

Afstudeeropdracht

Constructieve uitwerking van de onderbouw oostzijde Wilhelminabrug

Eindrapportage

Naam: Johan van Ede



Afstudeeropdracht

Constructieve uitwerking van de onderbouw oostzijde Wilhelminabrug

Eindrapportage

Naam: Johan van Ede
Student nummer: 1584395

Afstudeer bedrijf: Witteveen+Bos
Adres: Willemstraat 28
Postcode: 4811 AL Breda

Datum: 01 juni 2015

Eerste begeleider: Ing. E. Romme MSEng (Elly)
(Witteveen+Bos)

Gegevens student:

Tweede begeleider: Ir. R.F.C. Rooij (Ronnie)
(Witteveen+Bos)

Telefoon: 06 - 39 12 22 03
E-mail: johan.van.ede@hotmail.com

Eerste begeleider: Ing. M.L.M. Zegers (Martijn)
(Hogeschool Utrecht)

Tweede begeleider: Ir. J.F. den Houting (Rik)
(Hogeschool Utrecht)

Onderwijsinstelling Hogeschool Utrecht

Opleiding Civiele Techniek

Cursuscode TCIT-V15AFO-14

VOORWOORD

Voor u ligt de scriptie 'Constructieve uitwerking van de onderbouw oostzijde Wilhelminabrug'. Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool Utrecht (HU). Vanaf februari 2015 tot en met begin juni 2015 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van deze scriptie.

Deze scriptie is in onder toezicht en begeleiding van Witteveen+Bos geschreven. Tijdens dit onderzoek stonden beide begeleiders klaar om mijn vragen te beantwoorden. Ook de begeleiders vanuit de opleiding hebben op gezette tijden de verslagen voorzien van feedback waardoor ik de kwaliteit van de verslagen, en de eigen vaardigheden in het schrijven van rapportages heb kunnen verbeteren.

Omdat de variantenstudie is uitgewerkt tot een volledig rapport, met eigen bijlagen is deze niet direct in de bijlagen toegevoegd. De varianten rapportage is direct met dit verslag meegeleverd. Hierdoor is deze rapportage eenvoudiger na te slaan bij een verwijzing. De rest van alle bijlagen zijn wel toegevoegd in de bijlage.

SAMENVATTING/ABSTRACT

In het project Vaart in de Zaan! is ingezet op het verbreden van de Zaan, om de schaalvergroting in de binnenvaart bij te houden. De Zaan is namelijk op economisch vlak een strategische rivier die diverse industrieën in de Zaanstreek en regio Alkmaar verbindt. Als onderdeel van dit project wordt de in de Zaan gelegen Wilhelminasluis aangepakt. De doorvaartbreedte en -diepte wordt vergroot, waardoor grotere schepen de sluis kunnen passeren. Door deze aanpassing, moeten ook de bruggen en de aanbruggen op de nieuwe situatie worden aangepast. De bruggen overbruggen in de nieuwe situatie een grotere overspanning terwijl de aanbruggen minder ruimte krijgen. Doordat de sluiswand naar achter wordt geplaatst moet deze constructie worden aangepast. Deze aanpassing heeft de focus in deze scriptie.

Voor deze aanpassingen zijn diverse varianten opgesteld waarbij de impact op de bestaande aanbrug sterk varieert. Daarnaast wordt aandacht besteed aan onder andere de haalbaarheid, de stabiliteit en het risico van de varianten. In twee optimaliseringsrondes worden de varianten gedetailleerder bekeken en voor- en nadelen onderzocht. Uit de varianten is uiteindelijk 1 variant gekozen die constructief is uitgewerkt.

Van deze variant is de nadruk gelegd op de herberekening van het deel van de aanbrug dat intact blijft. Hiervan is een rekenmodel opgesteld waarin de relevante belastingscombinaties zijn opgenomen. Aan de hand van de gegevens die beschikbaar zijn is de capaciteit van de aanbrug vastgesteld, waarna een toetsing is uitgevoerd en een blik is geworpen op mogelijke versterkingsmaatregelen.

English

As part of the project 'Vaart in de Zaan!', the River Zaan is upgraded by enlarging the width and the depth in order to keep up with the developments in the water transport sector. The Zaan is economically a strategic River that connects a variety of industries in the Zaanregion and nearby Alkmaar. As part of this project, the Wilhelminasluis is upgraded as well. To allow bigger ships to pass the sluice, the width and depth of the sluice are enlarged too. Because of this change the nearby bridges have to face the same adjustment. The constructions that support the bridges and lead the road towards the bridge need to be adjusted the same way. The adjustment of this construction is the main topic of this paper.

First, multiple possibilities have been researched. The possibilities differ from one another by impact on both the construction, the risk and the stability. In two optimization rounds, the different variants are described in more detail referring to the advantages and drawbacks. Based on the impact of those advantages and drawbacks, the variants are graded. The variant receiving the highest score is constructively detailed in the next paragraph.

The focus of this part of the study is on the remaining construction. All the relevant loads are combined in one model that defines the maximum occurring internal forces. Based on the available data about the construction, a check shows whether the construction can handle the load or not. Besides this check, reinforcement possibilities have been provided to strengthen the construction.

INHOUDSOPGAVE
blz.

1. INLEIDING	2
2. PROJECTINTRODUCTIE	3
3. AFSTUDEERONDERWERP, DE AANBRUG	6
4. PROGRAMMA VAN EISEN	7
5. UITGANGSPUNTENNOTITIE	8
6. VARIANTENSTUDIE	9
6.1. Introductie van schetsvarianten	9
6.1.1. Variant 1	9
6.1.2. Variant 2	10
6.1.3. Variant 3	11
6.1.4. Variant 4	12
6.1.5. Variant 5	13
6.1.6. Variant 6	14
6.1.7. Variant 7	15
6.1.8. Variant 8	16
6.2. Optimalisatie van de schetsvarianten	17
6.2.1. Bestaande loswal	17
6.2.2. Aanvaarbelasting	18
6.3. Kwalitatieve afweging	19
6.4. Optimalisatie van de voorkeursvarianten	20
6.4.1. Krachtswerking in beton	21
6.4.2. Inpasbaarheid van de combiwand	21
6.4.3. Gevolgen van een zandophoging voor de zetting	23
6.4.4. Conclusie optimalisatie	23
6.5. Multicriteria analyse	23
7. UITWERKING EINDVARIANT	25
7.1. Inhoud variant	25
7.1.1. Schematisatie van de aanbrug	26
7.1.2. Het dek, de kolom en de vloer	27
7.1.3. Funderingspalen	27
7.1.4. Sluiswand	29
7.1.5. Horizontale stempeling	29
7.2. Relevante belastingen	30
7.2.1. Deel 1-1: Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen	30
7.2.2. Deel 1-2: Belasting bij brand	31
7.2.3. Deel 1-3: Sneeuwbelasting	31

7.2.4. Deel 1-4: Windbelasting	31
7.2.5. Deel 1-5: Thermische belasting	31
7.2.6. Deel 1-6: Belasting tijdens uitvoering	31
7.2.7. Deel 1-7: Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen	31
7.2.8. Deel 2-1: Verkeersbelasting op bruggen	32
7.3. Combinatie van de belastingen	35
7.4. Toetsingscriteria vaststellen	35
7.5. Rekenwaarde van de weerstand	35
7.6. Toetsing en versterkingsmogelijkheden	37
7.7. Conclusie	37
8. CONCLUSIE	38
9. BIBLIOGRAFIE	39
10. FIGUREN EN TABELLENLIJST	40
10.1. Figurenlijst	40
10.2. Tabellenlijst	40
11. AFKORTINGENLIJST	41
 BIJLAGEN	
I	Bijlage 1 - Bovenaanzicht en zijaanzicht palenplan
II	Bijlage 2 - Programma van Eisen
III	Bijlage 3 - Belastingsverslag
IV	Bijlage 4 - Schetstekening Voorkeursvarianten
V	Bijlage 5 - Berekening combiwand
VI	Bijlage 6 - Doorsnede aanbrug nieuwe situatie
VII	Bijlage 7 - Scia rapportage
VIII	Bijlage 8 - Herberekening aanbrug constructie

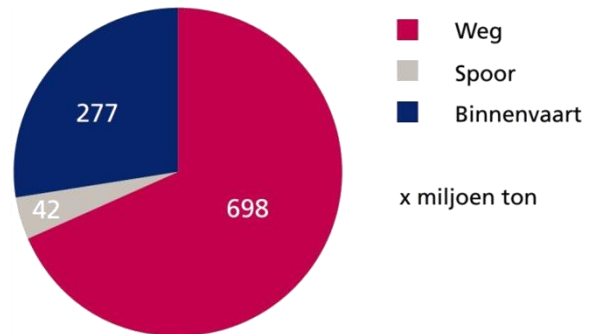
1. INLEIDING

In het kader van de opwaardering van de Zaan tot een volwaardige CEMT-klasse Va vaarweg wordt de vaargeul van de Zaan gebaggerd en de brugbedieningstijden worden verruimt. Door de schaalvergroting in de binnenvaart dreigt de Zaan namelijk haar economisch aantrekkelijkheid te verliezen door het achterblijven in doorvaart afmetingen. In de Zaan ligt de Wilhelminasluis welke met haar bijbehorende bruggen ook worden aangepast op de nieuwe doorvaartbreedte. Bij het verbreden van de bruggen, worden de toeritten ingekort waaronder die bij de Wilhelminabrug. Bij deze brug ligt de toerit op een betonnen aanbrugconstructie welke door de verplaatsing van de sluiswand, ingekort moet worden. Voor de aanpassingen aan deze aanbrug worden diverse constructief gerichte varianten opgesteld.

Deze varianten worden in twee stappen geoptimaliseerd en afgewogen. In het uitwerken van de uiteindelijke variant ligt de nadruk op het deel van de aanbrug dat intact blijft. Hiervan wordt middels een eenvoudige herberekening van de aanbrug een beeld gegeven van capaciteit van de constructie ten opzichte van de optredende interne krachten. Tot slot wordt een beeld gegeven van een mogelijke versterking voor de aanbrug.

2. PROJECTINTRODUCTIE

Volgens prognoses zal het goederen vervoer op een termijn van 15 jaar fors (met meer dan 50%) toenemen. Het grootste deel van deze extra vraag naar vervoerscapaciteit zal worden afgewikkeld met de vrachtauto. Echter gebeurt het steeds vaker dat economische centra in Nederland door congestie lastig te bereiken zijn. Door het toenemen van de vraag naar vervoerscapaciteit zal naar verwachting ook de congestie toenemen. Bij het zoeken naar alternatieve transportwijzen komen het water en het spoor duidelijk naar boven. De verdeling van het vervoer over de weg, het spoor en het water is duidelijk gemaakt in de naast staande figuur (Figuur 2-1: Tonnages per modaliteit in Nederland in 2011).



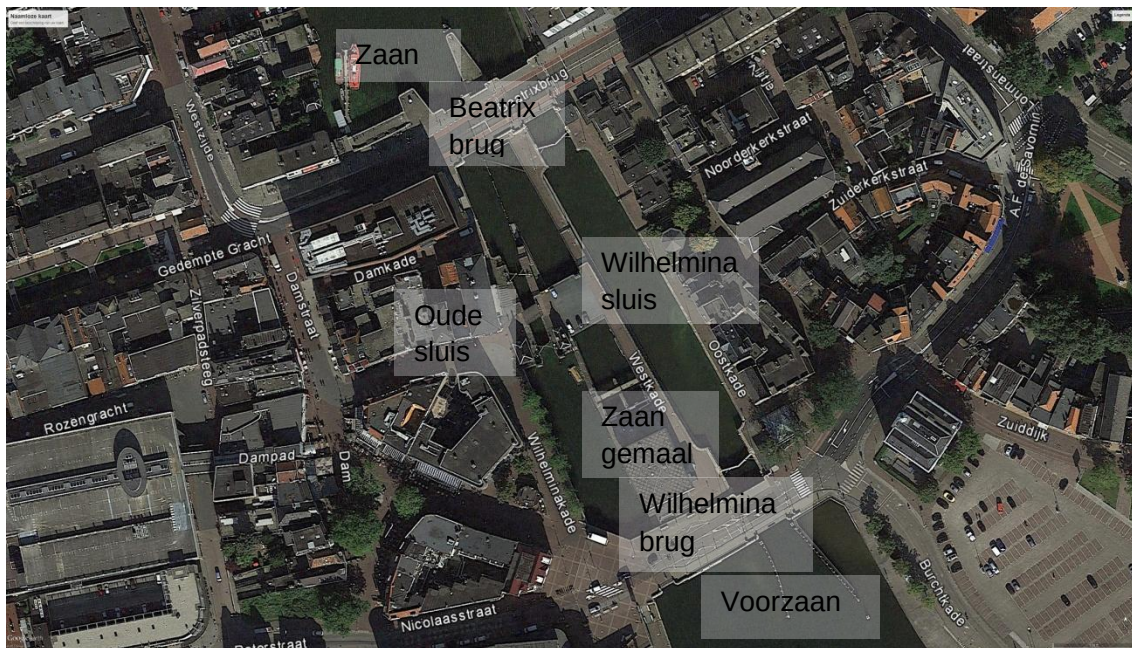
Figuur 2-1: Tonnages per modaliteit in Nederland in 2011 (Rail Cargo information Netherlands, 2012)

In dit figuur is te zien dat het wegverkeer de overhand heeft, terwijl waterverkeer toch ruim een kwart van het vervoer faciliteert. Het wegverkeer heeft het grote aandeel te danken aan het feit dat het wegennet een zeer fijnmazig net is met een relatief hoge transportsnelheid. Voor het gebruik van vervoer over water is een goede vaarweginfrastructuur nodig. Deze mogelijkheden zijn er in Noord-Holland genoeg, met name in de Zaanstreek. De Zaan biedt toegang tot het IJ, het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal. Inmiddels worden er op jaarbasis 4,7 miljoen ton goederen vervoerd over de Zaan.

In de afgelopen jaren is er echter een schaalvergroting ontwikkeld waardoor de aantrekkelijkheid van de Zaan als doorgaande vaarroute dreigt te verliezen (Meijeren, 2010). Zonder verdere maatregelen zal de bevaarbaarheid van de Zaan achterblijven bij deze ontwikkelingen. Beperkende factoren zijn de ondiepe vaargeul van de Zaan, en de doorvaarwijdte, breedte en diepte. Als antwoord op deze belemmerende factoren is een pakket aan maatregelen opgezet, de grootste hiervan zijn:

- Baggeren van de vaargeul met ruim 1 meter;
- Verruiming van de brugbedientijden;
- Aanpassing van de Wilhelminasluis, de Wilhelmina-, Beatrix en Zaanbrug. (Stuurgroep 'Vaart in de Zaan')

Om de een beeld te krijgen van de constructie die in die afstudeeronderzoek centraal staat is een betere kennis van het sluiscomplex en haar bruggen nodig. Het sluiscomplex bestaat uit twee schutsluizen en een gemaal (zie Figuur 2-2: Situatie van sluiscomplex in Zaandam). De Oude Sluis is een relatief kleine schutsluis die nu enkel voor pleziervaart wordt gebruikt of als spuisluis. Toen de capaciteit van de Oude Sluis niet langer voldeed is de Wilhelminasluis gebouwd, welke in 1903 officieel is opengesteld. Dit is een schutsluis met CEMT-klasse van Va. Daarnaast is het Zaangemaal in 1966 in gebruik genomen om water van het Schermerboezem op het Noordzeekanaal te krijgen. Het gemaal is gebouwd toen het afwateren via natuurlijke weg met spuisluizen regelmatig tot problemen leidde.



Figuur 2-2: Situatie van sluiscomplex in Zaandam (Google Earth, 2015)

Rondom het sluiscomplex wordt de Wilhelminasluis gerenoveerd, en verdiept. De doorvaartbreedte van de sluishoofden wordt van 12,0m naar 14,0m gebracht. Daarnaast wordt de vorm van de sluis aangepakt. De vorm van de huidige sluiskolk heeft veel weg van een kom (zie Afbeelding 2.1: Komvorm van de huidige Wilhelminasluis). Dit deze vorm is toegepast omdat de sluis een grote capaciteit moet hebben, maar de techniek van de puntdeuren was nog niet ver. Het maken van puntdeuren voor een doorvaartbreedte van meer 12,0 meter was nauwelijks mogelijk, en de schepen waren nog minder groot. Daarom is de doorvaartbreedte beperkt, met de karakteristieke komvorm tot gevolg.



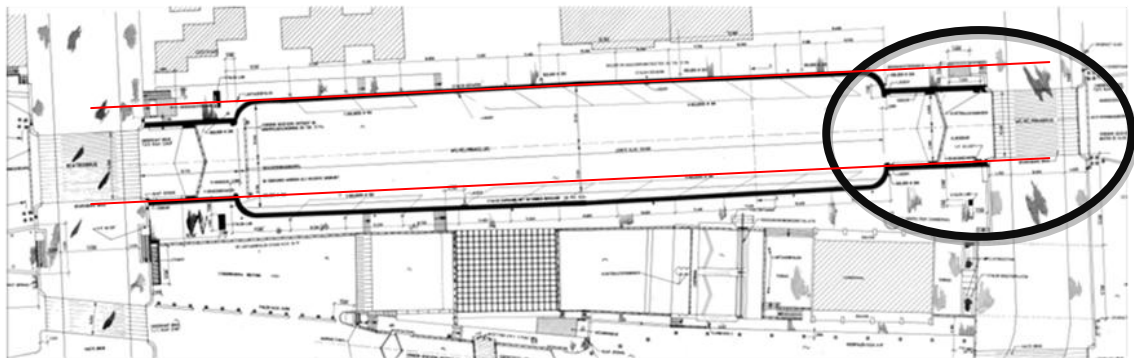
Afbeelding 2.1: Komvorm van de huidige Wilhelminasluis (Provincie Noord-Holland, 2011)

Sindsdien zijn de schepen groter geworden, en de technieken voor de puntdeuren zijn verbeterd. Een grotere doorvaartbreedte is mogelijk en kent grote voordelen. De grotere schepen kunnen nu passeren, en er is minder manoeuvreerwerk nodig om de sluis te vullen. Het laatste draagt weer bij aan het verkorten van de in- en uitvaarsnelheid.



Afbeelding 2.2: Impressie van de nieuwe rechte Wilhelminasluis (Provincie Noord-Holland, 2011)

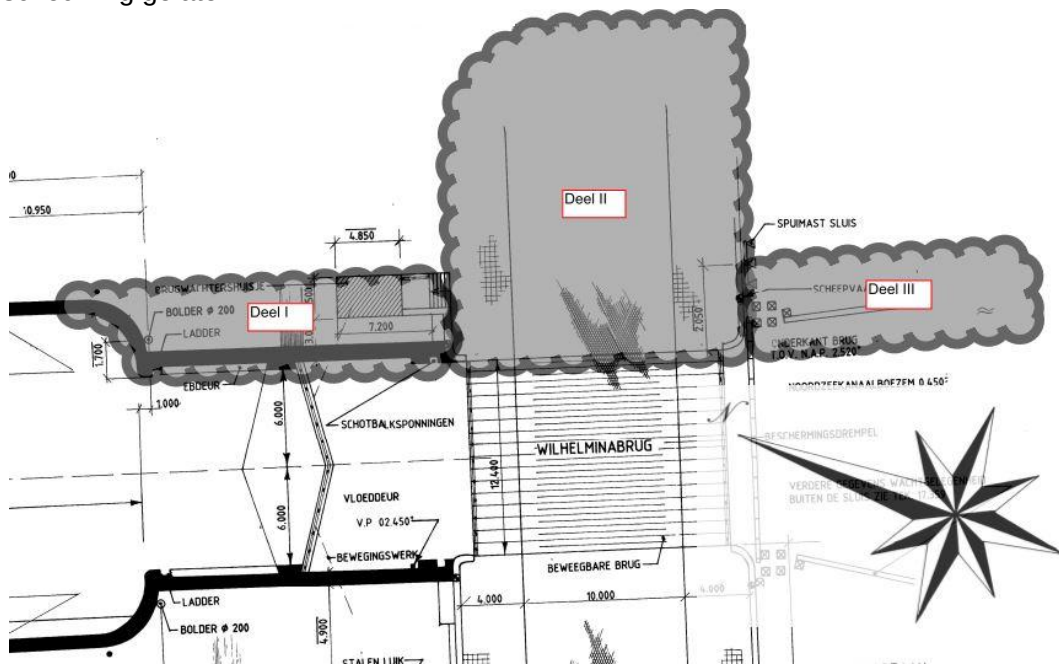
Om tot deze nieuwe sluisvorm te komen moet de sluis aangepakt worden. In de onderstaande figuur is de een bovenaanzicht te zien van de huidige situatie van de Wilhelminasluis (zie Figuur 2-3: Boven-aanzicht van de Wilhelminasluis in de oude situatie). In deze figuur is met rode lijnen aangegeven waar de nieuwe sluiswanden komen ten opzichte van de huidige sluiswanden. Hierin is te zien dat de sluiskolk smaller wordt, en de doorvaartbreedte groter. Hiervoor is gekozen omdat het stuk sluiskolk dat nu verloren gaat, veel ondieper is dan de rest van de kolk. Verder worden de twee bruggen en hun landhoofden aangepast aan de nieuwe breedte. Voor een gedetailleerdere weergave, zie Bijlage 1 - Boven-aanzicht Wilhelminasluis.



Figuur 2-3: Boven-aanzicht van de Wilhelminasluis in de oude situatie

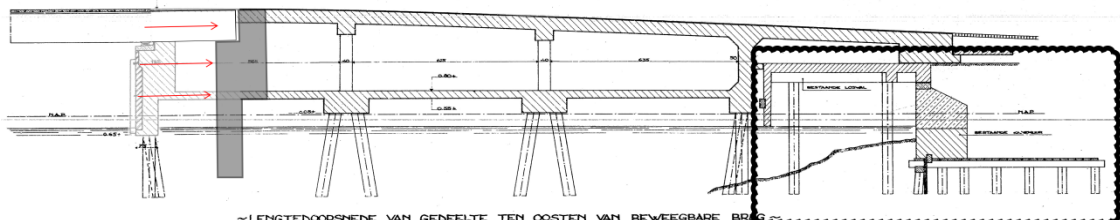
3. AFSTUDEERONDERWERP, DE AANBRUG

Van de gehele sluis wordt ingezoomd op de zuid-oostzijde van de sluis (Figuur 3-1: Bovenaanzicht van zuidoost zijde van het sluishoofd). Deze zijde is in drie stukken in te delen, te beginnen met het sluishoofd. Dit is deel I, waar de puntdeuren zich in de oude situatie bevinden. In de huidige situatie keren deze deuren het water wanneer er gesloten wordt. Om de verlenging van de sluis te realiseren wordt aan de buitenzijde van de sluis (bij deel III) een nieuw sluishoofd gerealiseerd met een nieuw set puntdeuren. Daarmee vervalt de functie van deel I als sluishoofd en wordt dit opgenomen in de sluiswand. In dit afstudeeronderzoek wordt deel II beschreven, dit is waar de Wilhelminabrug kruist met de sluis. De weg die over de Wilhelminabrug loopt wordt door middel van een aanbrug op hoogte gebracht waarna een basculebrug de oversteek realiseert. De basculekelder van deze brug ligt aan de westzijde van de sluis. Deze zijde wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.



Figuur 3-1: Bovenaanzicht van zuidoost zijde van het sluishoofd

In de onderstaande doorsnede is de relatie duidelijk gemaakt tussen vergrotingen van de doorvaartbreedte en de verkorting van de aanbrug (zie Figuur 3-2: Lengtedoorsnede van de aanbrugconstructie). De sluiswand wordt landinwaarts verplaatst waardoor de aanbrug wordt in gekort. Voor het aanpassen van de aanbrug zijn diverse mogelijkheden, deze worden onderzocht en beschreven in het volgende hoofdstuk, waarin de varianten studie wordt behandeld.



Figuur 3-2: Lengtedoorsnede van de aanbrugconstructie

4. **PROGRAMMA VAN EISEN**

Als beginpunt is het belangrijk te weten aan welke eisen het ontwerp moet voldoen. Pas zodra duidelijk is wat het beoogde eindresultaat is, kan hier effectief naartoe gewerkt worden. De eisen zijn in twee groepen te verdelen. Ten eerste is er een categorie eisen die van toepassing zijn op de eindsituatie, dit zijn de zogenaamde 'functionele eisen'. Daarnaast zijn er eisen die van toepassing zijn op de realisatiefase. Zo vallen hier de eisen onder die de situatie rond de hinder beschrijven, dit zijn de 'raakvlakeisen'. Het volledige programma van eisen is in de bijlagen te vinden (Bijlage 2 - Programma van eisen).

Voorbeelden van functionele eisen zijn dat de Wilhelminasluis 'geschikt dient te zijn voor het schutten van de beroepsvaart met als scheepklasse CEMT Va'. Vervolgens worden hierbij nog een aantal maatgevende schepen genoemd. De primaire functie van deze eis is het vaststellen van de dimensionering van de sluis. Denk hierbij aan lengte, breedte en diepgang van de sluiskolk. Maar het gaat verder dan dat, enkele belastingen worden namelijk afgeleid van het type schip dat in de sluis komt. Een goed voorbeeld hiervan is de aanvaarbelasting, hoe groter het schip, des te groter het gewicht van het schip en dus de belasting tegen de sluiswand bij een aanvaring.

Naast de eisen die zijn toegespitst op de gebruiker zijn er ook eisen vanuit de omgeving. Zo maakt de sluis deel uit van een waterkering en krijgt daaruit eisen mee aan de kerende waterhoogte. Zo moet het zuidelijke sluishoofd een minimale waterkerende ontwerphoogte hebben van NAP +2,00m. Met het blik op de faalkans van dit sluishoofd krijgen ook de sluiswanden een waterkerende hoogte mee van NAP +0,70m.

Verder vallen onder de functionele eisen ook:

- Eisen met betrekking tot onderdelen van de sluis die de functie verliezen.
- Eisen wat betreft de levensduur van diverse materialen
- Eisen voor de afmetingen van het val van de brug

5. **UITGANGSPUNTENNOTITIE**

De uitgangspuntennotitie geeft weer wat de uitgangspunten aan het begin van het ontwerpen is. Dit zijn vaak zeer algemene eisen of aspecten die zijn meegegeven door de opdrachtgever.

Aan de uitgangspunten notitie liggen verschillende bronnen ten grondslag. Ten eerste vormt het in hoofdstuk 3 opgestelde programma van eisen een duidelijke input. Ook geeft de omgeving uitgangspunten zoals bebouwing, grondslag en gebruiksindeling. Hieruit ontstaan diverse uitgangspunten. Enkel de belangrijkste uitgangspunten worden hier genoemd:

1. De constructie moet weerstand bieden tegen alle belastingen die op de sluis worden uitgeoefend tenzij voor specifieke belastingen bepaald wordt dat dit anders mag zijn.
2. Hinder voor de omgeving moet beperkt worden tot binnen de gegeven kaders.
3. Zetting van de grond en daarmee van (monumentale) gebouwen moet worden voorkomen of tot een acceptabel minimum beperkt worden. Hieruit volgt ook de wens om funderingsoplossingen te zoeken waarbij weinig energie nodig is voor de realisatie.
4. Levensduur moet voldoen aan de eisen gesteld voor hetzij een nieuwe, hetzij een bestaande constructie.
5. Alle varianten moeten uitvoerbaar zijn.
6. De loswal wordt wegens onbekende gegevens niet meegenomen als horizontale stempeling. Hiervoor wordt als uitgangspunt gekozen omdat de loswal niet geïnspecteerd kan worden, en derhalve kan de resterende levensduur niet worden bepaald.
7. Onderwerpen waarvan het gevolg niet of slecht bekend zijn dienen als risico's in kaart gebracht te worden en als zodanig meegenomen per variant.

6. VARIANTENSTUDIE

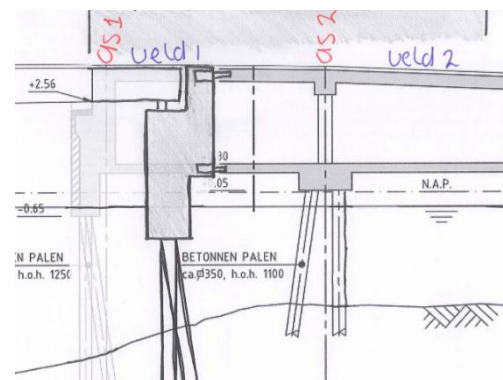
Op basis van de probleemstelling en het programma van eisen is een beeld ontstaan van waar de eindsituatie aan moet voldoen. Als eerste start is gekozen om op basis van dit beeld, middels een brainstorm sessie diverse varianten op te stellen. Met het opstellen van deze varianten is getracht om op basis van veel verschillende principes de verkorting van de aanbrug te realiseren. In een trechterproces na het opstellen wordt in twee stappen de haalbaarheid van de varianten gedetailleerder bekeken. In de eerste stap worden alle varianten nader bekeken en worden de voor- en nadelen vastgesteld. Op basis van deze voor- en nadelen, en onderzoek worden voor enkele grote nadelen optimalisaties bedacht. Deze optimalisaties worden toegelicht, waarna een kwalitatieve afweging plaats vindt. De verschillende varianten worden ten opzichte van elkaar beoordeeld, waarna een maximum van 4 varianten worden gekozen als voorkeursvarianten. Deze voorkeursvarianten krijgen vervolgens een tweede detailleringslag. Tot slot worden van de voorkeursvarianten door middel van een Multi Criteria Analyse (MCA) de beste variant gekozen. De waardevastheid van de uitkomst wordt middels een gevoeligheidsanalyse gecontroleerd. Hiermee wordt gekeken naar de impact van veranderingen van scores en wegingen om zo de waarde van de uitkomst te controleren.

6.1. Introductie van schetsvarianten

Uit de schetssessie zijn 8 varianten gekomen die hier benoemd worden. De gemaakte varianten zijn ook opgenomen in de bijlagen (Bijlage 2 - Varianten uit schetssessie) en kunnen in grofweg drie groepen worden ingedeeld. Groep 1 (varianten 1 t/m 4) laat zich kenmerken door de geringe sloop aan de bestaande constructie. Hierbij is getracht met zo min mogelijk ingrepen de beoogde eindsituatie te realiseren. Bij groep 2 (variant 5) wordt er meer van de bestaande constructie gesloopt om een effectievere fundering te kunnen toepassen in veld 2. In tegenstelling tot de andere velden zijn de funderingspalen hier te lood geslagen, en daarnaast kennen de palen een ruimere hart-op-hart afstand dan veld 1 wat diverse voordelen kent voor de nieuwe fundering. Tot slot is er groep 3 (varianten 6 t/m 8) waarbij de complete bestaande aanbrug wordt gesloopt. Hierdoor kan er na de sloop een kleine doeltreffende constructie worden toegepast. Hieronder worden alle varianten geïntroduceerd, met het idee achter het ontwerp, en de voor- en nadelen.

6.1.1. Variant 1

De verkorting van de aanbrug wordt in deze variant gerealiseerd door het eerste veld gedeeltelijk te slopen. Vervolgens wordt er een nieuwe sluiswand toegepast welke doormiddel van een dookvoeg aan de bestaande constructie wordt bevestigd. Deze sluiswand wordt op palen gefundeerd welke om en om te lood en geschoord worden aangebracht (zie Figuur 6-1: schets van variant 1, met dookvoeg).



Figuur 6-1: schets van variant 1, met dookvoeg

Voordelen

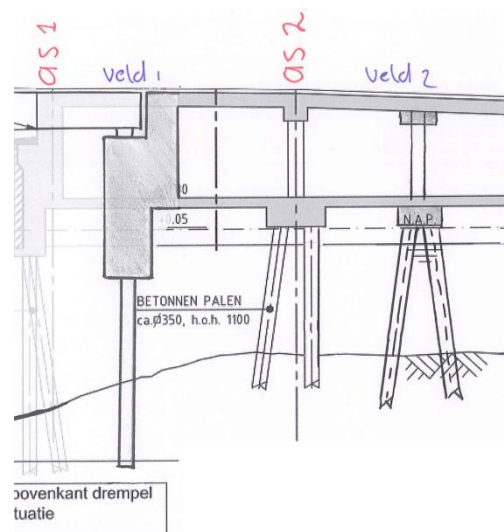
- Gunstige opname van de aanvaarbelasting; in het geval van een aanvaring moet de energie van het schip worden opgenomen. Hoe elastischer de constructie is, des te lager de belasting is op de constructie.
- Ontlasting van de bestaande aanbrug; zodra de sluiswand de aanvaarbelasting opneemt, vormt dit geen belasting voor de achterliggende aanbrug.
- Beperkte omvang van het uit te voeren werk; dit voordeel is kenmerkend voor alle varianten van groep 1. In deze variant wordt het grootste deel van de bestaande constructie instant gehouden waardoor de omvang van de werkzaamheden beperkt zijn.

Nadelen

- Grote horizontale verplaatsing; dit geeft conflicten met een strenge maatvoeringseisen rond het val van de Wilhelminabrug.
- Opname horizontale krachten gering; voor bijvoorbeeld rem- en aanzetkrachten geldt geen voordeel van een verplaatsing, waardoor de constructie deze volledig moet opnemen. Hierdoor ontstaan grote momenten in de sluiswand en de palen.
- De deuvelconstructie; deze constructies zijn gecompliceerde en kostbare methode om de voeg van nieuw naar oud te realiseren.
- Fundering door middel van geschoorde palen; toepassing van geschoorde palen gebeurt bij voorkeur met betonnen palen. Voor het aanbrengen van (prefab-) betonpalen is veel energie nodig, wat onwenselijk is qua omgevingshinder en mogelijke zetting van de omgeving

6.1.2. Variant 2

Ook variant 2 kenmerkt zich door een geringe sloop van de constructie, en valt daarmee in groep 1 (zie Figuur 6-2: schets van variant 2, met extra steunpunt in veld 2). Gelijk aan variant 1 wordt hier ook hier het eerste veld deels gesloopt waarna de nieuwe sluiswand teruggebouwd wordt. In deze variant wordt echter de voeg van oud naar nieuw verbonden door deze aan elkaar te storten. Hierdoor werkt de hele aanbrug als één constructie waardoor de fundering van de sluiswand te lood kan worden uitgevoerd. Dit is gezien het huidige palenplan gunstiger omdat ter plaatse van de sluiswand het toepassen van geschoorde palen ingewikkeld is. Om de capaciteit van deze schoorpalen niet te verliezen wordt in veld 2 een nieuw tussensteunpunt toegepast. Omdat de bestaande palen in dit veld te lood staan is het hier eenvoudiger om geschoorde palen toe te passen.



Figuur 6-2: schets van variant 2, met extra steunpunt in veld 2

Voordelen

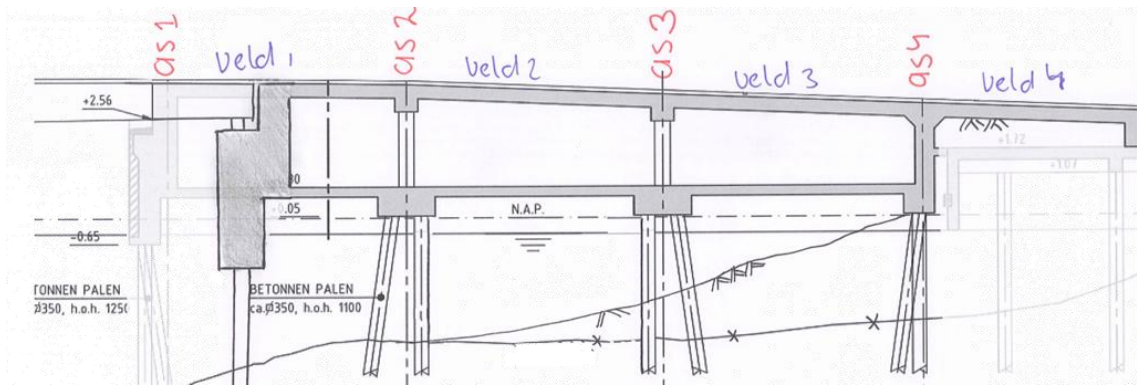
- Activatie van de gehele aanbrug; doordat de voeg van de sluiswand en de aanbrug vast is wordt de oude constructie 'geactiveerd' bij een belasting op de sluiswand. Hierdoor worden de belastingen afgedragen over de complete constructie en wordt de sluiswand ontzien.
- Het nieuwe steunpunt; door de schoorstand van dit steunpunt wordt de horizontale stempeling van de bestaande loswal deel overgenomen.
- Beperkte omvang van het werk; nagenoeg hetzelfde als variant 1. Waar in deze variant geen lastige doekvoeg toegepast wordt, is het aanbrengen van de palen wel gecompliceerd.

Nadelen

- Extra spanningen als gevolg van de vaste voeg; doordat bij het aan elkaar storten van de voeg nieuw en oud beton samen komen, ontstaan extra spanningen in het dek. Het jonge beton krimpt nog terwijl het oude beton is uitgewerkt. Dit zorgt voor spanningen in zowel het nieuwe als het oude dek.
- Starre reactie van de constructie op een aanvaring; door diezelfde voeg is de reactie van de constructie op een aanvaring stijver. Dit heeft als gevolg dat om de energie op te nemen, er een hogere belasting op de constructie ontstaat.
- Uitvoering van tussensteunpunt; voor de realisatie van dit tussensteunpunt moet (een deel van) het dek en de vloer van veld 2 worden gesloopt. Hiermee nemen de werkzaamheden toe, terwijl de werkruimte alsnog beperkt is. Dit aspect maakt deze variant voornamelijk uitvoeringstechnisch bijna onhaalbaar.
- Zettingsgevoeligheid en trillingshinder; voor de uitvoering van dit steunpunt moeten veel funderingspalen worden aangebracht. Hiervoor is doorgaans veel energie nodig om deze aan te brengen. Deze trillingen maken de kans op zettingen groter, daarbij vergroot het ook de hinder voor de omgeving.
- Doeltreffendheid; de capaciteit van funderingspalen als horizontale stabilisatie is beperkt. Alle horizontale krachten op de palen veroorzaken verhoudingsgewijs grote momenten. Dit komt omdat de palen onder de constructie enkele meters nog geen stabiliserende grondmassa hebben, en de eigenschappen van de daarop volgende laag ook zwak is.

6.1.3. Variant 3

Variant 3 heeft veel gelijkenissen met variant 2, de nieuwe sluiswand wordt vast verbonden met de bestaande constructie, en als gevolg hiervan kan hier ook de fundering te lood worden uitgevoerd. Het verschil zit hem echter in de opname van de horizontale krachten. In deze variant geschiedt dit niet met een extra steunpunt, maar met via een zandbed onder veld 4. Dit zandbed steunt op de gewichtsmuur waardoor de horizontale stempeling door de passieve gronddruk wordt verkregen, zodoende is het extra steunpunt niet nodig (zie Figuur 6-3: schets van variant 3 met zandophoging).



Figuur 6-3: schets van variant 3 met zandophoging

Voordelen

- Activatie van de gehele aanbrug; door dezelfde vaste voeg hier toe te passen als in variant 2 wordt ook hier de sluiswand ontlast doordat de hele aanbrug mee werkt.
- Horizontale stempeling; doordat de constructie ter hoogte van as 4 nu tegen een grondbed staat, kan dit als horizontale stempeling gezien worden. Langs deze weg is de horizontale stempeling effectief en ontstaat voor het horizontale evenwicht een volledige compensatie voor de loswal.
- Beperkte omvang van het werk; wederom, de omvang is beperkt waarmee hinder, bouwtijd en kosten beperkt blijven.

Nadelen

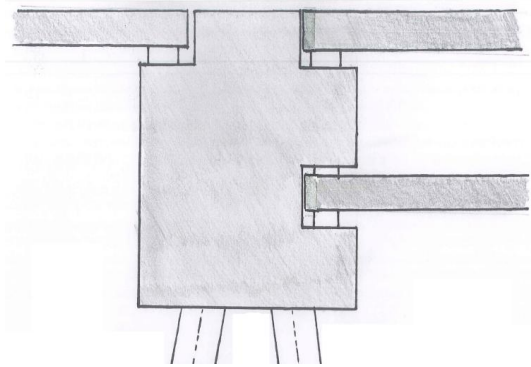
- Extra spanningen als gevolg van de vaste voeg; hier wordt een zelfde voeg toegepast als in variant twee, derhalve zullen dezelfde spanningen optreden in de voeg.
- Starre reactie van de constructie op een aanvaring; ook hier resulteert de starre reactie in een hoge aanvaarbelasting, dit is gelijk aan variant 2.
- Negatieve kleeft in as 3 en 4; het paal draagvermogen van de bestaande funderingspalen neemt af doordat de opgebrachte zandmassa negatieve kleeft veroorzaakt.
- Het aanbrengen van de zandophoging; op het gebied van uitvoerbaarheid is de zandophoging lastig te realiseren aangezien de ruimte onder de aanbrug en de loswal slecht bereikbaar is.
- Zettingsgevoeligheid; als gevolg van de zandophoging onder de constructie start een consolidatie van de ondergrond. De omvang en impact hiervan moet nader bepaald worden aangezien dit een belangrijk punt is wat betreft de haalbaarheid van de variant.

6.1.4. Variant 4

Als laatste variant in groep 1 zijn ook bij deze variant de aanpassingen gering. Deze variant bestaat uit een landhoofd die op geschoorde palen is gefundeerd (zie de voeg van het nieuwe landhoofd naar het bestaande dek is uitgevoerd als oplegging). Hierdoor geeft het landhoofd verticale steun aan het dek en de vloer. Daarnaast is de ruimte van de voeg beperkt zodat in het geval van een aanvaring de bestaande aanbrug alsnog wordt geactiveerd. Hiermee kan de voeg zowel horizontale als verticale belastingen opnemen maar worden de belastingen door de krimp van het nieuwe beton voorkomen en vind er in de normale gebruikssituatie geen belasting plaatst van het landhoofd naar de aanbrug.

Voordelen

- Effectieve krachtsafdracht; in geval van een aanvaring (calamiteitssituatie) wordt de bestaande aanbrug geactiveerd en draagt de volledige constructie bij aan de horizontale stabiliteit. Daarentegen zorgt de oplegging ervoor dat de krimp in het nieuwe dek onverhinderd kan op treden waardoor hiermee extra spanningen niet optreden.
- Beperkte omvang van het werk; wederom, de omvang is beperkt waarmee hinder, bouwtijd en kosten beperkt blijven.



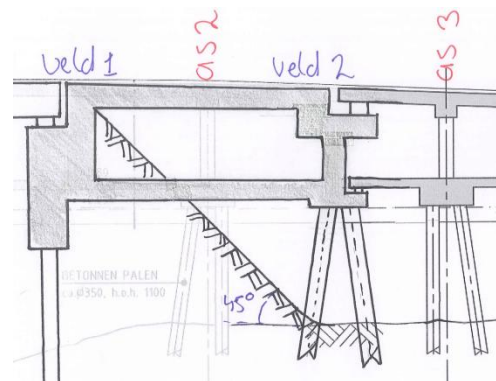
Figuur 6-4: detailschets van het landhoofd van variant 4

Nadelen

- Levensduur oplegblokken; de maximale levensduur van een oplegblok is 30 jaar, terwijl voor de bestaande constructie een levensduur van 50 jaar moet worden aangetoond. Dit betekent dat de oplegblokken vervangbaar moeten zijn. Dit is niet of nauwelijks mogelijk gezien de lastige bereikbaarheid van de locatie van de blokken.
- Omvang van het landhoofd; het landhoofd vormt een redelijk kolossale constructie terwijl het nut hiervan beperkt is.

6.1.5. Variant 5

Deze variant wijkt significant af van de hiervoor genoemde varianten en valt daarmee onder een nieuwe groep, groep 2. Bij deze variant wordt een extra veld en het bijbehorende tussensteunpunt gesloopt (zie Figuur 6-5: schets van variant 5 met een zandophoging en een extra steunpunt). Hiermee is de omvang van het werk aanzienlijk groter, en neemt daarmee de hinder toe. Het voordeel is dat de extra werkruimte mogelijkheden biedt voor grotere ingrepen en een eenvoudigere realisatie van het werk. Zo wordt in deze variant een grondophoging gerealiseerd die de horizontale aanvaarbelasting opneemt. De voegovergang bestaat uit oplegblokken met een grotere voeg. Zo wordt de verticale ondersteuning van het bestaande dek van veld 2 mogelijk gemaakt terwijl de extra spanningen achterwege blijven.



Figuur 6-5: schets van variant 5 met een zandophoging en een extra steunpunt

Voordelen

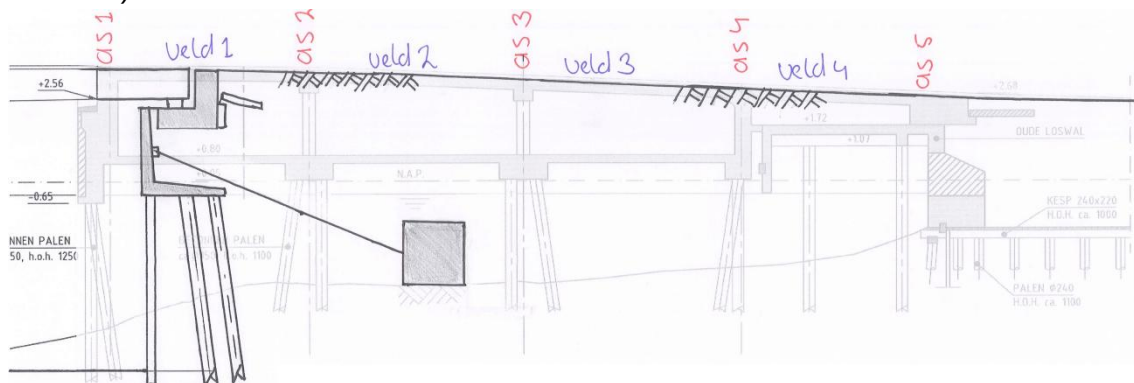
- Eenvoudigere realisatie van de zandophoging; doordat het bestaande tussensteunpunt van as 2 vervalt ontstaat een grotere werkruimte. Hierdoor kan de zandophoging relatief eenvoudig geschieden en ontstaat er geen extra negatieve kleeft op de palen.
- Ontlasting van de bestaande aanbrug; doordat deze constructie de aanvaarbelasting, ijsbelasting en een deel van de rem- en aanzetkrachten direct afdraagt naar het zandbed hoeven deze spanningen niet de hele aanbrug door. Hierdoor ontstaat een ontlasting van de aanbrug.

Nadelen

- Omvang werkzaamheden; zodra de omvang van de sloopwerkzaamheden en de nieuwbouw toenemen is er een langere bouwtijd nodig. Hierdoor neemt de hinder toe en duren de stremmingen langer.
- Zettingsgevoeligheid en trillingshinder; zoals al bij andere zandophogingen genoemd, bestaat ook hier het risico dat er zettingen ontstaan. Het aanbrengen van de palen van het nieuwe tussensteunpunt versterken dit risico en voegen hier trillingshinder aan toe.
- Levensduur oplegblokken; zelfde argumenten als in de voorgaande variant, toepassing van de oplegblokken geeft een duurzaamheidsprobleem.

6.1.6. Variant 6

Bij de volgende varianten (varianten 6, 7 en 8) wordt de complete aanbrug verwijderd. Vervolgens wordt het grondniveau gelijk gebracht aan het niveau van de aanbrug. Doordat in deze situatie niet voortgeborduurd hoeft te worden op de bestaande aanbrug is het mogelijk om een nieuwe compacte constructie toe te passen. In deze variant wordt een L-wand toegepast die de grondkering van de eerste paar meters realiseert, de damwand die onder de L-wand doorloopt verzorgt de rest van de grondkering. Het val van de brug rust op een deksloofachtige constructie. Deze constructie ligt in een grondpakket wat haar stabiliteit ontleend aan het horizontale deel van de L-wand. Het trekanker mobiliseert een hoeveelheid grond om horizontale krachten (van voornamelijk de grondmassa) op te nemen terwijl de tegen gestelde belastingen (ijs- en aanvaarbelastingen) direct op het grondpakket afgedragen worden (zie Figuur 6-6: schets van variant 6 met een L-wand een trekanker).



Figuur 6-6: schets van variant 6 met een L-wand een trekanker

Voordelen

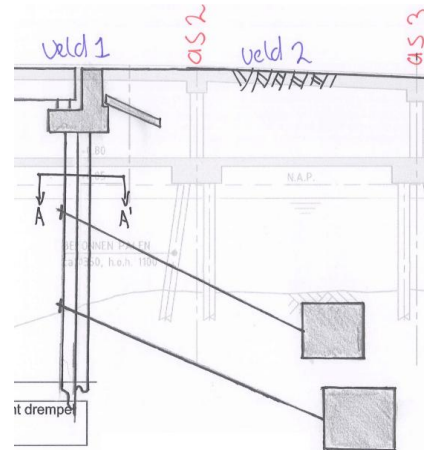
- L-wand als standaard prefab product; doordat L-wanden standaard producten zijn die prefab aangeleverd worden is een hoge kwaliteit gewaarborgd en wordt de bouwtijd van de sluiswand beperkt.
- Eenvoudige krachtsafdracht; Horizontale krachtsafdracht geschiedt via trekanker of een passieve gronddruk.

Nadelen

- Haalbaarheid L-wand; het oorspronkelijke idee was het toepassen van een L-wand over de volledige hoogte wat een onnodig en onrendabele zware constructie oplevert.
- Overgangsconstructie van stalen val naar land; dit is een ongebruikelijke en onrealistische constructie.
- Zettingsgevoeligheid; wegens het toepassen van een zandophoging over de gehele oppervlakte van de constructie is de kans op zettingen in deze variant groot.
- Realisatiekosten; door de sloop van de volledige constructie, de opvulling met zand en de herbouw van de nieuwe constructie liggen de realisatiekosten hier hoog.

6.1.7. Variant 7

Deze variant is krachtig door zijn eenvoud. Net als bij variant 6 wordt hier de volledige aanbrug verwijderd en opgevuld met zand. Vervolgens zorgt een buispalen combiwand voor de grondkering. Zo nodig kan deze door een (grout-)anker horizontaal worden gesteund. Bovenop de combiwand wordt een deksloof toegepast waar het val op rust. (zie Figuur 6-7: schets van variant 7 met een combiwand en trekankers).



Figuur 6-7: schets van variant 7 met een combiwand en trekankers

Voordelen

- Materiaal gebruik; de constructie bestaat uit gangbare onderdelen waar veel ervaring mee is. De risico's zijn dus relatief beperkt en bekend. Daardoor kan de bouwsnelheid toenemen.
- Eenvoudige krachtsafdracht; zowel de horizontale als de verticale krachten zijn eenvoudig af te dragen: de buispaal neemt de verticale krachten op, terwijl deze in horizontale richting samenwerkt met de ankers om het evenwicht te creëren.
- Beperkte trillingshinder; zowel buispalen als damplanken kunnen met relatief weinig of geen trillingen in de grond worden aangebracht. Hiermee blijft de hinder voor de omgeving beperkt.
- Ruime bouwput; doordat de complete aanbrug vervalt ontstaat er een ruime bouwlocatie voor de nieuwbouw.
- Duurzaamheidsaspect; wanneer de combi-wand niet aan de duurzaamheids eisen voldoet kan doormiddel het toepassen van een betonnen wand volledige waterdichtheid en gevraagde duurzaamheid gegarandeerd worden.

Nadelen

- Realisatiekosten; gelijk aan variant 6 liggen ook hier de realisatiekosten hoog
- Omgevingshinder; door de grote omvang van het werk treedt er over een langere periode hinder op voor de (vaar-)weggebruikers.
- Zettingsgevoeligheid; gelijk aan variant 6 is ook hier het risico op zettingen hoog.

6.1.8. Variant 8

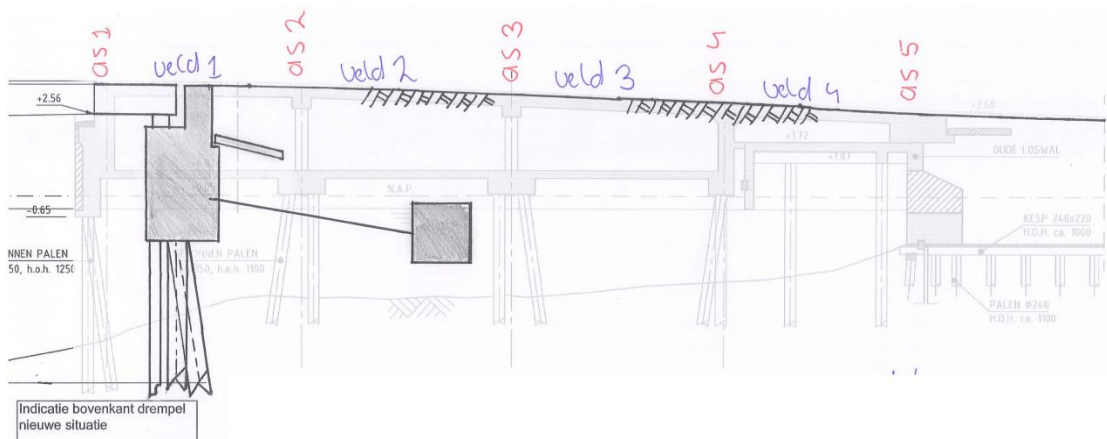
Tot slot wordt bij de laatste variant wederom de bestaande aanbrug gesloopt en aangevuld met zand. Vervolgens wordt net als bij variant 7 een combiwand toegepast echter wordt hier op de combiwand een landhoofd gerealiseerd. Het gewicht van het landhoofd kan het mogelijk maken dat hier geen ankers nodig zijn in tegenstelling tot variant 7. (zie Figuur 6-8: overzicht schets variant 8, landhoofd met trekanker)

Voordelen

- Eenvoudige krachtsafdracht; zowel de horizontale als de verticale krachten zijn eenvoudig af te dragen. Het gewicht van het landhoofd kan eventueel een anker overbodig maken voor het vinden van een horizontaal evenwicht.
- Ruimere bouwput; eigenschappen identiek aan werkruimte van variant 7.
- Duurzaamheidsaspect; gelijk aan variant 7 vormt ook hier het toepassen van een betonnen wand een oplossing voor een mogelijk duurzaamheidsprobleem.

Nadelen

- Meerwaarde boven variant 7; het effect van deze constructie is gelijk aan het effect van de constructie in variant 7. Daarentegen is deze constructie kolossaler dan variant 7 en kent daardoor een langere realisatie tijd en hogere kosten.



Figuur 6-8: overzicht schets variant 8, landhoofd met trekanker

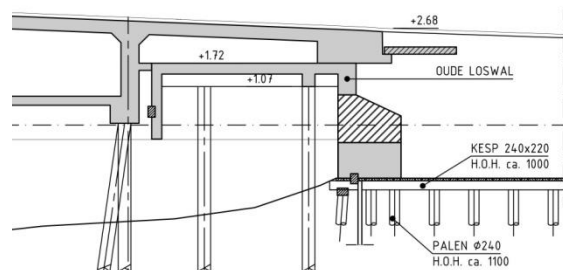
6.2. Optimalisatie van de schetsvarianten

Nadat de schetsvarianten zijn opgesteld zijn deze nader bekeken. Hierbij is naar de variant gekeken met het blik op de haalbaarheid, stabiliteit en de optredende omgevingshinder. Op basis hiervan zijn de varianten kritisch beoordeeld en waar mogelijk geoptimaliseerd. Uit het doorlichten van de varianten zijn twee grote optimalisaties ontstaan. De eerste optimalisatie ligt op het gebied van de horizontale stabiliteit, de tweede is omtrent de aanvaarbelasting. Beide optimalisaties zijn hieronder toegelicht.

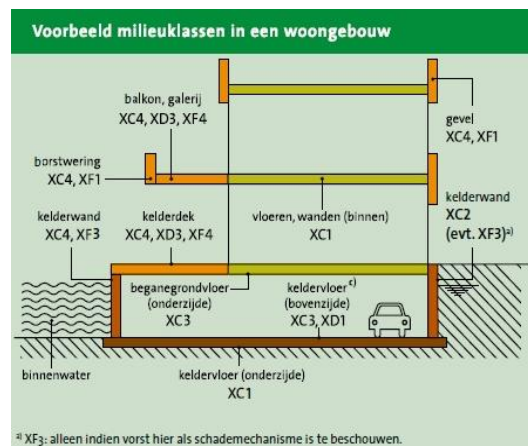
6.2.1. Bestaande loswal

Bij het vaststellen van de randvoorwaarden is aangenomen dat de bestaande loswal niet meegenomen werd in de horizontale krachtsafdracht. Hiervoor is gekozen omdat van deze loswal geen inspectie mogelijk was. Echter is bij het maken van de schetsvarianten gebleken dat deze aanname extreme gevolgen heeft. In variant 2 resulteert dit in de realisatie van een compleet nieuw tussensteunpunt, en in variant 3 brengt dit een zand ophoging met zich mee. Beide oplossingen brengen uitvoeringstechnisch diverse risico's met zich mee.

Hierop is besloten om deze loswal gedetailleerder te benaderen. Hieruit is gebleken dat door enkele factoren de staat van deze loswal wel te bepalen is. Bij de bouw van de huidige aanbrug is de loswal intact gehouden, en volledig 'ingebouwd' (zie Figuur 6-10: Situatie van de bestaande loswal onder de aanbrug). Dit wil zeggen dat de loswal door de bescherming van de aanbrug niet langer is blootgesteld aan de invloeden van bijvoorbeeld dooizouten en regenval. Dit geeft met het oog op de milieuklassen een gunstig effect (zie Figuur 6-9: Voorbeeld milieuklassen in een woongebouw). In de oude situatie zou de loswal onder de milieuklassen XD3 (wisselend nat en droog, met corrosie ingeleid door chloriden) of XC4 (wisselend nat en droog, met corrosie ingeleid door carbonatatie) gevallen zijn. Door de bescherming van de aanbrug zijn de invloeden van vocht en dooizouten beperkt waardoor de corrosie ingeleid door chloriden achterwege blijft.



Figuur 6-10: Situatie van de bestaande loswal onder de aanbrug



Figuur 6-9: Voorbeeld milieuklassen in een woongebouw

Daarnaast is de loswal sinds de realisatie van de aanbrug vrijgekomen van verticale belastingen. Dit maakt dat sinds de bouw van de aanbrug (rond 1960) de belasting op deze loswal is gereduceerd dan wel weggevallen.

Op basis van deze twee facetten is besloten om de oude loswal toch mee te nemen voor de horizontale stabiliteit. Dit maakt dat de functie van het extra steunpunt in variant 2, en de zandophoging in variant 3 vervallen. Na de bovengenoemde optimalisatie kan gesteld worden dat variant 2 en 3 identiek zijn, en worden zodoende als één variant samengevoegd en beoordeeld. Ook verkleint deze optimalisatie het zettingrisico als gevolg van de zandophoging, en stijgt de haalbaarheid van beide varianten.

6.2.2. Aanvaarbelasting

Een ander onderwerp dat bepalend is voor de keuze tussen de verschillende varianten is de grootte van de aanvaarbelasting. Bij verschillende varianten wordt er gesproken van een ontlasting van de bestaande constructie. Dit geschiedt doordat een deel van de nieuwe constructie deze bijzondere belasting opneemt en dus voorkomt dat de bestaande aanbrug hiermee belast wordt. Echter mist hier een belangrijk onderdeel, de kennis van de grootte van deze kracht. Hoe groter deze belasting is, hoe groter het voordeel is van deze varianten. De richtlijn bestaande kunstwerken (RBK) geeft binnen bepaalde randvoorwaarden een benadering van deze belasting. In Bijlage 3 - Belastingsverslag is deze aanvaarbelasting gedetailleerd bepaald.

Door de geringe hoek van aanvaring en de snelheidsbeperking volgt uit de berekening dat de belasting door aanvaring kleiner was dan aanvankelijk was verwacht. Hiermee is de 'ontlasting' die optreedt door een uitgebreide (en vaak duurdere) constructie nihil en daardoor niet rendabel. Daarnaast bevindt de keldervloer van de constructie zich op de hoogte waar deze aanvaarbelasting in rekening gebracht dient te worden. Hiermee is de impact van deze aanvaarbelasting kleiner dan gedacht, en vervallen de meeste voordelen op dit gebied.

6.3. Kwalitatieve afweging

Door de optimalisatie is inzicht ontstaan in twee belangrijke aspecten die grote effecten hebben op de varianten. Hiermee zijn de voor- en nadelen van de varianten beter af te wegen. De 8 varianten ondergaan een beoordeling op basis van drie hoofdonderwerpen, te kennen: haalbaarheid, stabiliteit en omgevingshinder. Deze onderwerpen krijgen een waardering die van -- (heel negatief met score 1) tot ++ (heel positief met score 5). Het vaststellen van de score is toegelicht in hoofdstuk 5 van de variantenrapportage.

Uit deze afweging zijn 3 varianten naar voren gekomen. De eenvoud van variant 2&3 resulteert in een hoge score, gelijk aan die van variant 7. Bij deze variant ligt de score op het gebied van haalbaarheid en stabiliteit van de constructie hoger. Op de omvang van de variant is de beoordeling minder rooskleurig waardoor deze gelijk komt met variant 2&3. Tot slot scoort ook variant 5 hoog op de haalbaarheid en de stabiliteit maar kost ook hier de omvang van het werk de variant punten. Andere varianten halen beduidend lagere scores, namelijk 7 punten. De enige variant die tussen de slechte en de goede varianten uitkomt, is variant 8. Echter valt variant 8 in dezelfde groep als variant 7. Daarmee is deze variant vergelijkbaar maar minder goed. Vanuit dit oogpunt heeft het geen toegevoegde waarde om deze variant mee te nemen in verder detaillering (voor een overzicht van de scores, zie Tabel 6-1: Scoretabel van de kwalitatieve beoordeling).

De drie gekozen voorkeursvarianten worden voortaan benoemd als voorkeursvariant A, B en C. Variant 2&3 correspondeert met voorkeursvariant A, variant 5 correspondeert met voorkeursvariant B, en variant 7 is vanaf nu voorkeursvariant C, zie onderstaande scoretabel voor een verduidelijking en zie Bijlage 4 - Schetstekening Voorkeursvarianten.

Scoretabel per variant	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 6	Var. 7	Var. 8
	Groep 1				Groep 2	Groep 3		
1. Haalbaarheid	-	+	+	--	+	-	++	+
2. Stabiliteit	--	+	+	-	+	+	++	++
3. Omvang/ omgevingshinder	+	+	+	+	0	--	-	--
1. Haalbaarheid	2	4	4	1	4	2	5	4
2. Stabiliteit	1	4	4	2	4	4	5	5
3. Omvang/ omgevingshinder	4	4	4	4	3	1	2	1
Eindscore	7	12		7	11	7	12	10
Nieuwe naam, Voorkeursvariant :		A			B		C	

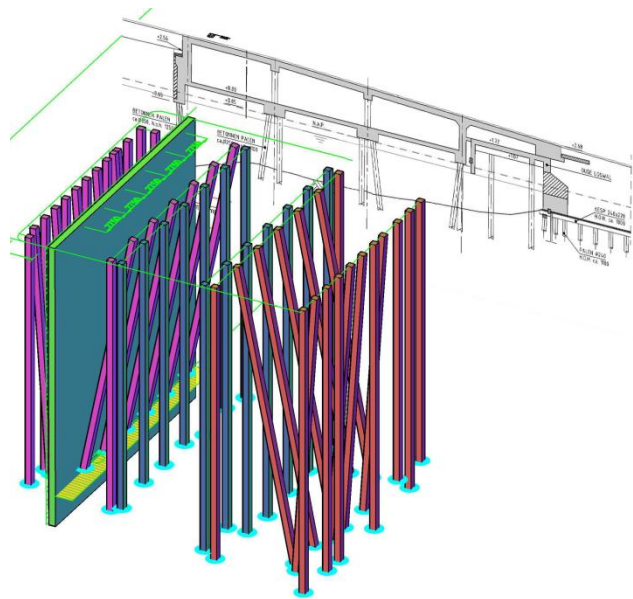
Tabel 6-1: Scoretabel van de kwalitatieve beoordeling

6.4. Optimalisatie van de voorkeursvarianten

Als tweede stap in de beoordelingen, worden de varianten nu gedetailleerder bekeken. Aan de hand van een Multi criteria analyse (MCA) wordt uit de 3 voorkeursvarianten een eindvariant gekozen. Om deze beoordeling goed uit te voeren is het belangrijk dat de varianten nader bekeken worden. Hierbij wordt ook gekeken naar de kosten die met de varianten mee komen, en naar het risico wat deze variant kent. Met deze toevoeging worden de varianten beoordeeld op de volgende punten:

- Haalbaarheid
- Uitvoerbaarheid
- Kosten
- Omgevingshinder
- Risico

In hoofdstuk 6 van de variantenrapportage zijn de 3 voorkeursvarianten gedetailleerder bekeken. Hieruit is een lijst ontstaan van onderwerpen die van belang zijn voor de varianten. De belangrijkste punten die hieruit naar boven kwamen, zijn nader onderzocht. Zo is er onder andere aan de hand van de CUR 166 een betere kennis ontstaan over damwand constructies en combiwanden. Het palenplan van de huidige situatie is in AutoCAD 3D uitgewerkt om de mogelijkheden en raakvlakken duidelijker in kaart te brengen (zie Figuur 6-11: Impressie van het 3D palenplan). Ook is er op review momenten met begeleiders en constructeurs op technisch vlak veel kennis verworven over de haalbaarheid en de risico's van de varianten.. Zo is bijvoorbeeld dieper ingegaan op de kracht interactie bij een vaste verbinding tussen de bestaande aanbrug en relatief jong beton.



Figuur 6-11: Impressie van het 3D palenplan

Aan de hand van deze kennis zijn de varianten geoptimaliseerd. Door de nieuwe kennis bleken sommige oplossingen overbodig, andere konden veel effectiever aangepakt worden. Ook is er voor sommige situaties een berekening gemaakt om een duidelijker beeld te krijgen voor grootheden. Zo is er aan de hand van de Blum methode een indicatie verkregen voor de krachten op de grond kerende constructie en is de aanvaarbelaasting met de Richtlijn Bestaande Kunstwerken (RBK) bepaald. Door hiermee inzicht te krijgen in de grote van de belasting kan de impact van dit aspect worden afgeschat. Hieronder zijn de belangrijke optimalisaties besproken.

6.4.1. Krachtswerking in beton

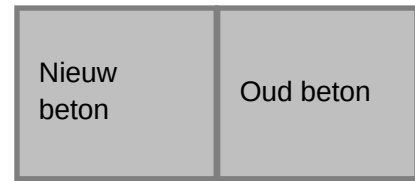
Als gevolg van het constructief verbinden van het nieuw te realiseren dek met het bestaande dek treden er spanningen op. Echter is het belangrijk om te weten wat het gevolg hiervan is. Het beton van de oude constructie is ongeveer 50 jaar oud. Dit beton vervormt inmiddels nauwelijks meer, terwijl het beton dat gestort wordt nog een compleet uithardingsproces moet doorgaan alvorens het de constructieve sterkte heeft. In dit uithardingsproces verdampt het water uit het mengsel, en treedt er een kleine krimp op. In het geval van een losse oplegging wordt deze krimp niet verhinderd en zal er geen spanning ontstaan (Figuur 6-12; situatie voor uitharden en Figuur 6-13; situatie na uitharden, bij onverhinderde krimp). Echter zal bij een vaste verbinding het oude beton de krimp verhinderen, en zal het nieuwe beton een samendrukking bij het oude beton teweeg brengen (

Figuur 6-14; vervorming na uitharden bij verhinderde krimp). Het krachten patroon dat optreedt is in het figuur duidelijk te zien, de oude constructie wordt op druk belast en de nieuwe constructie wordt op trek belast.

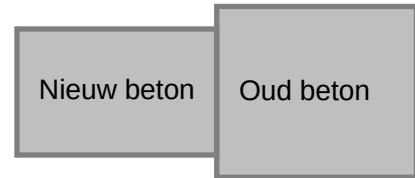
Deze belasting is echter relatief gunstig gezien de omstandigheden. De oude constructie wordt zuiver op druk belast wat voor het materiaal de meest gunstige belasting is. De invloed van deze extra belasting blijft dus beperkt. Het nieuwe beton wordt op trek belast, dit is ongunstig, maar omdat dit nieuw gebouwd wordt kan hierop gewapend worden. Hiermee wordt het nadeel van de extra spanningen in het geval van een vaste voeg relatief klein.

6.4.2. Inpasbaarheid van de combiwand

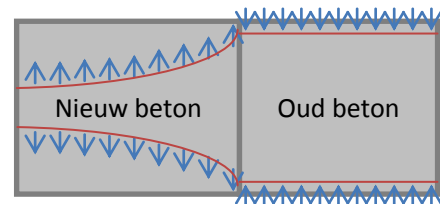
Een belangrijk punt omtrent de inpasbaarheid van de combiwand valt of staat met de h.o.h.-maat hiervan. Omdat de combiwand tussen de bestaande palen aangebracht wordt, moet deze bij benadering de maat van de bestaande funderingspalen volgen. Om inzicht te krijgen in deze problematiek is het bestaande palenplan in een 3D model verwerkt zodat een goed beeld ontstaat van de invloed van deze palen. Dit model is in de bijlagen te vinden (Bijlage 1 - Bovenaaanzicht Wilhelminasluis). In het bovenaaanzicht is te zien dat in veld 1 en 3 veel palen staan. Op veld 1 ligt hierbij de focus omdat midden in dit veld een nieuwe combiwand moet komen. Om te weten of een combiwand een haalbare optie is, moet er eerst kort op een combiwand ingegaan worden.



Figuur 6-12; situatie voor uitharden



Figuur 6-13; situatie na uitharden, bij onverhinderde krimp

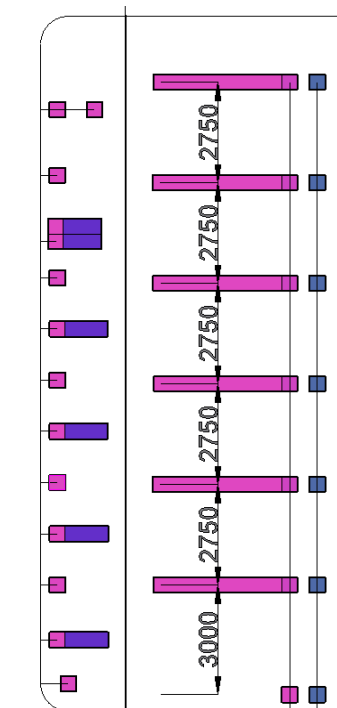


Figuur 6-14; vervorming na uitharden bij verhinderde krimp

Een combiwand (of voluit een buispalen-combiwand) bestaat uit een combinatie van damwandplanken en buispalen. De buispalen zorgen voor de hoge sterkte en stijfheid. Tussen de buispalen worden damwandplanken toegepast, voornamelijk Z- of U-profielen. De functie van de damwandplanken is voornamelijk het keren van de waterdruk. Deze belasting wordt vervolgens afgedragen naar de buispalen. Deze buispalen dragen naast de belasting van de damwanden ook het grootste deel van de korreldruk die door 'gewelfvorming' voornamelijk de buispalen belast. Zodoende worden de eigenschappen van de wand voornamelijk bepaald door het type buispalen (BAM Speciale Technieken, 2012). Aan de hand van deze analogie wordt de buispaal centraal gesteld als constructief element en wordt de damwandplank als constructief element verwaarloosd. Vervolgens is de vraag of er een combinatie met standaard damwandplanken en buispalen te maken is die de h.o.h.-maat van 2750mm volgt, deze wordt dan ook aangehouden zie Figuur 6-15: h.o.h.-maat veld 1 bestaande constructie). Hiervoor is de catalogus van ArcelorMittal gebruikt waarin standaard beschikbare profielen staan. Uit een verkennend onderzoek is gebleken dat er meerdere passende mogelijkheden bestaan om met de combiwand aan te sluiten op de bestaande maten. Tot slot is er één van de buispalen doorgerekend aan de hand van de Blum methode. Deze berekening is te vinden in Bijlage 5 - Berekening combiwand.



Figuur 6-16: voorbeeldtoepassing van een buispalen combiwand



Figuur 6-15: h.o.h.-maat veld 1 bestaande constructie

6.4.3. Gevolgen van een zandophoging voor de zetting

Gezien het feit dat de Wilhelminasluis is omgeven door enkele monumentale panden welke veelal op houten palen zijn gefundeerd, behoeft het geen uitleg dat de zetting nauwgezet moet worden meegenomen als een risico. Zand ophogingen vormen dan ook mogelijkwerijs een grote bron van zettingen en daarmee een hoog risico. Om in kaart te brengen hoe groot de kans op zettingen zijn, zijn de sonderingen van het projectgebied geanalyseerd en is een gemiddelde grondopbouw ontstaan (zie Figuur 6-17: Gemiddelde grondopbouw). Van de verschillende grondlagen kan aan de hand van een tabel behorende bij de zettingsformule van Koppejan de samendrukkingscoëfficiënt bepaald worden voor de directe en geleidelijke zettingsgevoeligheid. Hieruit blijkt dat de eerste lagen van de ondergrond een hoge gevoeligheid hebben voor zettingen. Dit vormt een risico voor voorkeursvariant C die gekenmerkt wordt door een grote zandophoging.



Figuur 6-17: Gemiddelde grondopbouw

6.4.4. Conclusie optimalisatie

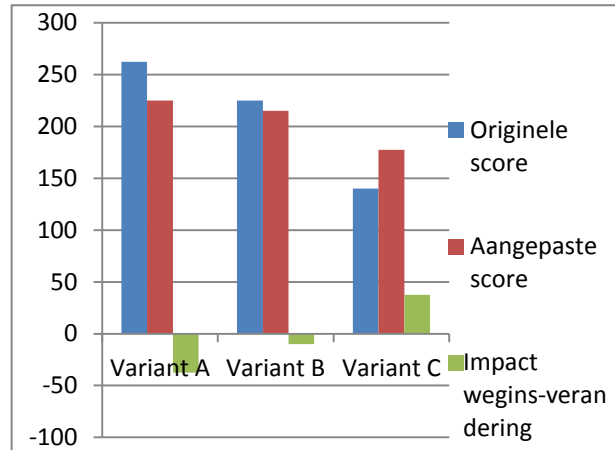
De gedetailleerdere blik op de voorkeursvarianten heeft wederom belangrijke punten omhoog gebracht. Het verdiepen in deze aandachtspunten levert cruciale informatie voor het goed uitvoeren van een beoordeling. Uit deze optimalisatie is gebleken dat de krachtsvering in het aan elkaar gestorte dek minder nadelige gevolgen heeft dan gedacht, evenals de impact van de aanvaarbelasting geringer is dan vooraf verondersteld. De kans opzetting is echter tot nu toe onderschat, terwijl dit wel degelijk gevolgen heeft voor de aanbrug en de omliggende panden.

6.5. Multicriteria analyse

Op basis van de kennis van het project is via een Multi criteria analyse (MCA) toegewerkt naar een betrouwbare en objectieve keuze voor de beste variant. Naar het verkrijgen van een volledig objectieve beoordeling zijn diverse onderzoeken en studies gedaan en nog blijft dit een lastig punt. Voor deze afweging is gebruik gemaakt van een gevoeligheidsanalyse. Hiermee wordt de waardevastheid van de uitkomst van de MCA gecontroleerd. Dit gebeurt door scores of wegingen te veranderen van de in eerste instantie aangenomen waarden om te zien wat het resultaat hiervan is op het eind resultaat.

De eerste stap is om de beoordelingscriteria vast te stellen, en daarna hieraan een score toe te kennen. In de variantenrapportage is deze waardering uitgebreid toegelicht en onderbouwd. Na het toekennen van de waardering is het belangrijk om hoofd- en bijzaak van elkaar te onderscheiden. Dit gebeurt door het toekennen van een wegingsfactor aan de genoemde beoordelingscriteria. Door de score te vermenigvuldigen met een wegingsfactor ontstaat een gewogen score. De laatste stap is het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse, waarin vooral de weging van de financiële impact van de varianten groter is gemaakt.

In de figuur hiernaast (Figuur 6-18: uitkomst van de MCA) zijn de uiteindelijke scores te zien. De blauwe balk is de eerste score van de MCA. De rode balken geven de scores na de gevoeligheidsanalyse. Het effect van deze gevoeligheidsanalyse is uitgedrukt in de groene balken.



Figuur 6-18: uitkomst van de MCA

Door deze gevoeligheidsanalyse is te zien dat variant C met bijna 40 punten een grote sprong heeft gemaakt in de waardering. Variant A is juist met bijna 40 punten gezakt in de beoordeling.

Hiermee is het verschil tussen variant A en C van ruim 120 punten gereduceerd tot bijna 50 punten. Ook is het verschil tussen de varianten A en B kleiner geworden. Het verschil was minder extreem in de begin situatie en de wijziging van de wegingsfactoren heeft meer impact gehad op variant A dan op variant B.

In de originele afweging geniet variant A de voorkeur door de hoogste score te halen. Na een relatief grote aanpassing in de wegingsfactoren is het verschil minder duidelijk geworden, maar alsnog komt variant A met de hoogste score het beste uit de bus. Deze analyse is eenduidig en helder in de score, voorkeursvariant A is de beste variant en wordt zodoende verder uitgewerkt op een gedetailleerder niveau.

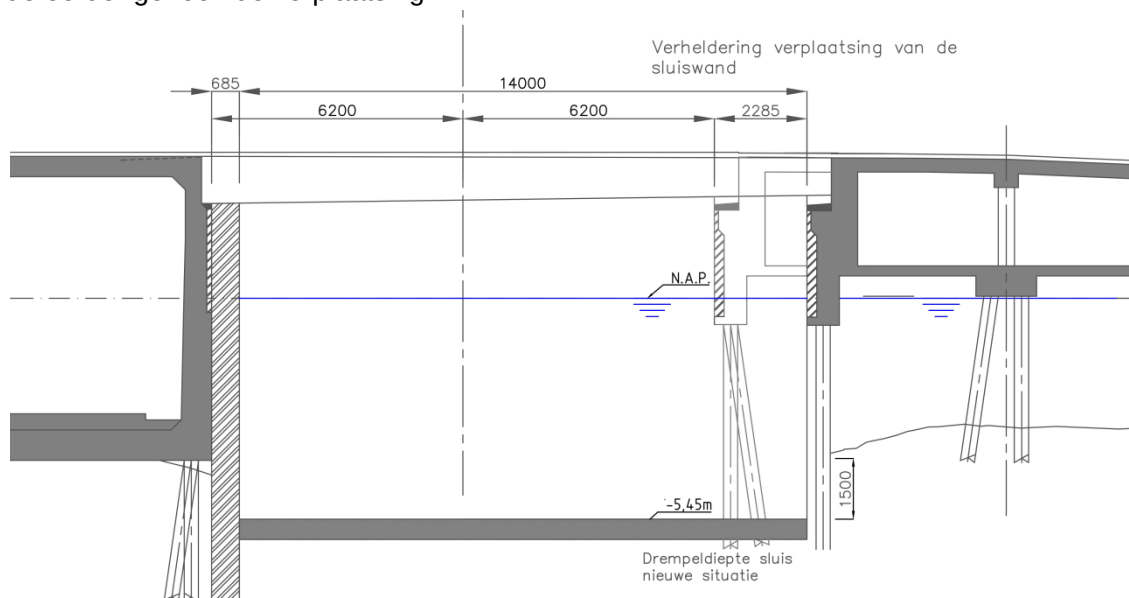
7. UITWERKING EINDVARIANT

Vanuit een kwantitatieve waardering gebleken dat voorkeursvariant de beste overall score kent. Zelfs na een (voor deze variant) ongunstige verandering van de wegingen bleef deze variant als beste uit de bus komen. Als eerste wordt kort en helder samengevat wat de kern is van deze variant. In Bijlage 6 - Doorsnede aanbrug nieuwe situatie is een technische tekening opgenomen waarin de nieuwe variant is uitgetekend. Van het deel dat niet gesloopt wordt moet door middel van een herberekening aangetoond worden of deze voldoet of niet. Met deze herberekening als doel wordt de bestaande aanbrug eerst terug gebracht tot een 2d situatie. Deze 2d situatie wordt vervolgens in Scia Engineer ingevoerd, een computer programma gebaseerd op de eindige-elementenmethode. Vervolgens worden de relevante belastingen bepaald, welke vervolgens in hetzelfde software pakket worden toegevoegd. Voor de toetsing van zowel de bestaande aanbrug als het nieuwe dek worden maatgevende resultaatklassen bepaald. Langs deze weg wordt de maximale belasting op de constructie vastgesteld.

Op basis van beschikbare vorm- en wapeningstekeningen wordt de capaciteit van de bestaande constructie bepaald. Tot slot worden de capaciteit vergeleken met de belasting op de constructie. Op basis van deze ondervindingen wordt door middel van verkenningberekeningen een advies en een eerste voorzet gegeven omtrent eventuele versterkingsmaatregelen.

7.1. Inhoud variant

Om na alle optimalisaties en aanpassingen te zorgen dat er een goed beeld is van de uiteindelijke variant wordt deze kort toegelicht: In de gekozen eindvariant wordt de sluiswand ruim twee meter land inwaarts geplaatst om de gevraagde doorvaartbreedte van 14,0m te halen (zie begeleidende Figuur 7-1: Verheldering van de verplaatsing van de sluiswand). De exacte verplaatsing van 2285mm komt tot stand door de verbreding van de sluis van 12,4m naar 14,0m gecombineerd met de toepassing van een wand voor de westelijke sluiswand die een dikte kent van 685mm (extern uitgangspunt). Dit vormt samen de eerder genoemde verplaatsing.



Figuur 7-1: Verheldering van de verplaatsing van de sluiswand

Om de hoge horizontale krachten als gevolg van de mogelijke waterstandsverschillen op te kunnen nemen wordt onder de sluiswand een buispalen combiwand uitgevoerd. Het voordeel van deze wand is dat deze tevens als fundering van de sluiswand kan fungeren. Omdat de combiwand in de hart-op-hart maat gebonden is aan de afmetingen van de toegepaste buispaal en damplanken is de haalbaarheid onderzocht. Uit dit verkennende onderzoek is gebleken dat het toepassen van een combiwand met de hart-op-hart maat van de huidige palen mogelijk is. De buispalen worden aangebracht tot in de draagkrachtige laag. Naast de nieuw te realiseren combiwand blijven de bestaande palen volledig in tact. Enkel van de palen onder de oude sluiswand vervalt de functie.

7.1.1. Schematisatie van de aanbrug

Met dit ontwerp blijft een groot deel van de constructie intact. Voor een correcte herwaardering is het zaak dat de werkelijke situatie goed wordt geschematiseerd. In dit geval is ervoor gekozen om de constructie terug te brengen tot een 2D doorsnede. Hiermee ontstaat een goed beeld van de situatie terwijl de invoer in Scia Engineer niet te complex is. Hiermee wordt voorkomen dat het eigen gevoel en het overzicht op de uitkomst verloren raakt. Daarnaast vergt het kennis en begrip van alles wat berekend wordt, om dit goed in het programma in te voeren. Echter zijn er hierdoor enkele onderdelen die niet getoetst kunnen worden, dit gaat over de balk die in breedte richting het dek ondersteund, de balk die de keldervloer ondersteund en krachtswerking in de ronde hoek van de constructie. Ook de krachten op de sluiswand vallen buiten de herberekening.

De genoemde doorsnede is representatief voor 1 meter breedte uit de werkelijke situatie. Het voordeel hiervan is dat bij het uitlezen van de constructie, de optredende momenten niet eerst gedeeld hoeven te worden door de representatieve breedte. Dit vraagt wel extra oplettendheid bij het invoeren van de constructie, kolommen of palen met een hart-op-hart maat moeten hiervoor wel omgerekend worden naar de eigenschappen behorende bij een 1 meter brede doorsnede. De schematisatie is in enkele hoofdstukken uitelkaar gehaald waarin per onderdeel de schematisatie behandeld wordt.

7.1.2. Het dek, de kolom en de vloer

Deze onderdelen vormen een doosconstructie waar de sluiswand, funderingspalen en de horizontale stempeling op aansluiten. Van deze constructie zijn de afmetingen relatief eenvoudig te bepalen aan de hand van contract tekeningen. Voor het dek geldt in alle velden dat deze 350mm dik is, voor de keldervloer is dit 250mm. Ook de wand van as 4 loopt door over de volle breedte. Ook hiervoor geldt de normale breedte van 500mm zoals in werkelijkheid. Het dek, de vloer en de wand zijn platen/schijven die over de fictieve 1 meter breedte van de constructie lopen. De kolom is vierkant uitgevoerd met zijden van 400mm en een hart-op-hart maat van 2,75m die gelijk is aan die van de funderingspalen. Omdat deze kolom niet over de volle breedte loopt moeten hiervan de eigenschappen gereduceerd worden in de doorsnede. Van de kolom is deze representatieve breedte gelijk aan de werkelijke breedte gedeeld door de h.o.h. maat:

$$\frac{b}{\text{h. o. h. maat}} = b_{\text{rep}} \rightarrow \frac{400}{2,75} = 145\text{mm}$$

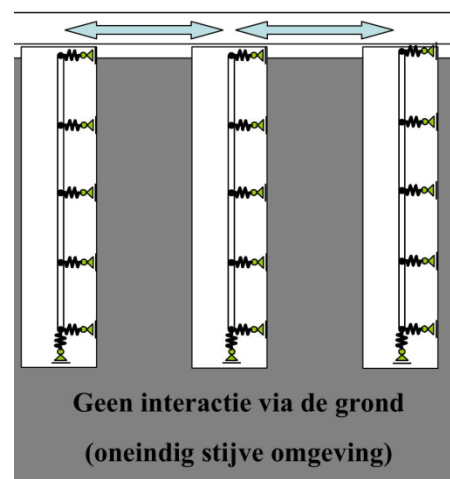
De wapening van het dek en de vloer lopen tussen de velden door. Dit maakt dat de situatie gezien wordt als een ligger op 4 en op 3 steunpunten voor resp. het dek en de vloer. De verbindingen van de kolom naar zowel het dek als de vloer werkt als een momentvaste verbinding (zie Figuur 7-2: Beeld van de breedte van de constructie verschillend voor kolommen en vloeren).



Figuur 7-2: Beeld van de breedte van de constructie verschillend voor kolommen en vloeren

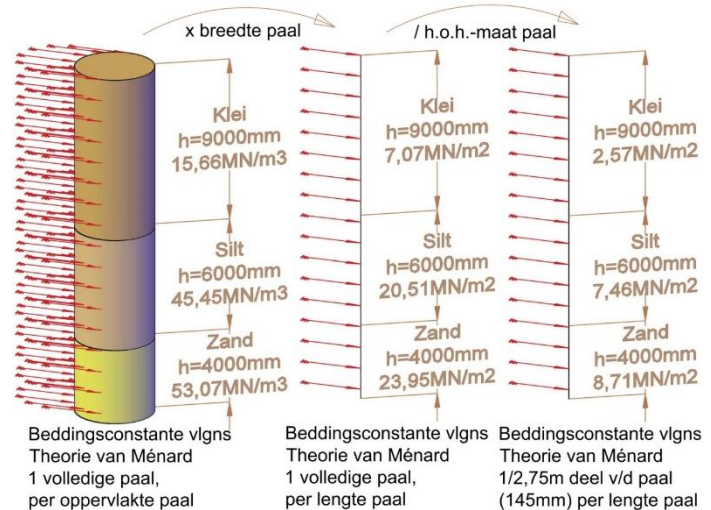
7.1.3. Funderingspalen

Zowel de bestaande aanbrug als de nieuwe sluiswand wordt gefundeerd op palen. De aanbrug blijft staan op de bestaande betonnen palen terwijl de sluiswand gefundeerd wordt op buispalen. Onder de druk die de constructie uitoefent op deze fundering ontstaan er vervormingen. De paal zelf kent een elastische verkorting, en ook de grond rondom de palen vervormt onder deze belasting. Een funderingspaal wordt gezien als een ligger die geveerd ondersteund is. De eigenschappen van het grondpakket bepalen deze 'veerwaardes'.



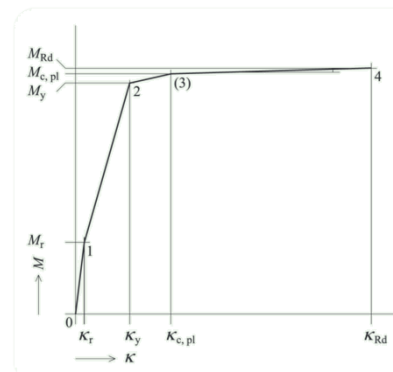
Figuur 7-3: Schematisatie van een funderingspaal als een verend ondersteunde kolom

Voor de horizontale eigenschappen van de grond wordt de methode van Ménard gebruikt. Hiermee wordt de reactie van de grond op de funderingspaal gezien als een veer met een constante (in het geval van de methode van Ménard, de beddingsconstante k_h). Deze methode is gebaseerd op terreinproeven die zijn uitgevoerd met behulp van een pressiometer (Hoefsloot, 2008). Aan de hand van een empirische formule wordt vervolgens de beddingsconstante benaderd. De uitkomsten zijn afhankelijk van de Elasticiteitsmodulus volgens Ménard, de paaldiameter en andere grond specifieke waarden. De waarden die volgens de formule verkregen worden zijn gebaseerd op de weerstand van de grond tegen de oppervlakte van een paal. Om deze waarde in Scia Engineer in te voeren moet dit omgerekend worden naar de vering van een lijn (waarmee de betonpaal geschematiseerd wordt). Tot slot moet de waarde gedeeld worden over de h.o.h. maat. Deze stappen zijn gevolgd voor de standaard betonpaal met een $D_{eq} = 450\text{mm}$ en een h.o.h. maat van $2,75\text{m}$ (zie Figuur 7-4: Visualisatie beddingsconstante van equivalente paaldiameter met grondlagen)



Figuur 7-4: Visualisatie beddingsconstante van equivalente paaldiameter met grondlagen

Voor de verticale waarde k_z is de systematiek ingewikkelder. Hiervoor geldt dat de reactie van de grond een verloop heeft dat afhankelijk is van de belasting op de grond. Het verloop hiervan kan vergeleken worden met het M- κ -diagram van beton (zie Figuur 7-5: M- κ -diagram van beton (principe)). Bij een kleine belasting is de respons van de grond stijf, terwijl bij een zwaardere belasting de respons van de grond lager ligt. Hiermee zou bij iedere verandering van de optredende belasting een iteratie slag uitgevoerd moeten worden. Omdat dit veel tijd vergt en een beperkte meerwaarde levert, is gekozen om gebruik te maken van een waarde vanuit een externe berekening. Deze waarde komt uit een berekening die is gemaakt in kader van ditzelfde project over dezelfde projectlocatie. Daarmee heeft deze waarde een hoge nauwkeurigheid zonder dat het de tijdsbelasting geeft van het iteratieve proces.



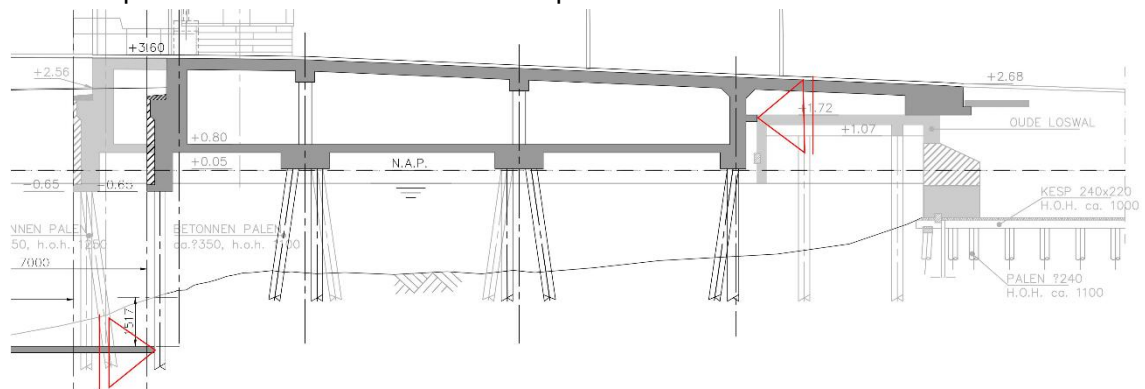
Figuur 7-5: M- κ -diagram van beton (principe)

7.1.4. Sluiswand

De nieuwe sluiswand is uitgevoerd met de afmetingen van de huidige sluiswand. De excentriciteit vanuit het dek en het val is eveneens gelijk genomen aan de huidige situatie. De dikte van de sluiswand varieert over de hoogte, hierbij zijn de verschillende afmetingen van de wand als aparte doorsnedes genomen in een doorlopende staaf. Met het overnemen van de afmetingen van de sluiswand, blijft de krachtsafdracht vanuit het val en het dek gelijk. Hiermee blijft ook de excentriciteit waarmee deze krachten aangrijpen hetzelfde.

7.1.5. Horizontale stempeling

Voor het horizontale evenwicht zijn er drie onderdelen waar de constructie haar stabiliteit aan ontleent. Dit is ten eerste de bestaande loswal en ten tweede de onderwaterbetonvloer (OWB-vloer) van de sluiskolk (zie Figuur 7-6: Horizontale stabiliteit van de aanbrug constructie). Tot slot vormen de funderingspalen ook een horizontale kracht. Dit gebeurt wanneer als gevolg van een horizontale kracht, een verplaatsing optreedt. In zo'n situatie wordt de grond ingedrukt, welke op haar beurt een tegenkracht levert. Samen met de eerder benoemde punten zorgt dit voor een horizontaal evenwicht. Zowel het punt bij de bestaande loswal als bij de nieuwe onderwaterbetonvloer kan alleen druk opnemen. De aanbrug wordt namelijk niet aan de loswal of OWB-vloer bevestigd. Hierdoor treedt de situatie op waarin telkens een van de beide punten actief is.



Figuur 7-6: Horizontale stabiliteit van de aanbrug constructie

7.2. Relevante belastingen

Nu de schematisatie bekend is, vormt het bepalen van de belastingen de volgende stap. Alle belastingen zijn bepaald met de RBK, ROK, Eurocode anders is dit expliciet aangegeven. De Eurocode 1, ook wel genoemd de NEN-EN 1991 is de tweede van een reeks normen die op Europees vlak richtlijnen geven voor het constructief ontwerp. De Eurocode 1 is in vier stukken te verdelen. Eurocode 1-1 gaat in 7 subhoofdstukken in op algemene belastingen, 1-2 gaat over verkeersbelastingen. Deel 3 en 4 gaan resp. in op belastingen veroorzaakt door kranen en machines en op silo's en opslagtanks. Van deze onderdelen zullen de eerste twee delen kort benoemd worden. Voor meer toelichting van aannames of onderbouwingen wordt verwezen naar de belastingsrapportage die als bijlage is toegevoegd (zie Bijlage 8 - Herberekening aanbrug constructie).

Aan de algemene belastingen worden in het eerste deel van de Eurocode 7 subhoofdstukken aan geweid. Hierin worden de meest voorkomende belastingen besproken die over het algemeen bij alle constructies (kunnen) optreden. De hoofdstukken zijn als volgt ingedeeld:

- Eurocode 1-1-1: Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
- Eurocode 1-1-2: Belasting bij brand
- Eurocode 1-1-3: Sneeuwbelasting
- Eurocode 1-1-4: Windbelastingen
- Eurocode 1-1-5: Thermische belastingen
- Eurocode 1-1-6: Belastingen tijdens uitvoering
- Eurocode 1-1-7: Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen

7.2.1. Deel 1-1: Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen

Als eerste in de normen wordt gesproken over de karakteristieke volumieke gewichten, het eigen gewicht en opgelegde belastingen. De onderdelen die hier bepaald worden zijn het eigengewicht van het val en die van de aanbrug. Dit zijn de belangrijke belastingen die hier beschouwd worden.

Eigen gewicht Wilhelminabrug

Het eigen gewicht van de Wilhelmina bestaat uit het stalen val van de brug met daarop een asfalt laag. Het principe van een basculebrug is dat de brug nagenoeg in evenwicht is met het contragewicht. Daarnaast is over het nieuwe (verlengde) val geen informatie beschikbaar, daarom is het eigen gewicht van de Wilhelminabrug verwaarloosd.

Eigen gewicht Aanbrug

Van de aanbrug bestaat het grootste deel van het eigen gewicht uit het gewicht van het beton. Hiervoor wordt een gangbaar soortelijk gewicht aangehouden van 26 kN/m^3 . Echter hoeft het eigengewicht van de constructie niet volledig uitgerekend te worden, aangezien het software pakket Scia Engineer dit volledig automatisch doet. Wel zal ter controle van het model met het eerder genoemde soortelijk gewicht het model gecontroleerd worden. Naast het eigen gewicht wordt er een rustende belasting ingevoerd op de constructie de belasting van o.a. het asfalt en de wegbestrating meeneemt. Het soortelijke gewicht van normaal asfalt wordt aangehouden, 25 kN/m^3 . Bij het bekijken van 1 meter breedte, en het rekening houden van een maximale hoogte van 200mm komt dit neer op een lijn belasting van 5 kN/m' .

7.2.2. Deel 1-2: Belasting bij brand

De belasting van brand op de aanbrug is niet meegenomen. Dit komt voornamelijk omdat onder de aanbrug geen activiteiten worden gehouden. Het is een lege ruimte waar normaal geen toegang toe is.

7.2.3. Deel 1-3: Sneeuwbelasting

Net als de belasting bij brand, is ook deze belasting te verwaarlozen. In de belastingsrapportage is een verkennende berekening gemaakt waarbij bleek dat deze belasting niet relevante is. Dit komt voornamelijk gezien het feit dat bij het optreden van de maximale sneeuwbelasting het verkeer nauwelijks nog doorgang vindt. Een combinatie van een maximale verkeers- en sneeuwbelasting is dus niet aan de orde.

7.2.4. Deel 1-4: Windbelasting

De windbelasting voor de aanbrug wordt buiten beschouwing gelaten. De aanbrug is aan 3 van de 4 zijden omsloten door constructies en de zijde waar de wind wel vat op heeft is onderhevig aan waterstandsverschillen en eventuele aanvaarbelastingen. Dit maakt dat bij deze belastingen de windbelasting in het niet valt en verwaarloosd kan worden

7.2.5. Deel 1-5: Thermische belasting

De Thermische belasting neemt het effect mee dat temperatuurverschillen op een constructie hebben. Als de zon schijnt wordt de bovenkant van de constructie verwarmt en gaat als gevolg daarvan uitzetten. De onderzijde van de constructie wordt minder snel warm en zet daardoor minder snel uit, hierdoor kunnen spanningen ontstaan in de constructie. Deze thermische belasting kan verwaarloosd worden, dit heeft te maken met de manier waarop de constructie getoetst wordt.

7.2.6. Deel 1-6: Belasting tijdens uitvoering

Voor het bepalen van de belasting tijdens de uitvoering is een gedetailleerder beeld vereist van hoe de uitvoering eruit gaat zien. Onderdelen als faseringen en uitvoeringsmethoden zijn hiervoor van belang. Voor dit onderwerp gaat dit echter te ver, en worden deze belastingen niet meegenomen.

7.2.7. Deel 1-7: Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen

Van de beschreven buitengewone belastingen in deze paragraaf zijn de stootbelastingen bij dit project van toepassing. In geval van geopende en gesloten brug is er een risico op aanvaring. Als de Wilhelminabrug gesloten is kan een frontale botsing optreden met het val van de brug. Als de brug open is en het schip de sluis in vaart is het mogelijk dat deze de sluiswand ter plaatse van de aanbrug raakt. In de belastingsrapportage is voor beide scenario's de belasting bepaald aan de hand van de ROK. De belasting op de sluiswand als gevolg van een frontale aanvaring is niet op te nemen in het gehanteerde 2D model. Derhalve is hier alleen het scenario van de aanvaring van de sluiswand onder een hoek toegelicht.

De ROK beschrijft een situatie waarbij botsing tegen een star obstakel optreedt. Uitgangspunt hier is dat de volledige energie door het obstakel (in dit geval de sluiswand) wordt opgenomen. Als input gegevens is gebruik gemaakt van de kengetallen beschreven voor de CEMT-klasse, aangevuld met relevante eisen uit het programma van eisen. Hierin zijn aspecten als vaarsnelheid, aanvaarhoek en scheepscategorie gegeven.

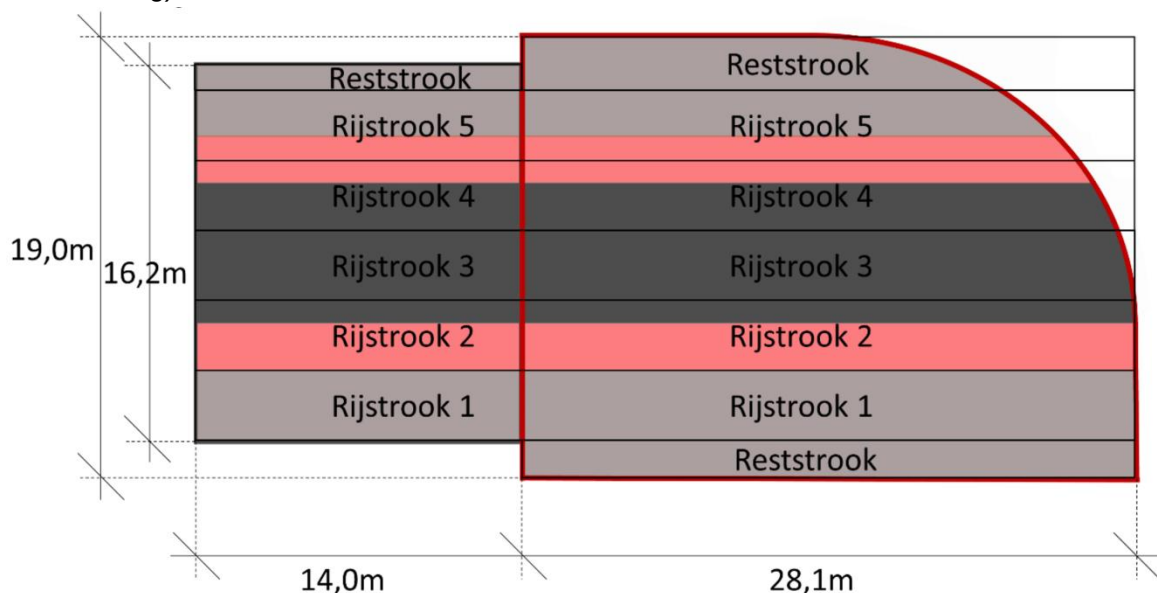
Aan de hand van de bovenstaande gegevens is een botskracht bepaald bij een frontale aanvaring. Bij aanvaring onder een hoek wordt er een reductie gegeven op de in rekening te brengen waarde. Doordat bij het binnenvaren van de sluis, de geleidewerken en het nieuwe sluishoofd eerste gepasseerd worden voordat de sluiswand bereikt wordt is de hoek die optreedt niet groot. Door deze reductie komt de uiteindelijk in rekening te brengen waarde uit op 600kN.

7.2.8. Deel 2-1: Verkeersbelasting op bruggen

De Eurocode geeft twee stappen voor het bepalen met de verkeersbelasting. Als eerste stap wordt bepaald wat de oppervlakte is waarop de verkeersbelasting gerekend wordt. Deze oppervlakte wordt vervolgens ingedeeld in theoretische rijstroken. De tweede stap is het bepalen van de belasting die op deze oppervlakte wordt gerekend. Dit geschied aan de hand van 4 belastingsmodellen waarin de verschillende belastingsscenario's worden afgedekt.

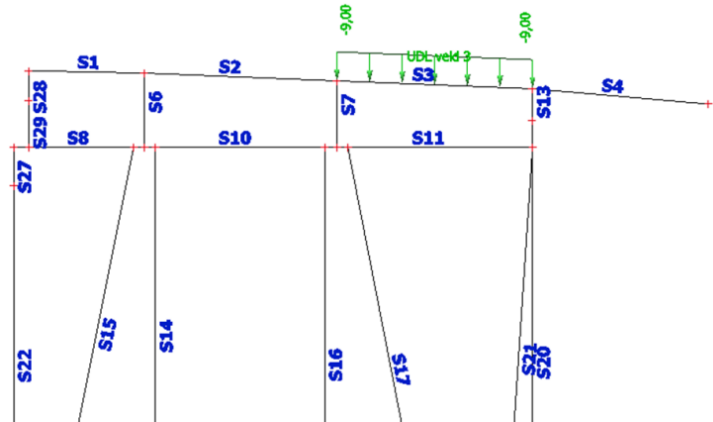
Belastingsmodel 1

Belastingsmodel 1 dekt de gebruikelijke verkeersbelasting af. Deze dekt de normale belasting op de hele constructie af. Dit gebeurt aan de hand van een gelijkmatig verdeelde belasting (GVB of ookwel de UDL, Uniformly Discharged Load) die op de rijstroken werkt. Naast de GVB wordt er ook een tandemstelsel in rekening gebracht welke in de lengte richting van de rijstrook op verschillende plekken in rekening gebracht moet worden. Voor de rijstrook indeling vormt Figuur 7-7: Voorbeeld rijstrookindeling voor Wilhelminabrug en aanbrug, een mogelijke rijstrook indeling. Op deze rijstrook moet in verschillende volgorde een patroon afgewerkt worden waarbij 1 rijstrook een zware vrachtwagenstrook is, terwijl rijstrook 2 en 3 minder zware stroken zijn. Alle theoretische rijstroken moet een keer de vrachtwagenstrook hebben (zie Figuur 7-7: Voorbeeld rijstrookindeling voor Wilhelminabrug en aanbrug).



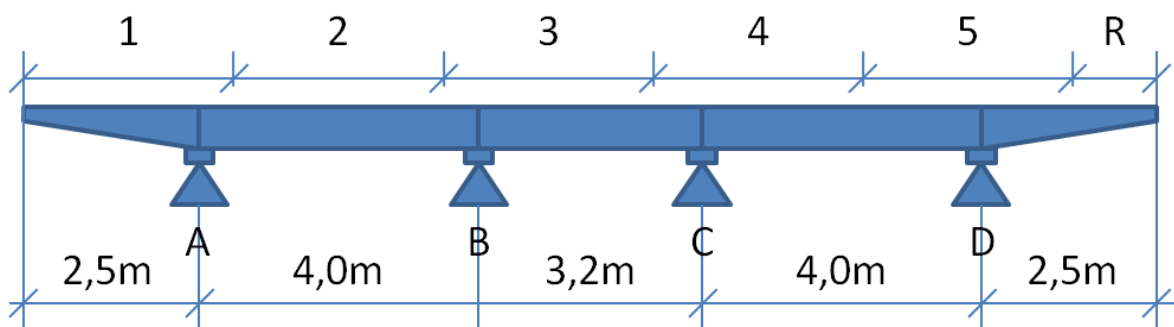
Figuur 7-7: Voorbeeld rijstrookindeling voor Wilhelminabrug en aanbrug

Omdat in dit geval de aanbrug als een 2D raamwerk wordt gezien gaat deze theorie niet op. Door voor de verkeersbelasting op de 1 meter brede doorsnede de karakteristieke vrachtwagen belasting mee te nemen wordt de zwaarste belasting meegenomen. Dit is ongunstig, omdat bij een plaat spreiding over hele plaat plaats vind. Omdat op de naast gelegen velden ook belastingen op treden van de tweede en de derde rijstrook is echter niet te bepalen hoeveel deze spreiding daadwerkelijk inhoud. Daarom is deze spreiding verwaarloosd. Over deze doorsnede is het tandemstelsel op diverse plekken meegerekend. Voor de exacte plaatsing wordt verwezen naar Bijlage 7 - Scia rapportage, hoofdstuk 11. Belastingsgevallen.



Figuur 7-8: Belastingsgeval 5: de GVB toegepast op veld 3 van de aanbrug

De belasting die uit het val optreedt is vrijwel op dezelfde manier bepaald als voor de aanbrug. Belastingswaarden voor de UDL en de TS zijn gelijk, maar anders toegepast. Hiervoor is gekozen omdat voor de aanbrug alleen de reactiekracht in op de sluiswand bepalend is. Daarom zijn er twee scenario's bekeken, 1 in het geval van alleen de gelijkmatig verdeelde belasting en 1 geval met alleen het tandemstelsel op de brug. Omdat de aanbrug op 4 oplegpunten op de sluiswand rust, moet voor de reactiekracht in het steunpunt bepaald worden welke belastingen in dit punt verzamelen. Dit is per steunpunt bepaald, waarna een reactiekracht is vastgesteld voor het steunpunt. Zie voor een schematische weergave dan de brug met oplegpunten, Figuur 7-9: Schematische weergave van een dwarsdoorsnede van de aanbrug. Een verduidelijking van hoe de volledige verkeersbelasting is bepaald en onderbouwd is te vinden in Bijlage 3 - Belastingsverslag, hoofdstuk 4, verkeersbelasting op bruggen

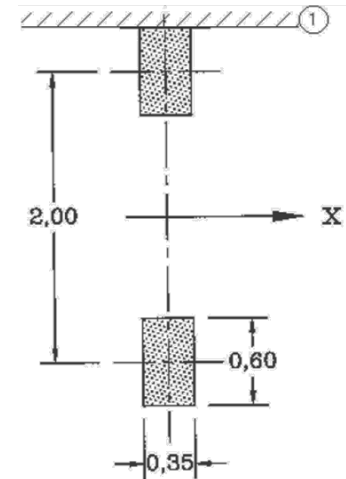


Figuur 7-9: Schematische weergave van een dwarsdoorsnede van de aanbrug

Belastingsmodel 2

Dit belastingsmodel neemt de invloed van een zeer plaatselijke belasting mee. Deze belasting moet worden toegepast op iedere willekeurige positie van de rijweg. Omdat dit belastingsgeval de invloed van een zeer plaatselijke belasting mee neemt is de oppervlakte waarop deze werkt belangrijk. Deze contactoppervlakte is dan ook duidelijk vastgesteld voor dit belastingsgeval (zie Figuur 7-10: Contactoppervlak bij Belastingsgeval 2).

Het doel van dit belastingsmodel is het meenemen van lokale effecten van een as, in dit belastingsmodel hoeft dan ook geen gelijkmatig verdeelde belasting mee genomen te worden. Omdat hiermee lokaal bezwijken wordt getoetst is deze belasting voor de Wilhelminabrug niet relevant. Voor de aanbrug is de optredende belasting als apart belastingsgeval toegepast ingevoerd.



Verklaring

X Lengterichting van de brug
1 Stootrand

Figuur 7-10:
Contactoppervlak bij
Belastingsgeval 2

Belastingsmodel 3

Het doel van dit belastingsgeval is het meenemen van bijzondere voertuigen waarvan de samenstellingen van aslasten in het contract zijn vastgesteld. Dit is van toepassing voor bijvoorbeeld industriële transporten. In de Nationale Bijlage van de Eurocode staat dat dit belastingsmodel alleen mag worden toegepast als dit in de projectspecificatie van het afzonderlijke project staat voorgeschreven. Aangezien dit niet het geval is wordt dit belastingsmodel in het geheel niet meegenomen.

Belastingsmodel 4

Het laatste belastingsgeval dekt de belasting af van een mensenmassa op de brug. Dit kan gebeuren in het geval van een calamiteit of evacuatie naar de andere zijde van de brug. Voor deze mensenmassa is een gelijkmatig verdeelde belasting vastgesteld. Bij het uitwerken van deze belasting voor de Wilhelminabrug is vastgesteld dat deze belasting wegvalt bij de belasting van Belastingsmodel 1. De gelijkmatig verdeelde belasting van de vrachtwagenstrook is 9 kN/m^2 terwijl voor de mensenmassa een bovengrens is gegeven van 5 kN/m^2 . Daarnaast wordt op de vrachtwagenstrook naast deze verdeelde belasting, ook een tandemstelsel meegenomen. Het effect wat dit belastingsmodel afdekt, is voor dit project dus al gedekt door belastingsmodel 1. Vandaar is ook dit belastingsmodel achterwege gelaten.

Rem- en aanzetkrachten

Om de horizontale krachten mee te nemen die het verkeer op de brug uitoefent worden deze naast de belastingsmodellen apart beschreven in de 'Eurocode 2-1, Rem- en versnellingskrachten'. De horizontale belasting is beschreven als een factor van de verticale belastingen die in belastingsmodel 1 zijn vastgesteld.

7.3. Combinatie van de belastingen

De hierboven genoemde belastingen zijn karakteristieke belastingen voor verschillende scenario's. De Nationale Bijlage behorende bij de Eurocode 1 geeft hierin duidelijke richtlijnen omtrent de belastingscombinaties. Aan de hand van 'Tabel NB.4 – A1.2(B) – Rekenwaarde van belastingen (groep B)' zijn de rekenwaarden bepaald voor de karakteristieke waarden. Vervolgens is met behulp van 'Tabel NB.16 - ψ -waarden voor belastingscombinaties STR – wegverkeersbruggen en bruggen voor langzaam verkeer' bepaald hoe de verschillende belastingscombinaties eruit zien. In de rapportage uit Scia Engineer zijn de exacte belastingsgevallen, lastgroepen en de toegepaste coëfficiënten te vinden (zie Bijlage 7 - Scia rapportage). Niet alle optredende belastingen zijn opgenomen in de Eurocode, naar eigen inzicht zijn de overige belastingen geschaard onder de benoemde. Zodanig zijn alsnog alle belastingen opgenomen in de combinaties. Uit de optredende belastingen kwam dat in de velden 2 en 3 een maximaal veldmoment ontstaat van 300kNm en in veld 4 een moment van 370kNm.

7.4. Toetsingscriteria vaststellen

In de RBK geeft Rijkswaterstaat voor verschillende veiligheidsniveaus. Deze niveaus lopen uiteen van Nieuwbouw als hoogste klasse, naar Afkeur als laagste klasse. In het geval van de aanbrug valt de constructie onder gebruik. Een specifiek voorbeeld die ter verduidelijking in de RBK is opgenomen stelt: *“Bij een verbreding valt het nieuwe deel (de verbreding) onder verbouw. Het bestaande deel dient te worden beoordeeld op het niveau gebruik”*.

Voor nieuwe kunstwerken zijn ten aanzien van de bruikbaarheid en duurzaamheid eisen opgenomen in de materiaalgebonden delen van de Eurocodes. Voor bestaande kunstwerken zijn deze eisen echter vaak niet haalbaar. Daarnaast heeft ook de conditie van het kunstwerk invloed op de resterende levensduur. Bij de beoordeling van de constructieve veiligheid en de bruikbaarheid hoeft niet aan deze ontwerpeisen voldaan te worden.

Voor wat betreft de methode van beoordeling zijn de richtlijnen wederom duidelijk: *“Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid dient gebruik te worden gemaakt van de methode van partiële factoren. Hierbij worden de grenstoestanden geverifieerd met een unity check (uc). De uc is de verhouding tussen de rekenwaarde van het belastingeffect (E_d) en de rekenwaarde van de weerstand (R_d). Een grenstoestand voldoet bij $uc = E_d/R_d \leq 1,00$ ”*. Met de rekenwaarde van het belastingeffect bekend, is de volgende stap het bepalen van de rekenwaarde van de weerstand.

7.5. Rekenwaarde van de weerstand

Vanuit deze combinaties bepaald Scia Engineer de optredende momenten- dwarskracht- en normaalkrachtenlijn. Om nu een beeld te vormen van de impact van deze belastingen, is aan de hand van de Eurocode de capaciteit bepaald van de constructie. Deze herberekening is volledig uitgewerkt in Bijlage x Herberekening aanbrug constructie. Als eerste stap is aan de hand van de wapeningstekeningen van de bestaande aanbrug het type wapening vastgesteld. In de aanbrug is een type QR24 toegepast wat voornamelijk tussen 1950 en 1965 is toegepast. Voornamelijk werd het staal glad toegepast wat op de wapeningstekeningen te zien is door het toepassen van haakvormige staafeinden. Op de wapeningstekeningen is dit haakvormig einde overal te zien. In vergelijking met de wapeningssoort die nu veel wordt toegepast heeft de betonstaalsoort een lage rekenwaarde voor de trekspanning. Van QR24 is de rekenwaarde $f_{yd} = 209 \text{ N/mm}^2$ terwijl

het nu gangbare B500 een vloeispanning kent van $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$. Dit betekent dat de staalsoort QR24 minder dan de helft van de vloeispanning aan kan vergeleken met B500.

Naast de wapening is ook het beton nader bekeken. Het is namelijk een bekend fenomeen dat beton in zijn levensduur voortdurend in capaciteit vergroot. De karakteristieke aanduiding van bijvoorbeeld een C20/25 mengsel heeft betrekking op de druksterkte van het beton (zie Tabel 7-1: Herkomst sterkteklasse indeling). Vastgesteld is dat na 28 dagen uitharding het beton 80% van de capaciteit heeft. Hierna stopt dit proces echter niet, het chemische proces dat het beton heeft gevormd bij het storten, blijft doorgaan.

Sterkte-klasse	Karakteristieke cilinderdruksterkte MPa	Karakteristieke kubusdruksterkte MPa
C20/25	20	25
C28/35	28	35
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C53/65	53	65
C55/67	55	67
C60/75	60	75
...		

Tabel 7-1: Herkomst sterkteklasse indeling

De snelheid van dit proces neemt in de loop der jaren af, maar het proces blijft aanwezig. Daarom is in de contractfase bepaald wat de rekenwaardes zijn voor het beton. Uit proeven is gebleken dat als rekenwaarde van het beton de eigenschappen gebruikt mogen worden van een C55/67 mengsel.

Nu de eigenschappen van de aanbrug bekend zijn, kan bepaald worden wat de weerstand van de constructie is tegen vervormen. Van het dek van de aanbrug wordt het opneembare inwendige moment bepaald voor een geval van zuivere buiging. Hiermee ontstaat een beeld van de capaciteit van het dek. Omdat de toegepaste wapening en de doorsnede afmetingen gelijk zijn voor alle dekken, hebben alle dekken een gelijke momentcapaciteit, welke neerkomt op 165kNm. De eerder gevonden optredende momenten zijn bijna 2x zo groot als de capaciteit van het dek.

7.6. Toetsing en versterkingsmogelijkheden

Uit de verkennende berekening blijkt dat de momentcapaciteit flink wordt overschreden. Voor veld 2 en 3 komt er een unity check van $\frac{300}{165} = 1,8$ uit. Voor veld 4 ligt deze voor een optredend uitwendig rekenmoment op $\frac{370}{165} = 2,2$. Als versterking van het dek voor een hogere momentcapaciteit heeft Sika een productlijn van koolstofplakwapening. Omdat deze wapening niet van staal is, vormt de dekking geen rol. Een ander voordeel van deze koolstofwapening is dat deze een hoge trekspanning kan opnemen.

Zowel in de CUR-Aanbeveling 91 voor koolstofplakwapening als in de productbladen van een producent van de wapening staan veel eisen en voorwaarden waaraan voldaan moet worden. Zo zijn er eisen gesteld aan de opslag condities en de transport omstandigheden. Ook zijn er eisen aan de gebruikte lijm voor de verlijming van de koolstofwapening en aan de



oppervlakte waarop deze wapening wordt aangebracht. Daarnaast is het gedrag van

Figuur 7-11: Aanbrengen van koolstofplakwapening in een praktijksituatie

koolstof wapening niet te vergelijken met dat van betonstaal. Zodra de maximale capaciteit van betonstaal bereikt wordt kan het materiaal een grote vervorming aan voordat deze bezwijkt. Deze vervorming resulteert in een grote doorbuiging van een vloer of ligger, wat een visuele waarschuwing is voor bezwijken. De koolstof wapening kent deze grote vervorming voor bezwijken niet, en bezwijkt met een brose breuk. Dit is één van de voorbeelden waarom het doorrekenen vaak extern geschiedt.

Om toch een beeld te vormen is een verkennende berekening gedaan waarmee louter een beeld gevormd wordt van de hoeveelheid toe te passen wapening. Als uitgangspunt is ervoor gekozen om de gehele belasting op de versterkte doorsnede te rekenen waarmee een te gunstige situatie bekeken wordt, de uitkomsten zijn hierdoor ondergrenzen. Uit de verkennende berekening is gebleken dat bij het toepassen van een strip met een dwarsdoorsnede van 60mm^2 met een hart-op-hart maat van 200 (voor veld 4) en 300mm (voor veld 2 en 3) op basis van de uitgangspunten, de unity check onder de 1,0 komt.

7.7. Conclusie

Door middel van de herberekening is een beeld ontstaan van de staat van de aanbrug. Duidelijk is geworden dat op het gebied van moment capaciteit van het bestaande dek versterkingen nodig zijn. Om van de aanbrug een compleet beeld te geven moeten de dekken en de vloeren in beide richtingen getoetst worden. Ook moeten de dek- en vloerbalken gecontroleerd worden. Daarnaast is een toetsing op de dwarskracht capaciteit voor de eerder genoemde onderdelen ook belangrijk. Echter is het doel bereikt; een indicatie van de constructieve veiligheid is gegeven. Uit deze berekening blijkt dat de aanbrug gedetailleerder nagerekend moet worden alvorens de versterkmaatregelen opgesteld kunnen worden.

8. CONCLUSIE

Zoals de variantenstudie heeft uitgewezen heeft de variant met de minste impact op de aanbrug de voorkeur. Wegens diverse redenen als risico's op zettingen en uitvoerbaarheid sluiten de andere opgestelde varianten minder goed aan op de situatie in en rond de Wilhelminasluis. Bij de gekozen variant wordt een nieuwe sluiswand op een buispalen combiwand gefundeerd, hiermee kunnen zowel de horizontale als de verticale krachten opgenomen worden. Het dek en de keldervloer worden vervolgens constructief aan de sluiswand bevestigd zodat hier een volledige samenwerking ontstaat.

Vervolgens is door middel van een rekenmodel voor de aanbrug bepaald wat de belastingen zijn die optreden. Ook is aan de hand van de bestaande gegevens bepaald wat de weerstand is van de constructie tegen vervormen. Door deze herberekening is duidelijk geworden dat de aanbrug niet voldoet, met als gevolg dat er versterkingsmaatregelen nodig zijn. Een mogelijke versterking bestaat uit het toepassen van koolstof plakwapening. Deze wordt onder de constructie aangebracht en geeft hierdoor een versterking. Voor een volledig pakket van versterkingsmaatregelen zijn aanvullende toetsingen nodig, en is een specialistische kennis van bijvoorbeeld het gedrag van de koolstof wapening vereist.

9. BIBLIOGRAFIE

- BAM Speciale Technieken. (2012). *Combiwanden*. Amsterdam.
- Google Earth. (2015). *Google Earth*. Opgeroepen op februari 5, 2015, van Google Earth.
- Hoefsloot, F. (2008). *Door grond horizontaal belaste palen: Bestaande ontwerpmodellen*. Delft Cluster.
- Meijeren, T. G. (2010). *Vlootontwikkeling binnenvaart*. TNO Mobiliteit en Logistiek, Delft.
- Provincie Noord-Holland. (2011). *Informatieblad Vaart in de Zaan!* Haarlem: Provincie Noord-Holland.
- Rail Cargo information Netherlands. (2012). *Spoor in cijfers 2012*. Den Haag: De Swart.
- Stuurgroep 'Vaart in de Zaan'. *Vaart in de Zaan!*

10. FIGUREN EN TABELLENLIJST

10.1. Figurenlijst

Figuur 2-1: Tonnages per modaliteit in Nederland in 2011 (Rail Cargo information Netherlands, 2012)	3
Figuur 2-2: Situatie van sluiscomplex in Zaandam (Google Earth, 2015)	4
Figuur 2-3: Bovenaanzicht van de Wilhelminasluis in de oude situatie	5
Figuur 3-1: Bovenaanzicht van zuidoost zijde van het sluishoofd	6
Figuur 3-2: Lengtedoorsnede van de aanbrugconstructie	6
Figuur 6-1: schets van variant 1, met doekvoeg	9
Figuur 6-2: schets van variant 2, met extra steunpunt in veld 2	10
Figuur 6-3: schets van variant 3 met zandophoging	12
Figuur 6-4: detailschets van het landhoofd van variant 4	13
Figuur 6-5: schets van variant 5 met een zandophoging en een extra steunpunt	13
Figuur 6-6: schets van variant 6 met een L-wand een trekanker	14
Figuur 6-7: schets van variant 7 met een combiwand en trekankers	15
Figuur 6-8: overzicht schets variant 8, landhoofd met trekanker	16
Figuur 6-9: Voorbeeld milieuklassen in een woongebouw	17
Figuur 6-10: Situatie van de bestaande loswal onder de aanbrug	17
Figuur 6-11: Impressie van het 3D palenplan	20
Figuur 6-12; situatie voor uitharden	21
Figuur 6-13; situatie na uitharden, bij onverhinderde krimp	21
Figuur 6-14; vervorming na uitharden bij verhinderde krimp	21
Figuur 6-15: h.o.h.-maat veld 1 bestaande constructie	22
Figuur 6-16: voorbeeldtoepassing van een buispalen combiwand	22
Figuur 6-17: Gemiddelde grondopbouw	23
Figuur 6-18: uitkomst van de MCA	24
Figuur 7-1: Verheldering van de verplaatsing van de sluiswand	25
Figuur 7-2: Beeld van de breedte van de constructie verschillend voor kolommen en vloeren	27
Figuur 7-3: Schematisatie van een funderingspaal als een verend ondersteunde kolom	27
Figuur 7-4: Visualisatie beddingsconstante van equivalente paaldiameter met grondlagen	28
Figuur 7-5: M- κ -diagram van beton (principe)	28
Figuur 7-6: Horizontale stabiliteit van de aanbrug constructie	29
Figuur 7-7: Voorbeeld rijstrookindeling voor Wilhelminabrug en aanbrug	32
Figuur 7-8: Belastingsgeval 5: de GVB toegepast op veld 3 van de aanbrug	33
Figuur 7-9: Schematische weergave van een dwarsdoorsnede van de aanbrug	33
Figuur 7-10: Contactoppervlak bij Belastingsgeval 2	34
Figuur 7-11: Aanbrengen van koolstof plakwapening in een praktijksituatie	37

10.2. Tabellenlijst

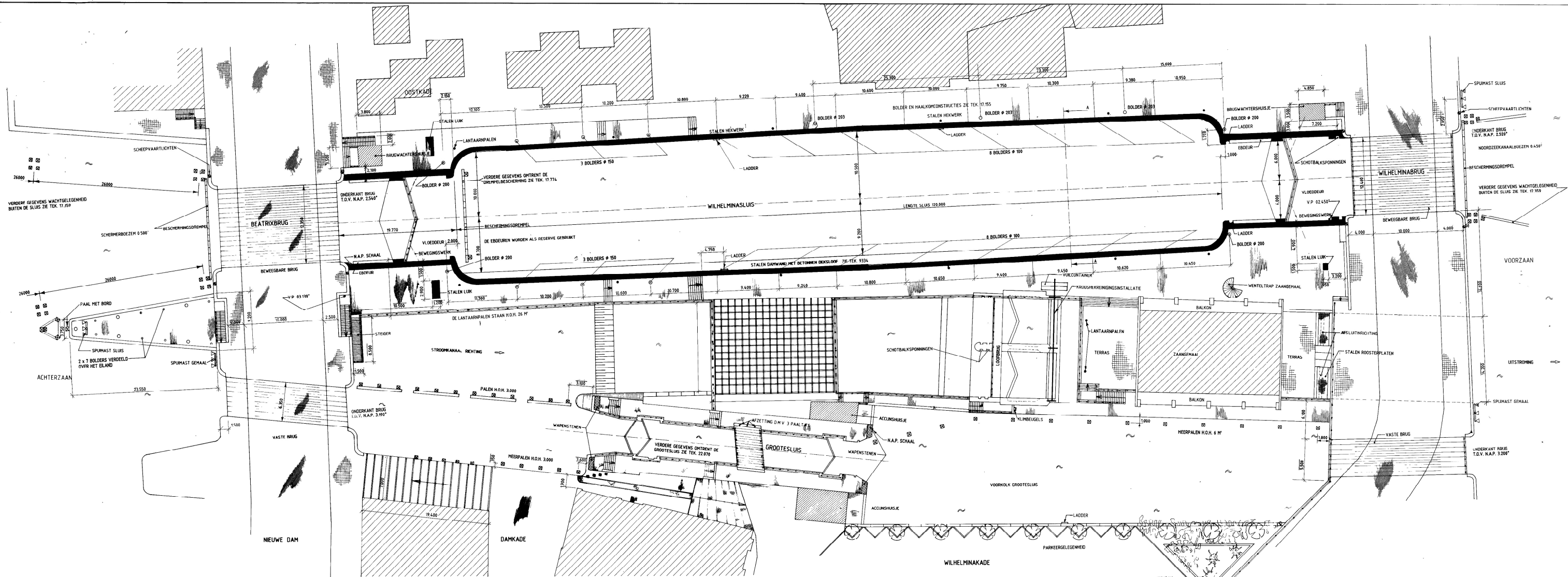
Tabel 6-1: Scoretabel van de kwalitatieve beoordeling	19
Tabel 7-1: Herkomst sterkteklasse indeling	36

11. AFKORTINGENLIJST

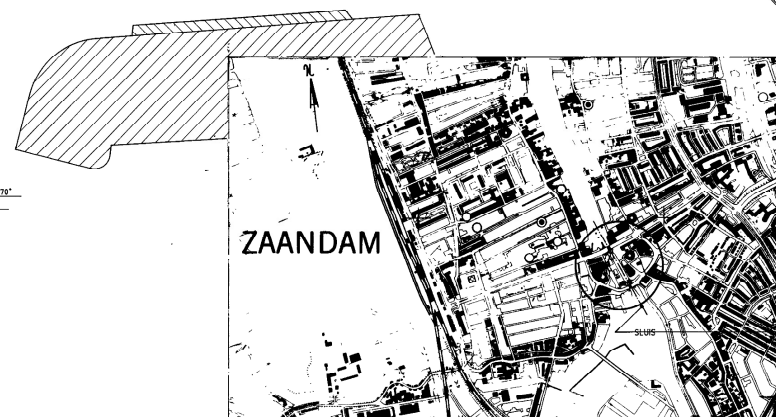
CEMT-klasse	Conférence Européenne des Ministres de Transport (Geeft maximale afmetingen van schepen in klassen)
MCA	Multi criteria analyse
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NEN-EN	Nederlandse Norm - Europese Norm
RBK	Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken
ROK	Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken
UDL	Uniformly Distributed Loads
GVB	Gelijkmatig Verdeelde Belasting
TS	Tandemstelsel
h.o.h.-maat	Hart-op-hart-maat

1. BIJLAGEN

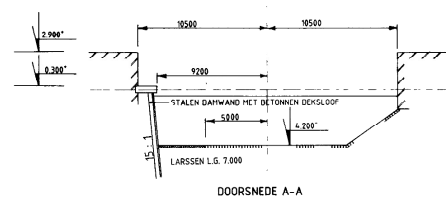
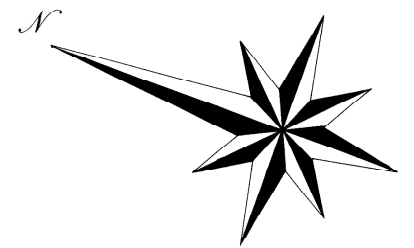
1.1. Bijlage 1 - Bovenaanzicht Wilhelminasluis



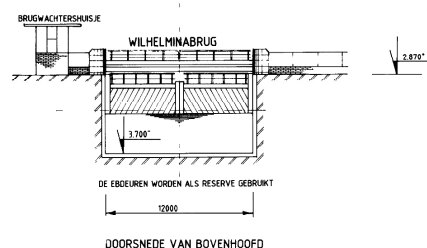
SITUATIE 1:200



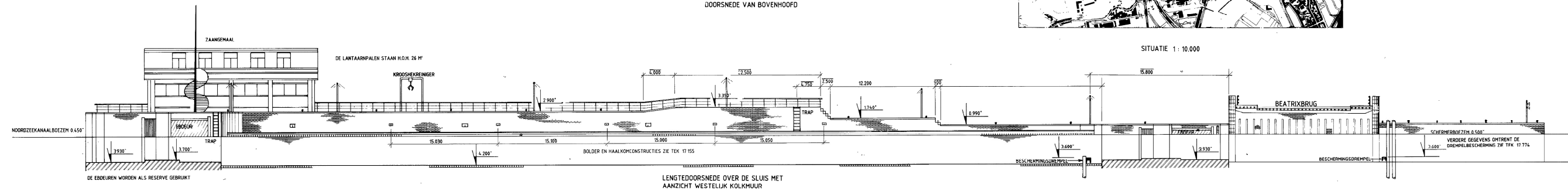
SITUATIE 1:10.000



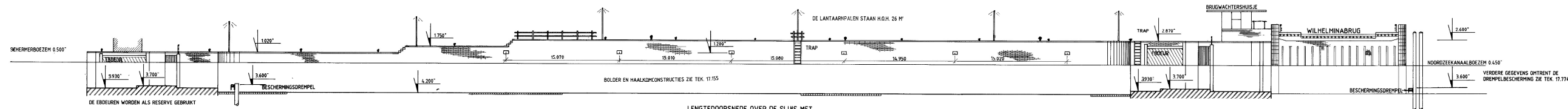
DOORSNEDE A-A



DOORSNEDE VAN BOVENHOOFD



LENGTEDOORSNEDE OVER DE SLUIS MET AANZICHT WESTELIJK KOLKMUUR



LENGTEDOORSNEDE OVER DE SLUIS MET AANZICHT OOSTELIJK KOLKMUUR

TOE: WATEN DIE ZO ZIJN AANGEGEVEN ZIJN NIET OP SCHAAL GETEKEND

1.2. Bijlage 2 - Programma van eisen

1. PROGRAMMA VAN EISEN
1.1. Functionele eisen/randvoorwaarden

Eisnummer	Omschrijving
01	De Sluis dient geschikt te zijn voor het schutten van de beroepsvaart met als scheepvaartsklasse CEMT Va. Hierbij geldt als maatgevend schip: - Groot Rijnschip; - Coaster klasse CEMT/PIANC R/S 1; - Duwbak type Europa II
Toelichting	Het maatgevend schip is nodig voor het bepalen van diverse belastingen. Hieraan kan de massa van een schip afgeleid worden waarna hieraan getoetst kan worden.
02	De Sluis dient een drempeldiepte van minimaal NAP -5,45m te hebben. - CEMT-klasse Va (4,20m) + toekomstvastheidstoeslag (0,50m) ten opzichte van de maatgevende lage waterstand (MLW) van NAP -0,75.
Toelichting	De drempeldiepte is van belang bij het dimensioneren en toetsen van een horizontaal evenwicht van de sluiswand ter plaatse van de aanbrug
03	De Sluis dient over de gehele lengte en over de gehele hoogte een breedte van 14,0 meter te hebben. Bedoeld wordt een constante breedte tussen de kolkbodem en bovenkant sluisplateau.
Toelichting	Deze eis beschrijft de vorm van de sluiswand en geeft tevens aan hoeveel de sluiswand landinwaarts geplaatst moet worden.
04	Het situeren van sluisdeuren onder het val van de Bruggen is niet toegestaan. Direct zicht op de sluisdeuren moet mogelijk zijn in gesloten toestand van de Bruggen.
Toelichting	Deze eis onderbouwd dat de deuren en de aanbrug geen raakvlak hebben.
05	De deuren van de sluis worden naar de buitenzijde van de sluis verplaatst ten einde voldoende kolk lengte hebben voor het maatgevend schip
Toelichting	Deze eis beschrijft verder dan eis 04 dat door de verlenging van de sluis, de aanbrug en wand voor de aanbrug gerekend word tot de sluiskolk.
06	De Sluis dient integraal onderdeel te zijn van de primaire waterkering (C-kering, dijkkring 13)
Toelichting	Dit geeft een randvoorwaarde voor het ontwerp. De waterkerende lijn moet intact blijven en de constructie moet getoetst worden aan deze krachten.
07	Wegens het rekening houden met een faalkans geldt: 'Kolkwanden en het binnenhoofd waterkerend zijn tot een hoogte van + 0,70 m NAP'
Toelichting	Dit geeft de een belastingsscenario voor de kolkwand en een belangrijk uitgangspunt voor de uitwerking van de varianten(kolkwand vooraanbrug moet waterkerend zijn).

08	Het zuidelijk sluishoofd van de Sluis dient een minimale waterkerende ontwerphoogte te hebben van NAP +2,00m. - Het toetspeil volgens de HR2006 bedraagt NAP +1,40m, daarnaast dient rekening gehouden te worden met een robuustheidstoeslag van 0,30m voor de planperiode van 100 jaar resulterend in een maatgevend stilwaterpeil van NAP +1,70m. De maatgevende golfhoogte bedraagt 0,30m met een periode Ts van 2 seconden.
Toelichting	Deze eis heeft geen invloed op de kolkwand en aanbrug. Dit omdat is aangenomen dat er geen krachtsoverdracht plaats vindt tussen het sluishoofd en de aanbrug. Zodoende is deze eis niet voor de varianten relevant.
09	De oostelijke en westelijke kolkwand van de Sluis dient een minimale waterkerende ontwerphoogte te hebben van NAP +0,70m
Toelichting	Dit geeft de minimale hoogte van de sluiskolk, en met de waterdruk en de golfhoogte kan hieruit ook de belasting door het water bepaald worden.
10	De breedte van het huidige val van de Wilhelminasluis is 16,2m en blijft ongewijzigd.
Toelichting	Dit geeft waarden aan voor resp. de fysieke lengte van de kolkwand en de fysieke breedte van de aanbrug. Dit blijft dus ongewijzigd ten opzichte van de huidige situatie
11	De Voorhavens dienen vaarwegverkeer fysiek en visueel naar de Sluis toe te geleiden: Voor de berekeningen dient als uitgangspunt het volgende te worden aangehouden: - Aanvaarhoek: · Botsing onder hoek van 5°; - Belastingfactor: · Botsbelasting als bijzondere belasting beschouwen waarvoor geldt belastingfactor 1,0; - Aanvaarbelasting: · Uitgaan van scheepvaartklasse CEMT-Klasse Va · Massa schip bepalen aan de hand van ROK versie 6 tabel 16.2; · Waterverplaatsing schip: lengte x breedte x diepgang x blokfactor 0,8; - Aanvaarsnelheid = 6km/h; - Maximale uitbuiging: · De geleide/remmingwerken dienen na maximale uitbuiging bij de aan te houden aanvaarbelasting de kunstwerken niet te raken;
Toelichting	Doordat voor de aanbrug constructie een nieuw sluishoofd wordt gerealiseerd hoeft frontale botsing op de zijkant van aanbrugconstructie niet meegenomen te worden. Voor de zijdelingse aanvaring zijn hierboven alle waarden gegeven om de aanvaarbelasting te bepalen.

12	Het Sluiscomplex dient de volgende minimale ontwerplevensduur te hebben. - betonnen (draag)constructies: 100 jaar - metselwerk (draag)constructies: 100 jaar - stalen (draag)constructies: 100 jaar - grondkerende (draag)constructies: 100 jaar - asfaltconstructies(exclusief deklaag): 24 jaar - standaard deklagen: 15 jaar - slijtlagen: 10 jaar
Toelichting	Hierbij geldt dat voor de bestaande constructie nog een restlevensduur van 50 jaar wordt gehanteerd.
13	De Sluis dient ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden bestand te zijn tegen de belasting als gevolg van een waterstandsverlaging in de sluiskolk tot NAP -1,75m.
Toelichting	Dit geeft de maatgevende laagwater situatie die een belangrijke belastingssituatie geeft voor de kolkwand.
14	De Bruggen dienen geschikt te zijn voor de belastingen conform NEN-EN 1991-2 (belastingen op constructies - Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen). Waarbij geldt $N_{obs} = NTB$ (tabel NB1); verkeerscategorie conform norm (tabel NB5).
Toelichting	Dit geeft de rekenmethode tot het bepalen van de belasting uit het val, maar geeft ook de belasting voor de aanbrug constructie.
15	De constructieve doorrekening dient te gebeuren op basis van de relevante Eurocodes in combinatie met de Richtlijn Bestaande Kunstwerken(RBK). Voorbeelden van relevante Eurocodes zijn: - NEN-EN 1991-1-1 Belastingen op constructies - Algemene belasting - Volumieke gewichten, eigen gewicht, opgelegde belastingen voor gebouwen. - NEN-EN 1991-1-7 Belastingen op constructies - Algemene belastingen - Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen (ook aanvaringsbelastingen door scheepvaart) - NEN-EN 1992-1-1 Ontwerp en berekening van betonconstructies - Algemene regels en regels voor gebouwen. - NEN-EN 1992-2 Ontwerp en berekening van betonconstructies - Bruggen - Regels voor ontwerp en berekeningen voor detailleringen -
Toelichting	De RBK (door Rijkswaterstaat uitgegeven) geeft vaak toevoegingen op de Eurocode.

1.2. Raakvlakeisen

1.2.1. Hinder scheepvaartverkeer

Hinder-klasse	Beschrijving	Stremmingsquotum (aantal maal optreden)
1	<u>Beperkte hinder</u> Dit kan zijn een beperking van de normale vaarsnelheid of een beperking van de beschikbare manoeuvreerruimte, mits beschikbaar t/m scheepvaartklasse CEMT IV	Niet gelimiteerd
2	<u>Korte stremming</u> Korte stremming van minder dan een half uur	Niet gelimiteerd
3	<u>Middellange stremming</u> Stremming met een lengte tot 2 uur met een maximum van 2 maal per dag, waarbij tussen het oponthoud minimaal 2 uren vrije doorvaart mogelijk is	20 maal
4	<u>Lange stremming</u> Stremming van lange duur tot maximaal 2 dagen	8 maal
5	<u>Uitzonderlijk lange stremming</u> Stremming van uitzonderlijk lange duur, langer dan een aaneengesloten periode van 2 dagen en met een maximale duur van 16 weken	stremmingsquotum bedraagt maximaal 16 weken, te verdelen over maximaal 2 periodes

1.2.2. Hinder wegverkeer

	Afsluitingsvarianten	Maximale duur
A	Eén brugverbinding afgesloten Volledige afsluiting van de Beatrixbrug en de Wilhelminabrug, niet gelijktijdig, gedurende een aaneengesloten periode per brug	40 weken per brug
B	Wilhelminabrug en Beatrixbrug afgesloten Volledige en gelijktijdige afsluiting van zowel de Beatrixbrug als de Wilhelminabrug, waarbij een tijdelijke verbinding voor fietsers en voetgangers dient te worden gerealiseerd en in stand te worden gehouden	52 weken

1.2.3. Overige eisen

01	Alle bestaande onderdelen binnen de systeemgrens die hun functionaliteit verliezen dienen te worden verwijderd, met uitzondering van de bestaande funderingspalen van de kolkwanden en de funderingselementen in de primaire waterkering (voor zover deze elementen het Werk niet hinderen).
Toelichting	Dit geeft randvoorwaarden voor wat betreft de sloop. Alles behalve de palen moet worden verwijderd als het de functie verliest.
02	Alle bestaande onderdelen binnen de systeemgrens die ten behoeve van de Uitvoeringswerkzaamheden noodzakelijkerwijs worden verplaatst, dienen hun functionaliteit te behouden.
Toelichting	Dit geeft randvoorwaarden voor een fasering.
03	Het Sluiscomplex dient een constructief zelfstandig object te zijn.
Toelichting	In dit geval wordt de officiële eis overstegen, de aanbrug en de sluiswand ter hoogte van de aanbrug zijn constructief zelfstandig
04	Ondergrondse elementen (bijv. ankers) zijn niet toegestaan buiten de systeemgrens.
Toelichting	-
05	De grondwaterstand buiten de systeemgrens mag niet worden verlaagd.
Toelichting	-

1.3. Bijlage 3 - Belastingsverslag

1. INHOUDSOPGAVE	1
2. VASTSTELLEN BELASTINGEN	1
3. EUROCODE 1: BELASTINGEN OP CONSTRUCTIES – DEEL 1 ALGEMENE BELASTINGEN	2
3.1. Deel 1-1: Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen	2
3.1.1. Eigen gewicht Wilhelminabrug	2
3.1.2. Eigen gewicht Aanbrug	3
3.2. Deel 1-2: Belasting bij brand	3
3.3. Deel 1-3: Sneeuwbelasting	3
3.4. Deel 1-4: Windbelasting	4
3.5. Deel 1-5: Thermische belasting	4
3.6. Deel 1-6: Belasting tijdens uitvoering	4
3.7. Deel 1-7: Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen	4
3.7.1. Stootbelasting bij aanvaring van Wilhelminabrug	5
3.7.2. Stootbelasting bij aanvaring met de sluiswand	7
4. EUROCODE 1: BELASTINGEN OP CONSTRUCTIES – DEEL 2 VERKEERSBELASTING OP BRUGGEN	9
4.1. Belastingen uit het val	9
4.2. Bepaling relevante Belastingsmodellen	10
4.2.1. Verkeersbelasting volgens belastingsmodel 1	11
4.2.2. Verkeersbelasting volgens belastingsmodel 2	17
4.2.3. Verkeersbelasting volgens belastingsmodel 4	19
4.2.4. Rem- en aanzetkrachten	20
5. EUROCODE 1: BELASTINGEN OP CONSTRUCTIES – OVERIGE BELASTINGEN	21
5.1. Opzetkrachten van het val	21
5.2. Belasting uit oude en/of nieuwe sluishoofd	21
5.3. IJsbelasting	21
5.4. Belasting op de keldervloer	22
5.5. Water- en grondbelasting op de sluiswand	22
5.5.1. Waterstand in Scenario 1 – normale waterstand	23
5.5.2. Waterstand in Scenario 2 - Calamiteit op het Noordzeekanaal	23
5.5.3. Waterstand in Scenario 3 – Onderhoud aan de Wilhelminasluis	24
5.5.4. Waterstand in Scenario 4 – Hoogwater op het Noordzeekanaal	24
5.5.5. Permanente gronddrukken in alle scenario's	25
5.6. Maatgevende belastingen op de combiwand	25
5.6.1. Horizontale belasting in Scenario 1	25
5.6.2. Horizontale belasting in Scenario 2	26
5.6.3. Horizontale belasting in Scenario 3	27
5.6.4. Horizontale belasting in Scenario 4	27
5.6.5. Schematisatie	28

6. SCHEMATISATIE VAN EEN CONSTRUCTIE NAAR EEN 2D-REKENMODEL	29
6.1. Schematisatie verende funderingspalen	29

BIJLAGEN	aantal blz.
I Bijlage 1 - Hydraulische randvoorwaarden Scenario's	4
II Bijlage 2 - Onderbouwing wandverschuiving	1
III Bijlage 3 - Onderbouwing grondhoogte	1

2. VASTSTELLEN BELASTINGEN

In deze rapportage vindt u alle belastingen waar rekening mee gehouden is. Als begin en als leidraad wordt de 'Eurocode 1 – Belastingen op constructies' gebruikt. De indeling van deze norm is ook in deze rapportage terug te zien. Aanvullend aan deze Europese norm wordt de nationale bijlage gebruikt voor het bepalen van landsafhankelijke waarden. Naast deze normen worden nog twee richtlijnen aangehouden. Het gaat hier over de 'Richtlijnen Beoordelen Kunstwerken (RBK)' en de 'Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken (ROK)' welke respectievelijk over bestaande kunstwerken en over nieuwe kunstwerken gaan. Indien er nog andere bronnen worden gebruikt wordt dit vermeld. In het begin wordt vastgesteld welke belastingen van toepassing zijn.

3. EUROCODE 1: BELASTINGEN OP CONSTRUCTIES – DEEL 1 ALGEMENE BELASTINGEN

De Eurocode 1, ook wel genoemd de NEN-EN 1991 is de tweede van een reeks normen die op Europees vlak richtlijnen geven voor het constructief ontwerp. De Eurocode 1 is in vier stukken te verdelen. Eurocode 1-1 gaat in 7 subhoofdstukken in op algemene belastingen, 1-2 gaat over verkeersbelastingen. Deel 3 en 4 gaan resp. in op belastingen veroorzaakt door kranen en machines en op silo's en opslagtanks. Van deze onderdelen zullen de eerste twee delen behandeld worden.

Aan de algemene belastingen worden in het eerste deel van de Eurocode 7 subhoofdstukken aan geweid. Hierin worden de meest voorkomende belastingen besproken die over het algemeen bij alle constructies (kunnen) optreden. De hoofdstukken zijn als volgt ingedeeld:

- Eurocode 1-1-1: Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
- Eurocode 1-1-2: Belasting bij brand
- Eurocode 1-1-3: Sneeuwbelasting
- Eurocode 1-1-4: Windbelastingen
- Eurocode 1-1-5: Thermische belastingen
- Eurocode 1-1-6: Belastingen tijdens uitvoering
- Eurocode 1-1-7: Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen

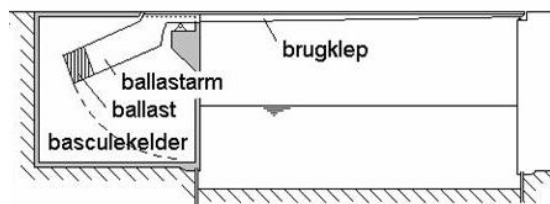
Deze onderwerpen worden behandeld in de volgende hoofdstukken.

3.1. Deel 1-1: Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen

Als eerste in de normen wordt gesproken over de karakteristieke volumieke gewichten, het eigen gewicht en opgelegde belastingen. De onderdelen die hier bepaald worden zijn het eigengewicht van het val en die van de aanbrug. Dit zijn de belangrijke belastingen die hier beschouwd worden.

3.1.1. Eigen gewicht Wilhelminabrug

De Wilhelminabrug is een basculebrug waarbij de basculekelder zich aan de westzijde van de sluis bevindt. In deze basculekelder bevindt zich het contragewicht en de aandrijving van de brug. Het gewicht van de Wilhelminabrug is belangrijk bij het bepalen van de belasting die op de sluiswand wordt uitgeoefend. In Figuur 3-1: Principe overzicht van een Basculebrug is het beschreven principe in een eenvoudige tekening weergegeven.



Figuur 3-1: Principe overzicht van een Basculebrug

Omdat het principe van een basculebrug een (bijna) evenwicht is tussen het brugdek en het contragewicht is de belasting van de brug op het de oostelijke sluiswand beperkt. Dit is de reden dat de invloed van het eigengewicht van de Wilhelminabrug, oftewel het val ervan niet wordt meegenomen.

3.1.2. Eigen gewicht Aanbrug

Naast de basculebrug is het gewicht van de aanbrug belangrijk. Het eigengewicht van een betonconstructie vormt vaak een significante belasting op het kunstwerk. De aanbrug kan als twee delen gezien worden, de fysieke betonconstructie zelf, en de aangebrachte asfalt laag, verlichtingspalen en andere rustende onderdelen. Voor het gewicht van de fysieke betonconstructie wordt een gangbaar soortelijk gewicht aangehouden van 26 kN/m^3 . Echter hoeft het eigengewicht van de constructie niet volledig uitgerekend te worden, aangezien het software pakket Scia Engineer dit volledig automatisch doet. Wel wordt ter controle van het model met het eerder genoemde soortelijk gewicht het model gecontroleerd worden. Naast het eigen gewicht wordt er een rustende belasting ingevoerd. Deze neemt het gewicht van voornamelijk het asfalt, de wegbestrating en extra rustende belasting mee. Het soortelijke gewicht van normaal asfalt wordt aangehouden, 25 kN/m^3 . Bij het bekijken van 1 meter breedte, en het rekening houden van een maximale hoogte van 200mm komt dit neer op een lijn belasting van $5 \text{ kN/m}'$. Een asfalt dikte van 200mm is voornamelijk van toepassing voorsnelwegen waarmee deze belasting aan de hoge kant zit.

In het Beeldkwaliteitsplan staat expliciet beschreven dat de hoekafwerkingen van de sluis-hoofden en de bruggenhoofden moet worden uitgevoerd in natuursteen. Natuursteen heeft van zichzelf een hoog soortelijk gewicht, en de afmetingen zijn te groot om te kunnen verwaarlozen. Echter, verderop in deze rapportage wordt de verkeersbelasting op de brug bepaald. Bij het bepalen van deze belasting wordt een conservatieve aanname gedaan dat de complete brug wordt opgedeeld in rijstroken. Zo wordt rekening gehouden met de hoogste belasting en kan de invloed van het natuursteen als nog verwaarloosd worden. Zodra het natuursteen wordt toegepast is het namelijk niet mogelijk om daar een rijstrook te hebben, de belasting van het verkeer en van het natuursteen kan dus onmogelijk tegelijk optreden.

Als laatste zijn er nog extra aangebrachte onderdelen op het dek van de aanbrug. Hierbij kan gedacht worden aan lichtmasten, leuningen, slagbomen en palen met (beveiligings-) camera's hierop. Vanwege de beperkte invloed van deze onderdelen op de brug worden deze verwaarloosd.

3.2. Deel 1-2: Belasting bij brand

De belasting van brand op de aanbrug wordt verwaarloosd. Dit is enerzijds omdat er onder de aanbrug geen activiteiten zijn. Het is een lege ruimte waar normaal geen toegang is. De ruimte is een periode als opslag gebruikt maar heeft ook deze functie verloren. Hiermee is de kans op brand in de aanbrug zeer beperkt. Vrijwel de enige manier hoe het kan gebeuren is als er opzet in het spel is.

3.3. Deel 1-3: Sneeuwbelasting

De sneeuwbelasting in de Eurocode wordt voorgeschreven als een karakteristieke waarde van de sneeuwbelasting op de grond (s_k), waarbij een C-waarde een coëfficiënt vormt voor uitzonderlijke sneeuwbelastingen. Voor deze karakteristieke waarde van de sneeuwbelasting op de grond wordt in de nationale bijlage een waarde van $0,7 \text{ kN/m}^2$ gegeven. In hetzelfde document wordt tevens aangegeven dat uitzonderlijke sneeuwbelastingen voor Nederland niet beschouwd hoeft te worden. Hiermee komt de sneeuwbelasting op $0,7 \text{ kN/m}^2$. Deze belasting is al relatief beperkt, en bijvoorbeeld maar 14% van belastingsmodel 4 van de belastingsmodel 3, de mensenmassa. Echter kan er vanuit worden gegaan dat het optreden van zowel de maximale verkeers- als sneeuwbelasting niet tegelijk optreedt.

3.4. Deel 1-4: Windbelasting

De windbelasting voor de aanbrug wordt buiten beschouwing gelaten. De aanbrug is aan 3 van de 4 zijden omsloten door constructies en de zijde waar de wind wel vat op heeft is onderhevig aan waterstandsverschillen en eventuele aanvaarbelastingen. Dit maakt dat bij deze belastingen de windbelasting in het niet valt en verwaarloosd kan worden.

3.5. Deel 1-5: Thermische belasting

De Thermische belasting neemt het effect mee dat temperatuurverschillen op een constructie hebben. Als de zon schijnt wordt de bovenkant van de constructie verwarmt en gaat als gevolg daarvan uitzetten. De onderzijde van de constructie wordt minder snel warm en zet daardoor minder snel uit, hierdoor ontstaan spanningen in de constructie.

Deze thermische belasting kan verwaarloosd worden, dit heeft te maken met de manier waarop de constructie getoetst wordt. De BGT toetsen zijn namelijk nauwelijks toe te passen op een bestaande constructie. Een voorbeeld hiervan is de scheurwijdte controle, hiervoor moet bekend zijn wat de weerstand is van de constructie tegen het scheuren. Echter heeft de constructie al diverse scheuren waardoor deze weerstand niet goed te bepalen is. Dit maakt dat de BGT toetsen die een duurzaamheid waarborgen niet meegenomen hoeven te worden. Als vervanger hiervan is het gebruikelijk om een periodieke controle te laten plaats vinden naar deze aspecten.

De belangrijke toets die overblijft, is de UGT-toets die de bezwijk situatie beschrijft. In deze toets mag de constructie plastisch vervormen zolang deze niet bezwijkt. Kenmerkend voor een plastisch rekenmodel is het mogen rekenen met plastische scharnieren. Dit houdt in dat een betondrukzone op de maximale druk wordt belast terwijl de belasting verder toeneemt. In deze situatie kan het beton geen hogere druk meer aan maar kan nog wel vervormen. Hierdoor ontstaat er op een groter deel van de doorsnede een drukkracht. Temperatuurskrachten ontstaan alleen wanneer de vervorming van de constructie verhinderd wordt. Door deze 'virtuele' scharnieren kan de vervorming ten gevolge van de temperatuur zonder verandering op treden. Dit maakt dat de invloed van de temperatuur prima te verwaarlozen is.

3.6. Deel 1-6: Belasting tijdens uitvoering

De belasting tijdens de uitvoering is hier nog niet te beschrijven. Dit is bijvoorbeeld afhankelijk van de exacte wijze van uitvoering en van realisatie wat het lastig maakt om dat nu te beschrijven. Voor het plaatsen van bijvoorbeeld prefab panelen zijn verschillende mogelijkheden, zo kan een prefabsluiswand zowel vanaf de aanbrug als vanaf het water gehesen worden. Zodra de belasting op de aanbrug te hoog is, kan de methode via het water worden toegepast

3.7. Deel 1-7: Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen

Van deze norm is de stootbelasting een belangrijke belasting. In geval van geopende en gesloten brug is er een risico op aanvaring. Als de Wilhelminabrug gesloten is kan een frontale botsing optreden met het val van de brug. Als de brug open is en het schip de sluis in vaart is het mogelijk dat deze de sluiswand ter plaatse van de aanbrug raakt. Voor deze twee scenario's wordt de belasting bepaald aan de hand van de ROK.

3.7.1. Stootbelasting bij aanvaring van Wilhelminabrug

Als eerste wordt een frontale aanvaring van een schip met het val van de Wilhelminasluis besproken, het bepalen van de uitgangspunten is hiervan het belangrijkste en het begin. Voor het bepalen van de uitgangspunten is gebruik gemaakt van het programma van eisen.

- Scheepscategorie zoals beschreven in programma van eisen(pve), eis 01:
 - CEMT-klasse Va
- Aanvaarhoek zoals beschreven in pve, eis 11:
 - Botsing onder hoek van 5° geldend voor de voorhavens
- Massa schip, bepaald aan de hand van ROK versie 1.2 tabel 16.2:
 - Massa: 1500 - 3000 ton, totale massa van het schip incl. draagvermogen(dwt)
- Aanvaarsnelheid zoals beschreven in pve, eis 11:
 - Aanvaarsnelheid = 6km/h

Voor het bepalen van de maximale botskracht is de volgende formule gegeven:

$$F_{max;m} = 3,3 \cdot \sqrt{(E)} + 5,6 [MN]; \text{ maximale botskracht}$$

$$E = 0,55 mv^2 [MNm]; \text{ kinetische energieniveau van het schip}$$

Deze formule is een vereenvoudigde weergave waarbij enkele aannames zijn gedaan. De eerste voorwaarde is dat deze formule alleen geldt voor constructies die normaal niet door schepen geraakt worden. De geleidewerken zorgen ervoor dat in normale situatie de schepen naar de sluis toe geleid worden en dat een aanvaring een uitzonderlijke situatie is. Daarnaast gaat de formule uit van botsing tegen een star obstakel, de energie wordt volledig door het schip opgenomen. Ook deze voorwaarde is hier van toepassing aangezien de aanbrug als één geheel samenwerkt. Daarmee is de verplaatsing van de constructie verwaarloosbaar ten opzichte van de 'kreukelzone' van het schip. De massa die voor het schip in rekening gebracht dient te worden is de massa van het schip zelf vermeerderd met het draagvermogen (zie Figuur 3-2: Klasseindeling van schepen (Tabel 5-3 van ROK).

Voor de massa van het schip geldt maximaal:

$$m = 3000 \text{ ton}$$

De maximale snelheid van 6km/h moet in verband met een mogelijke overschrijding van deze snelheid met 20% worden vermeerderd tot 7,2km/h. Daarnaast wordt in de berekening in de eenheid [m/s] aangehouden, waarbij hiervoor de waarde geldt:

$$v = \frac{7,2 \text{ km/h}}{3,6} = 2,0 \text{ m/s}$$

Tabel 5-3: Klasseindeling van schepen

Klasse	Type	Lengte [m]	Breedte [m]	Diepgang [m]	Massa* (ton)
0	Klein/recreatie	< 30	-	-	< 250
I	Spits	30 – 50	5,05	1,80 – 2,20	250 – 400
II	Kempenaar	50 – 60	6,60	2,50	400 – 650
III	Dortmund-Eems-kanaalschip	60 – 80	8,20	2,50	650 – 1000
IV	Rijn-Herne-kanaalschip	80 – 90	9,50	2,50	1000 -1500
Va	Groot Rijnship	90 – 110	11,40	2,50 – 2,80	1500 – 3000
Vb	Duwvaart 2 bakken	110 – 180	11,40	2,50 – 4,50	3000 – 6000
Vla	Duwvaart 2 bakken	110 – 180	22,80	2,50 – 4,50	3000 – 6000
Vlb	Duwvaart 4 bakken	110 – 190	22,80	2,50 – 4,50	6000 – 12000
Vlc	Duwvaart 6 bakken	190 – 280	22,80	2,50 – 4,50	10000 – 18000
VII	Duwvaart 9 bakken	300	34,20	2,50 – 4,50	14000 – 27000

* De gegeven waarden betreffen de totale massa van het schip incl. draagvermogen (dwt). Veelal wordt gesproken van het waterverplaatsingstonnage.

Figuur 3-2: Klasseindeling van schepen (Tabel 5-3 van ROK)

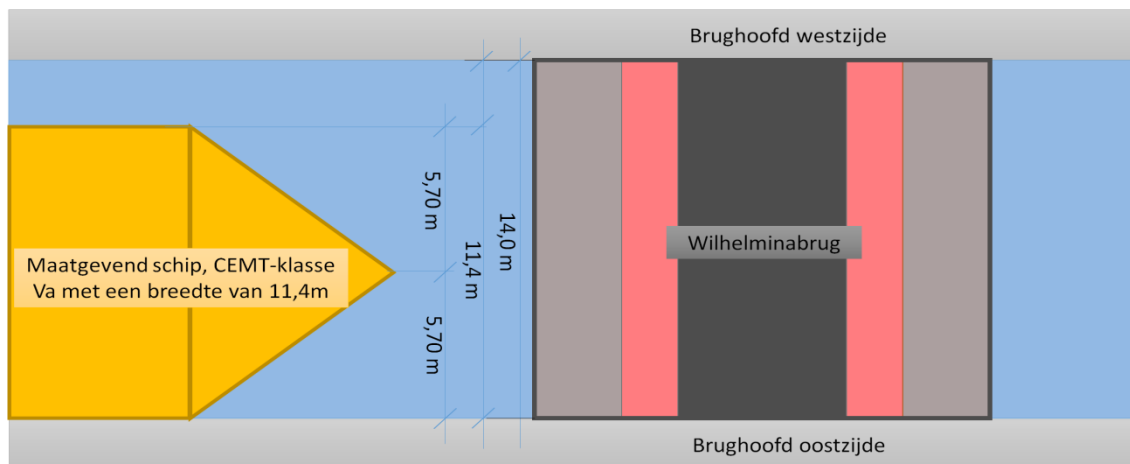
Hiermee komt het kinetische energieniveau van het schip uit op:

$$E = 0,55 \cdot 3000 \cdot 2,0^2 = 6600 \text{ kNm} = 6,6 \text{ MNm}$$

Tot slot wordt hiermee de maximale frontale kracht:

$$F_{\text{max};m} = 3,3 \cdot \sqrt{(6,6)} + 5,6 = 14,1 \text{ MN}$$

Om de belasting op de aanbrug te bepalen is het belangrijk om te kijken waar het schip het val kan aanvaren. Door het geleidewerk en het nieuwe sluishoofd kan het schip enkel binnen de breedte van 14,0m de brug aanvaren. Om de hoogste en dus maatgevende belasting te krijgen wordt ervan uitgegaan dat het schip de brug zo dicht als mogelijk bij de oostelijke sluiswand aanvaart. Ook wordt er van uitgegaan dat het midden van het schip de brug als eerste raakt en dat daar de kracht aangrijpt. Met de breedte van het schip van 11,40m ontstaat de volgende situatie:



Figuur 3-3: Schematische weergave van de ongunstigste aanvaringssituatie

Deze schetssituatie maakt duidelijk dat als het schip strak langs de oostelijke sluiswand vaart op het moment van aanvaren dat de arm van het schip naar de oostelijke sluiswand 5,70m is, en 8,30m naar de westelijke, zie Figuur 3-3: Schematische weergave van de ongunstigste aanvaringssituatie). Hierdoor ontstaat een spreiding van de last naar beide landhoofden waarbij de Wilhelminabrug wordt gezien als een ligger op twee steunpunten waar een puntlast op werkt. Als het oostelijke landhoofd, oplegpunt A is, en het westelijke punt B, wordt de krachtsverdeling:

Deze frontale kracht is een rekenwaarde waarmee vervolgens de kracht bij een aanvaring onder een hoek bepaald kan worden. Deze waarde is echter niet direct voor het val over te nemen omdat het val niet reageert als een star obstakel maar zelf ook een vervorming vertoont onder de belasting. Dit reduceert de werkelijk optredende belasting aanzienlijk.

3.7.2. Stootbelasting bij aanvaring met de sluiswand

In het scenario van de aanvaring van de sluiswand is de Wilhelminabrug geopend, en kan het schip de sluis invaren. Nu is de sluiswand vrij, waardoor deze geraakt kan worden. Hier wordt uitgegaan van eenzelfde schip als bij het val, met dezelfde snelheid en dezelfde massa. Hierdoor kan de maximale botsenergie (van 14,1MN) aangehouden worden. In het geval van aanvaring onder een hoek wordt de botskracht ontbonden in een component loodrecht op de constructie, en een component evenwijdig aan de constructie. De hoek van aanvaring vormt hierdoor een reductie op de belasting. Bij een aanvaring onder een hoek worden twee situaties beschouwd:

Ten eerste de situatie van een aanvaring onder een hoek tussen de $90^\circ > \alpha > 63^\circ$. Deze aanvaring is zeer haaks en hierbij wordt de totale energie van het schip opgenomen tijdens de botsing.

De tweede situatie is een aanvaring onder een hoek van $< 63^\circ$, nu wordt een deel van de kinetische energie niet door vervorming vernietigd. Dit aandeel kan in rekening gebracht worden door de $F_{loodrecht}$ te reduceren. Deze reductie kan door te vermenigvuldigen met reductiefactor δ welke voor verschillende factoren wordt beschreven in Tabel 3-1: Reductiefactor δ als functie van de aanvaarhoek (tabel 5-5 uit de ROK).

In situatie twee wordt de kinetische energie die in rekening gebracht dient te worden gereduceerd. Dit is omdat hier wordt gekeken naar de kracht die loodrecht op de constructie plaatsvindt. Bij een botsing onder een hoek die kleiner is dan 63° geldt dat het schip loodrecht op de constructie de volledige snelheid zal verliezen maar dat het schip evenwijdig aan de constructie nog snelheid overheeft: het schip is gedraaid en vaart evenwijdig aan de constructie door.

In het programma van eisen zijn de uitgangspunten voor de voorhavens beschreven. Hiervoor geldt een hoek van maximaal 5° , deze hoek is klein. Dit omdat wegens een grotere vaarbreedte bij de haven de kans op een daadwerkelijke aanvaring kleiner is. De kans op een aanvaring ter hoogte van de aanbrug is groter dan in de voorhavens omdat de vaarbreedte hier beduidend kleiner is. Echter wordt door de geleidewerken en het sluishoofd het risico ingeperkt. Als uitgangspunt wordt hier een hoek aangehouden van 10° , deze hoek is duidelijk kleiner dan 63° waardoor volgens situatie 2 wordt gerekend:

$$F_{loodrecht} = \delta \cdot F_{max} \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_{evenwijdig} = 0,5 \cdot F_{loodrecht}$$

α°	60	50	40	30	20	10	5
δ	0,98	0,91	0,82	0,73	0,64	0,48	0,34

Tabel 3-1: Reductiefactor δ als functie van de aanvaarhoek (tabel 5-5 uit de ROK)

Hieruit volgt de situatie met de waarden:

Hoek van aanvaarbelasting:

$$\alpha = 10^\circ$$

Reductie op de aanvaarbelasting middels δ :

$$\delta = 0,48$$

Eerder al bepaalde maximale aanvaarkracht:

$$F_{max} = 14,1MN$$

$$F_{loodrecht} = \delta \cdot F_{max} \cdot \sin(\alpha) = 0,48 \cdot 14,1 \cdot \sin(10) = 1,18MN = 1180kN$$

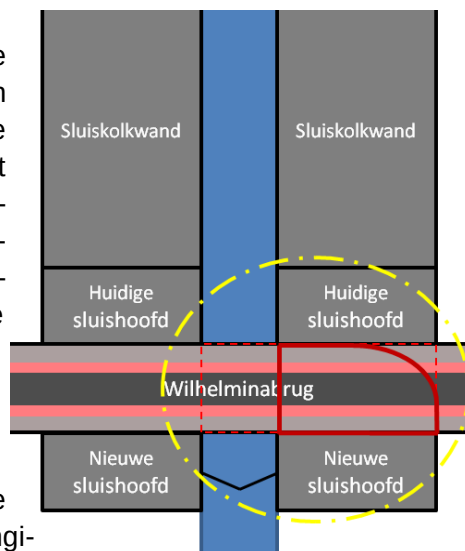
$$F_{evenwijdig} = 0,5 \cdot F_{loodrecht} = 0,5 \cdot 1180 = 588kN$$

Tot slot wordt in een opmerking van de NEN-EN 1991-1-7 gegeven dat de stootbelasting door rivier- en kanaalverkeer bij gebrek aan gedetailleerdere uitgangspunten op 1,5m boven de rekenwaarden van de waterniveaus aangenomen kan worden.

Tot slot is de oppervlakte waarop de kracht werkt van belang. In de Nationale Bijlage van de Eurocode geeft voor zowel frontale als een zijdelingse aanvaring een waarde. De frontale aanvaring komt op het val, waardoor een hoogte daar niet van toepassing is. De zijdelingse aanvaring is echter juist wel belangrijk. Hiervoor wordt gegeven dat de kracht aangrijpt over een breedte van een halve meter, en de hoogte over een hele meter.

4. EUROCODE 1: BELASTINGEN OP CONSTRUCTIES – DEEL 2 VERKEERSBELASTING OP BRUGGEN

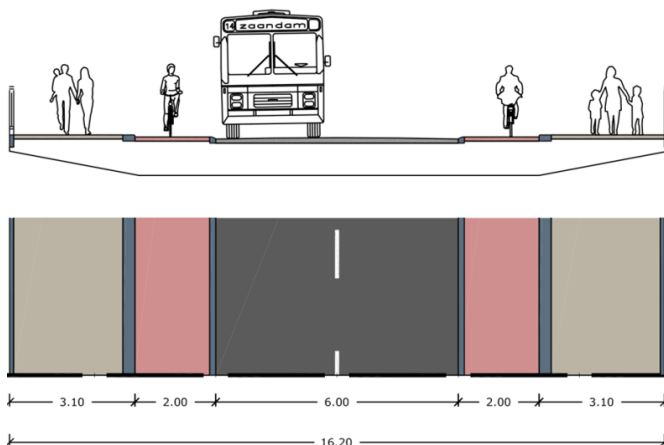
Voor het bepalen van de verkeersbelasting op de aanbrug moet duidelijk zijn hoe dit belastingsmodel in elkaar steekt. In de Eurocode worden verschillende belastingsmodellen gebruikt om de invloed van het verkeer op de constructie te schematiseren. Deze belastingsmodellen zijn niet altijd van toepassing. Daarom wordt ten eerste bepaald welke belastingsmodellen relevant zijn, vervolgens is het belangrijk om te bepalen waar en wanneer deze belasting optreedt. Zo kan het dat een belasting alleen op de aanbrug optreedt, allen op het val of juist op beide tegelijk. De belastingen uit verschillende oorzaken worden met opzet niet allemaal bij elkaar gevoegd, zodat de verschillende belastingen in het rekenpakket Scia Engineer ingevoerd kunnen worden. Dit rekenpakket kan de vele verschillende mogelijkheden automatisch opstellen.



Figuur 4-1: Overzicht van het zuidelijke sluishoofd waar de belastingen voor bepaald worden

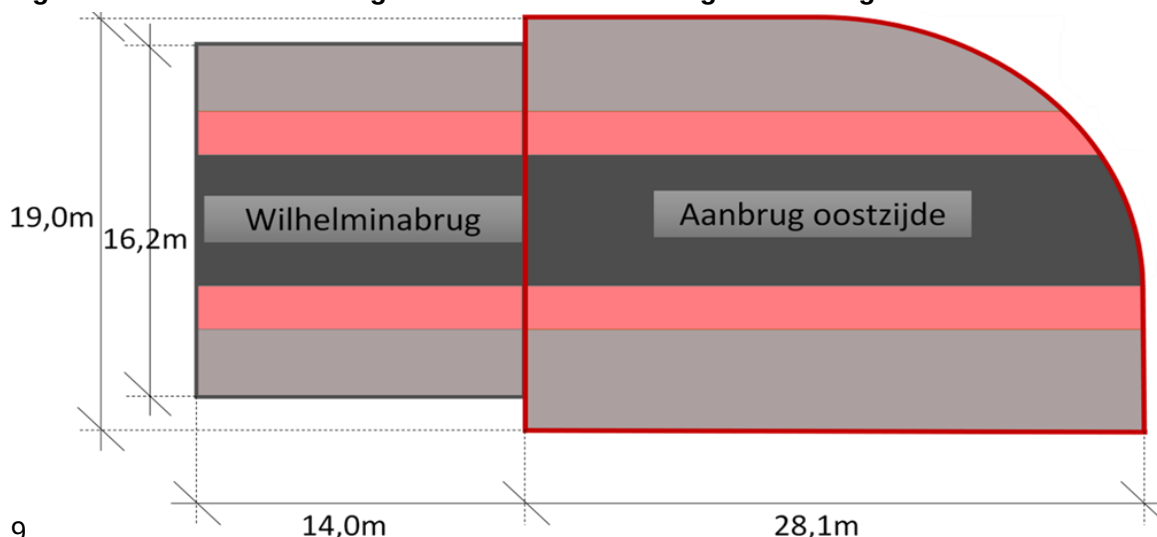
4.1. Belastingen uit het val

Het val is het deel van de basculebrug waar het verkeer over rijdt. Van dit val is een globale indeling vastgelegd in 'Beeldkwaliteitsplan Wilhelminasluis Zaandam' (zie Figuur 4-3: principe indeling brugdek Wilhelminabrug). Dit figuur wekt de indruk dat enkel de twee rijstroken in het midden door verkeer belast worden. Echter staat er in het begeleidend artikel van het Beeldkwaliteitsplan dat het brugdek vrij in-deelbaar moet zijn. De afmetingen van zowel het val als de aanbrug zijn in de onderstaande figuur weergegeven (zie Figuur 4-2: Globale afmetingen van de Wilhelminabrug de aanbrug).

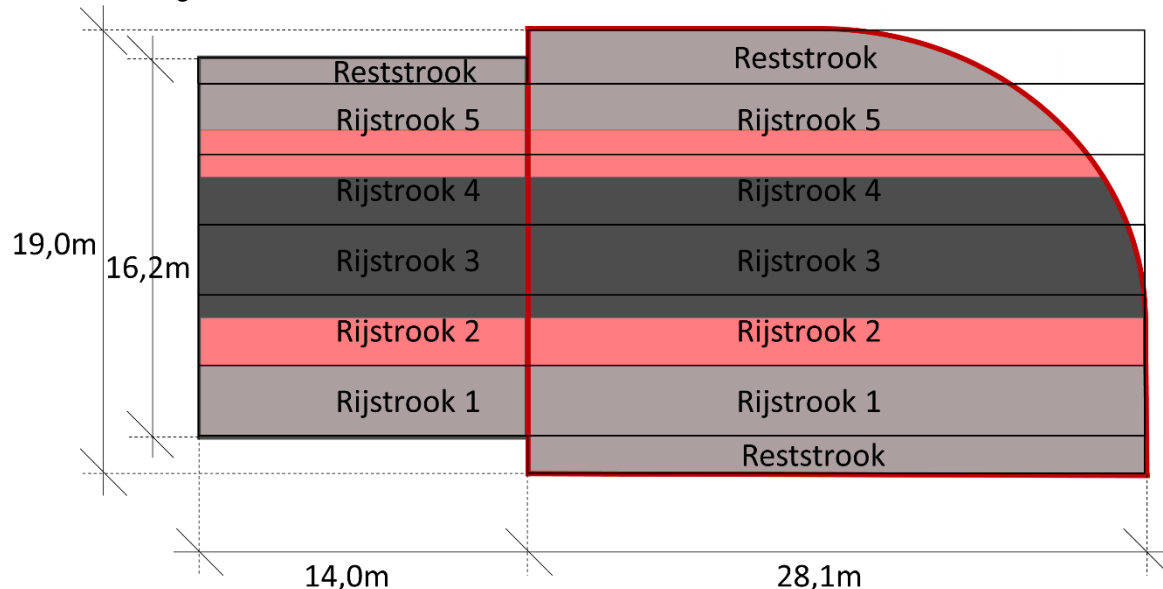


Figuur 4-3: principe indeling brugdek Wilhelminabrug

Figuur 4-2: Globale afmetingen van de Wilhelminabrug de aanbrug



Voor het val en de aanbrug word nu een voorbeeld rijstrook indeling gemaakt. Deze rijstrook indeling is indicatief. Alle verschillende combinaties van rijstroken moeten worden meegenomen. Zo moeten alle rijstroken een keer de zware vrachtwagen strook zijn, en per vrachtwagenstrook moeten de tweede en derde rijstrook gevarieerd worden. Een mogelijke rijstrook indeling is te zien in Figuur 4-4: Globale rijstrook indeling voor de Wilhelminabrug en de aanbrug.



Figuur 4-4: Globale rijstrook indeling voor de Wilhelminabrug en de aanbrug

4.2. Bepaling relevante Belastingsmodellen

In de Eurocode wordt aan de hand van 4 verschillende belastingmodellen de belasting van het verkeer op een brug geschematiseerd. Hierbij hebben alle belastingsmodellen verschillende aspecten die zij representeren. Eerst worden de belastingsmodellen kort geïntroduceerd en bepaald of deze relevant zijn:

Belastingsmodel 1: 'geconcentreerde en gelijkmatig verdeelde belastingen, die het merendeel van de effecten van vracht- en personenautoverkeer afdekken. Dit model behoort te zijn gebruikt voor de algemene en lokale toetsingen.' (Nederlands Normalisatie-instituut, 2011) Dit belastingsmodel is eigenlijk het basis model dat de meeste situaties meeneemt qua belasting. Dit model wordt zowel voor het val als voor de aanbrug bepaald

Belastingsmodel 2: 'één enkele aslast met specifieke contactoppervlakten van de wielen, waardoor de dynamische effecten van gangbaar verkeer op gedrongen constructieve elementen worden afgedekt' (Nederlands Normalisatie-instituut, 2011). In deze norm wordt in een opmerking aangegeven dat dit belastingsmodel maatgevend kan zijn voor belaste lengten tussen de 3m en 7m.

Dit belastingsmodel neemt belasting op een specifieke plek op het val mee. Voor de belasting uit het val is dit model niet interessant omdat er geen sterkte berekening voor het val wordt gedaan. Van het val moet de maximale belasting worden bepaald, welke niet optreedt bij een lokale belasting. Voor de aanbrug is dit wel relevant omdat dit lokaal overschrijding kan geven op het dek.

Belastingsmodel 3: 'een stelsel van samenstellingen van aslasten, die model staan voor bijzondere voertuigen (bijv. voor industriële transporten) die routes volgen waarvoor uitzonderlijk belastingen zijn toegestaan. Het model is bestemd voor algemene en lokale toetsingen'. (Nederlands Normalisatie-instituut, 2011) In de Nationale Bijlage van deze norm staat dat dit belastingsmodel alleen mag worden toegepast als dit in de projectspecificatie van het afzonderlijke project staat voorgeschreven. Aangezien dit niet het geval is wordt dit belastingsmodel in het geheel niet meegenomen.

Belastingsmodel 4: 'belasting door een mensenmenigte, alleen bedoeld voor het uitvoeren van algemene toetsingen.' (Nederlands Normalisatie-instituut, 2011) In een opmerking wordt toegevoegd dat deze belasting in het bijzonder relevant kan zijn voor een brug in of nabij een stedelijk gebied. Hiermee is dit belastingsmodel voor deze brug meer dan relevant en wordt meegenomen.

Samenvattend geldt dat belasting modellen 1 en 4 relevant zijn voor beide constructies, en dat belastingsmodel 2 alleen voor de aanbrug relevant is. Belastingsmodel 3 wordt voor geen van beide constructies bepaald.

4.2.1. Verkeersbelasting volgens belastingsmodel 1

Het belastingsmodel 1 bestaat uit twee deelsystemen. Deelsysteem a neemt de geconcentreerde dubbele aslasten (tandemstel: TS) mee, en deelsysteem b neemt een gelijkmatig verdeelde belasting (UDL stelsel) mee. De gelijkmatig verdeelde belasting treedt op gelijktijdig op de aanbrug en het val op. De belasting uit deelsysteem a met de geconcentreerde dubbele aslasten treedt 1 keer op, of op de aanbrug, of op het val.

Deelsysteem a:

Bij dit systeem wordt de belasting per as gegeven door:

$$\alpha_Q \cdot Q_k$$

Waarin α_Q een correctiefactor is.

Deelsysteem b:

Bij dit systeem is de belasting per vierkante meter theoretische rijstrook:

$$\alpha_q \cdot q_k$$

Waarin α_q een correctiefactor is.

De waarden voor de belastingen zijn te vinden in de onderstaande tabel (Tabel 4-1: Belastingsmodel 1: karakteristieke waarden (tabel 4.2 van Eurocode 1))

Positie	Tandemstelsel TS	Gelijkmatig verdeelde belasting (GVB)
	Aslast $Q_{ik} (kN)$	$q_{ik} (of q_{rk}) (kN/m^2)$
Rijstrook nummer 1	300	9
Rijstrook nummer 2	200	2,5
Rijstrook nummer 3	100	2,5
Overige rijstroken	0	2,5
Resterende oppervlakte (q_{rk})	0	2,5

Tabel 4-1: Belastingsmodel 1: karakteristieke waarden (tabel 4.2 van Eurocode 1)

De details over waar deze belastingen aangrijpen, en hoe deze gerekend moeten worden is te zien in Figuur 4-5: Toepassing van belastingsmodel 1 (figuur 4.2a van Eurocode 1).

Als dit wordt toegepast voor de huidige situatie krijgt men de volgende belastingen:

Rijstrook nummer 1: $Q_{1k} = 300kN$; $q_{1k} = 9 kN/m^2$

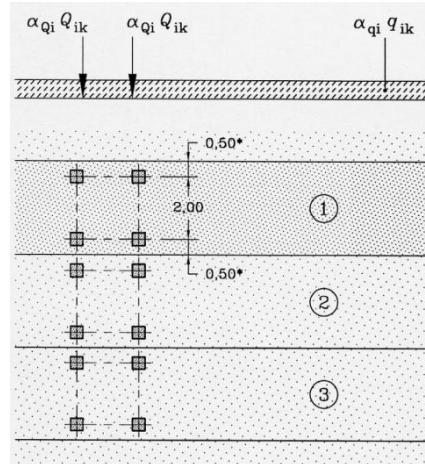
Rijstrook nummer 2: $Q_{2k} = 200kN$; $q_{2k} = 2,5 kN/m^2$

Rijstrook nummer 3: $Q_{3k} = 100kN$; $q_{3k} = 2,5 kN/m^2$

Overige rijstroken: $Q_{4k} = 0kN$; $q_{4k} = 2,5 kN/m^2$

Resterende oppervlakte: $Q_{rk} = 0kN$; $q_{rk} = 2,5 kN/m^2$

De hierboven genoemde waarden zijn de karakteristieke waarden. Hierop kunnen nog correctiefactoren worden toegepast, α_{Q1} , α_{q1} en α_{qr} . Deze waarden worden bepaald aan de hand van het aantal vrachtwagens per jaar per rijstrook voor zwaar verkeer (N_{obs}).



Figuur 4-5: Toepassing van belastingsmodel 1 (figuur 4.2a van Eurocode 1)

Volgens de Eurocode zijn alle wegen in te delen in 4 verkeerscategorieën. Deze verkeerscategorieën lopen van lokale wegen met weinig vrachtverkeer tot wegen en autosnelwegen met intensief vrachtverkeer, zie onderstaande tabel (Tabel 4-2: Indicatief aantal van verwachte zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer (tabel 4.5 uit Eurocode 1))

Verkeerscategorie		N_{obs} per jaar per rijstrook voor zwaar verkeer
1	Wegen en autosnelwegen met twee of meer rijstroken per richting en met intensief vrachtverkeer	2×10^6
2	Wegen en autosnelwegen met gemiddeld vrachtverkeer	$0,5 \times 10^6$
3	Hoofdwegen met weinig vrachtverkeer	$0,125 \times 10^6$
4	Lokale wegen met weinig vrachtverkeer	$0,05 \times 10^6$

Tabel 4-2: Indicatief aantal van verwachte zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer (tabel 4.5 uit Eurocode 1)

De Wilhelminastraat (de weg die over de Wilhelminabrug ligt) valt onder verkeerscategorie 3 en heeft daarmee een indicatief aantal vrachtwagens van 125.000 per rijstrook per jaar. Verkeerscategorie 4 is voor landelijke wegen, en verkeerscategorie 2 gaat uit van gemiddeld vrachtverkeer. Kijkend naar de tabel met correctiefactoren Tabel 4-3: Correctiefactoren α_{Q1} , α_{q1} en α_{qr} (tabel NB.1 uit Eurocode 1) is te zien dat aan de hand van de overspanning en het aantal vrachtwagens een correctiefactor bepaald kan worden. Met naar verwachting 125 000 vrachtwagens per jaar en een overspanning van 14 m zou bij benadering de situatie met 200 000 vrachtwagens bij een overspanning van 20 m een goede vergelijking zijn. In deze situatie komen α_{Q1} en α_{q1} op een waarde van 0,97 uit en α_{qr} op 0,90. De invloed van deze correctiefactoren is dusdanig beperkt dat deze niet wordt meegenomen.

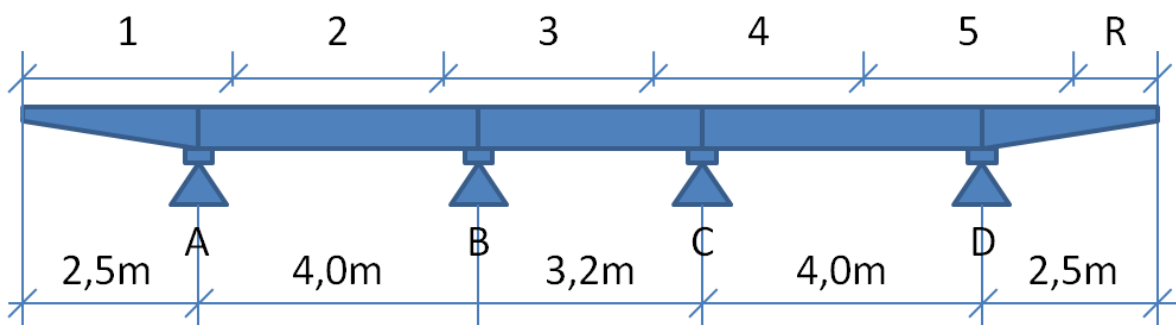
Aantal vrachtwagens per jaar per rijstrook voor zwaar verkeer N_{obs}	α_{Q1} en α_{q1}				α_{qr}
	Lengte van de overspanning of invloedslengte (L)				
	20 m	50 m	100 m	≥ 200 m	
$\geq 2\,000\,000$	1,0	1,0	1,0	1,0	
200 000	0,97	0,97	0,95	0,95	0,90
20 000	0,95	0,94	0,89	0,88	0,80
2 000	0,91	0,91	0,82	0,81	0,70
200	0,88	0,87	0,75	0,74	0,60

Tabel 4-3: Correctiefactoren α_{Q1} , α_{q1} en α_{qr} (tabel NB.1 uit Eurocode 1)

Belasting op het val

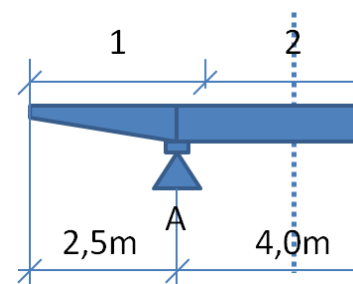
Als eerste wordt nu de belasting op het val van de bascule brug gezet om zo in de verschillende scenario's de maatgevende belasting uit te zoeken. Om de werkelijke belasting te bepalen die in de punten optreedt is meer informatie nodig, vooral informatie over de dwarsliggers in de brug. Deze spreiden de last namelijk over de andere liggers wat de belasting gelijkmatiger verdeelt over de oplegpunten. Omdat echter zowel over de langs- als over de dwarsliggers geen gegevens beschikbaar zijn wordt hier de spreiding in dwarsrichting niet meegenomen. Hierdoor zal de belasting zwaarder uitvallen dan in werkelijkheid.

Als schematisatie kan de brug worden terug gebracht tot de onderstaande constructie (Figuur 4-6: Doorsnede van Wilhelminabrug in schematische voorstelling). Hier is de brug ingedeeld in theoretische rijstroken met daaronder de constructie waar de opleggingen de punten zijn waar de oplegpunten zijn (opleg punt A, B, C en D). In het verlengde van deze assen zijn de vier hoofd draagliggers (ligger A, B, C en D) van de brug die aan de achterkant aan de twee contragewichten vast zitten.



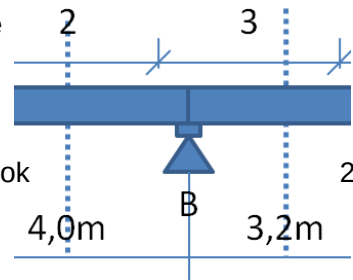
Figuur 4-6: Doorsnede van Wilhelminabrug in schematische voorstelling

De Eurocode geeft karakteristieke waarden voor de 'vrachtwagen rijstrook' die echter in verschillende scenario's op iedere theoretische rijstrook gerekend moet worden. Met verwaarlozing van de dwarskrachtenspreiding wordt voor steunpunt A de zwaarste belasting verwacht als rijstrook 1 de vrachtwagen rijstrook is, en rijstrook nummer 2 de tweede rijstrook is, dit is scenario 1 (zie Figuur 4-7: Detail ter plaatse van steunpunt A in scenario 1). Aangezien er voor rijstrook 2 wel een puntlast wordt gerekend, maar niet voor de restructuur is scenario 1 ook voor steunpunt D te gebruiken.



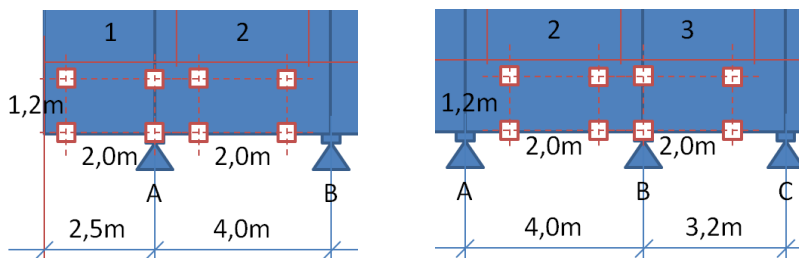
Figuur 4-7: Detail ter plaatse van steunpunt A in scenario 1

Bij scenario 2 wordt gekeken naar de belasting die op de steunpunten B en C zal komen. Door de afmetingen zijn de belastingen op steunpunt B gelijk aan die van steunpunt C. Hier wordt gekeken naar steunpunt B, hierbij wordt rijstrook 3 als de eerste zware vrachtwagen rijstrook gerekend, en rijstrook wordt de tweede rijstrook (zie Figuur 4-8: Detail ter plaatste van steunpunt B in scenario 2).



Figuur 4-8: Detail ter plaatste van steunpunt B in scenario 2

In deze scenario's is gesproken over de verdeling van de gelijkmatig verdeelde belastingen. Hiernaast geeft de Eurocode ook een puntlast voor een tandemstel. Beide scenario's worden de aslasten gepositioneerd boven de sluiswand van de aanbrug. Zo wordt de meest ongunstige en dus maatgevende situatie bepaald (zie Figuur 4-9: As plaatsing voor resp. scenario 1 en 2):

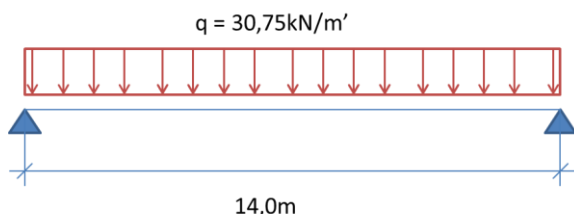


Figuur 4-9: As plaatsing voor resp. scenario 1 en 2

Scenario 1

Met de aannames en analogieën is het nu mogelijk om de belasting op de steunpunten te berekenen. Begonnen wordt met de gelijkmatig verdeelde belasting op de ligger achter steunpunt A (vanaf nu ligger A). Op rijstrook 1 geldt een gelijkmatig verdeelde belasting van 9 kN/m^2 . De breedte van deze strook is $3,0 \text{ m}$ dat maakt dat de belasting per meter ligger uitkomt op $27,0 \text{ kN/m}'$.

Voor rijstrook 2 geldt een gelijkmatig verdeelde belasting van $2,5 \text{ kN/m}^2$. Van het $4,0 \text{ m}$ brede veld draagt de helft af naar ligger A en de ander helft naar ligger B. Daarom wordt hier voor de breedte $1,5 \text{ m}$ genomen. Hiermee komt de lijnbelasting op $3,75 \text{ kN/m}'$. Bij elkaar genomen speelt er op ligger A een belasting van $30,75 \text{ kN/m}'$ (zie Figuur 4-10: Belasting van ligger A in scenario 1).

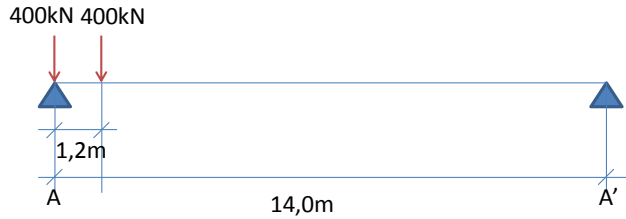


Figuur 4-10: Belasting van ligger A in scenario 1

Om nu van de GVB naar de belasting in de steunpunten te gaan is het nodig om de totale belasting van de ligger te bepalen. Vervolgens kan gesteld worden dat de helft van deze belasting naar het oostelijke steunpunt A gaat (F_{qA}).

$$F_A = \frac{30,75 \cdot 14,0}{2} = 215 \text{ kN}$$

Vervolgens komt hier de belasting bij ten gevolge van de puntlast. De aslast voor rijstrook 1 is 300kN per as, en voor rijstrook 2 is deze 200kN . In de norm staat beschreven dat de assen gelijke banden aan beide zijde moeten hebben, zo doende kan voor ieder wiel ook een puntlast worden beschreven van de helft van de aslast. De aslast vanuit rijstrook 1 draagt volledig op ligger A, die vanuit rijstrook 2 is exact gecentreerd boven dat veld. Hier kan gesteld dat ligger A de linker twee wielen draagt, en dat ligger B de rechter twee wielen draagt. Hiermee komt de belasting neer op Figuur 4-11: Aslasten op ligger A in scenario 1. De puntlasten zijn voort gekomen uit de complete aslast van rijstrook 1 (300kN) en daarbij de halve aslast van rijstrook 2 ($\frac{1}{2} \cdot 200\text{kN}$). De puntlast die exact boven het steunpunt wordt direct door het steunpunt opgenomen. De reactiekracht van het steunpunt A is eenvoudig te bepalen:



Figuur 4-11: Aslasten op ligger A in scenario 1

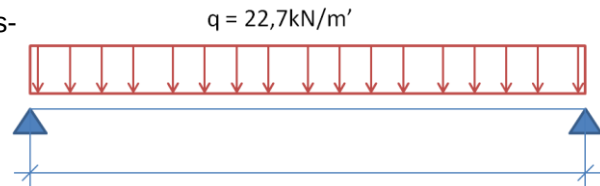
$400 \cdot 12,8 - F_{pA} \cdot 14,0: F_{pA} = 365\text{kN}$.

De totale belasting in punt A, ten gevolge van de aslasten is hiermee:

$$F_{pA} = 365 + 400 = 765\text{kN}$$

Scenario 2

Vervolgens is ook voor scenario 2 de belasting te bepalen met grotendeels dezelfde analogieën als gebruikt in scenario 1. Veld 3 heeft de meeste invloed op ligger B, daarom is deze gekozen als zware vrachtwagen strook. Hiervoor geldt dus de GVB van 9kN/m^2 . De breedte van rijstrook 3 die op ligger B afdraagt is $2,1\text{m}$, dit leidt tot een belasting van $18,9\text{kN/m'}$.



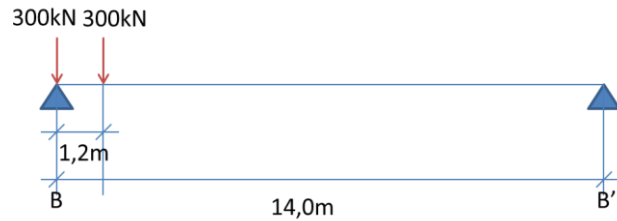
Figuur 4-12: Belasting van ligger B in scenario 2

De belasting uit rijstrook 2, met een breedte van $1,5\text{m}$ en een karakteristieke GVB van $2,5\text{kN/m}^2$ leidt tot een belasting van de ligger van $3,75\text{kN/m'}$. Na het sommeren van deze twee belastingen geldt voor de ligger een belasting van $22,7\text{kN/m'}$ (zie Figuur 4-12: Belasting van ligger B in scenario 2). Met deze belastingen komt de puntkracht in steunpunt B (F_B) neer op:

$$F_{qA} = \frac{22,7 \cdot 14,0}{2} = 159\text{kN}$$

Tot slot wordt ook voor scenario 2 de belasting van de oplegging door de aslasten bepaald. Net als in scenario 1 is vastgesteld, draag de helft van de belasting uit rijstrook 2 af op ligger A en de andere helft draagt af op ligger B. Daarom wordt ook hier voor de aslast uit rijstrook 2 de halve aslast genomen ($\frac{1}{2} \cdot 200\text{kN}$).

Rijstrook 3 is in dit scenario de hoofdrijstrook voor de vrachtwagens en wordt belast met een aslast van 300kN . De twee linker wielen bevinden zich recht boven ligger B. Deze belasting wordt volledig door ligger B opgenomen.



Figuur 4-13: Aslasten op ligger B in scenario 2

Het bepalen van de belasting van het rechter wiel ligt iets gecompliceerder. Het veld tussen B en C is 3,2 meter lang, waarbij het hart van het wiel $2,0\text{m}$ afstand heeft ten opzichte van steunpunt B, en $1,2\text{m}$ vanaf steunpunt C. Met de afstand vanaf het wiel naar beide steunpunten kan bepaald worden hoe de krachtsafdracht plaats vindt. In dit geval gaat $62,5\%$ naar steunpunt C, en $37,5\%$ naar steunpunt B. Gezien de last per wiel van 150kN , geeft het rechter wiel een belasting van 56kN , wegens significantie afgerond naar 50kN .

De totale belasting per punt komt nu neer op 300kN , opgebouwd uit 100kN uit rijstrook 2, 150kN vanuit het linker wiel in rijstrook 3 en $\sim 50\text{kN}$ vanuit het rechter wiel. Wederom geldt hier dat de puntlast die boven het steunpunt wordt direct opgenomen. De kracht ten gevolge van de andere puntlast is: $300 \cdot 12,8 - F_{pA} \cdot 14,0$; $F_{pA} = 274\text{kN}$. Totaal is dit $300\text{kN} + 274\text{kN} = 574\text{kN}$

Belasting op de aanbrug

De belasting voor de aanbrug wordt exact als bij het eerder berekende val opgedeeld in een belasting door een as, en een belasting door een gelijkmatig verdeelde belasting. De waarden die hier aangehouden worden zijn gelijk als bij het val (zie Tabel 4-1: Belastingsmodel 1: karakteristieke waarden (tabel 4.2 van Eurocode 1)). Ook voor de aanbrug wordt een weg van verkeerscategorie 3 genomen met een aantal vrachtwagens van ongeveer 125.000 per rijstrook per jaar. Omdat bij de berekening van de brug is gebleken dat de invloed van de correctie factoren beperkt is en de situatie hier vergelijkbaar is worden ook bij deze berekening de correctiefactoren achterwege gelaten. De bijbehorende belastingen worden hiermee identiek aan de Wilhelminabrug:

Rijstrook nummer 1: $Q_{1k} = 300\text{kN}$; $q_{1k} = 9\text{ kN/m}^2$

Rijstrook nummer 2: $Q_{2k} = 200\text{kN}$; $q_{2k} = 2,5\text{ kN/m}^2$

Rijstrook nummer 3: $Q_{3k} = 100\text{kN}$; $q_{3k} = 2,5\text{ kN/m}^2$

Overige rijstroken: $Q_{4k} = 0\text{kN}$; $q_{4k} = 2,5\text{ kN/m}^2$

Resterende oppervlakte: $Q_{rk} = 0\text{kN}$; $q_{rk} = 2,5\text{ kN/m}^2$

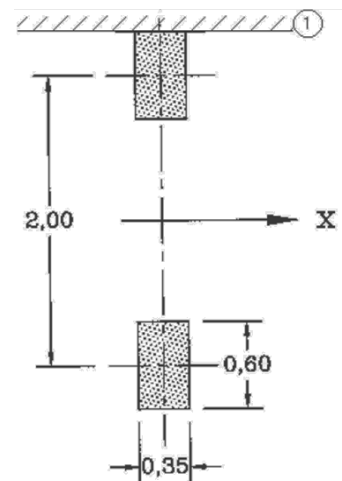
Hierbij worden de puntlasten per situatie anders geplaatst om voor per rijstrook de maatgevende situatie te schematiseren.

4.2.2. Verkeersbelasting volgens belastingsmodel 2

Dit belastingsmodel neemt de invloed van een zeer plaatselijke belasting mee. Deze belasting moet worden toegepast op iedere willekeurige positie van de rijweg. Deze belasting wordt geschreven als $\beta_Q \cdot Q_{ak}$

Hierbij is de aslast (Q_{ak}) gelijk gesteld aan $400kN$. Als correctiefactor voor deze belasting geldt β_Q . In de nationale bijlage wordt β_Q gelijk gesteld aan α_{Q1} . De waarde van α_{Q1} komt ongeveer neer op 0,97 wat een afname van 3% is. Vanwege het geringe effect hiervan wordt deze reductiefactor achterwege gelaten.

Omdat dit belastingsgeval de invloed van een zeer plaatselijke belasting mee neemt is de oppervlakte waarop deze werkt belangrijk. Deze contactoppervlakte is dan ook duidelijk vastgesteld voor dit belastingsgeval (zie Figuur 4-14: Contactoppervlak bij Belastingsgeval 2).



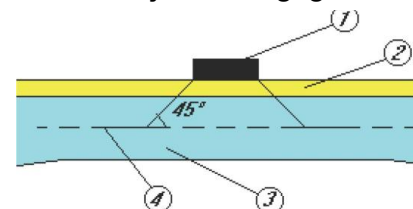
Verklaring

X Lengterichting van de brug
1 Stootrand

Figuur 4-14: Contactoppervlak bij Belastingsgeval 2

Spreiding van de aslasten

De Eurocode geeft voor de lokale toetsingen van belastingsmodel 1 en 2 de mogelijkheid om een spreiding toe te passen. Hiermee kan de spreiding worden bepaald die optreedt door de slijtlaag en de betonconstructie (zie Figuur 4-15: Spreiding van geconcentreerde belastingen (figuur 4.4 uit Eurocode)). De voorwaarden hiervoor is dat de spannings spreiding 1 op 1 genomen moet worden tot het midden van de rijvloer.



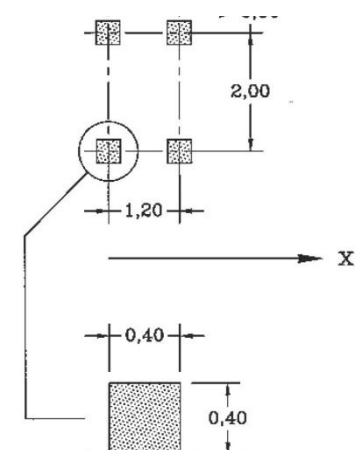
Verklaring

- 1 wielcontactdruk
- 2 slijtlaag
- 3 betonnen rijvloer
- 4 middenvlak van de betonnen rijvloer

Figuur 4-15: Spreiding van geconcentreerde belastingen (figuur 4.4 uit Eurocode)

De betonvloer van de aanbrug heeft een dikte van 350mm en standaard wordt voor de dikte van een asfalt verharding in de praktijk een ondergrens van 50mm aangehouden. De spreiding hiermee is aan alle zijden 50mm door het asfalt en 175mm tot het hart van het beton. Een totale spreiding van 225mm treedt dus op.

De originele oppervlakte van die voor het tandem as in rekening gebracht wordt is een vierkant met zijden van 0,4m (zie Figuur 4-16: Oppervlakte belasting spreiding BM1). Met een spreiding aan alle zijden van 225mm komt dit neer op een vierkant met zijden $400 + 2 \times 225 = 850mm = 0,850m$.



Figuur 4-16: Oppervlakte belasting spreiding BM1

Echter is dit enkel de spreiding van de belasting tot het hart van de constructie. In werkelijkheid treedt er meer spreiding op, doordat de constructie als plaat in de breedte spreidt. Het afdragen van de belasting zal dus niet binnen de 1 meter breedte van de constructie blijven die beschouwd wordt. Over de breedte van de rijstrook kan goed worden aangenomen dat de spreiding over de volle rijstrook optreedt. Door middel deze 3 meter wordt dus voor de volledige as last aangehouden. Hiermee komt de belasting per wiel op 1,5 meter. De lijnbelasting die optreedt over de 0,85m lengte van de constructie komt neer op:

$$\frac{300kN}{3 \cdot 0.85} = 118 \text{ kN/m}$$

Voor belastingsmodel 2 wordt een andere vorm aangegeven, een rechthoek met twee zijden van 0,35m en twee zijden van 0,60m (zie Figuur 4-14: Contactoppervlak bij Belastingsgeval 2). Met dezelfde spreiding komt in rekening te brengen breedte voor het rekenpakket op een rechthoek met 2 zijden van $350 + 2 \times 225 = 800\text{mm}$ en 2 zijden van $600 + 2 \times 225 = 1050\text{mm}$.

Ook voor dit belastingsgeval zal de belasting spreiden als gevolg van de eigenlijke plaatwerking. Daarom wordt voor deze enkele as dezelfde spreiding, over de volle 3 meter van de rijstrook. Daarmee komt deze belasting neer op

$$\frac{400kN}{3 \cdot 0.8} = 167 \text{ kN/m}$$

4.2.3. Verkeersbelasting volgens belastingsmodel 4

Belastingsmodel 4 berust op de situatie dat de brug gebruikt wordt door een mensenmassa. Dit kan gebeuren in het geval van een calamiteit of evacuatie naar de andere zijde van de brug. Voor de mensenmassa wordt een gelijkmatig verdeelde belasting gerekend.

Belasting op het val

In dit geval is de overspanning 14m waarmee de karakteristieke waarde van de gelijkmatig verdeelde belasting per oppervlakte ($q_{f;k}$) gelijk aan:

$$q_{f;k} = 2,0 + \frac{120}{L + 30} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Waarbij geldt:

$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{f;k} \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Met een overspanning (L) van 14m komt de belasting uit op:

$$q_{f;k} = 2,0 + \frac{120}{14 + 30} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

Dit ligt binnen de gestelde grenzen van $2,5 \text{ kN/m}^2$ en $5,0 \text{ kN/m}^2$. De belasting ($q_{f;k}$) wordt over de gehele constructie gerekend waarbij een breedte van 16,2m en een lengte van 14,0m geldt. Vervolgens wordt voor de krachtsafdracht die van een ligger op twee steunpunten genomen. De helft van de belasting wordt afgedragen naar de oostzijde en de andere helft van de belasting wordt afgedragen naar de westzijde. Verder is op foto's te zien (Figuur 4-17: Foto van Wilhelminabrug in geopende toestand) dat het huidige val op 4 punten steunt op de oostzijde. Wegens ontbrekende gegevens wordt aangenomen dat het nieuwe val dezelfde structuur heeft en dat de belasting over alle 4^e punten gelijk is verdeeld. Dit is aannemelijk aangezien de breedte van het nieuwe val gelijk is aan het bestaande enkel de lengte neemt toe.



Figuur 4-17: Foto van Wilhelminabrug in geopende toestand

Voor de totale belasting op het gehele val geldt nu:

$$4,79 \text{ kN/m}^2 \cdot 16,2\text{m} \cdot 14,0\text{m} = 1086 \text{ kN}$$

Vervolgens wordt de helft van deze belasting verdeeld over de 4 steunpunten aan de oostzijde. Daarmee is de karakteristieke belasting per steunpunt (F_k):

$$F_k = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1086 \text{ kN}}{4} = 136 \text{ kN}$$

Belasting op de aanbrug

Dit belastingsmodel is bij de Wilhelminabrug al toegepast, daarom wordt deze hier beknopt uitgewerkt. De waarde voor de GVB is afhankelijk van L . Letterlijk geldt: 'L is de getalswaarde van de kleinste aaneengesloten lengte van de invloedslin met hetzelfde teken, in m'. Aangezien deze waarde bij de Wilhelminabrug bij lange na niet maatgevend was en omdat de waarde toen al redelijk dicht bij de bovengrens van 5 kN/m^2 lag, wordt deze laatste aangehouden. De mensenmassa van belastingsmodel wordt dus aan 5 kN/m^2 gelijk gesteld. De belasting die in het val optreedt ten gevolge van belastingsmodel 4 is significant lager dan ten gevolge van belastingsmodel 1. Daarom wordt belastingsmodel 4 voor de aanbrug niet berekend maar verwaarloosd.

4.2.4. Rem- en aanzetkrachten

Om de horizontale kracht mee te nemen die het verkeer op de brug uitoefent worden deze als rem- en aanzet krachten beschreven. Hiervoor zijn de grenzen aangegeven in de 'Eurocode 2-1, Rem- en versnellingskrachten'. Voor deze horizontale krachten Q_{Ik} voor de volledige brug is een bovengrens gegeven van 900 kN . Verder wordt de waarde voor deze belasting beschreven als een percentage van de totale maximale verticale belasting volgens belastingsmodel 1 voor rijstrook 1. Als functie voor Q_{Ik} is het volgende gegeven:

$$Q_{Ik} = 0,6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot (2Q_{1k}) + 0,10 \cdot \alpha_{Q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$

Hierbij geldt:

α_{Q1} en $\alpha_{q1} = 1,0$ wegens de zeer beperkte invloed

$$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$$

$$q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$$

$w_1 = 3 \text{ m}$, breedte van rijstrook 1;

$L = 28,1 \text{ m}$; lengte van de aanbrug

Hiermee komt Q_{Ik} neer op:

$$Q_{Ik} = 0,6 \cdot 1,0 \cdot (2 \cdot 300) + 0,10 \cdot 1,0 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 28,1 = 360 + 75,9 \cong 436 \text{ kN}$$

Voor de uiteindelijke waarde van Q_{Ik} moet voldaan worden aan de volgende voorwaarde:

$$180\alpha_{Q1} \leq Q_{Ik} \leq 900$$

De gevonden waarde van 436 kN voldoet aan de voorwaarde en is daarvoor geldig. Gezien de plaatwerking die de het dek vertoont als de remkrachten optreden, is de remkracht verspreid over de oppervlakte van 1 volledige rijstrook.

5. EUROCODE 1: BELASTINGEN OP CONSTRUCTIES – OVERIGE BELASTINGEN

Ook al beschrijft de Eurocode een groot aantal belastingen, er zijn altijd belastingen die specifiek voor een project zijn. Zo levert een basculebrug een extra belasting op het brughoofd zo wanneer deze vergrendeld wordt. Dit is om te voorkomen dat de brug open gaat voor deze vergrendeld is. Dit soort specifieke belastingen worden hieronder beschreven. Wanneer deze belastingen relevant zijn wordt de belasting bepaald.

5.1. Opzetkrachten van het val

Bij het sluiten van de brug komt het val tot stilstand op de sluiswand. Zodra het val zich bijna in de gesloten positie bevindt, is de vaart van het val gering. Echter oefent het val een kracht uit op de sluiswand zodra deze dicht is. Deze kracht is niet bekend, omdat dit een samenwerking is van het val met het contragewicht en de snelheid die het val op dit moment heeft. Vervolgens wordt een extra moment op de brug uitgeoefend zodra de brug zich vergrendeld in gesloten situatie. Ook hierdoor komt (tijdelijk) een extra moment op het landhoofd. Omdat het val buiten de scope van het afstuderen valt worden deze krachten niet bepaald maar wordt deze verwaarloosd. Deze aanname wordt versterkt door het uitgangspunt dat zodra de brug open is, er zich geen verkeer op de brug bevindt. Zo is de verkeersbelasting niet van toepassing bij het sluiten van de brug of bij het vergrendelen van de brug. Immers, na de sluitingen vergrendeling wordt de brug pas vrijgegeven voor verkeer, dit maakt dat deze aanname realistisch is.

5.2. Belasting uit oude en/of nieuwe sluishoofd

Belasting uit zowel het oude, als die uit het nieuw te realiseren sluishoofd zijn niet van toepassing voor dit onderzoek. Door de al aanwezig dilatatievoegen is het aannemelijk dat de onderlinge krachtsafdracht beperkt is. Vervolgens is voor de in kadering van dit afstudeeronderzoek bepaald dat deze krachten verwaarloosd kunnen worden.

5.3. Ijsbelasting

In het geval van ijsvorming treedt er een grote kracht op vanuit het ijs op de sluiswand. Water dat bevriest neemt meer volume in dan water wat vloeibaar is. De grootste kracht treedt echter op wanneer de temperatuur omhoog gaat. Het ijs is dan nog steeds in bevroren toestand maar komt dicht naar het dooipunt. Door dit temperatuursverschil zet het ijs nog iets verder uit. In de ROK is een waarde voor de ijsbelasting gegeven. Hier wordt uitgegaan van een horizontale drukbelasting van 400 kN/m' op het niveau van de verwachte waterstand in bevroren sluiskolk. Echter bestaat er een officiële discussie nota waarin deze waarde voor de ijsbelasting uitgebreid beschreven wordt. In deze discussie nota, met als titel 'Stuvo-rapport 059 - Ijsbelastingen' wordt onderzoek gedaan naar de werkelijke belasting van ijs op een constructie. Als conclusie mag voor de ijsbelasting de volgende waarde aangehouden worden.

Een representatieve lijnbelasting van 100 kN/m' of een rekenwaarde van 150 kN/m' op 0,2m onder de verwachte waterstand. Als een constructie een verplaatsing van $u_x = 15 \text{ mm}$ aan kan hoeft er geen belasting voor het ijs in rekening gebracht te worden. Hierachter schuilt dat als het ijs 15mm ruimte krijgt om uit te zetten, dat het dan niet verhinderd wordt in het uitzetten en zodoende geen belasting vormt voor de sluiswand. In deze situatie wordt de rekenwaarde van 150 kN/m' aangehouden omdat deze verplaatsing niet kan optreden.

5.4. Belasting op de keldervloer

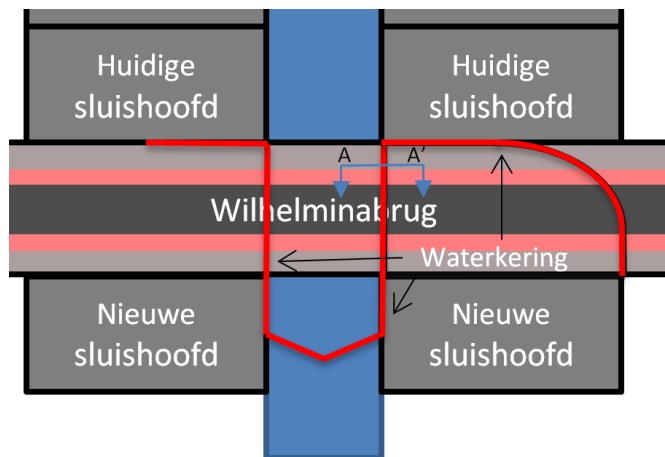
Een andere situatie die niet in de Eurocode beschreven wordt is de keldervloer onder de aanbrug. Deze vloer is in de begin jaren als opslag gebruikt. Dit is nu echter niet meer de situatie, en verdere plannen hier toe zijn er ook niet. Het is dus een lege ruimte waar geen bestemming is en geen plannen zijn voor een bestemming. Hiermee is het lastig om een belasting te bepalen omdat in de Eurocode een bestemming nodig heeft om een karakteristieke belasting aan te hangen. Omdat het niet realistisch is om geen belasting te rekenen wordt de karakteristieke GVB voor een kantoorruimte van $2,5 \text{ kN/m}^2$ genomen als belasting op de keldervloer (Belasting komt uit de Eurocode 1-1-1, zie Tabel 5-1: Opgelegde belastingen op vloeren, balkons en trappen in gebouwen (tabel NB.1 - 6.2)).

Klasse van belaste oppervlakte	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Klasse A (wonen en huishoudelijk gebruik)		
A-vloeren	1,75	3
A-trappen	2,0	3
A-balkons	2,5	3
Klasse B (kantoorruimten)		
B-kantoorruimten	2,5	3
Klasse C (bijeenkomstruimten)		
C1-tafels	4,0	7
C2-vaste zitplaatsen	4,0	7
C3-zonder obstakels	5,0	7
C4-fysieke activiteiten	5,0	7
C5-grote mensenmassa's	5,0	7
Klasse D (winkelruimten)		
D1-kleinhandel	4,0	7
D2-warenhuizen	4,0	7

Tabel 5-1: Opgelegde belastingen op vloeren, balkons en trappen in gebouwen (tabel NB.1 - 6.2)

5.5. Water- en grondbelasting op de sluiswand

De Wilhelminasluis is naast een schutsluis ook onderdeel van een waterkering. Aan de noordzijde van de sluis loopt een regionale waterkering, en aan de zuidzijde is de sluis onderdeel van een primaire waterkering type C. Omdat van het nieuwe sluishoofd niet bekend is of deze een waterkerende functie heeft, is besloten om hier niet van uit te gaan. Hiermee loopt de waterkering globaal langs de sluisdeuren en de sluiswand naar de bestaande aanbrug. Vervolgens loopt de lijn langs de gewichtsmuur van de aanbrug het projectgebied uit (zie Figuur 5-1: Visuele loop van de waterkering).



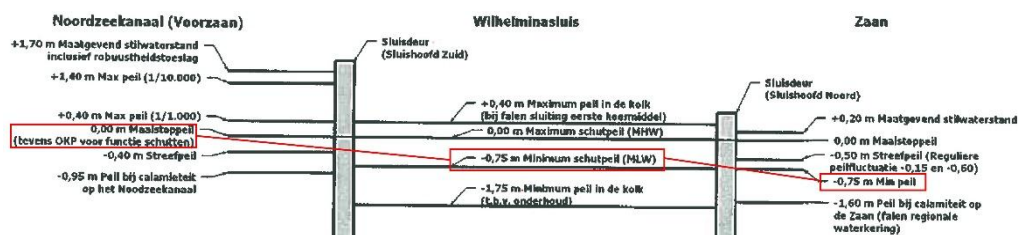
Figuur 5-1: Visuele loop van de waterkering

Als gevolg van het hoogte verschil ontstaan belastingen en als gevolg van de waterkering gelden er eisen voor de maatgevende waterhoogtes. In 'Bijlage 1 - Hydraulische randvoorwaarden Scenario's' zijn de verschillende waterhoogtes te zien in verschillende situaties.

5.5.1. Waterstand in Scenario 1 – normale waterstand

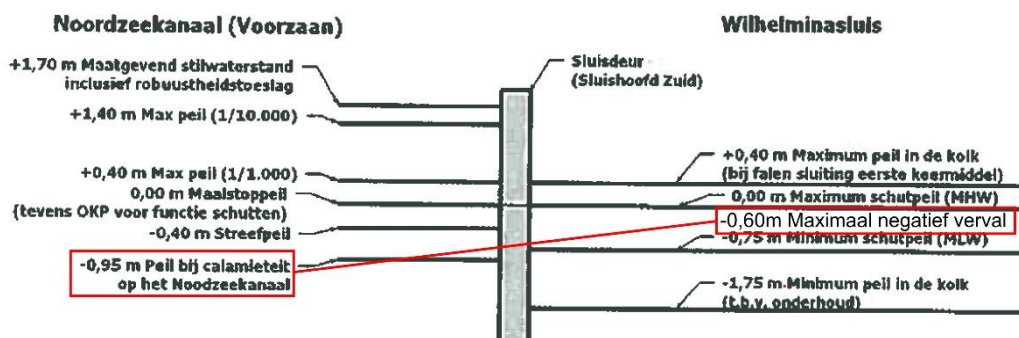
Het eerste scenario gaat uit van een relatief normale waterstand. Het uitgangspunt is een maximum schutpeil op het Noordzeekanaal, en een minimum peil op de Zaan (zie Figuur 5-2: Hydraulische randvoorwaarden - Scenario 1 - Normale waterstand. Bij het nivelleren van de sluiscolk met de Zaan staat deze op het minimum peil ($-0,75\text{m}$, alle waarden zijn t.o.v. NAP) terwijl het water op het Noordzeekanaal op het maximale schutpeil staat van $0,00\text{m}$. In dit scenario is er een positiefverval van $0,75\text{m}$ over de sluis.

Figuur 5-2: Hydraulische randvoorwaarden - Scenario 1 - Normale waterstand



5.5.2. Waterstand in Scenario 2 - Calamiteit op het Noordzeekanaal

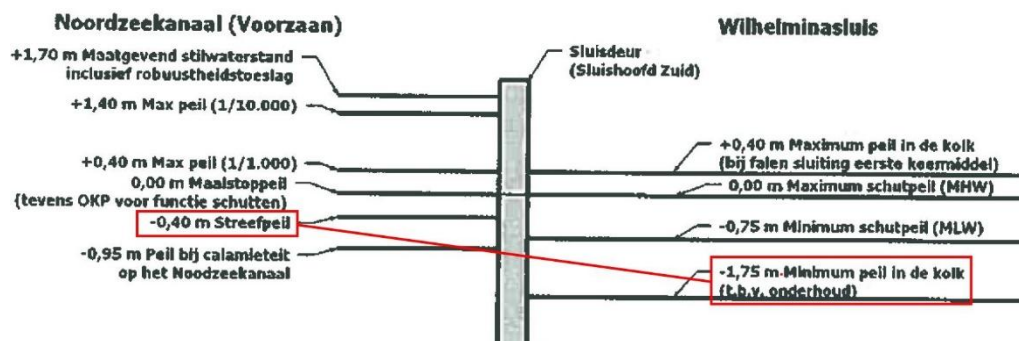
Het tweede scenario gaat uit van een verlaagde waterstand op het Noordzeekanaal als gevolg van een calamiteit (zie Figuur 5-3: Hydraulische randvoorwaarden - Scenario 2 - Calamiteit op het Noordzeekanaal. In geval van een calamiteit kan het peil van het Noordzeekanaal (en daarmee ook de Voorzaan) verlaagd worden tot $-0,95\text{m}$. Dit waterpeil is onder het minimum schutpeil dus hoeft er geen rekening gehouden te worden met het nivelleren van de sluis. Het waterpeil van de Wilhelminasluis moet in dit scenario zorgvuldig worden gehandhaafd op maximaal $-0,60\text{m}$ vanwege het maximale negatieve verval over de sluis van $0,35\text{m}$.



Figuur 5-3: Hydraulische randvoorwaarden - Scenario 2 - Calamiteit op het Noordzeekanaal

5.5.3. Waterstand in Scenario 3 – Onderhoud aan de Wilhelminasluis

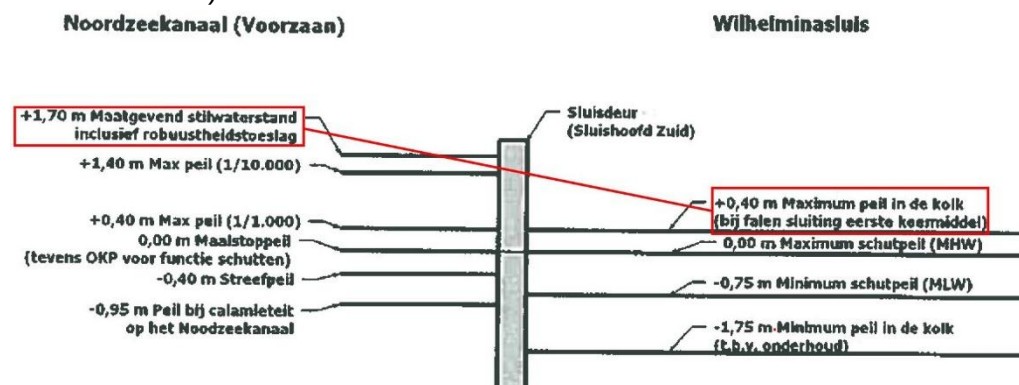
Dit scenario gaat uit van onderhoud aan de Wilhelminasluis (zie Figuur 5-4: Hydraulische randvoorwaarden - Scenario 3 - Onderhoud aan de Wilhelminasluis). De perioden dat er onderhoud aan de sluis wordt gepleegd zijn klein en kunnen gestuurd worden. Zodra het onderhoud buiten het stormseizoen wordt gehouden neemt de kans verder af dat een hoge waterstand optreedt. Tot slot kunnen hoogwatergolven vooraf ook voorspeld worden. Dit geeft tijd om de onderhoudswerkzaamheden te pauzeren en het peil in de sluis weer hoger te brengen. Daarom wordt in het geval van onderhoud aan de sluis voor het Noordzeekanaal het streefpeil aangehouden van -0,40m. Deze situatie geeft een positief verval van 1,35m over de sluis.



Figuur 5-4: Hydraulische randvoorwaarden - Scenario 3 - Onderhoud aan de Wilhelminasluis

5.5.4. Waterstand in Scenario 4 – Hoogwater op het Noordzeekanaal

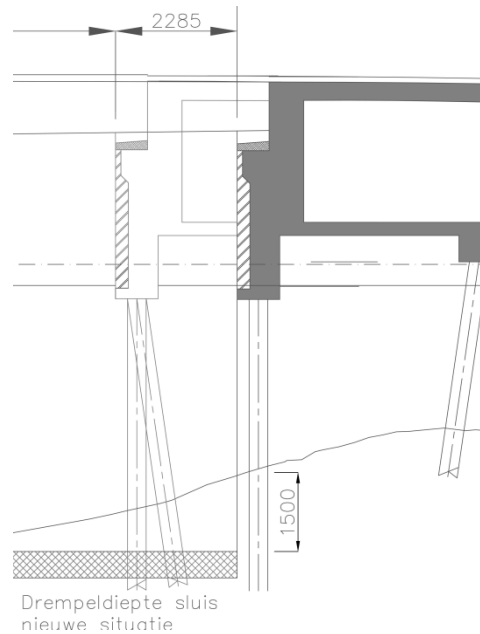
Hierbij wordt het zwaarste scenario voor het Noordzeekanaal mee genomen, het maximale peil inclusief robuustheidstoetslag. Op de Voorzaan treedt nu een waterstand van +1,70m op. Deze waterstand heeft een herhalingsdij van 1/10.000 en is daarmee een extreem scenario. Hierbij kan het waterpeil in de sluisdeur naar het maximum peil gebracht worden van +0,40m. Een waterstand als deze is immers ver voorbij het maximale schutpeil, waardoor schutten hierbij niet aan de orde is. Deze situatie geeft een verval over de sluis van 1,30m (zie Figuur 5-5: Hydraulische randvoorwaarden - Scenario 4 - Hoogwater op het Noordzeekanaal).



Figuur 5-5: Hydraulische randvoorwaarden - Scenario 4 - Hoogwater op het Noordzeekanaal

5.5.5. Permanente gronddrukken in alle scenario's

Naast het water levert ook het grondniveau ter plaatste van de damwand een belasting op de combiwand. In een uitgebreide tekening die onderdeel is van het contract is de situatie van het grondprofiel onder de bestaande aanbrug weergegeven. In de figuur hiernaast (Figuur 5-6: Detail situatie van het grondniveau bij de nieuwe sluiswand) is vanuit deze uitgebreide tekening verder gewerkt. De verplaatsing van de sluiswand is schematisch weer gegeven waardoor de hoogte van het grondprofiel te zien is die tegen de combiwand drukt. Het grondprofiel zou handmatig veranderd kunnen worden zodat deze belasting niet optreedt, maar door waterstromingen zal deze langzaam naar haar originele situatie terug keren. Daarom wordt deze originele situatie als uitgangspunt genomen.



Figuur 5-6: Detail situatie van het grondniveau bij de nieuwe sluiswand

5.6. Maatgevende belastingen op de combiwand

Door het combineren van de grond en waterbelastingen kan de maatgevende horizontale belasting bepaald worden. Als uitgangspunt wordt de Methode van Blum gebruikt om de horizontale drukken te bepalen. Voor de passieve en actieve gronddrukken wordt een $\phi = 30^\circ$ aangehouden waarmee de $k_a = 0,33$, $k_p = 3,00$ en $k_n = 0,5$. Als soortelijke gewichten wordt voor water een waarde aangehouden van $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ en voor $\gamma_{G:sat} = 20 \text{ kN/m}^3$. De situatie wordt bekeken voor een breedte van 1m.

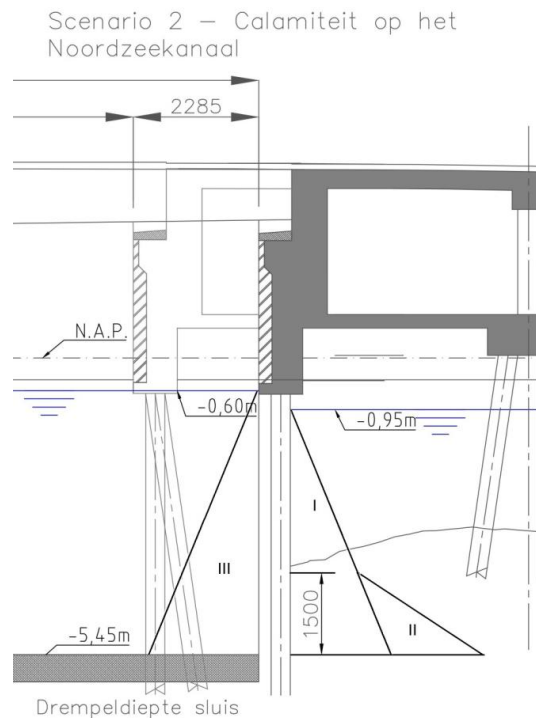
5.6.1. Horizontale belasting in Scenario 1

Vanwege het kleine hoogte verschil dat optreedt bij scenario 1, de normale waterstand, is de horizontale belasting relatief klein. Dit scenario wordt niet door gerekend aangezien het duidelijk is dat deze niet maatgevend zal zijn. Het positieve verval van 0,75m bij dit scenario t.o.v. 1,35m bij scenario 3 maakt dit duidelijk.

5.6.2. Horizontale belasting in Scenario 2

Met dit scenario wordt gekeken naar de situatie van een negatief verval over de sluis. Hierbij wordt uitgegaan van een maximaal verval van 0,35m aangezien dit het maximale negatieve verval is wat de sluis(deuren) aankunnen. Bij een groter verschil zullen de sluisdeuren bijvoorbeeld open gedrukt worden tot het verschil weer rond de 0,35m komt. Kijkend naar de krachten komt er een drukkracht op de grondhoogte, daarom wordt hier de grond als passief beschouwd. Verwacht wordt dat dit scenario niet maatgevend is vanwege de combinatie van een klein verval en een passieve gronddruk. Hieronder worden de krachten bepaald om deze verwachting te onderbouwen (zie Figuur 5-7: Grond- en waterstanden scenario 2).

- Voor vlak 1 geldt, een hoogte van $-5,45m$ tot $-0,95m$ dus $4,50m$. Soortelijk gewicht van het water is $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$. Voor de spanning ten gevolge van de waterdruk geldt:
$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h = 10 \cdot 4,5 = 45 \text{ kN/m'}$$
- Voor vlak 2 geldt een hoogte van $1,5m$ waarbij een verticale korrelspanning van $\sigma_{kv} = 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,5m = 15 \text{ kN/m}^3$. In dit geval zit de grond aan de passieve zijde. Echter door het kleine hoogte verschil komt een neutrale gronddruk dichterbij de werkelijkheid. Hiermee komt de horizontale kracht uit op:
$$\sigma_{gH} = k_n \cdot \sigma_{kv} = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ kN/m}^3.$$
- Voor vlak 3 geldt een hoogte van $-5,45m$ tot $-0,60m$ dus $4,85m$. Hiermee komt de spanning ten gevolge van de waterdruk uit op:
$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h = 10 \cdot 4,85 = 48,5 \text{ kN/m'}$$



Figuur 5-7: Grond- en waterstanden scenario 2

5.6.3. Horizontale belasting in Scenario 3

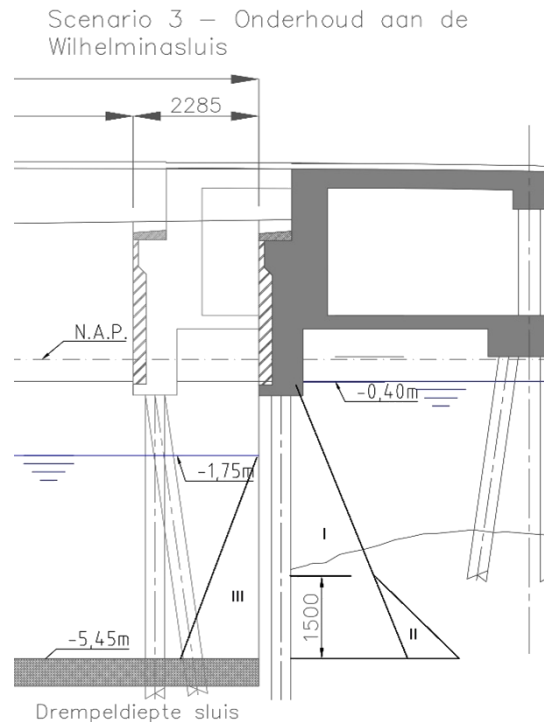
Ten tweede wordt het grootste positieve verval genomen, dit is een verschil van 1,35m dat optreedt bij onderhoud aan de Wilhelminasluis. De gronddruk van 1,5m werkt hierbij ongunstig en wordt gerekend als actieve gronddruk. Deze situatie wordt met behulp van de Blum methode (zie Figuur 5-8: Grond- en waterstanden scenario 3).

- Voor vlak 1 geldt een hoogte van $-5,45m$ tot $-0,40m$ dus $5,05m$. De spanning wordt hiermee:

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h = 10 \cdot 5,05 = 50,5 \text{ kN/m'}$$
- Voor vlak 2 geldt dezelfde hoogte van $1,5m$ maar wordt de grond nu als actief gerekend en daarvoor vermenigvuldigd met een waarde van $k_a = 0,33$:

$$\sigma_{gH} = k_a \cdot \sigma_{kv} = 0,33 \cdot 15 = 5 \text{ kN/m}^3$$
- Voor vlak 3 geldt een hoogte van $-5,45m$ tot $-1,75m$ dus totaal $3,7m$ waarmee deze spanning neerkomt op:

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h = 10 \cdot 3,70 = 37,0 \text{ kN/m'}$$



Figuur 5-8: Grond- en waterstanden scenario 3

5.6.4. Horizontale belasting in Scenario 4

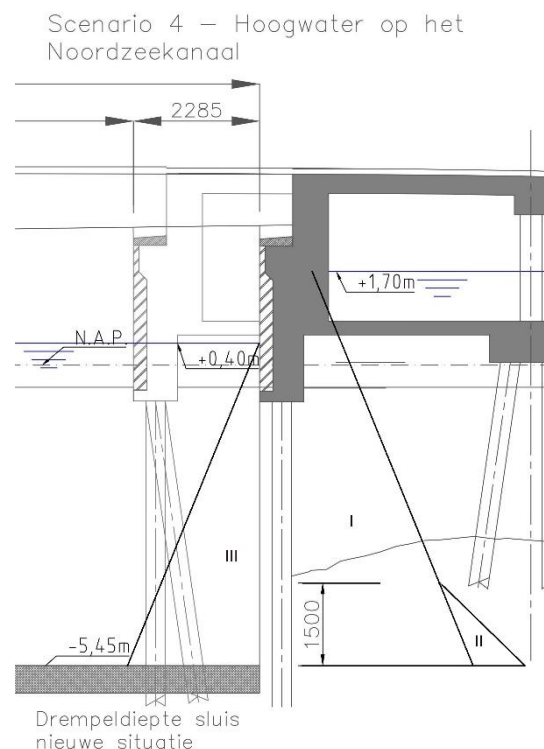
Ondanks dat scenario 4 niet het grootste verval heeft over de sluis wordt dit scenario toch bekeken. Het verschil van het verval met scenario 3 is miniem maar doordat in deze situatie een hogere waterstand optreedt, grijpt de belasting hoger aan (zie Figuur 5-9: Grond- en waterstanden scenario 4). Omdat deze berekening wordt gemaakt om de kracht uit te rekenen die op de aanbrug komt, kan deze kracht hoger uitvallen dan de kracht uit scenario 3. Wederom worden alle vlakken doorlopen:

- Vlak 1 heeft een hoogte van $-5,45m$ tot $+1,70m$ dus $7,15m$ wat leidt tot:

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h = 10 \cdot 7,15 = 71,5 \text{ kN/m'}$$
- Vlak 2 heeft wederom een hoogte van $1,5m$ en werkt in deze situatie ook als een actieve gronddruk:

$$\sigma_{gH} = k_a \cdot \sigma_{kv} = 0,33 \cdot 15 = 5 \text{ kN/m}^3$$
- Vlak 3 heeft een hoogte van $-5,45m$ tot $+0,40m$ dus $5,85m$:

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h = 10 \cdot 5,85 = 58,5 \text{ kN/m'}$$



Figuur 5-9: Grond- en waterstanden scenario 4

5.6.5. Schematisatie

Om vanuit de belasting op de combiwand naar de belasting op de sluiswand en aanbrug te komen wordt de combiwand gezien als een ligger op twee steunpunten die belast wordt door zowel waterdruk en de gronddruk. Voor de oplegpunten van de ligger wordt de b.k. sluisvloer en hart van de keldervloer aangehouden. Voor alle scenario's geldt deze tussenruimte ook als lengte van de ligger, zie het systeem in Tabel 5-2: Steunpuntsreacties uit de aanbrug tgv horizontale belasting). Voor de 3 uitgewerkte scenario's komt het model er als volgt uit te zien:

Reactiekrachten scenario 2:

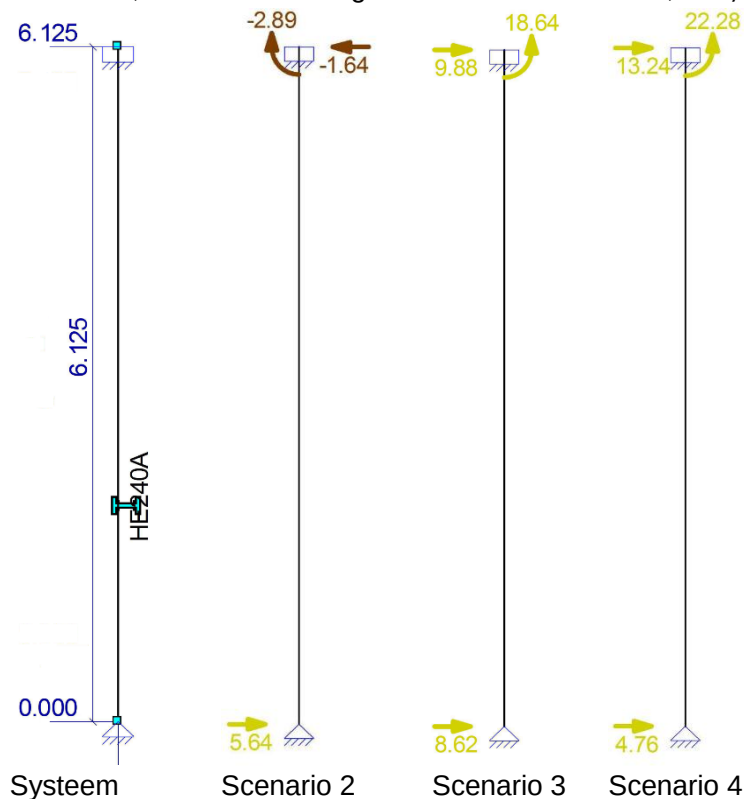
De eerder bepaalde kracht van 45 kN/m' voor vlak 1 grijpt op $1/3$ van de hoogte vanaf de bovenkant van de sluisvloer aan en heeft een arm van $1,50\text{m}$. Van vlak 2 grijpt de kracht van $7,5 \text{ kN/m'}$ aan op $0,5\text{m}$ vanaf b.k. sluisvloer. Het theoretische aangrijpingspunt van de kracht van vlak 3 ($48,5 \text{ kN/m'}$) grijpt $1,62\text{m}$ vanaf de b.k. sluisvloer aan.

Reactiekrachten scenario 3:

Voor dit scenario grijpt de kracht van $50,5 \text{ kN/m'}$ met een arm van $1,68\text{m}$. De kracht van 5 kN/m' grijpt eveneens met een arm van $0,5\text{m}$ aan. Tot slot grijpt de kracht als gevolg van de waterstand in de Wilhelminasluis (37 kN/m') aan op $1,23\text{m}$.

Reactiekrachten scenario 4:

Tot slot geldt voor dit scenario dat de spanning in vlak 1 met geschematiseerd kan worden met een puntlast van $71,5 \text{ kN/m}^3$ met een arm vanaf de bovenkant van de sluisvloer van $2,38\text{m}$. De kracht ten gevolge van de gronddruk is gelijk aan scenario 3: 5 kN/m^3 met een arm van $0,50\text{m}$. De belasting vanuit de sluiskolk is $58,5 \text{ kN/m}^3$ met een arm van $1,95\text{m}$.



Tabel 5-2: Steunpuntsreacties uit de aanbrug tgv horizontale belasting

6. SCHEMATISATIE VAN EEN CONSTRUCTIE NAAR EEN 2D-REKENMODEL

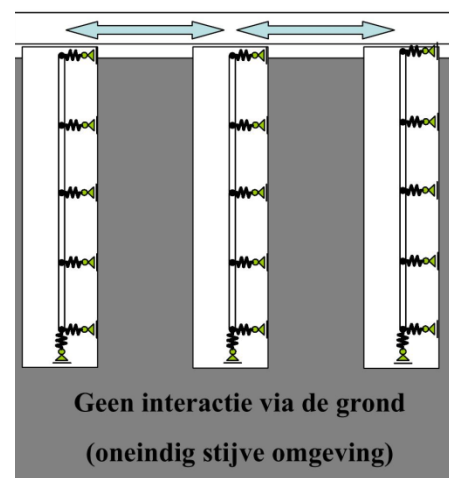
Om een 3D constructie terug te brengen naar een 2D rekenmodel moeten veel factoren in ogenschouw gehouden worden met als doel de werkelijke situatie zo dicht als mogelijk te benaderen.

Kijken naar de constructie het belangrijk om te bepalen welk deel van de constructie bekeken wordt. Ten eerste is het belangrijk waar de dwarsdoorsnede gemaakt wordt. Vervolgens is het belangrijk vast te stellen welke breedte van de constructie door het 2D model wordt bekeken. Hierin zijn twee voor de hand liggende opties, de eerste is 1m meter breedte. Het voordeel hiervan is dat de momenten en andere belastingen die uit het model komen in hand berekeningen 1 op 1 kunnen worden over genomen. Het nadeel is dat delen van de constructie die een afwijkende hart-op-hart maat hebben niet 1 op 1 ingevoerd kunnen worden. Hiervoor moet terug gerekend worden wat de eigenschappen van de paal per meter breedte van de constructie is.

De tweede mogelijkheid is het aanhouden van de hart-op-hart maat van de funderingspalen. Over het grootste deel van de constructie is dit een vaste maat van 2,75m. De sluiswand is hierop een uitzondering waar de dubbele hoeveelheid palen is gezet. Dit is echter nog steeds eenvoudig in te voeren. De voordelen van de eerste optie zijn hier de nadelen en vice versa. Gekozen wordt om 1m breedte van de constructie te nemen. Bij het inschatten nu lijkt het eenmalig goed opletten bij het invoeren op te wegen tegen het eenvoudig kunnen overnemen van de belastingen.

6.1. Schematisatie verende funderingspalen

Funderingspalen in een grondpakket kunnen zowel horizontaal als verticaal 'bewegen'. De paal zit weliswaar in de grond geklemd, maar het grondpakket is geen starre constructie. Bij verticale belasting wordt de grond onder de funderingspaal belast en gaat als gevolg daarvan iets zakken. Hetzelfde geldt voor een horizontale belasting op de funderingspaal. Als model kan de paal worden gezien als een horizontaal en verticaal geveerd ondersteunde ligger (zie Figuur 6-1: Schematisatie van liggers als een verend ondersteunde kolom). In deze figuur is dit principe gevisualiseerd.

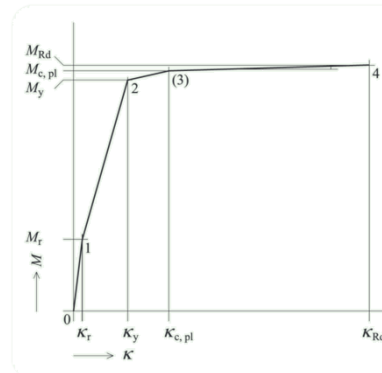


Figuur 6-1: Schematisatie van liggers als een verend ondersteunde kolom

Het belangrijkste is dus om deze veerconstante te bepalen zodat duidelijk wordt wat het effect is van de grond op de paal. Voor de ondersteuning van de paal zijn twee verschillende veerconstante te onderscheiden: een horizontale en een verticale. De verticale waarde is uit twee onderdelen opgebouwd, de indrukking van de paal, en de indrukking van de grond bij verticale belasting. In functieform wordt kan dit geschreven worden als:

$$\frac{1}{k_z} = \frac{1}{k_{z;punt}} + \frac{1}{k_{z;paal}}$$

Het verticale gedrag van voornamelijk de grond is afhankelijk van de belasting die optreedt. Het gedrag van de grond is bij een kleine belasting heel stijf, dit is vergelijkbaar met beton (zie Figuur 6-2: M- κ -diagram van beton (principe)). Zodra de kracht toeneemt, wordt het gedrag slapper. Daarnaast varieert de invloed van deze belasting afhankelijk van de stijfheid van de bovenbouw. Omdat de belasting van de constructie op de ondergrond niet bekend is, maar wel van belang voor het bepalen van de reactie kracht is ervoor gekozen een waarde over te nemen uit een externe berekening. Deze waarde volgt uit een berekening die is uitgevoerd in kader van ditzelfde project. Hieruit komt een waarde voort voor $k_z = 200 \text{ MN/m}$.



Figuur 6-2: M- κ -diagram van beton (principe)

De horizontale beddingsconstante neemt het effect mee dat de grond op een horizontale verplaatsing van de paal heeft. Deze constante kan met de Ménard-theorie benaderd worden. Deze theorie is gebaseerd op terreinproeven die tot een empirische formule hebben geleidt welke afhankelijk is van de grondsoort, de paaldiameter en de conusweerstand. Ménard stelt de volgende formule:

$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{3 \cdot E_p} \left[1,3 \cdot R_o \left(2,65 \cdot \frac{R}{R_o} \right)^\alpha + \alpha \cdot R \right]$$

Waarbij:

$R_o = 0,3m$; referentie straal

$R = \frac{D}{2}$; straal van de paal

$E_p \approx \beta \cdot q_c$; Elasticiteitsmodulus volgens Ménard

Voor α en β zijn de factoren gegeven in de onderstaande tabel (zie Tabel 6-1: Rheologische factoren volgens Ménard):

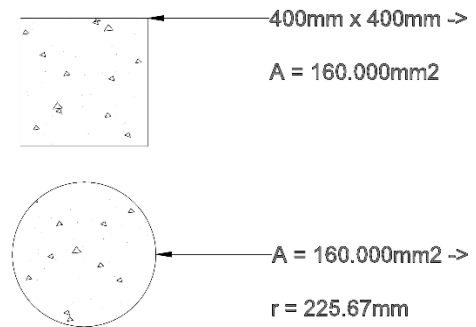
Grondsoort	α	β
Veen	1	3,0
Klei	2/3	2,0
Silt	1/2	1,0
Zand	1/3	0,7
Grind	1/4	0,5

Tabel 6-1: Rheologische factoren volgens Ménard

Aangezien de toegepaste palen vierkant zijn moeten deze palen worden omgerekend naar een fictieve paaldiameter. Dit principe is gebaseerd op de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de paal. Als eerste wordt de oppervlakte van de vierkante paal bepaald, in dit geval is dit $400 \cdot 400 = 160.000 \text{ mm}^2$. Vervolgens wordt er een diameter gezocht waarbij de doorsnede van de ronde paal gelijk is aan die van de vierkante. De formule waarmee dit bepaald wordt in de methode van Koppejan beschreven als:

$$D_{eq} = b \cdot \sqrt{\left(\frac{4}{\pi}\right)} = 400 \cdot \sqrt{\left(\frac{4}{\pi}\right)} = 451,35$$

$$R_{eq} = \frac{D_{eq}}{2} = 225,67 \text{ mm}$$



Figuur 6-3: Visualisatie equivalente paaldiameter

Voor de verschillende grondlagen moeten zowel de α , β -waarden als de gemiddelde conus weerstand worden bepaald. Dit gebeurt op basis van de generieke grondopbouw uit Figuur 6-4: Generieke grondopbouw voor de oostelijke aanbrug). De eerste drie meter grond is een geroerde grondlaag met verschillende grondwaarden. Kijkend naar de conusweerstand en het wrijvingsgetal kan gesteld worden dat de eigenschappen het beste overeen komen met klei. De conusweerstand komt uit op een gemiddelde dan 1MPa. Voor de tweede grondlag komt de conusweerstand ook op 1MPa uit. Voor de laag Leem komen de eigenschappen goed overeen met klei. Voor de leem laag worden dan ook deze eigenschappen aangehouden. Ook de conusweerstand van de eerste drielagen komen overeen op ongeveer 2MPa waardoor deze 3 lagen als

1 laag worden beschouwd. Deze laag is 9m diep, met de eigenschappen van klei. De tweede laag is siltig zand, met een conusweerstand van 10MPa waarvoor de waarden het beste overeen komen met silt. Tot slot worden de eigenschappen van zand aan gehouden voor de zandlaag.



Figuur 6-4: Generieke grondopbouw voor de oostelijke aanbrug

Hiermee komen de waarden voor de grondsoorten uit op de gegevens in Tabel 6-2: Uitgangspunten voor de beddingsconstante k_h .

Grondlaag	Dikte laag (m)	Grondsoort	α	β	q_c	$E_p \sim \beta \cdot q_c$
1	9	Klei	2/3	2,0	2MPa	4MPa
2	6	Silt	1/2	1,0	10MPa	10MPa
3	4	Zand	1/3	0,7	14MPa	10MPa

Tabel 6-2: Uitgangspunten voor de beddingsconstante k_h

Voor de eerste grondlaag komt de beddingsconstante neer op:

$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{3 \cdot 4} \left[1,3 \cdot 0,3 \left(2,65 \cdot \frac{0,225}{0,3} \right)^{2/3} + 2/3 \cdot 0,225 \right] = 0,0064 \rightarrow k_h = 15,66 \text{ MN/m}^3$$

Voor de tweede geldt:

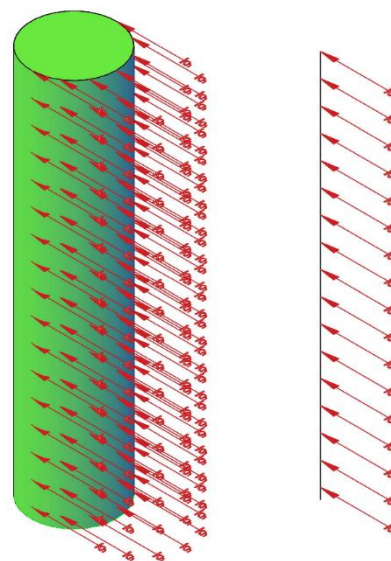
$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{3 \cdot 10} \left[1,3 \cdot 0,3 \cdot \left(2,65 \cdot \frac{0,225}{0,3} \right)^{1/2} + 1/2 \cdot 0,225 \right] = 0,022 \rightarrow k_h = 45,45 \text{ MN/m}^3$$

Tot slot voor de laatste laag:

$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{3 \cdot 10} \left[1,3 \cdot 0,3 \left(2,65 \cdot \frac{0,225}{0,3} \right)^{1/3} + 1/3 \cdot 0,225 \right] = 0,0188 \rightarrow k_h = 53,07 \text{ MN/m}^3$$

De hierboven uitgerekende beddingsconstante wordt berekend over het contact oppervlakte van de paal met de grond voor een bepaalde grondlaag. Vervolgens wordt op die oppervlakte een kracht uit geoefend waardoor een verplaatsing van de paal optreedt. Ten gevolge van een bepaalde kracht in kN, op een oppervlakte van de paal treedt er een verplaatsing op. Dit verifieert dat de eenheid van de berekende beddingsconstante MN/m^3 is.

Echter wordt de paal in Scia Engineer ingevoerd als een lijn die de paal schematiseert. Om terug te rekenen naar een lijn belasting moet de beddingsconstante k_h op één punt gelijk zijn aan de totale contante voor die hoogte van de paal. Hiermee volgt dat de beddingsconstante over een lijn gelijk is aan die van de berekende waarde gedeeld door tweemaal de straal. Dit principe is visueel gemaakt in Figuur 6-5: Visualisatie van de beddingsconstante. Aan de linkerzijde van de afbeelding is te zien welke constante met de theorie van Ménard wordt bepaald. Hierbij staan de rode pijlen symbool voor de 'veertjes' waarmee de grond wordt geschematiseerd. Aan de rechterzijde is te zien hoe het rekenprogramma deze beddingsconstante berekend.



Figuur 6-5: Visualisatie van de beddingsconstante

Naast de schematisatie naar een lijn moet de schematisatie ook representatief zijn voor 1m breedte. De hart-op-hart maat is voor as 1, 2 en 3 zijn 2,75m. De beddingsconstante moet hierdoor gedeeld worden om werkelijk 1m breedte van de constructie te kiezen. Zodra het model 2,75 keer naast elkaar gezet zou worden moet dit model dezelfde eigenschappen hebben als 1 geheel veld. De beddingconstantees worden hieronder bepaald voor een vierkante paal met zijden van 400mm en een h.o.h. maat van 2,75m.

$$k_h \left[\frac{MN}{m^2} \right] = \frac{k_h \left[\frac{MN}{m^3} \right]}{2 \cdot R \cdot h.o.h.}$$

Hiermee komen de beddingsconstantes neer op (zie Figuur 6-6: Visualisatie beddingsconstante van equivalente paaldiameter met grondlagen):

Laag 1, klei:

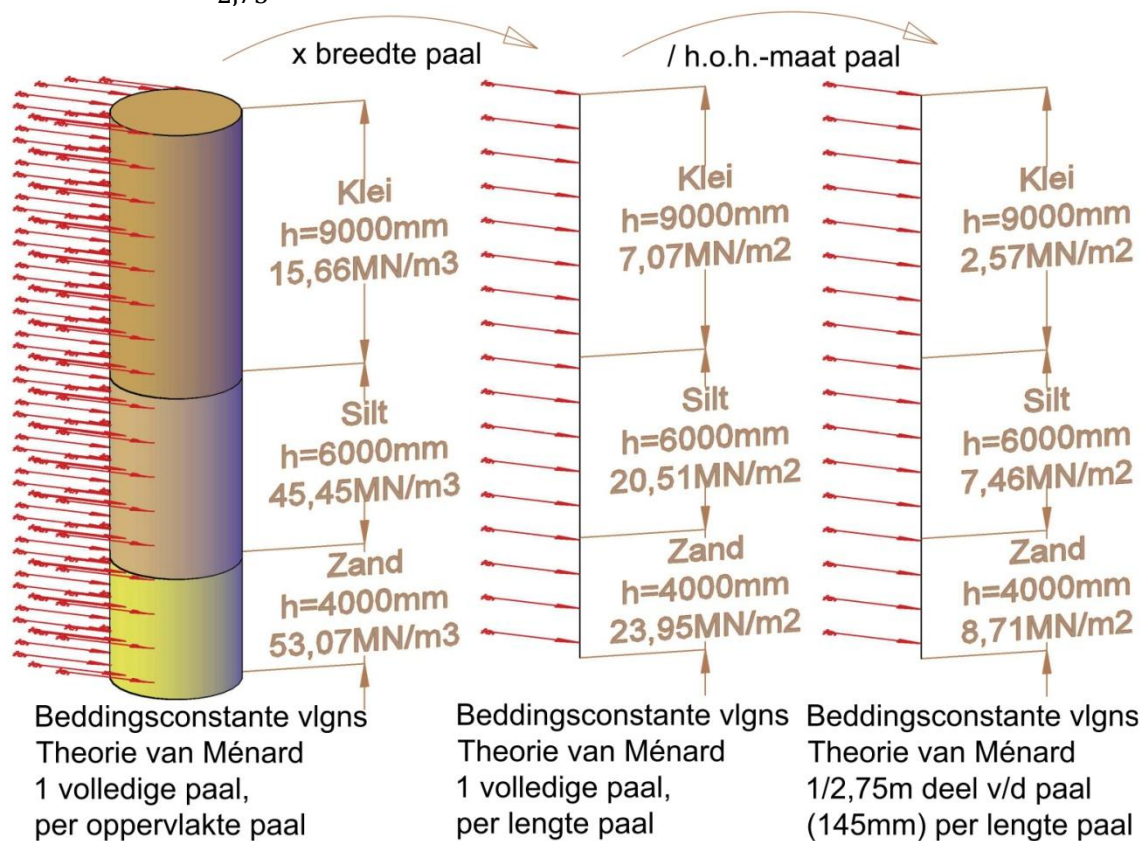
$$k_h = \frac{15,66 \text{ MN/m}^3 \cdot (2 \cdot 0,22567)}{2,75} = 2,57 \text{ MN/m}^3$$

Laag 2, silt:

$$k_h = \frac{45,45 \text{ MN/m}^3 \cdot (2 \cdot 0,22567)}{2,75} = 7,46 \text{ MN/m}^3$$

Laag 3, zand:

$$k_h = \frac{53,07 \text{ MN/m}^3 \cdot (2 \cdot 0,22567)}{2,75} = 8,71 \text{ MN/m}^2$$



Figuur 6-6: Visualisatie beddingsconstante van equivalente paaldiameter met grondlagen

Afwijkend van deze palen zijn er nog twee situaties. Bij as 4 staan de palen dicht op elkaar. Hier staan in 1 rij de palen om en om te lood en geschoord. Dit maakt voor zowel de geschoorde als de te lood palen een h.o.h. 3,20m, resulterende in een h.o.h. maat totaal van 1,60m.

Daarnaast wordt de sluiswand met een combiwand uitgevoerd waarvoor in een verkennende berekening een buis met een diameter van 711mm is aangehouden. Deze zelfde buis wordt aangehouden bij de berkenening van de beddingsconstante. Hierin is een optimalisatie te maken door een slankere buispaal toe te passen. Deze optimalisatie wordt buiten beschouwing gelaten omdat dit niet het doel is van het afstuderen, en reeds onderbouwd is dat deze buispaal voldoet. Doordat deze buispaal een andere diameter heeft dan de betonnenpalen moet hiervoor de beddingsconstante opnieuw uitgerekend worden. Voor deze buispalen geldt een h.o.h. maat gelijk aan die van de palen, 2,75m:

Laag 1:

$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{3 \cdot 4} \left[1,3 \cdot 0,3 \cdot \left(2,65 \cdot \frac{0,3555}{0,3} \right)^{2/3} + 2/3 \cdot 0,3555 \right] = 0,0894 \rightarrow k_h = 11,18 \text{ MN/m}^3$$

Laag 2:

$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{3 \cdot 10} \left[1,3 \cdot 0,3 \cdot \left(2,65 \cdot \frac{0,3555}{0,3} \right)^{1/2} + 1/2 \cdot 0,3555 \right] = 0,0280 \rightarrow k_h = 34,53 \text{ MN/m}^3$$

Laag 3:

$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{3 \cdot 10} \left[1,3 \cdot 0,3 \cdot \left(2,65 \cdot \frac{0,3555}{0,3} \right)^{1/3} + 1/3 \cdot 0,3555 \right] = 0,02299 \rightarrow k_h = 43,50 \text{ MN/m}^3$$

Alle waarden voor k_h in de constructie zijn in de onderstaande tabel te vinden (Tabel 6-3: Overzicht van de beddingsconstante k_h in werkelijkheid en in 2D-model). In deze tabel is te zien hoe de uitkomst van de theorie van Ménard wordt vertaald naar de waarde die nodig is voor het 2D model. In de kolom ' k_h origineel' is de waarde te vinden die uit de formule komt. Deze is voor 9 situaties bepaald, namelijk voor de combiwand, de funderingspaal met de 'standaard h.o.h. maat' en voor de funderingspaal met een afwijkende h.o.h. maat van 3,20m. Bij de kolom ' k_h per lengte constructie in meter' is de waarde uit de formule omgewerkt naar de vering van een lijn, en is de invloed van de h.o.h. maat mee genomen.

Grondlaag	k_h origineel	Diameter paal (D_{eq})	H.o.h. maat	k_h per lengte constructie in meter
Klei	15,66 MN/m ³	0,450m	2,75m	2,57 MN/m ²
Silt	45,45 MN/m ³	0,450m	2,75m	7,46 MN/m ²
Zand	53,07 MN/m ³	0,450m	2,75m	8,71 MN/m ²
Klei	15,66 MN/m ³	0,450m	3,20m	2,21 MN/m ²
Silt	45,45 MN/m ³	0,450m	3,20m	6,41 MN/m ²
Zand	53,07 MN/m ³	0,450m	3,20m	7,49 MN/m ²
Klei	11,18 MN/m ³	0,711m	2,75m	2,89 MN/m ²
Silt	34,53 MN/m ³	0,711m	2,75m	8,93 MN/m ²
Zand	43,50 MN/m ³	0,711m	2,75m	11,25 MN/m ²

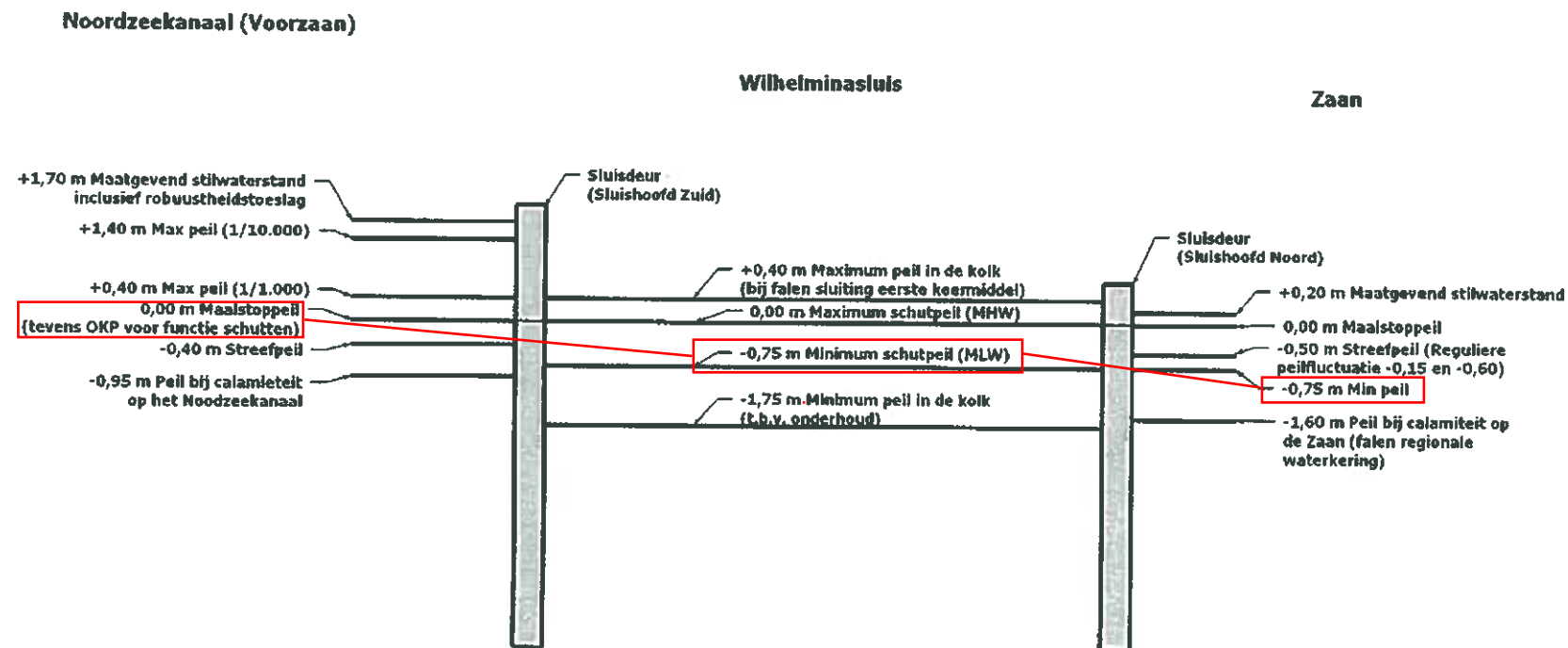
Tabel 6-3: Overzicht van de beddingsconstante k_h in werkelijkheid en in 2D-model

1. BIJLAGEN

1.1. Bijlage 1 – Hydraulische randvoorwaarden per scenario

B-4: Hydraulische Randvoorwaarden

Scenario 1 - Normale waterstand



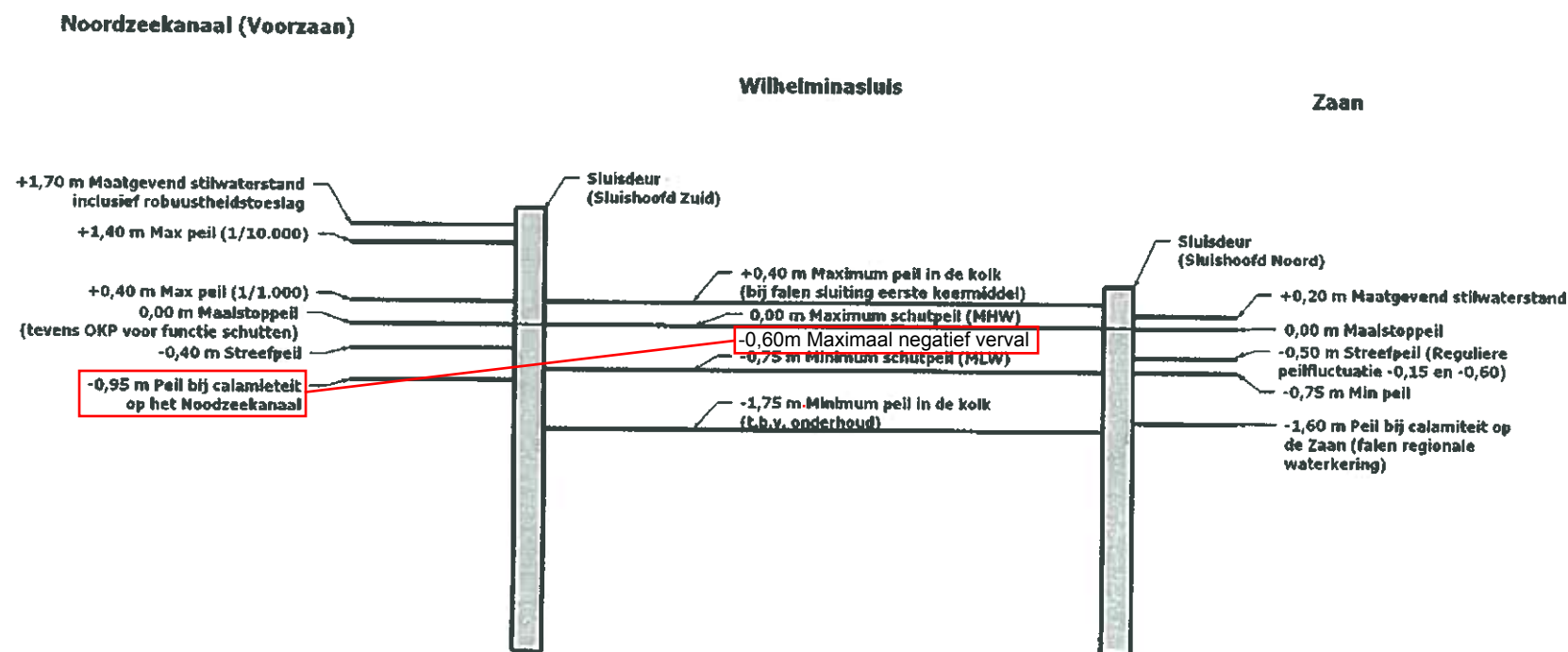
Waterstanden Voorzaan, Sluis en Zaan

Peilen in meter t.o.v. NAP

Maximaal negatief verval is 0,35m

B-4: Hydraulische Randvoorwaarden

Scenario 2 - Calamiteit op het Noordzeekanaal



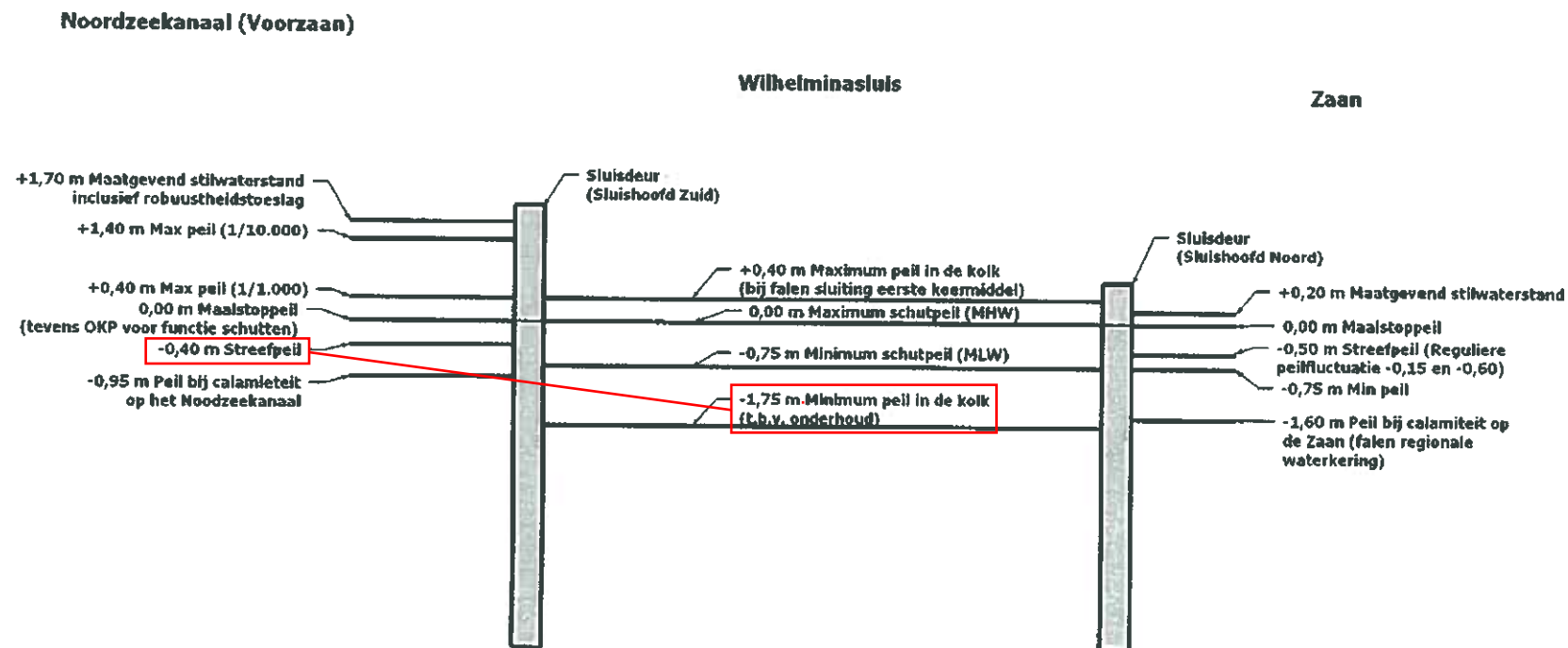
Waterstanden Voorzaan, Sluis en Zaan

Peilen in meter t.o.v. NAP

Maximaal negatief verval is 0,35m

B-4: Hydraulische Randvoorwaarden

Scenario 3 - Onderhoud aan de Wilhelminasluis



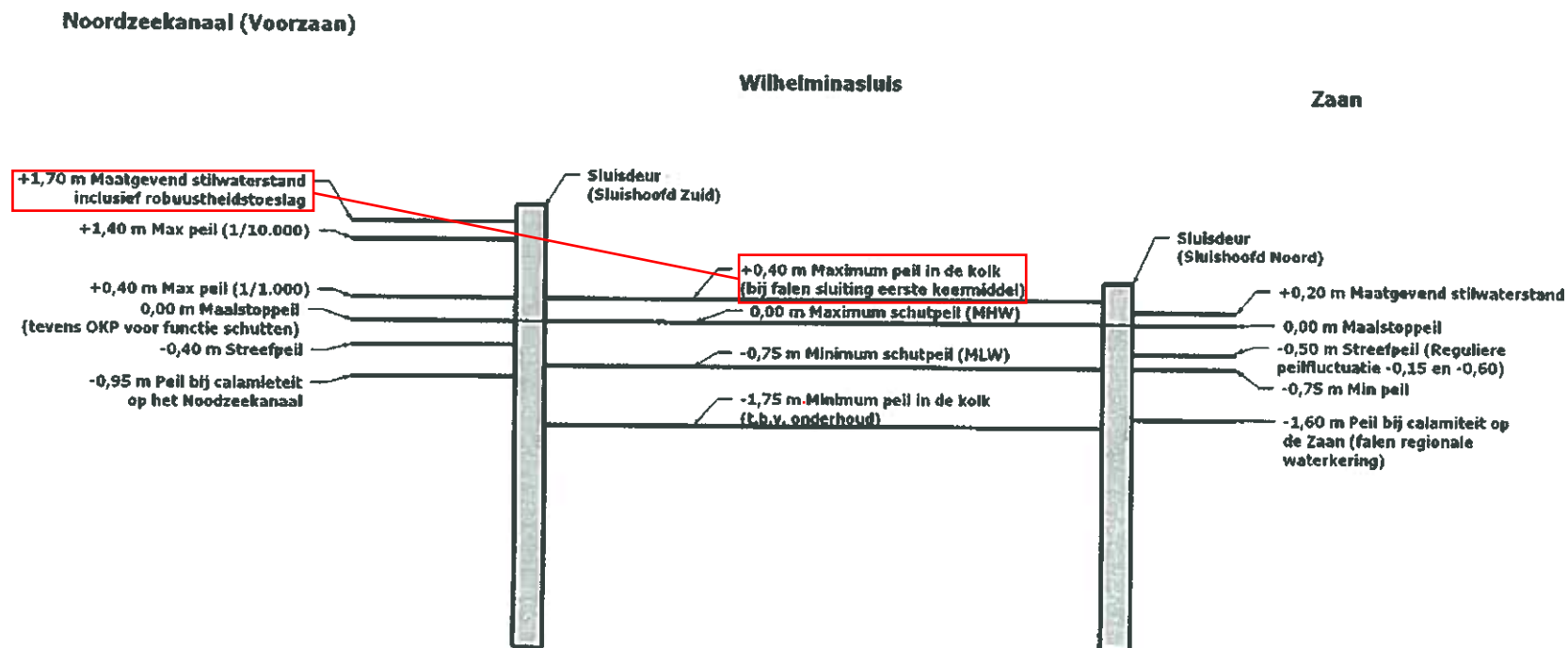
Waterstanden Voorzaan, Sluis en Zaan

Peilen in meter t.o.v. NAP

Maximaal negatief verval is 0,35m

B-4: Hydraulische Randvoorwaarden

Scenario 4 - Hoogwater op het Noordzeekanaal

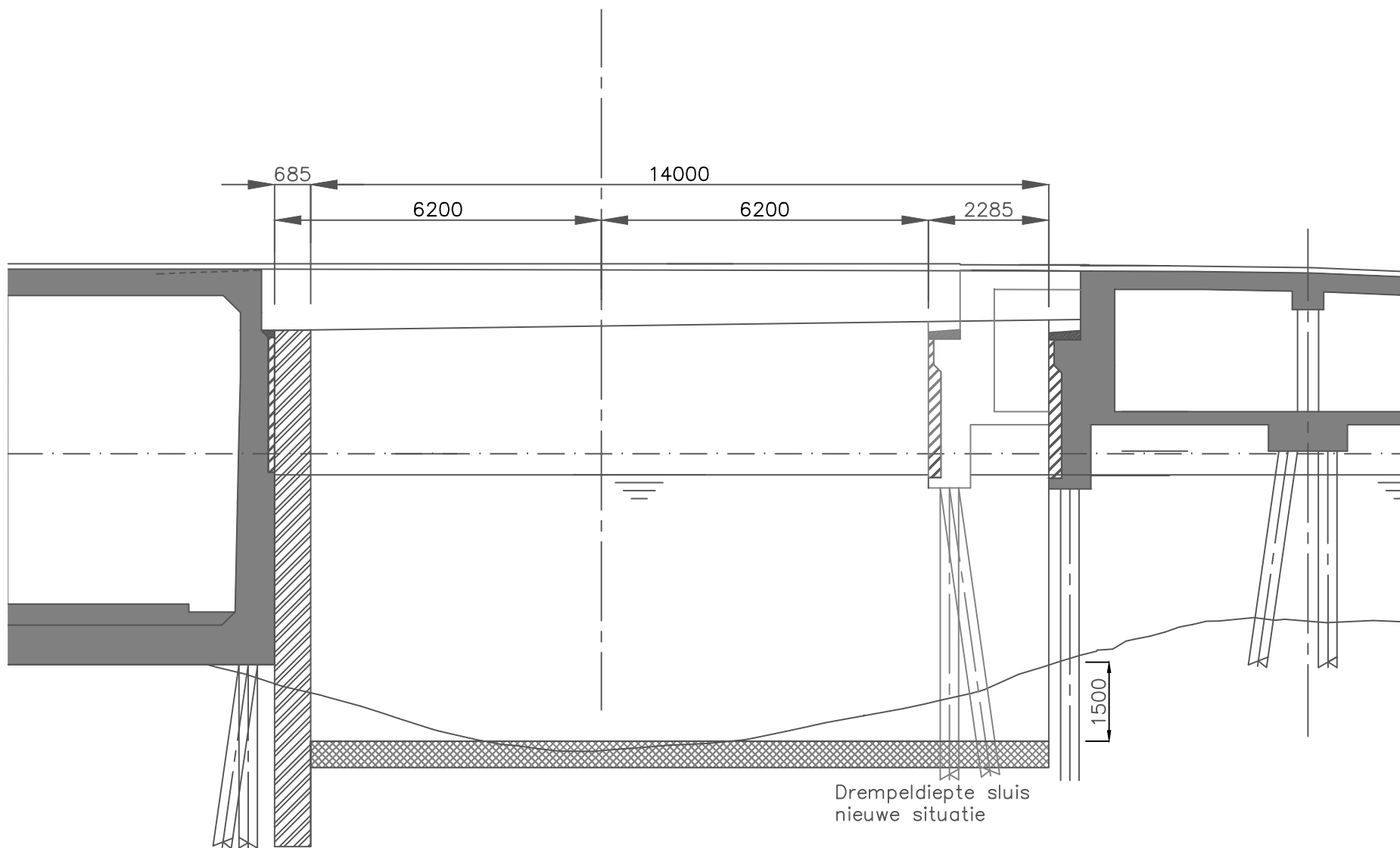


Waterstanden Voorzaan, Sluis en Zaan

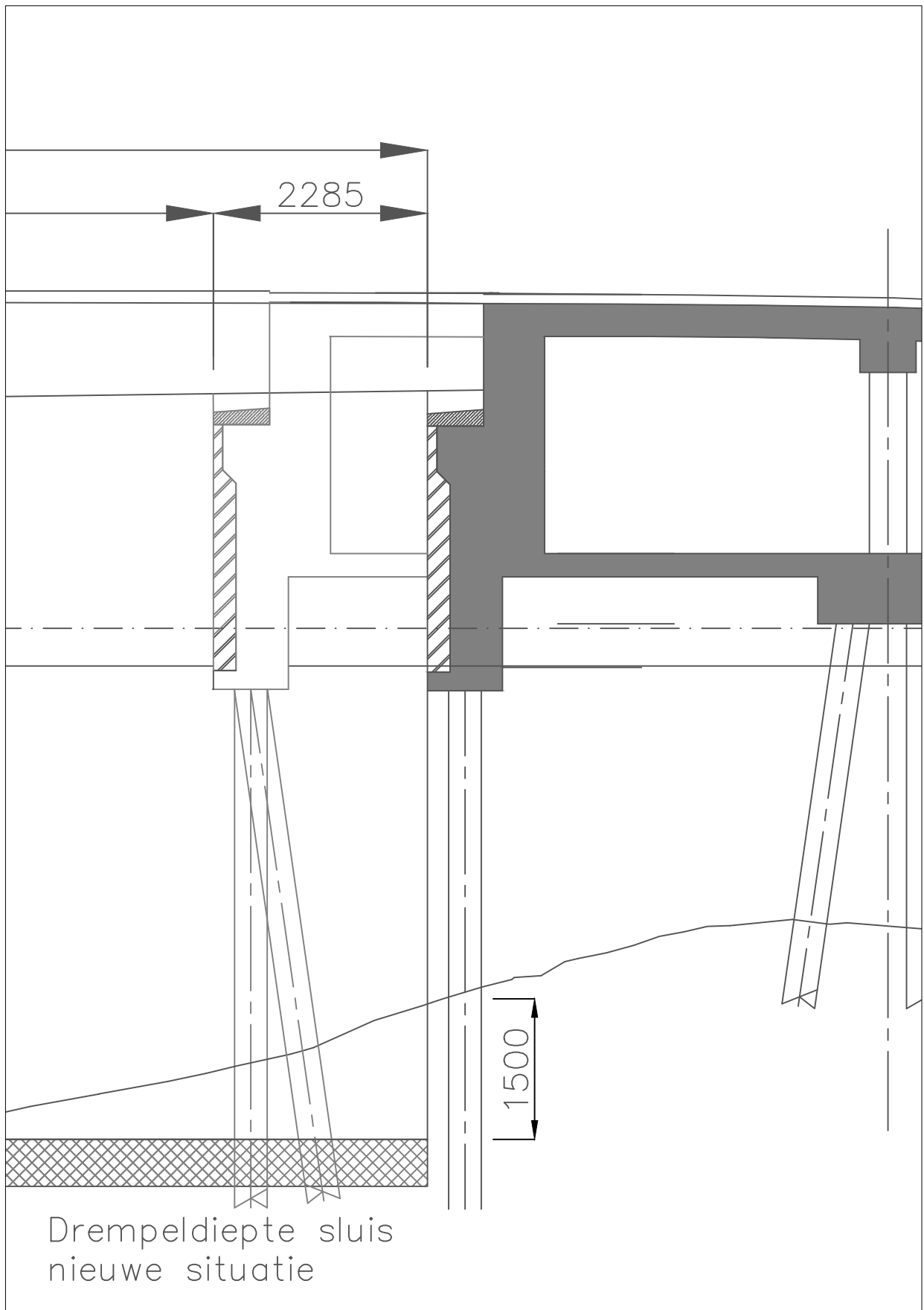
Peilen in meter t.o.v. NAP

Maximaal negatief verval is 0,35m

1.2. Bijlage 2 - Onderbouwing wandverschuiving



1.3. Bijlage 3 - Onderbouwing grondhoogte



1.4. Bijlage 4 - Schetstekening Voorkeursvarianten

A

nieuw *optioneel
Slooplyn
oud

56

+2.68

+1.72

+1.07

OUDE LOSWAL

+0.80

+0.05

N.A.P.

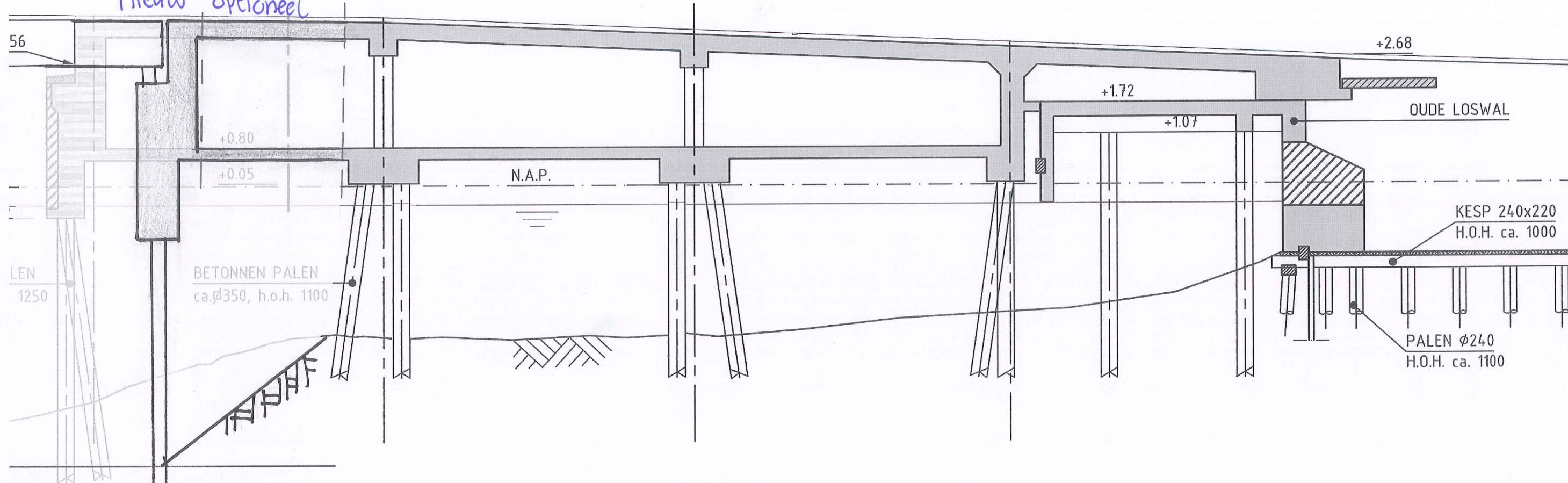
KESP 240x220
H.O.H. ca. 1000

LEN
1250

BETONNEN PALEN
ca. ϕ 350, h.o.h. 1100

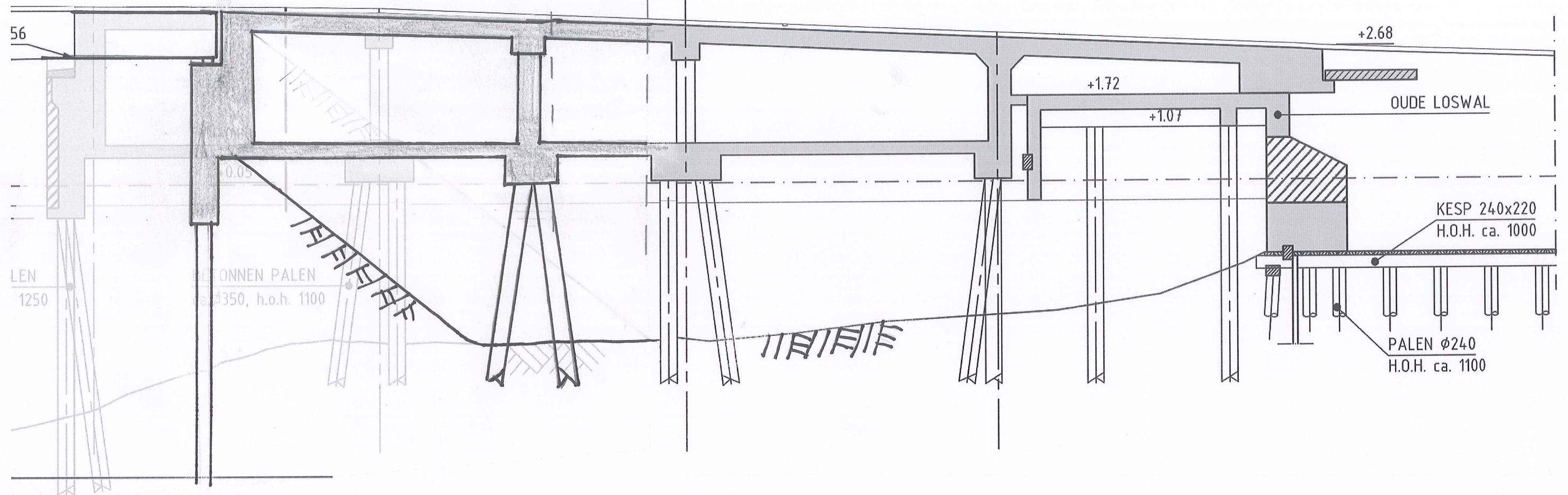
PALEN ϕ 240
H.O.H. ca. 1100

Indicatie bovenkant drempel
nieuwe situatie



(B)

slooplyn
nieuw optoneek oud



Indicatie bovenkant drempel
nieuwe situatie

Indicatie bovenkant drempel
nieuwe situatie

1.5. Bijlage 5 - Berekening combiwand

Grondbelasting en grondkeringsberekening

In het uitrekenen van de mogelijkheden omtrent een buispalen-combiwand zijn enkele stappen gezet. Zowel in berekeningen als in aanpak is er van aanpak verwisseld. Om deze stappen zichtbaar te maken worden de stappen naar de uiteindelijke uitkomst weergegeven:

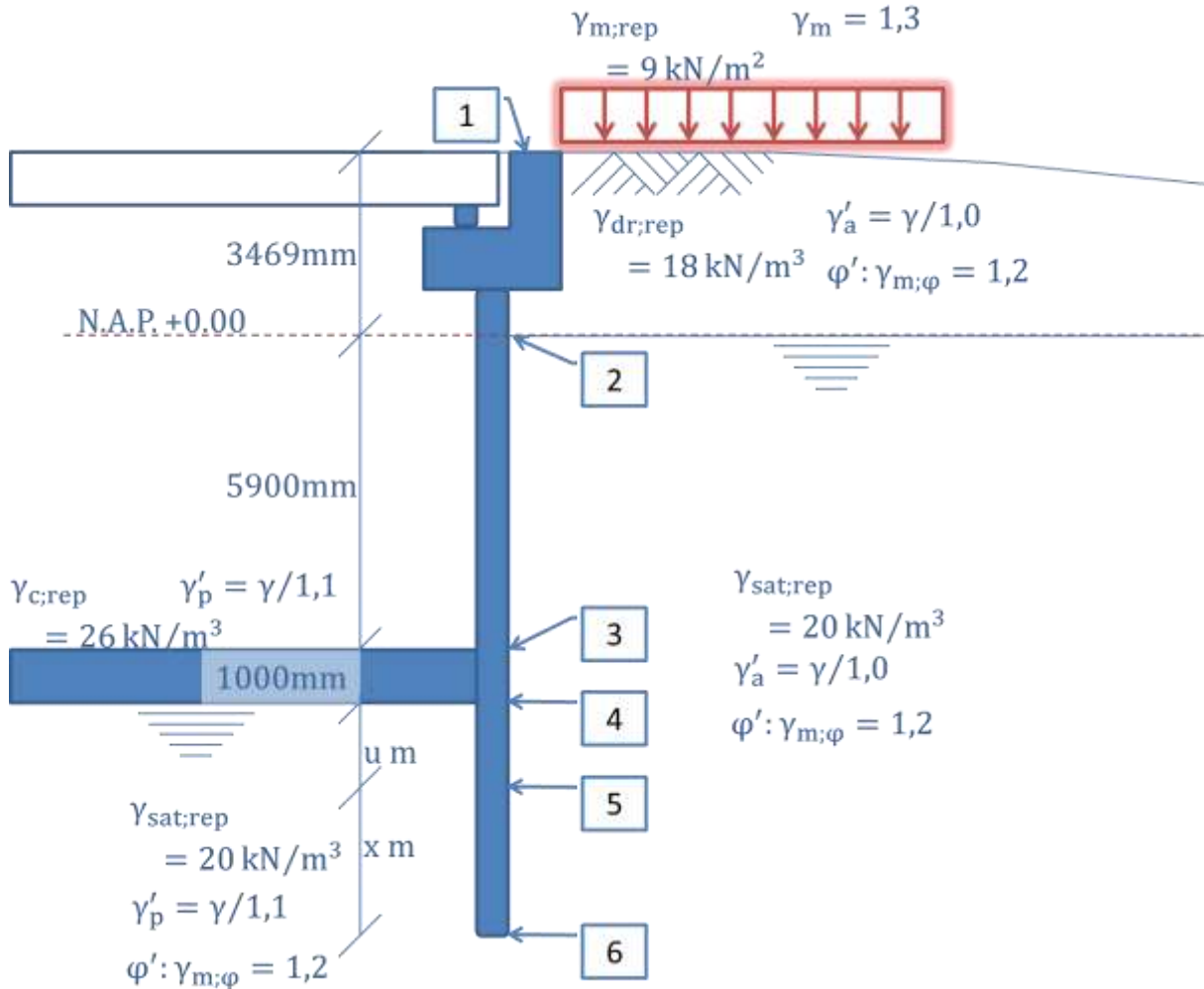
In eerste instantie is de bestaande situatie bekeken, en aan de hand van de bestaande palen bepaald dat hier een hart-op-hart maat van 2750mm is, en dat deze gevolgd moet worden. Omdat bij het berekenen van een combiwand de buispalen maatgevend zijn voor het grootste deel van de krachtsafdracht zijn hier 4 maten voor genomen, te weten 914mm, 1016mm, 1220mm en 1420mm. Ook is er vastgesteld wat gangbare maten zijn voor damplanken met zowel U als Z-profielen.

Vervolgens zijn er 8 scenario's bekeken om een idee te krijgen van de haalbaarheid van een combiwand. Van de scenario's zijn er 4 waarbij U-profielen zijn gebruikt als damplank, en de ander 4 zijn uitgerust met U-profielen tussen de buispalen. Zie de tabel hierbeneden voor de gekozen combinaties, de uiteindelijke hart-op-hart maten en de afwijkingen ten opzichte van de bestaande situatie:

Scenario 1	U-profiel		Scenario 5	Z-profiel	
Buisdiameter	914	mm	Buisdiameter	914	mm
2x slot dimensies	50	mm	2x slot dimensies	50	mm
Damwand plank	600	mm	Damwand plank	770	mm
Aantal planken	3	st.	Aantal planken	2	st
h.o.h. maat combiwand	2764	mm	h.o.h. maat combiwand	2504	mm
afwijking per veld:	-14	mm	afwijking per veld:	246	mm
afwijking totaal:	-70	mm	afwijking totaal:	1230	mm
Scenario 2	U-profiel		Scenario 6	Z-profiel	
Buisdiameter	1016	mm	Buisdiameter	1016	mm
2x slot dimensies	50	mm	2x slot dimensies	50	mm
Damwand plank	800	mm	Damwand plank	770	mm
Aantal planken	2	st.	Aantal planken	2	st
h.o.h. maat combiwand	2666	mm	h.o.h. maat combiwand	2606	mm
afwijking per veld:	84	mm	afwijking per veld:	144	mm
afwijking totaal:	420	mm	afwijking totaal:	720	mm
Scenario 3	U-profiel		Scenario 7	Z-profiel	
Buisdiameter	1220	mm	Buisdiameter	1220	mm
2x slot dimensies	50	mm	2x slot dimensies	50	mm
Damwand plank	750	mm	Damwand plank	770	mm
Aantal planken	2	st.	Aantal planken	2	st
h.o.h. maat combiwand	2770	mm	h.o.h. maat combiwand	2810	mm
afwijking per veld:	-20	mm	afwijking per veld:	-60	mm
afwijking totaal:	-100	mm	afwijking totaal:	-300	mm
Scenario 4	U-profiel		Scenario 8	Z-profiel	
Buisdiameter	1420	mm	Buisdiameter	1420	mm
2x slot dimensies	50	mm	2x slot dimensies	50	mm
Damwand plank	600	mm	Damwand plank	630	mm
Aantal planken	2	st.	Aantal planken	2	st
h.o.h. maat combiwand	2670	mm	h.o.h. maat combiwand	2730	mm
afwijking per veld:	80	mm	afwijking per veld:	20	mm
afwijking totaal:	400	mm	afwijking totaal:	100	mm

Grondberekening met de Blum methode

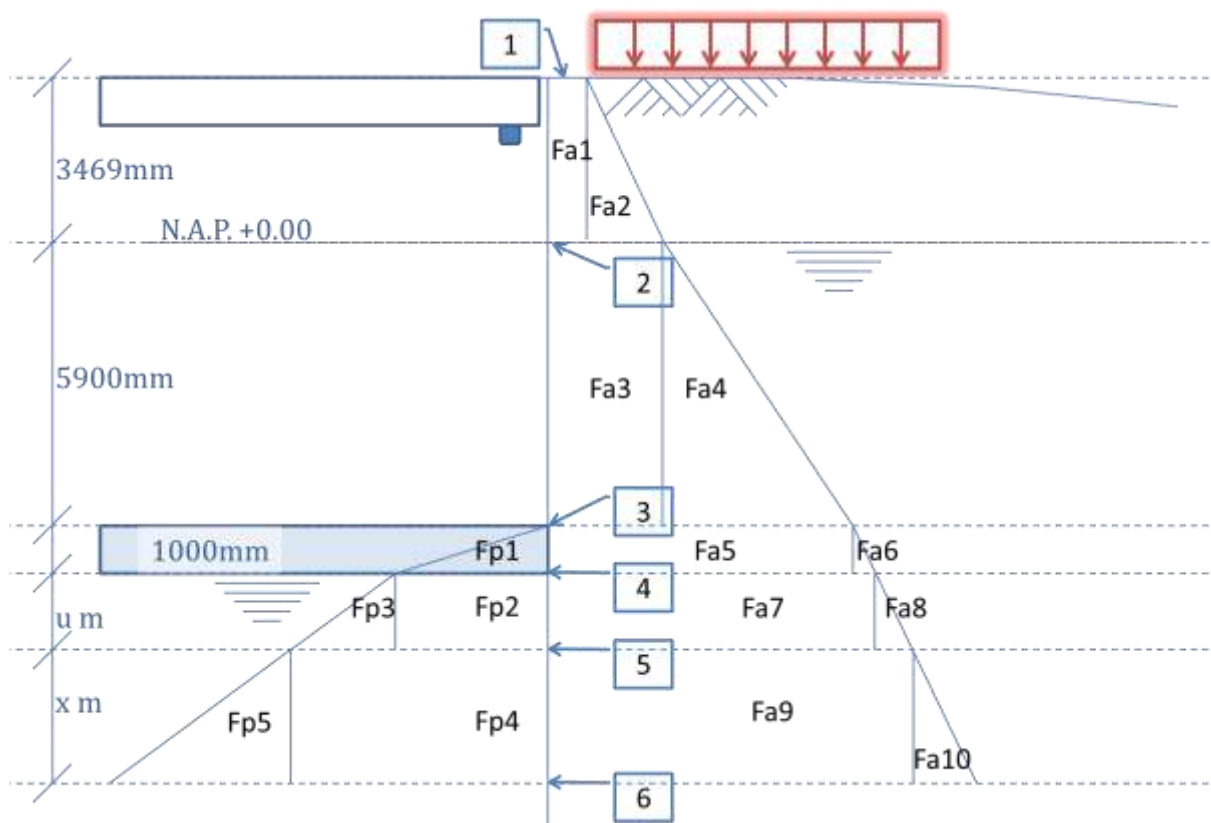
In eerste instantie is gekozen om via de Blum methode de gronddruk door te rekenen. Als vereenvoudiging is gekozen om voor alle typen droge grond een soortelijk gewicht van 18 kN/m^3 en voor alle natte grond een gewicht van 20 kN/m^3 . Omdat van deze verkenning onder andere scenario 3 de bestaande h.o.h. maat zeer goed volgt, is er gekozen om deze verder uit te werken. Bekend is namelijk dat deze combinatie de fysieke h.o.h. maat prima volgt, maar de vraag is nog of deze wand stijf en sterk genoeg is. Omdat tijdens de varianten studie nog niet bekend was welke variant gekozen zou worden, is er gekozen om de meest ongunstige situatie te beschouwen, variant 3:



Deze situatie is vervolgens in Excel ingevoerd met de volgende waarden als uitgangspunt:

Beschrijving	Waarde	Eenheid	Formule
$h_{1,2}$	3,469	[m]	
$h_{2,3}$	5,900	[m]	
$h_{3,4}$	1,000	[m]	
$h_{4,5}$	1,989	[m]	
$h_{5,6}$	13,800	[m] +	
$h_{1,6}$	26,158	[m]	
b	1	[m]	
$\gamma_{dr.rep}$	18	[kN/m ³]	
$\gamma_{sat.rep}$	20	[kN/m ³]	
$\gamma_{m.rep}$	9	[kN/m ²]	
γ_w	10	[kN/m ³]	
$\gamma_{c.rep}$	26	[kN/m ³]	
ϕ_{actief}	1,0	[-]	
$\phi_{passief}$	0,909	[-]	
ϕ_{Qlast}	1,3	[-]	
ϕ	30	[°]	
K_a	0,33	[-]	$=TAN(RADIANS(45-\phi/2))^2$
K_p	3,00	[-]	$=TAN(RADIANS(45+\phi/2))^2$

Met deze uitgangspunten is de grond ingedeeld in vlakken die kenmerkend zijn voor de Blum methode:



Van alle vlakken die hierboven zijn de volgende spanningen bepaald:

- Verticale grondspanning;
- Waterspanning;
- Verticale korrelspanning;
- Horizontale korrelspanning;
- Horizontale grondspanning.

Actievezijde uitgebreide Blum-methode

Actief, plek 1		
$\sigma_{qv.sc3.pl1.a}$	11,7	$=\gamma m.rep \cdot \varphi Q_{last} \cdot b$
$\sigma_{w.sc3.pl1.a}$	0,0	$=\gamma w \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot 0$
$\sigma_{kv.sc3.pl1.a}$	11,7	$=\sigma_{gv.sc3.pl1.a} - \sigma_{w.sc3.pl1.a}$
$\sigma_{kH.sc3.pl1.a}$	3,9	$=\sigma_{kv.sc3.pl1.a} \cdot K_a$
$\sigma_{qH.sc3.pl1.a}$	3,9	$=\sigma_{kH.sc3.pl1.a} + \sigma_{w.sc3.pl1.a}$
Actief, plek 2		
$\sigma_{qv.sc3.pl2.a}$	74,1	$=\gamma_{dr}.rep \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot h_{1.2} + \sigma_{gv.sc3.pl1.a}$
$\sigma_{w.sc3.pl2.a}$	0,0	$=\gamma w \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot 0$
$\sigma_{kv.sc3.pl2.a}$	74,1	$=\sigma_{gv.sc3.pl2.a} - \sigma_{w.sc3.pl2.a}$
$\sigma_{kH.sc3.pl2.a}$	24,7	$=\sigma_{kv.sc3.pl2.a} \cdot K_a$
$\sigma_{qH.sc3.pl2.a}$	24,7	$=\sigma_{kH.sc3.pl2.a} + \sigma_{w.sc3.pl2.a}$
Actief, plek 3		
$\sigma_{qv.sc3.pl3.a}$	192,1	$=\gamma_{sat}.rep \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot h_{2.3} + \sigma_{gv.sc3.pl2.a}$
$\sigma_{w.sc3.pl3.a}$	59,0	$=\gamma w \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot h_{2.3}$
$\sigma_{kv.sc3.pl3.a}$	133,1	$=\sigma_{gv.sc3.pl3.a} - \sigma_{w.sc3.pl3.a}$
$\sigma_{kH.sc3.pl3.a}$	44,4	$=\sigma_{kv.sc3.pl3.a} \cdot K_a$
$\sigma_{qH.sc3.pl3.a}$	103,4	$=\sigma_{kH.sc3.pl3.a} + \sigma_{w.sc3.pl3.a}$
Actief, plek 4		
$\sigma_{qv.sc3.pl4.a}$	212,1	$=\gamma_{sat}.rep \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot h_{3.4} + \sigma_{gv.sc3.pl3.a}$
$\sigma_{w.sc3.pl4.a}$	69,0	$=\gamma w \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot h_{3.4} + \sigma_{w.sc3.pl3.a}$
$\sigma_{kv.sc3.pl4.a}$	143,1	$=\sigma_{gv.sc3.pl4.a} - \sigma_{w.sc3.pl4.a}$
$\sigma_{kH.sc3.pl4.a}$	47,7	$=\sigma_{kv.sc3.pl4.a} \cdot K_a$
$\sigma_{qH.sc3.pl4.a}$	116,7	$=\sigma_{kH.sc3.pl4.a} + \sigma_{w.sc3.pl4.a}$
Actief, plek 5		
$\sigma_{qv.sc3.pl5.a}$	251,9	$=\gamma_{sat}.rep \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot h_{4.5} + \sigma_{gv.sc3.pl4.a}$
$\sigma_{w.sc3.pl5.a}$	88,9	$=\gamma w \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot h_{4.5} + \sigma_{w.sc3.pl4.a}$
$\sigma_{kv.sc3.pl5.a}$	163,0	$=\sigma_{gv.sc3.pl5.a} - \sigma_{w.sc3.pl5.a}$
$\sigma_{kH.sc3.pl5.a}$	54,3	$=\sigma_{kv.sc3.pl5.a} \cdot K_a$
$\sigma_{qH.sc3.pl5.a}$	143,2	$=\sigma_{kH.sc3.pl5.a} + \sigma_{w.sc3.pl5.a}$
Actief, plek 6		
$\sigma_{qv.sc3.pl6.a}$	527,9	$=\gamma_{sat}.rep \cdot \varphi_{actief} \cdot b \cdot h_{5.6} + \sigma_{gv.sc3.pl5.a}$
$\sigma_{w.sc3.pl6.a}$	214,3	$=\gamma w \cdot \varphi_{passief} \cdot b \cdot h_{5.6} + \sigma_{w.sc3.pl5.a}$
$\sigma_{kv.sc3.pl6.a}$	313,6	$=\sigma_{gv.sc3.pl6.a} - \sigma_{w.sc3.pl6.a}$
$\sigma_{kH.sc3.pl6.a}$	104,5	$=\sigma_{kv.sc3.pl6.a} \cdot K_a$
$\sigma_{qH.sc3.pl6.a}$	318,9	$=\sigma_{kH.sc3.pl6.a} + \sigma_{w.sc3.pl6.a}$

Passieve zijde uitgebreide Blum-methode

Passief, plek 1		
$\sigma_{qv.sc3.pl1.p}$	0	0
$\sigma_{w.sc3.pl1.p}$	0	0
$\sigma_{kv.sc3.pl1.p}$	0	0
$\sigma_{kH.sc3.pl1.p}$	0	0
$\sigma_{qH.sc3.pl1.p}$	0	0
Passief, plek 2		
$\sigma_{qv.sc3.pl2.p}$	0	0
$\sigma_{w.sc3.pl2.p}$	0	0
$\sigma_{kv.sc3.pl2.p}$	0	0
$\sigma_{kH.sc3.pl2.p}$	0	0
$\sigma_{qH.sc3.pl2.p}$	0	0
Passief, plek 3		
$\sigma_{qv.sc3.pl3.p}$	0	0
$\sigma_{w.sc3.pl3.p}$	0	0
$\sigma_{kv.sc3.pl3.p}$	0	0
$\sigma_{kH.sc3.pl3.p}$	0	0
$\sigma_{qH.sc3.pl3.p}$	0	0
Passief, plek 4		
$\sigma_{qv.sc3.pl4.p}$	23,6	$=\gamma c.rep*\phi_{passief}*b*h3.4$
$\sigma_{w.sc3.pl4.p}$	0	$=\gamma w*\phi_{passief}*b*0$
$\sigma_{kv.sc3.pl4.p}$	23,6	$=\sigma_{qv.sc3.pl4.p}-\sigma_{w.sc3.pl4.p}$
$\sigma_{kH.sc3.pl4.p}$	70,9	$=\sigma_{kv.sc3.pl4.p}*K_p$
$\sigma_{qH.sc3.pl4.p}$	70,9	$=\sigma_{kH.sc3.pl4.p}+\sigma_{w.sc3.pl4.p}$
Passief, plek 5		
$\sigma_{qv.sc3.pl5.p}$	59,8	$=\gamma_{sat}.rep*\phi_{passief}*b*h4.5+\sigma_{qv.sc3.pl4.p}$
$\sigma_{w.sc3.pl5.p}$	18,1	$=\gamma w*\phi_{passief}*b*h4.5+\sigma_{w.sc3.pl4.p}$
$\sigma_{kv.sc3.pl5.p}$	41,7	$=\sigma_{qv.sc3.pl5.p}-\sigma_{w.sc3.pl5.p}$
$\sigma_{kH.sc3.pl5.p}$	125,2	$=\sigma_{kv.sc3.pl5.p}*K_p$
$\sigma_{qH.sc3.pl5.p}$	143,2	$=\sigma_{kH.sc3.pl5.p}+\sigma_{w.sc3.pl5.p}$
Passief, plek 6		
$\sigma_{qv.sc3.pl6.p}$	310,7	$=\gamma_{sat}.rep*\phi_{passief}*b*h5.6+\sigma_{qv.sc3.pl5.p}$
$\sigma_{w.sc3.pl6.p}$	143,5	$=\gamma w*\phi_{passief}*b*h5.6+\sigma_{w.sc3.pl5.p}$
$\sigma_{kv.sc3.pl6.p}$	167,2	$=\sigma_{qv.sc3.pl6.p}-\sigma_{w.sc3.pl6.p}$
$\sigma_{kH.sc3.pl6.p}$	501,5	$=\sigma_{kv.sc3.pl6.p}*K_p$
$\sigma_{qH.sc3.pl6.p}$	645,1	$=\sigma_{kH.sc3.pl6.p}+\sigma_{w.sc3.pl6.p}$

Krachten evenwicht

De gegevens hierboven zijn al met de gronddrukken op plek 5 en 6. Deze zijn pas bepaald bij het zoeken naar een krachtsevenwicht zoals hieronder te zien is. Ook de diepte van de damwand tussen punt 5 en 6 van 13,8m is in dit zoeken naar een krachtsevenwicht iteratief bepaald.

In het zoeken naar het evenwicht is per vlak bepaald wat de kracht is die uit dat vlak werkt. Vervolgens is de arm bepaald vanaf het punt waar de kracht aangrijpt. Door deze twee te vermenigvuldigen is per vlak te bepalen wat het moment is dat deze teweeg brengt. Het totale moment van de actieve zijde (evenals voor de passieve zijde) is bepaald door alle kleine momentjes op te tellen. De lengte van de damwand is nu gevarieerd om het verschil tussen het moment van de passieve en actieve zijde te minimaliseren. Hierbij is uitgegaan van een combiwand zonder anker, dit zou als optimalisatie nog toegepast kunnen worden. De uitkomst hieruit is hieronder te zien:

Krachten evenwicht zonder anker			
Fa1	14	kN	$=(\sigma_{H.sc3.pl1.a} \cdot h_{1.2})$
Fa2	36	kN	$=(1/2 \cdot (\sigma_{H.sc3.pl2.a} - \sigma_{H.sc3.pl1.a}) \cdot h_{1.2})$
Fa3	146	kN	$=(\sigma_{H.sc3.pl2.a} \cdot h_{2.3})$
Fa4	232	kN	$=(1/2 \cdot (\sigma_{H.sc3.pl3.a} - \sigma_{H.sc3.pl2.a}) \cdot h_{2.3})$
Fa5	103	kN	$=(\sigma_{H.sc3.pl3.a} \cdot h_{3.4})$
Fa6	7	kN	$=(1/2 \cdot (\sigma_{H.sc3.pl4.a} - \sigma_{H.sc3.pl3.a}) \cdot h_{3.4})$
Fa7	232	kN	$=(\sigma_{H.sc3.pl4.a} \cdot h_{4.5})$
Fa8	26	kN	$=(1/2 \cdot (\sigma_{H.sc3.pl5.a} - \sigma_{H.sc3.pl4.a}) \cdot h_{4.5})$
Fa9	1977	kN	$=(\sigma_{H.sc3.pl5.a} \cdot h_{5.6})$
Fa10	1212	kN +	$=(1/2 \cdot (\sigma_{H.sc3.pl6.a} - \sigma_{H.sc3.pl5.a}) \cdot h_{5.6})$
Som Fa	3985	kN	$=SUM(B127:B136)$
Aa1	24,4	m	$=(1/2 \cdot h_{1.2} + h_{2.3} + h_{3.4} + h_{4.5} + h_{5.6})$
Aa2	23,8	m	$=(1/3 \cdot h_{1.2} + h_{2.3} + h_{3.4} + h_{4.5} + h_{5.6})$
Aa3	19,7	m	$=(1/2 \cdot h_{2.3} + h_{3.4} + h_{4.5} + h_{5.6})$
Aa4	18,8	m	$=(1/3 \cdot h_{2.3} + h_{3.4} + h_{4.5} + h_{5.6})$
Aa5	16,3	m	$=(1/2 \cdot h_{3.4} + h_{4.5} + h_{5.6})$
Aa6	16,1	m	$=(1/3 \cdot h_{3.4} + h_{4.5} + h_{5.6})$
Aa7	14,8	m	$=(1/2 \cdot h_{4.5} + h_{5.6})$
Aa8	14,5	m	$=(1/3 \cdot h_{4.5} + h_{5.6})$
Aa9	6,9	m	$=(1/2 \cdot h_{5.6})$
Aa10	4,6	m +	$=(1/3 \cdot h_{5.6})$
Som Aa	160	m	$=SUM(B139:B148)$
Ma1	330	kNm	$=Fa.1 \cdot Aa.1$
Ma2	861	kNm	$=Fa.2 \cdot Aa.2$
Ma3	2878	kNm	$=Fa.3 \cdot Aa.3$
Ma4	4353	kNm	$=Fa.4 \cdot Aa.4$
Ma5	1684	kNm	$=Fa.5 \cdot Aa.5$
Ma6	107	kNm	$=Fa.6 \cdot Aa.6$
Ma7	3434	kNm	$=Fa.7 \cdot Aa.7$
Ma8	381	kNm	$=Fa.8 \cdot Aa.8$
Ma9	13638,7	kNm	$=Fa.9 \cdot Aa.9$
Ma10	5575	kNm +	$=Fa.10 \cdot Aa.10$
Som Ma	33243	kNm	$=SUM(B151:B160)$

Fp1	35	kN	$= (1/2 * (\sigma_{H.sc3.pl4.p} - \sigma_{H.sc3.pl3.p}) * h_{3.4})$
Fp2	141	kN	$= (\sigma_{H.sc3.pl4.p} * h_{4.5})$
Fp3	72	kN	$= (1/2 * (\sigma_{H.sc3.pl5.p} - \sigma_{H.sc3.pl4.p}) * h_{4.5})$
Fp4	1977	kN	$= (\sigma_{H.sc3.pl5.p} * h_{5.6})$
Fp5	3463	kN +	$= (1/2 * (\sigma_{H.sc3.pl6.p} - \sigma_{H.sc3.pl5.p}) * h_{5.6})$
Som Fp	5688	kN	$= \text{SUM}(B164:B168)$
Ap1	16,1	m	$= (1/3 * h_{3.4} + h_{4.5} + h_{5.6})$
Ap2	14,8	m	$= (1/2 * h_{4.5} + h_{5.6})$
Ap3	14,5	m	$= (1/3 * h_{4.5} + h_{5.6})$
Ap4	6,9	m	$= (1/2 * h_{5.6})$
Ap5	4,6	m +	$= (1/3 * h_{5.6})$
Som Ap	57	m	$= \text{SUM}(B171:B175)$
Mp1	572	kNm	$= Fp.1 * Ap.1$
Mp2	2087	kNm	$= Fp.2 * Ap.2$
Mp3	1040	kNm	$= Fp.3 * Ap.3$
Mp4	13639,0	kNm	$= Fp.4 * Ap.4$
Mp5	15928	kNm +	$= Fp.5 * Ap.5$
Som Mp	33265	kNm	$= \text{SUM}(B178:B182)$
Verschil Mp en Ma	-22	kNm	$= Ma - Mp$
% verschil	-0,0168%		$= B185 / (Mp + Ma) / 2$

Eindberekening

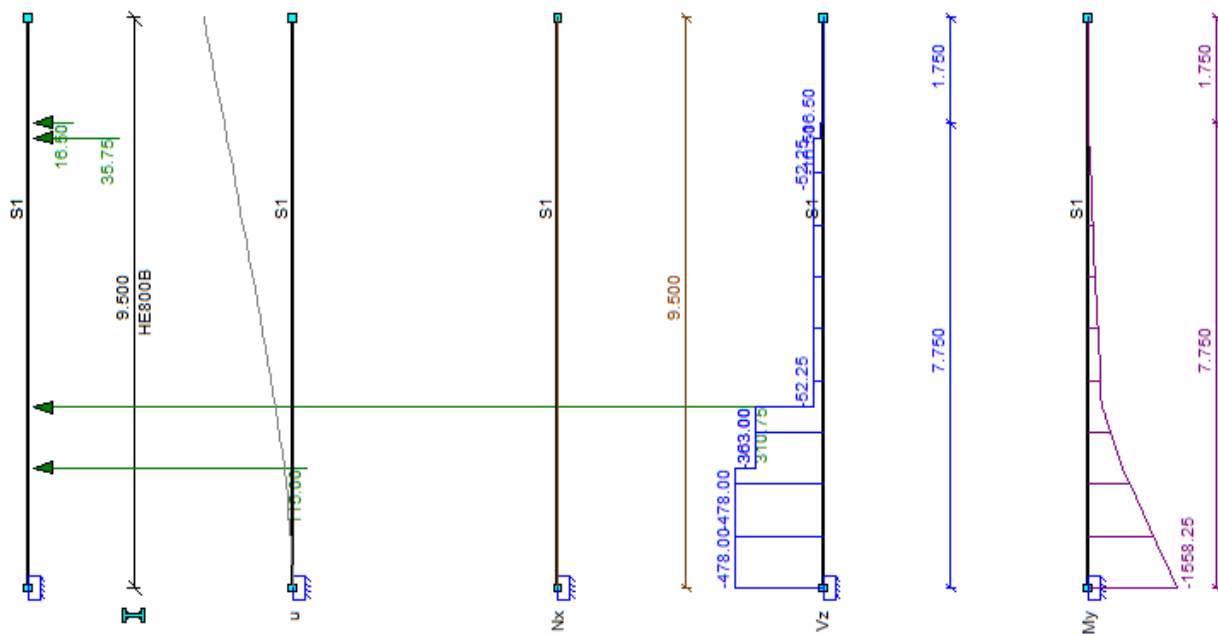
Vervolgens zijn de krachten en de bijbehorende armen in gevoerd in Matrix Frame. Als profiel is gekozen voor een profiel met gelijke waarden als de buispaal uit scenario 3. Van een buispaal diameter 914mm en een staaldikte van 12mm is het traagheidsmoment $345890 \cdot 10^4 mm^4$. Deze of andere buispalen waren niet goed te kiezen in Matrix Frame. Een HEB800 heeft een buigstijfheid van $359084 \cdot 10^4 mm^4$ en is daarmee vergelijkbaar met deze buispaal. Uit de belasting kwam een spanning van maar liefst $2725 N/mm^2$, wat de maximale staalspanning ruim 6x overschrijdt.

Hieruit is geconstateerd dat de buigstijfheid verder omhoog moest. Nu is er diameter van 914mm naar 1220mm gegaan, en de staaldikte naar de maximale dikte van 18mm. Het traagheidsmoment van deze paal ligt met $1.224.780 \cdot 10^4 mm^4$ ruim 3,5x hoger. Ondanks de verzwaring van het gekozen profiel kwam de staalspanning uit op $1065 N/mm^2$.

Uiteindelijk is geconcludeerd dat dit voor een grondkering van 9,5m geen reële waarden konden zijn. Daarom is er een nieuwe analogie opgesteld, welke een stap eenvoudiger is. De combiwand is namelijk ook te zien als een ingeklemde ligger ter hoogte van het onderwater beton. Het punt rond het onderwater beton is namelijk het punt waar de hoogste krachten op treden. Dit complete effect was in de Blom methode niet meegenomen wat een grote mate van onnauwkeurigheid met zich mee bracht. Hierop is met de Blum methode toegepast tot aan de onderwatervloer tot aan vlak Fa4.

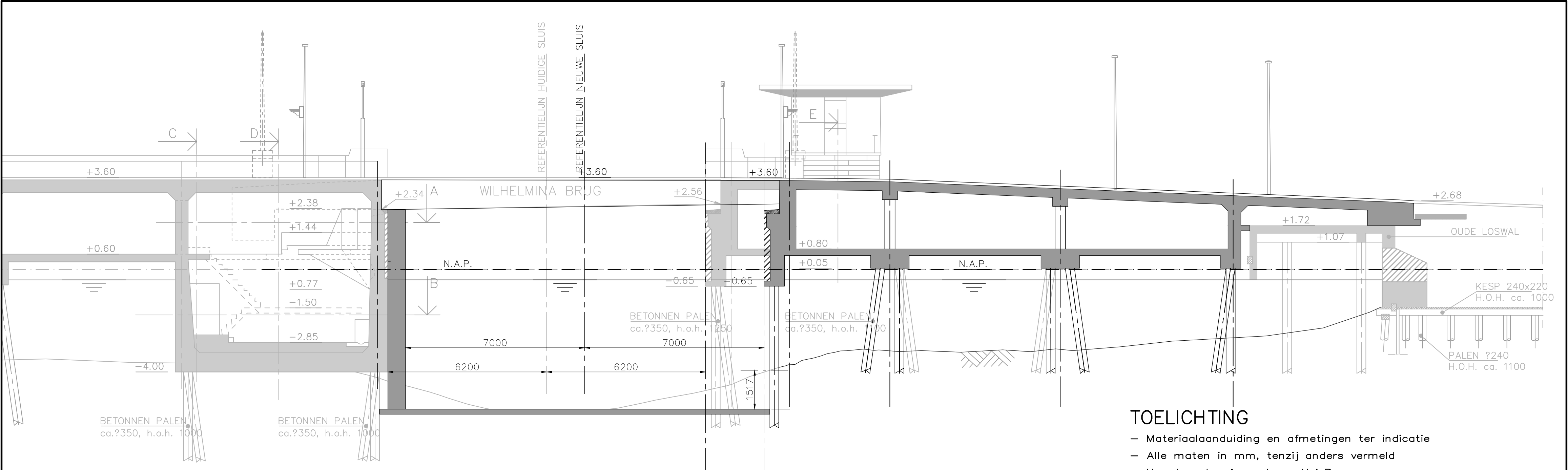
Deze belasting is op een ligger gezet die aan 1 zijde is ingeklemd. Voor deze ligger is weer de HE800B genomen die qua traagheidsmoment vergelijkbaar is met de buispaal met een diameter van 914mm met een staaldikte van 12mm. Het resultaat van deze berekening bleek veel beter, nu werd er door een maximaal moment van ongeveer $1500 kNm$ een maximale staalspanning gevonden van rond de $200 N/mm^2$.

Tot slot is bereikt wat het doel was van deze berekening: duidelijkheid scheppen over de haalbaarheid van een buispalen combiwand. Door het combineren van gangbare damwanden en buispalen is het mogelijk om een wand te vormen waarvan de buispalen de h.o.h. maat van de constructie volgt. Deze combiwand is na berekening in staat om de krachten op te nemen. Het gebruik van een combiwand is dus mogelijk voor alle varianten.



Figuur 0-1: Belastingen en momenten in het bovenste deel van de nagebootste combiwand

1.6. Bijlage 6 - Doorsnede aanbrug nieuwe situatie



TOELICHTING

- Materiaalaanduiding en afmetingen ter indicatie
- Alle maten in mm, tenzij anders vermeld
- Hoogtematen in m t.o.v. N.A.P.

Behorend bij:					
Vernieuwen Wilhelminasluis Zaandam					
					
Nieuwe situatie Gemeente Zaanstad				Wilhelminabrug, doorsneden	
getekend	Johan van Ede*		d.d29-05-2015	schaal 1:100	
gecontroleerd			d.d.		
gezien			d.d.		
*De lichtgrijze achtergrond is een contracttekening die als onderligger is gebruikt.				in 1 bladen, blad nr.	
				A2	

1.7. Bijlage 7 - Scia rapportage

1. Inhoudsopgave

1. Inhoudsopgave	1
2. Constructiemodellen	3
3. Dwarsdoorsnede Aanbrug	4
4. Dwarsdoorsnede Aanbrug 3D weergave	5
5. Dwarsdoorsnede Aanbrug 3D weergave	6
6. Rekenmodel	7
7. Project	8
8. Rekenmodel	9
9. Doorsneden	10
10. Materialen	18
11. Belastinggevallen	19
12. BG1 - Eigengewicht	21
13. BG2 - Rustende belasting	21
14. BG3 - UDL veld 1 BM 1	22
15. BG4 - UDL veld 2 BM 1	22
16. BG5 - UDL veld 3 BM 1	23
17. BG6 - UDL veld 4 BM 1	23
18. BG7 - UDL val BM 1	24
19. BG8 - TS as 1 BM 1	24
20. BG9 - TS as 2 BM 1	25
21. BG10 - TS as 3 BM 1	25
22. BG11 - TS as 4 BM 1	26
23. BG12 - TS veld 1 BM 1	26
24. BG13 - TS veld 2 BM 1	27
25. BG14 - TS veld 3 BM 1	27
26. BG15 - TS veld 4 BM 1	28
27. BG16 - TS val BM 1	28
28. BG17 - TS as 1 BM 2	29
29. BG18 - TS as 2 BM 2	29
30. BG19 - TS as 3 BM 2	30
31. BG20 - TS as 4 BM 2	30
32. BG21 - TS veld 1 BM 2	31
33. BG22 - TS veld 2 BM 2	31
34. BG23 - TS veld 3 BM 2	32
35. BG24 - TS veld 4 BM 2	32
36. BG25 - Aanvaring sluiswand schamp	33
37. BG26 - Belasting vloer v1	33
38. BG27 - Belasting vloer v2	34
39. BG28 - Belasting vloer v3	34
40. BG29 - IJsbelasting hoog	35
41. BG30 - IJsbelasting NAP	35
42. BG31 - IJsbelasting laag	36
43. BG32 - Calamiteit op N'zeekanaal	36
44. BG33 - Onderhoud Sluiskolk	37
45. BG34 - Hoogwater N'zeekanaal	37
46. BG35 - Remkrachten x-ri	38
47. BG36 - Remkrachten -x-ri	38
48. Belastinggroepen	39
49. Combinaties	40
50. Resultaatklassen	43
51. Rekenmodel	44
52. Knopen	45
53. Rekenmodel	46
54. Staven	47
55. Rekenmodel	48

56. Knoopondersteuning	49
57. Lijnondersteuning op staven	49
58. Puntlast op staaf	50
59. Lijnlast	51
60. Interne krachten van staven in UGT	56
61. Interne krachten in staaf; UGT My	58
62. Interne krachten in staaf; UGT Vz	59
63. Interne krachten van staven in BGT	60
64. Interne krachten in staaf; BGT My	62
65. Interne krachten in staaf; BGT Vz	63
66. Staafvervorming in UGT	64
67. Staafvervorming in BGT	64
68. Reacties in UGT	65
69. Reacties in BGT	67
70. Resultante van reacties in UGT	69
71. Resultante van reacties in BGT	69
72. Intensiteit in UGT	70
73. Intensiteit in BGT	70

2. Constructiemodellen

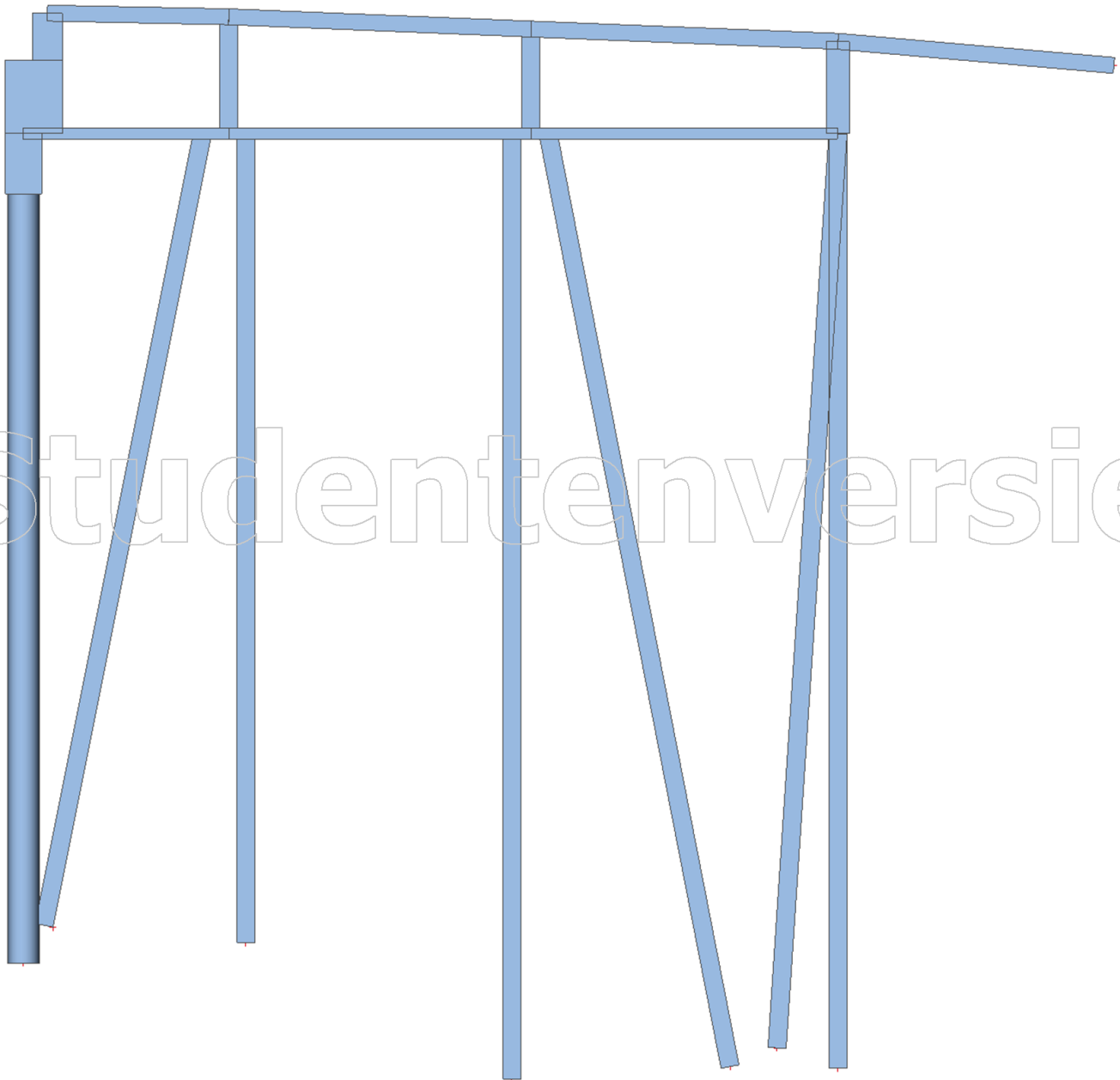
Hieronder worden eerst enkele constructiemodellen weergegeven.

Dit om een kennis te krijgen van de constructie.

Hierin is te zien hoe de constructie in elkaar steekt.

Vervolgens worden de afzonderlijke onderdelen uitgelicht.

3. Dwarsdoorsnede Aanbrug



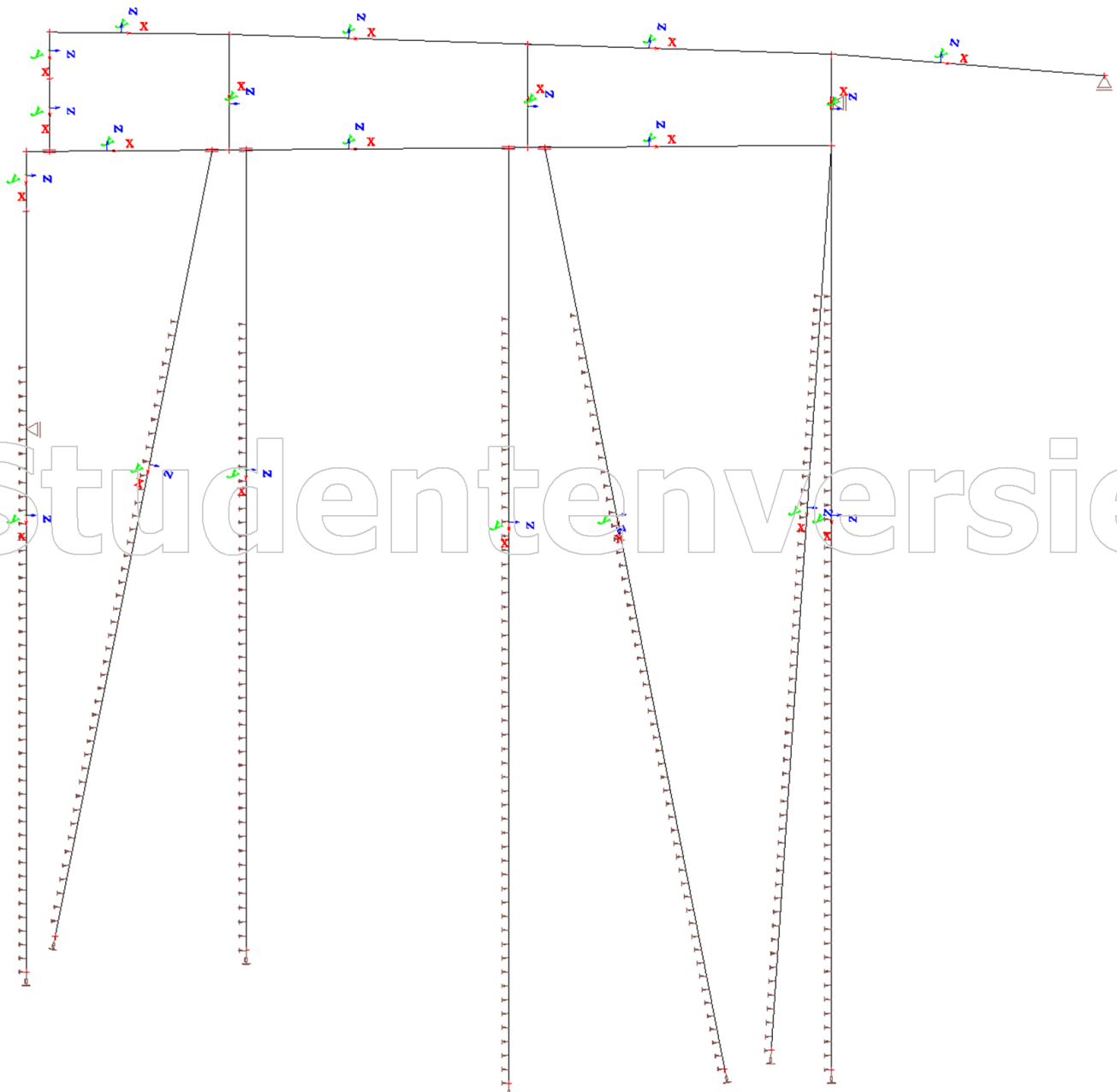
4. Dwarsdoorsnede Aanbrug 3D weergave



5. Dwarsdoorsnede Aanbrug 3D weergave



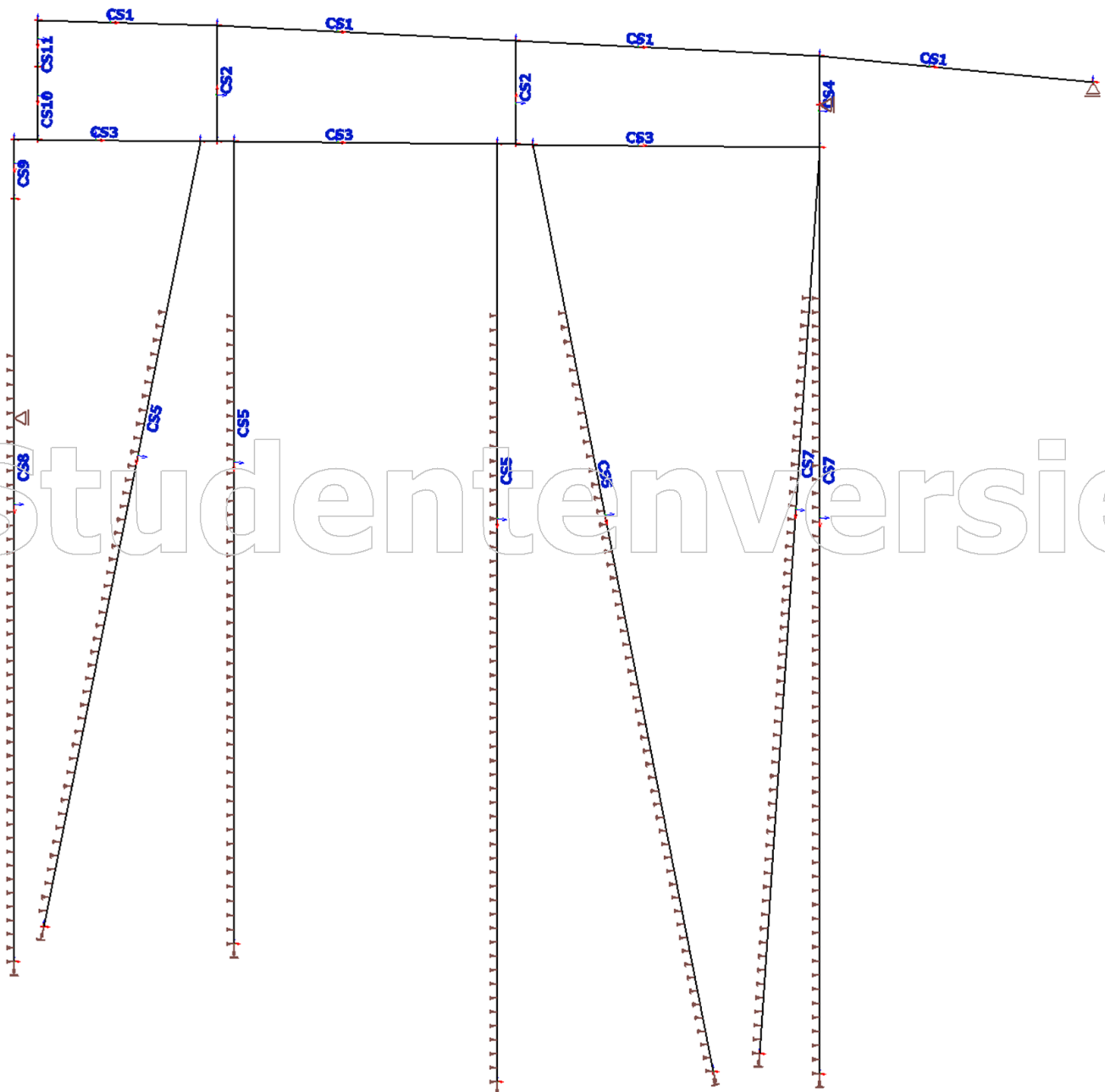
6. Rekenmodel



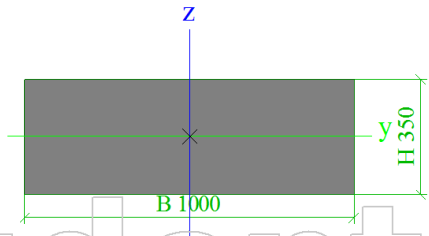
7. Project

Licentienaam	Onbekend
Project	Doornede aanbrug
Onderdeel	Langsdoornede
Omschrijving	-
Auteur	Johan van Ede
Datum	07. 05. 2015
Constructie	Raamwerk XZ
Aantal knopen :	24
Aantal staven :	20
Aantal platen :	0
Aantal vaste lichamen :	0
Aantal gebruikte doorneden :	10
Aantal belastinggevallen :	36
Aantal gebruikte materialen :	2
Gravitatieversnelling [m/s ²]	9,810
Nationale norm	EC - EN

8. Rekenmodel

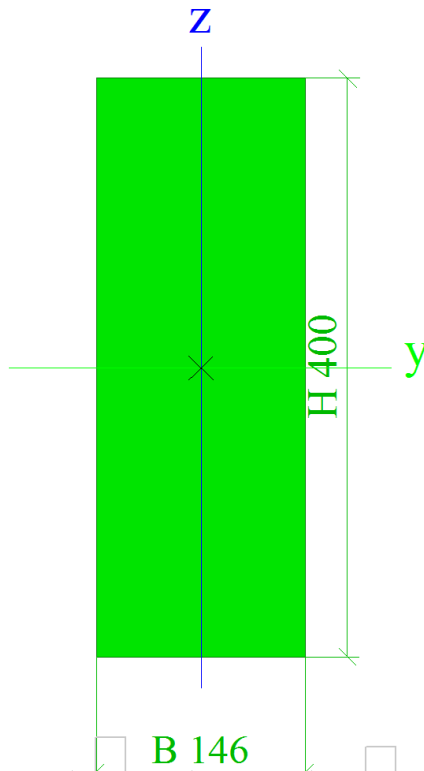


9. Doorsneden

CS1			
Type	Rechthoek		
Uitgebreid	350; 1000		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C55/67		
Bouwwijze	beton		
A [m ²]	3,5000e-01		
A _y [m ²], A _z [m ²]	2,9167e-01	2,9167e-01	
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	2,7000e+00	2,7000e+00	
c _{y,UCS} [mm], c _{z,UCS} [mm]	500	175	
α [deg]	0,00		
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	3,5729e-03	2,9167e-02	
i _y [mm], i _z [mm]	101	289	
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	2,0417e-02	5,8333e-02	
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00	
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
d _y [mm], d _z [mm]	0	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	1,1141e-02	0,0000e+00	
β _y [mm], β _z [mm]	0	0	
Afbeelding			

CS2			
Type	Rechthoek		
Uitgebreid	400; 146		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C55/67		
Bouwwijze	beton		
A [m ²]	5,8200e-02		
A _y [m ²], A _z [m ²]	4,8500e-02	4,8500e-02	
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	1,0910e+00	1,0910e+00	
c _{y,UCS} [mm], c _{z,UCS} [mm]	73	200	
α [deg]	0,00		
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	7,7600e-04	1,0268e-04	
i _y [mm], i _z [mm]	115	42	
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	3,8800e-03	1,4114e-03	
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00	
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
d _y [mm], d _z [mm]	0	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	3,1662e-04	0,0000e+00	
β _y [mm], β _z [mm]	0	0	

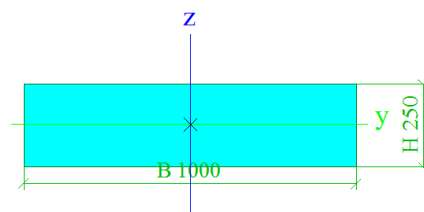
Afbeelding



CS3

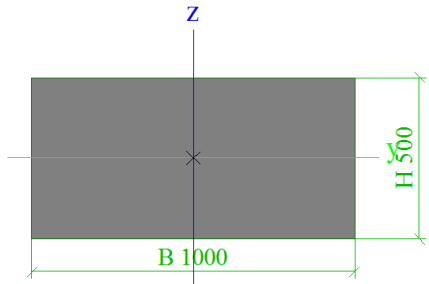
Type	Rechthoek		
Uitgebreid	250; 1000		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C55/67		
Bouwwijze	beton		
A [m ²]	2,5000e-01		
A _y [m ²], A _z [m ²]	2,0833e-01	2,0833e-01	
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	2,5000e+00	2,5000e+00	
c _{y,UCS} [mm], c _{z,UCS} [mm]	500	125	
α [deg]	0,00		
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	1,3021e-03	2,0833e-02	
i _y [mm], i _z [mm]	72	289	
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	1,0417e-02	4,1667e-02	
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00	
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
d _y [mm], d _z [mm]	0	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	4,3880e-03	0,0000e+00	
β _y [mm], β _z [mm]	0	0	

Afbeelding



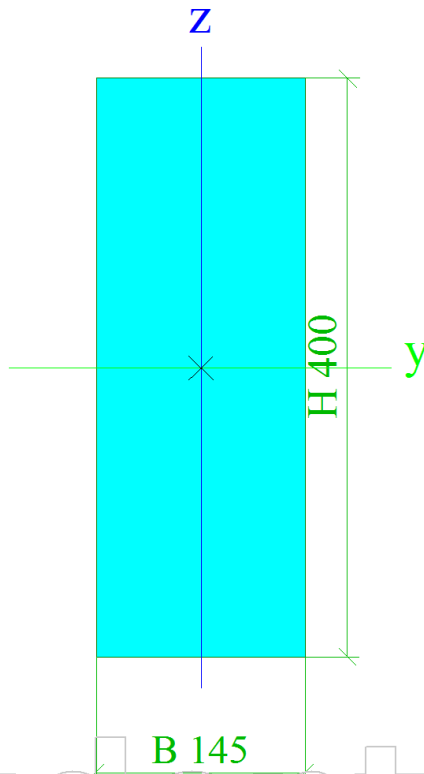
CS4

Type	Rechthoek		
Uitgebreid	500; 1000		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C55/67		

Bouwwijze	beton		
A [m ²]	5,0000e-01		
A _y [m ²], A _z [m ²]	4,1667e-01	4,1667e-01	
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	3,0000e+00	3,0000e+00	
c _{y,UCS} [mm], c _{z,UCS} [mm]	500	250	
α [deg]	0,00		
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	1,0417e-02	4,1667e-02	
i _y [mm], i _z [mm]	144	289	
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	4,1667e-02	8,3333e-02	
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00	
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
d _y [mm], d _z [mm]	0	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	2,8591e-02	0,0000e+00	
β _y [mm], β _z [mm]	0	0	
Afbeelding			

CS5			
Type	Rechthoek		
Uitgebreid	400; 145		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C55/67		
Bouwwijze	beton		
A [m ²]	5,8184e-02		
A _y [m ²], A _z [m ²]	4,8487e-02	4,8487e-02	
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	1,0909e+00	1,0909e+00	
c _{y,UCS} [mm], c _{z,UCS} [mm]	73	200	
α [deg]	0,00		
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	7,7579e-04	1,0259e-04	
i _y [mm], i _z [mm]	115	42	
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	3,8789e-03	1,4106e-03	
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00	
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
d _y [mm], d _z [mm]	0	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	3,1638e-04	0,0000e+00	
β _y [mm], β _z [mm]	0	0	

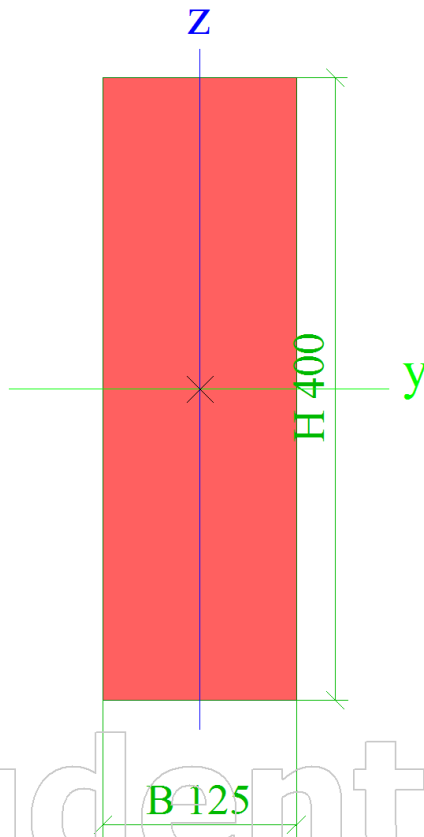
Afbeelding



CS7

Type	Rechthoek		
Uitgebreid	400; 125		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C55/67		
Bouwwijze	beton		
A [m ²]	5,0000e-02		
A _y [m ²], A _z [m ²]	4,1667e-02	4,1667e-02	
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	1,0500e+00	1,0500e+00	
c _{y,UCS} [mm], c _{z,UCS} [mm]	63	200	
α [deg]	0,00		
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	6,6667e-04	6,5104e-05	
i _y [mm], i _z [mm]	115	36	
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	3,3333e-03	1,0417e-03	
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00	
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
d _y [mm], d _z [mm]	0	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	2,0915e-04	0,0000e+00	
β _y [mm], β _z [mm]	0	0	

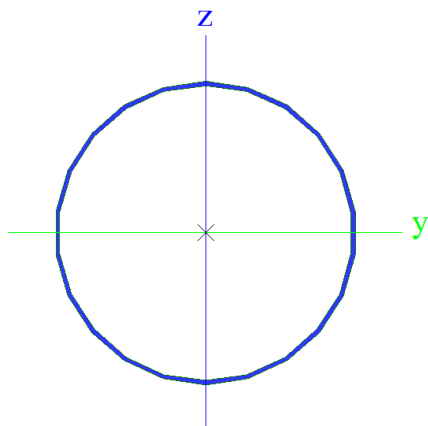
Afbeelding



CS8

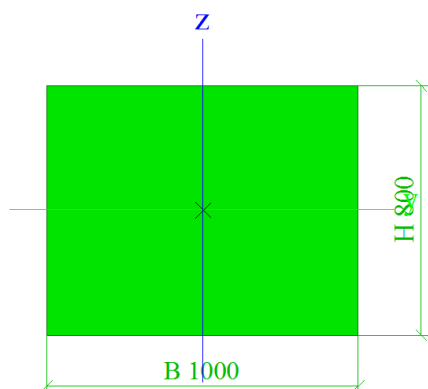
Type	CFCHS711X10	
Vormnorm	3 - Ronde holle doorsneden	
Vorm type	Dunwandig	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	koudgevormd	
Knik y-y, Knik z-z	c	c
A [m ²]	2,2023e-02	
A _y [m ²], A _z [m ²]	1,4020e-02	1,4020e-02
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	2,2340e+00	4,4043e+00
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	356	355
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	1,3530e-03	1,3530e-03
i _y [mm], i _z [mm]	248	248
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	3,8059e-03	3,8059e-03
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	4,9143e-03	4,9143e-03
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	1,74e+06	1,74e+06
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	1,74e+06	1,74e+06
d _y [mm], d _z [mm]	0	0
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	2,7060e-03	1,6521e-37
β _y [mm], β _z [mm]	0	0

Afbeelding



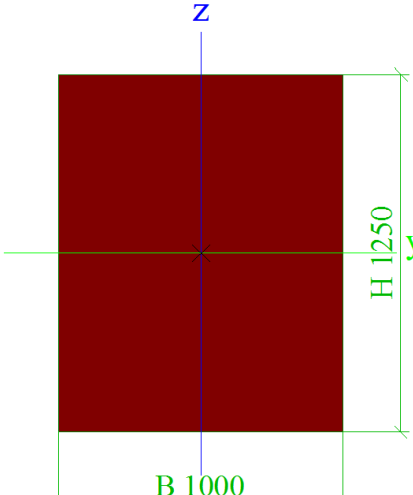
CS9

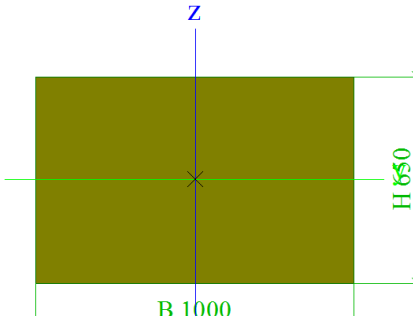
Type	Rechthoek		
Uitgebreid	800; 1000		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C55/67		
Bouwwijze	beton		
A [m ²]	8,0000e-01		
A _y [m ²], A _z [m ²]	6,6667e-01	6,6667e-01	
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	3,6000e+00	3,6000e+00	
c _{y,UCS} [mm], c _{z,UCS} [mm]	500	400	
α [deg]	0,00		
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	4,2667e-02	6,6667e-02	
i _y [mm], i _z [mm]	231	289	
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	1,0667e-01	1,3333e-01	
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00	
M _{pl,y+} [Nm], M _{pl,y-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
M _{pl,z+} [Nm], M _{pl,z-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00	
d _y [mm], d _z [mm]	0	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	8,7975e-02	0,0000e+00	
β _y [mm], β _z [mm]	0	0	
Afbeelding			



CS10

Type	Rechthoek		
Uitgebreid	1250; 1000		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C55/67		
Bouwwijze	beton		
A [m ²]	1,2500e+00		
A _y [m ²], A _z [m ²]	1,0417e+00	1,0417e+00	
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	4,5000e+00	4,5000e+00	
c _{y,UCS} [mm], c _{z,UCS} [mm]	500	625	
α [deg]	0,00		
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	1,6276e-01	1,0417e-01	
i _y [mm], i _z [mm]	361	289	

$W_{el,y}$ [m ³], $W_{el,z}$ [m ³]	2,6042e-01	2,0833e-01
$W_{pl,y}$ [m ³], $W_{pl,z}$ [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
$M_{pl,y,+}$ [Nm], $M_{pl,y,-}$ [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
$M_{pl,z,+}$ [Nm], $M_{pl,z,-}$ [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d_y [mm], d_z [mm]	0	0
I_t [m ⁴], I_w [m ⁶]	2,1478e-01	0,0000e+00
β_y [mm], β_z [mm]	0	0
Afbeelding		

CS11		
Type	Rechthoek	
Uitgebreid	650; 1000	
Vorm type	Dikke wanden	
Onderdeelmateriaal	C55/67	
Bouwwijze	beton	
A [m ²]	6,5000e-01	
A_y [m ²], A_z [m ²]	5,4167e-01	5,4167e-01
A_L [m ² /m], A_D [m ² /m]	3,3000e+00	3,3000e+00
$c_{y,UCS}$ [mm], $c_{z,UCS}$ [mm]	500	325
α [deg]	0,00	
I_y [m ⁴], I_z [m ⁴]	2,2885e-02	5,4167e-02
i_y [mm], i_z [mm]	188	289
$W_{el,y}$ [m ³], $W_{el,z}$ [m ³]	7,0417e-02	1,0833e-01
$W_{pl,y}$ [m ³], $W_{pl,z}$ [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
$M_{pl,y,+}$ [Nm], $M_{pl,y,-}$ [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
$M_{pl,z,+}$ [Nm], $M_{pl,z,-}$ [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d_y [mm], d_z [mm]	0	0
I_t [m ⁴], I_w [m ⁶]	5,4647e-02	0,0000e+00
β_y [mm], β_z [mm]	0	0
Afbeelding		

Verklaring van symbolen	
A	Gebied
A_y	Afschuifoppervlak in hoofd y-richting
A_z	Afschuifoppervlak in hoofd z-richting

Verklaring van symbolen	
A_L	Omtrek per eenheidslengte
A_D	Uithardingsoppervlakte per eenheidslengte

Verklaring van symbolen

$C_{Y,UCS}$	Zwaartepunt coördinaten in Y-richting van het invoer assen systeem
$C_{Z,UCS}$	Zwaartepunt coördinaten in Z-richting van het invoer assen systeem
$I_{Y,LCS}$	Tweede moment van het gebied rond de YLCS as
$I_{Z,LCS}$	Tweede moment van het gebied rond de ZLCS as
$I_{YZ,LCS}$	Product moment van het gebied in het LCS systeem
α	Rotatiehoek van het hoofd assen systeem
I_y	Tweede moment van het gebied rond de hoofd y-as
I_z	Tweede moment van het gebied rond de hoofd z-as
i_y	Traagheidsstraal rond de hoofd y-as
i_z	Traagheidsstraal rond de hoofd z-as
$W_{el,y}$	Elastische doorsnede modulus rond de hoofd y-as
$W_{el,z}$	Elastische doorsnede modulus rond de hoofd z-as

Verklaring van symbolen

$W_{pl,y}$	Plastische doorsnede modulus rond de hoofd y-as
$W_{pl,z}$	Plastische doorsnede modulus rond de hoofd z-as
$M_{pl,y,+}$	Plastisch moment rond de hoofd y-as voor een positief M_y moment
$M_{pl,y,-}$	Plastisch moment rond de hoofd y-as voor een negatief M_y moment
$M_{pl,z,+}$	Plastisch moment rond de hoofd z-as voor een positief M_z moment
$M_{pl,z,-}$	Plastisch moment rond de hoofd z-as voor een negatief M_z moment
d_y	Afschuif middencoördinaat in hoofd y-richting gemeten vanaf het zwaartepunt - Niet berekend of vereenvoudigd
d_z	Afschuif middencoördinaat in hoofd z-richting gemeten vanaf het zwaartepunt - Niet berekend of vereenvoudigd
I_t	Torsie constante - Niet berekend of vereenvoudigd
I_w	Welvings constante - Niet berekend of vereenvoudigd
β_y	Mono-symmetrische constante rond de hoofd y-as
β_z	Mono-symmetrische constante rond de hoofd z-as

10. Materialen

Staal EC3

Naam	ρ [kg/m ³]	E_{mod} [MPa] G_{mod} [MPa]	μ α [m/mK]	Onderlimiet [mm]	Bovenlimiet [mm]	F_y [MPa]	F_u [MPa]
S 355	7850,0	2,1000e+05 8,0769e+04	0.3 0,00	0 40	40 80	355,0 335,0	490,0 470,0

Beton EC2

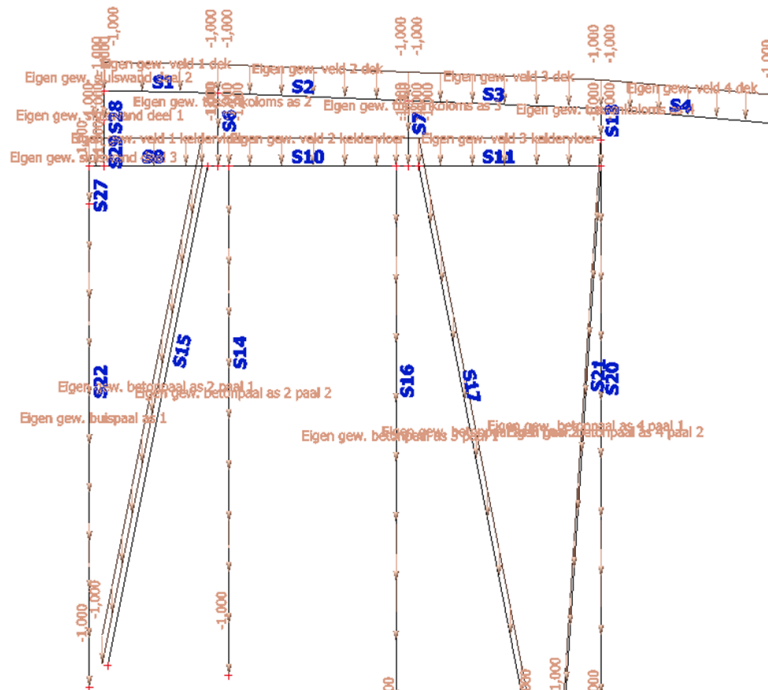
Naam	Type	ρ [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	μ	α [m/mK]	$f_{c,k,28}$ [MPa]
C55/67	Beton	2500,0	3,8200e+04	0.2	0,00	55,00

11. Belastingsgevallen

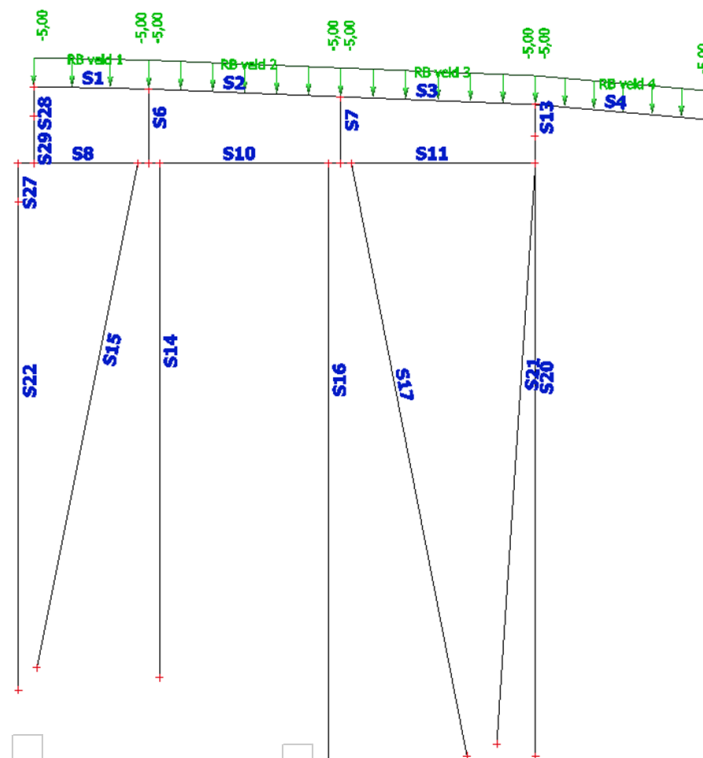
Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
	Spec	Belastingtype			
BG1	Eigengewicht	Permanent	Permanente belasting		
		Standaard			
BG2	Rustende belasting	Permanent	Rustende belasting		
		Standaard			
BG3	UDL veld 1 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting UDL	Lang	Geen
		Standaard			
BG4	UDL veld 2 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting UDL	Lang	Geen
		Standaard			
BG5	UDL veld 3 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting UDL	Lang	Geen
		Standaard			
BG6	UDL veld 4 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting UDL	Lang	Geen
		Standaard			
BG7	UDL val BM 1	Variabel	Verkeersbelasting UDL	Lang	Geen
		Standaard			
BG8	TS as 1 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG9	TS as 2 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG10	TS as 3 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG11	TS as 4 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG12	TS veld 1 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG13	TS veld 2 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG14	TS veld 3 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG15	TS veld 4 BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG16	TS val BM 1	Variabel	Verkeersbelasting TS BM1	Lang	Geen
		Standaard			
BG17	TS as 1 BM 2	Variabel	Verkeersbelasting TS BM2	Lang	Geen
		Standaard			
BG18	TS as 2 BM 2	Variabel	Verkeersbelasting TS BM2	Lang	Geen
		Standaard			
BG19	TS as 3 BM 2	Variabel	Verkeersbelasting TS BM2	Lang	Geen
		Standaard			
BG20	TS as 4 BM 2	Variabel	Verkeersbelasting TS BM2	Lang	Geen
		Standaard			
BG21	TS veld 1 BM 2	Variabel	Verkeersbelasting TS BM2	Lang	Geen
		Standaard			
BG22	TS veld 2 BM 2	Variabel	Verkeersbelasting	Lang	Geen

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
	Spec	Belastingtype			
	Standaard	Statisch	TS BM2		
BG23	TS veld 3 BM 2	Variabel	Verkeersbelasting TS BM2	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG24	TS veld 4 BM 2	Variabel	Verkeersbelasting TS BM2	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG25	Aanvaring sluiswand schamp	Variabel	Aanvaarbelasting	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			
BG26	Belasting vloer v1	Variabel	Belasting Keldervloer	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG27	Belasting vloer v2	Variabel	Belasting Keldervloer	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG28	Belasting vloer v3	Variabel	Belasting Keldervloer	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG29	IJsbelasting hoog	Variabel	IJsbelasting	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG30	IJsbelasting NAP	Variabel	IJsbelasting	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG31	IJsbelasting laag	Variabel	IJsbelasting	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG32	Calamiteit op N'zee	Variabel	Waterbelasting	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG33	Onderhoud Sluiskoik	Variabel	Waterbelasting	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG34	Hogwater N'zee	Variabel	Waterbelasting	Lang	Geen
	Standaard	Statisch			
BG35	Remkrachten x-ri	Variabel	Verkeersbelasting remkrachten	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			
BG36	Remkrachten -x-ri	Variabel	Verkeersbelasting remkrachten	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			

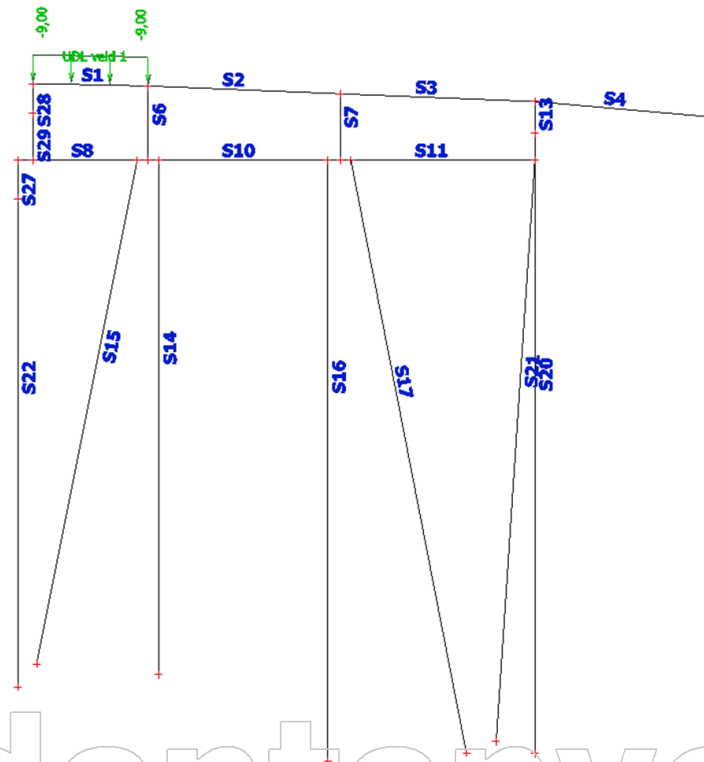
12. BG1 - Eigengewicht



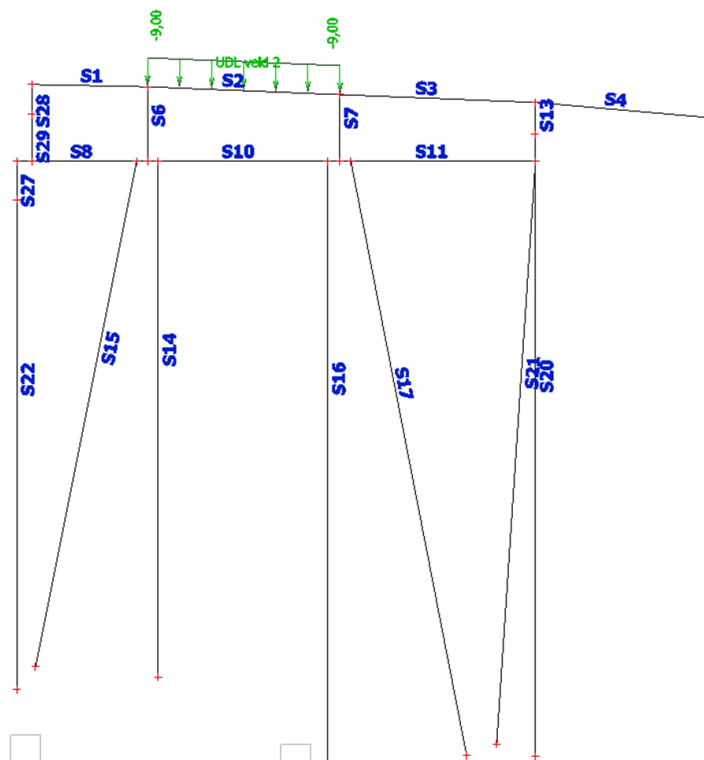
13. BG2 - Rustende belasting



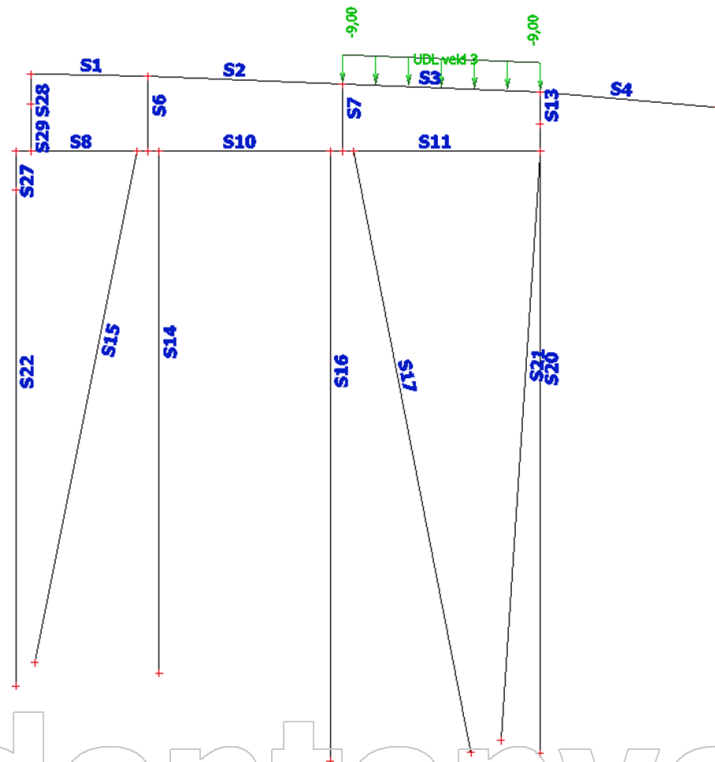
14. BG3 - UDL veld 1 BM 1



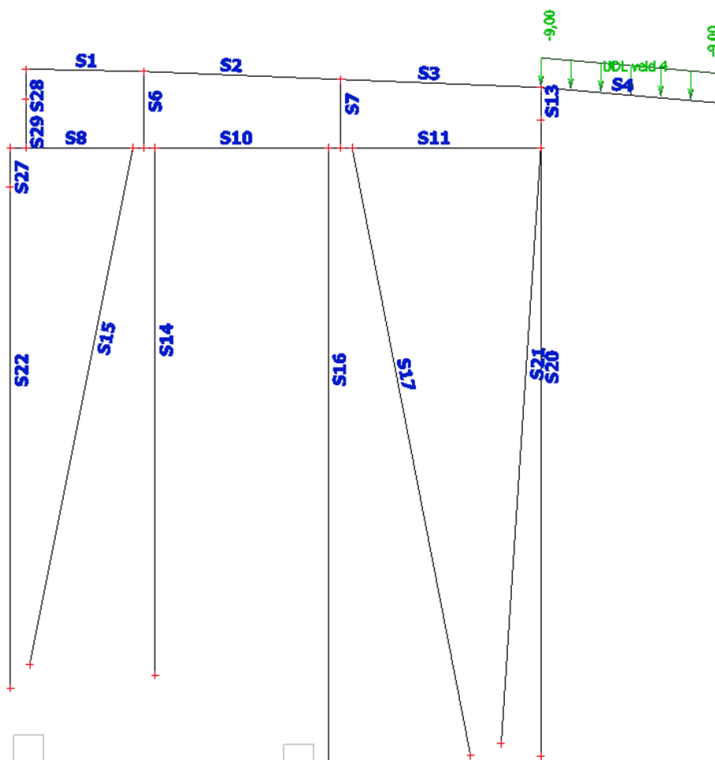
15. BG4 - UDL veld 2 BM 1



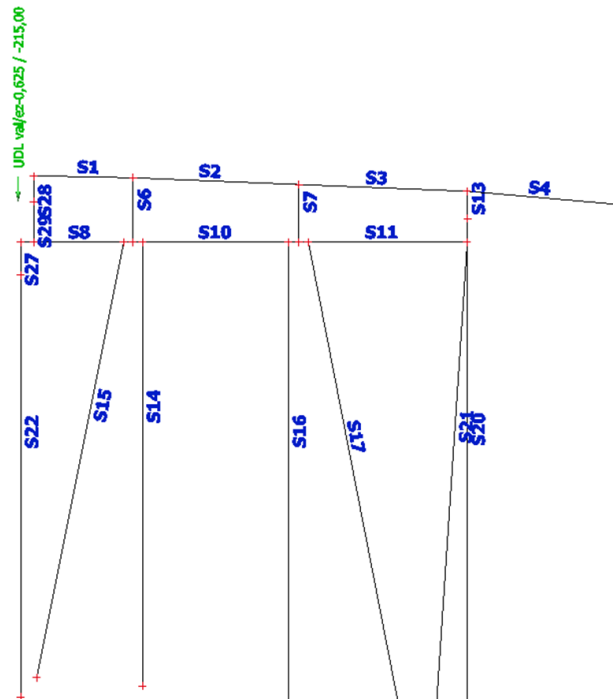
16. BG5 - UDL veld 3 BM 1



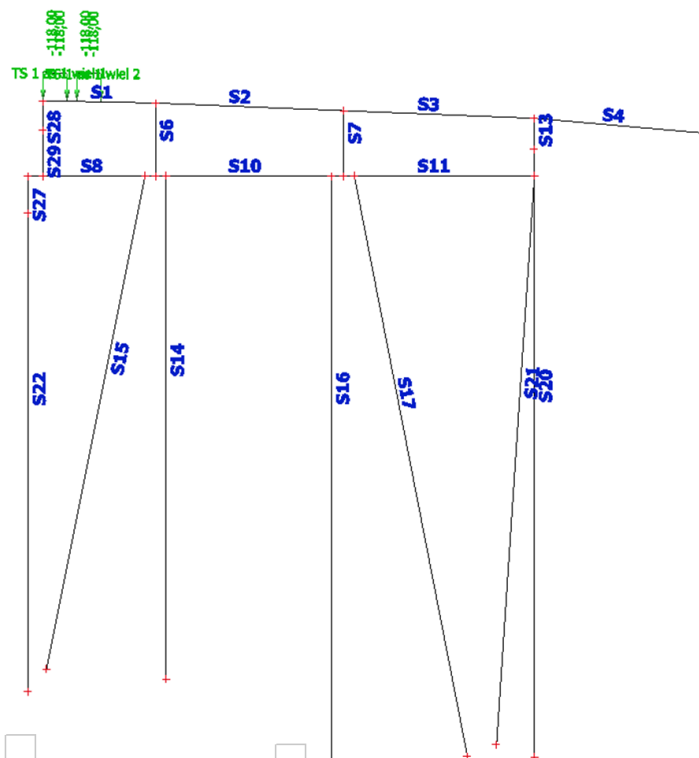
17. BG6 - UDL veld 4 BM 1



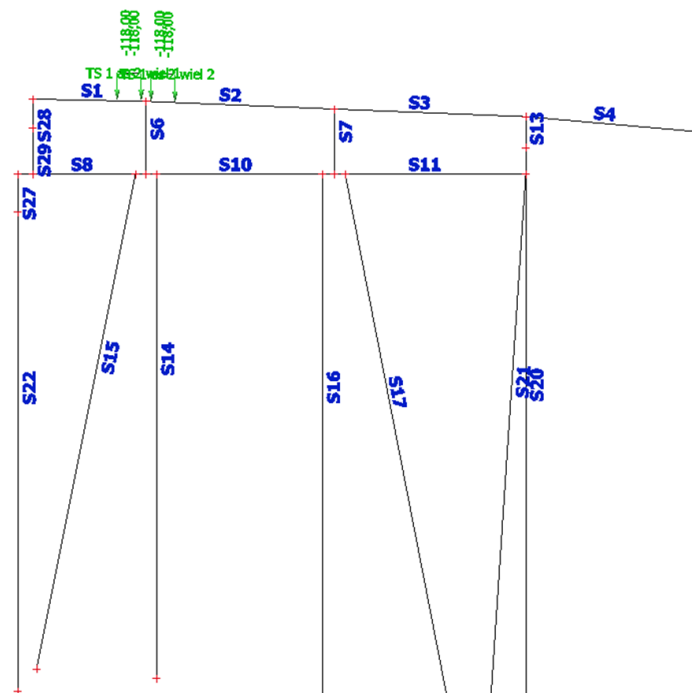
18. BG7 - UDL val BM 1



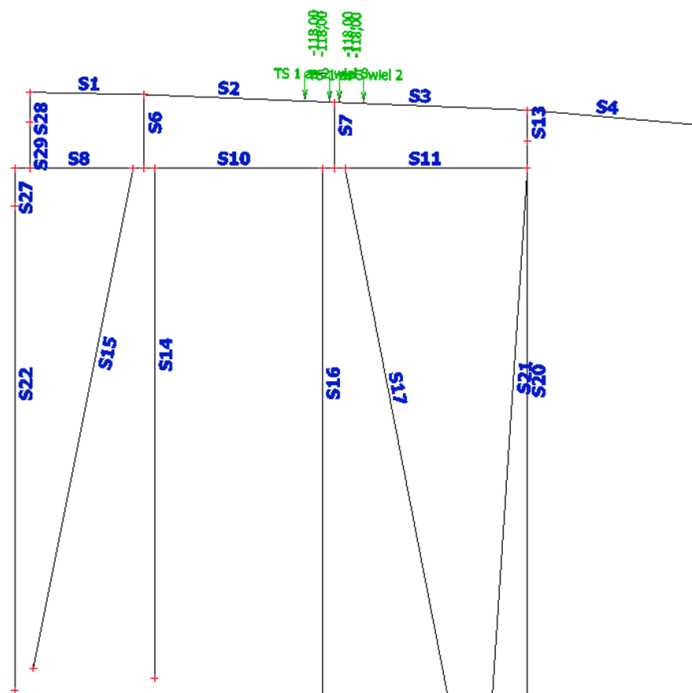
19. BG8 - TS as 1 BM 1



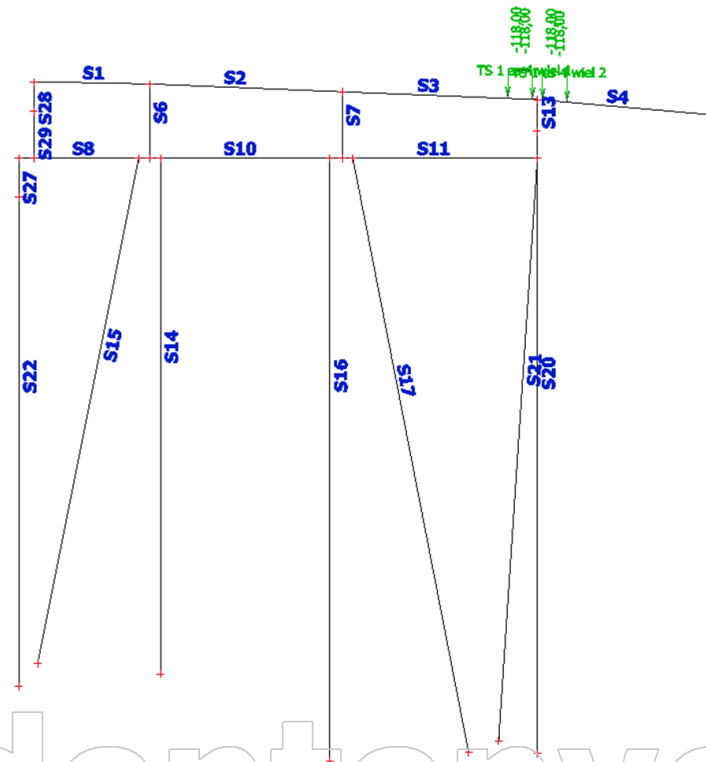
20. BG9 - TS as 2 BM 1



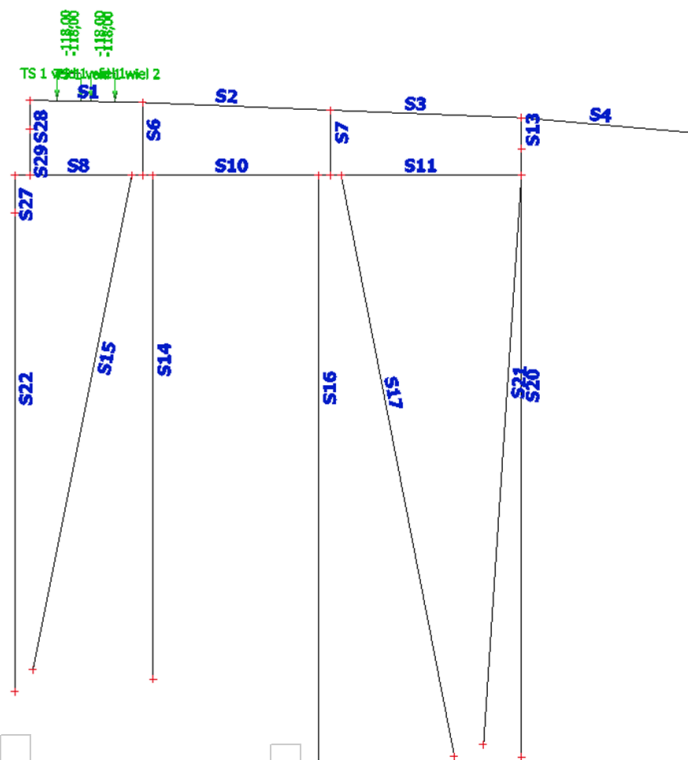
21. BG10 - TS as 3 BM 1



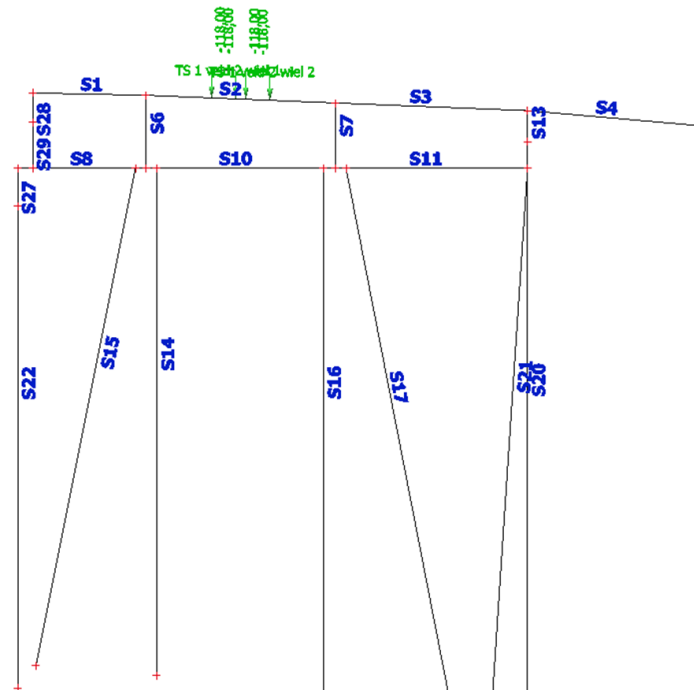
22. BG11 - TS as 4 BM 1



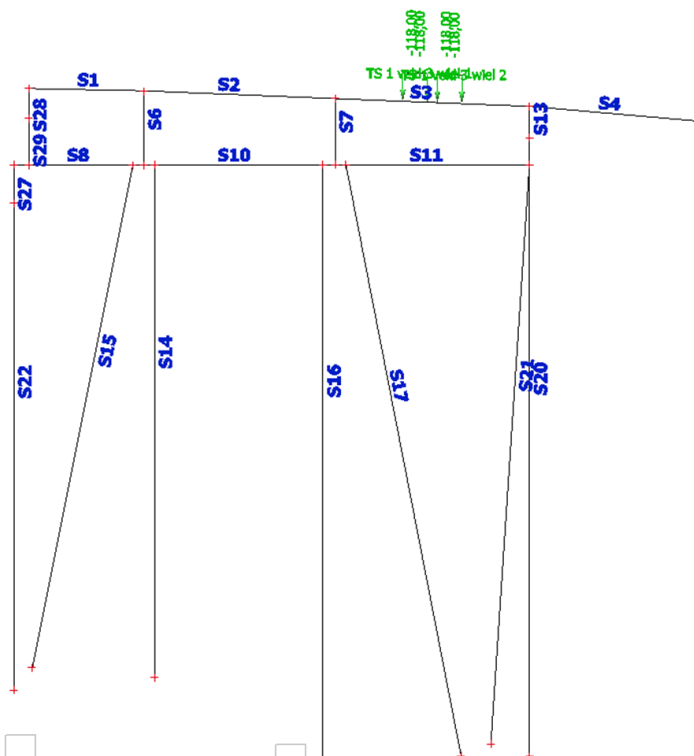
23. BG12 - TS veld 1 BM 1



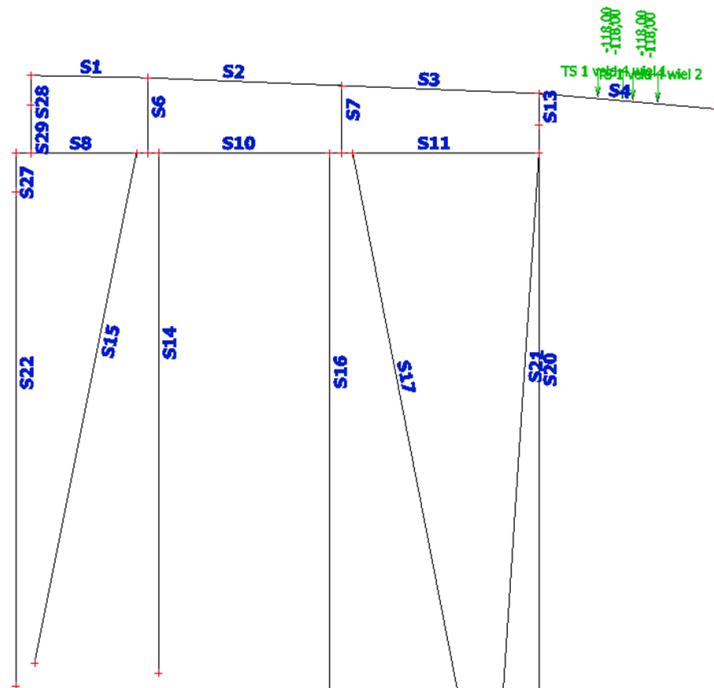
24. BG13 - TS veld 2 BM 1



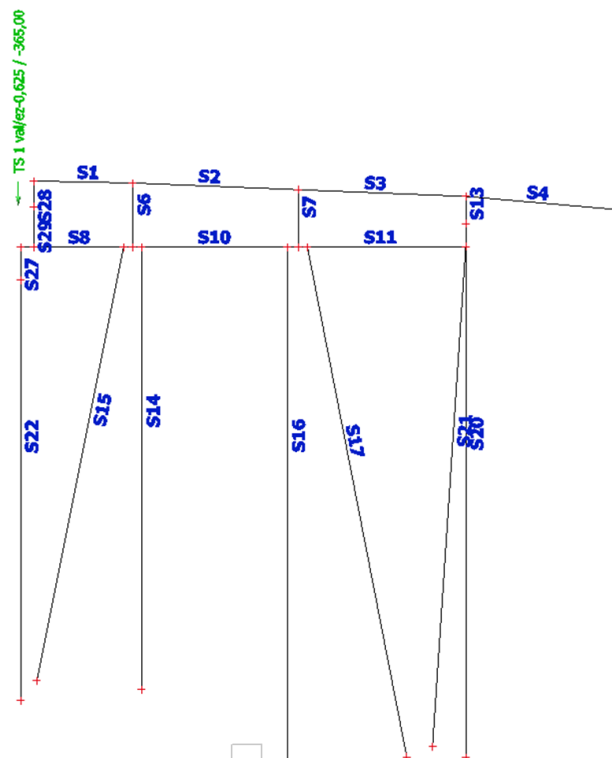
25. BG14 - TS veld 3 BM 1



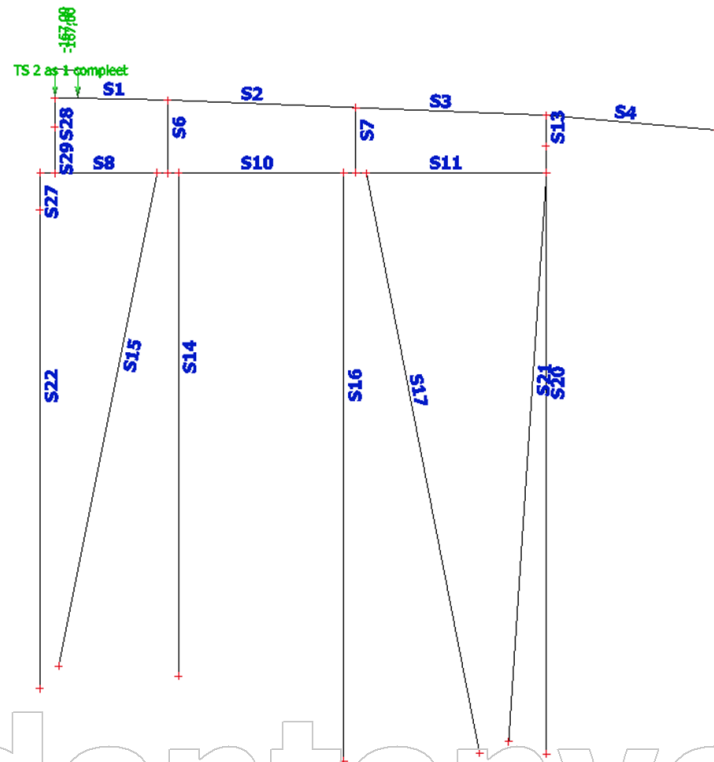
26. BG15 - TS veld 4 BM 1



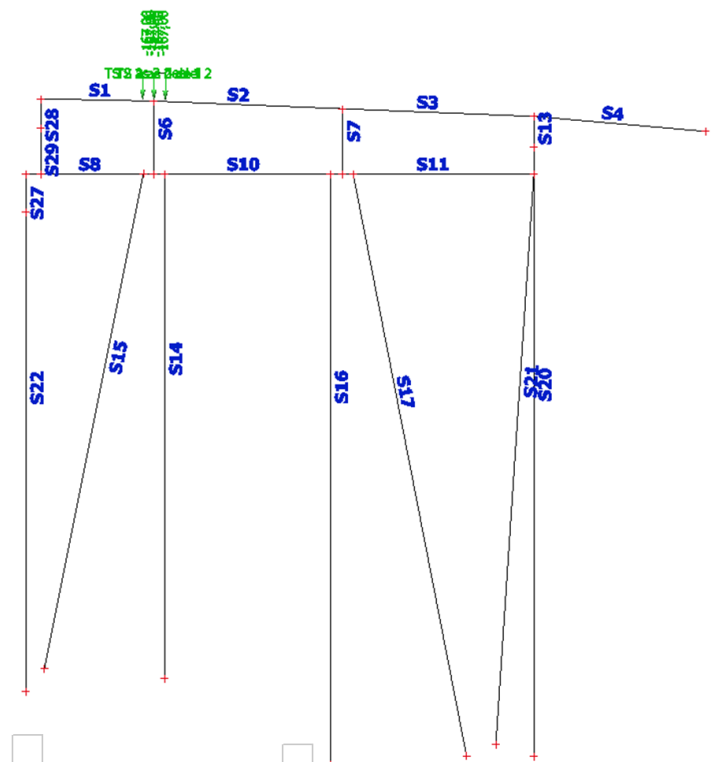
27. BG16 - TS val BM 1



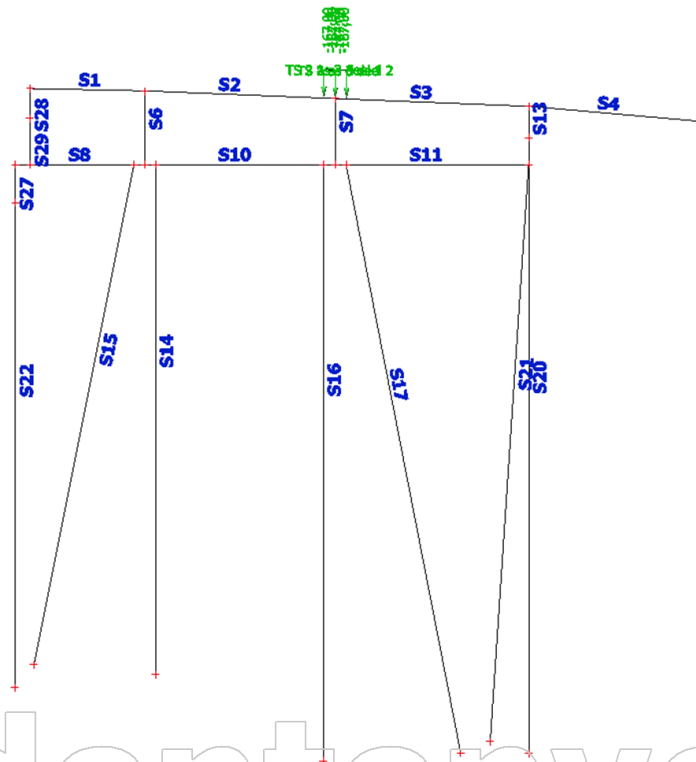
28. BG17 - TS as 1 BM 2



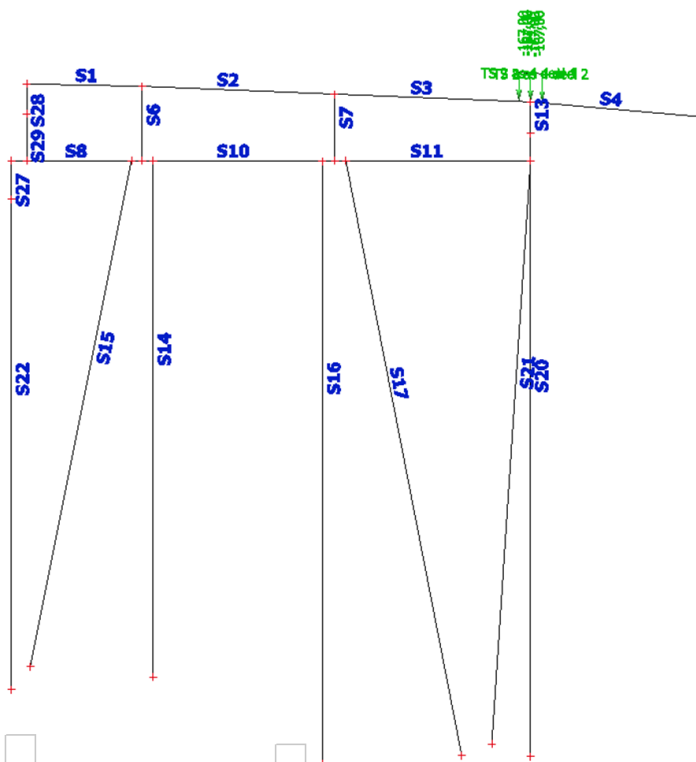
29. BG18 - TS as 2 BM 2



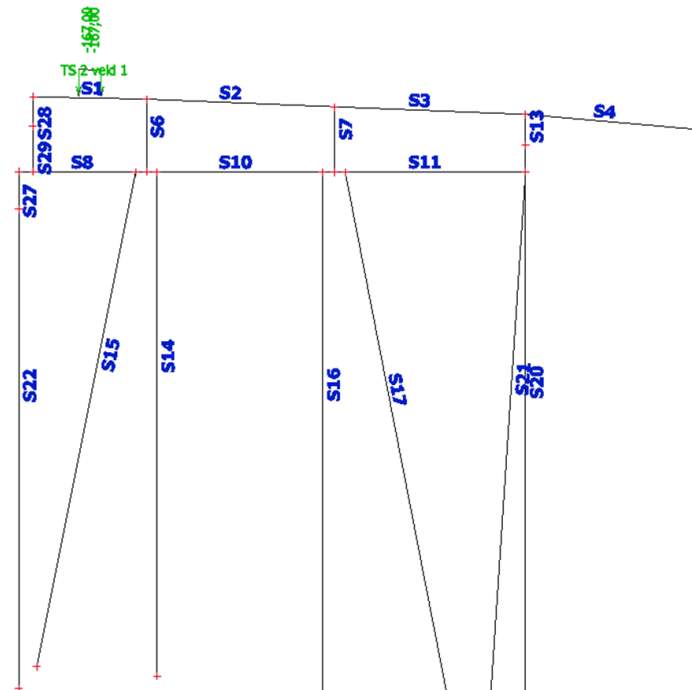
30. BG19 - TS as 3 BM 2



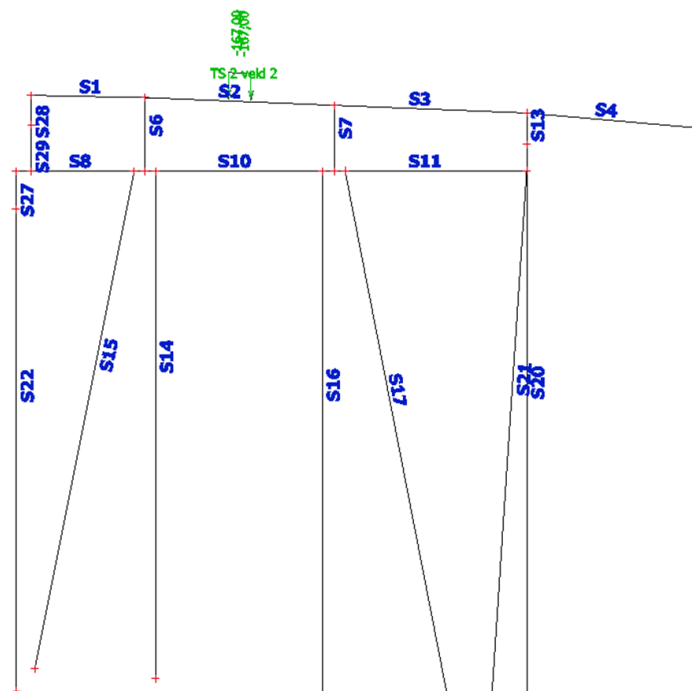
31. BG20 - TS as 4 BM 2



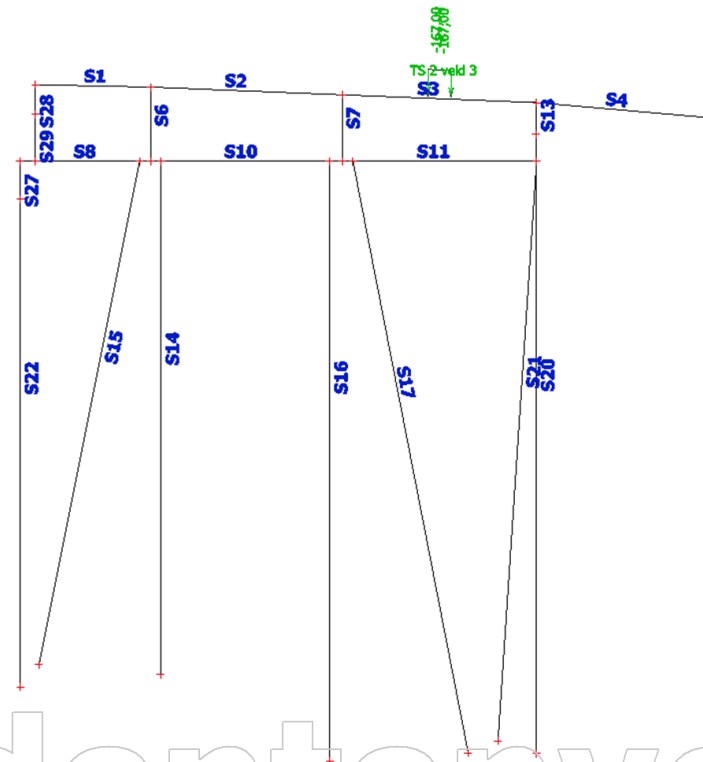
32. BG21 - TS veld 1 BM 2



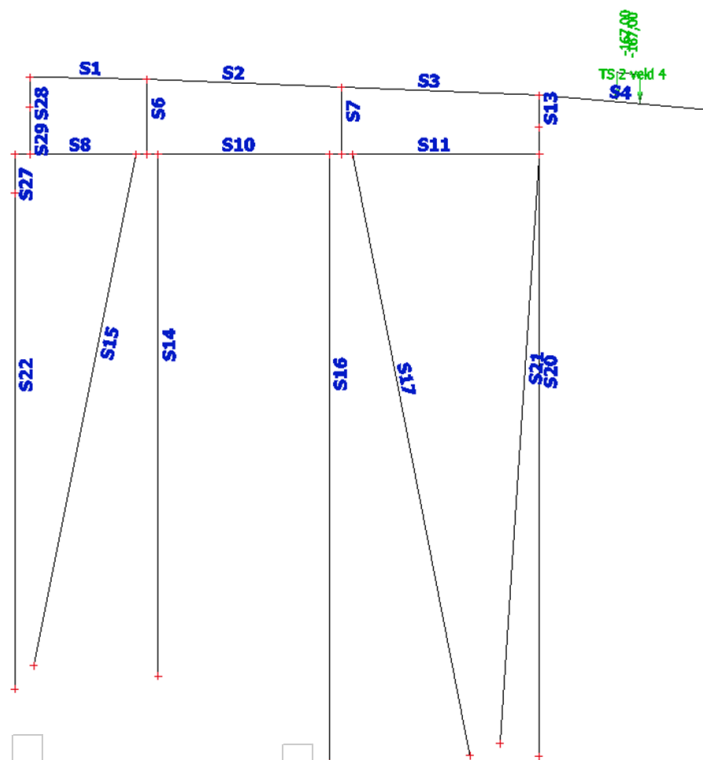
33. BG22 - TS veld 2 BM 2



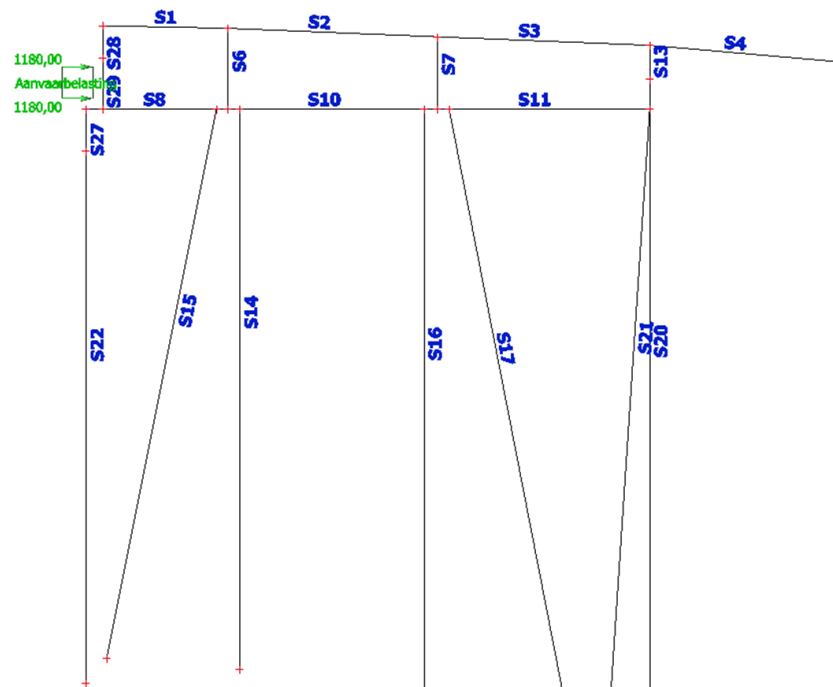
34. BG23 - TS veld 3 BM 2



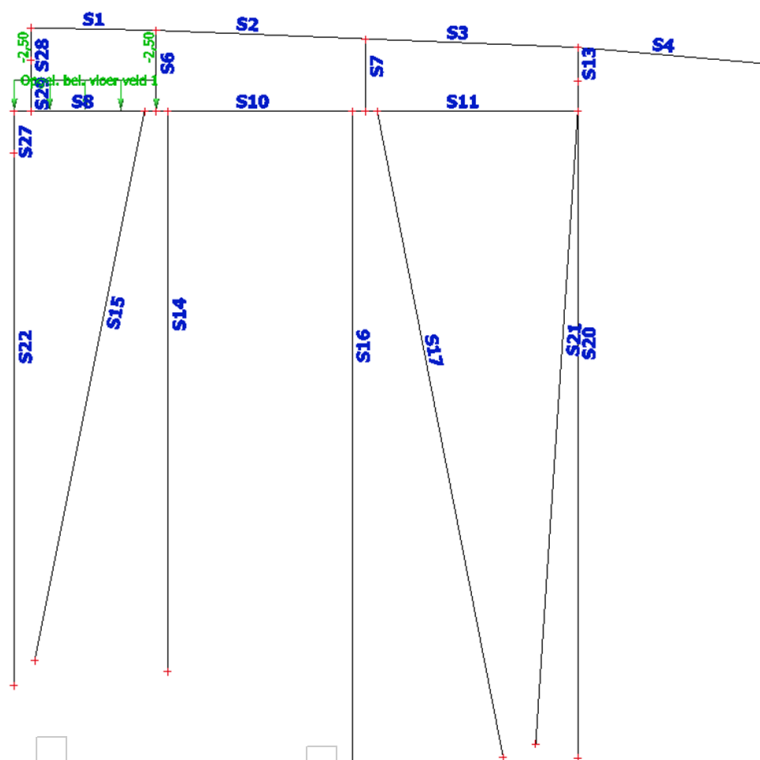
35. BG24 - TS veld 4 BM 2



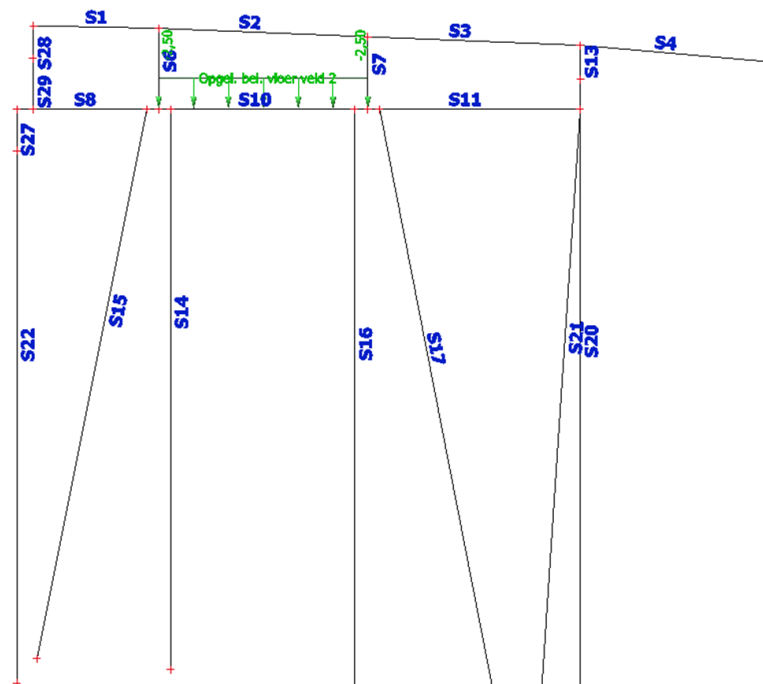
36. BG25 - Aanvaring sluiswand schamp



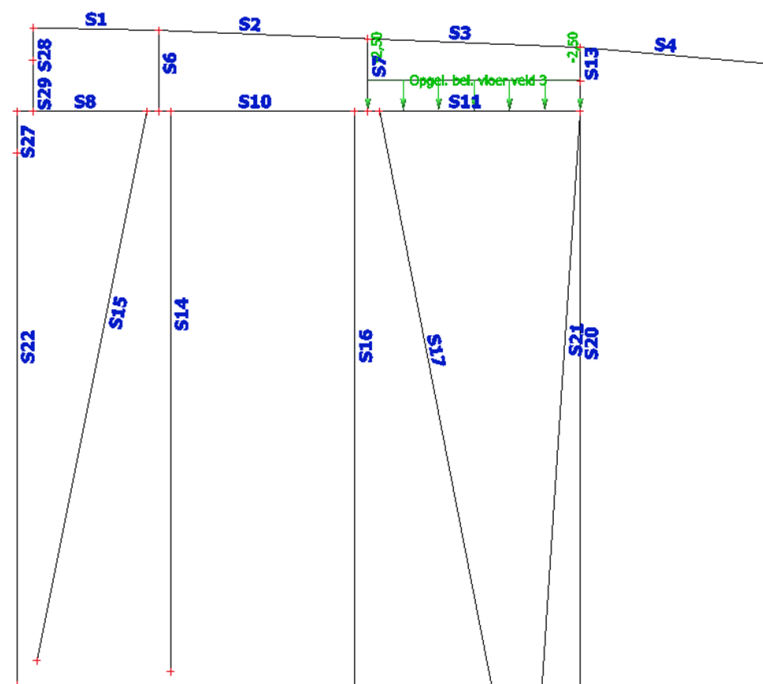
37. BG26 - Belasting vloer v1



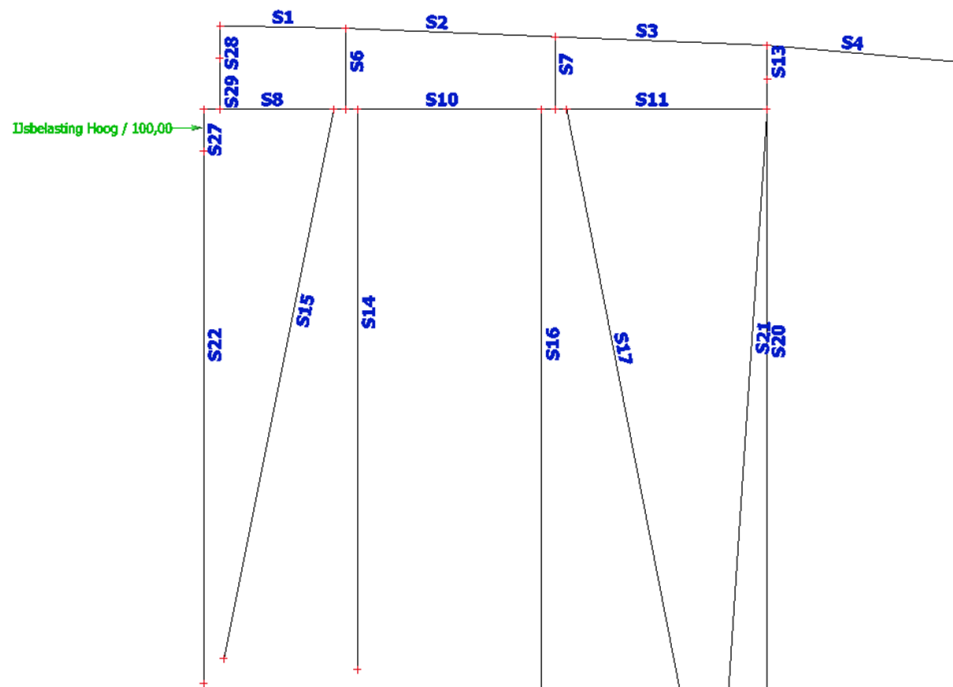
38. BG27 - Belasting vloer v2



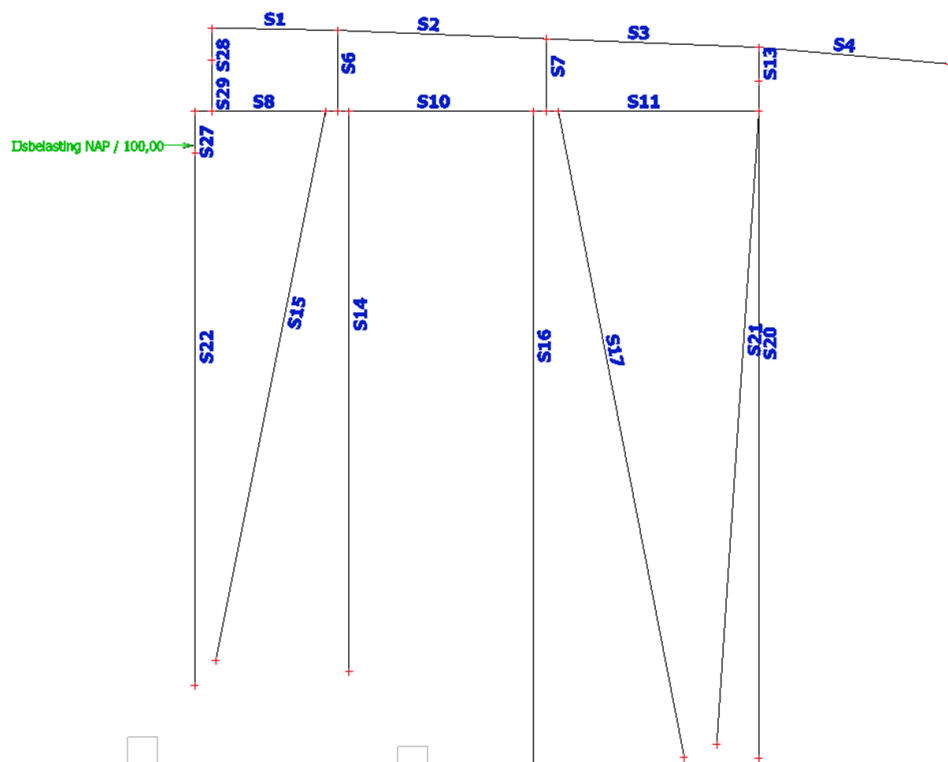
39. BG28 - Belasting vloer v3



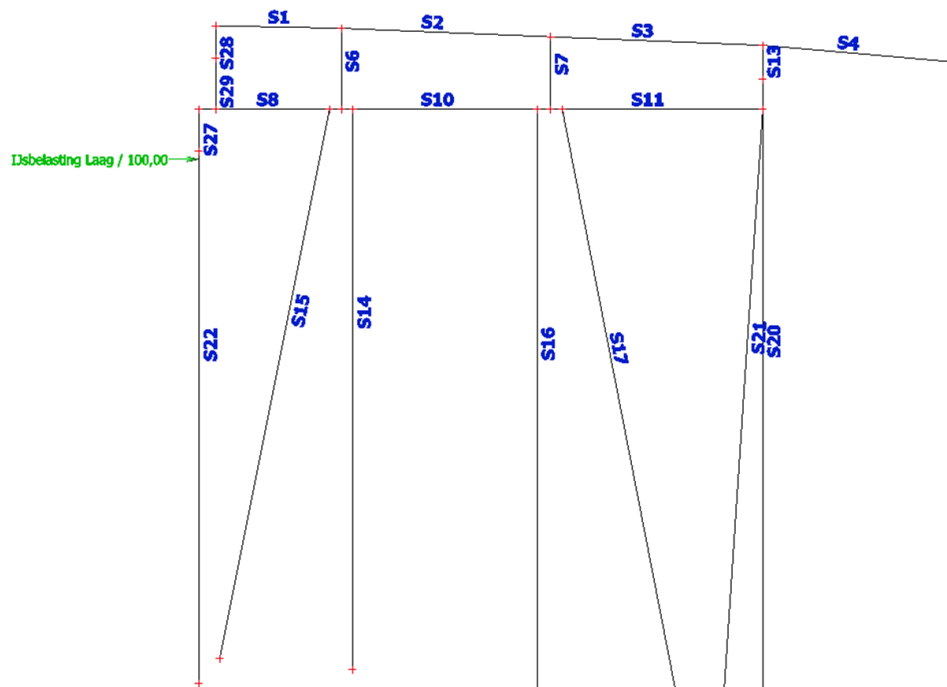
40. BG29 - IJsbelasting hoog



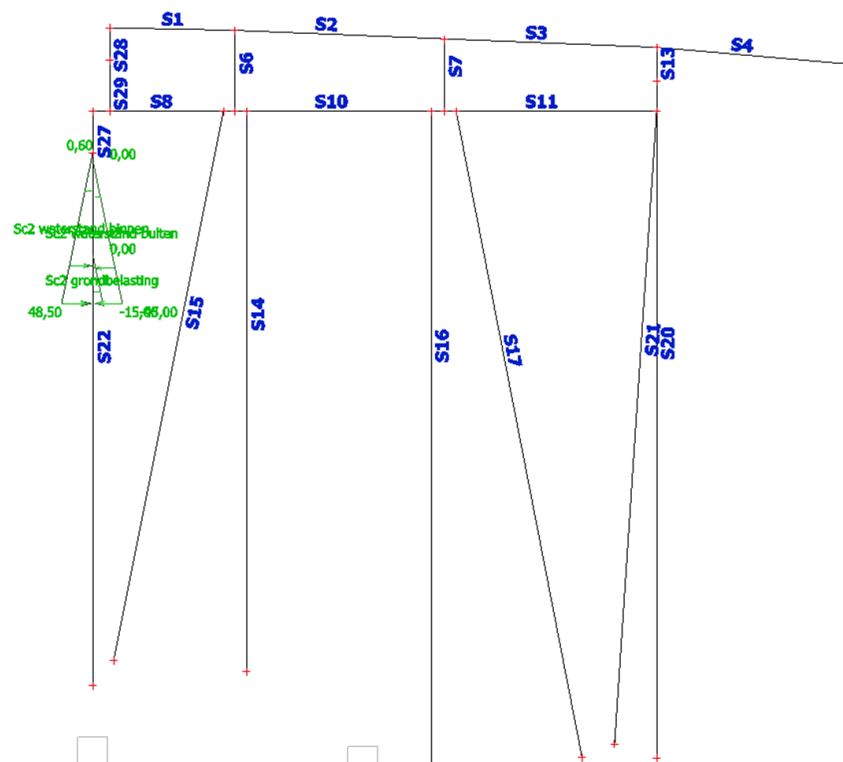
41. BG30 - IJsbelasting NAP



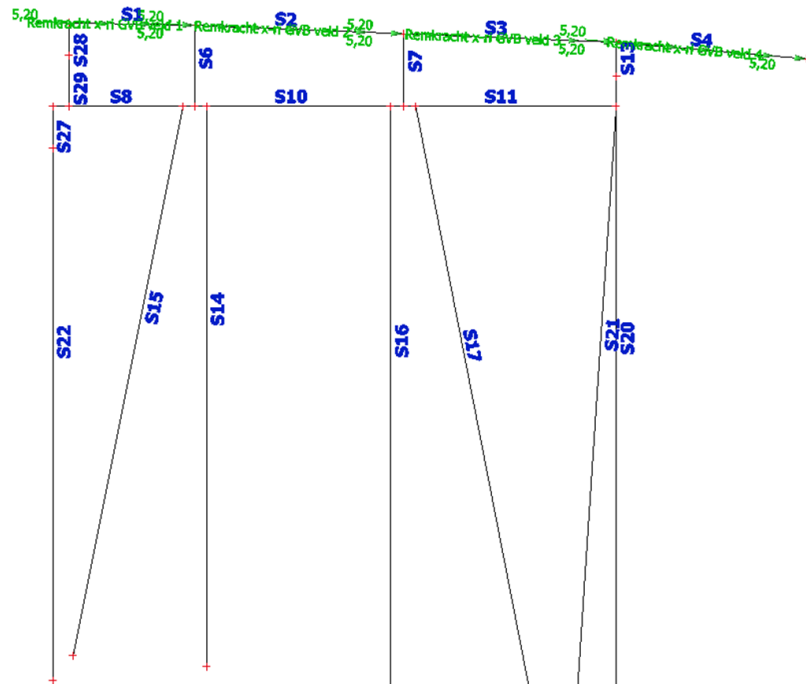
42. BG31 - IJsbelasting laag



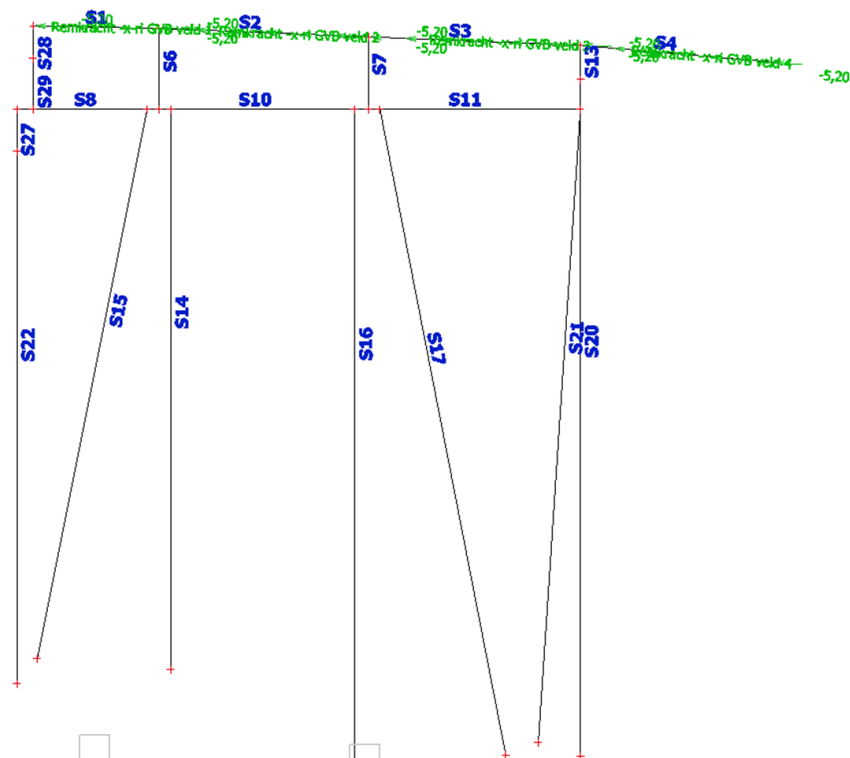
43. BG32 - Calamiteit op N'zeekanaal



46. BG35 - Remkrachten x-ri



47. BG36 - Remkrachten -x-ri



48. Belastinggroepen

Naam	Last	Relatie	Type
Permanente belasting	Permanent		
Rustende belasting	Permanent		
Verkeersbelasting UDL	Variabel	Standaard	Cat G : Voertuigen >30kN
Verkeersbelasting TS BM1	Variabel	Exclusief	Cat G : Voertuigen >30kN
Verkeersbelasting TS BM2	Variabel	Exclusief	Cat G : Voertuigen >30kN
Aanvaarbelasting	Variabel	Exclusief	Cat G : Voertuigen >30kN
Ijsbelasting	Variabel	Exclusief	Cat G : Voertuigen >30kN
Belasting Keldervloer	Variabel	Standaard	Cat G : Voertuigen >30kN
Verkeersbelasting remkrachten	Variabel	Standaard	Cat G : Voertuigen >30kN
Waterbelasting	Variabel	Exclusief	Cat G : Voertuigen >30kN

49. Combinaties

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
gr1a - omh UGT 6.10a		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,35
			BG2 - Rustende belasting	1,35
			BG3 - UDL veld 1 BM 1	1,50
			BG4 - UDL veld 2 BM 1	1,50
			BG5 - UDL veld 3 BM 1	1,50
			BG6 - UDL veld 4 BM 1	1,50
			BG7 - UDL val BM 1	1,50
			BG8 - TS as 1 BM 1	1,50
			BG9 - TS as 2 BM 1	1,50
			BG10 - TS as 3 BM 1	1,50
			BG11 - TS as 4 BM 1	1,50
			BG12 - TS veld 1 BM 1	1,50
			BG13 - TS veld 2 BM 1	1,50
			BG14 - TS veld 3 BM 1	1,50
			BG15 - TS veld 4 BM 1	1,50
			BG16 - TS val BM 1	1,50
			BG26 - Belasting vloer v1	1,20
			BG27 - Belasting vloer v2	1,20
			BG28 - Belasting vloer v3	1,20
			BG32 - Calamiteit op N'zee	1,20
			BG33 - Onderhoud Sluiskolk	1,20
			BG34 - Hoogwater N'zee	1,20
			BG35 - Remkrachten x-ri	1,20
			BG36 - Remkrachten -x-ri	1,20
gr1a - omh UGT 6.10b		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,20
			BG2 - Rustende belasting	1,20
			BG3 - UDL veld 1 BM 1	1,50
			BG4 - UDL veld 2 BM 1	1,50
			BG5 - UDL veld 3 BM 1	1,50
			BG6 - UDL veld 4 BM 1	1,50
			BG7 - UDL val BM 1	1,50
			BG8 - TS as 1 BM 1	1,50
			BG9 - TS as 2 BM 1	1,50
			BG10 - TS as 3 BM 1	1,50
			BG11 - TS as 4 BM 1	1,50
			BG12 - TS veld 1 BM 1	1,50
			BG13 - TS veld 2 BM 1	1,50
			BG14 - TS veld 3 BM 1	1,50
			BG15 - TS veld 4 BM 1	1,50
			BG16 - TS val BM 1	1,50
			BG26 - Belasting vloer v1	1,20
			BG27 - Belasting vloer v2	1,20
			BG28 - Belasting vloer v3	1,20
			BG32 - Calamiteit op N'zee	1,20
			BG33 - Onderhoud Sluiskolk	1,20
			BG34 - Hoogwater N'zee	1,20
			BG35 - Remkrachten x-ri	1,20
			BG36 - Remkrachten -x-ri	1,20
gr1b - omh UGT 6.10a		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,35
			BG2 - Rustende belasting	1,35
			BG17 - TS as 1 BM 2	1,50
			BG18 - TS as 2 BM 2	1,50
			BG19 - TS as 3 BM 2	1,50
			BG20 - TS as 4 BM 2	1,50
			BG21 - TS veld 1 BM 2	1,50
			BG22 - TS veld 2 BM 2	1,50
			BG23 - TS veld 3 BM 2	1,50
			BG24 - TS veld 4 BM 2	1,50
			BG26 - Belasting vloer v1	1,20
			BG27 - Belasting vloer v2	1,20
			BG28 - Belasting vloer v3	1,20
gr1b - omh UGT 6.10b		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,20
			BG2 - Rustende belasting	1,20
			BG17 - TS as 1 BM 2	1,50

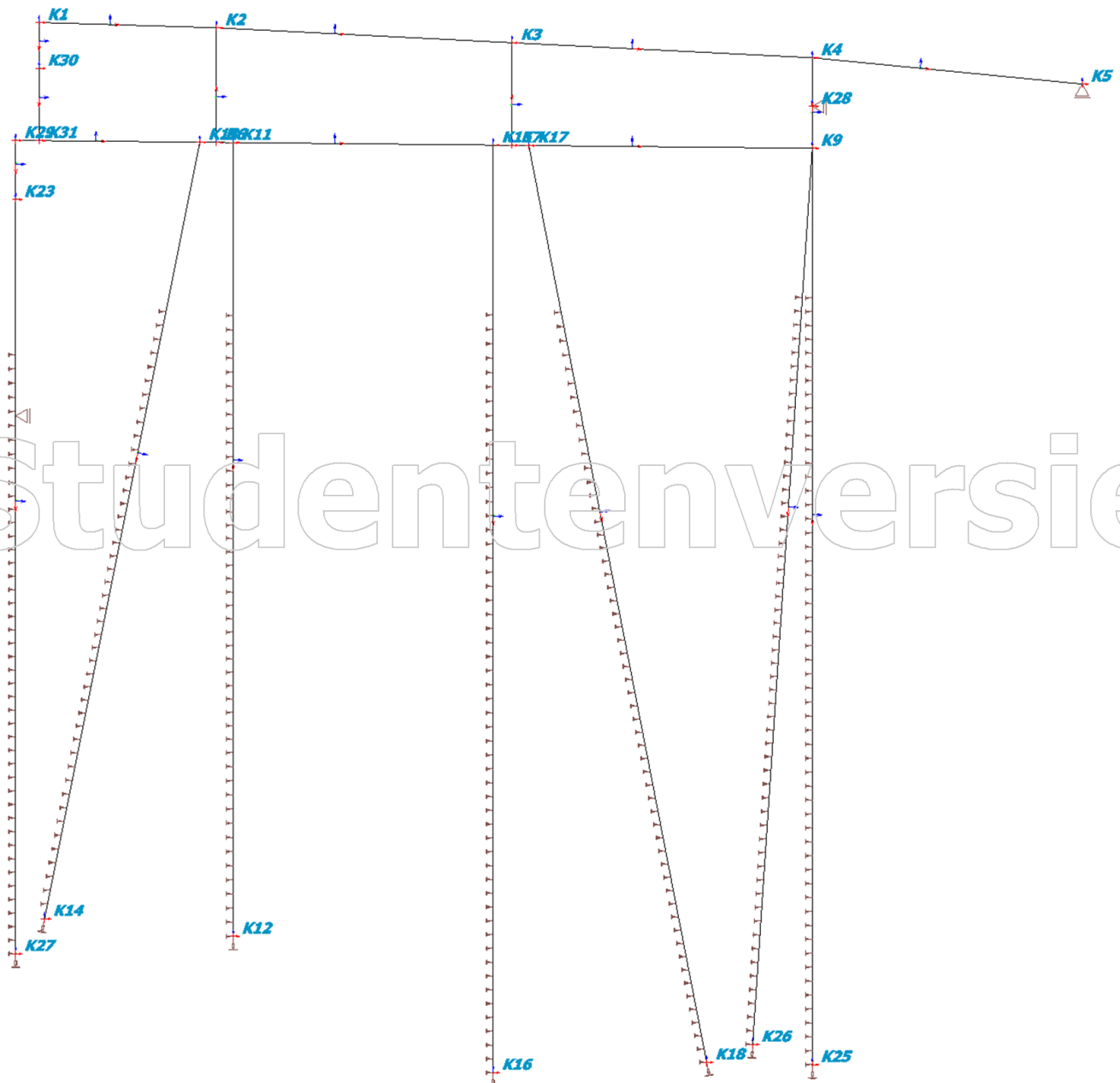
Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG18 - TS as 2 BM 2	1,50
			BG19 - TS as 3 BM 2	1,50
			BG20 - TS as 4 BM 2	1,50
			BG21 - TS veld 1 BM 2	1,50
			BG22 - TS veld 2 BM 2	1,50
			BG23 - TS veld 3 BM 2	1,50
			BG24 - TS veld 4 BM 2	1,50
			BG26 - Belasting vloer v1	1,20
			BG27 - Belasting vloer v2	1,20
			BG28 - Belasting vloer v3	1,20
gr2 - omh UGT 6.10a		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,35
			BG2 - Rustende belasting	1,35
			BG3 - UDL veld 1 BM 1	1,20
			BG4 - UDL veld 2 BM 1	1,20
			BG5 - UDL veld 3 BM 1	1,20
			BG6 - UDL veld 4 BM 1	1,20
			BG7 - UDL val BM 1	1,20
			BG8 - TS as 1 BM 1	1,20
			BG9 - TS as 2 BM 1	1,20
			BG10 - TS as 3 BM 1	1,20
			BG11 - TS as 4 BM 1	1,20
			BG12 - TS veld 1 BM 1	1,20
			BG13 - TS veld 2 BM 1	1,20
			BG14 - TS veld 3 BM 1	1,20
			BG15 - TS veld 4 BM 1	1,20
			BG16 - TS val BM 1	1,20
			BG26 - Belasting vloer v1	1,20
			BG27 - Belasting vloer v2	1,20
			BG28 - Belasting vloer v3	1,20
			BG32 - Calamiteit op N'zee	1,50
			BG33 - Onderhoud Sluiskolk	1,50
			BG34 - Hoogwater N'zee	1,50
			BG35 - Remkrachten x-ri	1,50
			BG36 - Remkrachten -x-ri	1,50
gr2 - omh UGT 6.10b		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,20
			BG2 - Rustende belasting	1,20
			BG3 - UDL veld 1 BM 1	1,20
			BG4 - UDL veld 2 BM 1	1,20
			BG5 - UDL veld 3 BM 1	1,20
			BG6 - UDL veld 4 BM 1	1,20
			BG7 - UDL val BM 1	1,20
			BG8 - TS as 1 BM 1	1,20
			BG9 - TS as 2 BM 1	1,20
			BG10 - TS as 3 BM 1	1,20
			BG11 - TS as 4 BM 1	1,20
			BG12 - TS veld 1 BM 1	1,20
			BG13 - TS veld 2 BM 1	1,20
			BG14 - TS veld 3 BM 1	1,20
			BG15 - TS veld 4 BM 1	1,20
			BG16 - TS val BM 1	1,20
			BG26 - Belasting vloer v1	1,20
			BG27 - Belasting vloer v2	1,20
			BG28 - Belasting vloer v3	1,20
			BG32 - Calamiteit op N'zee	1,50
			BG33 - Onderhoud Sluiskolk	1,50
			BG34 - Hoogwater N'zee	1,50
			BG35 - Remkrachten x-ri	1,50
			BG36 - Remkrachten -x-ri	1,50
gr1a - omh BGT		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,00
			BG2 - Rustende belasting	1,00
			BG3 - UDL veld 1 BM 1	1,00
			BG4 - UDL veld 2 BM 1	1,00
			BG5 - UDL veld 3 BM 1	1,00
			BG6 - UDL veld 4 BM 1	1,00
			BG7 - UDL val BM 1	1,00
			BG8 - TS as 1 BM 1	1,00

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG9 - TS as 2 BM 1	1,00
			BG10 - TS as 3 BM 1	1,00
			BG11 - TS as 4 BM 1	1,00
			BG12 - TS veld 1 BM 1	1,00
			BG13 - TS veld 2 BM 1	1,00
			BG14 - TS veld 3 BM 1	1,00
			BG15 - TS veld 4 BM 1	1,00
			BG16 - TS val BM 1	1,00
			BG26 - Belasting vloer v1	0,80
			BG27 - Belasting vloer v2	0,80
			BG28 - Belasting vloer v3	0,80
			BG32 - Calamiteit op N'zee	0,80
			BG33 - Onderhoud Sluiskolk	0,80
			BG34 - Hoogwater N'zee	0,80
			BG35 - Remkrachten x-ri	0,80
			BG36 - Remkrachten -x-ri	0,80
gr1b - omh BGT		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,00
			BG2 - Rustende belasting	1,00
			BG17 - TS as 1 BM 2	1,00
			BG18 - TS as 2 BM 2	1,00
			BG19 - TS as 3 BM 2	1,00
			BG20 - TS as 4 BM 2	1,00
			BG21 - TS veld 1 BM 2	1,00
			BG22 - TS veld 2 BM 2	1,00
			BG23 - TS veld 3 BM 2	1,00
			BG24 - TS veld 4 BM 2	1,00
			BG26 - Belasting vloer v1	0,80
			BG27 - Belasting vloer v2	0,80
			BG28 - Belasting vloer v3	0,80
gr2 - omh BGT		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigengewicht	1,00
			BG2 - Rustende belasting	1,00
			BG3 - UDL veld 1 BM 1	0,80
			BG4 - UDL veld 2 BM 1	0,80
			BG5 - UDL veld 3 BM 1	0,80
			BG6 - UDL veld 4 BM 1	0,80
			BG7 - UDL val BM 1	0,80
			BG8 - TS as 1 BM 1	0,80
			BG9 - TS as 2 BM 1	0,80
			BG10 - TS as 3 BM 1	0,80
			BG11 - TS as 4 BM 1	0,80
			BG12 - TS veld 1 BM 1	0,80
			BG13 - TS veld 2 BM 1	0,80
			BG14 - TS veld 3 BM 1	0,80
			BG15 - TS veld 4 BM 1	0,80
			BG16 - TS val BM 1	0,80
			BG26 - Belasting vloer v1	0,80
			BG27 - Belasting vloer v2	0,80
			BG28 - Belasting vloer v3	0,80
			BG32 - Calamiteit op N'zee	1,00
			BG33 - Onderhoud Sluiskolk	1,00
			BG34 - Hoogwater N'zee	1,00
			BG35 - Remkrachten x-ri	1,00
			BG36 - Remkrachten -x-ri	1,50

50. Resultaatklassen

Naam	Lijst
UGT totaal	gr1a - omh UGT 6.10a - Omhullende - uiterst
	gr1a - omh UGT 6.10b - Omhullende - uiterst
	gr1b - omh UGT 6.10a - Omhullende - uiterst
	gr1b - omh UGT 6.10b - Omhullende - uiterst
	gr2 - omh UGT 6.10a - Omhullende - uiterst
	gr2 - omh UGT 6.10b - Omhullende - uiterst
BGT Frequent	gr1a - omh BGT - Omhullende - uiterst
	gr1b - omh BGT - Omhullende - uiterst
	gr2 - omh BGT - Omhullende - uiterst

51. Rekenmodel

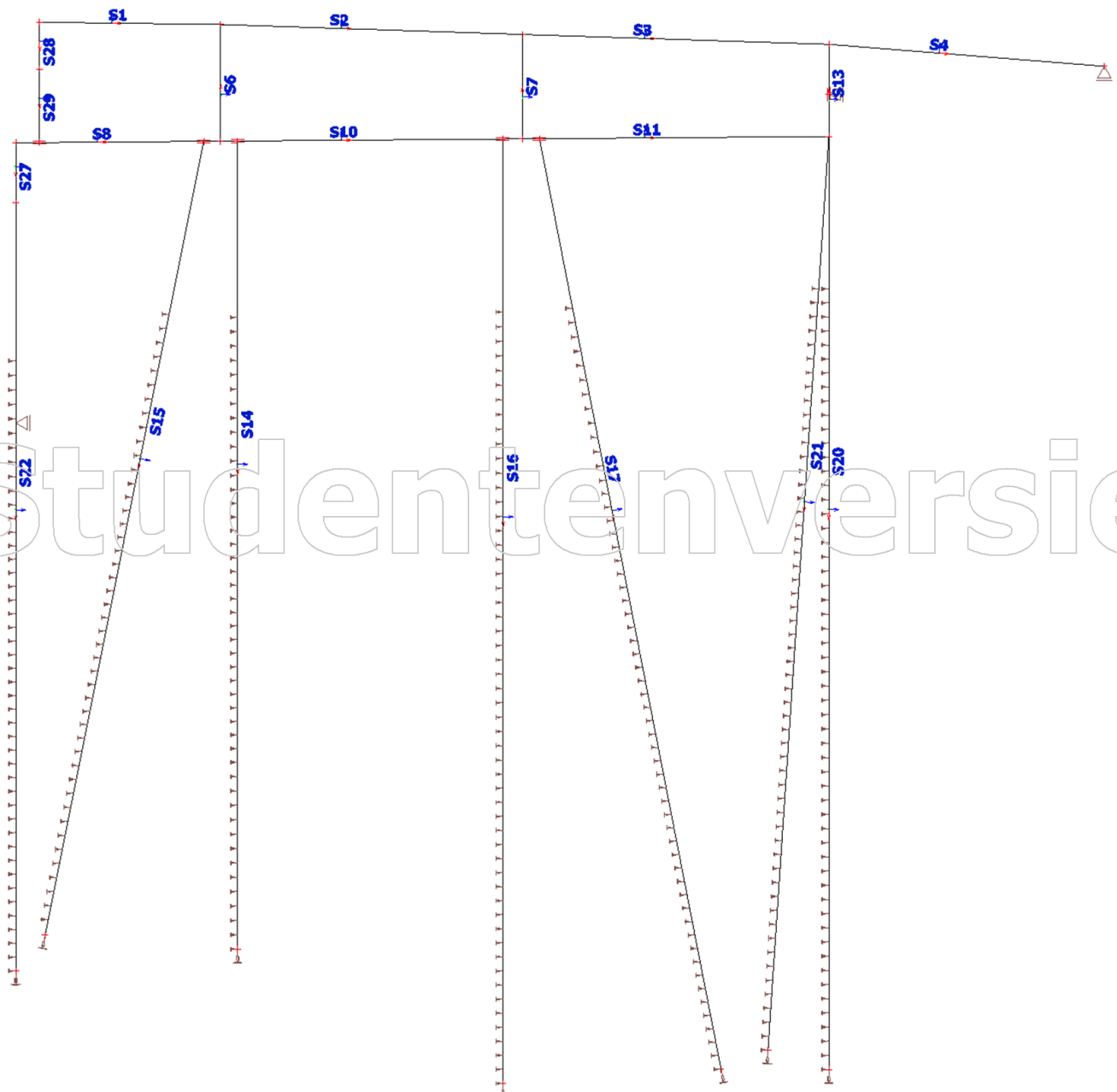


52. Knopen

Naam	Coördinaat X [m]	Coördinaat Y [m]	Coördinaat Z [m]
K1	2,211		-0,150
K2	6,200		-0,230
K3	12,850		-0,500
K4	19,600		-0,770
K5	25,670		-1,300
K6	6,200		-2,800
K7	12,850		-2,800
K9	19,600		-2,800
K11	6,575		-2,800
K12	6,575		-20,600
K13	5,825		-2,800
K14	2,335		-20,250

Naam	Coördinaat X [m]	Coördinaat Y [m]	Coördinaat Z [m]
K15	12,425		-2,800
K16	12,425		-23,600
K17	13,225		-2,800
K18	17,225		-23,320
K25	19,600		-23,350
K26	18,260		-22,910
K27	1,685		-21,040
K28	19,600		-1,860
K23	1,685		-4,125
K29	1,685		-2,800
K30	2,211		-1,180
K31	2,211		-2,800

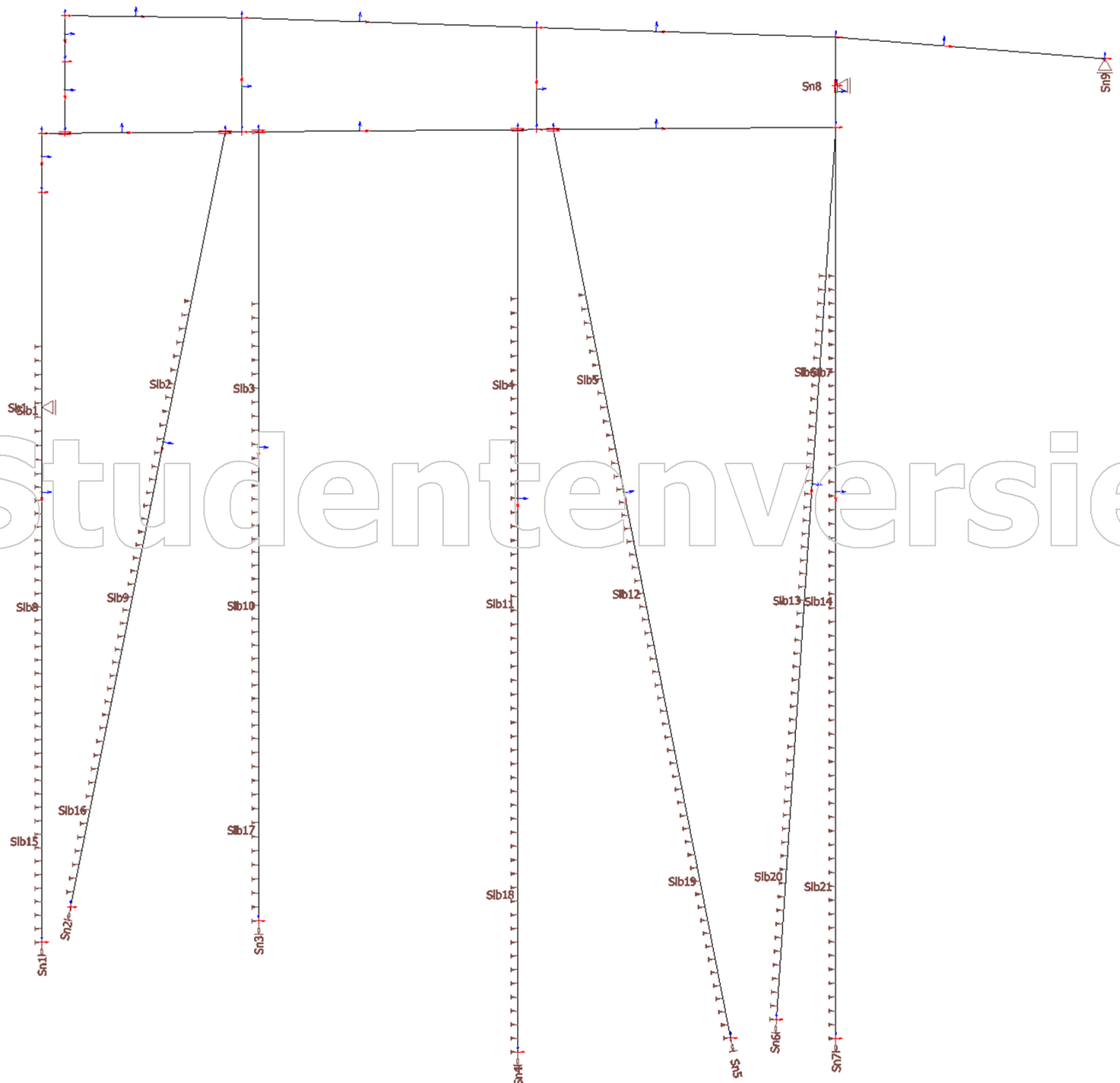
53. Rekenmodel



54. Staven

Naam	Doorsnede	Materiaal	Lengte [m]	Beginknoop	Eindknoop	Type
S1	CS1 - Rechthoek (350; 1000)	C55/67	3,990	K1	K2	Balk (80)
S2	CS1 - Rechthoek (350; 1000)	C55/67	6,655	K2	K3	Balk (80)
S3	CS1 - Rechthoek (350; 1000)	C55/67	6,755	K3	K4	Balk (80)
S4	CS1 - Rechthoek (350; 1000)	C55/67	6,093	K4	K5	Balk (80)
S6	CS2 - Rechthoek (400; 146)	C55/67	2,570	K6	K2	Kolom (100)
S7	CS2 - Rechthoek (400; 146)	C55/67	2,300	K7	K3	Kolom (100)
S8	CS3 - Rechthoek (250; 1000)	C55/67	4,515	K29	K6	Balk (80)
S10	CS3 - Rechthoek (250; 1000)	C55/67	6,650	K6	K7	Balk (80)
S11	CS3 - Rechthoek (250; 1000)	C55/67	6,750	K7	K9	Balk (80)
S13	CS4 - Rechthoek (500; 1000)	C55/67	2,030	K9	K4	Kolom (100)
S14	CS5 - Rechthoek (400; 145)	C55/67	17,800	K11	K12	Kolom (100)
S15	CS5 - Rechthoek (400; 145)	C55/67	17,796	K13	K14	Kolom (100)
S16	CS5 - Rechthoek (400; 145)	C55/67	20,800	K15	K16	Kolom (100)
S17	CS5 - Rechthoek (400; 145)	C55/67	20,906	K17	K18	Kolom (100)
S20	CS7 - Rechthoek (400; 125)	C55/67	20,550	K9	K25	Kolom (100)
S21	CS7 - Rechthoek (400; 125)	C55/67	20,155	K9	K26	Kolom (100)
S22	CS8 - CFCHS711X10	S 355	16,915	K23	K27	Kolom (100)
S27	CS9 - Rechthoek (800; 1000)	C55/67	1,325	K29	K23	Kolom (100)
S28	CS11 - Rechthoek (650; 1000)	C55/67	1,030	K1	K30	Kolom (100)
S29	CS10 - Rechthoek (1250; 1000)	C55/67	1,620	K30	K31	Kolom (100)

55. Rekenmodel



56. Knoopondersteuningen

Naam	Knoop	Systeem	Type	X	Z	Stijfheid Z [MN/m]	Ry	Hoek [deg]
Sn9	K5	GCS	Standaard	Vrij	Vast		Vrij	
Sn3	K12	GCS	Standaard	Vrij	Verend	2,0000e+02	Vrij	
Sn1	K27	GCS	Standaard	Vrij	Verend	2,0000e+02	Vrij	
Sn4	K16	GCS	Standaard	Vrij	Verend	2,0000e+02	Vrij	
Sn5	K18	GCS	Standaard	Vrij	Verend	2,0000e+02	Vrij	Ry-11.31
Sn6	K26	GCS	Standaard	Vrij	Verend	2,0000e+02	Vrij	Ry3.81
Sn7	K25	GCS	Standaard	Vrij	Verend	2,0000e+02	Vrij	
Sn2	K14	GCS	Standaard	Vrij	Verend	2,0000e+02	Vrij	Ry11.31
Sn8	K28	GCS	Standaard	Vast	Vrij		Vrij	

57. Lijnondersteuning op staven

Naam	Type	Staf	Pos x ₁ [m]	Coör	X	Stijfheid X [MN/m ²]	Z	Ry
		Systeem	Pos x ₂ [m]	Oors				
Slb1	Lijn	S22	3,480	Abso	Verend	2,8900e-03	Vrij	Vrij
		GCS	6,350	Vanaf begin				
Slb2	Lijn	S15	3,880	Abso	Verend	2,5700e+00	Vrij	Vrij
		GCS	7,680	Vanaf begin				
Slb3	Lijn	S14	3,880	Abso	Verend	2,5700e+00	Vrij	Vrij
		GCS	7,680	Vanaf begin				
Slb4	Lijn	S16	3,810	Abso	Verend	2,5700e+00	Vrij	Vrij
		GCS	7,680	Vanaf begin				
Slb5	Lijn	S17	3,810	Abso	Verend	2,5700e+00	Vrij	Vrij
		GCS	7,680	Vanaf begin				
Slb6	Lijn	S21	3,355	Abso	Verend	2,2100e+00	Vrij	Vrij
		GCS	7,680	Vanaf begin				
Slb7	Lijn	S20	3,355	Abso	Verend	2,2100e+00	Vrij	Vrij
		GCS	7,680	Vanaf begin				
Slb8	Lijn	S22	6,350	Abso	Verend	8,9300e-03	Vrij	Vrij
		GCS	12,350	Vanaf begin				
Slb9	Lijn	S15	7,680	Abso	Verend	7,4600e+00	Vrij	Vrij
		GCS	13,680	Vanaf begin				
Slb10	Lijn	S14	7,680	Abso	Verend	7,4600e+00	Vrij	Vrij
		GCS	13,680	Vanaf begin				
Slb11	Lijn	S16	7,680	Abso	Verend	7,4600e+00	Vrij	Vrij
		GCS	13,680	Vanaf begin				
Slb12	Lijn	S17	7,680	Abso	Verend	7,4600e+00	Vrij	Vrij
		GCS	13,680	Vanaf begin				
Slb13	Lijn	S21	7,680	Abso	Verend	6,4100e+00	Vrij	Vrij
		GCS	13,680	Vanaf begin				
Slb14	Lijn	S20	7,680	Abso	Verend	6,4100e+00	Vrij	Vrij
		GCS	13,680	Vanaf begin				
Slb15	Lijn	S22	12,350	Abso	Verend	1,1250e-02	Vrij	Vrij
		GCS	16,915	Vanaf begin				
Slb16	Lijn	S15	13,680	Abso	Verend	8,7100e+00	Vrij	Vrij
		GCS	17,450	Vanaf begin				
Slb17	Lijn	S14	13,680	Abso	Verend	8,7100e+00	Vrij	Vrij
		GCS	17,800	Vanaf begin				
Slb18	Lijn	S16	13,680	Abso	Verend	8,7100e+00	Vrij	Vrij
		GCS	20,800	Vanaf begin				
Slb19	Lijn	S17	13,680	Abso	Verend	8,7100e+00	Vrij	Vrij
		GCS	20,906	Vanaf begin				
Slb20	Lijn	S21	13,680	Abso	Verend	7,4900e+00	Vrij	Vrij
		GCS	20,155	Vanaf begin				
Slb21	Lijn	S20	13,680	Abso	Verend	7,4900e+00	Vrij	Vrij
		GCS	20,550	Vanaf begin				

58. Puntlast op staaf

Naam	Staat	Systeem	Waarde - F [kN]	Pos x [m]	Coör	Herh (n)
	Belastingsgeval	Rich	Type		Oors	Regelmatig
IJsselbelasting NAP	S27	GCS	100,00	0,235	Abso	1
	BG30 - IJsselbelasting NAP	X	Kracht		Vanaf einde	
IJsselbelasting Hoog	S27	GCS	100,00	0,735	Abso	1
	BG29 - IJsselbelasting hoog	X	Kracht		Vanaf einde	
IJsselbelasting Laag	S22	GCS	100,00	0,265	Abso	1
	BG31 - IJsselbelasting laag	X	Kracht		Vanaf begin	
TS 1 val	S28	GCS	-365,00	0.000	Rela	1
	BG16 - TS val BM 1	Z	Kracht		Vanaf einde	
UDL val	S28	GCS	-215,00	0.000	Rela	1
	BG7 - UDL val BM 1	Z	Kracht		Vanaf einde	

59. Lijnlast

Naam	Staal	Type	Rich	Waarde - P ₁ [kN/m]	Pos x ₁	Coör	Oors	Exc ey [m]
	Belastingsgeval	Systeem	Verdeling	Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₂	Loc		Exc ez [m]
Eigen gew. veld 1 dek	S1 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. veld 2 dek	S2 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. veld 3 dek	S3 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. veld 4 dek	S4 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. sluiswand deel 1	S29 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. sluiswand deel 2	S28 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
UDL veld 1	S1 BG3 - UDL veld 1 BM 1	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-9,00	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
UDL veld 2	S2 BG4 - UDL veld 2 BM 1	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-9,00	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
UDL veld 3	S3 BG5 - UDL veld 3 BM 1	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-9,00	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
UDL veld 4	S4 BG6 - UDL veld 4 BM 1	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-9,00	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. veld 1 keldervloer	S8 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. veld 2 keldervloer	S10 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. veld 3 keldervloer	S11 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. sluiswand deel 3	S27 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. tussenkoloms as 2	S6 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. tussenkoloms as 3	S7 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. tussenkoloms as 4	S13 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. buispaal as 1	S22 BG1 - Eigengewicht	Eigen gewicht GCS	Z Gelijkmatig		0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Eigen gew. betonpaal as 2 paal 1	S15	Eigen gewicht	Z		0.000	Rela	Vanaf begin	

Naam	Staaf	Type	Rich	Waarde - P ₁ [kN/m]	Pos x ₁	Coör	Oors	Exc ey [m]
	Belastingsgeval	Systeem	Verdeling	Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₂	Loc		Exc ez [m]
Eigen gew. betonpaal as 2 paal 2	BG1 - Eigengewicht	GCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
	S14	Eigen gewicht	Z		0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG1 - Eigengewicht	GCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Eigen gew. betonpaal as 3 paal 1	S16	Eigen gewicht	Z		0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG1 - Eigengewicht	GCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Eigen gew. betonpaal as 3 paal 2	S17	Eigen gewicht	Z		0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG1 - Eigengewicht	GCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Eigen gew. betonpaal as 4 paal 1	S21	Eigen gewicht	Z		0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG1 - Eigengewicht	GCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Eigen gew. betonpaal as 4 paal 2	S20	Eigen gewicht	Z		0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG1 - Eigengewicht	GCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
TS 1 as 1 wiel 1	S1	Kracht	Z	-118,00	0.000	Abso	Vanaf begin	
	BG8 - TS as 1 BM 1	GCS	Gelijkmatig		0.850	Lengte		0,000
TS 1 as 1 wiel 2	S1	Kracht	Z	-118,00	1.200	Abso	Vanaf begin	
	BG8 - TS as 1 BM 1	GCS	Gelijkmatig		2.050	Lengte		0,000
TS 2 as 1 compleet	S1	Kracht	Z	-167,00	0.000	Abso	Vanaf begin	
	BG17 - TS as 1 BM 2	GCS	Gelijkmatig		0.800	Lengte		0,000
TS 1 as 2 wiel 2	S2	Kracht	Z	-118,00	0.175	Abso	Vanaf begin	
	BG9 - TS as 2 BM 1	GCS	Gelijkmatig		1.025	Lengte		0,000
TS 1 as 3 wiel 2	S3	Kracht	Z	-118,00	0.175	Abso	Vanaf begin	
	BG10 - TS as 3 BM 1	GCS	Gelijkmatig		1.025	Lengte		0,000
TS 1 as 4 wiel 2	S4	Kracht	Z	-118,00	0.175	Abso	Vanaf begin	
	BG11 - TS as 4 BM 1	GCS	Gelijkmatig		1.025	Lengte		0,000
TS 1 as 2 wiel 1	S1	Kracht	Z	-118,00	0.175	Abso	Vanaf einde	
	BG9 - TS as 2 BM 1	GCS	Gelijkmatig		1.025	Lengte		0,000
TS 1 as 2 wiel 3	S2	Kracht	Z	-118,00	0.175	Abso	Vanaf einde	
	BG10 - TS as 3 BM 1	GCS	Gelijkmatig		1.025	Lengte		0,000
TS 1 as 4 wiel 1	S3	Kracht	Z	-118,00	0.175	Abso	Vanaf einde	
	BG11 - TS as 4 BM 1	GCS	Gelijkmatig		1.025	Lengte		0,000
TS 1 veld 1 wiel 2	S1	Kracht	Z	-118,00	2.170	Abso	Vanaf begin	
	BG12 - TS veld 1 BM 1	GCS	Gelijkmatig		3.020	Lengte		0,000
TS 1 veld 1 wiel 1	S1	Kracht	Z	-118,00	2.170	Abso	Vanaf einde	
	BG12 - TS veld 1 BM 1	GCS	Gelijkmatig		3.020	Lengte		0,000
TS 1 veld 2 wiel 2	S2	Kracht	Z	-118,00	3.503	Abso	Vanaf begin	
	BG13 - TS veld 2 BM 1	GCS	Gelijkmatig		4.353	Lengte		0,000
TS 1 veld 2 wiel 1	S2	Kracht	Z	-118,00	3.503	Abso	Vanaf einde	
	BG13 - TS veld 2 BM 1	GCS	Gelijkmatig		4.353	Lengte		0,000
TS 1 veld 3 wiel 1	S3	Kracht	Z	-118,00	3.553	Abso	Vanaf einde	
	BG14 - TS veld 3 BM 1	GCS	Gelijkmatig		4.403	Lengte		0,000

Naam	Staafl Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ Pos x ₂	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
TS 1 veld 3 wiel 2	S3 BG14 - TS veld 3 BM 1	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-118,00	3.553 4.403	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 1 veld 4 wiel 1	S4 BG15 - TS veld 4 BM 1	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-118,00	3.222 4.072	Abso Lengte	Vanaf einde	0,000
TS 1 veld 4 wiel 2	S4 BG15 - TS veld 4 BM 1	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-118,00	3.222 4.072	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 2 as 2 deel 1	S1 BG18 - TS as 2 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	3.590 3.990	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 2 as 2 deel 2	S2 BG18 - TS as 2 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	0.000 0.400	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 2 as 3 deel 1	S2 BG19 - TS as 3 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	0.000 0.400	Abso Lengte	Vanaf einde	0,000
TS 2 as 4 deel 1	S3 BG20 - TS as 4 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	0.000 0.400	Abso Lengte	Vanaf einde	0,000
TS 2 as 3 deel 2	S3 BG19 - TS as 3 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	0.000 0.400	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 2 as 4 deel 2	S4 BG20 - TS as 4 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	0.000 0.400	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 2 veld 1	S1 BG21 - TS veld 1 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	1.595 2.395	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 2 veld 2	S2 BG22 - TS veld 2 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	2.930 3.728	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 2 veld 3	S3 BG23 - TS veld 3 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	2.978 3.778	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
TS 2 veld 4	S4 BG24 - TS veld 4 BM 2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-167,00	2.647 3.447	Abso Lengte	Vanaf begin	0,000
Opgel. bel. vloer veld 1	S8 BG26 - Belasting vloer v1	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-2,50	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Opgel. bel. vloer veld 2	S10 BG27 - Belasting vloer v2	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-2,50	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
Opgel. bel. vloer veld 3	S11 BG28 - Belasting vloer v3	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-2,50	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
RB veld 1	S1 BG2 - Rustende belasting	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-5,00	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
RB veld 2	S2 BG2 - Rustende belasting	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-5,00	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
RB veld 3	S3 BG2 - Rustende belasting	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-5,00	0.000 1.000	Rela Lengte	Vanaf begin	0,000
RB veld 4	S4	Kracht	Z	-5,00	0.000	Rela	Vanaf begin	

Naam	Staaf	Type	Rich	Waarde - P ₁ [kN/m]	Pos x ₁	Coör	Oors	Exc ey [m]
	Belastingsgeval	Systeem	Verdeling	Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₂	Loc		Exc ez [m]
Sc2 waterstand buiten	BG2 - Rustende belasting	GCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
	S22	Kracht	X	0,00	0.284	Abso	Vanaf begin	
	BG32 - Calamiteit op N'zee	GCS	Trapez	-45,00	4.784	Lengte		0,000
Sc2 waterstand binnen	S22	Kracht	X	0,60	0.000	Abso	Vanaf begin	
	BG32 - Calamiteit op N'zee	GCS	Trapez	48,50	4.784	Lengte		0,000
Sc2 grondbelasting	S22	Kracht	X	0,00	3.284	Abso	Vanaf begin	
	BG32 - Calamiteit op N'zee	GCS	Trapez	-15,00	4.784	Lengte		0,000
Sc3 grondbelasting	S22	Kracht	X	0,00	3.284	Abso	Vanaf begin	
	BG33 - Onderhoud Sluiskolk	GCS	Trapez	-15,00	4.784	Lengte		0,000
Sc4 grondbelasting	S22	Kracht	X	0,00	3.284	Abso	Vanaf begin	
	BG34 - Hoogwater N'zee	GCS	Trapez	-15,00	4.784	Lengte		0,000
Sc3 waterstand binnen	S22	Kracht	X	0,00	1.084	Abso	Vanaf begin	
	BG33 - Onderhoud Sluiskolk	GCS	Trapez	37,00	4.784	Lengte		0,000
Sc3 waterstand buiten	S22	Kracht	X	-2,66	0.000	Abso	Vanaf begin	
	BG33 - Onderhoud Sluiskolk	GCS	Trapez	-50,50	4.784	Lengte		0,000
Sc4 waterstand binnen1	S27	Kracht	X	10,66	0.000	Abso	Vanaf einde	
	BG34 - Hoogwater N'zee	GCS	Trapez	0,00	1.065	Lengte		0,000
Sc4 waterstand binnen	S22	Kracht	X	10,66	0.000	Abso	Vanaf begin	
	BG34 - Hoogwater N'zee	GCS	Trapez	58,50	4.784	Lengte		0,000
Sc4 waterstand buiten	S29	Kracht	X	-10,41	0.000	Abso	Vanaf einde	
	BG34 - Hoogwater N'zee	GCS	Trapez	0,00	1.041	Lengte		0,000
Sc4 waterstand buiten1	S27	Kracht	X	-10,41	0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG34 - Hoogwater N'zee	GCS	Trapez	-23,66	1.000	Lengte		0,000
Sc4 waterstand buiten2	S22	Kracht	X	-23,66	0.000	Abso	Vanaf begin	
	BG34 - Hoogwater N'zee	GCS	Trapez	-71,50	4.784	Lengte		0,000
Aanvaarbelasting	S29	Kracht	X	1180,00	0.340	Abso	Vanaf einde	
	BG25 - Aanvaring sluiswand schamp	GCS	Gelijkmatig		1.340	Lengte		0,000
Remkracht x-ri GVB veld 2	S2	Kracht	X	5,20	0.000	Rela	Vanaf einde	
	BG35 - Remkrachten x-ri	LCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Remkracht x-ri GVB veld 3	S3	Kracht	X	5,20	0.000	Rela	Vanaf einde	
	BG35 - Remkrachten x-ri	LCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Remkracht x-ri GVB veld 4	S4	Kracht	X	5,20	0.000	Rela	Vanaf einde	
	BG35 - Remkrachten x-ri	LCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Remkracht x-ri GVB veld 1	S1	Kracht	X	5,20	0.000	Rela	Vanaf einde	
	BG35 - Remkrachten x-ri	LCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Remkracht -x-ri GVB veld 1	S1	Kracht	X	-5,20	0.000	Rela	Vanaf einde	
	BG36 - Remkrachten -x-ri	LCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Remkracht -x-ri GVB veld 2	S2	Kracht	X	-5,20	0.000	Rela	Vanaf einde	
	BG36 - Remkrachten -x-ri	LCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000

Naam	Staafl	Type	Rich	Waarde - P ₁ [kN/m]	Pos x ₁	Coör	Oors	Exc ey [m]
	Belastingsgeval	Systeem	Verdeling	Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₂	Loc		Exc ez [m]
Remkracht -x-ri GVB veld 3	S3	Kracht	X	-5,20	0.000	Rela	Vanaf einde	
	BG36 - Remkrachten -x-ri	LCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000
Remkracht -x-ri GVB veld 4	S4	Kracht	X	-5,20	0.000	Rela	Vanaf einde	
	BG36 - Remkrachten -x-ri	LCS	Gelijkmatig		1.000	Lengte		0,000

60. Interne krachten van staven in UGT

Lineaire berekening, Extreem : Staaf, Systeem : LCS

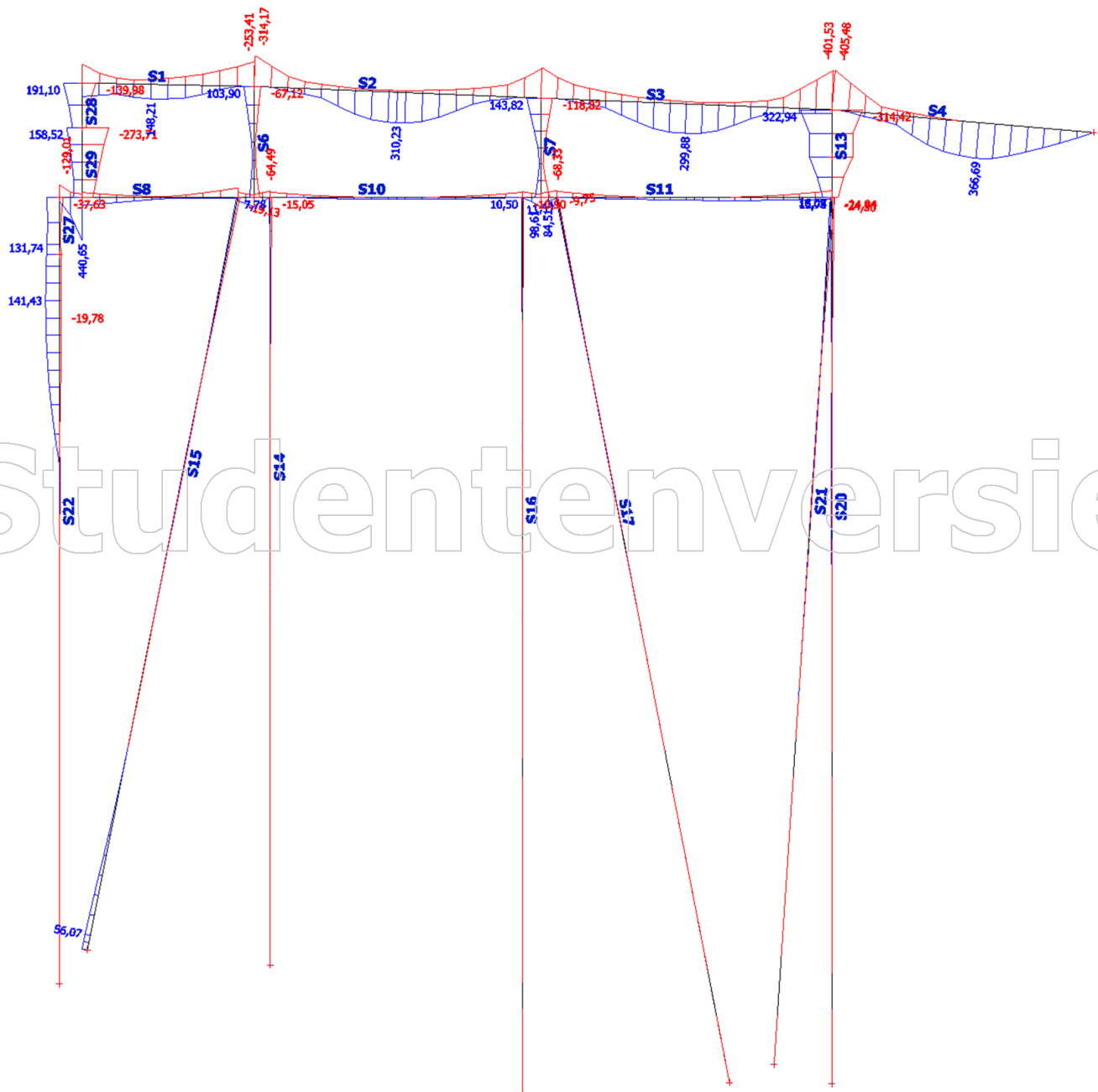
Selectie : Alle

Klasse : UGT totaal

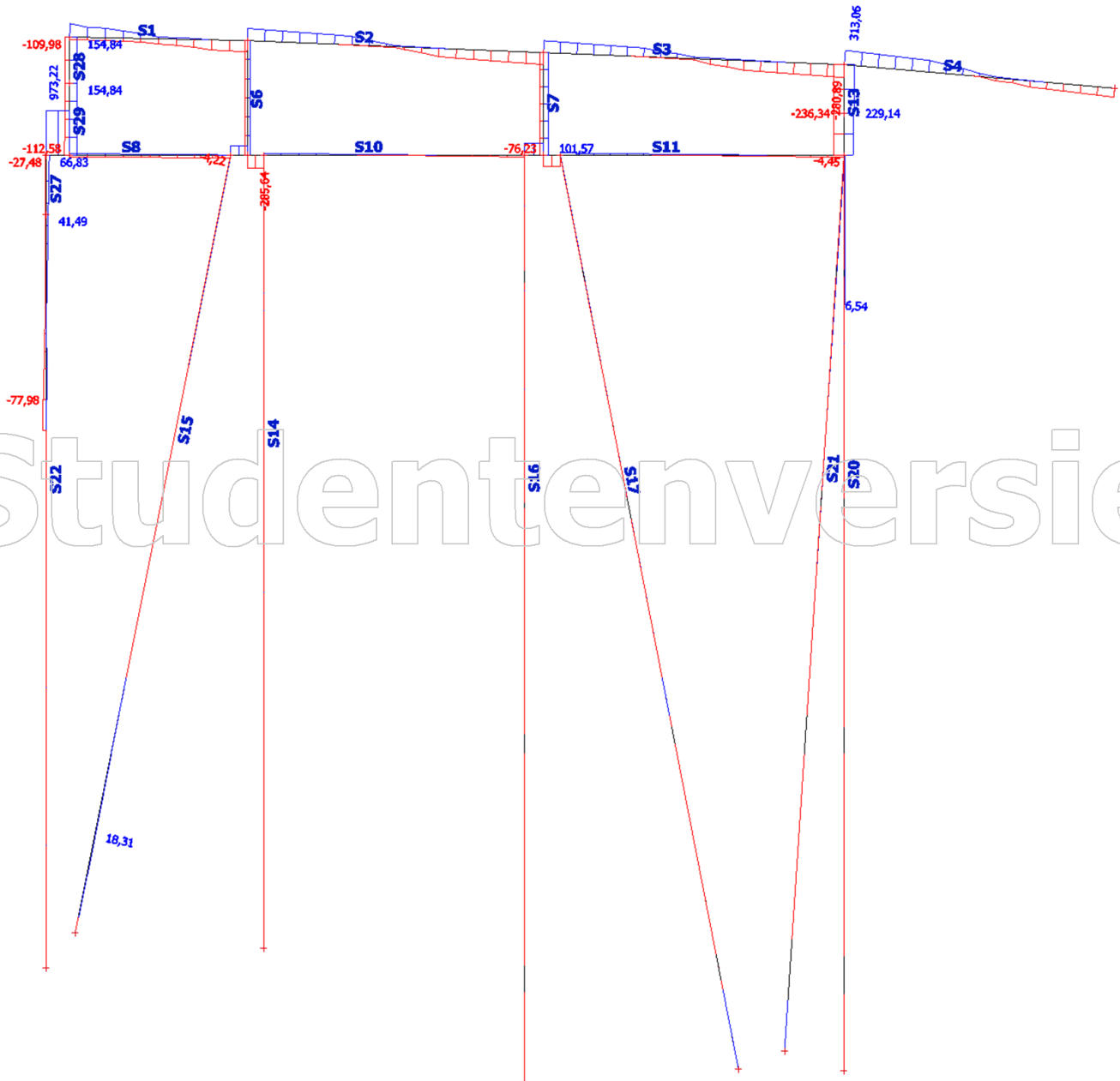
Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/479	-105,53	223,06	-178,66
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/397	154,06	-40,61	138,69
S1	CS1 - Rechthoek	3,990	gr1a - omh UGT 6.10a/480	-32,13	-246,81	-205,49
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/481	-85,41	295,65	-141,59
S1	CS1 - Rechthoek	3,990	gr1a - omh UGT 6.10a/482	28,48	-145,23	-253,41
S1	CS1 - Rechthoek	1,596	gr1a - omh UGT 6.10a/483	-10,41	25,18	148,21
S2	CS1 - Rechthoek	6,655	gr1a - omh UGT 6.10a/484	-124,05	-258,94	-293,95
S2	CS1 - Rechthoek	6,655	gr1a - omh UGT 6.10b/407	177,03	-39,60	-34,38
S2	CS1 - Rechthoek	6,655	gr1a - omh UGT 6.10a/485	-97,97	-260,90	-299,70
S2	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/486	-11,94	264,26	-314,17
S2	CS1 - Rechthoek	3,328	gr1a - omh UGT 6.10a/487	-80,90	-0,44	310,23
S3	CS1 - Rechthoek	6,755	gr1a - omh UGT 6.10a/488	-204,07	-276,98	-383,66
S3	CS1 - Rechthoek	6,755	gr1a - omh UGT 6.10b/381	184,94	-54,12	-76,12
S3	CS1 - Rechthoek	6,755	gr1a - omh UGT 6.10a/489	-170,26	-280,89	-401,53
S3	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/490	-55,14	259,42	-312,16
S3	CS1 - Rechthoek	3,378	gr1a - omh UGT 6.10a/491	-44,92	-2,22	299,88
S4	CS1 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh UGT 6.10b/419	-42,24	60,59	-67,72
S4	CS1 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh UGT 6.10a/420	69,88	255,99	-290,32
S4	CS1 - Rechthoek	6,093	gr1a - omh UGT 6.10a/492	-16,90	-193,57	0,00
S4	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/493	-10,69	313,06	-405,48
S4	CS1 - Rechthoek	3,427	gr1a - omh UGT 6.10a/492	17,04	4,64	366,69
S6	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/494	-478,75	-7,14	12,77
S6	CS2 - Rechthoek	2,570	gr1a - omh UGT 6.10b/472	-53,47	25,49	31,70
S6	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/405	-303,33	-43,33	44,22
S6	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/495	-331,57	62,67	-57,17
S6	CS2 - Rechthoek	2,570	gr1a - omh UGT 6.10b/405	-298,93	-43,33	-67,12
S6	CS2 - Rechthoek	2,570	gr1a - omh UGT 6.10a/495	-326,62	62,67	103,90
S7	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/496	-502,36	20,95	-25,52
S7	CS2 - Rechthoek	2,300	gr1a - omh UGT 6.10b/473	-94,17	-11,88	-14,39
S7	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/384	-325,71	-76,23	56,51
S7	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/497	-328,60	101,57	-89,79
S7	CS2 - Rechthoek	2,300	gr1a - omh UGT 6.10b/384	-321,77	-76,23	-118,82
S7	CS2 - Rechthoek	2,300	gr1a - omh UGT 6.10a/497	-324,17	101,57	143,82
S8	CS3 - Rechthoek	4,140	gr1a - omh UGT 6.10a/498	-203,95	100,83	-37,22
S8	CS3 - Rechthoek	0,526	gr2 - omh UGT 6.10a/426	162,23	10,92	2,00
S8	CS3 - Rechthoek	4,140	gr1a - omh UGT 6.10a/499	-104,29	-68,86	-95,68
S8	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/500	-20,93	973,22	-90,42
S8	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/501	-27,48	652,29	-129,01
S8	CS3 - Rechthoek	0,526	gr1a - omh UGT 6.10a/502	38,01	957,71	440,65
S10	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/503	-212,08	-115,91	-3,25
S10	CS3 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh UGT 6.10b/433	141,93	-72,17	-6,44
S10	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh UGT 6.10a/494	-38,25	-285,64	-20,02
S10	CS3 - Rechthoek	6,225	gr1a - omh UGT 6.10a/504	-13,29	264,11	-14,28
S10	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh UGT 6.10a/505	-118,72	-125,03	-64,49
S10	CS3 - Rechthoek	6,650	gr1a - omh UGT 6.10a/506	-14,52	258,06	98,61
S11	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/507	-197,60	-91,16	15,65
S11	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh UGT 6.10a/508	239,37	39,31	-47,03
S11	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh UGT 6.10a/509	-48,92	-252,62	-15,67
S11	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh UGT 6.10a/510	-13,91	46,04	-60,33
S11	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh UGT 6.10a/491	111,30	-151,50	-68,33
S11	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/511	0,28	-246,70	84,51
S13	CS4 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/512	-554,87	4,91	42,96
S13	CS4 - Rechthoek	2,030	gr1a - omh UGT 6.10b/474	-79,88	121,52	117,94
S13	CS4 - Rechthoek	0,940	gr2 - omh UGT 6.10a/389	-333,74	-236,34	-4,42
S13	CS4 - Rechthoek	0,940	gr2 - omh UGT 6.10b/390	-313,94	229,14	11,98
S13	CS4 - Rechthoek	2,030	gr1a - omh UGT 6.10a/513	-358,49	-211,35	-314,42
S13	CS4 - Rechthoek	2,030	gr1a - omh UGT 6.10b/392	-347,37	205,47	322,94
S14	CS5 - Rechthoek	16,976	gr1a - omh UGT 6.10a/514	-346,93	0,00	0,00
S14	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/6	-62,33	-0,07	0,92
S14	CS5 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh UGT 6.10a/5	-123,68	-2,00	7,78

Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S14	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/4	-162,86	3,84	-15,05
S15	CS5 - Rechthoek	17,796	gr1a - omh UGT 6.10a/514	-280,23	0,00	56,05
S15	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/6	-39,01	-0,69	-0,09
S15	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/515	-218,33	-4,22	13,85
S15	CS5 - Rechthoek	15,565	gr1a - omh UGT 6.10a/514	-273,11	18,31	26,30
S15	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/24	-119,27	3,88	-19,13
S15	CS5 - Rechthoek	17,450	gr1a - omh UGT 6.10a/514	-279,58	-0,13	56,07
S16	CS5 - Rechthoek	19,910	gr1a - omh UGT 6.10a/516	-329,93	0,00	0,00
S16	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/13	-71,31	-1,18	4,56
S16	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/29	-207,51	-2,53	10,50
S16	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/517	-103,61	2,91	-10,90
S17	CS5 - Rechthoek	20,003	gr1a - omh UGT 6.10a/518	-330,26	0,91	-0,82
S17	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/475	-75,81	-0,35	4,30
S17	CS5 - Rechthoek	3,810	gr1a - omh UGT 6.10a/492	-131,56	-3,36	1,31
S17	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/519	-121,22	3,41	-9,03
S17	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/462	-207,76	3,30	-9,75
S17	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/520	-99,25	-1,95	11,44
S20	CS7 - Rechthoek	19,569	gr1a - omh UGT 6.10a/521	-326,09	0,00	0,00
S20	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/17	-67,37	3,13	-11,97
S20	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/19	-210,06	-4,14	15,74
S20	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/522	-113,00	6,53	-24,94
S21	CS7 - Rechthoek	19,230	gr1a - omh UGT 6.10a/521	-331,12	0,01	-0,01
S21	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/17	-65,85	2,80	-11,57
S21	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/523	-227,53	-4,45	15,98
S21	CS7 - Rechthoek	3,355	gr1a - omh UGT 6.10a/522	-114,44	6,54	-3,19
S21	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/522	-108,90	6,17	-24,50
S21	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/19	-216,90	-4,44	16,05
S22	CS8 - CFCHS711X10	16,002	gr1a - omh UGT 6.10a/500	-1046,00	0,00	0,00
S22	CS8 - CFCHS711X10	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/10	-96,44	20,61	86,51
S22	CS8 - CFCHS711X10	4,165	gr2 - omh UGT 6.10a/8	-577,65	-77,98	47,69
S22	CS8 - CFCHS711X10	0,000	gr2 - omh UGT 6.10b/393	-164,56	41,49	34,43
S22	CS8 - CFCHS711X10	1,471	gr2 - omh UGT 6.10b/9	-179,52	0,18	-19,78
S22	CS8 - CFCHS711X10	1,069	gr2 - omh UGT 6.10a/8	-569,78	0,46	141,43
S27	CS9 - Rechthoek	1,325	gr1a - omh UGT 6.10a/500	-1008,31	-20,93	62,69
S27	CS9 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/10	-65,25	40,88	45,54
S27	CS9 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/501	-652,29	-27,48	129,01
S27	CS9 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh UGT 6.10b/393	-133,37	66,83	-37,63
S27	CS9 - Rechthoek	1,325	gr1a - omh UGT 6.10a/524	-677,81	11,18	131,74
S28	CS11 - Rechthoek	1,030	gr1a - omh UGT 6.10a/481	-316,04	-91,32	47,53
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/395	48,95	67,01	-91,94
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/479	-220,89	-109,98	178,66
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/397	37,51	154,84	-138,69
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/398	43,69	151,79	-139,98
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/525	-231,18	-105,55	191,10
S29	CS10 - Rechthoek	1,620	gr1a - omh UGT 6.10a/526	-981,09	88,57	-76,16
S29	CS10 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/401	12,88	16,99	-41,47
S29	CS10 - Rechthoek	1,620	gr1a - omh UGT 6.10a/527	-308,24	-112,58	-37,83
S29	CS10 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/397	-852,19	154,84	-267,29
S29	CS10 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10b/403	-846,08	151,02	-273,71
S29	CS10 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/528	-253,28	-104,78	158,52

61. Interne krachten in staaf; UGT My



62. Interne krachten in staaf; UGT Vz



63. Interne krachten van staven in BGT

Lineaire berekening, Extreem : Staaf, Systeem : LCS

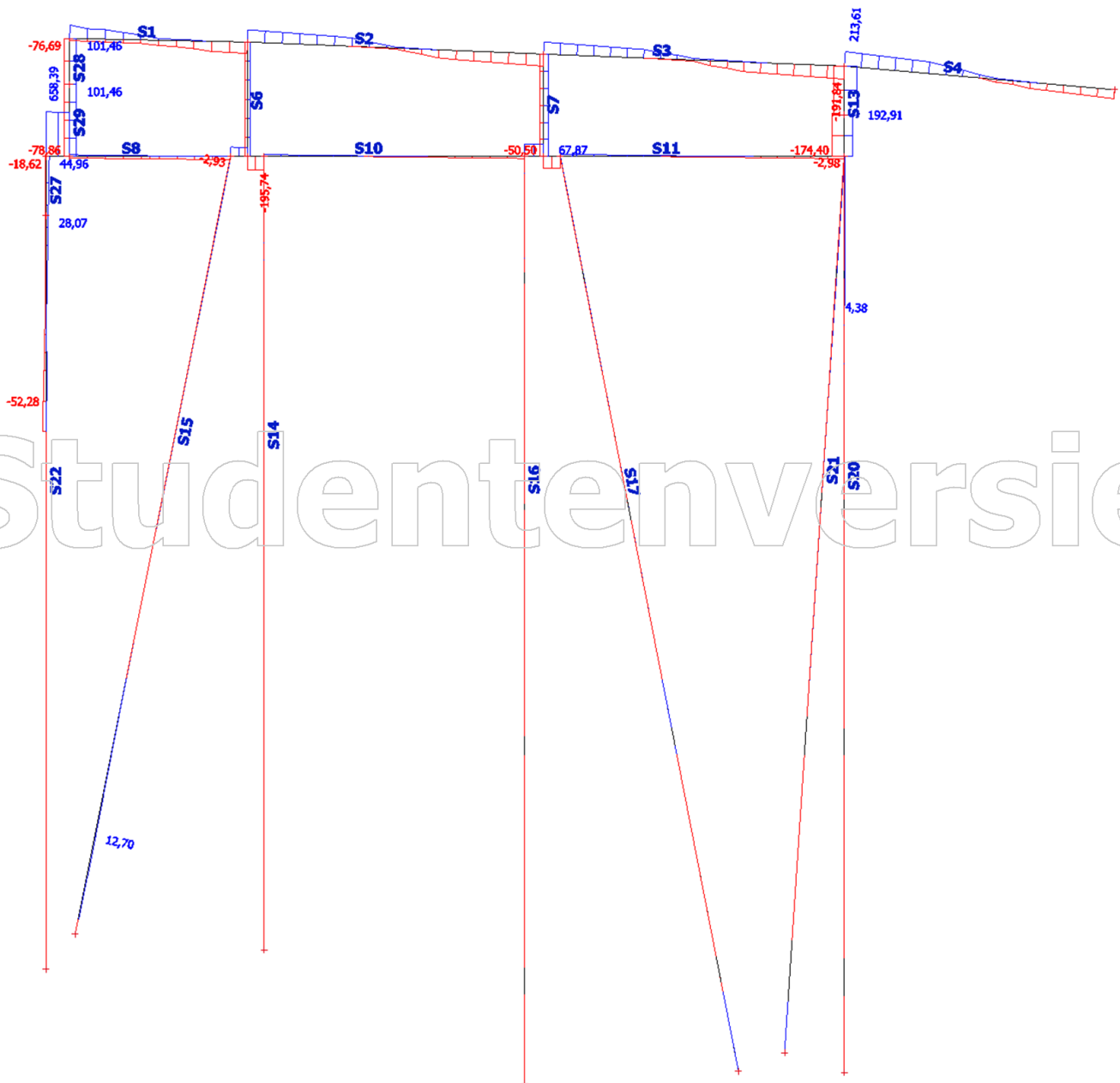
Selectie : Alle

Klasse : BGT Frequent

Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/91	-74,11	129,26	-110,91
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/92	101,02	-23,30	91,37
S1	CS1 - Rechthoek	3,990	gr1a - omh BGT/112	-22,37	-168,07	-140,83
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/94	-57,79	198,98	-94,94
S1	CS1 - Rechthoek	3,990	gr1a - omh BGT/120	18,03	-100,35	-172,77
S1	CS1 - Rechthoek	1,596	gr1a - omh BGT/105	-7,82	16,51	99,54
S2	CS1 - Rechthoek	6,655	gr1a - omh BGT/144	-84,12	-177,25	-201,07
S2	CS1 - Rechthoek	6,655	gr2 - omh BGT/152	117,60	-37,18	-34,93
S2	CS1 - Rechthoek	6,655	gr1a - omh BGT/147	-66,73	-178,56	-204,91
S2	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/125	-9,02	180,58	-213,83
S2	CS1 - Rechthoek	3,328	gr1a - omh BGT/138	-55,17	-0,40	209,59
S3	CS1 - Rechthoek	6,755	gr1a - omh BGT/88	-137,63	-189,23	-260,94
S3	CS1 - Rechthoek	6,755	gr2 - omh BGT/89	144,01	-41,80	-42,95
S3	CS1 - Rechthoek	6,755	gr1a - omh BGT/90	-115,09	-191,84	-272,86
S3	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/157	-37,97	177,54	-213,31
S3	CS1 - Rechthoek	3,378	gr1a - omh BGT/176	-31,34	-1,47	202,48
S4	CS1 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/183	-43,01	51,77	-64,24
S4	CS1 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/184	47,01	175,56	-198,30
S4	CS1 - Rechthoek	6,093	gr1a - omh BGT/54	-11,56	-132,39	0,00
S4	CS1 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/50	-6,70	213,61	-275,07
S4	CS1 - Rechthoek	3,427	gr1a - omh BGT/54	11,38	3,36	248,56
S6	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/49	-327,45	-4,41	8,17
S6	CS2 - Rechthoek	2,570	gr2 - omh BGT/122	-51,22	22,34	28,86
S6	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/105	-218,78	-28,18	28,80
S6	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/104	-229,33	42,13	-38,46
S6	CS2 - Rechthoek	2,570	gr1a - omh BGT/105	-215,12	-28,18	-43,63
S6	CS2 - Rechthoek	2,570	gr1a - omh BGT/104	-225,66	42,13	69,82
S7	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/203	-344,45	14,13	-17,29
S7	CS2 - Rechthoek	2,300	gr1a - omh BGT/204	-81,21	-7,60	-9,40
S7	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/178	-236,23	-50,50	37,12
S7	CS2 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/179	-228,61	67,87	-60,13
S7	CS2 - Rechthoek	2,300	gr1a - omh BGT/178	-232,95	-50,50	-79,02
S7	CS2 - Rechthoek	2,300	gr1a - omh BGT/179	-225,33	67,87	95,98
S8	CS3 - Rechthoek	4,140	gr1a - omh BGT/227	-136,46	70,65	-25,30
S8	CS3 - Rechthoek	0,526	gr2 - omh BGT/215	118,33	9,90	-3,22
S8	CS3 - Rechthoek	4,140	gr1a - omh BGT/219	-68,94	-47,34	-65,08
S8	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/47	-14,25	658,39	-62,07
S8	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/209	-18,62	444,44	-87,80
S8	CS3 - Rechthoek	0,526	gr1a - omh BGT/51	25,04	647,73	296,93
S10	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/235	-141,54	-82,35	-1,75
S10	CS3 - Rechthoek	6,225	gr2 - omh BGT/241	108,69	127,08	-12,08
S10	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh BGT/49	-25,65	-195,74	-14,88
S10	CS3 - Rechthoek	6,225	gr1a - omh BGT/253	-9,03	181,15	-11,26
S10	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh BGT/239	-79,30	-88,67	-44,52
S10	CS3 - Rechthoek	6,650	gr1a - omh BGT/258	-9,85	176,86	66,10
S11	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/259	-131,74	-65,49	10,52
S11	CS3 - Rechthoek	0,375	gr2 - omh BGT/48	179,76	28,53	-33,84
S11	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh BGT/261	-32,62	-173,37	-12,17
S11	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh BGT/266	-7,89	32,60	-42,02
S11	CS3 - Rechthoek	0,375	gr1a - omh BGT/176	74,19	-105,95	-47,28
S11	CS3 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/264	0,18	-169,19	56,43
S13	CS4 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/281	-381,96	2,35	30,61
S13	CS4 - Rechthoek	2,030	gr2 - omh BGT/282	-71,38	132,59	96,84
S13	CS4 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/48	-227,00	-174,40	5,15
S13	CS4 - Rechthoek	0,940	gr2 - omh BGT/89	-227,83	192,91	-16,33
S13	CS4 - Rechthoek	2,030	gr1a - omh BGT/291	-248,55	-142,29	-210,03
S13	CS4 - Rechthoek	2,030	gr1a - omh BGT/292	-250,70	134,19	214,46
S14	CS5 - Rechthoek	16,976	gr1a - omh BGT/58	-240,85	0,00	0,00
S14	CS5 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/57	-54,15	0,11	0,03
S14	CS5 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/56	-89,53	-1,36	5,30

Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S14	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/55	-122,74	2,51	-9,82
S15	CS5 - Rechthoek	17,796	gr1a - omh BGT/58	-194,37	0,00	38,87
S15	CS5 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/57	-35,08	-0,54	-0,21
S15	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/74	-150,54	-2,93	9,42
S15	CS5 - Rechthoek	15,565	gr1a - omh BGT/58	-189,27	12,70	18,25
S15	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/73	-89,48	2,37	-12,39
S15	CS5 - Rechthoek	17,450	gr1a - omh BGT/58	-193,89	-0,10	38,89
S16	CS5 - Rechthoek	19,910	gr1a - omh BGT/63	-229,75	0,00	0,00
S16	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/62	-61,33	-0,79	3,03
S16	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/80	-152,12	-1,68	6,99
S16	CS5 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/81	-78,01	1,96	-7,35
S17	CS5 - Rechthoek	20,003	gr1a - omh BGT/64	-230,14	0,63	-0,57
S17	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/332	-64,54	-0,13	3,02
S17	CS5 - Rechthoek	3,810	gr1a - omh BGT/54	-95,24	-2,29	0,95
S17	CS5 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/75	-85,88	2,34	-6,02
S17	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/333	-152,51	2,31	-6,35
S17	CS5 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/77	-73,17	-1,25	7,71
S20	CS7 - Rechthoek	19,569	gr1a - omh BGT/67	-226,83	0,00	0,00
S20	CS7 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/66	-57,92	2,56	-9,77
S20	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/68	-153,99	-2,72	10,34
S20	CS7 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/69	-77,34	4,38	-16,71
S21	CS7 - Rechthoek	19,230	gr1a - omh BGT/67	-230,25	0,01	0,00
S21	CS7 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/66	-56,68	2,29	-9,45
S21	CS7 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/68	-158,77	-2,98	10,60
S21	CS7 - Rechthoek	3,355	gr2 - omh BGT/69	-78,74	4,38	-2,14
S21	CS7 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/69	-74,64	4,11	-16,39
S22	CS8 - CFCHS711X10	16,002	gr1a - omh BGT/47	-712,30	0,00	0,00
S22	CS8 - CFCHS711X10	0,000	gr1a - omh BGT/60	-88,66	13,15	60,48
S22	CS8 - CFCHS711X10	4,165	gr2 - omh BGT/59	-398,05	-52,28	31,96
S22	CS8 - CFCHS711X10	0,000	gr2 - omh BGT/210	-139,17	28,07	21,07
S22	CS8 - CFCHS711X10	1,471	gr2 - omh BGT/57	-149,64	0,53	-14,47
S22	CS8 - CFCHS711X10	1,069	gr2 - omh BGT/59	-392,22	0,01	95,37
S27	CS9 - Rechthoek	1,325	gr1a - omh BGT/47	-684,39	-14,25	43,20
S27	CS9 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/60	-62,66	26,66	33,95
S27	CS9 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/209	-444,44	-18,62	87,80
S27	CS9 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/210	-113,17	44,96	-27,51
S27	CS9 - Rechthoek	1,325	gr1a - omh BGT/360	-464,06	7,15	89,23
S28	CS11 - Rechthoek	1,030	gr1a - omh BGT/94	-214,20	-61,76	31,32
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/93	28,89	42,91	-60,21
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr2 - omh BGT/91	-127,74	-76,69	110,91
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/92	21,27	101,46	-91,37
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/96	25,39	99,43	-92,23
S28	CS11 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/95	-155,99	-71,25	127,95
S29	CS10 - Rechthoek	1,620	gr1a - omh BGT/369	-662,54	58,17	-51,51
S29	CS10 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/370	1,56	9,56	-26,27
S29	CS10 - Rechthoek	1,620	gr2 - omh BGT/215	-192,27	-78,86	-47,37
S29	CS10 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/92	-575,15	101,46	-176,82
S29	CS10 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/371	-571,07	98,92	-181,09
S29	CS10 - Rechthoek	0,000	gr1a - omh BGT/372	-172,36	-70,74	106,37

65. Interne krachten in staaf; BGT Vz



66. Staafvervorming in UGT

Lineaire berekening, Extreem : Globaal
Selectie : Alle
Klasse : UGT totaal

Staaf	dx [m]	BG	ux [mm]	uz [mm]	fiy [mrad]	Resultante [mm]
S7	2,300	gr1a - omh UGT 6.10a/529	-5,2	-0,4	0,1	5,2
S29	0,000	gr1a - omh UGT 6.10a/530	9,7	-0,6	-1,2	9,7
S2	3,328	gr1a - omh UGT 6.10a/531	0,6	-11,6	0,0	11,6
S22	16,915	gr2 - omh UGT 6.10a/8	3,0	10,9	-0,9	11,3
S4	6,093	gr1a - omh UGT 6.10a/532	1,7	0,2	-5,3	1,8
S2	1,175	gr1a - omh UGT 6.10a/533	-0,3	-7,0	3,2	7,0

67. Staafvervorming in BGT

Lineaire berekening, Extreem : Globaal
Selectie : Alle
Klasse : BGT Frequent

Staaf	dx [m]	BG	ux [mm]	uz [mm]	fiy [mrad]	Resultante [mm]
S7	2,300	gr1a - omh BGT/476	-3,6	-0,3	0,1	3,6
S29	0,000	gr1a - omh BGT/477	6,6	-0,4	-0,8	6,6
S2	3,328	gr1a - omh BGT/478	0,4	-7,9	0,0	7,9
S22	16,915	gr2 - omh BGT/59	2,1	7,3	-0,6	7,6
S4	6,093	gr1a - omh BGT/342	1,2	0,1	-3,6	1,2
S2	1,175	gr1a - omh BGT/143	-0,2	-4,8	2,2	4,8

68. Reacties in UGT

Lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : Alle

Klasse : UGT totaal

Steunpunt	BG	dx [m]	Rx [kN]	Rz [kN]	My [kNm]
Sn9/K5	gr1a - omh UGT 6.10a/1		0,00	45,31	0,00
Sn9/K5	gr1a - omh UGT 6.10b/2		0,00	25,64	0,00
Sn9/K5	gr1a - omh UGT 6.10a/492		0,00	194,31	0,00
Sn3/K12	gr1a - omh UGT 6.10b/4		-0,01	193,34	0,00
Sn3/K12	gr2 - omh UGT 6.10a/5		0,00	157,97	0,00
Sn3/K12	gr1a - omh UGT 6.10b/6		0,00	92,81	0,00
Sn3/K12	gr1a - omh UGT 6.10a/514		0,00	347,73	0,00
Sn3/K12	gr1a - omh UGT 6.10a/1		0,00	129,92	0,00
Sn1/K27	gr2 - omh UGT 6.10a/8		-0,06	606,06	0,00
Sn1/K27	gr2 - omh UGT 6.10b/9		0,01	210,95	0,00
Sn1/K27	gr1a - omh UGT 6.10b/10		-0,05	130,87	0,00
Sn1/K27	gr1a - omh UGT 6.10a/500		0,00	1047,04	0,00
Sn1/K27	gr1a - omh UGT 6.10a/1		0,00	203,17	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh UGT 6.10b/3		0,00	133,15	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh UGT 6.10a/519		0,00	167,68	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh UGT 6.10b/13		0,00	106,93	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh UGT 6.10a/516		0,00	330,78	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh UGT 6.10a/1		0,00	133,13	0,00
Sn5/K18	gr1a - omh UGT 6.10a/518		-64,94	324,68	0,00
Sn5/K18	gr1a - omh UGT 6.10b/16		-22,02	110,10	0,00
Sn5/K18	gr1a - omh UGT 6.10a/1		-26,57	132,82	0,00
Sn6/K26	gr1a - omh UGT 6.10b/17		6,36	95,55	0,00
Sn6/K26	gr1a - omh UGT 6.10a/521		22,05	331,15	0,00
Sn6/K26	gr1a - omh UGT 6.10a/1		8,58	128,82	0,00
Sn7/K25	gr1a - omh UGT 6.10b/19		0,00	240,29	0,00
Sn7/K25	gr1a - omh UGT 6.10a/522		0,00	147,01	0,00
Sn7/K25	gr1a - omh UGT 6.10b/17		0,00	97,61	0,00
Sn7/K25	gr1a - omh UGT 6.10a/521		0,00	326,90	0,00
Sn7/K25	gr1a - omh UGT 6.10a/1		0,00	128,22	0,00
Sn2/K14	gr1a - omh UGT 6.10b/6		13,72	68,59	0,00
Sn2/K14	gr1a - omh UGT 6.10a/514		54,96	274,79	0,00
Sn2/K14	gr1a - omh UGT 6.10a/1		19,99	99,96	0,00
Sn8/K28	gr2 - omh UGT 6.10a/21		-233,82	0,00	0,00
Sn8/K28	gr2 - omh UGT 6.10b/22		278,83	0,00	0,00
Sn8/K28	gr1a - omh UGT 6.10a/1		-6,36	0,00	0,00
Slb1/S22	gr2 - omh UGT 6.10b/23	4,850	-1,83	0,00	0,00
Slb1/S22	gr2 - omh UGT 6.10a/8	4,850	89,59	0,00	0,00
Slb1/S22	gr1a - omh UGT 6.10a/1	3,480	0,00	0,00	0,00
Slb2/S15	gr1a - omh UGT 6.10a/534	4,830	-2,63	0,00	0,00
Slb2/S15	gr1a - omh UGT 6.10b/25	4,830	0,88	0,00	0,00
Slb2/S15	gr1a - omh UGT 6.10a/1	3,880	-0,14	0,00	0,00
Slb3/S14	gr1a - omh UGT 6.10b/4	4,830	-1,72	0,00	0,00
Slb3/S14	gr2 - omh UGT 6.10a/5	4,830	0,91	0,00	0,00
Slb3/S14	gr1a - omh UGT 6.10a/1	3,880	0,08	0,00	0,00
Slb4/S16	gr1a - omh UGT 6.10a/519	4,778	-1,36	0,00	0,00
Slb4/S16	gr1a - omh UGT 6.10b/3	4,778	1,07	0,00	0,00
Slb4/S16	gr1a - omh UGT 6.10a/1	3,810	-0,01	0,00	0,00
Slb5/S17	gr1a - omh UGT 6.10b/12	4,778	-0,77	0,00	0,00
Slb5/S17	gr1a - omh UGT 6.10a/492	4,778	1,78	0,00	0,00
Slb5/S17	gr1a - omh UGT 6.10a/1	3,810	0,33	0,00	0,00
Slb6/S21	gr1a - omh UGT 6.10a/522	4,220	-2,61	0,00	0,00
Slb6/S21	gr1a - omh UGT 6.10b/19	4,220	1,53	0,00	0,00
Slb6/S21	gr1a - omh UGT 6.10a/1	3,355	-0,11	0,00	0,00
Slb7/S20	gr1a - omh UGT 6.10a/522	4,220	-2,52	0,00	0,00
Slb7/S20	gr1a - omh UGT 6.10b/19	4,220	1,61	0,00	0,00
Slb7/S20	gr1a - omh UGT 6.10a/1	3,355	-0,07	0,00	0,00
Slb8/S22	gr2 - omh UGT 6.10a/8	12,350	-0,06	0,00	0,00
Slb8/S22	gr2 - omh UGT 6.10b/9	12,350	0,01	0,00	0,00
Slb8/S22	gr1a - omh UGT 6.10a/1	6,350	0,00	0,00	0,00
Slb9/S15	gr1a - omh UGT 6.10a/535	7,680	-0,89	0,00	0,00

Steunpunt	BG	dx [m]	Rx [kN]	Rz [kN]	My [kNm]
Slb9/S15	gr1a - omh UGT 6.10a/514	13,680	4,32	0,00	0,00
Slb9/S15	gr1a - omh UGT 6.10a/1	7,680	-0,48	0,00	0,00
Slb10/S14	gr1a - omh UGT 6.10b/4	7,680	-0,22	0,00	0,00
Slb10/S14	gr1a - omh UGT 6.10b/4	10,251	0,23	0,00	0,00
Slb10/S14	gr1a - omh UGT 6.10a/1	7,680	0,03	0,00	0,00
Slb11/S16	gr1a - omh UGT 6.10b/3	9,680	-0,16	0,00	0,00
Slb11/S16	gr1a - omh UGT 6.10a/519	9,680	0,22	0,00	0,00
Slb11/S16	gr1a - omh UGT 6.10a/1	7,680	0,00	0,00	0,00
Slb12/S17	gr1a - omh UGT 6.10b/3	10,251	0,13	0,00	0,00
Slb12/S17	gr1a - omh UGT 6.10a/520	7,680	0,64	0,00	0,00
Slb12/S17	gr1a - omh UGT 6.10a/1	7,680	0,47	0,00	0,00
Slb13/S21	gr1a - omh UGT 6.10a/522	7,680	-0,38	0,00	0,00
Slb13/S21	gr1a - omh UGT 6.10b/20	10,251	0,19	0,00	0,00
Slb13/S21	gr1a - omh UGT 6.10a/1	7,680	-0,13	0,00	0,00
Slb14/S20	gr1a - omh UGT 6.10a/522	7,680	-0,29	0,00	0,00
Slb14/S20	gr1a - omh UGT 6.10a/522	9,680	0,33	0,00	0,00
Slb14/S20	gr1a - omh UGT 6.10a/1	7,680	-0,01	0,00	0,00
Slb15/S22	gr2 - omh UGT 6.10a/8	16,002	-0,10	0,00	0,00
Slb15/S22	gr2 - omh UGT 6.10b/9	16,002	0,02	0,00	0,00
Slb15/S22	gr1a - omh UGT 6.10a/1	12,350	0,00	0,00	0,00
Slb15/S22	gr1a - omh UGT 6.10a/500	16,915	0,00	1047,04	0,00
Slb16/S15	gr1a - omh UGT 6.10a/514	17,450	-13,03	0,00	0,00
Slb16/S15	gr1a - omh UGT 6.10a/514	14,622	5,49	0,00	0,00
Slb16/S15	gr1a - omh UGT 6.10a/1	13,680	1,37	0,00	0,00
Slb17/S14	gr1a - omh UGT 6.10a/536	13,680	-0,01	0,00	0,00
Slb17/S14	gr1a - omh UGT 6.10b/4	13,680	0,02	0,00	0,00
Slb17/S14	gr1a - omh UGT 6.10a/1	13,680	0,00	0,00	0,00
Slb17/S14	gr1a - omh UGT 6.10a/514	17,800	0,00	347,73	0,00
Slb18/S16	gr1a - omh UGT 6.10b/29	13,680	-0,02	0,00	0,00
Slb18/S16	gr1a - omh UGT 6.10a/517	13,680	0,02	0,00	0,00
Slb18/S16	gr1a - omh UGT 6.10a/1	13,680	0,00	0,00	0,00
Slb18/S16	gr1a - omh UGT 6.10a/516	20,800	0,00	330,78	0,00
Slb19/S17	gr1a - omh UGT 6.10a/518	20,906	-64,94	324,68	0,00
Slb19/S17	gr1a - omh UGT 6.10a/518	20,003	1,16	0,00	0,00
Slb19/S17	gr1a - omh UGT 6.10a/1	13,680	0,30	0,00	0,00
Slb20/S21	gr1a - omh UGT 6.10a/522	16,455	-0,12	0,00	0,00
Slb20/S21	gr1a - omh UGT 6.10a/521	20,155	22,05	331,15	0,00
Slb20/S21	gr1a - omh UGT 6.10a/1	13,680	-0,09	0,00	0,00
Slb21/S20	gr1a - omh UGT 6.10b/19	13,680	-0,02	0,00	0,00
Slb21/S20	gr1a - omh UGT 6.10a/522	13,680	0,03	0,00	0,00
Slb21/S20	gr1a - omh UGT 6.10a/1	13,680	0,00	0,00	0,00
Slb21/S20	gr1a - omh UGT 6.10a/521	20,550	0,00	326,90	0,00
Sb1/S22	gr2 - omh UGT 6.10b/23	4,850	-1,83	0,00	0,00
Sb1/S22	gr2 - omh UGT 6.10a/8	4,850	89,59	0,00	0,00
Sb1/S22	gr1a - omh UGT 6.10a/1	4,850	4,04	0,00	0,00

69. Reacties in BGT

Lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : Alle

Klasse : BGT Frequent

Steunpunt	BG	dx [m]	Rx [kN]	Rz [kN]	My [kNm]
Sn9/K5	gr1a - omh BGT/52		0,00	33,56	0,00
Sn9/K5	gr2 - omh BGT/53		0,00	23,00	0,00
Sn9/K5	gr1a - omh BGT/54		0,00	132,90	0,00
Sn3/K12	gr1a - omh BGT/55		0,00	148,14	0,00
Sn3/K12	gr2 - omh BGT/56		0,00	114,93	0,00
Sn3/K12	gr2 - omh BGT/57		0,00	79,55	0,00
Sn3/K12	gr1a - omh BGT/58		0,00	241,44	0,00
Sn3/K12	gr1a - omh BGT/52		0,00	96,24	0,00
Sn1/K27	gr2 - omh BGT/59		-0,04	419,09	0,00
Sn1/K27	gr2 - omh BGT/57		0,01	175,83	0,00
Sn1/K27	gr1a - omh BGT/60		-0,03	117,34	0,00
Sn1/K27	gr1a - omh BGT/47		0,00	713,08	0,00
Sn1/K27	gr1a - omh BGT/52		0,00	150,50	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh BGT/54		0,00	108,49	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh BGT/61		0,00	121,65	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh BGT/62		0,00	91,01	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh BGT/63		0,00	230,38	0,00
Sn4/K16	gr1a - omh BGT/52		0,00	98,62	0,00
Sn5/K18	gr1a - omh BGT/64		-45,26	226,29	0,00
Sn5/K18	gr1a - omh BGT/65		-18,62	93,08	0,00
Sn5/K18	gr1a - omh BGT/52		-19,68	98,39	0,00
Sn6/K26	gr2 - omh BGT/66		5,42	81,42	0,00
Sn6/K26	gr1a - omh BGT/67		15,34	230,31	0,00
Sn6/K26	gr1a - omh BGT/52		6,35	95,42	0,00
Sn7/K25	gr1a - omh BGT/68		0,00	179,19	0,00
Sn7/K25	gr2 - omh BGT/69		0,00	102,54	0,00
Sn7/K25	gr2 - omh BGT/66		0,00	83,12	0,00
Sn7/K25	gr1a - omh BGT/67		0,00	227,43	0,00
Sn7/K25	gr1a - omh BGT/52		0,00	94,97	0,00
Sn2/K14	gr2 - omh BGT/57		11,94	59,68	0,00
Sn2/K14	gr1a - omh BGT/58		38,12	190,60	0,00
Sn2/K14	gr1a - omh BGT/52		14,81	74,04	0,00
Sn8/K28	gr2 - omh BGT/70		-156,35	0,00	0,00
Sn8/K28	gr2 - omh BGT/71		249,16	0,00	0,00
Sn8/K28	gr1a - omh BGT/52		-4,71	0,00	0,00
Slb1/S22	gr2 - omh BGT/72	4,850	-1,64	0,00	0,00
Slb1/S22	gr2 - omh BGT/59	4,850	60,02	0,00	0,00
Slb1/S22	gr1a - omh BGT/52	3,480	0,00	0,00	0,00
Slb2/S15	gr1a - omh BGT/73	4,830	-1,78	0,00	0,00
Slb2/S15	gr1a - omh BGT/74	4,830	0,54	0,00	0,00
Slb2/S15	gr1a - omh BGT/52	3,880	-0,10	0,00	0,00
Slb3/S14	gr1a - omh BGT/55	4,830	-1,13	0,00	0,00
Slb3/S14	gr2 - omh BGT/56	4,830	0,61	0,00	0,00
Slb3/S14	gr1a - omh BGT/52	3,880	0,06	0,00	0,00
Slb4/S16	gr2 - omh BGT/75	4,778	-0,91	0,00	0,00
Slb4/S16	gr1a - omh BGT/54	4,778	0,71	0,00	0,00
Slb4/S16	gr1a - omh BGT/52	3,810	-0,01	0,00	0,00
Slb5/S17	gr1a - omh BGT/61	3,810	-0,43	0,00	0,00
Slb5/S17	gr1a - omh BGT/54	4,778	1,23	0,00	0,00
Slb5/S17	gr1a - omh BGT/52	3,810	0,24	0,00	0,00
Slb6/S21	gr2 - omh BGT/69	4,220	-1,76	0,00	0,00
Slb6/S21	gr1a - omh BGT/68	4,220	0,99	0,00	0,00
Slb6/S21	gr1a - omh BGT/52	3,355	-0,08	0,00	0,00
Slb7/S20	gr2 - omh BGT/69	4,220	-1,69	0,00	0,00
Slb7/S20	gr1a - omh BGT/68	4,220	1,06	0,00	0,00
Slb7/S20	gr1a - omh BGT/52	3,355	-0,05	0,00	0,00
Slb8/S22	gr2 - omh BGT/59	12,350	-0,04	0,00	0,00
Slb8/S22	gr2 - omh BGT/57	12,350	0,01	0,00	0,00
Slb8/S22	gr1a - omh BGT/52	6,350	0,00	0,00	0,00
Slb9/S15	gr1a - omh BGT/76	7,680	-0,63	0,00	0,00

Steunpunt	BG	dx [m]	Rx [kN]	Rz [kN]	My [kNm]
Slb9/S15	gr1a - omh BGT/58	13,680	2,98	0,00	0,00
Slb9/S15	gr1a - omh BGT/52	7,680	-0,35	0,00	0,00
Slb10/S14	gr1a - omh BGT/55	7,680	-0,14	0,00	0,00
Slb10/S14	gr1a - omh BGT/55	10,251	0,15	0,00	0,00
Slb10/S14	gr1a - omh BGT/52	7,680	0,02	0,00	0,00
Slb11/S16	gr1a - omh BGT/54	9,680	-0,11	0,00	0,00
Slb11/S16	gr1a - omh BGT/61	9,680	0,15	0,00	0,00
Slb11/S16	gr1a - omh BGT/52	7,680	0,00	0,00	0,00
Slb12/S17	gr1a - omh BGT/54	11,109	0,13	0,00	0,00
Slb12/S17	gr1a - omh BGT/77	7,680	0,46	0,00	0,00
Slb12/S17	gr1a - omh BGT/52	7,680	0,35	0,00	0,00
Slb13/S21	gr1a - omh BGT/78	7,680	-0,26	0,00	0,00
Slb13/S21	gr2 - omh BGT/69	10,251	0,11	0,00	0,00
Slb13/S21	gr1a - omh BGT/52	7,680	-0,10	0,00	0,00
Slb14/S20	gr1a - omh BGT/78	7,680	-0,19	0,00	0,00
Slb14/S20	gr2 - omh BGT/69	9,680	0,22	0,00	0,00
Slb14/S20	gr1a - omh BGT/52	7,680	-0,01	0,00	0,00
Slb15/S22	gr2 - omh BGT/59	16,002	-0,07	0,00	0,00
Slb15/S22	gr2 - omh BGT/57	16,002	0,01	0,00	0,00
Slb15/S22	gr1a - omh BGT/52	12,350	0,00	0,00	0,00
Slb15/S22	gr1a - omh BGT/47	16,915	0,00	713,08	0,00
Slb16/S15	gr1a - omh BGT/58	17,450	-9,05	0,00	0,00
Slb16/S15	gr1a - omh BGT/58	14,622	3,79	0,00	0,00
Slb16/S15	gr1a - omh BGT/52	13,680	1,01	0,00	0,00
Slb17/S14	gr1a - omh BGT/79	13,680	-0,01	0,00	0,00
Slb17/S14	gr1a - omh BGT/55	13,680	0,02	0,00	0,00
Slb17/S14	gr1a - omh BGT/52	13,680	0,00	0,00	0,00
Slb17/S14	gr1a - omh BGT/58	17,800	0,00	241,44	0,00
Slb18/S16	gr1a - omh BGT/80	13,680	-0,01	0,00	0,00
Slb18/S16	gr2 - omh BGT/81	13,680	0,01	0,00	0,00
Slb18/S16	gr1a - omh BGT/52	13,680	0,00	0,00	0,00
Slb18/S16	gr1a - omh BGT/63	20,800	0,00	230,38	0,00
Slb19/S17	gr1a - omh BGT/64	20,906	-45,26	226,29	0,00
Slb19/S17	gr1a - omh BGT/64	20,003	0,82	0,00	0,00
Slb19/S17	gr1a - omh BGT/52	13,680	0,22	0,00	0,00
Slb20/S21	gr2 - omh BGT/69	16,455	-0,09	0,00	0,00
Slb20/S21	gr1a - omh BGT/67	20,155	15,34	230,31	0,00
Slb20/S21	gr1a - omh BGT/52	13,680	-0,07	0,00	0,00
Slb21/S20	gr1a - omh BGT/68	13,680	-0,01	0,00	0,00
Slb21/S20	gr1a - omh BGT/78	13,680	0,02	0,00	0,00
Slb21/S20	gr1a - omh BGT/52	13,680	0,00	0,00	0,00
Slb21/S20	gr1a - omh BGT/67	20,550	0,00	227,43	0,00
Sb1/S22	gr2 - omh BGT/72	4,850	-1,64	0,00	0,00
Sb1/S22	gr2 - omh BGT/59	4,850	60,02	0,00	0,00
Sb1/S22	gr1a - omh BGT/52	4,850	2,99	0,00	0,00

70. Resultante van reacties in UGT

Lineaire berekening, Extreem : Globaal
Selectie : Alle
Klasse : UGT totaal

BG	Rx [kN]	Rz [kN]	My [kNm]
gr2 - omh UGT 6.10b/32	326,31	1164,93	6245,07
gr2 - omh UGT 6.10a/33	-191,12	1773,36	-649,14
gr1a - omh UGT 6.10a/537	-31,96	2249,41	7584,62
gr2 - omh UGT 6.10b/35	175,20	881,11	2818,08
gr1a - omh UGT 6.10a/538	260,87	2041,36	13035,91
gr1a - omh UGT 6.10b/37	-152,73	1391,85	-6386,51

Centraalpunt:

X [m]	Y [m]	Z [m]
11,792	0,000	-14,230

71. Resultante van reacties in BGT

Lineaire berekening, Extreem : Globaal
Selectie : Alle
Klasse : BGT Frequent

BG	Rx [kN]	Rz [kN]	My [kNm]
gr2 - omh BGT/82	278,47	921,97	5071,21
gr2 - omh BGT/83	-127,44	1256,41	-402,39
gr1a - omh BGT/84	-21,33	1573,78	5086,79
gr2 - omh BGT/85	177,74	732,77	2786,55
gr2 - omh BGT/86	278,44	1295,74	8799,43
gr1a - omh BGT/87	-101,88	1076,25	-4196,93

Centraalpunt:

X [m]	Y [m]	Z [m]
11,792	0,000	-14,230

72. Intensiteit in UGT

Lineaire berekening, Extreem : Globaal
Selectie : Alle
Klasse : UGT totaal

BG	Lijnondersteuning	dx [m]	Rx [kN/m]	Rz [kN/m]	My [kNm/m]
gr1a - omh UGT 6.10a/518	Slb19	20,906	-48,01	0,00	0,00
gr1a - omh UGT 6.10a/521	Slb20	20,155	37,92	0,00	0,00
gr1a - omh UGT 6.10a/1	Slb1	3,480	0,00	0,00	0,00

73. Intensiteit in BGT

Lineaire berekening, Extreem : Globaal
Selectie : Alle
Klasse : BGT Frequent

BG	Lijnondersteuning	dx [m]	Rx [kN/m]	Rz [kN/m]	My [kNm/m]
gr1a - omh BGT/64	Slb19	20,906	-33,45	0,00	0,00
gr1a - omh BGT/67	Slb20	20,155	26,37	0,00	0,00
gr1a - omh BGT/52	Slb1	3,480	0,00	0,00	0,00

1.8. Bijlage 8 - Herberekening aanbrug constructie

1. HERBEREKENING BESTAANDE AANBRUG

In de herberekening van de aanbrug zijn diverse bronnen gebruikt. Ten grondslag aan deze herberekening ligt de Eurocode welke is toegepast zoals behandeld in 'Constructieel Gewapend Beton' uit de 'Cement en Beton 2' reeks. Voor de versterkingsmaatregelen is gebruik gemaakt van de 'CUR-Aanbeveling 91 – 2007 – Versterken van gewapend-betonconstructies met uitwendig gelijkjnde koolstofvezelwapening'.

1.1. Uitgangspunten

Als eerste deel van de herberekening zijn de uitgangspunten vastgesteld waarop de herberekening wordt uitgevoerd, dit zijn zaken als overspanningen, dek hoogtes en beton- en staalkwaliteit met bijbehorende eigenschappen (zie Tabel 1-1: Uitgangspunten voor herberekening aanbrug).

Overspanning Veld 1	L_{v1}		3,915	[m]
Overspanning Veld 2	L_{v2}		6,655	[m]
Overspanning Veld 3	L_{v3}	6.755	6,755	[m]
Overspanning Veld 4	L_{v4}	6.093	6,093	[m]
Hoogte dek	h_{dek}	350	350	[mm]
Hoogte keldervloer	h_{vloer}	250	250	[mm]
(reken-) breedte vloer	b	1000	1000	[mm]
Dekking	c	20	20	[mm]
Staalkwaliteit: QR24*	f_{yk}	240	240	[N/mm ²]
	f_{yd}	209	209	[N/mm ²]
Betonkwaliteit: C55/67**	f_{ck}	55	55	[N/mm ²]
	f_{cd}	36.7	36,7	[N/mm ²]
	f_{ctd}	1.97	1,97	[N/mm ²]
	f_{ctm}	4.21	4,21	[N/mm ²]
	E_{cm}	38000	38000	[N/mm ²]
Koolstofvezelwapening***	f_{frep}	3200	3200	[N/mm ²]
	γ_m	1.3	1,3	[-]
	f_{fu}	$=f_{frep}/\gamma_m$	2462	[N/mm ²]

*Eigenschappen uit Cement en Beton pagina 2

**Eigenschappen uit RBK pagina 43

**Eigenschappen uit CUR-Aanbeveling 91 en productbladen Sika Carbo Dur M

Tabel 1-1: Uitgangspunten voor herberekening aanbrug

1.2. Optredende belasting

Nadat de uitgangspunten bekend zijn, is de volgende stap het bepalen van de optredende momenten. Hiervoor is de uitdraai van Scia enigeer gebruikt, waarvan de waarden hieronder zijn weergegeven (zie Tabel 1-2: Rekenwaardes voor de belastingen):

Veldmoment dek 1	$M_{Ed.v.d1}$		150	[kNm]
Veldmoment dek 2	$M_{Ed.v.d2}$		310	[kNm]
Veldmoment dek 3	$M_{Ed.v.d3}$		300	[kNm]
Veldmoment dek 4	$M_{Ed.v.d4}$		370	[kNm]
Veldmoment vloer 1	$M_{Ed.v.v1}$		19,5	[kNm]
Veldmoment vloer 2	$M_{Ed.v.v2}$		26	[kNm]
Veldmoment vloer 3	$M_{Ed.v.v3}$		42	[kNm]
Steunpuntsmoment as 1	$M_{Ed.s.a1}$	(niet representatief)	270	[kNm]
Steunpuntsmoment as 2	$M_{Ed.s.a2}$		170	[kNm]
Steunpuntsmoment as 3	$M_{Ed.s.a3}$		226	[kNm]
Steunpuntsmoment as 4	$M_{Ed.s.a4}$		550	[kNm]

Tabel 1-2: Rekenwaardes voor de belastingen

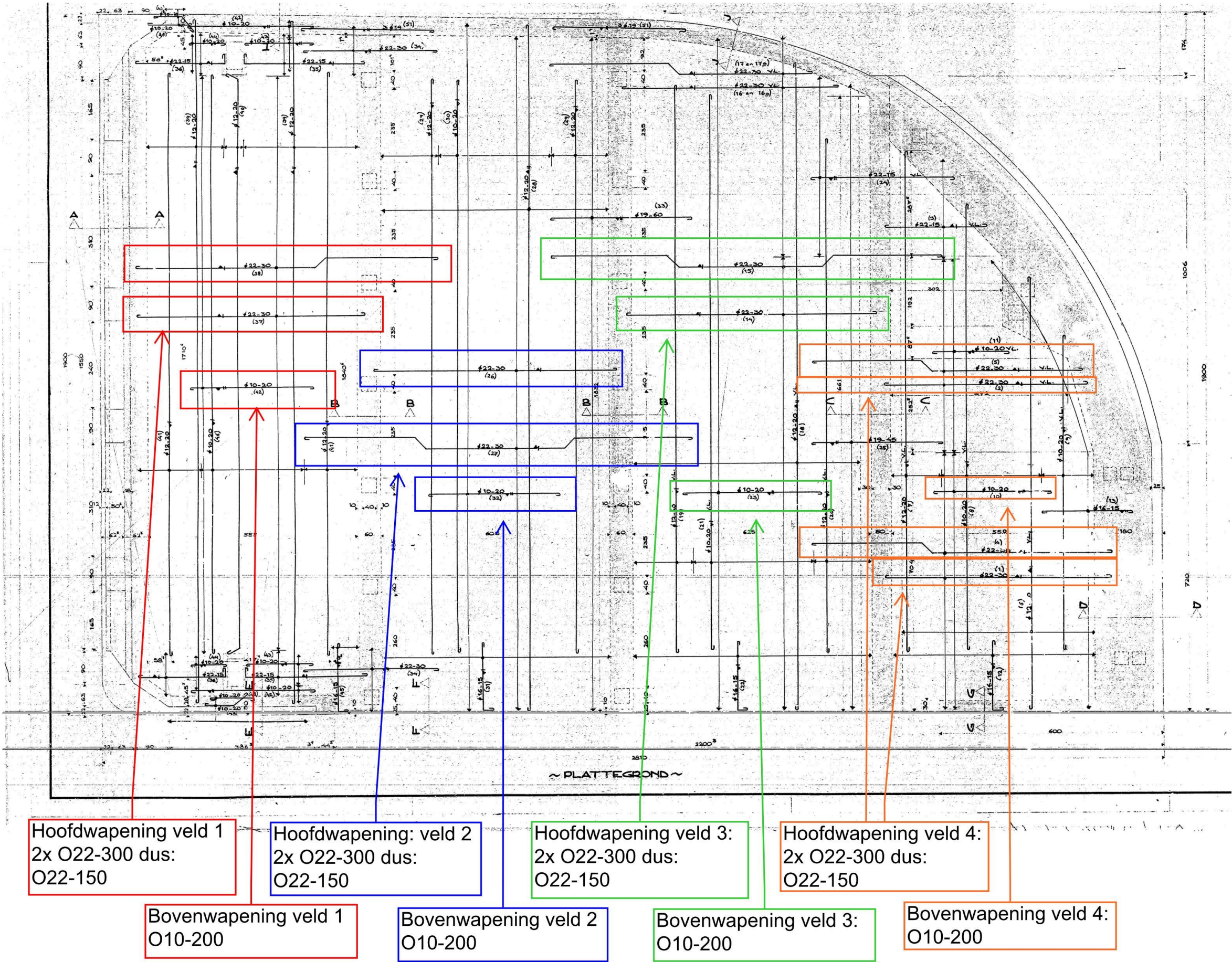
1.3. Momentcapaciteit dek

Vervolgens moet bepaald worden wat de normale momentcapaciteit van het dek is. Hiervoor worden de gegevens over de betondoorsnede gecombineerd met de wapeningstekeningen die beschikbaar zijn van het bestaande dek. Deze wapeningstekeningen met daarop aangegeven welke wapening waar ligt volgt op de volgende pagina. Hieronder staan de uitkomsten waarin van het dek van de constructie de moment capaciteit is bepaald (zie Tabel 1-3: Moment capaciteit bestaande dek).

Breedte	b	=b	1000	[mm]
Hoogte	h_{dek}	= h_{dek}	350	[mm]
Dekking	c	=c.	20	[mm]
Diameter hoofdwapening	$\emptyset$	22	22	[mm]
	$A_{\emptyset 22}$	= $\pi * (\emptyset_{hw} \cdot \text{langs} / 2)^2$	380	[mm ²]
	d	= $h_{dek} - c - (\emptyset_{hw} \cdot \text{langs} / 2)$	319	[mm]
h.o.h. maat wapening	hoh1	150	150	[mm]
Oppervlakte wapening	A_s	= $b / \text{hoh.1} * E49$	2534	[mm ²]
	$N_{s.dek.nor}$	= $A_s \cdot \text{dek.nor} * f_{yd}$	529652	[N]
	N_c	= $(3/4) * f_{cd} * b$	27525	* x_u
	x_u	= $N_{s.dek.nor} / N_{c.dek.nor}$	19	[mm]
	$z_{dek.nor}$	= $d_{dek} - 0.37 * x_{u.dek.nor}$	312	[mm]
	$M_{Rd.v.d1}$	= $A_s \cdot \text{dek.nor} * f_{yd} * z_{dek.nor} * 10^{-6}$	165	[Nmm]

Tabel 1-3: Moment capaciteit bestaande dek

1.4. Wapeningstekening Oostelijke gedeelte - dek

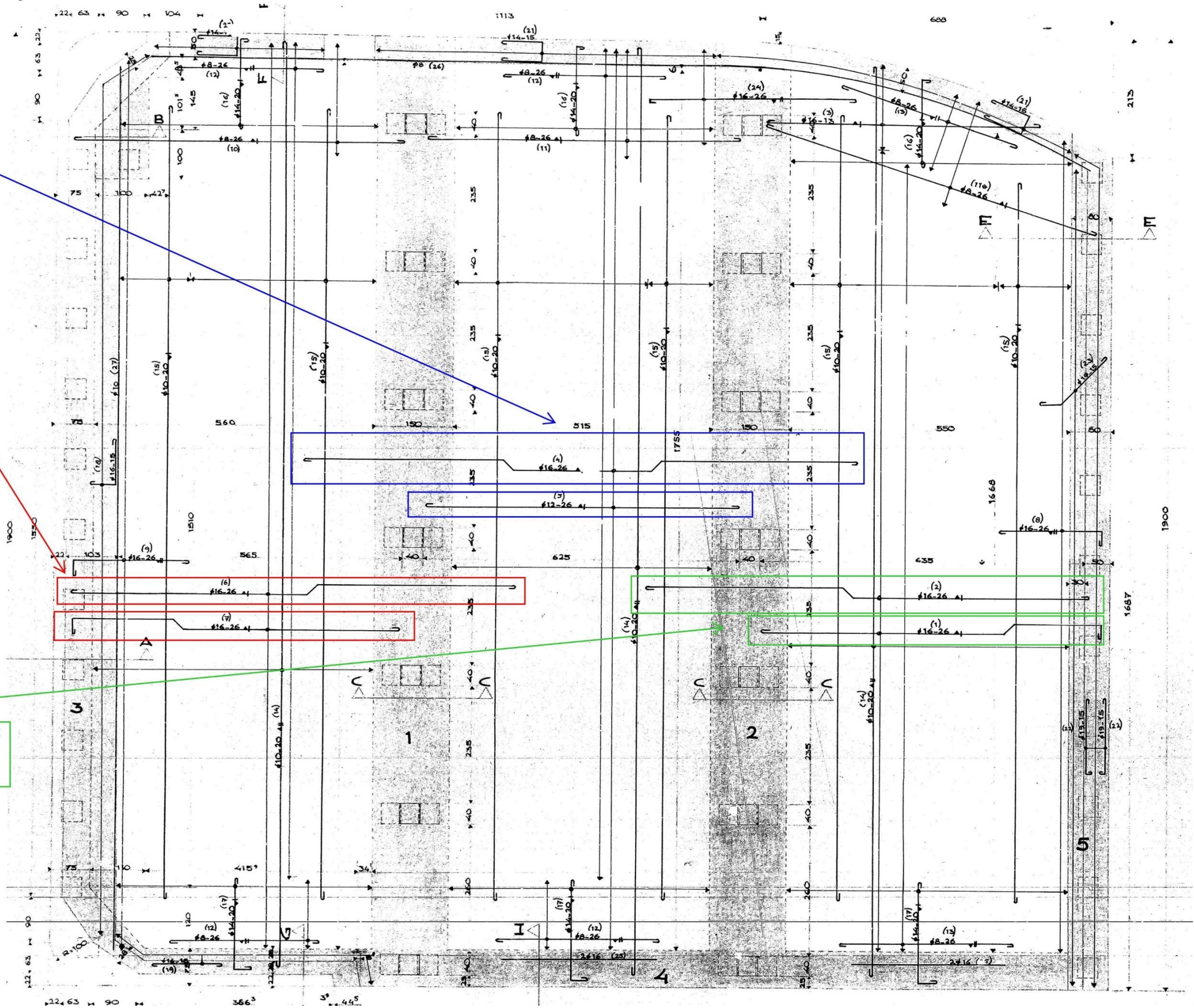


1.5. Wapeningstekening Oostelijke gedeelte - keldervloer

Hoofdwapening veld 2:
2x O16-260 dus:
O16-130

Hoofdwapening veld 1:
2x O16-260 dus:
O16-130

Hoofdwapening veld 3:
2x O16-260 dus:
O16-130



1.6. Theorie achter de herberekening

Aan de hand van de gegevens die bekend zijn over de bestaande constructie kan een herberekening uitgevoerd worden. Van de betonkwaliteit is bekend dat deze inmiddels de eigenschappen heeft van een C55/67 mengsel. De karakteristieke waarden die hiervoor worden aangenomen zijn:

- $f_{ck} = 55 \text{ N/mm}^2$
- $f_{cd} = 36,7 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctd} = 1,97 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctm} = 4,21 \text{ N/mm}^2$
- $E_{cm} = 38000 \text{ N/mm}^2$

Als wapening is de staalkwaliteit QR24 gebruikt. Deze staalkwaliteit wordt inmiddels niet meer toegepast, maar is in de jaren 60 wel gebruikt. Deze staalsoort is doorgaans als glad staal toegepast. Dit is te zien aan de haakvormige staafeinden in de wapeningstekening. Als de wapening geribd toegepast was, dan was dat te zien op de wapeningstekening doordat de verankering dan geschied met een rechtlopend staafeinde. Over deze staalkwaliteit zijn in de RBK de volgende waarden gegeven:

- $f_{yk} = 240 \text{ N/mm}^2$
- $f_{yd} = 209 \text{ N/mm}^2$

Van de bestaande aanbrug wordt het dek doorgerekend. Dit gebeurt door de situatie te bekijken wanneer de constructie de maximale kracht levert. Dit is het geval wanneer de wapening de maximale staalspanning bereikt of in de drukzone stuik optreedt. Omdat de staalkwaliteit relatief laag is, terwijl het betonmengsel juist een hoge kwaliteit heeft is het aannemelijk dat de staalspanning maatgevend is.

Om een momenten evenwicht te krijgen in de betondoorsnede treedt in de bovenregel een drukzone op, die dezelfde kracht levert als het staal aan de onderzijde. Op basis van deze twee krachten, en de inwendige hefboomsarm z is het door de constructie opneembare inwendige moment (M_{Rd}) te bepalen (zie Tabel 1-4: berekening van het opneembare inwendige moment M_{Rd}). De stappen die in deze berekening doorlopen zijn ter verheldering in formulevorm hieronder weergegeven.

Drukkracht N_s is gelijk aan trekkracht N_c , waarbij deze trekkracht gegeven wordt door de maximale staalspanning f_{yd} :

$$N_s = N_c \rightarrow N_s = A_s \cdot f_{yd}$$

Als gevolg van deze trekspanning treedt er in de betonzone een gelijke druk op:

$$N_c = \frac{3}{4} \cdot x_u \cdot f_{cd} \cdot b$$

Omdat $N_s = N_c$ kan de hoogte van de drukzone x_u bepaald worden. Met de nuttige hoogte en de hoogte van de drukzone kan de inwendige hefboomsarm (z) bepaald worden. Hiermee is de capaciteit van de constructie uit te drukken als:

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z$$

Aangezien alle velden van het dek gelijk zijn, is voor deze velden het opneembare moment gelijk. Voor alle velden is daarom hieronder de herberekening weergegeven:

Breedte	b	=b	1000	[mm]
Hoogte	h_{dek}	= h_{dek}	350	[mm]
Dekking	c	=c.	20	[mm]
Diameter hoofdwapening	$\emptyset$	22	22	[mm]
	$A_{\emptyset 22}$	= $\pi * (\emptyset_{hw.langs}/2)^2$	380	[mm ²]
	d	= $h_{dek}-c.-(\emptyset_{hw.langs}/2)$	319	[mm]
h.o.h. maat wapening	hoh1	150	150	[mm]
Oppervlakte wapening	A_s	= $b/hoh.1 * E49$	2534	[mm ²]
	$N_{s.dek.nor}$	= $A_{s.dek.nor} * f_{yd}$	529652	[N]
	N_c	= $(3/4) * f_{cd} * b$	27525*xu	
	x_u	= $N_{s.dek.nor}/N_{c.dek.nor}$	19	[mm]
	$z_{dek.nor}$	= $d_{dek}-0.37 * x_u$	312	[mm]
	$M_{Rd.v.d1}$	= $A_{s.dek.nor} * f_{yd} * z_{dek.nor} * 10^{-6}$	165	[Nmm]

Tabel 1-4: berekening van het opneembare inwendige moment M_{Rd}

1.7. Toetsing van de constructie

Nu de krachten bekend zijn die op de constructie optreden en de capaciteit van deze constructie is bepaald, kunnen de dekken getoetst worden. Omdat dit een bestaande constructie is, hoeft deze alleen getoetst te worden volgens de Ultimate Limit State, (ULS, voorheen UGT, Uiterste Grens Toestand), welke de bezwijksituatie toetst. Hierbij is het uitgangspunt dat de constructie niet bezwijkt zolang het door de constructie opneembare inwendige moment M_{Rd} groter is dan of gelijk is aan het optredende uitwendige rekenmoment M_{Ed} , ofwel: $M_{Rd} \geq M_{Ed}$. Voor de 3 dekken die behouden blijven is de toetsing hieronder weergegeven (zie Tabel 1-5: Unity Check van de aanbrug volgens ULS):

Veldmoment veld 2: dek				
Opneembare inwendige moment	M_{Rd}	= $M_{Rd.v}$	165	[Nmm]
Optredende uitwendige rekenmoment	$M_{Ed.v.d2}$	= $M_{Ed.v.d2}$	310	[kNm]
Unity check	UC	= $M_{Ed.v.d2}/M_{Rd.v}$	1,9	[-]
Veldmoment veld 3: dek				
Opneembare inwendige moment	M_{Rd}	= $M_{Rd.v}$	165	[kNm]
Optredende uitwendige rekenmoment	$M_{Ed.v.d3}$	= $M_{Ed.v.d3}$	300	[kNm]
Unity check	UC	= $M_{Ed.v.d3}/M_{Rd.v}$	1,8	[-]
Veldmoment veld 4: dek				
Opneembare inwendige moment	$M_{Rd.v}$	= $M_{Rd.v}$	165	[kNm]
Optredende uitwendige rekenmoment	$M_{Ed.v.d4}$	= $M_{Ed.v.d4}$	370	[kNm]
Unity check	UC	= $M_{Ed.v.d4}/M_{Rd.v}$	2,2	[-]

Tabel 1-5: Unity Check van de aanbrug volgens ULS

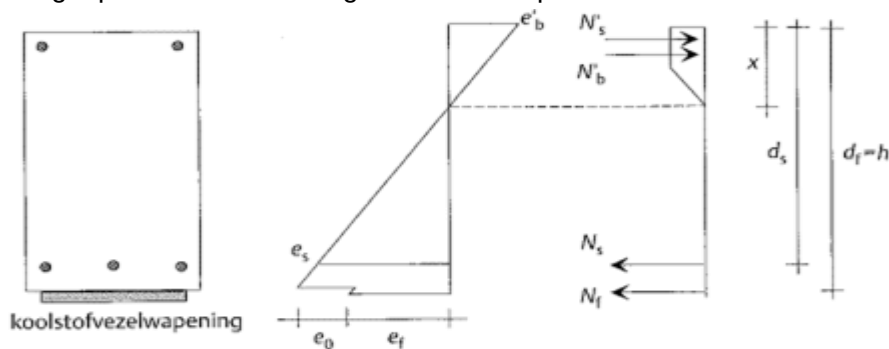
Uit deze gegevens blijkt duidelijk dat de constructie volgens de huidige normen niet meer voldoet. De rekenwaardes voor de belastingen zijn wellicht te zwaar gekozen, omdat de plaatwerking niet is meegenomen. Ook is de spreiding in het bepalen van de belastingen vrij conservatief aangehouden.

1.8. Versterking aan de hand van koolstof plakwapening

Aan de hand van de bovenstaande gegevens Zowel in de CUR-Aanbeveling als in de productbladen van een producent van de koolstof plakwapening staan veel eisen en voorwaarden waaraan voldaan moet worden. Zo zijn er eisen aan de opslag omstandigheden en de transport omstandigheden. Ook zijn er eisen aan de gebruikte lijm voor de verlijming van de koolstofwapening en aan de oppervlakte waarop deze wapening wordt aangebracht. Daarnaast is het gedrag van koolstof wapening niet te vergelijken met dat van betonstaal.

In een project gebeurt het niet zelden dat de berekening van de hoeveelheid plakwapening door de producent zelf wordt uitgerekend. Om toch een beeld te geven van de hoeveelheden die ongeveer toegepast moeten worden volgt hier een verkenningberekening. Hierin wordt aangenomen dat de belasting op de versterkte volledig wordt verdeeld over zowel de plakwapening als het betonstaal. Dit is een te gunstige situatie, daarmee is de waarde van de uitkomst een ondergrens. In werkelijkheid is in de situatie waarin de plakwapening wordt aangebracht de vervorming als gevolg van het eigen gewicht uiteraard al ingetreden.

Wanneer de plakwapening is aangebracht zullen vervormingen ten gevolge van de veranderlijke belasting door de versterkte doorsnede worden op genomen. In de herberekening wordt een oppervlakte plakwapening als uitgangspunt genomen. Vervolgens is voor beide materialen uit gegaan van de maximale spanning. Aan de hand van deze spanningen, is wederom de hoogte van de drukzone bepaald. Deze drukzone is nu hoger, waardoor de inwendig hefboomsarm afneemt. Dit heeft als gevolg dat de capaciteit van de bestaande wapening afneemt. Aan de hand van de nuttige hoogte en de volledige hoogte wordt het opneembare moment door respectievelijk de betonstaal en de koolstofwapening te bepalen (voor de visualisatie van deze krachswerking, zie Figuur 1-1: doorsnedeberkening voor een versterkte gewapend-betonconstructie). Hieruit is een nieuw verhoogt opneembaar inwendig moment te bepalen.



Figuur 1-1: doorsnedeberkening voor een versterkte gewapend-betonconstructie

Omdat de optredende momenten voor de drie dekken verschillend zijn, is de herberekening voor deze drie dekken apart uitgewerkt. Het bepalen van de versterking van de keldervloer kan langs eenzelfde weg geschieden, met de waarden voor die doorsnede geldend. Voor de versterking van dek 2, 3 en 4, zie Tabel 1-6: Verkenningberekening versterkingsmaatregelen veld 2, 3 en 4).

Veldmoment veld 2: dek				
Opneembare inwendige moment	M_{Rd}	$=M_{Rd.v}$	165	[Nmm]
Optredende uitwendige rekenmoment	$M_{Ed.v.d2}$	$=M_{Ed.v.d2}$	310	[kNm]
Unity check	UC	$=M_{Ed.v.d2}/M_{Rd.v}$	1,9	[-]
Minimaal extra op te nemen moment		$=M_{Ed.v.d2}-M_{Rd.v}$	144,8	[kNm]
Oppervlakte Koolstof wapening	$A_{s,extra}$	200	200,0	[mm ²]
	f_{fu}	$=ffu$	2461,5	[N/mm ²]
Nieuwe situatie $N_s=N_c$	$N_{s.dek.nor}$	$=N_{s.dek.nor}$	529652	[N]
	$N_{s,extra.v2}$	$=A_{s,extra}.d2*ffu$	492308	[N]
	N_c	$=(3/4)*fcd*b$	27525*xu	
	x_u	$=(N_{s.dek.nor}+N_{s,extra.v2})/N_c.xumin2$	37,1	[mm]
	z	$=d.dek-0.37*x_u.nieuw.v2$	305	[mm]
	$M_{Rd,v2,normaal}$	$=A_{s.dek.nor}*fyd*z.v2.nor*10^{-6}$	161,7	[mm]
	z'	$=h.dek-0.37*x_u.nieuw.v2$	336,3	[kNm]
	$M_{Rd,v2,extra}$	$=A_{s,extra}.d2*ffu*z.v2.extra*10^{-6}$	165,5	[kNm]
	$M_{Rd,d2,totaal}$	$=M_{Rd.v2.nor}+M_{Rd.v2.extra}$	327,2	[kNm]
	$M_{Ed.v.d2}$	$=M_{Ed.v.d2}$	310,0	[kNm]
	UC	$=M_{Ed.v.d2}/M_{Rd.v2.tot}$	0,9	[-]

Veldmoment veld 3: dek				
Opneembare inwendige moment	M_{Rd}	$=M_{Rd.v}$	165	[kNm]
Optredende uitwendige rekenmoment	$M_{Ed.v.d3}$	$=M_{Ed.v.d3}$	300	[kNm]
Unity check	UC	$=M_{Ed.v.d3}/M_{Rd.v}$	1,8	[-]
Minimaal extra op te nemen moment		$=M_{Ed.v.d3}-M_{Rd.v}$	134,8	[kNm]
Oppervlakte Koolstof wapening	$A_{s,extra}$	200	200,0	[mm ²]
	f_{fu}	$=ffu$	2461,5	[N/mm ²]
Nieuwe situatie $N_s=N_c$	$N_{s.dek.nor}$	$=N_{s.dek.nor}$	529651,6	[N]
	$N_{s,extra.v3}$	$=A_{s,extra}.d3*ffu$	492307,7	[N]
	N_c	$=(3/4)*fcd*b$	27525*xu	
	x_u	$=(N_{s.dek.nor}+N_{s,extra.v3})/N_c.xumin3$	37,1	[mm]
	z	$=d.dek-0.37*x_u.nieuw.v3$	305	[mm]
	$M_{Rd,v3,normaal}$	$=A_{s.dek.nor}*fyd*z.v3.nor*10^{-6}$	161,7	[mm]
	z'	$=h.dek-0.37*x_u.nieuw.v3$	336,3	[kNm]
	$M_{Rd,v3,extra}$	$=A_{s,extra}.d3*ffu*z.v3.extra*10^{-6}$	165,5	[kNm]
	$M_{Rd,d3,totaal}$	$=M_{Rd.v3.nor}+M_{Rd.v3.extra}$	327,2	[kNm]
	$M_{Ed.v.d3}$	$=M_{Ed.v.d3}$	300,0	[kNm]
	UC	$=M_{Ed.v.d3}/M_{Rd.v3.tot}$	0,9	[-]

Veldmoment veld 4: dek				
Opneembare inwendige moment	$M_{Rd.v}$	$=M_{Rd.v}$	165	[kNm]
Optredende uitwendige rekenmoment	$M_{Ed.v.d4}$	$=M_{Ed.v.d4}$	370	[kNm]
Unity check	UC	$=M_{Ed.v.d4}/M_{Rd.v}$	2,2	[-]
Minimaal extra op te nemen moment		$=M_{Ed.v.d4}-M_{Rd.v}$	204,8	[kNm]
Oppervlakte Koolstof wapening	$A_{s,extra}$	300	300,0	[mm ²]
	f_{fu}	$=f_{fu}$	2461,5	[N/mm ²]
Nieuwe situatie $N_s=N_c$	$N_{s,dek,nor}$	$=N_{s,dek,nor}$	529651,6	[N]
	$N_{s,extra,v4}$	$=A_{s,extra}.d4*f_{fu}$	738461,5	[N]
	N_c	$=(3/4)*f_{cd}*b$	27525*	x_u
	x_u	$=(N_{s,dek,nor}+N_{s,extra,v4})/N_c.x_{umin4}$	46,1	[mm]
	z	$=d_{dek}-0.37*x_u.nieuw.v4$	302	[mm]
	$M_{Rd,v4,normaal}$	$=A_{s,dek,nor}*f_{yd}*z.v4.nor*10^{-6}$	159,9	[mm]
	z'	$=h_{dek}-0.37*x_u.nieuw.v4$	333,0	[kNm]
	$M_{Rd,v4,extra}$	$=A_{s,extra}.d4*f_{fu}*z.v4.extra*10^{-6}$	245,9	[kNm]
	$M_{Rd,d4,totaal}$	$=M_{Rd,v4,nor}+M_{Rd,v4,extra}$	405,8	[kNm]
	$M_{Ed.v.d4}$	$=M_{Ed.v.d4}$	370,0	[kNm]
	UC	$=M_{Ed.v.d4}/M_{Rd,v4,tot}$	0,9	[-]

Tabel 1-6: Verkenningberekening versterkingsmaatregelen veld 2, 3 en 4

1.9. Praktische invulling wapening

In de berekening is een hoeveelheid wapening aangehouden waarmee de unity check onder de 1,0 uitkomt. Nu is het nog belangrijk om te bepalen of deze wapening toegepast kan worden. Om uitvoeringsredenen is ervoor gekozen om voor alle dekken hetzelfde type wapening te kiezen. Dit om het proces van aanbrengen en het risico op fouten in te perken. Gekozen wordt voor de Sika CarboDur S512, welke een oppervlakte van dwarsdoorsnede heeft van 60mm^2 , zie tabel Tabel 1-7: Beschikbare types koolstof plakwapening uit de Sika CarboDur S lijn).

Invulling van versterking			
Type:	Breedte [mm]	Dikte [mm]	Dwarsdoorsnede [mm ²]
Sika CarboDur S1030	10	3	30
Sika CarboDur S1525	15	2,5	37,5
Sika CarboDur S2025	20	2,5	50
Sika CarboDur S212	20	1,2	24
Sika CarboDur S214	20	1,4	28
Sika CarboDur S512	50	1,2	60
Sika CarboDur S613	60	1,3	78
Sika CarboDur S614	60	1,4	84
Sika CarboDur S812	80	1,2	96
Sika CarboDur S814	80	1,4	112
Sika CarboDur S912	90	1,2	108
Sika CarboDur S914	90	1,4	126
Sika CarboDur S1012	100	1,2	120

Sika CarboDur S1014	100	1,4	140
Sika CarboDur S1213	120	1,3	156
Sika CarboDur S1214	120	1,4	168
Sika CarboDur S1512	150	1,2	180

Tabel 1-7: Beschikbare types koolstof plakwapening uit de Sika CarboDur S lijn

Bij de berekening is voor de versterking van de dekken de volgende hoeveelheden wapening toegepast (zie Tabel 1-8: Toegepaste oppervlakte CarboDur).

Versterking veld 1 theoretisch		Niet van toepassing	[-]
Versterking veld 2 theoretisch	=As.extra.d2	200,0	[mm ²]
Versterking veld 3 theoretisch	=As.extra.d3	200,0	[mm ²]
Versterking veld 4 theoretisch	=As.extra.d4	300,0	[mm ²]

Tabel 1-8: Toegepaste oppervlakte CarboDur

Bij het kiezen van de CarboDur S512 komt de versterking neer op 5 strippen per meter dek voor veld 4, en $3\frac{1}{3}$ strip voor veld 2 en 3. Dit resulteert in een hart-op-hart maat van 0,3m voor veld 2 en 3, en een h.o.h. maat van 0,2m voor veld 4, zie tabel Tabel 1-9: Verklaring van de gevonden h.o.h. maat voor toe te passen wapening).

Voor de eenvoud van de uitvoering wordt er gekozen om 1 type wapening toe te passen			
Type:	Sika CarboDur S512		
Opp per strook	=Opp.S512	60	[mm ²]
h.o.h. maat veld 1 theoretisch	N.v.t.	N.v.t.	[-]
h.o.h. maat veld 2 theoretisch	=1000/As.extra.d2*Opp.toegepast	300	[mm]
h.o.h. maat veld 3	=1000/As.extra.d3*Opp.toegepast	300	[mm]
h.o.h. maat veld 4	=1000/As.extra.d4*Opp.toegepast	200	[mm]

Tabel 1-9: Verklaring van de gevonden h.o.h. maat voor toe te passen wapening

1.10. Conclusie

Uit de herberekening is duidelijk geworden dat de momentcapaciteit van de aanbrug niet voldoet. Uit de niet versterkte doorsnede blijkt dat het door de constructie opneembare inwendige moment flink overschreden wordt. Door middel van een verkennende berekening is ook duidelijk geworden dat versterking met koolstofplakwapening een goede versterkingsmaatregel kan bieden.

Diverse onderdelen zijn hierbij echter niet bekeken, maar zijn wel van invloed op de haalbaarheid van koolstof plakwapening. Een voorbeeld hiervan is het gedrag van koolstof wapening bij bezwijken. Betonstaal gaat eerst vloeien waardoor een visuele waarschuwing door de doorbuiging ontstaat alvorens het bezwijkt. Koolstof wapening vertoont deze vervorming niet en bezwijkt met een zo genaamde brosse breuk. Dit maakt dat naast de capaciteit van de koolstof wapening ook de vervorming bekeken moet worden, om te kijken of er voldoende vervorming overblijft voor het punt van bezwijken.

Daarnaast vormt naast het bezwijken op de momentcapaciteit, de dwarskracht ook een faalmechanisme. Voor een goede herberekening is het van cruciaal belang dat ook de dwarskracht van de constructie getoetst wordt.