

RAPPORT

Verificatieberekening kelder Kromme Nieuwegracht ■ te Utrecht

Herberekening kelderconstructie conform
NEN 8700/8701 en CUR 124

Klant: Stadsingenieurs Stadsbedrijven Gemeente Utrecht

Referentie: BH3201TPRP2105111106

Status: Definitief/1.0

Datum: 11 mei 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85
3068 AX ROTTERDAM
Transport & Planning
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 kelder
Kromme Nieuwegracht [redacted] te Utrecht
Ondertitel: Herberekening kelderconstructie
Referentie: BH3201TPRP2105111106
Status: 1.0/Definitief
Datum: 11 mei 2021
Projectnaam: metselwerk kelders binnenstad Utrecht
Projectnummer: BH3201
Auteur(s): [redacted]

Opgesteld door: [redacted]

Gecontroleerd door: [redacted] b.a. en i.o. [redacted]

Datum: 14-04-2021

Goedgekeurd door: [redacted]

Datum: 11-5-2021

Classificatie

Vertrouwelijk

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veeleenvoudigd 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.

Inhoud

1	Managementsamenvatting	3
2	Inleiding	5
2.1	Aanleiding	5
2.2	Doel van de beoordeling	5
2.3	Kwaliteitsborging	5
3	Algemene uitgangspunten	6
3.1	Beschikbare gegevens	6
3.2	Beschrijving van het object	7
3.3	Relevante inspectieresultaten	8
3.4	Te berekenen verkeerssystemen	8
3.5	Classificatie van de constructie	8
3.6	Normen & richtlijnen	9
4	Onderzoek naar de materiaal gegevens	10
4.1	Grondopbouw en geotechnische parameters	10
4.2	Eigenschappen metselwerk	10
4.3	Fasering	12
5	Belastingen, -combinaties en -factoren	13
5.1	Permanente belastingen	13
5.1.1	Eigen gewicht	13
5.1.2	Rustende belasting	13
5.1.3	Gronddruk	13
5.1.4	Waterdruk	13
5.2	Variabele belastingen	14
5.2.1	Verkeersbelasting wegverkeer – verticaal (inclusief factoren)	14
5.2.2	Verkeersbelasting wegverkeer – horizontaal	17
5.2.3	Verkeersbelasting wegverkeer – vermoeiing	17
5.2.4	Overige veranderlijke belastingen	18
5.2.5	Buitengewone belastingen	18
5.3	Belastingcombinaties	18
6	Modellering	19
6.1	Algemeen	19
6.2	Modelvorming	21
7	Resultaten verificatie	26
7.1	Draagvermogen fundering op staal	26

7.2	Lastbeperking via bebording – bord C20	26
7.2.1	BGT	27
7.2.2	UGT	29
7.3	BM3 – inzet brandweer	33
7.3.1	BGT	33
7.3.2	UGT	34
8	Conclusie en aanbevelingen	36
8.1	Conclusie	36
8.2	Aanbeveling	37
A1	Onderzoeksrapport Plaxis-berekeningen	38
A2	Rapportage inspectie en onderzoek KNG [REDACTED] , 18 januari 2021 door Witteveen+Bos	39
A3	Reconstructie Rak 21 Herstel wal- en kluismuren, 14-07-2017 door Stadsbedrijven Gemeente Utrecht	40
A4	Grondonderzoek	41
A5	Verificatieberekening Plaxis	42

1 Managementsamenvatting

Waarom dit rapport?

Dit rapport beschrijft de constructieve beoordeling van de kluiselderconstructie behorende bij het adres Kromme Nieuwegracht [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?

De kelderconstructie is constructief beoordeeld middels 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. Daarbij zijn ondergrenswaarden voor het metselwerk zijn aangehouden, hetgeen een conservatief uitgangspunt is.

Rekenmethode

De kelder in de Kromme Nieuwegracht is de eerste kelderconstructie en de vierde metselwerk boogconstructie die is getoetst op basis van de rekenmethodiek uit de 'Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch' [R5]. Enkele belangrijke verschillen tussen de metselwerk boogconstructies in 's-Hertogenbosch en de kelderconstructies in Utrecht zijn onderzocht en gerapporteerd in een onderzoeksrapportage 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 (GRF-2 en PF) voor het bepalen van de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie.

Wat levert het op?

De verkeersbelasting onder de geldende lastbeperking d.m.v. bebording en de inzet van nooddiensten (brandweer) is onderzocht. Er is aangetoond dat er een risico op scheurvorming is (loodrecht op de rijrichting, Type I conform spoor 2) voor een verkeersbelasting behorende bij een aslastbeperking vanaf 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 geeft ruimte voor een verkeersbelasting behorende bij een aslastbeperking tot 4 ton en is kritisch bevonden voor de bezwijkbelasting. De bezwijkbelasting van de kelderconstructie ligt rond een verkeersbelasting behorende bij een 7 à 8 tons aslastbeperking. Het passeren van de nooddiensten (brandweer met aslast van 11,5 ton) zorgt voor een risico op scheurvorming (Type I) maar dit voertuig kan de kelder wel veilig passeren.

Hoe nu verder?

De huidige aslastbeperking in de Kromme Nieuwegracht kan op basis van de rekenresultaten gehandhaafd blijven. Echter het is mogelijk dat in dezelfde straat een zwakkere kelder ligt. Bijvoorbeeld omdat de geometrie daarvan ongunstiger is of omdat deze in slechtere staat is. In dat geval is de toelaatbare verkeersbelasting mogelijk lager. 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 dan 3 ton. De berekeningsresultaten van de kelderconstructie van de Kromme Nieuwegracht [REDACTED] geven een beeld van het risico op scheuren en het bezwijken onder verkeersbelasting voor de betreffende kelder.

De berekeningsresultaten van de individuele kelders gelden als validatie voor de voorlopige expertbeoordeling (spoor 2). Hier wordt een grotere groep kelders geclassificeerd op basis van o.a. de geometrie.

2 Inleiding

2.1 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. In spoor 1 wordt de belastbaarheid van de kelders van zes adressen onderzocht middels verificatieberekeningen op basis van inspecties en technische onderzoeken. In spoor 2 is een expertbeoordeling uitgevoerd van de belastbaarheid van de kelders door verkeer. De voorliggende rapportage beschrijft de bevindingen uit de verificatieberekening van de kelders van **Kromme Nieuwegracht** ■■■. 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 Kromme Nieuwegracht het verzoek om de belastbaarheid van een aantal kluiskeiders te bepalen. Uiteindelijk zijn er 2 kelders in de Kromme Nieuwegracht aangedragen die voor dit onderzoek in aanmerking komen, namelijk die gelegen aan Kromme Nieuwegracht ■■■ en ■■■ (afgekort met KNG ■■■ en KNG ■■■).

2.2 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.

2.3 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.

3 Algemene uitgangspunten

3.1 Beschikbare gegevens

De beschikbare documentatie per kluis-kelder is aangegeven in het document 'Kromme Nieuwegracht en Plan van Aanpak'. De beschikbare maar meest maatgevende (geometrische) gegevens van de kluis-kelders 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 kelders in de Kromme Nieuwegracht

Type informatie	Aanwezig	Kwaliteit	Opmerking
Bestek	Nee		
Bestektekening	Ja	Goed	Restauratie werfmuur Kromme Nieuwegracht (13 juni 1935). Vernieuwing werfmuur, KNG (mei 1948). Visualisatie bovenkant kelders Kromme Nieuwegracht bij waterdicht maken (19-08-1998).
Ontwerpberekening	Nee		
Herberekening	Nee		
Inspectierapportages	Ja	Goed	Kluis-kelders Utrecht: Kromme Nieuwegracht rapportage inspectie en onderzoek KNG (18 januari 2021). Inspectierapport WFM06393 - Kromme nieuwe gracht - RAK 21 even, Iv Infra B.V. 19-6-2019. Uitslag kelder KNG en KNG '90-er jaren. Duikonderzoek kluis-muur KNG
Metingen	Ja	Goed	Tachymetrische inmeting bovenkant. 3D pointcloud binnenzijde kelder.

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).

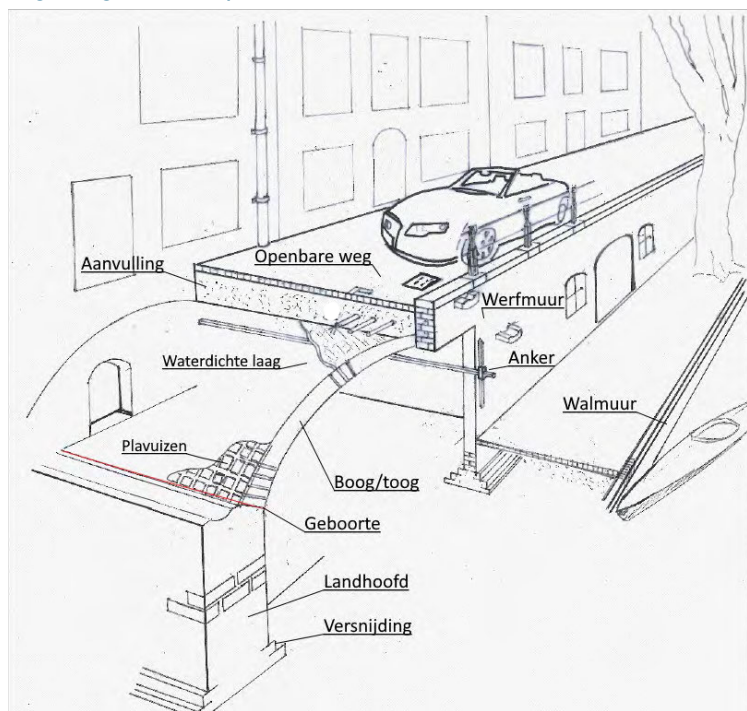
Ref.	Rapportagenummer	Omschrijving
[R1]	122608/21-000.779	Rapportage inspectie en onderzoek KNG 18 januari 2021
[R2]	BH3201TPNT2010300901	Rekenplan KNG incl. bijlagen
[R3]	14075.01 versie 1	Kademuur onderzoek kadefundatie door Gebroeders de Leeuw, Kromme nieuwe gracht, 23-09-2016
[R4]	Order P7332	Inspectie gebreken en risicoafweging buitenring (even nummers) door Constructiebureau De Prouw BV 20-09-2018
[R5]	Nvt.	Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch, RHDHV/Nebest, Witteveen+Bos, Iv-Infra, 23-07-2020

Tabel 3: Relevante ontwerptekeningen (alle digitaal geraadpleegd).

Ref.	Tekeningnummer/-naam	Omschrijving
[T1]	C&B.040-008 (bestek 15.SB.016 projectnummer 141.2002.05)	Project herstel wal- en kluisuren Kromme Nieuwegracht Bestaande situatie RAK 21-D,
[T2]	KNG-█.pdf	Uitslag kelder-█ 90'er jaren geometrie, toestand en scheurvorming
[T3]	KNG-█.pdf	Uitslag kelder-█ 90'er jaren geometrie, toestand en scheurvorming
[T4]	Kromme nieuwe gracht-█.pdf	Inmeting bovenkant kelders bij waterdicht maken 19-08-1998

3.2 Beschrijving van het object

Figuur 1 visualiseert een werfkelderconstructie met de benaming van de onderdelen. Een kluis-kelder verschilt van een werfkelder door de afwezigheid van de wal en grenst dus direct aan de gracht. KNG-█ bestaat uit twee kelders namelijk KNG-█ en KNG-█, waarbij de vraagstelling alleen voor KNG-█ geldt. Echter, KNG-█ is constructief gezien niet op te splitsen en zodoende zijn beide kelders KNG-█ en KNG-█ beoordeeld om tot een betrouwbare beoordeling te komen. Ditzelfde geldt voor de naastgelegen kelder KNG-█, welk vermoedelijk (op een later tijdstip) aangebouwd is aan de kelder KNG-█. De constructie bestaat uit tongewelven op (gedeelde) verticale wanden en landhoofden. De kelders zijn op staal gefundeerd rond 0,0 m NAP en enkele versnijdingen voor de fundatievoet zijn toegepast. Kelder KNG-█ heeft ribben (metselwerk muren) in de rijrichting onder de toog staan. De kelders zijn van de gracht gescheiden door een werfmuur welk ook gefundeerd is op staal. Recente versterkingen verbinden de kluismuur met de kelder door middel van betonnen L-wanden. Beide kelders hebben een waterdichte laag aangebracht op de kelder-daken.



Figuur 1: Algemene vormgeving van een werfkelder met de benaming van de onderdelen.

De geometrie van de kelders KNG [] en KNG [] volgt uit de onderzoeken, zie bijlage A2. De binnenmaat van KNG [] is maximaal ca. 3960 mm aan de zijde van de woning en de binnenmaat van KNG [] is maximaal ca. 3414 mm aan de zijde van de gracht. De overspanningen van de tongewelven zijn dus niet constant. De hoogte (bovenkant vloer – onderkant toog) van KNG [] ligt tussen de 1946 en 1969 mm met een kruinhoogte tussen de 1086 en 1253 mm. De hoogte (binnenmaat) van KNG [] ligt tussen de 1758 en 1786 mm met een kruinhoogte tussen de 1038 en 1089 mm. De doorsnede ter hoogte van de positie van de proefsleuf, aan de grachtzijde is aangenomen in de berekeningen. Deze doorsnede betreft voor KNG [] de grootste overspanning wat een maatgevende parameter is, zie de uitslag in bijlage A2. De constructieve dikte van de boog van KNG [] is onderzocht en in paragraaf 6.1 beschouwd. Boven op de bogen ligt een aanvulling van grond met straatwerk op maaiveldniveau.

3.3 Relevante inspectieresultaten

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

- De herstelde (vermoedelijk geïnjecteerde) scheur in kelder KNG [] heeft op dit moment een verwaarloosbaar effect op de belastingspreiding loodrecht op de rijrichting. Daarbij is er rekening gehouden met beperkte belastingspreiding door de parallel gelegen parkeervakken.
- De metselwerkkwaliteit van KNG [] is goed bevonden en zal (ruim) voldoen aan de ondergrenswaarden uit de NPR998 waarmee gerekend is.
- De metselwerkkwaliteit van KNG [] is slechter dan KNG [] en komt vermoedelijk in de buurt van de ondergrenswaarden. Lichte scheurvorming en vochtig metselwerk zijn aangetroffen. Hier geldt dus het advies om het slechte metselwerk te vervangen/herstellen volgens de conclusies van de inspectierapportage. Zodoende is in de berekeningen wel met de ondergrenswaarden uit de NPR998 gerekend.
- De langsribben in KNG [] lijken op de keldervloer (NAP +1,00 m) gefundeerd te zijn en zijn niet constructief verbonden met de metselwerk boog. De ruimte tussen de ribben en de boog is opgevuld met mortel. Dit leidt tot het sterke vermoeden dat de wanden in de BGT-berekening een verwaarloosbare capaciteit toevoegen en beperkt aan de bezwijkcapaciteit (UGT) zullen bijdragen.
- De wand (steunpunt) is gedeeld door beide bogen van de kelders KNG [] en KNG []. Het is aannemelijk dat de wand(en) tussen KNG [] en KNG [] constructief als één wand gezien kan worden. De aanwezige betonnen L-wanden spreiden de bovenbelasting door deze wand(en).

3.4 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 wegingdeling is beschouwd met maximaal één rijstrook waar de parkeerstrook in beschouwing is genomen. De project specifiek voorgeschreven voertuigen die de kelders in de Kromme Nieuwegracht zullen passeren, vormen samen Belastingsmodel 3 (BM3). Dit is nader toegelicht in Hoofdstuk 5.2.1.

3.5 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 referentie periode en de trend niet toegestaan, zie bijlage B uit de NEN 8701.

3.6 Normen & richtlijnen

De kelderconstructie is beoordeeld conform het Bouwbesluit 2012. Bij de beoordeling van de constructieve veiligheid hoeven alleen de uiterste grenstoestanden (UGT) te worden beschouwd. Aan de bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) worden wettelijk geen eisen gesteld. Echter de wens is, dat de metselwerk boogbruggen duurzaam veilig zijn en geen (grote) tekenen van degradatie zoals scheurvorming en vervormingen vertonen. Om hieraan te voldoen, zullen ook bruikbaarheidsgrenstoestanden beschouwd worden. 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-linear finite element analysis	RWS
	Gemeente 's-Hertogenbosch, Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen, versie concept v0d, dd 15 juni 2020 (nog in bewerking)	

4 Onderzoek naar de materiaal gegevens

4.1 Grondopbouw en geotechnische parameters

Sinds de 12^{de} eeuw zijn er in de Kromme Nieuwegracht kluisbinder gebouwd. Waarschijnlijk zijn, in de periode 1500-1700 de keldergewelven opnieuw maar met een hogere kruinhoogte opgemetseld. Om deze redenen nemen we aan dat de grond onder de kelders volledig is 'voorbelaat'. Zettingen in slappe grondlagen zullen niet of nauwelijks meer optreden.

Uit het archief van de gemeente Utrecht zijn enkele sonderingen en boringen uit de nabijgelegen omgeving bekend. De sonderingen en boringen zijn in 1963, 1985, 2014 en 2015 uitgevoerd. De meest betrouwbare meting op basis van tijd, locatie en resultaat zal gebruikt worden. Dit zijn de onderzoeken van Hoogveld (2014) [26-24] en zijn opgenomen in de bijlage B. Onder het funderingsniveau van mogelijk NAP+0,0 m lijkt losgepakt zand aanwezig. Achter de landhoofden is niet aangevuld met schoon zand, maar waarschijnlijk met wat voorradig was, gezien de kleilagen en baksteenresten. De grondopbouw zal geschematiseerd zoals weergegeven in Tabel 5. De grond wordt in Plaxis gemodelleerd met het Hardening Soil-model (HS). Voor de grondparameters zal aangesloten worden op tabel 2.b van de NEN1997-1+C2 en de overige parameters (gewicht klinkerverharding) zullen conservatief aangehouden worden.

Tabel 5 Schematisering bodemopbouw met karakteristieke grondparameters (HS-model) – conservatief.

Bovenkant [m+ NAP]	Grondsoort [-]	γ/γ_{sat} [kN/m ³]	Φ' [°]	Ψ [-]	c' [kN/m ²]	$E_{oed}^{ref}/E_{50}^{ref}/E_{ur}$ [MN/m ²]	m [-]
Onderkant klinkerverharding (ca NAP+3,4 m)	Zand losgepakt (small strain)	17/19	30	0	0,3	32/32/130	0,55
+1,6	Klei, schoon, slap	14/14	17,5	0	0,5	1,0/0,9/2,7	0,90
+1,1	Klei, sterk zandig	18/18	27,5	0	0,1	5,0/2,7/11,6	0,80
+0,07 (tot -5,0)	Zand, losgepakt	17/19	30	0	10	28/28/113	0,55
+1,00 tot +0,07	Keldervloer	19/20	35	5	0,1	75/65/30	0,55

4.2 Eigenschappen metselwerk

Voor de materiaaleigenschappen van metselwerk kan worden uitgegaan van de eigenschappen gegeven in de NPR 9998+C1:2020. Het metselwerk van kelder KNG [REDACTED] is in een goede staat waardoor conservatieve metselwerk eigenschappen toegepast worden. Het metselwerk van kelder KNG [REDACTED] is tijdens de inspectie in een mindere staat aangetroffen dan het metselwerk van KNG [REDACTED]. Lichte scheurvorming in het gewelf, lokaal missend voegwerk en optrekkend vocht in het meest westelijk gelegen landhoofd verslechteren de kwaliteit van het metselwerk. Door reparatie van het historisch voegwerk op basis van kalk zal de kwaliteit weer op een voldoende niveau komen en is het rekenen met de eigenschappen conform de NPR acceptabel. Dus het advies voor het herstellen van het metselwerk geldt en zal opgenomen worden in de aanbevelingen van de rapportage. 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 derhalve ook voor de kelders CC2 toegepast worden. Voor de gemiddelde waarden mag tabel F.2 van de NPR 9998+C1:2020 aangehouden worden met de metselwerk categorie: baksteen met mortel voor algemene toepassing (voor 1945).

Om op de gemiddelde waarden te komen mag de karakteristieke waarde eventueel ook worden verhoogd met een factor 1,5, zie 9.1.3.2 van NPR 9998+C1:2020.

Conform de NEN-EN 1996-1-1:2006+A1:2013/NB:2018 nl kan de korte duur stijfheid worden benaderd door de druksterkte te vermenigvuldigen met een factor 700. Indien onbekend kan voor het volumieke gewicht van metselwerk 23 kN/m³ worden aangehouden.

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

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.

¹ 700 maal de druksterkte

² Op basis van de dwarscontractiecoëfficiënt $\nu = 0,20$ - $G = E/(2*(1+\nu))$

De partiele factor voor de materiaalsterkte $\gamma_M = 2,2$ (conform NEN-EN 1996-1-1) bestaat uit het product van een modelfactor $\gamma_{Rd} = 1,42$ gebaseerd op een variatiecoëfficiënt van 25% voor metselwerk en een sterktefactor van $\gamma_m = 1,55$.

4.3 Fasering

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

De volgende fasering is aangehouden: Voor de aanleg van de kluis-kelder is uitgegaan van een maaiveld op NAP+3,33 m in combinatie met een grondwaterstand van NAP 0,0 m. Vervolgens is er tot NAP +0,0 m een cunet gegraven, vanaf de landhoofden een steile taludhelling (ca. 1:5). Daarna is aangehouden dat de boogconstructie van KNG [REDACTED] en KNG [REDACTED] en KNG [REDACTED] gelijktijdig zijn aangebracht, opgehoogd tot het huidig maaiveldniveau en de klinkerverharding aangebracht tot het huidig maaiveldniveau. Tenslotte is het (grond)waterveldniveau op het niveau van NAP +0,75 m aangehouden en is de verkeersbelasting (BM1 en BM3) op de verschillende posities aangebracht.

5 Belastingen, -combinaties en -factoren

5.1 Permanente belastingen

5.1.1 Eigen gewicht

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

5.1.2 Rustende belasting

De beoogde opbouw van de verharding op de kluiskeiders is aangehouden volgens de beschikbare gegevens en de inspectieresultaten: Bestrating 80 mm. Het soortelijk gewicht van de bestrating is $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$ en van het zand $\gamma = 14\text{--}18 \text{ kN/m}^3$. Op basis van de algemene hoogtekaart Nederland (AHN.nl) blijkt dat het maaiveld nagenoeg horizontaal verloopt (van west ca NAP+3,4 m naar oost ca NAP+3,33m), 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.

5.1.3 Gronddruk

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

5.1.4 Waterdruk

Het gemiddelde grondwaterpeil in het meest nabije meetpunt van de Kromme Nieuwegracht 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 verloop van de grondwaterstand is onbekend. Het gemiddelde grondwaterpeil is het meest praktisch om mee te rekenen. In [26-24] is een eenmalige grondwaterstand gemeten van NAP+0,98 m bij B05 en NAP+0,63 m bij B06. Bij een bovenpeil in de gracht van NAP+1,32m staan de kelders KNG onder water. Het waterpeil op dat moment is niet bekend, maar geconcludeerd kan worden dat de grondwaterstand enkele decimeters kan afwijken van het waterpeil. Uit het onderzoek in 's-Hertogenbosch [R5] is de bevinding dat de eventuele fluctuaties in het grondwaterpeil, minder dan 5% effect hebben op de resultaten uit de berekeningen. Er is geen aanleiding om te veronderstellen dat de grondwaterstand onder de kelders anders is dan naast de kelders. **In de berekening is grondwaterstand van NAP+0,75m aangehouden.**

Het waterpeil gelijk aan het waterbodemniveau door droogzetting van de gracht is erg risicovol bevonden en onwenselijk. Onderhoudswerkzaamheden waarbij (delen van) de grachten in Utrecht zijn drooggezet zijn in het verleden wel voorgekomen. Doordat de fundaties van de kluis-/werfmuren en kelders (bijna) altijd op staal is, is het risico op zettingen en verzakking groot.

5.2 Variabele belastingen

5.2.1 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 referentie periode 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 kluiskeiders liggen in het lokale wegnennet. De bogen hebben een doorgaand metselwerkverband loodrecht op de rijrichting. De rijbaanbreedte over de twee kelders 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 $\alpha_{q1} = 1,0$ en $\alpha_{qi} = 1,0$ (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 Belastingmodel 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: $\varphi = 1,40 - L/500$ waar $\varphi \geq 1$ met L = de getalswaarde van de invloedlengte (in meters). Voor de overspanning(en) van de metselwerk kluiskeiders is deze klein en dus is $\varphi = 1,4$ is aangenomen. Dit is een erg conservatieve aanname omdat de snelheid zeer laag zal zijn bij het passeren van de kluiskeider (<50km/h).

Toepassing verkeersbelasting

Het verkeer kan niet aan de rand van de boog rijden. Parkeren pal tegen de rijbaan aan is wel gebruikelijk waardoor hier rekening dient te worden gehouden met spreiden van verkeersbelasting. In de berekeningen van de verkeersbelasting, zit belastingspreiding van de belasting over de breedte nog niet verwerkt. Volgens NEN-EN 1991-2-C1 mag het tandemstelsel (bestaande uit twee aslasten h.o.h. 1,2 m) worden vervangen door een equivalente, gelijkmatig verdeelde belasting q_{eq} die wordt verdeeld over een rechthoekig vlak met breedte van 3,0 m en lengte van 2,2 m. Dat is op onderkant verharding=bovenkant grond (onderkant klinkerverharding). De spreiding in de breedte richting zal gereduceerd worden van 3,0m naar 2,7m om rekening te houden met belasting uit de parkeerstrook (eenzijdige spanningspreiding). De rest van de spreiding in langsrichting volgt uit het 2D Plaxis-model. In de breedterichting wordt op de kluiskelder spanningspreiding verondersteld onder een hoek van 30 graden over de hoogte van het grondpakket tot de as van de metselwerkboog met als maximum de kelderbreedte. De spanningspreiding wordt dus richting de landhoofden groter dan ter plaatse van het midden van de boog. Naast de kelder kan spanningspreiding onder 45 graden tot de afstand van het landhoofd worden toegepast, zoals gebruikelijk is voor bijvoorbeeld damwandberekeningen, met als maximum de kelderbreedte. De verkeersbelasting kan op elke willekeurige positie op de kluiskelder of naast de landhoofden 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 brug 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 $\alpha_{c20} \times 60$ ton. Indien de invloedslijn van de brug of brugonderdeel 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 kelders van KNG XXXX. 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 ($Q_{1b} = \alpha_{c20} \times Q_1$) 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 $\alpha_{c20} \times 60$ 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 kelders van KNG het geval.

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

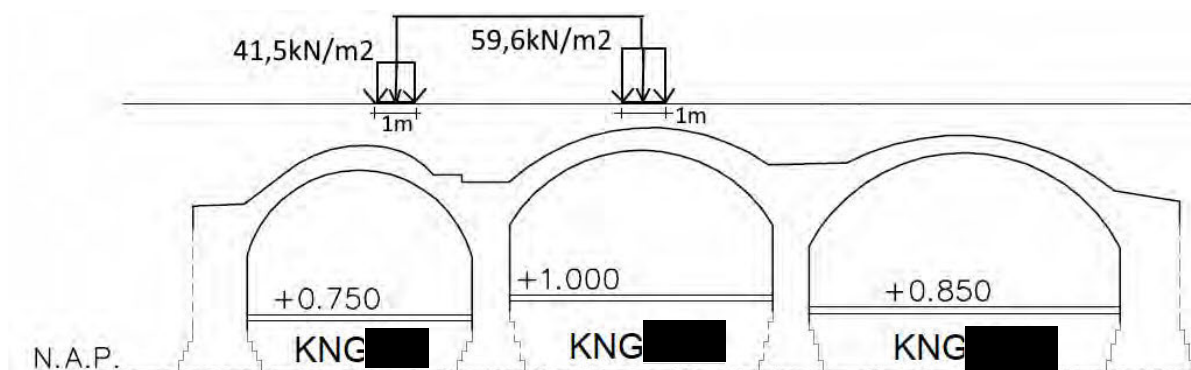
α_{C20}	bord C20 (ton)	bord C20 (kN)	Q_{1b} per as (kN)	Q_{2b} per as (kN)
1,000	12	120	300	200
0,773	10	100	232	155
0,668	9	90	200	134
0,569	8	80	171	114
0,477	7	70	143	95
0,391	6	60	117	78
0,310	5	50	93	62
0,236	4	40	71	47
0,168	3	30	50	34

Op de kelders met allen een rijbaan breedte van <6 m past er maximaal één bijzondere 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 $1,4 \cdot 80 \text{ kN} / (2,7 \cdot 1,0) = 41,5 \text{ kN/m}^2$ en voor de achteras $1,4 \cdot 115 \text{ kN} / (2,7 \cdot 1,0) = 59,6 \text{ kN/m}^2$ 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 kelder constructie, waarbij de lichtere vooras dus altijd links van de zwaardere achteras staat. De Kromme Nieuwgracht betreft immers een één richtingsweg. Doordat de kluiskeiders van KNG overspanningen hebben kleiner of ongeveer gelijk aan de wielbasis, kan de vooras positief effect kunnen hebben op de krachtswerking van de kelder. De zware achteras zal steeds op de belastingposities geplaatst worden zoals in Figuur 2 is aangegeven.



Figuur 2: Doorsnede kelders met lastmodel 'Ladderwagen' als voorbeeld op belastingpositie 1, (bron: Reconstructie rak21-D, Herstel wal- en kluisuren Kromme Nieuwegracht. 14-07-2017 bijlage B).

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 $Q=[kN]$	$\alpha_{c20} \times 300$	$\alpha_{c20} \times 200$	112	161

5.2.2 Verkeersbelasting wegverkeer – horizontaal

Horizontale belastingen op de boog door verkeer vinden plaats wanneer de verkeersbelasting op een deel van de toeg en/of een landhoofd aanwezig is. Door de spreiding van de verkeersbelasting zal een deel van de boog verticaal en horizontaal belast worden. Deze belastingsituaties zijn meegenomen in de beoordeling, zie Hoofdstuk 6. Dit tweede orde effect is meegenomen in de berekening door te modelleren met Updated Mesh, zodat de vervormde constructie belast wordt.

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

5.2.3 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.

5.2.4 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.

5.2.5 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 geldt 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.

5.3 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:

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

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

De bruikbaarheidsgrenstoestand 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.

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

ψ -factoren voor gebouwen en bruggen	ψ_1
Verkeersbelasting (TS+UDL) NEN-EN 1991+A1/C2/NG:2019	0,8
Gebouwen: categorie E: opslagruimtes	0,9
Gebouwen: industrieel gebruik waarbij de veranderlijke belasting langduig aanwezig is	0,9

6 Modelling

6.1 Algemeen

Theorieën en rekenprogrammatuur

De berekeningen zijn uitgevoerd met Plaxis 2D V20 als Plane strain model (oneindig doorgaande constante doorsnede). Het opsluiten van de kelder tussen de kluismuur welk is verankert aan de boog 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). 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' [R5]:

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

De ervaring uit 's-Hertogenbosch is dat de ECOV methode tijdrovend is ten opzichte van de andere twee methoden en wordt dan ook alleen uitgevoerd indien met de GRF en/of PF methode afwijkend onvoldoende sterkte wordt aangetoond. Daarbij kan via alle drie de methoden de veiligheid afdoende worden aangetoond zodat in principe de meest gunstige methode mag worden toegepast voor de verificatie van de constructie.

Uit ervaring van de berekeningen in 's-Hertogenbosch is de GRF-2 methode meer toereikend bevonden dan de GRF methode doordat de gecombineerde belastingfactor te conservatief is voor de capaciteitskant van het metselwerk en de grondeigenschappen.

De UGT-GRF-2 is de veiligheid verdeeld over de variabele belasting en de sterkte van grond. Bij GRF(-1) wordt indirect door de hoge materiaalfactor van het metselwerk dus met een te hoge veiligheid op grond gerekend. Voor beton en betonstaal geldt hetzelfde, waardoor in de NLFEA (en FIBmodelcode) de karakteristieke waarde van de sterkte voor één van de materialen is aangepast. Eventueel kan worden besloten om de partiële factor van de grond als factor in de globale veiligheidsfactor te gebruiken en de karakteristieke sterkte van het metselwerk te verlagen, verder GRF-2 genoemd. Indien de partiële materiaalfactor van 1,2 (op basis van hoek van inwendige wrijving van de grond) wordt gebruikt (i.p.v. 2,2) wordt de globale veiligheidsfactor (over de variabele belasting) dus 1,32 voor CC2 gebruik en 1,44 voor CC2 verbouw. De karakteristieke sterkte van het metselwerk moet dan vermenigvuldigd worden met een factor $1,2/2,2=0,545$ (overeenkomstig moet de karakteristieke waarde voor de cohesie van de grond verlaagd worden met een factor $1,2/1,5=0,8$).

De GRF-2 wordt dus berekend met verlaagde karakteristieke waarden voor het metselwerk, maar met een lagere gecombineerde belastingfactor over de variabele belasting:

- $0,545 \cdot$ 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 ($0,005 \text{ N/mm}^2$) 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;
- $0,8 \cdot$ 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 $\gamma_Q=1,1$ (en $\gamma_Q=1,2$ 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 van 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/mm²) 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)).

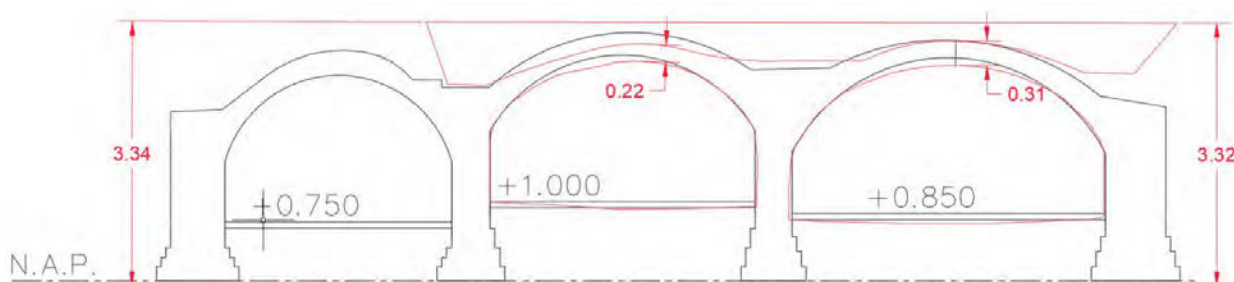
De vervorming van de kluisbodem zelf kan invloed hebben op het berekeningsresultaat. De kromming van de boog of de wanden gefundeerd op staal kunnen nadelig vervormen ten gevolge van de belasting. Om dit tweede orde effect mee te nemen zijn de berekeningen uitgevoerd met Updated Mesh. Het metselwerk 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.

6.2 Modelvorming

Geometrie doorsnede kelderconstructie

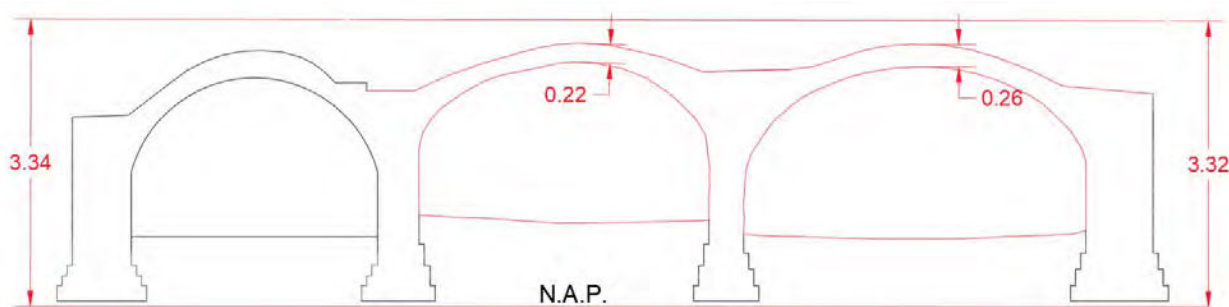
De doorsnede uit de archiefgegevens is gevalideerd met de metingen uit het onderzoek. Het blijkt dat de bogen uit de archief gegevens getekend zijn als cirkelbogen. De metingen laten zien dat dit niet overeenkomt met de praktijk, zie Figuur 3. Tijdens het onderzoek is door middel van een boring de opbouw van het metselwerk bepaald voor kelder KNG [REDACTED]. De opbouw bestaat uit een éénsteens metselwerk boog met daar bovenop een extra laag stenen in de kalkmortel en een waterdichte laag.



Figuur 3: De doorsnede uit de tekening: Reconstructie rak 21 (141.2002.05_C&B.040-008_c).pdf met het ingemeten verloop van de bogen in rood.

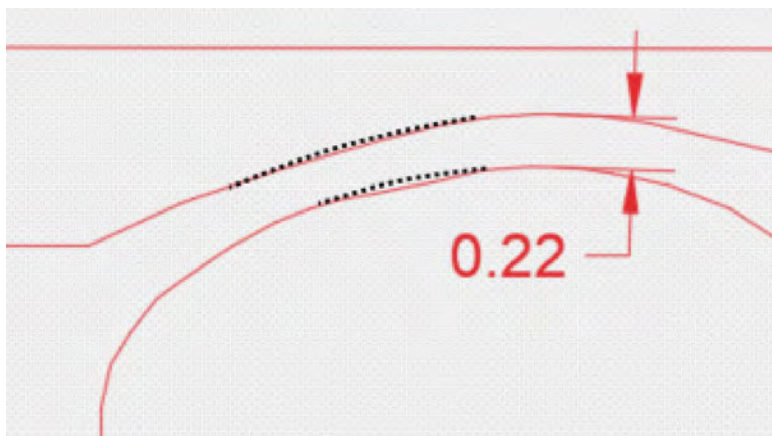
Constructief gezien mag met de éénsteens boog (220 mm) inclusief de laag stenen (40 mm) gerekend worden. Uit de metingen blijkt dat de laag stenen niet aanwezig kan zijn op de boog van KNG [REDACTED]. Hier is de dikte van de boog dus éénsteens (220 mm). Wanneer bepaalde geometrie parameters niet gevalideerd zijn tijdens het onderzoek, zoals de fundatiediepte, de versnijdingen en de geometrie van KNG [REDACTED], zijn de archiefgegevens aangehouden. De hoogteligging van de kelder is door de metingen gevalideerd, waardoor het fundatieniveau hier uit volgt en circa NAP +0,07 m betreft.

Door de aanwezigheid van L-wanden tussen de bogen bovenop de wanden/landhoofden, is daar lokaal het meetresultaat (tachymetrisch) 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.



Figuur 4: De doorsnede die gebruikt wordt in de Plaxis-berekeningen, in rood de metingen uit het onderzoek en de zwarte lijnen conform de archiefgegevens.

Opvallend is de verstoorde boogvorm van KNG [REDACTED] aan de linker zijde net uit de kruin, zie Figuur 5. Deze verstoorde boogvorm is in de 3D-scan in meerder doorsneden van deze kelder zichtbaar. Dit zou kunnen duiden op reeds opgetreden vervormingen van de constructie doordat aangenomen mag worden dat tijdens de bouw een gawe boog is gemaakt.



Figuur 5 verstoorde boogvorm van KNG [REDACTED], waar met stippellijnen de mogelijke originele boogvorm is getekend.

De vloer is opgebouwd met verschillende formaten stenen en bevat vlekken van beton, zie Figuur 6. Een stempelwerking door de vloer kan niet toegekend worden doordat grote delen van de vloer niet in verband zijn aangebracht en daarbij is de dikte van de vloer niet gemeten. In de berekening is de keldervloer gemodelleerd als een laag vastgepakt zand.



Figuur 6: Impressie grillige samenstelling van de vloer in kelder KNG [REDACTED]

Langsribben

Van de langsribben is het fundatieniveau alleen visueel onderzocht. Het doet er sterk op lijken dat de langsribben bovenop de bestaande keldervloer zijn gebouwd. Er is op geen enkele locatie een metselwerkverbinding tussen de langribben en het gewelf aangetroffen. Als aansluiting tussen de ribben en het gewelf is mortel gebruikt en lokaal was deze mortel los van het gewelf. Ook leek het metselwerk van een andere kwaliteit en leeftijd. Deze bevindingen bevestigen de keuze om een 2D berekening te maken en de beperkte 3D-effecten achterwegen te laten. Dit is een conservatief uitgangspunt omdat de ribben gunstig bij kunnen dragen aan de bezwijkdraagkracht.

Grondopbouw en geotechnische parameters

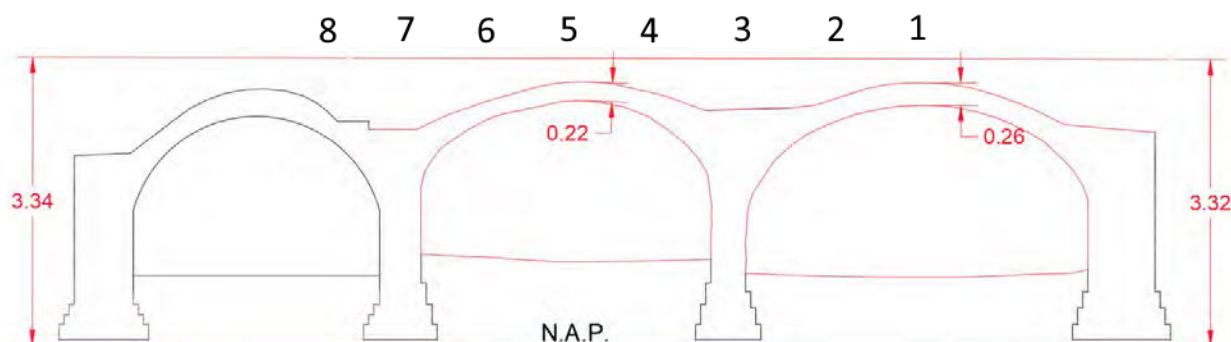
In de berekening is een karakteristieke bodemopbouw aangehouden, waarbij naast de kelderconstructies en achter/op de landhoofden met zand is aangevuld. Voor de constructieve berekening van de boogconstructie dient de sterkte van de grond te worden aangehouden bij een lage rekstijfheid ($<2\%$). Voor 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.

Draagvermogen steunpunten

Dit is onderzocht middels een D-foundation berekening waar er met 5% rek voor de funderingslaag is gerekend door langdurige voorbelasting. Voor het beoordelen van de UGT is het gebruikelijk uit te gaan van 5% vervormingen of de piekwaarde. 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.

Maatgevende belastingposities

De 'Aanpak beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch' [R5] 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. Omdat het hier constructief gezien één constructie betreft, bestaande uit twee kelders KNG [REDACTED] en KNG [REDACTED] zullen er aanzienlijk meer unieke belastingposities onderzocht moeten worden. In Figuur 7 zijn alle unieke belastingposities schematisch aangegeven waar het hart van de (gespreide) verkeersbelasting (TS 1) ter plaatse van elk cijfer staat. Dit zal inclusief de naastgelegen kelder KNG [REDACTED] (links van KNG [REDACTED]) zijn. Vervolgens kan het tweede tandem stelsel (TS 2) links, rechts of op grote afstand staan van tandem stelsel (TS 1).



Figuur 7: 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		Oorspronkelijke bodemopbouw (maaiveldniveau NAP+3,3 m en grondwaterstand NAP 0,0 m)
B		Ontgraving tot onderkant fundering en grondwaterstand 0,0 m onder ontgravingsniveau
C		Werkelder en aanvulling tot huidige situatie
D		Gemiddelde grondwaterstand gedurende de volledige levensduur
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]
10 vanaf 3	Rekenwaarden grond en metselwerk	Metselwerk: Rekenwaarde druksterkte (Karakteristiek*0,545), Treksterkte 5 kPa*0,545 Grond: karakteristieke waarde hoek van inwendige wrijving, Rekenwaarde cohesie (karakteristiek*0,8) Gemiddelde waarde volumieke gewicht [gedraineerd]
11	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		Oorspronkelijke bodemopbouw (maaiveldniveau NAP+3,3 m en grondwaterstand NAP 0,0 m)
B		Ontgraving tot onderkant fundering en grondwaterstand 0,0 m onder ontgravingsniveau
C		Werkelder en aanvulling tot huidige situatie
D		Gemiddelde grondwaterstand gedurende de volledige levensduur
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 (alleen voor de maatgevende locaties 1, 4, 5 en 6)
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 BM3	Verkeersbelasting: Rekenwaarde (Belastingfactor CC2 Gebruik: 1,1) [ongedraineerd]
10 vanaf 3	Rekenwaarden grond en metselwerk	Metselwerk: Rekenwaarde druksterkte (Karakteristiek*0,545), Treksterkte 5 kPa*0,545 Grond: karakteristieke waarde hoek van inwendige wrijving, Rekenwaarde cohesie (karakteristiek*0,8), Gemiddelde waarde volumieke gewicht [gedraineerd]
11	Toets UGT-GRF-2 BM3	Verkeersbelasting: Rekenwaarde (Belastingfactor CC2 Gebruik: 1,32) [ongedraineerd]

7 Resultaten verificatie

7.1 Draagvermogen fundering op staal

In bijlage A1 is een onderzoeksrapportage opgenomen van de uitgevoerde gevoeligheidsberekeningen voor het draagvermogen van de fundering op staal. De gevoeligheid van de stijfheid van de grondlaag onder de kelder en het bezwijkgedrag is onderzocht voor het draagvermogen en de scheurvorming van de kelder door verkeersbelasting (BM1). De sommen in D-foundation voor het bepalen van het draagvermogen van de fundering op staal, leidt tot het inzicht dat de zakking van de fundering op staal waarschijnlijk is bij verkeersbelastingen > 4 ton. Er kan geconcludeerd worden dat het draagvermogen van de fundering kritisch is voor de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie.

Dit inzicht beïnvloedt de beoordeling van de BGT en UGT. De BGT sommen beoordelen het risico op scheuren van het metselwerk door verkeersbelasting aan de hand van de buigtreksterkte van het metselwerk. Het limiet van het geotechnische draagvermogen van de fundering op staal geeft naast de beoordeling met het Hardening Soil-model ook de ruimte om het lineair elastisch grondmodel in beschouwing te nemen. Het falen van de fundering op staal is onwaarschijnlijk voor de relatief lage verkeersbelasting behorende bij de BGT toetsen. Dit leidt tot het beperken van de zakking van de fundering op staal door het verhogen van de cohesie of een aanpassing naar een lineair elastisch grondmodel. Hierdoor neemt het risico op het overschrijden van de toelaatbare trekspanning van het metselwerk sterk af.

De UGT sommen bepalen/ benaderen de bezwijkcapaciteit van de constructie door verkeersbelasting. Doordat het draagvermogen 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 de cohesie te verhogen. 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.

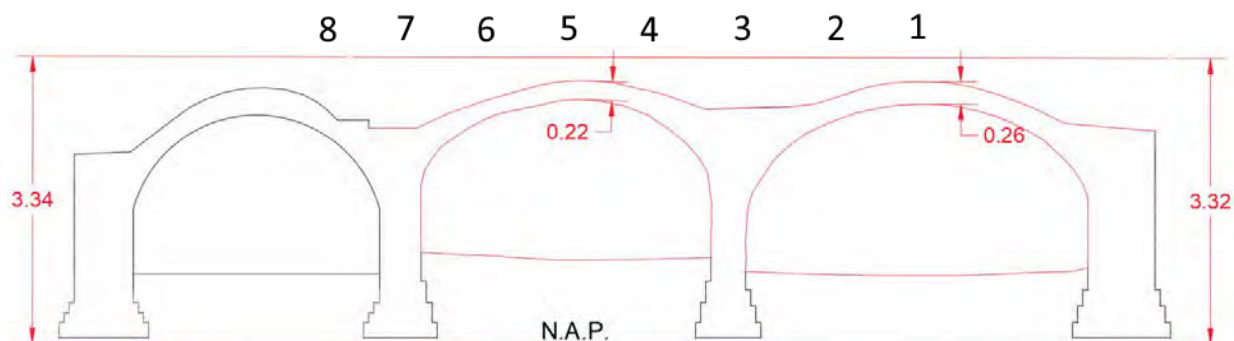
De beoordeling van BM3 benodigd voor de BGT en UGT het Hardening Soil-model doordat het belastingeffect van de 'ladderwagen' de zelfde orde grote is als de verkeersbelasting behorende bij een 4 ton aslastbeperking.

In de onderzoeksrapportage in bijlage A1 is ook het aantal te beoordelen belastingposities geëvalueerd en kan mogelijk gereduceerd worden voor de beoordeling van opvolgende kelderconstructies.

7.2 Lastbeperking via bebording – bord C20

Voor de lastbeperking via bebording met het bord C20 is voor alle 8 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 de afstand van 1,5 m is aangehouden in de beoordeling zodat de twee laststellen zo dicht mogelijk achter elkaar staan. 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.

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 7 ton zijn weergegeven 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 belasting posities achterwege gelaten omdat uit de BGT toetsing bleek dat deze niet maatgevend zijn.



Figuur 8: Belastingposities waar het zware tandemstelsel met het hart op het getal staat en het tweede tandemstelsel hier links, rechts of op een grote afstand van staat.

Tabel 12 Berekeningsresultaten BGT - Bord C20 3 ton

Belastingpositie	8 A	7 A	6 B	5 A	4 A	3 B	2 B	1 B
BGT (max -8500/550) ₁	(ca -500/250)	(ca -500/400)	(ca -1000/550)	(ca -1000/550)	(ca -1000/550)	(ca -1000/500)	(ca -1300/550)	(ca -1300/550)

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

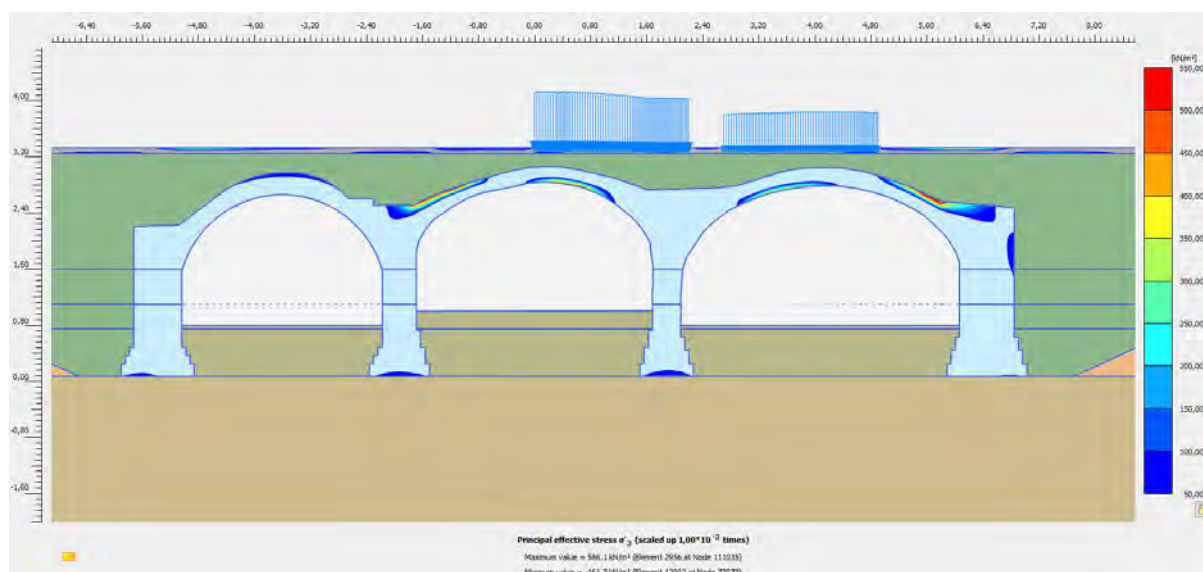
2) (maximaal berekende drukspanning / trekspanning)

Tabel 13 Berekeningsresultaten UGT – Bord C20 7 ton

Belastingpositie	6 B	5	5 A	4 A	3 A
PF	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
GRF-2	Voldoet	Faalt	Voldoet	Voldoet	Voldoet

7.2.1 BGT

In Figuur 9 is een voorbeeld opgenomen waar (net) niet wordt voldaan aan de treksterkte in de BGT-toets.

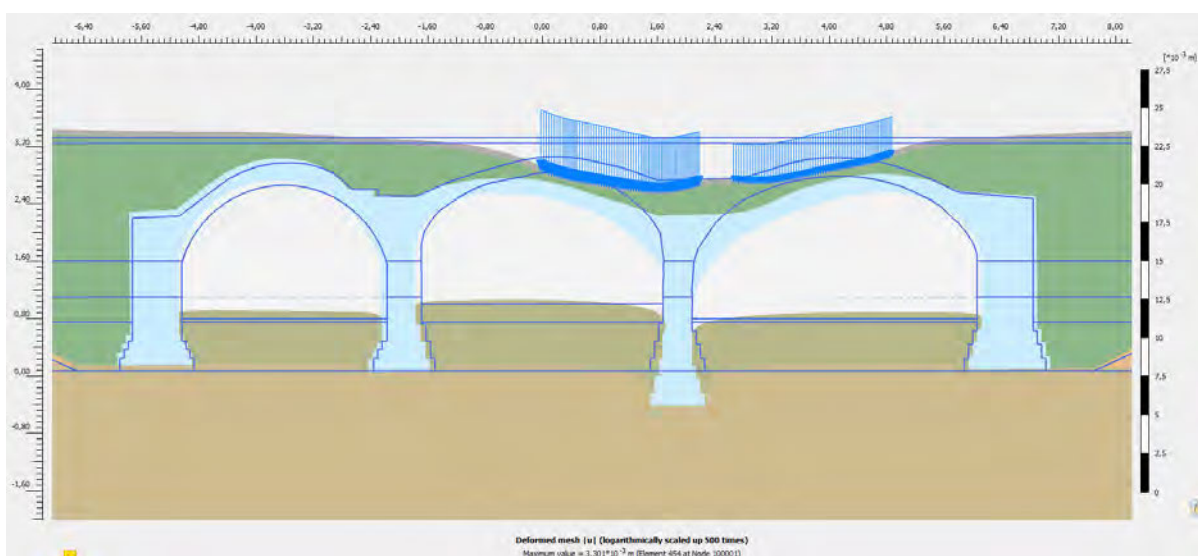


Figuur 9 BGT-toets voor de verkeersbelasting op belastingposities 5 A behorende bij een 3 ton aslastbeperking (HS model met c=10 kPa).

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 bovenzijde en net niet aan de onderzijde van de boog. De scheuren zullen loodrecht op de rijrichting optreden, gecodeerd als Type I scheur conform het onderzoek uit spoor 2.

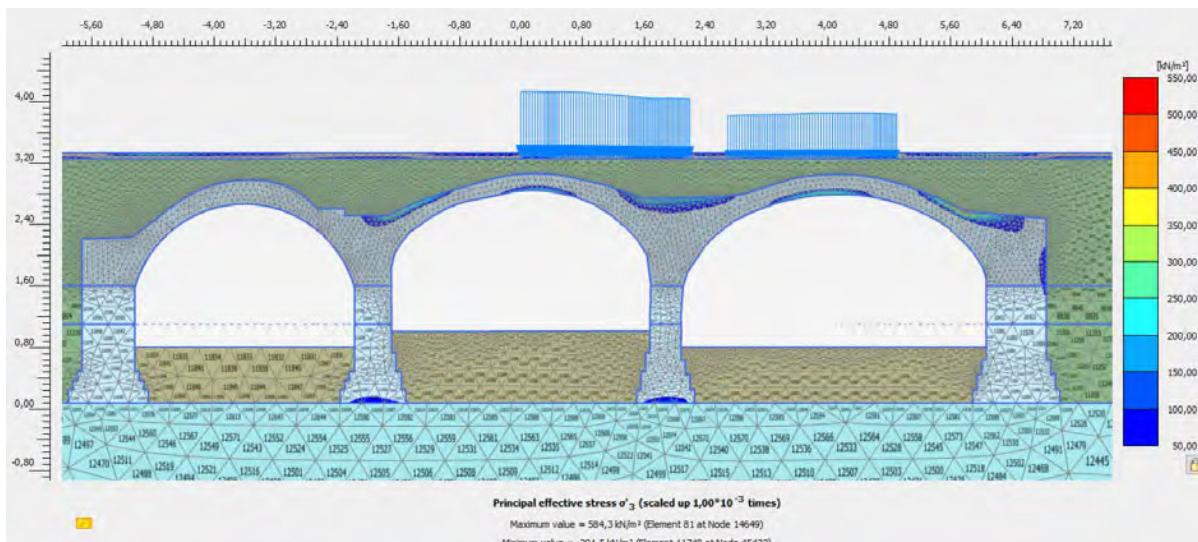
In de BGT-toetsing is gerekend met de 'karakteristieke' verkeersbelasting. Dit is een hoge en niet vaak optredende belasting. Normaliter in het ontwerp van een betonconstructie is de frequente belastingssituatie leidend voor de vormingen (scheurwijdte) en deze is een factor circa 0,8 lager (ψ_1), zie 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 maximale trekspanning afnemen.

In Figuur 10 is een voorbeeld opgenomen van de berekende vervorming van de boog bij de BGT toets. De vervorming van 3,3 mm treedt op door het zakken van de wand. In bijlage A5 zijn de berekende vervormingen weergegeven voor alle belastingposities.

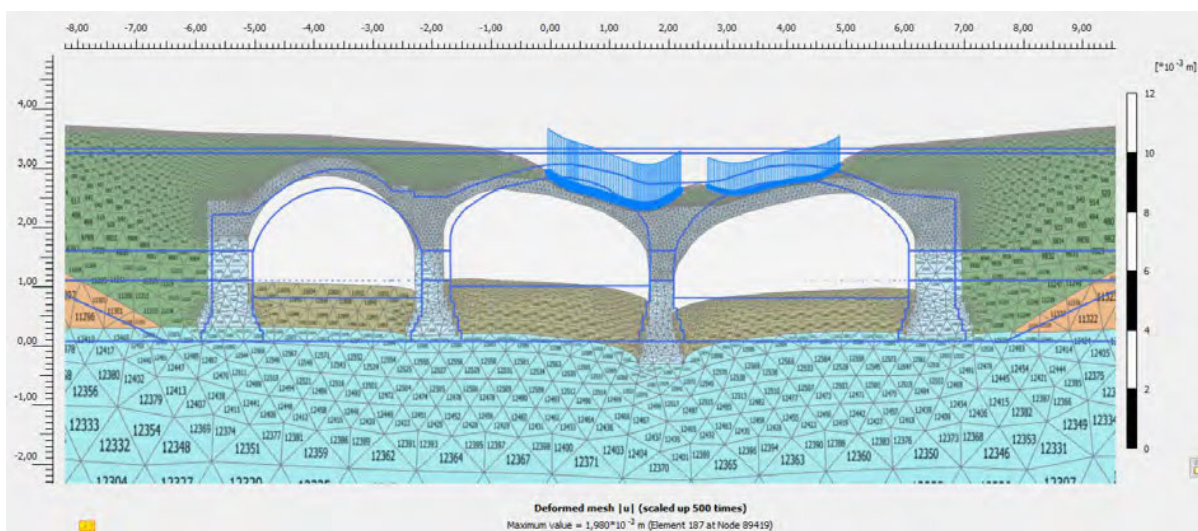


Figuur 10 Vervormingen voor de verkeersbelasting op belastingposities 5 A behorende bij een 3 ton aslastbeperking (HS model met $c=10 \text{ kPa}$).

Indien gerekend wordt met een grondlaag onder de kelders met lineair elastische grondeigenschappen voor een vaste gepakte zandlaag, is de zakking van de tussenwand 2 mm waardoor de boogconstructie minder vervormd en de trekspanningen lager uitvallen en onder de buigtreksterkte van het metselwerk blijven, zie Figuur 11 en Figuur 12. In deze situatie is het falen van de fundering op staal als niet kritisch verondersteld.



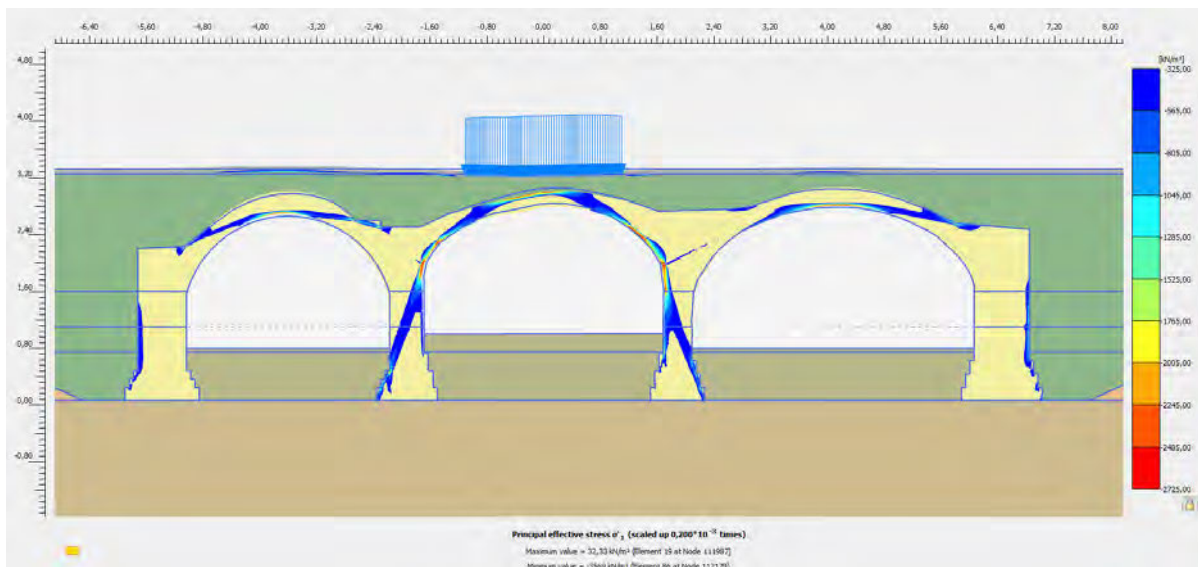
Figuur 11 BGT-toets voor de verkeersbelasting op belastingposities 5 A behorende bij een 3 ton aslastbeperking. Grond is gemodelleerd met LE-model met $E=50.000$ kPa.



Figuur 12 Vervormingen voor de verkeersbelasting op belastingposities 5 A behorende bij een 3 ton aslastbeperking. Grond is gemodelleerd met LE-model met $E=50.000$ kPa.

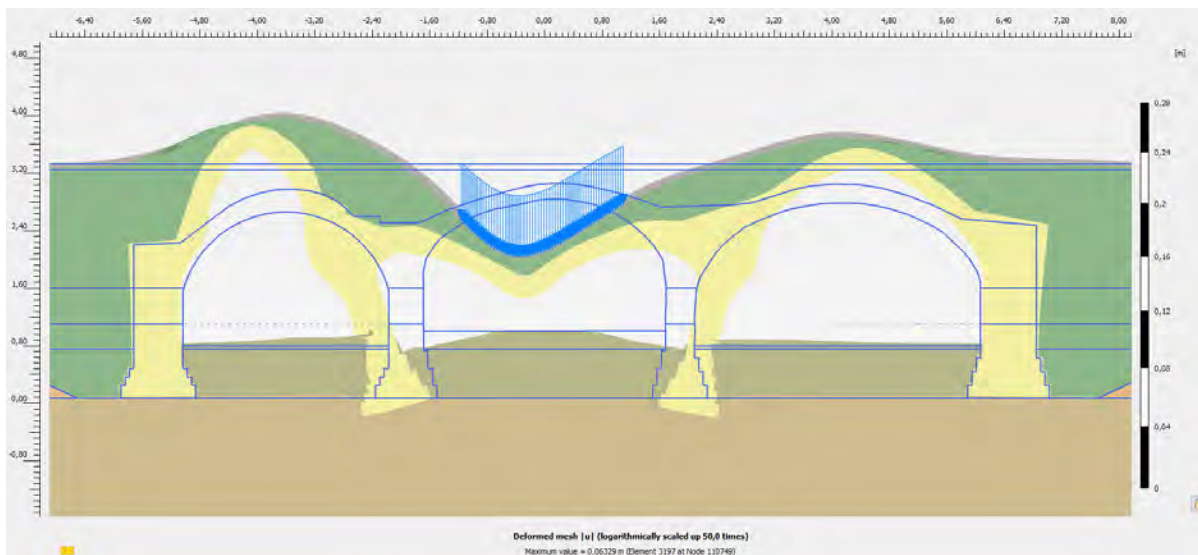
7.2.2 UGT

Voor alle berekende belastingposities wordt voor de verkeersbelasting behorende bij een bord C20 van 7 ton voldaan aan de benodigde constructieve veiligheid. Deze resultaten zijn van de Plaxis berekeningen met een HS model met een verhoogde cohesie van 10 kPa, stap 4 uit bijlage A1. Belastingpositie 5 is maatgevend en geeft de resultaten die het dichtste 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/m²) en de GRF-2-methode ($5000/2,2 \cdot 1,2 = 2725$ kN/m²).



Figuur 13 UGT-toets PF-methode voor de verkeersbelasting op belastingpositie 5 behorende bij een 7 ton aslastbeperking.

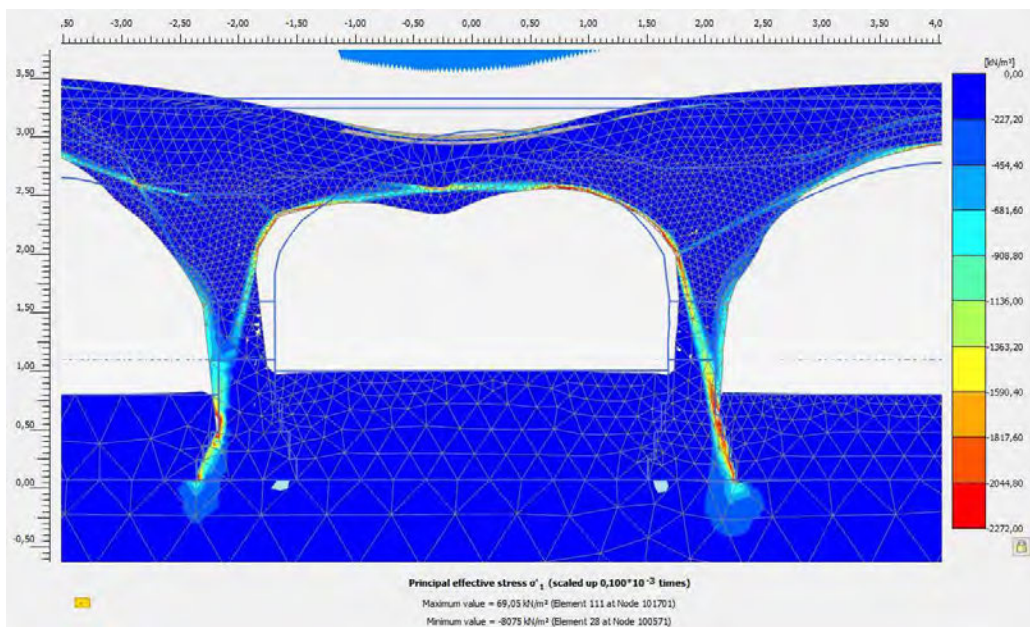
In Figuur 14 is de (fictieve) vervorming weergegeven met een vergrotingsfactor van 50, bij de verkeersbelasting op belastingpositie 5 behorende bij een 7 ton aslastbeperking voor de PF-methode. In de UGT is de vervorming fictief omdat met rekenwaarden van verschillende parameters wordt gerekend waardoor 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 6 cm waarvan circa 0,5 cm wordt veroorzaakt door de zakking van de landhoofden en de overige door de indrukking van de boog zelf.



Figuur 14 Vervormingen voor de verkeersbelasting op belastingposities 5 behorende bij een 7 ton aslastbeperking

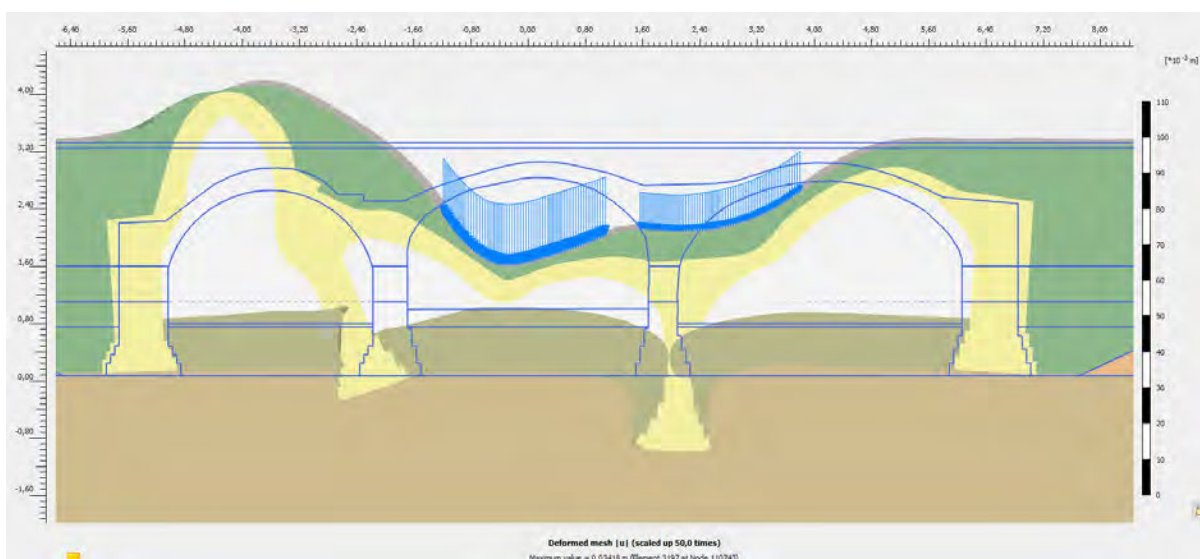
Belastingpositie 5 met het verkeer behorende bij een 8 ton aslast beperking geeft een maximale zakking van de boog van 0,165 m. Hier is het kritische draagvermogen van de grond als niet maatgevend gemaakt door een LE grondmodel te kiezen (conform stap 3 uit bijlage A1) zodat de boog maatgevend is. Naast de 3 punten bovenin de boog wordt in de kolommen ook de maximale druksterkte overschreden en kan als

bezweken worden beschouwd, zie Figuur 15. Het meest voorkomende bezwijkmechanisme is wanneer door overbelasting meerdere scharnieren (4 of meer) ontstaan.



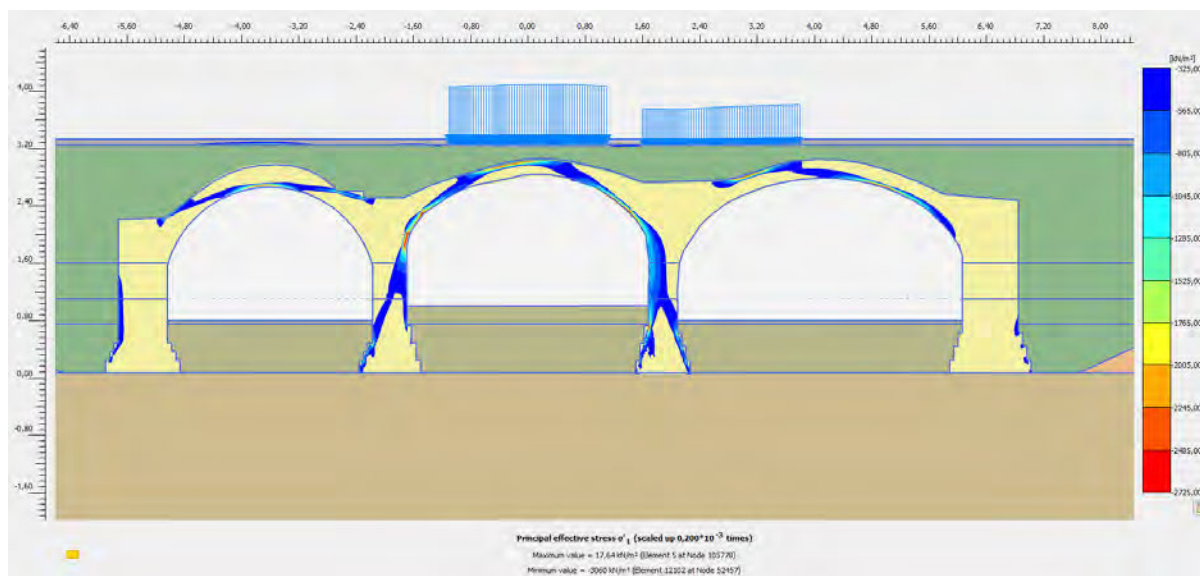
Figuur 15 UGT-toets PF-methode voor de verkeersbelasting op belastingpositie 5 behorende bij een 8 ton aslastbeperking.

In Figuur 16 is de (fictieve) vervorming weergegeven met een vergroting van 50x, bij de verkeersbelasting op belastingpositie 5A behorende bij een 7 ton aslastbeperking bij de PF-methode. Het vervormingsplaatje geeft een beeld van het meest kritische bezwijkgedrag. De fictieve zakking van de boog in de UGT ligt net onder de 3,5 cm waarvan circa 1,0 cm wordt veroorzaakt door de zakking van de landhoofden en de overige door de indrukking van de boog zelf.



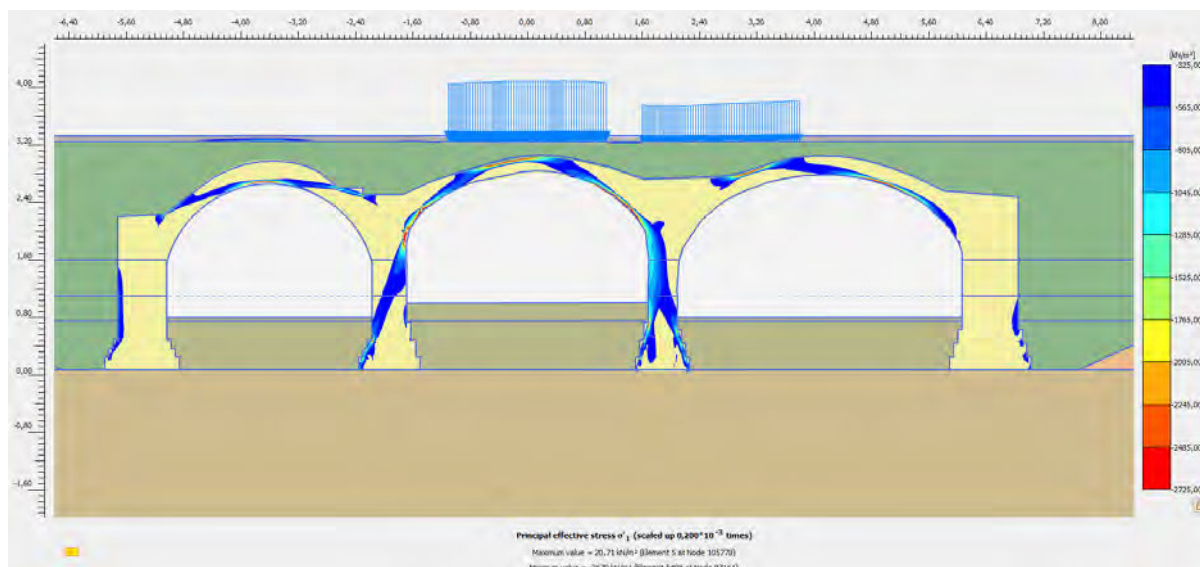
Figuur 16 Vervormingen voor de verkeersbelasting op belastingposities 5 A behorende bij een 7 ton aslastbeperking.

In Figuur 17 is voor dezelfde belastingsituatie het bijbehorende drukspanningsverloop weergegeven. De drukbogen zijn al duidelijk zichtbaar, maar de maximaal toelaatbare druksterkte wordt nog niet over de drukboogbreedte gemobiliseerd.

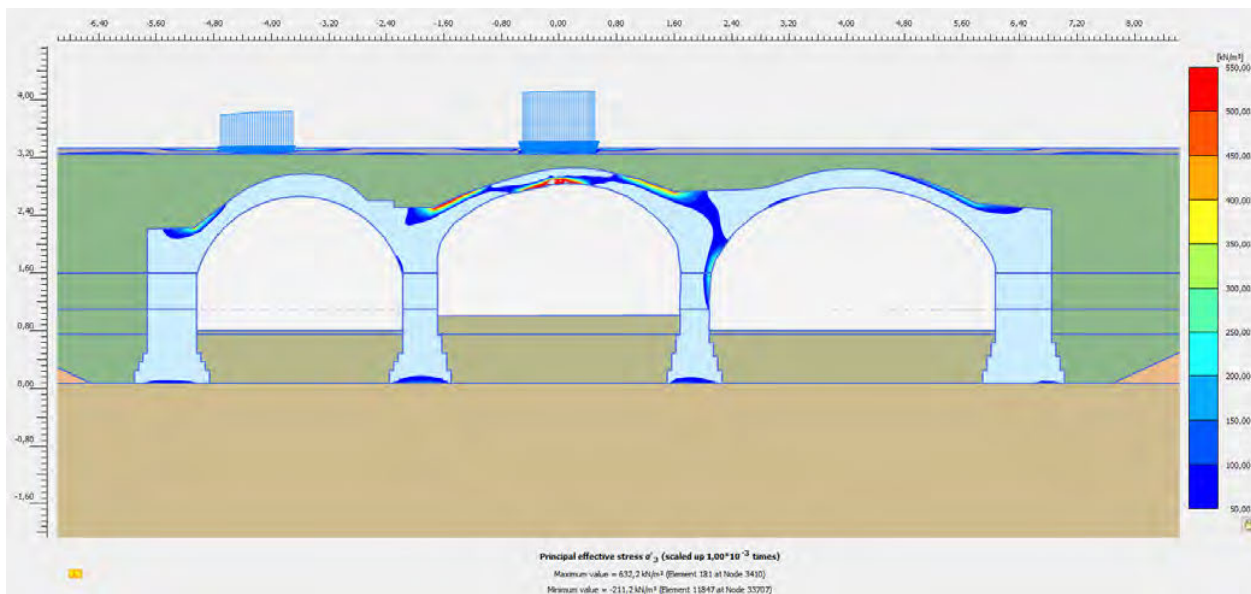


Figuur 17 UGT-toets PF-methode voor de verkeersbelasting op belastingpositie 5 A behorende bij een 7 ton aslastbeperking.

De GRF-2 resultaten vergeleken met de PF-methode geeft (fictieve) vervormingen van de boog in een gelijke orde van grootte: PF: 34 mm GRF-2: 39 mm. De bezwijkmechanismen lijken sterk op elkaar en de toelaatbare drukspanning wordt op dezelfde locatie overschreden (voor dezelfde belastingpositie).



Figuur 18 UGT-toets GRF-2-methode voor de verkeersbelasting op belastingpositie 5 A behorende bij een 7 ton aslastbeperking

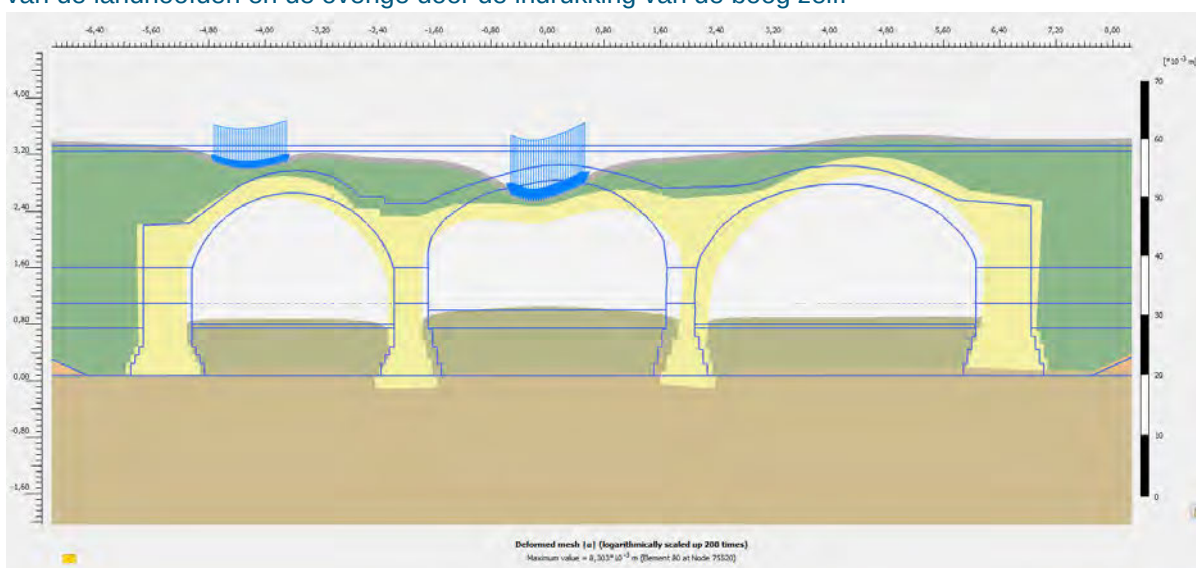


Figuur 20 BGT-toets BM3 op belastingpositie 5 (Faalt: trekspanning van 550 kN/m² wordt overschreden)

7.3.2 UGT

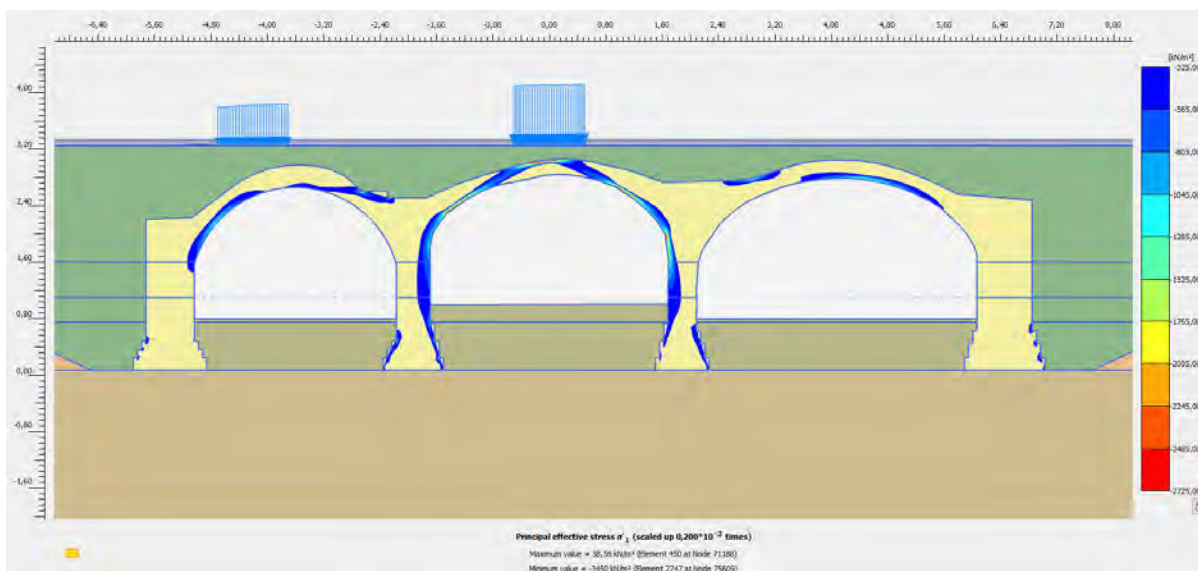
Voor alle berekende belastingposities wordt, voor de verkeersbelasting door de ladderwagen, voldaan aan de benodigde constructieve veiligheid. Belastingpositie 5 geeft de resultaten die het dichtst bij het bezwijken van de constructie zijn gelegen. Dat wil zeggen dat in combinatie met de lage aangehouden 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 ($5000/2,2 \cdot 1,2 =$) 2725 kN/m² en bij de PF-methode ($5000/2,2 =$) 2272 kN/m².

In Figuur 21 is de (fictieve) vervorming weergegeven bij de voertuigbelasting op belastingpositie 5 bij 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 net onder de 1,05 cm waarvan circa 0,5 cm wordt veroorzaakt door de zakking van de landhoofden en de overige door de indrukking van de boog zelf.



Figuur 21 Vervormingen door de aslasten van de ladderwagen; belastingpositie 5.

In Figuur 22 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. De maximale toelaatbare drukspanning is nog op geen locatie bereikt.



Figuur 22 UGT GRF-2-methode BM3 op positie 5 – Drukspanningen (max ca. 2300 kN/m²)

8 Conclusie en aanbevelingen

8.1 Conclusie

Dit rapport bevat de resultaten van de verificatieberekening van de kelderconstructies van Kromme Nieuwegracht ■■■ (KNG ■■■) 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 KNG ■■■ (en KNG ■■■) een beperkt risico heeft op het overschrijden van de buigtreksterkte (ondergrenswaarde) van het metselwerk bij de karakteristieke verkeersbelasting behorende bij een 3 tons aslastbeperking. Zodoende is het risico op scheuren van het metselwerk voor de verkeersbelasting behorende tot een **3 tons 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 $\alpha_{c20} \times 60 \text{ ton} = 0,168 \times 60 = 10 \text{ ton}$. De beoordeling gaat uit van gevolgklasse CC2 en het beoordelingsniveau 'gebruik' conform de NEN 8700-serie. 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 NEN 8700 zijn alleen eisen aan de constructieve veiligheid gesteld van een bestaande constructie. Op basis van de Plaxis-berekeningen is aangetoond dat de boogconstructie(s) van KNG ■■■ (en KNG ■■■) nog net niet bezwijkt (uiterste grenstoestand) voor de verkeersbelasting behorende bij een **7 tons aslastbeperking**. In deze analyse is het belasten centraal op de boog (positie 5) maatgevend. Daarnaast hebben de berekeningen van de fundering op staal, met de beschikbare grondgegevens geleid tot het inzicht dat overschrijden van het geotechnisch draagvermogen optreedt bij de verkeersbelastingen **groter dan bij een 4 tons 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. Wel is de verstoorde boogvorm terug te zien in de doorsnede van de kelderconstructie. De resultaten in acht genomen, is de bezwijkbelasting van de betreffende kelders aanzienlijk hoger dan de belasting door dit voertuig.

In de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt bij enkele belastingposities de gemiddelde treksterkte van 550 kN/m² aan de onderzijde (en bovenzijde) van de boog overschreden. Voor de verkeersbelasting behorende bij een 4 tons 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 door het conservatieve rekenen en de beperkte beschikbare gegevens nog extra marge in de resultaten aanwezig. De werkelijke (trek)sterkte van het metselwerk kan hoger blijken uit materiaalonderzoek. De grondeigenschappen uit het onderzoek naast de kelder zijn toegepast vóór, onder en achter de kelder. 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), hetgeen 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.

8.2 Aanbeveling

Voorgesteld wordt om het verkeer in de Kromme Nieuwegracht te beperken op de maximaal toelaatbare aslast. Conform NEN 8701 moet tegelijkertijd de maximaal toelaatbare massa van de te passeren voertuigen zijn beperkt tot $\alpha_{c20} \times 60$ ton (in het geval van een 3 ton aslastbeperking: $0,168 \times 60 = 10$ 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 belastingsbeperking 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 kelder op basis van geometrie en staat in de Kromme Nieuwegracht. Deze meest kritische kelder bepaalt het toelaatbare verkeer op de bovenliggende straat.

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

Eventueel zou door middel van proefbelasting tegelijk met meting/monitoring aangetoond kunnen worden dat een zwaarder voertuig toelaatbaar is.

Bijlagen

A1 Onderzoeksrapport Plaxis-berekeningen

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Transport & Planning

Aan: Stadsbedrijven Stadsingenieurs Gemeente Utrecht
Van: [REDACTED]
Datum: 29 april 2021
Kopie: [REDACTED]
Ons kenmerk: BH3201TPNT2103251224
Classificatie: Vertrouwelijk
Goedgekeurd door:

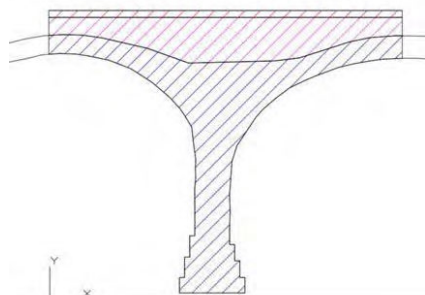
Onderwerp: Onderzoeksrapport - Geotechnische draagkracht en maatgevende belastingposities

Inleiding

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

1 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 KNG [REDACTED] en KNG [REDACTED] als maatgevend bevonden, zie doorsnede in Figuur 1. 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.



Figuur 1 visuele schematisatie voor de bepaling van de permanente belasting op een kelderwand.

Het draagvermogen van de fundering op staal is 693 kN bij een funderingslaag met een hoek van inwendige wrijving van 30° (zand losgepakt volgens tabel 2b van NEN9997-1+C2), zie bijlage 1. Het eigengewicht van de kelderconstructie ($60 \text{ kN/m} \times 6,8 \text{ m}$) = 408 kN, de bovenliggende aanvulling met verharding $((27+8) \times 6,8 \text{ m}) = 238 \text{ kN}$ leiden tot een bovenbelasting van $(408 + 238) \times 1,1 = 710 \text{ kN}$ (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 30° . De capaciteit van de fundering op staal is 923 kN bij een ϕ' van $32,5^\circ$, zie bijlage 2. Hierbij ligt de toelaatbare variabele belasting rond de 210 kN (21 ton) wat overeenkomt met de karakteristieke verkeersbelasting behorende bij een 4 ton

aslastbeperking van $(2 \times 71 + 0,5 \times 2 \times 47) \times 1,1 = 208$ kN waarvoor de fundering op staal nog (net) 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 > 4 ton sterk zal toenemen, doordat het draagvermogen kritisch wordt of zelfs overschreden. Er kan worden geconcludeerd dat het draagvermogen van de landhoofden kritisch is voor de bezwijkcapaciteit van de kelderconstructie. Mogelijk is het draagvermogen al kritisch bij lagere verkeersbelastingen (uitgaande van een hoek van inwendige wrijving van 30 graden). Om hier meer zekerheid over te krijgen zou met grondonderzoek onderzoek gedaan kunnen worden naar de sterkte van de ondergrond. Indien de landhoofden niet of nauwelijks zijn gezakt ten opzichte van elkaar zou ook de conclusie worden getrokken dat de verkeersbelasting die tot nu toe is opgetreden toelaatbaar zijn.

2 Toetsing draagkracht boogconstructie

Het zakkingsverloop van de individuele landhoofden ten gevolge van de belastingafdracht naar de ondergrond heeft invloed op de draagkracht van de totale boogconstructie. Het effect van verschillende stijfheden en grondmodellen voor de funderingslaag (zand, losgepakt) op de draagkracht van de boogconstructie en de spanningen in het metselwerk is onderzocht, in de volgende vier stappen:

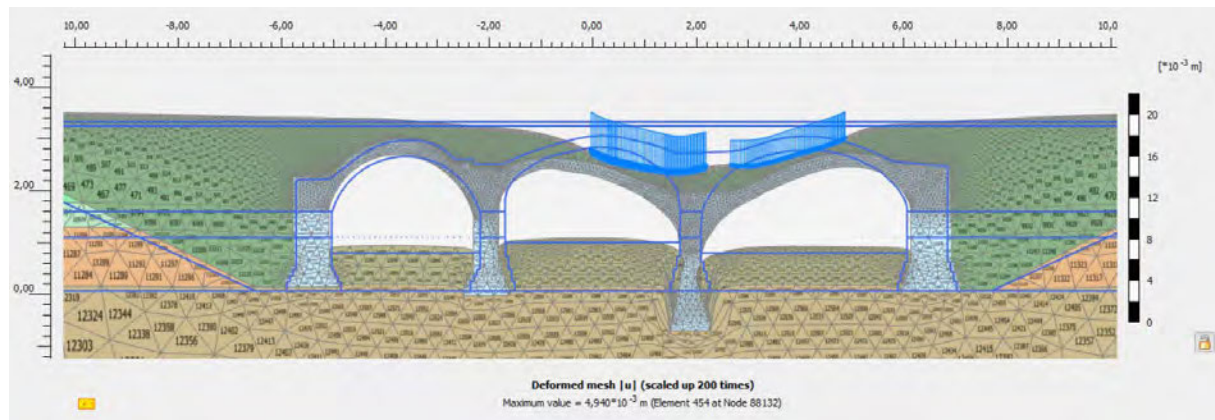
- Stap 1. Hardening soil model met stijfheidsparameters conform grondonderzoek en cohesie = 0,1 kPa (beginsituatie, zonder aanpassingen).
- Stap 2. Lineair elastisch grondmodel met $E = 50.000$ kPa
- Stap 3. Lineair elastisch grondmodel met $E \approx 11.000$ kPa
- Stap 4. Hardening soil-model met stijfheidsparameters conform grondonderzoek met cohesie = 10 kPa.

In stap 1 wordt door het toepassen van het Hardening soil model (HS-model) voor de funderingslaag in de Plaxis berekening ook het eventuele bezwijken van de draagkracht van de individuele steunpunten en de invloed hiervan op de gehele boogconstructie beschouwd. In stap 2 en 3 wordt de toetsing van de boog los van de draagkracht van de steunpunten beschouwd door uit te gaan van een lineair elastisch model voor de funderingslaag. Door deze aanname bezwijkt de grond onder de landhoofden niet en wordt in de Plaxis berekening uitsluitend de boogconstructie getoetst. In stap 4 worden de boogconstructie en fundering ook los beschouwd met een niet-lineaire materiaalgedrag. Het HS-model in combinatie met een cohesie van 10 kPa voor de funderingslaag leidt tot een verhoging van het draagvermogen van de steunpunten waardoor deze niet bezwijken. Voor de beoordeling van het draagvermogen zal de verkeersbelasting over ongeveer de gehele breedte van de wand (6,8 m) gespreid mogen worden tot onderkant funderingsvoet.

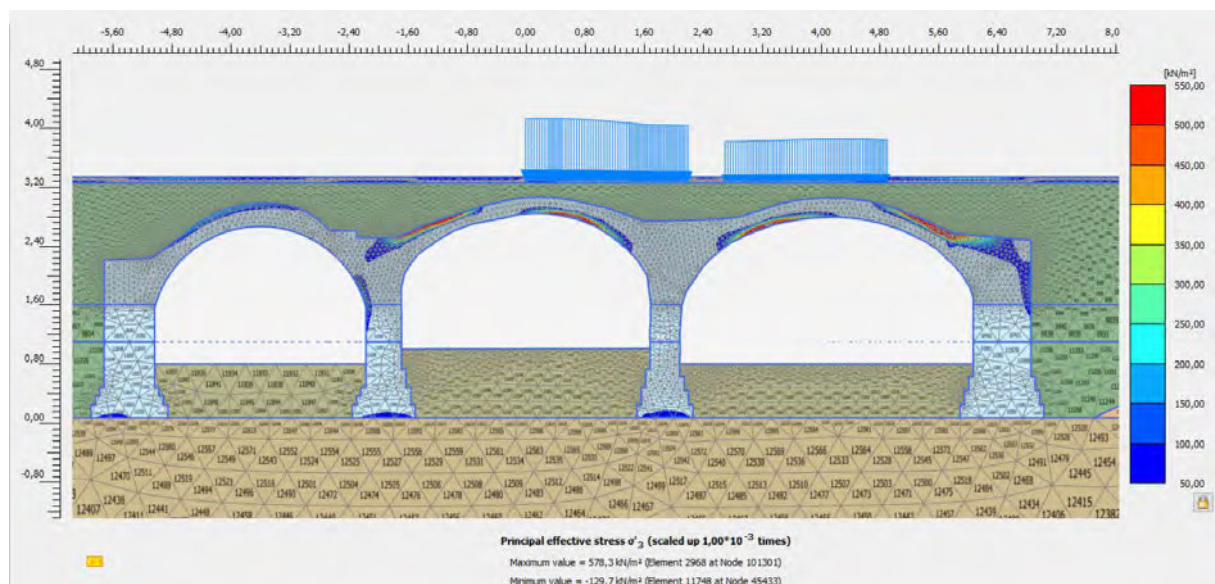
Stap 1. Hardening soil-model met cohesie van $c = 0,1$ kPa

Hardening soil model met grondparameters op basis van resultaten grondonderzoek. De zakking van de fundering op staal bedraagt 5 mm bij een verkeersbelasting van 3 ton aslastbeperking. De verkeersbelasting is in de breedterichting tot 2,7 meter gespreid voor de beoordeling van de boogconstructie. Voor de beoordeling van de draagkracht van de fundering op staal is dit té conservatief. De berekende zakking is hierdoor niet realistisch, omdat in de breedte richting een groter fundatie oppervlak meewerkt en de belasting op de ondergrond dus kleiner is.

Er is besloten om de zakking van de fundering ten gevolge van het bezwijken van het steunpunt te voorkomen voor de sterkte-toets van de boogconstructie door de grondlaag onder de kelder te modelleren met een Lineair elastisch model. Op deze manier wordt de toetsing van de boog separaat beschouwd.



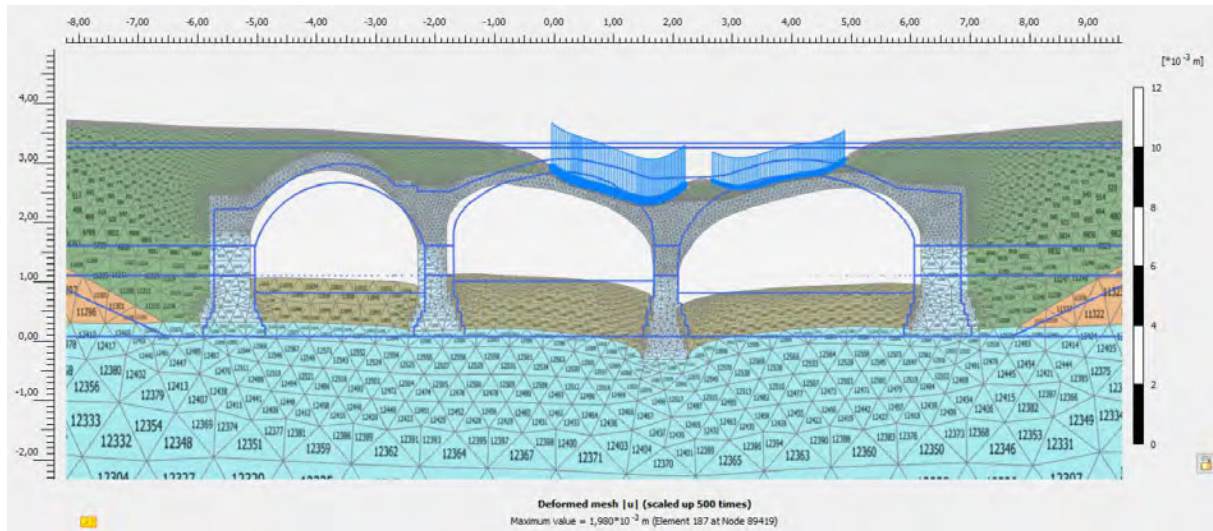
Figuur 2 falen van de fundering op staal door een verkeersbelasting behorende bij een 3 ton aslastbeperking – HS-model (BGT positie 4A).



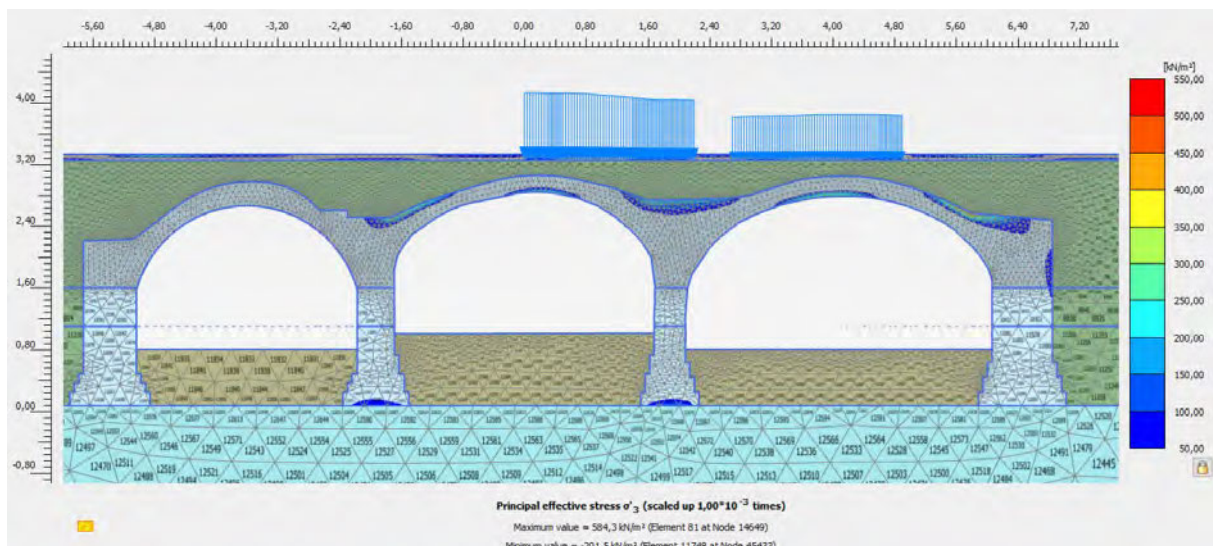
Figuur 3 trekspanningen in het metselwerk – HS-model (BGT positie 4A).

Stap 2. Lineair elastisch grondmodel met $E = 50.000$ kPa

Lineair elastische grondeigenschappen zijn toegekend aan de grondlaag onder de kelder met een hoge waarde voor de stijfheid $E=50.000$ kPa (vastgepakt zand) met als doel dat de fundering beperkt verticaal zakt (2 mm) zodat de boogconstructie zijn vorm zo veel mogelijk behoudt. Het resultaat hiervan is dat de trekspanningen en drukspanningen in de boogconstructie lager uitvallen dan voor stap 1. De trekspanningen in de boogconstructie (zie Figuur 5) worden in deze stap niet of nauwelijks meer overschreden in de BGT. De zakking van de funderingen op staal hebben een kritische bijdrage aan de optredende spanningen in de boog.



Figuur 4 beperkte zakking van de fundering op staal door verkeersbelasting behorende bij een 3 ton aslast beperking – LE grondeigenschappen (BGT positie 4A).



Figuur 5 trekspanningen in het metselwerk – LE grondeigenschappen (BGT positie 4A).

Stap 3. Lineair elastisch grondmodel met een stijfheid van $E \approx 11.000 \text{ kPa}$

Stap 3 is een vervolg op stap 2 waarbij de funderingslaag wordt gemodelleerd met een LE-model, waarbij de Elasticiteitsmodulus E is verlaagd o.b.v. de E_{oed} van het HS-model uit stap 1. Dit leidt tot grotere maximale zakkingen van de fundering op staal van de kelderconstructie met een verhogend effect op de trekspanningen in de metselwerkbogen.

Stap 4. Hardening soil-model met cohesie van $c = 10 \text{ kPa}$

Om het niet lineaire materiaalgedrag van de funderingslaag in rekening te brengen is het HS-model met een hogere waarde voor de cohesie ($c=10 \text{ kPa}$) gekozen, zodat het draagvermogen van de steunpunten niet kritisch wordt. De zakking ligt in de orde grootte van het LE-model met de eigenschappen van stap 3 te liggen.

Voor het beoordelen van het risico op scheurvorming zijn de resultaten van de sommen met lineair elastische grondeigenschappen en het Harding Soil model vergeleken in Tabel 1 voor BM1. De relatie tussen de zakking en de trekspanningen is terug te zien voor de verschillende stappen. Hoe groter de

zakking hoe hoger de optredende trekspanningen in de boog worden. Voor de beoordeling van de boogconstructie als geheel is uitgegaan van het Hardening soil-model met een verhoogde cohesie. De berekeningsresultaten hiervan staan in de hoofdrapportage.

Tabel 1 verschillen in zakking en de resulterende trekspanningen aan de [onderzijde/bovenzijde] van de boog o.b.v. toets BGT door de wijzigingen in grondeigenschappen. In de eerste kolom staan de maatgevende belastingposities vermeld.

Positie	Stap 1 HS: c = 0,1 kPa	Stap 2 LE: E = 50.000	Stap 3 LE: E ≈ 11.000	Stap 4 HS: c = 10 kPa
1 B	4,1 mm [550/550]	1,8 mm [400/500]	3,3 mm [500/550]	2,7 mm [350/550]
2 B	5,1 mm [550/550]	2,1 mm [400/350]	3,8 mm [550/550]	3,4 mm [500/550]
3 B	4,4 mm [550/550]	1,9 mm [250/400]	3,3 mm [300/550]	3,1 mm [300/500]
4 A	4,9 mm [550/550]	2,0 mm [250/350]	3,6 mm [450/550]	3,3 mm [450/550]
5	2,7 mm [300/450]	1,6 mm [350/400]	3,0 mm [450/500]	1,9 mm [300/450]
6 B	3,9 mm [400/350]	2,2 mm [400/350]	3,4 mm [550/550]	2,8 mm [450/350]
7 B	3,5 mm [300/300]	2,1 mm [250/250]	3,0 mm [500/550]	2,5 mm [200/250]
8 A	3,9 mm [200/200]	2,1 mm [200/250]	3,2 mm [300/450]	2,8 mm [200/250]

De individuele grafische uitwerking van de resultaten zijn op aanvraag te verkrijgen bij het contactpersoon van Royal HaskoningDHV.

3 Evaluatie maatgevende belastingposities

De toepassing van het bord C20 zorgt voor een bewerkelijk aantal opties aan mogelijke belastingposities. Dit komt doordat het tweede laststelsel in dezelfde rijstrook, zo ongunstig mogelijk geplaatst moet worden, in afwijking van BM1. Doordat de kelders van KNG [REDACTED] geschakeld zijn, kleine overspanningen hebben en hierdoor de tandemstellen dicht bij elkaar staan (min. 1,5 m) is er een niet te verwaarlozen bijdrage door het tweede laststelsel.

Voor de maatgevende trekspanningen in het metselwerk (risico op scheuren) is het asymmetrisch belasten van de boog in combinatie met een tweede laststelsel kritisch bevonden. Het symmetrisch belasten in de top van de boog door alleen het zware laststelsel, heeft geresulteerd in de maatgevende belastingsituatie voor de maximale draagcapaciteit (UGT-PF en UGT-GRF2) van de boogconstructie van KNG [REDACTED]. Echter hoeft dit niet voor elke andere kelderconstructie het geval te zijn.

Het positioneren van de verkeersbelasting ten hoogte van de wanden of net achter de wand/kelder is zowel voor de draagkracht van de fundering op staal als voor de (trek)spanningen in de boog niet als maatgevend bevonden.

Het advies is om voor de belastingposities: positie 5 symmetrisch op de boog voor de UGT en posities 4 en 6 net uit de top van de boog voor de BGT beoordeling van de opvolgende kelders te onderzoeken. In de UGT is de drukspanning in het metselwerk kritisch bevonden en voor BGT te trekspanning in het metselwerk. Hierbij zal steeds gecontroleerd moeten worden welke situatie de hoogste spanningen/vervormingen in de boog veroorzaken; het tweede laststelsel links/rechts of op grote afstand van het eerste laststelsel.

Bijlage

1. D-Foundation bepalen draagvermogen fundering op staal $\phi'=30^\circ$
2. D-Foundation bepalen draagvermogen fundering op staal $\phi'=32,5^\circ$

Rapport voor D-Foundations 19.1

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



Bedrijfsnaam: Royal HaskoningDHV

Datum van rapport: 2-4-2021

Tijd van rapport: 10:57:58

Rapport met versie: 19.1.1.23780

Datum van berekening: 2-4-2021

Tijd van berekening: 10:57:49

Berekend met versie: 19.1.1.23780

Bestandsnaam: C:\..\KNG Werfkelder draagvermogen_phi30

Projectbeschrijving: Toetsing landhoofd kelder KNG
Utrecht Werfkelder
D-Foundations KNG 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	4
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	5
2.11 Opgegeven Parameters	6
2.12 Model Opties	6
3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing	7
3.1 Toetsing Grenstoestand EQU	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 STR/GEO	7
3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand STR/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 KNG
Titel 2 : Utrecht Werfkelder
Titel 3 : D-Foundations KNG 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.

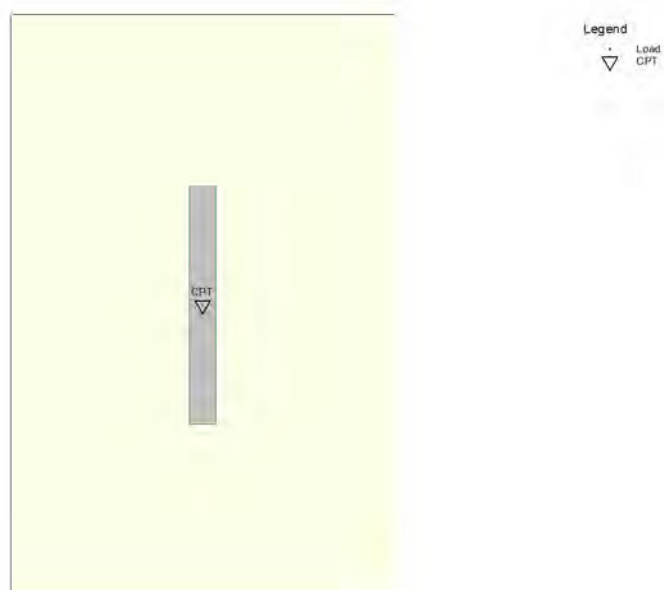
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek : Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen : 1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



Naam sondering	X-coor- dinaat [m]	Y-coor- dinaat [m]
CPT	0,00	0,00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel CPT

Behorende bij sondering

Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :

Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :

Funderingsniveau in [m t.o.v. R.N.] =

Concentratiegetal van Frohlich [-] =

Aantal lagen in profiel :

CPT

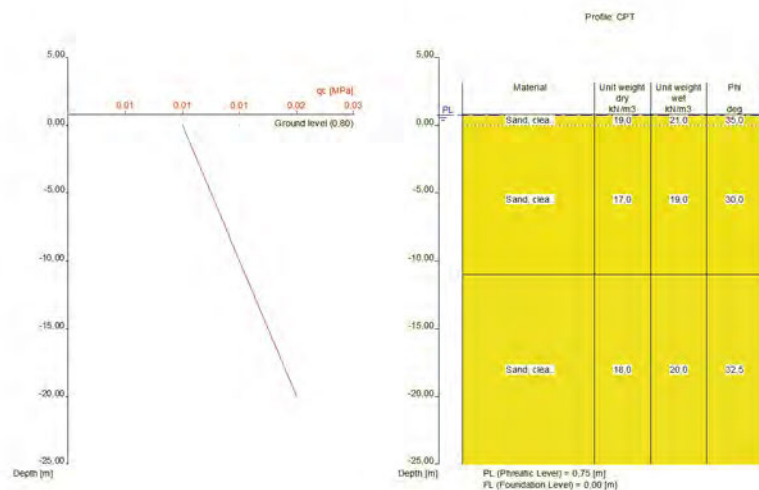
0,80

0,75

0,00

3

3



Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	Gamma [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Phi [deg]	Cohesie [kPa]	f _{undr} [kPa]	Cc [-]	Ca [-]
1	0,800	19,00	21,00	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,000	17,00	19,00	30,00	0,00	0,00	0,01	0,00
3	-11,000	18,00	20,00	32,50	0,00	0,00	0,00	0,00

Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e ₀ [-]	Grond- soort
1	0,800	0,26	Zand
2	0,000	0,26	Zand
3	-11,000	0,26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Rect 760x6800	Rechthoekige poer	0,76	6,80	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 760x6800	CPT ...	Load (1)	None

2.9 Belastingsgegevens

2.9.1 Verticale belastingen

Belastings- geval	GT EQU/STR/GEO			BGT		
	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]
Load (1)	0,00	0,00	706,20	0,00	0,00	642,00

2.9.2 Horizontale belastingen

Belastings- geval	GT EQU/STR/GEO		BGT		Kappa [deg]
	eH [m]	Hd [kN]	eH [m]	Hd [kN]	
Load (1)	0,00	0,00	0,00	0,00	90,00

2.10 Eisen

Grenstoestand STR/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 EQU

Eis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.8: $E_d \leq C_d$.

3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Berekeningsgeval	Vd [kN]	Rd [kN]	Rd (Squeeze) [kN]	Ftrek [kN]	Resultaat toetsing
1	GEEN					

- voor de toetsing is de hoogste waarde van Rd aangehouden!

-Ftrek ($0.5 \cdot b' \cdot c_u$;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	Berekeningsgeval	Vd [kN]	Rd [kN]	Vd (Pons) [kN]	Rd (Pons) [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval B	706,20	692,83	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]	Φ_i^d [deg]	Kantelstabiliteit	Totale stabiliteit
1	6,80	0,76	26,66	VOLDOET	VOLDOET

3.2 Toetsing Grenstoestand STR/GEO

Zakkingseis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.9: $S_d \leq S_{req}$. $S_{req} = 0,150$ [m] $S_d = s_1; d + s_2; d$

3.2.1 Zakkingencontrolle Grenstoestand STR/GEO

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0,031	0,032	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 98 % 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: $S_d \leq S_{req}$.

Voor woningen en woongebouwen geldt : $S_{req} = 0.05$ m. Voor overige typen bovenbouw geldt deze eis eveneens tenzij er een nadere zakkingseis is gedefinieerd.

$S_{eq} = 0,150$ $S_d = s1;d + s2;d$

3.3.1 Zakkingencontrole van de Bruikbaarheidsgrenstoestand

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0,021	0,022	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 98 % 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 STR/GEO bedraagt 0,031 meter en is gevonden bij funderingselement 1

De maximale zakking in de Bruikbaarheidsgrenstoestand bedraagt 0,021 meter en is gevonden bij funderingselement 1

Einde Rapport

Rapport voor D-Foundations 19.1

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



Bedrijfsnaam: Royal HaskoningDHV

Datum van rapport: 2-4-2021

Tijd van rapport: 10:56:39

Rapport met versie: 19.1.1.23780

Datum van berekening: 24-3-2021

Tijd van berekening: 10:24:40

Berekend met versie: 19.1.1.23780

Bestandsnaam: C:\..\KNG Werfkelder draagvermogen_phi32,5

Projectbeschrijving: Toetsing landhoofd kelder KNG
Utrecht Werfkelder
D-Foundations KNG 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	4
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	5
2.11 Opgegeven Parameters	6
2.12 Model Opties	6
3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing	7
3.1 Toetsing Grenstoestand EQU	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 STR/GEO	7
3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand STR/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 KNG

Titel 2 :

Utrecht Werfkelder

Titel 3 :

D-Foundations KNG 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.

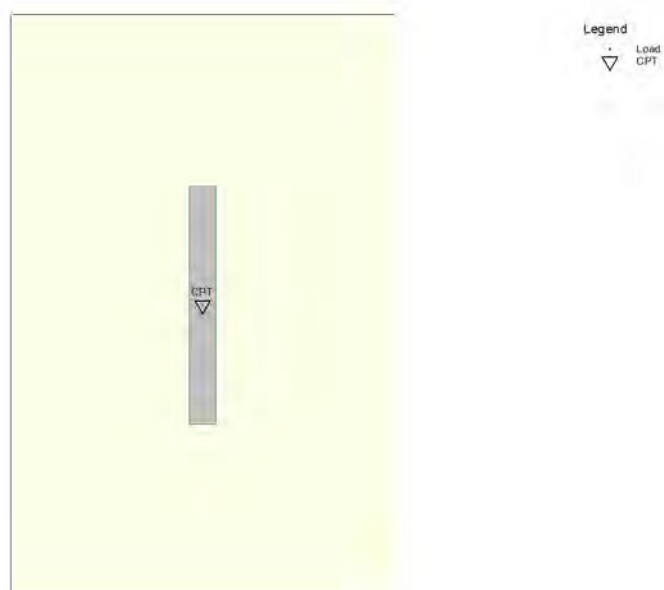
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek : Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen : 1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



Naam sondering	X-coor- dinaat [m]	Y-coor- dinaat [m]
CPT	0,00	0,00

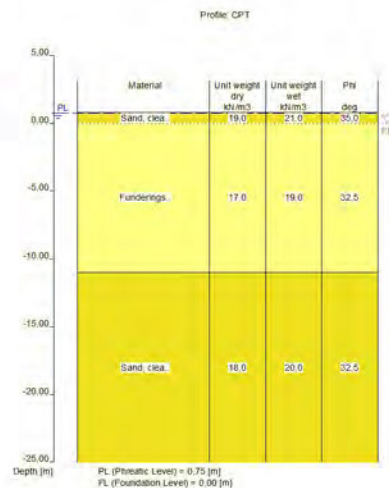
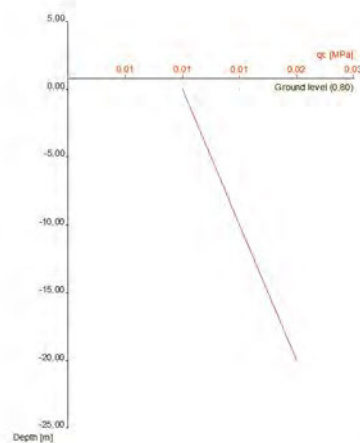
2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel CPT

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

CPT
0,80
0,75
0,00
3
3



Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	Gamma [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Phi [deg]	Cohesie [kPa]	f _{undr} [kPa]	Cc [-]	Ca [-]
1	0,800	19,00	21,00	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,000	17,00	19,00	32,50	0,00	0,00	0,01	0,00
3	-11,000	18,00	20,00	32,50	0,00	0,00	0,00	0,00

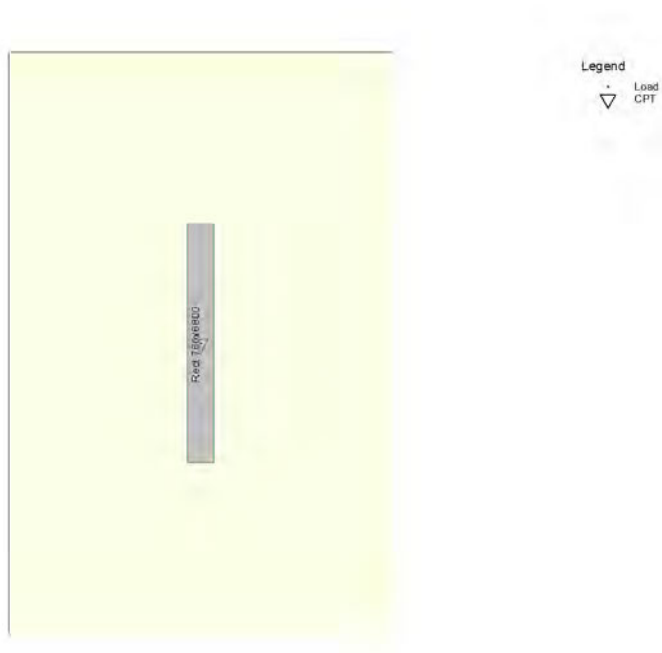
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e ₀ [-]	Grond-soort
1	0,800	0,26	Zand
2	0,000	0,26	Zand
3	-11,000	0,26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Rect 760x6800	Rechthoekige poer	0,76	6,80	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 760x6800	CPT ...	Load (1)	None

2.9 Belastingsgegevens

2.9.1 Verticale belastingen

Belastings-geval	GT EQU/STR/GEO			BGT		
	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]
Load (1)	0,00	0,00	706,20	0,00	0,00	642,00

2.9.2 Horizontale belastingen

Belastings-geval	GT EQU/STR/GEO		BGT		Kappa [deg]
	eH [m]	Hd [kN]	eH [m]	Hd [kN]	
Load (1)	0,00	0,00	0,00	0,00	90,00

2.10 Eisen

Grenstoestand STR/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 EQU

Eis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.8: $E_d \leq C_d$.

3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Berekeningsgeval	Vd [kN]	Rd [kN]	Rd (Squeeze) [kN]	Ftrek [kN]	Resultaat toetsing
1	GEEN					

- voor de toetsing is de hoogste waarde van Rd aangehouden!

-Ftrek ($0.5 \cdot b' \cdot c_u$;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	Berekeningsgeval	Vd [kN]	Rd [kN]	Vd (Pons) [kN]	Rd (Pons) [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval B	706,20	922,80	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]	Φ_i^d [deg]	Kantelstabiliteit	Totale stabiliteit
1	6,80	0,76	28,99	VOLDOET	VOLDOET

3.2 Toetsing Grenstoestand STR/GEO

Zakkingseis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.9: $S_d \leq S_{req}$. $S_{req} = 0,150$ [m] $S_d = s_1; d + s_2; d$

3.2.1 Zakkingscontrole Grenstoestand STR/GEO

Fund. elem. naam	s1 (20%) [m]	s1;gd (5%) [m]	s2 [m]	Resultaat toetsing (20%)	Resultaat toetsing (5%)
1	0,031	0,032	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 98 % 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: $S_d \leq S_{req}$.

Voor woningen en woongebouwen geldt : $S_{req} = 0.05$ m. Voor overige typen bovenbouw geldt deze eis eveneens tenzij er een nadere zakkingseis is gedefinieerd.

$S_{eq} = 0,150$ $S_d = s1;d + s2;d$

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	0,021	0,022	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 98 % 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 STR/GEO bedraagt 0,031 meter en is gevonden bij funderingselement 1

De maximale zakking in de Bruikbaarheidsgrenstoestand bedraagt 0,021 meter en is gevonden bij funderingselement 1

Einde Rapport

**A2 Rapportage inspectie en onderzoek KNG [REDACTED], 18 januari 2021
door Witteveen+Bos**



Kluiskelders Utrecht: Kromme Nieuwegracht

Rapportage inspectie en onderzoek KNG

Gemeente Utrecht

18 januari 2021

Project Kluisvelders Utrecht: Kromme Nieuwegracht ■
Opdrachtgever Gemeente Utrecht

Document Rapportage inspectie en onderzoek KNG ■
Status Definitief
Datum 18 januari 2021
Referentie 122608/21-000.779

Projectcode 122608
Projectleider ■
Projectdirecteur ■

Auteur(s) ■
Gecontroleerd door ■
Goedgekeurd door ■

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	9
3.1	Inspectieresultaten	9
4	RESULTATEN ONDERZOEKEN	16
4.1	Uitgevoerde onderzoeken	16
4.2	Graven van de proefsleuf (WK-7)	16
4.3	Inmetingen bovenzijde (WK-7, WK-8 en WK-13)	17
4.4	Inmetingen binnenzijde (WK-14)	17
4.5	Boorkernen (WK-9 en WK-10)	18
	Laatste pagina	20
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Inspectietekeningen	2
II	Inmeting profiel bovenzijde	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 kluis-kelder aan de Kromme Nieuwegracht [REDACTED] te Utrecht. Als basis voor de werkzaamheden is vooraf een inspectie- en onderzoeksplan opgesteld 'Inspectie- en onderzoeksplan t.b.v. Onderzoek draagkracht 2 kluis-kelders: KNG [REDACTED] & [REDACTED] ref. 122608/20-017.794 van 23 november 2020. Aan dit document zal verder dit plan als 'REF1' worden gerefereerd.

De werkzaamheden beschreven in deze rapportage zijn gelijktijdig uitgevoerd met die aan de nabijgelegen kluis-kelder op nr. [REDACTED].

1.2 Doel van de inspecties en onderzoeken

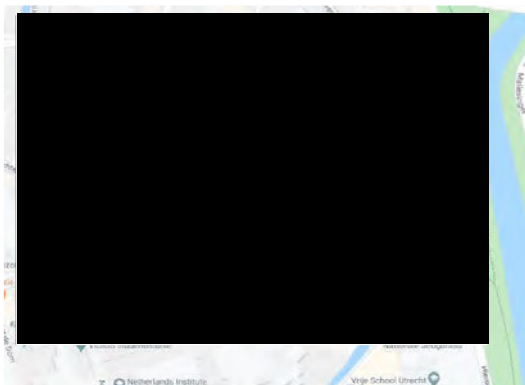
Deze rapportage is opgesteld met als afgeleide doelstelling:

- vastleggen van de inspectieresultaten, specifiek gericht op de constructieve- en onderhoudsstaat;
- het uitvoeren van (non)destructieve onderzoeken en verificaties.

1.3 Locatiegegevens

Het object is gelegen aan de Kromme Nieuwegracht [REDACTED] te Utrecht, zie afbeelding 1.1. De kelder is opgebouwd uit twee kelders, deze zullen t.b.v. de herberekeningen worden geïnspecteerd.

Afbeelding 1.1 Locatie kelder Kromme Nieuwegracht [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 hier in benoemd;
- in hoofdstuk 3 staan de uitgevoerde inspecties uitgewerkt;
- hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de diverse onderzoeken, inclusief de uitkomsten en resultaten.

2

WERKZAAMHEDEN

2.1 Vastgestelde werkzaamheden

In het vooraf opgestelde inspectie- en onderzoeksplan (REF1) is de benodigde scope t.b.v. 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) 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 KNC

Nr.	Werkzaamheden/actie	Uitgevoerd?	Bijzonderheden t.a.v. uitvoering
WK-1	Visuele inspectie BINNENZIJDE	Ja	Geen.
WK-2	Visuele inspectie BUITENZIJDE	Ja	Vanuit de deuopening en vanaf de naastgelegen bruggen. Er is een goed beeld ontstaan over de staat, gebreken en opbouw van het metselwerk aan de buitenzijde.
WK-3	Controle metselwerk, letten op dilataties, overgang type constructies, etc. BINNENZIJDE	Ja	Geen.
WK-4	Controle metselwerk, letten op dilataties, overgang type constructies, etc. BUITENZIJDE	Ja	Vanuit de deuopening en vanaf de naastgelegen bruggen. Er is een goed beeld ontstaan over de staat, gebreken en opbouw van het metselwerk aan de buitenzijde.
WK-5	Controle metselwerk op uitbreidingen/aanpassingen uit verleden BINNENZIJDE	Ja	Geen.
WK-6	Controle metselwerk op uitbreidingen/aanpassingen uit verleden BUITENZIJDE	Ja	Vanuit de deuopening en vanaf de naastgelegen bruggen. Er is een goed beeld ontstaan over de staat, gebreken en opbouw van het metselwerk aan de buitenzijde.

Nr.	Werkzaamheden/actie	Uitgevoerd?	Bijzonderheden t.a.v. uitvoering
WK-7	Graven proefsleuven en controleren geometrie en vorm bovenzijde kelder, eveneens inmeten profiel	Ja	Geen.
WK-8	In beeld brengen grondopbouw	Ja	Uitgevoerd doormiddel van landmetingen.
WK-9	Boorkernen t.b.v. bepaling dikte toog en opbouw metselwerk vanaf bovenzijde	Ja	Uitgevoerd aan bovenzijde kelder [REDACTED].
WK-10	Boorkernen nemen t.b.v. bepalen dikte afwerklaag buitenzijde kelder	Ja	Geen.
WK-11	Bepalen koppeling naastgelegen toog (nr. [REDACTED] om boring in wanden te voorkomen.	Nee	Aan de bovenzijde is niet vastgesteld hoe deze aansluiting aanwezig is. Dit i.v.m. de aanwezige L-wand, inclusief waterdicht membraam die doorloopt over beide kelders. De wand liep door boven het deel tussen beide kelders in. Zie paragraaf 2.3 voor meer info.
WK-12	Bepalen opbouw keldervloer d.m.v. visuele inspectie en afkloppen.	Nee	Na visuele inspectie in samenspraak met de constructeur bepaald geen nader onderzoek (boringen, stenen verwijderen) uit te voeren i.v.m. zeer wisselende samenstelling.
WK-13	Tachimetrische inmeting t.b.v. hoogteligging en verloop bovenzijde toogconstructie en drempel doorgang in kluiswand	Ja	Geen.
WK-14	Contouren inmeten binnenzijde d.m.v. 3D-laserscan en vastleggen hoogte drempel t.p.v. doorgang kluiswand	Ja	Geen.

2.3 Afwijkingen t.o.v. 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 t.o.v. inspectieplan KNC [REDACTED]

Nr.	Werkzaamheden/actie	Toelichting/onderbouwing
WK-11	Bepalen koppeling naastgelegen toog (nr. [REDACTED] om boring in wanden te voorkomen.	Door de aanwezigheid van een betonnen L-wand aan de bovenzijde ter hoogte van deze aansluiting en de aanwezigheid van diverse (hemel)waterafvoeren, is geen boring mogelijk geweest. Het vermoeden is, ook vanuit de betrokken aannemer die veel ervaring hebben met dergelijke constructies, is daarom ook dat de geboortes van beide gewelven tegen elkaar aan zijn geplaatst, zonder tussenliggend puin/metselwerk. Vanuit de gemaakte 3D scans is op te maken uit de maatvoering dat het niet waarschijnlijk is dat er ruimte zit tussen de twee kelders. Zie hoofdstuk 4.
WK-12	Bepalen opbouw keldervloer d.m.v. visuele inspectie en afkloppen.	Na visuele inspectie in samenspraak met de constructeur bepaald geen nader onderzoek (boringen, stenen verwijderen) uit te voeren i.v.m. zeer wisselende samenstelling. Er was een zandachtige ondergrond zichtbaar.

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 schade 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.

De kelder van nr. ■■■ bestaat uit twee separate kelders.

Tabel 3.1 Uitwerking resultaten inspectie en onderzoek

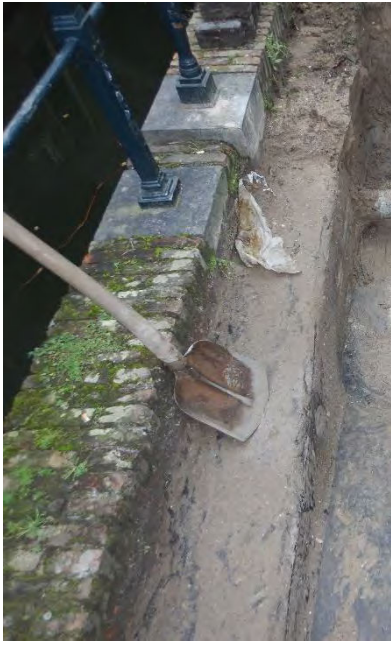
Inspectie Nr.	Nr. onderzoeksplan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
01	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder ■■■	De eerste kelder (waar men binnenkomst) betreft kelder ■■■. De kelder bestaat uit één ruimte, zonder tussenwanden.	
02	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder ■■■	De tweede kelder betreft kelder ■■■. Deze kelder is te bereiken via een doorgang vanuit de naastgelegen kelder ■■■. De kelder bestaat uit meerdere ruimten, gescheiden door metselwerk tussenwanden (langsribben). De langsribben zijn duidelijk in een latere periode onder de boog opgemetseld. De stenen hebben niet hetzelfde formaat als van de kelderconstructie en de langsribben lijken boven op de keldervloer aangebracht te zijn.	

Inspectie Nr.	Nr. onderzoeksplan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
03	WK-1, WK-12	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED], vloer	De vloer is in slechte staat (qua samenstelling) en opgebouwd uit verschillende typen tegels/steen. Ook ontbreekt er een deel van de vloer. Er is zand en (reparatie)mortel zichtbaar op de locaties waar de stenen ontbreken.	
04	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED], onderzijde metselwerk	De algehele staat van de binnenzijde van kelder [REDACTED] is goed. Het metselwerk is droog. Er is op een groot deel van de onderzijde nog een afwerklaag aanwezig. Deze is in slechte staat, circa 75 % is verdwenen.	
05	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED], onderzijde toog	Er is een gerepareerde scheur aanwezig aan de onderzijde. Deze loopt van de doorgang naar kelder [REDACTED] tot aan de vloer aan de andere zijde van de kelder. De reparatie is deels opnieuw gaan scheuren.	

Inspectie Nr.	Nr. onderzoeksplan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
				
06	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED], tussenwanden	De tussenwanden (langsribben) van metselwerk in kelder [REDACTED], zijn in slechte staat. Het metselwerk is op diverse locaties beschadigd en vochtig. Er is tevens een afwerklaag aanwezig die loslaat en poreus is. Er zijn geen scheuren zichtbaar. Er is op enkele locaties een kleine ruimte zichtbaar tussen de toog en de wand.	  

Inspectie Nr.	Nr. onderzoeksplan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
07	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED], achterwand	De achterwand, aan de zijde van de woning, is in slechte staat. Stenen zitten los of ontbreken. Er is vocht zichtbaar in met name de onderste helft van de wand. Er loopt onder kelder [REDACTED] ook een soort van watergoot onder de kelder door. Dit kan een mogelijke reden zijn waardoor er aan deze zijde meer sprake is van optrekkend vocht. Het is niet duidelijk of deze wand is verbonden met de wand van de kelder onder de woning. Aan de andere zijde, in de kelder onder de woning, is geen vergelijkbaar beeld te zien. Het metselwerk van de wand haaks op de toog (wand t.p.v. aansluiting woning) is niet ingetand Bij de andere wanden is het niet vast te stellen of deze wel of niet zijn verbonden met de toog. De reden is dat er geen ruimte zichtbaar is ter plaatse van de aansluiting wanden op toog en er veel pleisterwerk aanwezig is wat het zicht wegneemt.	
08	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED]	Er is een rioolput aangebracht in de kelder, in 2007.	
09	WK-1	Binnenzijde van de kelder, overgang kelder [REDACTED] naar [REDACTED]	Er is scheurvorming aanwezig aan de binnenzijde van de doorgang tussen beide kelders.	

Inspectie Nr.	Nr. onderzoeksplan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
10	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED]	De algehele staat van kelder [REDACTED] is slecht. Het metselwerk, inclusief de aanwezige afwerklaag, vertonen diverse schades, zijn poreus en vochtig. Een groot deel van de afwerklaag laat tevens los. Er is hier dan ook niet afgeklopt i.v.m. veiligheid. De samenhang tussen de stenen is nog wel aanwezig, al is een deel van de stenen wel slecht. Dat wil zeggen; zacht, afgebrokkeld, witte aanslag, poreus, vochtig, etc. Ook lijkt er sprake van optrekkend vocht t.p.v. het 'landhoofd' (wand) aan de meest westelijke zijde. Hier is duidelijk het niveau te zien tot waar het vocht optrekt doordat boven dit niveau de witte uitslag toeneemt.	
11	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED]	Er zijn diverse reparaties aanwezig, verspreid over de gehele onderzijde van de toog.	
12	WK-2	Buitenzijde van de kelder, metselwerk	Het metselwerk aan de buitenzijde van de kelder is in redelijke staat. Er is wel mosgroei en groene aanslag aanwezig.	

Inspectie Nr.	Nr. onderzoeksplan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
13	WK-2	Buitenzijde van de kelder, vlonder	Er is een houten vlonder aanwezig aan de buitenzijde van de kelder. Deze is te bereiken via kelder [REDACTED] De vlonder is in goede staat.	
14	WK-1	Binnenzijde van de kelder, kelder [REDACTED]	Er is een doorvoer aanwezig in de toog. Deze is licht gecorrodeerd. Er zijn geen scheuren of andere schade's waarneembaar.	
15	WK-2	Buitenzijde, bovenzijde kelder	Er is een betonnen L-wand aanwezig aan de bovenzijde van de toog. De breedte is circa 360mm.	

Inspectie Nr.	Nr. onderzoeksplan	Locatie	Bevinding(en)	Foto(s)
16	WK-2	Buitenzijde, bovenzijde kelder	Er zijn geen gebreken waarneembaar aan de bovenzijde. Dit komt door de afwerking aan de bovenzijde van beide togen. Er zijn geen zettingen of dergelijke aanwezig.	
17	WK-2	Buitenzijde, bovenzijde kelder, afwerking	De toog is aan de bovenzijde afgewerkt doormiddel van een bitumineuze laag en een soort geotextiel (vezeldoek). Deze zijn om-en-om aangebracht. Dit is in 1998 gebeurd. De laag is circa 5-10mm dik. De staat is goed, er zijn geen lekkages/gebreken zichtbaar.	
18	WK-4	Binnen- en bovenzijde, overgang, dilataties	Er zijn geen dilataties tussen de aaneengeschakelde kelders gevonden. Dus niet tussen KNC [REDACTED] en KNC [REDACTED] en niet tussen KNC [REDACTED] en KNC [REDACTED].	

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 onderzoeken KNC

Nr.	Werkzaamheden/actie	Uitgevoerd?	Bijzonderheden t.a.v. uitvoering
WK-7	Graven proefsleuven en controleren geometrie en vorm bovenzijde kelder, eveneens inmeten profiel	Ja	Geen
WK-8	In beeld brengen grondopbouw	Ja	Geen
WK-9	Boorkernen t.b.v. bepaling dikte toog en opbouw metselwerk vanaf bovenzijde	Ja	Uitgevoerd aan bovenzijde kelder
WK-10	Boorkernen nemen t.b.v. bepalen dikte afwerklaag buitenzijde kelder	Ja	Geen
WK-13	Tachimetrische inmeting t.b.v. hoogteligging en verloop bovenzijde toogconstructie en drempel doorgang in kluiswand	Ja	Geen
WK-14	Contouren inmeten binnenzijde d.m.v. 3D-laserscan en vastleggen hoogte drempel t.p.v. doorgang kluiswand	Ja	Geen

4.2 Graven van de proefsleuf (WK-7)

Er is door Gebr. De Leeuw een proefsleuf gegraven 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.

Het vrijgraven is verder zonder problemen verlopen.

4.3 Inmetingen bovenzijde (WK-7, WK-8 en WK-13)

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.

De grond bestaat uit zand en heeft een dikte van circa 100mm. Daarbovenop is een laag straatstenen (klinkers) aanwezig van eveneens circa 100mm.

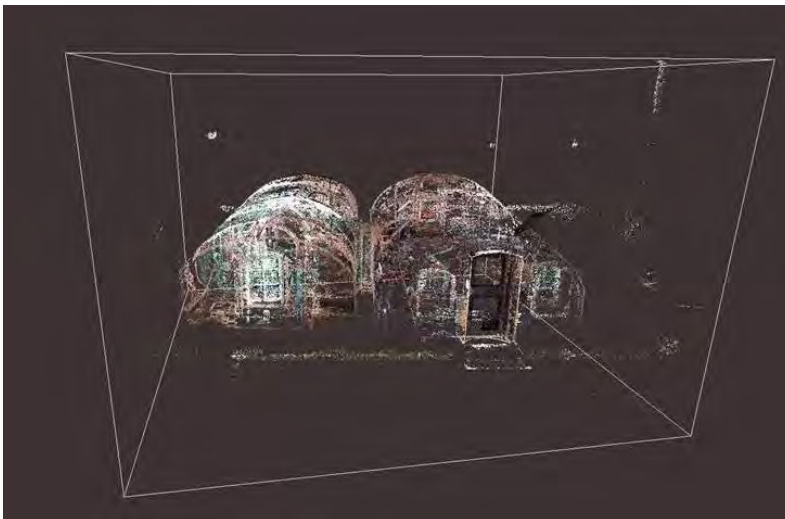
Er zijn in totaal twee profielen aan de bovenzijde ingemeten. Ook is er een meting gedaan om de 3D-scan te kunnen koppelen aan de overige inmetingen.

De profielmetingen zijn bijgevoegd onder bijlage II.

4.4 Inmetingen binnenzijde (WK-14)

Aan de 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. Zie afbeelding 4.1.

Afbeelding 4.1 3D laserscan binnenzijde kelder KNG



De gegevens zijn aangeleverd als zogenaamde 'pointcloud' en vormen input voor de berekeningen.

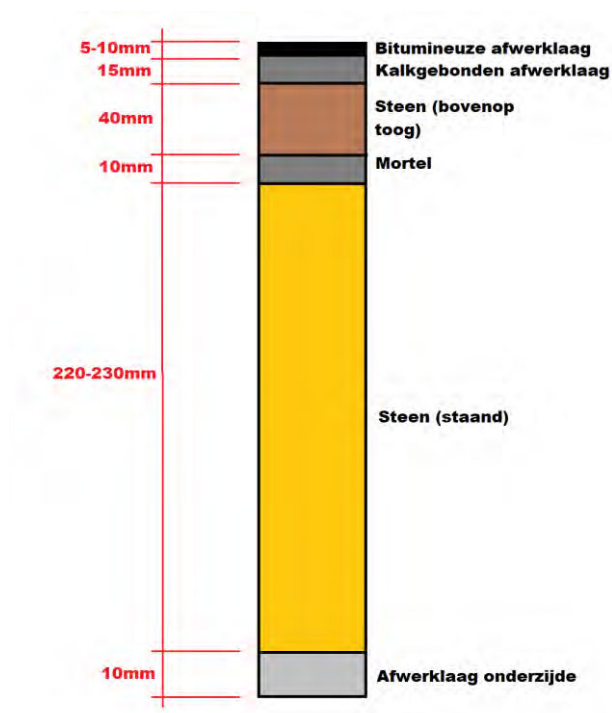
Ruimte tussen beide kelders

Er is geen destructief onderzoek uitgevoerd naar de ruimte tussen beide kelders om te kunnen bepalen of deze met de geboorten tegen elkaar aan zijn geplaatst. Wel is vanuit de 3D laserscan een tekening gegenereerd (zie bijlage I) waarop vanuit de maatvoering bepaald is dat de ruimte tussen beide kelders verloopt van 360mm en de 440mm. Het lijkt dus aannemelijk dat er geen ruimte zit tussen de beide kelders en dat ze inderdaad tegen elkaar aan zijn geplaatst. Hieruit blijkt dus dat beide bogen van de kelders KNG en KNG het 'landhoofd' (de wand) delen door hier op af te steunen. Hetzelfde geldt waarschijnlijk voor de bogen KNG en KNG wat overeenkomt met de archiefgegevens.

4.5 Boorkernen (WK-9 en WK-10)

Vanaf de bovenzijde zijn een tweetal boringen uitgevoerd aan de bovenzijde van kelder [REDACTED]. Eén van deze boringen is op het hoogste punt van de toog door-en-door geboord om de laagopbouw en dikte vast te stellen. De andere is geboord om te beoordelen hoe de afwerklaag is opgebouwd. Op afbeelding 4.2 is de opbouw van de kern schematisch weergegeven.

Afbeelding 4.2 Opbouw boorkern KNC [REDACTED]



Dikte constructie [REDACTED]

De boorkern laat zien dat de toog van [REDACTED] is opgebouwd uit één laag metselwerk, een rechtopstaande steen. Boven op de toog bevindt zich tevens een liggende steen die in de vorm van de toog is aangebracht. Zie afbeelding 4.3. De rechtopstaande steen heeft een lengte van 220-230mm.

Afbeelding 4.3 Boorkern metselwerk



Aan zowel de boven als onderzijde is een afwerklaag (kalk gebonden mortel) aanwezig van circa 10-15mm.

De totale dikte, inclusief afwerklagen en bitumineuze afdichting aan de bovenzijde, is 310mm.

Er is geen kern geboord uit kelder [REDACTED]. Er kan echter wel op basis van alle gegevens waaronder de tachymetrische resultaten en de pointcloud een maximale dikte van ongeveer 220mm voor KNC [REDACTED] worden bepaald. Deze bestaat dan uit een strektlengte steen (210-220mm) + 5mm tot 10mm bitumineuze afdichting aan de bovenzijde. Bovenstaand is echter niet destructief geverifieerd.

Afwerklaag

De afwerklaag aan de bovenzijde, bestaat uit een bitumineuze laag en een soort geotextiel (vezeldoek). Deze zijn om-en-om aangebracht. De dikte van deze laag is circa 10mm.

Er zijn stenen aangebracht over de gehele bovenzijde. Zie afbeelding 4.4. De dikte is circa 40mm.

Op de bovenzijde van de toog is een kalkgebonden afwerklaag aanwezig van circa 10mm dik. Er is aanvullend nog een tweede kern geboord om de opbouw te kunnen verifiëren. Deze kern is geboord tot een diepte van circa 100mm. Ook bij deze kern was het beeld identiek.

Afbeelding 4.4 Boorkern afwerklaag



Toegepaste metselwerkverbanden

Ter plaatse van de wanden is een kruisverband metselwerk toegepast en ter plaatse van de toogconstructie een koppenverband. De overgang tussen het metselwerk zit op circa 700mm vanaf de vloer.

Afbeelding 4.5 Koppenverband toog



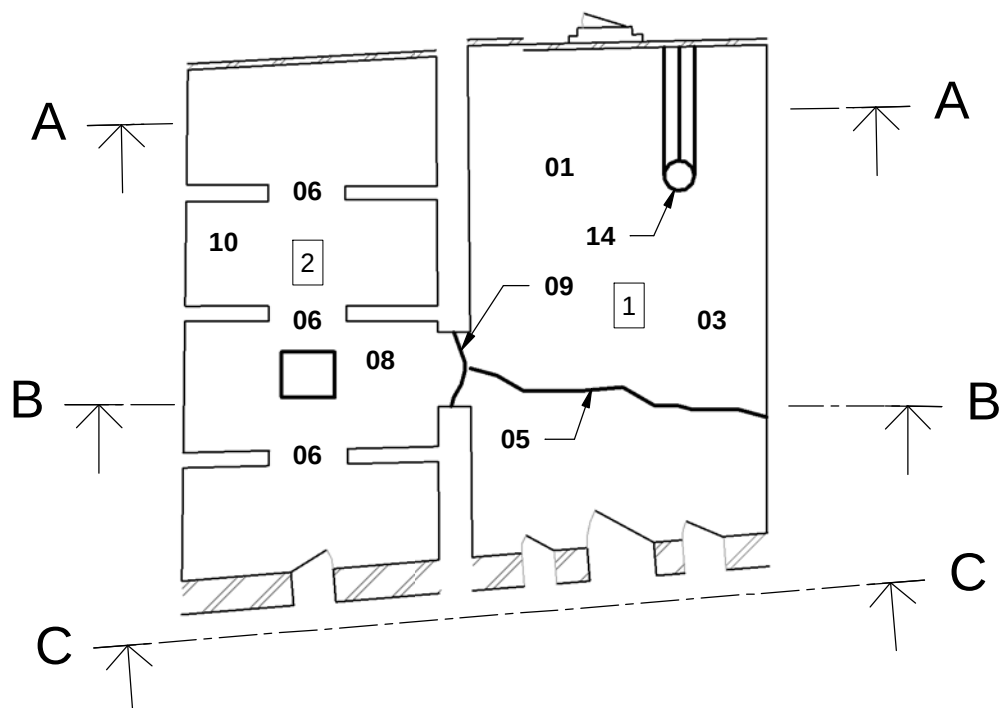
Afbeelding 4.6 Kruisverband metselwerk onderste deel van de wanden



Bijlage(n)



BIJLAGE: INSPECTIETEKENINGEN



Bovenaanzicht

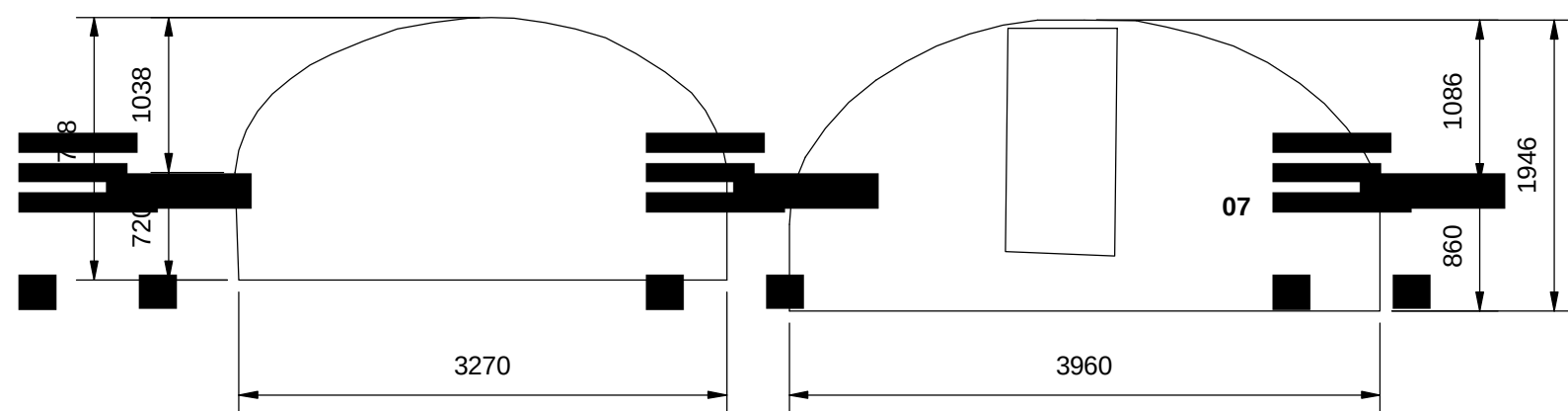
schaal: 1 : 100



Schaal 1:50

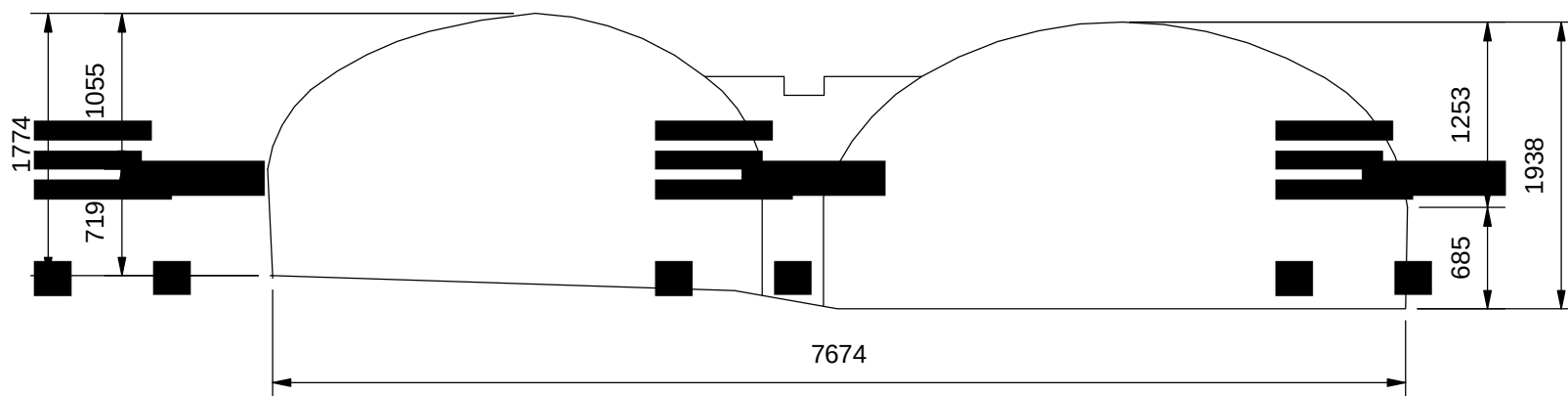


Schaal 1:100



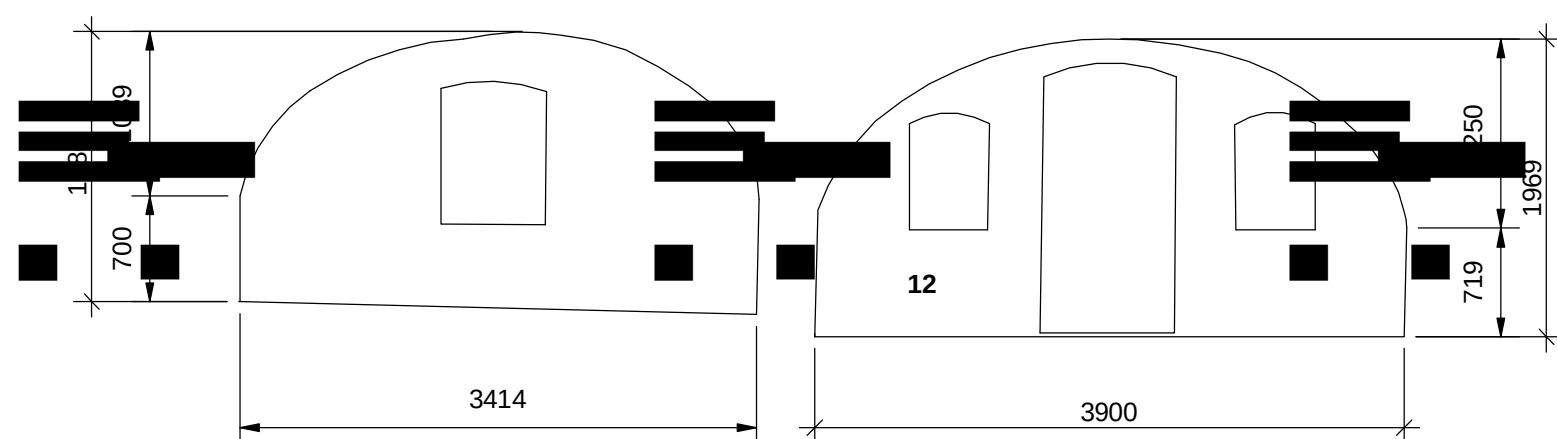
Doorsnede - A

schaal: 1 : 50



Doorsnede - B

schaal: 1 : 50



Doorsnede - C

schaal: 1 : 50



Project
Draagkracht Kelders - Utrecht
Inspectie Onderzoek
Onderdeel
Kromme Nieuwegracht - bovenaanzicht & doorsneden



Wijz. Getek.

Datum

Status

Definitief

Datum

20

Schaal

Formaat

A3

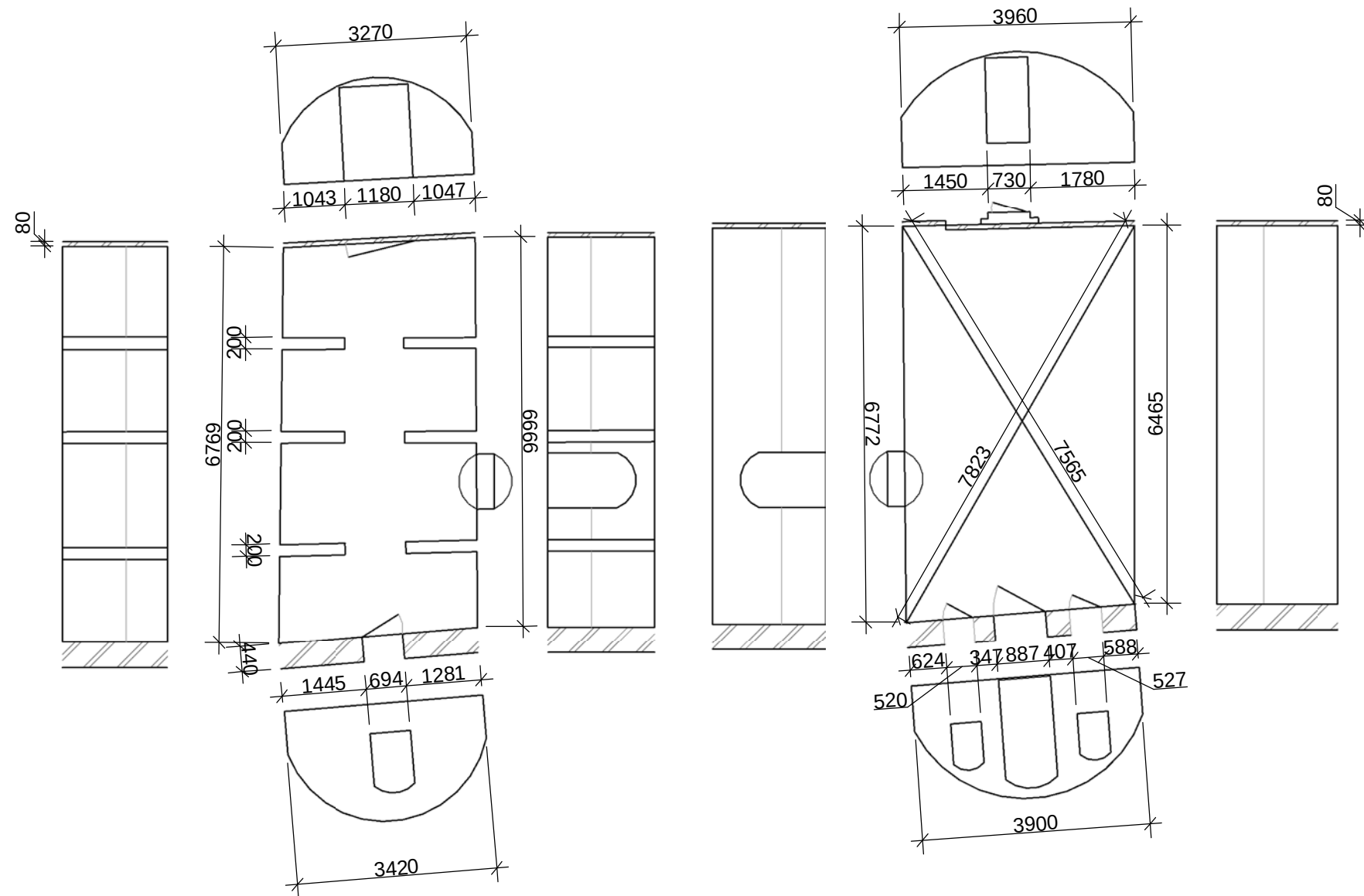
Getekend
Gecontroleerd
Goedgekeurd

Projectcode
122608



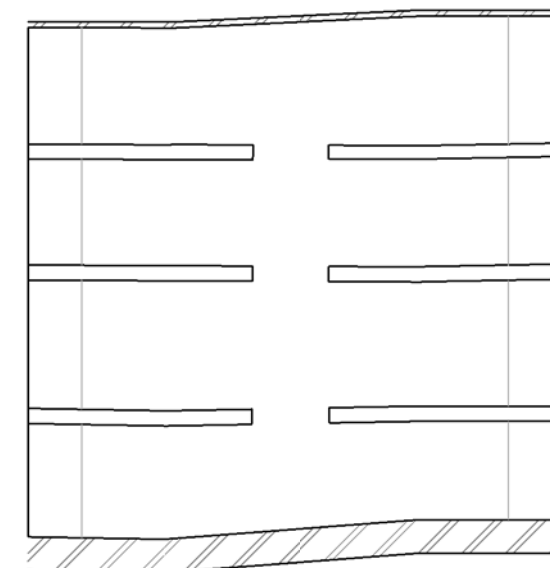
Tekeningnummer
-1001

Bladnummer
1/2



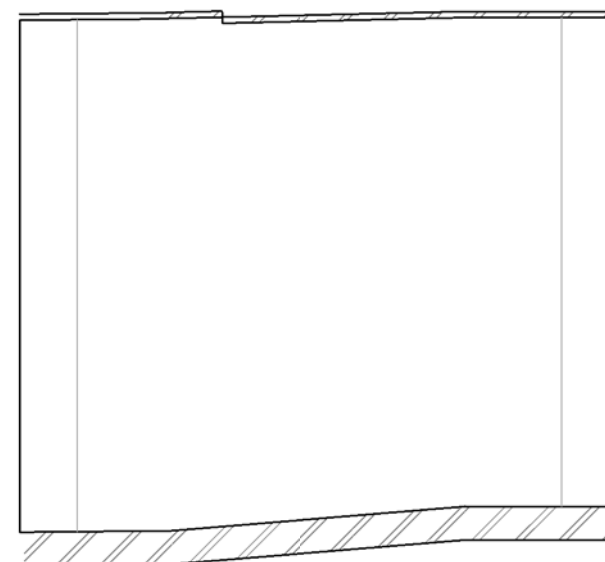
Bovenaanzicht

schaal: 1 : 100



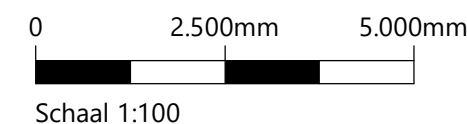
Uitslag - 2

schaal: 1 : 100



Uitslag - 1

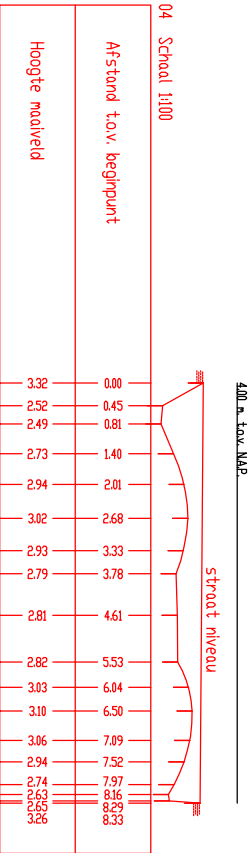
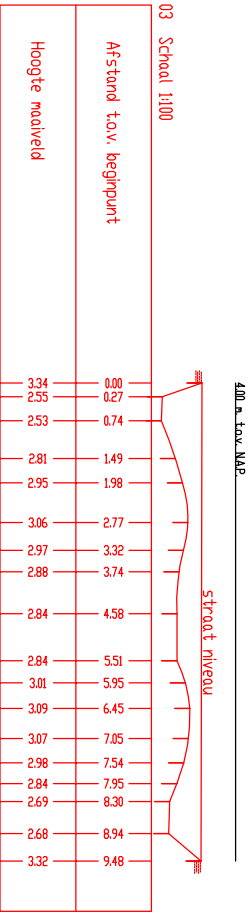
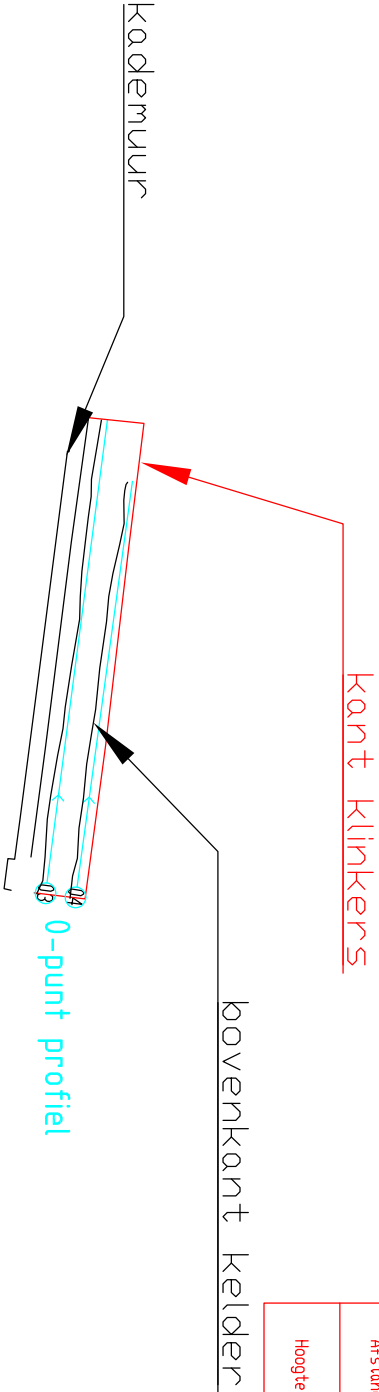
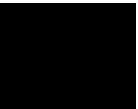
schaal: 1 : 100





BIJLAGE: INMETING PROFIEL BOVENZIJDE

Werkelder Kromme Nieuwegracht

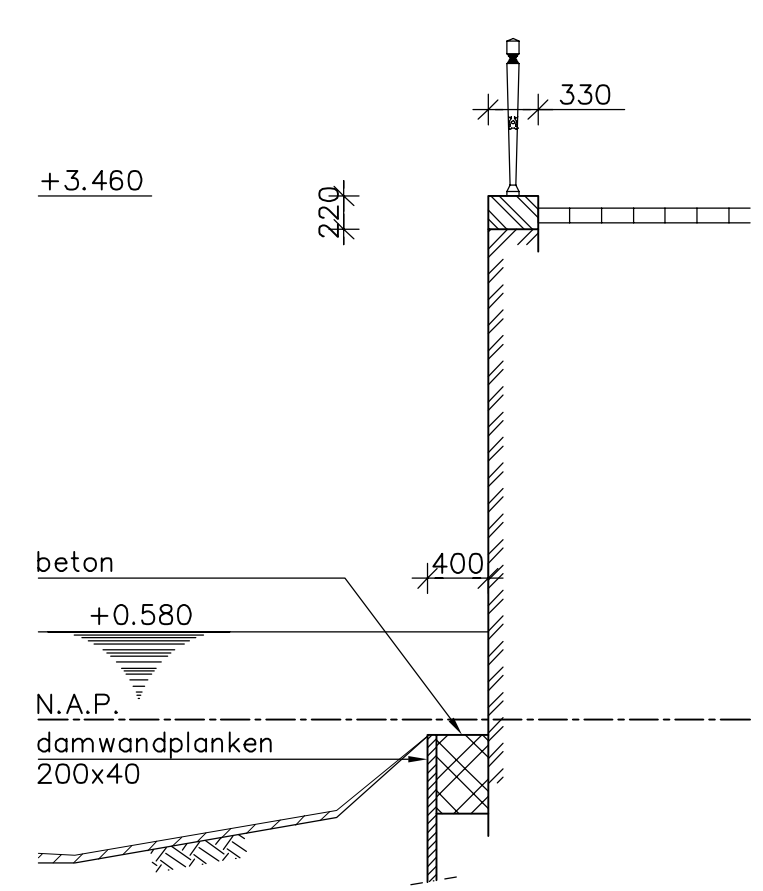
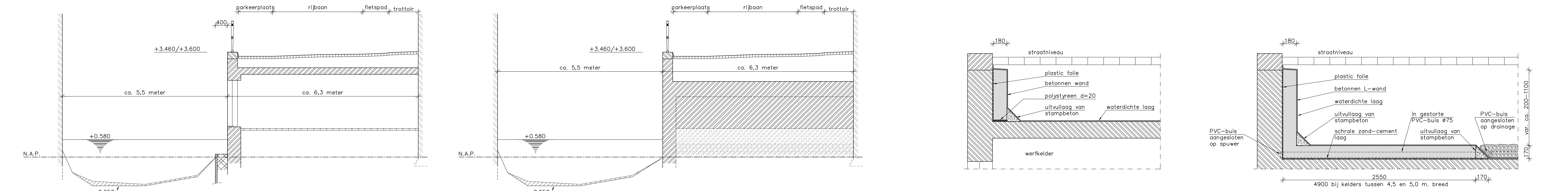
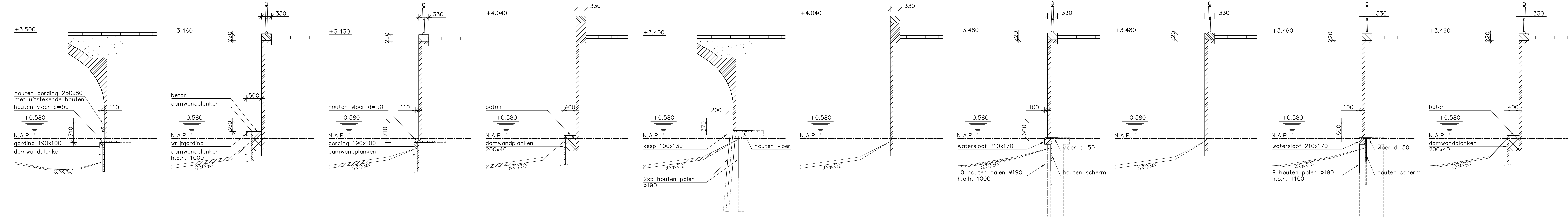
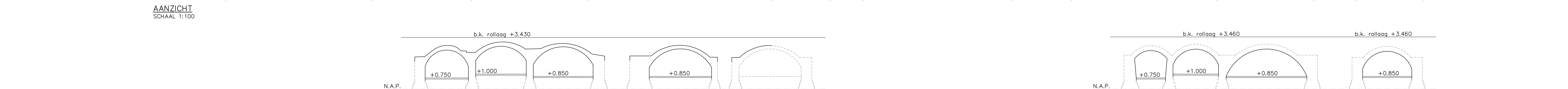
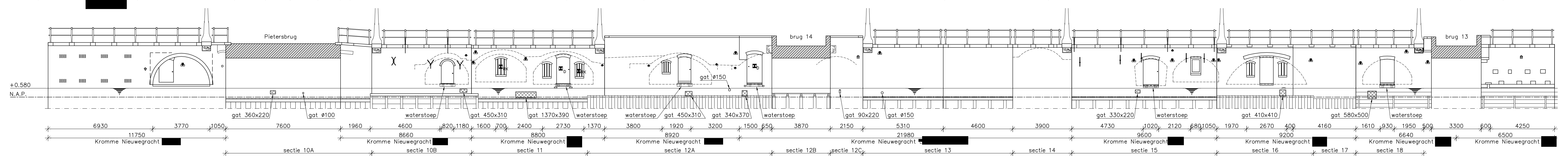
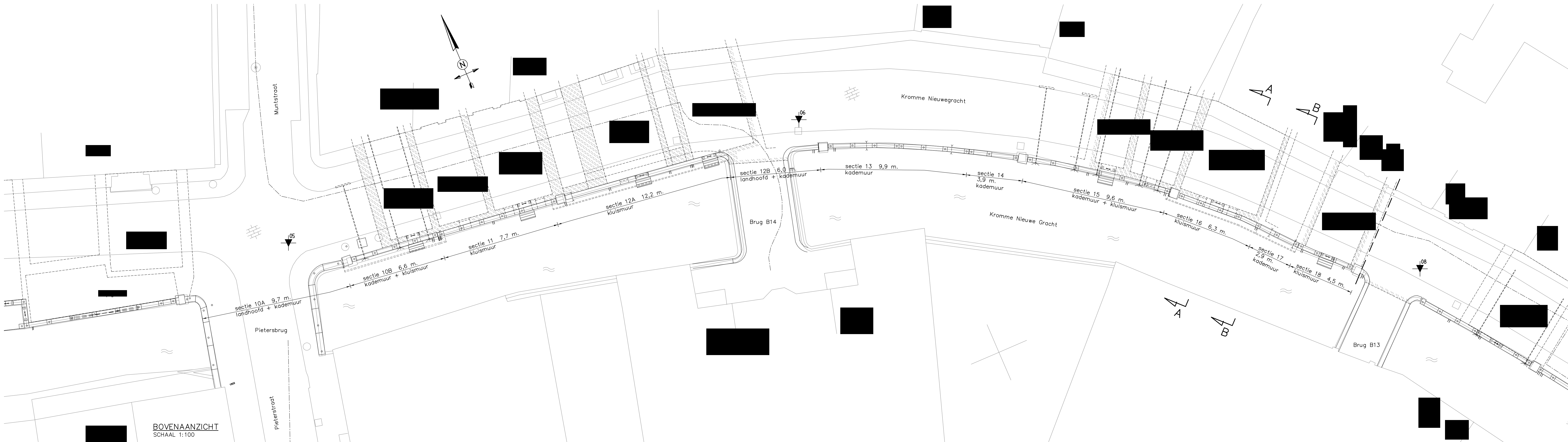


Opmachtgever
Witteveen+Bos
Project
Werkelder Kromme Nieuwegracht
Onderdeel
Inmeting bovenkant werkelder + profielen

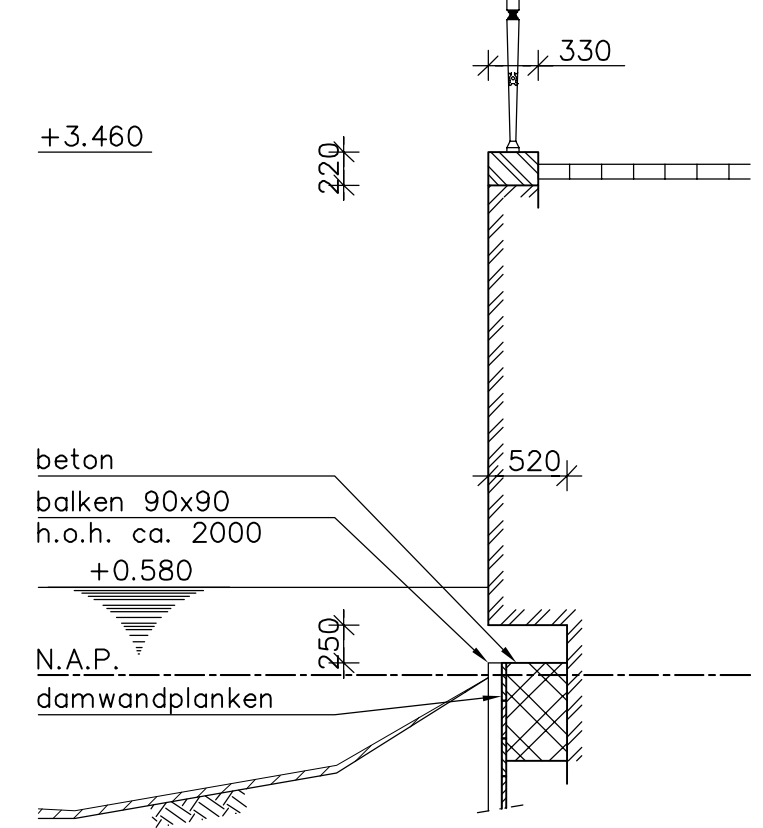
Tekeningnummer	Rev.	Bestandsnaam	Formaat	Schaal	Blad	Aantal
T001		Werkelder Utrecht 52.dwg	A3	1:150	1	1
Kantoor	Projectnummer	Besteknummer	Datum van uitgave	Gel.	Gaz.	Acc.
Lieren	G900222		08-12-2020	DKO	MdM	



**A3 Reconstructie Rak 21 Herstel wal- en kluismuren, 14-07-2017
door Stadsbedrijven Gemeente Utrecht**

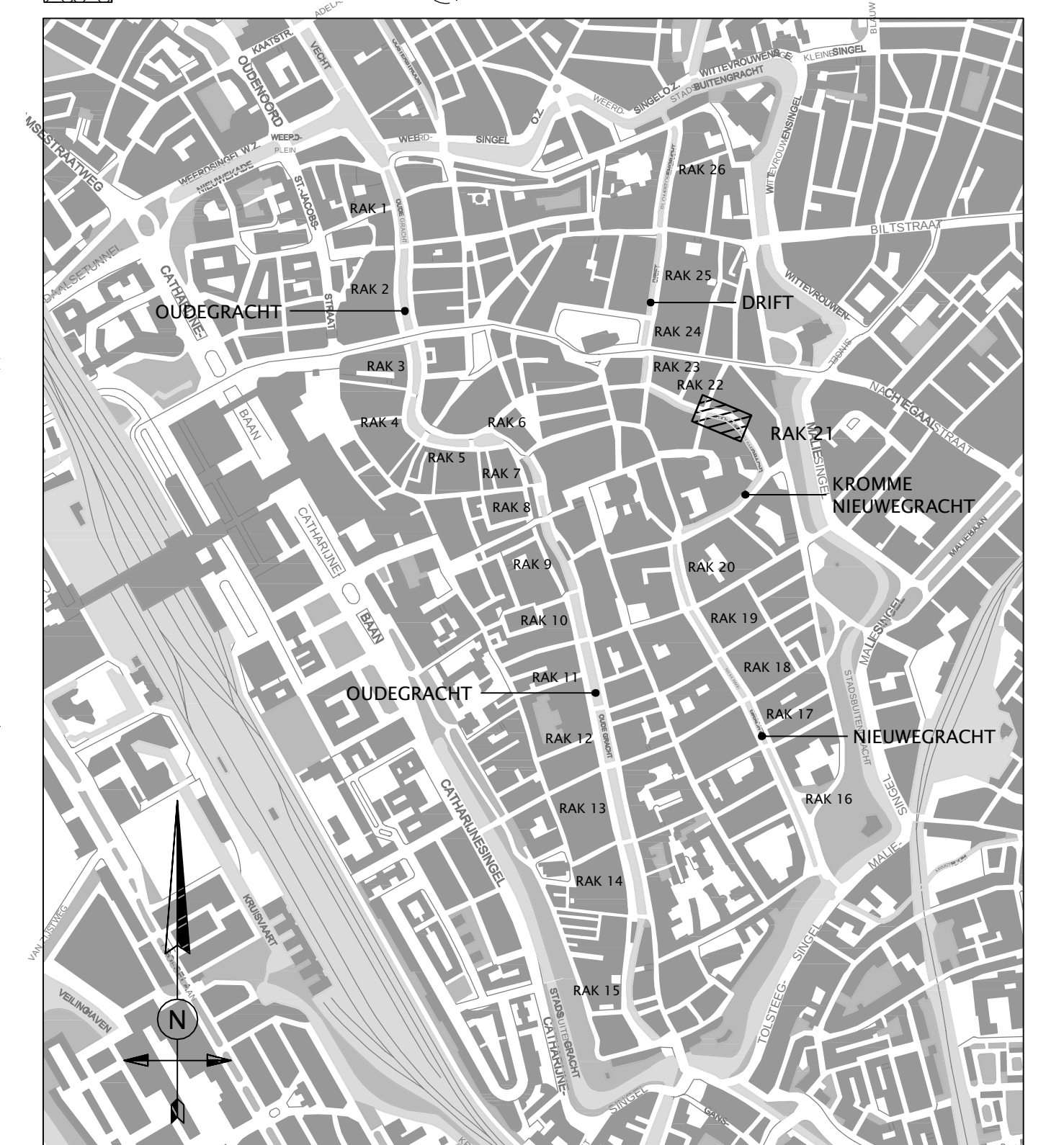


DOORSNEDE SECTIE 17
SCHAAL 1:50



DOORSNEDE SECTIE 18
SCHAAL 1:50

- OPMERKINGEN:**
- maatvoering in het werk controleren
- TOELICHTING:**
- maten in millimeters, tenzij anders aangegeven
 - hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P., tenzij anders aangegeven
 - hoeken in graden (360°)
 - coördinaten in millimeters t.o.v. Rijksdriehoeksn
- LEGENDA:**
- l.h.w. gestort beton
 - l.h.w. gestort beton
 - hout
 - puin en zand
 - pefab beton
 - zand
 - maaiweld
 - metselwerk
 - boom stamdiometer
 - onderwaterbeton
 - stampbeton
 - kroonprojectie
 - rioal



SITUATIE
SCHAAL 1:10000

B					
A					
0					
Verse	Datum	Cetek	Cetek	Vrijen	Opmerkingen
Stadsbedrijven					
Gemeente Utrecht					
Opdrachtgever			Schaal	zie tek.	Formaat
Gemeentebestuur van Utrecht			Beheer		A0
Project			Projectnummer	141.2002.05	Status
Herstel wal- en kluiswanden			Tekeningnummer	C&B-040-008	Datum
Kromme Nieuwe Gracht			Getekend		14-07-2017
Onderdeel			Getoetst		Verse
Bestaande situatie Rak 21-D			Vrijgegeven		
Bestek					
Stadsingenieurs					
Bouwkunde - Projectontwerp - 1:2011 A2 Utrecht					
Projectadres - Postbus 8371, 3503 RJ Utrecht					
Telefoon - 031 - 486 4121					
www.stadsing.nl					

A4 Grondonderzoek

Gemeente Utrecht
T.a.v. de heer [REDACTED]
Postbus 14107
3508 SE Utrecht

Almelo, 9 mei 2014

Onderwerp: **project aan de Kromme Nieuwegracht te Utrecht**

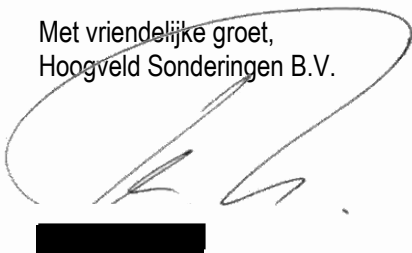
Geachte heer Moura,

Hierbij zenden wij u de rapportage betreffende een project aan de Kromme Nieuwegracht te Utrecht.

Indien nodig kunnen wij een funderingsadvies op basis van de sonderingen voor u verzorgen.

Bij eventuele vragen kunt u altijd contact met ons opnemen, vertrouwende u hiermede voldoende te hebben geïnformeerd.

Met vriendelijke groet,
Hoogveld Sonderingen B.V.


[REDACTED]

**Veldrapport betreffende
grondonderzoek ten behoeve van:
project aan de Kromme Nieuwegracht
te Utrecht**

Opdrachtnr. : HA-011221/141.2002.05

Datum rapport : 9 mei 2014

**Veldrapport betreffende
grondonderzoek ten behoeve van:
project aan de Kromme Nieuwegracht
te Utrecht**

Opdrachtnr. : HA-011221/141.2002.05

Datum rapport : 9 mei 2014

Datum veldonderzoek : 3 april 2014

Opdrachtgever : Gemeente Utrecht
Postbus 14107
3508 SE Utrecht

Bijlagen :

- classificatie grondsoort 01 en 02
- situatietekening 01 t/m 06, 08 t/m 21
- sondeergrafiek 01 t/m 06, 08 t/m 21
- boorstaat

opdrachtnummer: HA-011221/141.2002.05

Inleiding

Op 14 maart 2014 ontvingen wij van u de opdracht voor het uitvoeren van een grondonderzoek ten behoeve van een project aan de Kromme Nieuwegracht te Utrecht. In de vorm van dit rapport doen wij u de resultaten toekomen.

Veldwerkzaamheden

Het grondonderzoek heeft bestaan uit het maken van 20 sonderingen. De resultaten van de sonderingen zijn gepresenteerd op de sondeergrafieken 01 t/m 06, 08 t/m 21. Bij alle sonderingen is behalve de conusweerstand tevens de plaatselijke mantelwrijving gemeten. De diepte op de sondeergrafieken is gegeven in meters ten opzichte van N.A.P. Als referentie heeft hier voor gediend een put in de Jansdambrug. De hoogte van deze put is 3,87 m + N.A.P.

Sondering 07 is uitgevallen, in verband met geparkeerde auto's. Sondering 22 is uitgevallen, locatie was in het water.

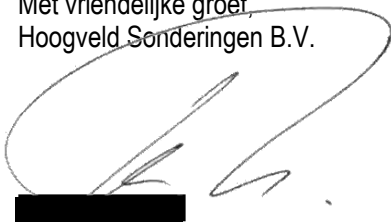
De sonderingen zijn uitgevoerd met een **elektrische conus** overeenkomstig norm **NEN 5140**. Met de elektrische conus vindt een directe en continue meting plaats van zowel de weerstand aan de conuspunt als van de wrijving langs de kleeftmantel. De continue registratie van de ondervonden bodemweerstand levert een gedetailleerd beeld op van de bodemopbouw. Dit geldt niet alleen voor de vastheid van de bodem maar tevens voor de aard c.q. de samenstelling van de aanwezige grondlagen. De verhouding tussen wrijvingsweerstand en de conusweerstand, het zogenaamde wrijvingsgetal, heeft namelijk voor iedere grondsoort een specifieke waarde.

In verband met kabels en leidingen in de ondergrond zijn alle sonderingen voorgeboord. De gemeten conus- c.q. wrijvingsweerstand dient over dit traject dan ook niet als representatief te worden beoordeeld. De boringen zijn tevens gebruikt ten behoeve van de bepaling van de grondwaterstand en van de classificatie van de bovenlagen. De resultaten zijn gepresenteerd op de handboorstaten 01 t/m 06, 08 t/m 21.

Het uitzetten en waterpassen van de sondeerlocaties werd door Hoogveld Sonderingen verzorgd. De betreffende punten zijn aangegeven op de bijgevoegde situatietekeningen.

In het vertrouwen u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd, verblijven wij,

Met vriendelijke groet,
Hoogveld Sonderingen B.V.



Classificatie van grondsoorten op basis van sonderingen

In Nederland wordt op verschillende manieren onderzoek verricht naar de samenstelling van de bodem en de diverse eigenschappen van de verschillende grondlagen. Een algemeen geaccepteerde en veel toegepaste methode van bodemonderzoek is hierbij het sonderen. Bij het sonderen wordt de indringingsweerstand van een conus met een vastgesteld oppervlak bepaald, hetgeen informatie geeft over de vastheid van de bodemlagen. Naast de conusweerstand is het met behulp van de mantelconus mogelijk om de plaatselijke wrijving te meten.

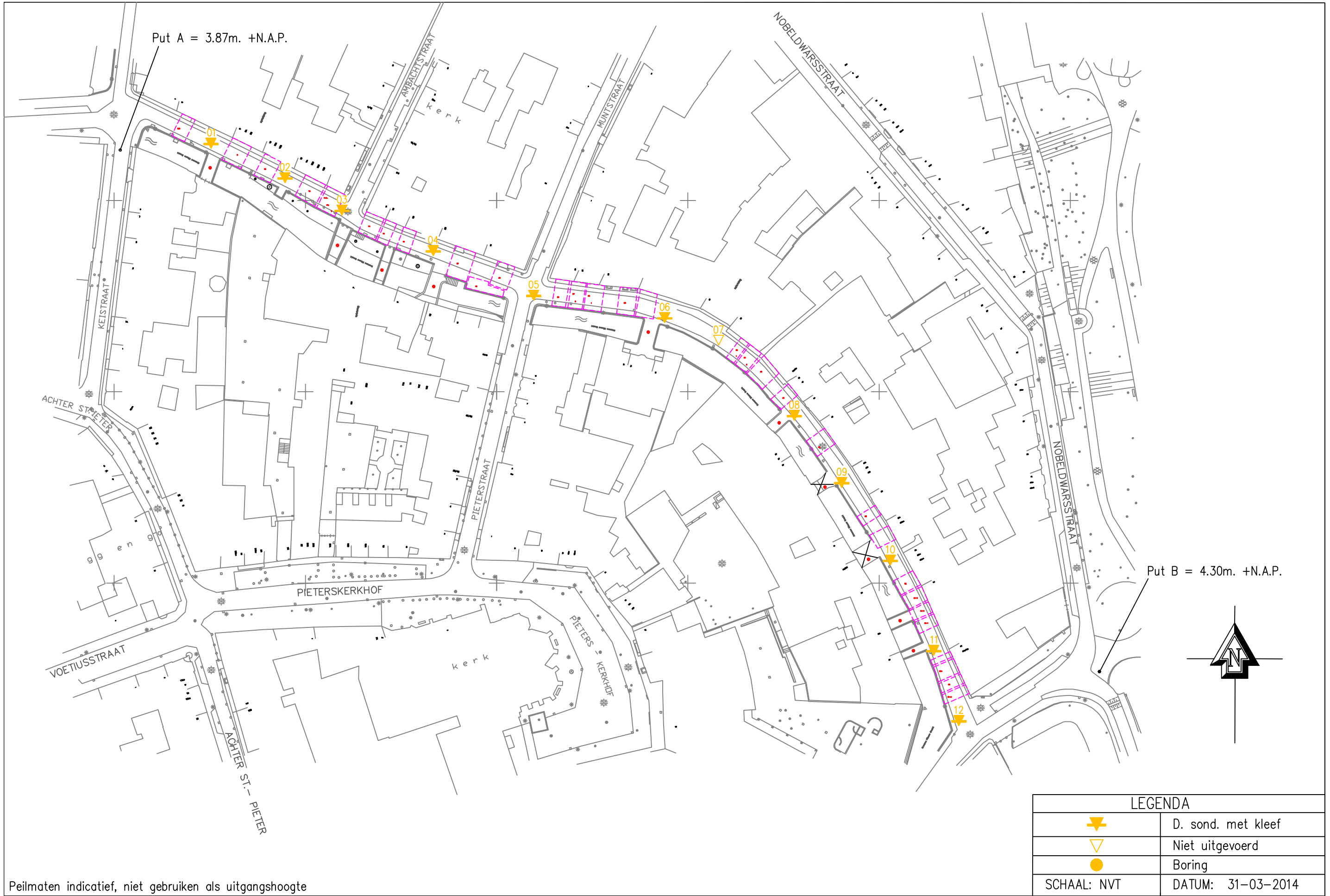
Vanuit deze sondeerresultaten is een goede classificatie mogelijk van de bodemopbouw alsmede de bepaling van diverse grondparameters. Opgemerkt wordt dat dit echter wel specialistisch kennis en ervaring vereist. Door de grote hoeveelheid uitgevoerde sonderingen en het vergelijk tussen sondeerresultaten en resultaten van diverse andere onderzoeksmethoden is voor de veel voorkomende bodemsoorten in Nederland, de onderstaande tabel tot stand gekomen waarmee de sondeerresultaten kunnen worden geïnterpreteerd. Hierbij wordt veelal een relatie weergegeven die gebaseerd is op de conusweerstand en het zogenaamde wrijvingsgetal. Dit wrijvingsgetal is de verhouding van de gemeten conusweerstand en de plaatselijke mantelwrijving op een bepaalde diepte, uitgedrukt in procenten, dus

$$\text{Wrijvingsgetal} = 100 \times f_s/q_c$$

Bij de metingen met behulp van sonderingen is in grondlagen die zich boven de grondwaterstand bevinden, een duidelijk waarneembare afwijkende meetresultaat tot stand gekomen. Hierdoor zijn de onderstaande relaties niet van toepassing voor bodemlagen die zich boven de grondwaterstand bevinden.

Tabel: classificatie grondsoorten

Grondsoort	Conusweerstand (MPa)	Wrijvingsgetal (in %)
Grind	> 10	0,2 – 0,5
Zand, grof	> 10	0,4 – 0,6
Zand	>5	0,6 – 1,0
Leem	1-3	2,0 – 4,0
Klei, vast	0-8	2,0 – 4,0
Klei, slap	0-2	4,0 – 6,0
Veen	0-4	5,0 – 10,0

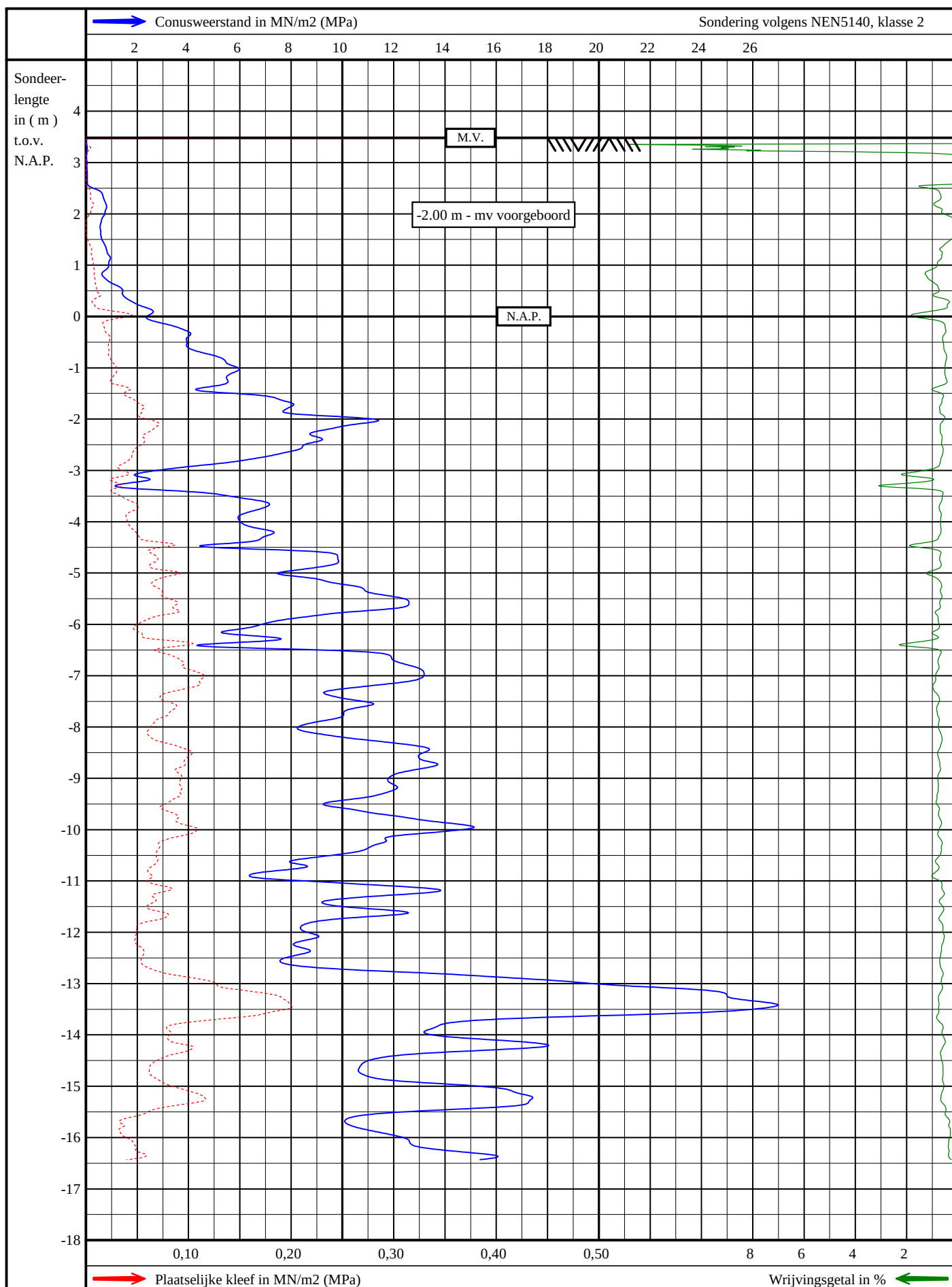


Peilmaten indicatief, niet gebruiken als uitgangshoogte



Project aan de Kromme Nieuwegracht
te Utrecht

OPDRACHT:
HA-011221
SITUATIE: 01



Conus-ID: S15-CFI.883 A-mantel: 20000 mm² A-conus: 1500 mm² Locatie: 137.009.695 / 456.025.227 (X / Y)



Project aan de Kromme Nieuwegracht

Utrecht

mv : N.A.P. + 3,48 m

uitv.: 01-04-2014 09:25

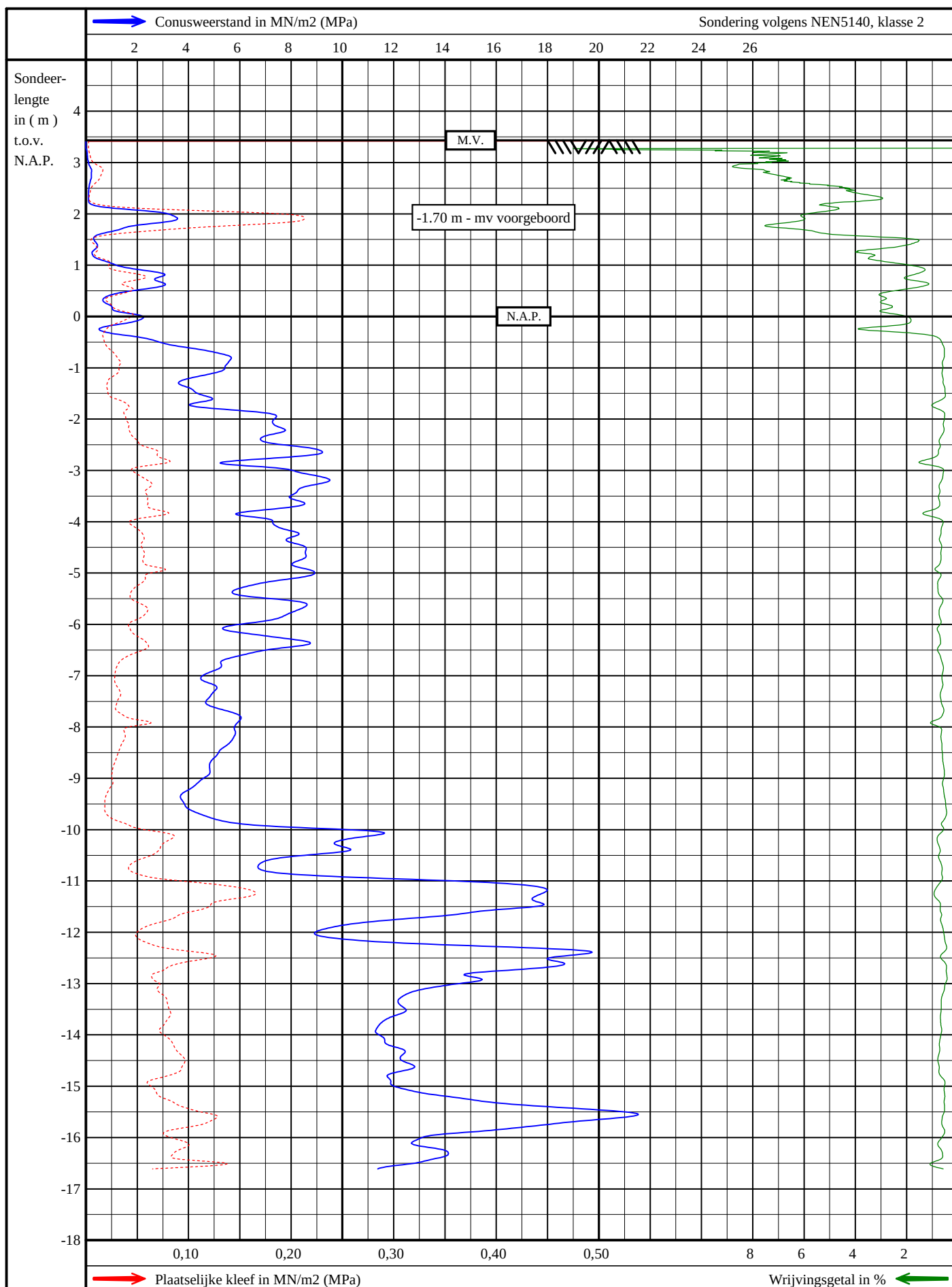
get. : 12-05-2014

Opdracht nummer:

HA-11221

Sondering nummer

5



Conus-ID: S15-CFI.883 A-mantel: 20000 mm² A-conus: 1500 mm² Locatie: 137.043.933 / 456.019.377 (X / Y)



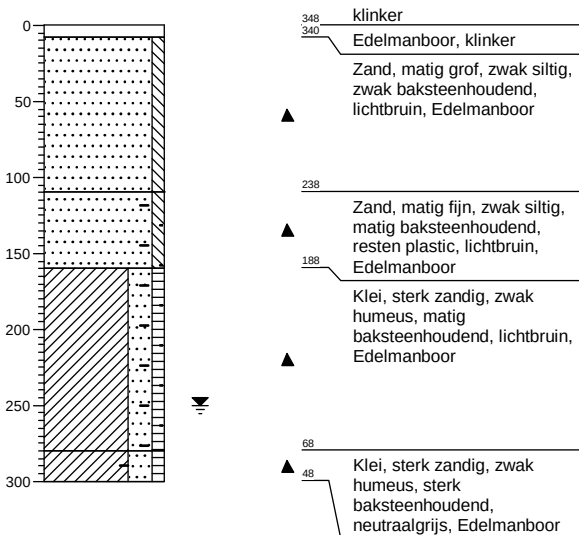
Project aan de Kromme Nieuwegracht
Utrecht

mv : N.A.P. + 3,43 m
uitv.: 01-04-2014 10:14
get. : 12-05-2014

Opdracht nummer:
HA-11221
Sondering nummer
6

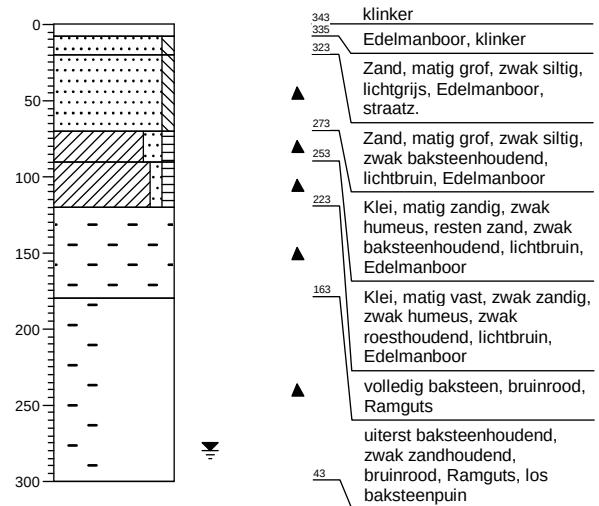
Boring 05

Datum: 04-03-2014
 GWS: 250 cm - maaiveld
 Maaiveldhoogte: 3,48 m t.o.v. N.A.P.



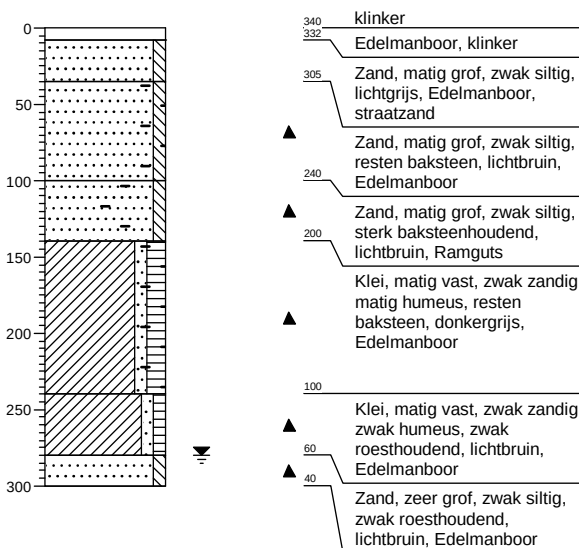
Boring 06

Datum: 04-03-2014
 GWS: 280 cm - maaiveld
 Maaiveldhoogte: 3,43 m t.o.v. N.A.P.



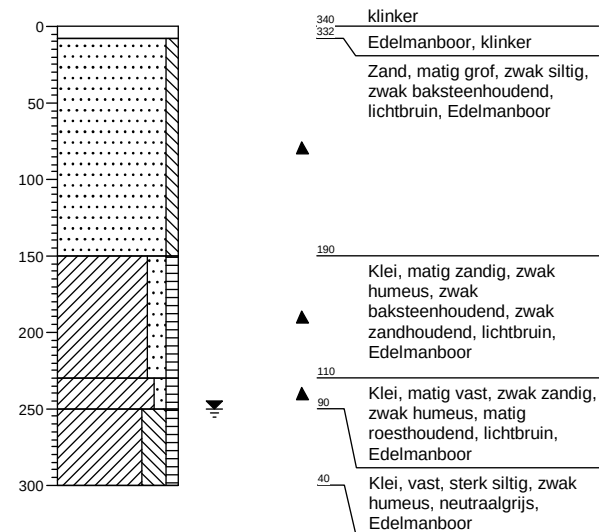
Boring 08

Datum: 04-03-2014
 GWS: 280 cm - maaiveld
 Maaiveldhoogte: 3,4 m t.o.v. N.A.P.



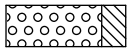
Boring 09

Datum: 04-03-2014
 GWS: 250 cm - maaiveld
 Maaiveldhoogte: 3,4 m t.o.v. N.A.P.

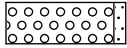


Legenda (conform NEN 5104)

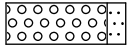
grind



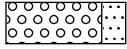
Grind, siltig



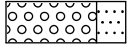
Grind, zwak zandig



Grind, matig zandig

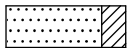


Grind, sterk zandig

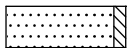


Grind, uiterst zandig

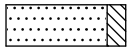
zand



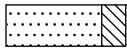
Zand, kleiig



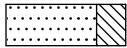
Zand, zwak siltig



Zand, matig siltig

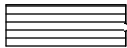


Zand, sterk siltig



Zand, uiterst siltig

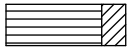
veen



Veen, mineraalarm



Veen, zwak kleiig



Veen, sterk kleiig

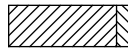


Veen, zwak zandig

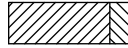


Veen, sterk zandig

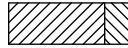
klei



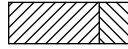
Klei, zwak siltig



Klei, matig siltig



Klei, sterk siltig



Klei, uiterst siltig



Klei, zwak zandig



Klei, matig zandig



Klei, sterk zandig

leem



Leem, zwak zandig



Leem, sterk zandig

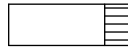
overige toevoegingen



zwak humeus



matig humeus



sterk humeus



zwak grindig



matig grindig



sterk grindig

geur

- geen geur
- ◐ zwakke geur
- ◑ matige geur
- ◒ sterke geur
- ◓ uiterste geur

olie

- geen olie-water reactie
- ▣ zwakke olie-water reactie
- ▤ matige olie-water reactie
- ▥ sterke olie-water reactie
- ▦ uiterste olie-water reactie

p.i.d.-waarde

- ⬢ >0
- ⬢ >1
- ⬢ >10
- ⬢ >100
- ⬢ >1000
- ⬢ >10000

monsters

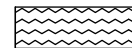
- ▮ geroerd monster
- ▮ ongeroerd monster

overig

- ▲ bijzonder bestanddeel
- ◀ Gemiddeld hoogste grondwaterstand
- ≡ grondwaterstand
- ◆ Gemiddeld laagste grondwaterstand



slib



water

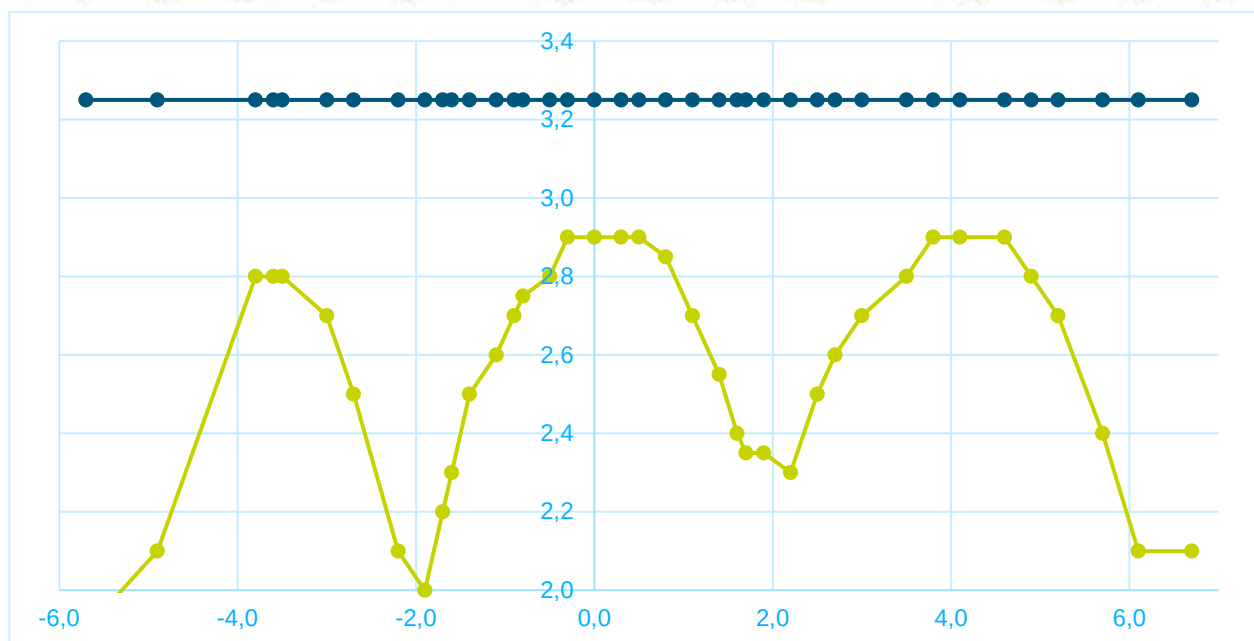
Plaxis stappenplan

[illegible]

Belasting spreiding tot hart metselwerk doorsnede (voorbeeld voor verkeersbelasting bij bord C20 van 8 ton)

Belastingspreiding op de brug (DB positie I en II). Werfkelder positie 1,2,4,5,6,8

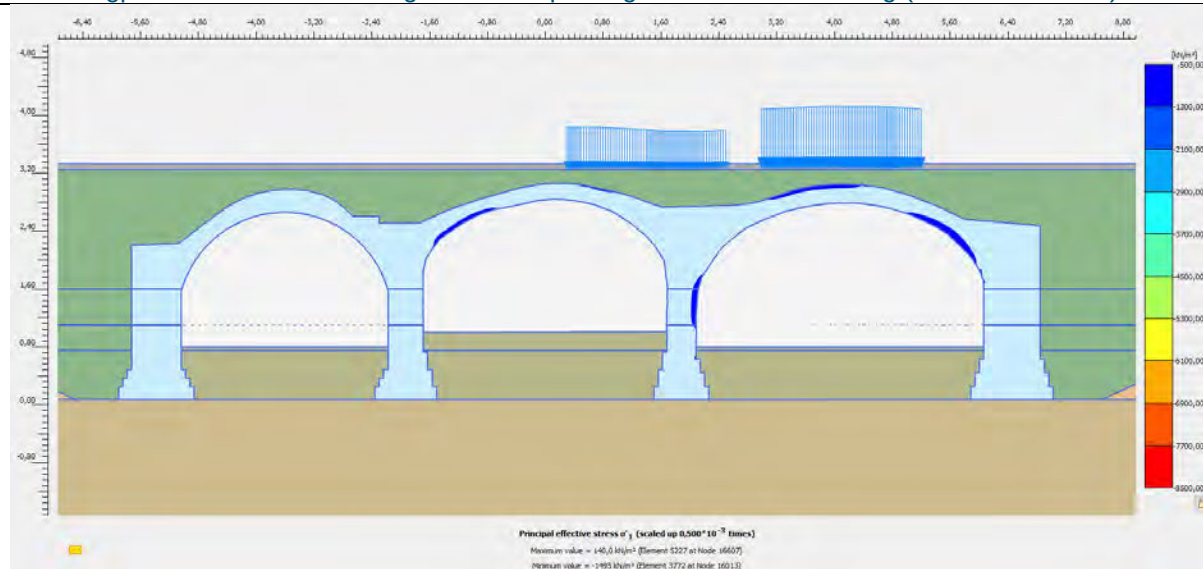
Punt	Niveau Maaiveld	Niveau Halverweg Extra breedte	Dubbelzijdig Enkelzijdig		Normbelasting (gereduceerd Qk1)				Normbelasting (gereduceerd Qk2)			
			30,0	1,2 m	Dubbelzijdig	3,0	Enkelzijdig	2,7	Dubbelzijdig	3,0	Enkelzijdig	2,7
-5,7	3,3	1,9	1,6	0,8	51,8	0,0	57,6	0,0	34,6	0,0	38,4	0,0
-4,9	3,3	2,1	1,3	0,7	34,1	34,1	44,7	44,7	22,7	22,7	29,8	29,8
-3,8	3,3	2,8	0,5	0,3	35,9	35,9	46,2	46,2	23,9	23,9	30,8	30,8
-3,6	3,3	2,8	0,5	0,3	44,2	44,2	52,5	52,5	29,4	29,4	35,0	35,0
-3,5	3,3	2,8	0,5	0,3	44,2	44,2	52,5	52,5	29,4	29,4	35,0	35,0
-3,0	3,3	2,7	0,6	0,3	42,8	42,8	51,5	51,5	28,5	28,5	34,3	34,3
-2,7	3,3	2,5	0,9	0,4	40,2	40,2	49,6	49,6	26,8	26,8	33,1	33,1
-2,2	3,3	2,1	1,3	0,7	35,9	35,9	46,2	46,2	23,9	23,9	30,8	30,8
-1,9	3,3	2,0	1,4	0,7	35,0	35,0	45,4	45,4	23,3	23,3	30,3	30,3
-1,7	3,3	2,2	1,2	0,6	36,9	36,9	47,0	47,0	24,6	24,6	31,4	31,4
-1,6	3,3	2,3	1,1	0,5	37,9	37,9	47,8	47,8	25,3	25,3	31,9	31,9
-1,4	3,3	2,5	0,9	0,4	40,2	40,2	49,6	49,6	26,8	26,8	33,1	33,1
-1,1	3,3	2,6	0,8	0,4	41,4	41,4	50,5	50,5	27,6	27,6	33,7	33,7
-0,9	3,3	2,7	0,6	0,3	42,8	42,8	51,5	51,5	28,5	28,5	34,3	34,3
-0,8	3,3	2,8	0,6	0,3	43,4	43,4	52,0	52,0	29,0	29,0	34,7	34,7
-0,5	3,3	2,8	0,5	0,3	44,2	44,2	52,5	52,5	29,4	29,4	35,0	35,0
-0,3	3,3	2,9	0,4	0,2	45,7	45,7	53,6	53,6	30,4	30,4	35,7	35,7
0,0	3,3	2,9	0,4	0,2	45,7	45,7	53,6	53,6	30,4	30,4	35,7	35,7
0,3	3,3	2,9	0,4	0,2	45,7	45,7	53,6	53,6	30,4	30,4	35,7	35,7
0,5	3,3	2,9	0,4	0,2	45,7	45,7	53,6	53,6	30,4	30,4	35,7	35,7
0,8	3,3	2,9	0,5	0,2	44,9	44,9	53,0	53,0	29,9	29,9	35,4	35,4
1,1	3,3	2,7	0,6	0,3	42,8	42,8	51,5	51,5	28,5	28,5	34,3	34,3
1,4	3,3	2,6	0,8	0,4	40,8	40,8	50,1	50,1	27,2	27,2	33,4	33,4
1,6	3,3	2,4	1,0	0,5	39,0	39,0	48,7	48,7	26,0	26,0	32,5	32,5
1,7	3,3	2,4	1,0	0,5	38,5	38,5	48,3	48,3	25,7	25,7	32,2	32,2
1,9	3,3	2,4	1,0	0,5	38,5	38,5	48,3	48,3	25,7	25,7	32,2	32,2
2,2	3,3	2,3	1,1	0,5	37,9	37,9	47,8	47,8	25,3	25,3	31,9	31,9
2,5	3,3	2,5	0,9	0,4	40,2	40,2	49,6	49,6	26,8	26,8	33,1	33,1
2,7	3,3	2,6	0,8	0,4	41,4	41,4	50,5	50,5	27,6	27,6	33,7	33,7
3,0	3,3	2,7	0,6	0,3	42,8	42,8	51,5	51,5	28,5	28,5	34,3	34,3
3,5	3,3	2,8	0,5	0,3	44,2	44,2	52,5	52,5	29,4	29,4	35,0	35,0
3,8	3,3	2,9	0,4	0,2	45,7	45,7	53,6	53,6	30,4	30,4	35,7	35,7
4,1	3,3	2,9	0,4	0,2	45,7	45,7	53,6	53,6	30,4	30,4	35,7	35,7
4,6	3,3	2,9	0,4	0,2	45,7	45,7	53,6	53,6	30,4	30,4	35,7	35,7
4,9	3,3	2,8	0,5	0,3	44,2	44,2	52,5	52,5	29,4	29,4	35,0	35,0
5,2	3,3	2,7	0,6	0,3	42,8	42,8	51,5	51,5	28,5	28,5	34,3	34,3
5,7	3,3	2,4	1,0	0,5	39,0	39,0	48,7	48,7	26,0	26,0	32,5	32,5
6,1	3,3	2,1	1,3	0,7	35,9	35,9	46,2	46,2	23,9	23,9	30,8	30,8
6,7	3,3	2,1	1,3	0,7	35,9	35,9	46,2	46,2	23,9	23,9	30,8	30,8



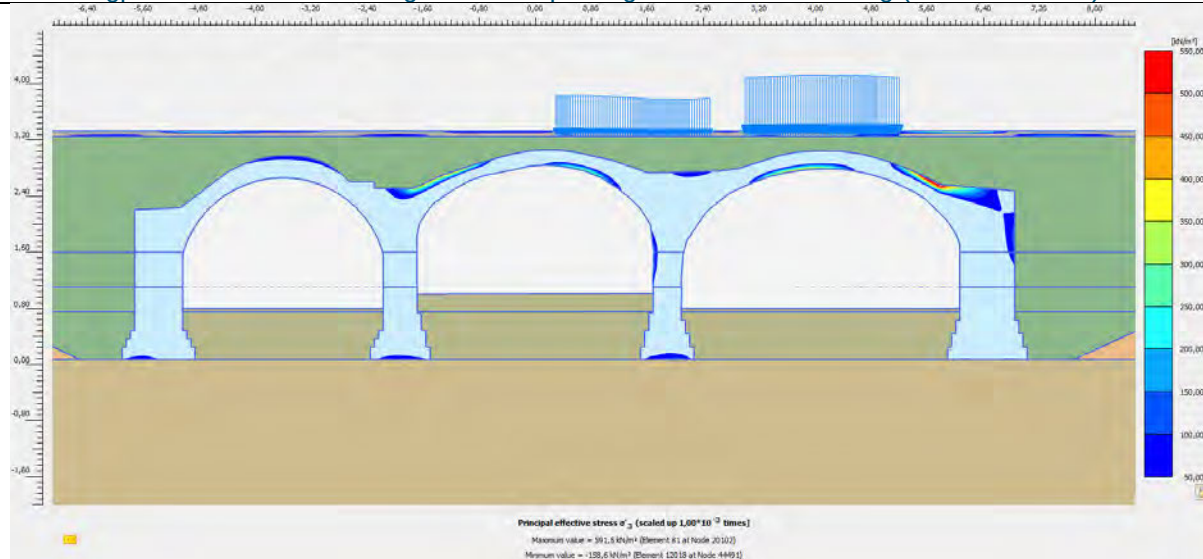
A5.1 BGT lastbeperking BM1

Druk- en trekspanningen

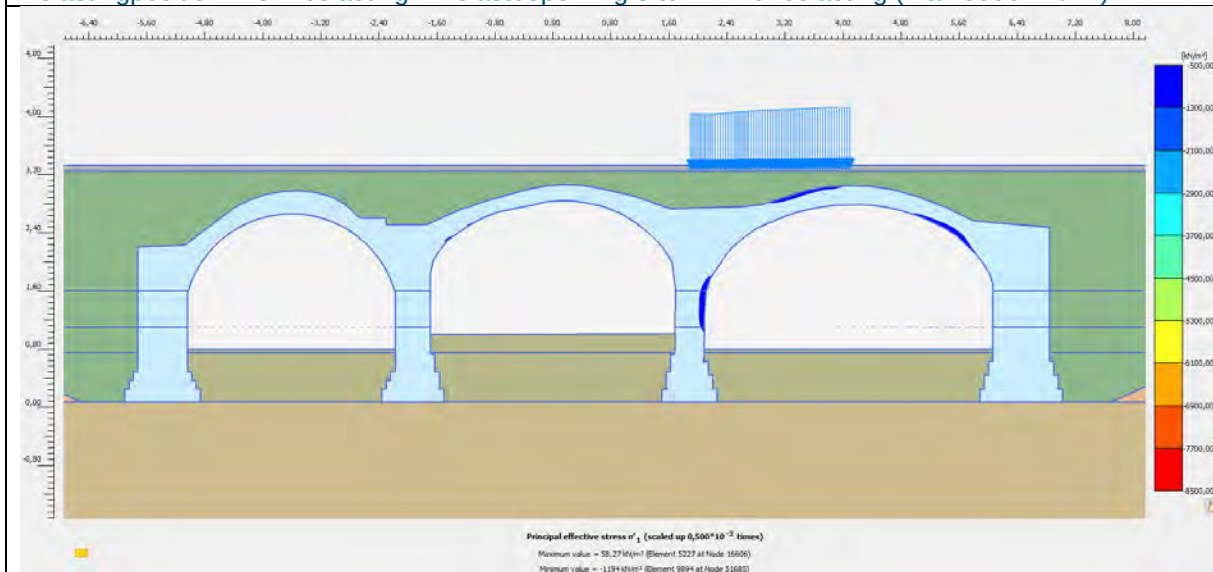
Belastingpositie I-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



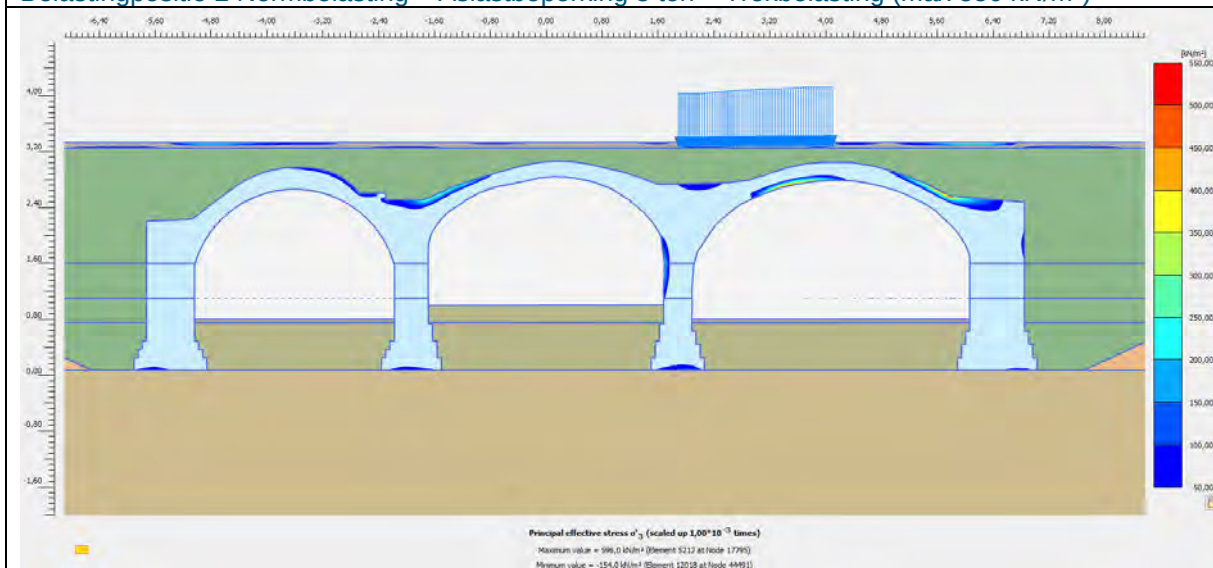
Belastingpositie I-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



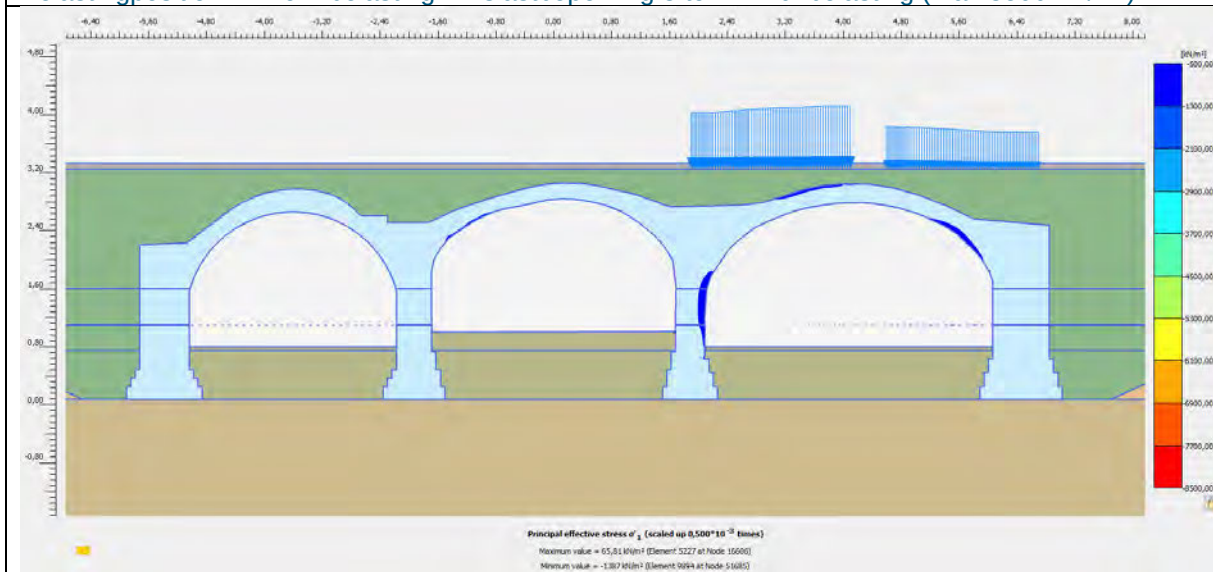
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



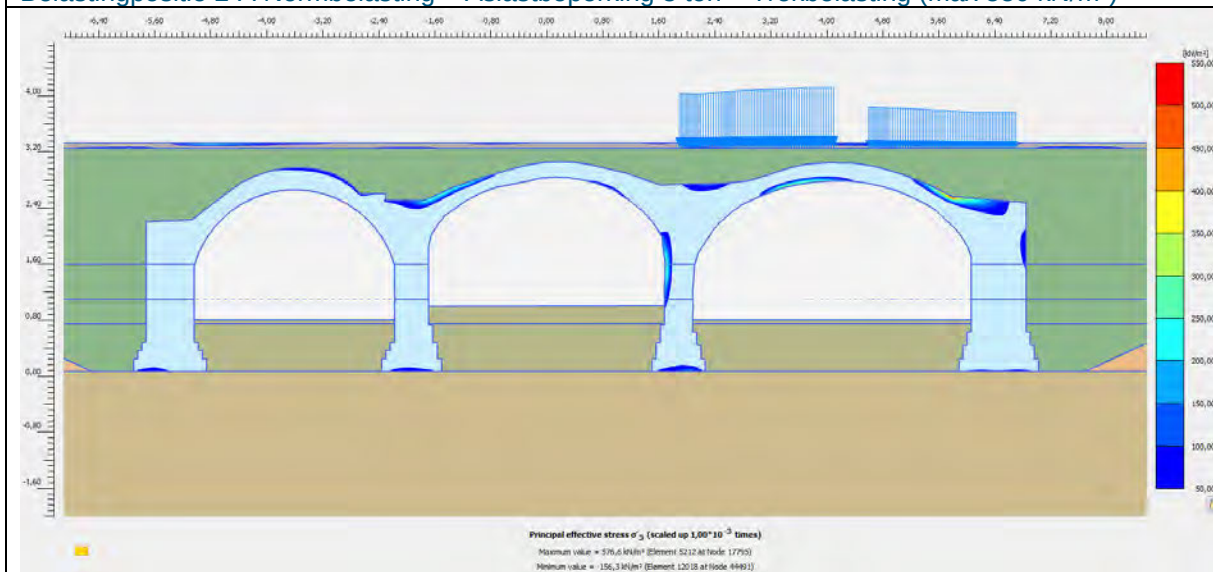
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



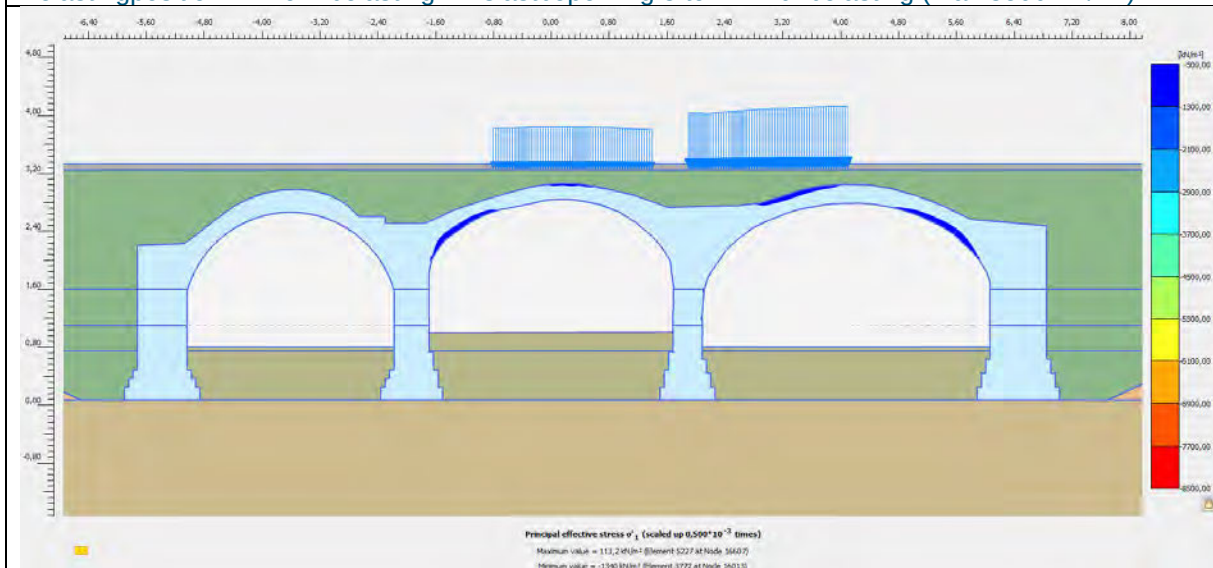
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



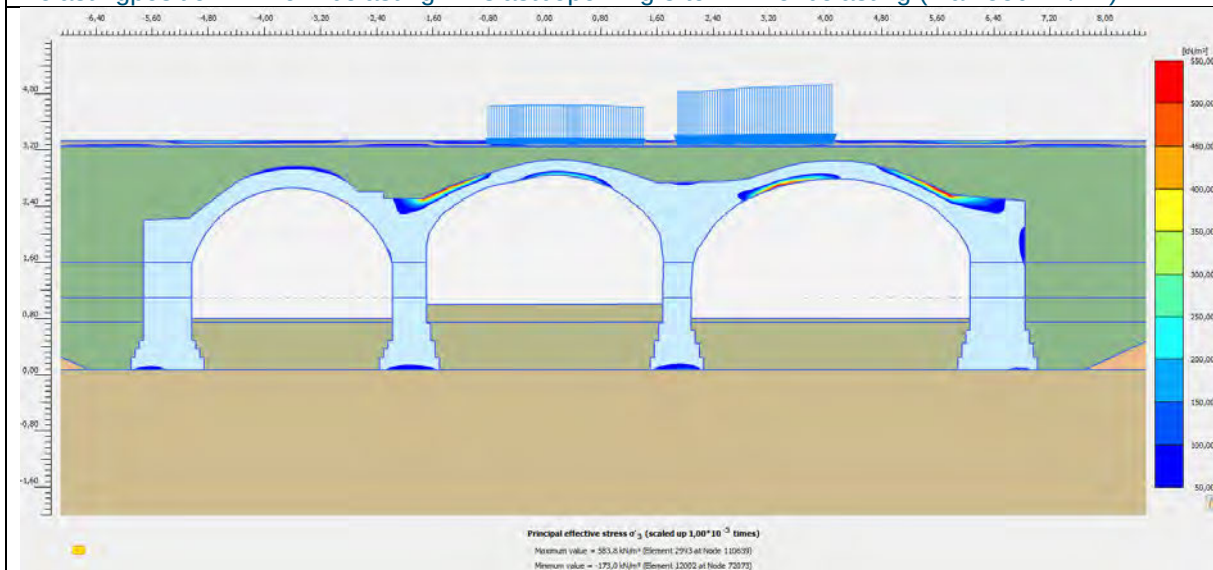
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



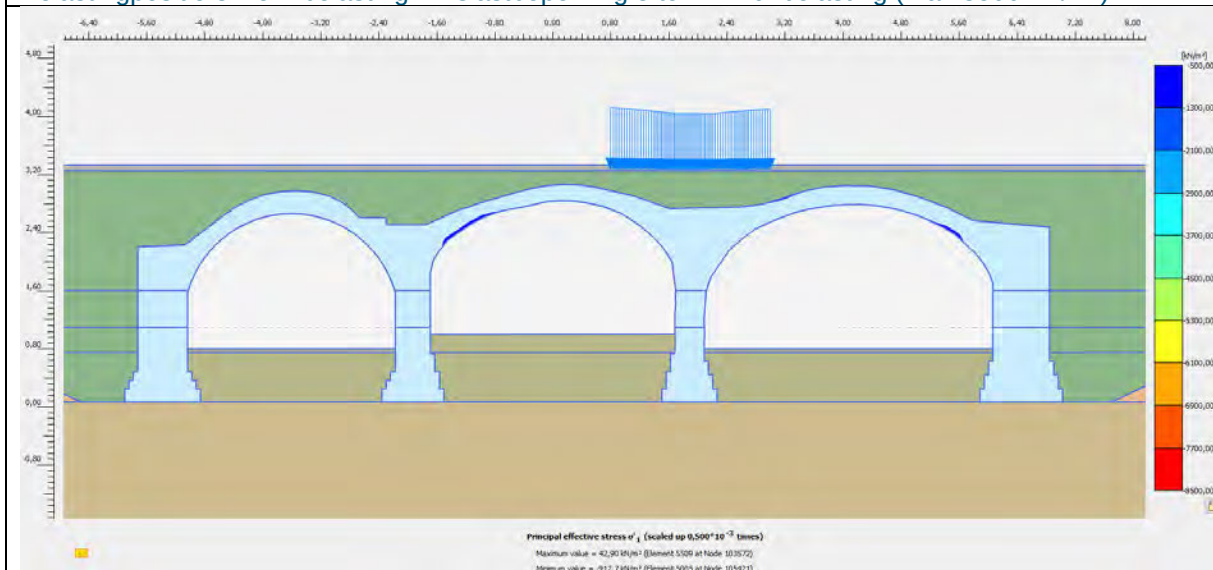
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



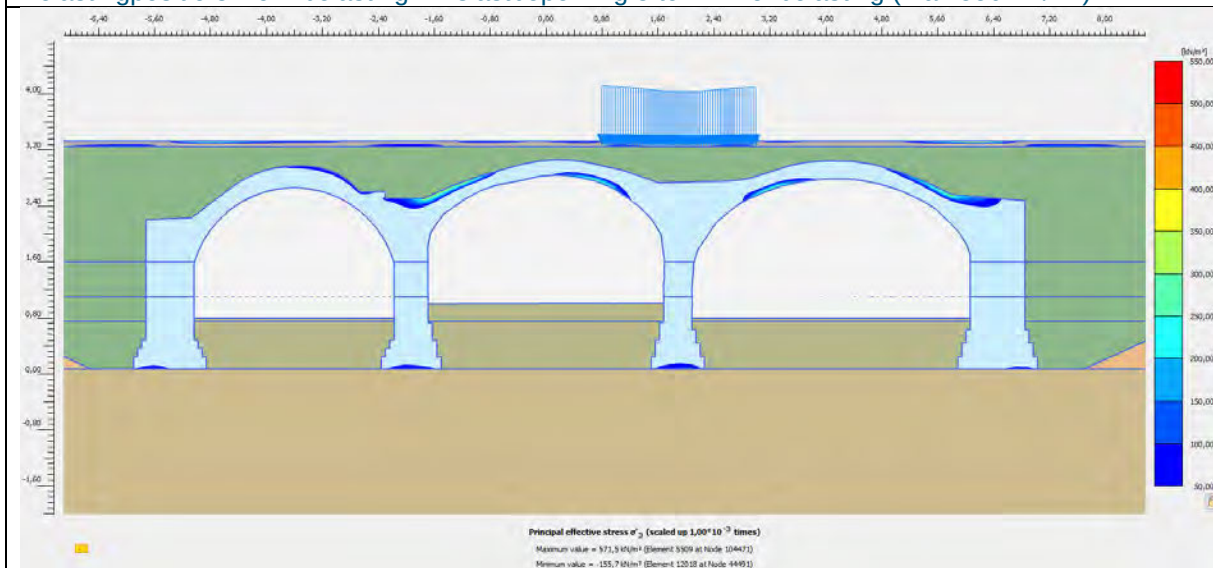
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



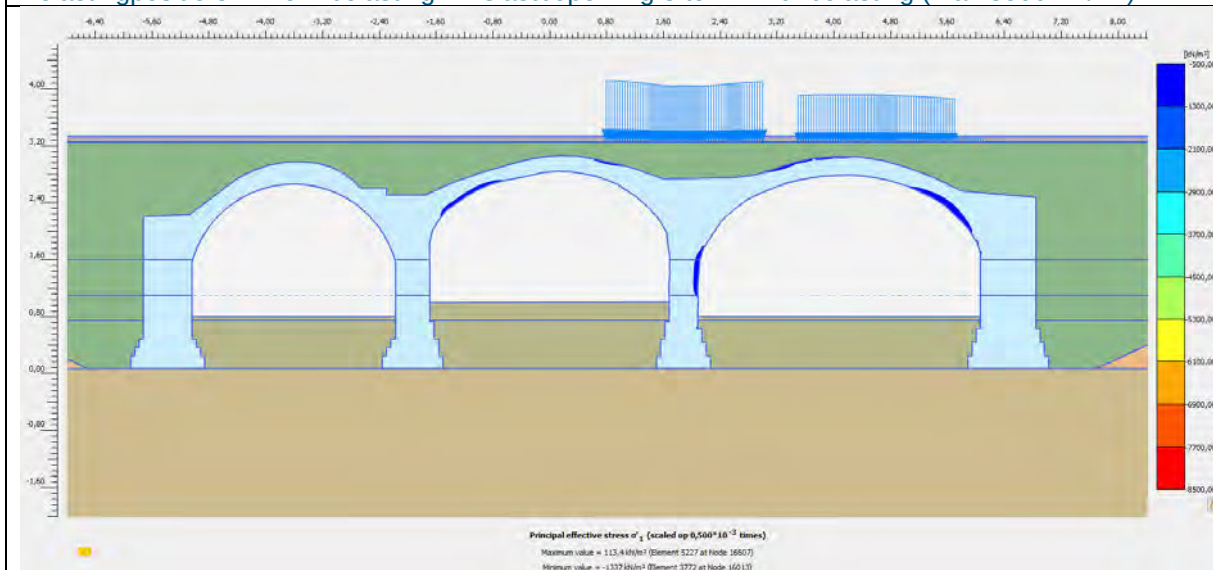
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



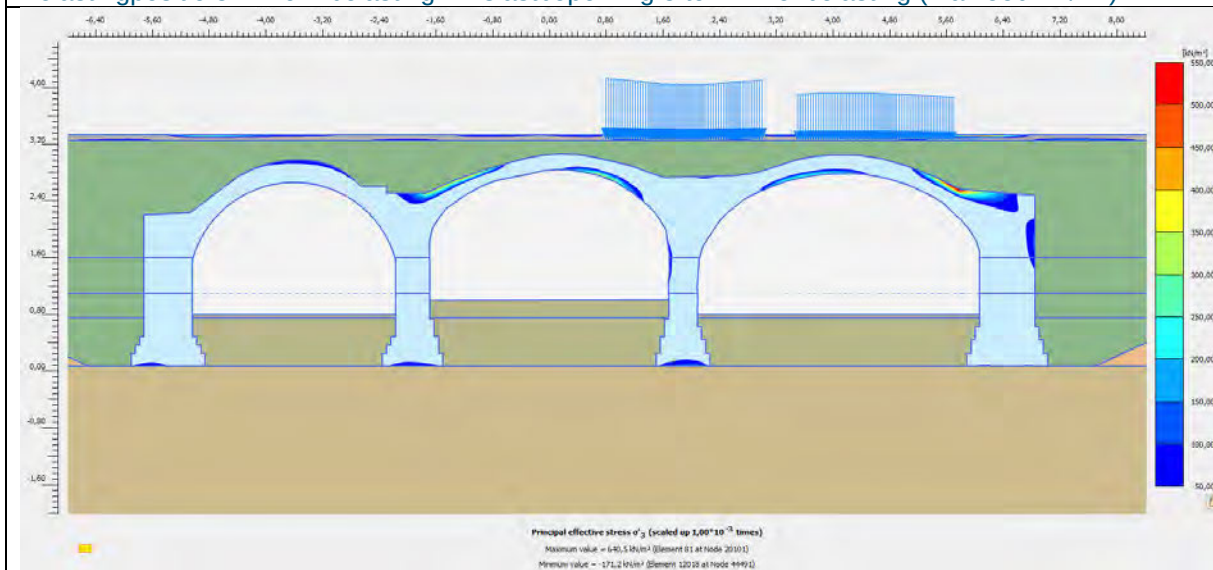
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



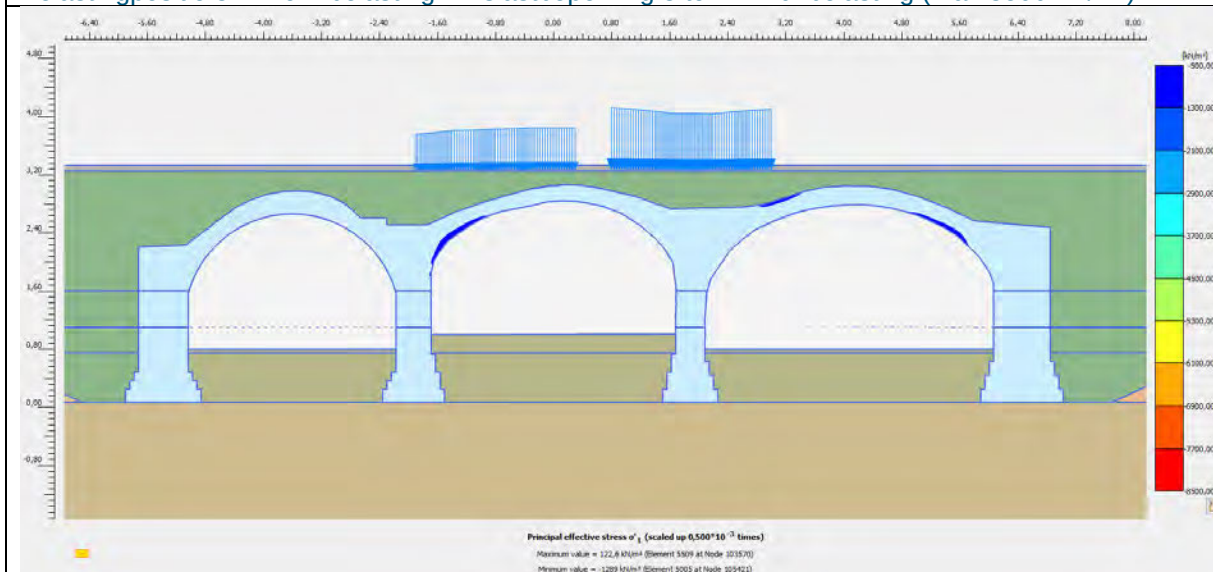
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



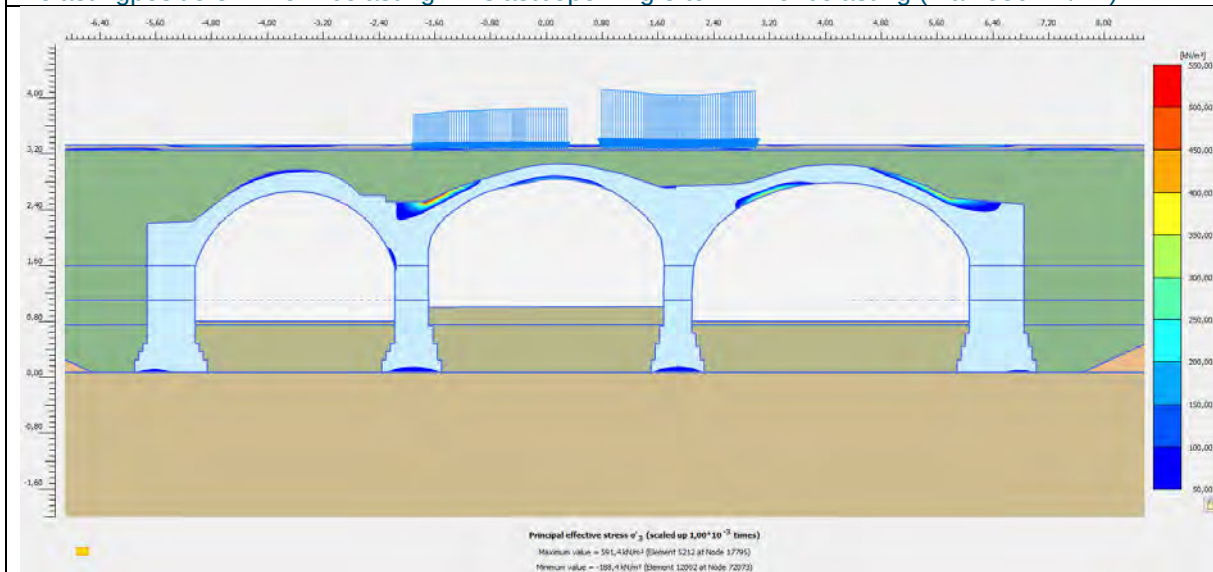
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



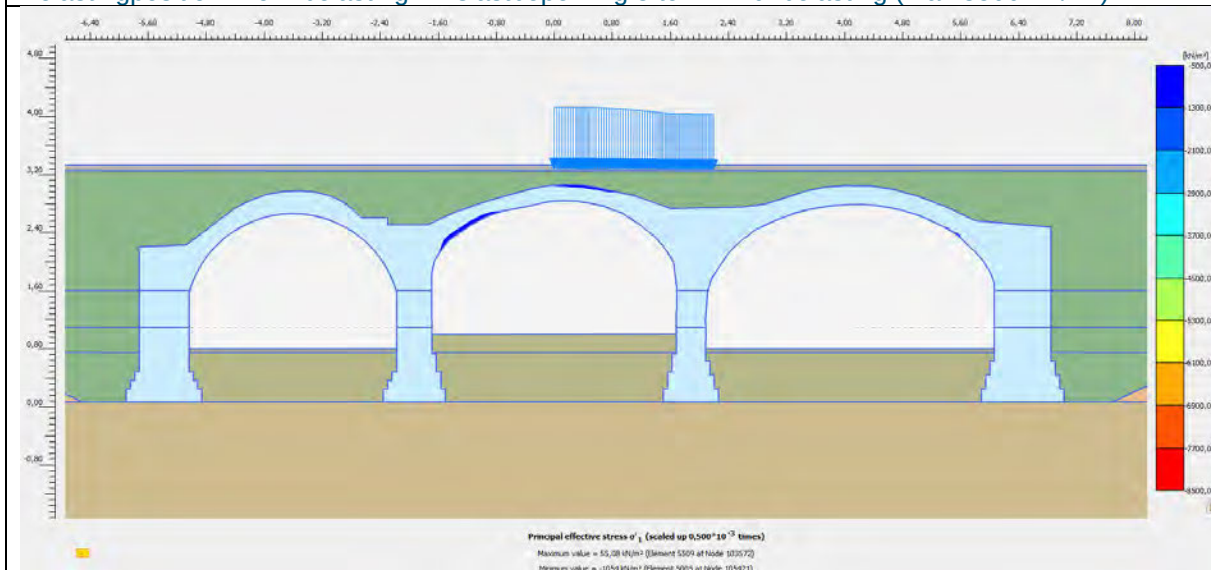
Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



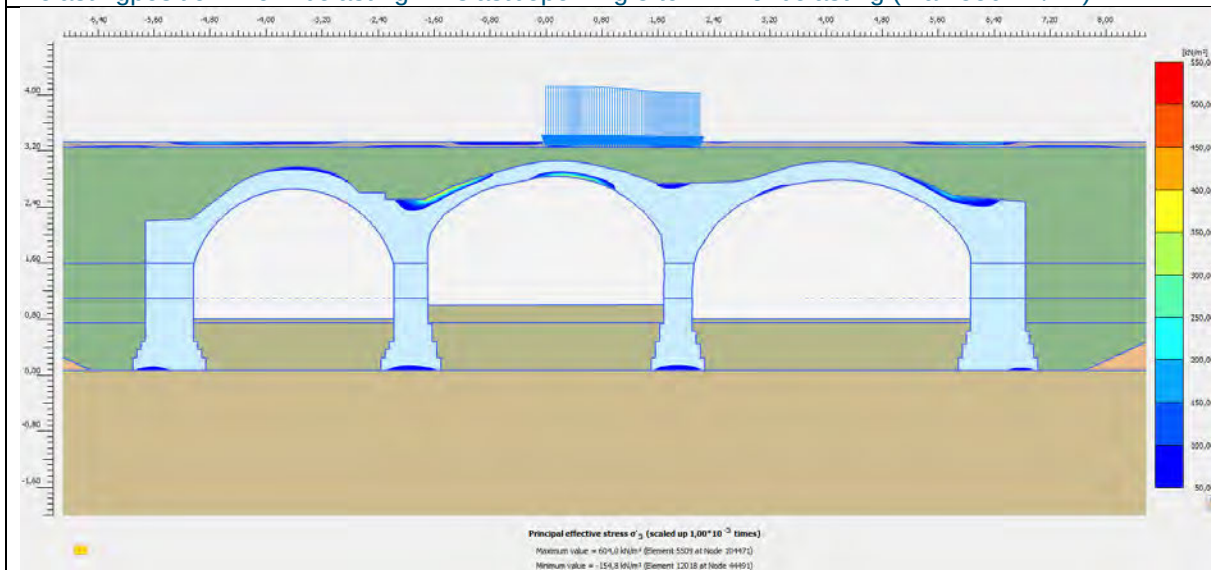
Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



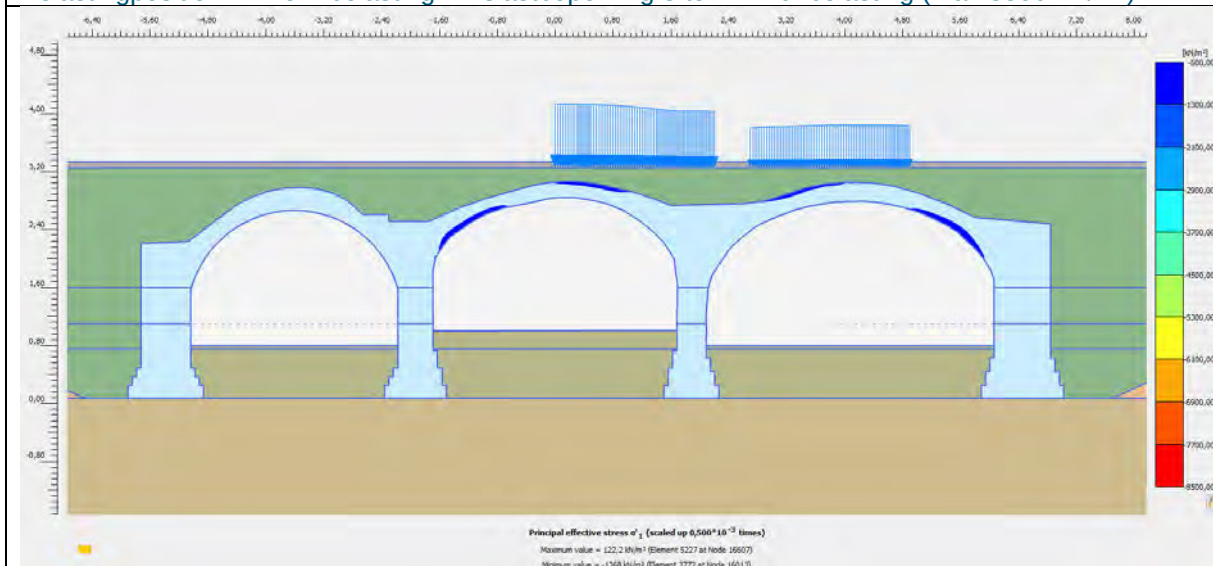
Belastingpositie 4 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



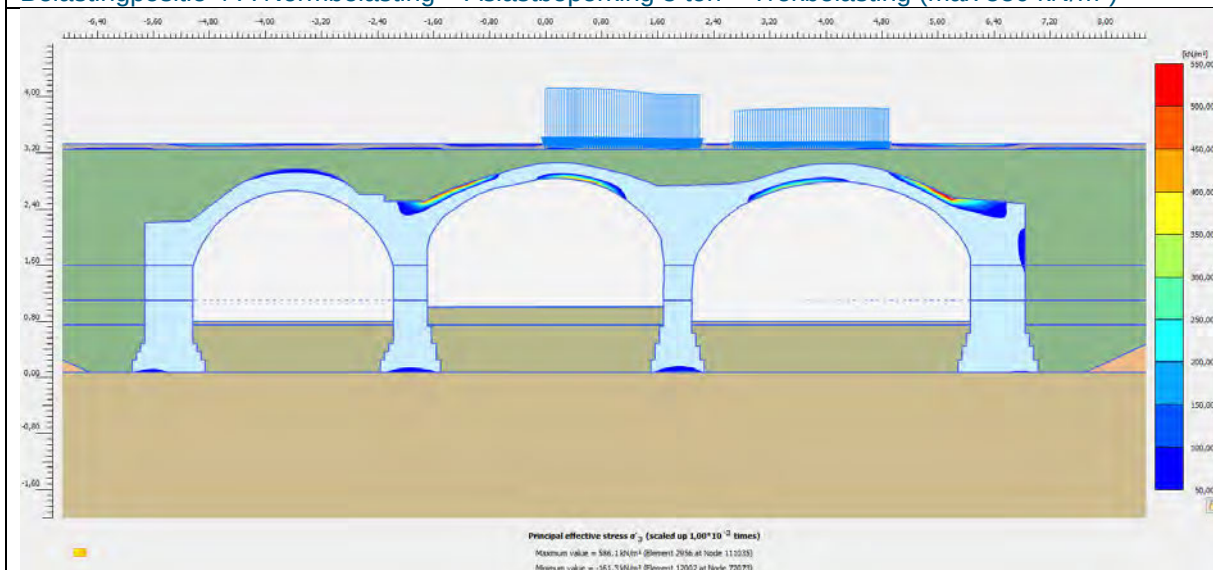
Belastingpositie 4 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



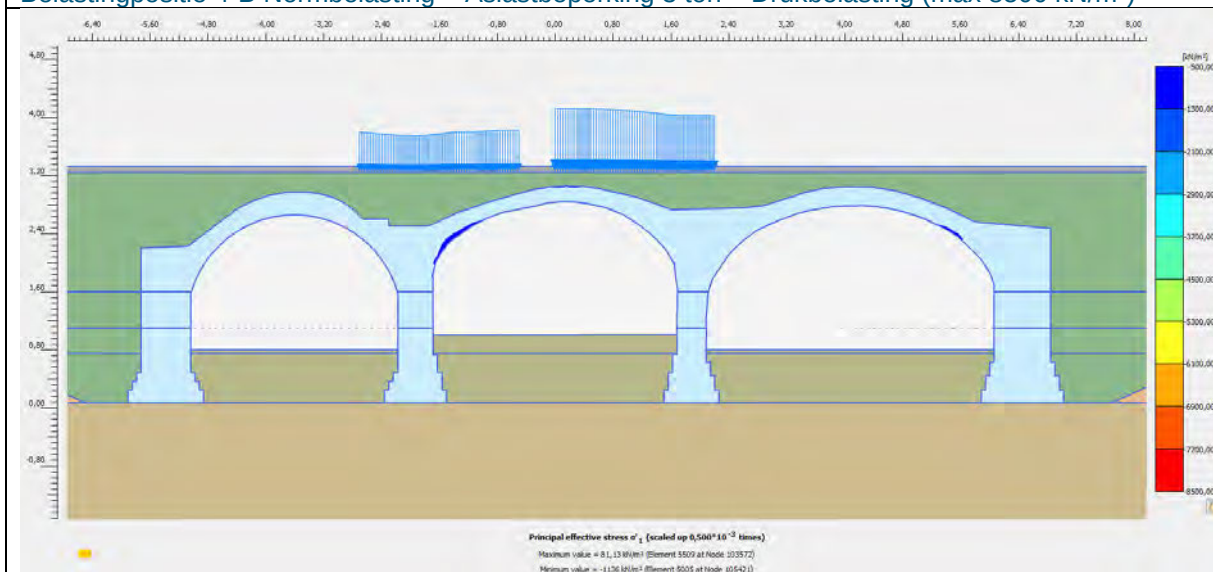
Belastingpositie 4-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



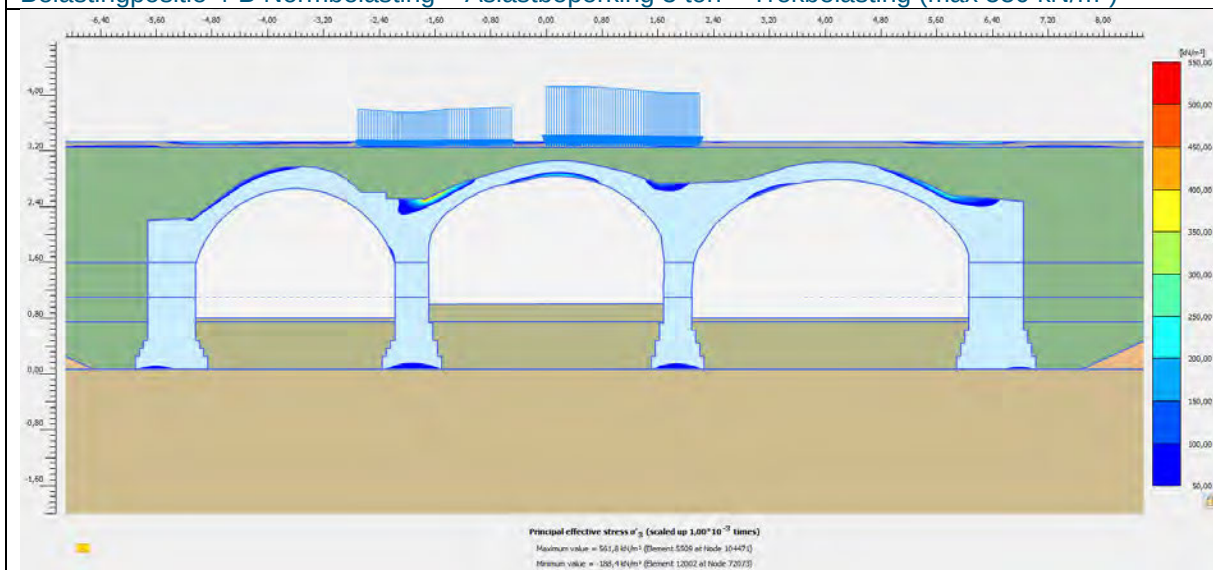
Belastingpositie 4-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



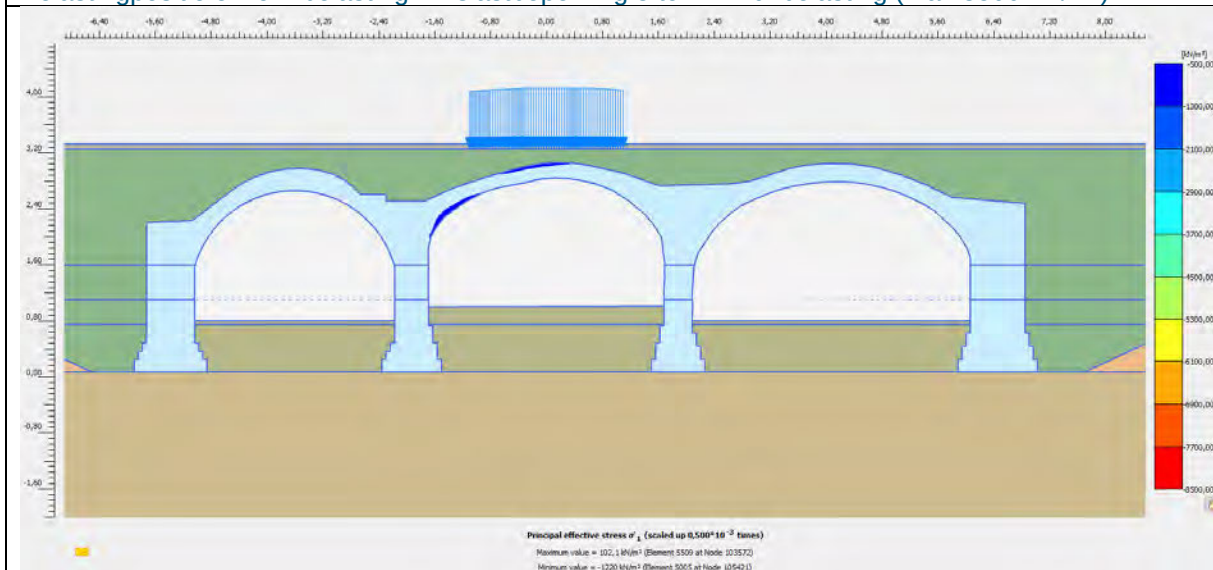
Belastingpositie 4-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



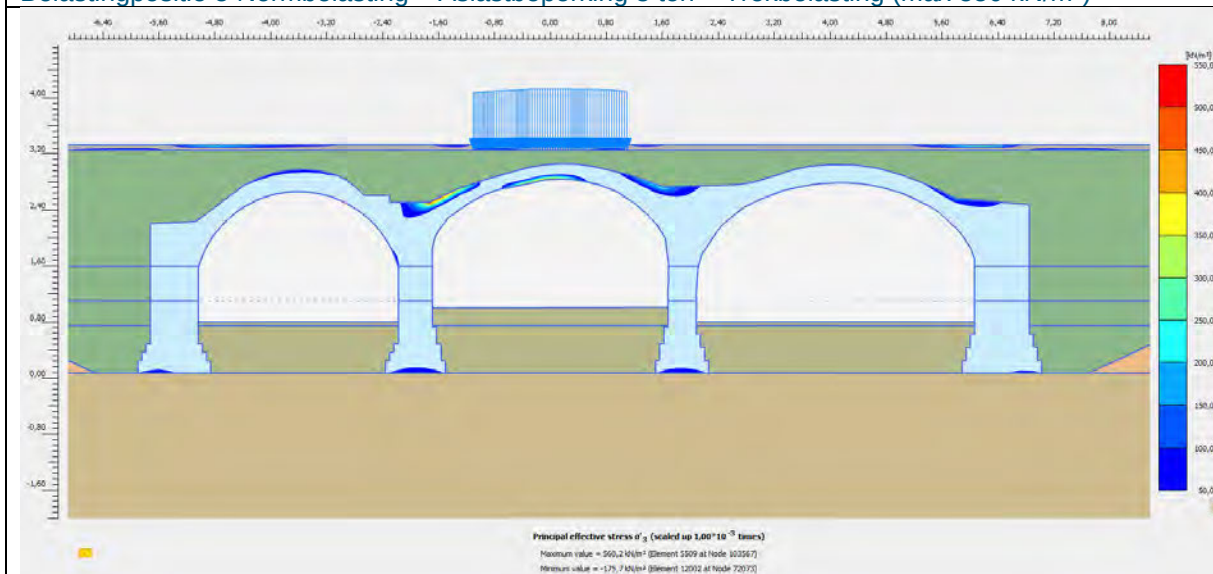
Belastingpositie 4-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



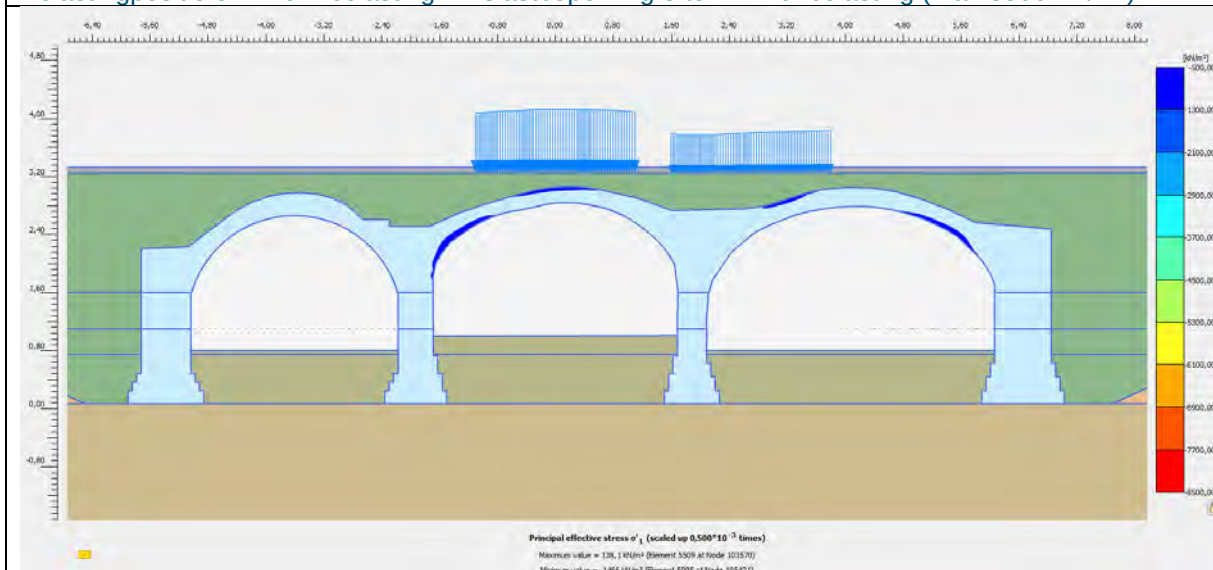
Belastingpositie 5 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



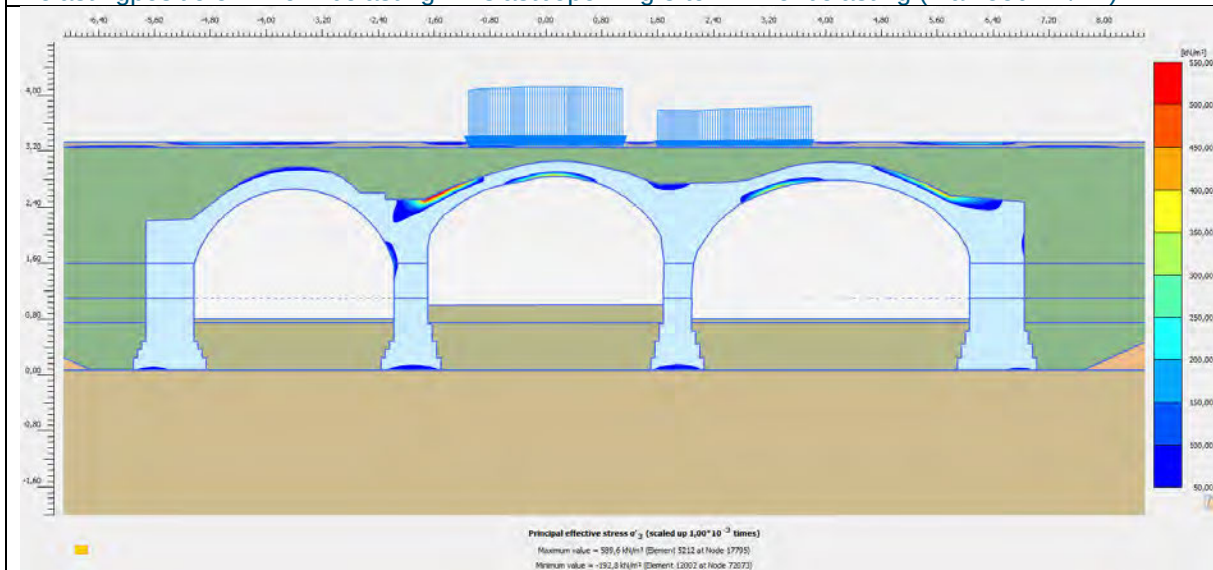
Belastingpositie 5 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



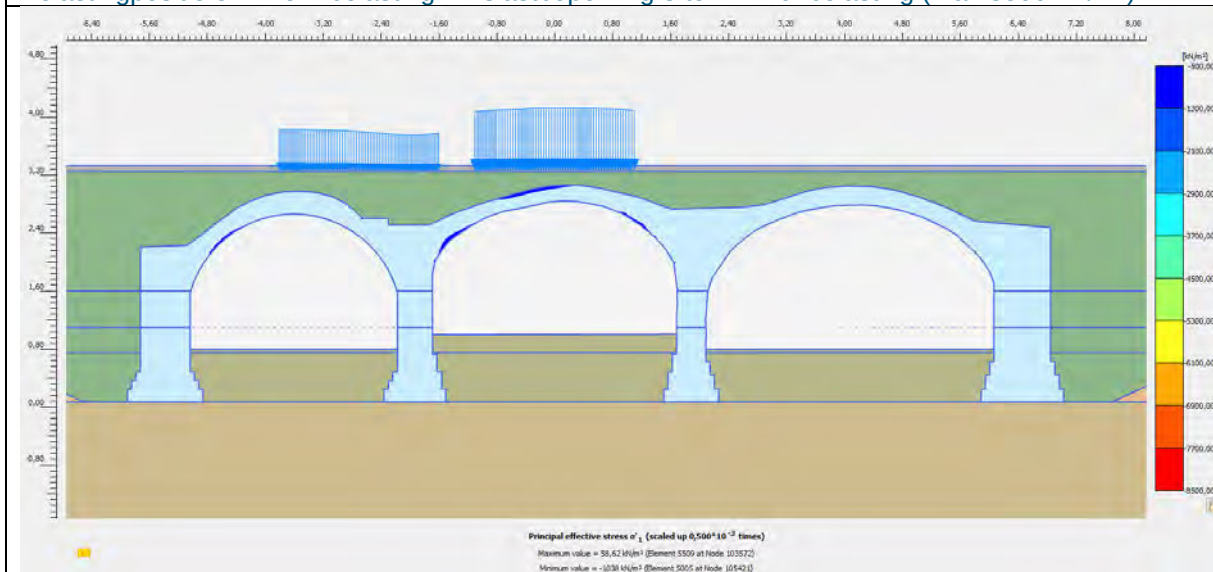
Belastingpositie 5-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



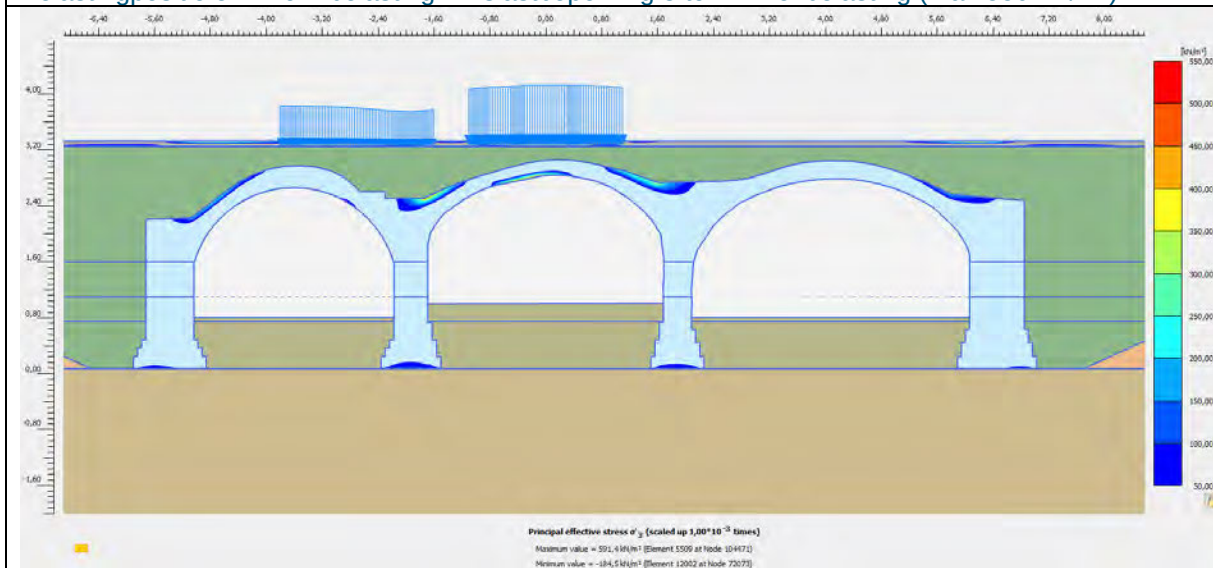
Belastingpositie 5-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



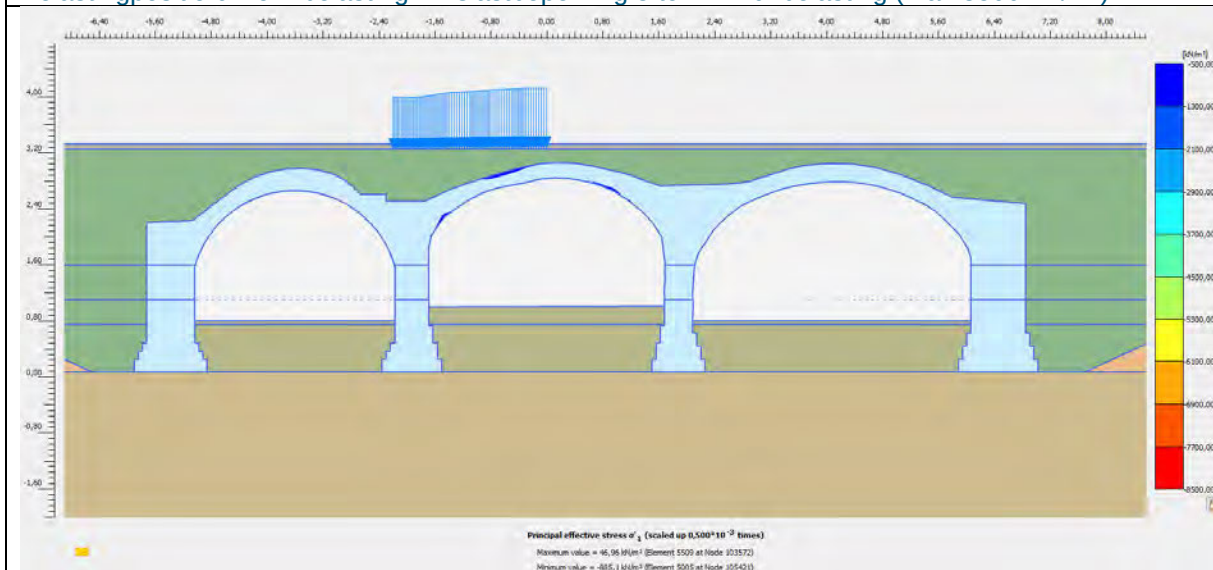
Belastingpositie 5-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



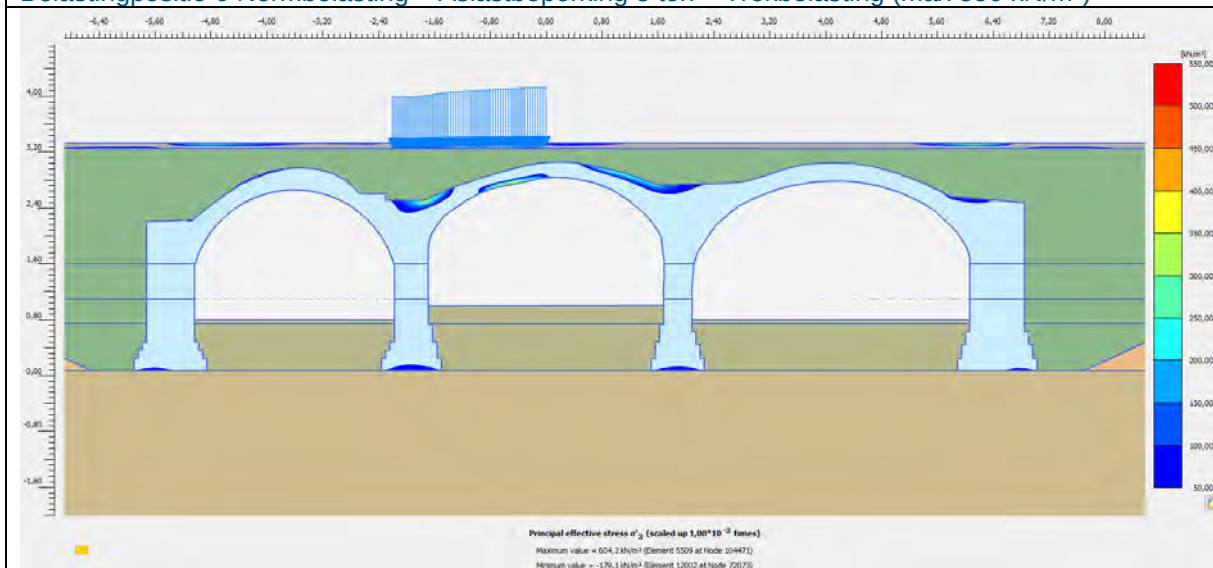
Belastingpositie 5-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



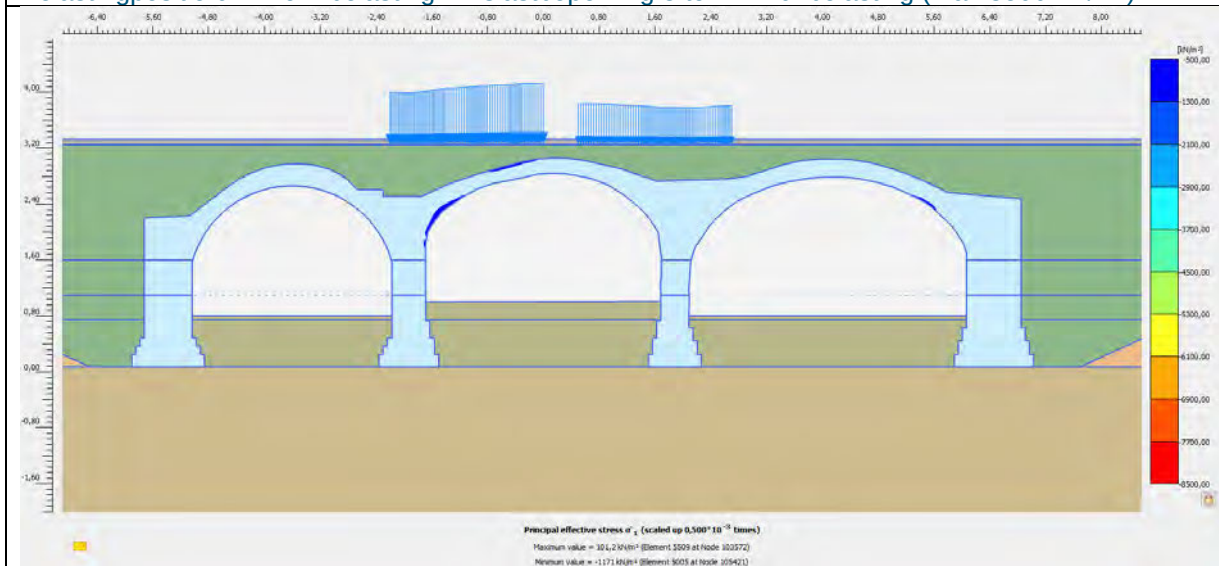
Belastingpositie 6 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



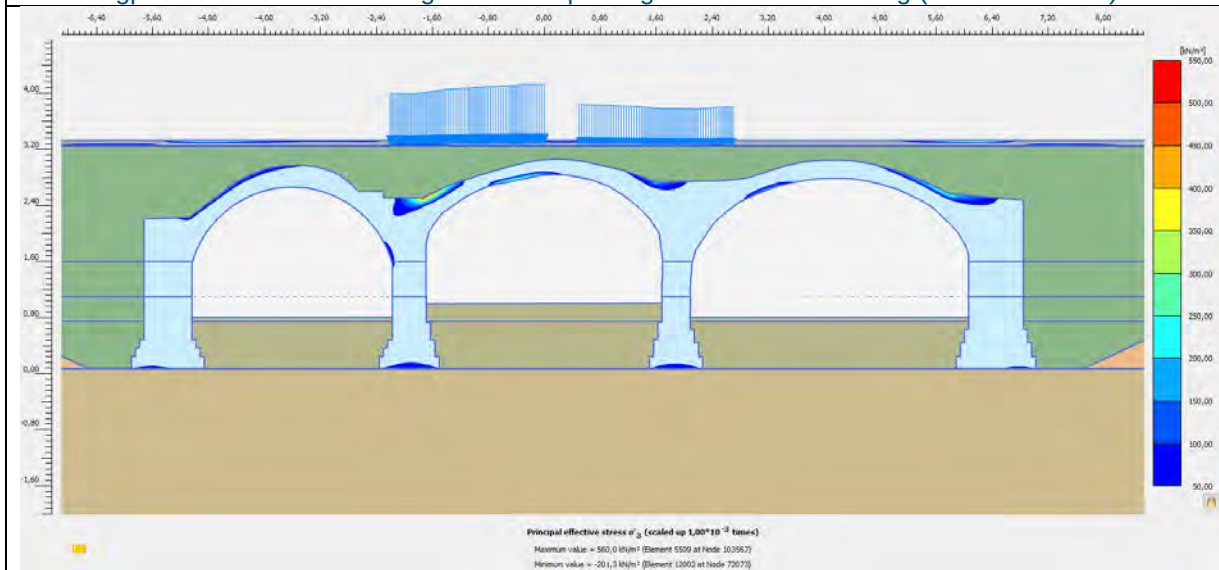
Belastingpositie 6 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



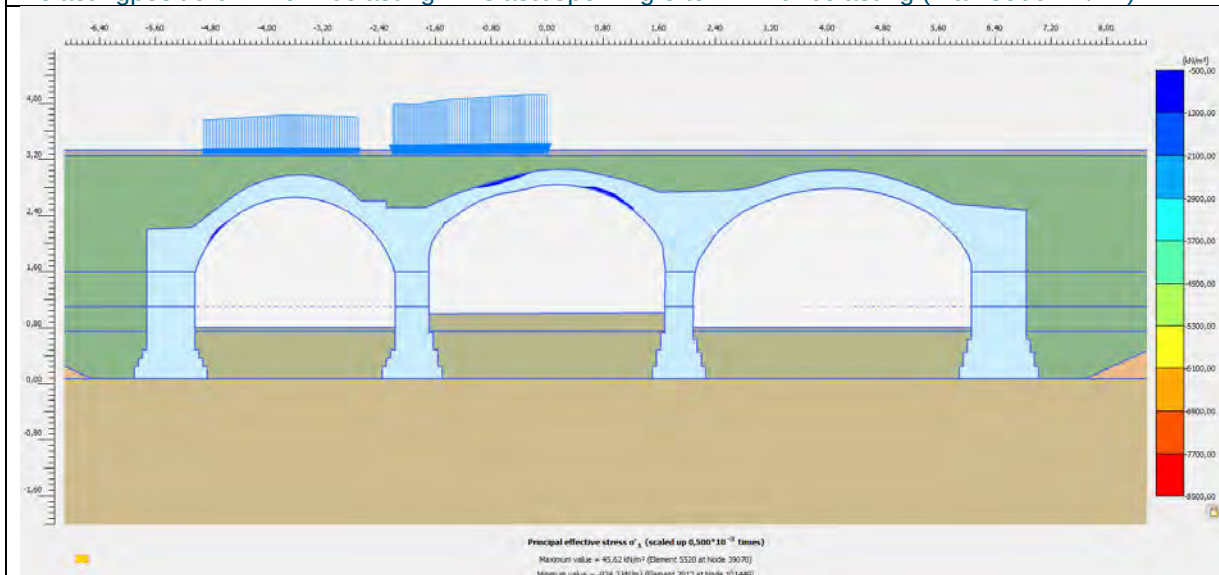
Belastingpositie 6-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



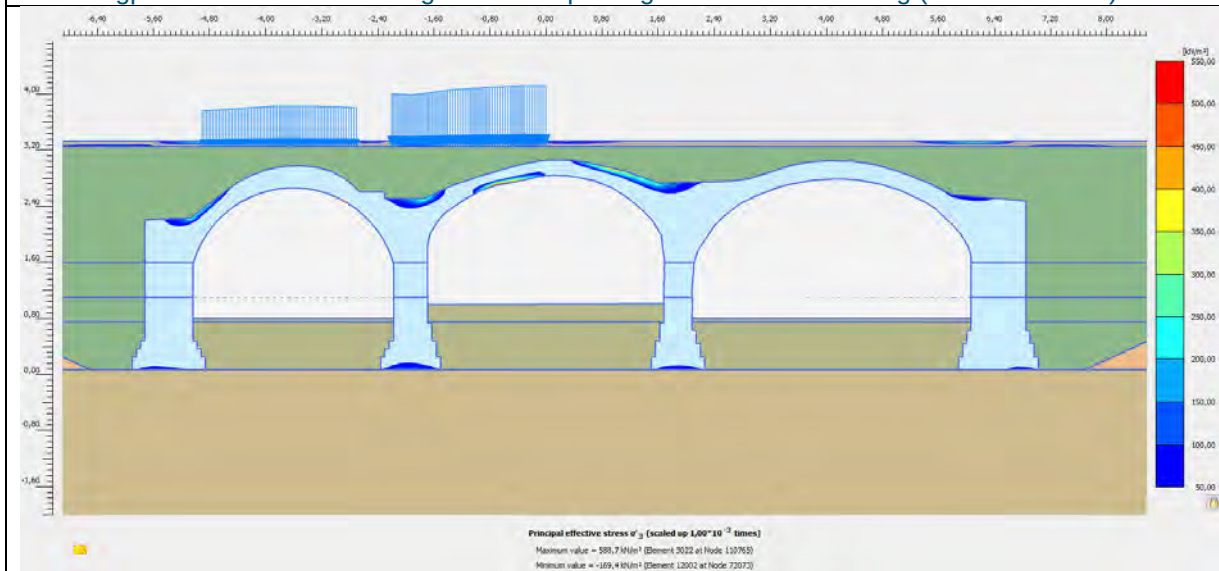
Belastingpositie 6-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



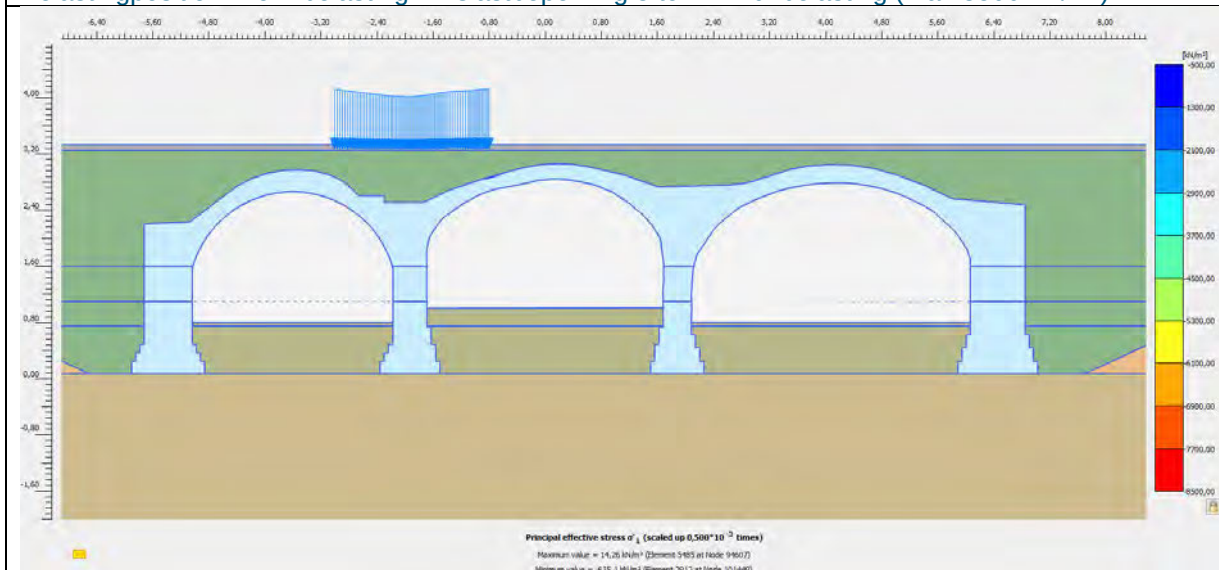
Belastingpositie 6-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



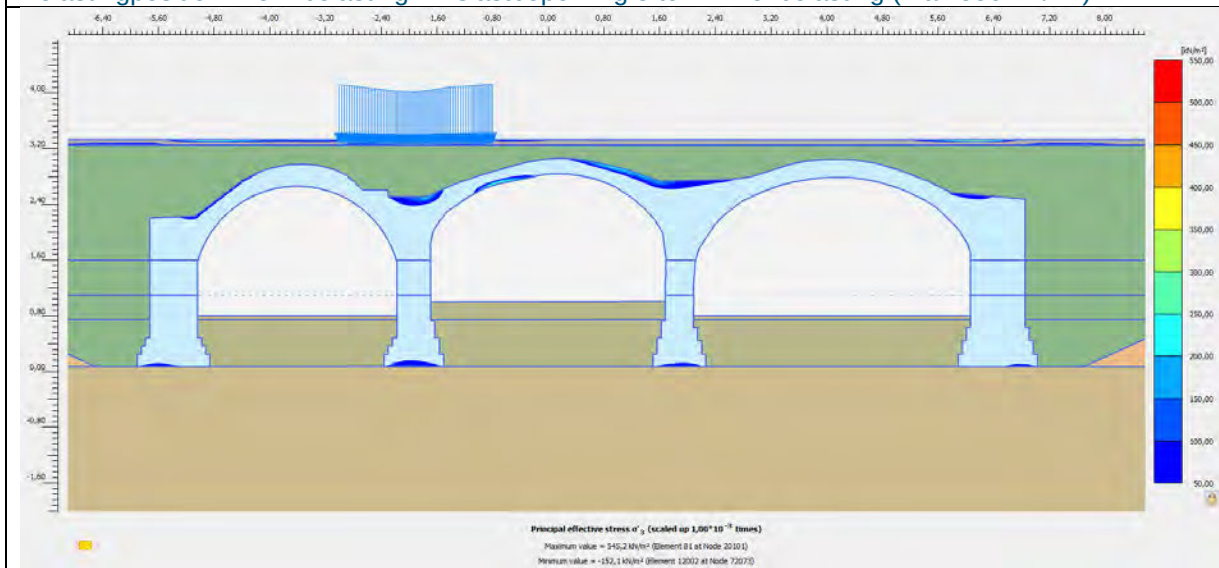
Belastingpositie 6-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



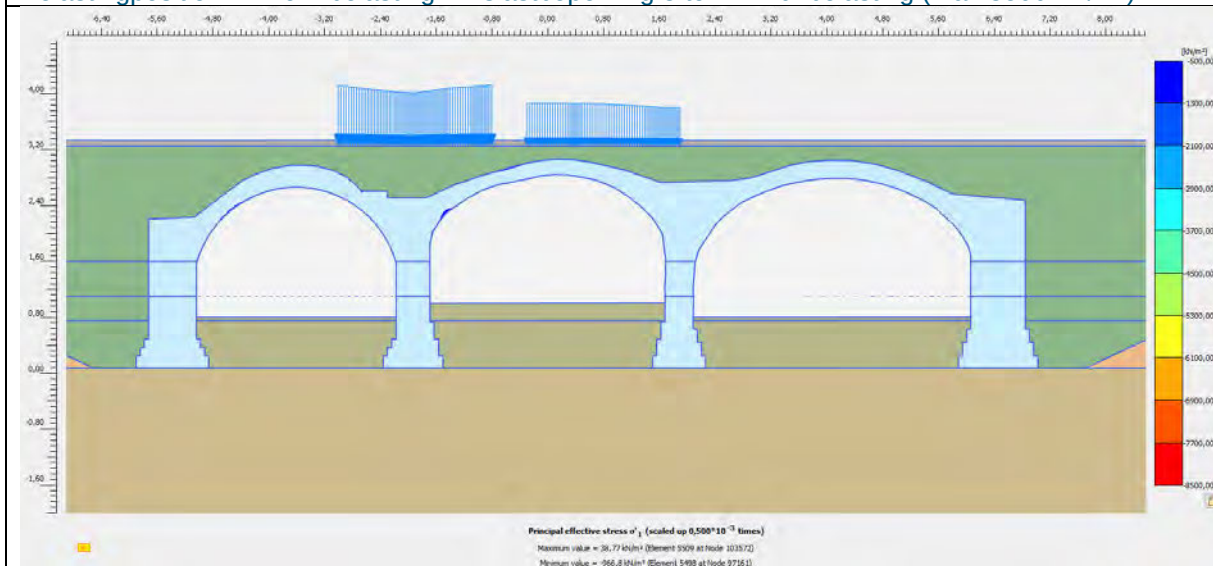
Belastingpositie 7 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



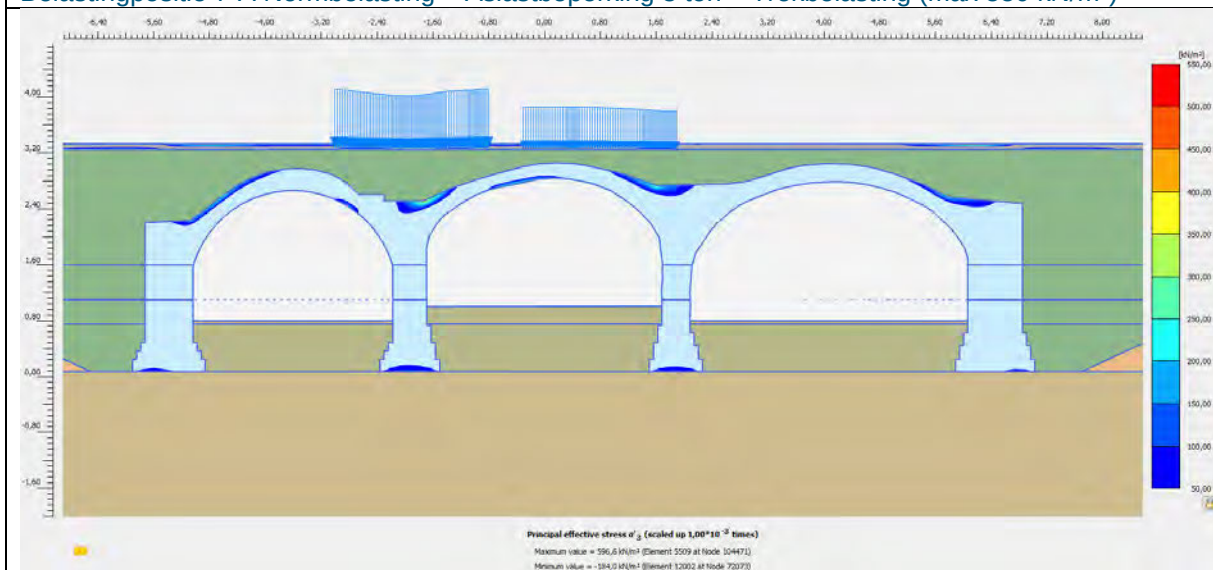
Belastingpositie 7 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



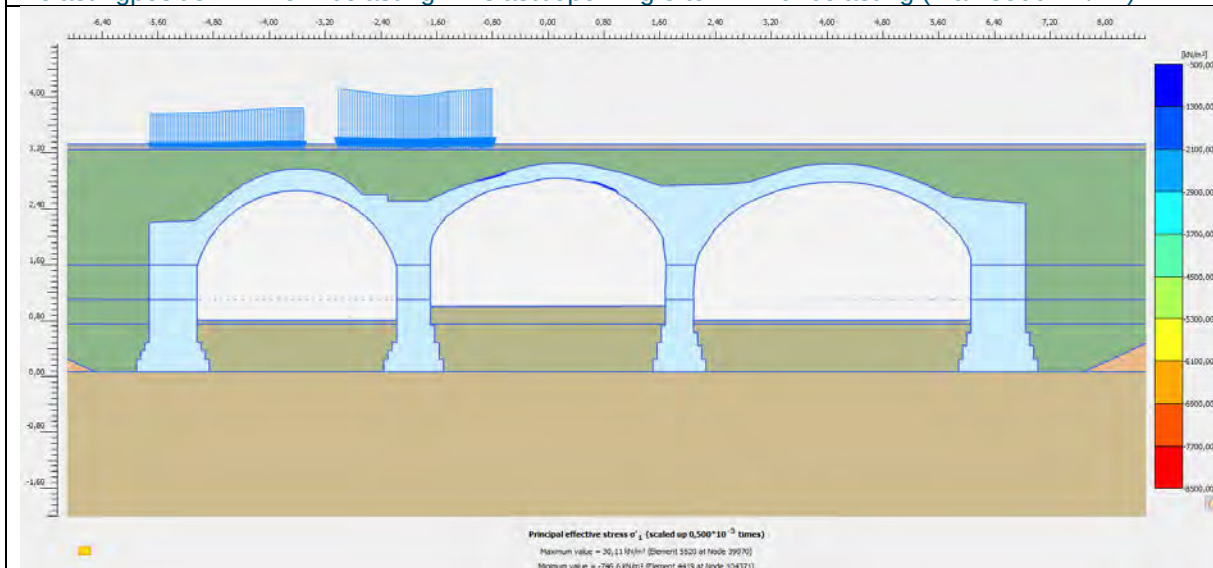
Belastingpositie 7-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



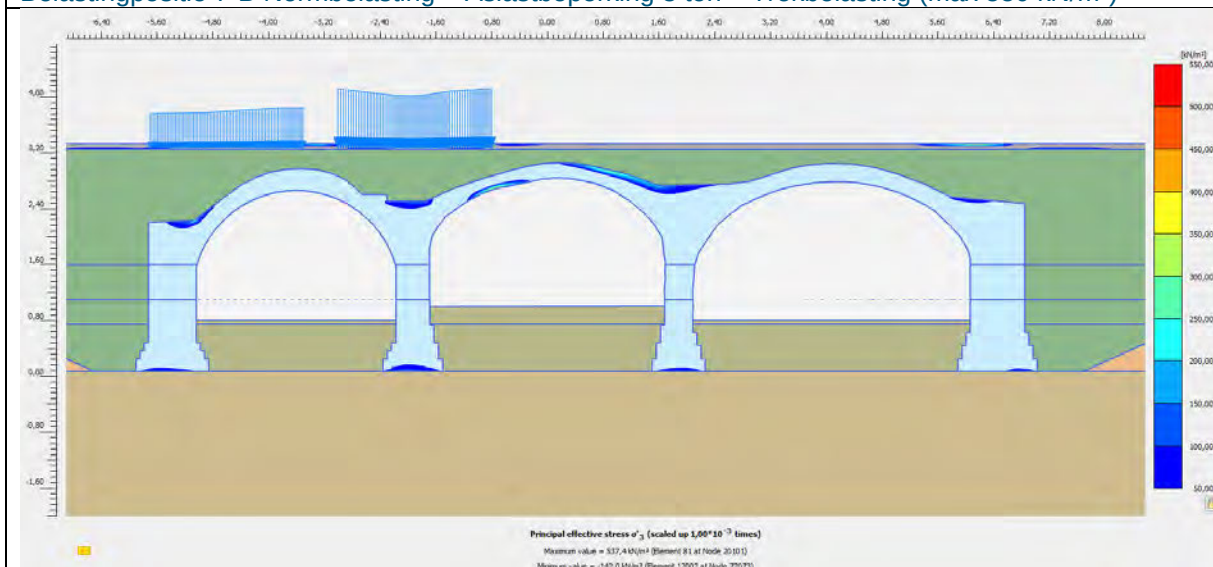
Belastingpositie 7-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



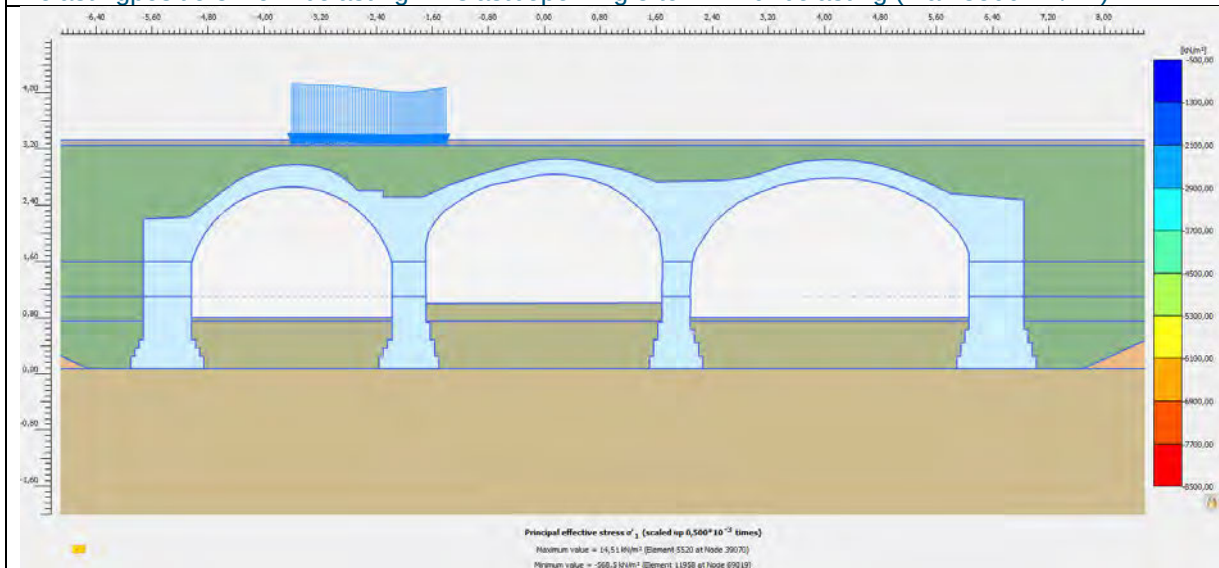
Belastingpositie 7-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



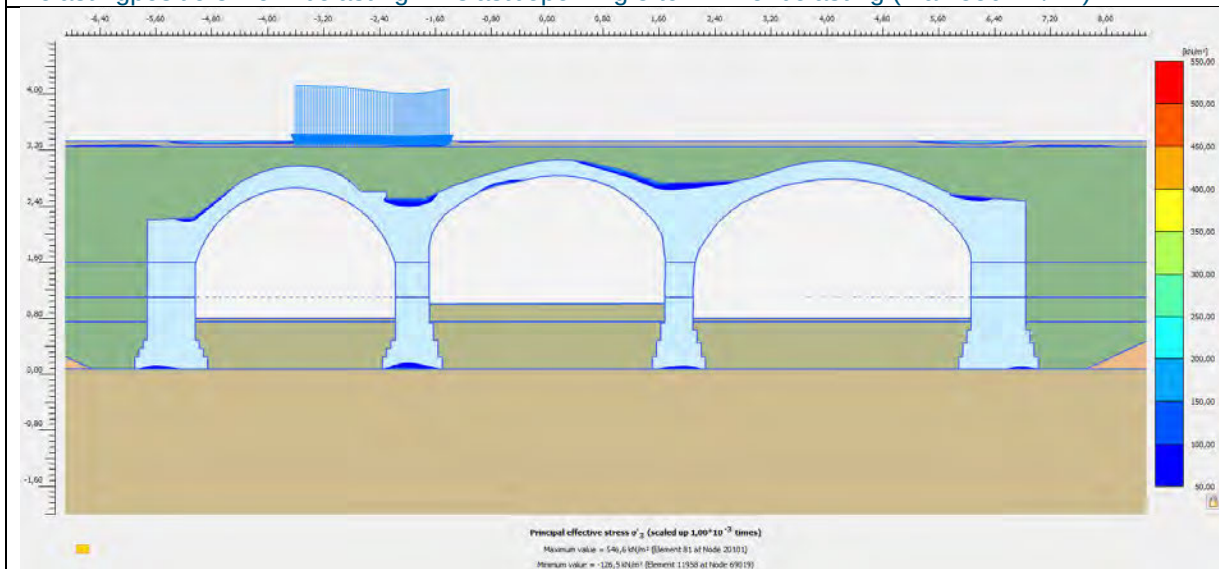
Belastingpositie 7-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



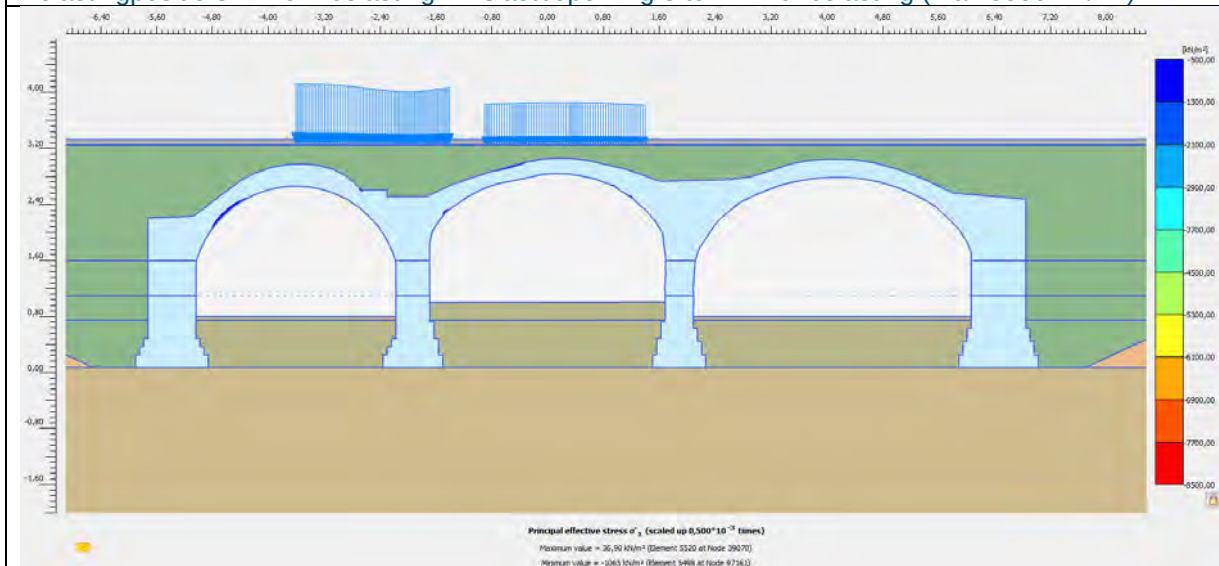
Belastingpositie 8 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



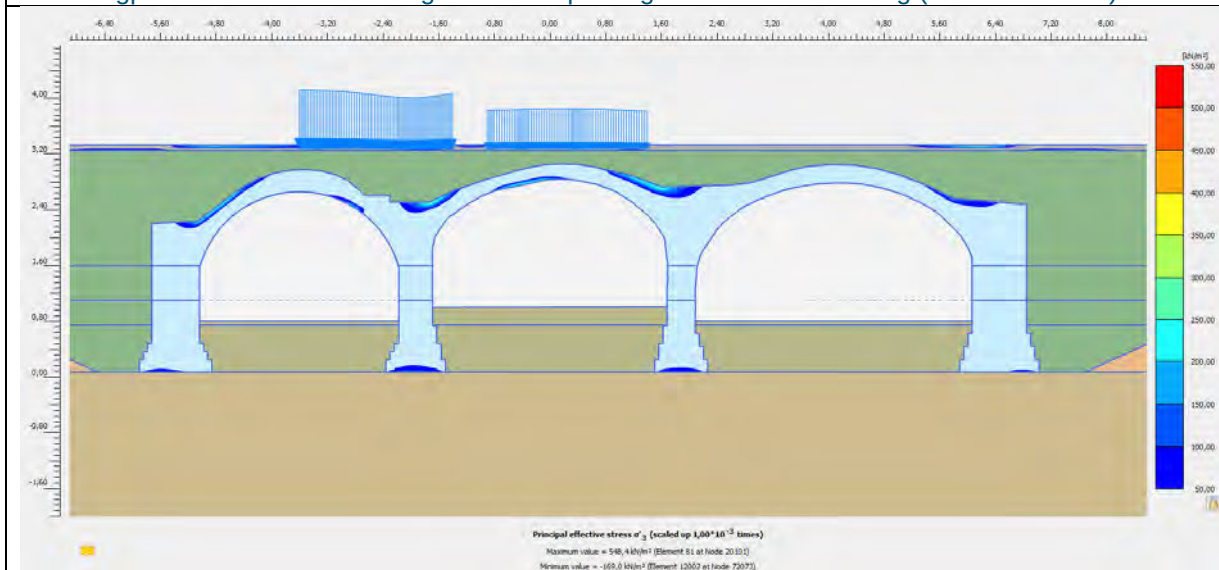
Belastingpositie 8 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



Belastingpositie 8-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)

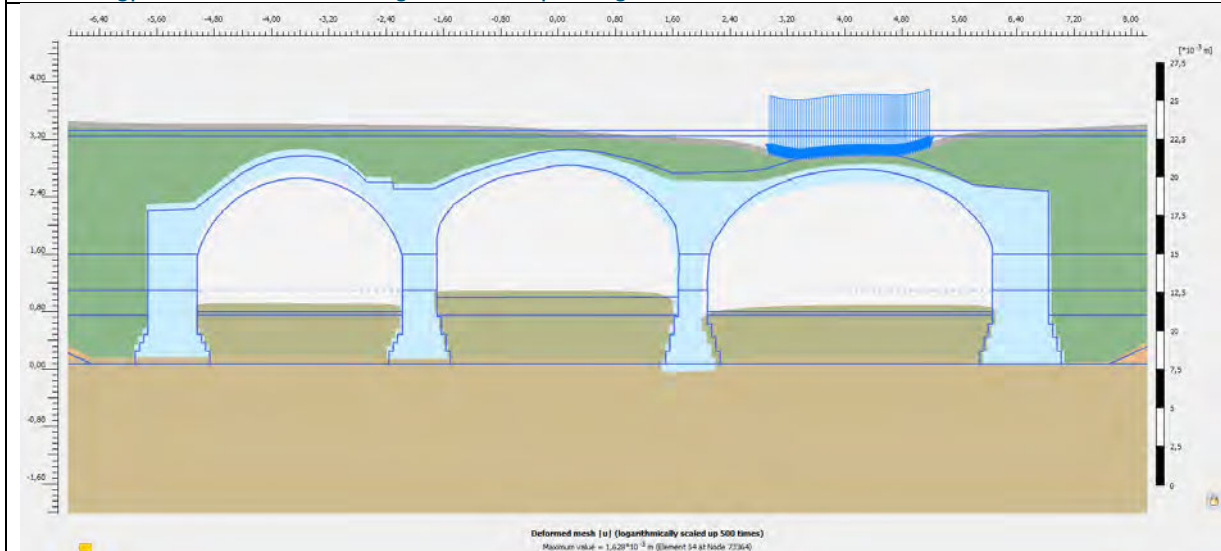


Belastingpositie 8-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton – Trekbelasting (max 550 kN/m²)

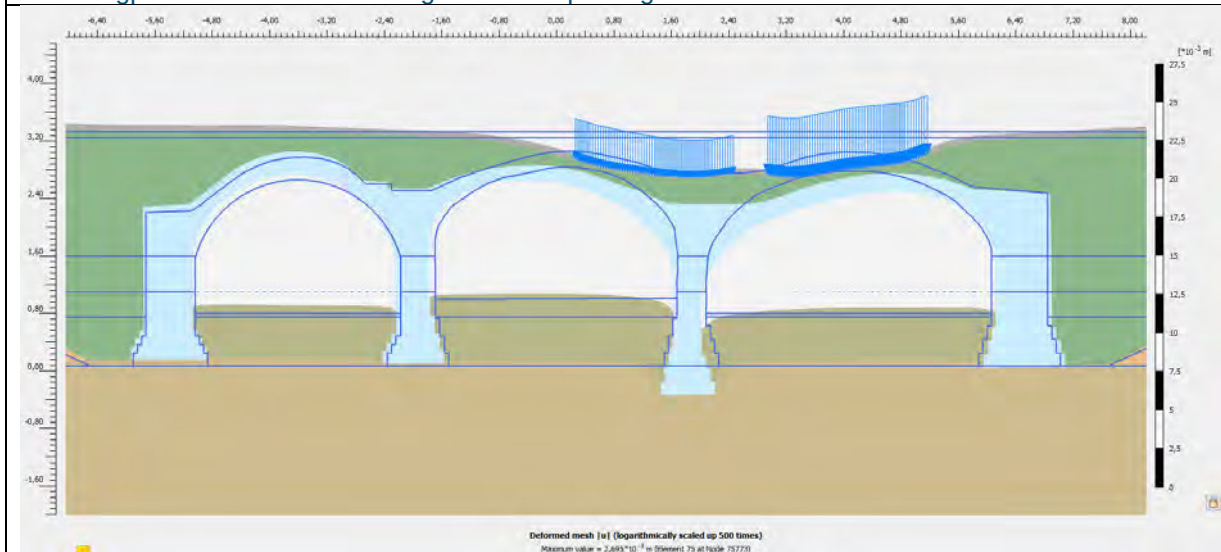


Vervormingen (500x vergroot)

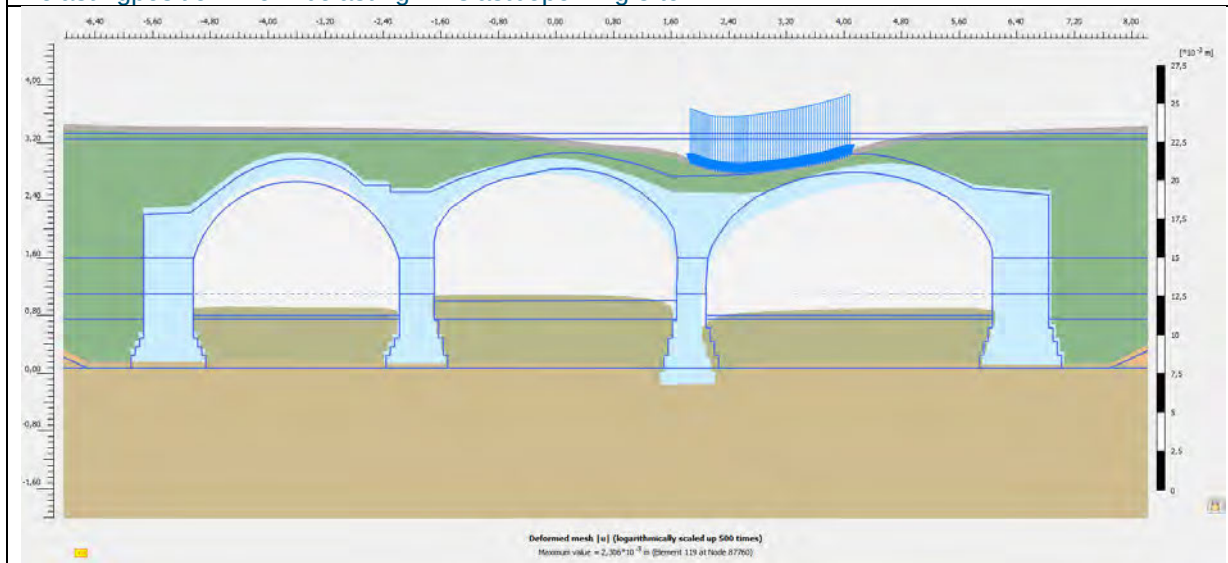
Belastingpositie 1 Normbelasting – Aslastbepierking 3 ton



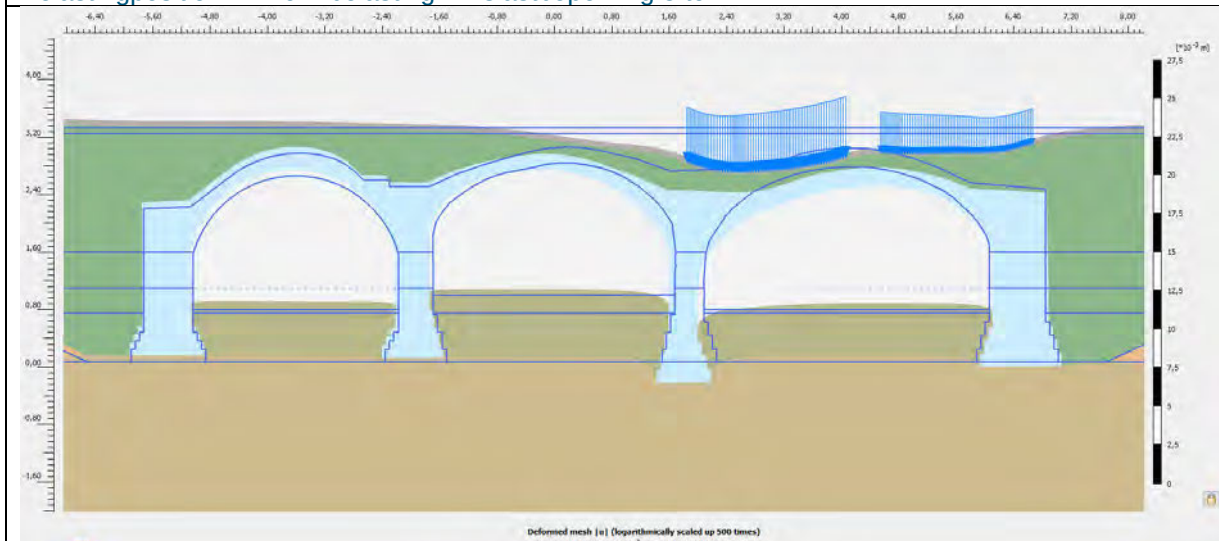
Belastingpositie 1-B Normbelasting – Aslastbepierking 3 ton



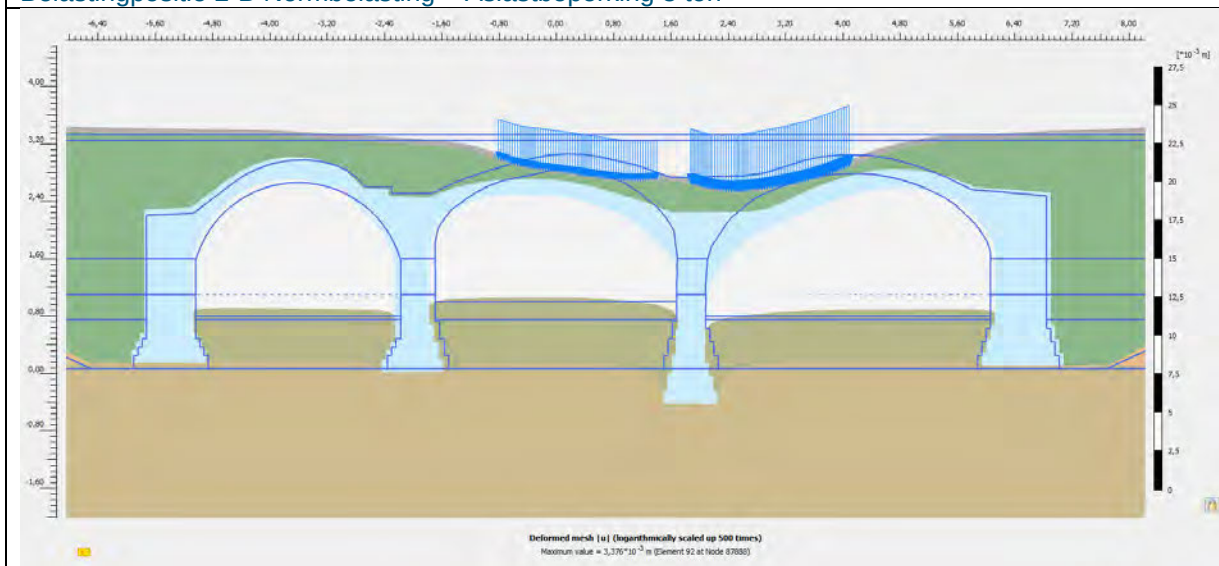
Belastingpositie 2 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



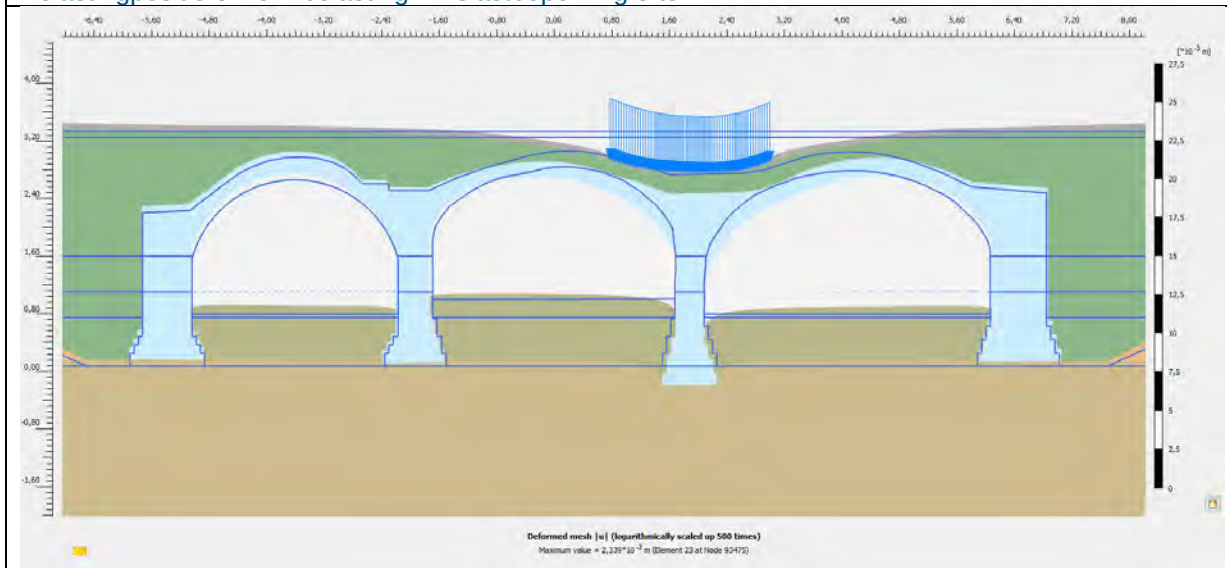
Belastingpositie 2-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



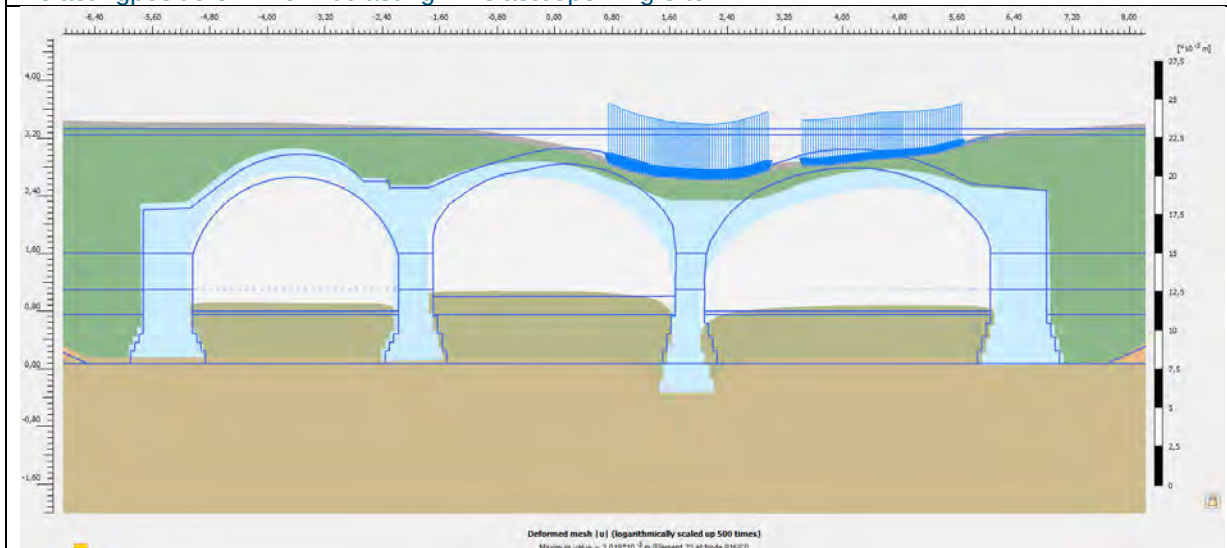
Belastingpositie 2-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



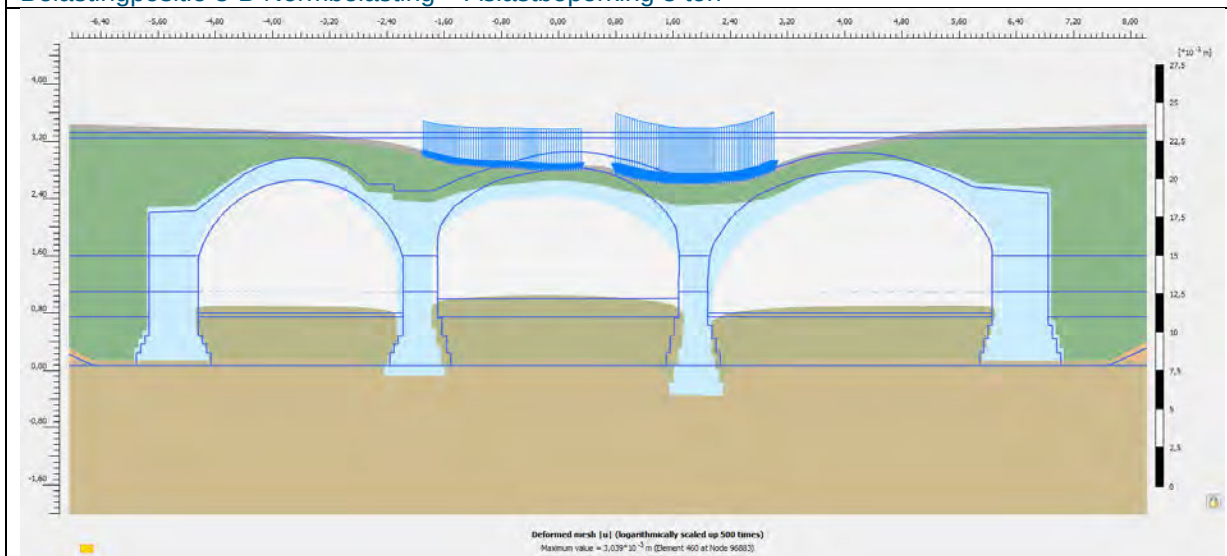
Belastingpositie 3 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



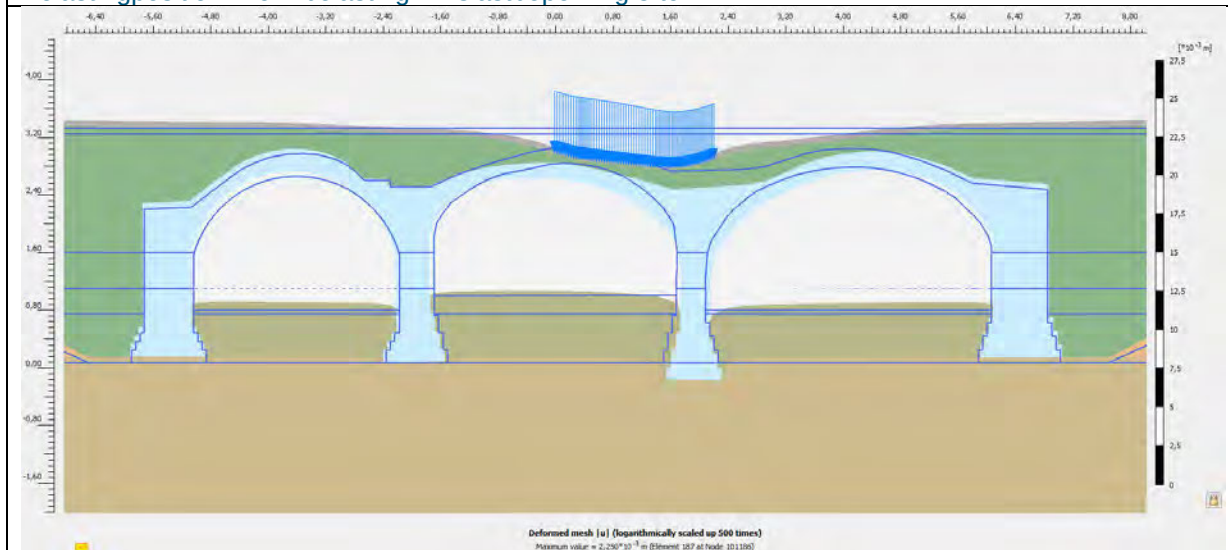
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



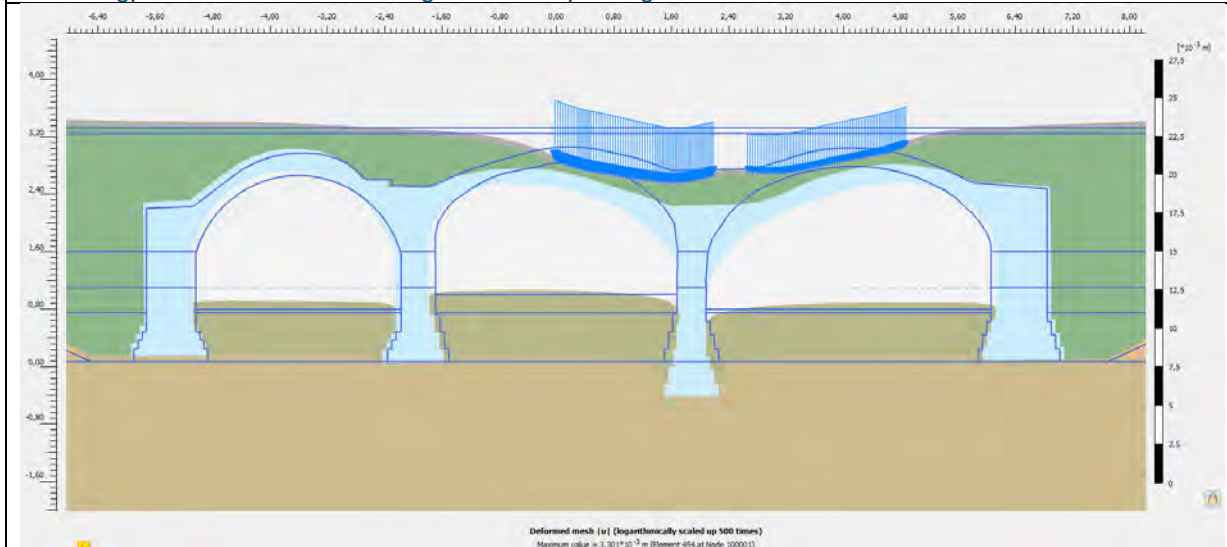
Belastingpositie 3-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



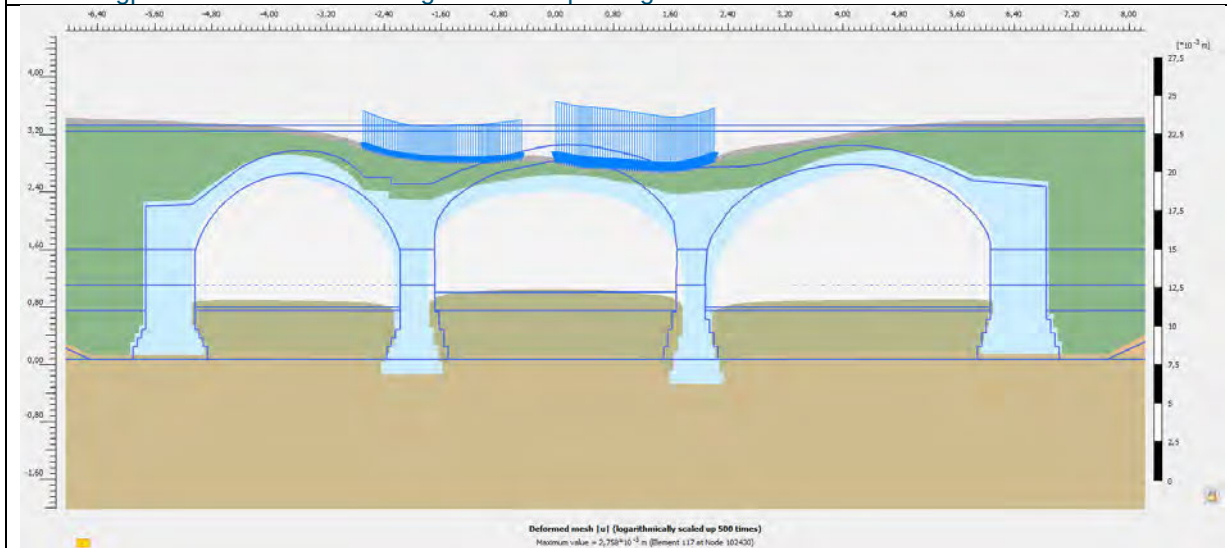
Belastingpositie 4 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



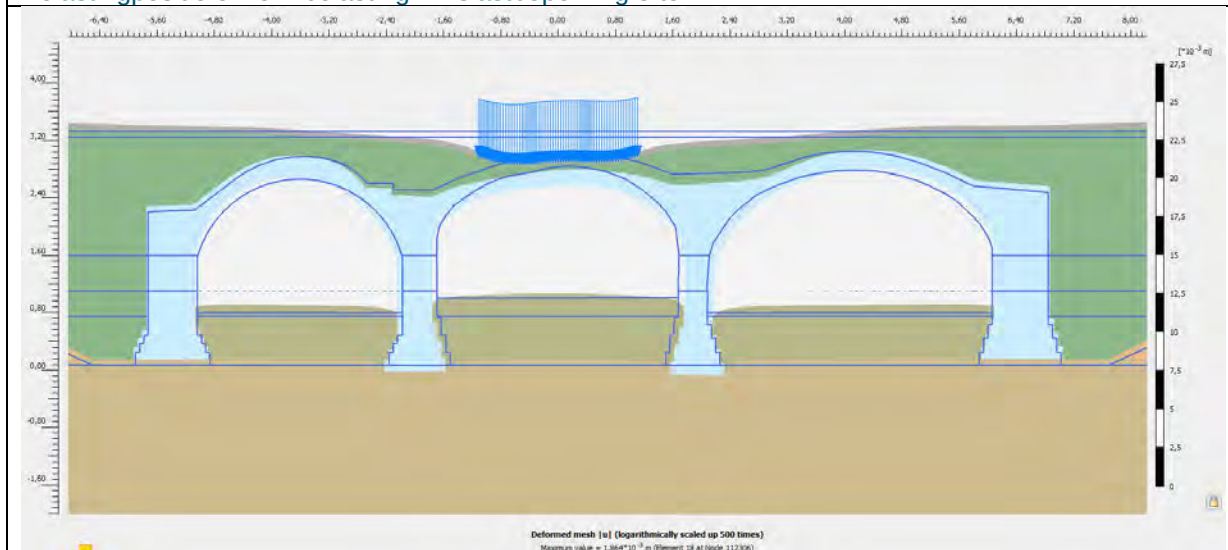
Belastingpositie 4-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



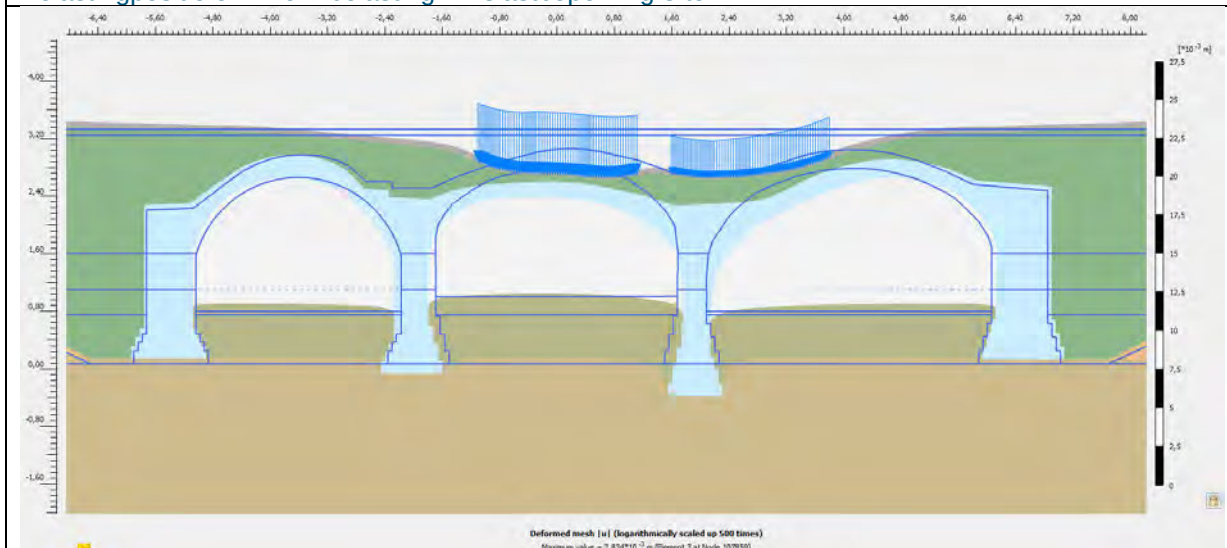
Belastingpositie 4-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



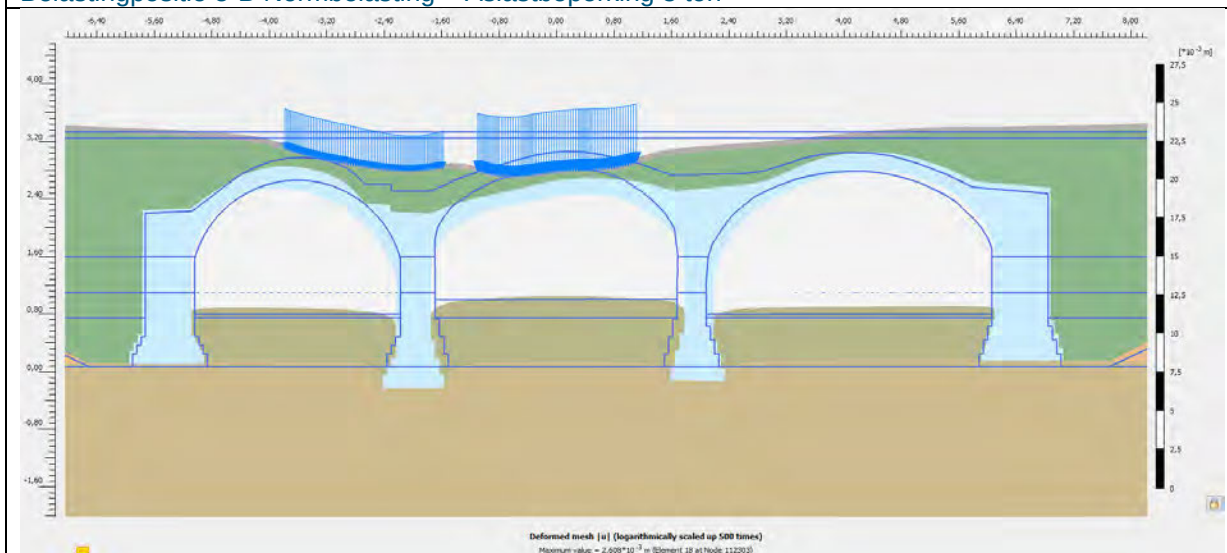
Belastingpositie 5 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



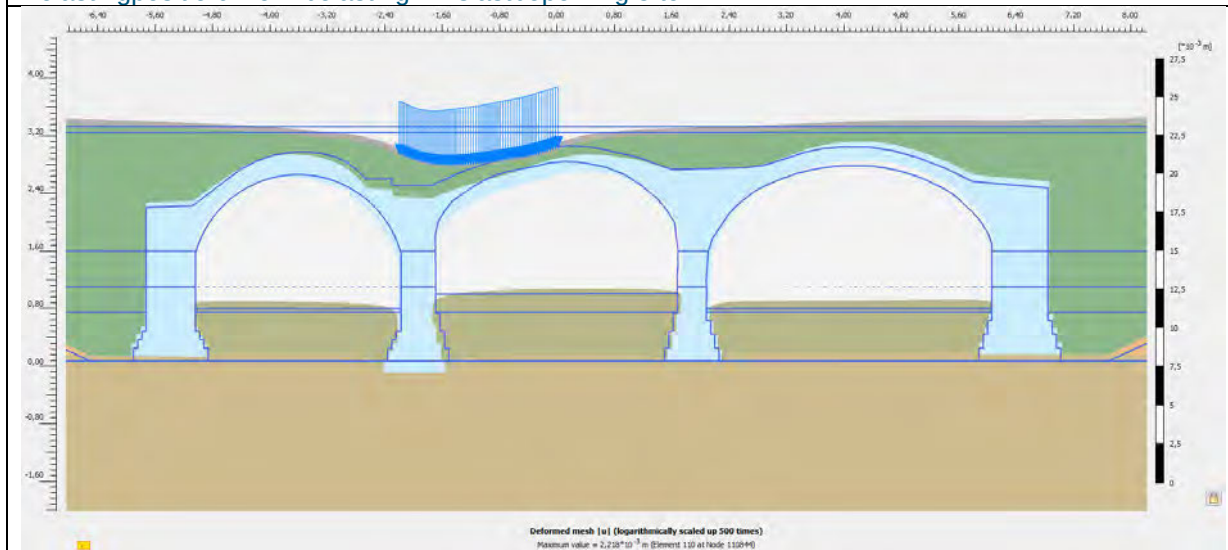
Belastingpositie 5-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



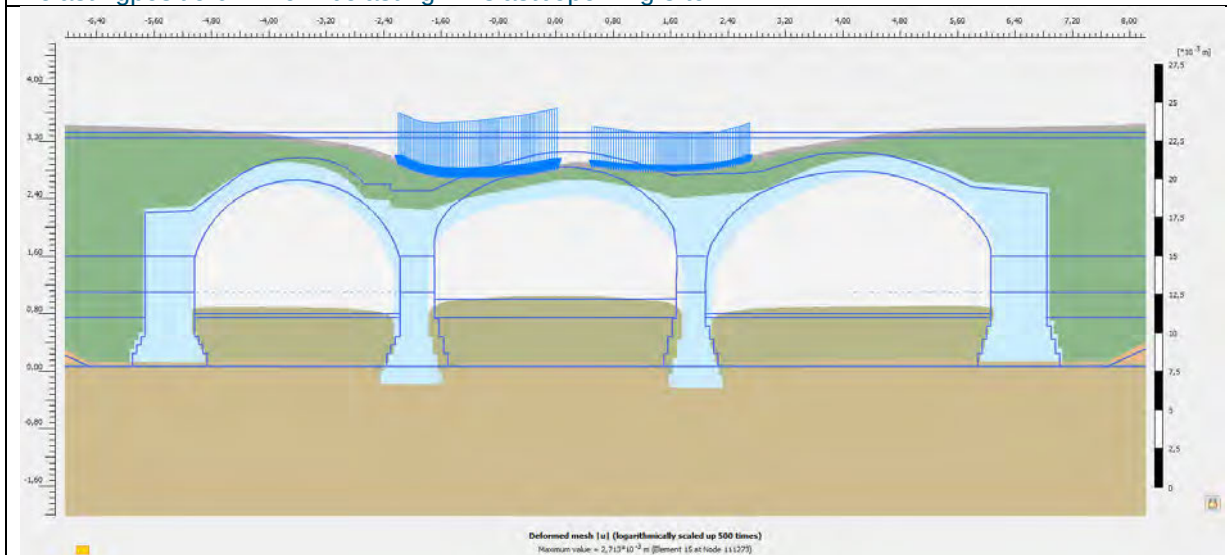
Belastingpositie 5-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



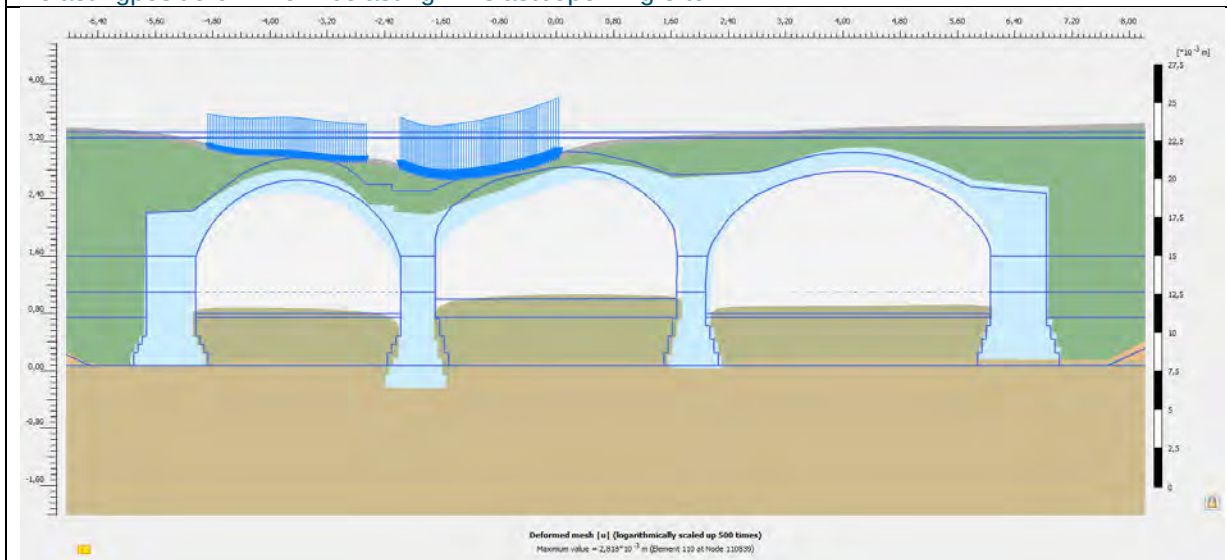
Belastingpositie 6 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



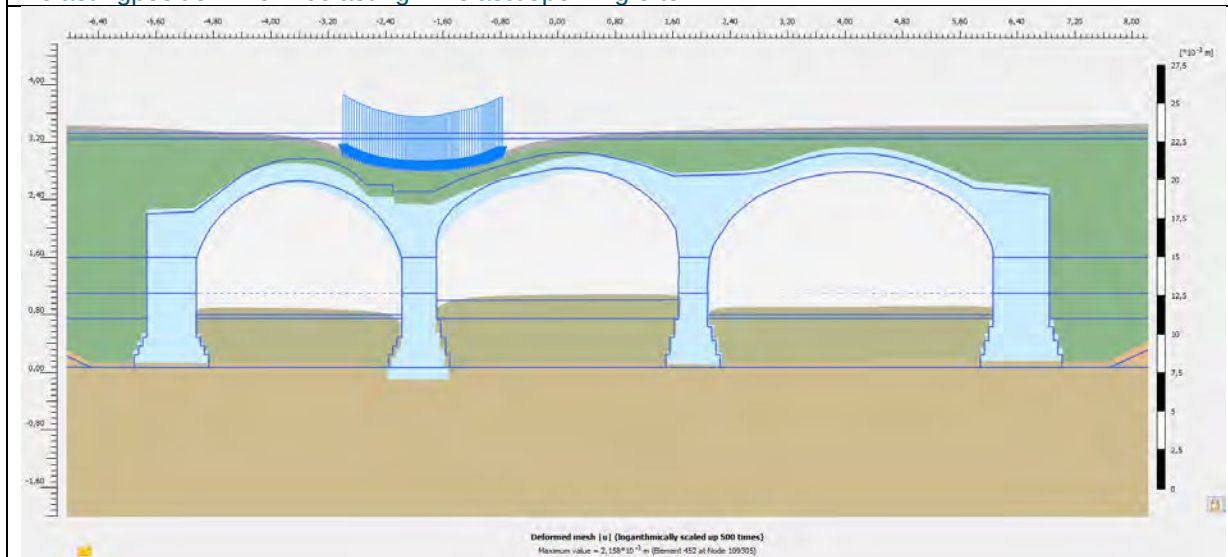
Belastingpositie 6-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



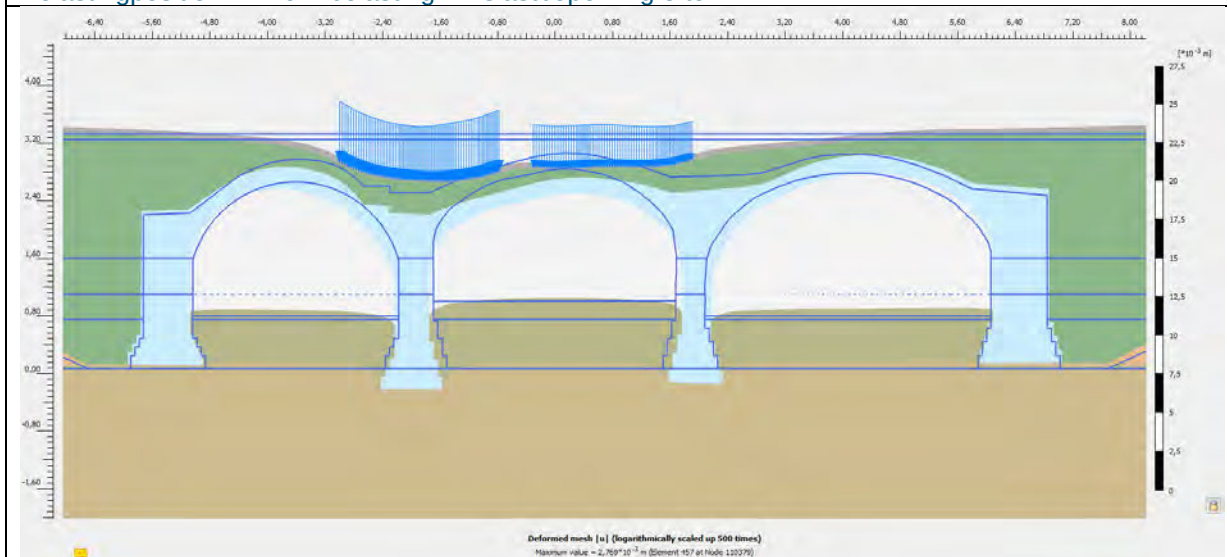
Belastingpositie 6-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



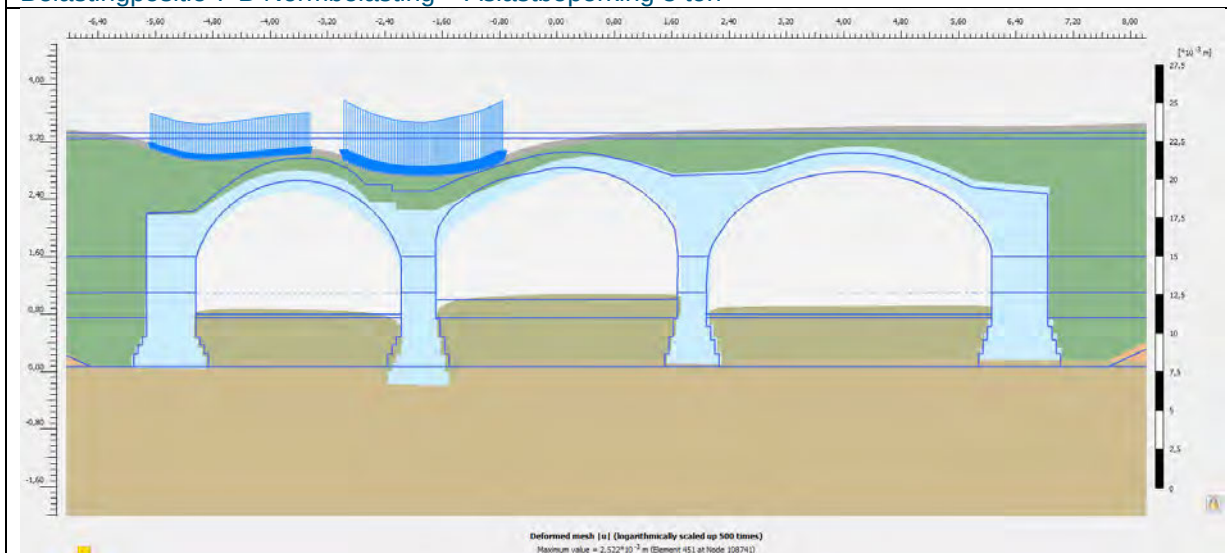
Belastingpositie 7 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



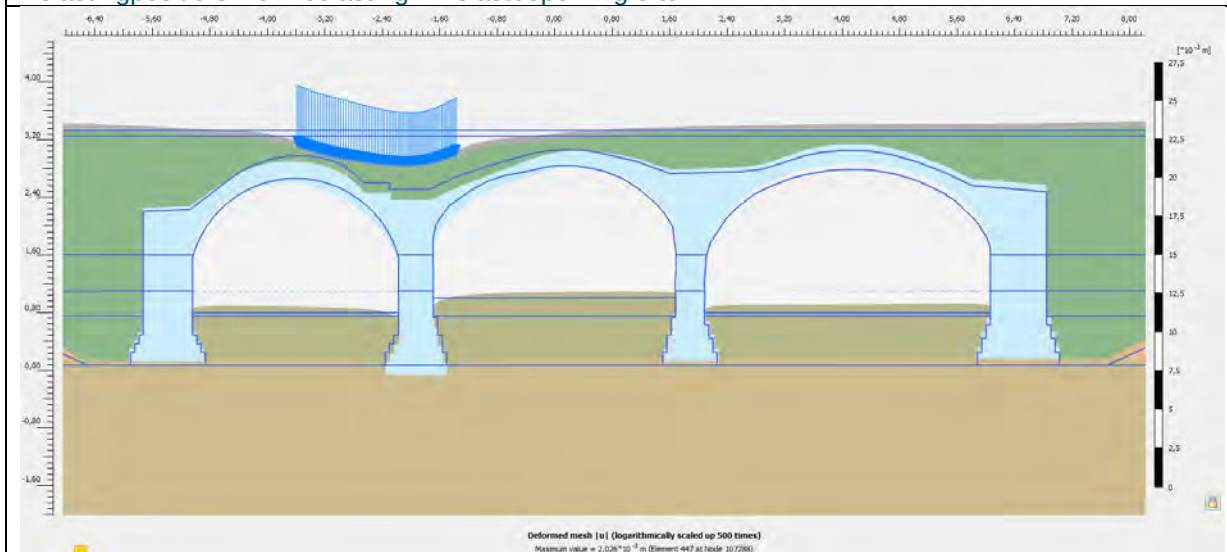
Belastingpositie 7-A Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



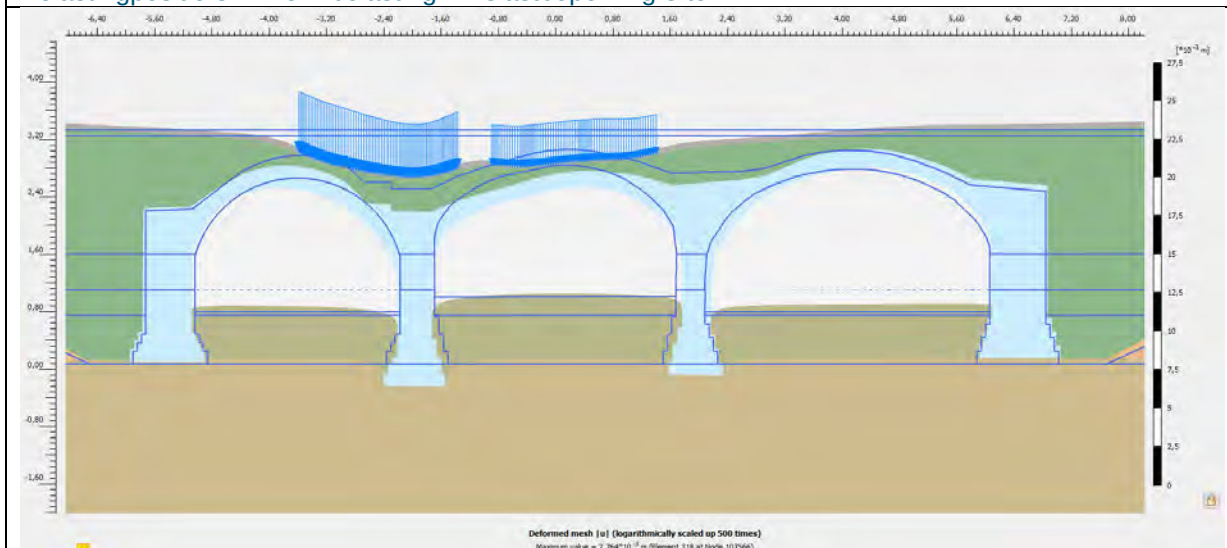
Belastingpositie 7-B Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



Belastingpositie 8 Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



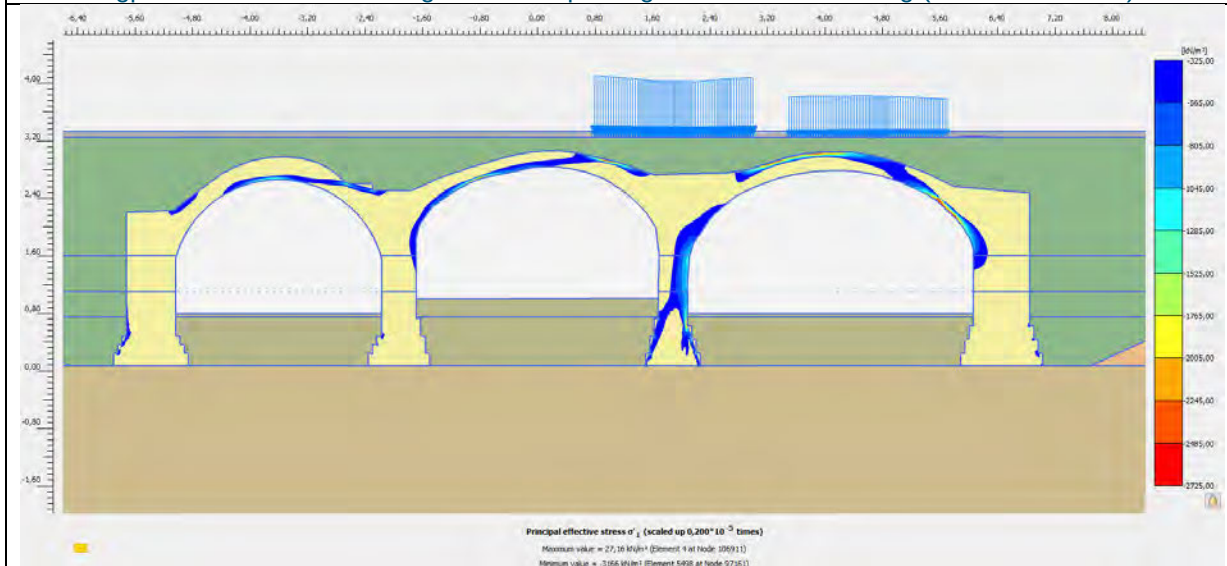
Belastingpositie 8-R Normbelasting – Aslastbeperking 3 ton



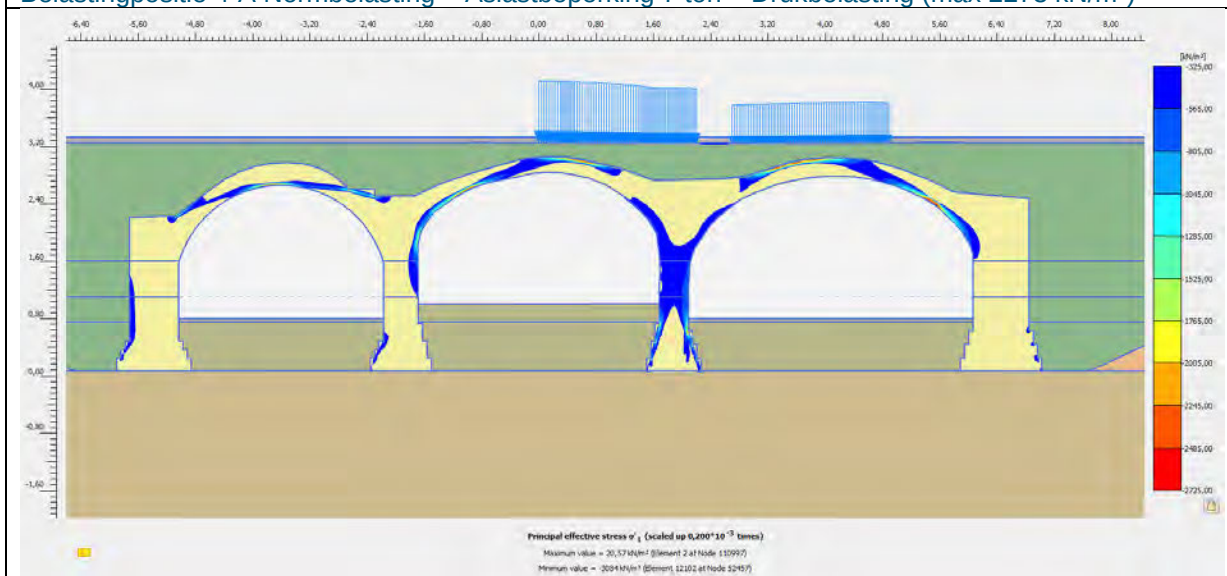
A5.2 UGT lastbeperving BM1

Drukspanningen

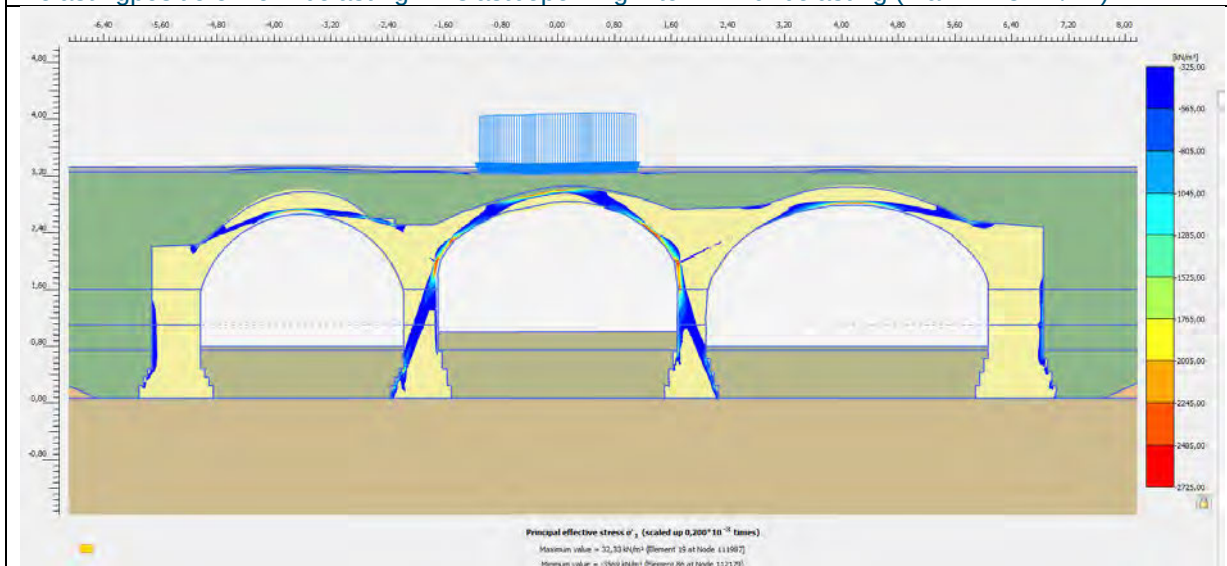
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperving 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)



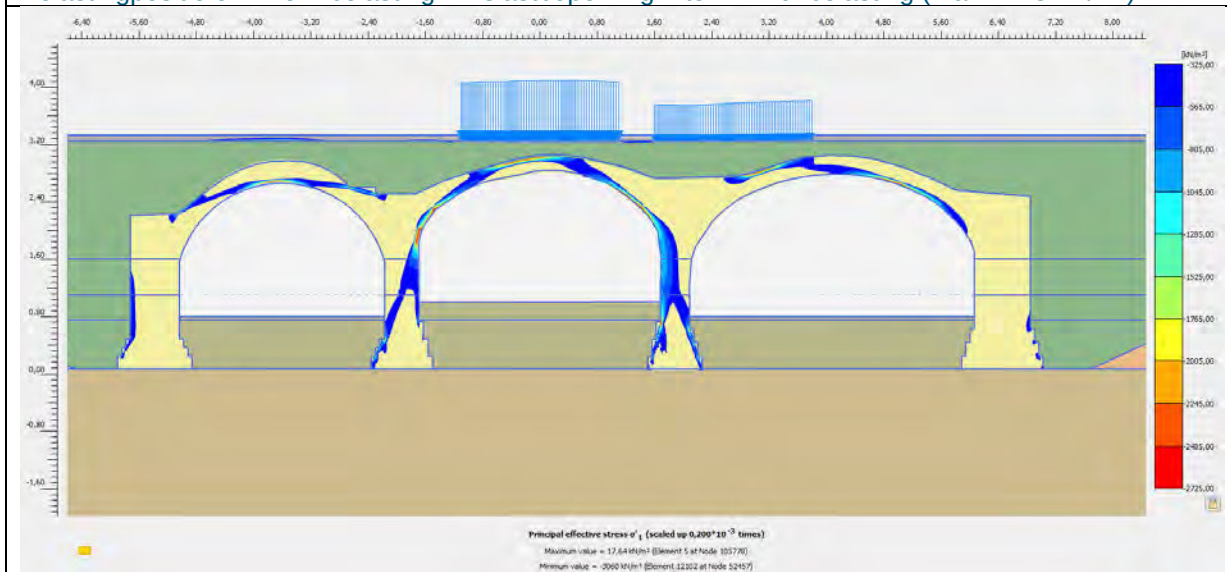
Belastingpositie 4-A Normbelasting – Aslastbeperving 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)



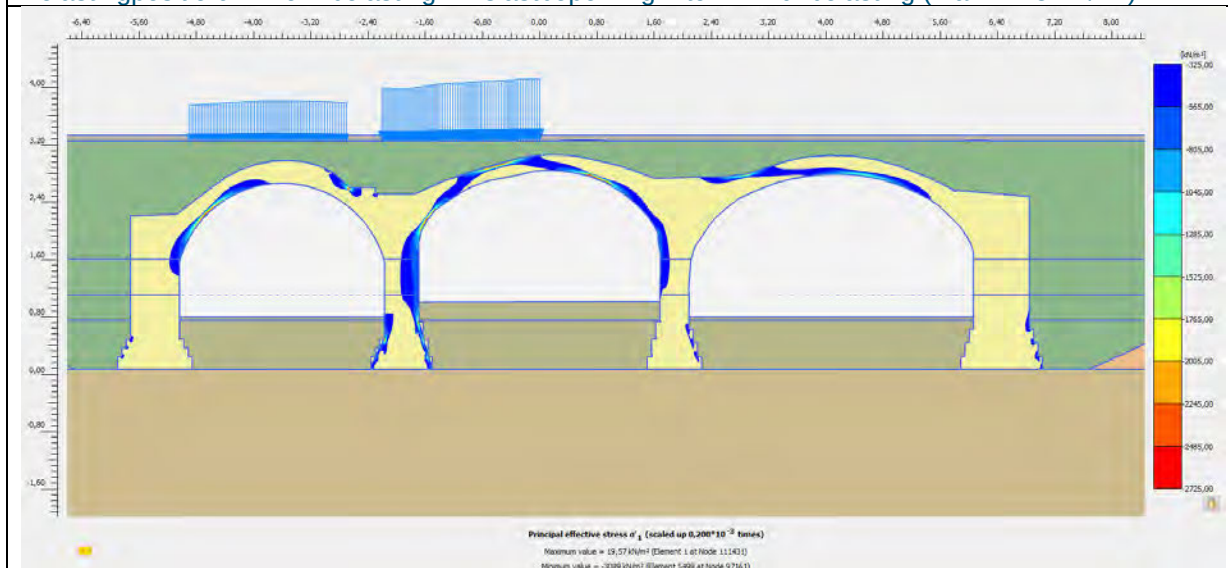
Belastingpositie 5 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)



Belastingpositie 5-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)

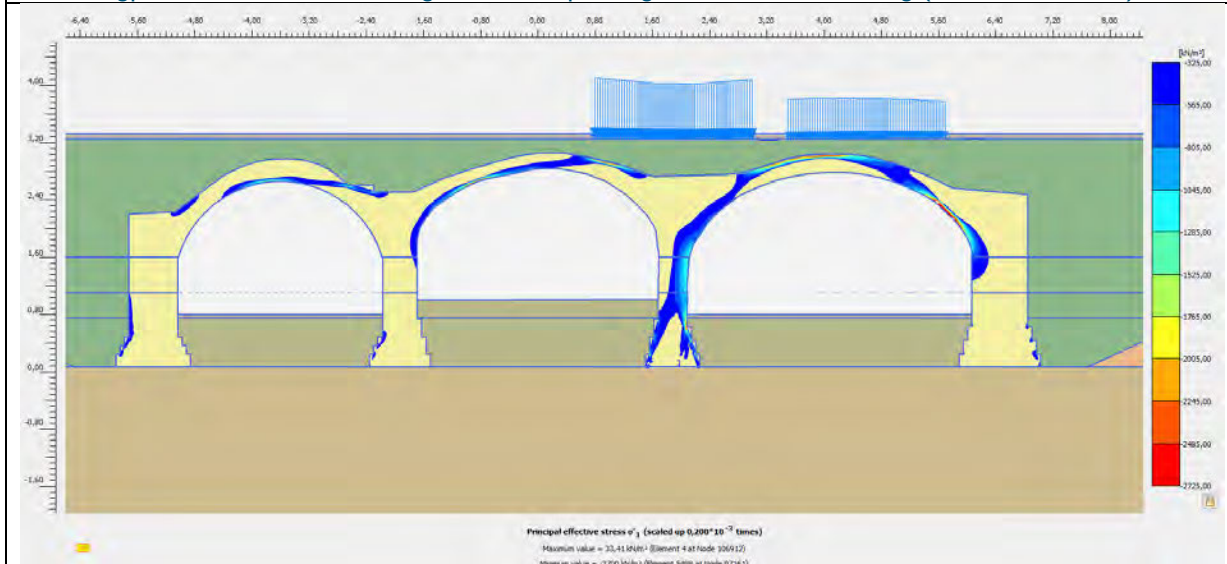


Belastingpositie 6-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)

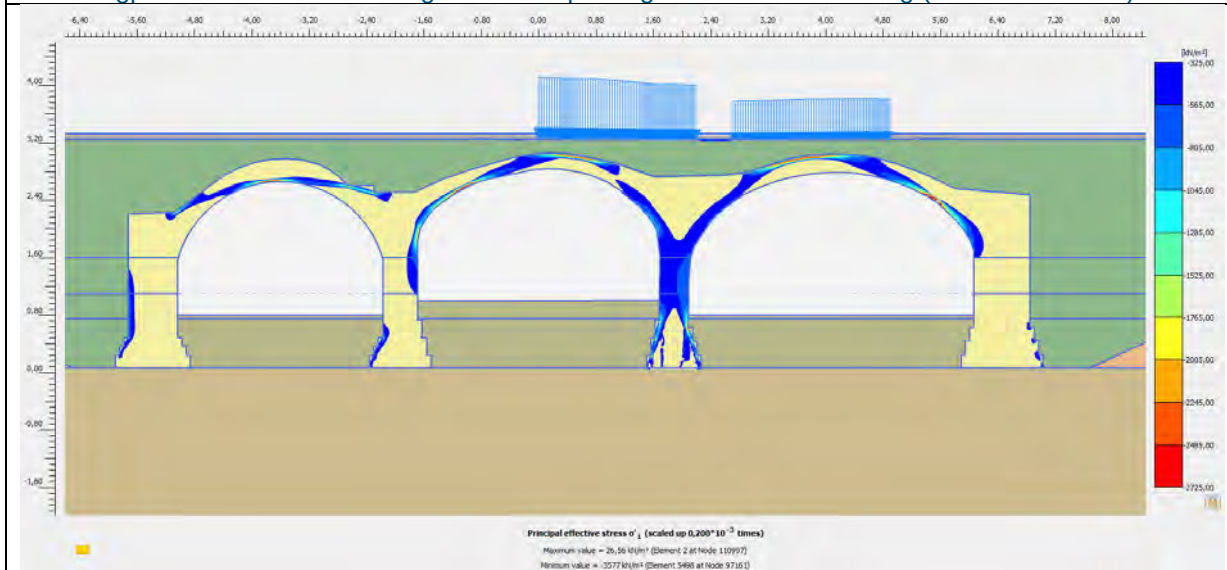


Drukspanningen GRF-2 (maximaal 5000/2,2*1,2= 2725 kN/m²)

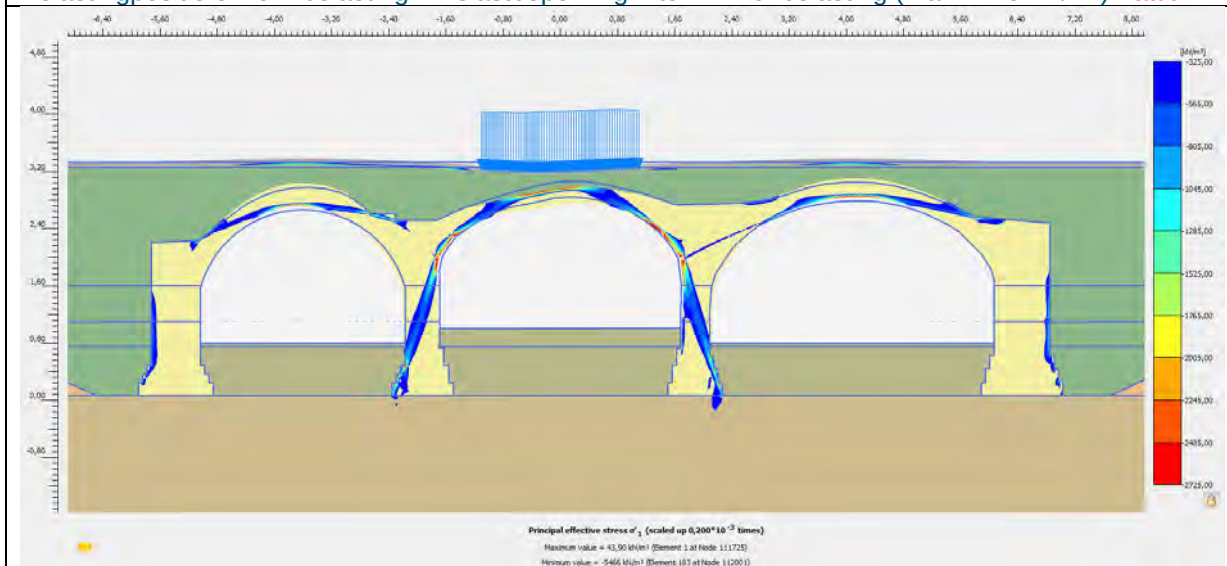
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m²)



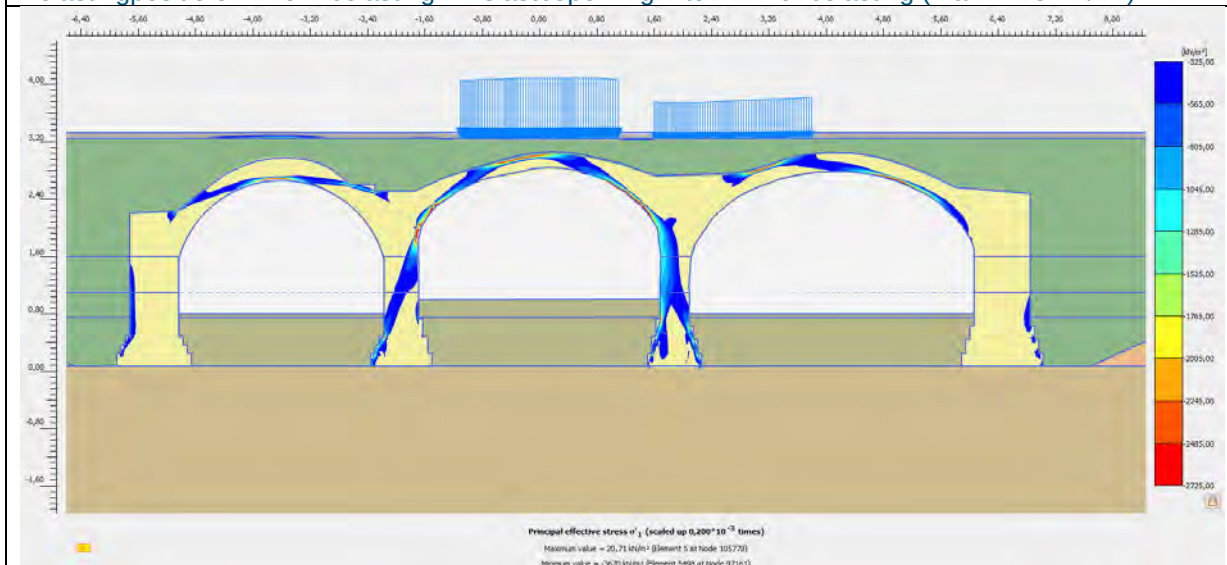
Belastingpositie 4-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m²)



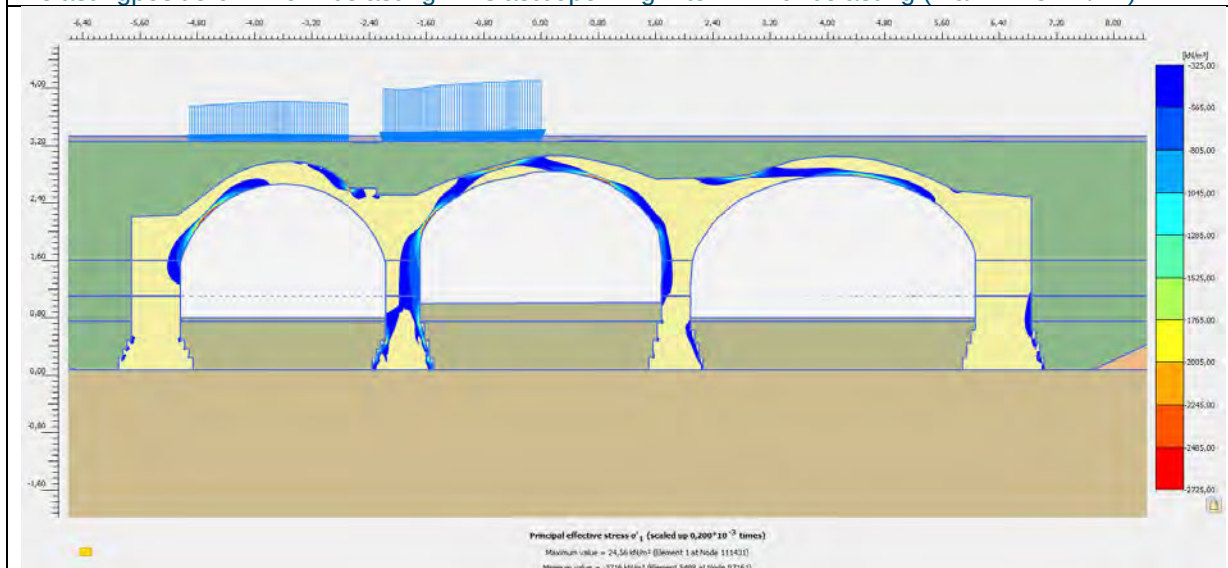
Belastingpositie 5 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m²) **Faalt**



Belastingpositie 5-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m²)

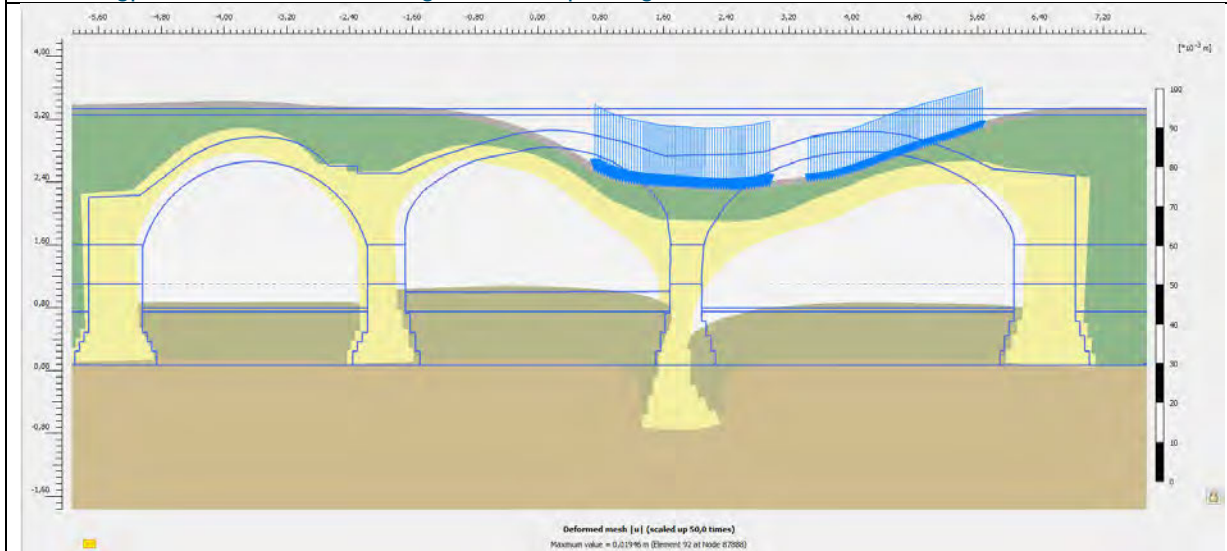


Belastingpositie 6-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton – Drukbelasting (max 2725 kN/m²)

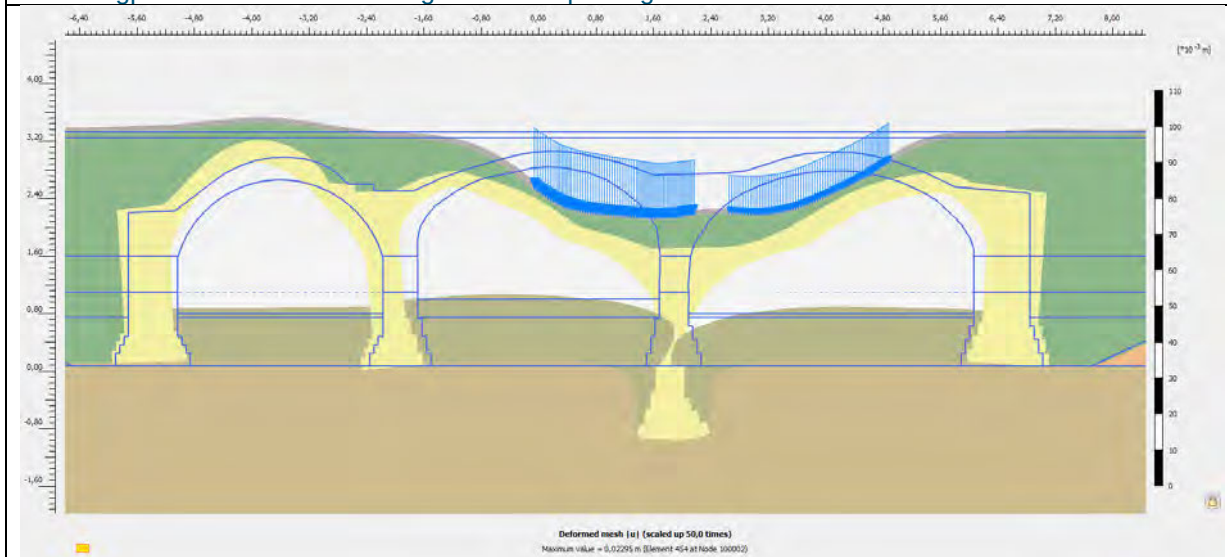


Vervormingen PF-methode x50

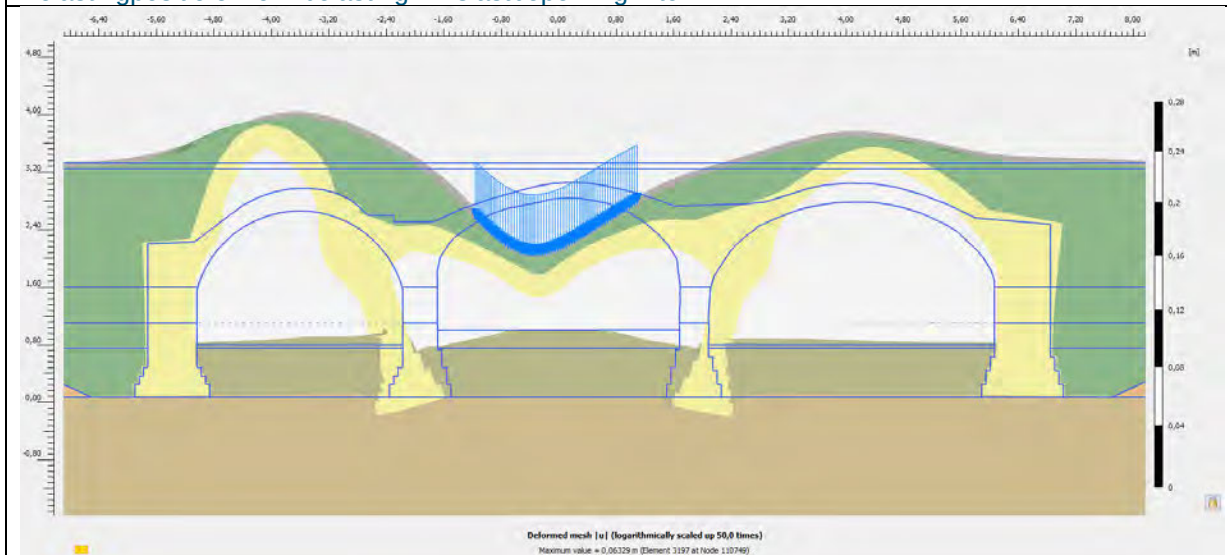
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



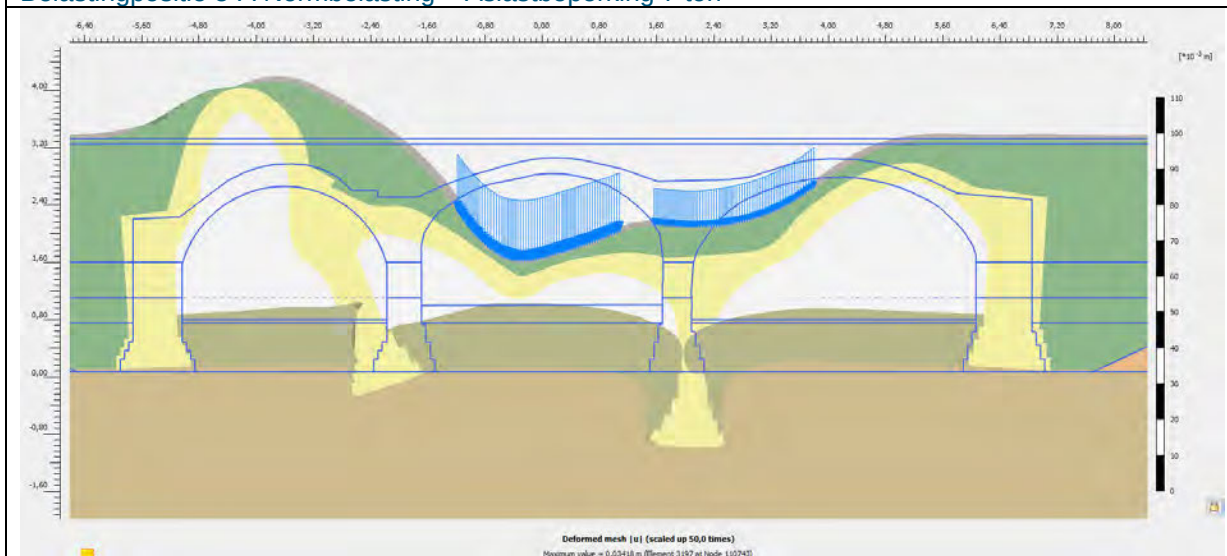
Belastingpositie 4-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



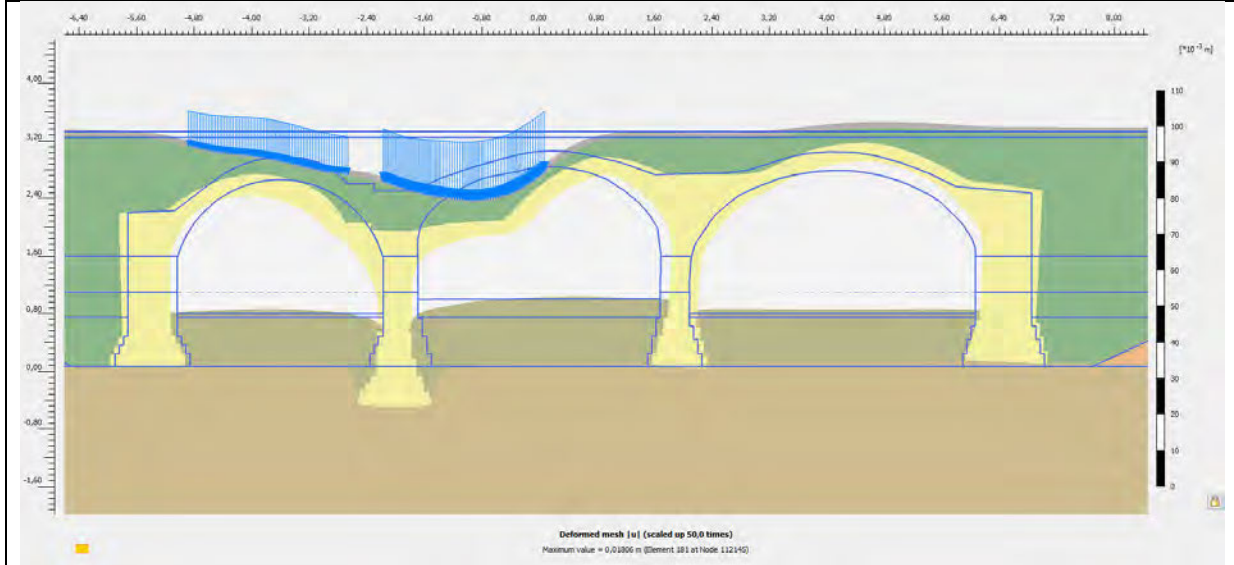
Belastingpositie 5 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



Belastingpositie 5-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton

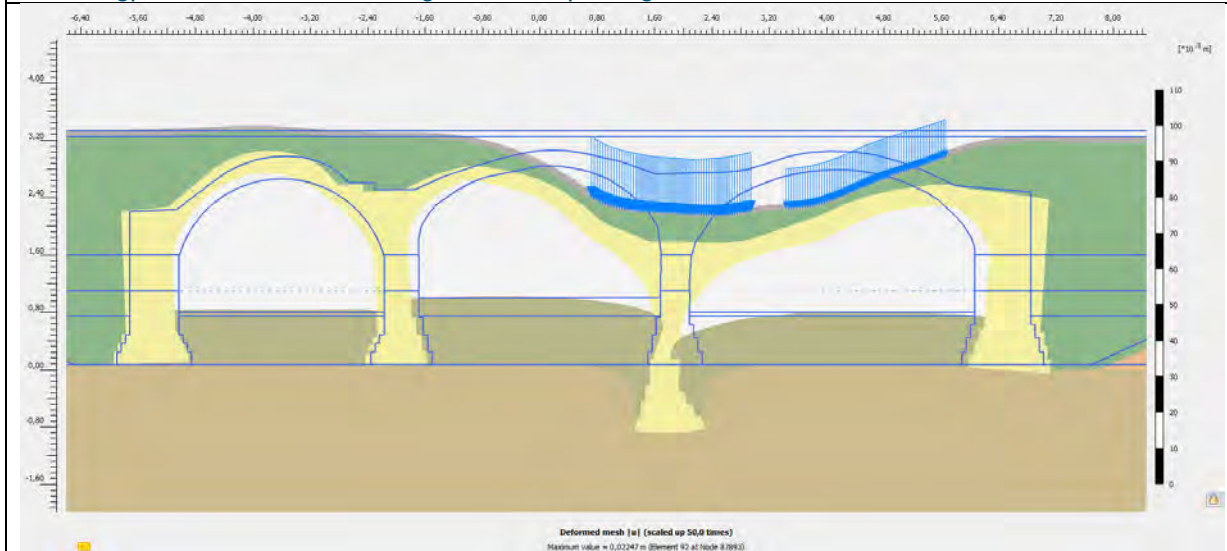


Belastingpositie 6-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton

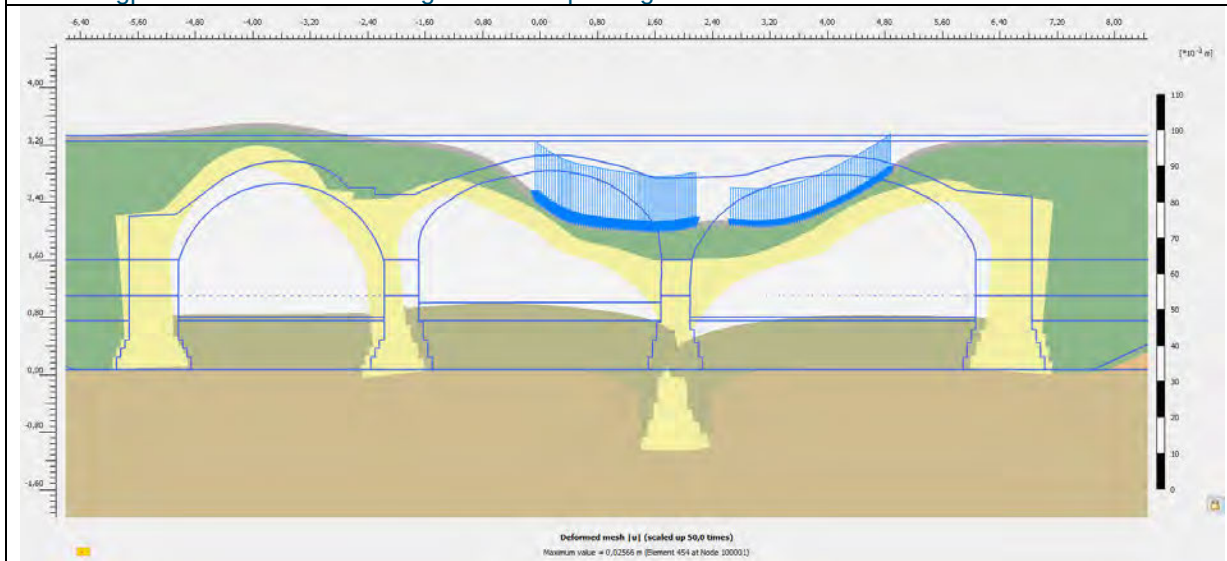


Vervormingen GRF-2 (x50)

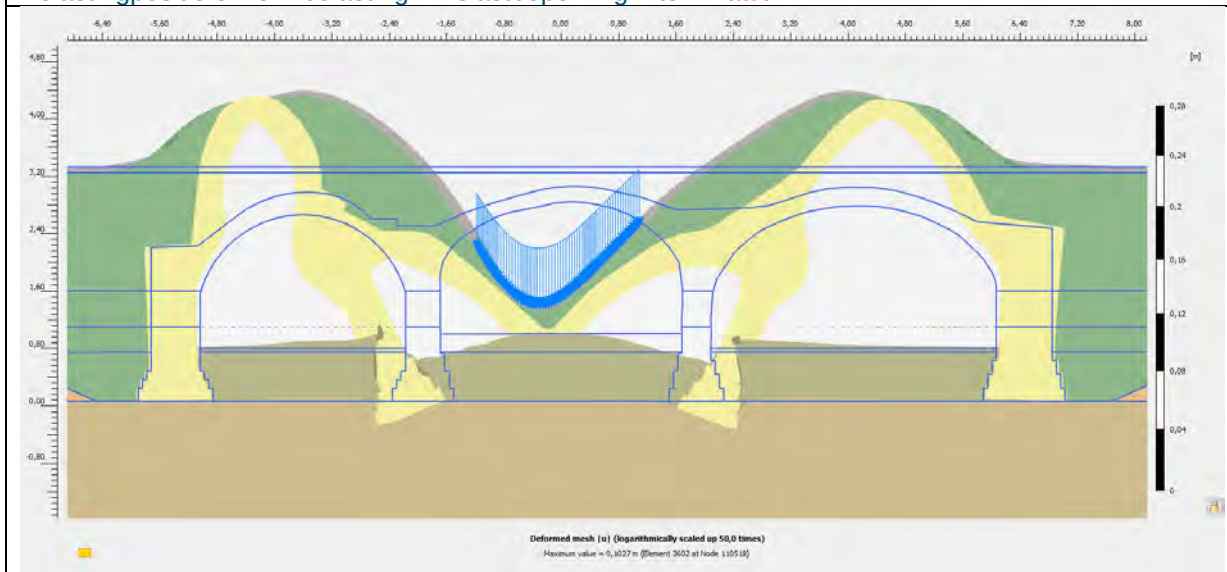
Belastingpositie 3-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



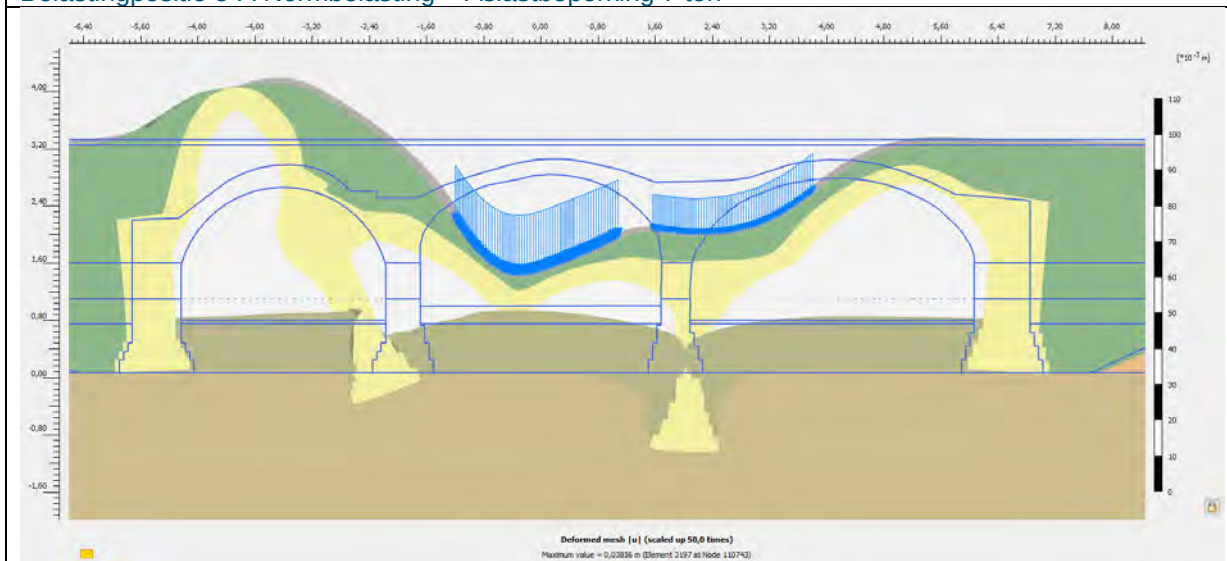
Belastingpositie 4-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



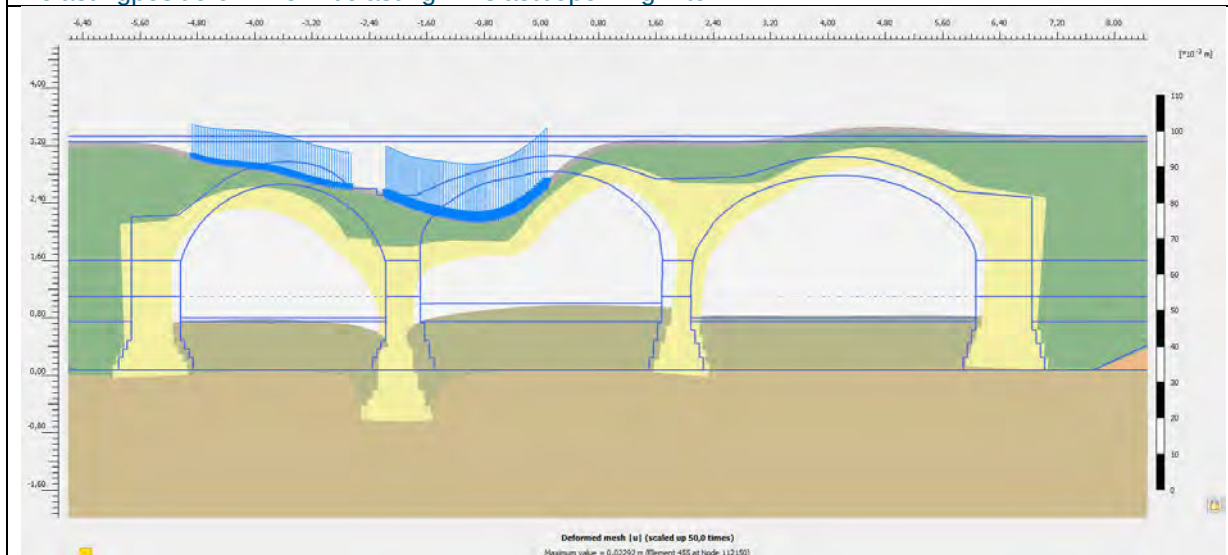
Belastingpositie 5 Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton **Faalt**



Belastingpositie 5-A Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



Belastingpositie 6-B Normbelasting – Aslastbeperking 7 ton



A5.3 BGT BM3

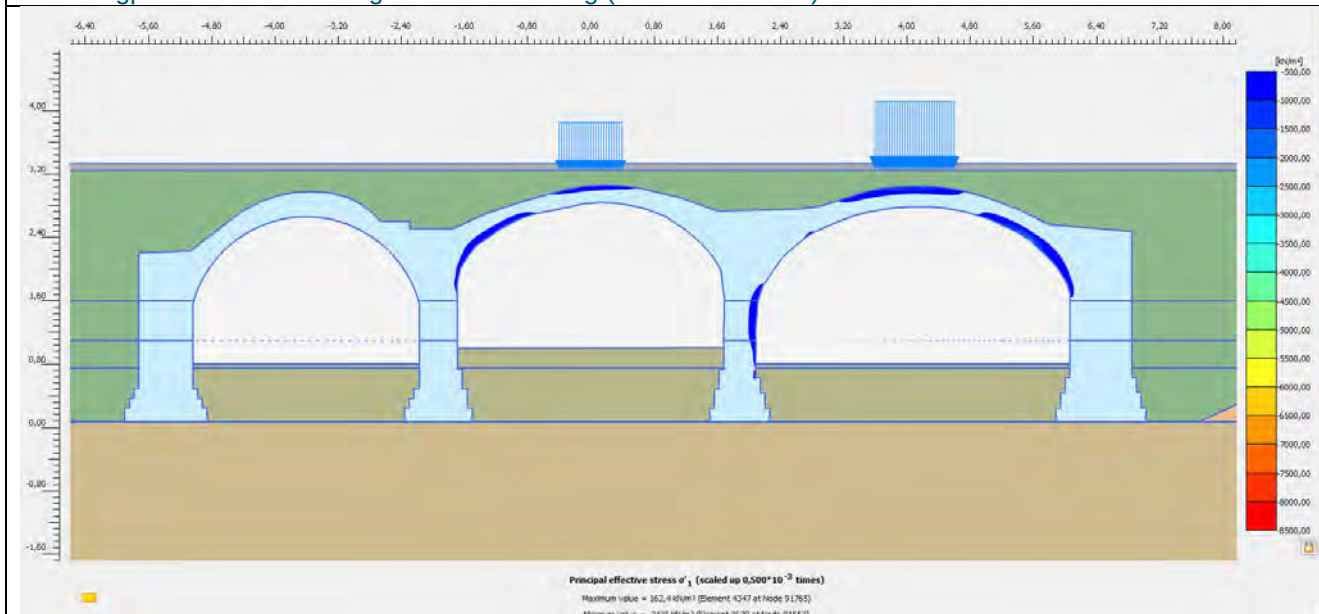
Phases	Conditions...	Load type...	Pre-stress...	Time interval	Edmoud en...	Ignorance...	Reset depth...	Updated en...	File steps (s)	File step	Last step
1a Initial phase (K0, HV NAP + 2,33, GWS + 0,0 NAP) [InitialPhase]	0,00000 day	0,00000 day							1000	0	0
1b Aanleg afgraving tot o.k. fundering (BAP + 0,07 m) en GWS (NAP + 0,0m) [Phase_1]	0,00000 day	0,00000 day							1000	1	76
1c Aansluiten tot hooft W (BAP + 0,3 m) [Phase_2]	0,00000 day	0,00000 day							1000	77	126
1d Gesloede GWS gedurende de volledige levensduur (NAP + 0,75m) [Phase_3]	0,00000 day	0,00000 day							1000	126	129
2a-1 Toets SLS Normbelasting BM3 [Phase_4]	0,00000 day	0,00000 day							1000	130	142
2a-1 Metabevank karakteristiek (bel = 50k) [Phase_4]	0,00000 day	0,00000 day							1000	143	203
2a-1 Rekenspan van Grond en Metabevank [Phase_5]	0,00000 day	0,00000 day							1000	204	269
2a-1 Toets UGT-PP Normbelasting [Phase_2]	0,00000 day	0,00000 day							1000	270	298
2a-1 Metabevank rekenwaarde (0,545) en cohesie (0,8) [Phase_20]	0,00000 day	0,00000 day							1000	299	314
11-N-1 Toets UGT-GRF-2 Normbelasting [Phase_21]	0,00000 day	0,00000 day							1000	315	417
2a-4 Toets SLS Normbelasting BM3 [Phase_8]	0,00000 day	0,00000 day							1000	418	430
2a-4 Metabevank karakteristiek (bel = 50k) [Phase_9]	0,00000 day	0,00000 day							1000	431	477
2a-4 Rekenspan van Grond en Metabevank [Phase_10]	0,00000 day	0,00000 day							1000	478	541
2a-4 Toets UGT-PP Normbelasting [Phase_11]	0,00000 day	0,00000 day							1000	542	579
2a-4 Metabevank rekenwaarde (0,545) en cohesie (0,8) [Phase_22]	0,00000 day	0,00000 day							1000	580	589
11-N-4 Toets UGT-GRF-2 Normbelasting [Phase_23]	0,00000 day	0,00000 day							1000	590	588
2a-5 Toets SLS Normbelasting BM3 [Phase_12]	0,00000 day	0,00000 day							1000	589	581
2a-5 Metabevank karakteristiek (bel = 50k) [Phase_13]	0,00000 day	0,00000 day							1000	582	725
2a-5 Rekenspan van Grond en Metabevank [Phase_14]	0,00000 day	0,00000 day							1000	724	823
2a-5 Toets UGT-PP Normbelasting [Phase_15]	0,00000 day	0,00000 day							1000	824	865
2a-5 Metabevank rekenwaarde (0,545) en cohesie (0,8) [Phase_24]	0,00000 day	0,00000 day							1000	869	880
11-N-5 Toets UGT-GRF-2 Normbelasting [Phase_25]	0,00000 day	0,00000 day							1000	881	971
2a-6 Toets SLS Normbelasting BM3 [Phase_16]	0,00000 day	0,00000 day							1000	972	980
2a-6 Metabevank karakteristiek (bel = 50k) [Phase_17]	0,00000 day	0,00000 day							1000	981	1009
2a-6 Rekenspan van Grond en Metabevank [Phase_18]	0,00000 day	0,00000 day							1000	1010	1074
2a-6 Toets UGT-PP Normbelasting [Phase_19]	0,00000 day	0,00000 day							1000	1015	1038
2a-6 Metabevank rekenwaarde (0,545) en cohesie (0,8) [Phase_26]	0,00000 day	0,00000 day							1000	1029	1038
11-N-6 Toets UGT-GRF-2 Normbelasting [Phase_27]	0,00000 day	0,00000 day							1000	1038	1071

Belastingspreiding op de brug (DB positie I en II). Werfkelder positie 1,2,4,5,6,8

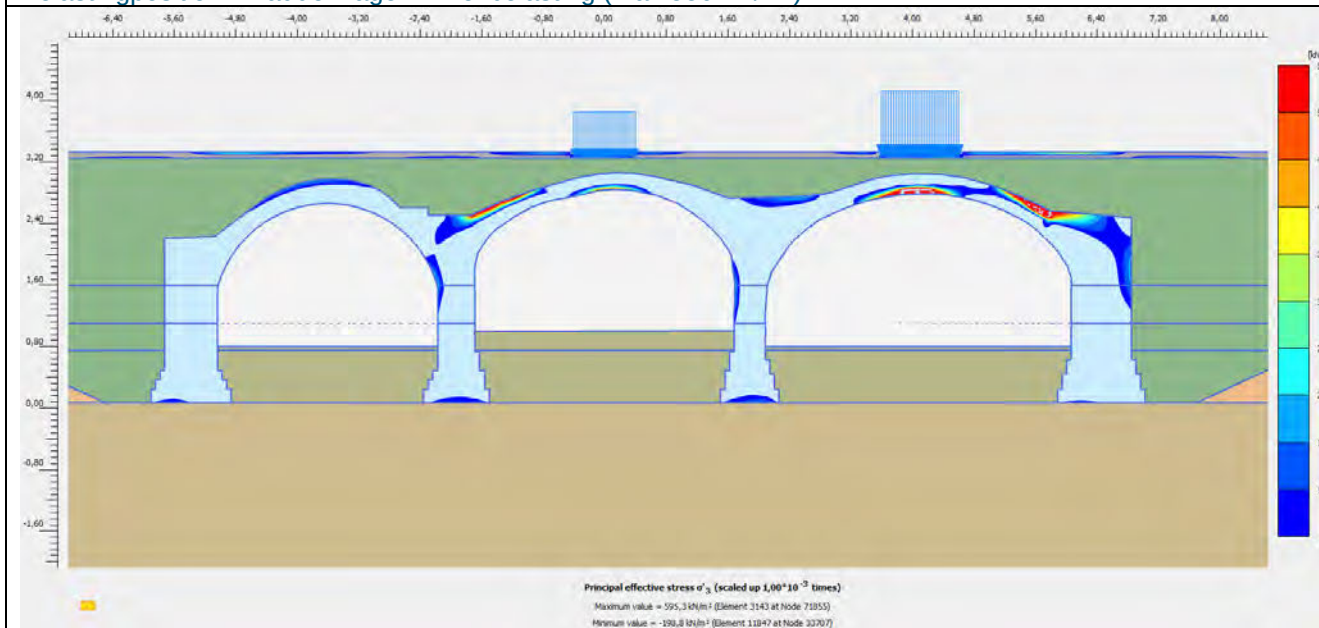
Punt	Niveau	Maaiveld	Niveau	Halverweg	Extra breedte	m	Normbelasting (gereduceerd Qk1)				Normbelasting (gereduceerd Qk2)			
							Dubbelzijdig	Enkelzijdig			Dubbelzijdig	Enkelzijdig		
							Belasting	3	2.7		Belasting	3	2.7	
-5,2	3,25	2,2	1,212436	0,606218			37,3	0,0	41,5	0,0	53,7	0,0	59,6	0,0
-4,7	3,25	2,3	1,096968	0,548483			26,6	26,6	33,9	33,9	38,2	38,2	48,7	48,7
-4,2	3,25	2,7	0,635085	0,317543			27,3	27,3	34,5	34,5	39,3	39,3	49,6	49,6
-3,7	3,25	2,8	0,519615	0,259808			30,8	30,8	37,1	37,1	44,3	44,3	53,3	53,3
-3,2	3,25	2,8	0,519615	0,259808			31,8	31,8	37,8	37,8	45,7	45,7	54,4	54,4
-3,2	3,25	2,75	0,57735	0,288675			31,3	31,3	37,5	37,5	45,0	45,0	53,9	53,9
-1	3,25	2,65	0,69282	0,34641			30,3	30,3	36,8	36,8	43,6	43,6	52,8	52,8
-0,5	3,25	2,8	0,519615	0,259808			31,8	31,8	37,8	37,8	45,7	45,7	54,4	54,4
-0,4	3,25	2,85	0,46188	0,23094			32,3	32,3	38,2	38,2	46,5	46,5	54,9	54,9
0	3,25	2,9	0,404145	0,202073			32,9	32,9	38,6	38,6	47,3	47,3	55,5	55,5
0,4	3,25	2,9	0,404145	0,202073			32,9	32,9	38,6	38,6	47,3	47,3	55,5	55,5
0,5	3,25	2,9	0,404145	0,202073			32,9	32,9	38,6	38,6	47,3	47,3	55,5	55,5
1	3,25	2,8	0,519615	0,259808			31,8	31,8	37,8	37,8	45,7	45,7	54,4	54,4
3,6	3,25	2,9	0,404145	0,202073			32,9	32,9	38,6	38,6	47,3	47,3	55,5	55,5
4,6	3,25	2,9	0,404145	0,202073			32,9	32,9	38,6	38,6	47,3	47,3	55,5	55,5

Trekspanningen en vervormingen

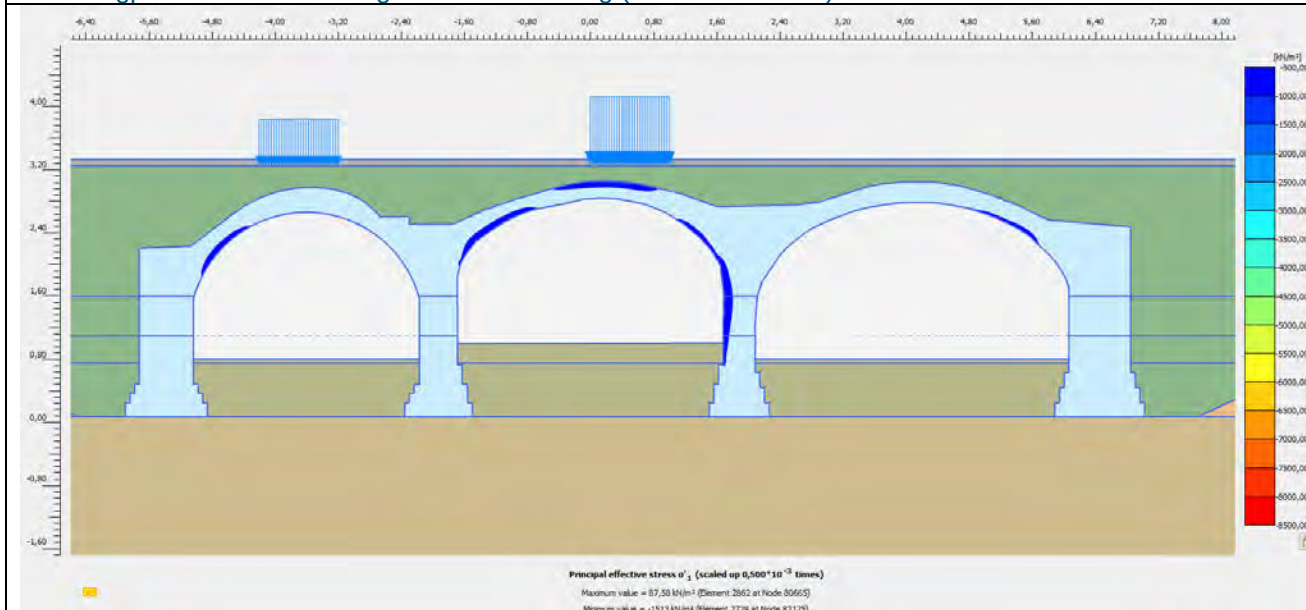
Belastingpositie I – Ladderwagen– Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



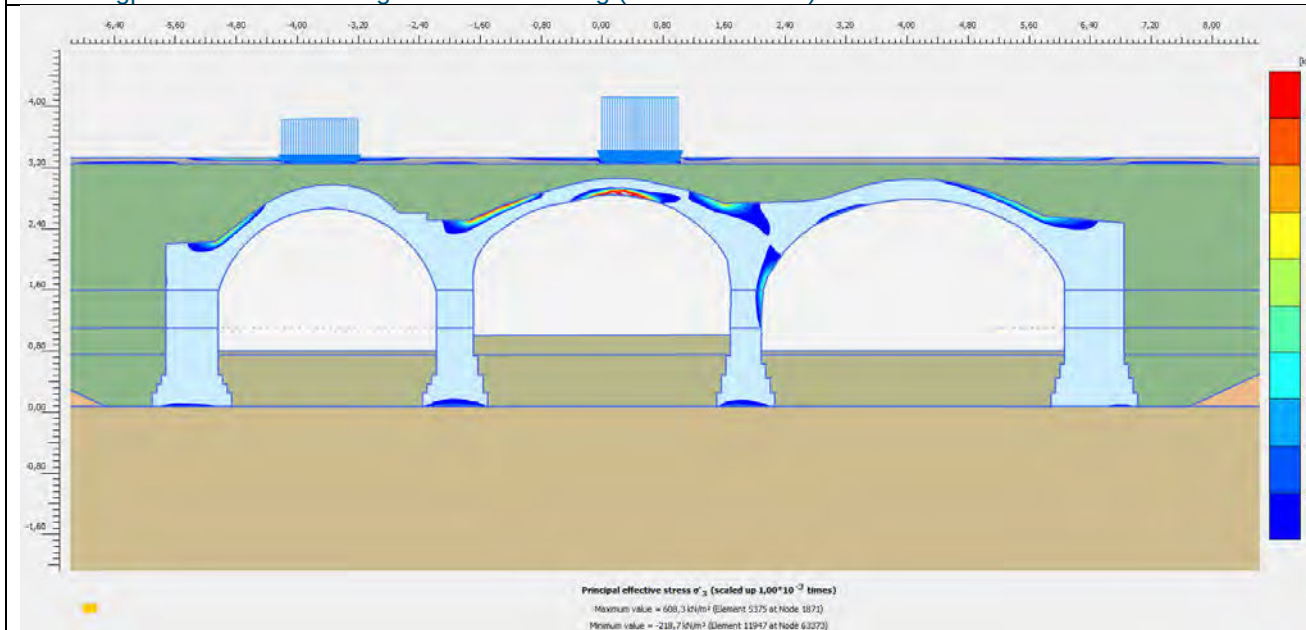
Belastingpositie I – Ladderwagen– Trekbelasting (max 550 kN/m²)



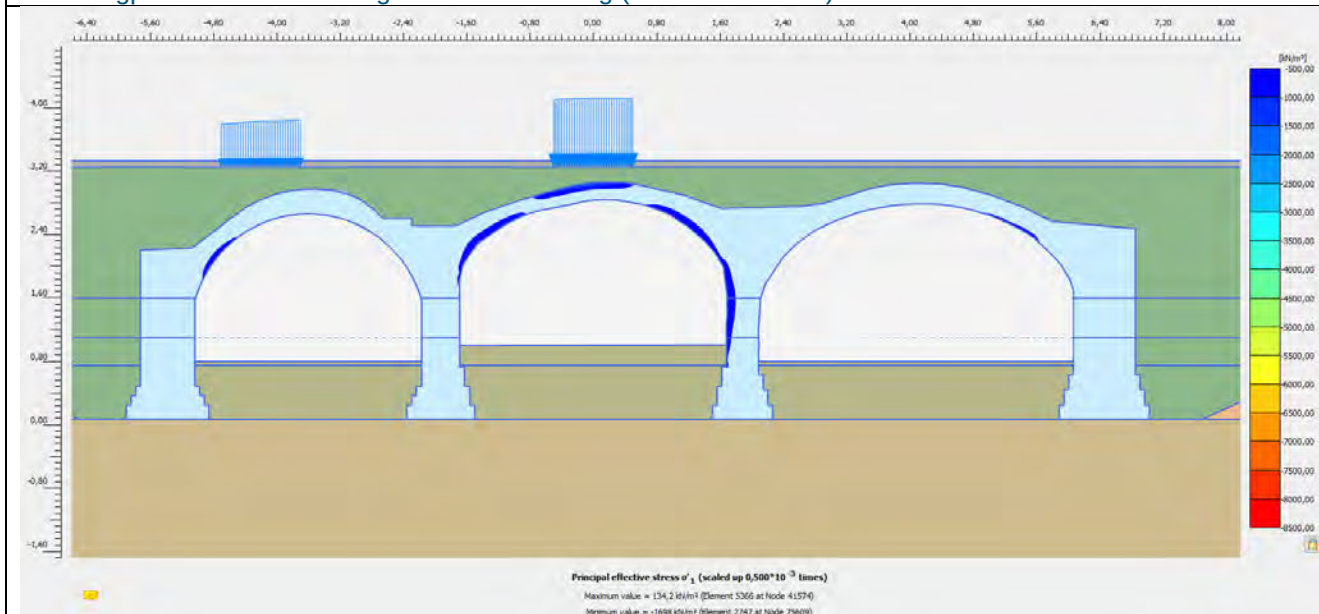
Belastingpositie 4 – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



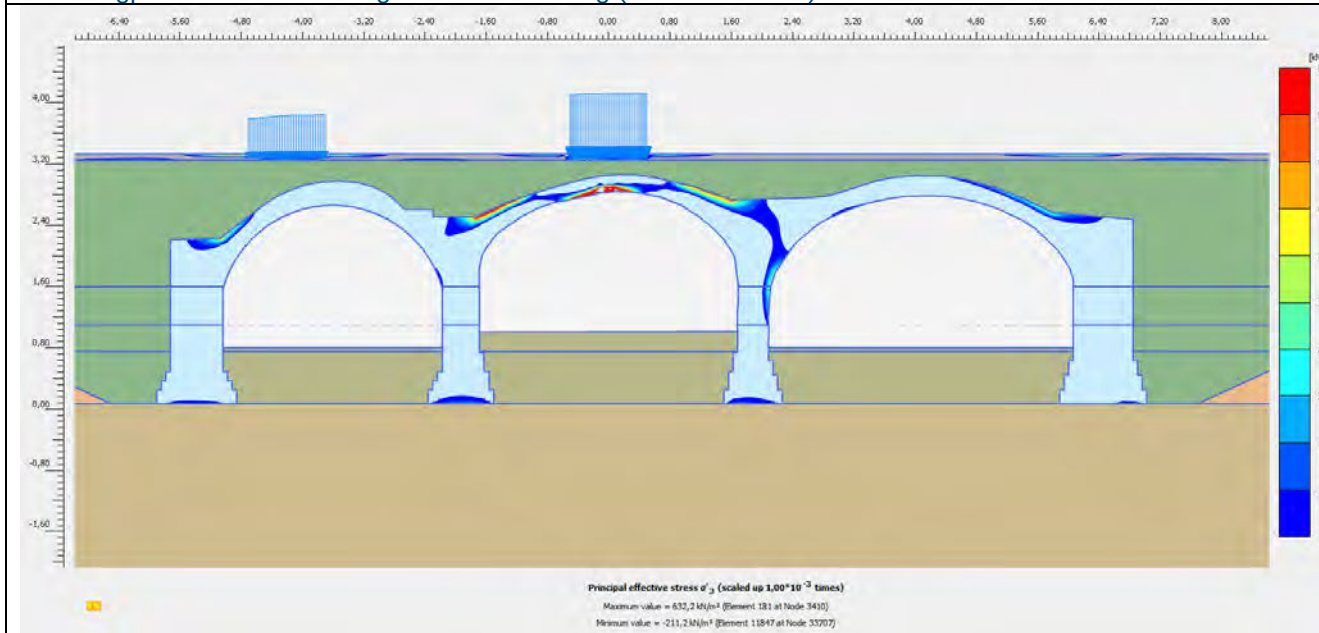
Belastingpositie 4 – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



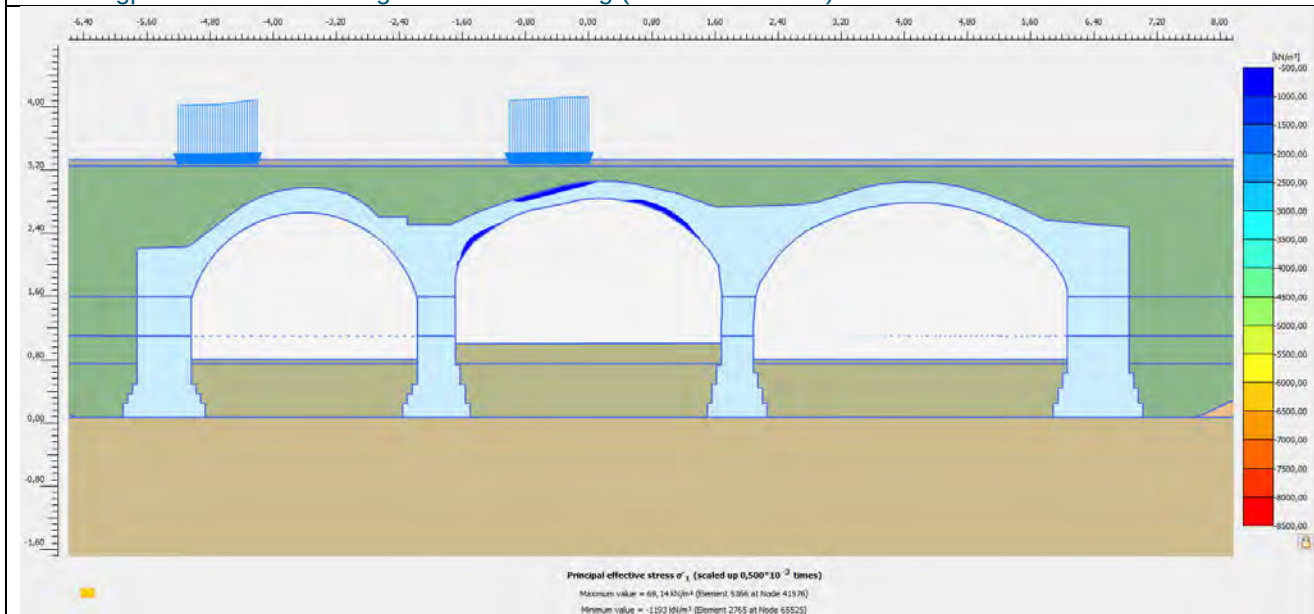
Belastingpositie 5 – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)



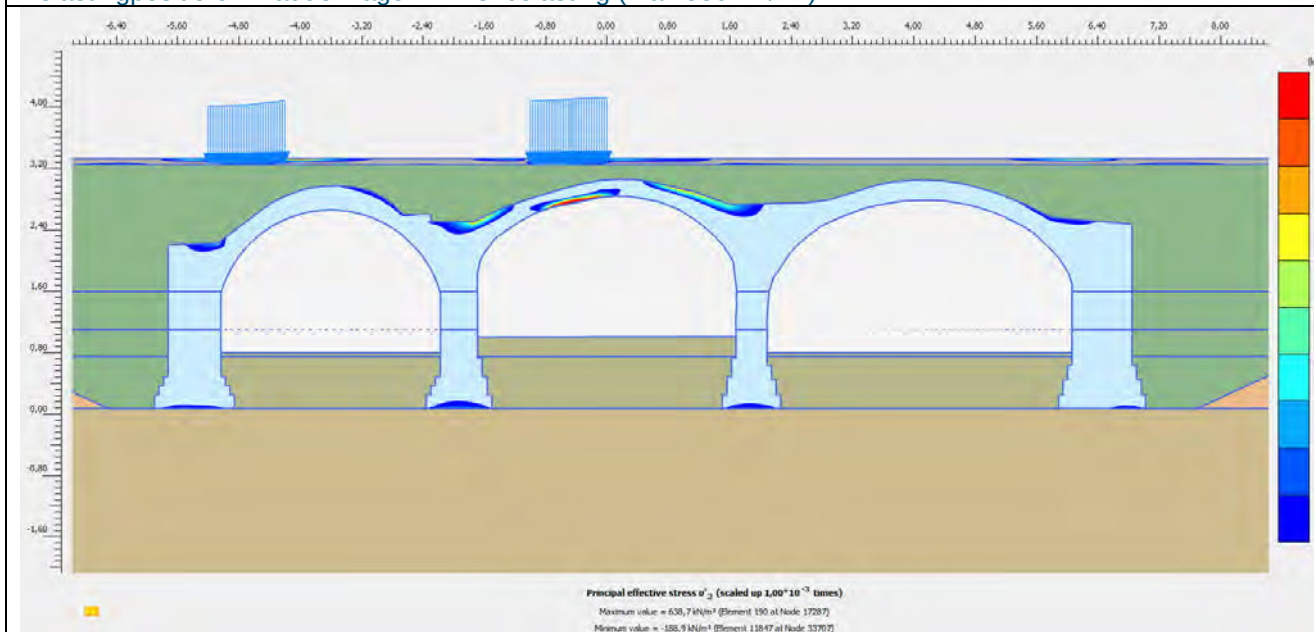
Belastingpositie 5 – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m²)



Belastingpositie 6 – Ladderwagen – Drukbelasting (max 8500 kN/m²)

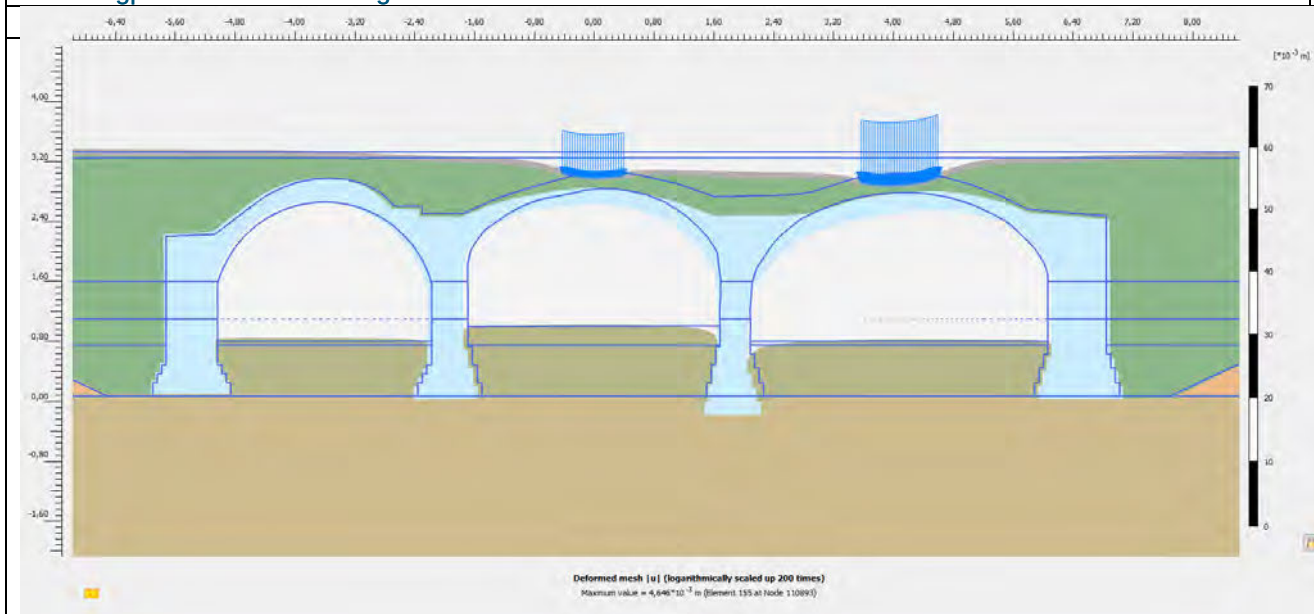


Belastingpositie 6 – Ladderwagen – Trekbelasting (max 550 kN/m²)

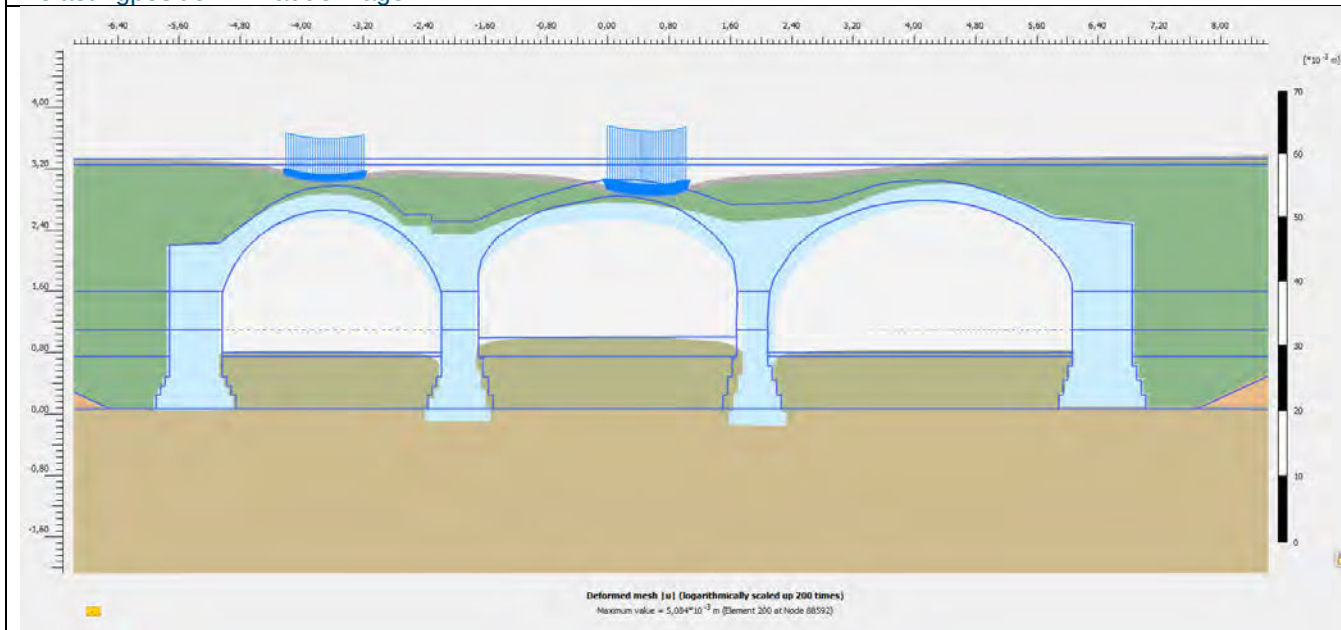


Vervormingen (200x vergroot)

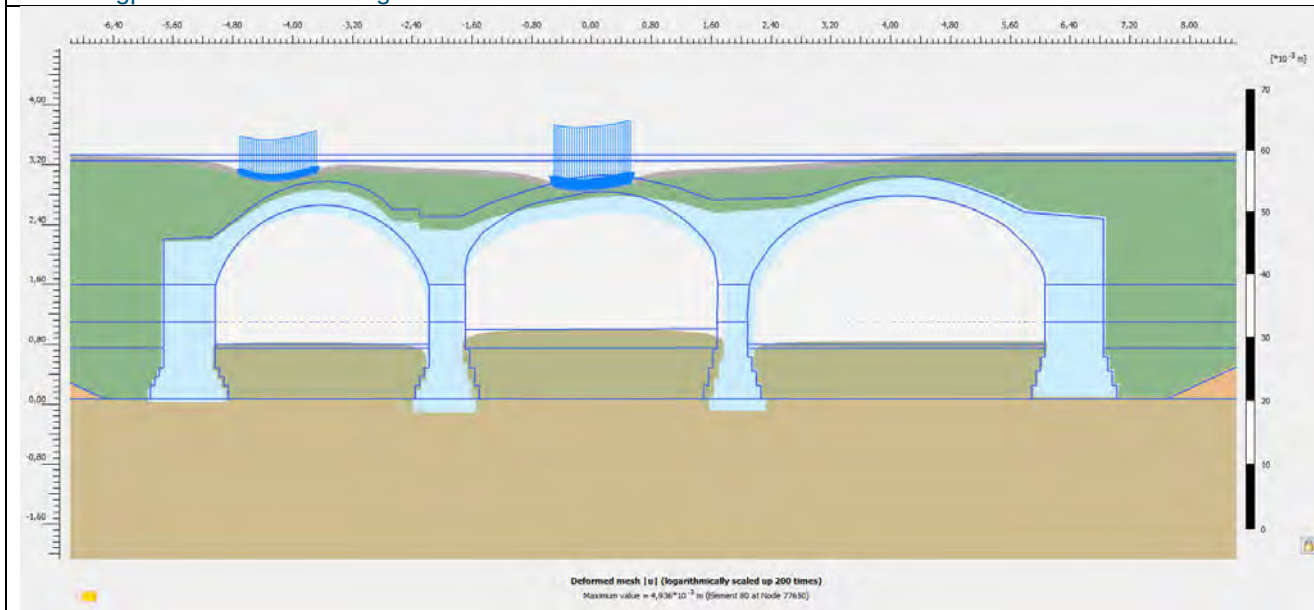
Belastingpositie 1 – Ladderwagen



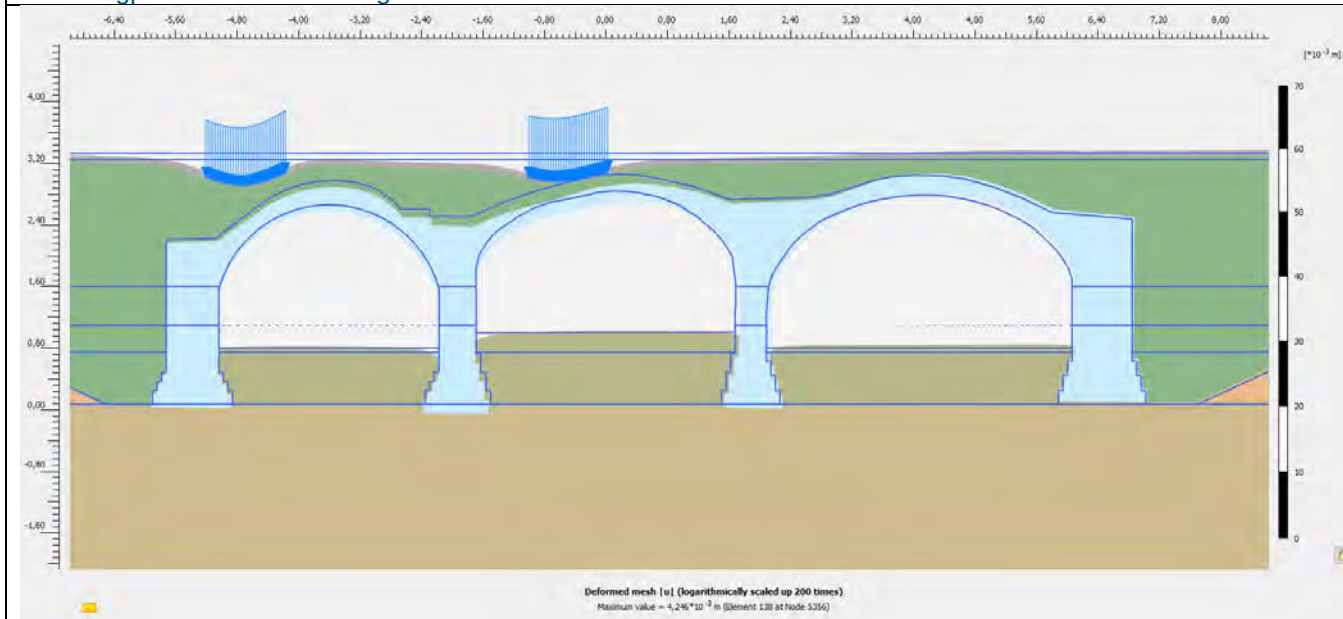
Belastingpositie 4 – Ladderwagen



Belastingpositie 5 – Ladderwagen



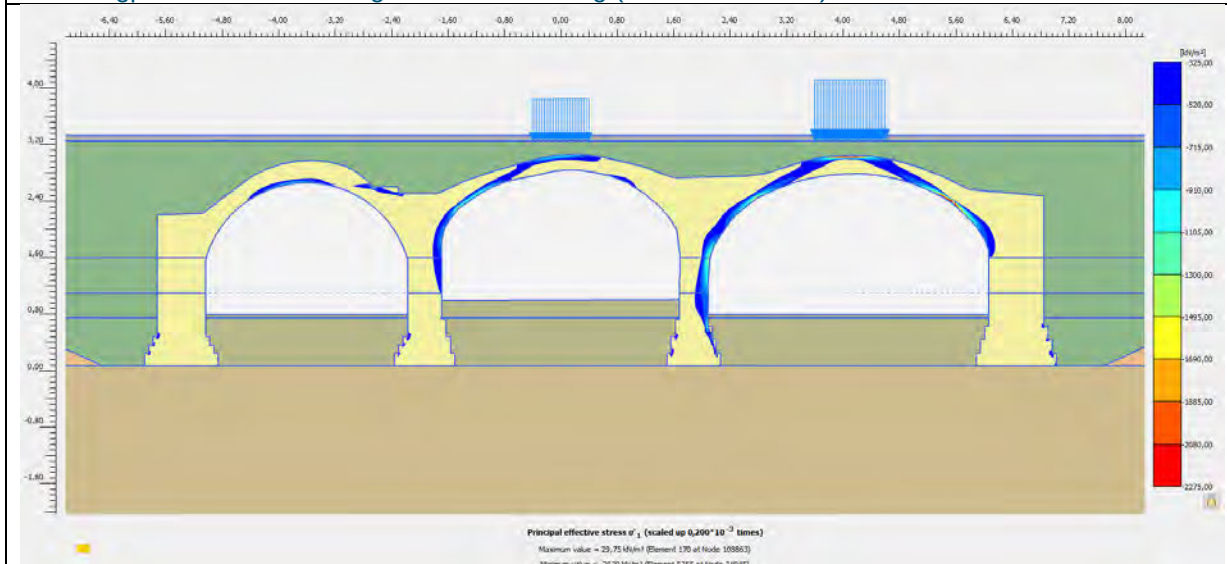
Belastingpositie 6 – Ladderwagen



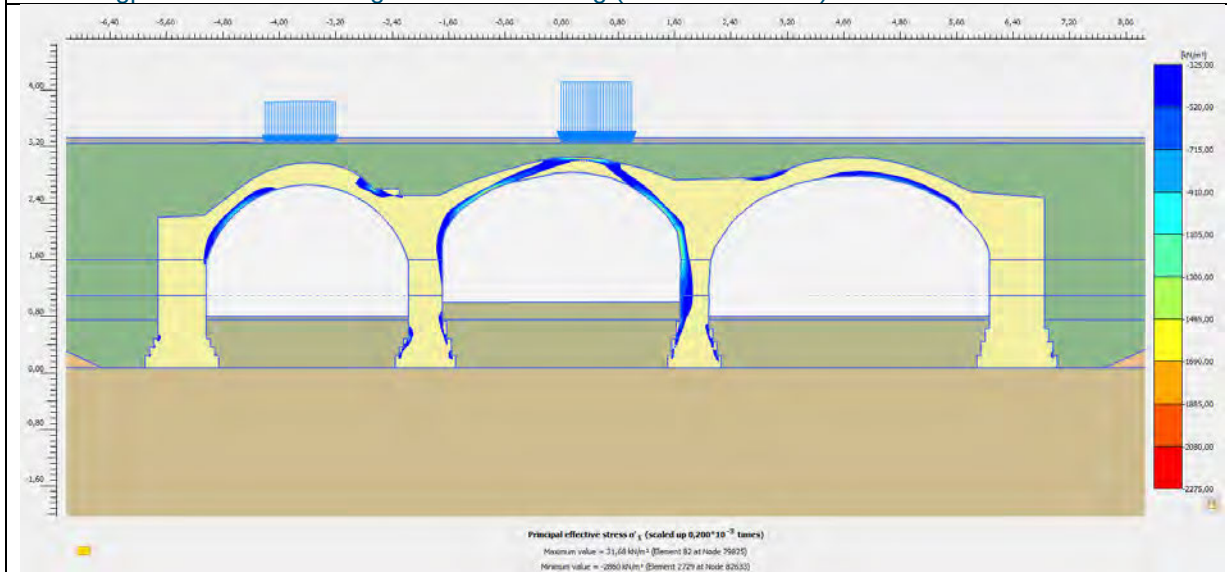
A5.4 UGT BM3

Drukspanningen PF (maximaal 5000/2,2= 2273 kN/m²)

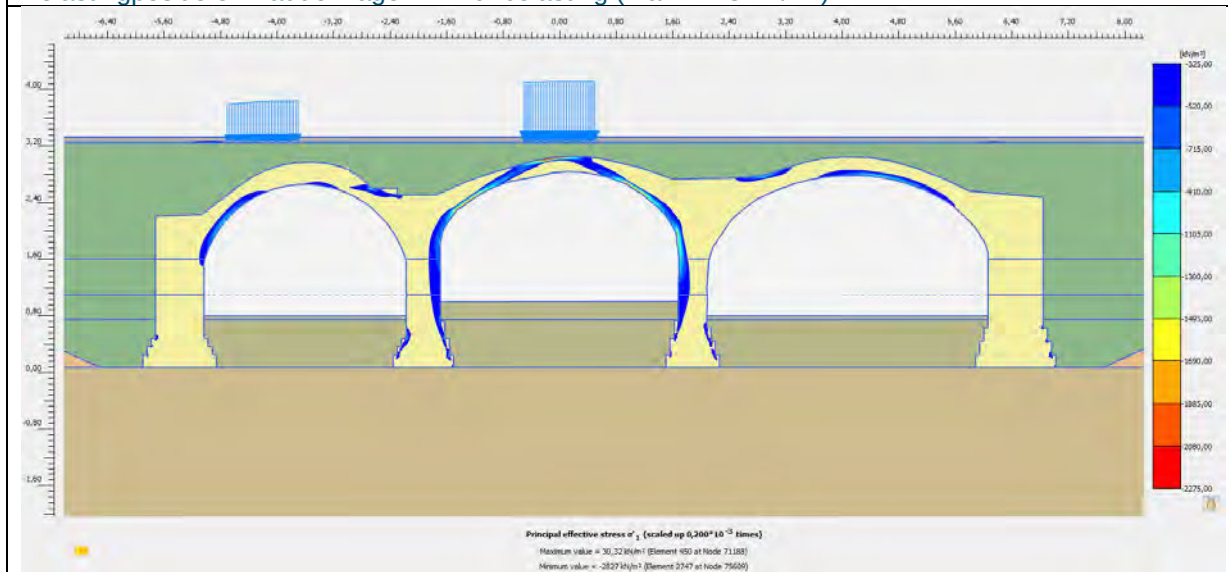
Belastingpositie 1 - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)



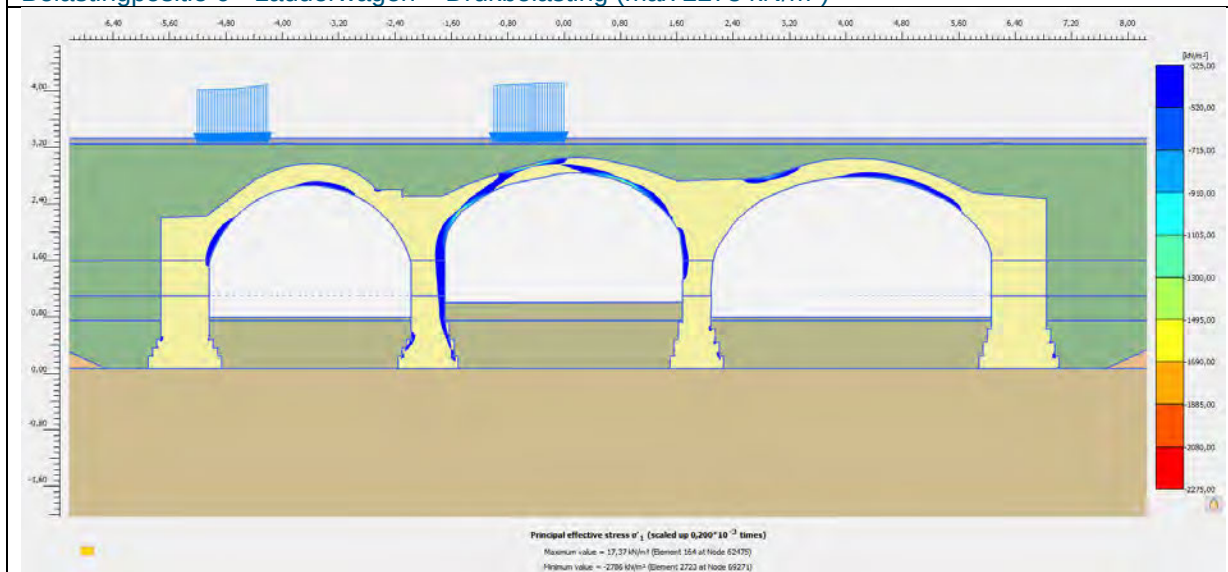
Belastingpositie 4 - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)



Belastingpositie 5 - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)

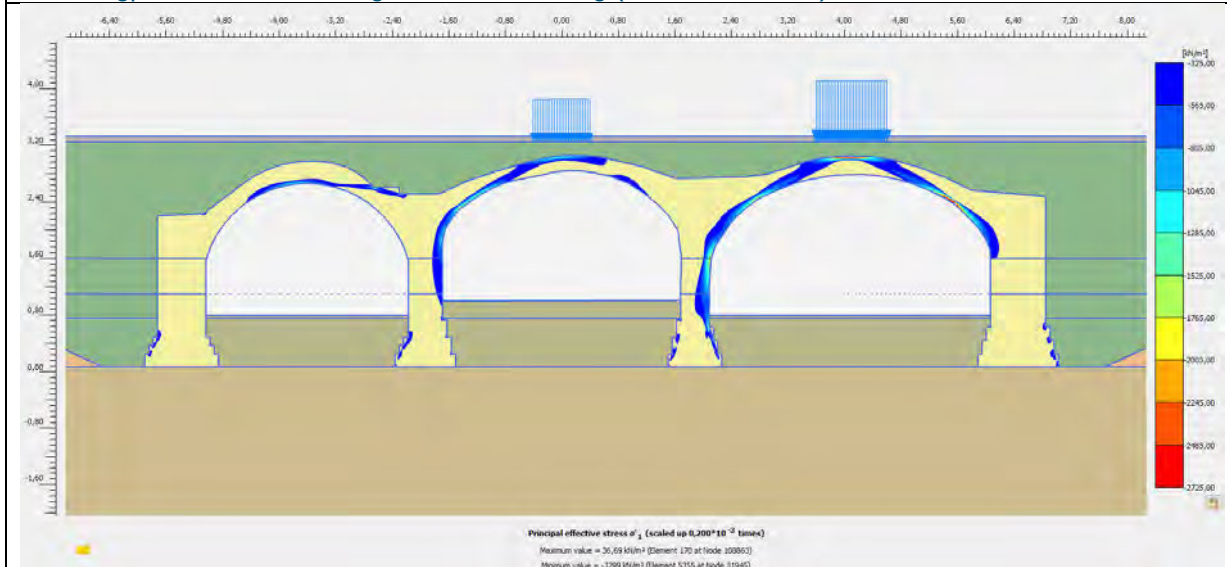


Belastingpositie 6 - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2273 kN/m²)

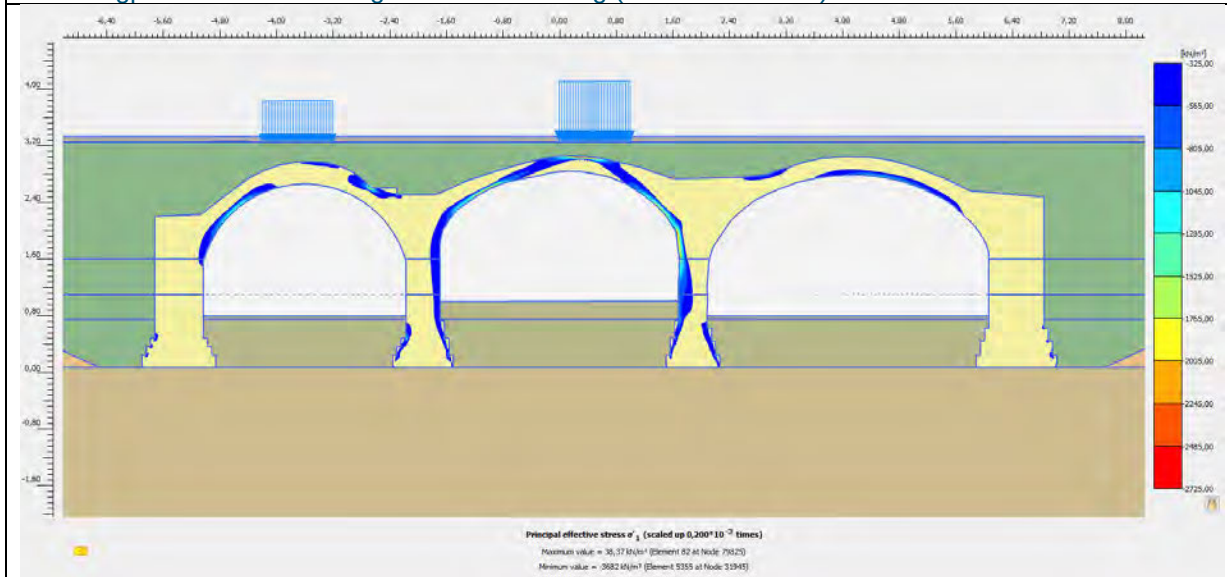


Drukspanningen GRF-2 (maximaal $5000/2,2*1,2 = 2725 \text{ kN/m}^2$)

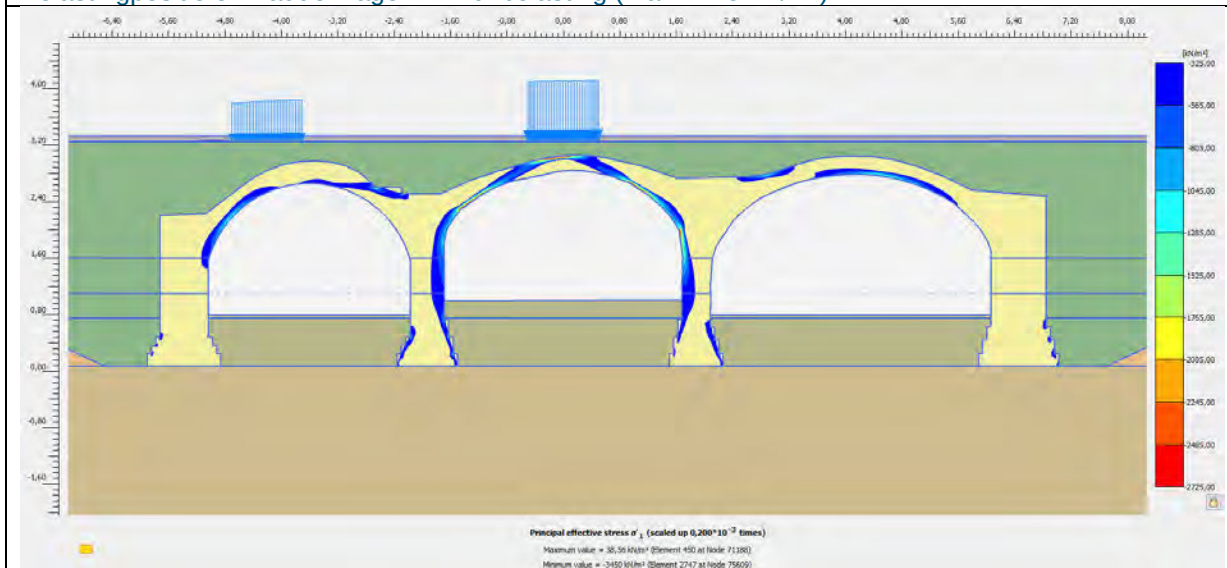
Belastingpositie 1 - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



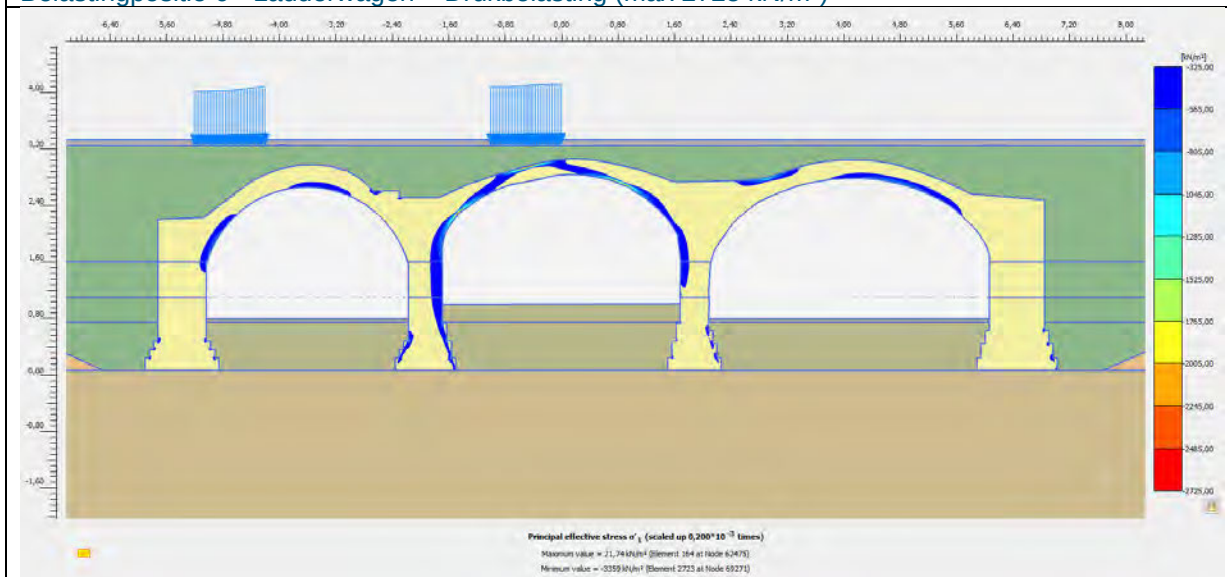
Belastingpositie 4 - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m^2)



Belastingpositie 5 - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m²)

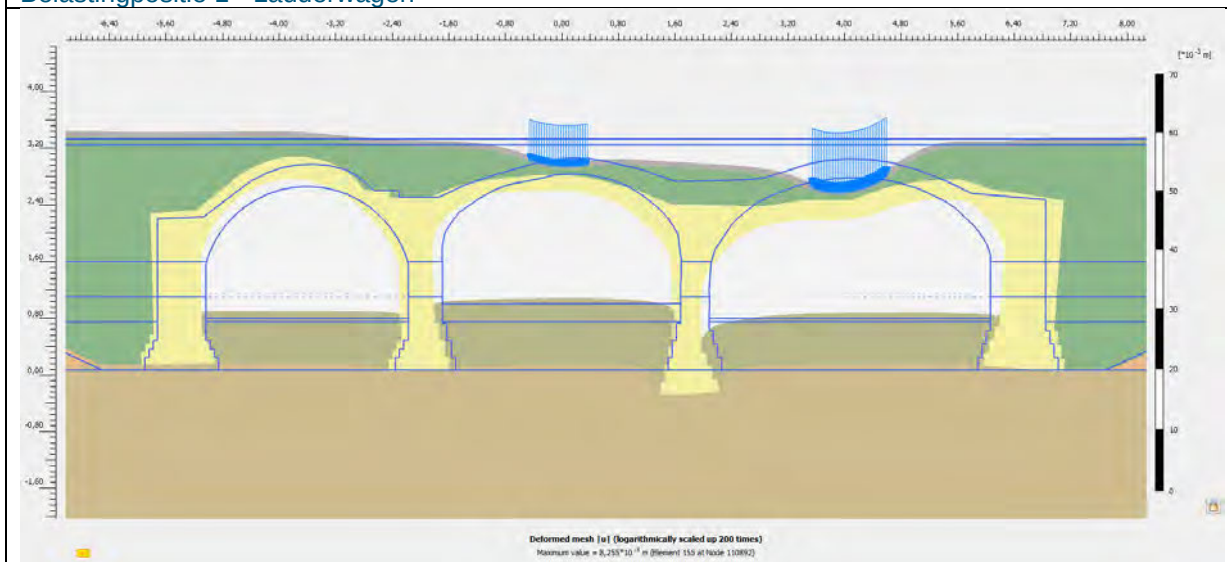


Belastingpositie 6 - Ladderwagen – Drukbelasting (max 2725 kN/m²)

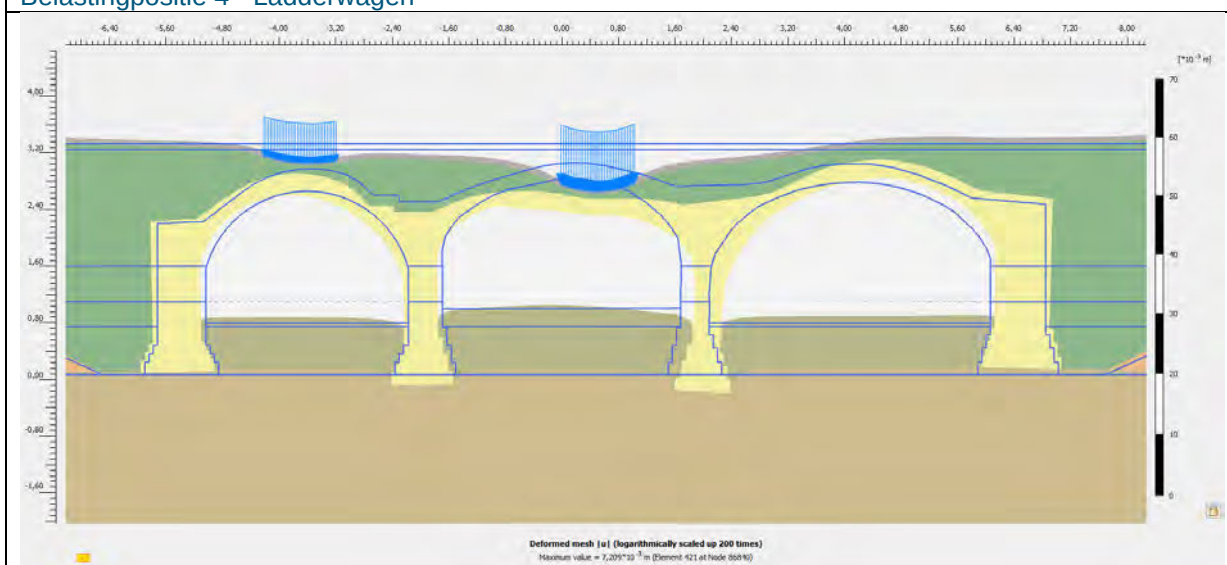


Vervormingen PF

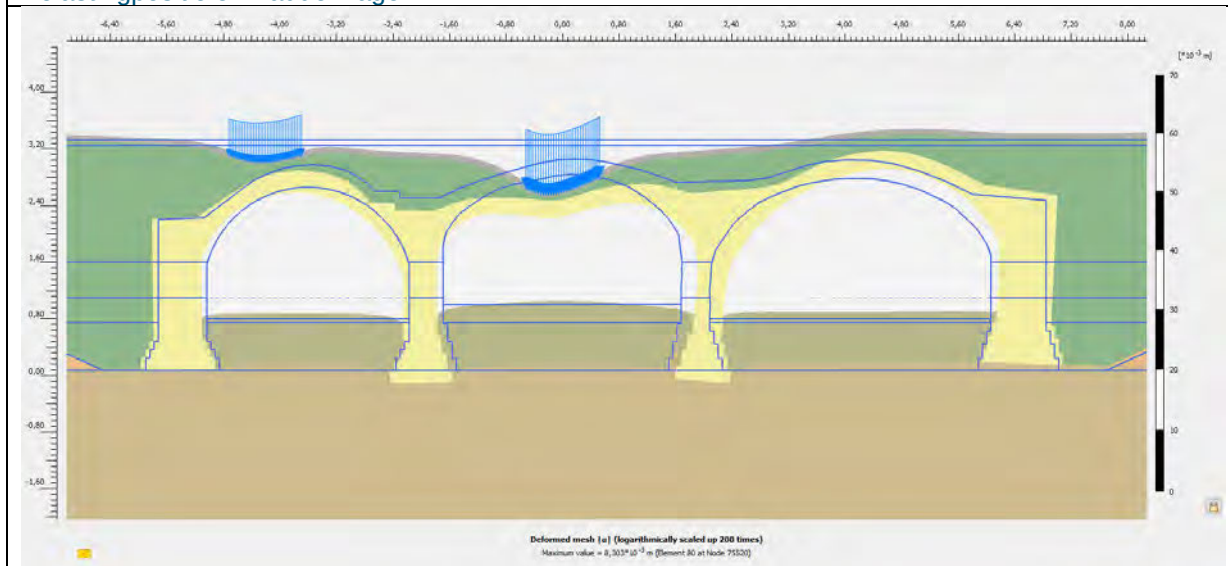
Belastingpositie 1 - Ladderwagen



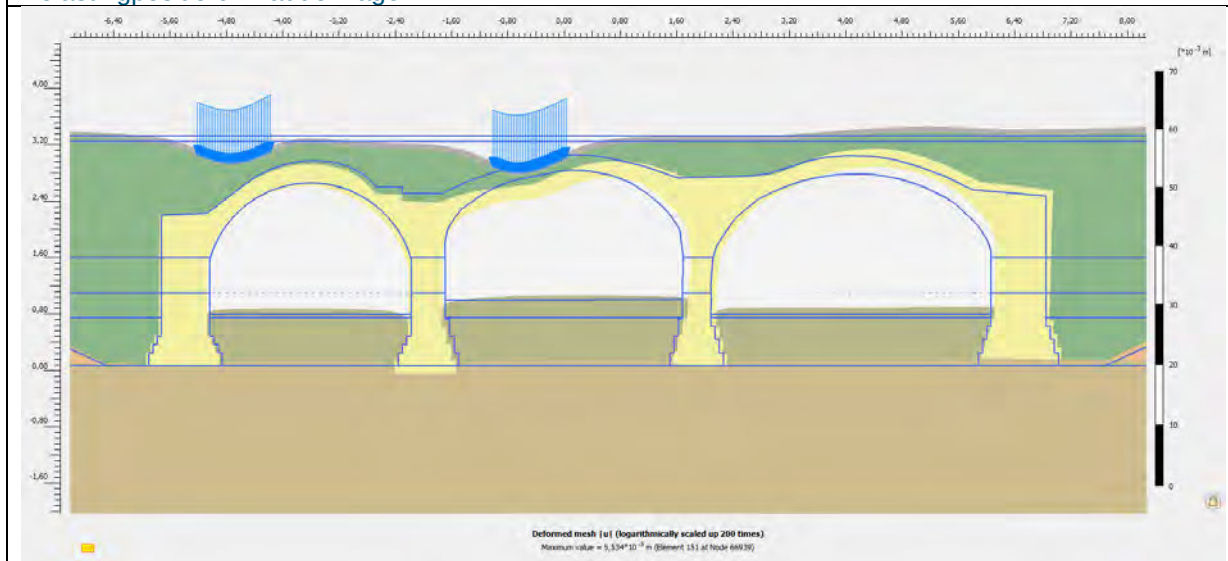
Belastingpositie 4 - Ladderwagen



Belastingpositie 5 - Ladderwagen



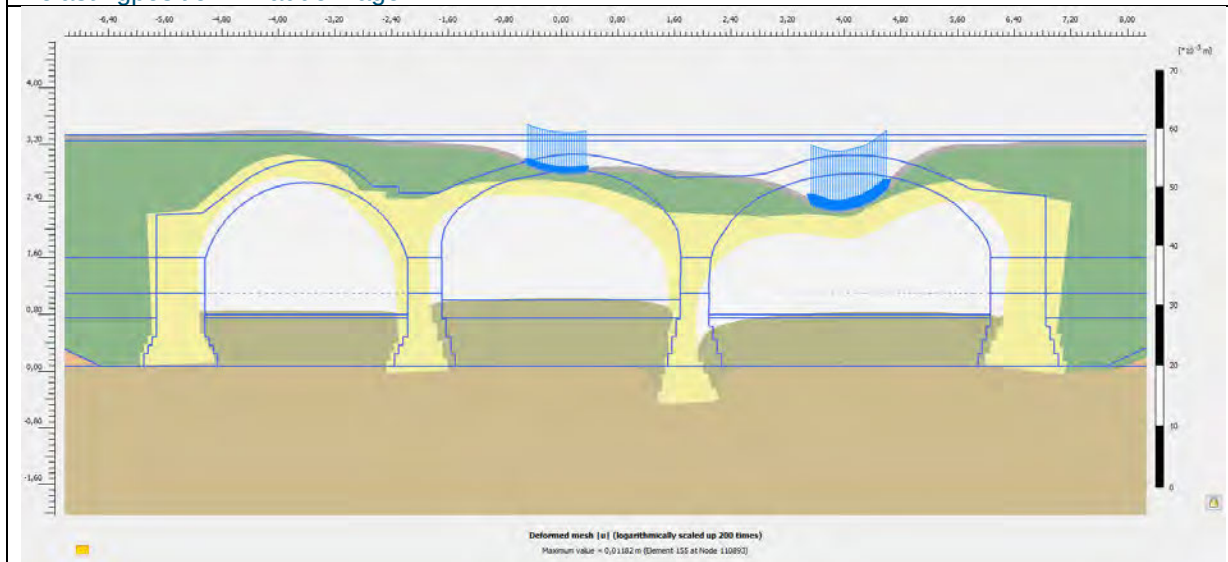
Belastingpositie 6 - Ladderwagen



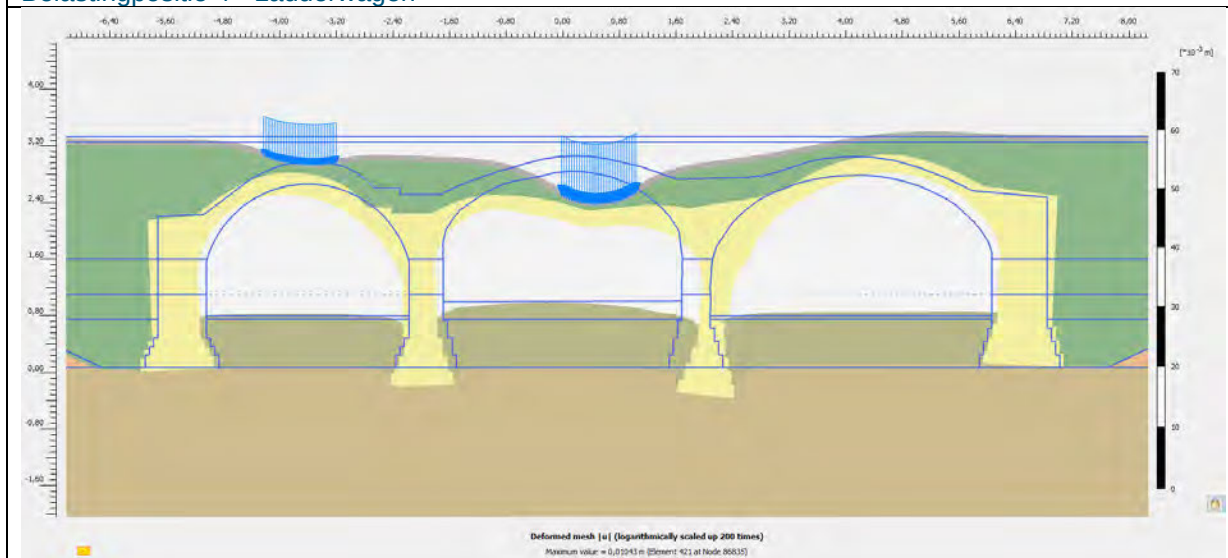
A5.5 UGT (x200)

Vervormingen GRF-2

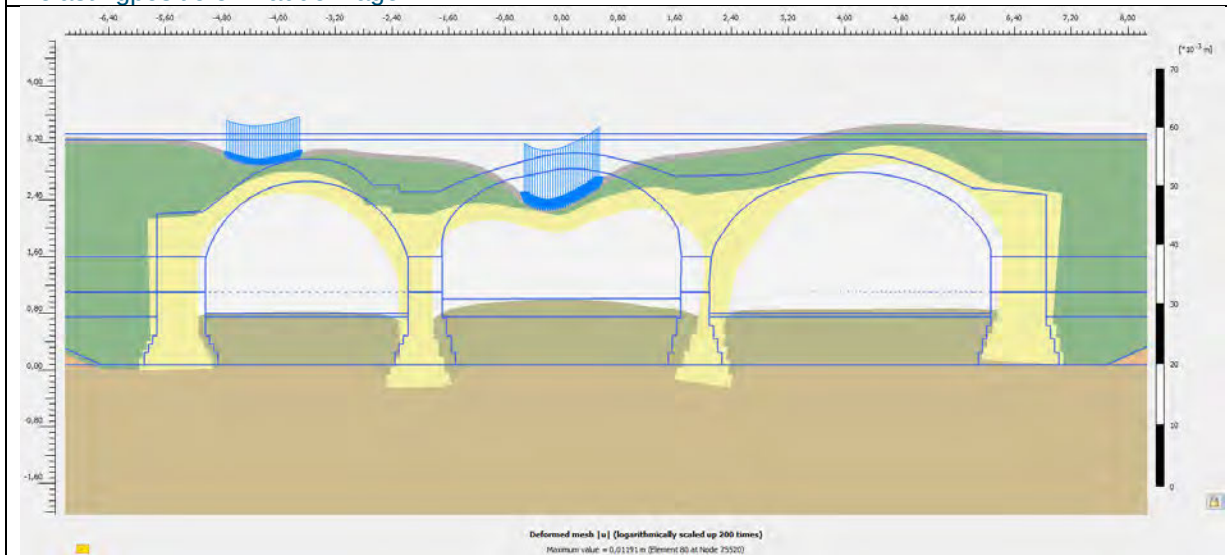
Belastingpositie 1 - Ladderwagen



Belastingpositie 4 - Ladderwagen



Belastingpositie 5 - Ladderwagen



Belastingpositie 6 - Ladderwagen

