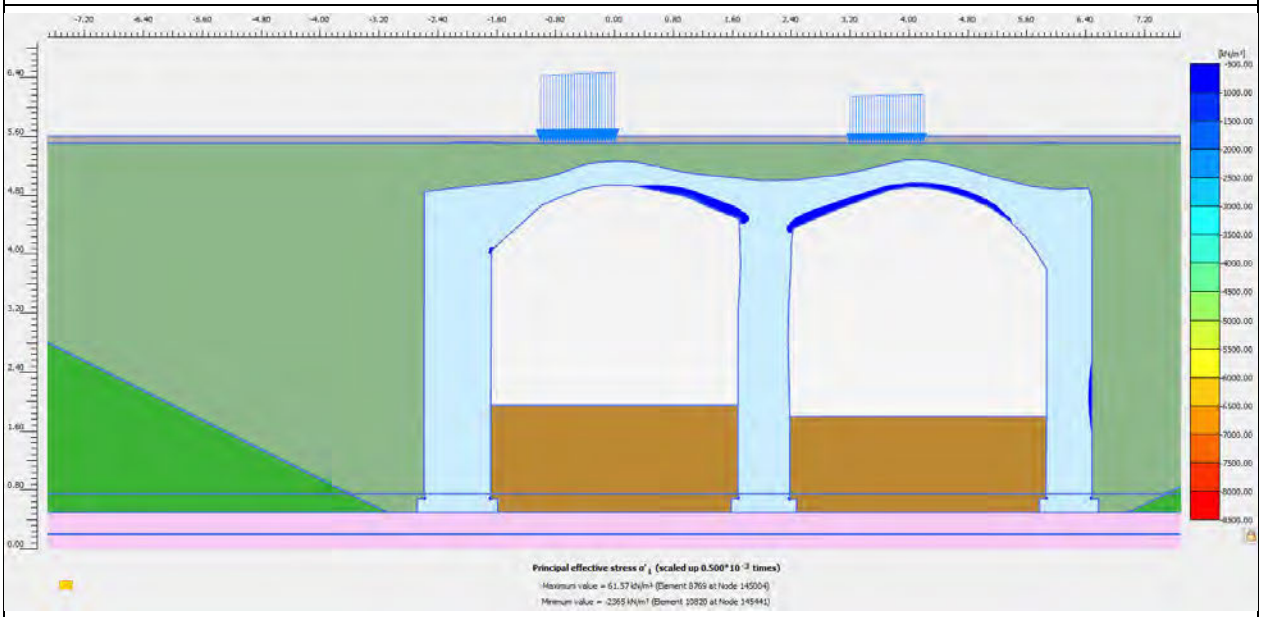
Belastingpositie 2-B – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



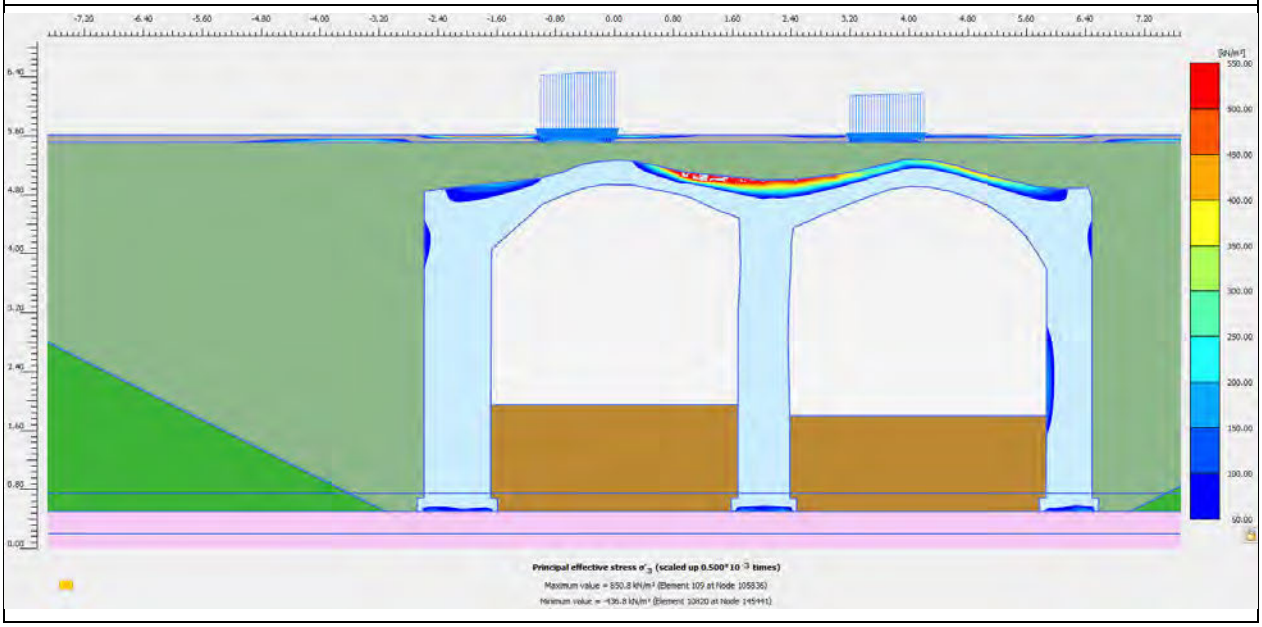
Belastingpositie 2-B – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



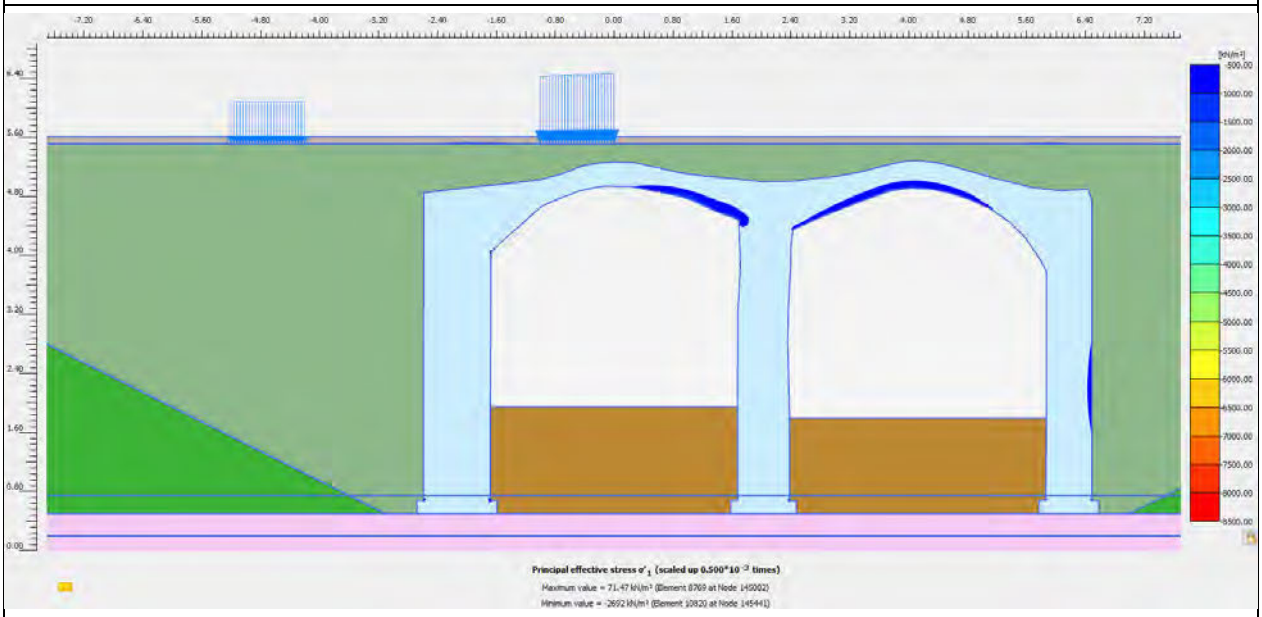
Belastingpositie 3-A – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



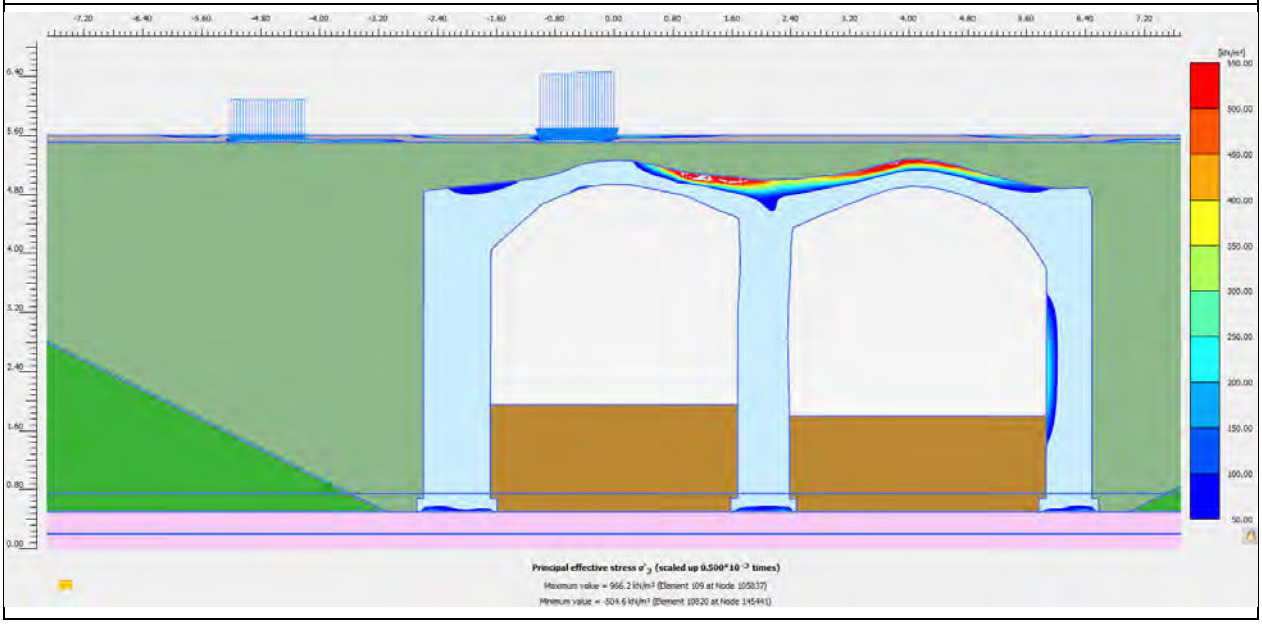
Belastingpositie 3-A – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



Belastingpositie 3-B – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)

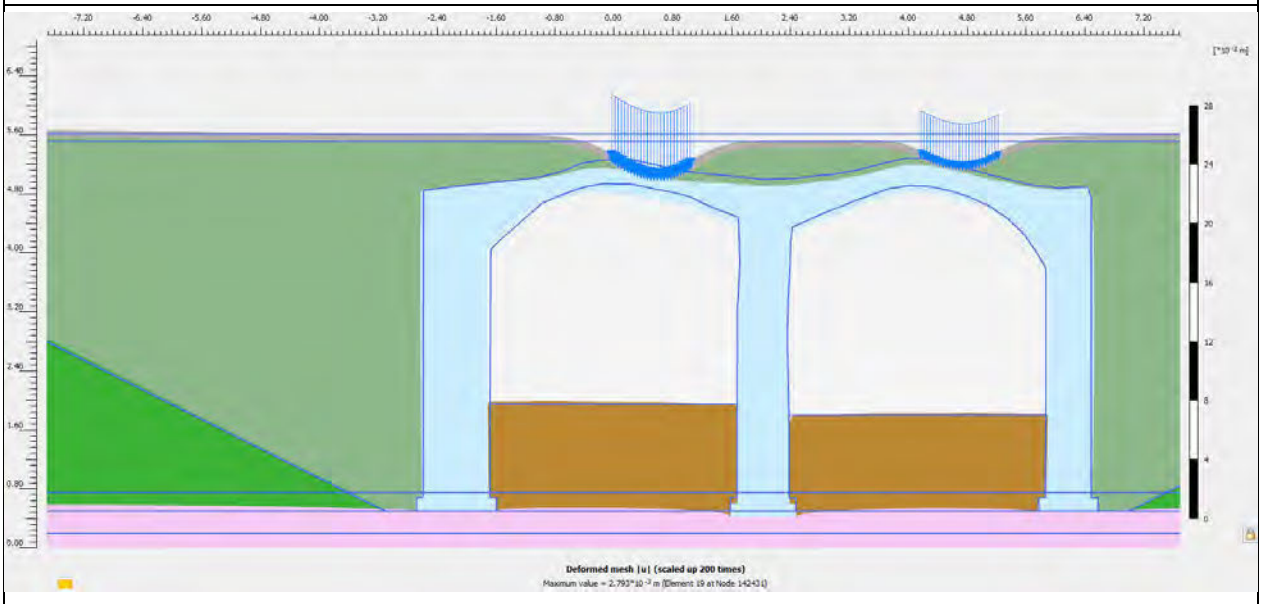


Belastingpositie 3-B – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)

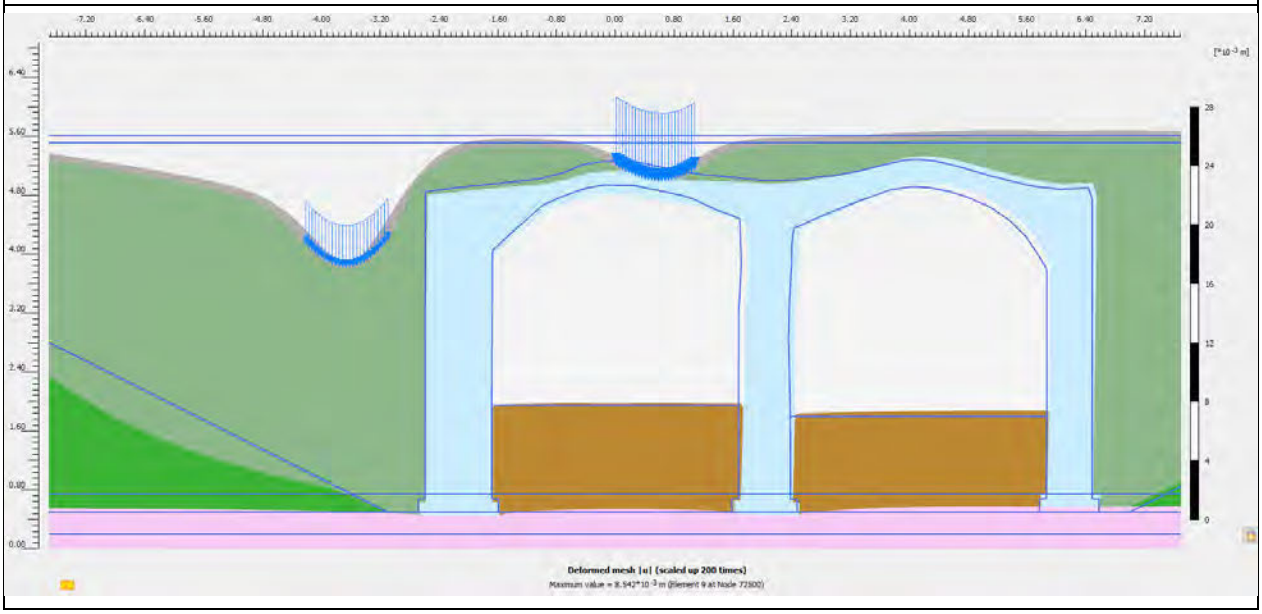


Vervormingen (200x vergroot)

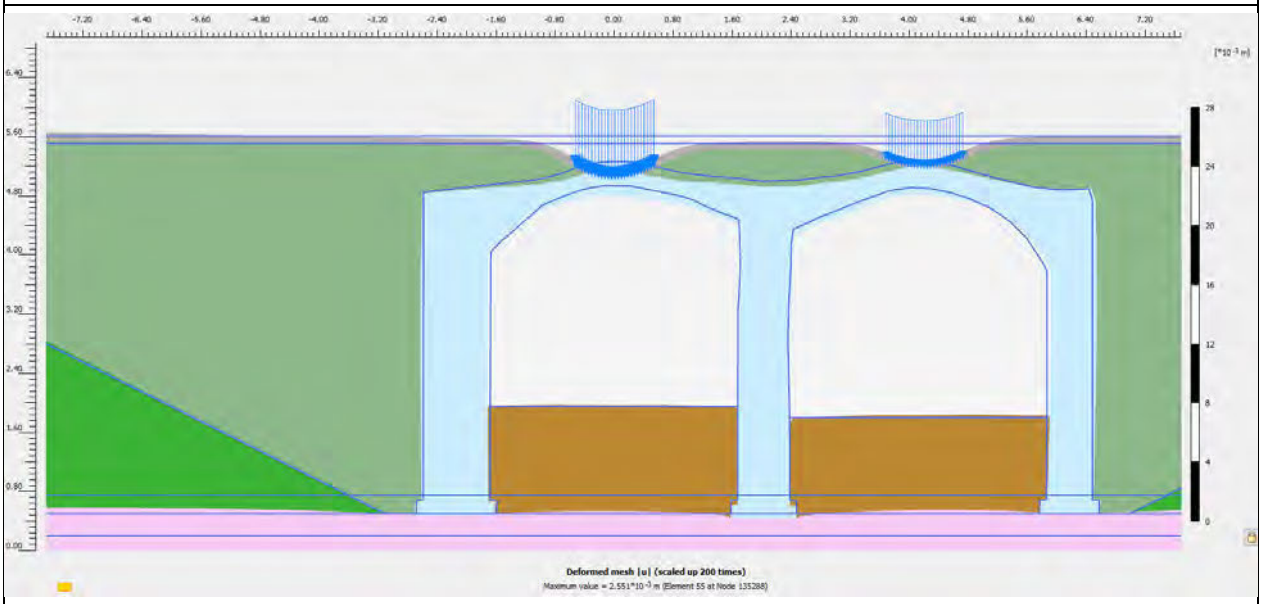
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen



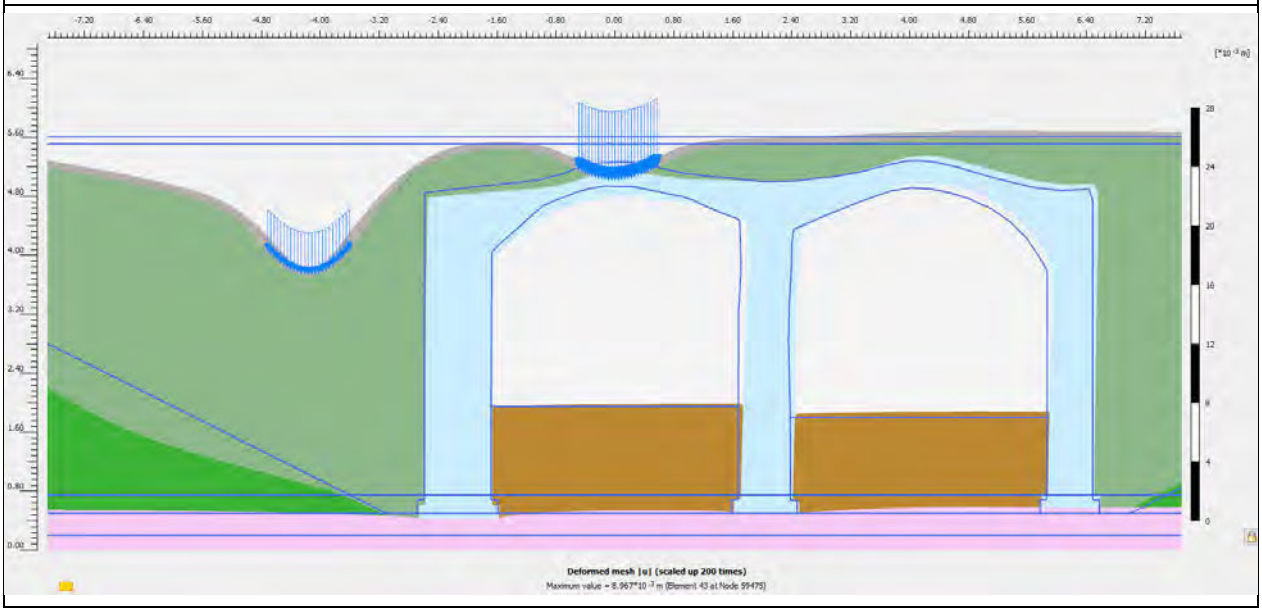
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen



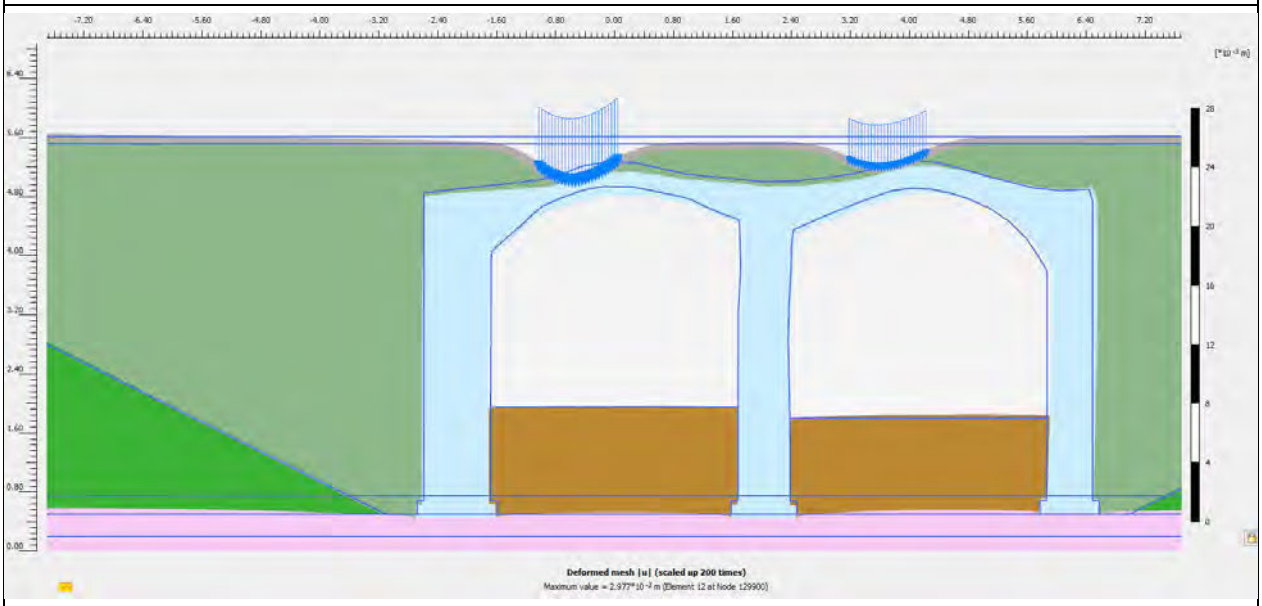
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen



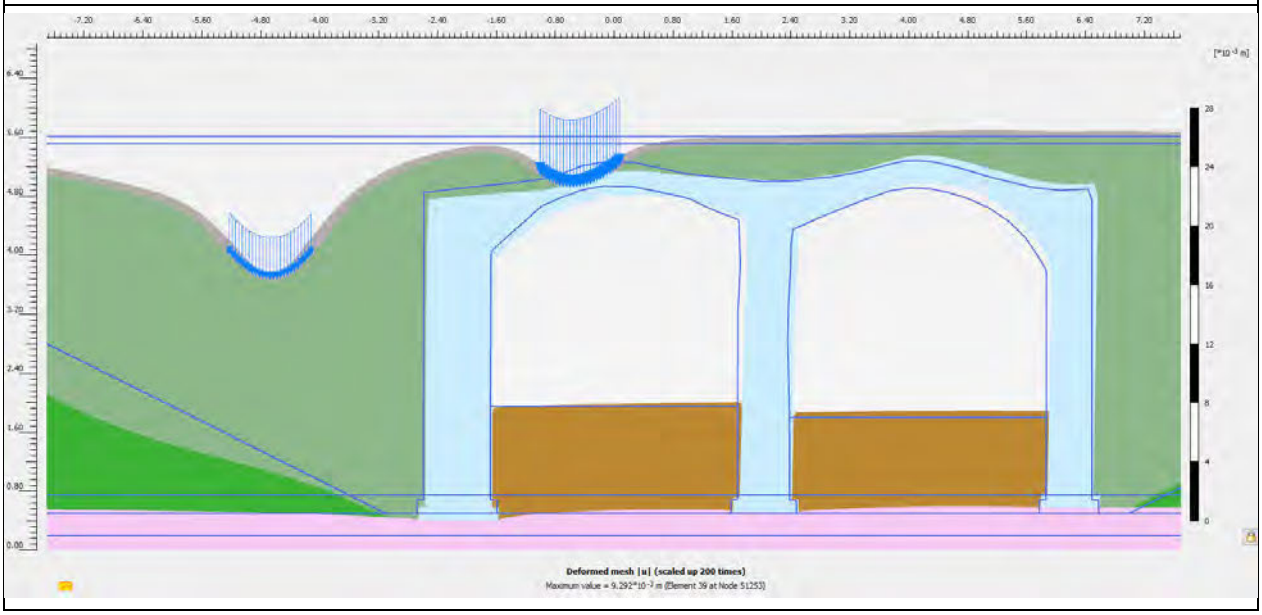
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen



Belastingpositie 3-A - Ladderwagen



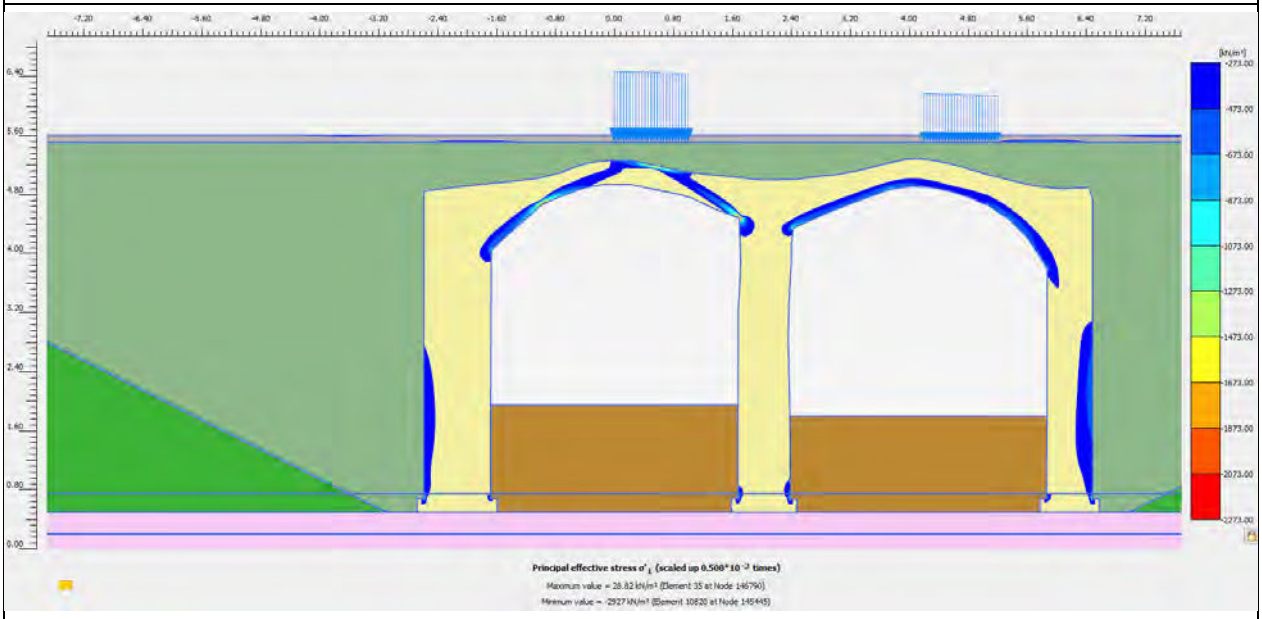
Belastingpositie 3-B - Ladderwagen



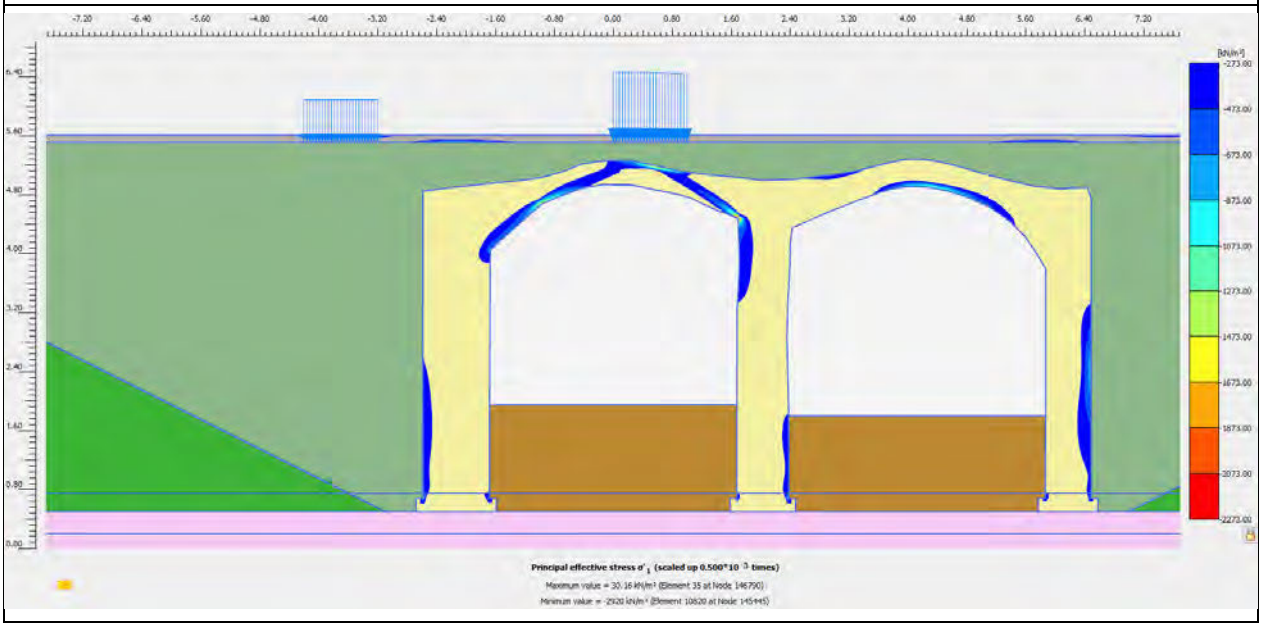
A5.4 UGT BM3

Drukspanningen PF (maximaal 5000/2,2 = 2273 kN/m^2)

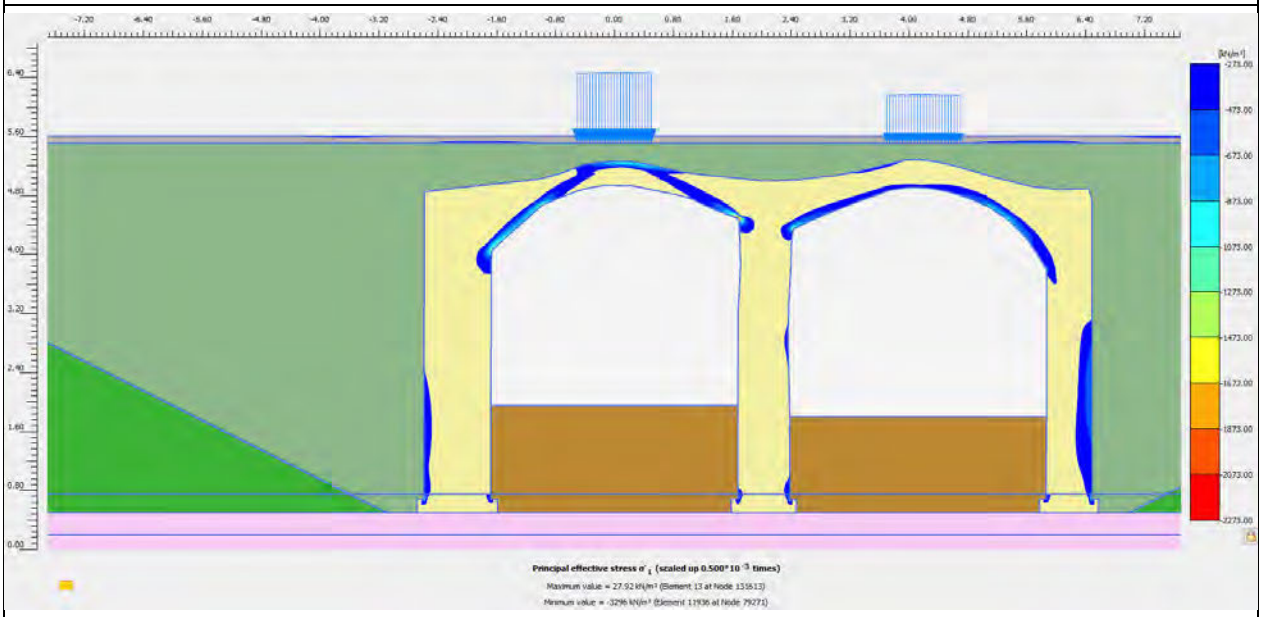
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



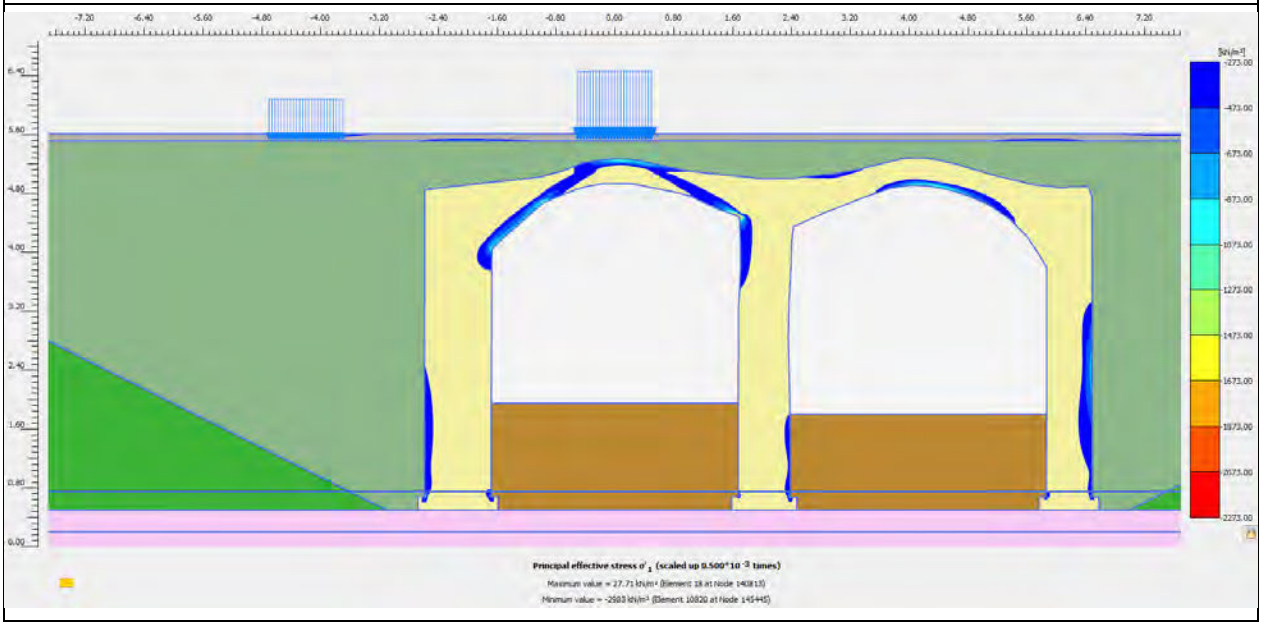
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



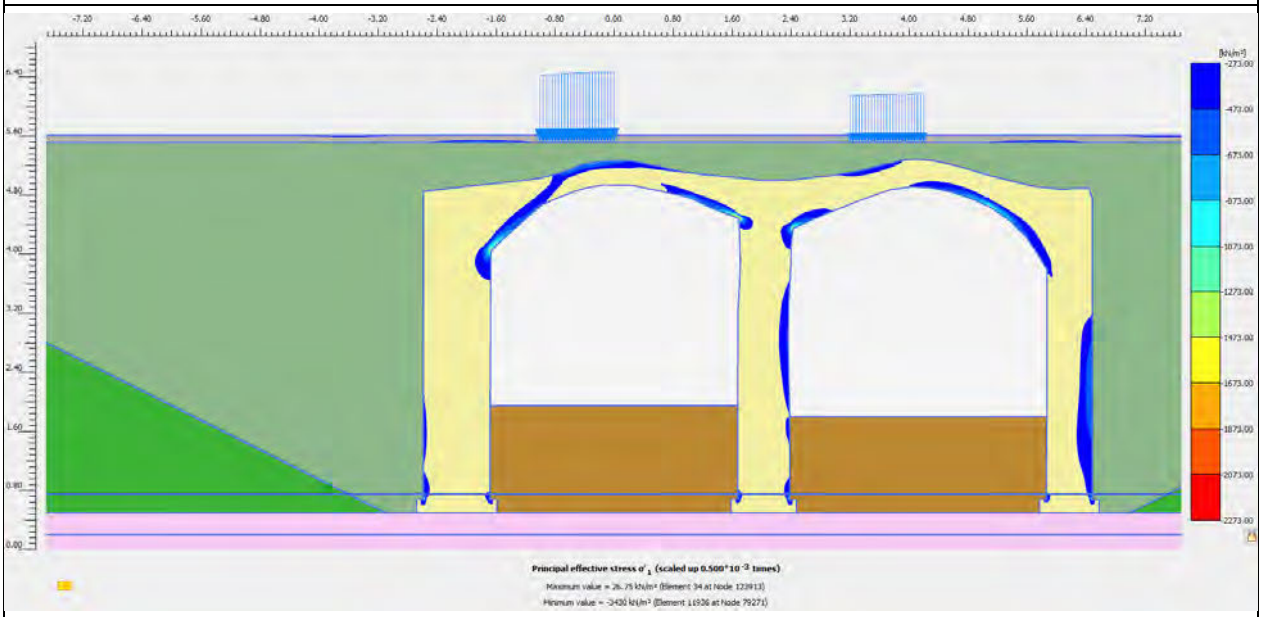
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



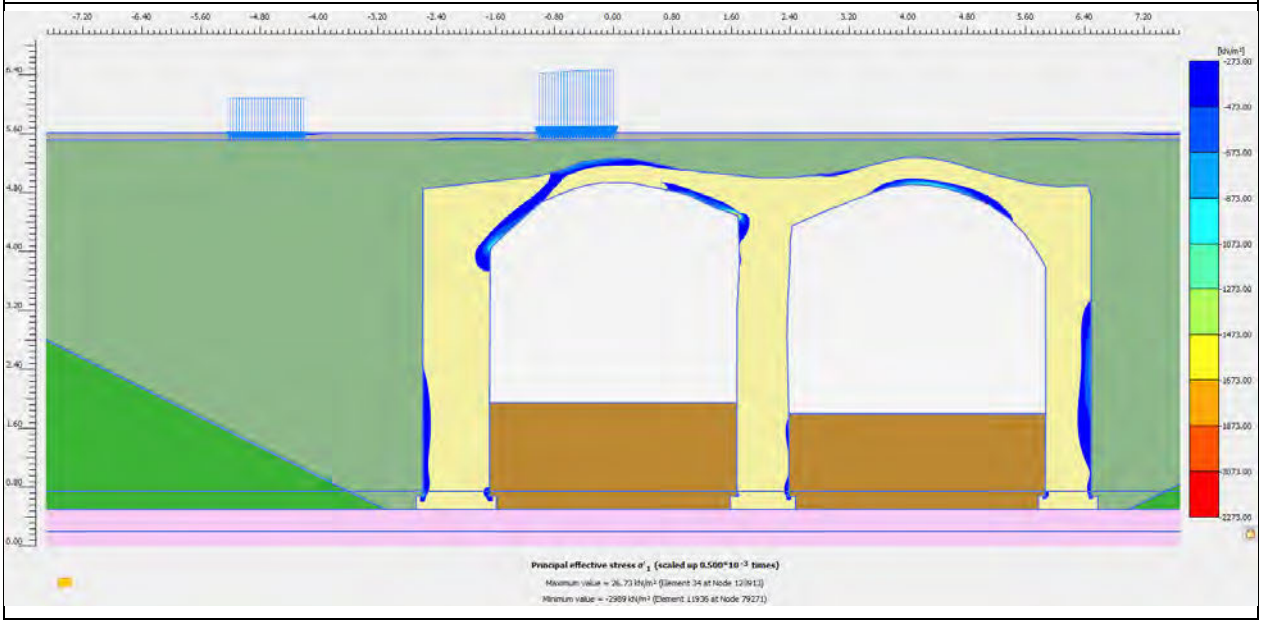
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



Belastingpositie 3-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

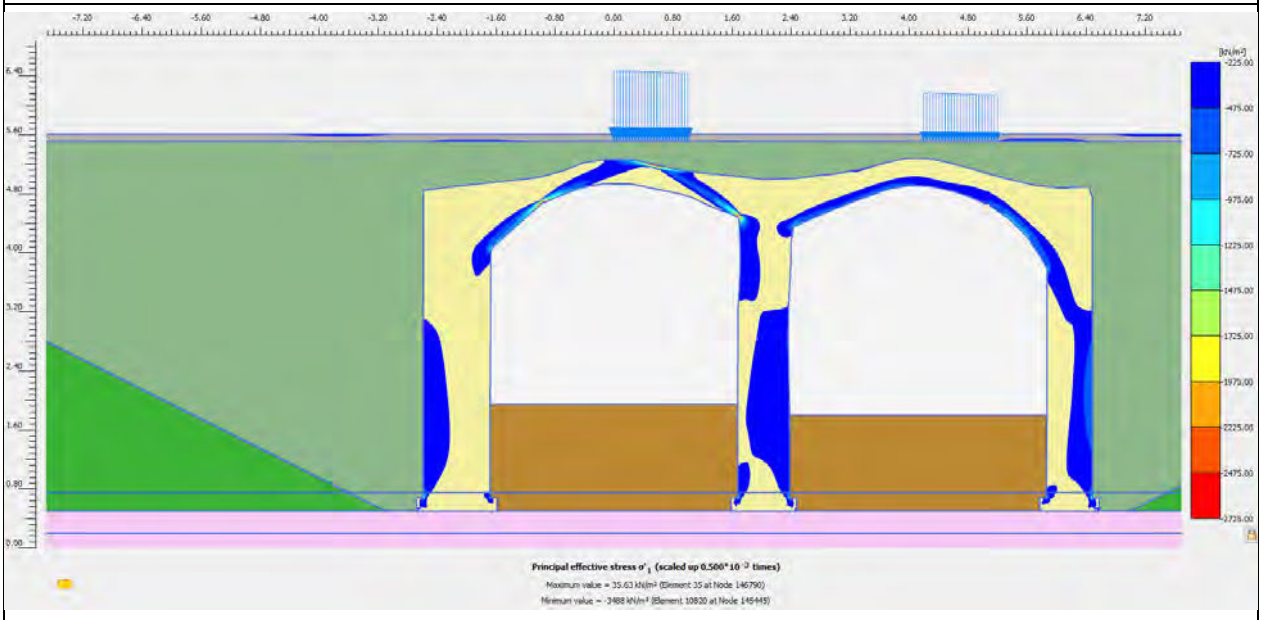


Belastingpositie 3-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

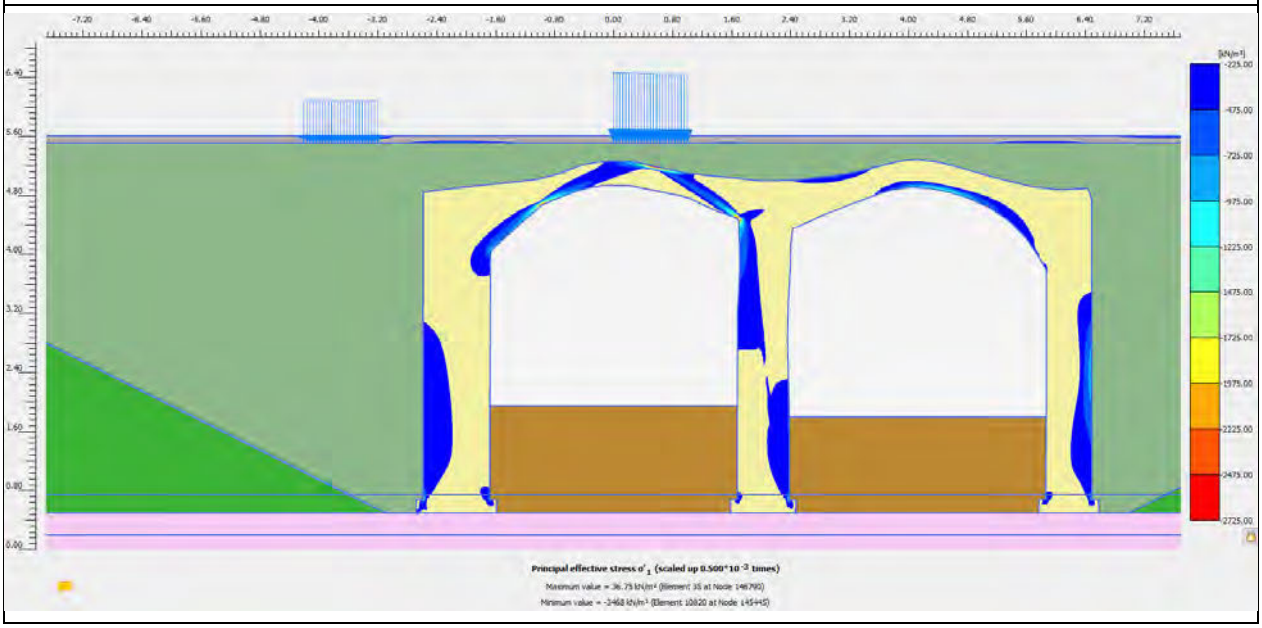


Drukspanningen GRF-2 (maximaal 5000/2,2*1,2 = 2725 kN/m^2)

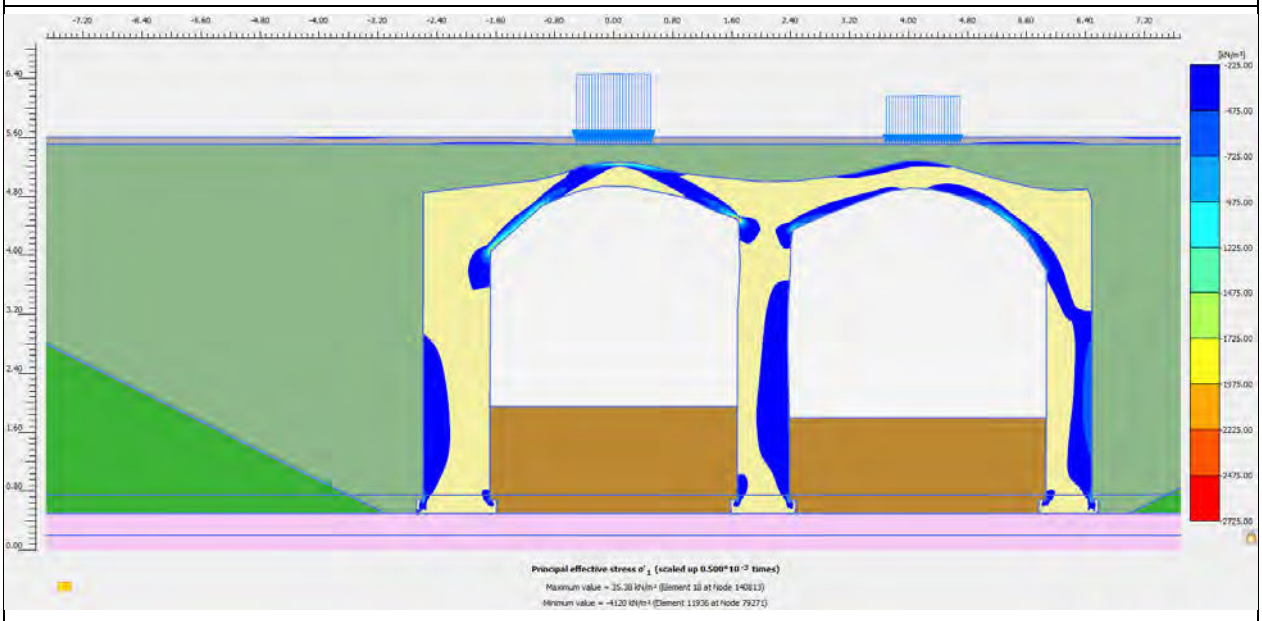
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



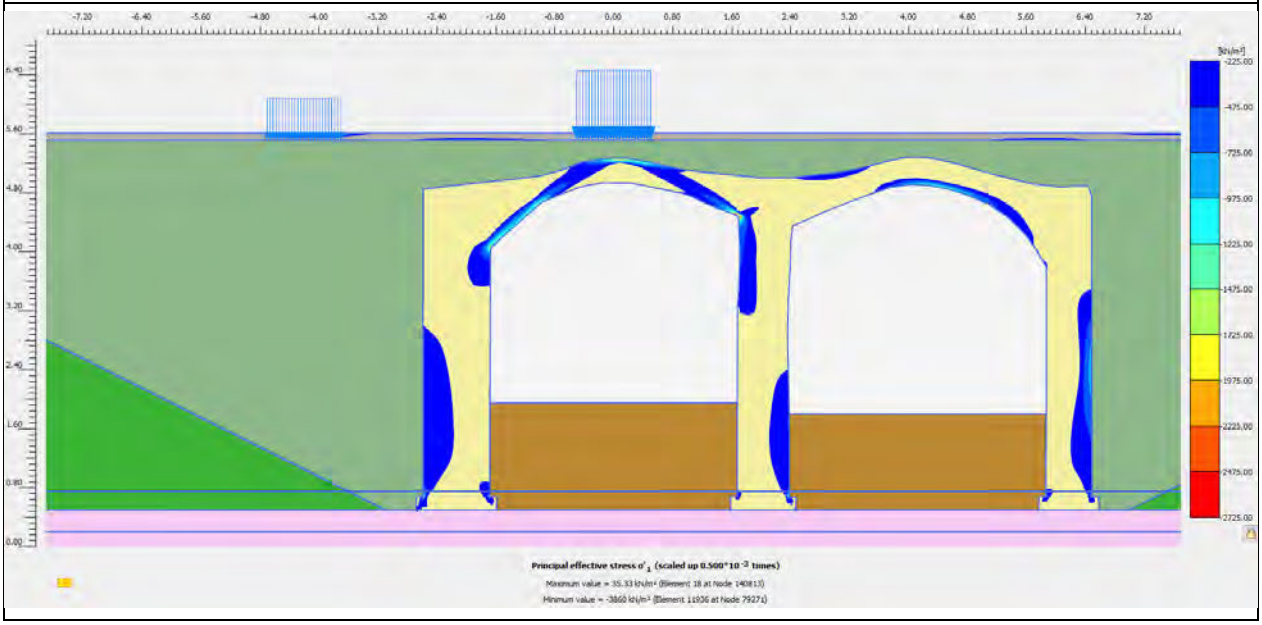
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



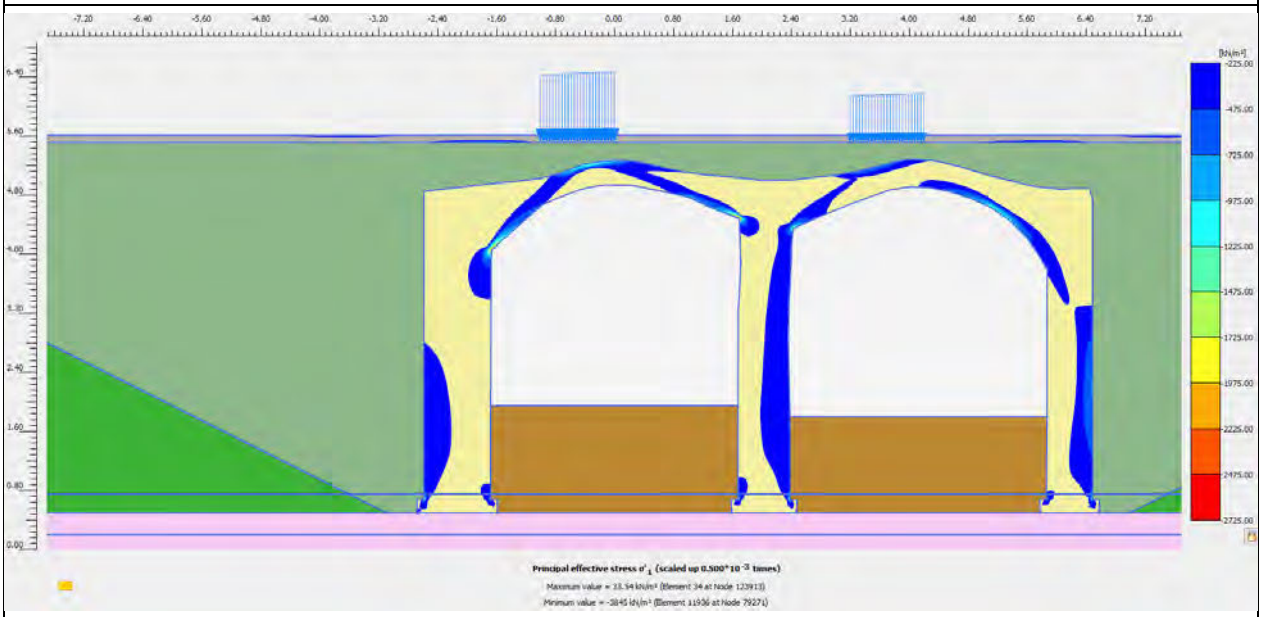
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



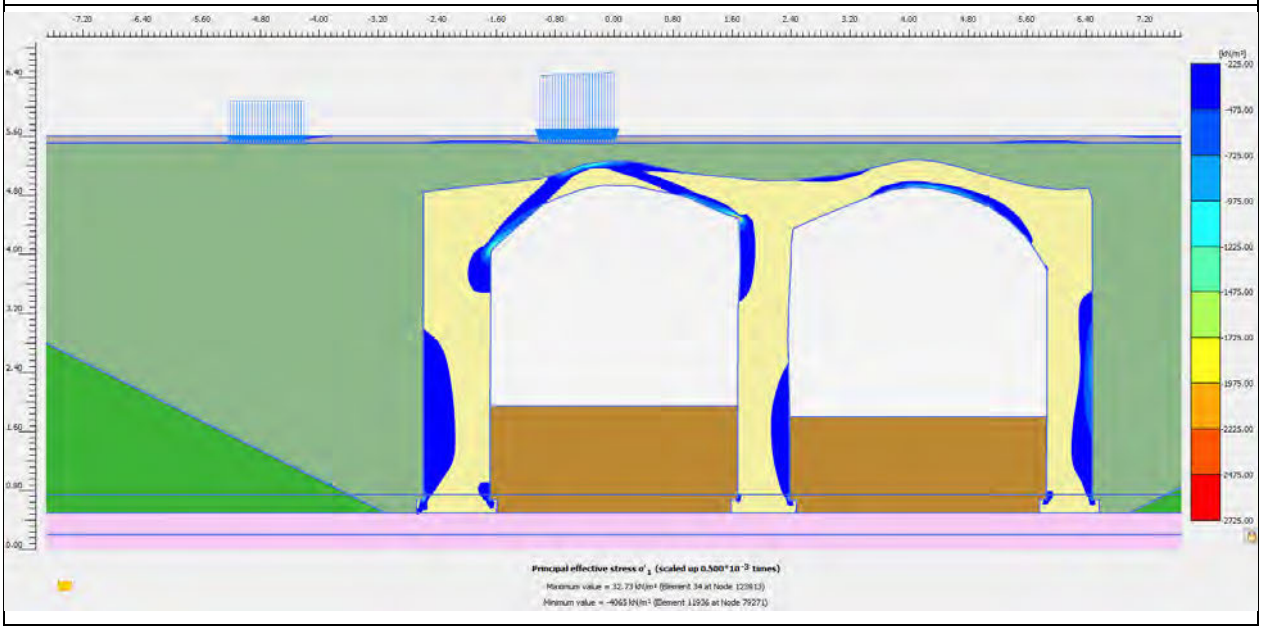
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



Belastingpositie 3-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

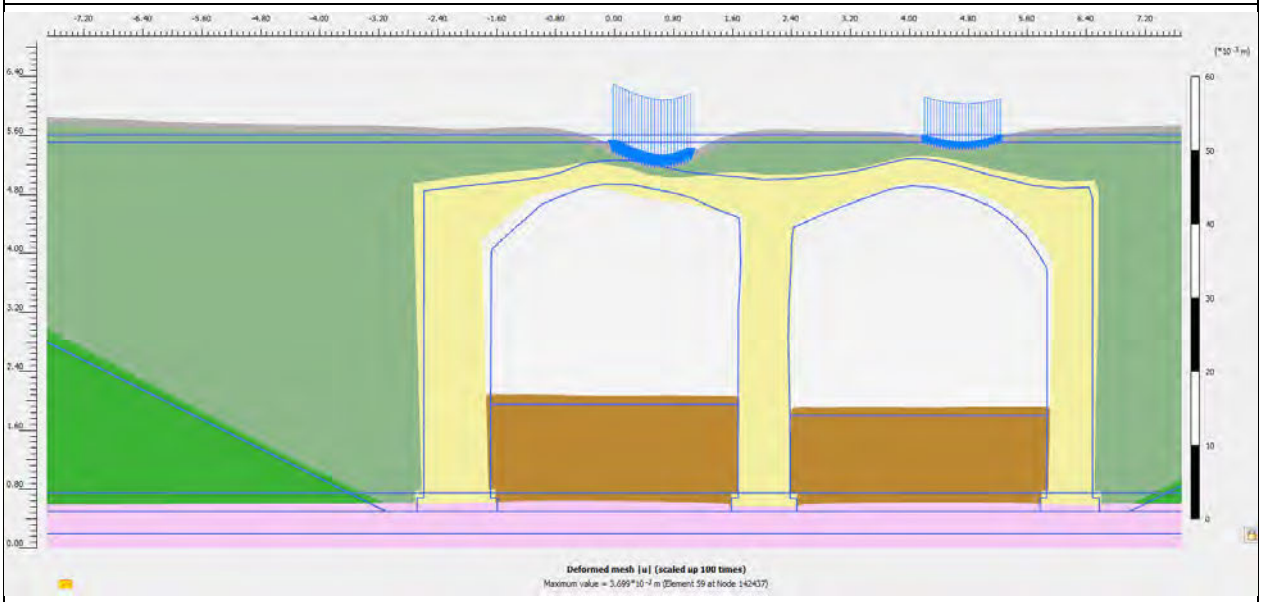


Belastingpositie 3-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

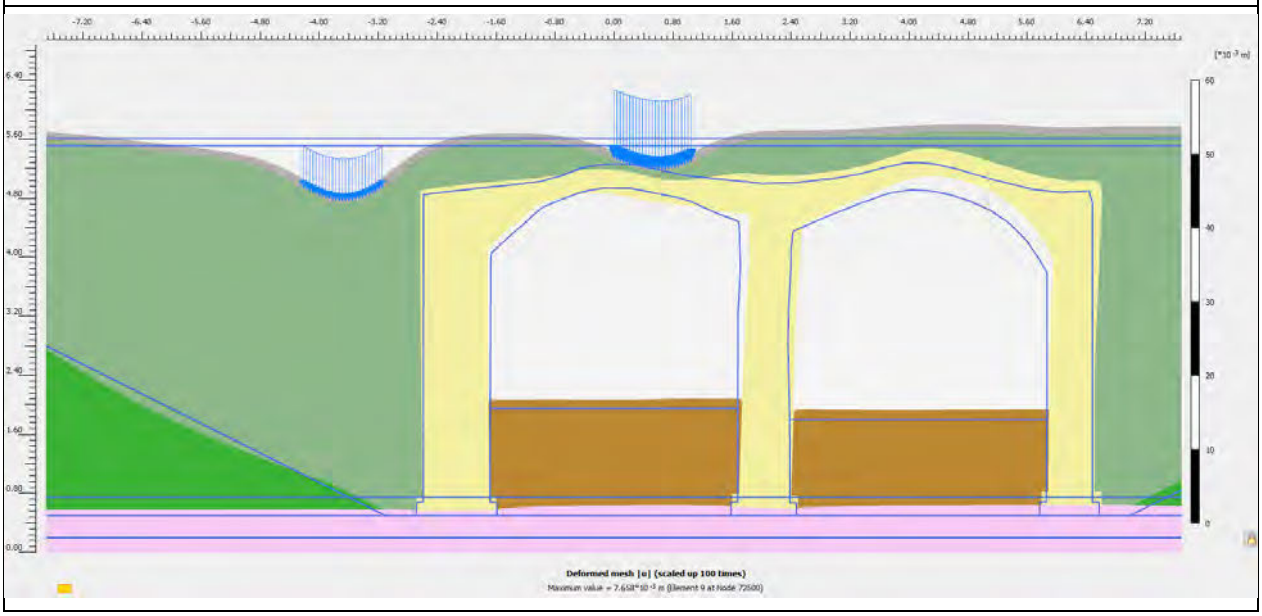


Vervorming PF-methode (x100)

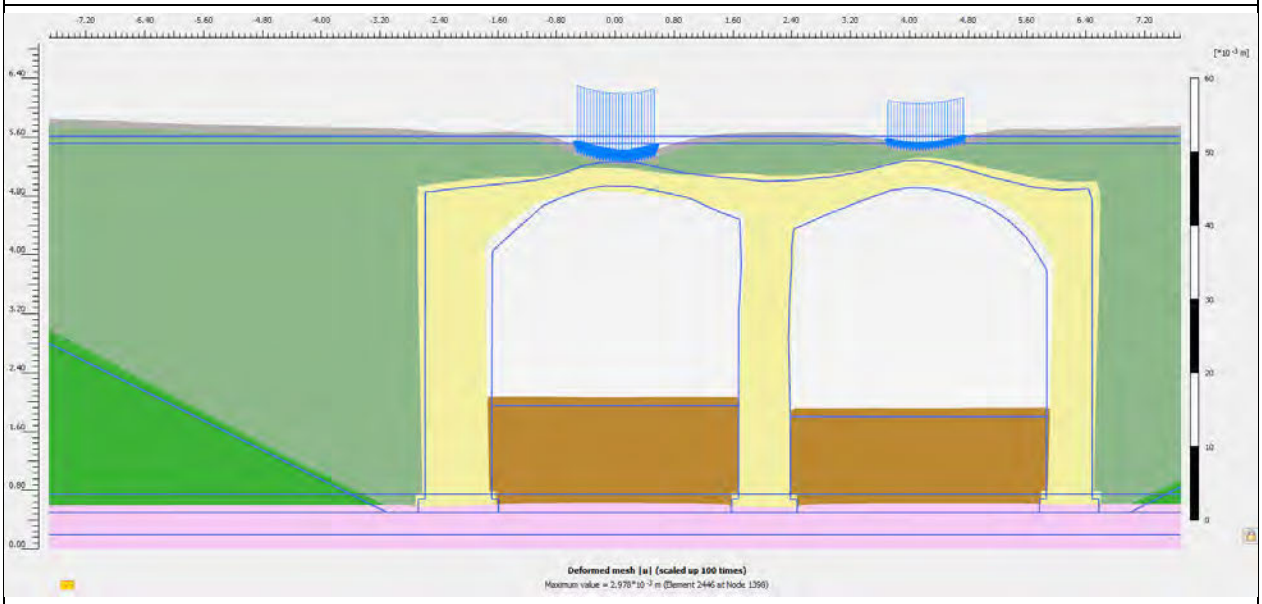
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen



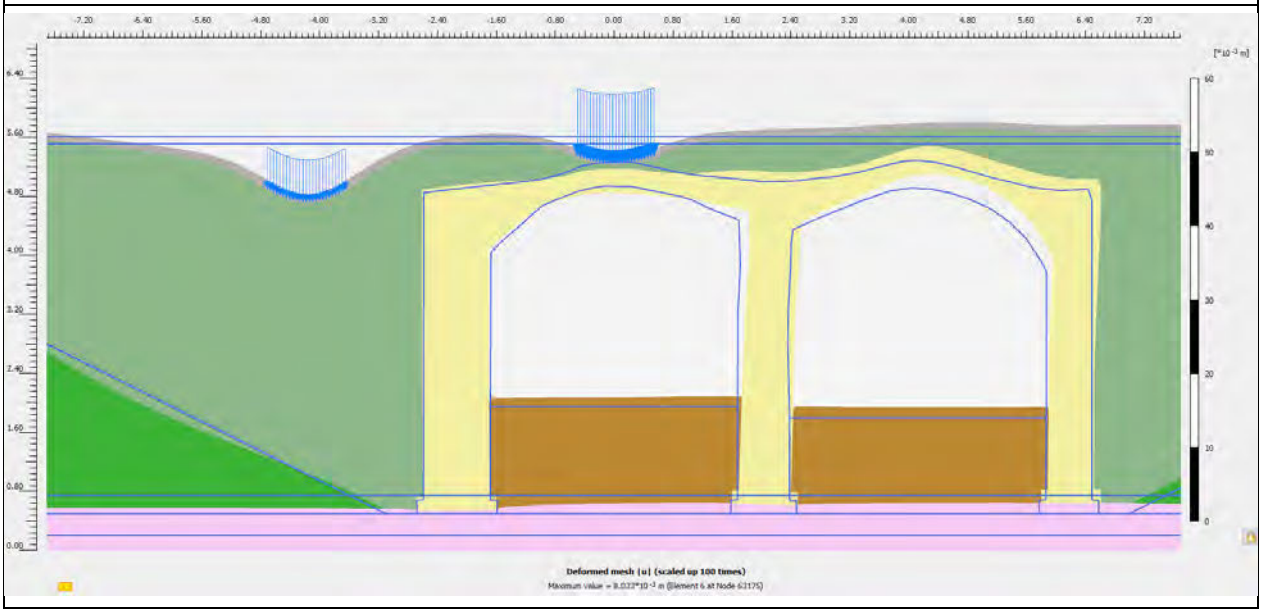
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen



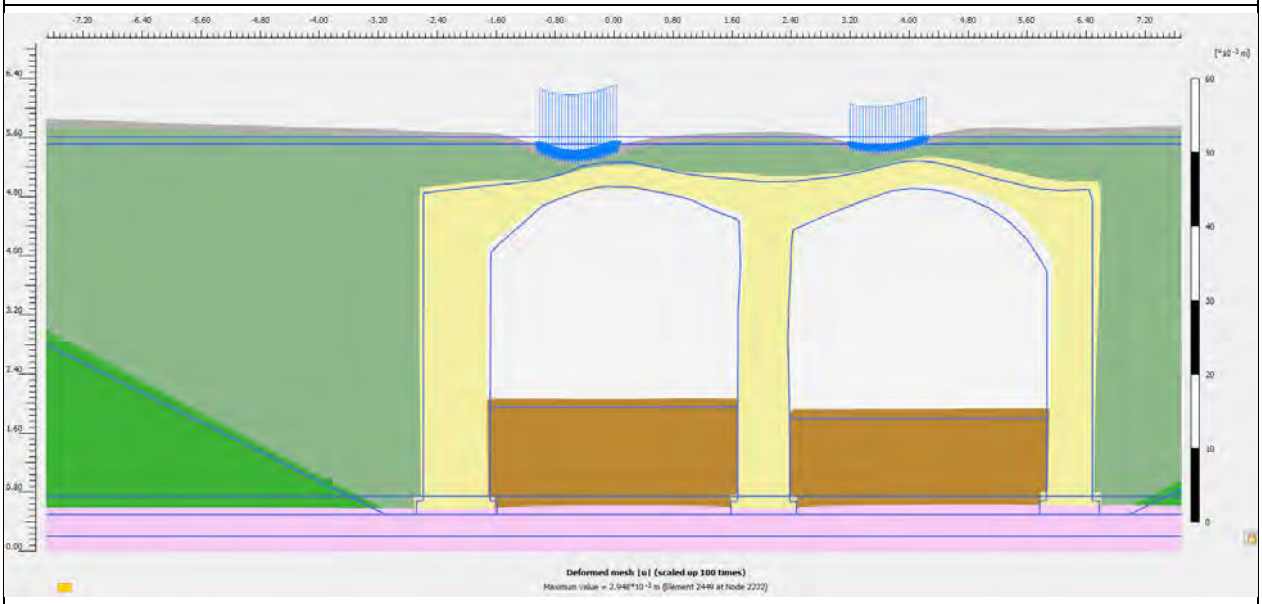
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen



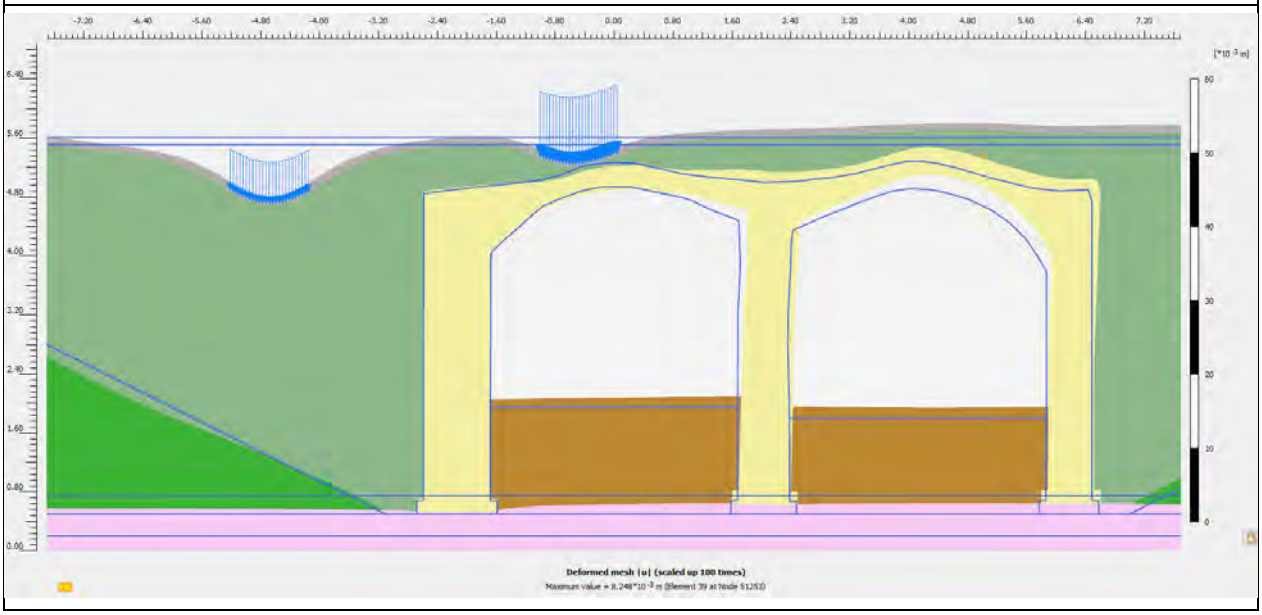
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen



Belastingpositie 3-A - Ladderwagen

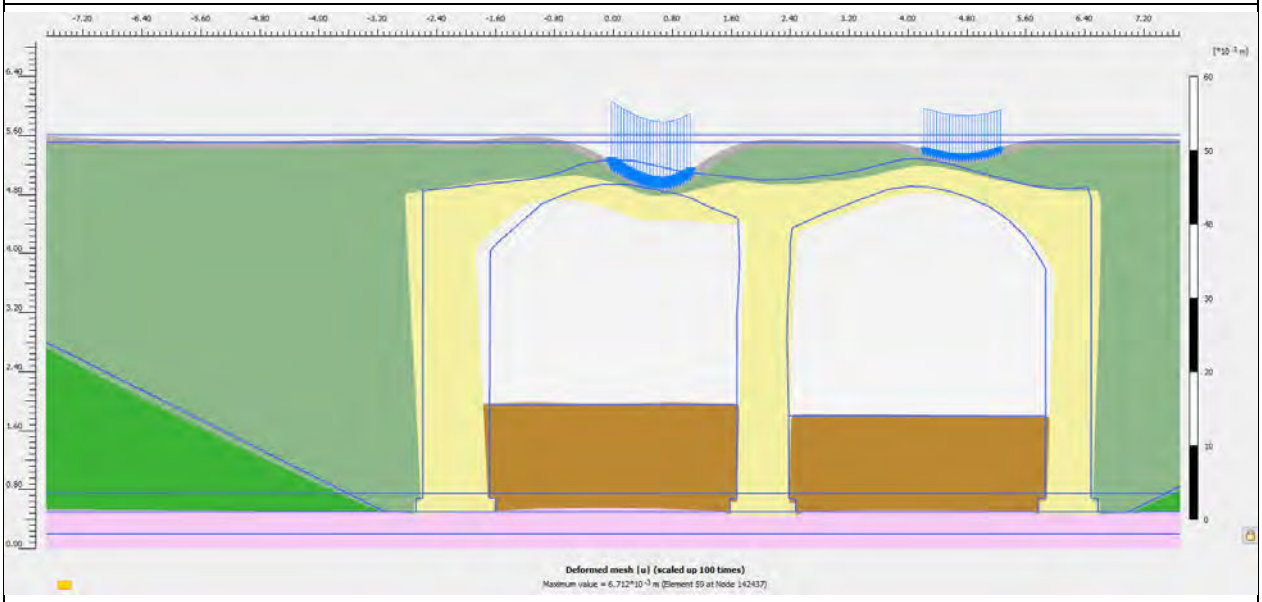


Belastingpositie 3-B - Ladderwagen

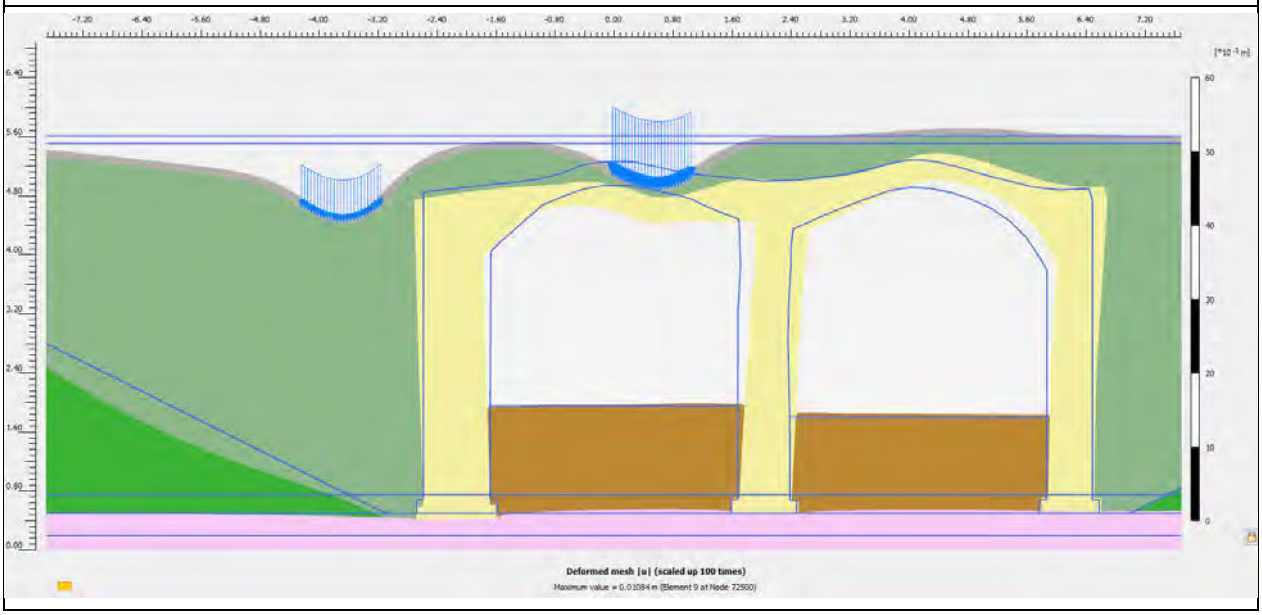


Vervorming GRF-2-methode (50x)

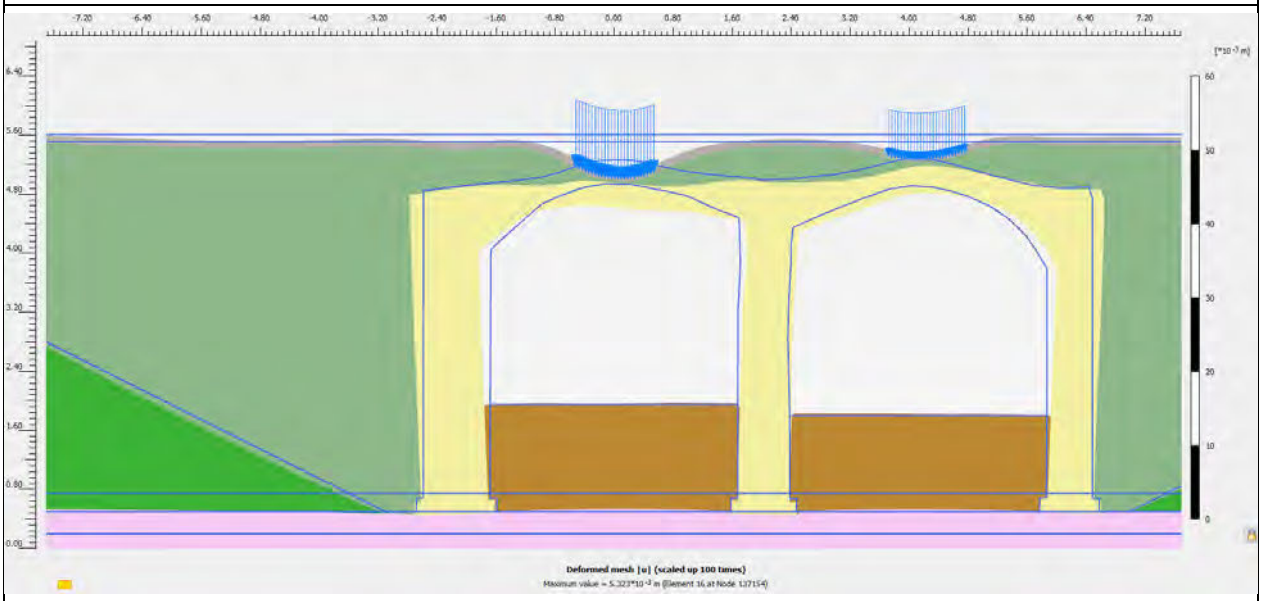
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen



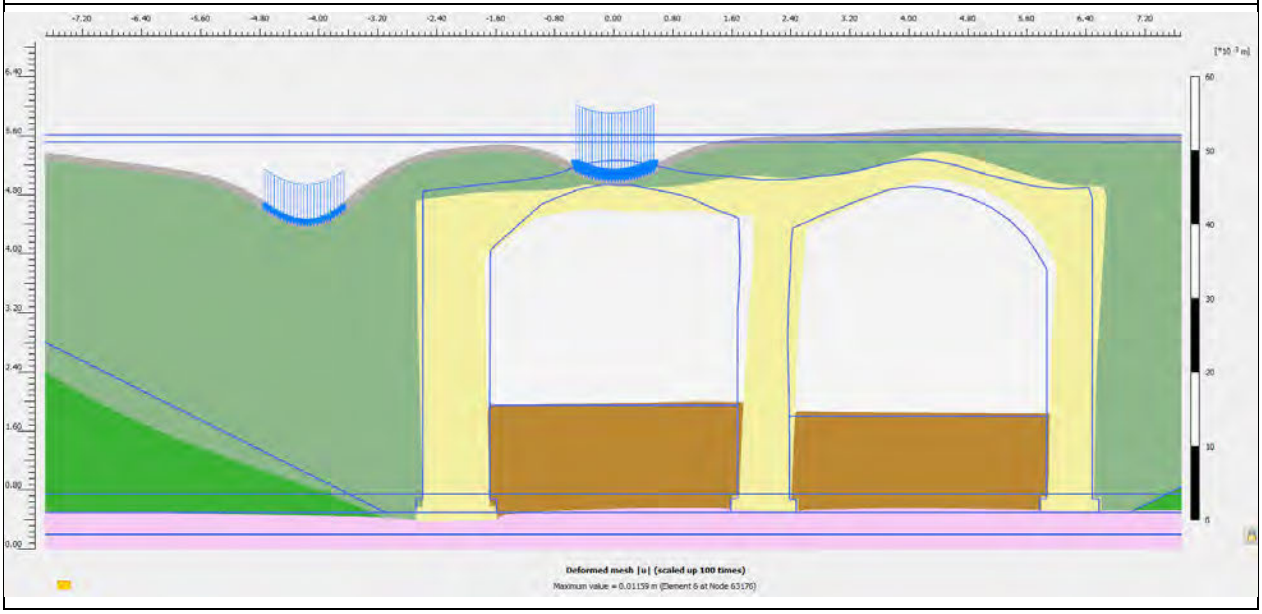
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen



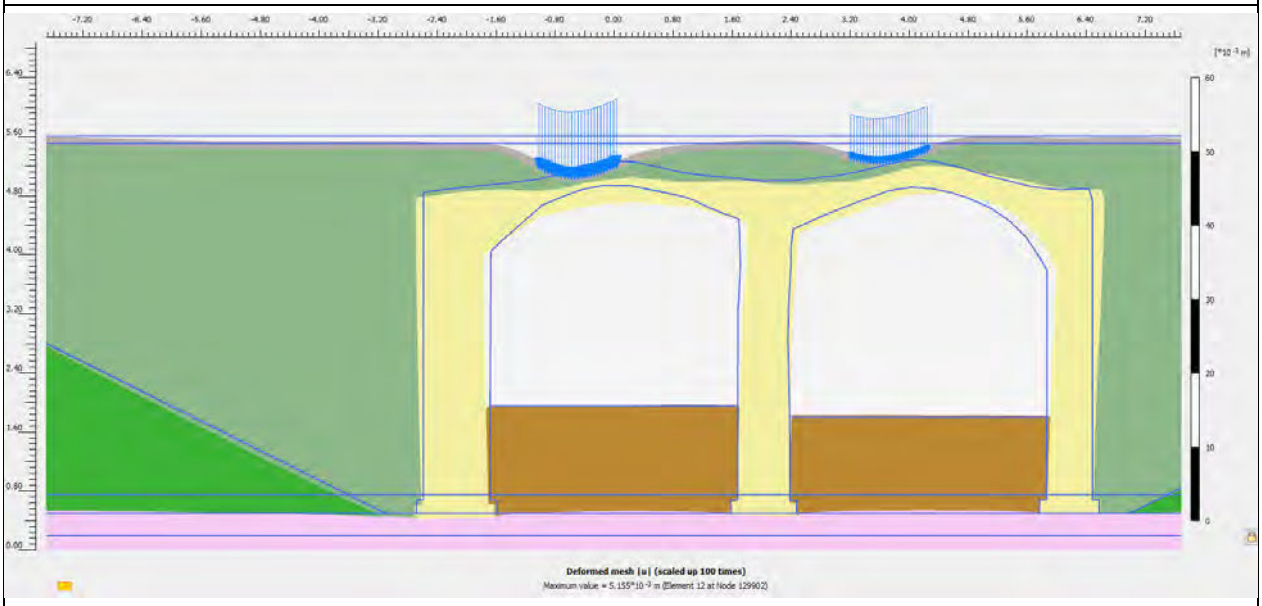
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen



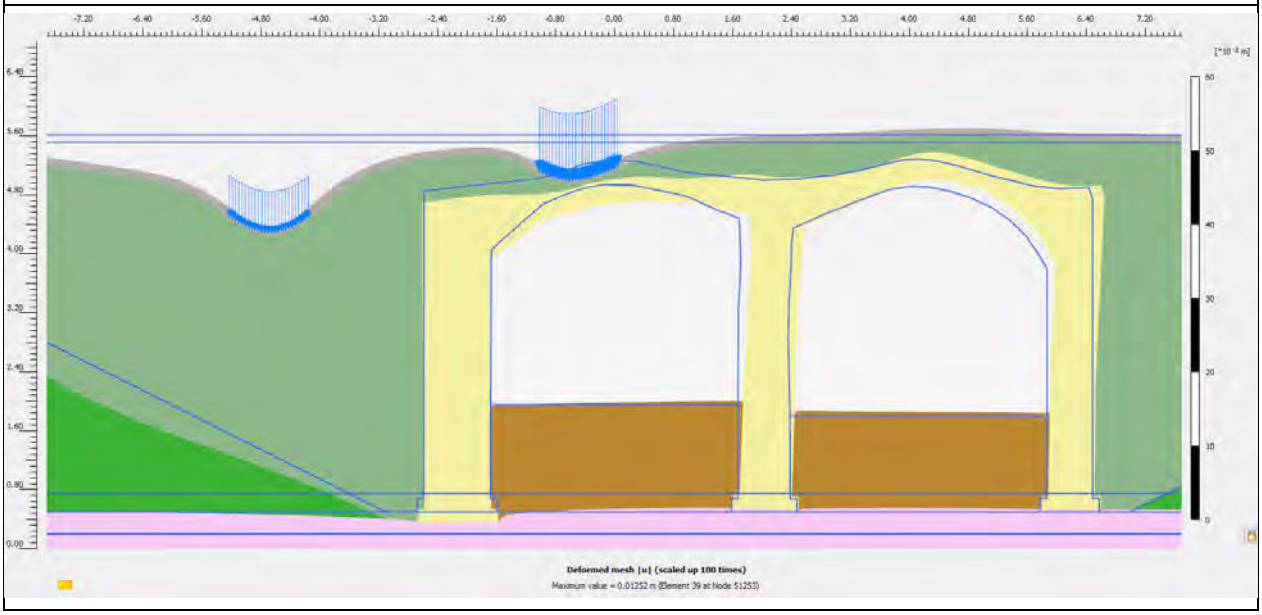
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen



Belastingpositie 3-A - Ladderwagen



Belastingpositie 3-B - Ladderwagen

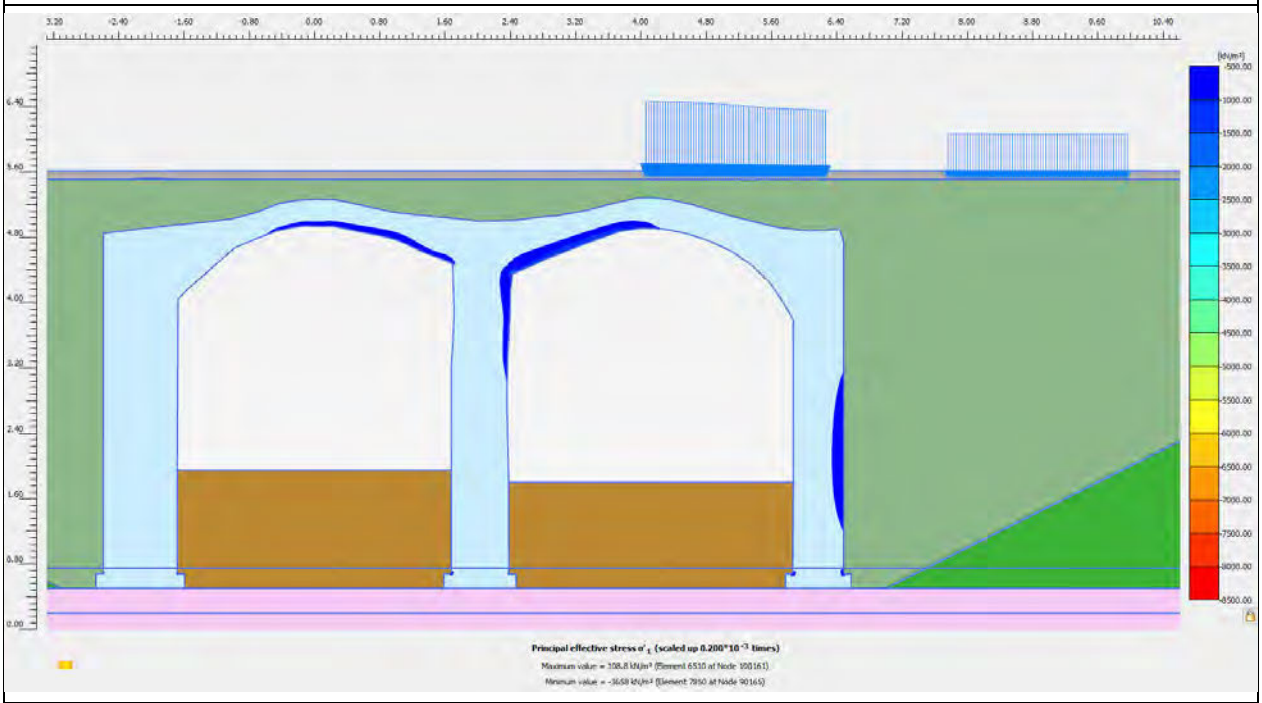


A6 Plaxis-resultaten Choorstraat [redacted] (2 belastingposities BM1)

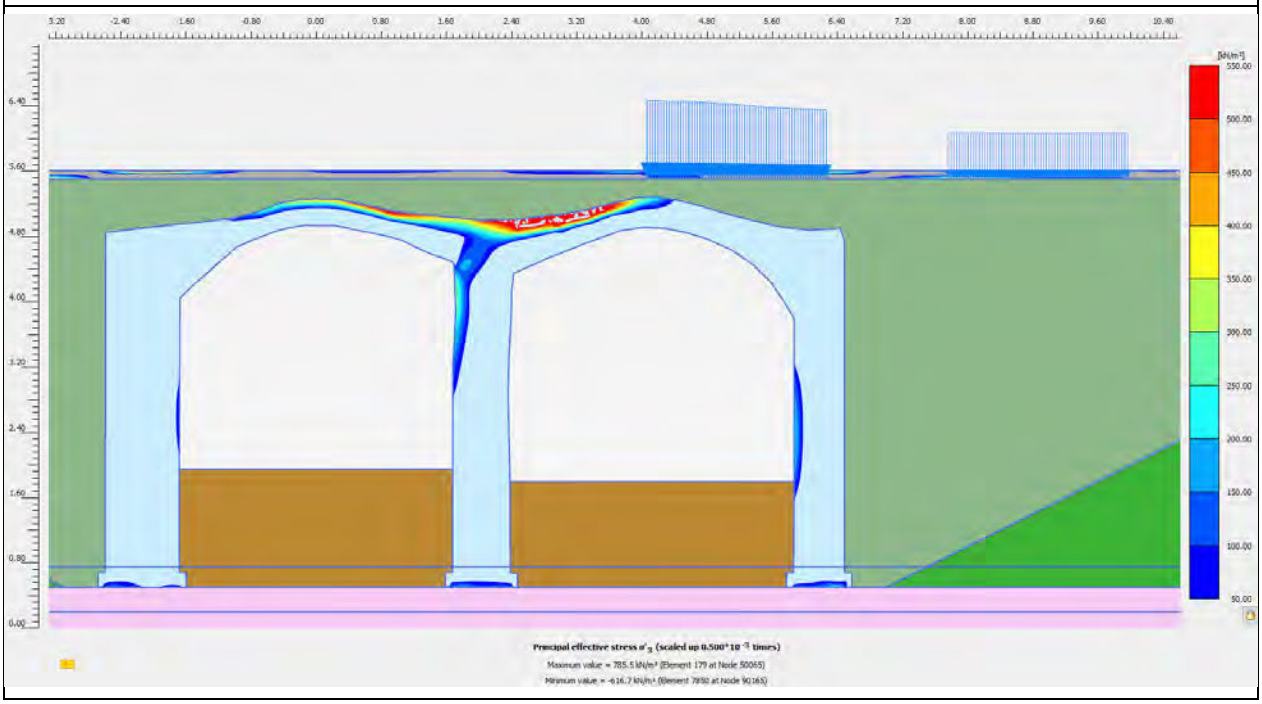
A6.1 BGT lastbeperking BM1

Druk- en trekspanningen

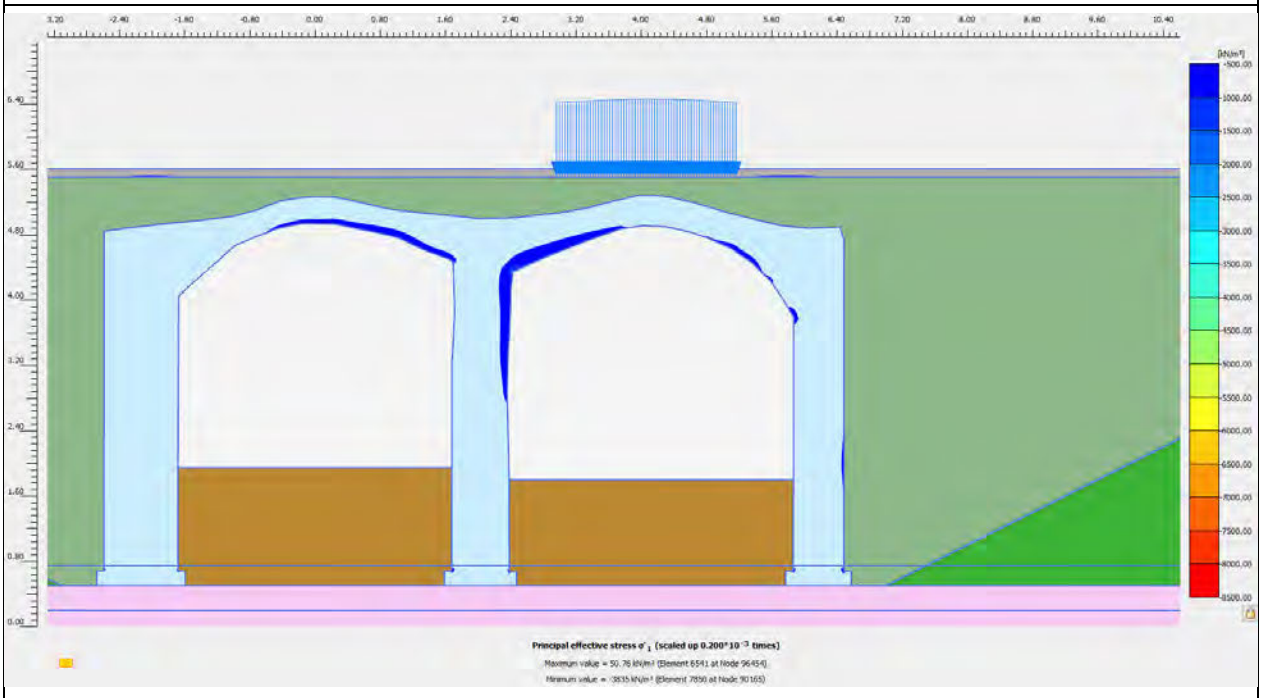
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



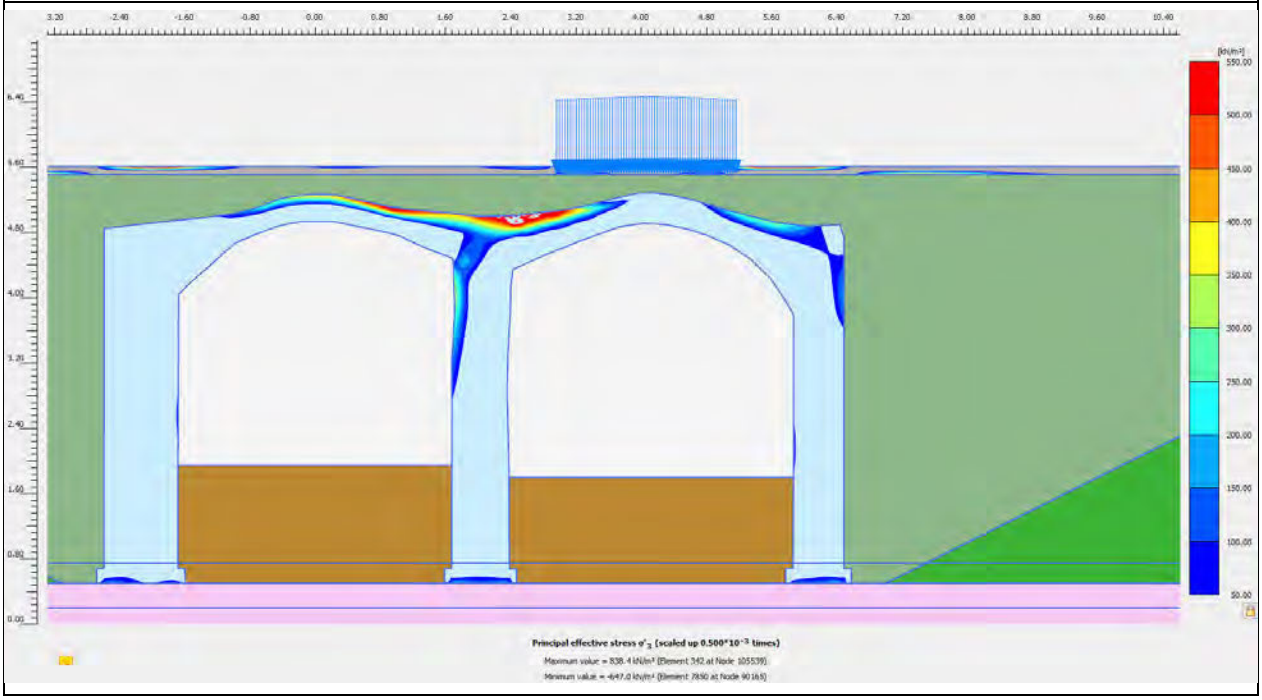
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)

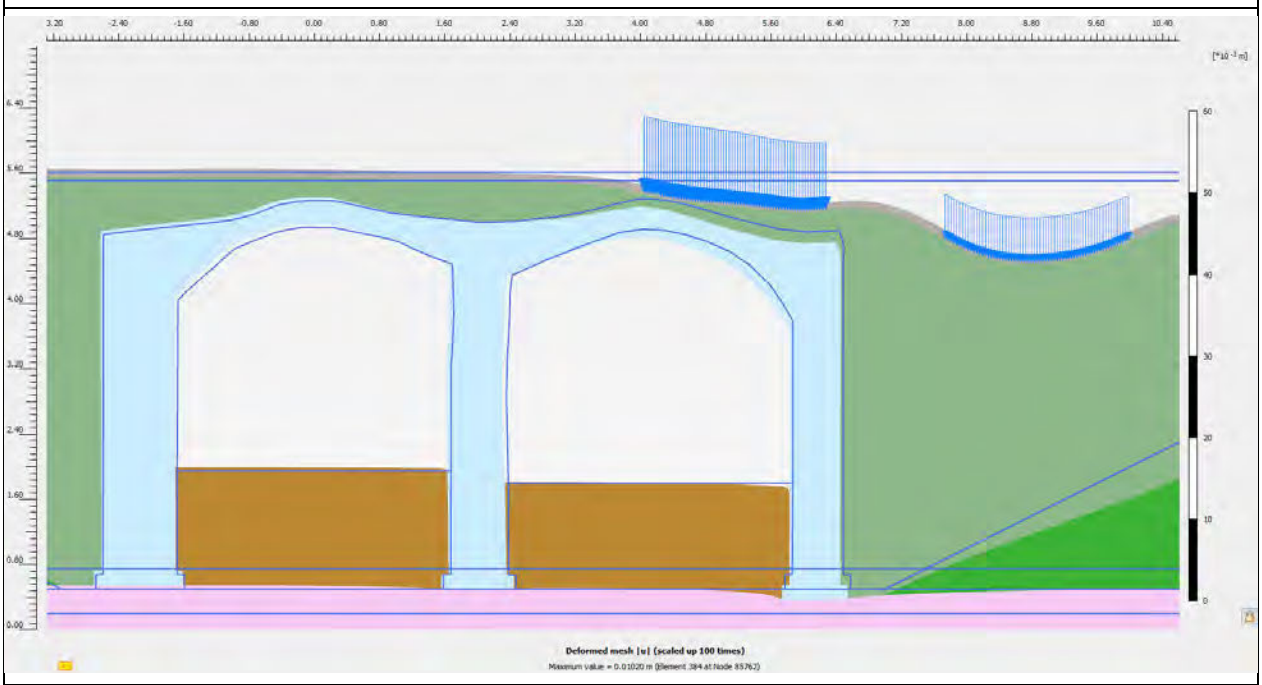


Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)

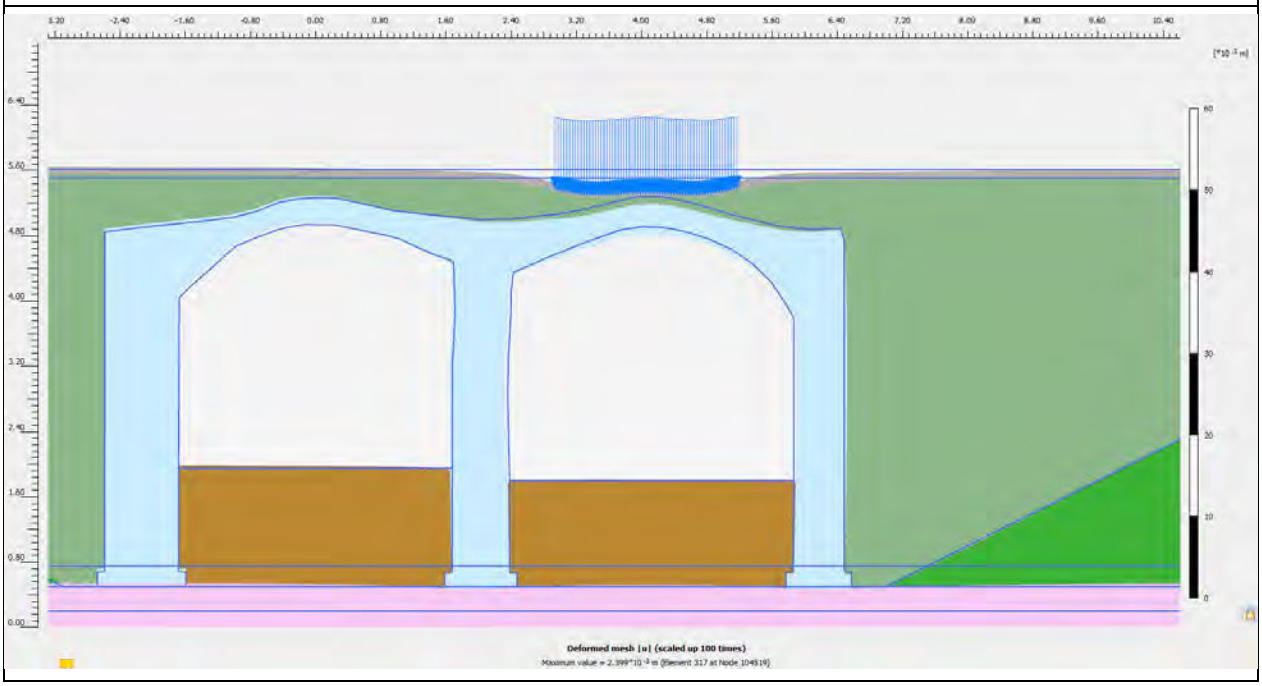


Vervormingen (100x vergroot)

Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



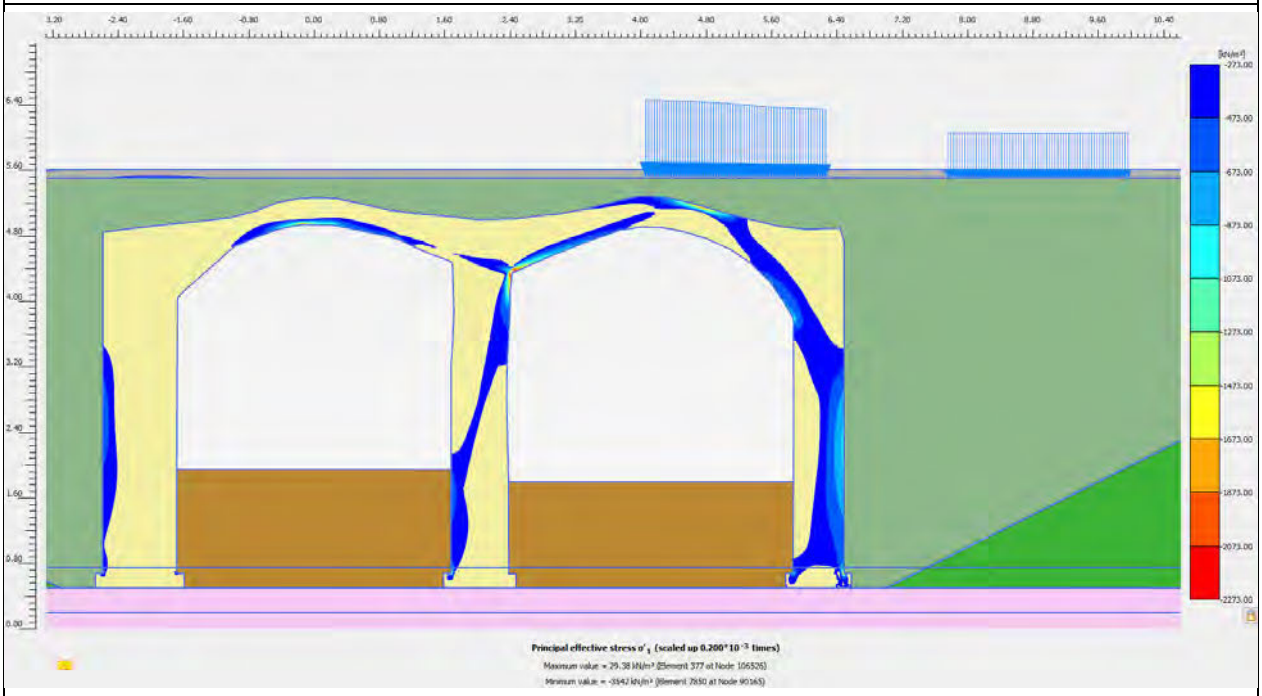
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



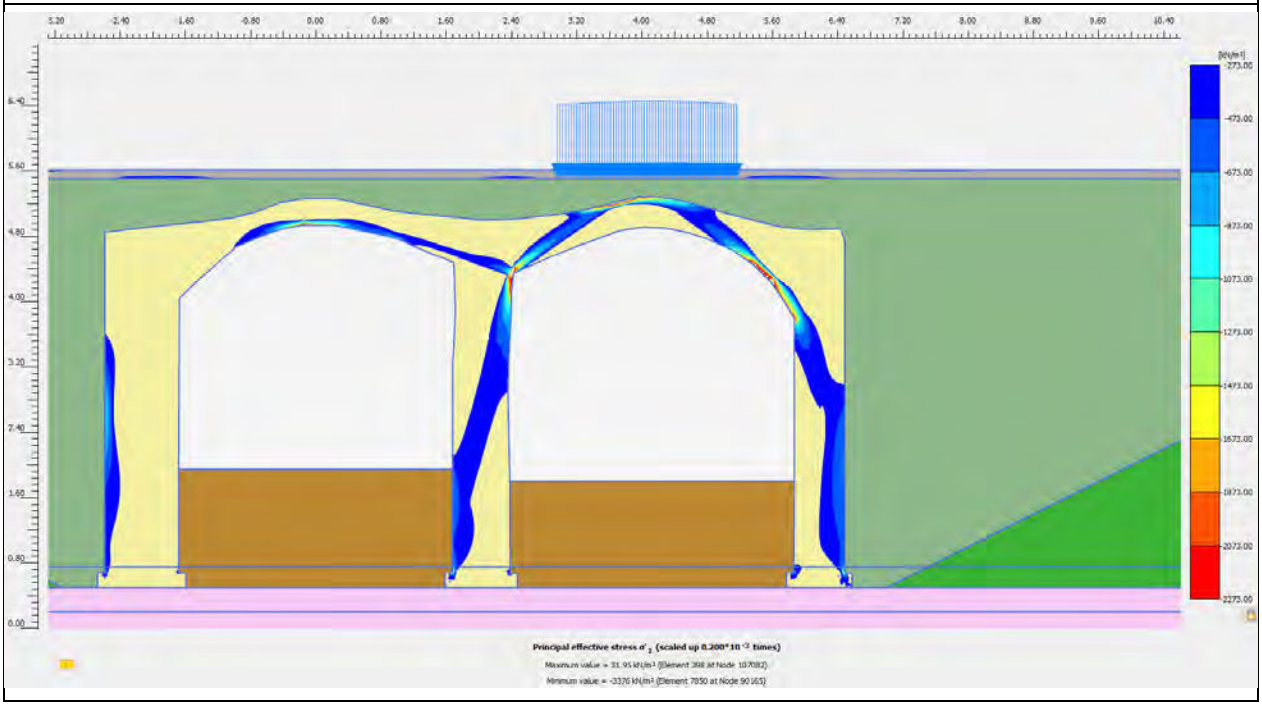
A6.2 UGT lastbeperking BM1

Drukspanningen PF-methode (maximaal 5000/2,2 = 2273 kN/m^2)

Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 9 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

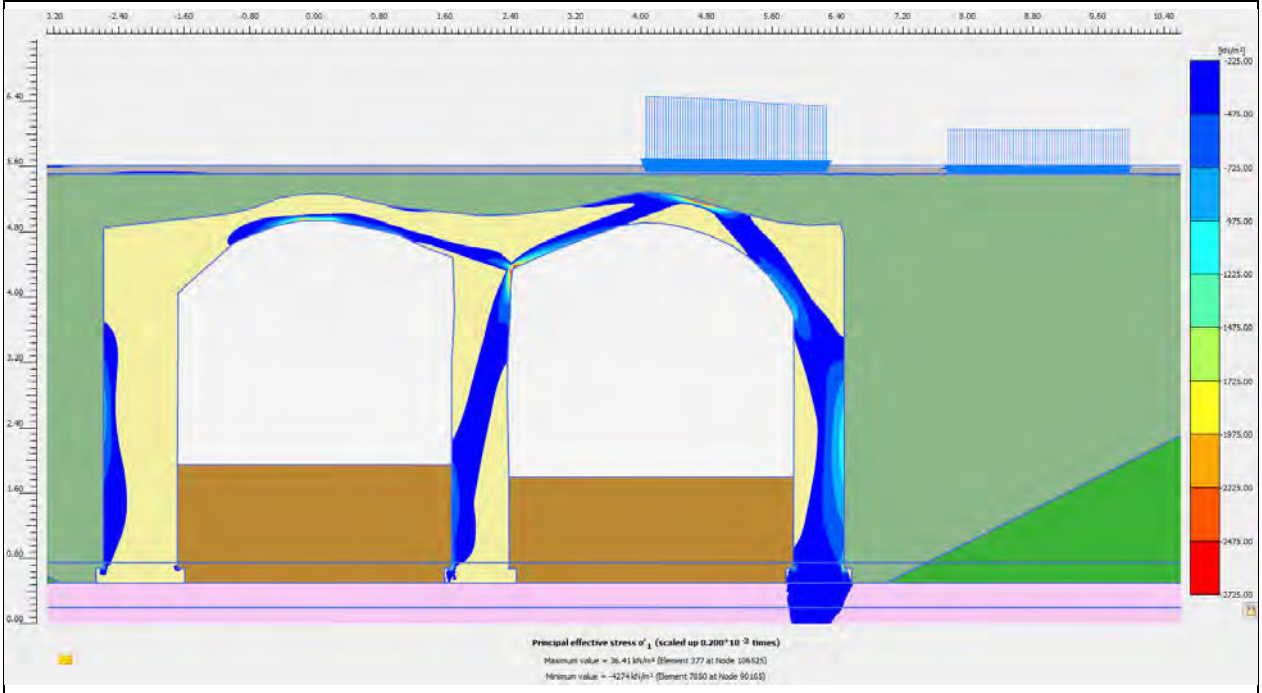


Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 9 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

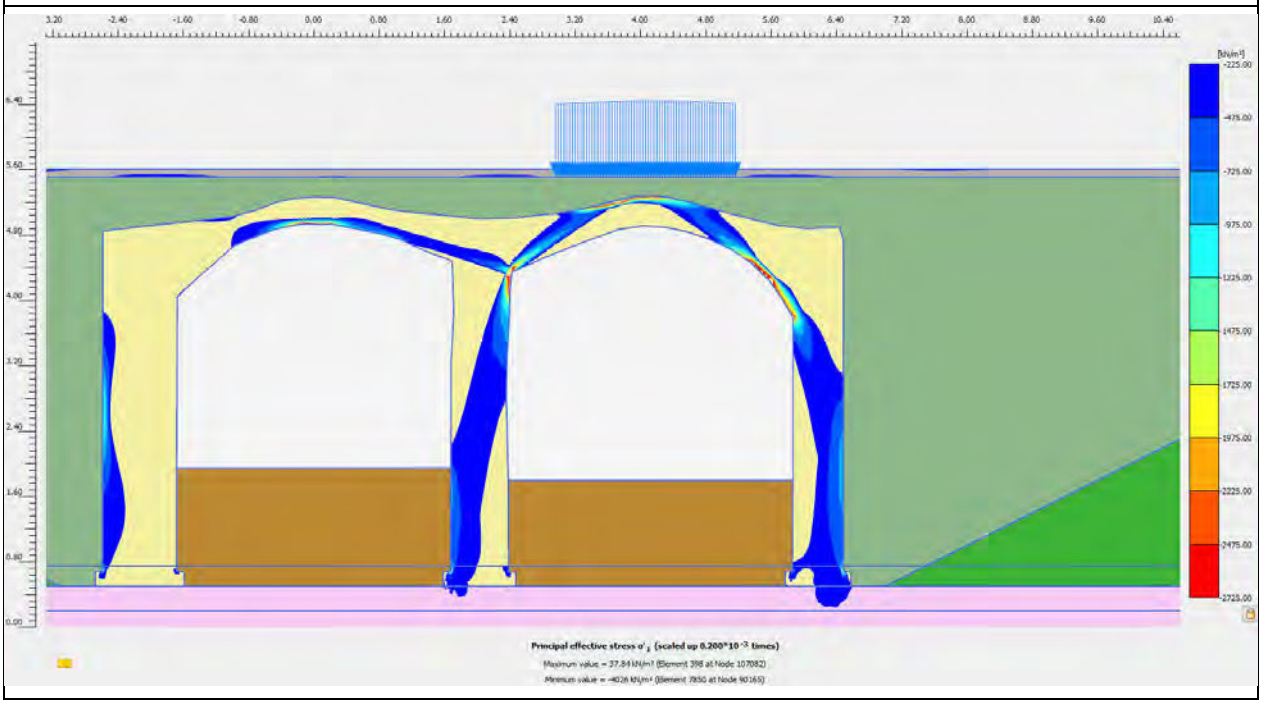


Drukspanningen GRF-2 (maximaal 5000/2,2*1,2 = 2725 kN/m^2)

Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 9 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

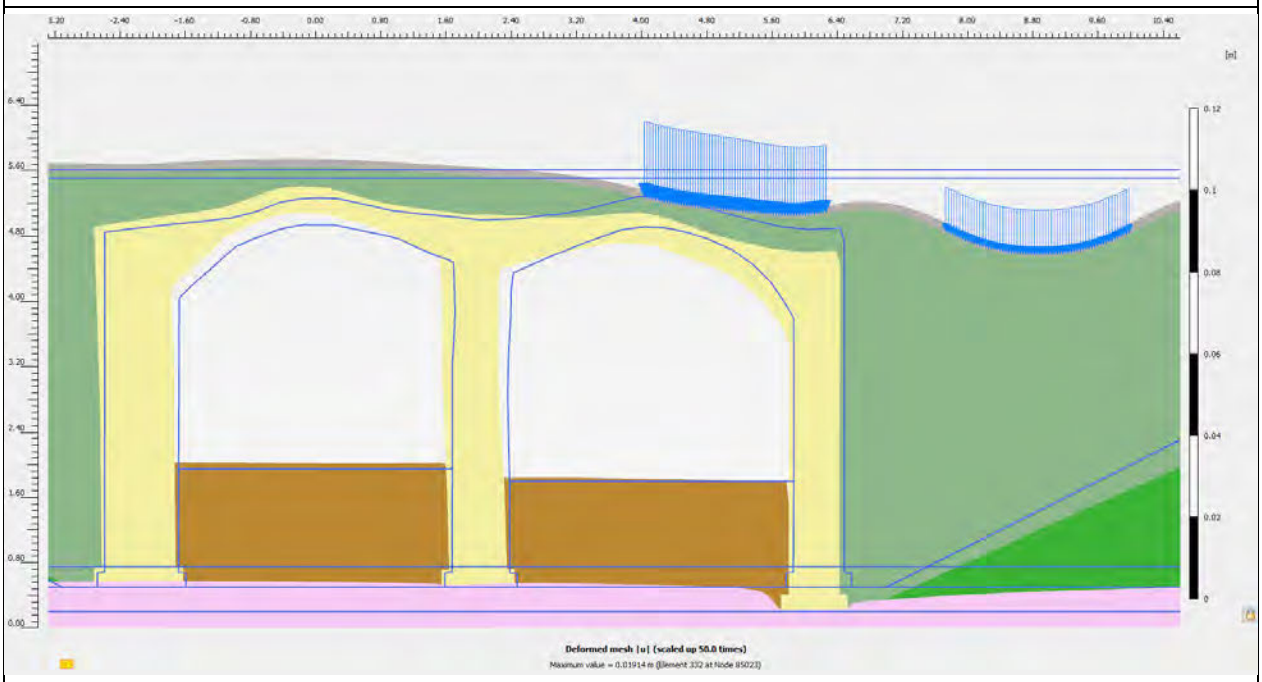


Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 9 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

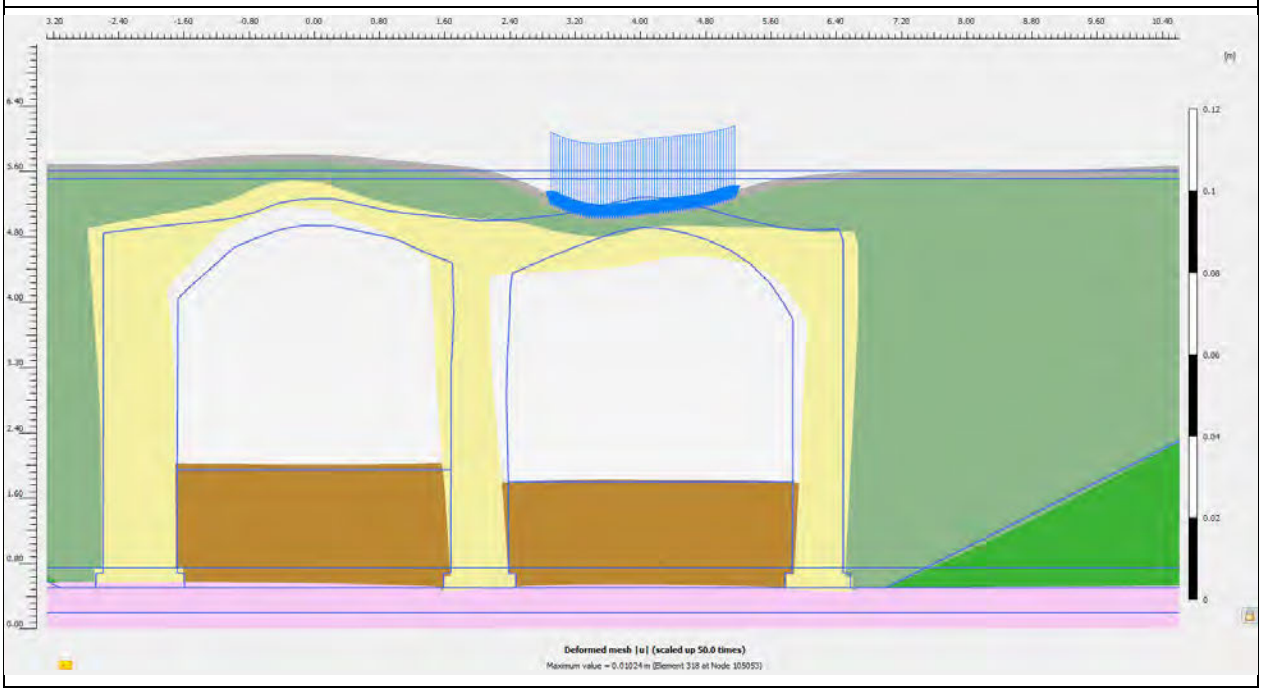


Vervorming PF-methode (x50)

Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 9 ton

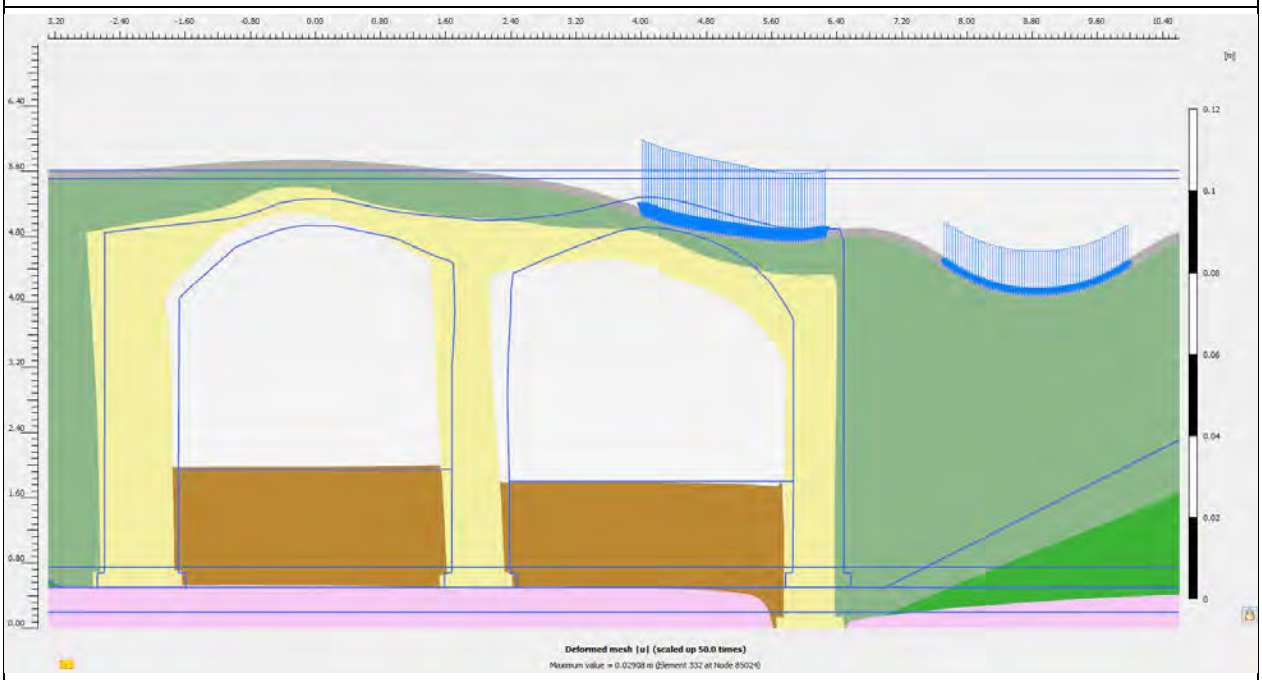


Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 9 ton

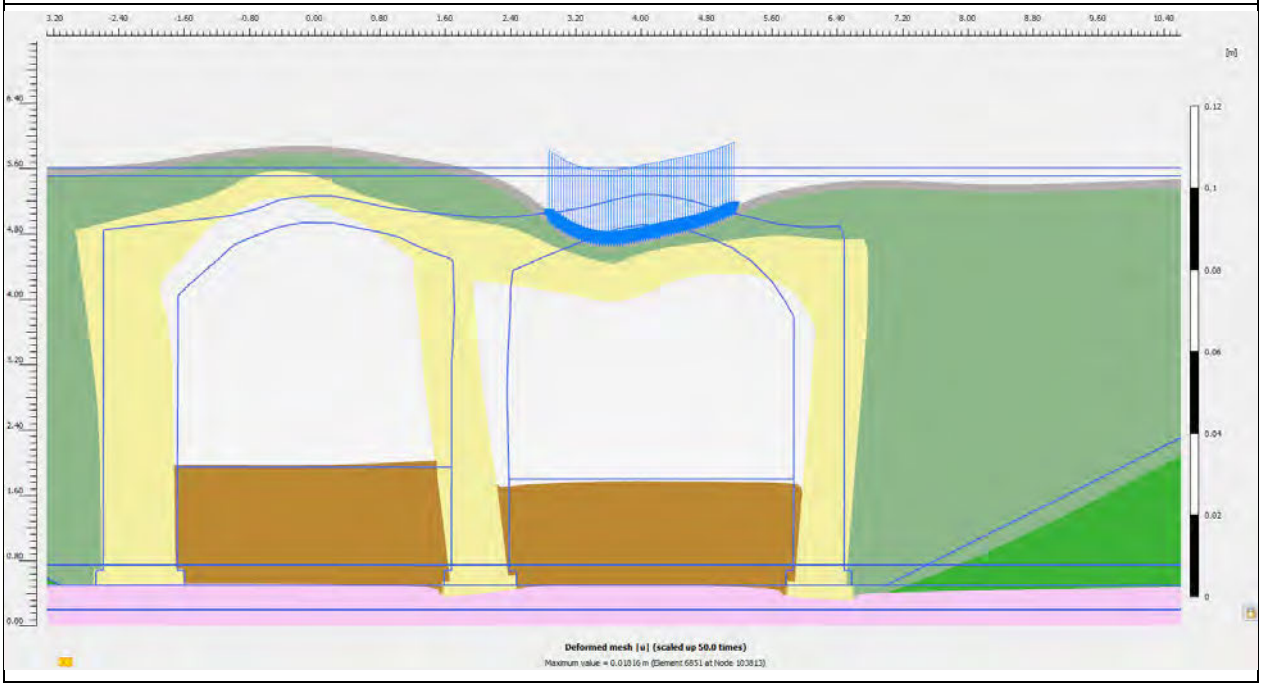


Vervorming GRF-2-methode (50x)

Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 9 ton

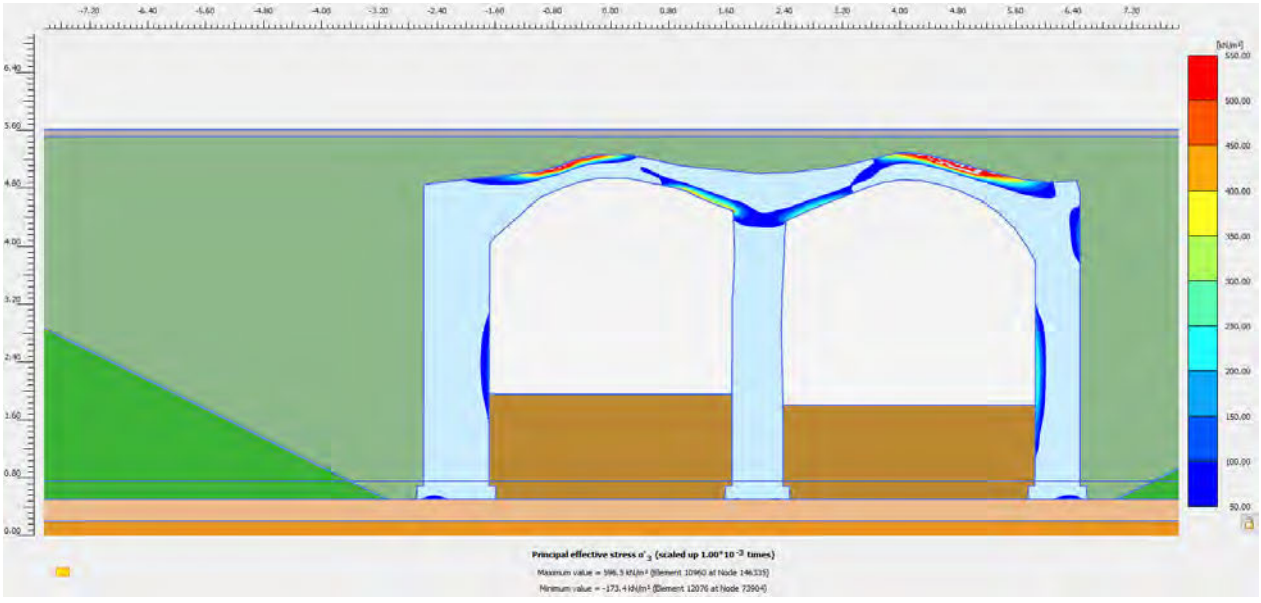


Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 9 ton



A7 Berekening zonder fasering

Wanneer de fasering zo veel mogelijk wordt uitgesloten verandert het spanningsbeeld in de boog, zie Figuur 9. In de Plaxis berekening zijn stappen B en C uit Tabel 9 en Tabel 10 achterwege gelaten. In de eerste fase, stap A, is de kelder al aanwezig. Voor het metselwerk zijn, net als in stap D, de gemiddelde druk- en treksterkte aangehouden. Er blijft horizontale gronddruk op de zijkant van de kelder aanwezig. Hiermee blijft er ook een trekspanning in de bovenkant van de boog. Deze trekspanning zorgt voor een overschrijding van de treksterkte in de bovenkant van de bogen, deze bevinden zich echter nu aan de andere kant van de kruinen. Daarnaast is er nu ook een overschrijding van de treksterkte van het metselwerk aan de onderkant van de boog. Met een verkeersbelasting op positie 1, wordt deze overschrijding groter. Tijdens de inspectie zijn er geen scheuren in de proefsleuf waargenomen aan de bovenkant van het metselwerk. Ook zijn er geen scheuren loodrecht op de rijrichting waargenomen in het plafond van de kelder. Mogelijk is het metselwerk in het verleden eens vernieuwd wat effect heeft op de spanningen in de boog. Daarnaast zijn twee lagen platte stenen aanwezig op de metselwerk boog wat kan duiden op herstelwerk met betrekking tot scheurvorming aan de bovenkant. Voor de beoordeling is de fasering meegenomen in lijn met ‘Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen ‘s-Hertogenbosch’ en beoordeling van andere kelders in Utrecht.



Figuur 17 Trekspanning in de boog voor het aanbrengen van de verkeersbelasting zonder fasering.