RAPPORT

Verificatieberekening Oudegracht [redacted] te Utrecht

Herberekening kelderconstructie conform de NEN 8700/8701 en CUR 124

Klant: Stadsingenieurs Stadsbedrijven Gemeente Utrecht

Referentie: BH3201TPRP2106211334

Status: Definitief/2.0

Datum: 23 juli 2021

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85
3068 AX Rotterdam
Industry & Buildings
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 Oudegracht [redacted] te Utrecht

Ondertitel: Herberekening kelderconstructie
Referentie: BH3201TPRP2106211334
Status: 2.0/Definitief
Datum: 23 juli 2021
Projectnaam: Utrecht Werfkelders
Projectnummer: BH3201
Auteur(s): [redacted]

Opgesteld door: [redacted] & [redacted]

Gecontroleerd door: [redacted] &

Datum: 7 juli 2021 & 5 juli 2021

Goedgekeurd door: [redacted]

Datum: 10 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

Inhoudsopgave

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 7
2.3 Relevante inspectieresultaten 8
2.4 Te berekenen verkeerssystemen 8
2.5 Classificatie van de constructie 9
2.6 Normen & richtlijnen 9

3 Onderzoek naar de materiaal gegevens **11**
3.1 Grondopbouw en geotechnische parameters 11
3.2 Eigenschappen metselwerk 12
3.3 Fasering 13

4 Belastingen, -combinaties en -factoren **14**
4.1 Permanente belastingen 14
4.2 Variabele belastingen 15
4.3 Belastingcombinaties 19

5 Modellering **20**
5.1 Algemeen 20
5.2 Modelvorming 22

6 Resultaten verificatie **26**
6.1 Draagvermogen fundering op staal 26
6.2 Lastbeperking via bebording – bord C20 (BM1) 26
6.3 BM3 – inzet brandweer 31

7 Conclusie en aanbevelingen **34**
7.1 Conclusie 34
7.2 Aanbeveling 35

Royal HaskoningDHV

Bijlagen		36
A1	Onderzoek geotechnische draagkracht	36
A2	Rapportage inspectie en onderzoek OG[redacted], 9 juni 2021 door Witteveen+Bos	41
A3	Archiefgegevens	42
A4	Grondonderzoek	47
A5	Verificatieberekening Plaxis-resultaten	48

Royal HaskoningDHV

Managementsamenvatting

Waarom dit rapport?

Dit rapport beschrijft de constructieve beoordeling van de kelderconstructie behorende bij het adres Oudegracht [redacted] te Utrecht. De berekening is onderdeel van een overkoepelend onderzoek naar de 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 Oudegracht [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. Er is 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. 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?

- Er is een risico op scheurvorming (loodrecht op de rijrichting) ten gevolge van verkeersbelasting behorende bij een aslastbeperking van 3 ton. Indien een aslastbeperking van 3 ton geldt, is het maximaal toelaatbaar totaalgewicht van het voertuig: 10 ton.
- 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 waardoor deze bezwijkt.
- De kelderconstructie bezwijkt bij de verkeersbelasting behorende bij een 7 ton aslastbeperking. Dus het passeren van verkeer met aslasten van 6 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?

Wij adviseren dat regulier verkeer met aslasten van 3 ton of meer, de kelder van Oudegracht [redacted] niet mogen passeren, om het erfgoed en eigendom te behouden. 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 mogelijk 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 Oudegracht [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 adviesbureaus 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 **Oudegracht** [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 Oudegracht het verzoek om de belastbaarheid van de werfkelders te bepalen. Uiteindelijk is er één kelder in de Oudegracht aangedragen die voor dit onderzoek in aanmerking komt, namelijk die gelegen aan de Oudegracht [redacted] afgekort met OG[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.

Royal HaskoningDHV

2 Algemene uitgangspunten

2.1 Beschikbare gegevens

De beschikbare documentatie per werfkelder is aangegeven in het document 'inspectie- en onderzoeksplan [R5]' en de tekeningen in Tabel 3. De beschikbare maar meest maatgevende (geometrische) gegevens van de werfkelder(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 Oudegracht

Type informatie	Aanwezig	Kwaliteit	Opmerking
Bestek	Nee		
Bestektekening	Ja	Goed	Renovatie werfmuur, Oudegracht (1965 en 1968). Inmeting bovenzijde kelder bij waterdicht maken 1995 (Oudegracht -
Ontwerpberekening	Nee		
Herberekening	Nee		
Inspectierapportages	Ja	Goed	Werfkelders Utrecht: Oudegracht Rapportage inspectie en onderzoek Oude Gracht Uitslag kelder Oudegracht (90-er jaren)
Metingen	Ja	Goed	3D pointcloud binnenzijde kelder(s) en de proefsleuf

Tabel 2 toont de relevante rapportages en Tabel 3 de ontwerptekeningen van het kunstwerk. De relevante inspectie- en inventarisatiedocumenten staan in bijlage A1- A4.

Tabel 2: Relevante rapportages (alle digitaal geraadpleegd).

Ref.	Rapportagenummer	Omschrijving
[R1]	1226089/21-009.055	Rapportage inspectie en onderzoek Oudegracht 9 juni 2021 door Witteveen+Bos
[R2]	BH3201TPNT2102121447	Rekenplan Oudegracht incl. bijlagen
[R3]	Nvt.	Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch, RHDHV/Nebest, Witteveen+Bos, Iv-Infra, 23-07-2020
[R4]	BH3021TPRP2105111106	Verificatieberekening KNG
[R5]	122608/21-001.528	Inspectie- en onderzoeksplan t.b.v. 'Bepaling belastbaarheid Oudegracht 29 januari 2021 door Witteveen+Bos

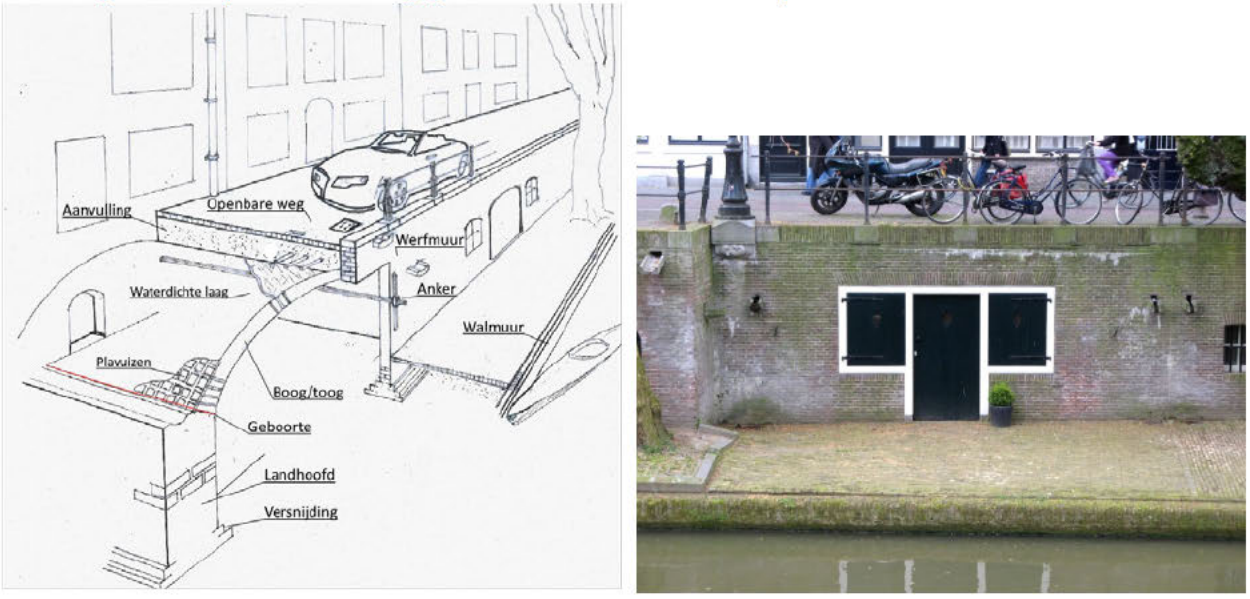
Tabel 3: Relevante (ontwerp)tekeningen (alle digitaal geraadpleegd).

Ref.	Tekeningnummer/-naam	Omschrijving
[T1]	Uitslag kelder Oudegracht (90-er jaren).pdf	Uitslag kelder Oudegracht (90'er jaren)
[T2]	Inmeting platte grond en doorsnede kelder bij waterdicht maken 1995 (Oude gracht .pdf	Inmeting bovenzijde kelder bij waterdicht maken 1995 (Oudegracht -

[T3]	Uitslag kelder Oudegracht [redacted] (90-er jaren).pdf	Uitslag kelder Oudegracht [redacted] (90'er jaren)
[T4]	Werfkelder_Oudegracht_[redacted] 003.png Renovatie werfmuur Oudegracht [redacted] anno 1968 (9832-6).jpg Renovatie werfmuur Oudegracht [redacted] bestaande toestand 1968 (9832-5).jpg	Bovenaanzicht kelders OG [redacted] tot en met OG [redacted] en boven- en vooraanzicht kelders OG [redacted]-[redacted]

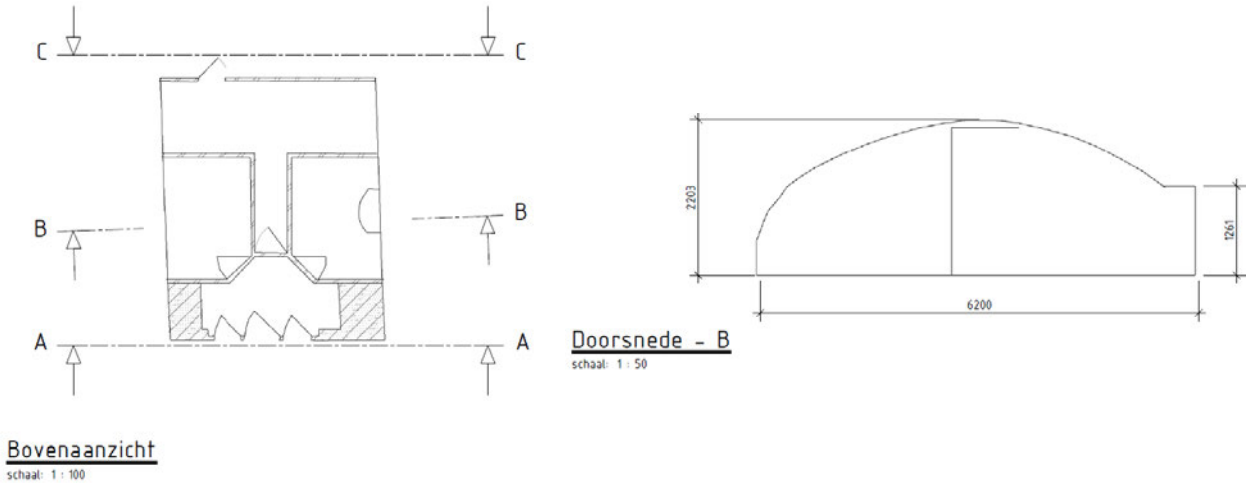
2.2 Beschrijving van het object

Figuur 1 visualiseert een werfkelderconstructie met de benaming van de onderdelen. Een werfkelder is een gemetselde constructie onder de openbare weg met aan de achterzijde de woning en aan de grachtzijde een wal met walmuur. Ditzelfde geldt voor de naastgelegen kelder OG [redacted] en OG [redacted] die vermoedelijk aangebouwd zijn aan de kelder OG [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. De kelder is van de wal gescheiden door een werfmuur welk ook gefundeerd is op staal. Recente versterkingen verbinden de kluismuur met de kelder door middel van betonnen L-wanden. Op de bovenzijde van de kelder is een waterdichte laag aangebracht. Scheidingsmuren zijn onder de toog gebouwd om de kelder in compartimenten in te delen.



Figuur 1: links: algemene vormgeving van een werfkelder met de benaming van de onderdelen en rechts: het aanzicht van de kelder voor het adres Oudegracht [redacted] vanaf de gracht gezien.

De geometrie van de kelder OG [redacted] volgt uit de onderzoeken, zie Figuur 2 uit bijlage A2. De overspanning van OG [redacted] is ca. 6,2 m aan de zijde van de woning en gracht. De overspanningen van de tongewelf is dus nagenoeg constant. De hoogte (bovenkant vloer – onderkant toog) is 2,18 m aan de woningzijde en 2,20 m halverwege de grachtzijde. De locatie van de geboorte van de boog is niet eenduidig en ligt rond de keldervloerhoogte of net daar boven. De ingemeten doorsnede in de proefsleuf, aan de grachtzijde, is aangehouden in de berekeningen. De constructieve dikte van de boog van OG [redacted] is onderzocht en in paragraaf 6.1 beschouwd. Boven op de boog ligt een aanvulling van grond met straatwerk.



Figuur 2 Bovenaanzicht (links) en doorsnede B (rechts) van de kelder van adres Oudegracht [redacted]

2.3 Relevante inspectieresultaten

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

1. De metselwerkkwaliteit van OG [redacted] is goed bevonden. Er is aangenomen dat het metselwerk voldoet aan de ondergrenswaarden uit de NPR998 waarmee is gerekend. Er is nagenoeg geen scheurvorming gevonden en enkel lichte degradatie van voegwerk in het centrale deel van de kelder in de kruin van de boog.
2. Een betonnen boog is voor de eerste anderhalve meter aangebouwd aan de metselwerk kelder, gezien vanaf de grachtzijde. Mogelijk heeft dit deel dikkere wanden en een afwijkende fundering. In Hoofdstuk 5 is verder op de invloed en maatgevendheid van dit kelderdeel ingegaan.
3. De scheidingsmuren lijken op de keldervloer (ca. NAP +1,25 m) gefundeerd te zijn en zijn niet constructief verbonden met de metselwerk boog. De ruimte tussen de muren en de boog is opgevuld met mortel. Dit leidt tot het sterke vermoeden dat de muren in de BGT-berekening een verwaarloosbare capaciteit toevoegen en beperkt aan de bezwijkcapaciteit (UGT) zullen bijdragen. De scheidingsmuren hebben hoofdzakelijk een bouwkundige functie en een zeer beperkte constructieve functie en worden daarom niet meegenomen in de modellering.
4. De wanden (steunpunten) van OG [redacted] zijn gedeeld door de bogen van de kelders OG [redacted] en OG [redacted] De metselwerkvoet met versnijdingen zal voor de geotechnische draagkracht zorgen, welk onder deze wanden aanwezig zal zijn. De betonnen L-wanden spreiden de bovenbelasting door deze wanden. Het is om deze redenen aannemelijk dat deze wanden constructief als één wand gezien kunnen worden.
5. De uitgevoerde pointcloud meting heeft ook een deel van de kelder van OG [redacted] aan de zijde van OG [redacted] weten in te meten. In Hoofdstuk 5 is aangegeven welk deel van de geometrie uit de pointcloud meting volgt.

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 en rekening is gehouden met de parkeerstrook. De project

specifiek voorgeschreven voertuigen die de kelders in de Oudegracht 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, zijn ook bruikbaarheidsgrens-toestanden beschouwd. Tabel 4 geeft de normen, richtlijnen en voorschriften die van toepassing zijn binnen de verificatie.

Tabel 4 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 werfkelders in de Oudegracht 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 kelder volledig is 'voorbelast' en dat er geen zakkingen meer optreden als gevolg van de aanwezigheid van slappe lagen. Dit blijkt ook uit Bodemdalingskaart 2.0. Uit het archief van de gemeente Utrecht zijn enkele sonderingen en boringen uit de nabijgelegen omgeving bekend.

Achter/op de wanden van de kelderconstructie 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 5. Dit is gebaseerd op drie sonderingen: 11-3, 11-4 en 11-8. Deze bevinden zich op een afstand tussen de 15 m en 25 m van de kelder. 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.

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 wordt in de Plaxis-berekening, is de cohesie van de grondlaag onder de kelder verhoogd. Zodoende wordt een onrealistisch grote zakking van de fundering op staal ten gevolge van het (ten onrechte) bezwijken van de ondergrond voorkomen.

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

Tabel 5 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+3,45 m)	Klei, sterk zandig	18/18	27,5	0	0	5/2,5/11,6	0,8
-1,0	Zand, schoon, matig	18/20	32,5	2,5	0	30/30/120	0,5
-10,5	Klei, sterk zandig	18/18	27,5	0	0	5/2,5/11,6	0,8
-11,0	Zand, schoon, los	17/19	30,0	0	0	20/20/81	0,55
-11,5	Zand, schoon, matig	18/20	32,5	2,5	0	60/60/247	0,5
+1,25 tot + 0,5	Keldervloer	19/20	35	5	0,1	75/65/300	0,55

Royal HaskoningDHV

3.2 Eigenschappen metselwerk

Voor de materiaaleigenschappen van metselwerk is uitgegaan van de eigenschappen gegeven in de NPR 9998+C1:2020. Het metselwerk van kelder OG [redacted] is in een goede staat waardoor conservatieve metselwerk eigenschappen toegepast zijn. De werkelijke metselwerk eigenschappen zullen naar verwachting hoger zijn. Er zal niet met lagere metselwerk eigenschappen dan de ondergrenswaarden uit de NPR 9998+C1:2020. gerekend worden.

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 daarom ook voor de kelders met CC2 toegepast worden. Voor de gemiddelde waarden is tabel F.2 van de NPR 9998+C1:2020 aangehouden 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 verhoogd worden 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/m^3 worden aangehouden.

Tabel 6 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/mm^2
Elasticiteitsmodulus	E_k	3500 [1)]	E_m	5000	N/mm^2
Glijmodulus	G_k	1458 [2)]	G_m	2000	N/mm^2
Buigtreksterkte bezwijkvlak evenwijdig aan lintvoeg	$f_{x;1;k}$	0,12	$f_{x;1;m}$	0,15	N/mm^2
Buigtreksterkte bezwijkvlak loodrecht op lintvoeg	$f_{x;2;k}$	0,42	$f_{x;2;m}$	0,55	N/mm^2
Treksterkte bezwijkvlak evenwijdig aan lintvoeg = sterkte loodrecht op de voeg			$f_{ma;b;per}$	0,1	N/mm^2
Treksterkte bezwijkvlak loodrecht op lintvoeg			$f_{ma;v;0}$	0,35	N/mm^2
Initiële schuifsterkte	$f_{v;0;k}$	0,2	$f_{ma;v;0}$	0,3	N/mm^2
Maximale schuifsterkte	$f_{;v;max;k}$	0,78			N/mm^2
Wrijvingscoëfficiënt			$\mu_{ma;m}$	0,75	[-]
Breukenergie trek loodrecht op lintvoegen			$G_{ft;per}$	10	N/m
Breukenergie trek evenwijdig 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

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

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.

3.3 Fasering

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

De volgende fasering is aangehouden: Voor de aanleg van de werfkelder is uitgegaan van een maaiveld op ca. NAP+4,3 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 steile taludhelling (ca. 1:5). Daarna is aangehouden dat de boogconstructie van OG [redacted] OG [redacted] en [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.

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 werfkelder is aangehouden volgens de beschikbare gegevens en de inspectieresultaten: Bestrating 80 mm. Het soortelijk gewicht van de bestrating is $\gamma = 23$ kN/m^3 en van het zand $\gamma = 14$-18 kN/m^3. Op basis van de algemene hoogtekaart Nederland (AHN.nl) blijkt dat het maaiveld nagenoeg horizontaal verloopt (van west ca NAP+4,27 m naar oost ca NAP+4,23 m), zie bijlage B. 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 A.

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 nabije meetpunt van de Oudegracht betreft volgens het Dinoloket (peilbuis B001 in de Voetiusstraat). Het niveau 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 OG [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 (grond)waterstand 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 werfkelders liggen in het lokale wegennet. De bogen hebben een doorgaand metselwerkverband loodrecht op de rijrichting. De rijbaanbreedte over de kelder is <5,4 m zodat er bij de fictieve indeling één theoretische rijstrook per boog op past. Aanvullend is het verzoek om de werkelijke rijbaan indeling aan te houden van één rijstrook. Er zal wel rekening gehouden worden met de naastgelegen parkeerstrook. 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 7. 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 werfkelder 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 werfkelder (<50km/h).

Toepassing verkeersbelasting
Het verkeer kan niet aan de randen van de boog rijden. Parkeren pal tegen de rijbaan aan is wel gebruikelijk waardoor minder belastingspreiding kan plaatsvinden. 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 3,0m naar 2,7 m om rekening te houden met belasting uit de parkeerstrook (eenzijdige spanningsspreiding). De rest van de spreiding in langsrichting volgt uit het 2D Plaxis-model. In de breedterichting wordt op de werfkelder 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. De verkeersbelasting kan op elke willekeurige positie op de werfkelder 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 belastingsbeperking 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 belastingsbeperking via bebording is het belastingsmodel 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 OG [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 2B van de NEN 8701 kolom 4 zodat een bijbehorend bord C20 hier uit 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 betekend 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 OG [redacted] het geval.

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

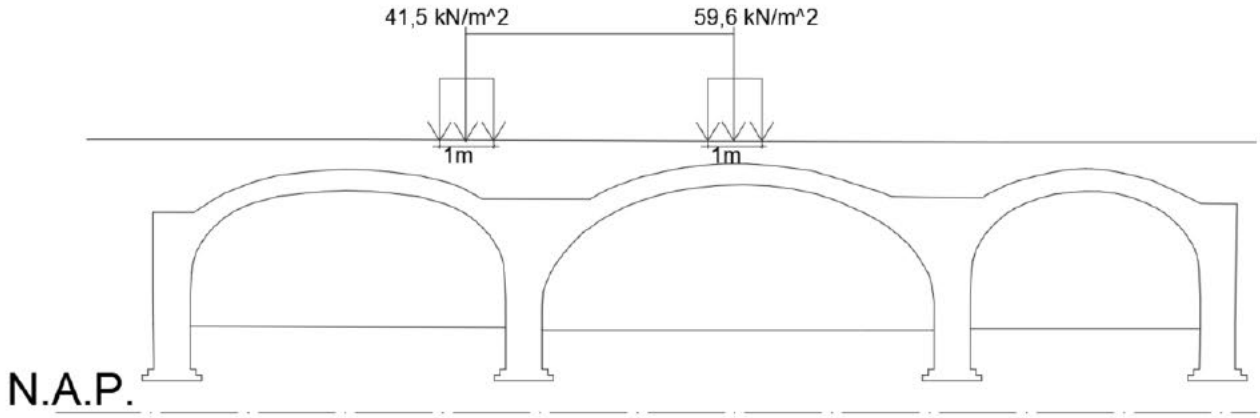
α_{C20}	bord C20 (ton)	bord C20 (kN)	Q_{1b} per as (kN)	Q_{2b} per as (kN)
1,000	12	120	300	200
0,773	**10**	**100**	232	155
0,668	**9**	**90**	200	134
0,569	**8**	**80**	171	114
0,477	**7**	**70**	143	95
0,391	**6**	**60**	117	78
0,310	**5**	**50**	93	62
0,236	**4**	**40**	71	47
0,168	**3**	**30**	50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

Op de kelder met een rijbaanbreedte van <6 m past er maximaal één bijzonder voertuig uit BM3. 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. Ondanks dat de Oudegracht een één richtingsweg is, zal de brandweerwagen tegen het verkeer in mogen rijden. De zware achteras zal steeds op de belastingposities geplaatst worden zoals in Figuur 3 is aangegeven.



Figuur 3: Doorsnede kelders met lastmodel 'Ladderwagen' als voorbeeld op de belastingpositie midden op de boog.

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 6. Dit 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 de lage aantal belastingcycli door (zwaar) vrachtverkeer.

Royal HaskoningDHV

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 9 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	ψ1
Verkeersbelasting (TS+UDL) NEN-EN 1991+A1:/C2/NG:2019	0,8
Gebouwen: categorie E: opslagruimtes	0,9
Gebouwen: industrieel gebru k waarbij de veranderl jke 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 met aan de ene zijde de verankerde werfmuur, met voorliggende wal en walmuur en aan de andere zijde de kelder(s) onder de bebouwing, 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 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.

Bij 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:

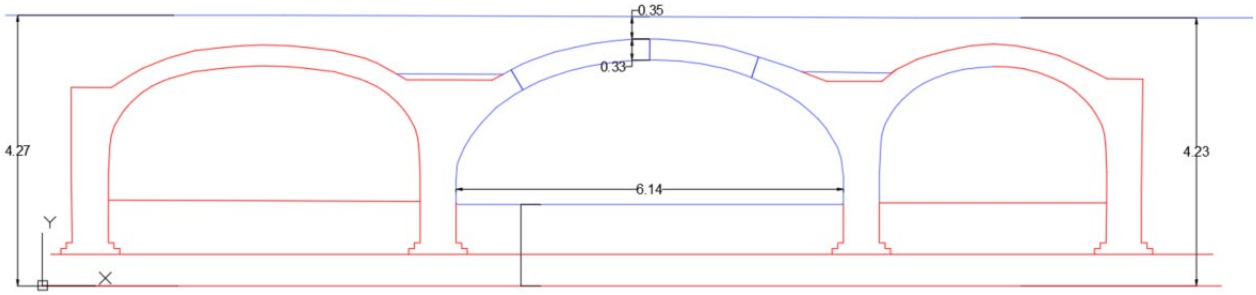
- rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk (karakteristiek/2,2);
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot, dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer 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 werfkelder 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 gelijk gesteld 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 uit de versnipperde archiefgegevens is (deels) gevalideerd met de metingen uit het onderzoek. Tijdens het onderzoek is door middel van een boringen de opbouw van het metselwerk bepaald op drie locaties, zie de verticale blauwe strepen in Figuur 4. De opbouw bestaat uit een éénsteens (kloostermop) metselwerk boog in de kruin en verspringt naar een anderhalf steens boog. Hoe deze 'sprong' in metselwerkverband er uit ziet en de precieze locatie is niet bekend. Op de boog liggen twee extra lagen platte stenen in de kalkmortel en een waterdichte laag.



Figuur 4: De doorsnede uit de archieftekeningen [T1], [T2], [T3] en [T4], bijlage A2, met de ingemeten geometrie van de kelder in blauw.

Constructief gezien kan met de éénsteens boog (250 mm) inclusief de twee lagen stenen (30 mm) in de mortel gerekend worden. Dit levert een metselwerk dikte van 250+10+30+10+30 = 330 mm. Ongeveer eenzelfde dikte is voor de rest van de boog in de richting van de wanden aangehouden. Hier is een streklengte van 230 mm met daarbovenop een koplengte van 100 mm aangetroffen. Wanneer bepaalde geometrie parameters niet gevalideerd zijn tijdens het onderzoek, zoals de fundatiediepte, de versnijdingen en de geometrie van OG [redacted] zijn de archiefgegevens aangehouden. Het algemene beeld is dat minimaal twee versnijdingen aanwezig zijn bij werfkelders en dit is ook aangehouden voor de werfkelder van OG[redacted]. De hoogteligging van de kelder is ook niet gevalideerd, waardoor het fundatieniveau op een aannemelijke hoogte van NAP +0,5 m is aangehouden. Door de aanwezigheid van L-wanden tussen de bogen op de wanden, is daar lokaal het meetresultaat van de metselwerk kelderconstructie inclusief de dikte van het liggende deel van de L-wand. Hiervoor is de doorsnede gereduceerd omdat de L-wand niet over de gehele breedte van de kelder aanwezig is en niet constructief van aard is.

Een betonnen vloer is 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 beton 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.

Betonnen boog

De eerste anderhalve meter boog, gezien vanaf de grachtzijde, bestaat uit een betonnen boog. Op de plattegrond [T4] is te zien dat hier dikkere wanden aanwezig zijn. Op de overgang van betonnen boog en de metselwerk boog is een (hechtings)scheur zichtbaar. De scheur verloopt ook deels door het metselwerk. Dit komt vermoedelijk doordat de meer recentere betonnen boog 'koud' tegen de oudere metselwerk boog is aangebouwd. Eventueel zou er een constructieve verbinding door bijvoorbeeld ingeboorde wapeningsstekken gerealiseerd zijn tijdens de aanbouwing maar dit is niet aangetoond. Dit zou doormiddel van vrijhakken van het metselwerk op deze overgang aangetoond kunnen worden. Voor de aanbouwing van het betonnen boogdeel, zijn de ijzeren ankers aan de binnenzijde van de kelder afgezaagd/geslepen en niet meer in de nieuwe situatie opgenomen. De functie van de ankers aan de binnenzijde is dus vervallen. Het is onzeker of de L-wanden en de eventuele ingeboorde

wapeningsstekken deze functie volledig overnemen. Voor zover bekend is, zijn er geen tekenen van (verschil)verzakkingen van de werfmuur en kelder. Bij de aanbouw, is de oude werfmuur afgebouwd en is een nieuwe werfmuur opgebouwd. Mogelijk is een deel van de fundering op staal van de oude werfmuur nog aanwezig onder de kelder ten hoogte van de overgang van metselwerkboog naar betonnen boog. Echter is dit niet onderzocht. De betonnen boog is constructief gezien niet maatgevend (verwacht) boven de metselwerkboog door de hogere druksterkte van het beton. Daarbij ligt dit deel van de kelder onder de parkeerstrook en zal aanzienlijk minder frequent belast worden door zwaar verkeer.

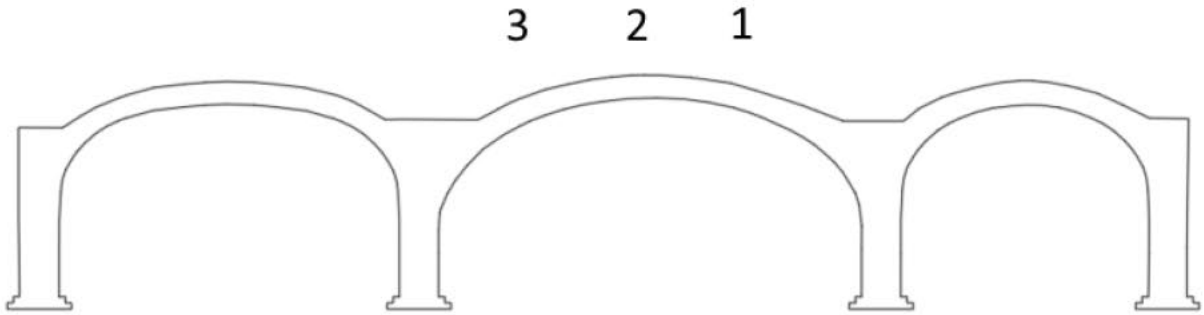
Scheidingsmuren
Van de scheidingsmuren in de kelder is het fundatieniveau alleen visueel onderzocht. Het doet er sterk op lijken dat de muren op de bestaande betonnen keldervloer zijn gebouwd. Er is op geen enkele locatie een verbinding tussen de scheidingsmuren en het gewelf aangetroffen. Als aansluiting tussen de muren en het gewelf is vermoedelijk mortel gebruikt. De leeftijd en het bouwmateriaal van de scheidingsmuren is onbekend. De muren zijn gestuukt en geschilderd. Er is geen scheurvorming in het metselwerk aangetroffen rondom de muren. Deze bevindingen bevestigen de keuze om een 2D berekening te maken en de beperkte 3D-effecten achterwege te laten. Dit is een conservatief uitgangspunt voor de bepaling van de bezwijkdraagkracht omdat de scheidingsmuren gunstig bij kunnen dragen. Het algemene beeld is dat de muren lokale scheurvorming kunnen veroorzaken, door het verstoren van de (druk)boogwerking. De drukspanningen in de metselwerkboog 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. Bovendien is het draagvermogen apart getoetst, zie de volgende alinea. In lijn met beton waarvoor conform (7) 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] De conclusie van dat onderzoek is dat de belastingposities centraal op de boog met symmetrische en asymmetrische verkeersbelasting maatgevend is. De verkeersbelasting bovenop de wand en daar achter is niet nodig gebleken voor het bepalen van het moment van scheuren en de bezwijkbelasting.
Omdat het hier constructief gezien één constructie betreft, bestaande uit een aaneenschakeling van 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+4,23 m en grondwaterstand NAP +0,0 m)
B		Ontgraving tot onderkant fundering en grondwaterstand NAP +0,0 m onder ontgravingsniveau
C		Werfkelder en aanvulling tot huidige situatie
D		Gemiddelde grondwaterstand gedurende de volledige levensduur NAP+0,75 m
1	Huidige situatie met maatgevende maaiveld niveaus en (grond)- waterstanden	Metselwerk: Gemiddelde waarde druksterkte en treksterkte, Gemiddelde waarde volumiek gewicht en stijfheid 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 voor constructieve toets	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 wrijving (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	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+4,23 m en grondwaterstand NAP +0,0 m)
B		Ontgraving tot onderkant fundering en grondwaterstand NAP +0,0 m onder ontgravingsniveau
C		Werfkelder en aanvulling tot huidige situatie
D		Gemiddelde grondwaterstand gedurende de volledige levensduur NAP+0,75 m
1	Huidige situatie met maatgevende maaiveld niveaus en (grond)- waterstanden	Metselwerk: Gemiddelde waarde druksterkte en treksterkte, Gemiddelde waarde volumiek gewicht en stijfheid Grond: Karakteristieke waarde sterkte- en stijfheidsparameters, Gemiddelde waarde volumiek gewicht Verkeersbelasting: Geen
2a	Toets BGT BM3	Verkeersbelasting: bijzonder zwaar transport (voor de maatgevende locaties 1, 2, 3 waar rekening is gehouden met tegen het verkeer in rijden)
3	Karakteristieke druksterkte metselwerk en verwaarlozing treksterkte voor constructieve toets	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	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 funderingsoppvlak met een breedte van 0,93 m en een lengte van 7,0 m. Deze breedte komt tot stand doordat er twee versnijdingen toegepast zijn van ca. 9 cm per versnijding. Het eigengewicht inclusief belastingfactoren is toegepast waar een 'rest capaciteit' voor het verkeer overblijft. De berekeningen in D-foundations leidt tot het inzicht dat een significante zakking van de fundering op staal waarschijnlijk is bij verkeersbelastingen behorende bij een aslastbeperking van groter of gelijk aan 3 ton (α_{C20}=0,168). Dit is dus de 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)

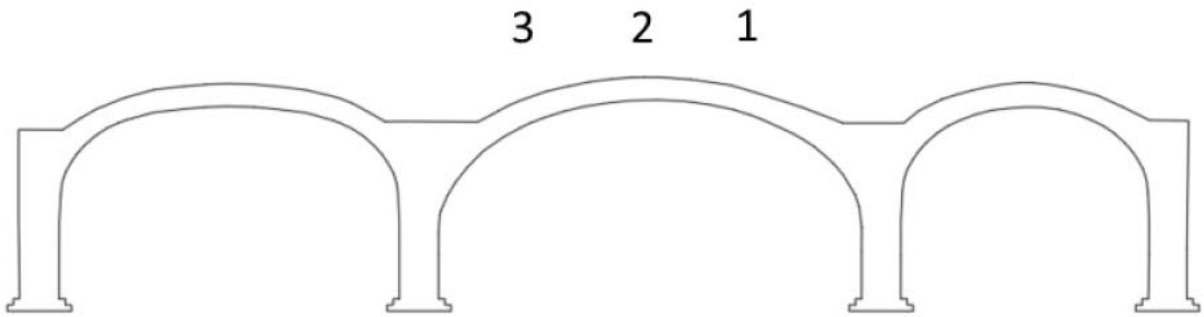
De BGT berekeningen beoordelen het risico op scheuren van het metselwerk door verkeersbelasting aan de hand van de buigtreksterkte van het metselwerk. Het falen van de fundering op staal is onwaarschijnlijk voor de relatief lage verkeersbelasting behorende bij de BGT toetsen. De verkeersbelasting uit deze berekeningen is verwacht frequent voor te komen. Dit leidt tot het beperken van de zakking van de fundering op staal door het verhogen van de cohesie. 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 3 ton aslast beperking voor de BGT zijn opgenomen in Tabel 12.

De UGT berekeningen bepalen/benaderen de bezwijkcapaciteit van de constructie door verkeersbelasting. Doordat het draagvermogen in de werkelijkheid kritisch is voor het bezwijken van de fundering op staal, zal het Hardening Soil-model toegepast moeten worden. Vervolgens kan een realistische zakking van de fundering op staal verkregen worden door ook nu de cohesie te verhogen. De fundering op staal zal nu niet/minder maatgevend zijn. 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 7 m. 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 6 ton zijn weergeven in Tabel 13. 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.

Royal HaskoningDHV

De boogconstructies van OG [redacted] en OG [redacted] lijken indirect deels beoordeeld omdat deze aaneengeschakeld gemodelleerd zijn in Plaxis. Echter is de beoordeling van deze bogen niet betrouwbaar omdat geen onderzoek en inspectie voor deze twee kelders is uitgevoerd. Ook staat de belasting niet op de maatgevende positie. De resultaten van de OG [redacted] en OG [redacted] zijn dus ook niet meegenomen in de beoordeling.



Figuur 6: Belastingposities waar het zware tandemstelsel met het hart op het getal staat en het tweede tandemstelsel hier links (B), rechts (A) of op een grote afstand van staat.

Samenvatting berekeningsresultaten

Voor de maatgevende verkeersbelasting zijn in de onderstaande tabellen de resultaten gegeven. Tabel 12 geeft aan dat de maximale buigtreksterkte van het metselwerk wordt bereikt bij de verkeersbelasting van 3 ton aslastbeperking. Tabel 13 en Tabel 14 geven aan of de constructie faalt in de UGT of niet voor de verkeersbelasting van 6 en 7 ton.

Tabel 12 Berekeningsresultaten BGT - Bord C20 3 ton (BM1). Maximaal berekende druk- en trekspanning in het metselwerk per belastingpositie.

Belastingpositie	3B	3	3A	2B	2	2A	1B	1	1A
BGT(8500/550)[1)]	-1840/550	-1770/550	-1910/550	-1840/550	-1820/550	-1960/550	-1920/550	-1910/550	-1990/550

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

Tabel 13 Berekeningsresultaten UGT – Bord C20 7 ton (BM1).

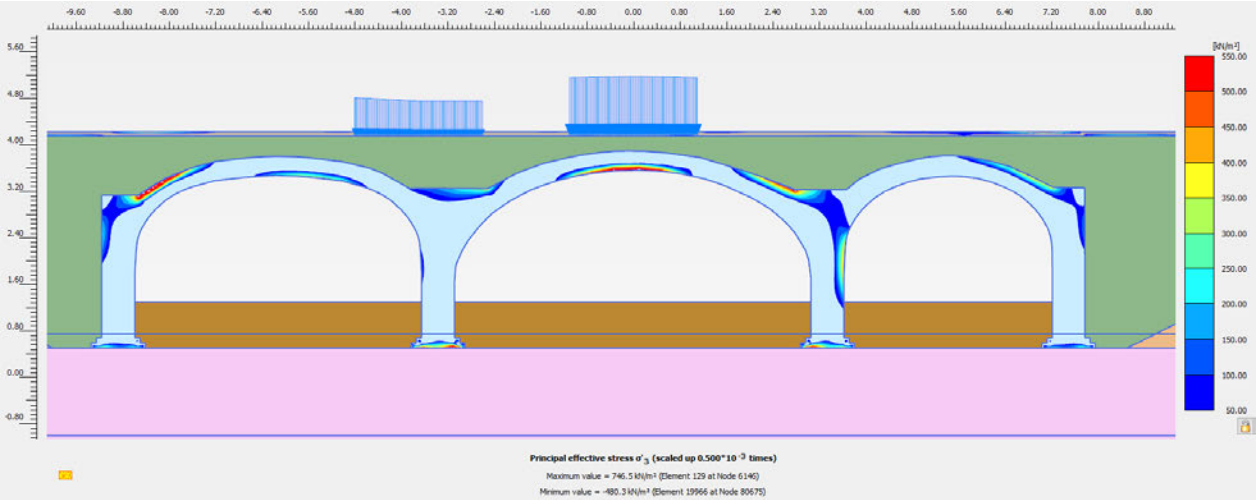
Belastingpositie	3B	3	3A	2B	2	2A	1B	1	1A
PF	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	faalt	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet
GRF-2	voldoet	voldoet	voldoet	faalt	faalt	voldoet	faalt	faalt	voldoet

Tabel 14 Berekeningsresultaten UGT – Bord C20 6 ton (BM1).

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

6.2.1 BGT

In Figuur 7 is een voorbeeld opgenomen waar (net) niet wordt voldaan aan de treksterkte in de BGT-toets.

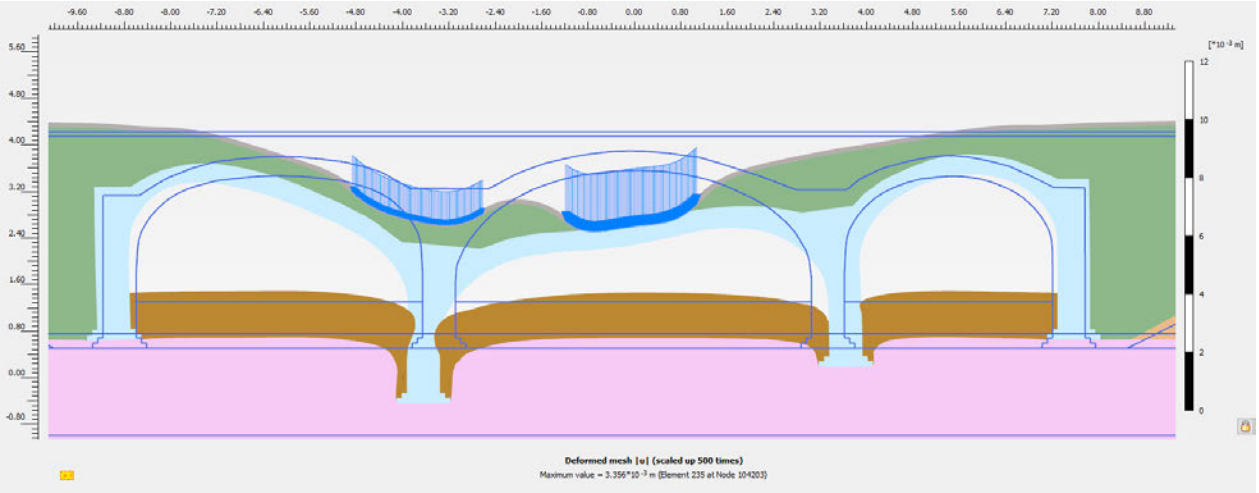


Figuur 7 BGT-toets voor de verkeersbelasting op belastingposities 2 B behorende bij een 3 ton aslastbeperking (HS-model met c=10 kPa).

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 en bovenzijde van de boog voor alle belastingposities. De berekeningsresultaten wijzen op een risico van scheurvorming loodrecht op de rijrichting, gecodeerd als Type I scheur conform het onderzoek uit spoor 2. In naastgelegen kelder van OG[redacted] is de toelaatbare trekspanning van het metselwerk aan de bovenzijde overschreden. Deze kelder niet is geinspecteerd en de geometrie is niet vastgelegd. Daarom kan geen betrouwbare uitspraak worden gedaan over het optreden van deze trekspanningen. Daarbij is het overschrijden van de toelaatbare trekspanning geregeld zichtbaar in de berekeningen (ook in de beoordeling van KNG[redacted] en metselwerk boogbruggen in ‘s-Hertogenbosch) maar lastig inspecteerbaar.

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 9. 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 9. 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.

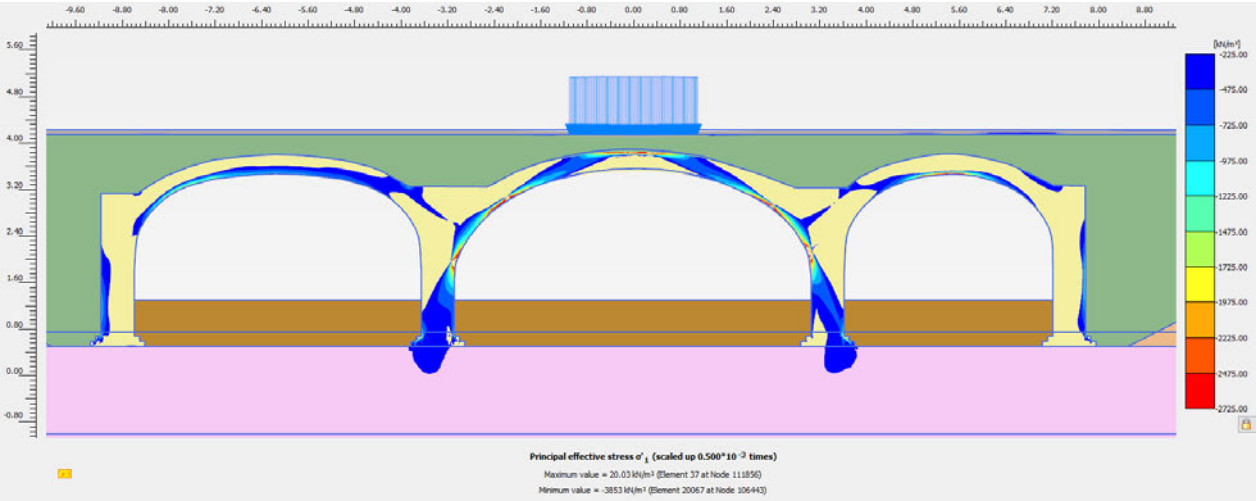
In Figuur 8 is een voorbeeld opgenomen van de berekende vervorming van de boog bij de BGT-toets. De maximale vervorming van 3,3 mm treedt op direct onder de belasting voornamelijk door het inzakken van de bovenliggende grond en het zakken van de wanden. De vervorming van de boog bedraagt ca. 2,6 mm en de vervorming van de linker wand ca. 2,0 mm. Totaal is de bovenbelasting door de twee tandemstellen: 2 x 50 kN + 2 x 34 kN = 168 kN =168 kN, waarvan circa 118 kN (11,8 ton) naar de wand gaat die de grootste zakking laat zien. In bijlage A5 zijn de berekende vervormingen weergegeven voor alle belastingposities.



Figuur 8 Vervormingen voor de verkeersbelasting op belastingposities 2 B behorende bij een 3 ton aslastbeperking (HS -model met c=10 kPa). Zakking van de wand = 2 mm.

6.2.2 UGT

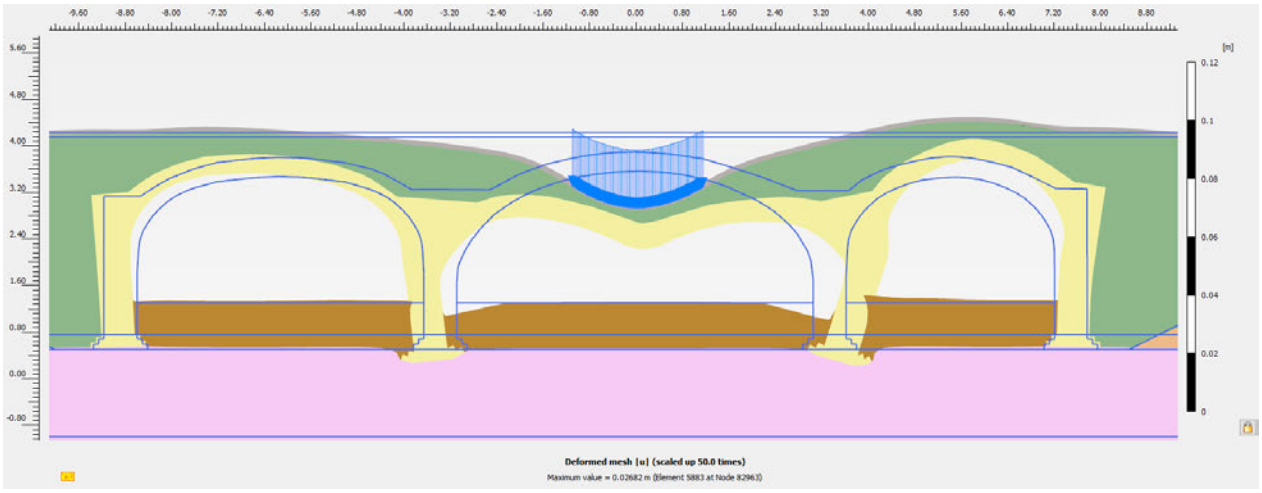
Voor alle berekende belastingposities wordt voor de verkeersbelasting behorende bij een bord C20 van 6 ton voldaan aan de benodigde constructieve veiligheid. Belastingpositie 2 is maatgevend en geeft de resultaten die het dichtst bij bezwijken van de constructie zijn gelegen. Dat wil zeggen dat in combinatie 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 vijf 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 GRF-methode voor de verkeersbelasting op belastingpositie 2 behorende bij een 6 ton aslastbeperking.

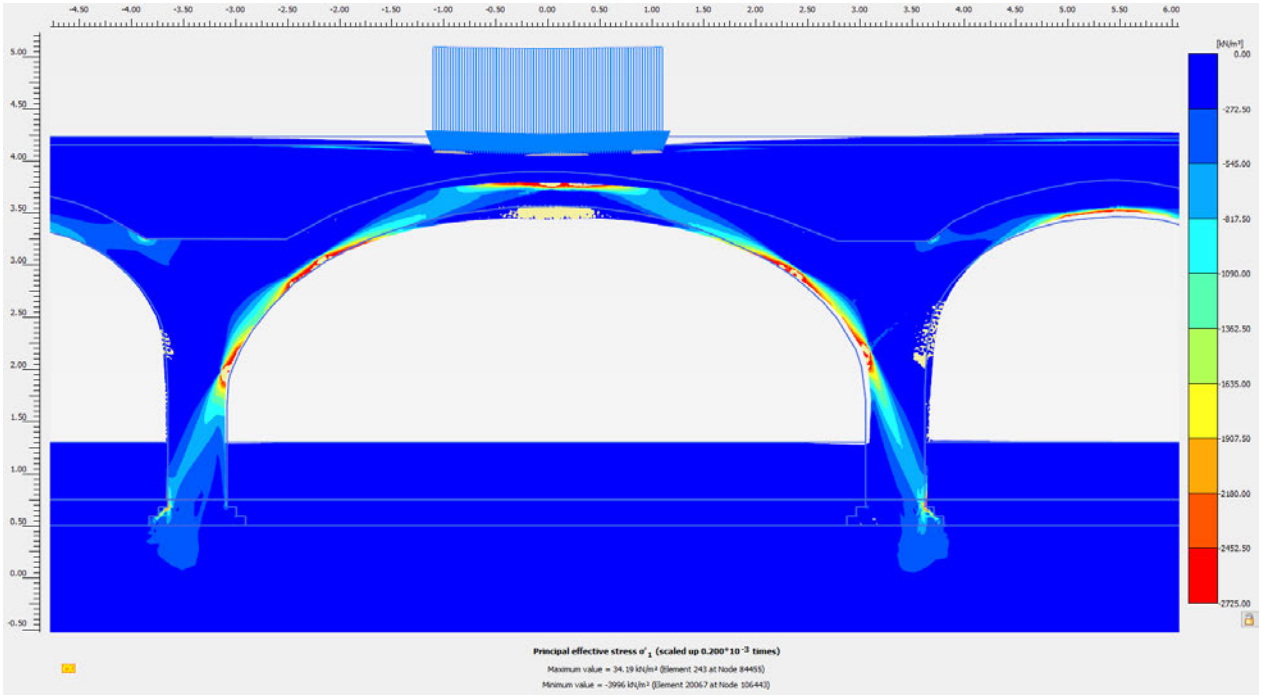
In Figuur 10 is de (fictieve) vervorming weergegeven met een vergrotingsfactor van 50, bij de verkeersbelasting op belastingpositie 2 behorende bij een 6 ton aslastbeperking voor de PF-methode. In de UGT is de vervorming fictief omdat met rekenwaarden van verschillende parameters wordt gerekend waardoor 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 3 cm waarvan circa 0,5 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

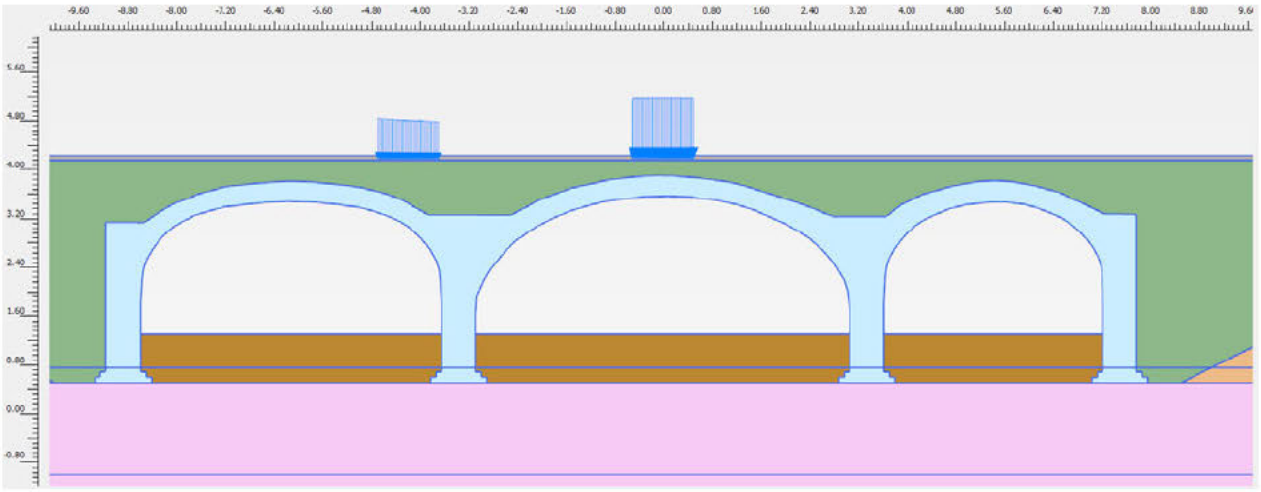
Belastingpositie 2 met het verkeer behorende bij een 7 ton aslast beperking geeft een maximale zakking van de boog van 0,128 m. Hier is het kritische draagvermogen van de grond als niet maatgevend gemaakt door een hogere sterkteparameters aan te houden waaronder een cohesie van 10 kPa zodat de boog maatgevend is. Naast de 3 punten boven in de boog wordt in de wanden ook de maximale druksterkte overschreden en kan als bezweken worden beschouwd, zie Figuur 11. Het meest voorkomende bezwijkmechanisme is wanneer door overbelasting meerdere scharnieren (4 of meer) ontstaan.



Figuur 11 UGT-toets GRF-methode voor de verkeersbelasting op belastingpositie 2 behorende bij een 7 ton aslastbeperking.

6.3 BM3 – inzet brandweer

In Figuur 12 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 een zelfde 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 14.

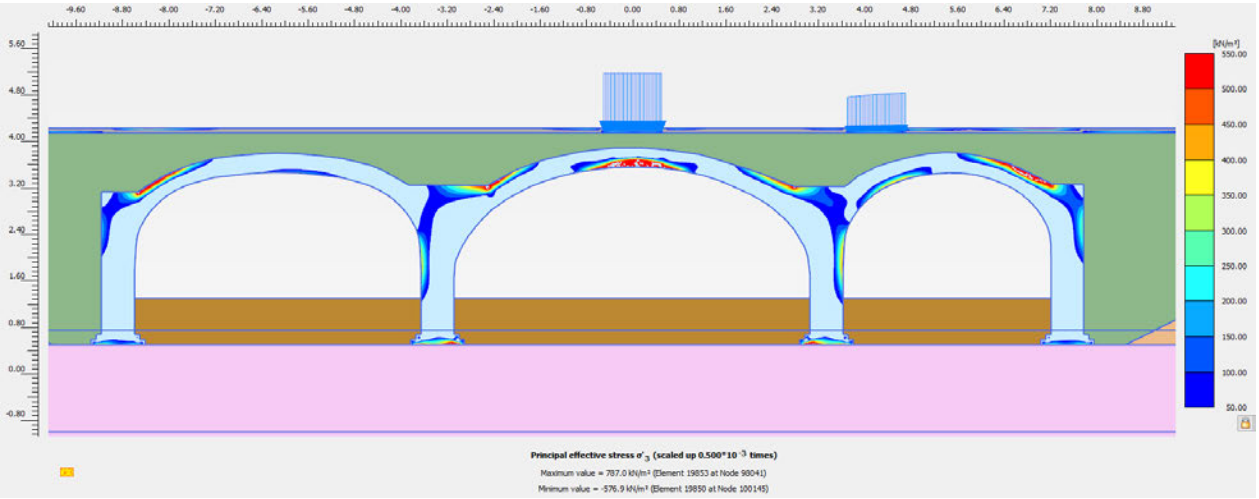
Tabel 15 Berekeningsresultaten BM3.

Belastingpositie	3B	3A	2B	2A	1B	1A
BGT (max -8500/550)[1)]	-2210/550	-2150/550	-2120/550	-2210/550	-2100/550	-2260/550
PF	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
GRF-2	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet

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

6.3.1 BGT

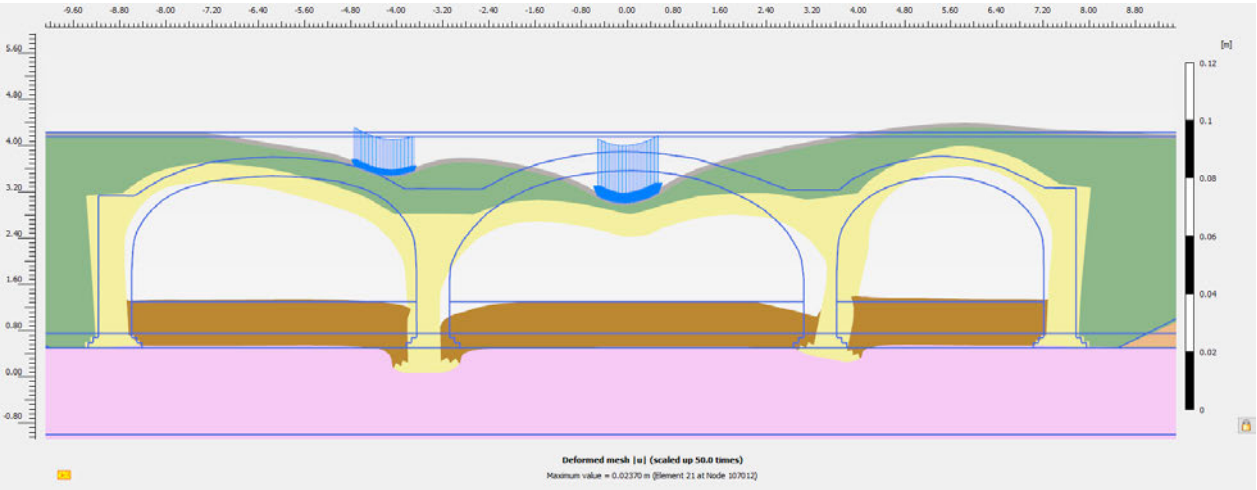
In bijlage A5 zijn de berekende druk- en trekspanningen weergegeven voor alle belastingposities. De toelaatbare drukspanning van 8500 kNm^2 wordt nergens overschreden, maar de toelaatbare trekspanning van 550 kN/m^2 wordt in alle gevallen aan de onderzijde (en bovenzijde) van de boog overschreden. De scheuren zullen loodrecht op de rijrichting optreden, gecodeerd als Type I scheur conform het onderzoek uit spoor 2. In Figuur 13 is een voorbeeld opgenomen waar niet wordt voldaan aan de BGT-toets.



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

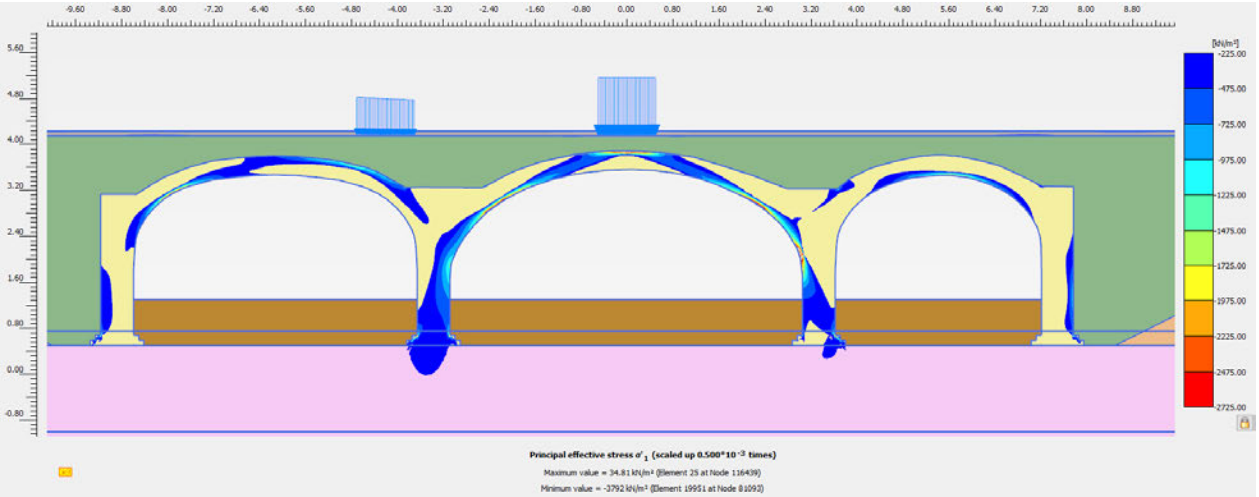
6.3.2 UGT

Voor alle berekende belastingposities wordt, voor de verkeersbelasting door de ladderwagen, voldaan aan de benodigde constructieve veiligheid. Belastingpositie 2B 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 14 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 ligt net onder de 2,3 cm waarvan circa 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; belastingspositie 2B.

In Figuur 15 is voor dezelfde belastingspositie 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 Oudegracht [redacted] (OG[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.

Op basis van de Plaxis-berekeningen is aangetoond dat de boog van OG[redacted] een risico heeft op het overschrijden van de buigtreksterkte (ondergrenswaarde) van het metselwerk bij de karakteristieke verkeersbelasting behorende bij een 3 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 **3 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 = 0,168 x 60 = 10 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 OG[redacted] voor de verkeersbelasting behorende **bij een 7 ton aslastbeperking bezwijkt** (uiterste grenstoestand). De verkeersbelasting behorende bij een 6 ton aslastbeperking leidt niet tot bezwijken. In deze analyse is het belasten centraal op de boog (positie 2) maatgevend bevonden, door een enkel laststelsel (waar dus het tweede laststelsel op grote afstand staat). Daarnaast hebben de berekeningen van de fundering op staal, 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.

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.

In de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt bij enkele belastingposities de gemiddelde treksterkte van 550 kN/m^2 overschreden aan de onderzijde (en bovenzijde) van de boog. Voor de verkeersbelasting behorende bij een 3 ton aslastbeperking en hoger en de bijzondere verkeersbelasting (BM3) is er een risico op schade (scheurvorming) aan het metselwerk in combinatie met een kritisch draagvermogen van de fundering op staal. 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 Oudegracht 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 Oudegracht op basis van geometrie en de staat. Deze meest kritische kelder(s) bepalen het toelaatbare verkeer op de bovenliggende straat.

Door passage van bijzonder verkeer (ladderwagen brandweer met een achteras van 11,5 ton) is er een risico op scheurvorming. Geadviseerd wordt om na passage van zo'n bijzonder voertuig de kelder te inspecteren op scheurvorming in combinatie met een vooropname.

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

Bijlagen

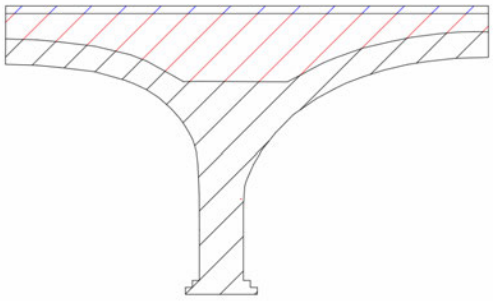
A1 Onderzoek geotechnische draagkracht

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 Oudegracht [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 OG[redacted] en OG[redacted] als maatgevend bevonden, zie de doorsnede in de onderstaande figuur.



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 758 kN 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 (93 kN/m x 7,0m) = 649 kN, de bovenliggende aanvulling met verharding ((61+14) x 7,0 m) = 530 kN leiden tot een bovenbelasting van (649 + 530) x 1,1 = 1300 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 1029 kN bij een φ’ = 30º; en 1418 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 118 kN (12 ton) wat overeenkomt met de karakteristieke verkeersbelasting behorende bij een 3 ton aslastbeperking van (2 x 50 + 0,5 x 2 x 34) x 1,1 = 148 kN waarvoor de fundering op staal net niet meer voldoet aan de benodigde veiligheid.

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:	24-6-2021
Tijd van rapport:	8:53:56
Datum van berekening:	2-6-2021
Tijd van berekening:	14:44:39
Bestandsnaam:	C:\..\Geotechnisch Draagvermogen\OG[redacted] Werfkelder draagvermogen
Projectbeschrijving:	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted] Utrecht Werfkelder D-Foundations OG[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 OG[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.

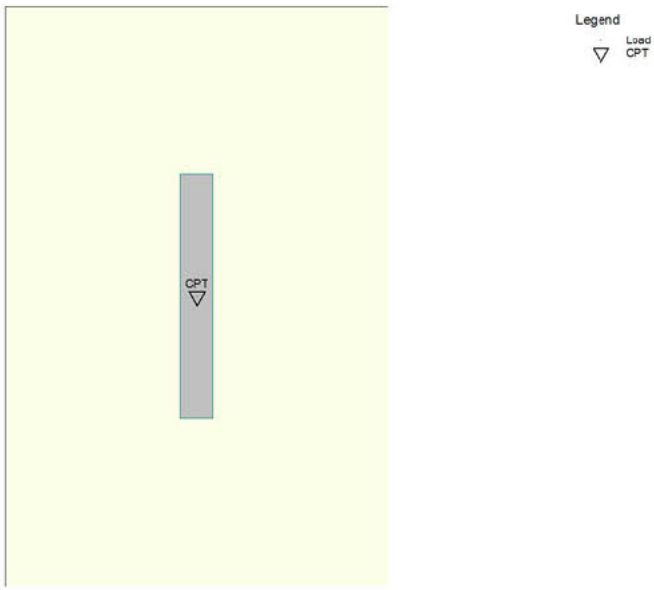
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek :	Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen :	1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



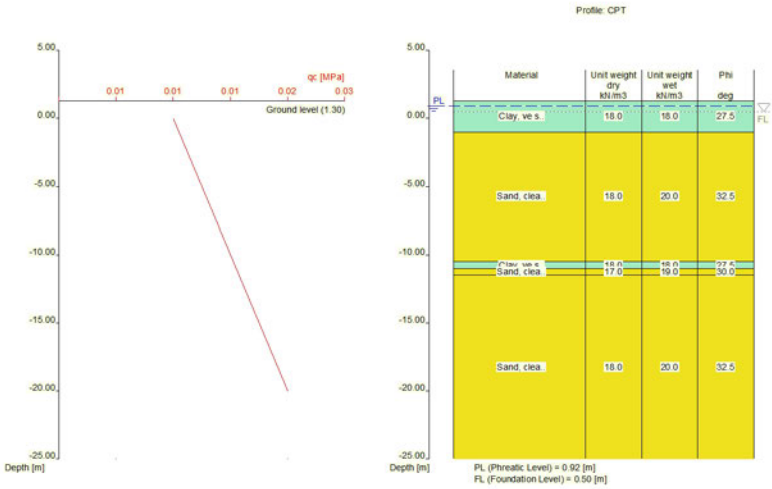
Nummer/naam sondering	X-coor-dinaat [m]	Y-coor-dinaat [m]
1: CPT	0.00	0.00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel CPT

Behorende bij sondering	CPT
Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :	1.30
Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :	0.92
Funderingsniveau in [m t.o.v. R.N.] =	0.50
Concentratiegetal van Frohlich [-] =	3
Aantal lagen in profiel :	5



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	1.300	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
2	-1.000	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00
3	-10.500	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
4	-11.000	17.00	19.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
5	-11.500	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00

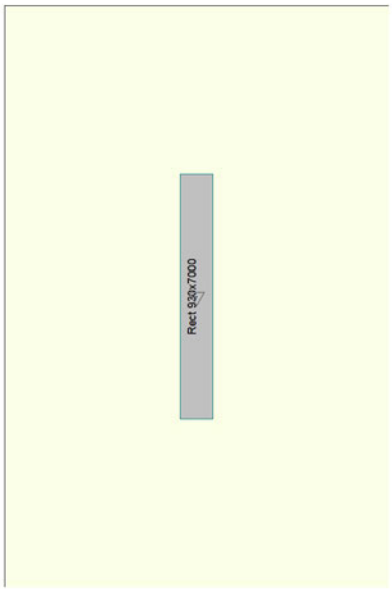
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e0 [-]	Grond-soort
1	1.300	0.00	Klei
2	-1.000	0.26	Zand
3	-10.500	0.00	Klei
4	-11.000	0.26	Zand
5	-11.500	0.26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Rect 930x7000	Rechthoekige poer	0.93	7.00	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 930x7000	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	1300.00	0.00	0.00	1180.00

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 B	1300.00	758.47	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	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	7.00	0.93	24.35	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	0.184	0.184	0.028	Voldoet NIET	Voldoet NIET

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	0.132	0.132	0.022	Voldoet NIET	Voldoet NIET

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 0.211 meter en
is gevonden bij funderingselement 1
De maximale zakking in de Bruikbaarheidsgrenstoestand bedraagt 0.154 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:	24-6-2021
Tijd van rapport:	8:54:57
Datum van berekening:	24-6-2021
Tijd van berekening:	8:54:28
Bestandsnaam:	C:\..\Geotechnisch Draagvermogen\OG[redacted] Werfkelder draagvermogen_phi30
Projectbeschrijving:	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted] _ phi = 30 Utrecht Werfkelder D-Foundations OG[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]_ phi = 30
Titel 2 :	Utrecht Werfkelder
Titel 3 :	D-Foundations OG[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.

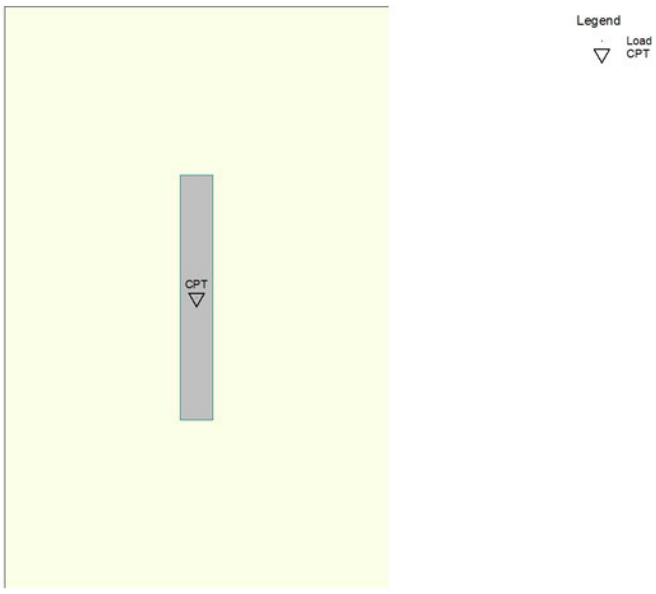
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek :	Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen :	1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



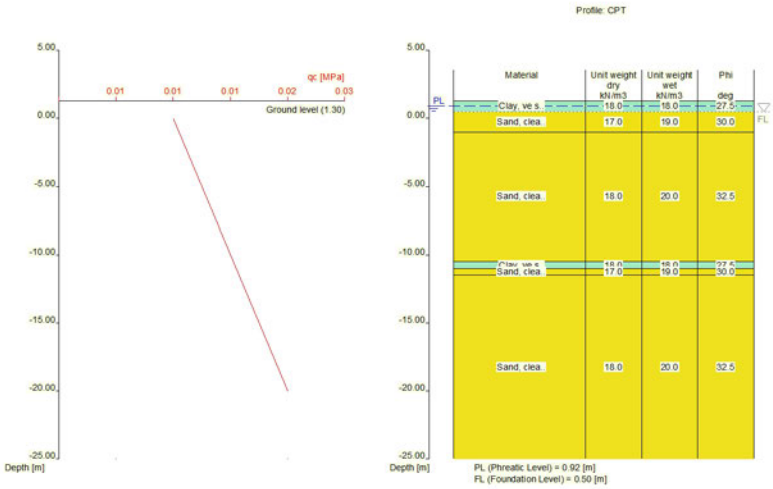
Nummer/naam sondering	X-coor-dinaat [m]	Y-coor-dinaat [m]
1: CPT	0.00	0.00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel CPT

Behorende bij sondering	CPT
Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :	1.30
Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :	0.92
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	1.300	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
2	0.500	17.00	19.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
3	-1.000	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00
4	-10.500	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
5	-11.000	17.00	19.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
6	-11.500	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00

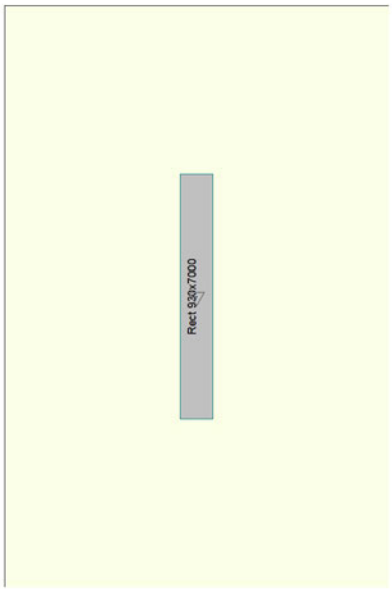
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e0 [-]	Grond-soort
1	1.300	0.00	Klei
2	0.500	0.26	Zand
3	-1.000	0.26	Zand
4	-10.500	0.00	Klei
5	-11.000	0.26	Zand
6	-11.500	0.26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Rect 930x7000	Rechthoekige poer	0.93	7.00	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 930x7000	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	1300.00	0.00	0.00	1180.00

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 B	1300.00	1028.99	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	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	7.00	0.93	26.66	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	0.028	0.029	0.000	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	0.020	0.020	0.000	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 0.028 meter en
is gevonden bij funderingselement 1
De maximale zakking in de Bruikbaarheidsgrenstoestand bedraagt 0.020 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:	24-6-2021
Tijd van rapport:	8:55:35
Datum van berekening:	24-6-2021
Tijd van berekening:	8:55:21
Bestandsnaam:	C:\..\OG[redacted] Werfkelder draagvermogen_phi32.5
Projectbeschrijving:	Toetsing landhoofd kelder OG[redacted] _ phi = 32,5 Utrecht Werfkelder D-Foundations OG[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] _ phi = 32,5
Titel 2 :	Utrecht Werfkelder
Titel 3 :	D-Foundations OG[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.

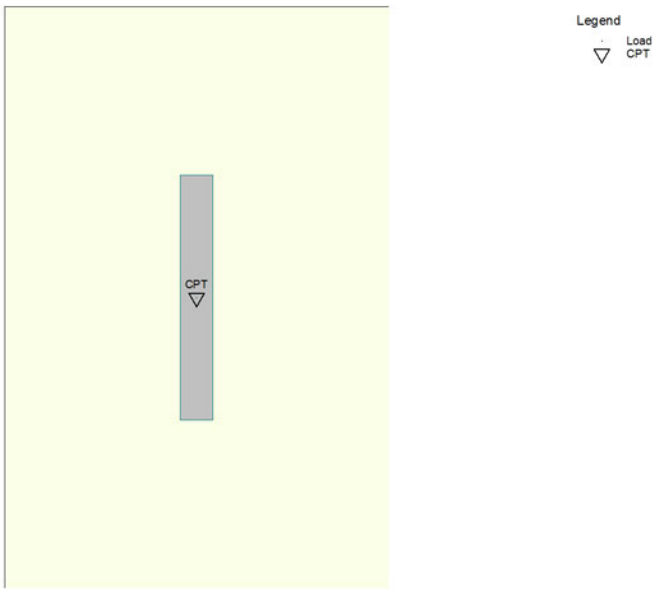
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek :	Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen :	1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



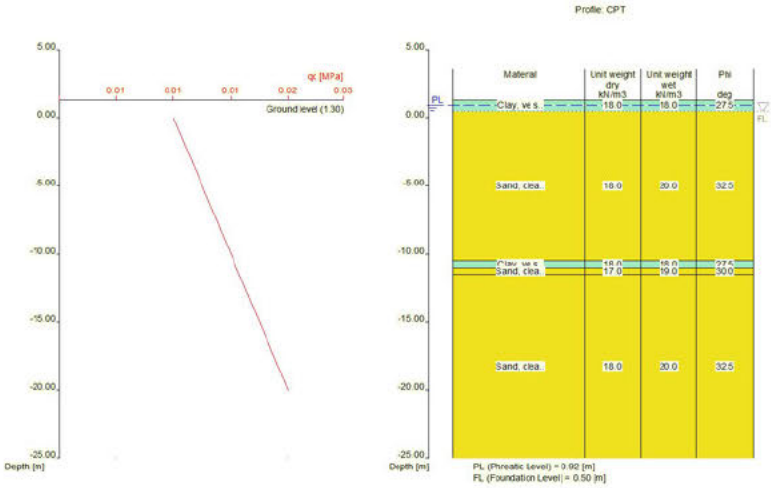
Nummer/naam sondering	X-coor-dinaat [m]	Y-coor-dinaat [m]
1: CPT	0.00	0.00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel CPT

Behorende bij sondering	CPT
Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :	1.30
Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :	0.92
Funderingsniveau in [m t.o.v. R.N.] =	0.50
Concentratiegetal van Frohlich [-] =	3
Aantal lagen in profiel :	5



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	1.300	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
2	0.500	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00
3	-10.500	18.00	18.00	27.50	0.00	0.00	0.09	0.00
4	-11.000	17.00	19.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
5	-11.500	18.00	20.00	32.50	0.00	0.00	0.00	0.00

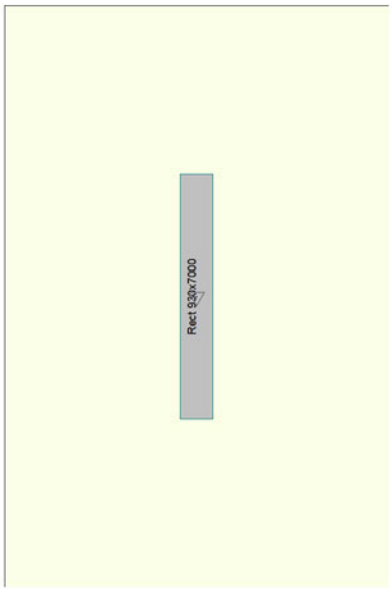
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e0 [-]	Grond-soort
1	1.300	0.00	Klei
2	0.500	0.26	Zand
3	-10.500	0.00	Klei
4	-11.000	0.26	Zand
5	-11.500	0.26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Rect 930x7000	Rechthoekige poer	0.93	7.00	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 930x7000	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	1300.00	0.00	0.00	1180.00

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 B	1300.00	1417.53	0.00	0.00	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	7.00	0.93	28.99	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	0.013	0.014	0.000	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	0.009	0.010	0.000	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 0.013 meter en
is gevonden bij funderingselement 1
De maximale zakking in de Bruikbaarheidsgrenstoestand bedraagt 0.009 meter en
is gevonden bij funderingselement 1

Einde Rapport

Royal HaskoningDHV

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

Witteveen + Bos

Kluiskelders Utrecht: Oudegracht [redacted]

Rapportage inspectie en onderzoek OG[redacted]

Gemeente Utrecht

9 juni 2021

Project	Kluiskelders Utrecht: Oudegracht [redacted]
Opdrachtgever	Gemeente Utrecht
Document	Rapportage inspectie en onderzoek OG [redacted]
Status	Definitief
Datum	9 juni 2021
Referentie	122608/21-009.055
Projectcode	122608
Projectleider	[redacted]
Projectdirecteur	[redacted]
Auteur(s)	[redacted]
Gecontroleerd door	[redacted]
Goedgekeurd door	[redacted]
Paraaf	

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

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

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

INHOUDSOPGAVE

1	**INLEIDING**	**5**
1.1	Doel van dit document	5
1.2	Doel van de inspecties en onderzoeken	5
1.3	Locatiegegevens	5
1.4	Leeswijzer	6
2	**WERKZAAMHEDEN**	**7**
2.1	Vastgestelde werkzaamheden	7
2.2	Scope	7
2.3	Afwijkingen t.o.v. inspectieplan	8
3	**RESULTATEN INSPECTIE**	**10**
3.1	Inspectieresultaten	10
4	**RESULTATEN ONDERZOEKEN**	**17**
4.1	Uitgevoerde onderzoeken	17
4.2	Graven van de proefsleuf (OG-[redacted]	17
4.3	Inmetingen bovenzijde (OG-[redacted] OG-[redacted]	18
4.4	Inmetingen binnenzijde (OG-[redacted]	19
4.5	Boorkernen (OG-[redacted] en OG-[redacted]	20
	Laatste pagina	23

	Bijlage(n)	**Aantal pagina's**
I	Inspectietekeningen	2
II	Profielmetingen	1

1

INLEIDING

1.1 Doel van dit document

Voorliggend inspectie- en onderzoeksrapportage behoort toe aan de (aangepaste) uitvraag van de gemeente Utrecht (GU) met betrekking tot de aangepaste uitvraag Ingenieursproducten 'Bepaling belastbaarheid kelders' van 5 oktober 2020 opgesteld door de heer [redacted]

Het rapport beschrijft de uitkomsten van de uitgevoerde inspecties en onderzoeken aan de werfkelder aan de Oudegracht [redacted] te Utrecht. Als basis voor de werkzaamheden is vooraf een inspectie- en onderzoeksplan opgesteld 'Inspectie- en onderzoeksplan ten behoeve van 'Bepaling belastbaarheid Oudegracht [redacted] ref. 122608/21-002.432 van 12 februari 2021. Aan dit document zal verder dit plan als 'REF1' worden gerefereerd.

De werkzaamheden beschreven in deze rapportage zijn gelijktijdig uitgevoerd op woensdag 10 maart 2021.

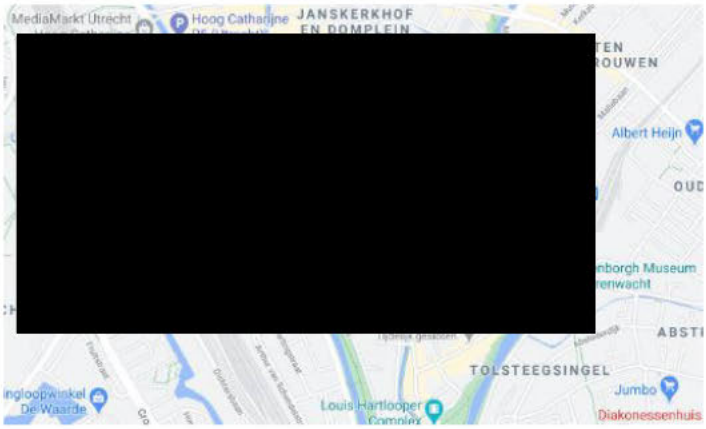
1.2 Doel van de inspecties en onderzoeken

Deze rapportage is opgesteld met als afgeleide doelstelling:
- vastleggen van de inspectieresultaten, specifiek gericht op de constructieve- en onderhoudsstaat;
- het uitvoeren van (non)destructieve onderzoeken en verificaties.

1.3 Locatiegegevens

Locatie
Het object is gelegen aan de Oudegracht [redacted] (OG[redacted]) te Utrecht, zie afbeelding 1.1. De kelder is opgebouwd uit verschillende ruimtes, deze zijn allen geïnspecteerd.

Afbeelding 1.1 Locatie kelder Oudegracht [redacted] te Utrecht (bron: Google maps)



1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 staan de uitgevoerde werkzaamheden beschreven. Ook de eventuele afwijkingen ten aanzien van het inspectieplan (REF1) staan hierin benoemd:

- in hoofdstuk 3 staan de uitgevoerde inspecties uitgewerkt;
- hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de diverse onderzoeken, inclusief de uitkomsten en resultaten;
- afsluitend geeft hoofdstuk 5 een samenvatting van alle uitgevoerde inspecties en onderzoeken.

2

WERKZAAMHEDEN

2.1 Vastgestelde werkzaamheden

In het vooraf opgestelde inspectie- en onderzoeksplan (REF1) is de benodigde scope ten behoeve van de in dit rapport uitgewerkte inspecties en onderzoeken beschreven op basis van een bureaustudie van de beschikbare gegevens en foto's van de kelder.

In dit hoofdstuk wordt stapsgewijs doorgenomen welke inspecties en onderzoeken vooraf zijn vastgesteld en hoe hier invulling aan gegeven is. De uitwerking is verder op in deze rapportage uitgebreid beschreven.

2.2 Scope

De inspecties en onderzoeken zoals bepaald in het inspectieplan (REF1) zijn samengevat in tabel 2.1. Hierin staat tevens in welke mate deze onderzoeken zijn uitgevoerd. Kleine wijzigingen in de voorziene inspecties en onderzoeken treden nagenoeg altijd op als gevolg van een verschil tussen de theoretische analyse tijdens de bureaustudie en de feitelijke situatie ter plaatse. Door de inspecteurs van Witteveen+Bos en RHDHV (constructief) is ter plaatse besloten welke voorziene inspecties ongewijzigd uitgevoerd kunnen worden en welke in aangepaste vorm uit te voeren.

Indien is afgeweken van het onderzoeksplan staat in paragraaf 2.3 aangegeven welke onderzoeken dit betreft en om welke reden(en).

Tabel 2.1 Specificatie benodigde inspecties en onderzoeken OG[redacted]

Nummer	Werkzaamheden/actie	Uitgevoerd?	Bijzonderheden ten aanzien van uitvoering
OG-1	visuele inspectie BINNENZIJDE	ja	geen
OG-2	visuele inspectie BUITENZIJDE	ja	vanaf kade aan buitenzijde
OG-3	controle metselwerk, letten op dilataties, overgang type constructies, etc. BINNENZIJDE	deels	deels uit kunnen voeren in verband met aanwezige afwerklaag, zie tabel 2.2
OG-4	controle metselwerk, letten op dilataties, overgang type constructies, etc. BUITENZIJDE	ja	vanaf kade aan buitenzijde
OG-5	controle metselwerk op uitbreidingen/aanpassingen uit verleden BINNENZIJDE	deels	deels uit kunnen voeren in verband met aanwezige afwerklaag, zie tabel 2.2

Nummer	Werkzaamheden/actie	Uitgevoerd?	Bijzonderheden ten aanzien van uitvoering
OG-6	controle metselwerk op uitbreidingen/aanpassingen uit verleden BUITENZIJDE	ja	geen
OG-7	graven proefsleuf en controleren geometrie en vorm bovenzijde kelder, eveneens inmeten profiel	ja	ook aan bovenzijde 3D-scan uitgevoerd
OG-8	in beeld brengen grondopbouw	ja	ingemeten en uitgevoerd door middel van landmetingen
OG-9	boorkernen ten behoeve van bepaling dikte toog en opbouw metselwerk vanaf bovenzijde	ja	op twee locaties uitgevoerd
OG-10	boorkernen nemen ten behoeve van bepalen dikte afwerklaag buitenzijde kelder	deels	gebaseerd op twee boringen zoals beschreven onder OG-9, zie tabel 2.2
OG-11	bepalen koppeling naastgelegen togen om boring in wanden te voorkomen.	nee	aan de bovenzijde is niet vastgesteld hoe deze aansluiting aanwezig is, zie tabel 2.2
OG-12	tachimetrische inmeting ten behoeve van hoogteligging en verloop bovenzijde toogconstructie en drempel doorgang in kluiswand	ja	geen
OG-13	contouren inmeten binnenzijde door middel van 3D-laserscan en vastleggen hoogte drempel ter plaatse van doorgang kluiswand	ja	eveneens aan bovenzijde en deels in de naastgelegen kelder (nummer [redacted] uitgevoerd

2.3 Afwijkingen ten opzichte van inspectieplan

Inspecties en/of onderzoeken waar bij de werkelijke uitvoering afgeweken is van de voorziene uitvoering zijn in deze paragraaf gespecificeerd in tabel 2.2 inclusief een toelichting. Als er een alternatief onderzoek heeft plaatsgevonden, is dit tevens toegelicht.

Tabel 2.2 Toelichting afwijkingen ten opzichte van inspectieplan OG[redacted]

Nummer	Werkzaamheden/actie	Toelichting/onderbouwing
OG-3	controle metselwerk, letten op dilataties, overgang type constructies, etc. BINNENZIJDE	Deels uitgevoerd. De binnenzijde is voorzien van een afwerklaag. Deze wisselt per ruimte, maar resulteert er wel in dat het metselwerk niet zichtbaar is, op een enkele schadelocatie na. Wel is voor een groot deel vastgesteld waar overgangen, dilataties en verschillende typen constructies aanwezig zijn. Zo ook de overgang van het betonnen deel en het metselwerk.
OG-5	controle metselwerk op uitbreidingen/aanpassingen uit verleden BINNENZIJDE	Deels uitgevoerd. De binnenzijde is voorzien van een afwerklaag. Deze wisselt per ruimte, maar resulteert er wel in dat het metselwerk niet zichtbaar is, op een enkele schadelocatie na. Wel is vastgesteld waar uitbreidingen (beton) en/of aanpassingen aanwezig zijn.

Nummer	Werkzaamheden/actie	Toelichting/onderbouwing
OG-10	boorkernen nemen ten behoeve van bepalen dikte afwerklaag buitenzijde kelder	Deze boorkernen zijn niet genomen omdat de twee boorkernen die door-en-door genomen zijn (onderzoek OG-9) voldoende informatie verschaften.
OG-11	bepalen koppeling naastgelegen togen om boring in wanden te voorkomen	Er is aan de bovenzijde een betonnen afwerking, vermoedelijk een L-Wand, aanwezig. Ook is er aan weerszijden een grindkoffer aanwezig. Hierdoor kon de koppeling tussenbeide niet worden vastgesteld, ook niet door middel van boringen omdat op deze locaties ook de afwatering loopt. Wel is er een 3D-scan uitgevoerd van een deel van de naastgelegen kelder op nr. [redacted] Er zal gekeken worden of de wanddikte op deze manier kan worden vastgesteld.

3

RESULTATEN INSPECTIE

3.1 Inspectieresultaten

Per inspectielocatie is in tabel 3.1 aangegeven wat de bevindingen zijn, inclusief foto's. De locatie van de schades is weergegeven op een inspectietekening, bijgevoegd onder bijlage I bij dit rapport.

Er is tevens aangegeven of een schade een lokale betreft, of een generieke. In het laatste geval betreft het een schade die verspreid over het gehele constructieonderdeel meerdere malen voorkomt en een gelijk karakter vertoont.

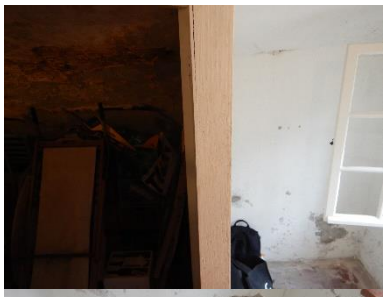
Tabel 3.1 Uitwerking resultaten inspectie en onderzoek

Inspectie Nummer	Nummer onderzoeks plan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
01	OG-12	De binnenzijde van de kelder, vloer	Er is een betonnen vloer aanwezig in de hele kelder. De vloer is droog. De vloer loopt ook door in de twee aparte, particuliere bergingen. Er is zichtbaar dat er een rode coating op aanwezig is. Deze is versleten. Ook zijn er enkele reparaties zichtbaar. De vloer klinkt niet hol, klinkt massief.	
02	OG-12	De binnenzijde van de kelder, vloer	Er is een scheur aanwezig over de volledige breedte van de kelder (van wand tot wand) op ca. 1 m vanaf de kluiswand. De scheurwijdte varieert tussen 0,3-3 mm. Ter plaatse van de deur, is zichtbaar dat de vloer omhoogkomt. Ook klinkt deze hol. Om de deur nog te kunnen openen, is een deel van de vloer 'uitgehold'. Een mogelijke oorzaak kan zijn de wortelgroei van de boom aanwezig op de kade, net naast de kelder.	

Inspectie Nummer	Nummer onderzoeks plan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
03	OG-1	De binnenzijde van de kelder, afwerklaag	Er zijn verschillende soorten afwerking op de boogconstructie aanwezig in de kelder. De toestand van de afwerklaag is wisselend.	
04	OG-1	De binnenzijde van de kelder, afwerklaag achterste deel kelder	In het achterste deel (deel dat aansluit op de kelder onder de woning), is de afwerklaag in goede staat. Er is geen naad zichtbaar ter plaatse van de aansluiting met het huis. Geen holklinkende delen, niet poreus.	
05	OG-1	De binnenzijde van de kelder, afwerklaag centrale deel kelder	In het centrale deel van de kelder, die doorloop tussen de beide bergingen in, is in de top van de boog de afwerking slecht en poreus. Een aantal stenen is hier zichtbaar. De stenen die zichtbaar zijn, zijn deels aangetast over de eerste ca. 5mm. Daarna klinken de stenen hard en niet hol. De samenhang is goed. De stenen die zijn ingemeten in de top, zijn van het type kloostermop. Voor een verdere beschrijving, zie paragraaf 4.5.	

Inspectie Nummer	Nummer onderzoeks plan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
06	OG-1	De binnenzijde van de kelder, afwerklaag berging [redacted] (linker berging)	De afwerklaag is in goede staat. Niet poreus en niet holklinkend. De oorspronkelijke (oudere) afwerklaag is door de bewoner verwijderd voordat de huidige is aangebracht.	
07	OG-1/ OG-3/ OG-5	De binnenzijde van de kelder, afwerklaag berging [redacted] (rechter berging)	De afwerklaag is zeer slecht. Een groot deel is reeds losgekomen. De laag is zeer poreus. Het metselwerk is deels zichtbaar. Zie schade 08. Niet de hele kelder is onder handbereik geïnspecteerd in verband met de toegankelijkheid ten gunste van de hoeveelheid spullen die is opgeslagen. Enkel het eerste deel na binnenkomst was bereikbaar. Er is geen overgang zichtbaar in de opbouw van het metselwerk ter plaatse van de toog op de wand.	
08	OG-1	De binnenzijde van de kelder, afwerklaag berging [redacted] (rechter berging)	Een groot deel van de afwerklaag ontbreekt. Het betreft een deel van circa 1300x600 mm. De stenen zijn zichtbaar in dit deel. Ze klinken hard en zijn niet poreus. De afmetingen van de stenen zijn opgemeten. Voor een verdere beschrijving, zie paragraaf 4.5.	

Inspectie Nummer	Nummer onderzoeks plan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
09	OG-1	De binnenzijde van de kelder, anker in berging [redacted] (rechter berging)	Het anker, aanwezig in de wand, loopt niet door en hangt los aan het uiteinde. Het vermoeden is dat deze in de oorspronkelijke (metselwerken) constructie heeft doorgelopen welke nu is vervangen door een constructie van beton. Het anker is gecorrodeerd, deze is echter oppervlakkig. Geen sprake van afname.	
10	OG-1	De binnenzijde van de kelder, anker in berging [redacted] (linker berging)	Er zijn twee ankers aanwezig in de boog, één in de top en één in de wand. Het vermoeden is dat deze ankers in de oorspronkelijke (metselwerken) constructie heeft doorgelopen welke nu is vervangen door een constructie van beton. Ze zijn afgekort. Het anker in de top van de boog is 2100 mm lang. Het anker in de wand is 1200 mm lang. Beide ankers zijn gecorrodeerd, dit is echter oppervlakkig. Geen sprake van afname.	
11	OG-1/ OG-3/ OG-5	De binnenzijde van de kelder, betonnen deel	De eerste anderhalve meter (vanaf binnenzijde kluiswand gezien) bestaat uit een jonger, uit beton opgetrokken deel. Op de overgang beton-metselwerk, is een scheur zichtbaar. Dit komt waarschijnlijk door de overgang, gezien de positie precies op de grens tussenbeide. De scheur verloopt grillig en deels in het metselwerk.	

Inspectie Nummer	Nummer onderzoeks plan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
12	OG-1	De binnenzijde van de kelder, betonnen deel	De betonnen wanden staan, ter plaatste van de onderzijde van de boog, verder naar binnen dan de metselwerken boog. De constructie klinkt massief.	
13	OG-1	De binnenzijde van de kelder, wand achterste deel kelder	Er is een 'inkeping' zichtbaar in de wand. De oorsprong is niet bekend. Er is een afdruk van (oude) corrosie zichtbaar.	

Inspectie Nummer	Nummer onderzoeks plan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
14	OG-1	De binnenzijde van de kelder, algemeen	Er is verdeeld over de kelder diverse elektra en verlichting aanwezig.	
15	OG-9	Metselwerk, boog	Er zijn in totaal twee boorkernen door-en-door geboord om de dikte en de opbouw van het metselwerk te kunnen bepalen. Voor een verdere beschrijving, zie paragraaf 4.5.	
16	OG-2	Kluiswand kelder, buitenzijde	Er is kalkuitbloei zichtbaar ter plaatse van de bovenste vier-vijf (horizontale) strekken. Het metselwerk ligt onderling nog in lijn. De uitbloei is over de gehele breedte zichtbaar. De oorzaak is vocht dat vermoedelijk vanaf de straat door het metselwerk heen is gedrongen.	

Inspectie Nummer	Nummer onderzoeks plan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
17	OG-2	Kluiswand kelder, buitenzijde	Ter plaatse van de bovenste drie horizontale strekken, ontbreekt een deel van het voegwerk. Een ander deel zit los. Dit beeld is over de gehele breedte zichtbaar. Een vermoedelijke oorzaak is het vocht dat eveneens de kalkuitbloei veroorzaakt heeft. Zie schade 16.	
18	OG-2/ OG-4/ OG-6	Buitenzijde	Er zijn geen afwijkingen, uitbreidingen, aanpassingen, overgangen, etc. waargenomen aan de buitenzijde. Er is één toegangsdeur met daarnaast twee ramen (inclusief luiken) aanwezig.	
19	OG-7	Bovenzijde, proefsleuf	Ten behoeve van diverse inspecties- en onderzoeken is er een proefsleuf gegraven. Hierbij is rekening gehouden met de overgang van het betonnen deel en het metselwerken deel.	
20	OG-1	De binnenzijde van de kelder, berging [redacted] (rechter berging)	Er is een toog aanwezig in de ronding van de boog, tot aan de vloer. Wellicht betreft het hier een voormalige doorgang. Er zijn geen verdere gegevens bekend.	

4

RESULTATEN ONDERZOEKEN

4.1 Uitgevoerde onderzoeken

Er zijn aan het object diverse onderzoeken uitgevoerd, zowel destructief als non-destructief. In tabel 4.1 staan de onderzoeken beschreven die in dit hoofdstuk behandeld worden.

Tabel 4.1 Specificatie benodigde inspecties en onderzoek OG[redacted]

Nr.	Werkzaamheden/actie	Uitgevoerd?	Bijzonderheden ter attentie van uitvoering
OG-7	graven proefsleuf en controleren geometrie en vorm bovenzijde kelder, eveneens inmeten profiel	ja	ook aan bovenzijde 3D-scan uitgevoerd
OG-8	in beeld brengen grondopbouw	ja	ingemeten en uitgevoerd door middel van landmetingen
OG-9	boorkernen ten behoeve van bepaling dikte toog en opbouw metselwerk vanaf bovenzijde	ja	op twee locaties uitgevoerd
OG-10	boorkernen nemen ten behoeve van bepalen dikte afwerklaag buitenzijde kelder	deels	gebaseerd op twee boringen zoals beschreven onder OG-9, zie tabel 2.2.
OG-11	bepalen koppeling naastgelegen togen om boring in wanden te voorkomen.	nee	aan de bovenzijde is niet vastgesteld hoe deze aansluiting aanwezig is, zie tabel 2.2
OG-12	tachimetrische inmeting ten behoeve van hoogteligging en verloop bovenzijde toogconstructie en drempel doorgang in kluiswand	ja	geen

4.2 Graven van de proefsleuf (OG-7)

Er is door Gebr. De Leeuw een proefsleuf gegraven (zie afbeelding 4.1) om te kijken naar een aantal zaken en om diverse onderzoeken uit te kunnen voeren. De belangrijkste onderdelen was het inmeten van de geometrie en het boren van een aantal kernen.

Aan de bovenzijde was niet veel zichtbaar door de aanwezige afwerklaag. Zie hoofdstuk 3 voor meer informatie.

Op de ruimte tussen de twee bogen blijft water staan. De afwatering (grindkoffer) bevindt zich ook in dit gebied. Het vrij graven is verder zonder problemen verlopen.

Afbeelding 4.1 De proefsleuf boven kelder Oudegracht [redacted]

4.3 Inmetingen bovenzijde (OG-8, OG-12)

Er hebben aan de bovenzijde diverse (tachimetrische) landmetingen plaatsgevonden. Het ging om het inmeten van de geometrie, het in kaart brengen van het verloop van de toog. De dikte van het grondpakket is ook op deze manier in beeld gebracht. Het grondpakket bestaat uit zand.

De dikte van het grondpakket is op het hoogste punt van de boog ter plaatse van het straatwerk aan de grachtzijde 210 mm. De steen is 90 mm. Het totale pakket is dus circa 300 mm. Zie afbeelding 4 2.

Afbeelding 4.2 Inmeting grondpakket grachtzijde

De dikte van het grondpakket is op het hoogste punt van de boog ter plaatse van de straat (onder de natuurstenen trottoirband) 180 mm. De band is 150 mm. Het totale pakket is dus circa 330 mm. Zie afbeelding 4.3.

Afbeelding 4.3 Inmeting grondpakket straatzijde

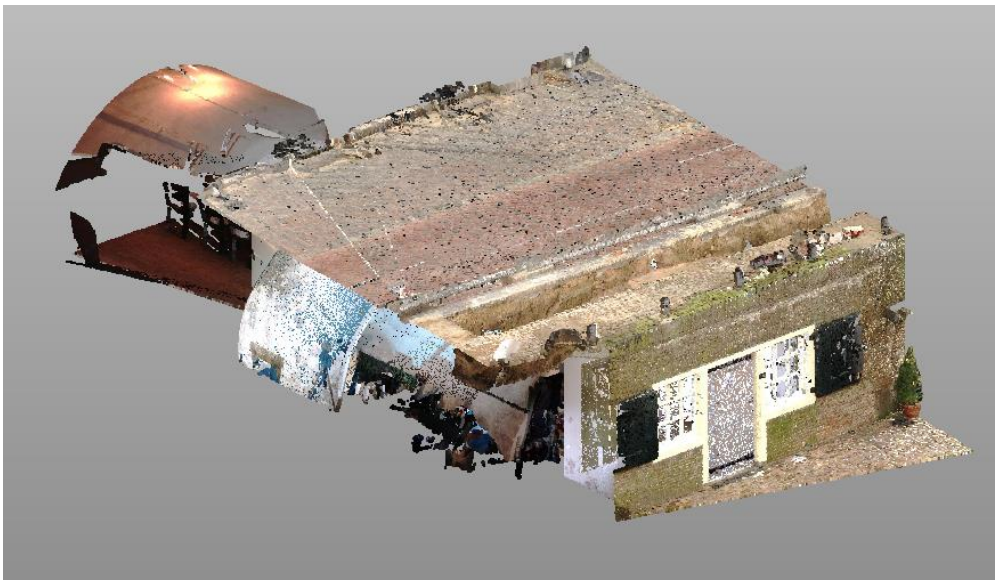
Er zijn in totaal twee profielen aan de bovenzijde ingemeten. Ook is er een meting gedaan om de 3D-scan te kunnen koppelen aan de overige inmetingen.

De profielmetingen zijn bijgevoegd onder bijlage II.

4.4 Inmetingen binnenzijde (OG-12)

Aan de boven- en binnenzijde van de kelder is een 3D laserscan uitgevoerd om de contouren van de kelder in kaart te brengen. Tevens zijn er tijdens deze metingen foto's gemaakt. Hierdoor zijn de exacte afmetingen zichtbaar en altijd in te zien.

Afbeelding 4.4 3D scan kelder Oudegracht [redacted]



Op afbeelding 4.5 is een voorbeeld van een doorsnede uit de 3D-scan opgenomen ter illustratie. Er is vermoedelijk een betonnen L-wand aangebracht tijdens het waterdicht maken van de kelder in het verleden.

Afbeelding 4.5 3D-scan binnenzijde, inclusief proefsleuf aan bovenzijde

De gegevens zijn aangeleverd als zogenaamde ‘pointcloud’ en vormen input voor de berekeningen en de inspectietekeningen (bijlage I).

4.5 Boorkernen (OG-9 en OG-10)

Vanaf de bovenzijde zijn een tweetal boringen uitgevoerd, door-en-door.

Eén van deze boringen is op het hoogste punt van de boog door-en-door geboord om de laagopbouw en dikte vast te stellen. Het betreft hier boring nummer B1.

De tweede is in het schuine deel van de boog door-en-door geboord om de laagopbouw en dikte vast te stellen. Het betreft hier boring nummer B2.

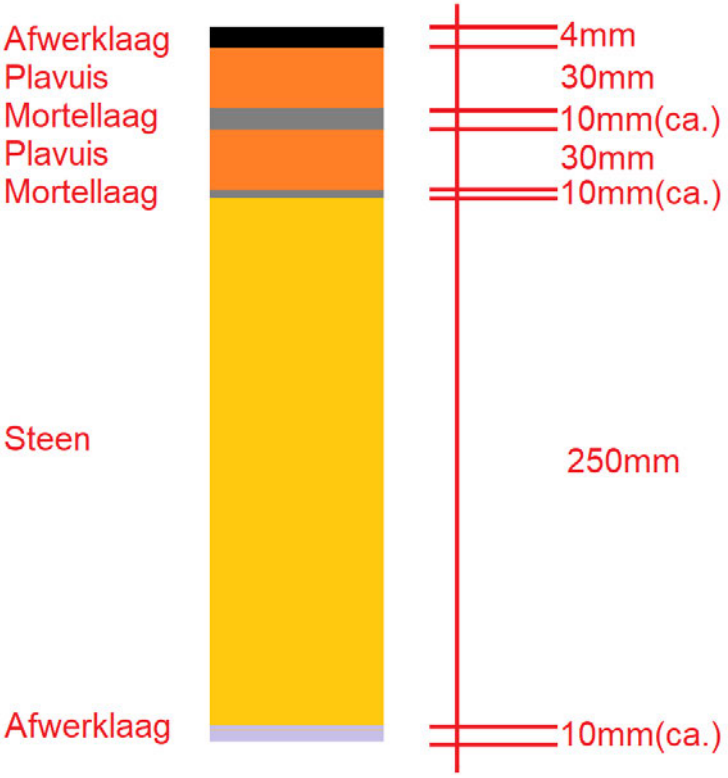
De kernen op beide locaties zijn eveneens gebruikt om te beoordelen hoe de afwerklaag is opgebouwd.

Boorkern B1
De eerste boorkern, B1, bestaat uit kloostermoppen in koppenverband. De afmeting van de steen is ingemeten. Deze is 250x75x135 mm.

Aan de bovenzijde is een waterdichte bitumineuze laag (met geotextiel) aanwezig van circa 4 mm. Daarna volgens twee lagen plavuizen van elk circa 30 mm dikte, met daartussenin een mortellaag. Daarna volgt de steen, in koppenverband. Aan de onderzijde is eveneens een afwerklaag aanwezig, van wisselende kwaliteit en dikte (gemiddeld genomen circa 10 mm).

Zie afbeelding 4.6 voor een schematische weergave.

Afbeelding 4.6 Schematische doorsnede metselwerk ter plaatse van kern B1



De dikte van de toog is op locatie ingemeten ter plaatse van deze kern als zijnde 350 mm. Dat komt redelijk overeen met de opbouw zoals op afbeelding 4.6 aangegeven.

De kern was op sommige delen onsamenhangend. Zie afbeelding 4.7.

Afbeelding 4.7 Boorkern B1

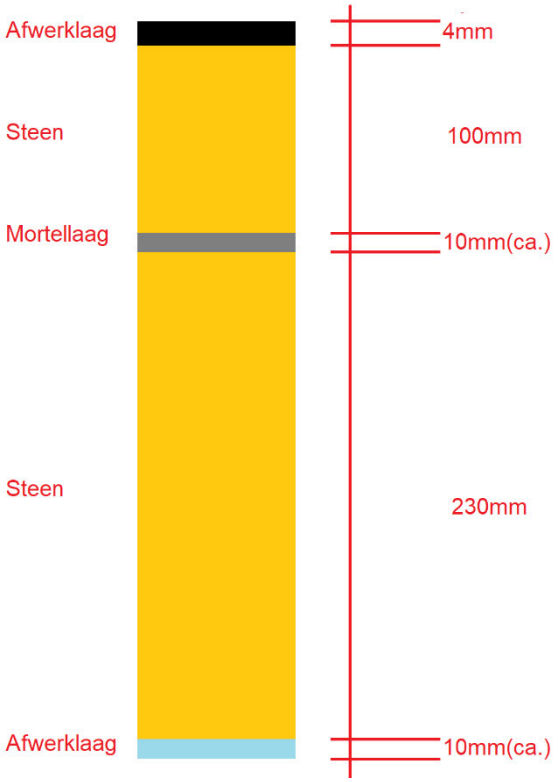
Boorkern B2

De tweede boorkern, B2, bestaat uit het type steen 'Utrechtsplat' in kruisverband of staand verband. Dit is niet geheel duidelijk. Dit in verband met de aanwezige afwerklaag aan de onderzijde.
De afmeting van de steen is ingemeten. Deze is 230x50x100 mm.

Aan de bovenzijde is een waterdichte bitumineuze laag (met geotextiel) aanwezig van circa 4 mm. Daarna volgt een liggende steen (100 mm), gevolgd door een mortellaag. Daarna volgt de steen, staand (230 mm). Aan de onderzijde is eveneens een afwerklaag aanwezig, van wisselende kwaliteit en dikte (gemiddeld genomen circa 10 mm).

Zie afbeelding 4.8 voor een schematische weergave.

Afbeelding 4.8 Schematische doorsnede metselwerk ter plaatse van kern B2



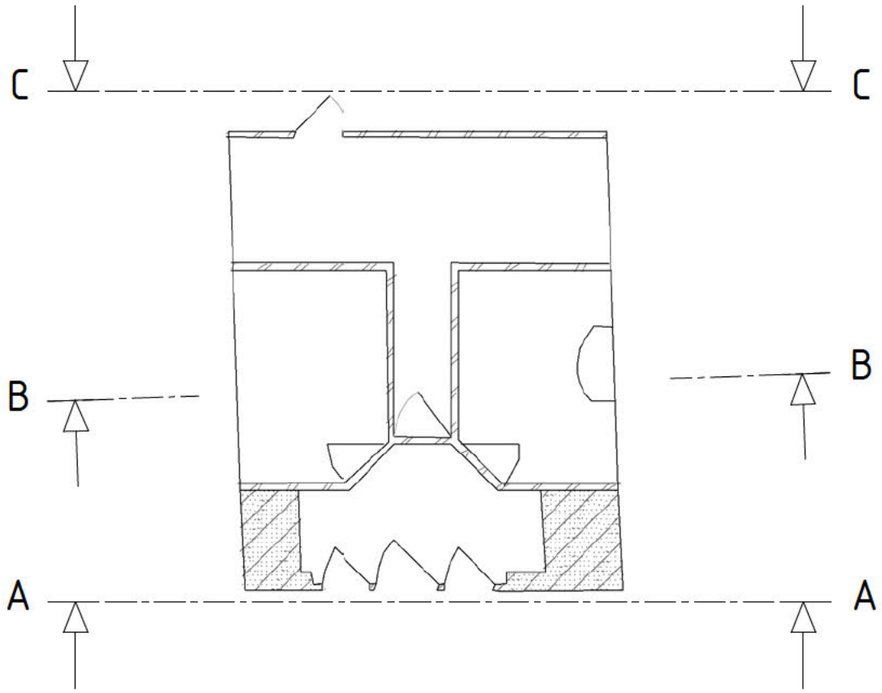
De dikte van de toog is op locatie ingemeten ter plaatse van deze kern als zijnde 350-360 mm. Dat komt redelijk overeen met de opbouw zoals op afbeelding 4.8 aangegeven.

De samenhang is goed. Zie afbeelding 4.9.

Afbeelding 4.9 Boorkern B2

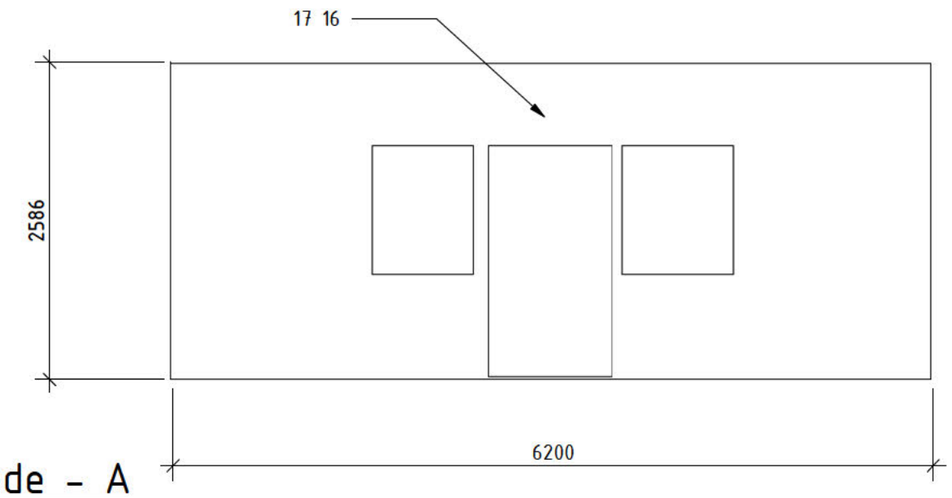
Bijlage(n)

BIJLAGE: INSPECTIETEKENINGEN



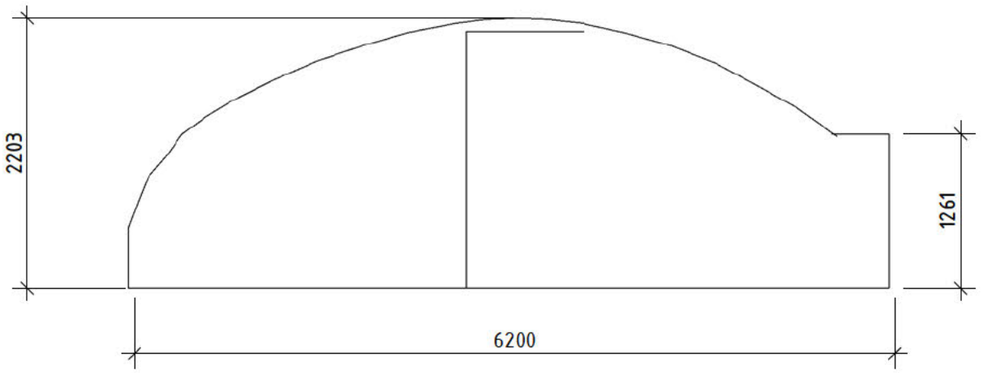
Bovenaanzicht

schaal: 1 : 100



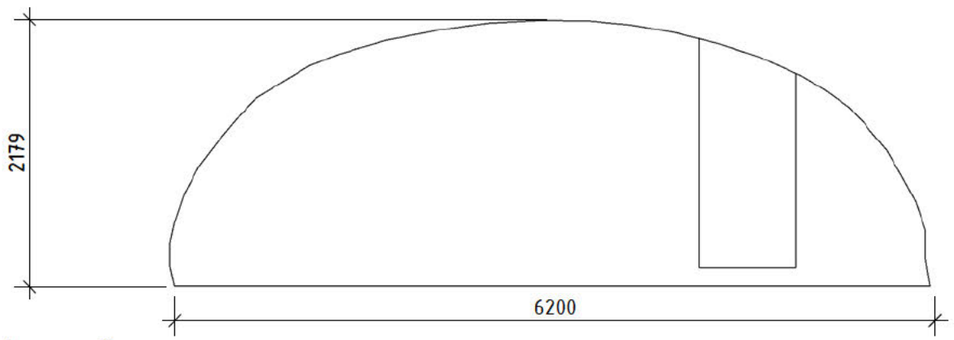
Doorsnede - A

schaal: 1 : 50



Doorsnede - B

schaal: 1 : 50



Doorsnede - C

schaal: 1 : 50

0 1.250mm 2.500mm

Schaal 1:50

0 2.500mm 5.000mm

Schaal 1:100

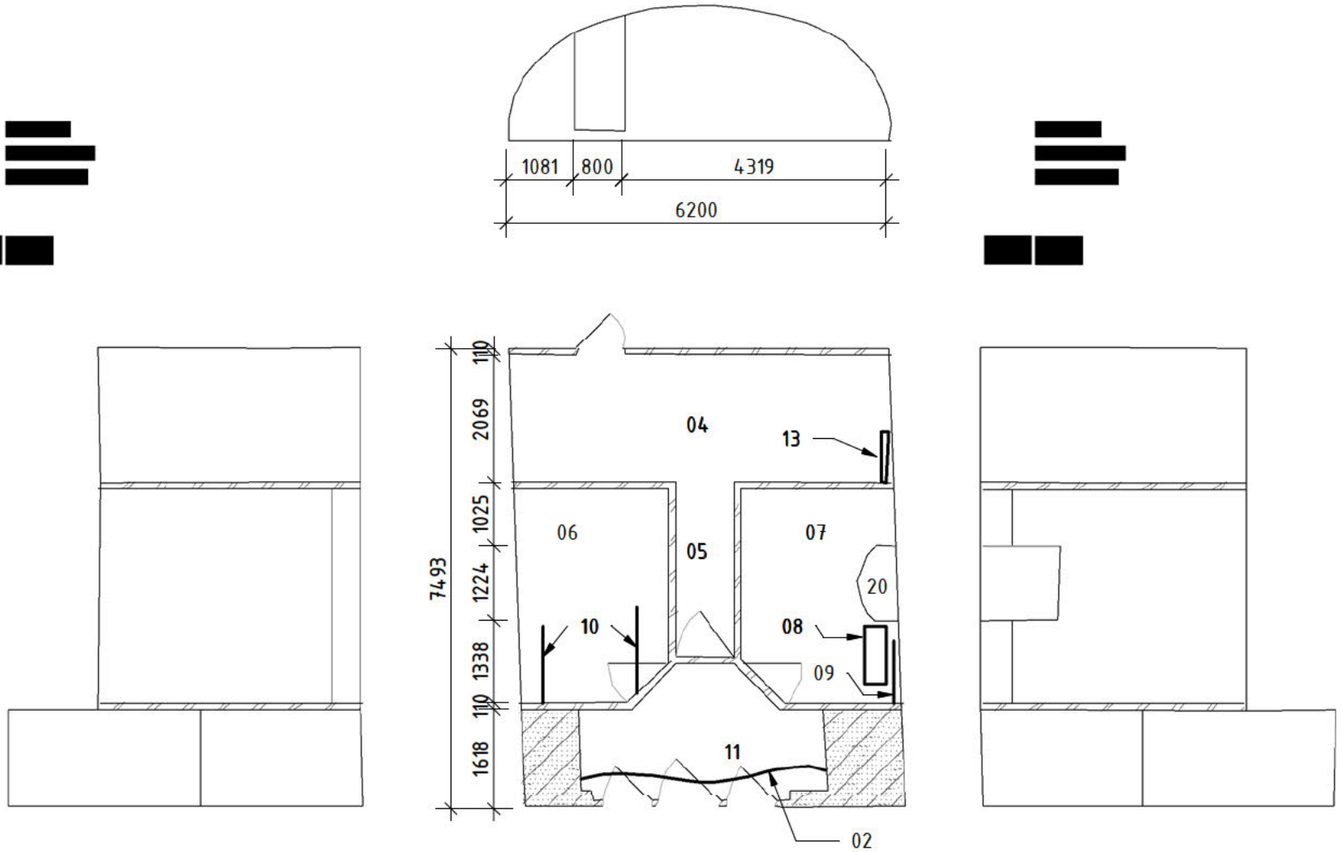
Witteveen + Bos

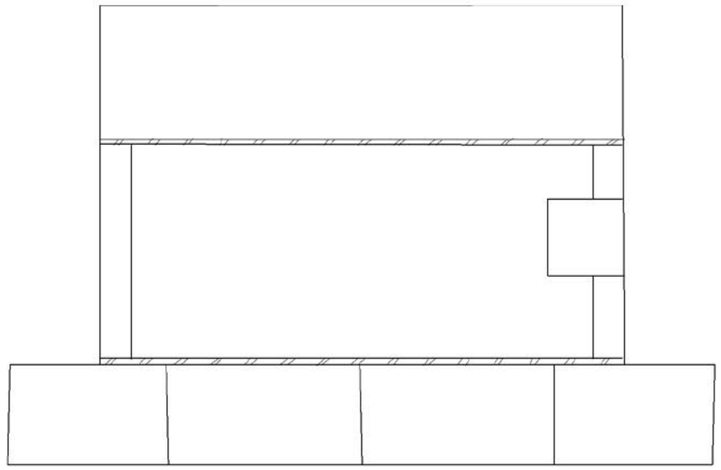
Project
Draagkracht Kelders - Utrecht
Inspectie Onderzoek

Onderdeel
Oudegracht - bovenaanzicht & doorsneden

Wijz.	Getek.	Datum		
			Status	Definitief
			Datum	01-04-2021
			Schaal	1:100
			Formaat	A3
			Projectcode	122608
			Tekeningnummer	- 1001
			Bladnummer	1/2

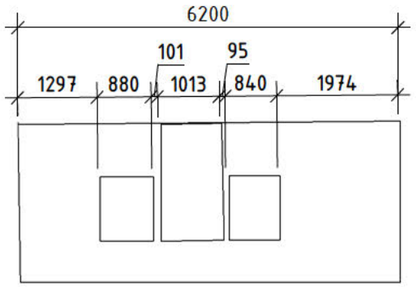
Getekend
Gecontroleerd
Goedgekeurd





Uitslag

schaal: 1 : 100



Bovenaanzicht

schaal: 1 : 100

0 2.500mm 5.000mm

Schaal 1:100

Witteveen + Bos

Project
Draagkracht Kelders - Utrecht
Inspectie Onderzoek

Onderdeel
Oudegracht - bovenaanzicht en uitslag

Wijz. Getek. Datum

Status Definitief
Datum 01-04-2021

Schaal
Formaat A3

Getekend
Gecontroleerd
Goedgekeurd

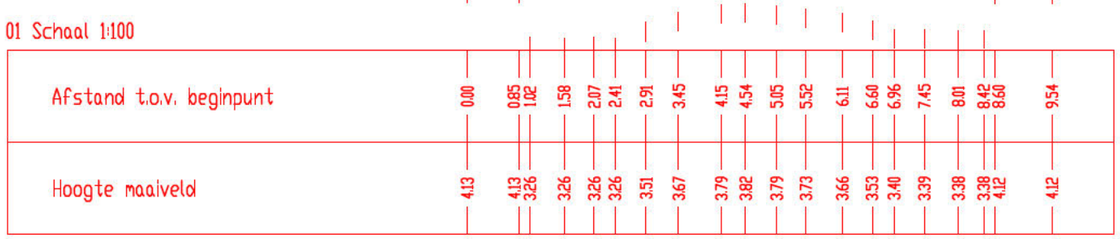
Projectcode 122608
Tekeningnummer - 1002
Bladnummer 2/2

II

BIJLAGE: PROFIELMETING

4.50 m. t.o.v. N.A.P.

01 Schaal 1:100



Oudegracht 2 Utrecht

profiel

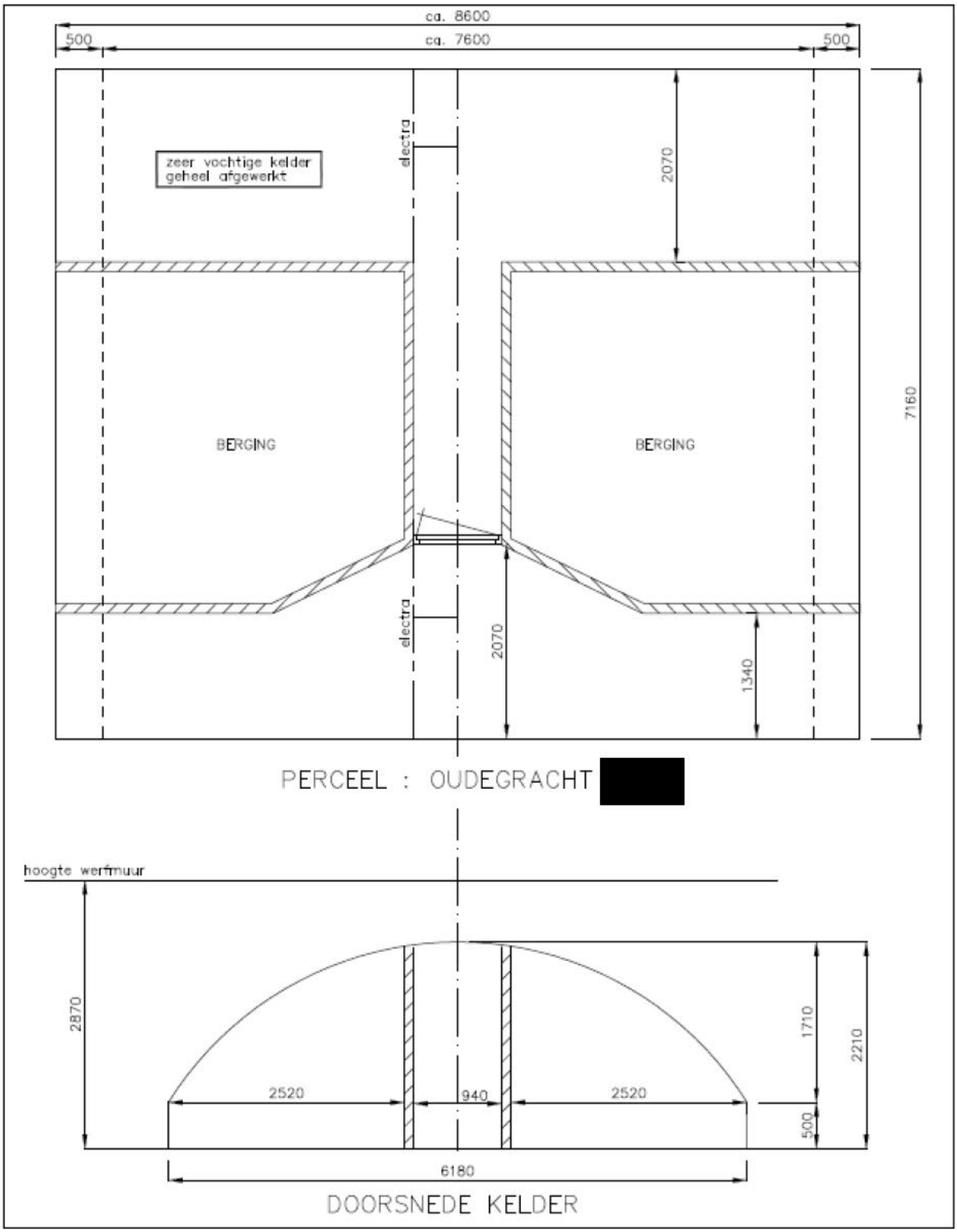
Tekening nummer: T001	Rev:	Bestandsnaam: GI900222-003 Profiel&Veg	Formaat: A3	Schaal: 1:100	Blad: 2	Aantal: 2	
Status: Ueren	Projectnummer: GI900222	Bestandsnummer:	Datum van afgave: 15-03-2021	Get.: DKO	Ctrl.:	Rev.:	

www.geogroup.nl

Royal HaskoningDHV

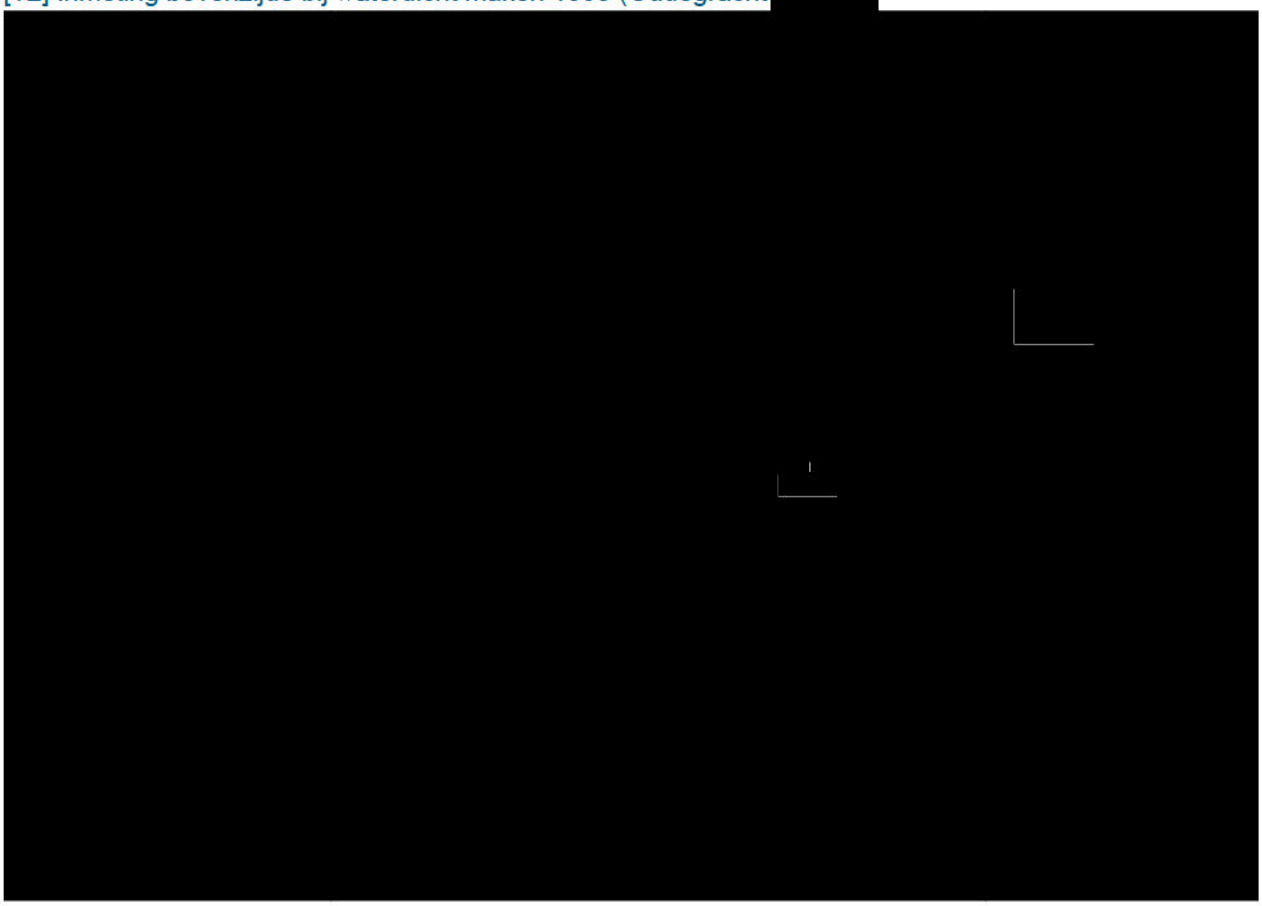
A3 Archiefgegevens

[T1] Uitslag kelder Oudegracht [redacted] (90'er jaren)



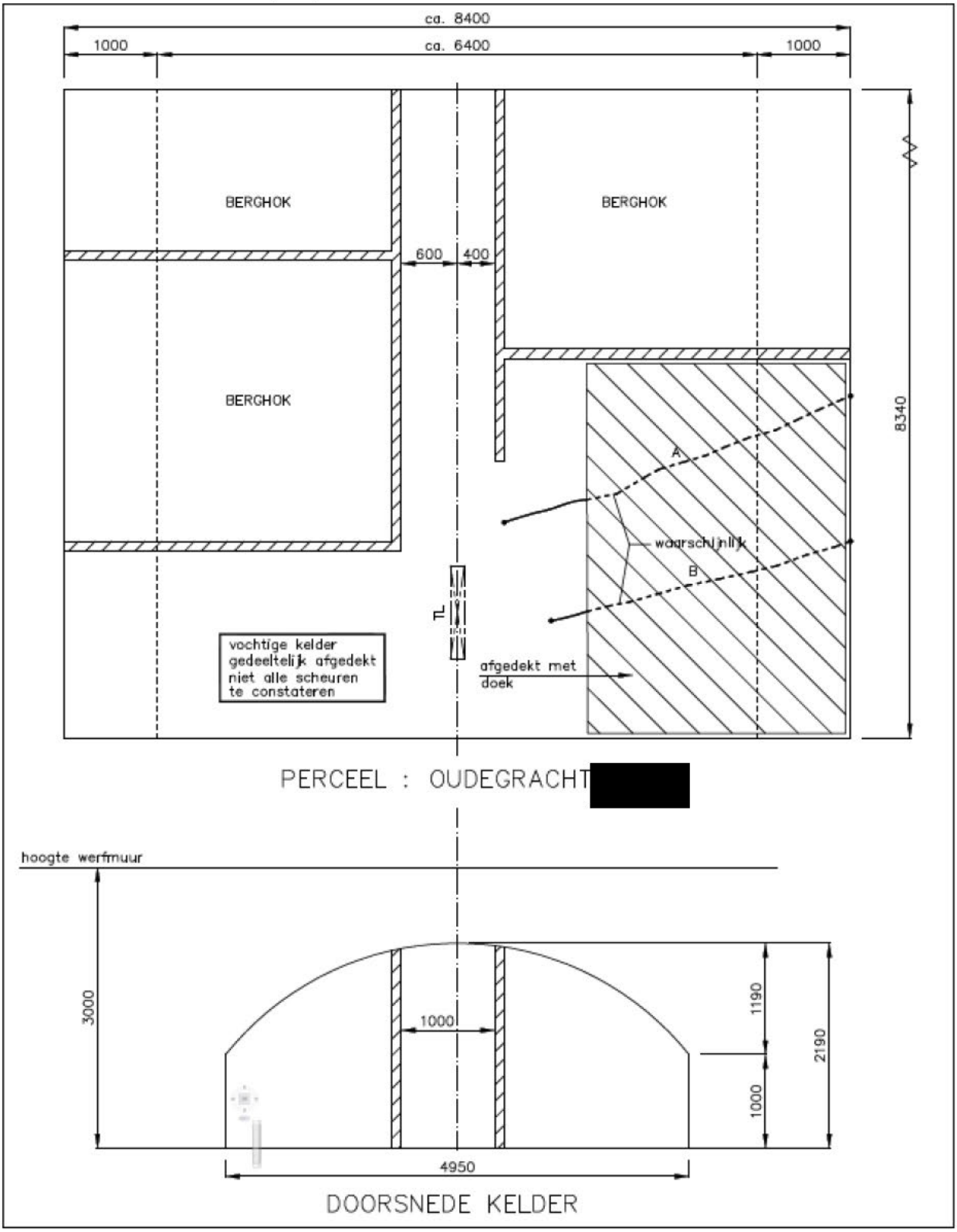
Royal HaskoningDHV

[T2] Inmeting bovenzijde bij waterdicht maken 1995 (Oudegracht [redacted]

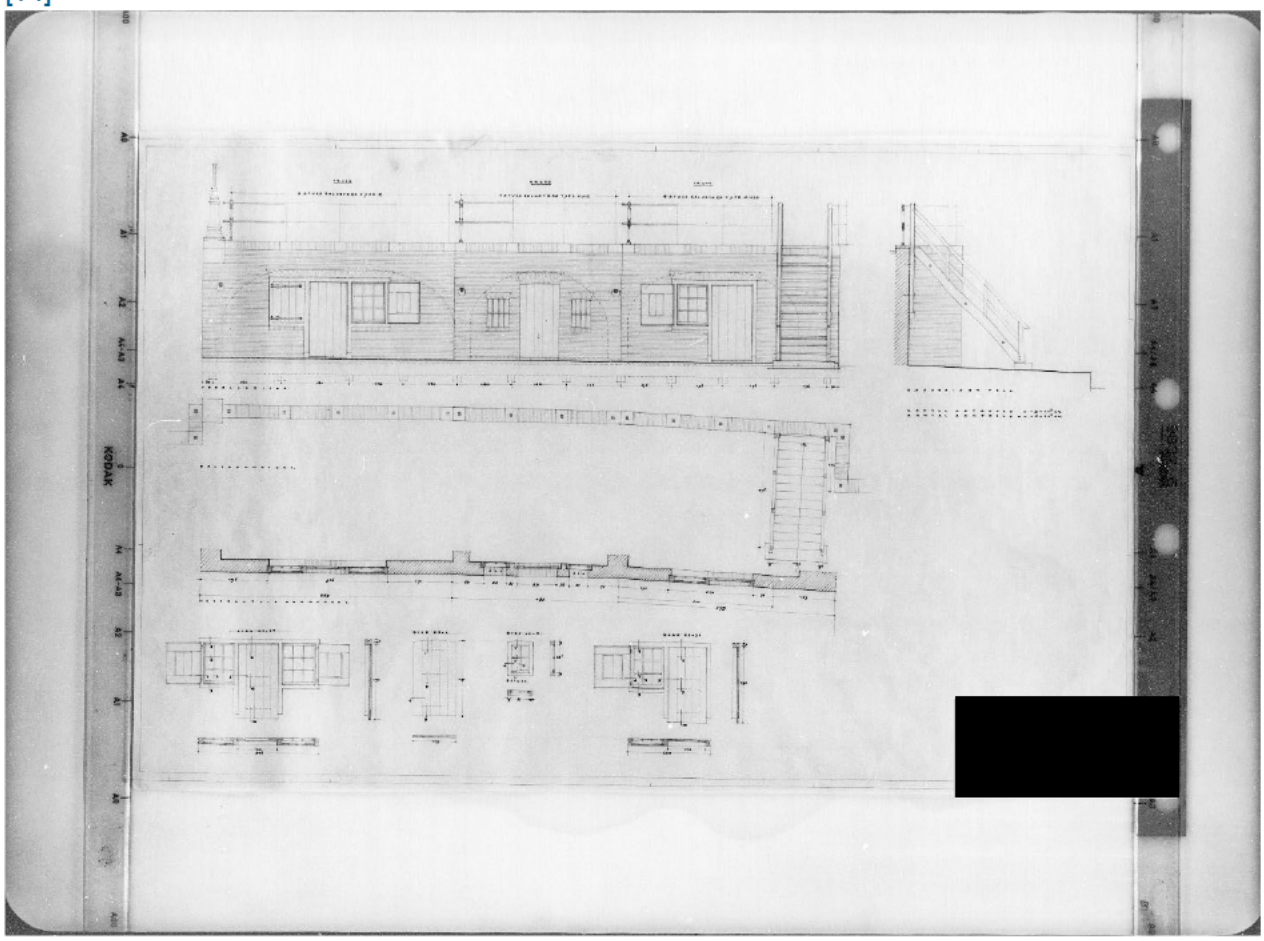


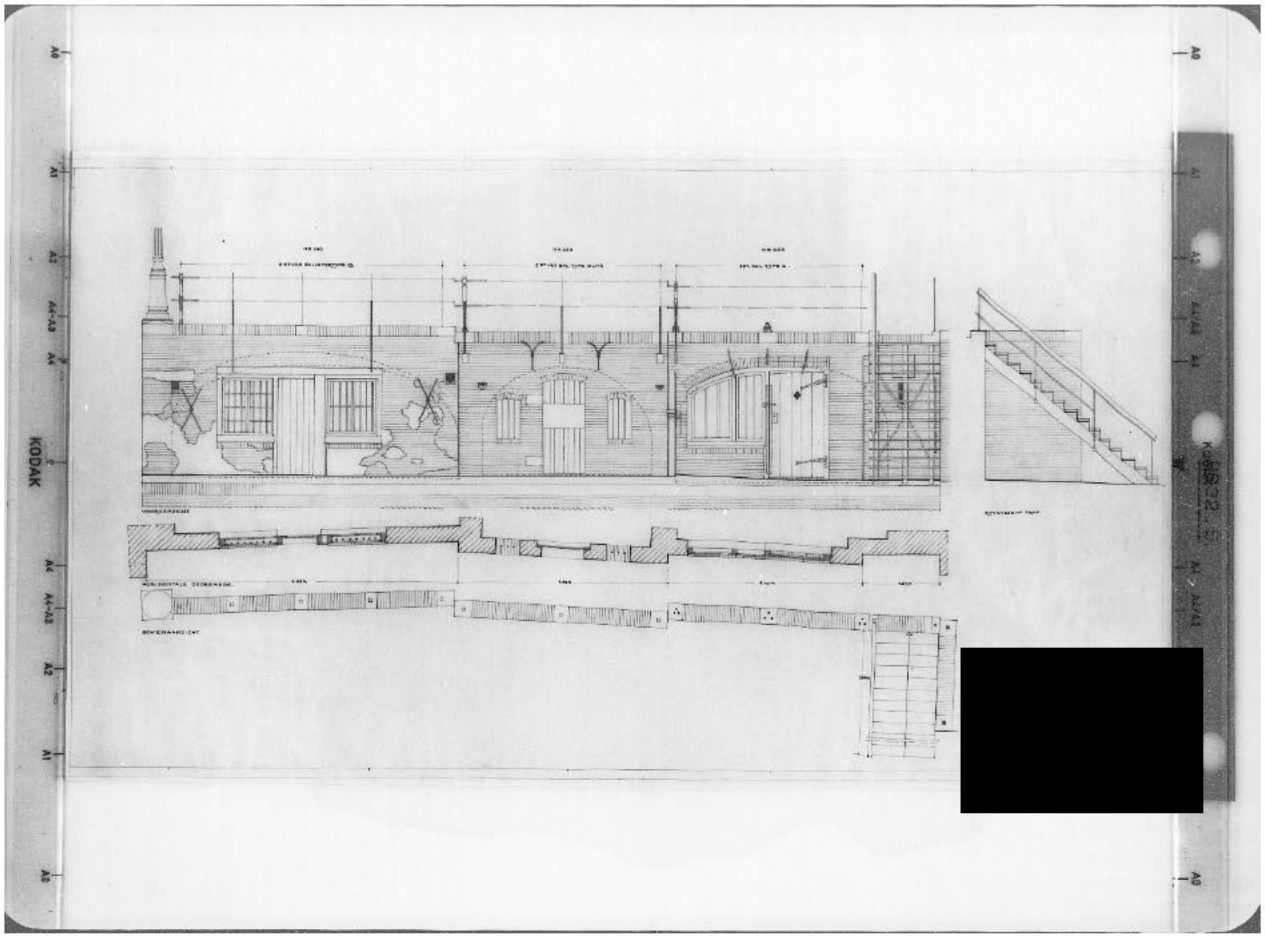
Royal HaskoningDHV

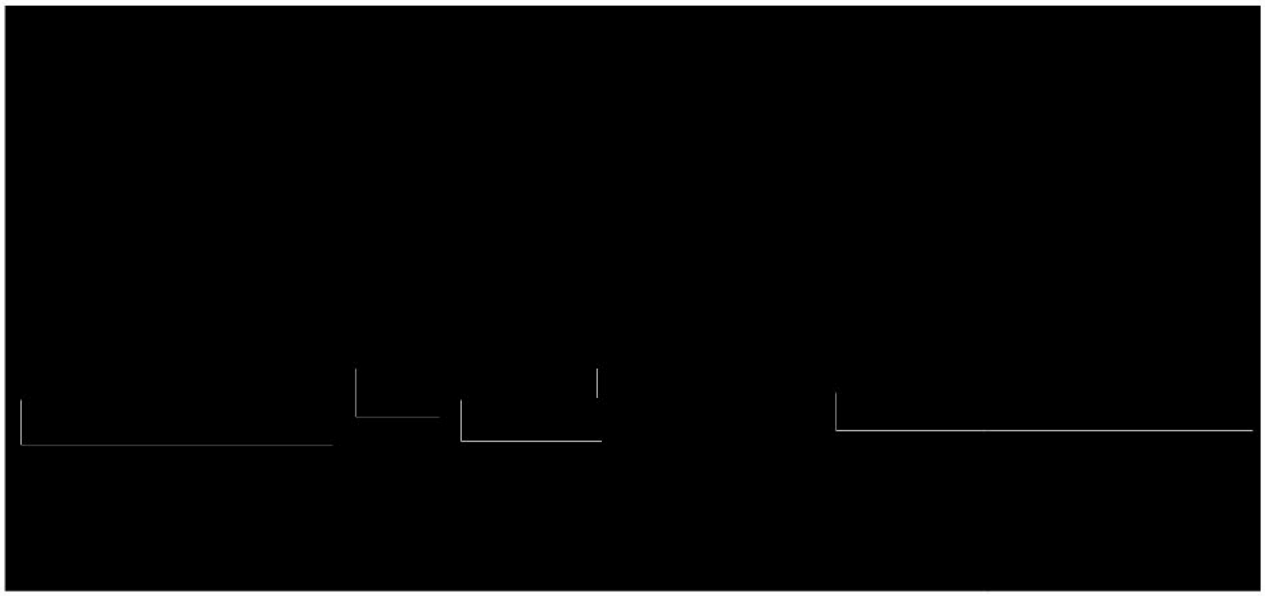
[T3] Uitslag kelder Oudegracht [redacted] (90'er jaren)



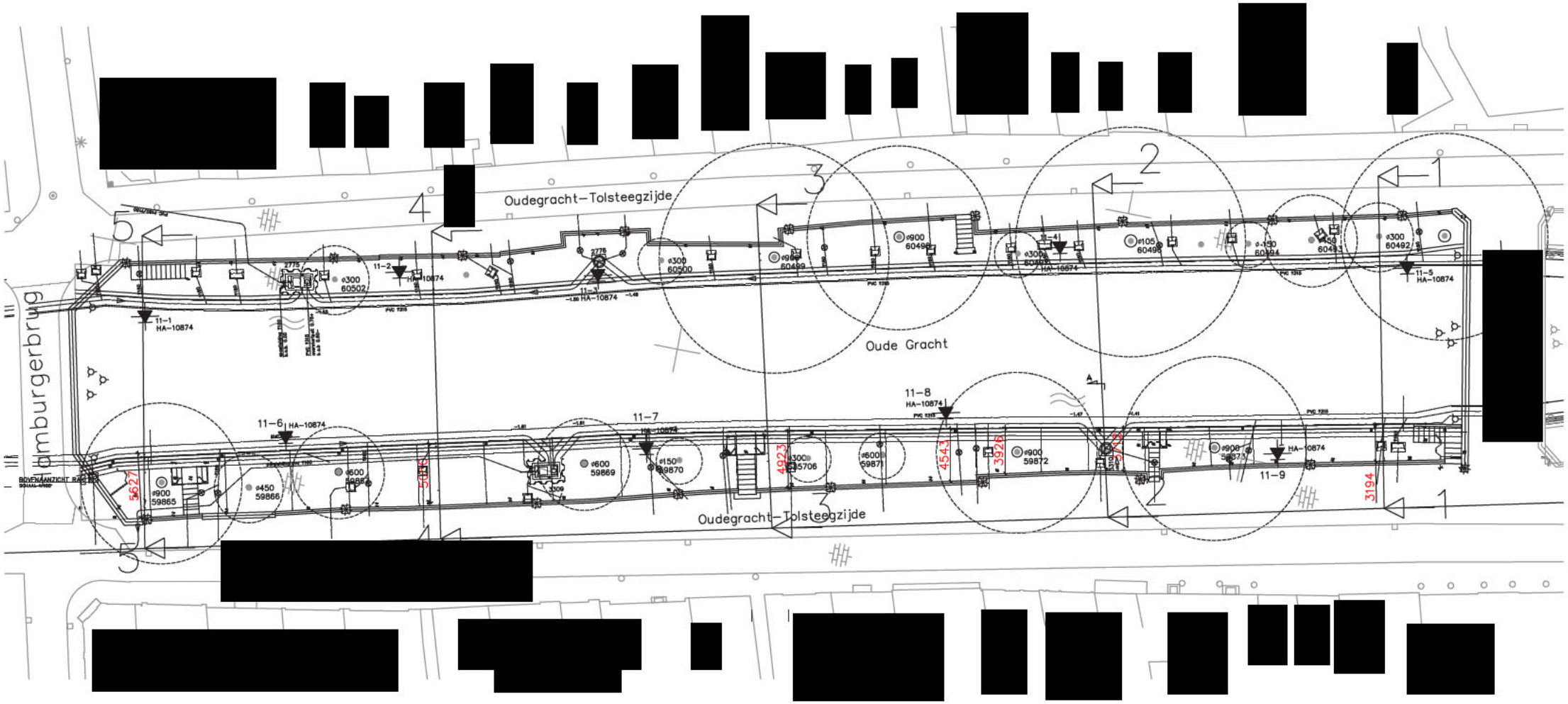
[T4]

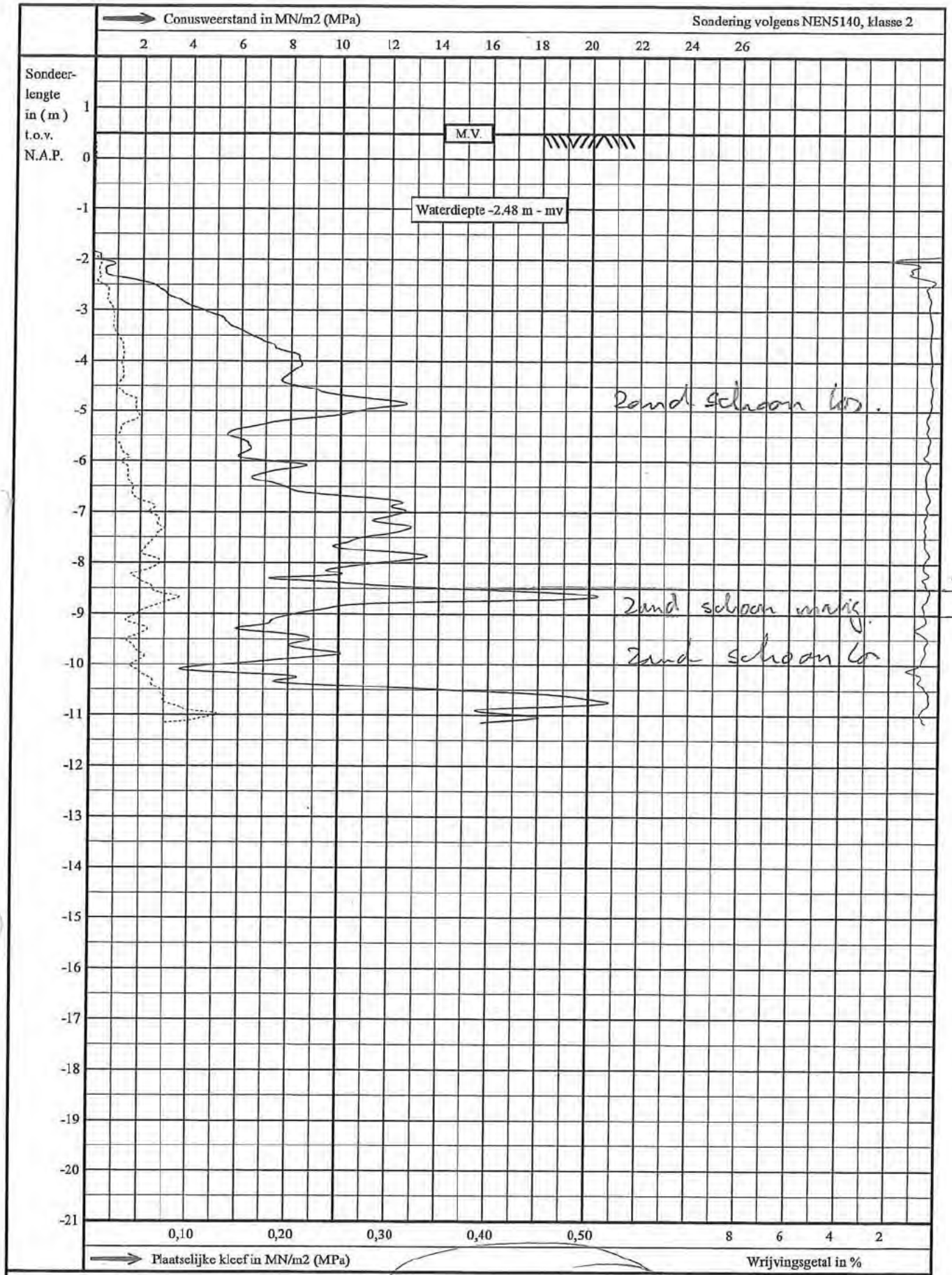






A4 Grondonderzoek


Oudegracht – Tolsteegzijde
Oude Gracht
Oudegracht – Tolsteegzijde
11-1 HA-10874
11-2 HA-10874
11-3 HA-10874
11-4 HA-10874
11-5 HA-10874
11-6 HA-10874
11-7 HA-10874
11-8 HA-10874
11-9 HA-10874
ø300 60502
ø300 60500
ø900 60499
ø900 60498
ø105 60498
ø300 60492
ø900 59865
ø450 59866
ø600 59869
ø150 59870
ø300 59706
ø600 59871
ø900 59872
ø900 59875
5627
5015
4923
4543
3926
3194



Conus-ID: S15-CFI.536 A-mantel: 20000 mm² A-conus: 1500 mm² Locatie: 136805 / 455558 (X / Y)

HOOGVELD SONDERINGEN

Reconstructie walmuren aan de Oudegracht

Utrecht

mv : N.A.P. ± 0,49 m

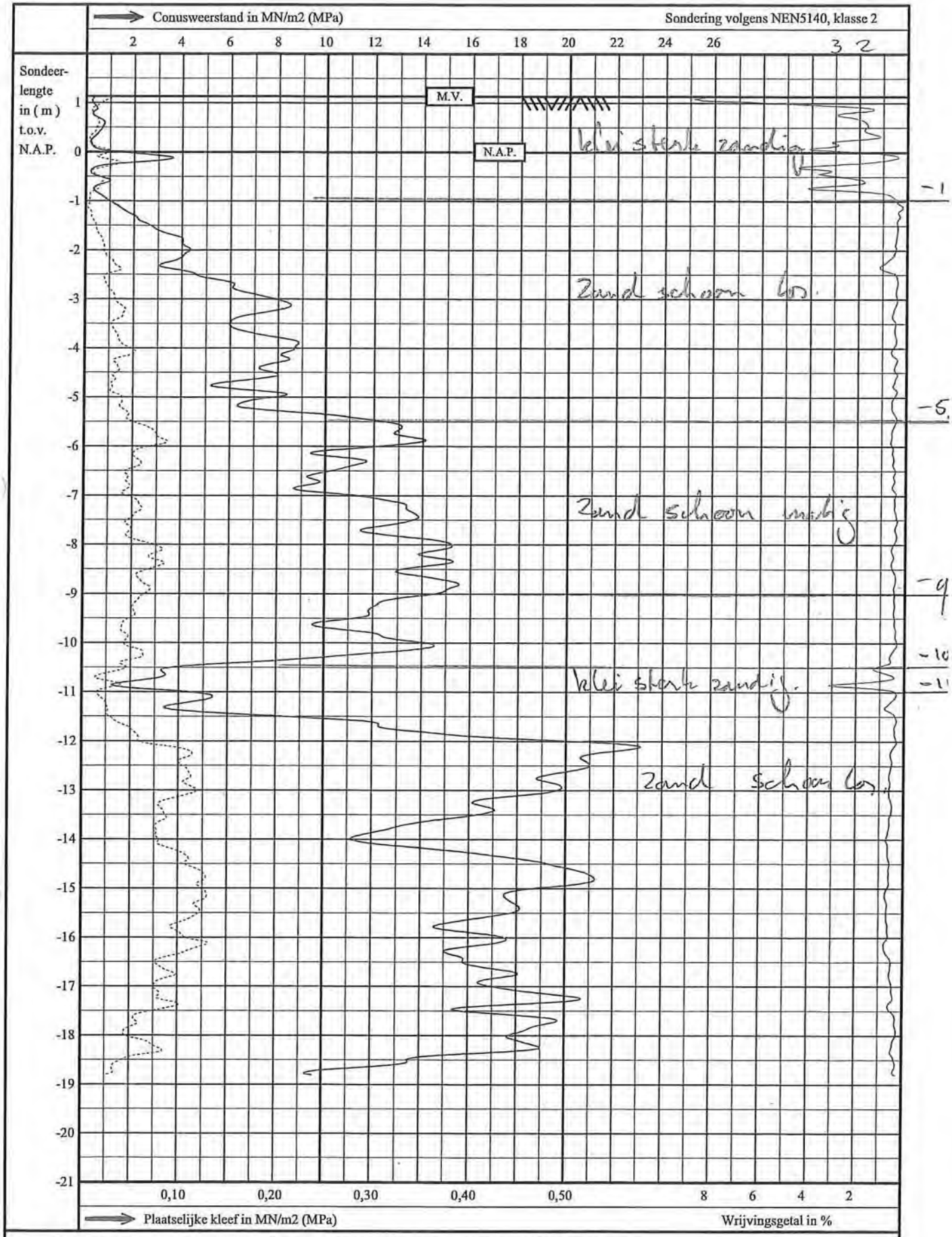
uitv.: 19-09-2013 09:33

get. : 01-10-2013

Opdracht nummer: **HA-10874**

Sondering nummer **11-3**

stech. coördinaten klopt.



Conus-ID: S15-CFI.536 A-mantel: 20000 mm² A-conus: 1500 mm² Locatie: 136815 / 455519 (X / Y)

HOOGVELD SONDERINGEN

Reconstructie walmuren aan de Oudegracht

Utrecht

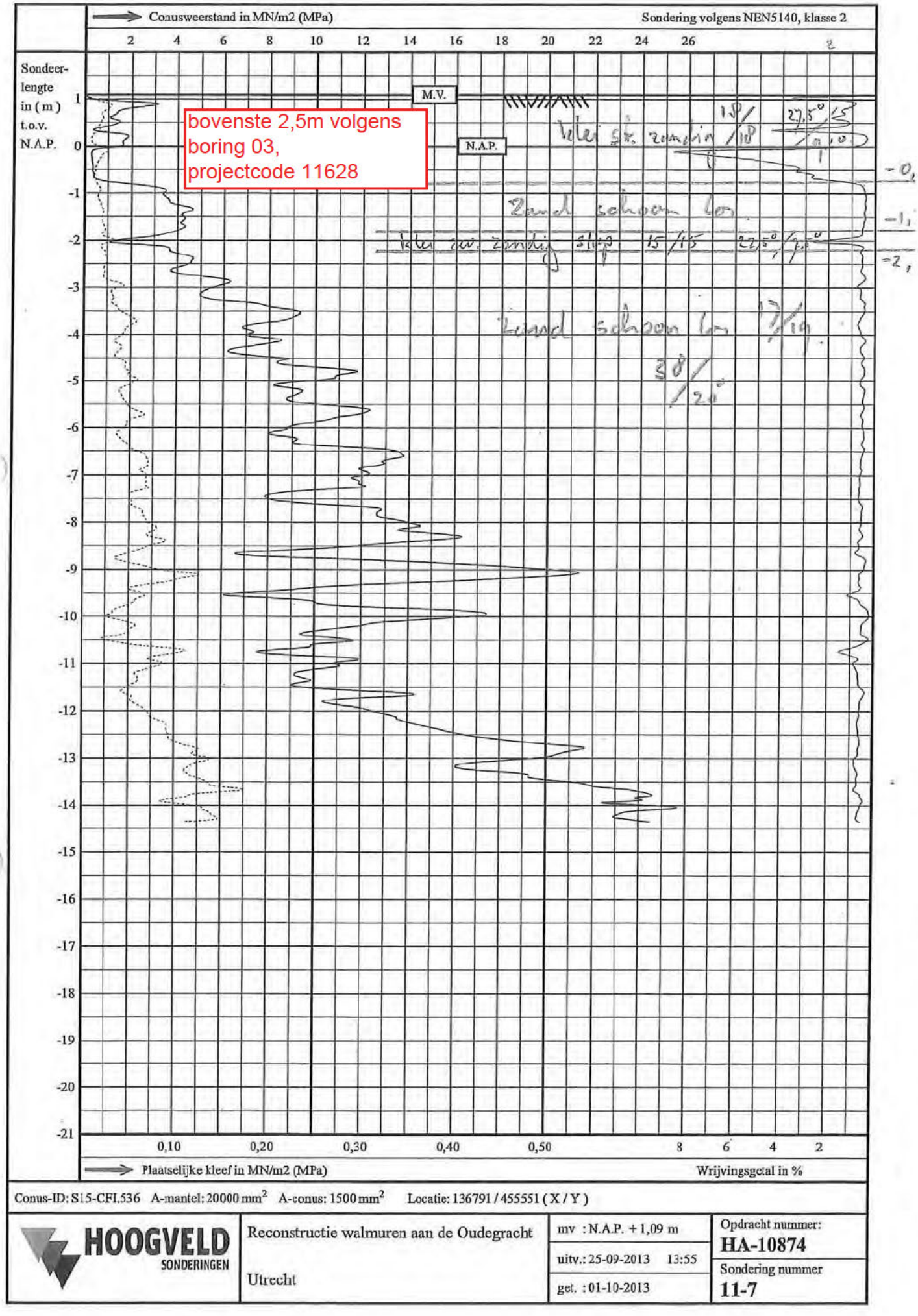
mv : N.A.P. + 1,13 m

uitv.: 27-09-2013 16:06

get. : 01-10-2013

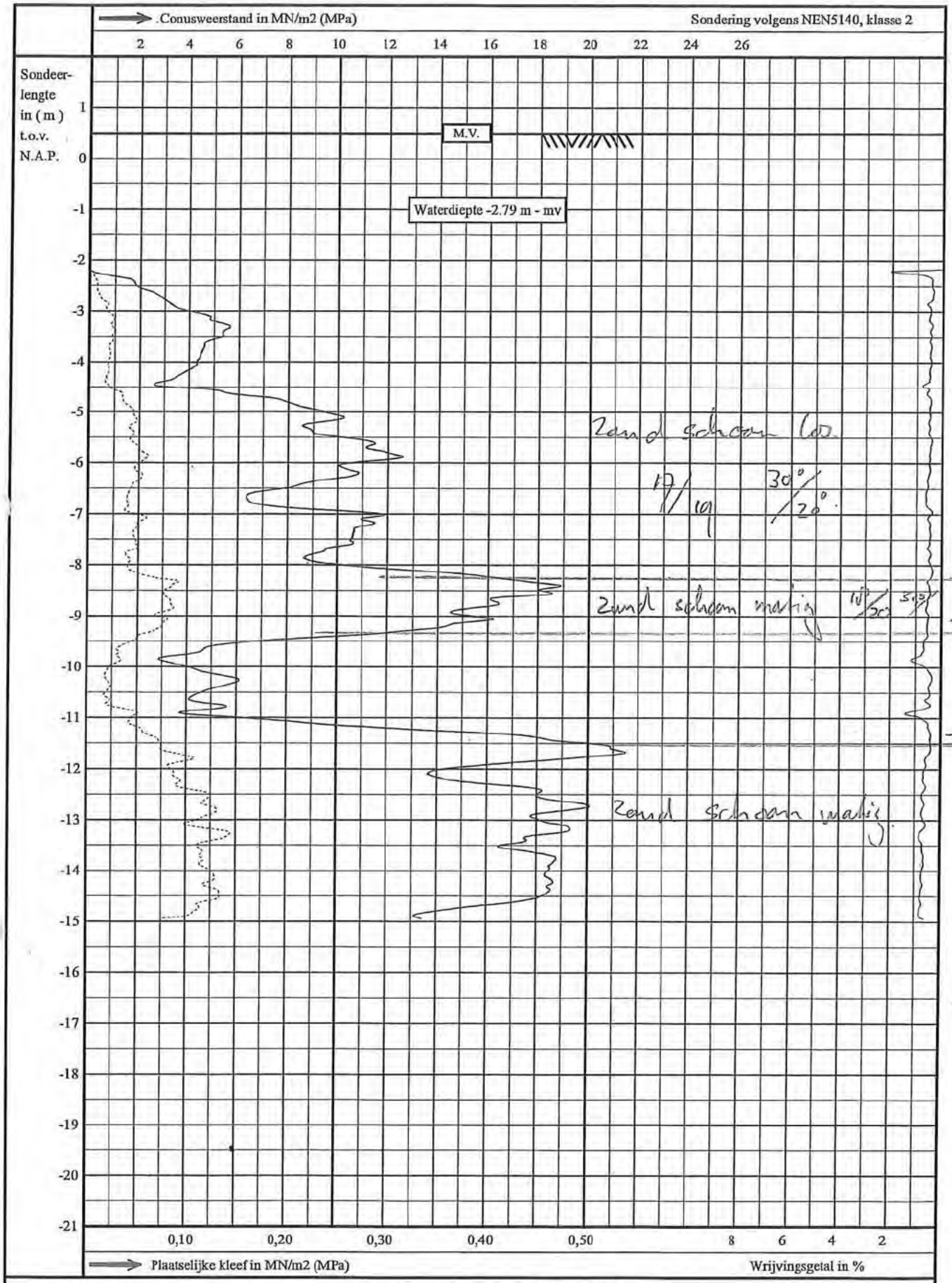
Opdracht nummer: **HA-10874**

Sondering nummer **11-4**



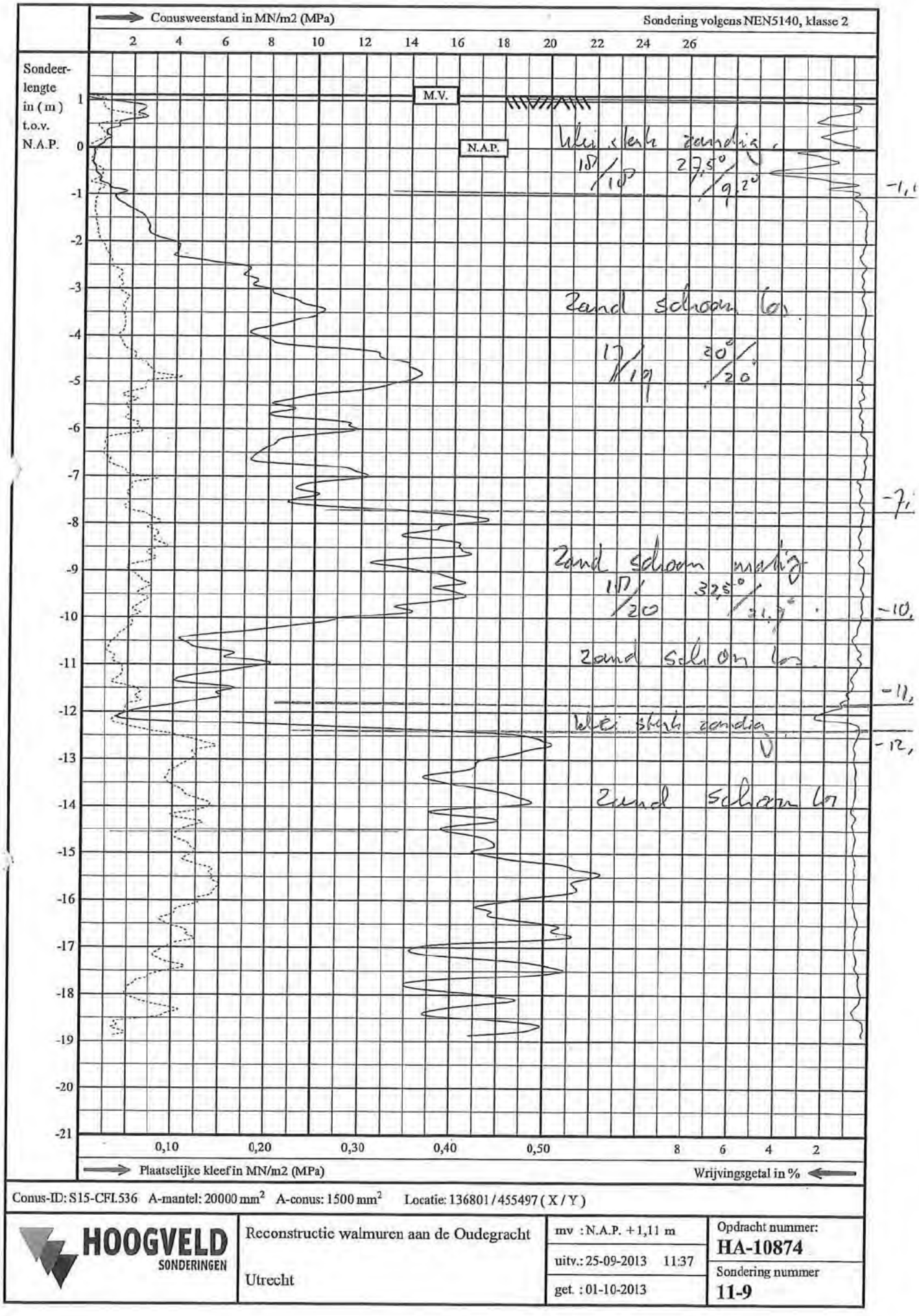
Conus-ID: S15-CFI.536 A-mantel: 20000 mm² A-conus: 1500 mm² Locatie: 136791 / 455551 (X / Y)

HOOGVELD SONDERINGEN	Reconstructie walmuren aan de Oudegracht Utrecht	mv : N.A.P. + 1,09 m uitv.: 25-09-2013 13:55 get. : 01-10-2013	Opdracht nummer: **HA-10874** Sondering nummer **11-7**



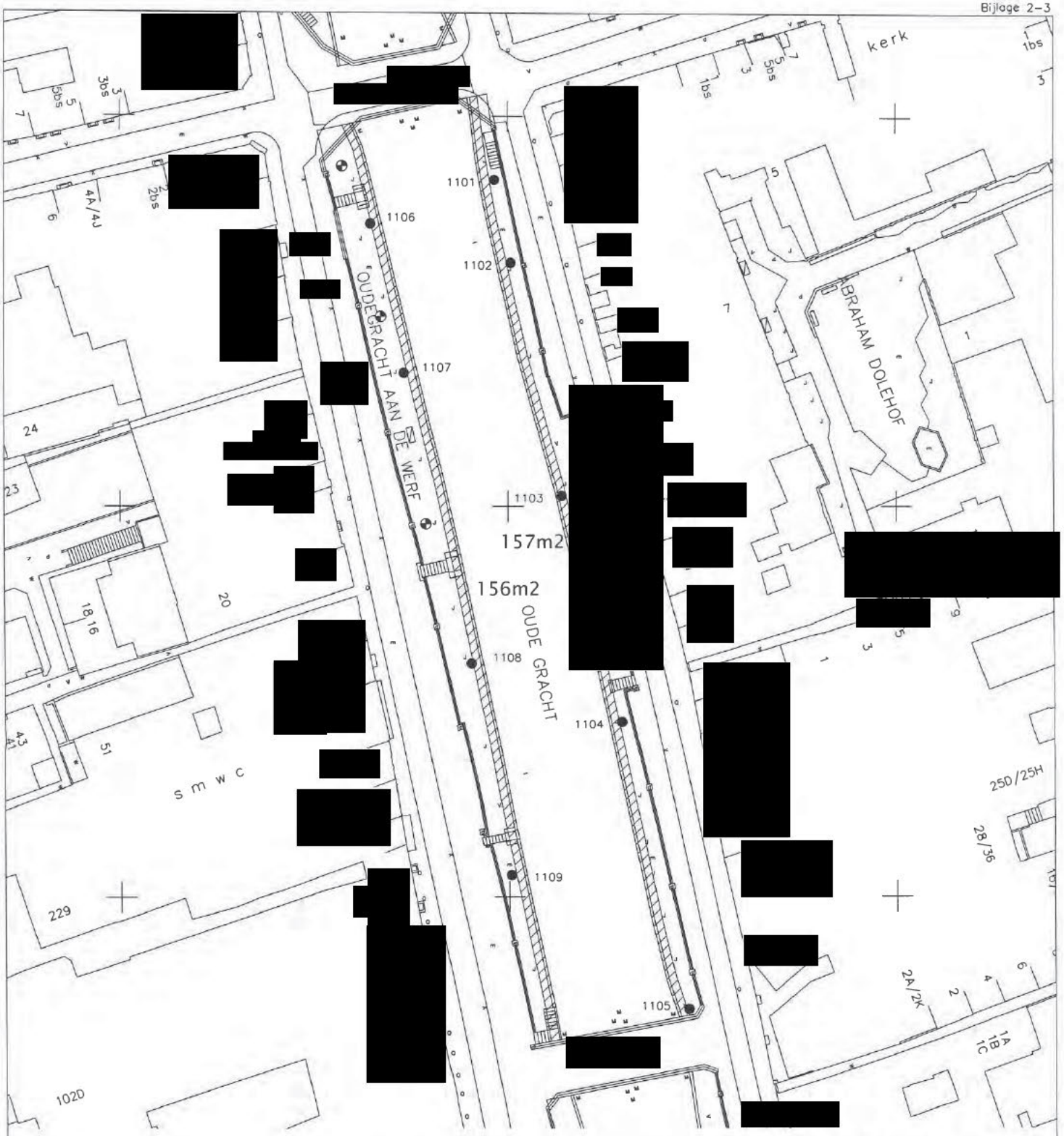
Conus-ID: S15-CFI.536 A-mantel: 20000 mm² A-conus: 1500 mm² Locatie: 136799 / 455526 (X / Y)

HOOGVELD SONDERINGEN	Reconstructie walmuren aan de Oudegracht Utrecht	mv : N.A.P. + 0,49 m uitv.: 24-09-2013 14:14 get. : 01-10-2013	Opdracht nummer: **HA-10874** Sondering nummer **11-8**



Conus-ID: S15-CFI.536 A-mantel: 20000 mm² A-conus: 1500 mm² Locatie: 136801 / 455497 (X / Y)

HOOGVELD SONDERINGEN	Reconstructie walmuren aan de Oudegracht Utrecht	mv : N.A.P. +1,11 m uitv.: 25-09-2013 11:37 get. : 01-10-2013	Opdracht nummer: **HA-10874** Sondering nummer **11-9**

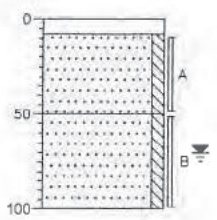


Tekening : 09.10850-3 (deel 11)	Schaal : 1:500	Gemeente: –
Datum : 12-01-2009	Getekend: MV	Sectie: –
NIPA milieutechniek b.v.	Formaat : A3	Perceelsnr.: –
NIPA	Projectcode : 10850 Adres : Kademuren te Utrecht	

Bijlage: 3

Boring: 1101

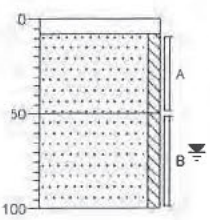
GWS: 70
Opmerking:



0 klinker
-5
Zand, zeer fijn, zwak siltig, zwak puinhoudend, neutraalbruin, wo1 gestaakt na 3x
-50
Zand, zeer fijn, zwak siltig, zwak puinhoudend, bruingrijs, wo1
-100

Boring: 1102

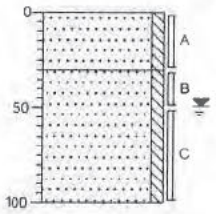
GWS: 70
Opmerking:



0 klinker
-5
Zand, zeer fijn, zwak siltig, zwak puinhoudend, neutraalbruin, wo1 gestaakt na 3x
-50
Zand, zeer fijn, zwak siltig, zwak puinhoudend, bruingrijs, wo1
-100

Boring: 1103

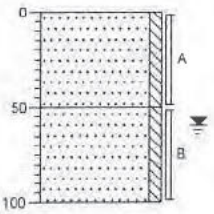
GWS: 50
Opmerking:



0
Zand, zeer fijn, zwak siltig, beigebruin, wo1
-30
Zand, zeer fijn, zwak siltig, bruingrijs
-100

Boring: 1104

GWS: 60
Opmerking:



0
Zand, zeer fijn, zwak siltig, bruinbeige, wo1
-50
Zand, zeer fijn, zwak siltig, zwak puinhoudend, bruingrijs
-100

Projectcode: 10850
Projectnaam: KADEMUREN BINNENSTAD
Boormeester: DP/RvV

getekend volgens NEN 5104
Schaal: 1: 40

Royal HaskoningDHV

A5 Verificatieberekening Plaxis-resultaten

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+4,23, GWS +0,0 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 0,0m)				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☐	1000	1	10
C Aanvullen tot huidig MV (NAP +4,23m) en GWS NAP +0,0 [Phase_2]				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☐	1000	11	53
D Maximaal waterpeil NAP +1,5m en GWS NAP +0,75m 2 [Phase_7]				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☑	1000	54	55
2N-1 Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_5]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	56	62
3N-1 [Phase_16]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	63	142
4N-1 PF [7 ton] [Phase_42]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1150	1295
5N-1 PF [7 ton] [Phase_6]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1296	1419
6N-1 GRF [7 ton] [Phase_8]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1420	1550
7N-1 GRF [7 ton] [Phase_20]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	7607	8179
6N-1 GRF [6 ton] [Phase_58]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	8781	8880
7N-1 GRF [6 ton] [Phase_63]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	8881	8997
2N-1-R Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_9]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	143	150
3N-1-R [Phase_19]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	223	304
4N-1-R PF [7 ton] [Phase_17]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2398	2501
5N-1-R PF [7 ton] [Phase_30]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	657	756
6N-1-R GRF [7 ton] [Phase_22]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2693	2799
7N-1-R GRF [7 ton] [Phase_43]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3179	3291
2N-1-L Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_4]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	151	159
3N-1-L [Phase_24]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	305	389
4N-1-L PF [7 ton] [Phase_21]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2800	2974
5N-1-L PF [7 ton] [Phase_44]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3292	3492
6N-1-L GRF [7 ton] [Phase_32]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	3493	3650
7N-1-L GRF [7 ton] [Phase_45]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3651	4191
6N-1-L GRF [6 ton] [Phase_59]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	8998	9109
7N-1-L GRF [6 ton] [Phase_64]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	9110	9237
2N-2 Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_10]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	160	167
3N-2 [Phase_3]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	390	476
4N-2 PF [7 ton] [Phase_41]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	4192	4425
5N-2 PF [7 ton] [Phase_46]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	4426	4869
6N-2 GRF [7 ton] [Phase_18]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2975	3149
7N-2 GRF [7 ton] [Phase_47]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	4870	5532
4N-2 PF [6 ton] [Phase_60]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	9238	9346
5N-2 PF [6 ton] [Phase_65]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	9347	9447
6N-2 GRF [6 ton] [Phase_61]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	9448	9557
7N-2 GRF [6 ton] [Phase_66]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	9558	9730

Royal HaskoningDHV

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-2-R Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_11]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	168	177
3N-2-R [Phase_25]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	477	575
4N-2-R PF [7 ton] [Phase_31]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1747	1896
5N-2-R PF [7 ton] [Phase_48]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2097	2196
6N-2-R PF [7 ton] [Phase_23]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	5533	5676
7N-2-R GRF [7 ton] [Phase_49]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	5677	5924
2N-2-L Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_12]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	178	189
3N-2-L [Phase_26]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1897	1991
4N-2-L PF [7 ton] [Phase_33]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	5925	6110
5N-2-L PF [7 ton] [Phase_50]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	6111	6280
6N-2-L GRF [7 ton] [Phase_34]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1551	1719
7N-2-L GRF [7 ton] [Phase_51]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	8180	8780
6N-2-L GRF [6 ton] [Phase_62]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	9731	9847
7N-2-L GRF [6 ton] [Phase_67]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	9848	9992
2N-3 Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_13]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	190	196
3N-3 [Phase_27]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	757	830
4N-3 PF [7 ton] [Phase_35]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	857	976
5N-3 PF [7 ton] [Phase_52]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2502	2610
6N-3 GRF [7 ton] [Phase_36]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	6281	6402
7N-3 GRF [7 ton] [Phase_53]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	6403	6610
2N-3-R Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_14]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	197	205
3N-3-R [Phase_28]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1992	2075
4N-3-R PF [7 ton] [Phase_37]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	6611	6758
5N-3-R PF [7 ton] [Phase_54]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	6759	6863
6N-3-R GRF [7 ton] [Phase_38]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	6864	7011
7N-3-R GRF [7 ton] [Phase_55]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	7012	7257
2N-3-L Toets SLS Normbelasting [3 ton] [Phase_15]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	206	214
3N-3-L [Phase_29]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	977	1072
4N-3-L PF [7 ton] [Phase_40]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2197	2317
5N-3-L PF [7 ton] [Phase_56]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	7258	7357
6N-3-L GRF [7 ton] [Phase_39]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	7358	7474
7N-3-L GRF [7 ton] [Phase_57]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	7475	7606

Belastingspreiding tot hart metselwerk doorsnede

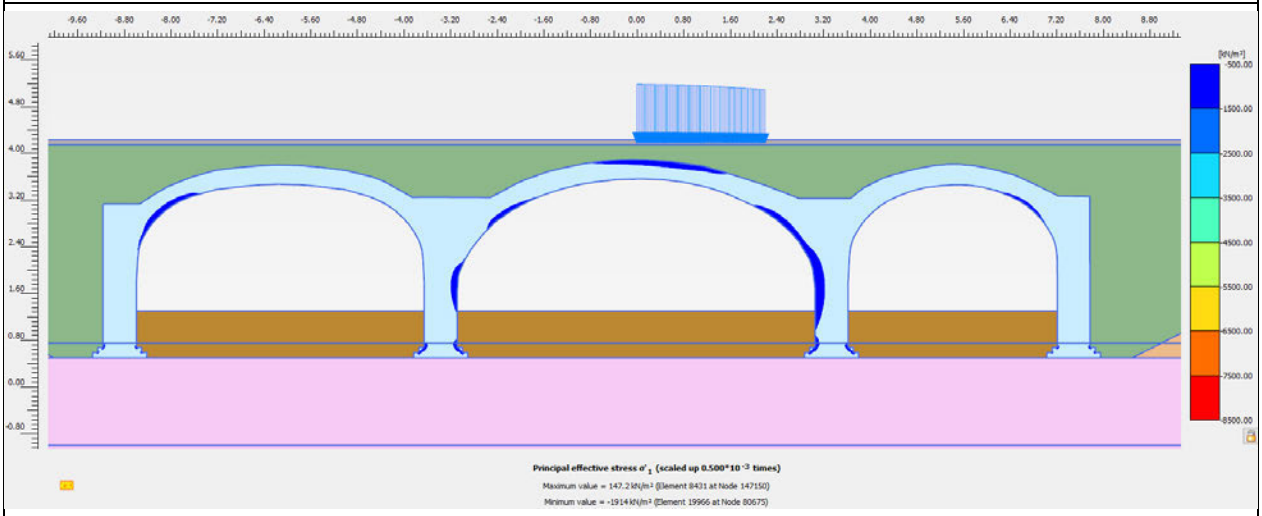
(voorbeeld voor verkeersbelasting bij bord C20 van 6 ton)

				Normbelasting (gereduceerd Qk1)		Normbelasting (gereduceerd Qk2)	
				Enkelzijdig		Enkelzijdig	
	Niveau	Niveau	Extra breedte	Belasting		Belasting	
Punt	Maaiveld	Halverwege boog	Enkelzijdig	39.5	0.0	26.3	0.0
-5.9	4.23	3.63	0.34641	35.0	**35.0**	23.3	**23.3**
-5.35	4.23	3.58	0.375278	34.7	**34.7**	23.1	**23.1**
-4.8	4.23	3.49	0.427239	34.1	**34.1**	22.7	**22.7**
-4.25	4.23	3.28	0.548483	32.8	**32.8**	21.9	**21.9**
-3.7	4.23	3.02	0.698594	31.4	**31.4**	20.9	**20.9**
-3.15	4.23	3.02	0.698594	31.4	**31.4**	20.9	**20.9**
-2.6	4.23	3.02	0.698594	31.4	**31.4**	20.9	**20.9**
-2.2	4.23	3.19	0.600444	32.3	**32.3**	21.5	**21.5**
-1.5	4.23	3.5	0.421466	34.2	**34.2**	22.8	**22.8**
-1.1	4.23	3.61	0.357957	34.9	**34.9**	23.2	**23.2**
-0.55	4.23	3.7	0.305996	35.5	**35.5**	23.6	**23.6**
0	4.23	3.72	0.297335	35.6	**35.6**	23.7	**23.7**
0.55	4.23	3.7	0.305996	35.5	**35.5**	23.6	**23.6**
1.1	4.23	3.61	0.357957	34.9	**34.9**	23.2	**23.2**
1.5	4.23	3.5	0.421466	34.2	**34.2**	22.8	**22.8**
2.2	4.23	3.23	0.57735	32.5	**32.5**	21.7	**21.7**
2.6	4.23	3	0.710141	31.3	**31.3**	20.8	**20.8**
3.15	4.23	2.88	0.779423	30.6	**30.6**	20.4	**20.4**
3.7	4.23	2.89	0.773649	30.7	**30.7**	20.5	**20.5**
4.25	4.23	3.36	0.502295	33.3	**33.3**	22.2	**22.2**
4.8	4.23	3.55	0.392598	34.5	**34.5**	23.0	**23.0**
5.35	4.23	3.63	0.34641	35.0	**35.0**	23.3	**23.3**
5.9	4.23	3.6	0.363731	34.8	**34.8**	23.2	**23.2**

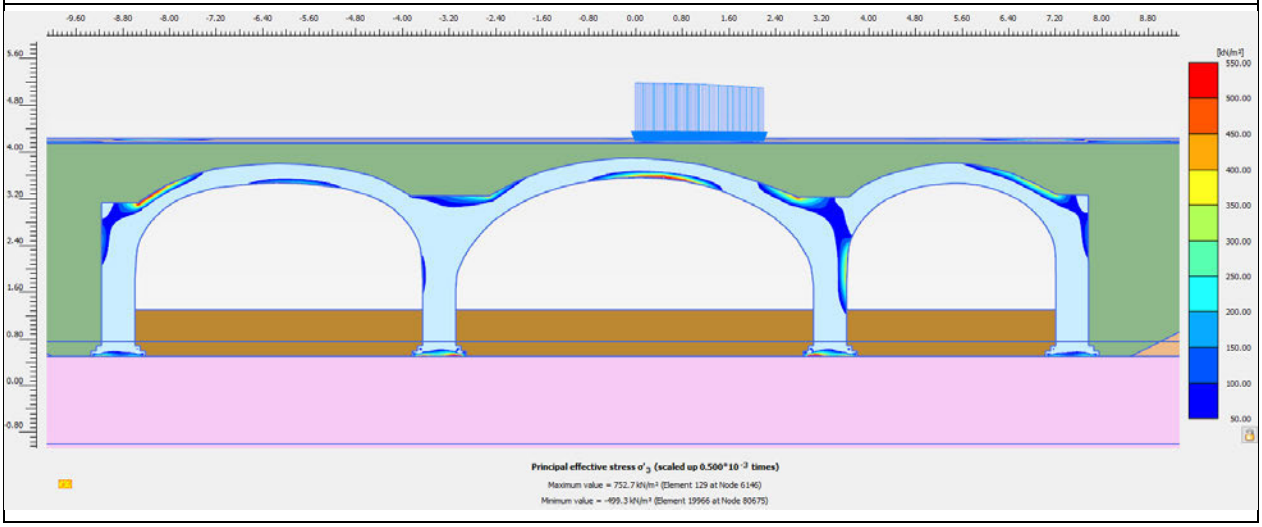
A5.1 BGT lastbeperking BM1

Druk- en trekspanningen

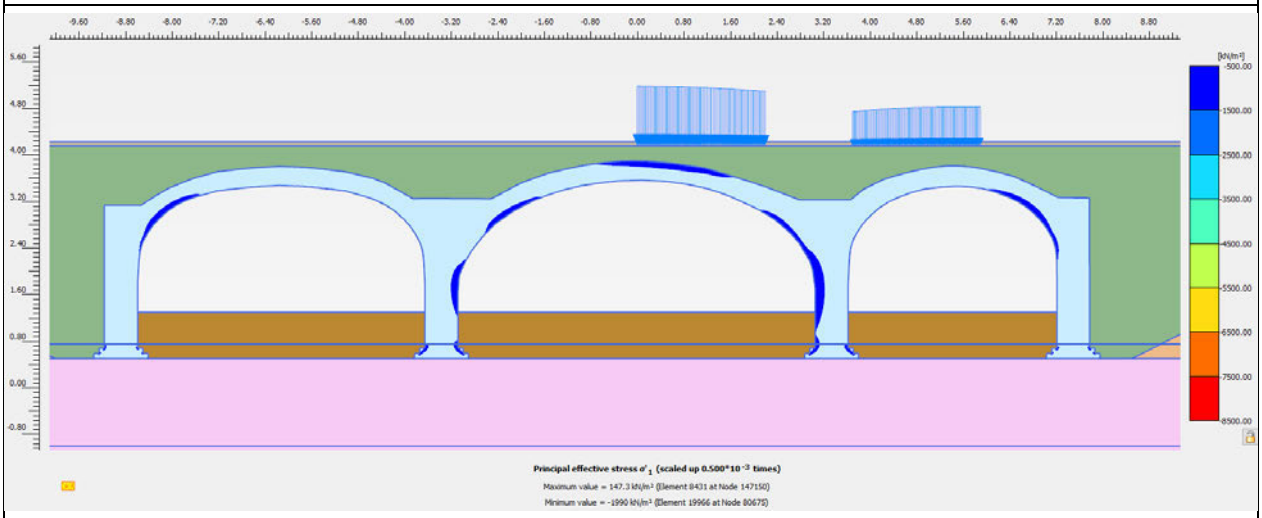
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



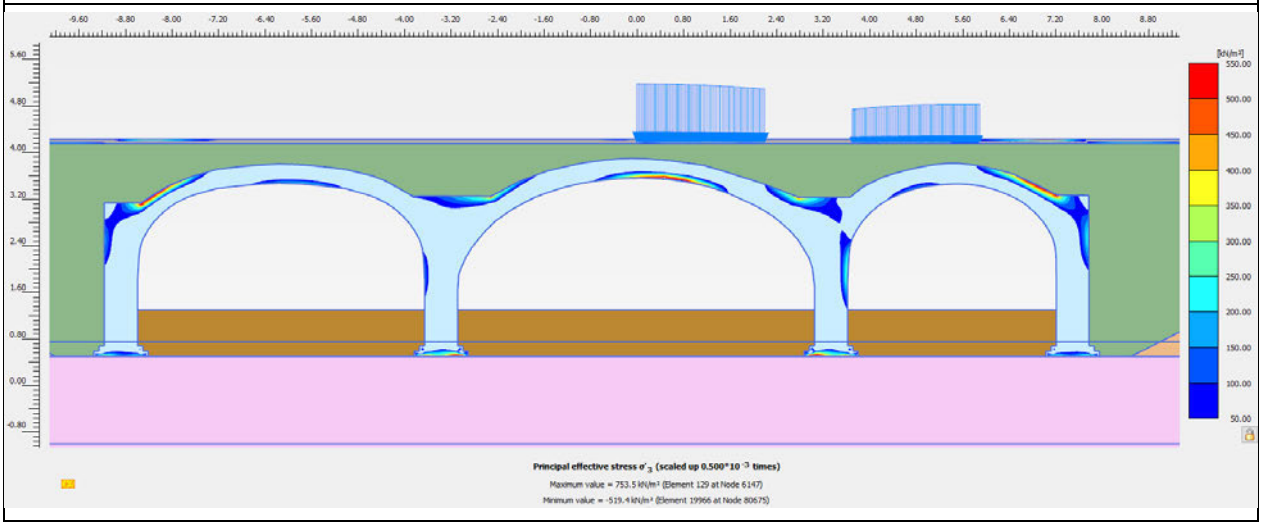
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



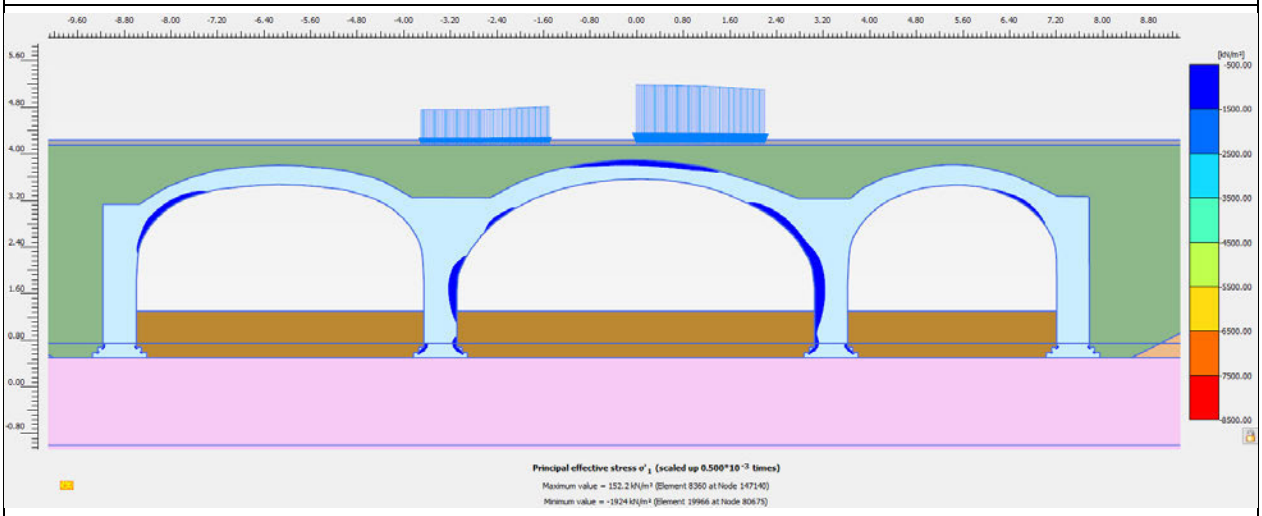
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



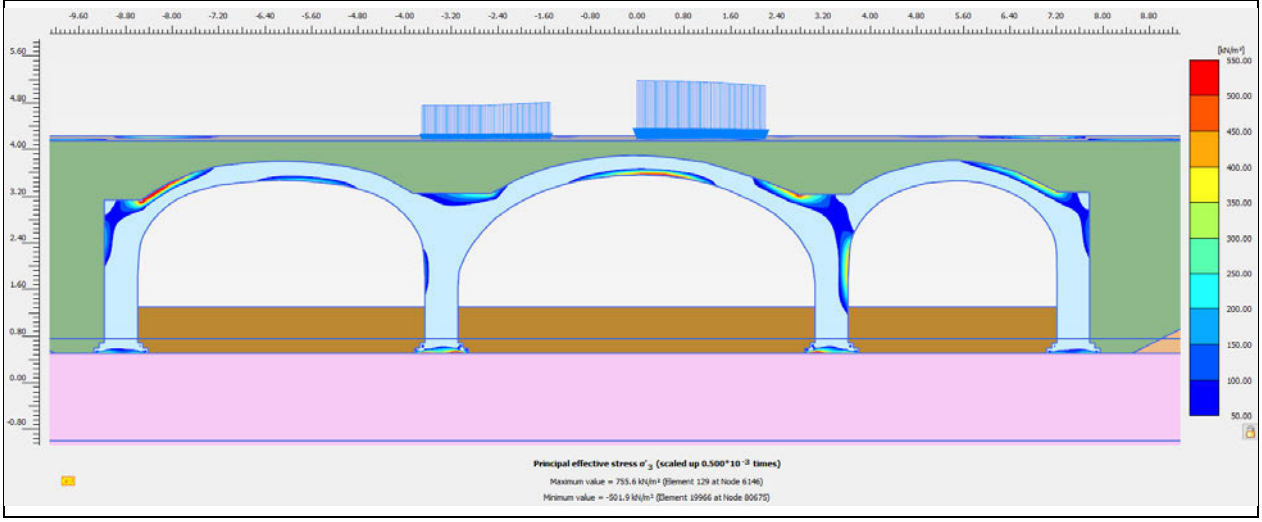
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



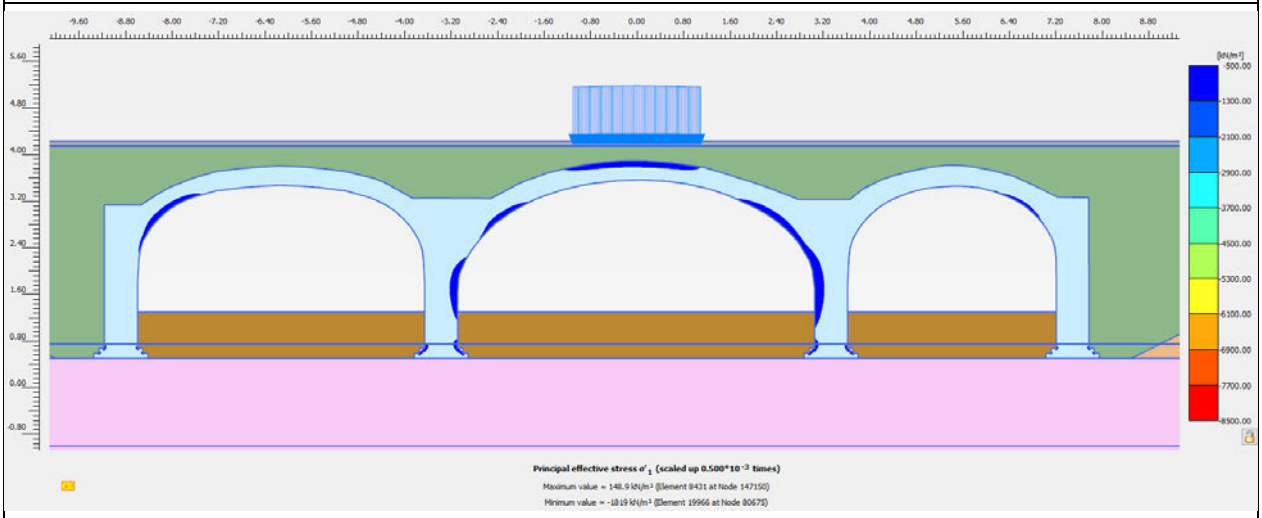
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



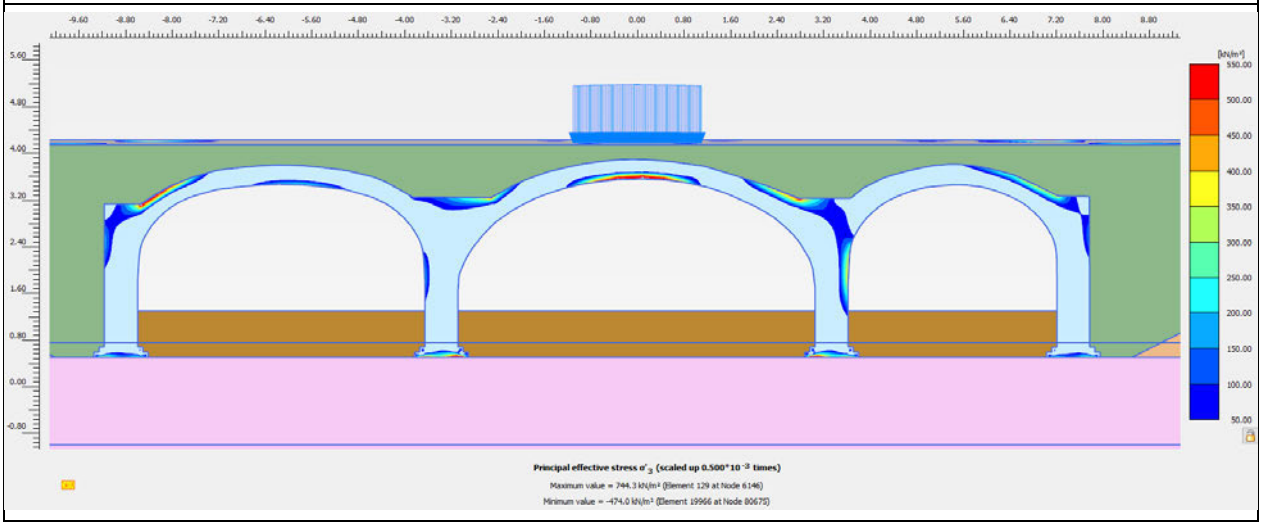
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



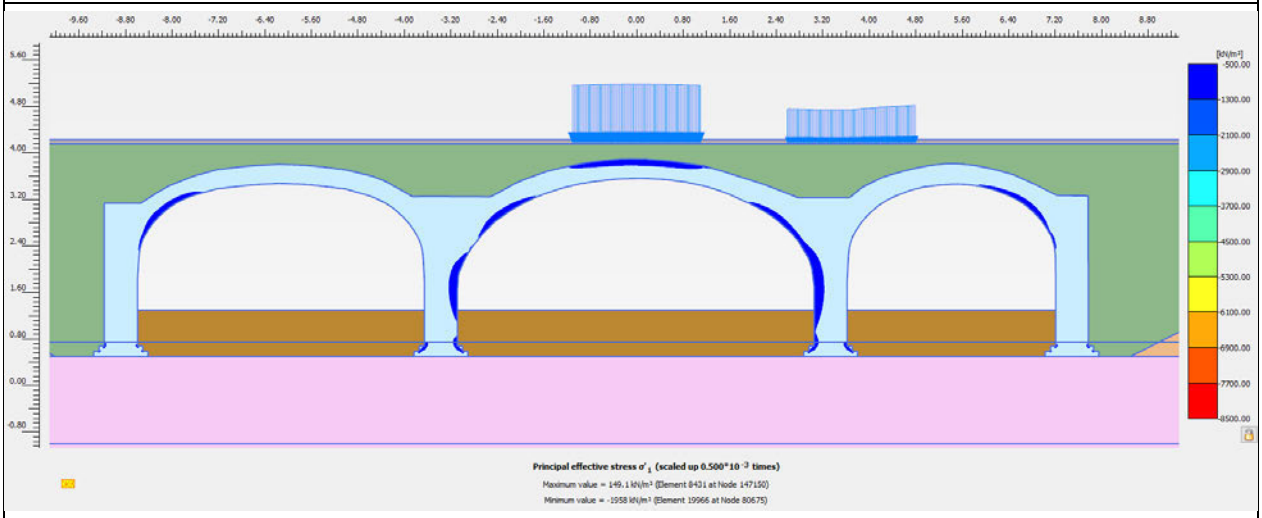
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



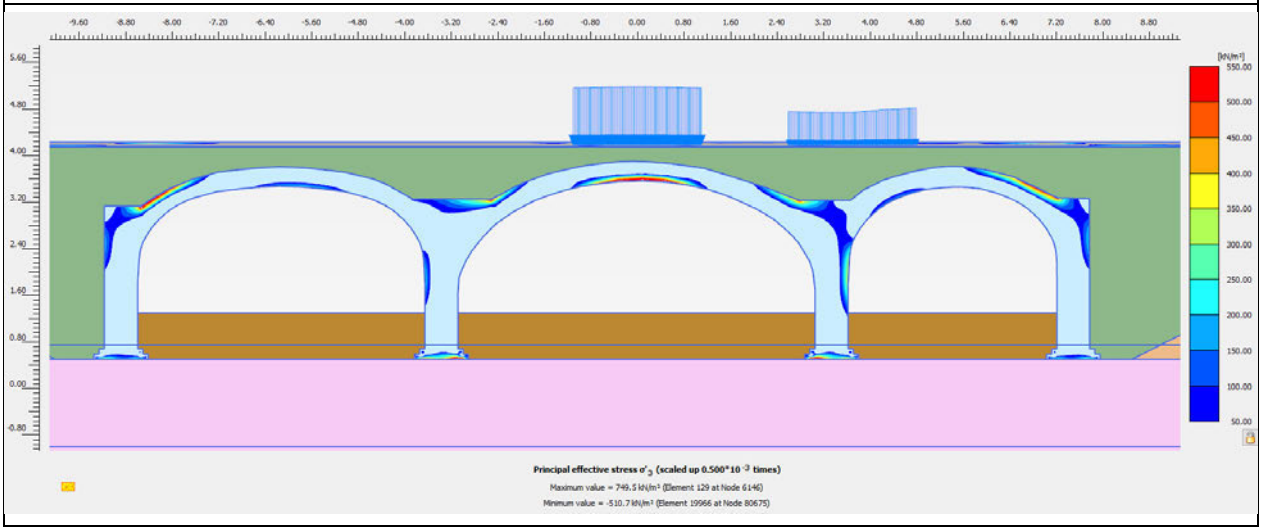
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



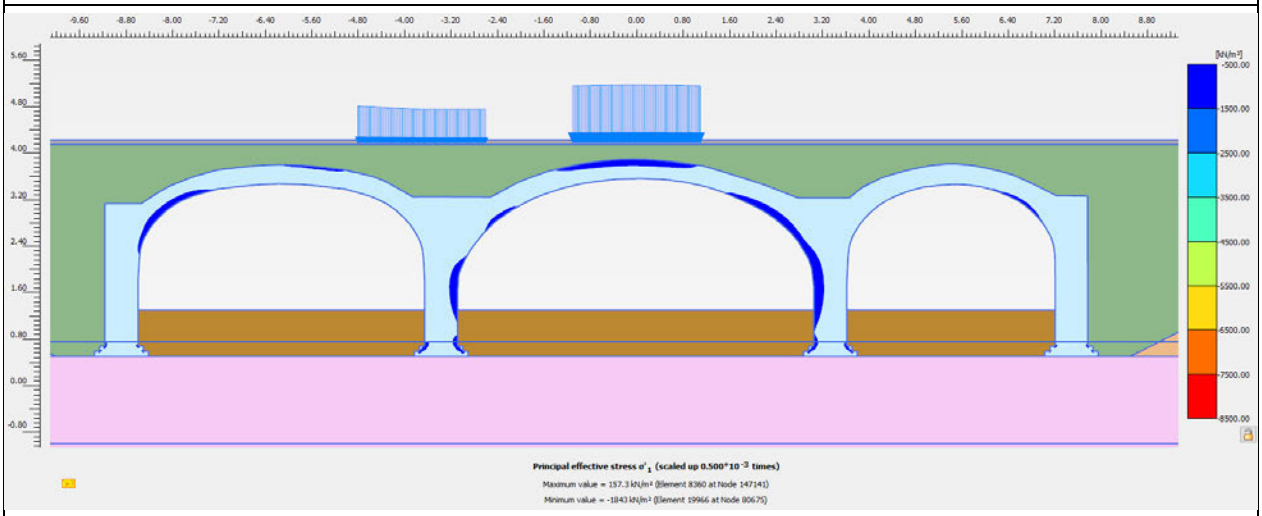
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



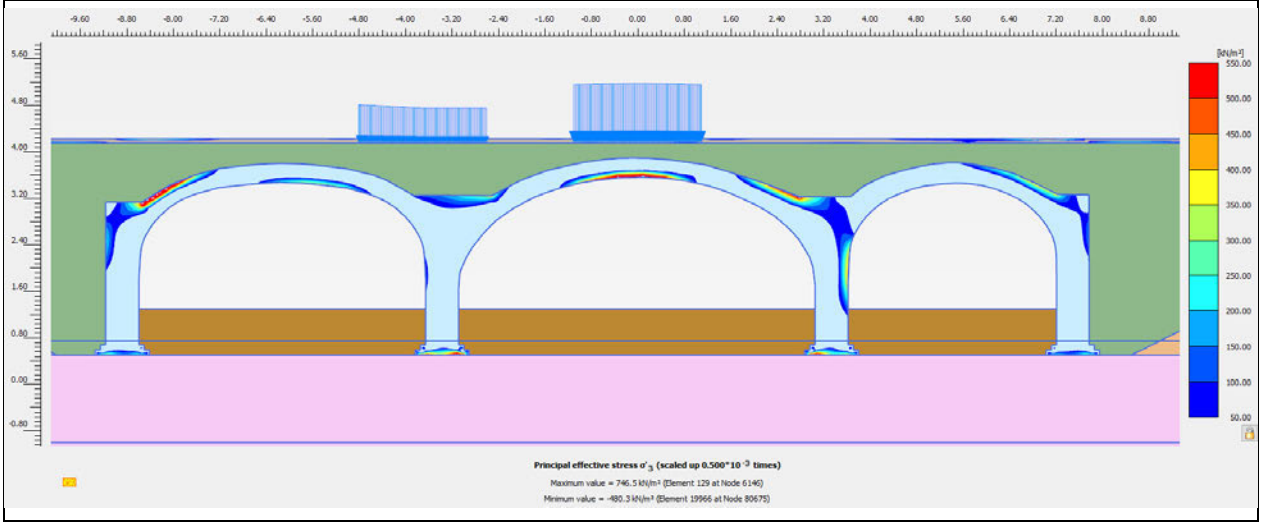
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



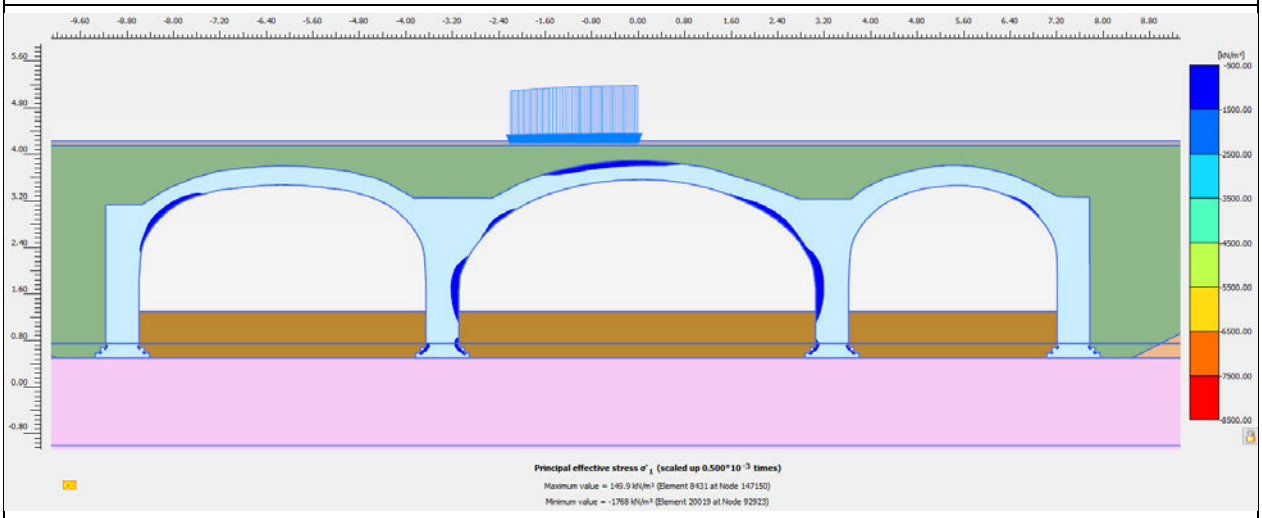
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



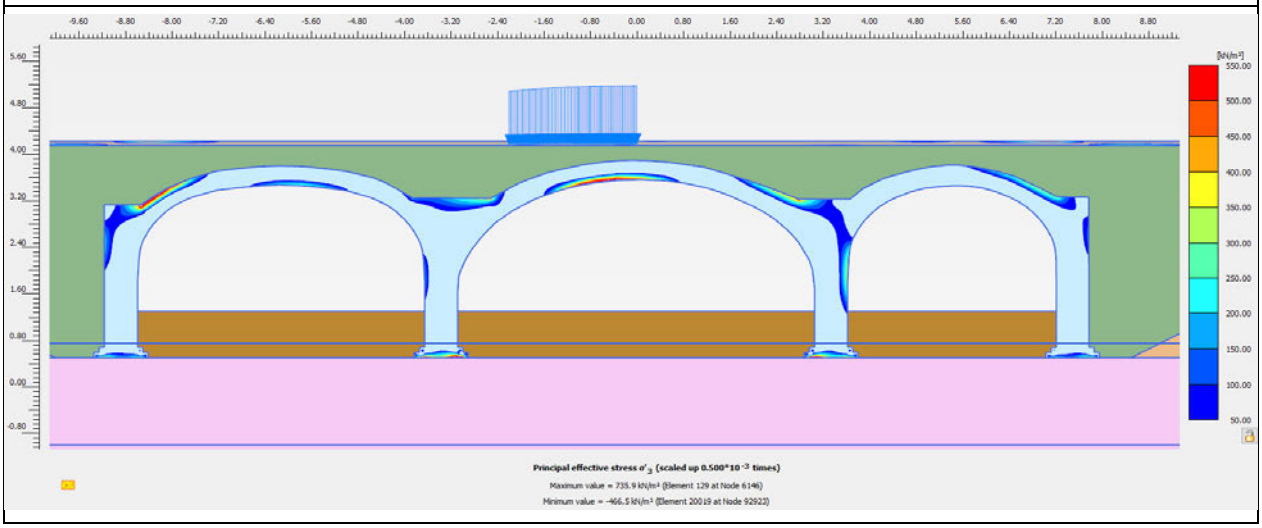
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



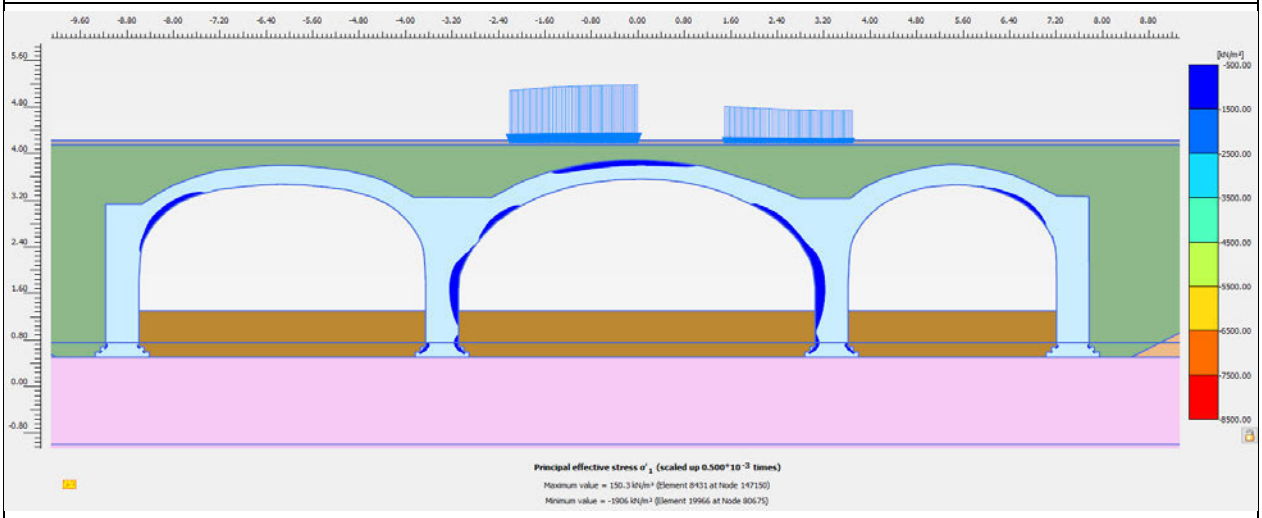
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



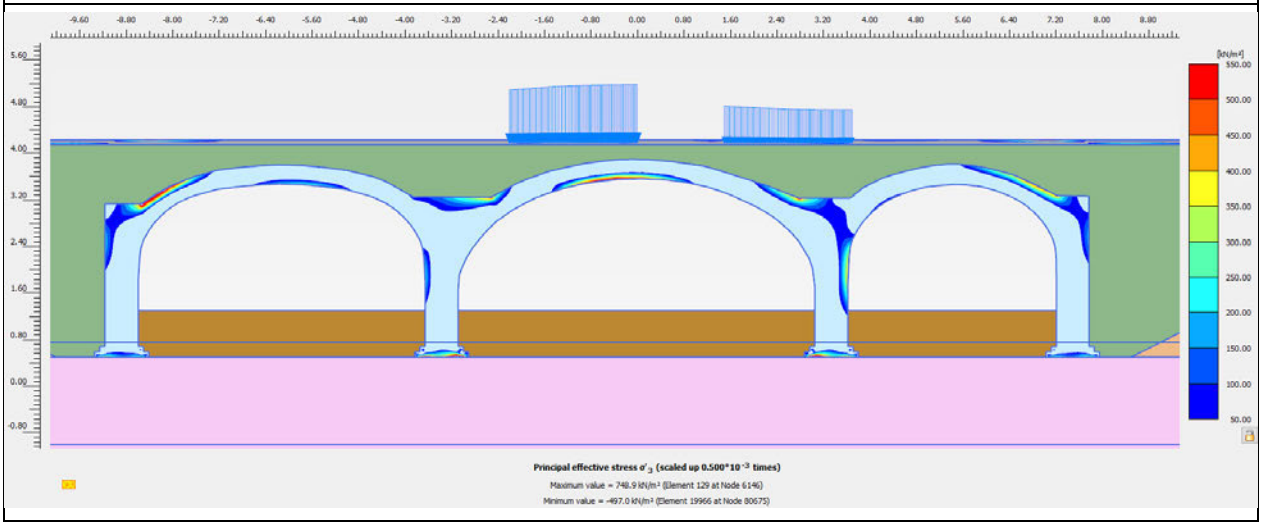
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



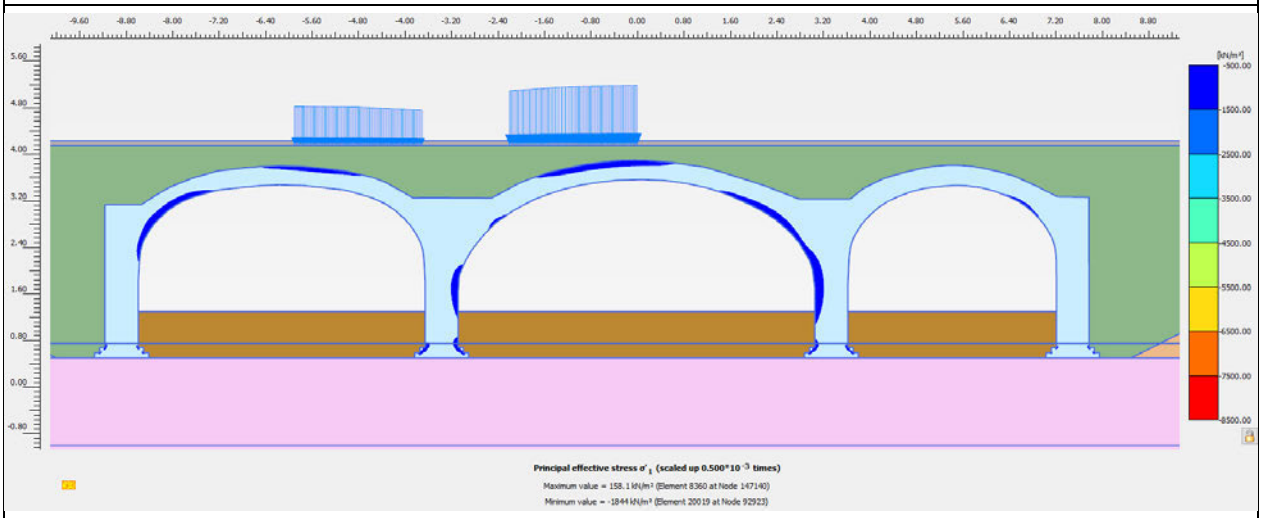
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



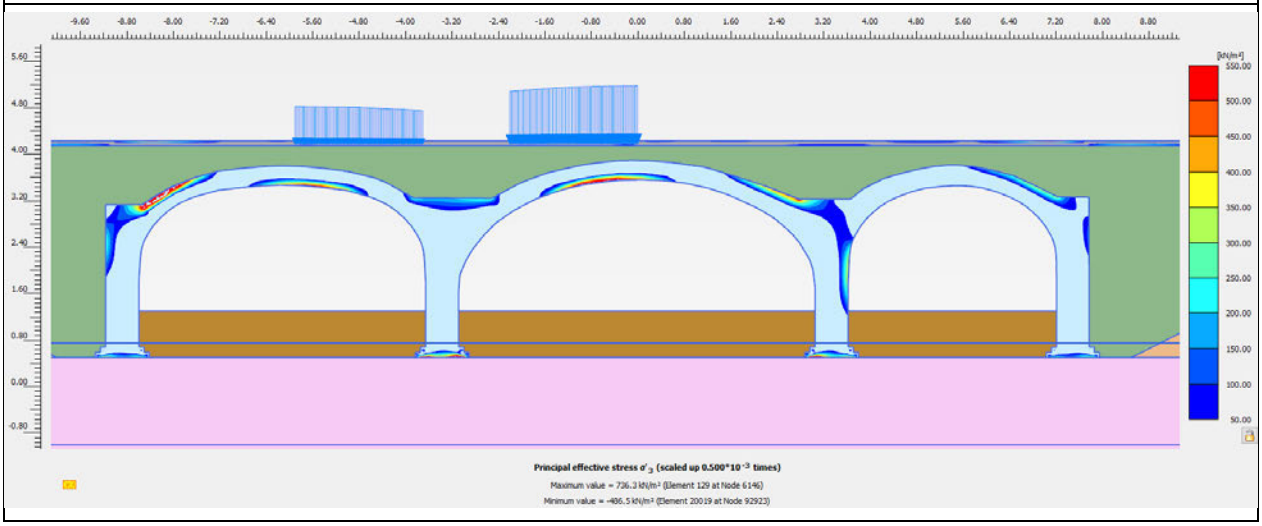
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



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

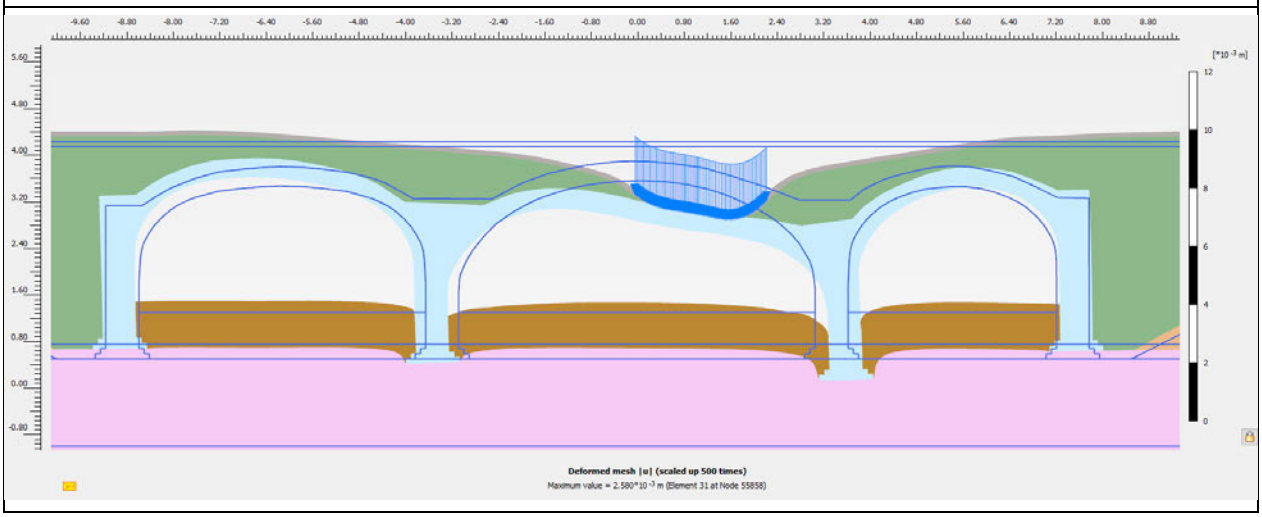


Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)

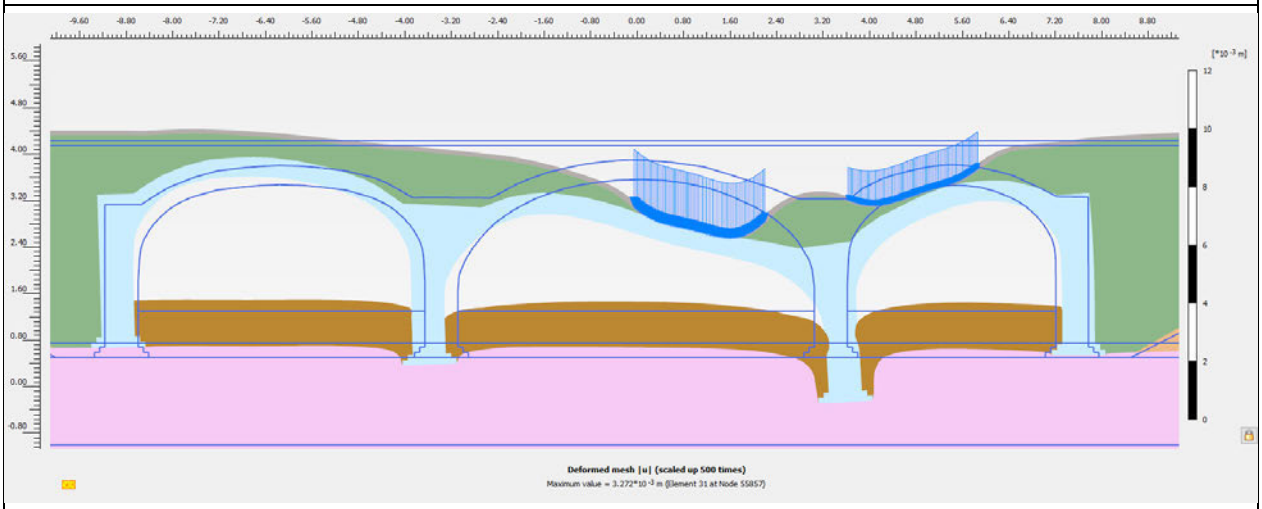


Vervormingen (500x vergroot)

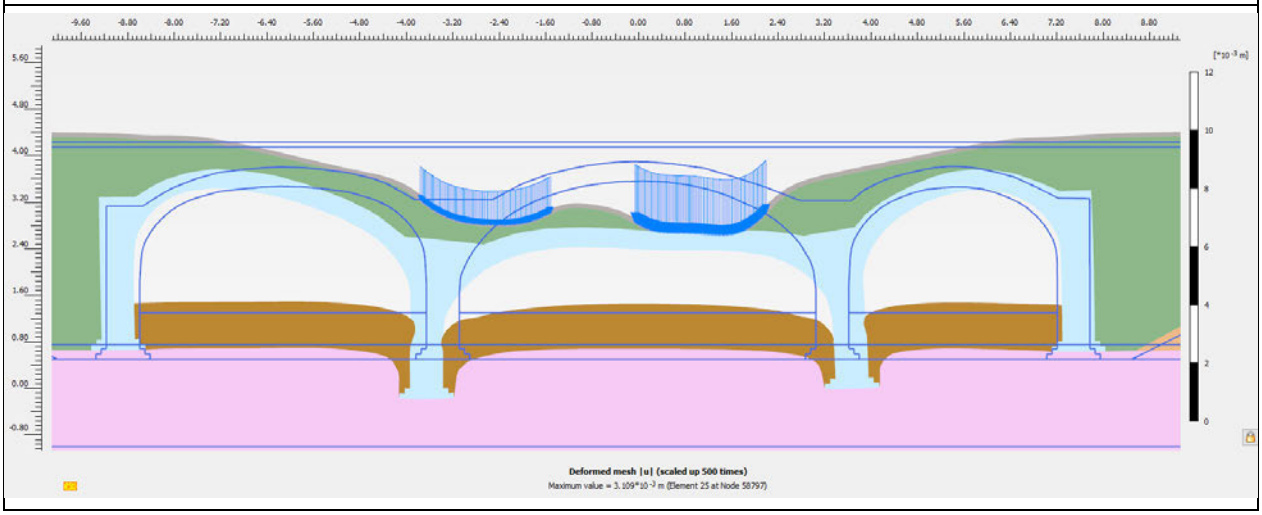
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



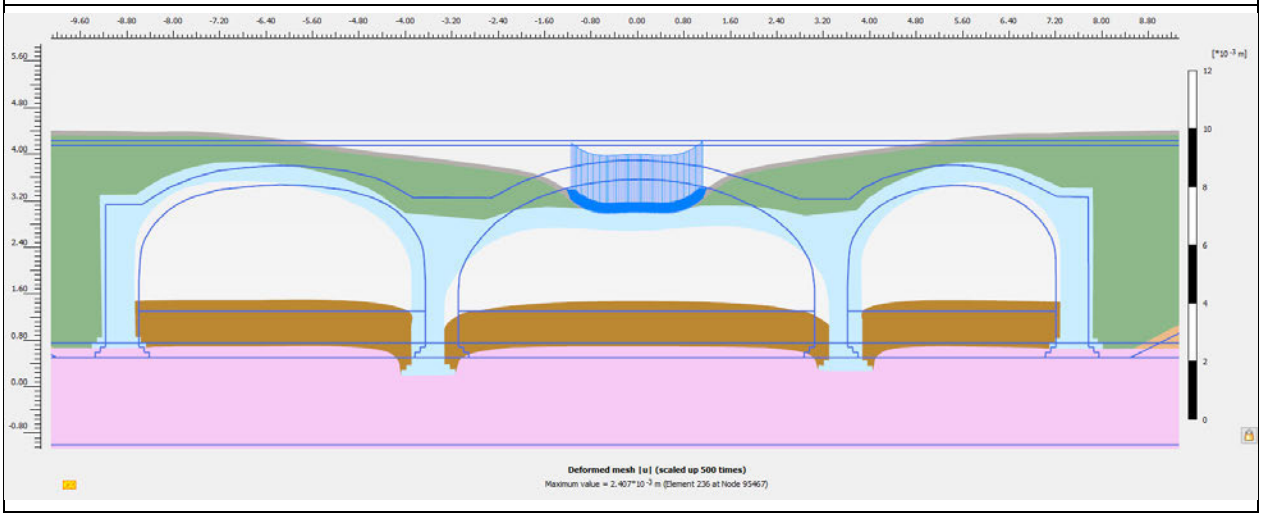
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



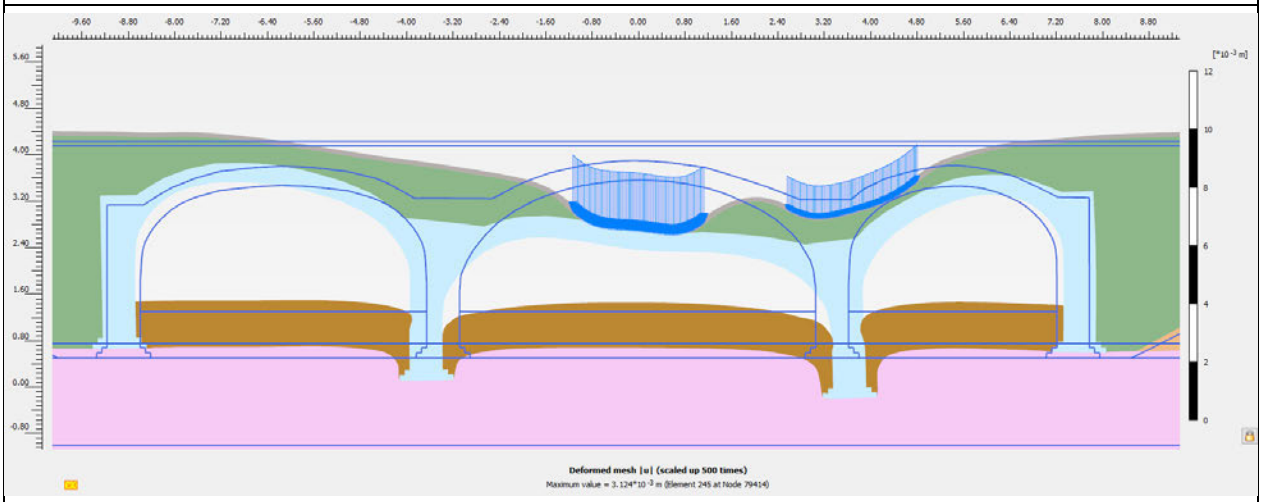
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



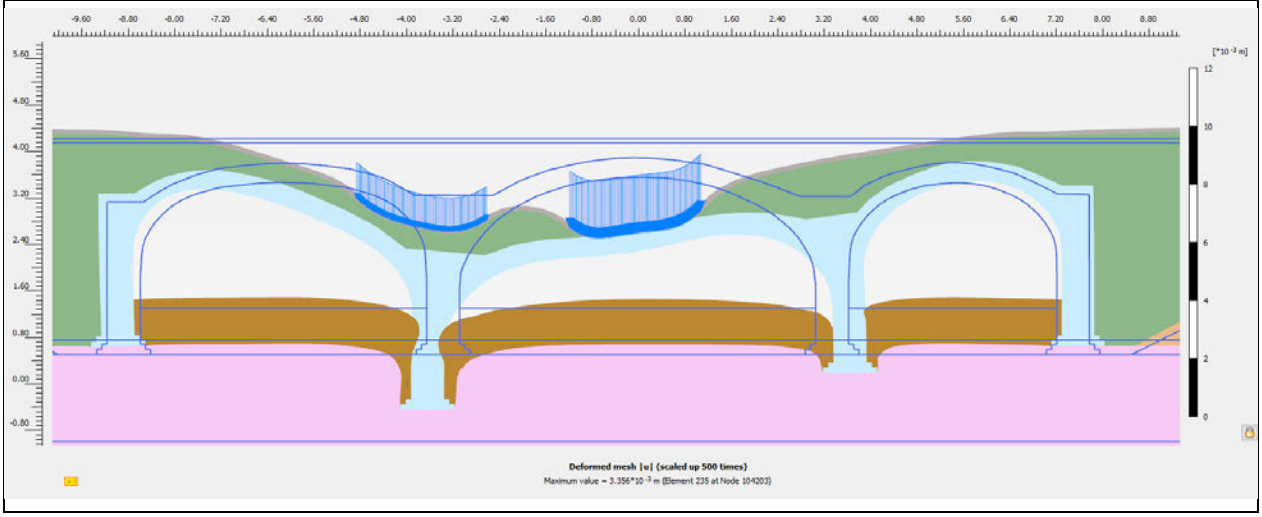
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



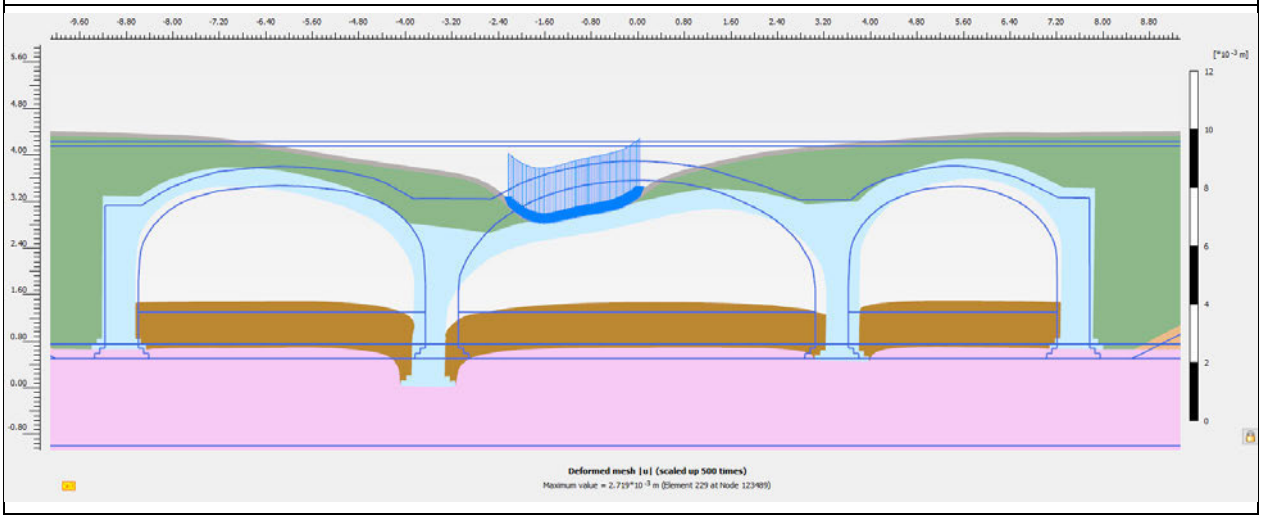
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



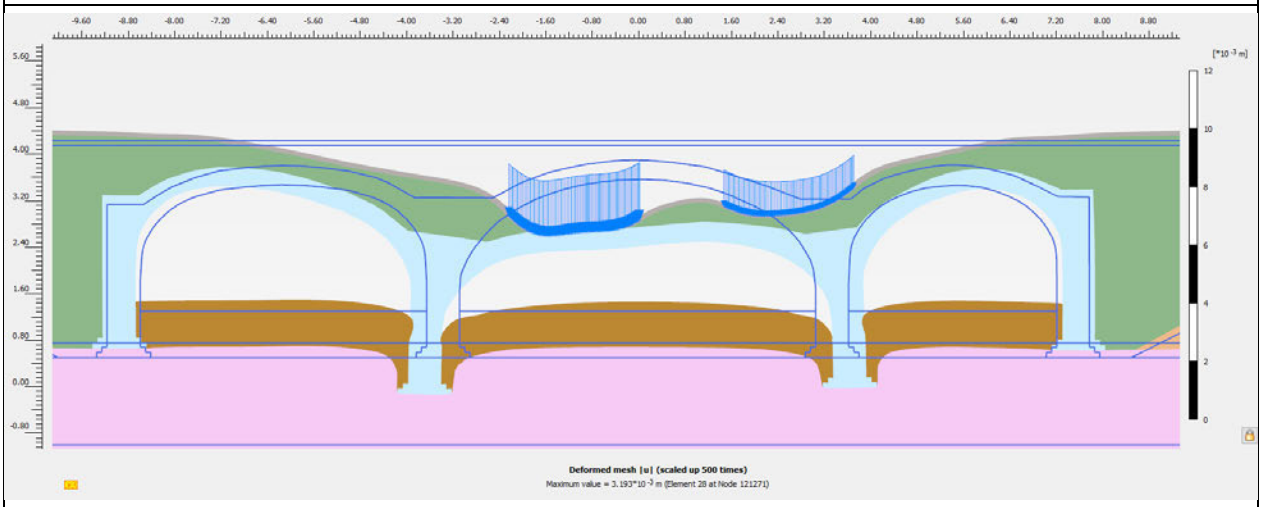
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



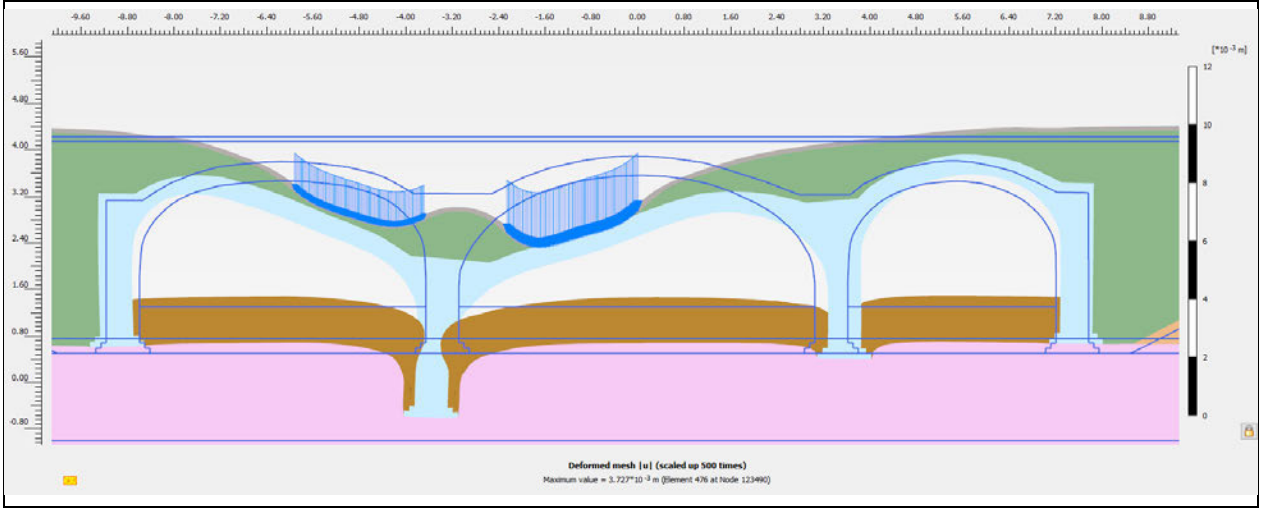
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



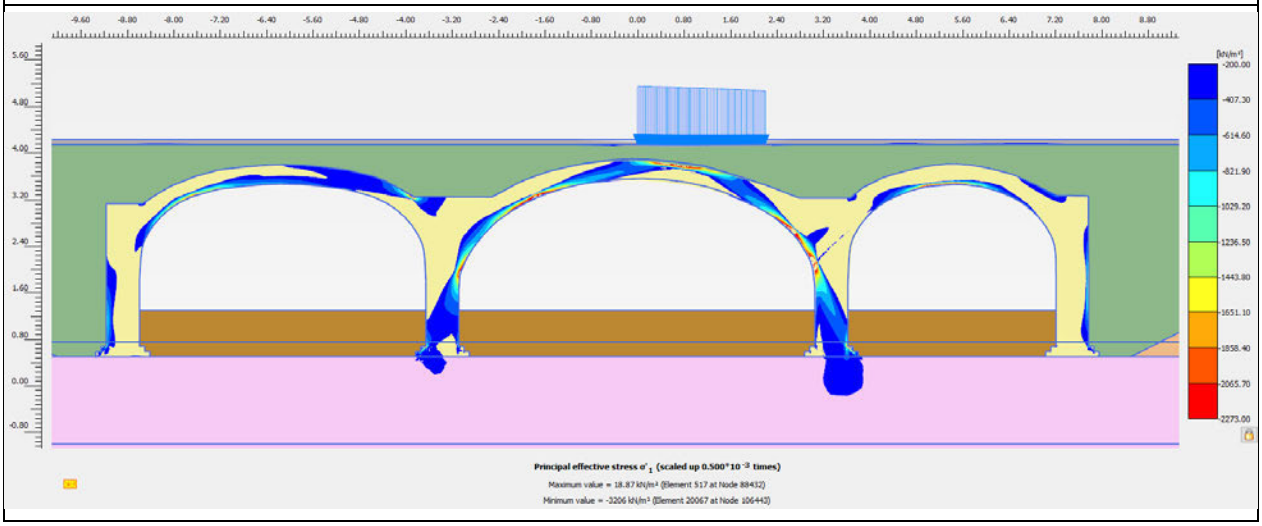
Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



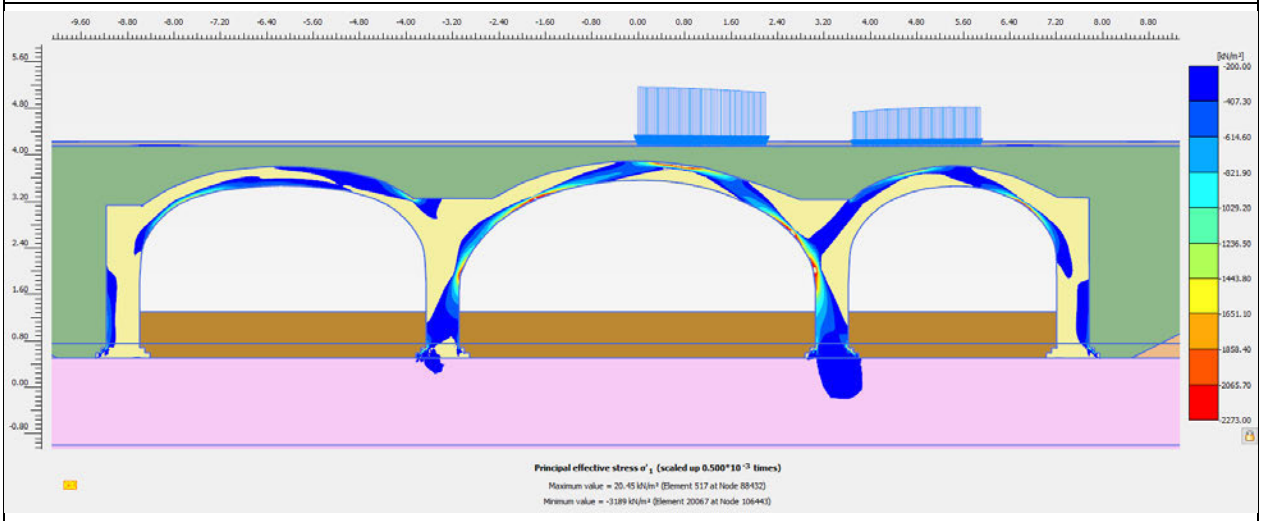
A5.2 UGT lastbeperking BM1

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

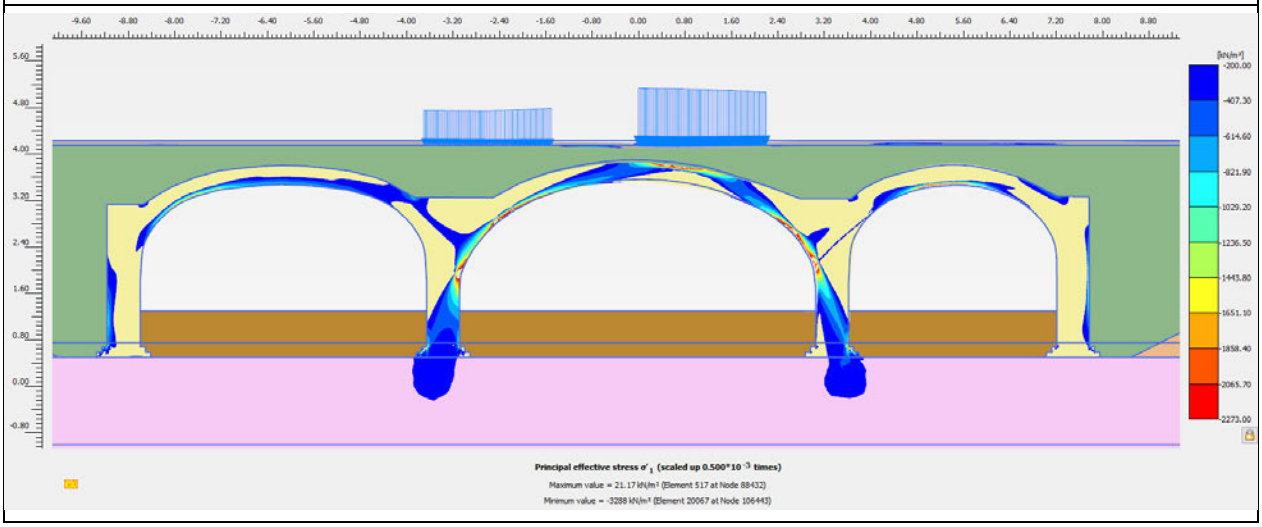
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



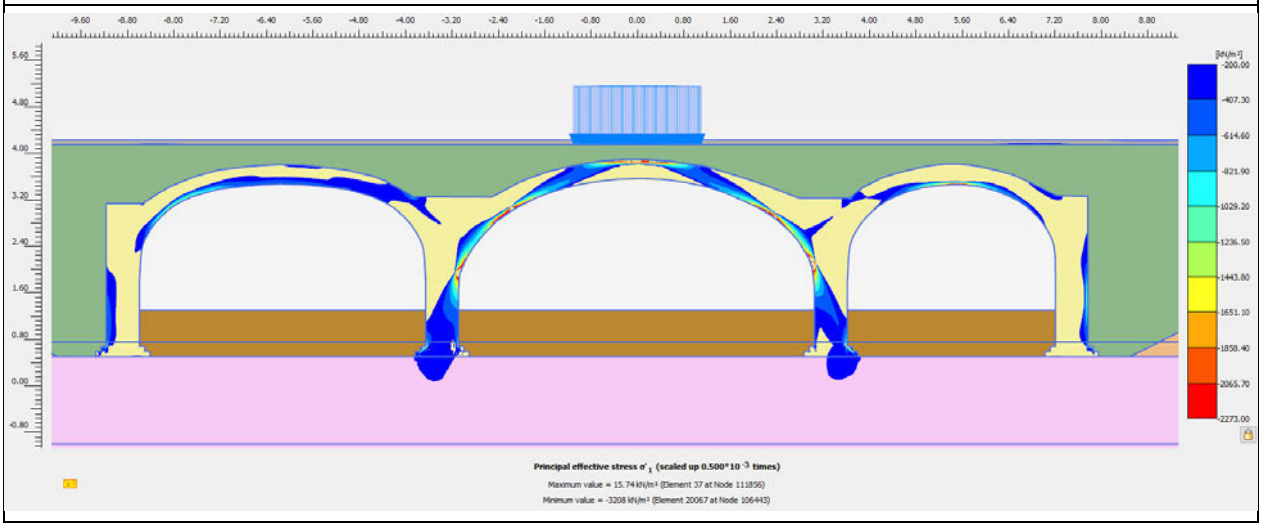
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



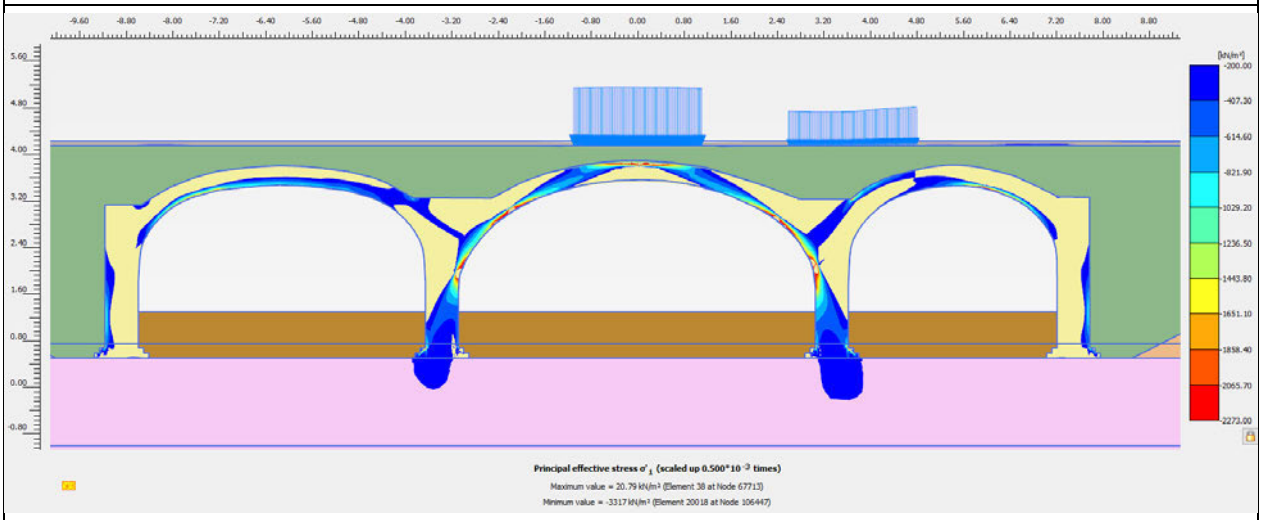
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



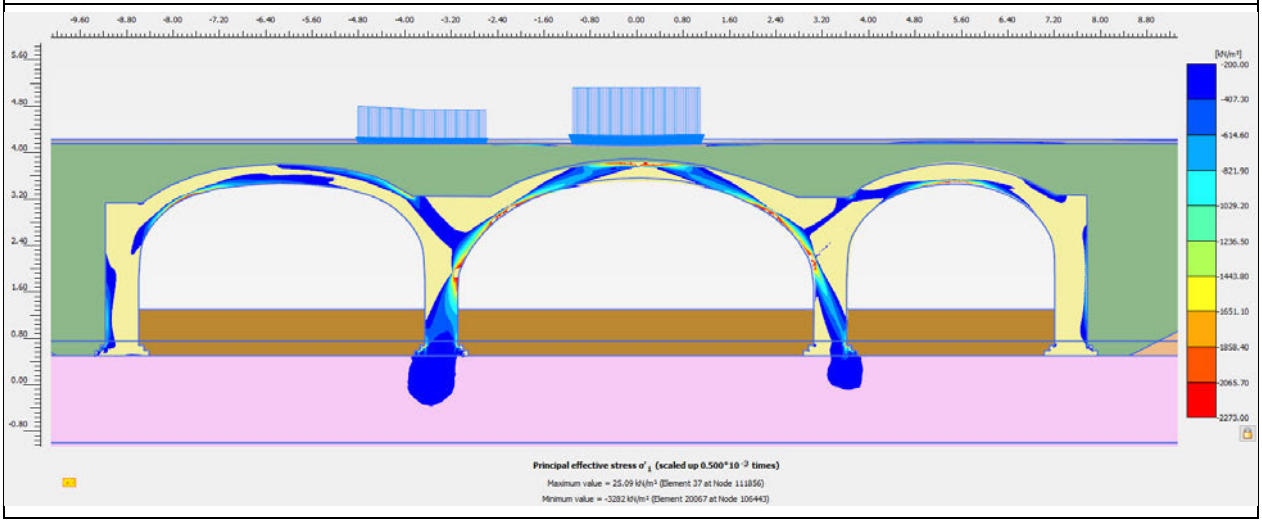
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



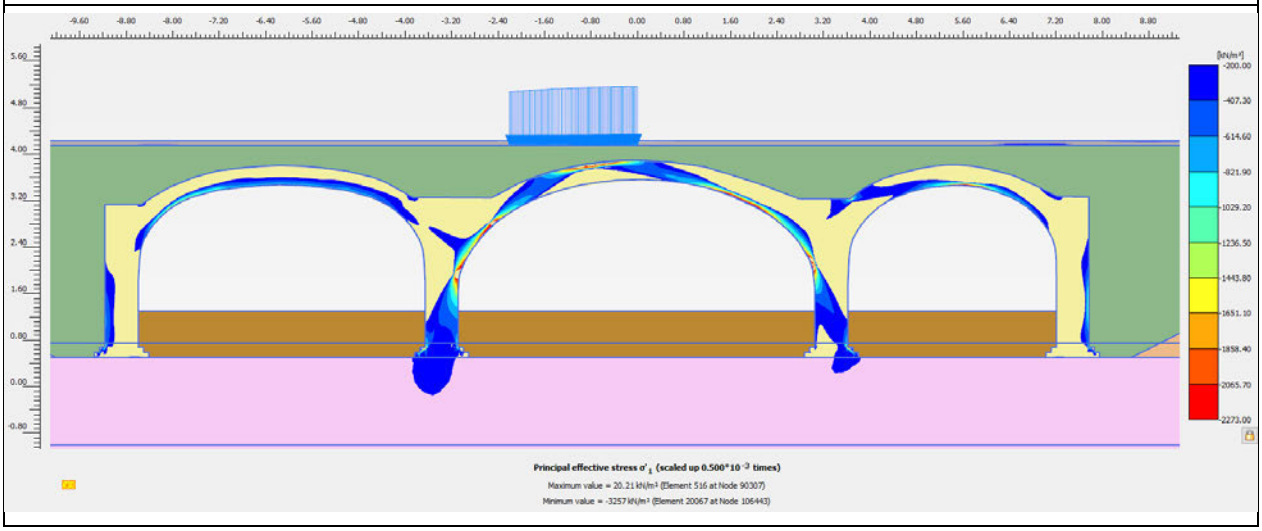
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



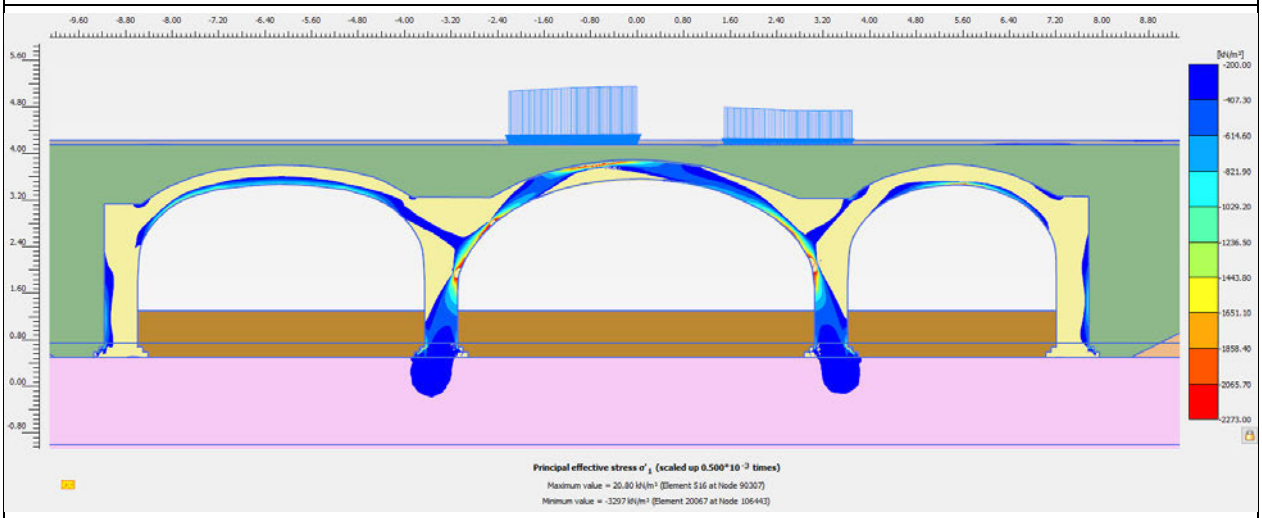
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



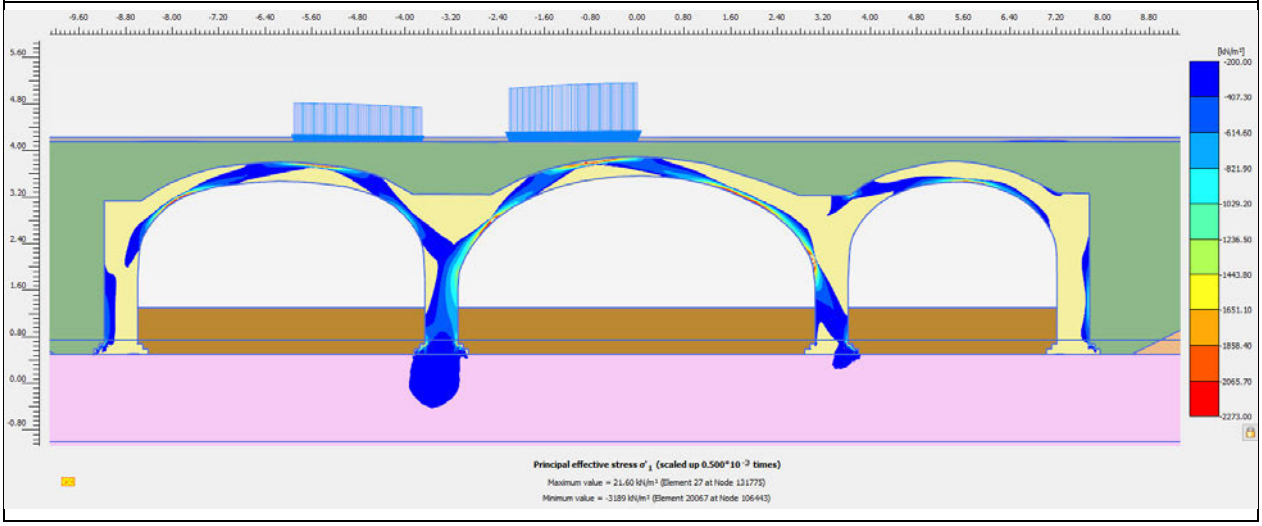
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

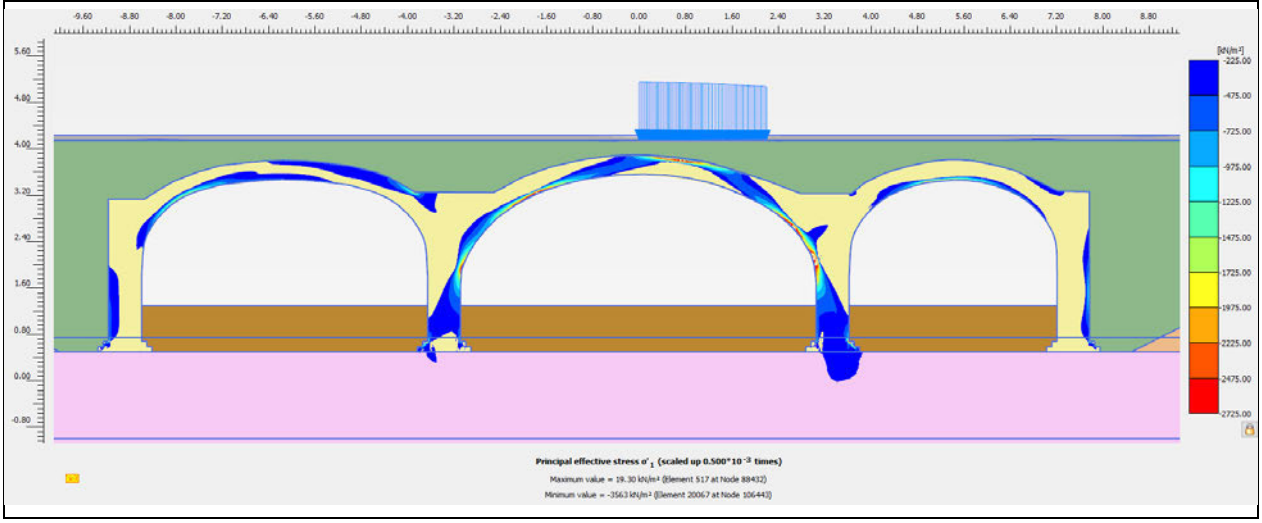


Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

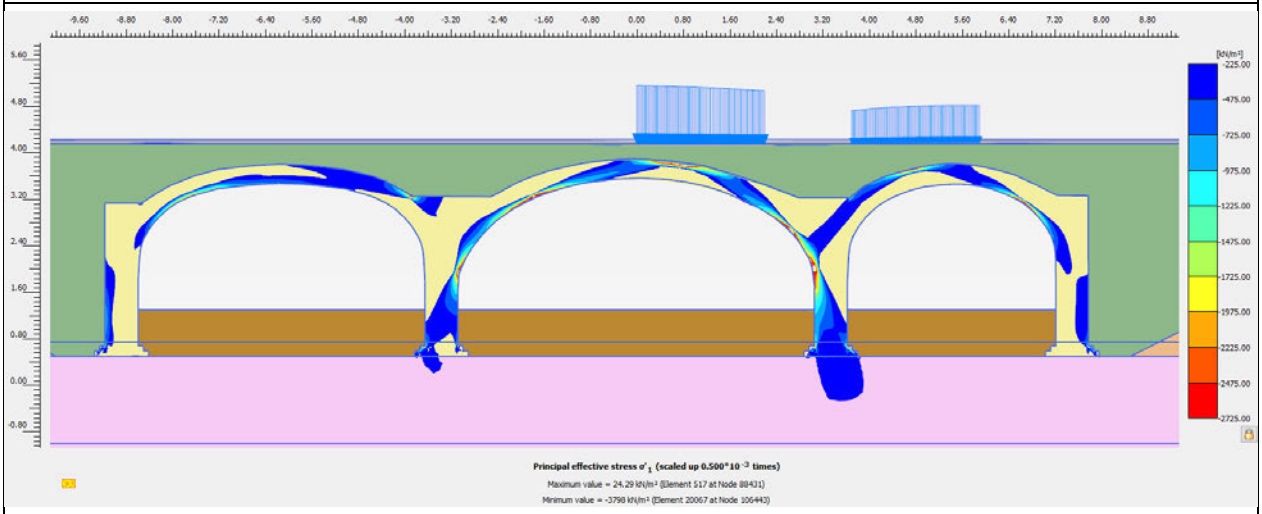


Drukspanningen GRF-2 (maximaal 5000/2,2*1,2 = 2725 kN/m^2)

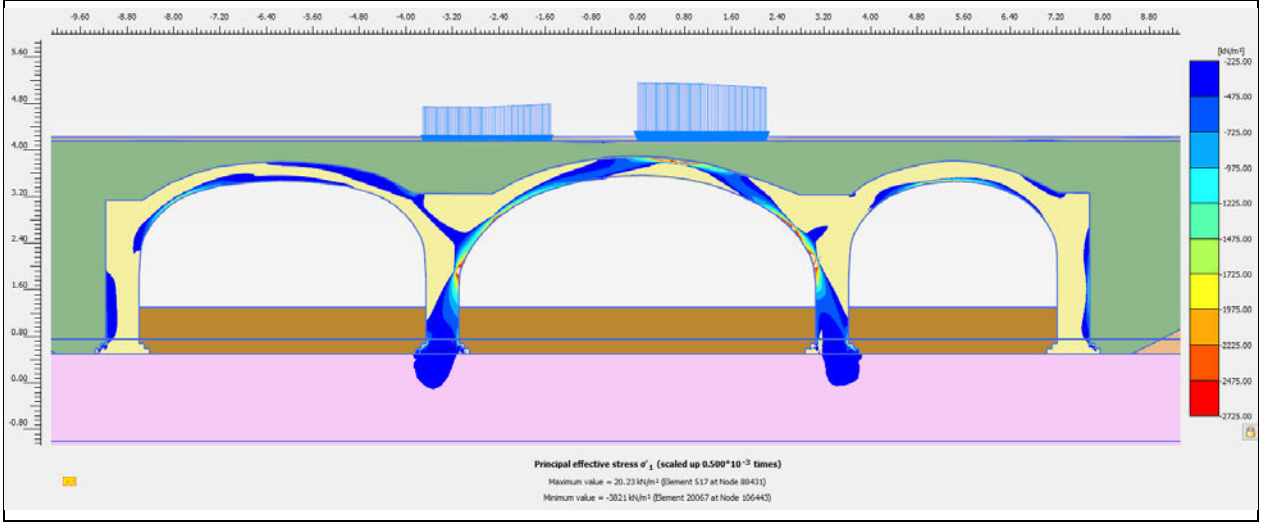
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



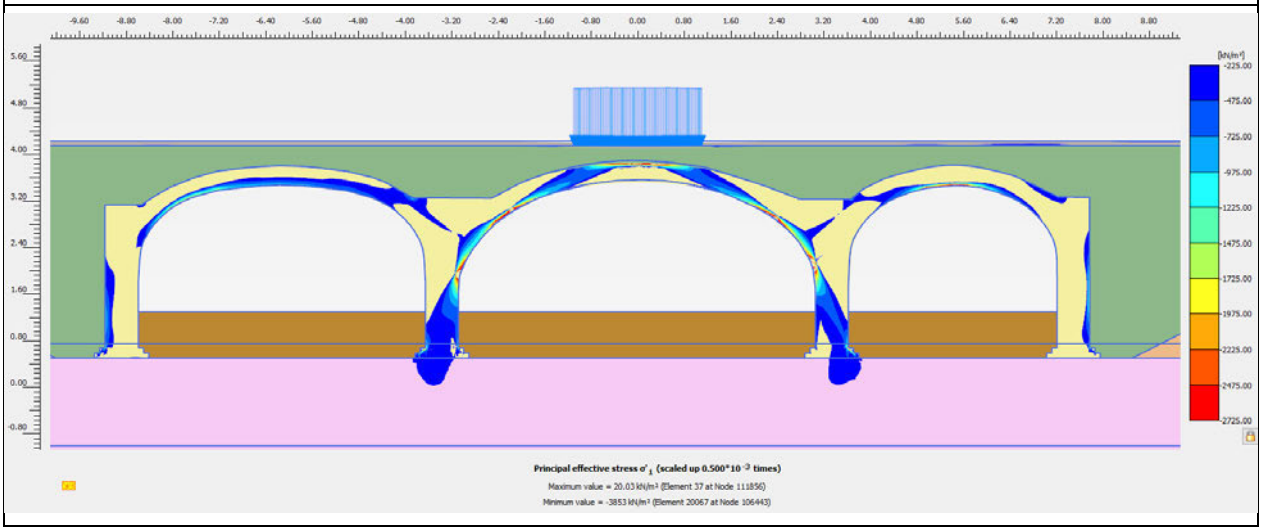
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



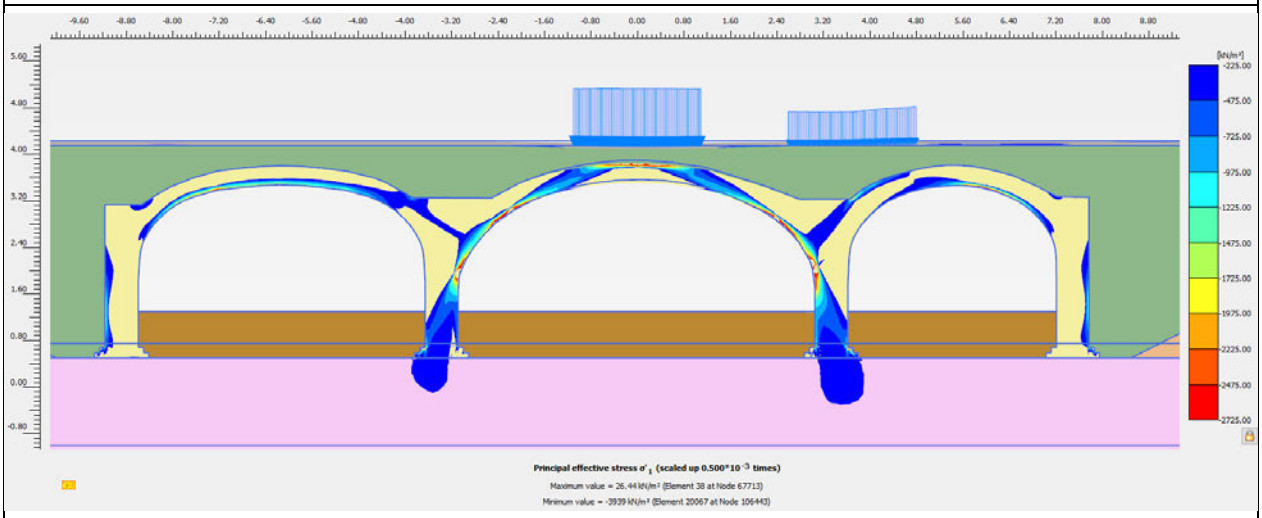
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



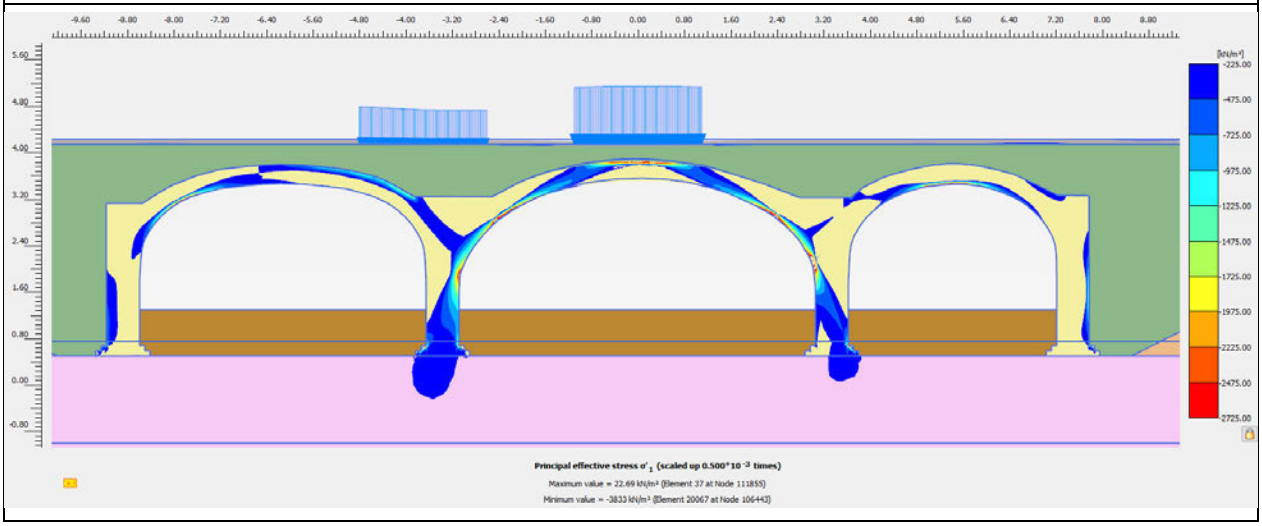
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



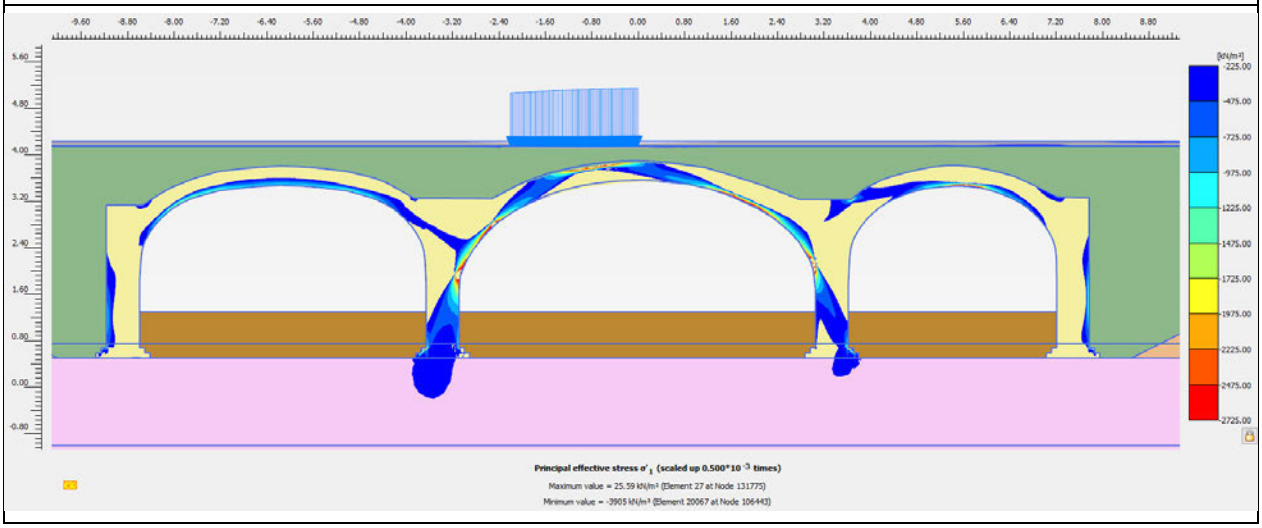
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



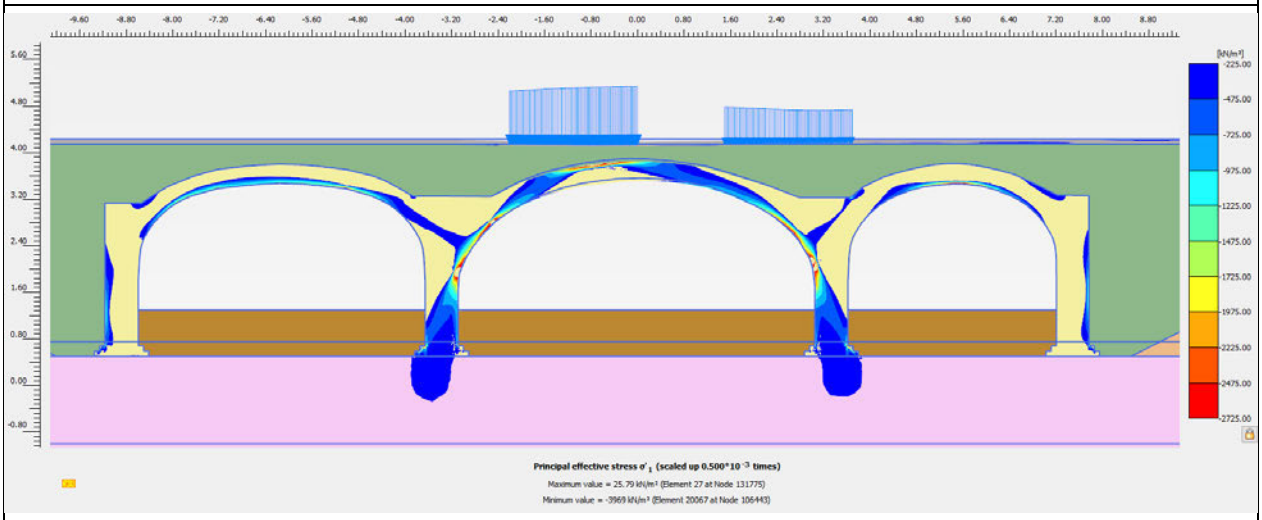
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



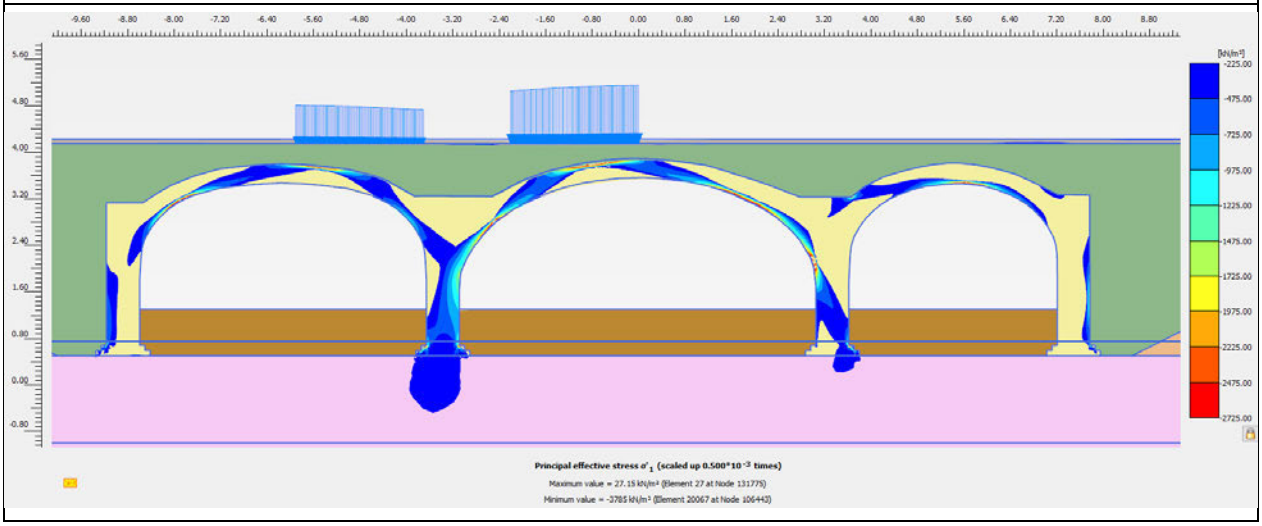
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

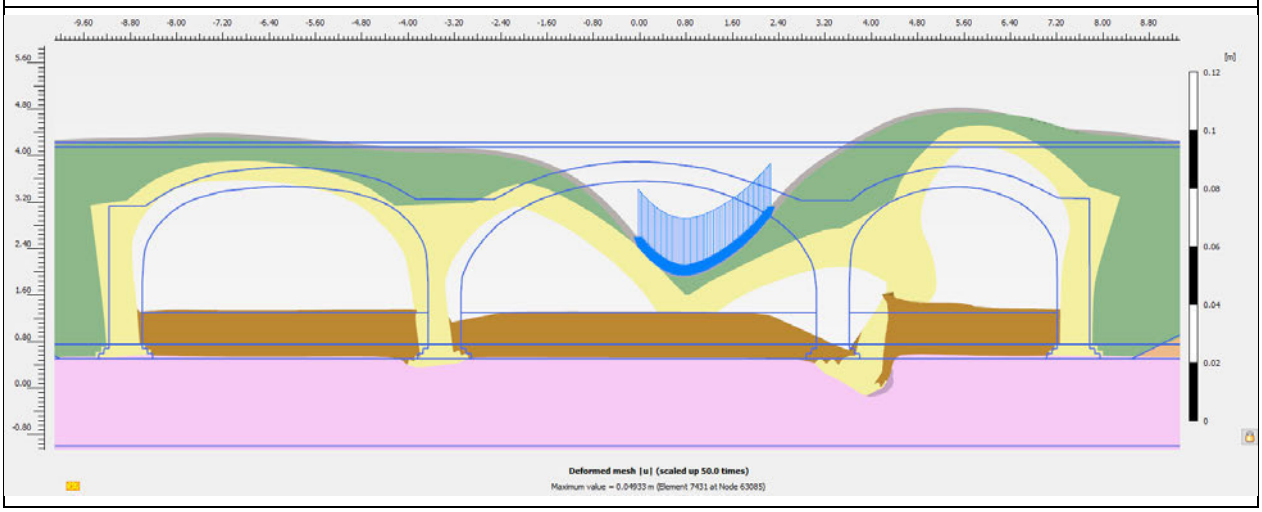


Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

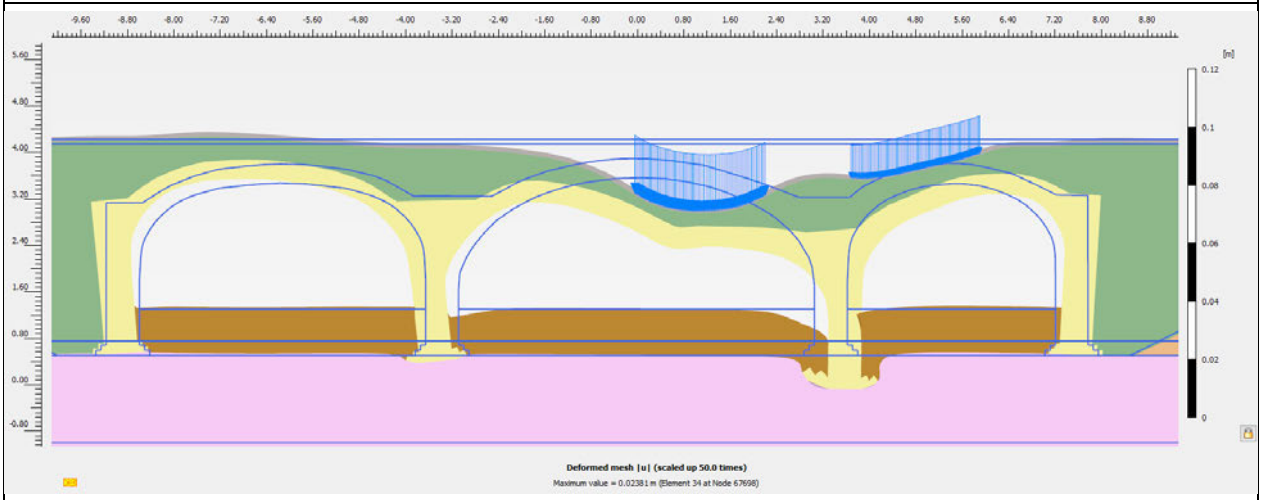


Vervorming PF-methode (x50)

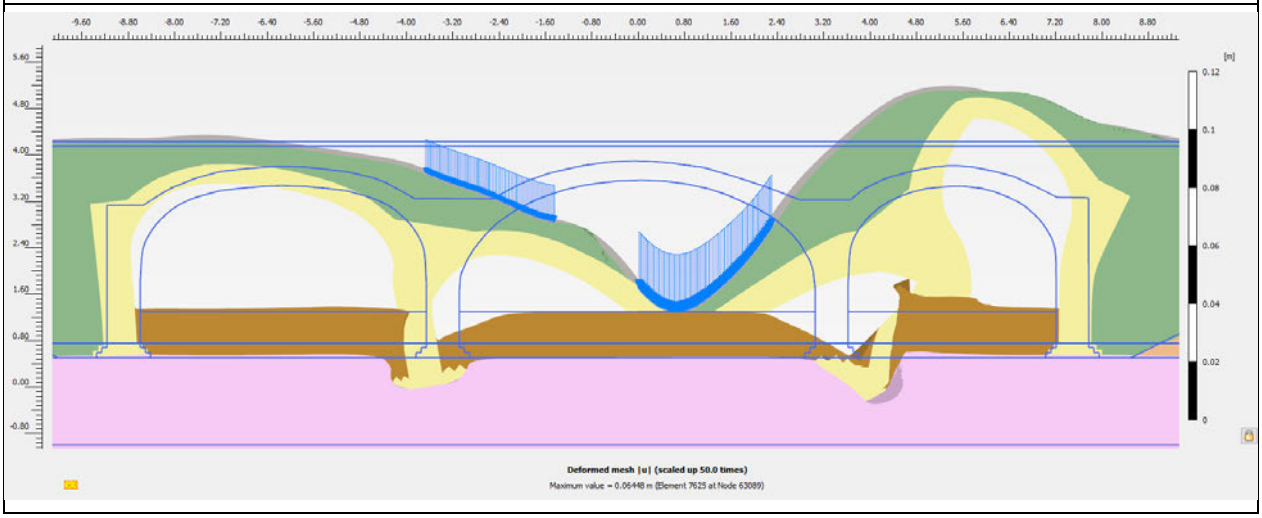
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



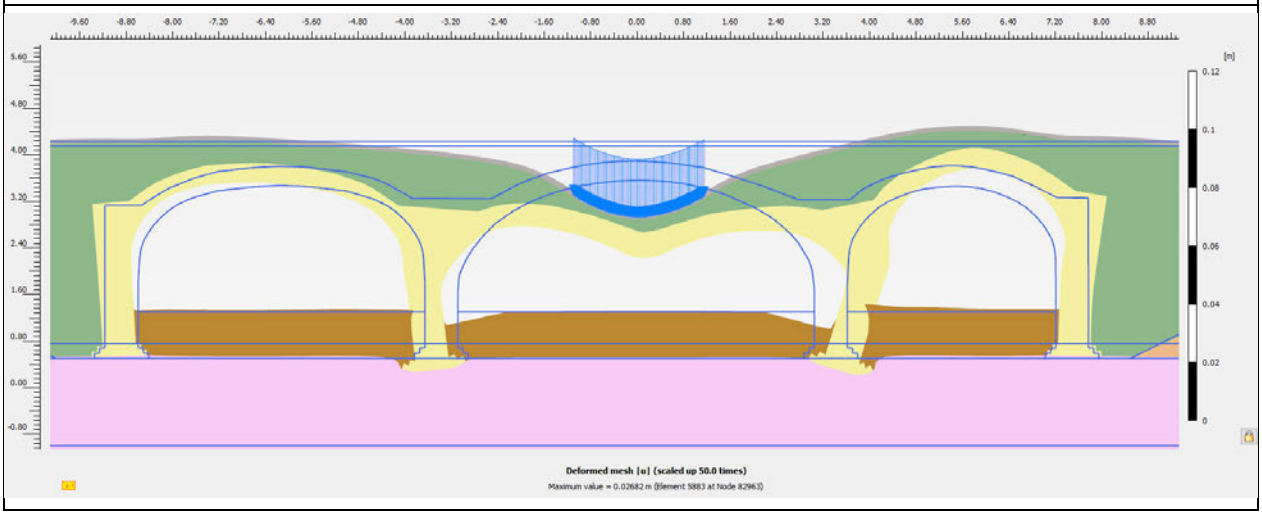
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



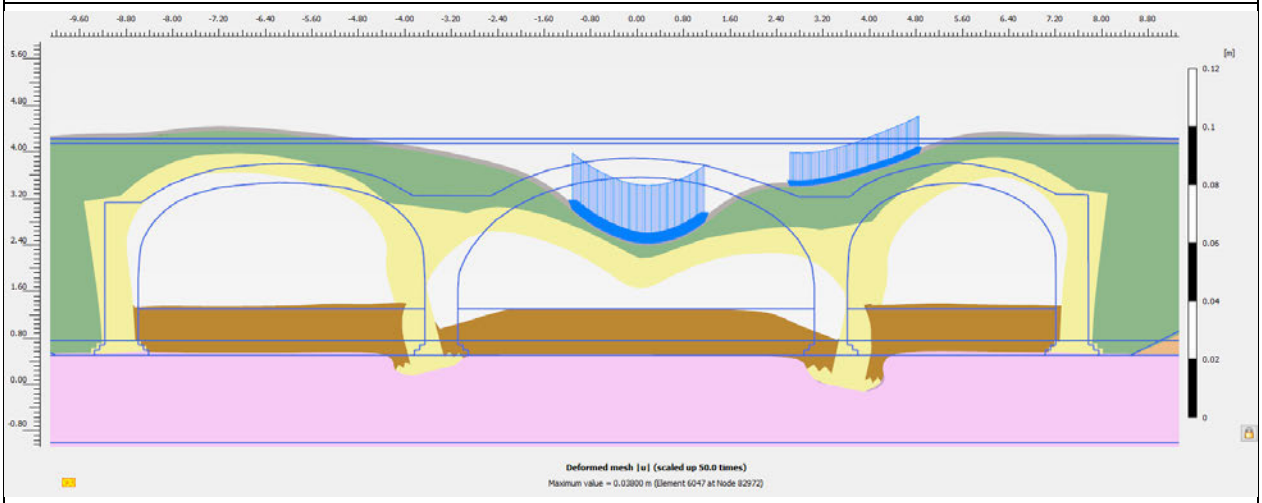
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



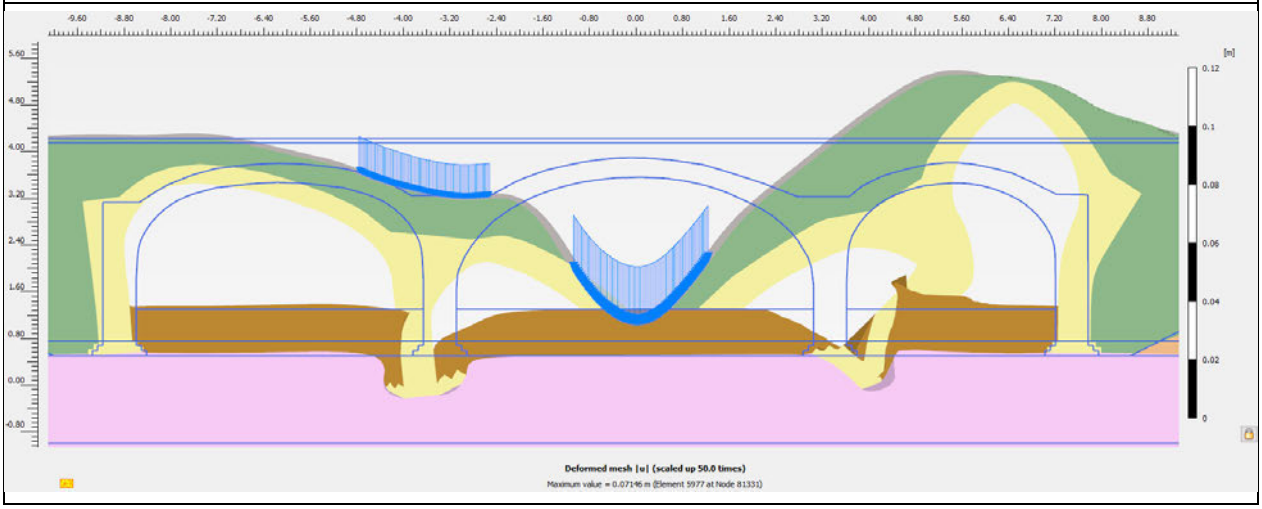
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



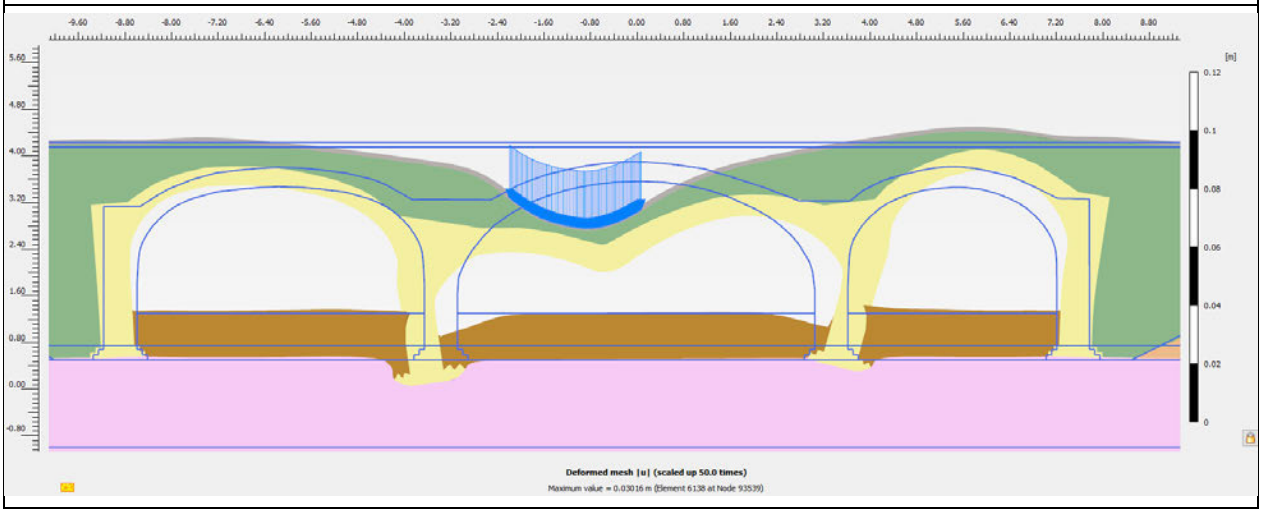
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



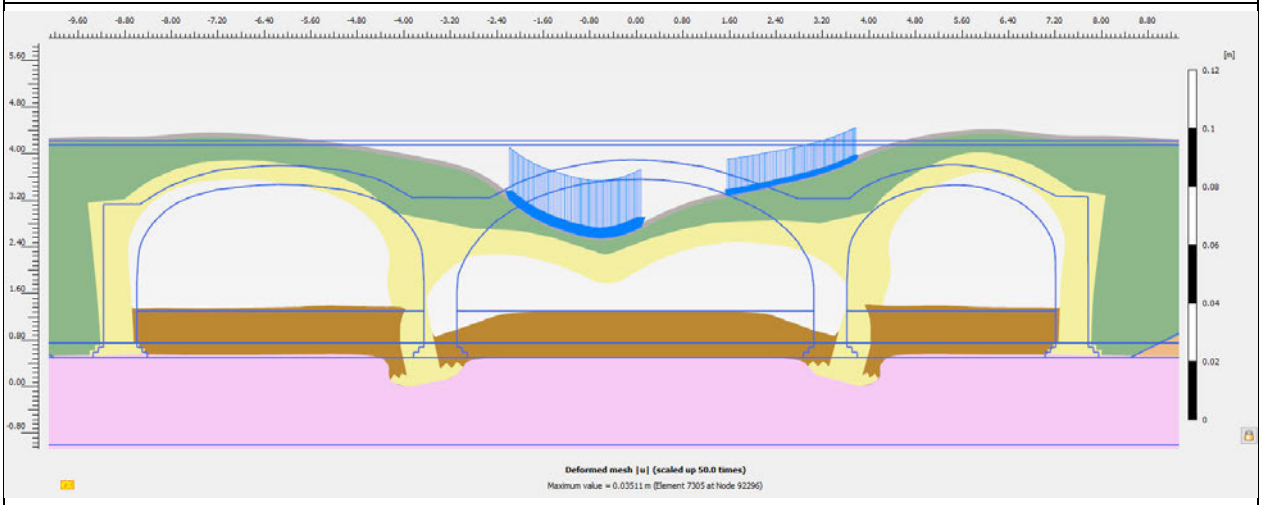
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



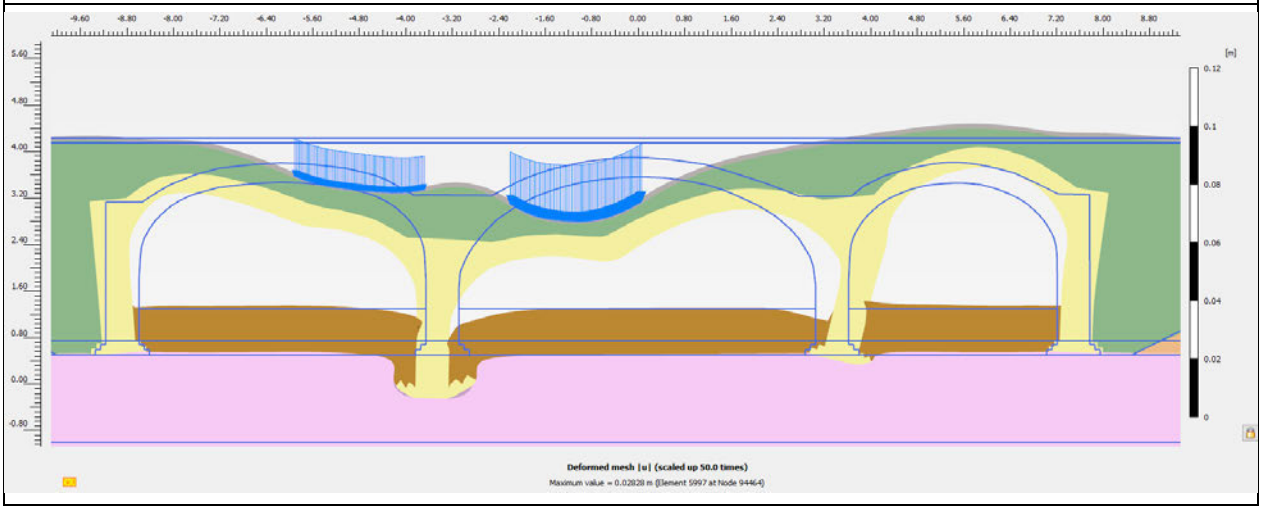
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton

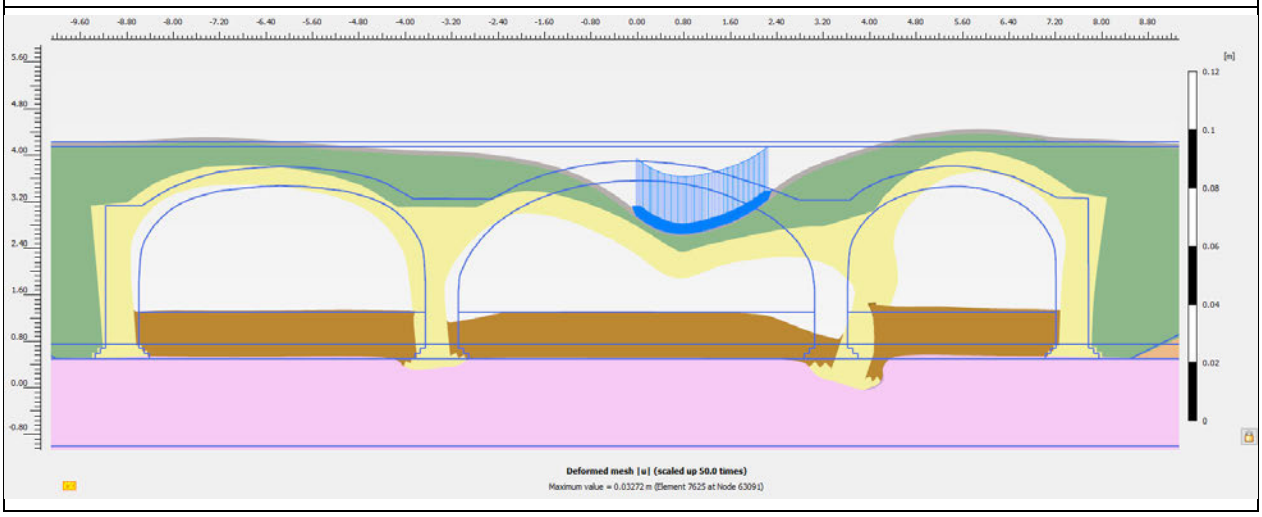


Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton

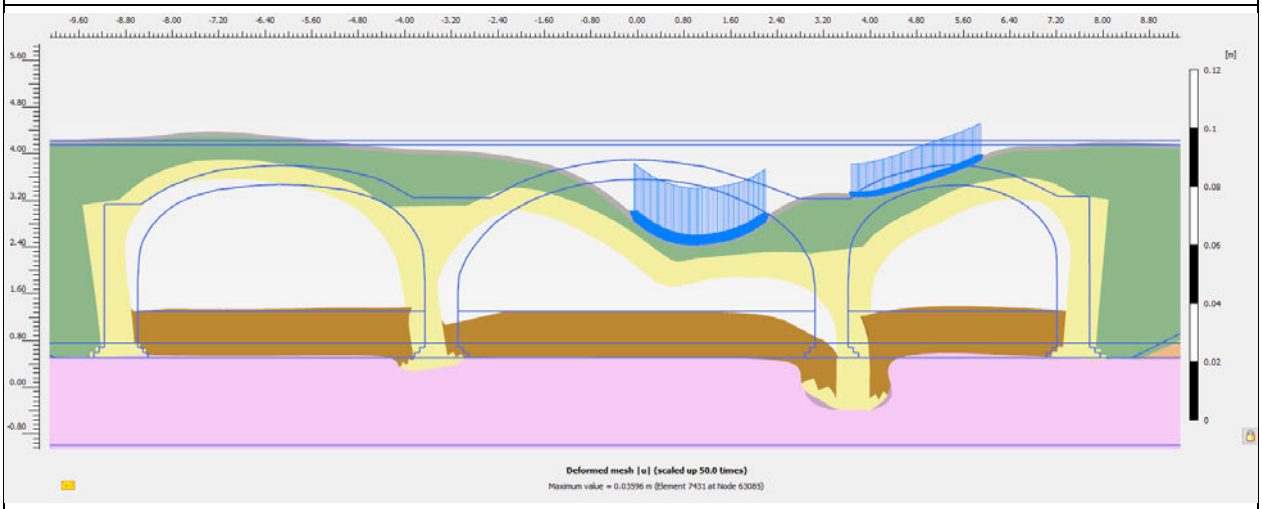


Vervorming GRF-2-methode (50x)

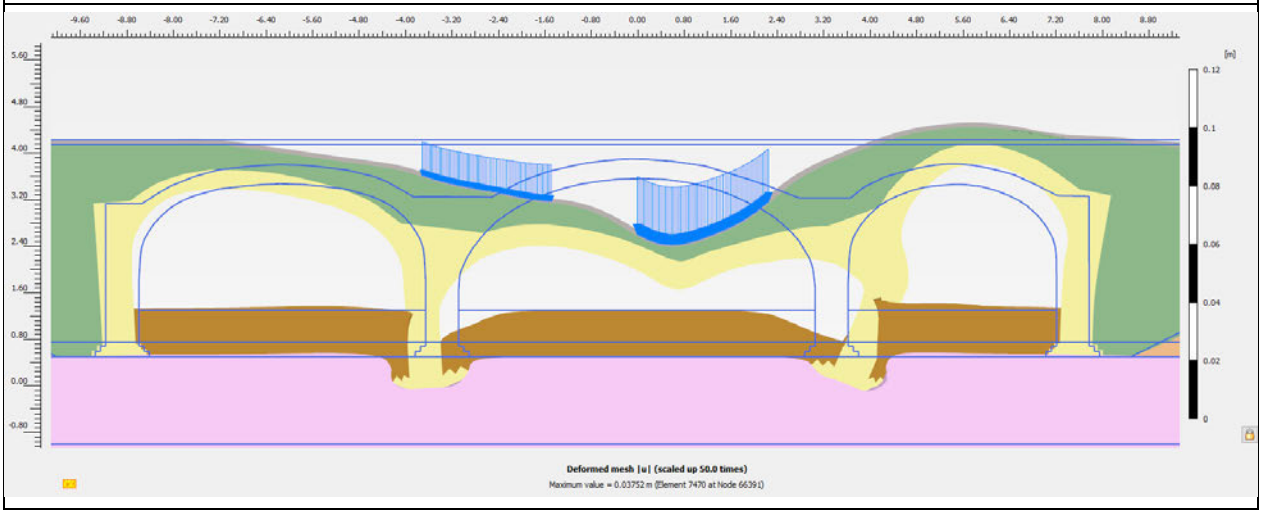
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



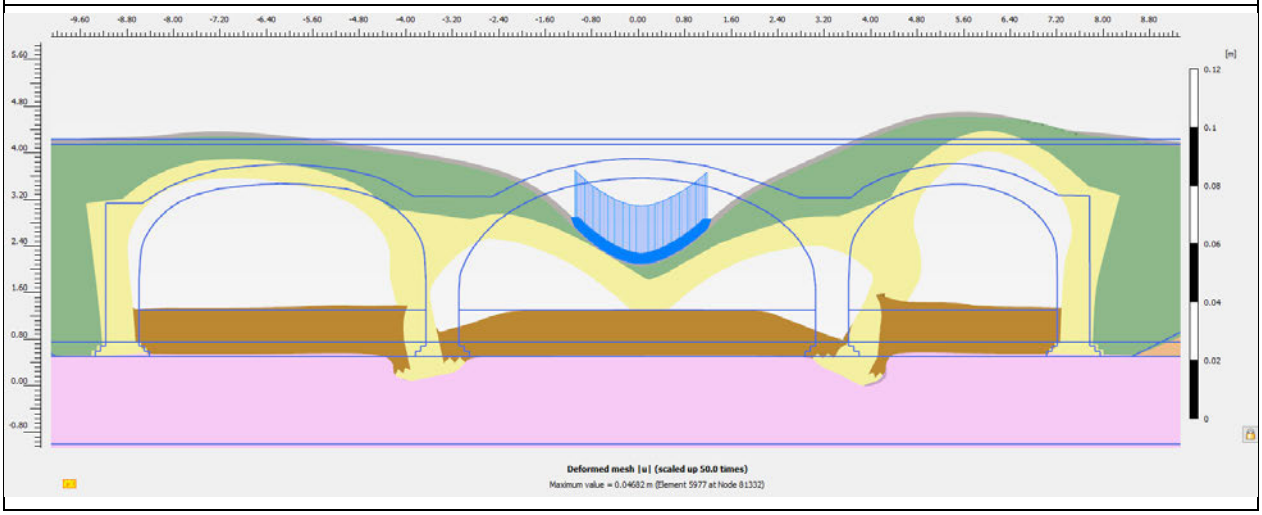
Belastingpositie 1-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



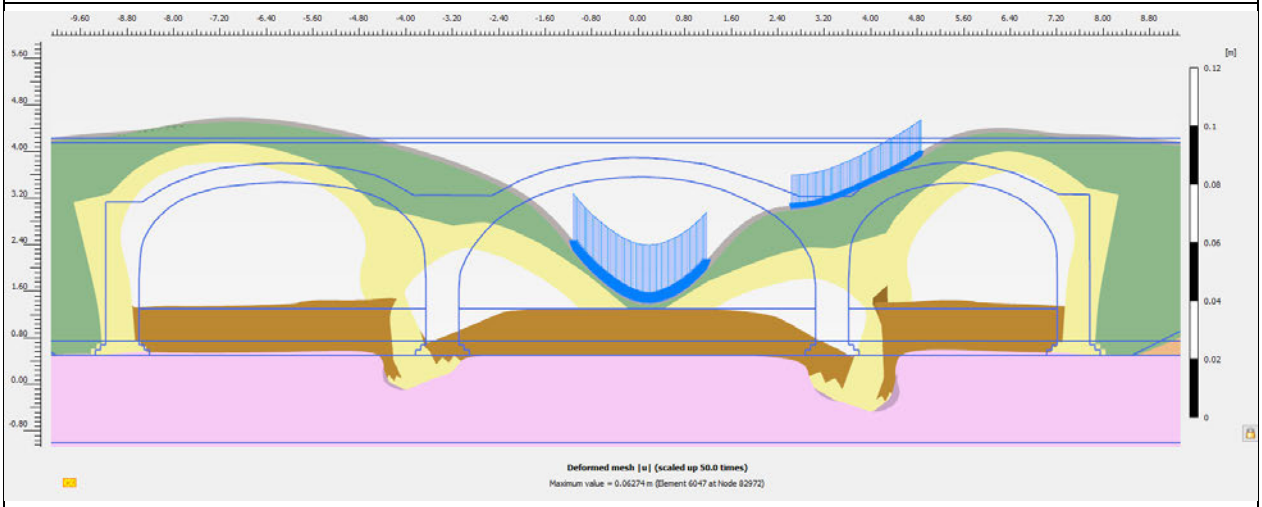
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



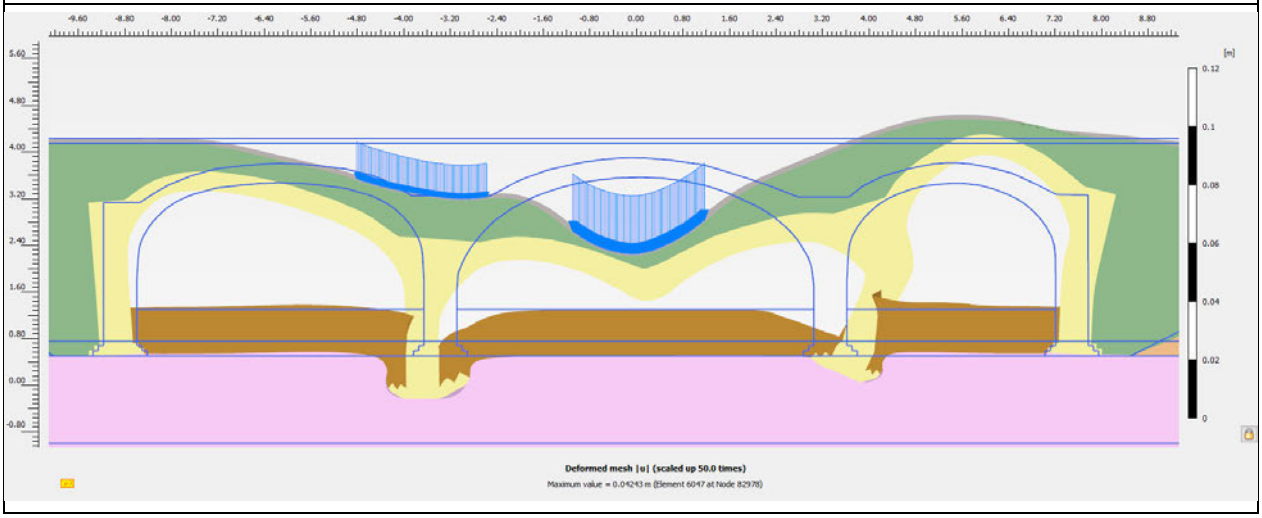
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



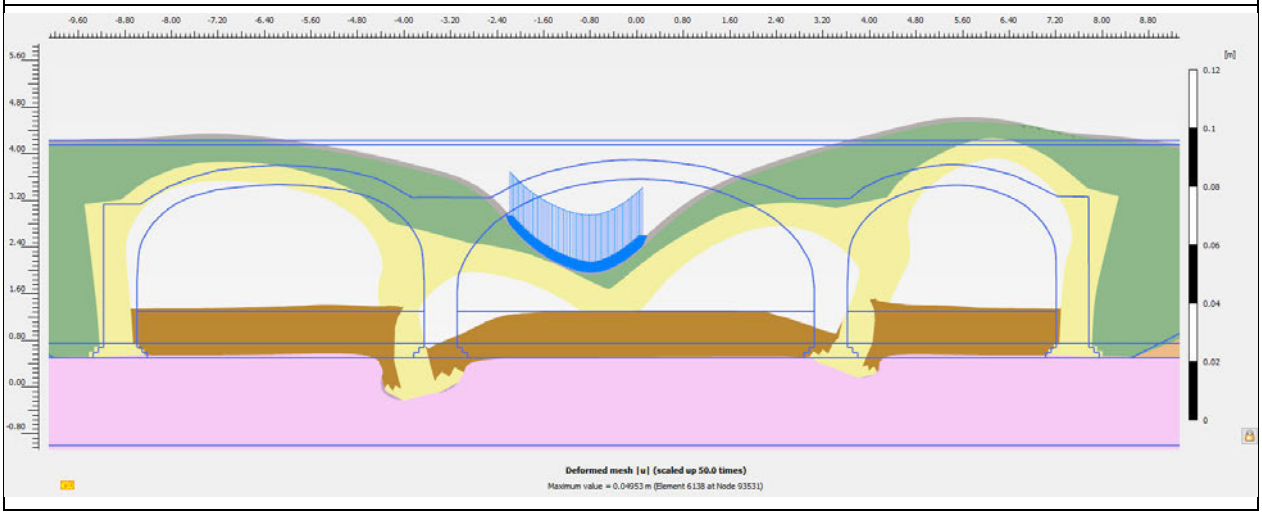
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



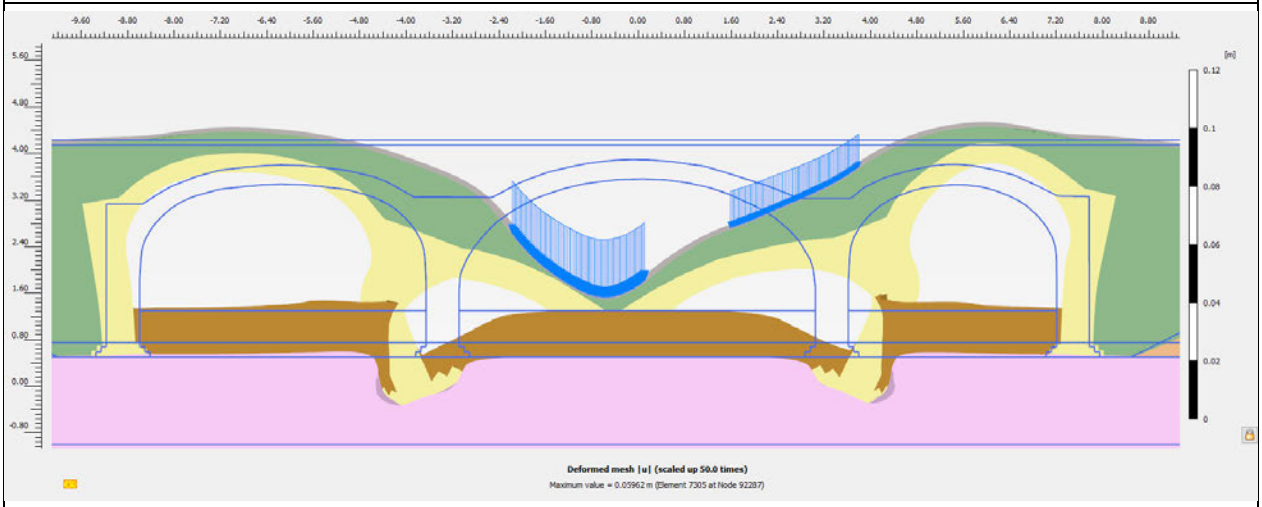
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 6 ton



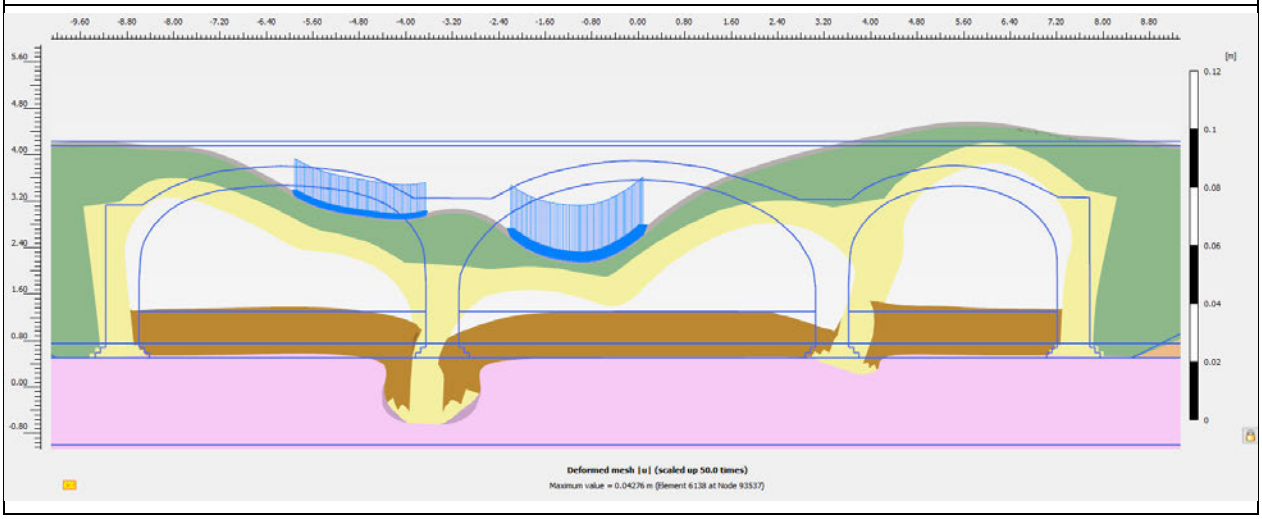
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



Royal HaskoningDHV

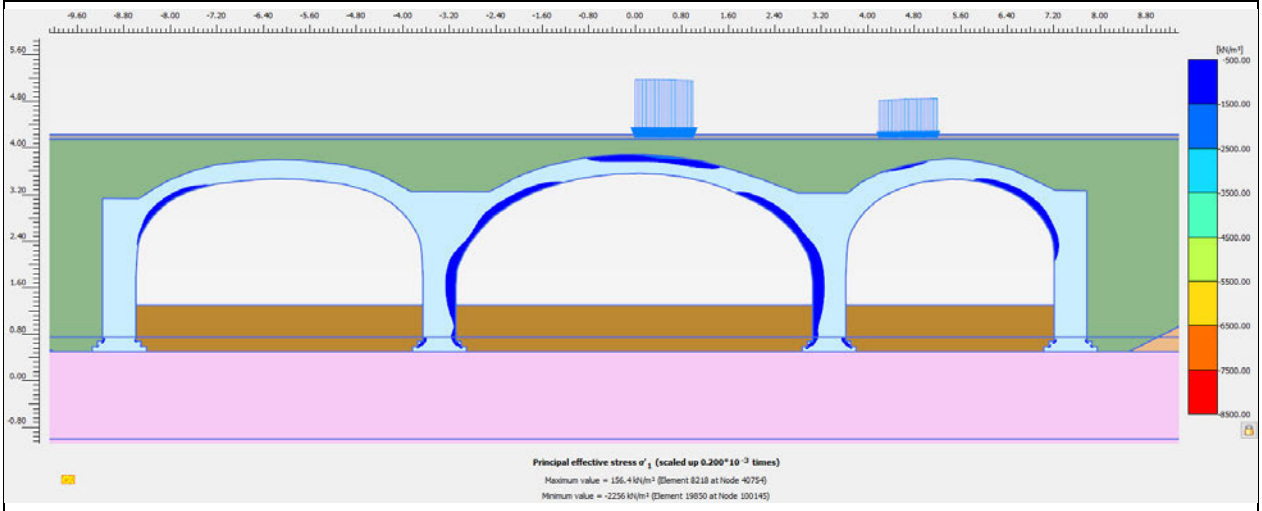
A5.3 BGT BM3

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+4,23, GWS +0,0 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 0,0m)				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☐	1000	1	10
C Aanvullen tot huidig MV (NAP +4,23m) en GWS NAP +0,0 [Phase_2]				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☐	1000	11	54
D Maximaal waterpeil NAP +1,5m en GWS NAP +0,75m 2 [Phase_7]				0.000 day	0.000 day	☑	☑	☑	1000	55	56
2N-1-R Toets SLS [Phase_9]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	57	74
3N-1-R [Phase_19]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	75	206
4N-1-R PF [Phase_17]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	207	306
5N-1-R PF [Phase_30]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	307	406
6N-1-R GRF [Phase_22]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	407	506
7N-1-R GRF [Phase_43]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	507	606
2N-1-L Toets SLS [Phase_4]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	607	628
3N-1-L [Phase_24]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	629	789
4N-1-L PF [Phase_21]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	790	889
5N-1-L PF [Phase_44]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	890	989
6N-1-L GRF [Phase_32]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	990	1089
7N-1-L GRF [Phase_45]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1090	1189
2N-2-R Toets SLS [Phase_11]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1190	1206
3N-2-R [Phase_25]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1207	1343
4N-2-R PF [Phase_31]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1344	1443
5N-2-R PF [Phase_48]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1444	1543
6N-2-R PF [Phase_23]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1544	1643
7N-2-R GRF [Phase_49]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1644	1743
2N-2-L Toets SLS [Phase_12]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	1744	1765
3N-2-L [Phase_26]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1766	1935
4N-2-L PF [Phase_33]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	1936	2035
5N-2-L PF [Phase_50]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2036	2135
6N-2-L GRF [Phase_34]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2136	2235
7N-2-L GRF [Phase_51]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2236	2335
2N-3-R Toets SLS [Phase_14]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2336	2353
3N-3-R [Phase_28]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2354	2496
4N-3-R PF [Phase_37]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2497	2596
5N-3-R PF [Phase_54]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2597	2696
6N-3-R GRF [Phase_38]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2697	2796
7N-3-R GRF [Phase_55]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2797	2896
2N-3-L Toets SLS [Phase_15]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	2897	2927
3N-3-L [Phase_29]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	2928	3089
4N-3-L PF [Phase_40]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	3090	3189
5N-3-L PF [Phase_56]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3190	3289
6N-3-L GRF [Phase_39]				0.000 day	0.000 day	☑	☐	☑	1000	3290	3389
7N-3-L GRF [Phase_57]				0.000 day	0.000 day	☐	☐	☑	1000	3390	3489

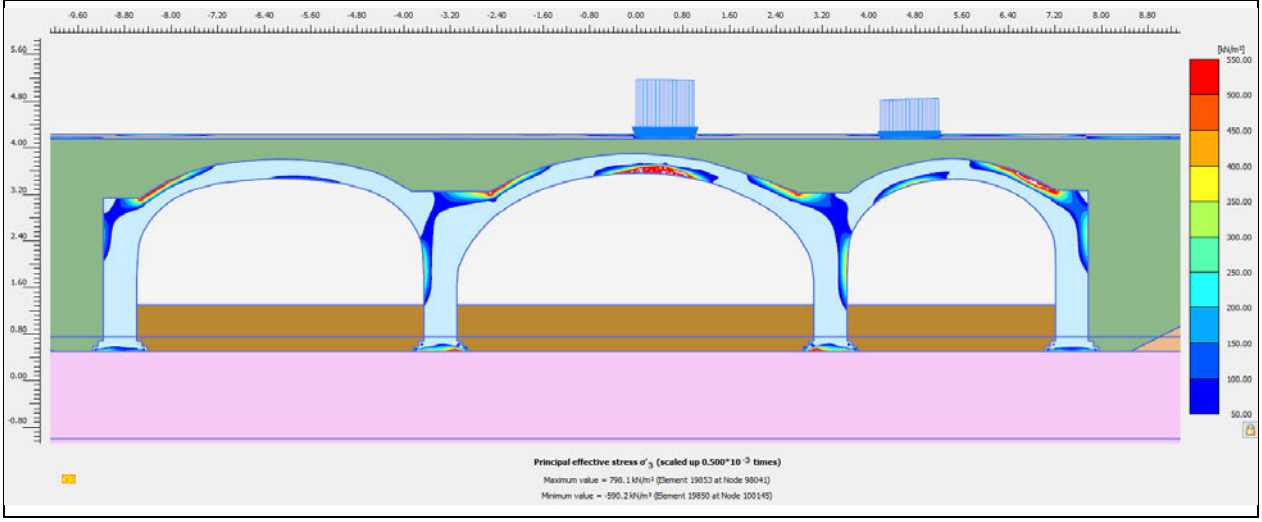
					Asbelasting (vooras) Enkelzijdig			Asbelasting (achteras) Enkelzijdig	
Punt	Niveau Maaiveld	Niveau Halverwege boog		Extra breedte Enkelzijdig	Belasting 41.5	0.0		Belasting 59.6	0.0
-5.2	4.23	3.56	4.43	0.386825	36.3	**36.3**		52.2	**52.2**
-4.7	4.23	3.46	4.93	0.44456	35.6	**35.6**		51.2	**51.2**
-4.2	4.23	3.25	5.43	0.565803	34.3	**34.3**		49.3	**49.3**
-3.7	4.23	3.02	5.93	0.698594	33.0	**33.0**		47.4	**47.4**
-3.2	4.23	3.02	6.43	0.698594	33.0	**33.0**		47.4	**47.4**
-1	4.23	3.63	8.63	0.34641	36.8	**36.8**		52.8	**52.8**
-0.5	4.23	3.7	9.13	0.305996	37.3	**37.3**		53.6	**53.6**
0	4.23	3.72	9.63	0.297335	37.4	**37.4**		53.7	**53.7**
0.5	4.23	3.7	10.13	0.305996	37.3	**37.3**		53.6	**53.6**
1	4.23	3.63	10.63	0.34641	36.8	**36.8**		52.8	**52.8**
3.2	4.23	2.88	12.83	0.779423	32.2	**32.2**		46.3	**46.3**
3.7	4.23	2.89	13.33	0.773649	32.2	**32.2**		46.3	**46.3**
4.2	4.23	3.34	13.83	0.513842	34.8	**34.8**		50.1	**50.1**
4.7	4.23	3.52	14.33	0.409919	36.0	**36.0**		51.8	**51.8**
5.2	4.23	3.61	14.83	0.357957	36.6	**36.6**		52.6	**52.6**

Druk- en trekspanningen

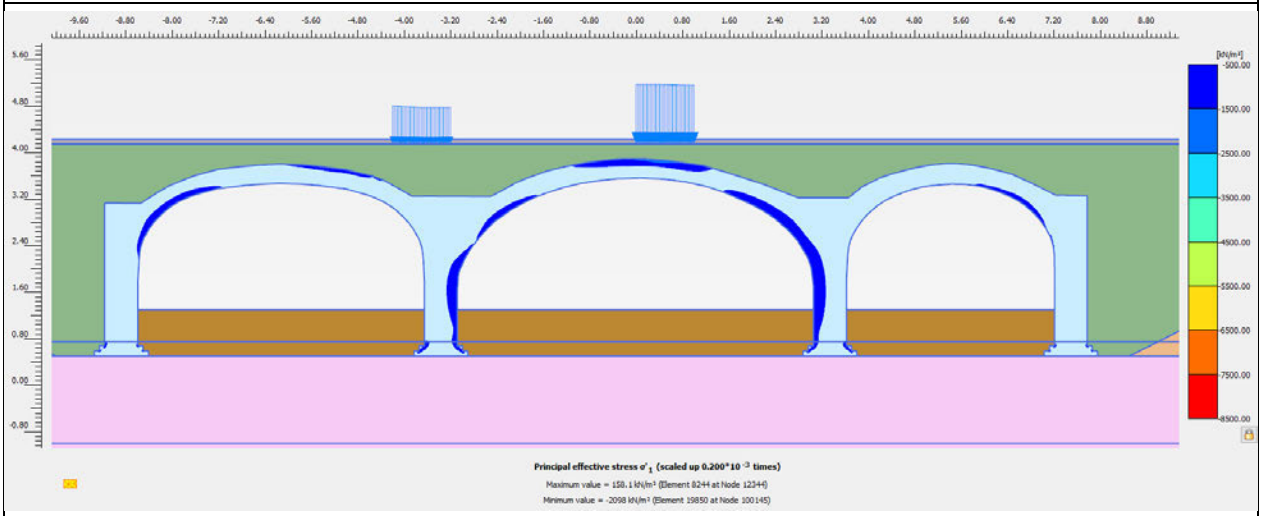
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



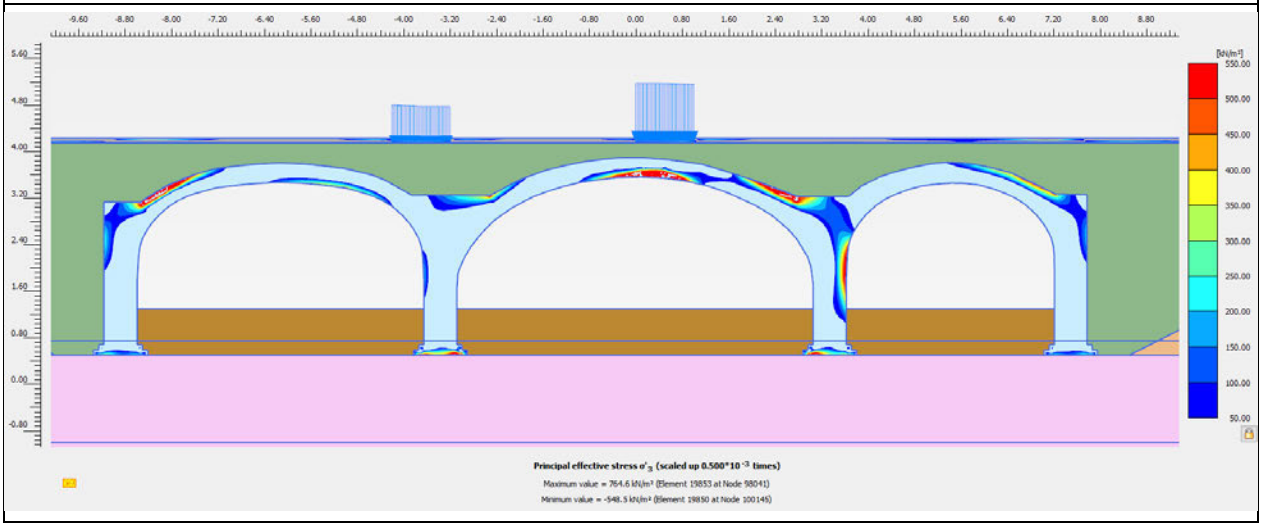
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



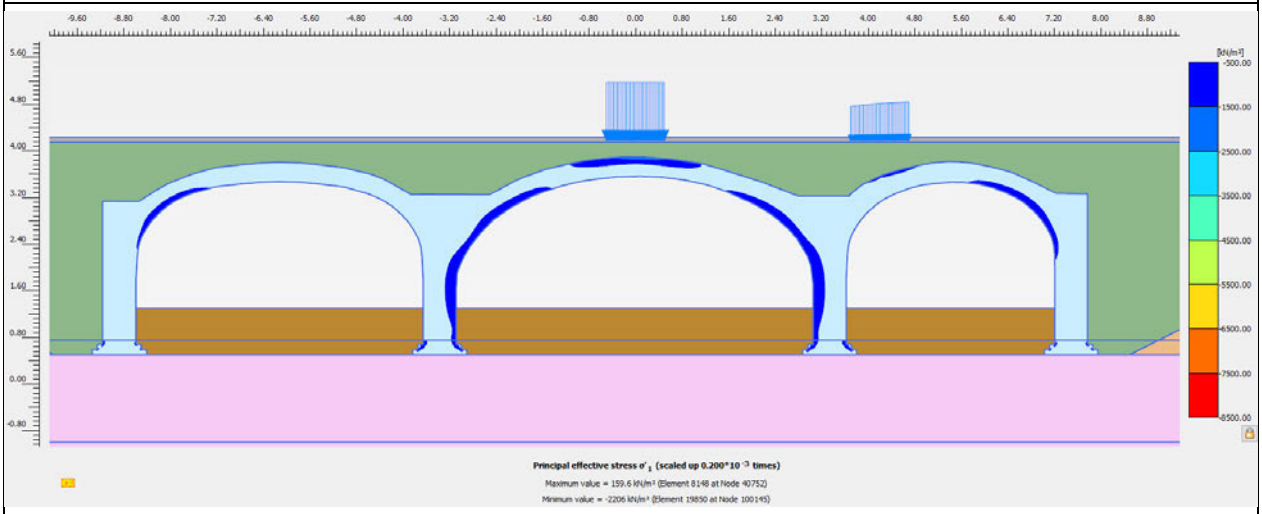
Belastingpositie 1-B – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



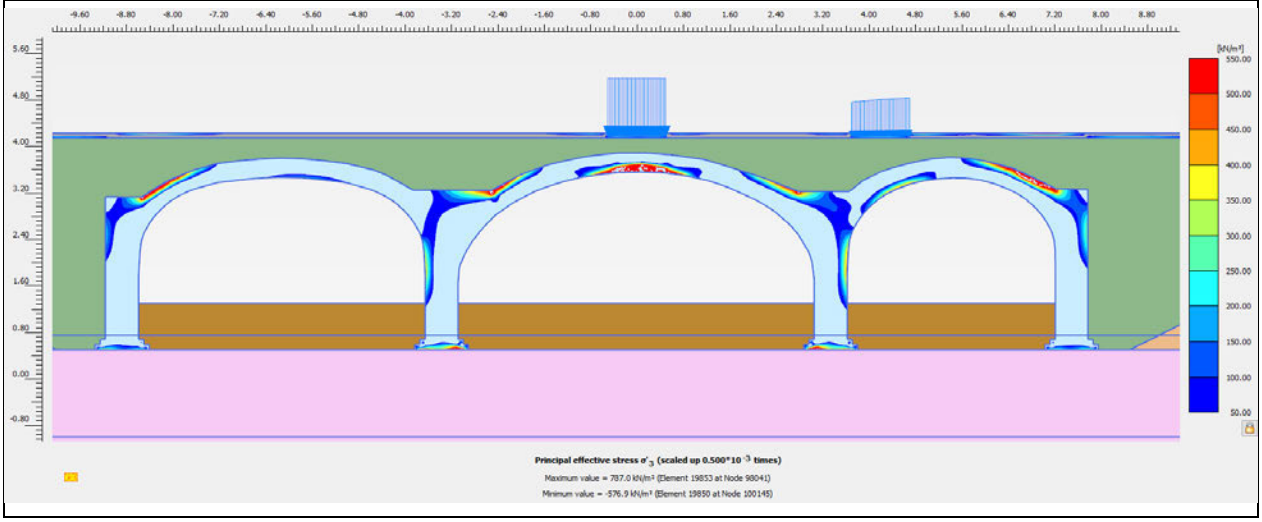
Belastingpositie 1-B – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



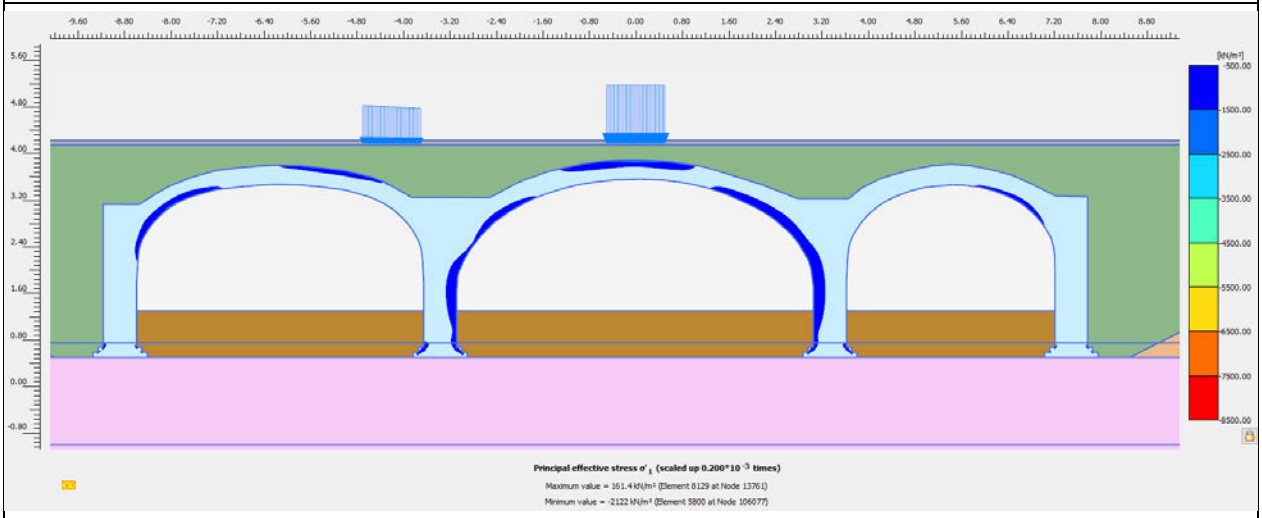
Belastingpositie 2-A – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



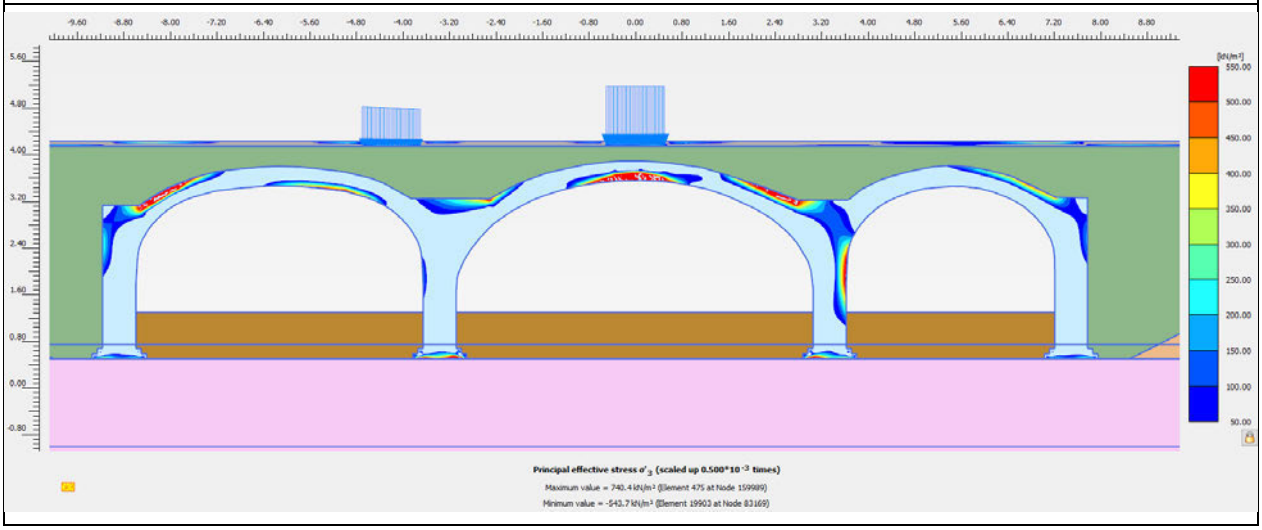
Belastingpositie 2-A – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



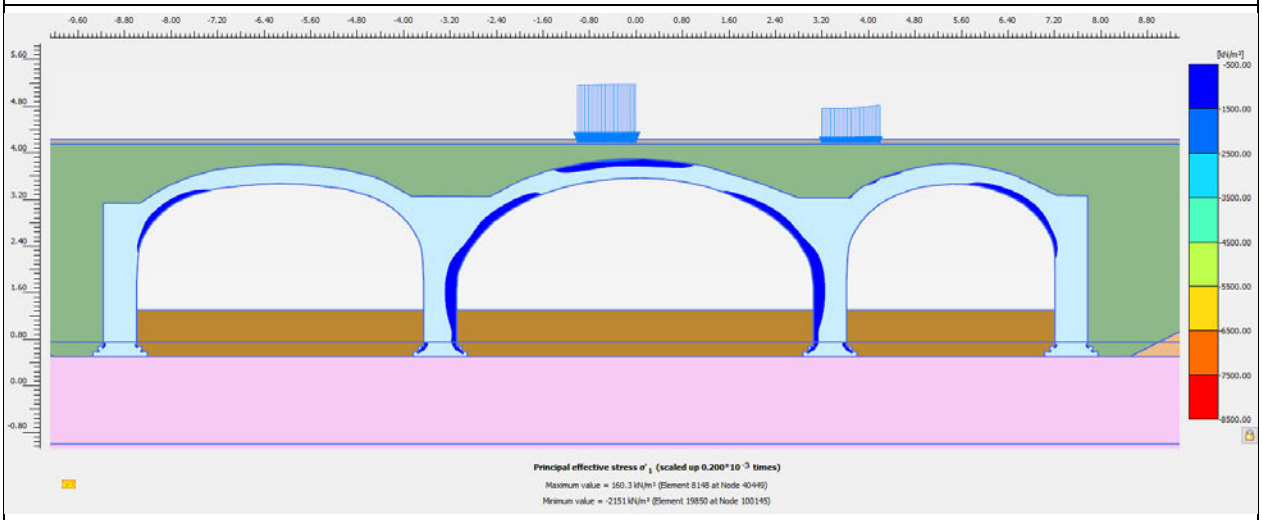
Belastingpositie 2-B – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



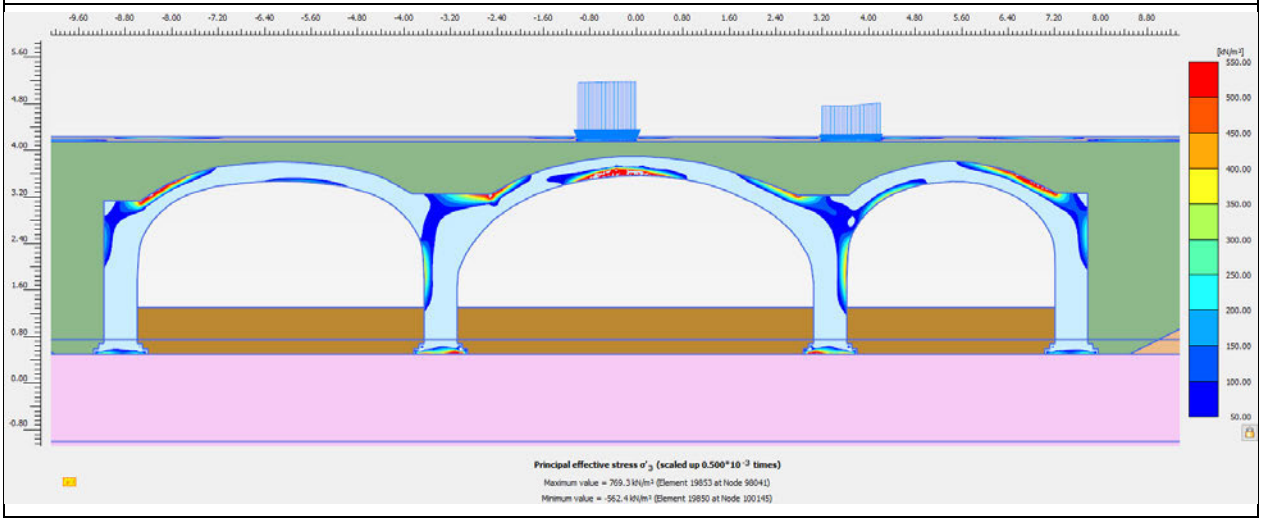
Belastingpositie 2-B – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



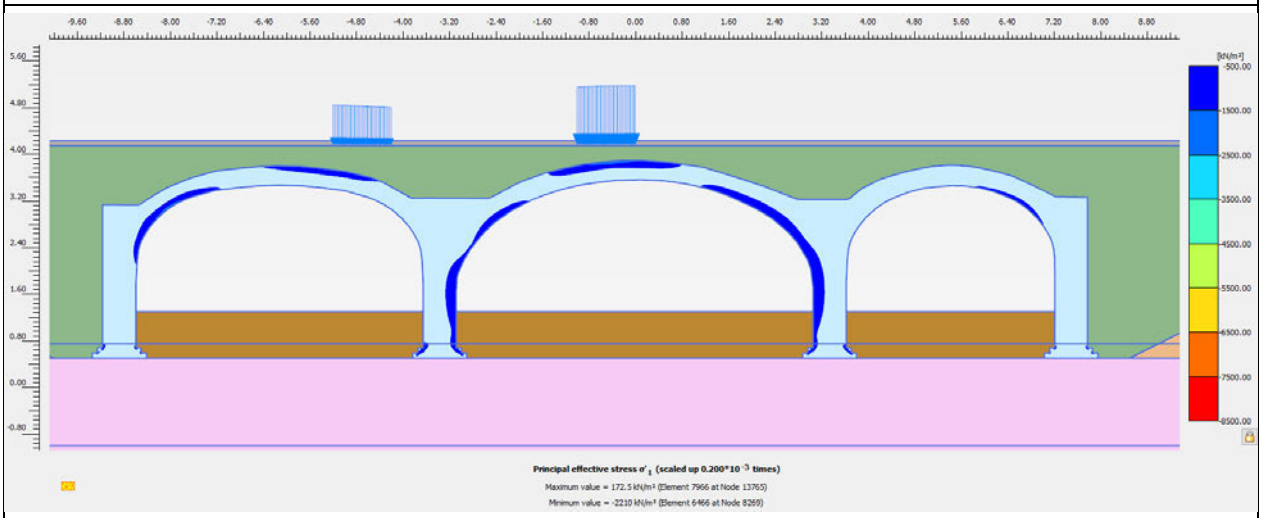
Belastingpositie 3-A – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m^2)



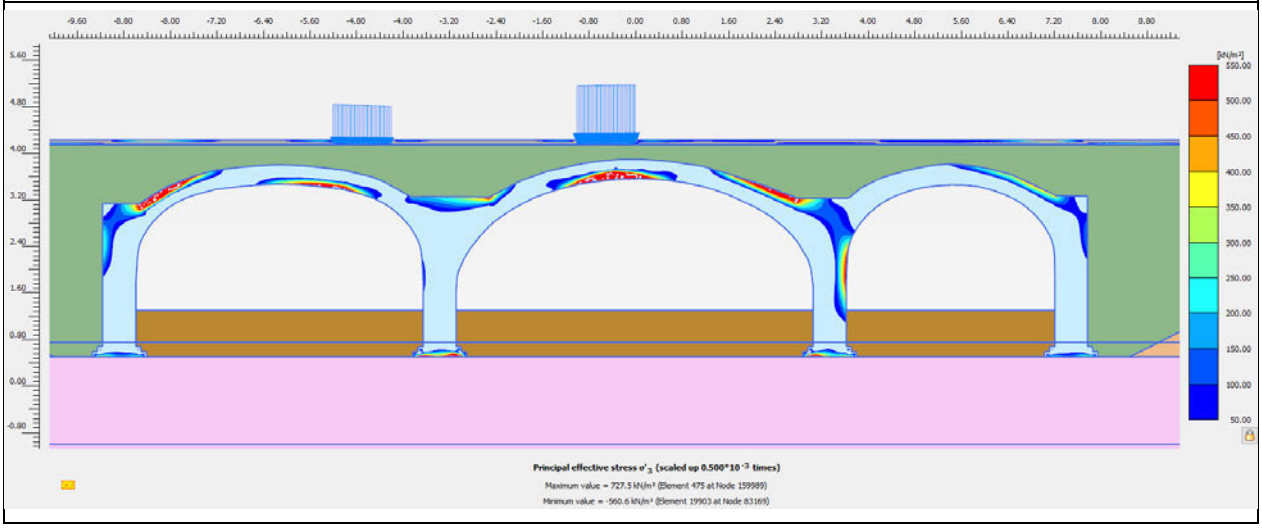
Belastingpositie 3-A – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)



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

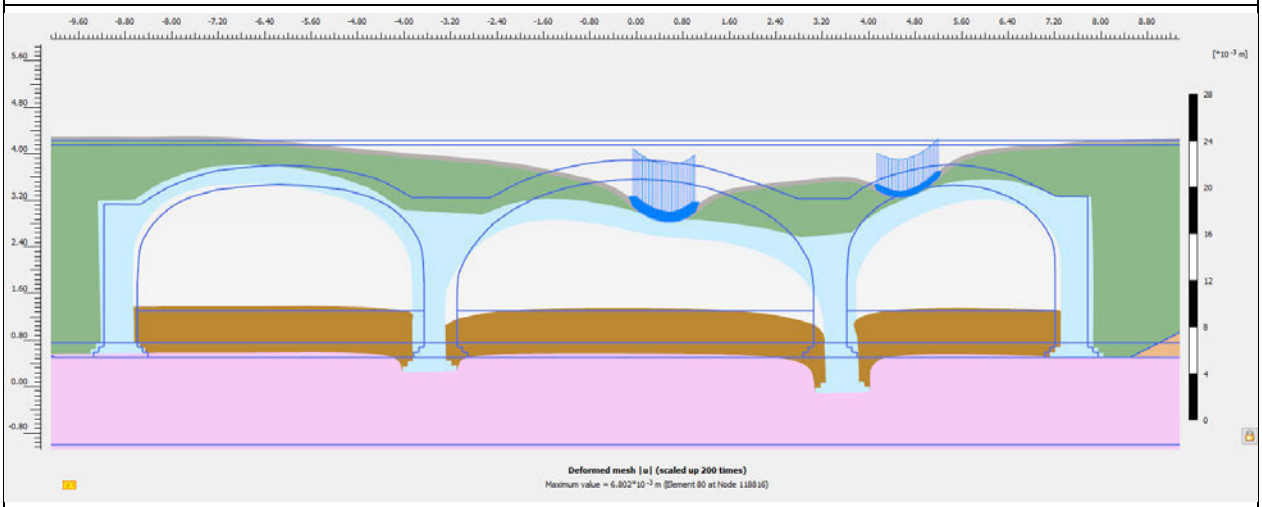


Belastingpositie 3-B – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m^2)

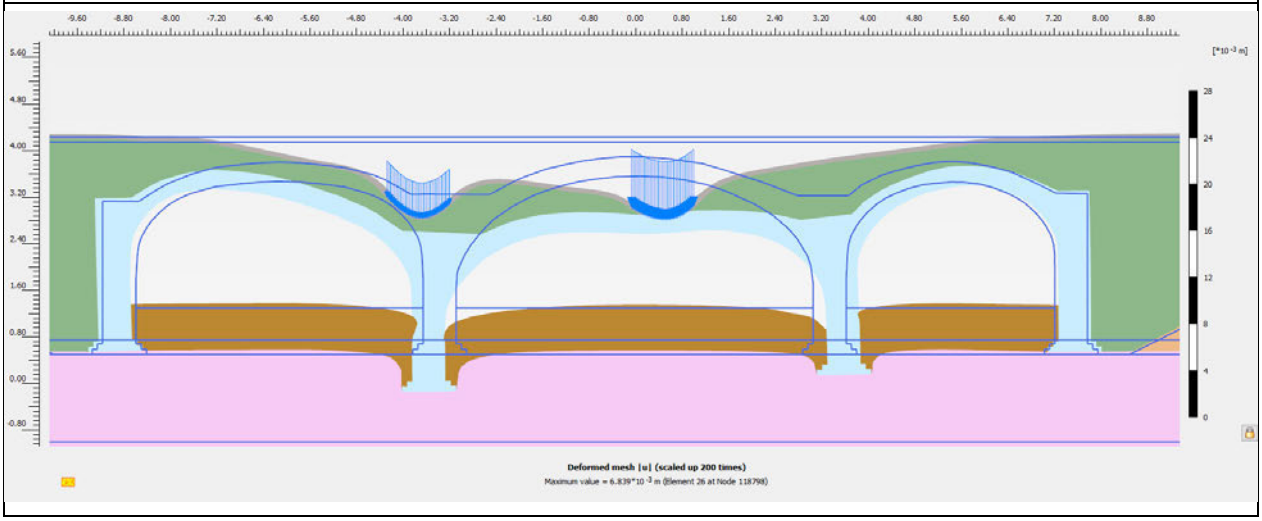


Vervormingen (200x vergroot)

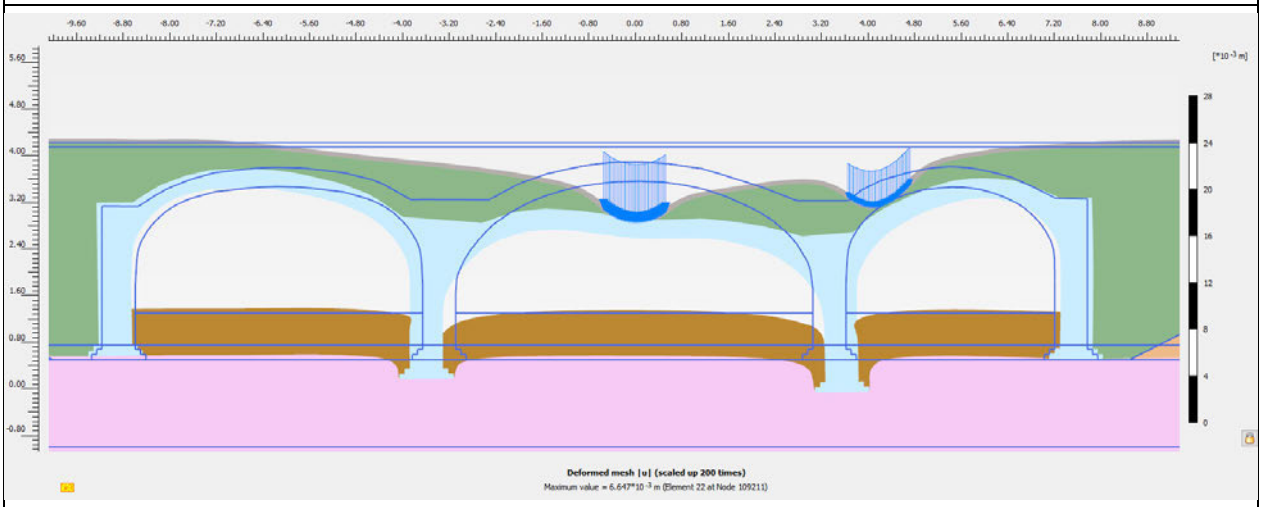
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen



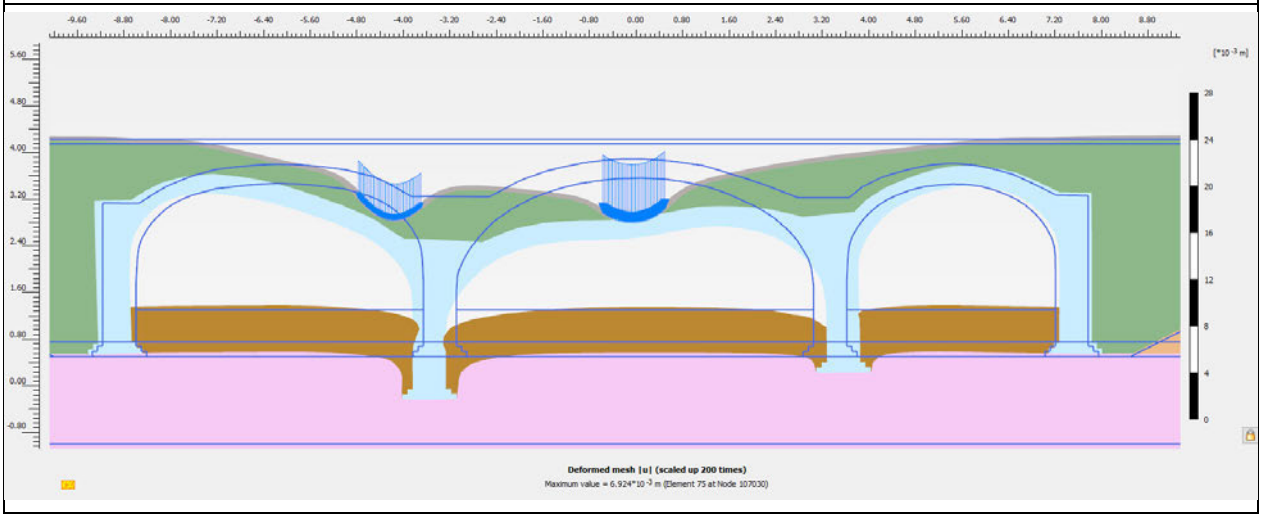
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen



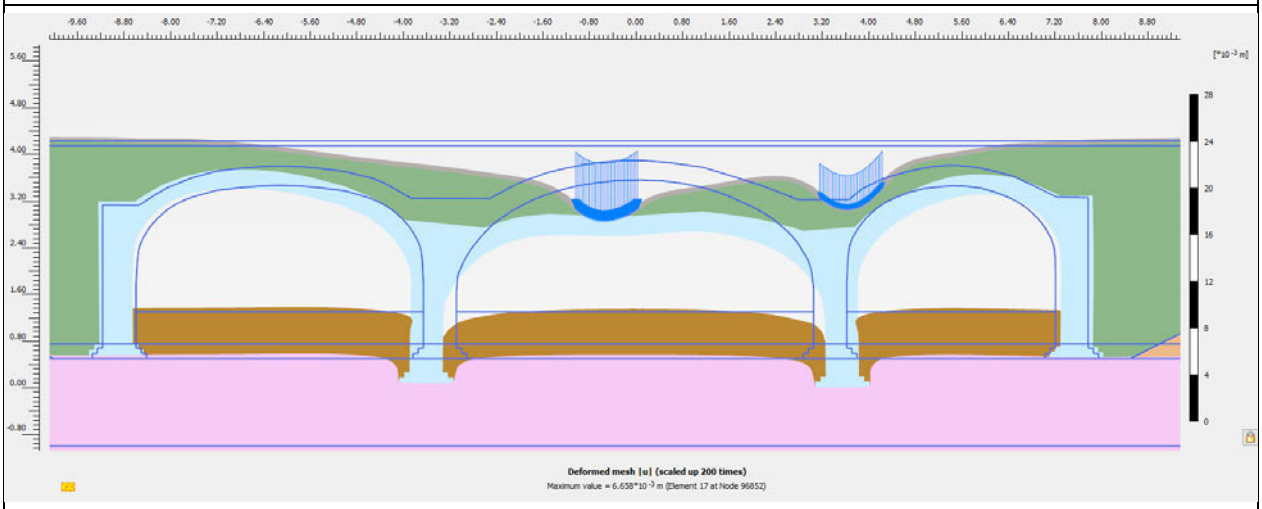
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen



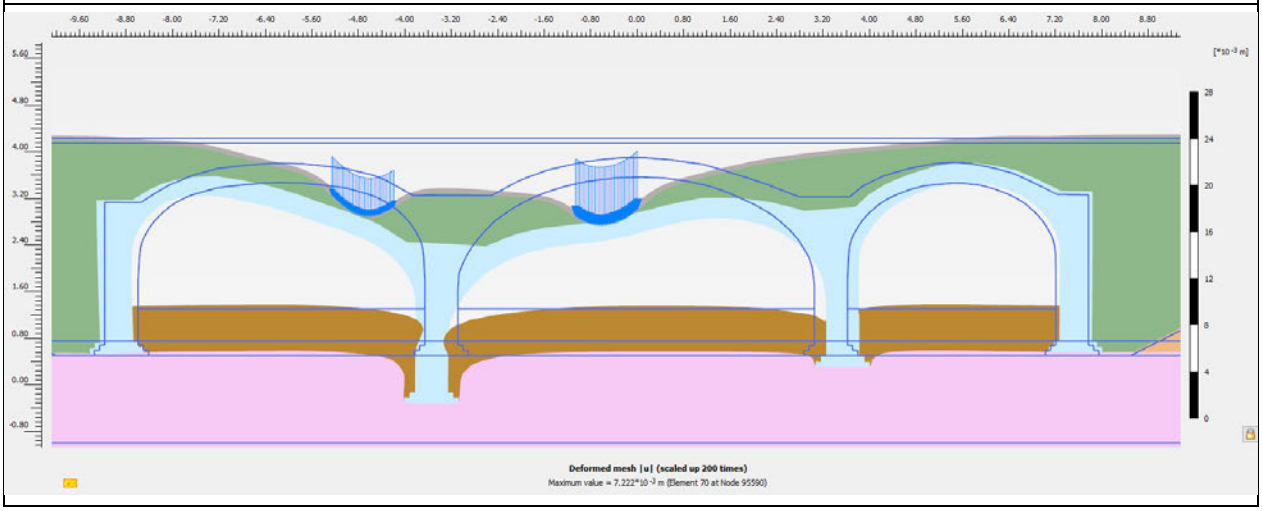
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen



Belastingpositie 3-A - Ladderwagen



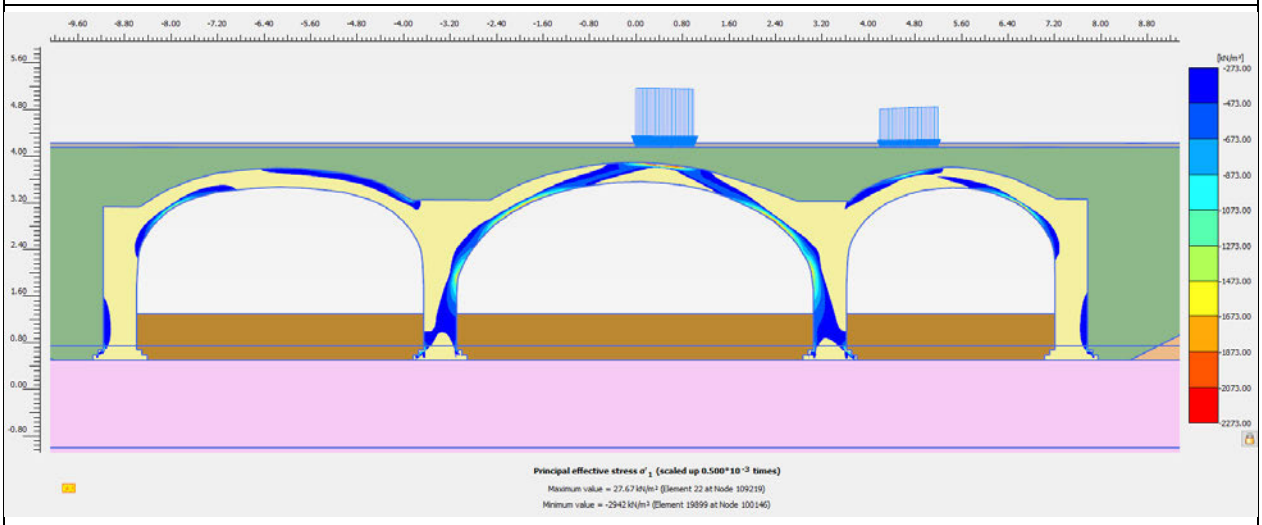
Belastingpositie 3-B - Ladderwagen



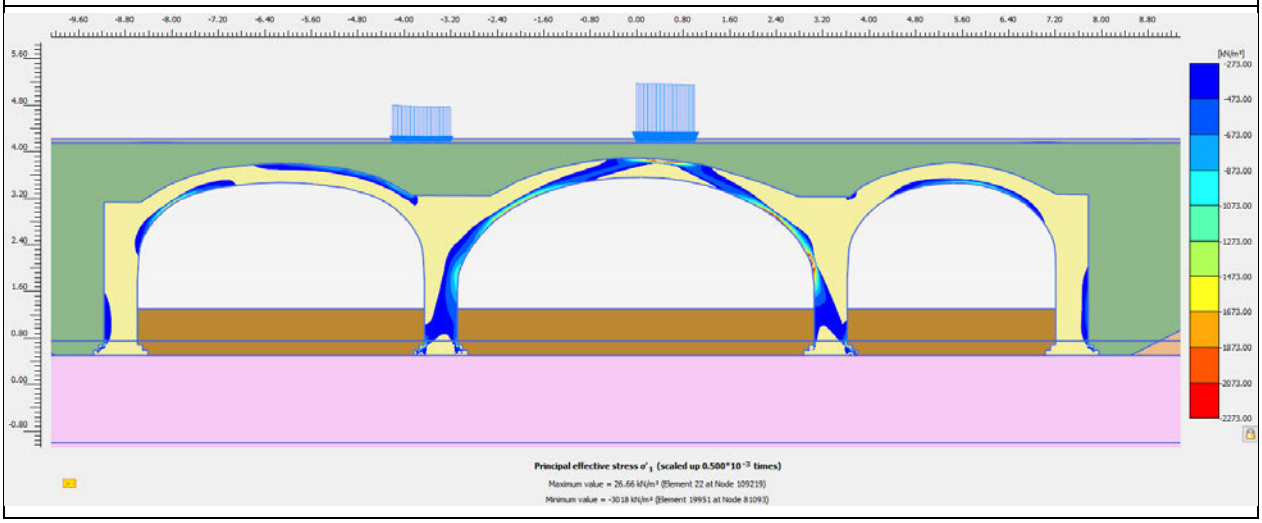
A5.4 UGT BM3

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

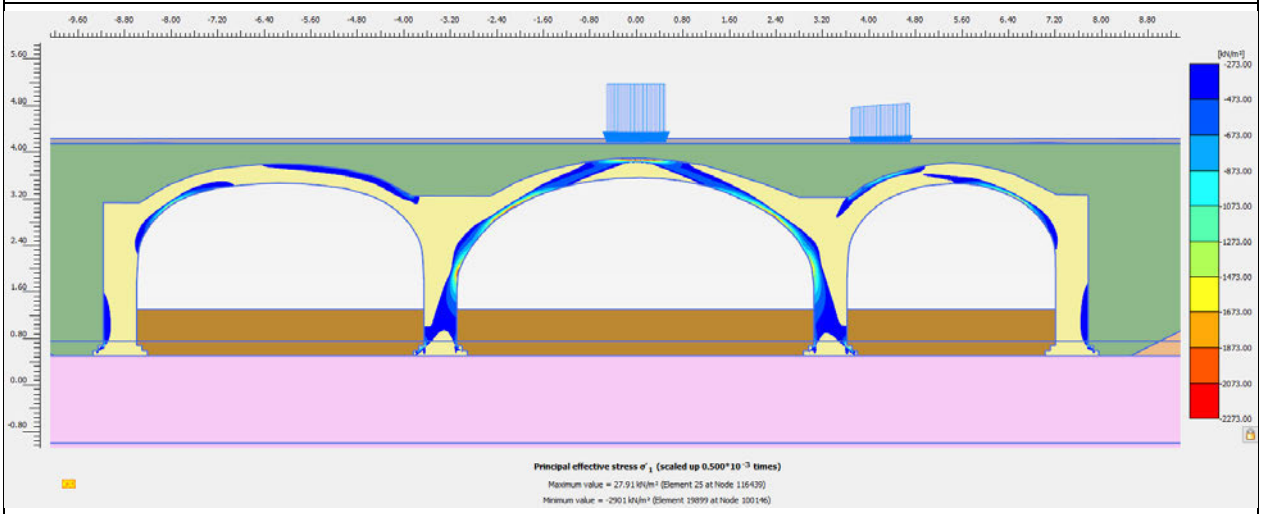
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



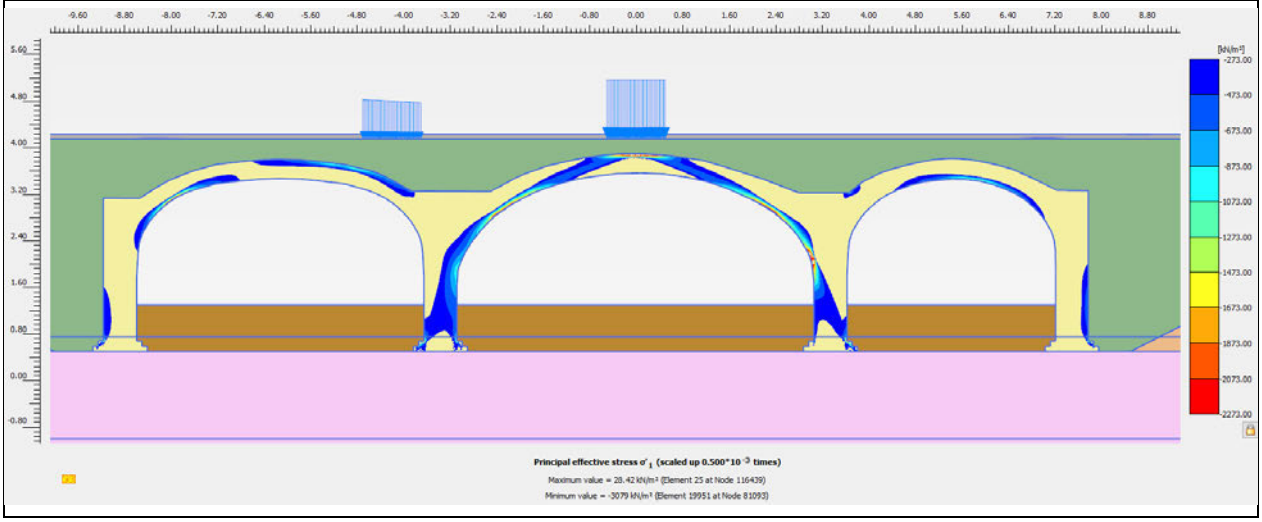
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



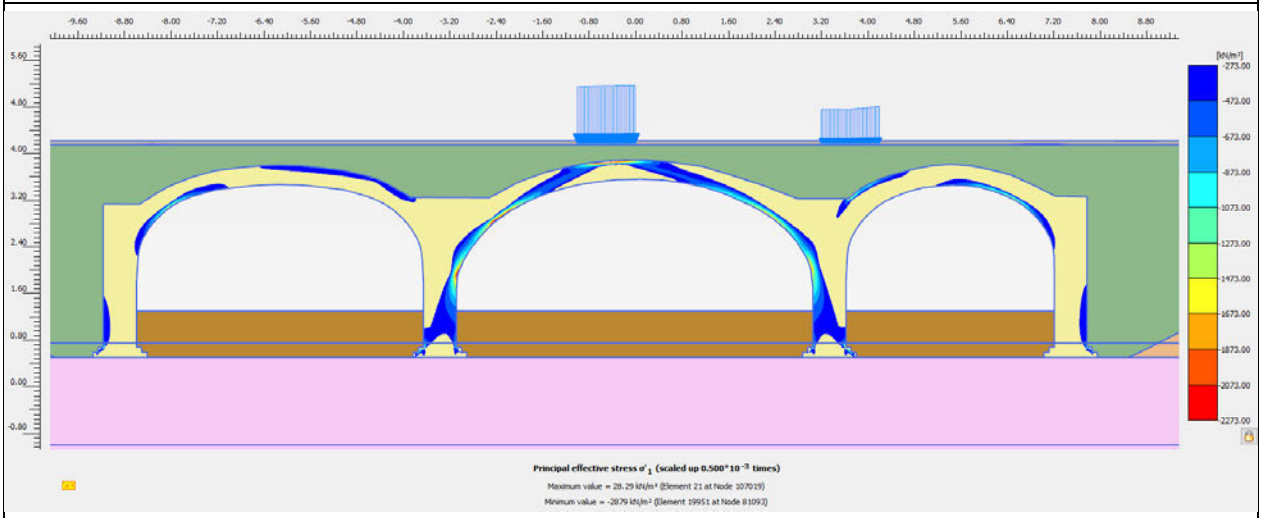
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



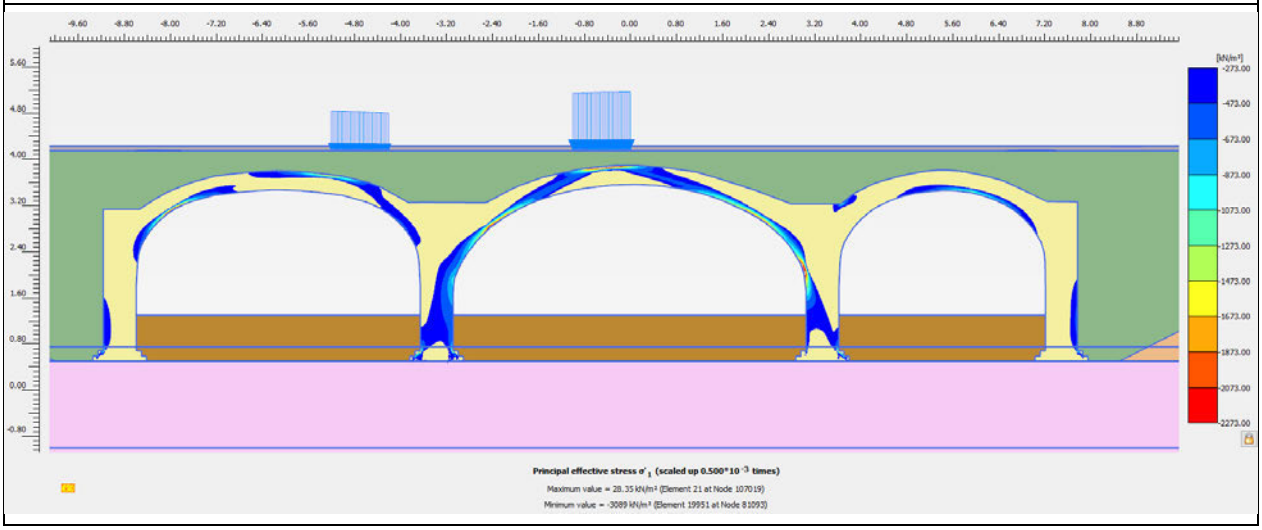
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)



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

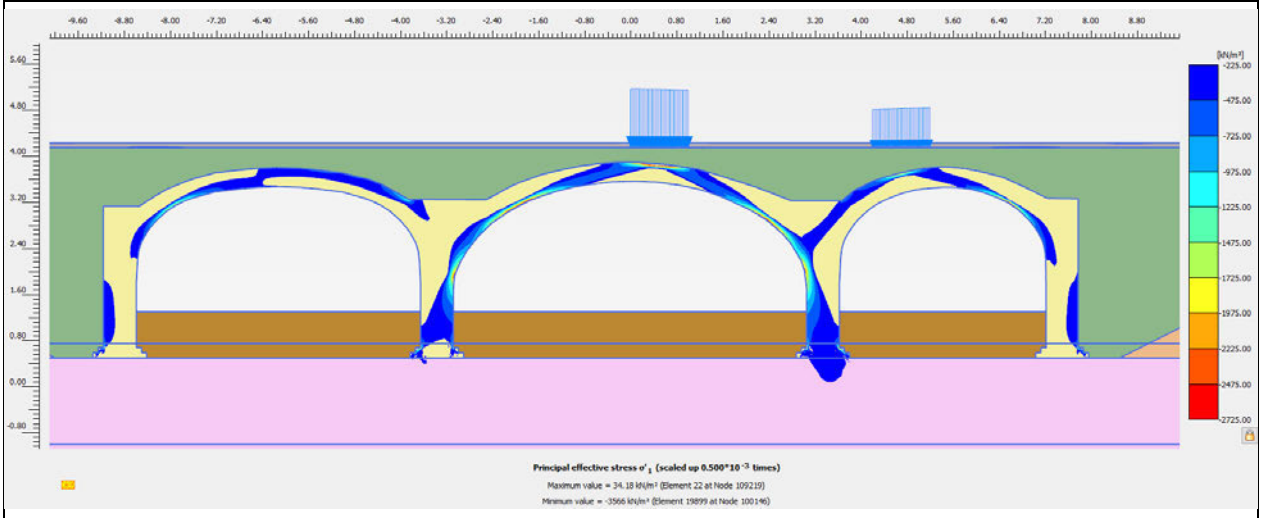


Belastingpositie 3-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m^2)

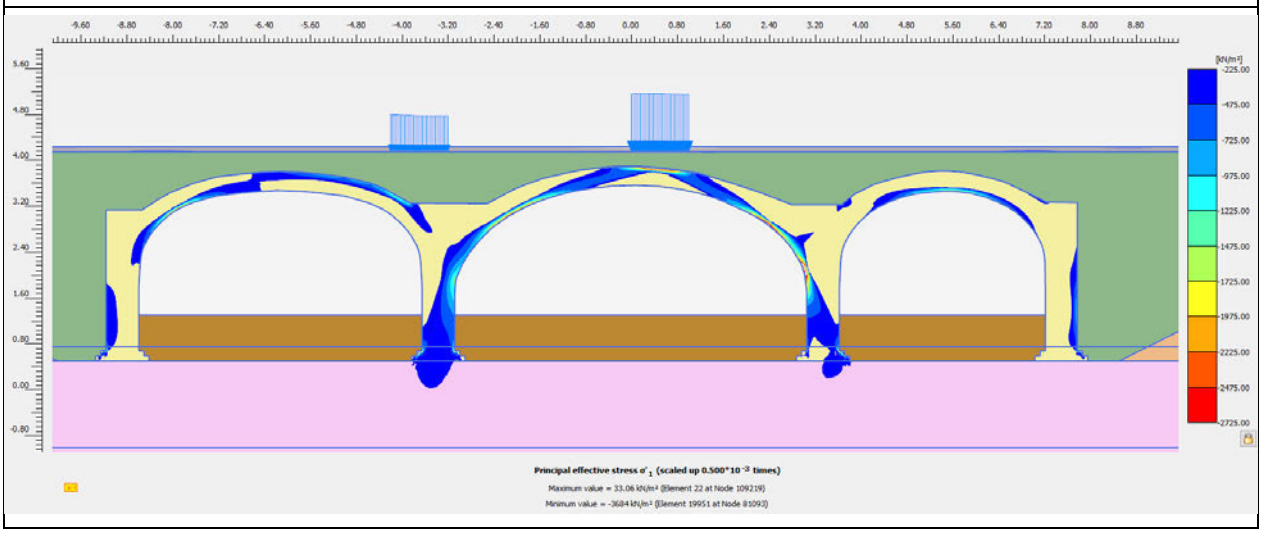


Drukspanningen GRF-2 (maximaal 5000/2,2*1,2 = 2725 kN/m^2)

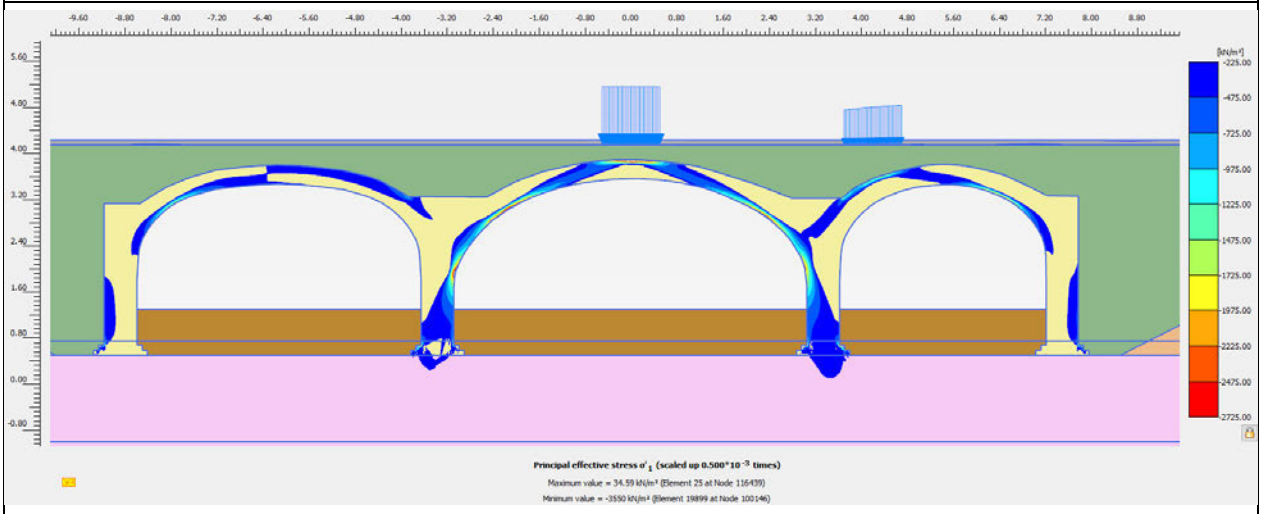
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



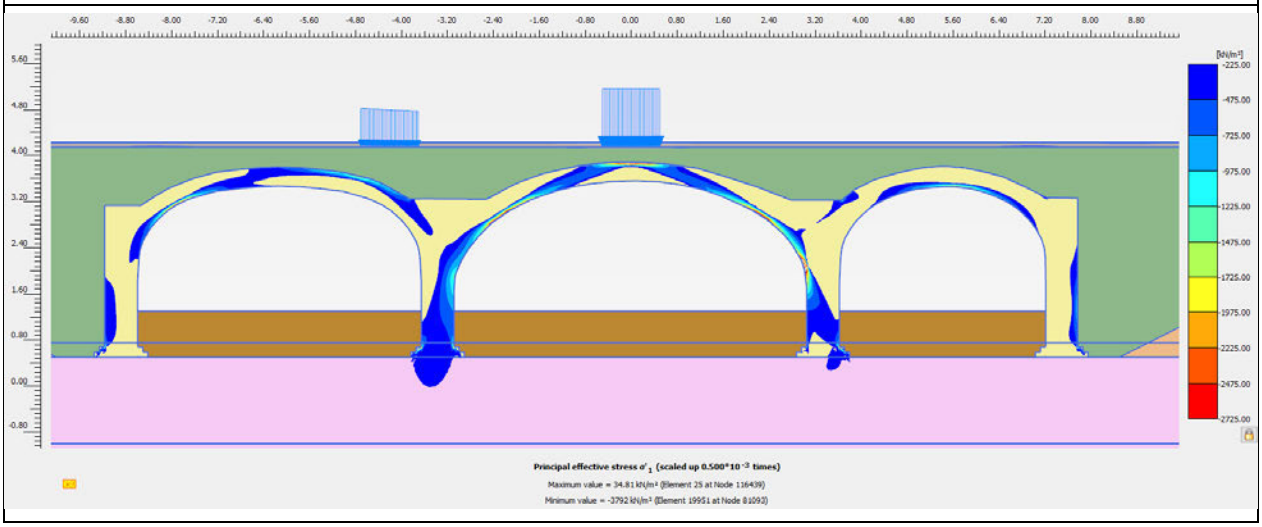
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



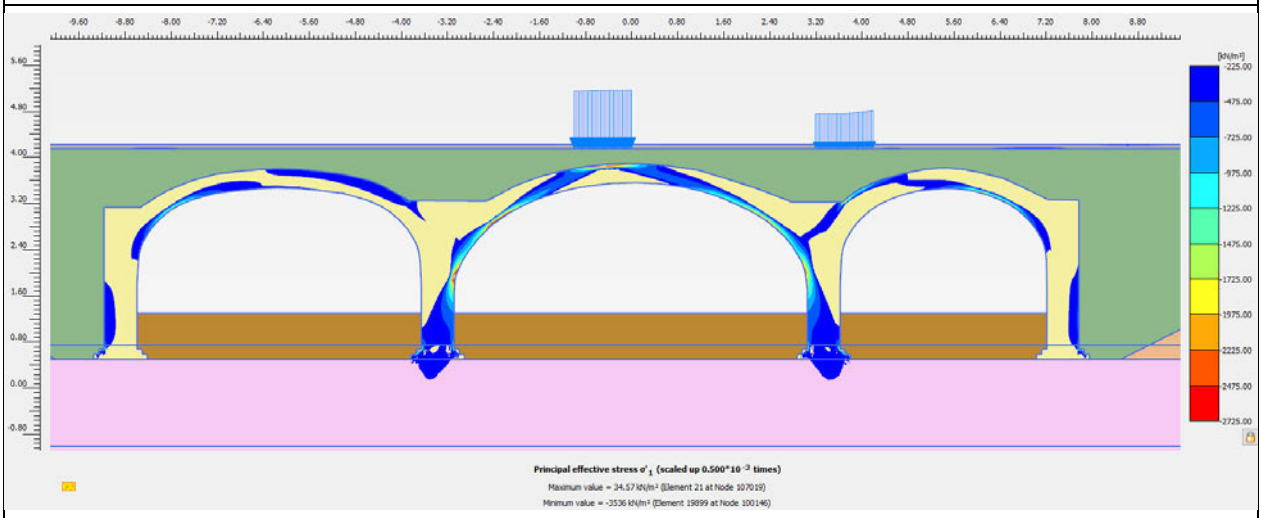
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



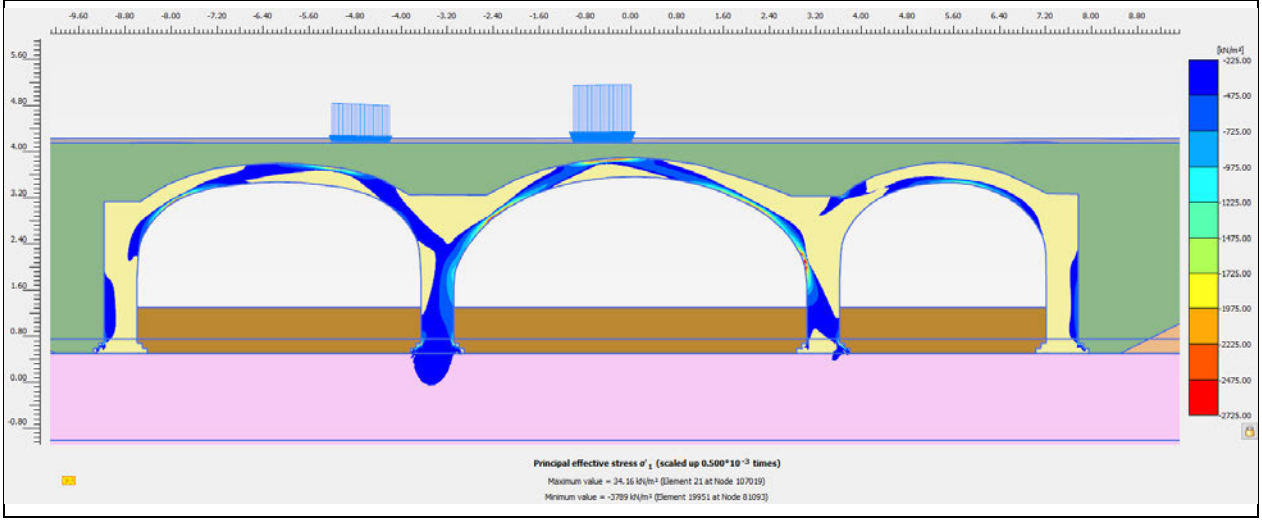
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



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

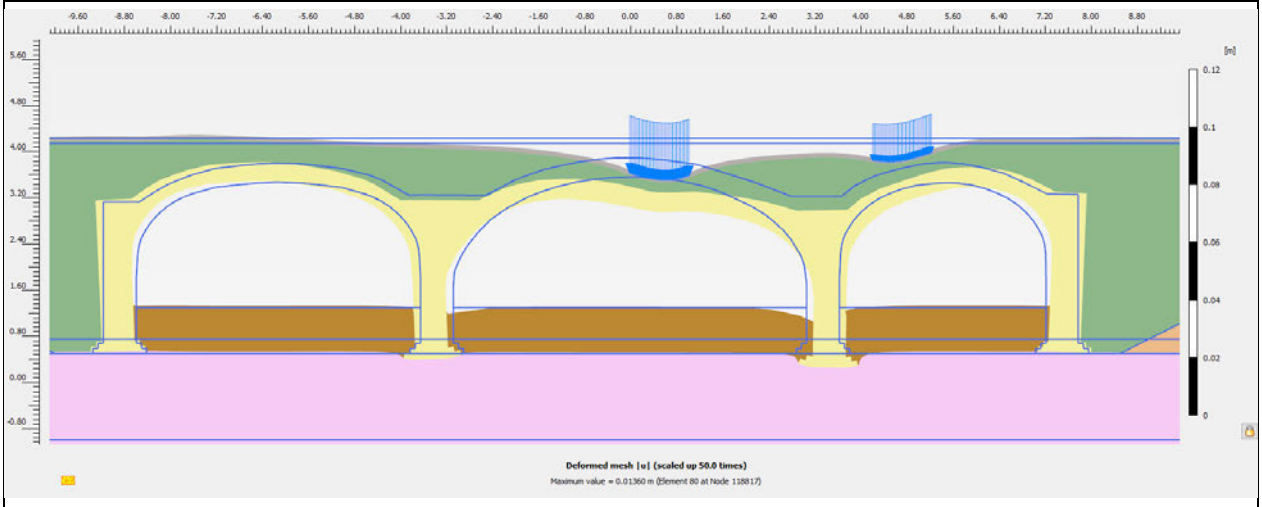


Belastingpositie 3-B - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)

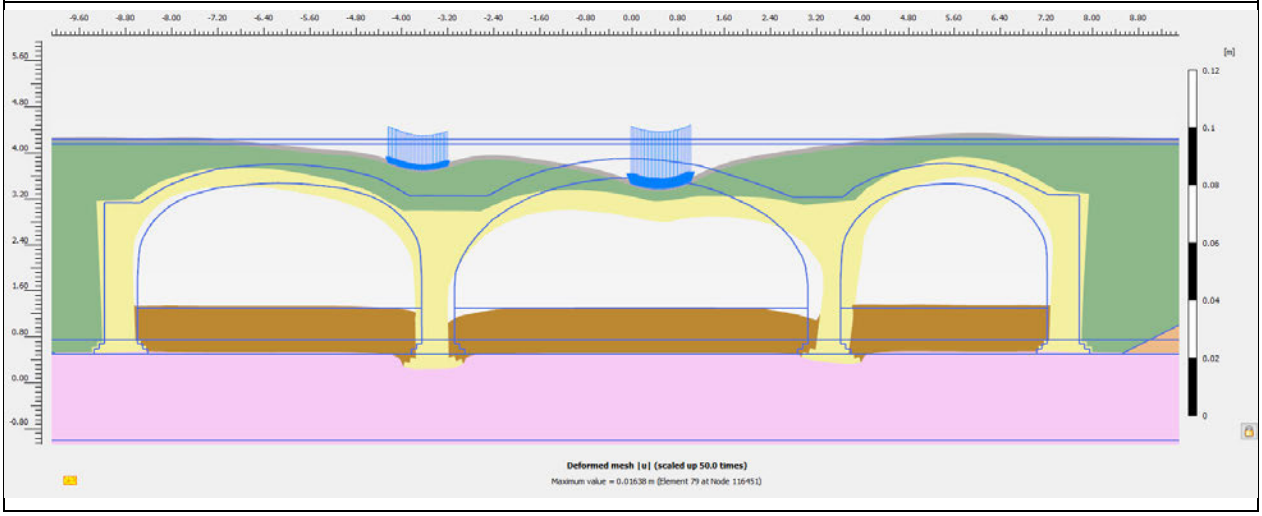


Vervorming PF-methode (x50)

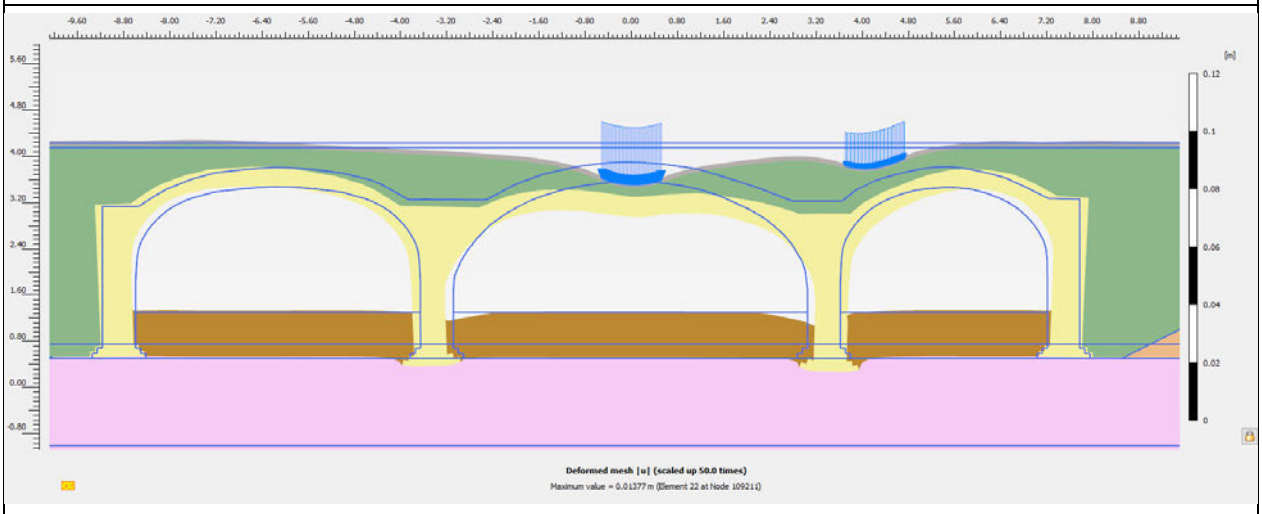
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen



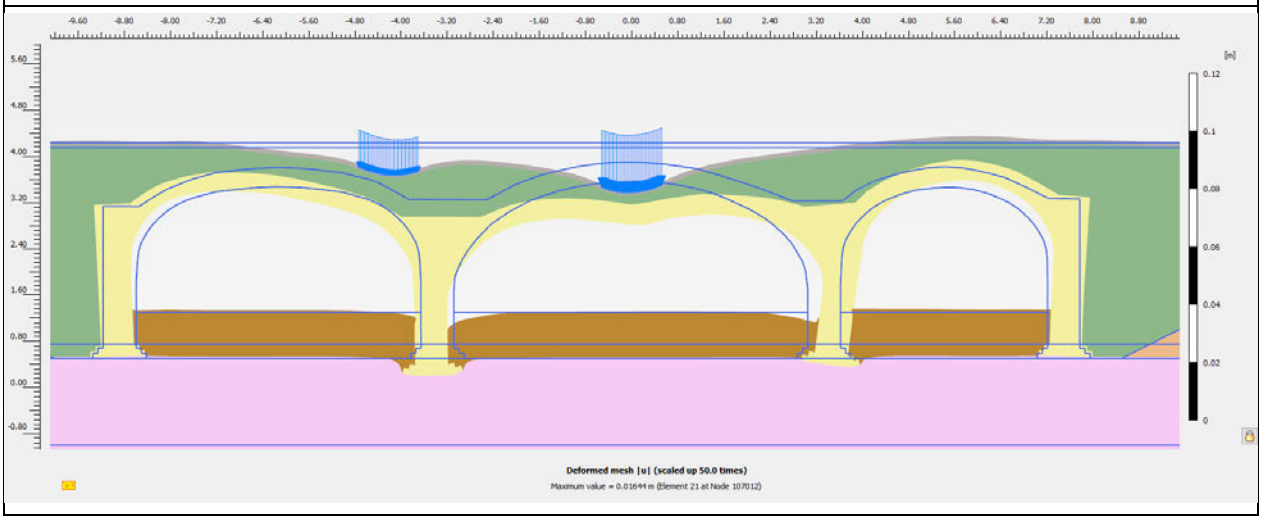
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen



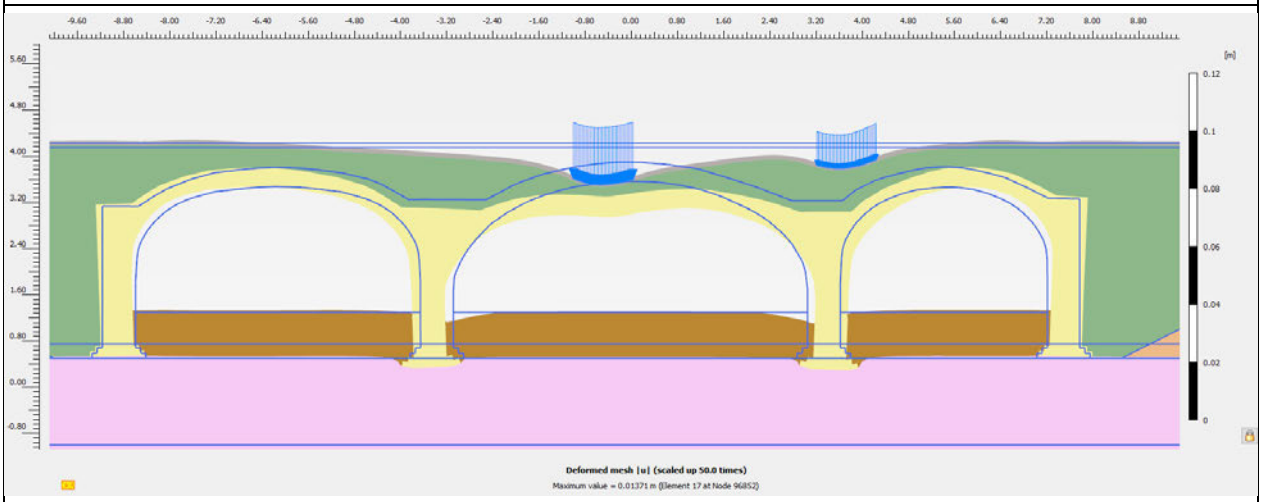
Belastingpositie 2-A - Ladderwagen



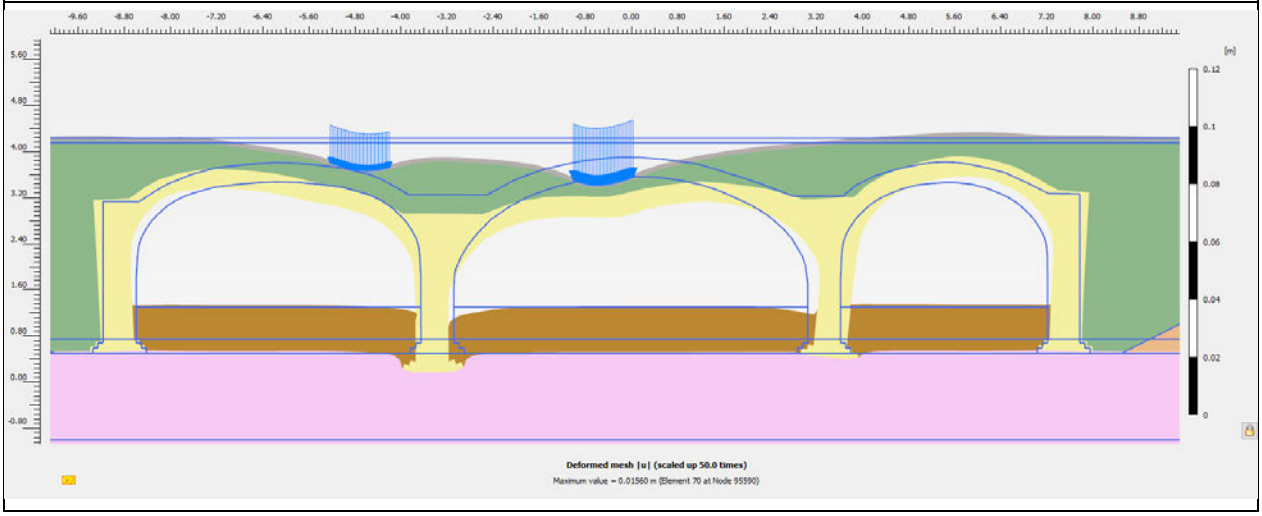
Belastingpositie 2-B - Ladderwagen



Belastingpositie 3-A - Ladderwagen



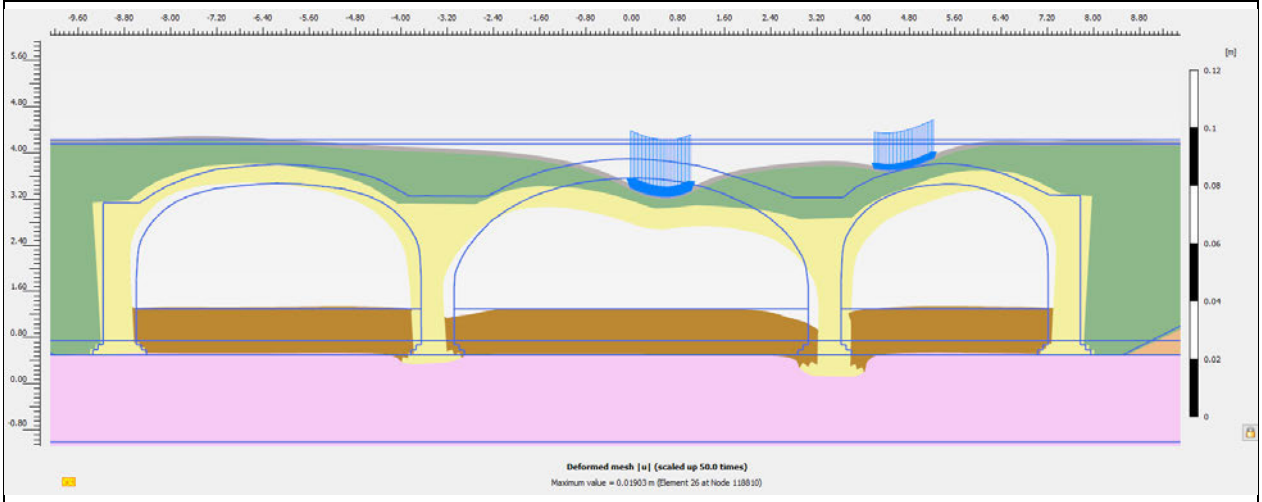
Belastingpositie 3-B - Ladderwagen



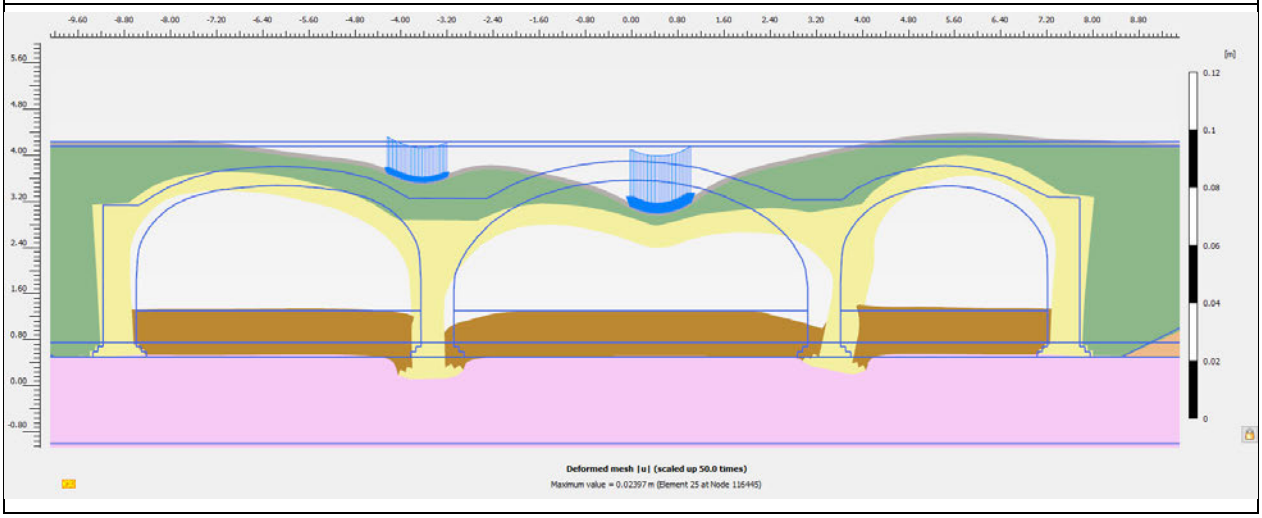
Royal HaskoningDHV

Vervorming GRF-2-methode (50x)

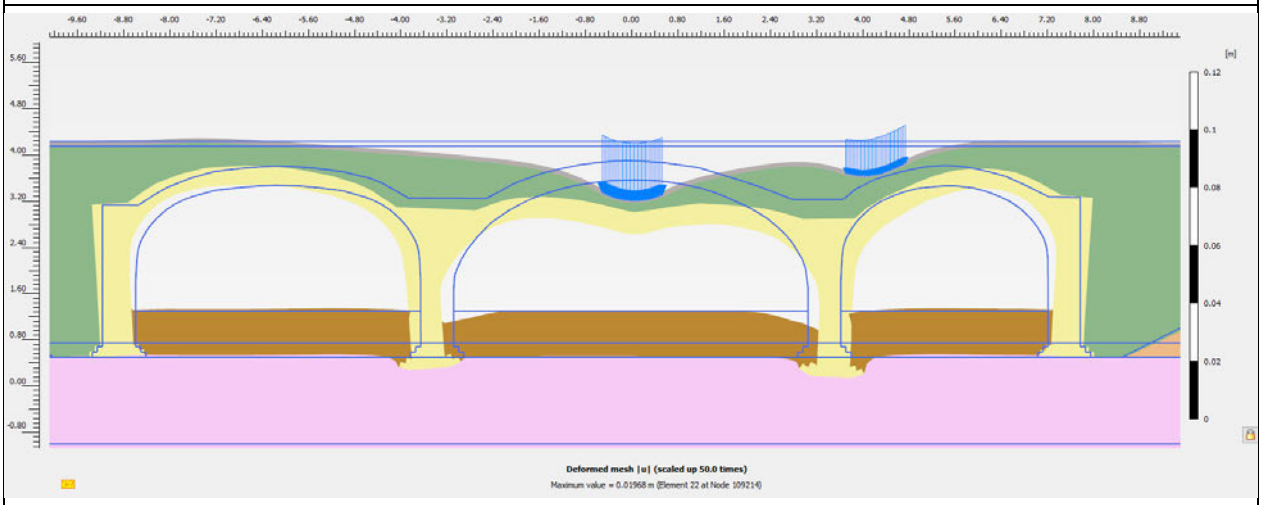
Belastingpositie 1-A - Ladderwagen



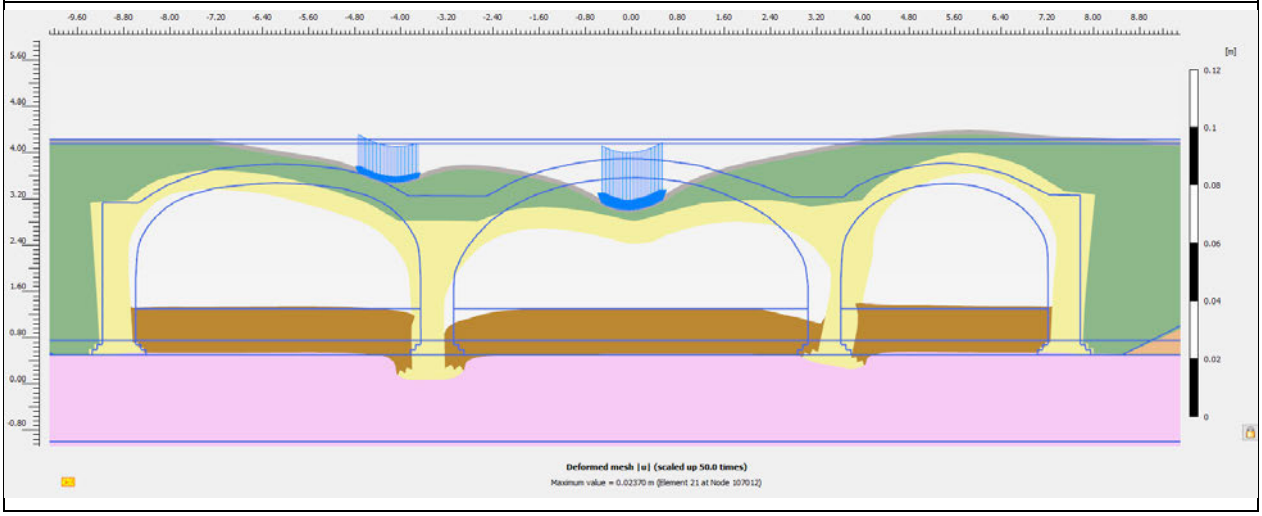
Belastingpositie 1-B - Ladderwagen



Belastingpositie 2-A - Ladderwagen

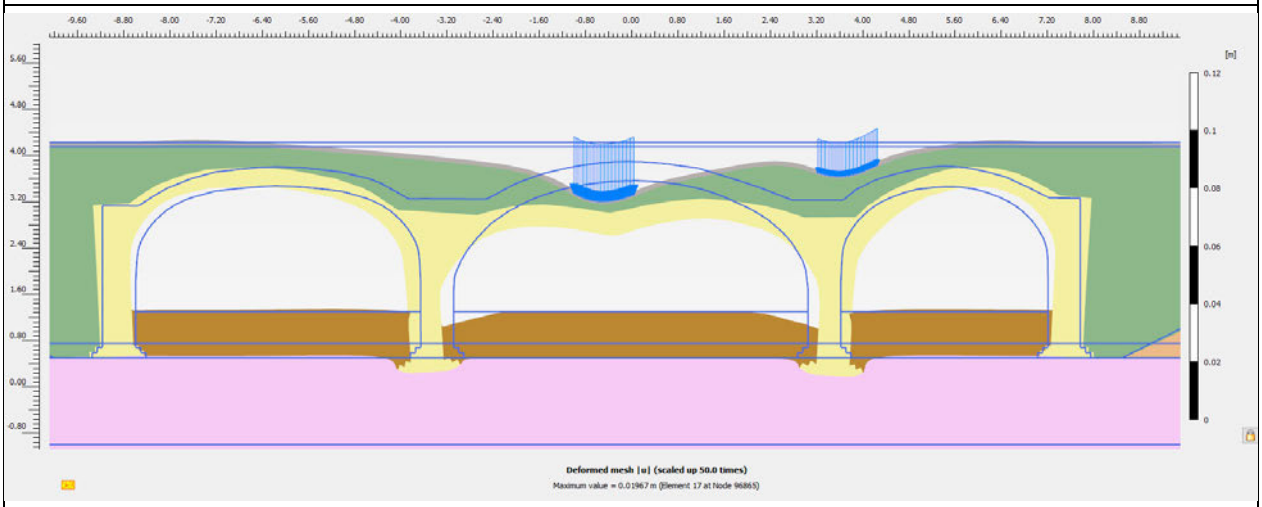
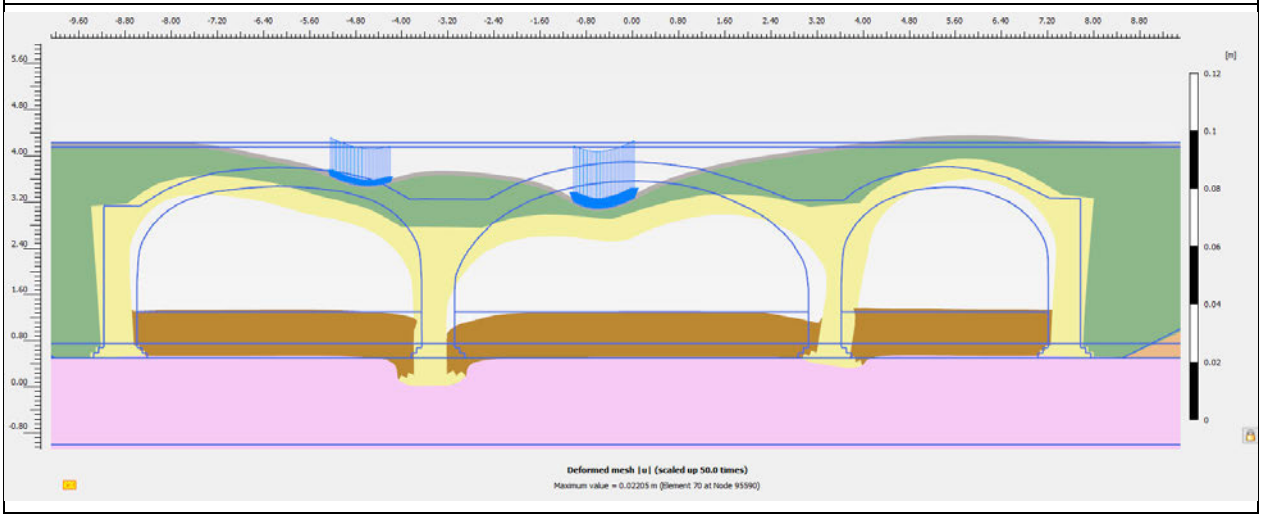


Belastingpositie 2-B - Ladderwagen



Royal HaskoningDHV

Belastingpositie 3-A - Ladderwagen



Belastingpositie 3-B - Ladderwagen