

An aerial photograph of a large waterway, likely a canal or river, with a ship passing through a lock system. The lock is flanked by green grassy banks and white structural elements. In the background, there are industrial areas and a city skyline under a blue sky with light clouds.

EEN GESCHIKTE SLUISDEUR VOOR DE NIEUWE WATERWEG

AFSTUDEERRAPPORT

Davide Ferrara
Hogeschool Rotterdam

Community of Practice
Hoogwaterveiligheid
15-06-2021

TITELPAGINA

Datum:	15-06-2021
Versie:	1.0
Status:	Definitief
Student:	Davide Ferrara
Studentnummer:	0931803
Email:	davide.ferrara@hotmail.com
Bedrijf:	CoP Hoogwaterveiligheid
Bedrijfsbegeleider:	Gelder, L.A. van
School:	Hogeschool Rotterdam
Instituut:	Gebouwde Omgeving
Opleiding:	Civiele Techniek
Docentbegeleider:	Kuppen, W.J.J.M. Stoutjesdijk, P.M.J.

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie “Een geschikte sluisdeur voor de Nieuwe Waterweg”. Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool Rotterdam en in opdracht van Community of Centrum Hoogwaterveiligheid. Van Januari 2021 tot juni 2021 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van de scriptie.

Bij deze wil ik graag mijn schoolbegeleiders de heer W.J.J.M Kuppen en de heer P.M.J. Stoutjesdijk bedanken voor de fijne begeleiding en hun ondersteuning tijdens dit traject. Ook wil ik mijn collega's en medestudenten van het stagebedrijf bedanken voor de fijne samenwerking. Ik heb vaak veel tips gekregen en op een effectieve wijze kunnen sparren over het onderzoek.

Ook van mijn vrienden en familie heb ik wijze raad mogen ontvangen. Bovendien hebben zij mij moreel ondersteund tijdens het schrijfproces. Tot slot wil ik mijn ouders in het bijzonder bedanken. Hun wijsheid en motiverende woorden hebben mij geholpen deze scriptie tot een goed einde te brengen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Davide Ferrara

Rotterdam, 13 juni 2021

SAMENVATTING

In het kader van de hoogwaterproblematiek worden plannen gemaakt die de huidige waterkeringen in Nederland vervangen. Een van de plannen is het plan Spaargarden. In dit onderzoek wordt op basis van gestelde criteria een advies gegeven voor de meest geschikte sluisdeur ten behoeve van het sluizencomplex in de Nieuwe Waterweg. De Nieuwe Waterweg geldt als vaarweg voor de grootste schepen ter wereld. De sluisdeur in dit onderzoek dient dan ook van een immens formaat te zijn en zal bij realisering de grootste sluisdeur ter wereld worden.

Het doel van dit onderzoek is om tot een conceptontwerp te komen dat voldoende uitgewerkt is om een redelijke schatting te geven van de verwachte kosten en om een advies te kunnen geven over welke uitdagingen er te verwachten zijn voor verdere vervolgstappen naar een uiteindelijk definitief ontwerp. De bevindingen in dit onderzoek kunnen bovendien bij een vervolgonderzoek tevens gebruikt worden voor verdere afwegingen tussen mogelijk toepasbare sluisdeuren.

Ten eerste is onderzoek gedaan naar het constructiemateriaal van de sluisdeur. Hier is naar voren gekomen dat staal het meest van toepassing is doordat het materiaal goed bestand is tegen aanvaringen en de constructie slank en sterk kan worden uitgevoerd. Ten opzichte van de andere materialen is staal ook het meest betrouwbaar gezien het veelvoudig gebruikt is voor grote zeesluizen. Daarnaast is gekeken om naast staal ook kunststof in het ontwerp te verwerken als duurzame oplossing. Dit bleek het meest van toepassing voor de schuiven die als nivelleersysteem zullen dienen in de deur.

Vervolgens is er een programma van eisen opgesteld aangezien bij de start van het onderzoek enkel de projectlocatie bekend was. Zo dient de sluisdeur volgens de eisen onder andere minimaal 91 meter breed te zijn en dient de doorvaarthoogte niet belemmerd te worden.

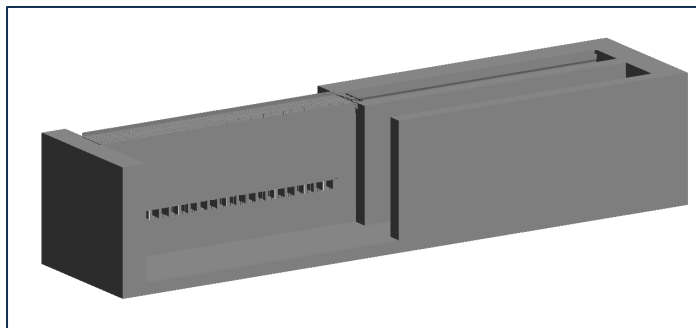
Nadat de eisen zijn opgesteld, is er een variantenstudie gedaan tussen de puntdeur, sectordeur, roldeur en de gekromde roldeur. Met behulp van een Multi Criteria Analyse (MCA) is een keuze gemaakt tussen de toegelichte deurtypen. Uit de MCA is naar voren gekomen dat de roldeur het meest geschikt is als type sluisdeur op basis van kosten, onderhoud en milieu. De toepassing van de roldeur kost het minste materiaalgebruik wat leidt tot minder kosten en onderhoud. Verder zal de realisering van deze variant zorgen voor de minste uitstoot bij zowel de bouw als bij het onderhoud gedurende de planperiode.

De roldeur beschikt over drijfkisten die het eigen gewicht reduceren tijdens het verplaatsen van de deur. In het geval van onderhoud of reparatie kan de deur drijvend verwisseld worden met de reservedeuren. De dimensies van de drijfkist heeft grote invloed op de stabiliteit tijdens het drijven. Dit geldt onder andere voor de breedte van de deur en de hoogte van de drijfkisten. De deurbreedte is 11 meter en de drijfkisten zijn 12 meter hoog. Daarnaast is de roldeur 37,6 meter hoog.

Het nivelleersysteem bestaat uit 22 deuropeningen. De grootte van de deuropeningen is maatgevend voor de vultijd. De deuropeningen in de sluisdeur hebben een totale oppervlakte van 144 m². Met behulp van het programma LOCKFILL is berekend wat de nivelleertijd bedraagt met de afmetingen van de toegepaste schuiven in de sluisdeur.

Voor de dimensionering van de hoofdconstructie is de deur belast op het maximale positieve verval. De stalen roldeur is opgebouwd uit twee waterkerende huidplaten, die met elkaar verbonden zijn door horizontale platen op verschillende niveaus. Deze horizontale platen werken als schijven die de stabiliteit van de constructie verlenen. De vormvastheid van deze balk wordt gedaan door middel van vakwerken die op elke stramienmaat

van de deur zitten. Het bewegingswerk bestaat uit een boven- en ondergeleiding. Voor de bovengeleiding is gekozen voor een pennenbaan aangezien deze vorm van geleiding een hoge betrouwbaarheid heeft. De pennenbaan geleidt de roldeur aan beide zijdes. Een bovenrolwagen rijdt met wielen met flenzen op een rails over de lengte van de deurkas.

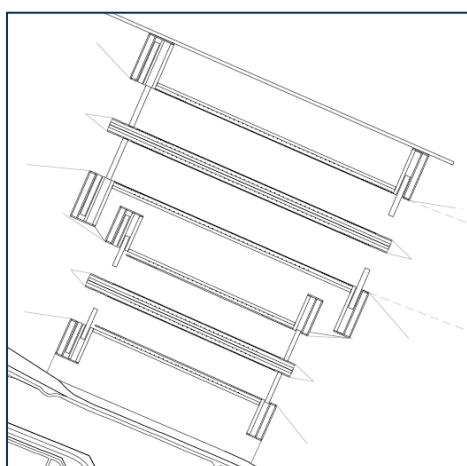


FIGUUR 1 ROLDEUR NIEUWE WATERWEG

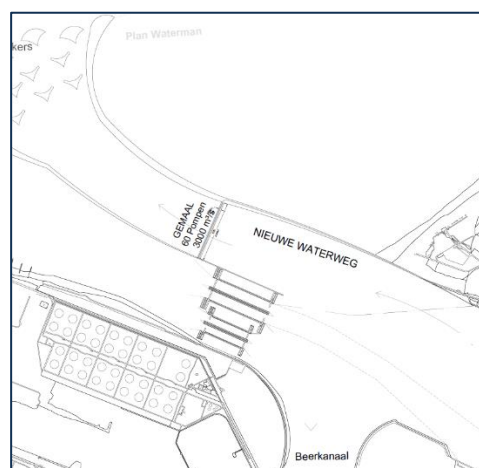
De hoofdconstructie is in het programma SCIA-Engineer getoetst op spanningen, vervormingen en stabiliteit. In het model bevinden zich 6 opleggingen. Hiervan bevinden zich 4 opleggingen ter plaatse van de verticale eindaanslagen van de deur. Verder is in het model een lijnoplegging gesitueerd langs de gehele onderzijde van de huidplaten. De huidplaten werken als een verende plaat die de belastingen van de constructie opnemen waarna die worden afgedragen naar de betonnen vloer.

De totale kosten voor het realiseren en onderhouden van alle sluisdeuren voor de grote sluizen in het sluizencomplex in de Nieuwe Waterweg bedraagt omgerekend 1,76 miljard euro gedurende een gehele planperiode van 100 jaar. Hiervan zijn de stichtingskosten voor het realiseren van alle operationele en reserve deuren 520,56 miljoen euro. De onderhoudskosten bedragen 1,23 miljard euro.

De deuren worden ter plaatse van de twee grote sluizen in het sluizencomplex gesitueerd. Per sluis is er aan de zeezijde een operationele deur geplaatst en daarnaast een ligplaats waar een reservedeur zich bevindt. Aan de kanaalzijde is enkel een operationele deur aanwezig.



FIGUUR 2 CONFIGURATIE SLUIZENCOMPLEX (F.H.H.M. VAN LAACK, 2021)



FIGUUR 3 SLUIZENCOMPLEX NIEUWE WATERWEG (F.H.H.M. VAN LAACK, 2021)

SUMMARY

In the context of the high-water problem, plans are being drawn up to replace the current flood defense systems in the Netherlands. One of the plans is the Spaargaarden plan. In this study, based on a set of criteria, advice is given for the most suitable lock gate for the lock complex in the Nieuwe Waterweg. The Nieuwe Waterweg is considered a waterway for the largest ships in the world. The sluice gate in this study must therefore be of immense size and, when realized, will become the largest sluice gate in the world.

The aim of this research is to arrive at a concept design that is sufficiently elaborated to give a reasonable estimate of the expected costs and to be able to advise on what challenges can be expected for further follow-up steps towards a final design. Moreover, the findings in this study can also be used in a follow-up study for further considerations between possible applicable lock gates.

Firstly, research was done into the construction material of the lock gate. It emerged here that steel is the most applicable because the material is highly resistant to collisions and the construction can be made slender and strong. Compared to the other materials, steel is also the most reliable as it has been used extensively for large sea locks. In addition, consideration was given to incorporating plastic into the design in addition to steel as a more sustainable solution. This turned out to be most applicable for the sliders that will serve as a leveling system in the door.

Subsequently, a program of requirements was drawn up, since only the project location was known at the start of the study. For example, according to the requirements, the lock gate must be at least 91 meters wide and the vertical clearance must not be impeded.

After the requirements have been drawn up, a variant study was carried out between the pointed door, sector door, roller door and the curved roller door. Using a Multi Criteria Analysis (MCA), a choice was made between the explained door types. The MCA has shown that the roller gate is the most suitable type of lock gate based on costs, maintenance and the environment. The application of the roller door requires the least amount of material, which leads to less costs and maintenance. Furthermore, the realization of this variant will ensure the lowest emissions during both construction and maintenance during the plan period.

The roller door has floating boxes that reduce its own weight when moving the door. In case of maintenance or repair, the door can be exchanged floating with the spare doors. The dimensions of the flotation box have a major influence on the stability while floating. This applies, among other things, to the width of the door and the height of the floating boxes. The door width is 11 meters and the floating boxes are 12 meters high. In addition, the roller door is 37.6 meters high.

The leveling system consists of 22 doorways. The size of the door openings determines the filling time. The doorways in the lock gate have a total surface area of 144 m². The LOCKFILL program was used to calculate the leveling time with the dimensions of the gates used in the lock gate.

For the dimensioning of the main construction, the door is loaded at the maximum positive fall. The steel roller door is made up of two water-retaining skin plates, which are connected to each other by horizontal plates at different levels. These horizontal plates act as disks that provide the stability of the structure. The shape retention of this beam is achieved by means of trusses that are located on each grid size of the door.

The movement work consists of a top and bottom guide. A pin track has been chosen for the top guide because this form of guide has a high reliability. The pin track guides the roller door on both sides. An overhead roller carriage rides with wheels with flanges on rails along the length of the door frame.

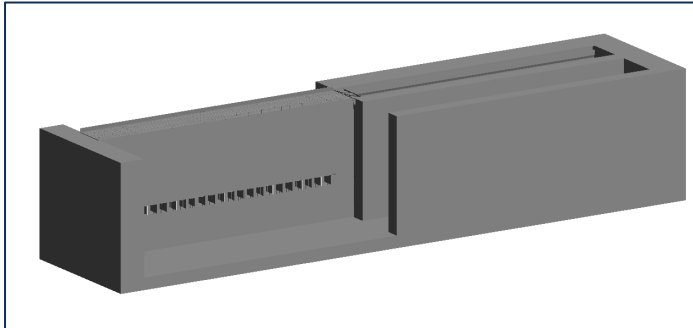


FIGURE 1 ROLLING DOOR LOCK NIEUWE WATERWEG

The main construction has been tested in the SCIA-Engineer program for tensions, deformations and stability. There are 6 supports in the model. Of these, 4 supports are located at the vertical end stops of the door. Furthermore, in the model a line support is situated along the entire underside of the skin plates. The skin plates act as a resilient plate that absorbs the loads from the structure, after which they are transferred to the concrete floor.

The total costs for the construction and maintenance of all lock gates for the large locks in the lock complex in the Nieuwe Waterweg amount to 1.76 billion euros during an entire planning period of 100 years. Of this, the foundation costs for realizing all operational and spare doors are EUR 520.56 million. The maintenance costs amount to 1.23 billion euros.

The doors are located at the location of the two large locks in the lock complex. An operational door has been placed on the seaside for each lock, as well as a berth where a spare door is located. There is only an operational door on the canal side.

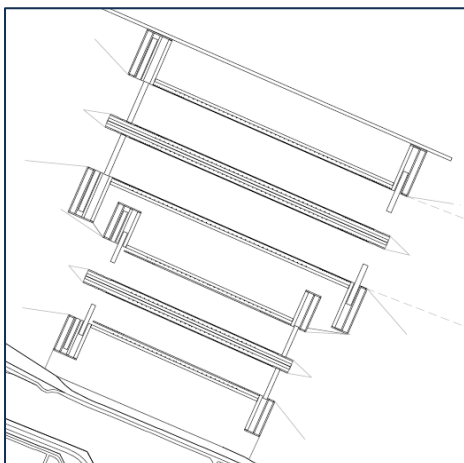


FIGURE 2 CONFIGURATION LOCKCOMPLEX (F.H.H.M. VAN LAACK,2021)

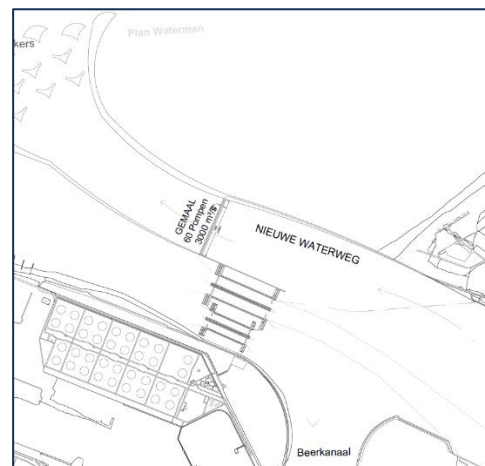


FIGURE 3 LOCKCOMPLEX NIEUWE WATERWEG (F.H.H.M. VAN LAACK,2021)

INHOUD

Samenvatting	3
Summary	5
Figurenlijst	9
Tabellenlijst	10
Normenlijst	11
Afkortingen en symbolenlijst	12
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Probleemstelling	14
2 Vooronderzoek	15
2.1 Bestaande grote sluizen	15
2.2 Zeesluis IJmuiden	15
2.3 Toepassing materiaal op ontwerp	16
3 Programma van Eisen	19
3.1 Systeem-eisenspecificatie	20
4 Varianten	22
4.1 Deuren roterend om verticale as	22
4.2 Deuren roterend om horizontale as	24
5 Keuze deurtype	26
5.1 Criteria	26
5.2 Totstandkoming scores	27
6 Aannames en uitgangspunten	32
7 Belastinggevallen	35
7.1 Permanent	35

7.2 Variabele belastingen	35
7.3 Bijzondere belasting	38
8 Ontwerp roldeur	40
8.1 Nivelleren	40
8.2 Drijfkisten	42
8.3 Krachtswerking	45
8.4 Bewegingswerk	46
8.5 Overzicht ontwerp in sluizencomplex	47
9 Detail SCIA-model	48
9.1 Opleggingen	48
9.2 Verplaatsingen	48
9.3 3D-stabiliteit	48
10 Kosten	49
10.1 Stichtingskosten	49
10.2 Onderhoudskosten	49
10.3 Totale kosten gedurende planperiode	49
11 Conclusie	49
12 Aanbevelingen en aandachtspunten	51
13 Discussie	52
Bronnenlijst	53
Bijlage	57
Inhoudsopgave bijlage	57

FIGURENLIJST

FIGUUR 1 ROLDEUR NIEUWE WATERWEG	4
FIGUUR 2 CONFIGURATIE SLUIZENCOMPLEX (F.H.H.M. VAN LAACK, 2021)	4
FIGUUR 3 SLUIZENCOMPLEX NIEUWE WATERWEG (F.H.H.M. VAN LAACK, 2021)	4
FIGURE 1 ROLLING DOOR LOCK NIEUWE WATERWEG	6
FIGURE 2 CONFIGURATION LOCKCOMPLEX (F.H.H.M. VAN LAACK, 2021)	6
FIGURE 3 LOCKCOMPLEX NIEUWE WATERWEG (F.H.H.M. VAN LAACK, 2021)	6
FIGUUR 4 SLUISDEUR IJMUIDEN	15
FIGUUR 5 GELEIDING SLUISDEUR IJMUIDEN	15
FIGUUR 6 PUNTDEUR SLUIS FARMSUM (G.J. ARENDS, 1994)	22
FIGUUR 7 KEERSITUATIES PUNTDEUR; LINKS KRACHT VOORZIJD; MIDDEN KRACHT ACHTERZIJD; RECHTS TWEE DEUREN (P. KLEIN, 1997)	22
FIGUUR 8 PLATTEGROND PUNTDEUR	22
FIGUUR 9 PLATTEGROND SECTORDEUR	23
FIGUUR 10 SECTORDEUR MAESLANTKERING (WESTLANDERS, 2020)	23
FIGUUR 11 OPDRIJVING SECTORDEUR (PORT OF ROTTERDAM, 2019)	23
FIGUUR 12 INVARING ROLDEUREN PANAMAKANAAL (NATIONALESTAALPRIJS, Z.D.)	24
FIGUUR 13 HYDROLAGERS GLIJDEUR ORANJESLUIS (ONTWERP VAN SCHUTSLUIZEN, 2000)	24
FIGUUR 14 PLATTEGROND ROLDEUR	24
FIGUUR 15 PLATTEGROND GEKROMDE ROLDEUR	25
FIGUUR 16 WATERDRUK MAXIMAAL POSITIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN	36
FIGUUR 17 WATERDRUK MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN	36
FIGUUR 18 WATERDRUK MAXIMAAL POSITIEF VERVAL	37
FIGUUR 19 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING	37
FIGUUR 20 MAATGEVENDE WATERDRUK	38
FIGUUR 21 BOTSOPPERVLAKTE VOORKANT ROLDEUR	39
FIGUUR 22 ROLDEUR TUSSEN DEURKAS EN -NIS (LINKS DEURNIS (ROOD); MIDDEN ROLDEUR (GROEN); RECHTS DEURKAS (BLAUW)	40
FIGUUR 23 DEUROPENINGEN VOORAANZICHT ROLDEUR (ZWART OMCIRKELD)	40
FIGUUR 24 RELATIEVE BOTSKRACHT OP SCHIP IN DE SLUISKOLK	41
FIGUUR 25 STROOMBREEKBALKEN VOOR DEUROPENINGEN	41
FIGUUR 26 SCHUIF ONTWERP	41
FIGUUR 27 PROFIELEN EN AFMETINGEN SCHUIF	41
FIGUUR 28 WATERDRUK OP SCHUIF	41
FIGUUR 29 DRIJFKISTEN IN CONSTRUCTIE ROLDEUR	42
FIGUUR 30 BOVENAANZICHT COMPARTIMENTEN DRIJFKIST	42
FIGUUR 31 VOORAANZICHT ROLDEUR; WEERGAVE BESCHADIGDE COMPARTIMENTEN (GRIJS GEKLEURD)	42
FIGUUR 32 STABILITEIT DRIJVEND OBJECT (INFRAWIKI, 2021)	43
FIGUUR 33 DRIJFSTABILITEIT ROLDEUR	44
FIGUUR 34 CONSTRUCTIE ROLDEUR	45
FIGUUR 35 DOORSNEDE CONSTRUCTIE ROLDEUR	45
FIGUUR 36 HORIZONTAAL VAKWERK	45
FIGUUR 37 HORIZONTALE PLAAT VAKWERK; BOVENAANZICHT	45
FIGUUR 38 ONDERROLWAGEN	46
FIGUUR 39 BOVENROLWAGEN	46
FIGUUR 40 SNELHEID BIJ OPENEN EN SLUITEN ROLDEUR	46
FIGUUR 41 DWARSDOORSNEDE DEURKAS ROLDEUR	47
FIGUUR 42 CONFIGURATIE SLUIZENCOMPLEX (F.H.H.M. VAN LAACK, 2021)	47
FIGUUR 43 MODEL OPLEGGINGEN	48
FIGUUR 44 OPLEGGINGEN SCIA-MODEL BOVENAANZICHT	48

TABELLENLIJST

TABEL 1 OVERZICHT NORMENLIJST	11
TABEL 2 OVERZICHT AFKORTINGEN- EN SYMBOLENLIJST	12
TABEL 3 BESTAANDE GROTE SLUIZEN GERANGSCHIKT	15
TABEL 4 VOOR- EN NADELEN STAAL ALS MATERIAAL	16
TABEL 5 VOOR- EN NADELEN HOGE STERKE BETON ALS MATERIAAL	17
TABEL 6 VOOR- EN NADELEN KUNSTSTOF ALS MATERIAAL	18
TABEL 7 TOELICHTING SYSTEEMEISEN (BAM)	19
TABEL 8 TYPE EISEN (BAM)	19
TABEL 9 TOELICHTING VERIFICATIE- EN VALIDATIEMETHODEN (BAM)	20
TABEL 10 SYSTEEM-EISENSPECIFICATIE	21
TABEL 11 VARIANTEN ONDERZOEK	22
TABEL 12 PROBABILISTISCHE SCHATTING KOSTEN	28
TABEL 13 ONDERHOUDSKOSTEN SLUISDEUREN	39
TABEL 14 SCHADUWPRIJS PER MILIEUEFFECT CONSTRUCTIESTAAL (NIBE,2021)	30
TABEL 15 UITSTOOT PER VARIANT	31
TABEL 16 MULTI CRITERIA ANALYSE	31
TABEL 17 BELASTINGFACTOREN	32
TABEL 18 BELASTINGCOMBINATIES	32
TABEL 19 MAATGEVEND SCHIP	33
TABEL 20 EIGENSCHAPPEN STAAL HOOFDCONSTRUCTIE	33
TABEL 21 WATERDRUK MAXIMAAL POSITIEF VERVAL (ZONDER BELASTINGFACTOR 1,1)	36
TABEL 22 WATERDRUK MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN (ZONDER BELASTINGFACTOR 1,1)	36
TABEL 23 WATERDRUK MAXIMAAL POSITIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN (ZONDER BELASTINGFACTOR 1,1)	37
TABEL 24 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING (ZONDER BELASTINGFACTOR 1,1)	37
TABEL 25 IJSBELASTING	38
TABEL 26 GEGEVENS MAXIMALE FRONTALE BOTSKRACHT VAARSNELHEID 0,5 M/S	39
TABEL 27 TOTALE KOSTEN GEDURENDE PLANPERIODE	49

NORMENLIJST

In de tabel hieronder zijn de gebruikte normen en richtlijnen waarnaar gerefereerd wordt weergegeven.

Norm nummer	Titel
-	TAW-leidraad: Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies
NEN-EN 1991-1-7:2006+A1:2014+NB:2019	Deel 1-7: Algemene belastingen - Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen
NEN-EN 1993-1-1; Eurocode 3	Ontwerp van staalconstructie - Deel 1-12
NEN-EN 1991-2+C1; Eurocode 1	Belastingen op constructies - Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen

TABEL 1 OVERZICHT NORMENLIJST

AFKORTINGEN EN SYMBOLENLIJST

MHW	Maximale hoogwaterstand
Kruin	Het hoogste punt van de waterkerende constructie
Bewegingswerk	Mechanisme dat de sluisdeur opent en sluit
H_{kr}	De kruinhoogte
h_{zsr}	Hoogte door hoogwaterstijging, inclusief de NAP-daling, gedurende de planperiode
h_{opw}	Hoogte door lokale opwaaiing, buistoten en buioscillaties
h_{sbb}	Hoogte door optreden van klink en zetting gedurende de planperiode
w	Waakhoogte
Aanleghoogte	Kerende hoogte van de constructie onmiddellijk na het gereedkomen ervan
Verval	Het verschil in hoogte tussen het waterpeil aan de hoge en de lage kant
Enkelzijdig kerende deur	Sluisdeur die hoogwater van slechts een zijde kan keren
Dubbelzijdig kerende deur	Sluisdeur die hoogwater van beide zijde kan keren.
Schutsluis	Sluis, bestaande uit
Maximaal positief verval	Waterspiegel aan de zeezijde staat hoger dan de waterspiegel aan de kanaalzijde
Maximaal negatief verval	Waterspiegel aan de kanaalzijde staat hoger dan de waterspiegel aan de kanaalzijde
Nivelleren	Nivelleren is het proces waarbij men het waterniveau op een gelijk niveau probeert te krijgen door middel van het vullen of ledigen van de sluis.
F_{bow}	Maximaal frontale botskracht
Binnenhoofd	Het binnenhoofd van de sluis grenst direct aan het binnenwater (kanaalzijde sluis)
Buitenhoofd	Het buitenhoofd van de sluis grenst direct aan het buitenwater (kanaalzijde sluis)

TABEL 2 OVERZICHT AFKORTINGEN- EN SYMBOLENLIJST

1 INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Er speelt zich een hoogwaterprobleem voor in Nederland. De huidige waterkeringen kunnen in de toekomst Nederland niet meer beschermen tegen de stijgende zeewaterspiegel. Hiervoor worden plannen gemaakt die de huidige waterkeringen vervangen. Een van de plannen is het plan Spaargarden.

In dit plan moet de Nieuwe Waterweg met een sluizencomplex afgesloten worden. Hiervoor in de plaats moeten krachtige gemalen komen bij zowel de zeesluizen als bij de Haringvlietdam. Bij hoge rivierafvoeren kunnen de achterliggende dijken op deze manier ontlast worden. Zo hoeven de dijken niet worden opgehoogd bij een stijgende zeespiegel. Met name in stedelijk gebied is zo iets kostbaar en problematisch. Zeesluizen vergroten de waterveiligheid van het economische hart aanzienlijk en waarborgen de zoetwatervoorziening.

Plan Spaargaren zorgt met het plaatsen van nieuwe waterkeringen buiten meer veiligheid ook voor een einde van het grootschalige zoetwatervlies door een zoetwaterbuffer te realiseren. Alle inlaatpunten voor zoetwater moeten veiliggesteld worden waarbij de verzilting wordt tegengegaan en het zout moet worden teruggedrongen tot tegen de kust. Het is de bedoeling dat de stadhaven en de rivieren naar de Rijnmond zoet en getijloos worden. Zo wordt de waterhoogte meer beheerst en is dit zeer gunstig voor de diepgang van de scheepvaart en geeft dit in de benedenrivieren minder schutproblemen. Hierbij neemt ook de veiligheid toe doordat hoogwaterstanden bij Rotterdam gemiddeld een meter lager uitvallen dan nu het geval is.

Verder verplaatst het omslagpunt van rivieren en zee zich van de risicovolle regio Drechtsteden naar de Zuidwestelijke Delta. Hier kan veel meer water worden geborgen. Het aanvoeren van zoetwater naar het zuidwesten zal voor een kwaliteitsverbetering van het oppervlaktewater zorgen.

1.2 PROBLEEMSTELLING

Het onderzoek zal zich richten op een analyse naar de meest geschikte type sluisdeur voor het sluisencomplex in de Nieuwe Waterweg. De Nieuw-Waterweg is een belangrijke scheepsvaartroute die Nederland verbindt met het achterland. De sluis dient grote schepen door te kunnen laten varen. Dit leidt tot grote afmetingen bij de dimensionering van de sluisdeur. Verder werken er immense belastingen op de sluisdeur wat veel vraagt van de constructie.

Door middel van hoofd- en deelvragen wordt het onderzoek afgebakend. Enkel de onderwerpen die in de hoofd- en deelvragen aan de orde komen zullen worden toegelicht. De hoofd- en deelvragen zijn als volgt:

Hoofdvraag:

Wat is het meest geschikte ontwerp voor de sluisdeur voor het sluisencomplex op de Nieuw-waterweg?

Deelvragen:

1. *Welke type sluisdeur is het meest van toepassing voor de toekomstige sluis?*

Deze deelvraag dient beantwoord te worden omdat er verschillende type sluisdeuren zijn die allen verschillen in constructie. Er moet afgewogen worden op basis van welk type deur een ontwerp gemaakt kan worden.

2. *Welke eisen worden er gesteld aan het ontwerp van de sluisdeur?*

De sluisdeur heeft zowel een waterkerende als schuttende functie heeft waar veel eisen aan worden gesteld. Op basis van de gestelde eisen kan een passend ontwerp bewerkstelligd worden.

3. *Welk materiaal kan gebruikt worden voor de sluis en is het meest duurzaam?*

Het hoofdmateriaal dat toegepast gaat worden heeft grote invloed op het ontwerp en kosten. Daarnaast kunnen innovatieve materialen wellicht duurzamere alternatieve oplossingen bieden.

4. *Welke belastingen werken er op de sluisdeur en hoe groot zijn deze krachten?*

Verschiedende grote externe belastingen werken op een sluisdeur. Achterhaald moet worden welke belastingen dit zijn en hoe groot de krachten van deze belastingen zijn.

5. *Wat is de dimensionering voor de nieuwe toekomstige sluisdeur?*

De constructie dient bestand te zijn tegen de belastingen die er op werken en tevens stabiel dient te zijn. Achterhaald dient te worden wat de geschikte afmetingen zijn om dit te bewerkstelligen.

6. *Wat bedragen de kosten van het eindontwerp?*

Deze deelvraag dient beantwoord te worden om een beeld te kunnen schetsen voor de opdrachtgever van de totale kosten om de gekozen sluisdeur te kunnen realiseren.

2 VOORONDERZOEK

Tijdens het vooronderzoek is gekeken naar bestaande zeesluizen die ter referentie zouden kunnen dienen. Verder is onderzoek gedaan naar de mogelijke toepassing van verschillende materialen in het ontwerp.

2.1 BESTAANDE GROTE SLUIZEN

Ter referentie voor de te ontwerpen sluis wordt gekeken naar bestaande grote sluisen. De grootste sluis ter wereld is momenteel in aanbouw. Dit is de Zeesluis IJmuiden. In de tabel hieronder valt op te merken dat stalen roldeuren veelvuldig worden toegepast voor grote sluisen.

Rang	Sluis	Locatie	Jaar	Lengte (m)	Breedte (m)	Diepte (m)	Type	Hoofdmateriaal
1	Zeesluis IJmuiden	Nederland	2022	500	70	18	Roldeur	Staal
2	Kieldrechtsluis	België	2016	500	68	17,8	Roldeur	Staal
3	Berendrechtsluis	België	1989	500	68	13,58	Roldeur	Staal
4	Noordersluis	Nederland	1929	400	50	15	Roldeur	Staal
5	Kallo sea lock	België	2006	350	50	11,5	Roldeur	Staal
6	Charles de Gaulle	Frankrijk	1970	364	50	13,5	Roldeur	Staal
7	Kaiserschleuse	Duitsland	2011	305	55	8,8	Roldeur	Staal
8	Panama Canal 3rd Lock Lane	Panama	2014	427-488	55	18,3	Roldeur	Staal
9	Zandvlietluis	België	1979	500	57	12,6/17,8	Roldeur	Staal
10	Pierre Vandammesluis	België	1985	500	57	15/18,5	Roldeur	Staal

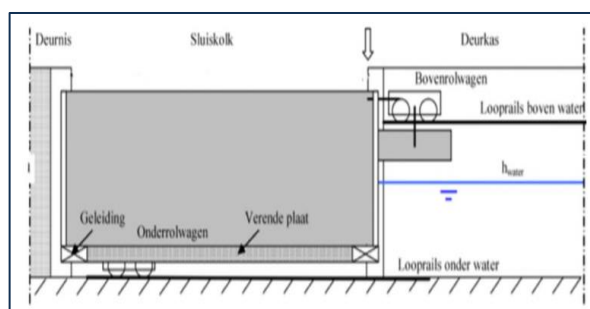
TABEL 3 BESTAANDE GROTE SLUIZEN GERANGSCHIKT (WIKIPEDIA)

2.2 ZEESLUIS IJMUIDEN

De sluisdeur in IJmuiden is een roldeur. Het bewegingswerk van de zeesluis in IJmuiden kan ook wel worden gezien als een kruiwagen systeem. Deze bestaat uit een boven- en onder rolgeleiding. De boven rolgeleiding bestaat uit een looprails boven water. De onder rolgeleiding bestaat uit een looprails dat zich onder water bevindt. Dit systeem dient de 2400 ton zware deur te bewegen. De deur is verder voorzien van een nivelleersysteem dat water de kolk in en uit laat stromen. Verder is de deur voorzien van drijfkisten. Deze kunnen gevuld en geleegd worden met water. Wanneer de kisten gevuld zijn leidt dit tot opdrijving. Wanneer de deur opgedreven is kan deze verplaatst worden in geval van onderhoud of reparatie op een andere locatie. Ten slotte beschikt de constructie over een verende plaat. Deze verende plaat brengt alle krachten over naar de betonnen vloer.



FIGUUR 4 SLUISDEUR IJMUIDEN



FIGUUR 5 GELEIDING SLUISDEUR IJMUIDEN

2.3 TOEPASSING MATERIAAL OP ONTWERP

Voordat de variantenstudie is gedaan is gekeken naar welk materiaal toegepast kan worden voor het ontwerp. Het soort materiaal in het ontwerp heeft namelijk invloed op de kosten, duurzaamheid en het onderhoud. Het is dus belangrijk dat eerst overwogen wordt welk materiaal wordt gebruikt als hoofdmateriaal. Ook kan overwogen worden of mogelijk voor kleinere onderdelen van de sluisdeur een ander materiaal dan het hoofdmateriaal kan worden gebruikt.

2.3.1 STAAL

De sluisdeur wordt in staal uitgevoerd doordat het materiaal goed bestand is tegen aanvaringen en de constructie met dit materiaal slank en sterk kan worden uitgevoerd. Staal is een zeer betrouwbaar en bekend materiaal voor het gebruik van grote sluisdeuren.

De toepassing van staalkwaliteit S355 maakt dat de profielen slanker zijn en er dus minder materiaalwinning nodig is. Dit heeft ook als voordeel dat de constructie minder staalgewicht heeft en de sluisdeur minder breed uitgevoerd dient te worden. Minder staalgewicht betekent namelijk dat er minder grote drijfkisten nodig zijn voor de vereiste stabiliteit van de constructie en opdrijvend vermogen. Een nadeel is wel dat staal van hogere sterkte vatbaarder is voor vermoeiing.

Bepaalde elementen van de sluisdeur zouden naast gewoon staal, kunnen worden uitgevoerd in roestvrij staal. Dit staal is gevoelig voor een aantal corrosiemechanismen. Dit kan echter worden tegengegaan door aangepaste vormgeving. In het ontwerp van de sluisdeur moet rekening worden gehouden dat nauwe openingen en horizontale vlakken vermeden worden. Verder kan corrosie beperkt blijven door gladde oppervlakteafwerking toe te passen en het minimaliseren van het aantal lassen. Ten slotte kan aanraking met constructiestaal tevens aanzetten tot corrosie. Ook dient een roestvast stalen deur regelmatig schoongemaakt te worden. Uit onderzoek is gebleken dat wanneer een roestvast stalen deur om de 10 jaar wordt onderhouden, deze pas na 150 jaar goedkoper is dan een normale koolstof stalen deur. (Ontwerp van schutsluizen, 2000)

Er is daarom niet gekozen om roestvast staal toe te passen aangezien het toepassen van dit materiaal kan leiden tot veel noodzakelijk aangepaste vormgeving in het ontwerp. Dit kan uiteindelijk duurder uitvallen. Het implementeren van roestvast staal in kleinere onderdelen zoals de deurschuiven wordt tevens niet geadviseerd met de reden dat dit corrosie kan veroorzaken en tot meer onderhoud leidt.

Voordelen	Nadelen
Veel toegepast voor grote sluisdeuren	Veel kostbaar onderhoud gezien corrosie
Eenvoudige assemblage losse onderdelen constructie	
Slanke constructie	
Lichte constructie	

TABEL 4 VOOR- EN NADELEN STAAL ALS MATERIAAL

2.3.2 HOGESTERKTEBETON

Verder is gekeken naar de mogelijke toepassing van hogesterktebeton. Alhoewel er niet veel sluisdeuren zijn gedimensioneerd in hoge sterkte beton (HSB), heeft het gebruik van dit materiaal grote voordelen op het gebied van duurzaamheid ten opzichte van staal en normaal beton. Vergeleken met normaal beton kan HSB veel slanker gedimensioneerd worden. Ook zou zeer hoge sterkte beton (ZHSB) toegepast kunnen worden. Hierbij worden de grove materialen weggelaten en is de pakingsdichtheid vergroot. Verder is ook staalvezel toegevoegd en geheel onder druk en hoge temperatuur verhard. Door de hoge dichtheid is het materiaal ondoordringbaar voor vloeistoffen. Dit maakt ZHSB zeer bestand tegen agressieve omstandigheden en resulteert in een onderhoudsvrije levensduur. De sluisdeur is van groot formaat wat de kosten op het gebied van onderhoud aanzienlijk kan verminderen.

Dit is echter niet als hoofdmateriaal toegepast doordat de gevolgen bij een aanvaring te groot zijn en er grote reparaties benodigd zijn. Verder is ook niet goed bekend wat de gevolgen zijn bij een dergelijke aanvaring. Bij staal bestaat de constructie daarentegen uit losse assamblages wat reparaties vergemakkelijkt ten opzichte van hogesterktebeton. Verder zijn met name punt- en draaideuren moeilijk te realiseren in hogesterkte beton. Dit komt door de grote stijfheid van het materiaal. Hierdoor kunnen dit type deuren moeilijk ondersteund worden. Dit kan problemen leveren voor het ontwerp. Denk aan obstakels voor de drempel. Bij sluisdeuren uitgevoerd in HSB kan wel worden gedacht aan roldeuren en hefdeuren of enkel de deurschuiven. Voor de deurschuiven kunnen monoliet betonnen platen gebruikt worden.

Voordelen	Nadelen
Minimale vervormingen door hoge stijfheid	Nog niet uitgevoerd voor grote sluisen
Bestand tegen agressieve omstandigheden	Reparaties voor dergelijke aanvaring zijn lastig
Onderhoudsvrij	Neemt veel kinetische kracht op bij aanvaring door stijfheid in constructie (vervormt niet mee)
Slankere dimensionering dan normaal beton	
Constructie kan slanker gedimensioneerd worden dan normaal beton	

TABEL 5 VOOR- EN NADELEN HOGE STERKTE BETON ALS MATERIAAL

2.3.3 KUNSTSTOF

Er zijn al sluizen toegepast met composiet kunststof als hoofdmateriaal. Dit zijn voornamelijk sluizen van een klein formaat. Dit komt voornamelijk doordat kunststof een erg duur materiaal is. Door de grote diepte van de sluisdeur op NAP -29 m, is er een grote waterdruk aanwezig. Kunststof is minder bestendig tegen grote doorbuigingen wat mogelijke toepassing als hoofdmateriaal mede onaantrekkelijk maakt.

Wel kan kunststof gebruikt worden voor enkel de kleinere onderdelen van de deur. Het materiaal is betrekkelijk licht wat het zeer aantrekkelijk maakt om toe te passen in het ontwerp. Kunststofelementen zouden het gewicht van de constructie aanzienlijk kunnen verminderen. Verder is het materiaal duurzamer dan staal en beton gezien de langere levensduur van het materiaal. Composiet is namelijk ongevoelig voor corrosie.

Verder is gekeken of de huidplaat van composiet gemaakt zou kunnen worden. Dit blijkt echter onhaalbaar doordat de huidplaat als verende plaat dient en er dus vele krachten van de constructie worden overgebracht op de huidplaat. Met composiet zou dit een uitermate dikke huidplaat betekenen met een complexe laminaat structuur.¹

Voordelen	Nadelen
Zeer vochtbestendig	Relatief dure constructie
Ongevoelig voor corrosie, scheelt in onderhoudskosten	Onbewezen constructiemateriaal voor toepassing grote sluiswerken
Licht constructiemateriaal	Minder bestendig tegen grote doorbuigingen
Minimale levensduur van 50 jaar	
Onbrandbaar	

TABEL 6 VOOR- EN NADELEN KUNSTOF ALS MATERIAAL

¹ Er is gesproken met de heer Pieter van Lierop van OpenIJ over mogelijke toepasbaarheid van composiet in de schuiven en huidplaat van de sluisdeur.

3 PROGRAMMA VAN EISEN

Met behulp van het programma van eisen zijn alle eisen opgesteld waar het ontwerp voor de sluisdeur aan dient te voldoen. Dit is gedaan aan de hand van een systeem-eisenspecificatie.

De eisen zijn ingedeeld in een hiërarchische verdeling. Dat betekent dat eisen op een hoger gelegen niveau op alle ondergelegen niveaus van toepassing zijn. In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe deze specificatie is ingericht. De indeling van de eisenspecificatie zijn hiërarchisch opgebouwd. De eisenspecificatie bevat de informatie zoals toegelicht in de onderstaande tabel.

Omschrijving	Toelichting
ID	De unieke code van de eis.
Eistitel	Onderwerp waar de eis over gaat.
Eistekst	De omschrijving van de eis inclusief een eventuele nadere toelichting.
BE (bovenliggende eis)	De identificatie van de bovenliggende eis waar de eis van is afgeleid.
OE (onderliggende eis)	De identificatie van de onderliggende, afgeleide eis.
Eistype	De typering van de eis.
V&V	De V&V methode waarop de eis moet worden aangetoond in de ontwerpfase.

TABEL 7 TOELICHTING SYSTEEMEISEN (BAM)

Type eis

Kenmerkend voor de eisenspecificatie is de indeling naar diverse type eisen en de samenhang tussen de eisen. De eisen vallen uiteen in het volgende type eisen: 1. functionele eisen en 2. aspecteisen. In de onderstaande tabel is per type eis een toelichting gegeven.

Type eis	Toelichting
Functionele eis	Functionele eisen beschrijven de gevraagde prestatie(s) of conditie(s) aangaande de functie(s) van het systeem en de objecten waaruit het systeem is opgebouwd.
Aspecteisen	Betrouwbaarheid
	Beschikbaarheid
	Onderhoudbaarheid
	Veiligheid
	Beveiliging
	Gezondheid
	Omgeving/Milieu
	Vormgeving

TABEL 8 TYPE EISEN (BAM)

Verificatie- en validatiemethoden

In onderstaande tabel zijn de verificatie- en validatiemethoden (V&V-methoden) voor de ontwerpfase toegelicht die in de eisenspecificatie zijn toegepast. Een combinatie van methoden is ook mogelijk. Er dient onderbouwd te worden dat, met de gekozen methode(n), aan de eis wordt voldaan.

Methode	Toelichting
Analyse	Het gebruik van analytische gegevens of simulaties voor gedefinieerde omstandigheden om aan te tonen dat aan de eisen wordt voldaan. De volgende analyse technieken kunnen hierbij toegepast worden: 1. sterkteanalyse/sterkteberekening; 2. betrouwbaarheidsanalyse; 3. onderhoudbaarheidsanalyse; 4. veiligheidsanalyse; 5. maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA).
Berekening	Cijfermatige onderbouwing van de werking of van de eigenschappen van systemen of van processen. (bijvoorbeeld een sterkteberekening).
Documentbeoordeling	Gestructureerde (risico gestuurde) controle van de documentatie door specialisten aan de hand van een set vastgestelde criteria.
Modelleren / simulatie	Nabootsing via een afspiegeling van de werkelijkheid in een fysiek of softwarematig model

TABEL 9 TOELICHTING VERIFICATIE- EN VALIDATIEMETHODEN (BAM)

3.1 SYSTEEM-EISENSPECIFICATIE

Hieronder staan alle eisen beschreven waar het ontwerp aan dient te voldoen. Deze zijn zo opgesteld dat er nog voldoende vrijheid is om in de een keuze fase te kunnen kiezen tussen verschillende deurtype.

ID	Naam	Eisomschrijving	Bron	Toelichting	Eistype	BE	OE	V&V methode
EIS-0001	Schutten	De sluis dient de capaciteit volledig te kunnen opvangen. Dit dient vlot en veilig te gebeuren.	Nota Mobiliteit van het Ministerie van V&W	Opdracht van opdrachtgever; Met vlot wordt bedoeld niet langer dan 30 minuten wachttijd	Functioneel	Top eis	Top eis	Analyse
	Schutten	Schepen dienen vlot en veilig de sluis te kunnen passeren.			Aspect Veiligheid	EIS-0001		Analyse
	Schutten	De bewegingstijd van het keringsmiddel dient voor het openen maximaal 7 minuten te bedragen en voor het sluiten ook maximaal 7 minuten.	Klant-eisen specificatie Zeetoegang IJmond					
EIS-0002	Geometrie	De sluisdeur dient minimaal 91 meter breed te zijn.	(F.H.H.M. van Laack, 2021)		Functioneel	EIS-0001		Analyse
EIS-0003	Geometrie	De bodem van de golfbreker ligt op -29 NAP. Op deze diepte dient de drempel gesitueerd te zijn.			Functioneel	EIS-0001		Analyse
EIS-0004	Geometrie	De sluis dient een onbeperkte doorvaarthoogte te hebben			Functioneel	EIS-0001		Analyse
EIS-0003	Levensduur	De sluis dient gedurende 100 jaar aan alle eisen onder topeis 1 voldoen			Functioneel	EIS-0001		Berekening
EIS-0004	Waterkeren	De kerende hoogte van de constructie dient zodanig te zijn dat de kans op overschrijding kritisch peil in achterliggend gebied door overslag en overloop in samenhang met de naastgelegen dijkwingdelen kleiner of gelijk is aan de normfrequentie: 10^{-4} jaar.	Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW)		Functioneel	EIS-0001		Berekening

EIS-0006	Waterkeren	De kans op overschrijding kritisch peil in achterliggend gebied door niet-sluiten van de sluis is kleiner of gelijk aan 0,1 keer de normfrequentie: 10^{-5} /jaar.	Technische Adviescommissie Waterkering en (TAW)		Functioneel	EIS-0001		Analyse
EIS-0007	Constructief	Voor constructief bezwijken van de sluisdeur als geheel geldt een maximale faalkans van 10^{-6} per jaar	Technische Adviescommissie Waterkering en (TAW)		Functioneel	EIS-0001		Analyse
EIS-0008	Constructief	De constructie dient te worden beschouwd als een constructie met de hoogste veiligheidsklasse (CC3).			Functioneel	EIS-0001		Analyse
EIS-0009	Operationeel	Een deur mag pas worden geopend als de andere deur volledig dicht is, met gesloten niveleeropeningen.			Aspect Veiligheid	EIS-0001		Analyse
EIS-0011	Beschikbaarheid	De niet-beschikbaarheid van de sluis mag gemiddeld niet groter zijn dan 2% van de tijd	Klant-eisen specificatie Zeetoegang IJmond		Aspect Beschikbaarheid	EIS-0001		Analyse
EIS-0012	Onderhoud	De sluisdeur dient, met in acht neming van onderhoud, bereikbaar te zijn in de gehele lengte van de constructie			Aspect Onderhoudbaarheid	EIS-0001		Analyse
EIS-0013	Inpassing	De sluisdeur dient in te passen met de omgeving			Aspect omgeving	EIS-0001		Analyse
EIS-0014	Nivelleren	Bij het nivelleren van de kolk moet voor de langs- en dwarskrachten op de schepen in de kolk rekening worden gehouden met het troskrachten criterium van maximaal 0,2‰ van de waterverplaatsing.	Klant-eisen specificatie Zeetoegang IJmond		Functioneel	EIS-0001		Modellering / simulatie
	Nivelleren	De vultijd mag niet langer dan 12 minuten bedragen	Klant-eisen specificatie Zeetoegang IJmond		Functioneel			
	Verkeer	Over de sluis dient een wegverbinding te worden gerealiseerd, die aansluit op de bestaande wegen over het sluizencomplex.	Klant-eisen specificatie Zeetoegang IJmond	Bij aanleg van het sluizencomplex is de weg bedoeld als onderhoudsweg	Functioneel			

TABEL 10 SYSTEEM-EISENSPECIFICATIE

4 VARIANTEN

Er zijn verschillende varianten per deurtype die toegepast kunnen worden voor de sluisdeur. Per variant wordt een korte toelichting gegeven. Gekeken wordt naar volgende type sluisdeuren:

Deur roterend om verticale as		Deur roterend om horizontale as	
Puntdeur	Sectordeur	Roldeur	Gekromde roldeur

TABEL 11 VARIANTEN ONDERZOEK

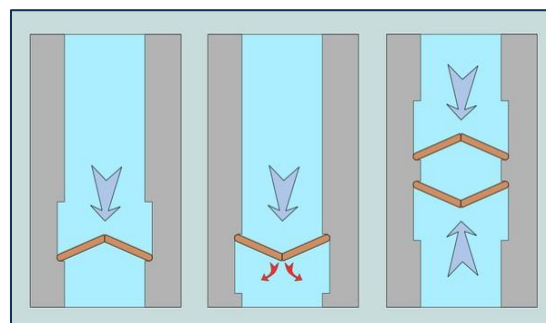
4.1 DEUREN ROTEREND OM VERTICALE AS

4.1.1 PUNTDEUR

Puntdeuren bestaan uit twee vlakke deuren die in gesloten toestand een stompe hoek vormen. Deze staan in een helling van 1 : 3. Dit type deuren zijn vooral bedoeld voor eenzijdige keringen. Met de nodige aanpassingen kan deze ook toegepast worden voor tweezijdige keringen. Als kanttekening geldt dat er maar een beperkt negatieve kering gerealiseerd kan worden. Wanneer er te grote negatieve belastingen aanwezig zijn, is er naast een getijdendeur ook een vloeddeur nodig in het binnenhoofd en buitenhoofd. Dit geldt zowel voor de deur als voor het aansluitende kunstwerk.



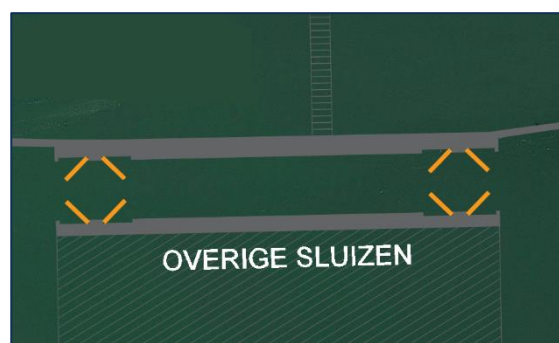
FIGUUR 6 PUNTDEUR SLUIS FARMSUM (G.J. ARENDS,1994)



FIGUUR 7 KEERSITUATIES PUNTDEUR: LINKS KRACHT VOORZIJDE; MIDDEN KRACHT ACHTERZIJDE; RECHTS TWEE DEUREN (P. KLEIN, 1997)

In afbeelding 11 ziet men in de linker situatie dat wanneer er kracht tegen de richting van de punt gedruwd wordt, de deur niet open wil bewegen. In de situatie daarnaast is echter te zien dat wanneer er tegen de achterkant van de puntdeur wordt gedrukt, de deuren open gedrukt zullen worden. De puntdeur kan het dan niet keren. Puntdeuren staan om die reden dus altijd in de richting waar de hoogste waterstand heerst. In gevallen waarin dan eens aan de ene en dan eens aan de andere kant een hoge waterdruk heerst, werkt men met twee paar deuren.

Dit is in de laatste situatie afgebeeld. Dit zal voor de sluis in de Nieuwe Waterweg gelden gezien de grote waterstanden die de puntdeuren dienen te keren in combinatie met de grote lengte van de deuren.

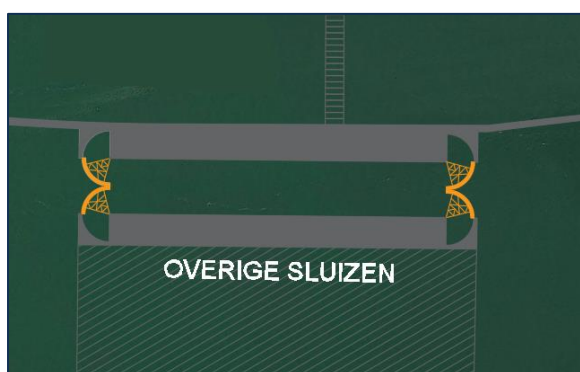


FIGUUR 8 PLATTEGROND PUNTDEUR

4.1.2 SECTORDEUR (STAAND)

Een andere variant van een deur roterend om de verticale as is een sectordeur. Dit is een horizontaal vlak gebogen deur. De deur is gebogen in de vorm van een cirkelomtrek en beweegt met armen om een draaipunt. Aan beide sluiswanden van de sluis staat een deur opgesteld met het draaipunt bij de wand. In geopende stand bevinden de deuren zich in de deurkassen van de sluiswanden.

Alle kracht op de deur wordt naar de draaipunten afgedragen. De draaipunten bestaan uit bolscharnieren die zorgen dat de deur in alle richtingen kan bewegen. De deur kan zowel horizontaal bij het openen en sluiten, als verticaal bij het afzinken bewegen. Ook dient de deur te kunnen meedeinen op de golven. De scharnieren dienen ook enorme waterdruk op de kerende deuren over te brengen op de fundering.

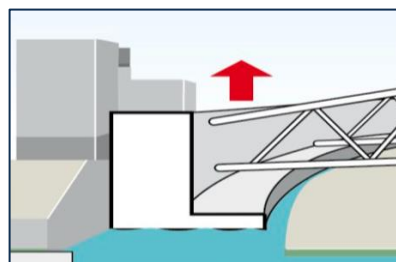


FIGUUR 9 PLATTEGROND SECTORDEUR

Een locomobiel ter plaatse van de opening van de deurkas zorgt ervoor dat de wand de deurkas in en uit kan varen. Wanneer de deur dient te sluiten worden de deurkassen gevuld met water. Hierdoor drijven de kerende wanden op. Zo kunnen de deuren naar elkaar toe bewegen zonder dat er wrijvingsweerstand plaatsvindt. Dit zou wel het geval zijn wanneer er bijvoorbeeld een rolwagen op een rails toegepast zou worden om de deuren te laten bewegen. Een balastsysteem zorgt voor het legen en vullen van de wand. Wanneer de deuren gesloten zijn worden ze gevuld met water waardoor deze naar de bodem zinken en zo dus volledig afgesloten zijn.



FIGUUR 10 SECTORDEUR MAESLANTKERING (WESTLANDERS,2020)



FIGUUR 11 OPDRIJVING SECTORDEUR
(PORT OF ROTTERDAM, 2019)

4.2 DEUREN ROTEREND OM HORIZONTALE AS

4.2.1 ROLDEUR

Dit type sluisdeur is een vlakke deur dat op rolwagens rust en zich langs een rails horizontaal voortbeweegt. Dit gaat met behulp van schuivers terwijl horizontale geleidenwielen aan de bovenzijde van de deur ervoor zorgen dat de deur verticaal standhoudt. Afhankelijk van de zijdelingse belasting kan gekozen worden voor geleidenrollen, glijsloten of flenzen aan wielen. Het sluit het water loodrecht op de doorvaart af. Verder bevindt zich in de sluiswand een diepe deurkas waarin de deur in geopende toestand zich kan positioneren. In de sluisdeur zitten meestal drijfkisten die het gewicht op de rolwagens verlichten. Alhoewel dit voordelig is voor de rolwagens kan dit de roldeur wel gevoeliger maken voor golven. De weerstand in water kan dan gevolgen hebben voor het lichte bewegingswerk.

Verder kan de roldeur als glijdeur worden toegepast. Hierbij worden de rolwagens vervangen door hydrostatische glijlagers. Bij hydrodynamische lagers wordt een geringe wrijving verkregen door met behulp van water onder druk zich op een zeer kleine hoogte op te drukken. De oplegging draagt zo op een waterfilm waar een zijdelingse beweging die nauwelijks kracht kost. Zo “glijdt” de deur als het ware open en dicht. Dit zorgt voor een zeer lage wrijving. Wel is deze erg gevoelig voor golven aangezien het gering vereiste overgewicht.



**FIGUUR 12 INVARING ROLDEUREN PANAMAKANAAL
(NATIONALESTAALPRIJS, Z.D.)**



**FIGUUR 13 HYDROLAGERS GLIJDEUR ORANJESLUIS
(ONTWERP VAN SCHUTSLUIZEN, 2000)**

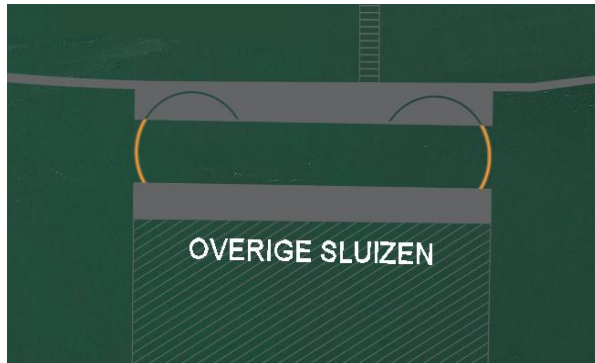
De glijdeur is in grote zin in tegenstelling tot het bewegingswerk hetzelfde als de roldeur. Als nadeel bij dit type deur ten opzichte van een roldeur komt bij dat deze extra gevoelig is voor golfbelasting (Ontwerp van schutsluizen, 2000). Bij de keuze voor de roldeur zou in de ontwerpfase een afweging tussen de bewegingswerken gemaakt kunnen worden. In het MCA wordt de glijdeur vandaar als roldeur beschouwd.



FIGUUR 14 PLATTEGROND ROLDEUR

4.2.2. GEKROMDE ROLDEUR

De laatste variant betreft de gekromde roldeur. Deze variant is nog niet eerder toegepast voor een sluis. De gekromde roldeur heeft als voordeel dat door de gekromde vorm er minder ruimte voor de deurkas benodigd is. Wel is er meer materiaal nodig om de deur te kunnen realiseren. Door de kromming is de baan groter en neemt de totale lengte van de deur toe. Ook voor deze variant zouden hydrolager kunnen worden toegepast.



FIGUUR 15 PLATTEGROND GEKROMDE ROLDEUR

5 KEUZE DEURTYPE

Met behulp van een Multi Criteria Analyse (MCA) wordt een keuze gemaakt tussen de toegelichte deurtypen in het voorgaande hoofdstuk.

5.1 CRITERIA

Voor de keuze van de sluisdeur zijn bouwkosten, onderhoud en milieu als criteria opgesteld. Elke variant krijgt een aantal punten toegewezen voor elk criterium.

De criteria worden hieronder beschreven. Aan elke criterium wordt een weegfactor toegekend afhankelijk van de belangrijkheid. Opgemerkt dient te worden dat elke variant past in het sluisencomplex en ruimte dus niet als criterium is gesteld.

- Kosten

Voor dit criterium wordt een schatting gemaakt van de stichtingskosten voor de betreffende variant. Niet alleen de deuren worden in rekening gebracht maar ook het bewegingswerk en het civiele deel van de hoofden van de sluis.

- Onderhoud

Voor dit criterium wordt gekeken naar de onderhoudskosten, intensiteit en eenvoud van het benodigde onderhoud gedurende de levensduur van de constructie. Dit betreft het onderhoud voor met name de staalconstructie alsmede het werktuigbouwkundige deel van de sluisdeur.

- Milieu

Met het criterium milieu wordt de milieubelasting door materiaalwinning, het fabricageproces, en bouwactiviteiten bedoeld. In dit onderzoek wordt de materiaalwinning probabilistisch benaderd door een schatting te maken van het totale staalgewicht van het aantal benodigde deuren per variant.

5.2 TOTSTANDKOMING SCORES

Per criterium wordt voor iedere variant een score toegekend. Deze scores zullen dan in de MCA worden toegepast waaruit een variant gekozen wordt. De scores zullen eerst per variant worden onderbouwd voor ieder criterium. Vervolgens zullen meer concrete cijfers worden toegelicht. De stichtingskosten en onderhoudskosten worden afgeleid uit het 'Eindrapport Nieuwe Zeesluis IJmuiden'. Ook het staalgewicht per variant is hieruit afgeleid. Dit is geëxtrapoleerd naar de afmetingen van de sluis in de Nieuwe Waterweg.

5.2.1 KOSTEN

Puntdeur

De kosten voor een bedrijfszekere deur zijn groot voor dit type variant. Dit valt te onderbouwen uit het feit dat er meerdere deuren benodigd zijn dan de andere varianten. Dit maakt de kosten voor een voldoende betrouwbare deur groot. De variant scoort laag op het criterium kosten.

Sectordeur

De constructie is van groot formaat wat invloed heeft op de kosten. Er zijn twee grote vakwerken nodig die aan beide kanten van de sluis veel bouwruimte innemen. In de lengte zal de sluis dan ook vergroot moeten worden. Dit brengt veel kosten met zich mee. Het bewegingswerk kost ook veel specialisatie gezien het feit dat het scharnier bolwerk niet gebruikelijk is om toe te passen voor waterkerende kunstwerken. Dit maakt ook meer kosten. Hierdoor scoort de sectordeur laag.

Roldeur

De kosten van de roldeur liggen lager doordat de constructie minder materiaal kost om te realiseren ten opzichte van de andere varianten. De roldeur scoort dan ook hoog op het gebied van kosten.

Gekromde roldeur

De kosten van de gekromde roldeur liggen relatief hoog door het hoge materiaalgebruik die voor het realiseren van deze variant nodig is. Door de kromming is de baan groter en neemt de totale lengte van de deur toe. De gekromde roldeur scoort relatief gemiddeld.

5.2.1.1 PROBABILISTISCHE SCHATTING KOSTEN

Er is een schatting van de kosten voor het realiseren van elke variant gemaakt. Vervolgens zijn de kosten met elkaar vergeleken waarna per variant een score is toegekend. In totaal zijn er 2 grote sluizen en twee kleine sluizen in het sluizencomplex. De twee kleinere sluizen zijn niet in rekening gebracht, aangezien in dit onderzoek enkel gekeken wordt naar een geschikte type sluisdeur voor de grote sluizen.

De kosten zijn gebaseerd op gegevens uit 'Eindrapport Nieuwe Zeesluis IJmuiden'. Hierbij zijn de kosten probabilistisch benaderd voor elke deurtype. Vergeleken met de Nieuwe Zeesluis in IJmuiden wordt rekening gehouden met de inflatie na verloop van tijd, meer waterdiepte en grotere sluisafmetingen. Dit heeft betrekkelijk invloed op de kosten voor het sluizencomplex.

Er is voor elk type deur rekening gehouden met een tweetal reservedeuren. Een reservedeur bevindt zich aan de zeezijde van de sluisdeur, naast de operationele deur. De andere deur bevindt zich in een droogdok dichtgelegen het sluizencomplex waar onderhoud plaatsvindt.

Onderdeel	Puntdeur	Sectordeur (1 set per sluishoofd)	Roldeur	Gekromde roldeur
Staalgewicht (ton)	5460	6808	5118	6985
Bouwkosten (mil. €) (staalprijs 6,- / kg)	35,28	40,85	30,71	41,91
Bewegingswerk (mil. €)	5,69	5,67	2,84	5,6
Afsluiting deurkas (mil. €)	-	11,05	-	-
Elektrische voorzieningen (mil. €)	2,73	2,73	2,73	2,73
Bouwkosten per deur (€)	43,7	60,3	36,28	50,24
Aantal deuren (stuks) grote sluis 1	4	2	2	2
Aantal deuren (stuks) grote sluis 2	4	2	2	2
Aantal deuren	8	4	4	4
Aantal reservedeuren (stuks)	4	4	4	4
Aantal deuren totaal (stuks)	12	8	8	8
Bouwkosten deuren totaal	524,4	482,4	290,24	401,92
Ligplaatsen reserve deuren (mil. €)	2	2	2	2
Droogzetvoorzieningen (mil. €)	12,2	12,2	12,2	12,2
Droogdok (mil. €)	39,6	94,3	63,28	63,28
Stichtingskosten totaal (mil. €)	1042,1	590,9	367,72	479,4
Waarde toegekende MCA	1	2	4	3

TABEL 12 PROBABILISTISCHE SCHATTING KOSTEN

5.2.2 ONDERHOUD

Puntdeur

Het bewegingswerk voor een puntdeur van dit formaat vergt intensief onderhoud om de beschikbaarheid van de sluisdeur te kunnen garanderen en aan de hoge eisen te voldoen. Tevens bevindt het merendeel van de staalconstructie van de deur zich onder water. Dit bemoeilijkt het onderhoud. Het bewegingswerk bevat grote mechanismen die relatief meer kwetsbaar kunnen zijn voor de grote belastingen op de deur. Bovendien betekent meer deuren per sluishoofd ook dat dit meer onderhoud zal vergen dan de overige varianten. Wat betreft onderhoud scoort de puntdeur laag ten opzichte van de andere varianten.

Sectordeur

Voor onderhoud scoort deze variant laag. Alhoewel een groot gedeelte van de constructie boven water eenvoudig te bereiken valt, is er wel sprake van een grote constructie die aan een hoge betrouwbaarheidseis dient te voldoen. De toepassing van een reservedeur lijkt verder minder reëel voor dit type deur wat frequenter onderhoud vergt om voortdurend de gestelde eisen te garanderen.

Roldeur

De betrouwbaarheid van de roldeur is relatief groot en deze is een veel toegepaste constructie voor grote zeesluizen. Het vergt minder onderhoud dan de overige varianten om aan de gestelde eisen te blijven voldoen. Minder onderhoud vertaalt zich dan vanzelfsprekend naar minder onderhoudskosten.

Gekromde roldeur

De gekromde roldeur is van groter formaat dan de rechte roldeur en vergt meer onderhoud dan de andere varianten wegens de complexe constructie en bijbehorende bewegingsmechaniek. De gekromde roldeur scoort het laagst.

5.2.2.1. ONDERHOUDSKOSTEN

Hieronder zijn de te verwachte onderhoudskosten weergegeven. De onderhoudskosten zijn net als de stichtingskosten geëxtrapoleerd vanuit 'Eindrapport Nieuwe Zeesluis IJmuiden' om een probabilistische benadering te kunnen verkrijgen. Zoals zojuist beschreven is de sectordeur het duurst om te onderhouden. Goedkoper is de puntdeur gevolgd door de gekromde roldeur en als goedkoopste optie de roldeur.

Onderhoudskosten	Puntdeur	Sectordeur	Roldeur	Gekromde roldeur
Gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten excl. vervanging na 100 jaar (miljoen €)	14,9	15,7	12,4	16,4
Totaal na 100 jaar (miljoen €)	1490	1570	1240	1640
Waarde toegekende score MCA	3	2	4	1

TABEL 13 ONDERHOUDSKOSTEN SLUISDEUREN

5.2.3 MILIEU

Voor het criterium milieu is met name gekeken naar de hoeveelheid materiaalwinning per variant. Dit is gedaan door naar het staalgewicht van het totaal aantal deuren per variant te kijken. Meer benodigde materiaalwinning betekent meer uitstoot.

Puntdeur

Het feit dat er meer deuren dan de overige varianten vereist zijn bij de toepassing van de puntdeur, leidt tot meer benodigde materiaalwinning en als gevolg daarvan tot meer uitstoot. Daarom scoort deze variant laag op het gebied van milieu.

Sectordeur

Het grote formaat van de constructie (denk aan twee grote vakwerken per sluishoofd en de langere sluislengte die per deur benodigd zijn) betekent veel materiaalverbruik voor de realisering van dit type deur. Op het gebied van milieu scoort de sectordeur gemiddeld ten opzichte van de andere varianten.

Roldeur

Door de mindere materiaalwinning ten opzichte van de andere varianten voor de realisering van de constructie, heeft dit minder impact op het milieu. De constructie scoort hoog, kijkend naar milieu als criterium.

Gekromde roldeur

Er is per deur het meeste materiaal benodigd voor deze variant. Wel zijn er minder deuren per sluishoofd nodig dan de puntdeur. De gekromde roldeur scoort dan ook relatief gemiddeld.

5.2.3.1 LIFE CYCLE ANALYSE

Met behulp van een Life Cycle Analyse van constructiestaal is de milieu impact uitgedrukt in preventiekosten per variant bepaald. Preventiekosten (schaduwkosten) zijn kosten van preventieve maatregelen waarmee een bepaalde milieubelasting kan worden voorkomen. Het gaat hierbij om de kosten van de preventieve maatregelen, die genomen zouden moeten worden om emissies terug te dringen naar een duurzaam niveau. Het zijn (theoretische/hypothetische) kosten van maatregelen, die nog genomen dienen te worden. Deze kosten geven een beeld van wat de maatschappij bereid zou moeten zijn te betalen voor het terugdringen van de milieubelasting.

De schaduwprijs van een emissie wordt bepaald door de kosten van de laatste nog net noodzakelijke maatregel om een emissiedoelstelling te halen, de zogeheten marginale kosten. Deze schaduwprijs weerspiegelt de kosten die de maatschappij er voor over heeft het betreffende milieudoel te bewerkstelligen. De schaduwkosten voor Constructiestaal voor zware toepassingen zijn als volgt in rekening gebracht:

Milieueffect	Schaduwprijs €	Bron
Broeikaseffect (GWP100)	€ 0,05 / kg CO2 eq.	CE
Aantasting ozonlaag (ODP)	€ 30 / kg CFC-11 eq.	CE
Humane toxiciteit	€ 0,09 / kg 1,4-DB eq.	TNO
Ecotoxiciteit water	€ 0,03 / kg 1,4-DB eq.	TNO
Ecotoxiciteit terrestrisch	€ 0,06 / kg 1,4-DB eq.	TNO
Fotochemische oxydantvorming	€ 2 / kg C2H4 eq.	CE
Verzuring	€ 4 / kg SO2 eq.	CE
Vermesting	€ 9 / kg PO4 eq.	CE
Abiotische uitputting	€ 0,16 / kg Sb eq.	TNO

TABEL 14 SCHADUWPRIJS PER MILIEUEFFECT CONSTRUCTIESTAAL (NIBE,2021)

In de tabel hieronder zijn per categorie de milieukosten van elke variant berekend:

Onderdeel	Eenheid	Uitstoot constructie- staal per kg	Schaduw- prijs	Puntdeur	Sectordeur	Roldeur	Gekromde roldeur
Staalgewicht per deur (ton)	ton	-	-	5460	6808	5118	6985
Aantal deuren (incl. reserve deuren)	stuks	-	-	12	8	8	8
Totaal staal gewicht	ton	-	-	65520	40848	20472	41910
Humane toxiciteit	kg 1,4DB	2,9E+01 / kg	€ 0,09 / kg	1900,08	1579,46	1187,38	1620,52
Abiotische uitputting	kg Sb	2,8E+00 / kg	€ 0,16 / kg	183,46	152,50	114,64	156,46
Ecotoxiciteit water (zoet water)	kg 1,4DB	5,7E+00 / kg	€ 0,03 / kg	373,46	310,44	233,38	318,52
Ecotoxiciteit sediment (zoet water)	kg 1,4DB	9,2E+00 / kg	€ 0,03 / kg	602,78	501,07	376,68	514,10
Ecotoxiciteit terrestrisch	kg 1,4DB	1,7E-01 / kg	€ 0,06 / kg	11,14	9,26	6,96	9,50
Verzuring	kg SO2	3,0E+00 / kg	€ 4 / kg	196,56	163,39	122,83	167,64
Vermesting	kg PO4	4,2E-01 / kg	€ 9 / kg	27,52	22,87	17,20	23,47
Broeikaseffect	kg CO2	4,8E+02 / kg	€ 0,05 / kg	31449,60	26142,72	19653,12	26822,40
Fotochemische oxydantvorming	kg C2H4	5,1E-01 / kg	€ 2 / kg	33,42	27,78	20,88	28,50
Aantasting ozonlaag	kg CFK11	1,1E-04 / kg	€ 30 / kg	7,21	5,99	4,50	6,15
Schaduwkosten Totaal	-	-	-	3.119.747,90	2.593.314,25	1.949.556,75	2.660.737,37
Waarde toegekende score MCA				1	3	4	2

TABEL 15 UITSTOOT PER VARIANT

5.3 RESULTAAT MULTI CRITERIA ANALYSE

Vermenigvuldiging van rapportcijfers of punten met de weegfactor levert een score. Alle scores van de aspecten opgeteld levert een totaalscore. De hoogste totaalscore moet de beste variant zijn. De aspecten zelf krijgen weegfactoren om het onderlinge belang hiervan uit te drukken.

Criteria	Weging	Deur roterend om verticale as		Deur roterend om horizontale as	
-	-	Puntdeur	Sectordeur	Roldeur	Gekromde roldeur
Bouwkosten	0,4	1	2	4	3
Onderhoud	0,2	3	2	4	1
Milieu	0,2	1	2	4	3
Totaal		1,2	1,6	3,2	2

TABEL 16 MULTI CRITERIA ANALYSE

De roldeur scoort het hoogst als variant volgens de resultaten uit de analyse. Deze variant is het meest voordelig op het gebied van bouwkosten en onderhoud. Ook met het criterium milieu scoort de deur het hoogst.

6 AANNAMES EN UITGANGSPUNTEN

6.1 BELASTINGFACTOREN

Volgens “Handboek ontwerpen van schuifsluizen” zijn de volgende belastingfactoren toegepast.

Belasting	Omschrijving	Veiligheidsfactor
Blijvend	Enkel eigen gewicht	1,35
	In combinatie met overige belastingen	1,20
	Gunstige belasting	0,90
Veranderlijk	Drukverschil t.g.v. waterstand	1,10
	Drukverschil t.g.v. golven	1,25
	Windbelasting	1,50
	Verkeer	1,50
Bijzonder	Aanvaring	1,00
	IJs	1,00

TABEL 17 BELASTINGFACTOREN

6.2 BELASTINGCOMBINATIES

Volgens “Handboek ontwerpen van schuifsluizen” zijn de volgende belastingcombinaties toegepast.

Belasting	Omschrijving	B.C. 1	B.C. 2	B.C. 3	B.C. 4	B.C. 5	B.C. 6
Blijvend	Eigen gewicht	1,2	1,2	1,2	1,2	1	1
	Opdrijvende kracht	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1
Veranderlijk	Maximaal positief verval	1,1					
	Maximaal negatief verval		1,1				
	Maximaal positief verval tijdens schutten			1,1		1	1
	Maximaal negatief verval tijdens schutten				1,1		
	Golven	1,25	1,25	1,25	1,25		
	Verkeer			1,5			
Bijzonder	Aanvaring					1	
	IJs						1

FIGUUR 18 BELASTINGCOMBINATIES

B.C. 1 = Belastingcombinatie bij maximaal positief verval

B.C. 2 = Belastingcombinatie bij maximaal negatief verval

B.C. 3 = Belastingcombinatie bij maximaal positief verval tijdens schutten

B.C. 4 = Belastingcombinatie bij maximaal negatief verval tijdens schutten

B.C. 5 = Belastingcombinatie bij ijsbelasting

B.C. 6 = Belastingcombinatie bij aanvaring

6.3 WIND

Vanuit het noordwesten is de strijklengte het grootst vanaf de locatie van het sluizencomplex en kan zich hier samen met de grotere waterdiepte een hogere golfhoogte voordoen. Uitgegaan wordt van een strijklengte van 200 km. De windsnelheid is van belang voor het voorspellen van de optredende significante golfhoogtes ter plaatse van de golfbreker. Uitgegaan wordt van gegevens van Rijkswaterstaat waarbij een maximale windsnelheid van 24,2 m/s (windkracht 10) wordt gemeten.

6.3 WATERDIEPTE

De waterdiepte is van belang voor het voorspellen van de significante golfhoogte. De waterdiepte is 29 meter (F.H.H.M. van Laack, 2021).

6.4 SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE

De golven in de Noordzee zijn golven die voornamelijk zijn opgewekt door de wind. De hoogte heeft dan invloed op de sterkte van de golf. Deze zijn voorspeld met behulp van de nomogram Groen & Dorrestein en het nomogram voor overgangsgebieden. De eerstgenoemde geldt voor golven die voorkomen in diep water en de laatst genoemde geldt voor golven die voorkomen in ondiep water. De volledige berekening is uitgewerkt in bijlage A

6.5 MAATGEVEND SCHIP

Het maatgevend schip dat de sluis kan betreden is de HMM Algeciras. Als kanttekening dient gezegd te worden dat er in de toekomst schepen van grotere formaten en meer gewicht in de haven van Rotterdam verwacht kunnen worden. Toch is gekozen om met het huidige grootste schip te rekenen ter indicatie. Dit schip bevat de volgende afmetingen en gewicht:

Schip	Lengte (m)	Breedte (m)	Diepgang (m)	Dead Weight Tonnage (t)
HMM Algeciras	400	61	15	200000

TABEL 19 MAATGEVEND SCHIP

6.6 ONTWERPPEIL

Voor het ontwerppeil wordt 5 meter aangehouden. Dit is afgeleid uit de gegevens van “Inleiding waterbouwkunde”. Dit geldt voor een overschrijdingskans van 1/10 000 jaar.

6.7 MATERIAAL HOOFDCONSTRUCTIE

6.7.1 STAAL

Staalkwaliteit	S355
Soortelijk gewicht	7850 kg/m ³
f _y	355 N/mm ²
E _s	210000 N/mm ²

TABEL 20 EIGENSCHAPPEN STAAL HOOFDCONSTRUCTIE

6.8 VEREISTE AANLEGHOOGTE

Het niveau van de bovenzijde van de buiten-/bovendeur en van de dekzerhoogte van het buiten-/bovenhoofd, wordt bepaald door de maatgevende hoogwaterstand, zeespiegelrijzing, zettingen van de sluis, lokale opwaaiing, langperiodieke golven (seiches etc.) en door de mate waarin golfoverslag en eventueel overloop acceptabel zijn. In de “TAW Leidraad Waterkerende kunstwerken en Bijzondere Constructies” wordt de volgende formule voor het bepalen van de kerende hoogte gegeven:

$$h_{kr} = MHW + h_{zsr} + h_{zkl} + h_{opw} + h_{sbb} + w$$

Voor een eerste schatting van de waakhoogte tijdens het voorontwerp, kan worden uitgegaan van de gehanteerde praktijkregel dat voor een sluis in een kanaal met hoge translatiegolven geldt dat de waakhoogte 0,6 m. Voor lokale opwaaiing, buistoten en buioscillaties wordt aangenomen dat deze in de waterstandstatistiek is verwerkt. Ten slotte spelen klink en zetting geen grote rol gedurende de planperiode.

- MHW = NAP +5 m;
- $h_{zsr} = 3$ m;
- $h_{opw} = 0$ m;
- $h_{sbb} = 0$ m;
- $w = 0,6$ m;

De vereiste aanleghoogte wordt:

$$h_{kr} = MHW + h_{zsr} + h_{zkl} + h_{opw} + h_{sbb} + w = 5 + 3 + 0 + 0 + 0,6 = \text{NAP} + 8,6 \text{ m}$$

7 BELASTINGGEVALLEN

Voor het ontwerp gelden de volgende belastinggevallen: permanent, variabele belasting en bijzondere belasting.

7.1 PERMANENT

7.1.2 EIGEN GEWICHT

Dit is belasting uit het eigen gewicht van de constructie van de constructieonderdelen die permanent aanwezig zijn. Het eigen gewicht wordt bepaald door onder andere het gewicht van alle vloeren, kolommen, liggers en beplating van de constructie. Het eigen gewicht F_G van de constructie betreft 97.339,69 kN. Dit komt neer op 9922 ton. In bijlage E is de volledige berekening van het eigen gewicht toegelicht.

7.1.3 OPDRIJVENDE KRACHT

Deze kracht komt voort uit de drijfkisten die zich in de deur bevinden. De drijfkisten dienen het gewicht van de deur op te kunnen laten drijven. Daar is een benodigde opwaartse kracht voor berekend. Deze is gelijk aan het totale staalgewicht van de deur.

$$\text{Benodigde opwaartse kracht} = F_{\text{opw}} = \frac{F_G}{0,9} = 108.155,21 \text{ kN}$$

De drijfkist bevat vier vloeren waarover deze kracht verdeeld wordt. Dit resulteert tot de volgende kracht per m^2 :

$$\frac{108.155,21}{(4 \cdot 11 \cdot 91)} = \frac{108.155,21}{(4 \cdot 11 \cdot 91)} = 27,01 \text{ kN/m}^2$$

7.1.4 AANHANGEND GEWICHT

Ten gevolge van slib, aanhangend water en aangroei wordt een aanhangend gewicht van 200 ton aangenomen. Dit gewicht wordt verdeeld over de totale lengte van de deur.

7.2 VARIABELE BELASTINGEN

7.2.1 WATERDRUK

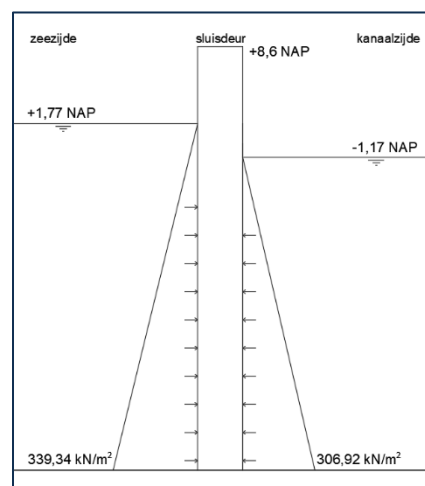
De sluisdeur wordt door de waterdruk aan beide zijde belast. De dichtheid van het water aan de zeezijde verschilt met dat aan de kanaalzijde. Dit maakt mede ook een verschil in de waterdruk aan beide zijdes van de deurconstructie. De dichtheid van het water bedraagt 1022 kg/m^3 . Voor het bepalen van de minimale en maximale waterstanden zijn de meetgegevens gebruikt van Rijkswaterstaat. Voor de zeekant is 'Eurogeul E13' als meetpunt gebruikt. Deze bevindt zich ter plaatse van de Noordzee. Voor de kanaalkant zijn de meetgegevens van het meetpunt bij de Tennesseehaven gebruikt.

Waterdruk maximaal positief verval tijdens schutten

De maximale waterstand is aan de zeezijde is +1,77 NAP en de minimale waterstand aan kanaalzijde is -1,17 NAP.

Zeezijde (kN/m ²)	Kanaalzijde (kN/m ²)
339,34	306,92

TABEL 21 WATERDRUK MAXIMAAL POSITIEF VERVAL
(ZONDER BELASTINGFACTOR 1,1)



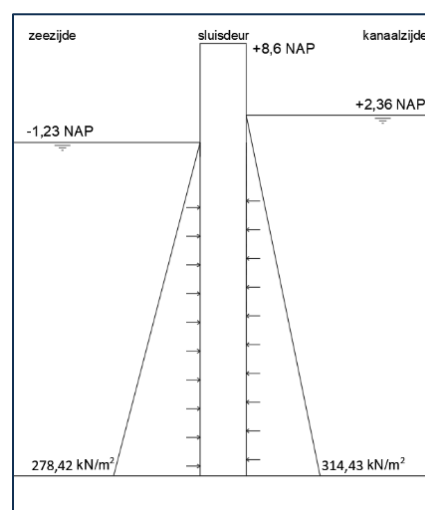
FIGUUR 16 WATERDRUK MAXIMAAL
POSITIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN

Waterdruk maximaal negatief verval tijdens schutten

De minimale waterstand aan de zeezijde is -1,23 NAP en aan de maximale waterstand aan de kanaalzijde +2,36 NAP.

Zeezijde (kN/m ²)	Kanaalzijde (kN/m ²)
278,42	314,43

TABEL 22 WATERDRUK MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN
(ZONDER BELASTINGFACTOR 1,1)



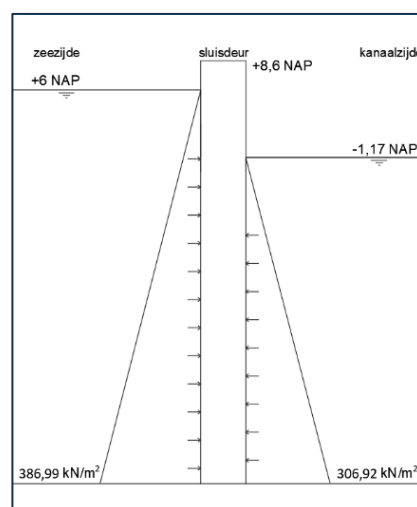
FIGUUR 17 WATERDRUK MAXIMAAL
NEGATIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN

Waterdruk door maximaal positief verval

Uitgegaan wordt van een maximale hoogwaterstand van +6 NAP aan de zeezijde. Aan de kanaalzijde is de laagst voorkomende waterstand -1,17 meter.

Zeezijde (kN/m ²)	Kanaalzijde (kN/m ²)
386,99	306,92

TABEL 23 WATERDRUK MAXIMAAL POSITIEF VERVAL (ZONDER BELASTINGFACTOR 1,1)



FIGUUR 18 WATERDRUK MAXIMAAL POSITIEF VERVAL

7.2.2 VERKEERSBELASTING

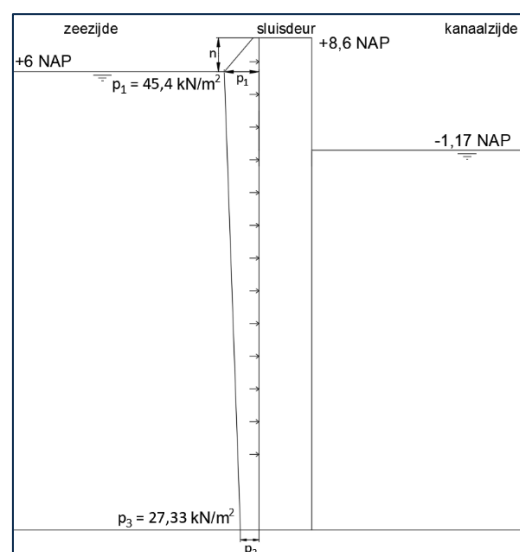
De verkeersbelasting is afgeleid uit de Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen (ECD2). Hierbij geldt een lijnlast van 25 kN/m voor dienstvoertuigen. Uitgegaan wordt dat zwaar verkeer uitgesloten is van het sluisencomplex.

7.2.2 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING

De quasi-statische windgolfbelasting komt voort uit de significante golf die op de sluisdeur slaat. Het berekenen van de grootte van de belasting die hierbij ontstaat is gedaan met behulp van een verfijning van de formule van Sainflou. In bijlage B is de formule volledig uitgewerkt. Volgens deze formule komt de significante golf tot 3 meter hoogte vanaf de waterlijn. Bij NAP +6 m betekent dit dat de golf 0,4 meter over de sluisdeur heen zal gaan.

Quasi-statische windgolfbelasting kN/m ²	
Windgolfbelasting p ₁	45,4
Windgolfbelasting p ₂	27,33

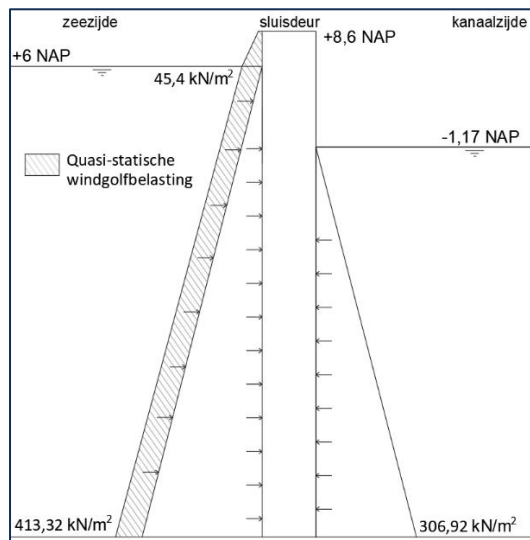
TABEL 24 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING (ZONDER BELASTINGFACTOR 1,1)



FIGUUR 19 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING

7.2.3 MAATGEVENDE WATERDRUK

De maatgevende waterdruk op de constructie is een combinatie van de quasi-statische windgolfbelasting en het maximale positieve verval. Aan de zeezijde geldt een waterdruk van $306,92 \text{ kN/m}^2$ en aan de kanaalzijde een waterdruk van $413,32 \text{ kN/m}^2$.



FIGUUR 20 MAATGEVENDE WATERDRUK

7.3 BIJZONDERE BELASTING

7.3.1 IJSBELASTING

Volgens 'Leidraad Kunstwerken' dient men in geval van zout water uit te gaan van een ijslaag van 0,5 m dikte met een druksterkte van 1,5 MPa. Er mag een uitvlakkingscoëfficiënt van 0,33 worden toegepast omdat deze belasting over het contactvlak zal variëren tussen 0 en de druksterkte. In getijdegebieden, waar ten gevolge van waterstandsverschillen ijsschotsen ontstaan, mag met een lijnlast van 100 kN/m worden gerekend.²

q_{ijs} zeezijde (kN/m)	q_{ijs} kanaalzijde (kN/m)
100	247,5

TABEL 25 IJSBELASTING

² De lijnbelasting aan de kanaalzijde van de sluisdeur wordt berekend door de dikte van de ijslaag met de druksterkte en de uitvlakkingscoëfficiënt te vermenigvuldigen:

$$q_{\text{ijs}} = 0,5 \text{ m} * 1,5 \text{ MPa} * 0,33 = 247,5 \text{ kN/m}$$

7.3.2. AANVARING

De aanvaarsnelheid is een belangrijke factor voor de berekening van de botskracht. Meer snelheid resulteert in een grotere kinetische kracht bij de botsing tegen de sluisdeur. De constructie zal bij een aanvaring beschadigd raken en vervormen. Deze dient dan vervangen te worden.

De aanvaarsnelheid is een belangrijke factor voor de berekening van de botskracht. Meer snelheid resulteert in een grotere kinetische kracht bij de botsing tegen de sluisdeur. Volgens de PIANC 2019 is de snelheid van schepen 50 meter voor de ingang van de sluis gemiddeld 0,5 m/s.

De botskracht bij aanvaring is bepaald aan de hand van de Eurocode.³ Hieruit is een maximale frontale botskracht van 78 MN uitgekomen.

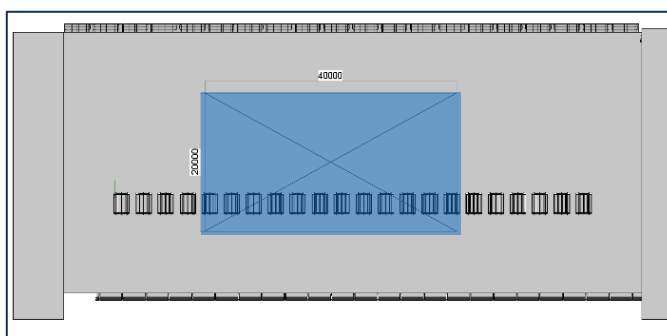
Verder worden aanbevolen grenzen gehanteerd voor de bots oppervlakte bij een dergelijke aanvaring. Dit bedraagt 0,05 maal de scheepslengte voor de hoogte en 0,1 maal de scheepslengte voor de breedte van de bots oppervlakte.

$$\text{Hoogte} = 0,05 * \ell = 0,05 * 400 = 20 \text{ m}$$

$$\text{Breedte} = 0,1 * \ell = 0,1 * 400 = 40 \text{ m}$$

Nadat de bots oppervlakte bepaald is, is de maximale frontale botskracht per m² berekend met de volgende formule:

$$F_{\text{bow/m}^2} = \frac{F_{\text{bow}}}{A} = \frac{78 \cdot 10^6}{(20 \cdot 40)} = 97,5 \text{ kN/m}^2$$



FIGUUR 21 BOTSOPPERVLAKTE VOORKANT ROLDEUR

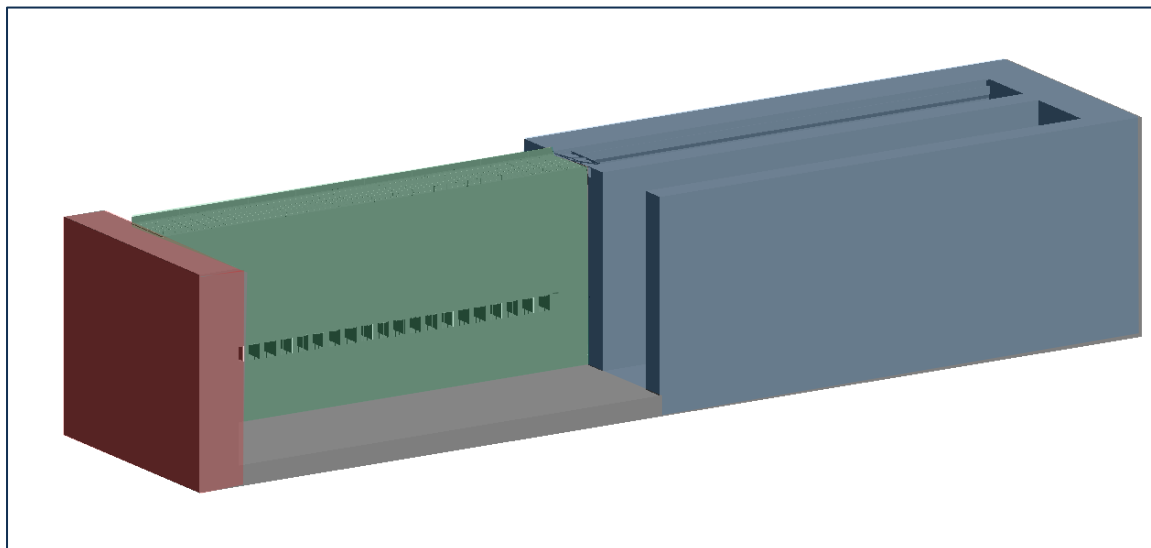
Vaarsnelheid (m/s)	Maximale frontale botskracht (MN)	Indicatieve botsoppervlakte	Impactbelasting (kN/m ²)
0,5	78	800 m ²	97,5

TABEL 26 GEGEVENS MAXIMALE FRONTALE BOTSKRACHT VAARSNELHEID 0,5 M/S

³ In bijlage C is de maximaal frontale botskracht bepaald aan de hand van de Eurocode NEN-EN 1991-1-7:2006+A1:2014+NB:2019.

8 ONTWERP ROLDEUR

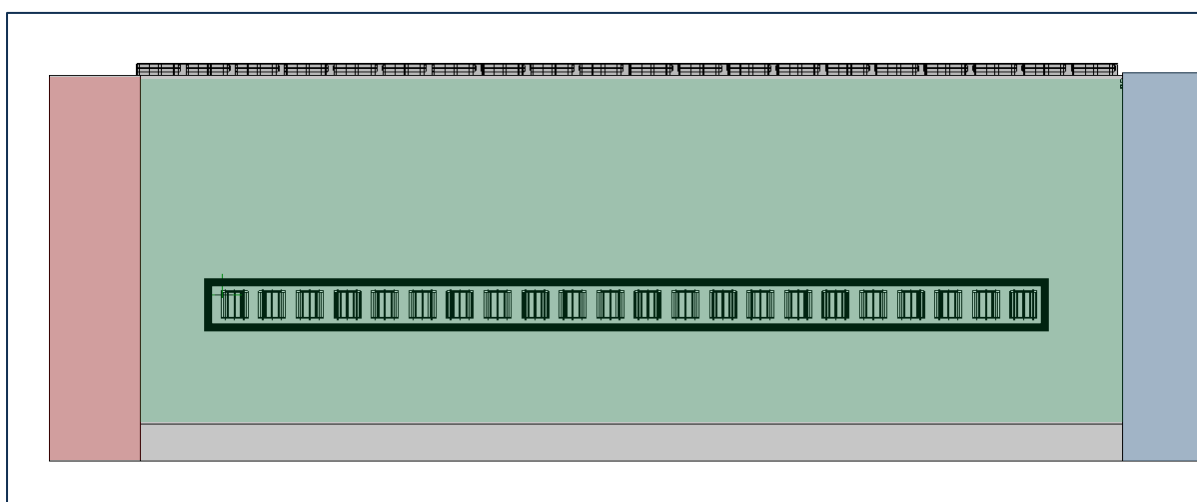
In dit hoofdstuk wordt het ontwerp van de roldeur besproken. De roldeur is in totaal 92 meter breed. Hiervan ligt 0,5 meter in de deurkas en 0,5 meter in de deurnis. In de gesloten stand sluit de roldeur tegen de deurnis aan zodat de deur volledig waterdicht is afgesloten. De deur zal zich in de open situatie in de deurkas bevinden.



FIGUUR 22 ROLDEUR TUSSEN DEURKAS EN -NIS (LINKS DEURNIS (ROOD); MIDDEN ROLDEUR (GROEN); RECHTS DEURKAS (BLAUW))

8.1 NIVELLEREN

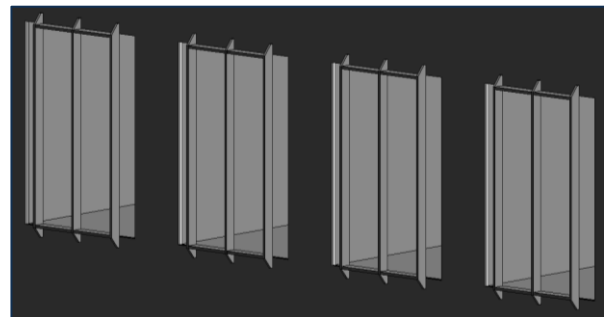
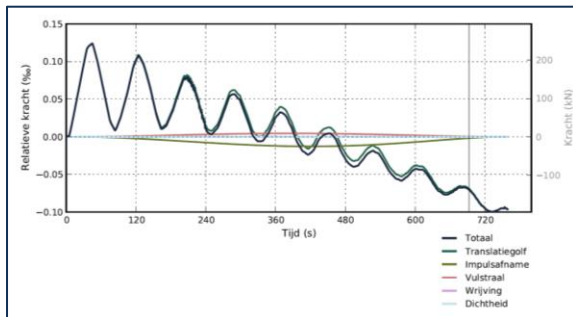
Ten eerste wordt het nivellieren als functie van de roldeur besproken. Volgens de eisen dient de sluisdeur ook te kunnen nivellieren. Het vullen en ledigen van de sluiskolk moet binnen een bepaalde tijd worden volbracht. Dit proces wordt bewerkstelligd met behulp van nivelleerschuiven. De grootte van de deuropeningen is maatgevend voor de vultijd. De maximale deurhoogte is gesteld op 3 meter. De afmeting van iedere opening is 2,5 bij 3 meter. In totaal zijn er 22 openingen in de sluisdeur aanwezig. De deuropeningen in de sluisdeur hebben een totale oppervlakte van 144 m².



FIGUUR 23 DEUROPENINGEN VOORAANZICHT ROLDEUR (ZWART OMCIRKELD)

Met behulp van het programma LOCKFILL is berekend wat de nivelleertijd bedraagt met de afmetingen van de toegepaste schuiven in de sluisdeur. LOCKFILL is een door Deltares ontwikkelde tool waarmee de prestaties van een zeeluis kunnen worden beoordeeld in termen van nivelleringstijden, krachten op schepen en stroomsnelheden op de naderende havenbedding. De totale nivelleertijd voor het vullen en ledigen van de kolk komt met deze dimensionering neer op 759 s (12 min en 39 s).

De maximale waterstand in de voorhaven, onder normale omstandigheden, is gesteld op NAP +2,36 meter. Dit is de maximale waterstand aan de kanaalzijde. Deze dient terug te worden gebracht naar NAP -1,23 in de kolk. Er is rekening gehouden dat de totale langs- en dwarskrachten op de schepen in de kolk niet meer dan 0,2‰ van de waterverplaatsing bedraagt. Deze kracht is afkomstig van de translatiegolven, de impulsafname, wrijving langs het schip en de vulstraal uit de openingen. Met de toegepaste dimensionering is volgens de resultaten (afbeelding 27) te zien dat de impulskracht 0,13‰ bedraagt. Bij de invoer in het programma is het maatgevende schip (HMM Algeciras) in de kolk gesitueerd. Verder is gekozen om stroombrekers voor de deuropeningen te plaatsen om de kracht van de vulstraal te reduceren.

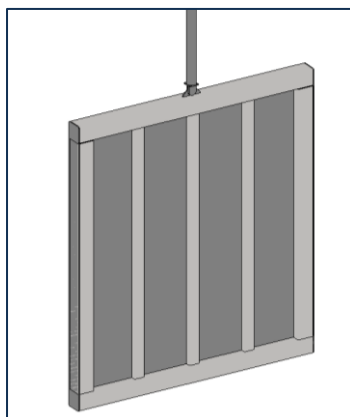


FIGUUR 24 RELATIEVE BOTSKRACHT OP SCHIP IN DE SLUISKOLK

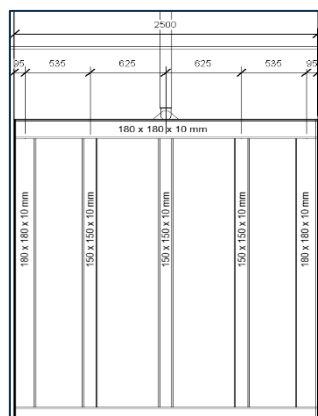
FIGUUR 25 STROOMBREEKBALKEN VOOR DEUOPENINGEN

8.1.2 SCHUIVEN

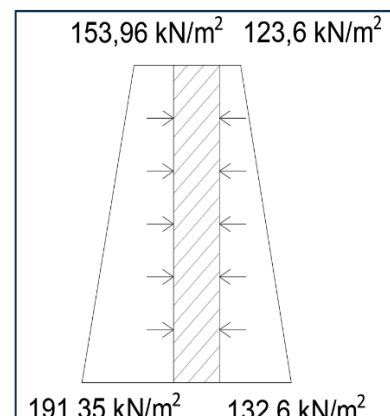
De schuiven zijn van staal en bestaan uit één vlakke staalplaat versterkt met wals profielen. Op de schuiven heerst een hydrostatische waterdruk waar de profielen en de huidplaat van de schuif bestand tegen dienen te zijn. Voor het profiel aan de buitenzijdes is gekozen voor een 180 x 180 x 10 kokerprofiel. Verder zijn 150 x 150 x 10 kokerprofielen toegepast. In bijlage D is de volledige berekening van de schuif weergegeven.



FIGUUR 26 SCHUIF ONTWERP



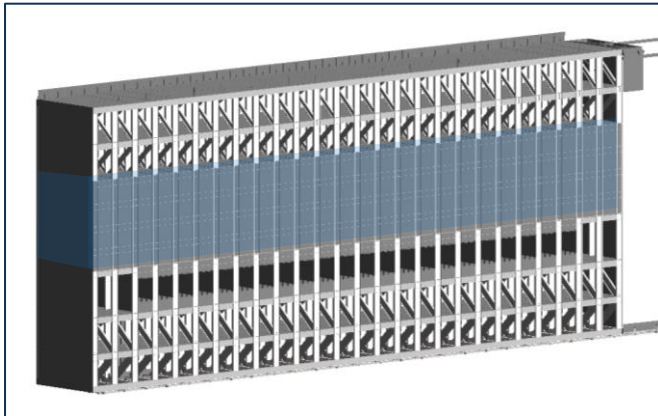
FIGUUR 27 PROFIELEN EN AFMETINGEN SCHUIF



FIGUUR 28 WATERDRUK OP SCHUIF

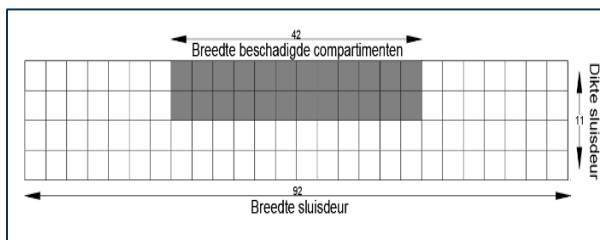
8.2 DRIJFKISTEN

De drijfkisten zorgen voor opwaartse kracht wat het gewicht van de constructie reduceert. Hierdoor kan de roldeur door de rolwagens geleid worden. Deze opwaartse kracht ontstaat wanneer de kisten gelegeerd zijn. Zo kan de deur opgedreven worden. De drijfkist bepaalt grotendeels de geometrie van de roldeur aangezien de deur stabiel dient te zijn tijdens het drijven. In totaal is de drijfkist 12 meter hoog en 11 meter breed. De drijfkist loopt over de gehele lengte van de deurconstructie.

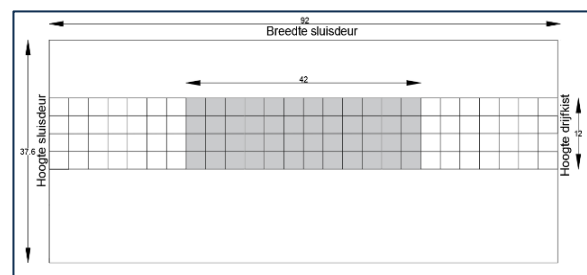


FIGUUR 29 DRIJFKISTEN IN CONSTRUCTIE ROLDEUR

De drijfkist is onderverdeeld in compartimenten. Bij een dergelijke aanvaring raakt maar een gedeelte van de compartimenten vol met water. Dit heeft negatieve invloed op het drijvende vermogen. De benodigde opwaartse kracht wordt om die reden met deze marge berekend, zodat na een aanvaring, de roldeur nog steeds opgedreven kan worden. Deze compartimenten vallen binnen de indicatieve bots oppervlakte bij een aanvaring. Het gaat om 24 compartimenten per verdieping van de drijfkist. In totaal zijn de compartimenten onderverdeeld over 4 verdiepingen in de drijfkist. Het totaal aantal bedraagt dan 96 verloren compartimenten.



FIGUUR 30 BOVENAANZICHT COMPARTIMENTEN DRIJFKIST



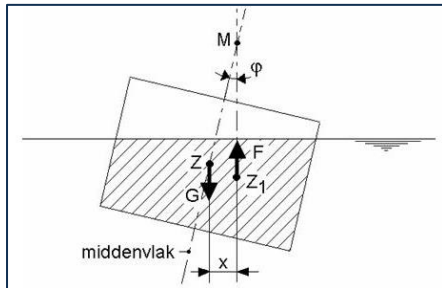
FIGUUR 31 VOORAANZICHT ROLDEUR; WEERGAVE
BESCHADIGTE COMPARTIMENTEN (GRIJS GEKLEURD)

Rekening houdend met dit verlies aan compartimenten, is het totale volume van de drijfkist gelijk aan 9042,69 m³. De minimaal noodzakelijke hoogte voor de drijfkist is dan:

$$h_{\text{drijfkist}} = \frac{V_{\text{drijfkist}}}{L_{\text{drijfkist}} \cdot b_{\text{drijfkist}}} = \frac{9042,69}{91 \cdot 11} = 9 \text{ m}$$

De hoogte van de drijfkist is 12 meter waarmee het ontwerp van drijfkist dus voldoet.

Voor het bepalen van de stabiliteit van de drijfkist is de metacentrische hoogte berekend. De metacentrische hoogte is een maat voor de initiële statische stabiliteit van een drijvend lichaam. Het wordt berekend als de afstand tussen het metacentrum M en het zwaartepunt G van de sluisdeur (M-G). Hoe groter de metacentrische hoogte van de sluisdeur, des te stabielere de sluisdeur is. De laagste waterstand is maatgevend aangezien een lager zwaartepunt voor een grotere stabiliteit zorgt. Het minimale waterpeil is hierbij NAP -1,17. De afstand tussen het zwaartepunt en de metacentrische hoogte is als volgt berekend.



FIGUUR 32 STABILITEIT DRIJVEND OBJECT (INFRAWIKI, 2021)

Ten eerste is de diepgang bepaald. Hierbij wordt het totale gewicht van de constructie gedeeld door het soortelijk gewicht van water maal de lengte en breedte van de sluisdeur. Er is gerekend met zoutwater in plaats van zoetwater omdat dit voor een minder grote diepgang zorgt wat dus ongunstiger is voor de berekening van de stabiliteit. De diepgang van de drijfkist is als volgt berekend:

$$\text{Diepgang } d = \frac{F_G}{\gamma \cdot l_{\text{deur}} \cdot b_{\text{deur}}} = \frac{108155,21}{10,22 \cdot 91 \cdot 11} = 10,57 \text{ m}$$

Verder is het vrijboord van de drijfkist berekend. Dit is het gedeelte van de hoogte van de drijfkist dat boven de waterlijn uitsteekt. Dit kan gedaan worden door totale hoogte van drijfkist af te trekken van de diepgang van de drijfkist. De drijfkist is 12 meter hoog. Het vrijboord ligt dan 1,43 m boven water. Vervolgens kan het drijfpunt F achterhaald worden. Deze ligt in het zwaartepunt van het verplaatste water. Dit is de helft van de diepgang van de drijfkist. Het drijfpunt F ligt dan 5,285 m onder de waterlijn.

$$\text{Drijfpunt F} = \frac{10,57}{2} = 5,285 \text{ m}$$

Verder is het volume van het verplaatste water berekend. Dit is gelijk aan de diepgang van de drijfkist maal de lengte en breedte van gehele sluisdeur. Het volume V van het verplaatste water is gelijk aan 7237,23 m³.

$$V = 7,23 \cdot 11 \cdot 91 = 7237,23 \text{ m}^3$$

Vervolgens is de afstand tussen het metacentrum en het drijfpunt bepaald:

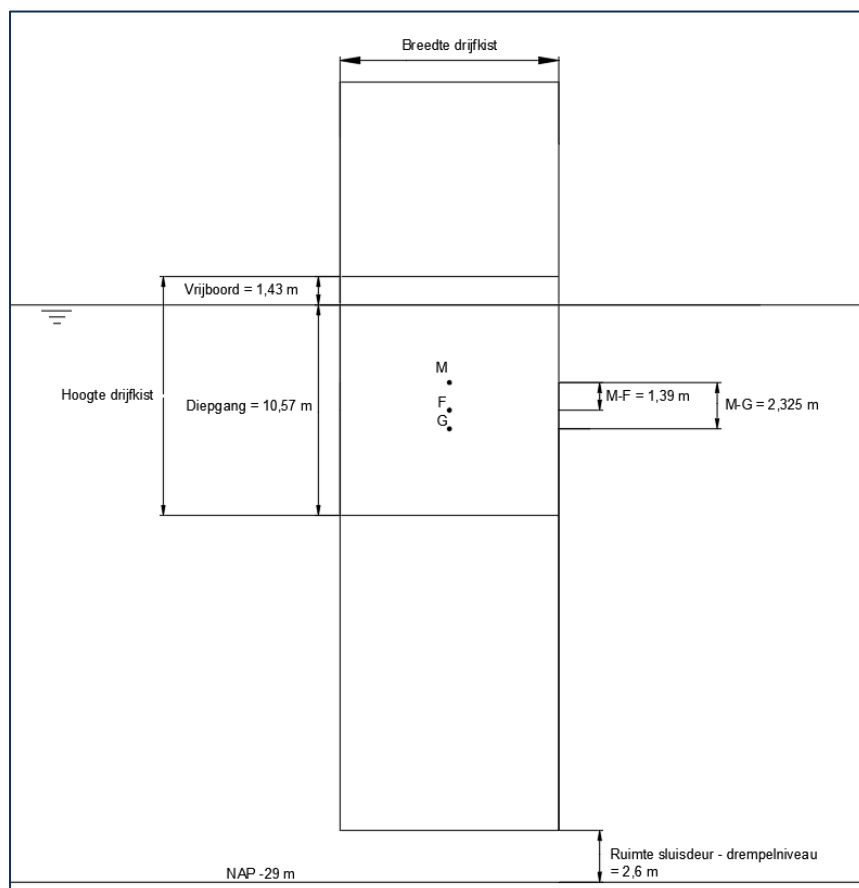
$$\text{Afstand MF} = \frac{\frac{1}{12} \cdot l \cdot b}{V} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 91 \cdot 11^3}{7237,23} = 1,39 \text{ m}$$

$$M = 5,285 - 1,39 = 3,895 \text{ m onder de waterlijn}$$

Nu bekend is wat de afstand tussen het metacentrum en het drijfpunt is, is de benodigde afstand MG bepaald met behulp van het zwaartepunt G. Het zwaartepunt G ligt bevindt zich 20,18 m vanaf de onderzijde van deur. In bijlage E is de volledige uitwerking om het zwaartepunt te berekenen toegelicht. Dit is 6,22 m onder de waterlijn.

$$\text{Afstand MG} = G - M = 6,22 - 3,886 = 2,325 \text{ m}$$

De afstand MG is groter dan $0,5$ m wat dus heeft aangetoond dat de constructie stabiel is wanneer deze opgedreven dient te worden. Ook ligt het metacentrum onder het zwaartepunt. Verder is de ruimte tussen het drempelniveau en de onderkant van de sluisdeur $2,66$ m. Dit bedraagt een ruim voldoende marge.



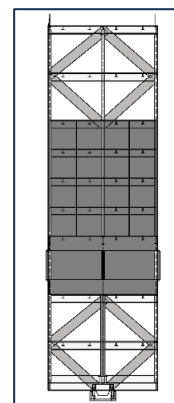
FIGUUR 33 DRIJFSTABILITEIT ROLDEUR

8.3 KRACHTSWERKING

De vakwerken van de constructie zijn deels afgeleid van de Nieuwe Zeesluis IJmuiden.⁴ De stalen roldeur is opgebouwd uit twee waterkerende huidplaten, die met elkaar verbonden zijn door horizontale platen op verschillende niveaus (onder andere rijdek, bovenzijde drijftanks, onderzijde drijftanks, onderzijde nivelleerkokers). Daardoor ontstaat eigenlijk een kokervormige balk waarbij de huidplaten de flenzen zijn, en de horizontale plaatvelden de lijven. De vormvastheid van deze balk wordt gedaan door middel van de vakwerken die op elke stramienmaat van de deur zitten. De stramienen zijn hart-op-hart 3,5 meter. Hier zitten ook de verticale kolommen van de huidplaten.

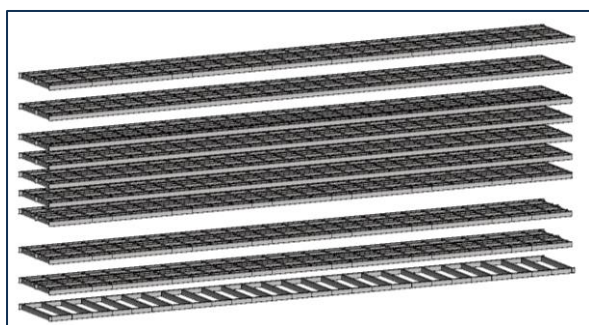


FIGUUR 34 CONSTRUCTIE ROLDEUR

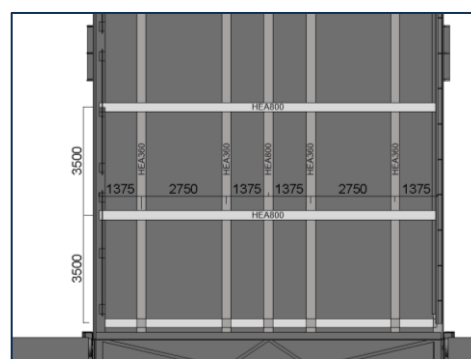


**FIGUUR 35 DOORSNEDE
CONSTRUCTIE ROLDEUR**

De kolommen van de constructie bestaan uit HEA-1000 profielen. De diktes van de horizontale platen zijn 50 mm. Deze worden gedragen door horizontale liggers. Deze liggers bestaan uit HEA360 en HEA800 profielen. De verticale vakwerken bestaan aan de bovenkant uit HEA-600 profielen en aan de onderkant uit HEA1000 profielen.



FIGUUR 36 HORIZONTAAL VAKWERK



**FIGUUR 37 HORIZONTALE PLAAT VAKWERK;
BOVENAANZICHT**

De huidplaten zijn verstijfd met T-profielen die tussen de kolommen in tegen de huidplaat worden gelast. De huidplaat heeft dus de functie om lokaal de belasting (waterdruk) af te dragen naar de kolommen en globaal (als flens) om de belasting af te dragen naar de eindaanslagen. De sluisdeur draagt de belasting af naar de aan weerszijde van de sluisdeur en werkt dus eigenlijk als een ligger op twee steunpunten. Wanneer de belasting te hoog wordt, dan draagt de deur af aan de drempel.

⁴ Over de krachtswerking van de constructie is gesproken dhr. Pieter van Lierop van OpenIJ. Dit is de constructeur van de sluisdeur in IJmuiden.

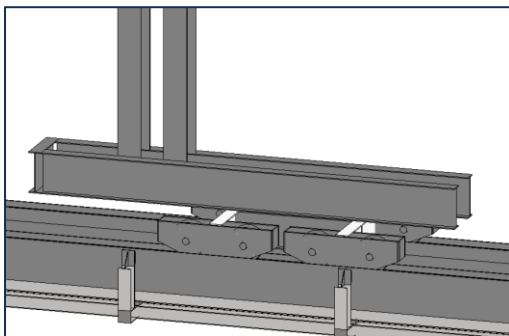
8.4 BEWEGINGSWERK

Het bewegingswerk bestaat uit een boven- en ondergeleiding. Voor de bovengeleiding is gekozen voor een pennenbaan aangezien deze vorm van geleiding een hoge betrouwbaarheid heeft.

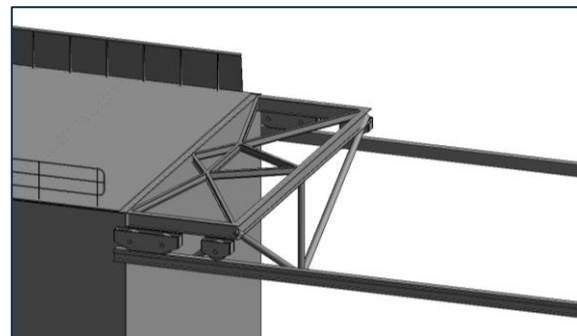
De pennenbaan geleid de roldeur aan beide zijdes. Een bovenrolwagen rijdt met wielen met flenzen op een rails over de lengte van de deurkas. Deze wordt aangedreven door een trommel die de sluisdeur duwt of trekt. Voor de aandrijving gaat de voorkeur uit naar een enkele aandrijftrommel. Bij twee trommels zou er namelijk schade aangericht kunnen worden wanneer een van de trommels zou uitvallen. Doordat de diepgang van de constructie varieërend is, is de bovenrolwagen scharnierend verbonden met de sluisdeur. Er is namelijk ruimte om verticaal omhoog en omlaag te kunnen bewegen wanneer de sluisdeur drijft op de van hoogte verïerende waterlijn.

Daarnaast is ook afgewogen om de roldeur als glijdeur uit te voeren. In plaats van onderrolwagens worden er dan hydrostatische glijlagers toegepast. Echter is gekozen om dit niet te doen aangezien dit bewegingswerk namelijk gevoelig is voor golven (Ontwerp van Schutsluizen, 2000)

De onderrolwagens zijn aan twee kanten van de sluisdeur gesitueerd. Ook de onderrolwagen geleidt de deur over een rails. Deze rails bevindt zich in de drempel. De onderrolwagens gelden niet als oplegging doordat er te grote krachten aanwezig zijn om deze te kunnen weerstaan.

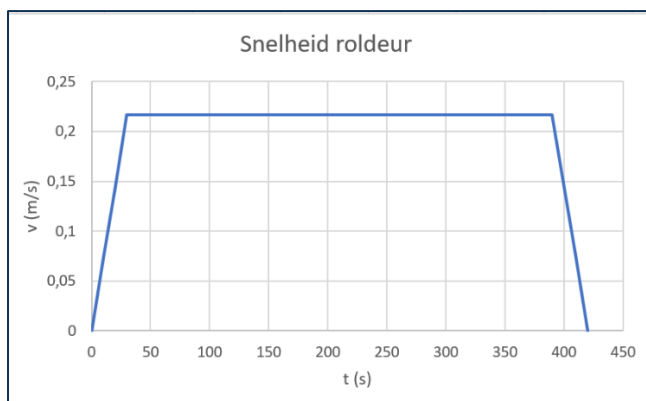


FIGUUR 38 ONDERROLWAGEN



FIGUUR 39 BOVENROLWAGEN

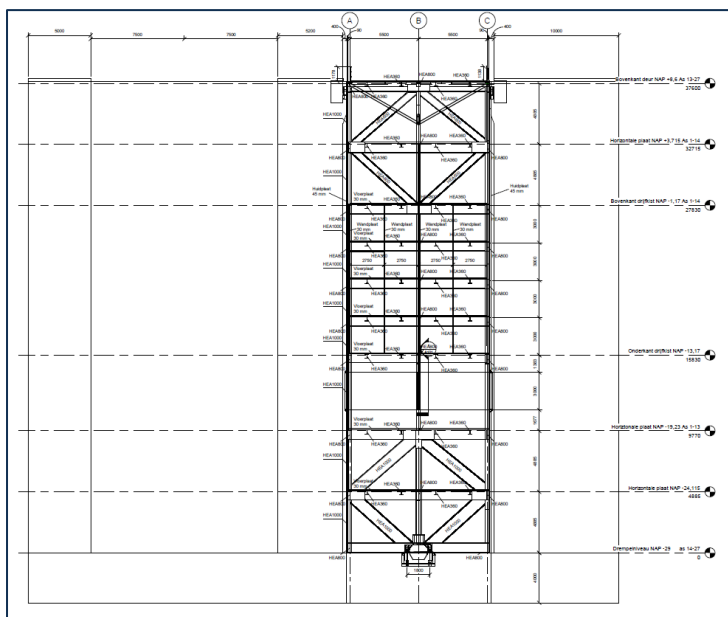
De bewegingstijd van de deur dient volgens de eisen niet langer dan 7 minuten te bedragen voor het openen en sluiten van de deuren. Hiervoor dient de deur minimaal een snelheid van 0,217 m/s te kunnen bereiken.



FIGUUR 40 SNELHEID BIJ OPENEN EN SLUITEN ROLDEUR

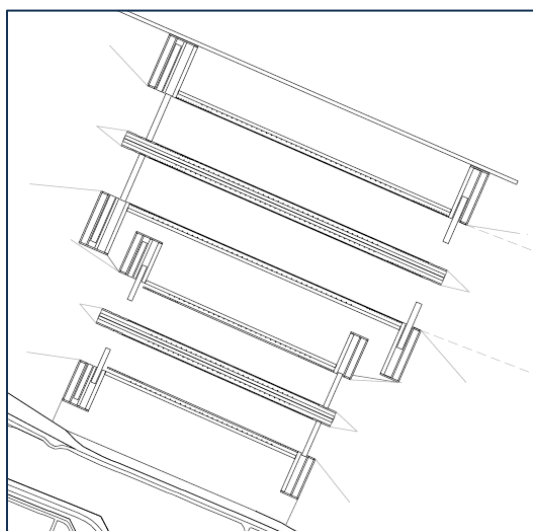
8.5 OVERZICHT ONTWERP IN SLUIZENCOMPLEX

Het bewegingswerk van de deur steekt 3,5 meter uit vanaf de zijkant van de deur. Deze dient samen met de deur in de deurkas te passen bij het openen van de deur. De lengte van deurkas is dus in totaal 95,5 meter. Aan de uiteindes van de deurkas en -nis zijn loopruimtes van 10 meter gesitueerd. De ligplaats van de reservedeur bevindt zich naast de operationele deur. De deurkas van de reservedeur is 4 meter breder dan die van de operationele deur. Dit is om extra werkruimte vrij te maken voor de onderhoudswerkzaamheden die in de ligplaats zullen plaatsvinden. De uitvoering van het realiseren van de deurkassen is in bijlage G verder toegelicht.



FIGUUR 41 DWARSDOOSNEDE DEURKAS ROLDEUR

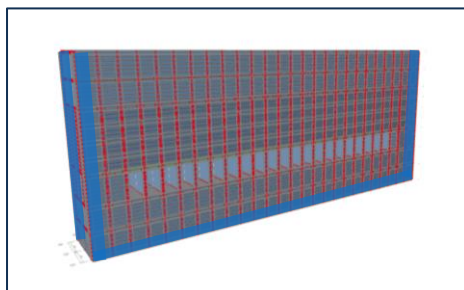
In het buitenhoofd is een operationele deur gesitueerd met daarnaast een ligplaats waar de reservedeur zich bevindt. In het binnenhoofd is enkel een operationele deur aanwezig. Het ontwerp geldt voor de deuren van de twee grote sluizen in het sluisencomplex.



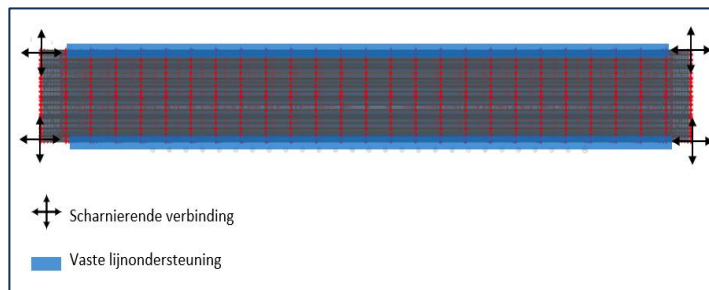
FIGUUR 42 CONFIGURATIE SLUIZENCOMPLEX (F.H.H.M. VAN LAACK, 2021)

9 DETAIL SCIA-MODEL

In het programma SCIA Engineer is een vereenvoudigd model gemaakt waarin de sterkte en stijfheid van de constructie is getoetst. Daarnaast is ook de 3D-stabiliteit getoetst. Hiermee kan gecontroleerd worden of de constructie overeind blijft staan wanneer deze belast wordt door het eigen gewicht en externe belastingen die op de constructie werken in de uiterste belastingcombinatie. Daarnaast zijn de profielen en wanddiktes toegepast volgens de constructieve tekeningen in bijlage K. De resultaten van het SCIA-model zijn te vinden in bijlage J.



FIGUUR 43 SCIA MODEL OPLEGGINGEN



FIGUUR 44 OPLEGGINGEN SCIA-MODEL BOVENAANZICHT

9.1 OPLEGGINGEN

In het model bevinden zich 6 opleggingen. Hiervan bevinden zich 4 opleggingen ter plaatse van de verticale eindaanslagen van de deur. Verder is in het model een lijnoplegging gesitueerd langs de gehele onderzijde van de huidplaten. Deze werken als verende plaat die de belastingen opnemen en vervolgens afgedragen naar de betonnen vloer.

9.2 VERPLAATSINGEN

De maximale verplaatsing bij de niet-lineaire berekening is 82,1 mm. Ter plaatse van de opleggingen bij de eindaanslagen van de constructie, dient rekening te worden gehouden met deze verplaatsing. Vanuit deze opleggingen worden de krachten overgedragen naar de kolkmuur bij de deurkas en – nis van de sluis.

9.3 3D-STABILITEIT

Voor de stabiliteitsberekening van het raamwerk zijn de kritische belastingen ingevoerd die voorkomen bij het maximaal positief verval. Hieruit is een kritische belastingfactor van 1,49 uitgekomen. Een kritieke belastingfactor die kleiner is dan 1 geeft aan dat de constructie instabiel is voor de gegeven belasting. Uit de berekening blijkt dus dat de constructie stabiel is onder de opgelegde belastingen.

10 KOSTEN

10.1 STICHTINGSKOSTEN

De stichtingskosten van de sluisdeur worden voornamelijk bepaald door de materiaalkosten. Gekeken is naar het totale staalgewicht van de constructie. De kosten voor de bouw van de constructie komt neer op 65,07 miljoen per deur. De kosten voor de realisering van het bewegingswerk per deur zijn 2,84 miljoen euro. De kosten voor de elektrische voorzieningen om onder andere het bewegingswerk per deur te kunnen laten functioneren, zijn omgerekend 2,73 miljoen euro. In totaal zijn er vier operationele deuren en twee reservedeuren nodig. De totale kosten om alle deuren te realiseren komen neer op 520,56 miljoen euro.

10.2 ONDERHOUDSKOSTEN

Voor de onderhoudskosten wordt gekeken naar de kosten voor de ligplaatsen voor de reservedeuren. Verder worden er kosten gemaakt voor de droogzetvoorzieningen. De kosten voor de droogzetvoorziening gedurende de gehele levensduur van de deuren bedragen 6,1 miljoen euro. Om het droogdok te realiseren, gelegen naast het sluizencomplex, zal dit 63,28 miljoen euro kosten. Daarnaast zijn er conserveringskosten die gemaakt zullen worden binnen de onderhoudsperiode. Uitgegaan wordt dat een enkele deur om de 3 jaar voor onderhoud in de onderhoudsplaats geconserveerd zal worden. Dit zal gedaan worden met behulp van het spuiten van een poedercoating. Dit zal per sluisdeur 5,79 miljoen euro bedragen. In bijlage F is het onderhoudsplan met het aantal benodigde reservedeuren onderbouwd waar deze kosten uit zijn voortgekomen. De totale kosten voor onderhoud bedragen 1,23 miljard euro. Dit is inclusief de gemaakte kosten voor de ligplaatsen van de reservedeuren, het droogdok en de droogzetvoorzieningen in het droogdok.

10.3 TOTALE KOSTEN GEDURENDE PLANPERIODE

De totale kosten voor het realiseren en onderhouden van alle sluisdeuren voor de grote sluizen in het sluizencomplex in de Nieuwe Waterweg bedraagt 1,76 miljard euro gedurende een gehele planperiode van 100 jaar.

Onderdeel	
Staalgewicht (ton)	9922
Bouwkosten (mil. €) (staalprijs 6,- / kg)	59,5
Bewegingswerk (mil. €)	2,84
Elektrische voorzieningen (mil. €)	2,73
Bouwkosten per deur (mil. €)	65,07
Aantal deuren (stuks)	4
Aantal reservedeuren (stuks)	4
Aantal deuren totaal (stuks)	8
Totale bouwkosten deuren	520,56
Ligplaatsen reserve deuren (mil. €)	2
Droogzetvoorzieningen (mil. €)	12,2
Droogdok (mil. €)	63,28
Onderhoud gedurende 100 jaar (mil. €)	1158,78
Totale kosten onderhoud (mil. €)	1234,26
Totale kosten (mil. €)	1756,82

**TABEL 27 TOTALE KOSTEN GEDURENDE
PLANPERIODE**

11 CONCLUSIE

De hoofdvraag luidt als volgt: *Wat is het meest geschikte ontwerp voor de sluisdeur voor het sluizencomplex op de Nieuwe Waterweg?*

Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn een aantal stappen gezet om tot een globaal ontwerp te kunnen komen.

Ten eerste is in het voortraject het benodigde literatuuronderzoek gepleegd. Er is gekeken naar de werking van sluizen in het algemeen en naar bestaande grote zeesluizen ter referentie. Met het vooronderzoek is verder nog gekeken naar welk materiaal het meest geschikt is voor de hoofdconstructie en of er innoverende materialen geïmplementeerd kunnen worden. Hieruit is gebleken dat staal het meest geschikt is voor de hoofdconstructie. Dit is voornamelijk omdat het materiaal goed bestand is tegen aanvaringen en de constructie met dit materiaal slank en sterk kan worden uitgevoerd. Binnen het onderzoek zijn alle deuronderdelen dan ook op staal ontworpen. Daarnaast is onderzocht of er mogelijkheden zijn enkele onderdelen toe te passen met overige materialen. Voor de sluisdeur zou composiet toegepast kunnen worden voor de schuiven. Dit maakt de constructie duurzamer gezien de langere levensduur van het materiaal. Composiet is namelijk ongevoelig voor corrosie. Verder is gekeken of de huidplaat van composiet gemaakt zou kunnen worden. Dit bleek echter onhaalbaar doordat de huidplaat als verende plaat dient en er dus vele krachten van de constructie worden overgebracht op de huidplaat. Met composiet zou dit een uitermate dikke huidplaat betekenen met een complexe laminaat structuur.

Met behulp van een Multi Criteria Analyse is op basis van de criteria kosten, onderhoud en milieu is gekozen om de roldeur als deurtype toe te passen voor de twee grote sluizen in het sluizencomplex. Deze blijkt het meest voordelig ten opzichte van de rest van de deuren. Op milieu scoort de roldeur tevens het beste door de minder benodigde materiaalwinning vergeleken met de andere varianten.

Verder is onderzocht welke belastingen er op de roldeur werken en hoe groot deze belastingen zijn. De drempel van de deur ligt behoorlijk diep wat maakt dat de roldeur voornamelijk bestand dient te zijn tegen de enorme hydrostatische druk van het water. Daarnaast zijn er windgolfbelastingen die tegen de deur aanwerken.

De constructie is 92 meter lang en is 37,6 meter hoog. De dikte van de deur is 11 meter breed. Deze dikte komt voort uit de vereiste stabiliteit van de drijfkist bij het opdrijven van de deur. Het opdrijven van de deur zal namelijk nodig zijn voor het transporteren van de deur bij onderhoud of reparatie.

De stichtingskosten van de sluisdeur worden voornamelijk bepaald door de materiaalkosten. Gekeken is naar het totale staalgewicht van de constructie. Er zijn vier deuren nodig voor de twee grote sluizen. Daarbij wordt geadviseerd twee reserve deuren te nemen. De totale kosten voor enkel de stichtingskosten van alle deuren komt neer op 520,56 miljoen euro. De totale kosten voor het realiseren en onderhouden van alle sluisdeuren voor de grote sluizen in het sluizencomplex in de Nieuwe Waterweg bedraagt 1,76 miljard euro gedurende de gehele planperiode.

12 AANBEVELINGEN EN AANDACHTSPUNTEN

In dit hoofdstuk zullen verschillende aanbevelingen gegeven worden voor vervolg onderzoeken. Deze vervolg onderzoeken zijn naar aanleiding van onderdelen die niet aan bod zijn gekomen in dit onderzoek, of onderdelen die niet op een groot detail niveau onderzocht zijn.

Deurtypes kleinere sluizen

Voor dit onderzoek is enkel de geschikte deurtype voor de grote sluizen in het sluizencomplex onderzocht. Er dient vervolgstudie gedaan te worden naar mogelijk toepasbare deurtypes voor de kleinere sluizen.

Composiet schuiven

In het onderzoek is gekeken naar de mogelijkheid van het toepassen van composiet voor bepaalde onderdelen in de sluisdeurconstructie. De schuiven lijken prima in composiet gerealiseerd te kunnen worden. Een vervolgonderzoek zou de dimensionering van de schuiven in deze vorm nader kunnen onderzoeken.

Locatie onderhoudsplaats

In het binnenhoofd van de sluis is de ligplaats voor de reservedeur in de deurkas ontworpen. Echter is voor twee reservedeuren gekozen. De andere reservedeur dient in een onderhoudsplaats zo dicht mogelijk bij het sluizencomplex gestald te worden. Onderzocht dient te worden wat de meest geschikte locatie hiervoor is.

Uitvoeringsmethodiek

Er is een uitvoeringsmethodiek onderzocht voor het realiseren van de ontworpen deurkassen van de sluisdeuren. Dit is de pneumatische caissonmethode. Met deze methodiek blijken enkele moeilijkheden zich voor te doen met het afzinken van de drempel van de roldeur. Een oplossing of alternatieve methode dient in een vervolgonderzoek nader onderzocht te worden.

Milieu

Er is in dit onderzoek enkel gekeken naar de uitstoot bij de stichting van de sluisdeuren. Echter is niet onderzocht wat de uitstoot zijn van elk deurtype tijdens de gehele planfase.

13 DISCUSSIE

In het onderstaand overzicht zijn de discussiepunten van het verrichte onderzoek weergegeven.

Uitgangspunten criteria

De criteria zijn gebaseerd op basis van een kostenanalyse uit Eindrapport 'Nieuwe Zeesluis IJmuiden'. De kosten voor de sluisdeuren in de Nieuwe Waterweg zijn door middel van extrapolatie van de gegevens uit deze kostenanalyse omgerekend. Dit is gedaan om een zo goed mogelijk beeld te kunnen schetsen van de te verwachten kosten. Echter is dit slechts een ruwe schatting van de werkelijkheid.

Maatgevend schip

Als maatgevend schip is het huidige grootste schip aangenomen. In de toekomst schepen kunnen er mogelijk schepen van een groter formaat en meer gewicht in de haven van Rotterdam verwacht worden.

Optimaliseren constructie

Door gebrek aan tijd is er in dit onderzoek voor het ontwerp niet gekeken naar verdere optimalisering van de toegepaste profielen en overspanningen. Tevens zijn er bepaalde onderdelen in de constructie waar hoge spanningen plaatvinden. Dit komt voor bij enkele punten ter plaatse van de opleggingen en aan de randen van de deuropeningen. Wellicht dat gebruik van andere staalkwaliteiten of aanpassing in de diktes een oplossing zou kunnen bieden.

Ontwerp sluisdeur

Er is maar een enkel ontwerp gemaakt voor de sluisdeur. Alternatieve vakwerken in de hoofdconstructie van de sluisdeur zouden wellicht kunnen leiden tot voordeligere oplossingen.

Plooi

De profielen zijn in dit onderzoek niet getoetst op plooi. Mogelijk zou toetsing hiernaar leiden tot hogere profielen in de constructie wanneer bepaalde profielen niet voldoen.

Vermoeiing

De profielen zijn in dit onderzoek niet getoetst op vermoeiing. Zeker in het geval van een sluisdeur waar veel wisselende krachten op werken die met name afkomstig zijn van de waterdruk, kan na het toetsen op vermoeiing naar voren komen, dat er voor bepaalde delen van de constructie grotere profielen benodigd zijn. In een vervolgonderzoek zou dit nader onderzocht kunnen worden.

Uitwerking overige deurtypen

Verder zijn de overige deurtypen zijn niet volledig uitgewerkt. Uitwerking van de overige deurtypen zou kunnen leiden tot andere inzichten en een nauwkeuriger afweging tussen elk deurtype.

Milieu

Er is niet onderzocht wat de uitstoot is van elk deurtype tijdens de gehele planfase. Mogelijk is dat het bewegingswerk van een bepaald deurtype meer uitstoot op den duur dan andere type deuren.

BRONNENLIJST

- Arends, G. J. (1994, december). *Sluizen en stuwen: De ontwikkeling van de sluis- en stuwbouw in Nederland tot 1940*. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:2edbe26b-a941-4175-a1e2-fe5182b90003?collection=research>
- CE schaduw prijzen methode. (z.d.). Kenniscentrum InfoMil. Geraadpleegd op 12 april 2021, van <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/digitale-ner/integrale-afweging/ce-schaduw-prijzen/>
- Cement. (z.d.). *Grootste sluis ter wereld*. Cement Online. Geraadpleegd op 14 maart 2021, van <https://www.cementonline.nl/grootste-sluis-ter-wereld>
- den Heijer, F. (2014). *Golfoverslag en krachten op verticale waterkeringsconstructies*. Rijkswaterstaat. https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_115520_31/
- Don, S. (2010, 28 oktober). *Hoge Sterkte Beton geschikt materiaal voor sluisdeuren | Schuttevaer*. Schuttevaer | Maritiem nieuws: zoet, zout & zakelijk. https://www.schuttevaer.nl/nieuws/techniek/2010/10/28/hoge_sterkte_beton_geschikt_materiaal_voor_sluisdeuren/?gdpr=accept
- Jansen, M. (2019, 21 augustus). *Bouwen met Staal: Rostfria slussportar*. MH Poly Consultants & Engineers. <https://mhpoly.nl/bouwen-met-staal-rostfria-slussportar/>
- Klein, P. (z.d.). *Tekst: sluizen*. De binnenvaart. Geraadpleegd op 23 maart 2021, van <https://www.debinnenvaart.nl/binnenvaarttaal/index.php?tekst=sluizen>
- KNMI - Zeespiegelstijging. (z.d.). KNMI. Geraadpleegd op 10 maart 2021, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zeespiegelstijging>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020, 24 september). *Eerste deur nieuwe zeesluis IJmuiden geplaatst*. Rijkswaterstaat. <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2020/09/eerste-sluisdeur-nieuwe-zeesluis-ijmuiden-ligt-op-zijn-plaats>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021a, januari 6). *Golven*. Rijkswaterstaat. <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata-en-waterberichtgeving/waterdata/getij/golven>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021b, april 7). *Deltawerk Maeslantkering*.

Rijkswaterstaat. <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken/maeslantkering>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021c, april 21). *Sluisdeuren invaren, een hele operatie*.

Rijkswaterstaat. <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2021/04/sluisdeuren-invaren-een-hele-operatie>

MRPI. (2011). *BMS Heavy construction*. <http://www.dutchhall.nl/wp-content/uploads/2012/06/BmS-mrpi-blad-2013-Heavy-Construction-engels.1.pdf>

PIANC. (2010). *INNOVATIONS IN NAVIGATION LOCK DESIGN*.

<https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/36480/1/28%20Innovations%20in%20navigation%20Lock%20Design%20Rigo.pdf>

PIANC. (2014). *Ship Behaviour in Locks and Lock Approaches*.

Rijkswaterstaat. (z.d.). *Rijkswaterstaat Waterinfo*. Geraadpleegd op 5 april 2021, van

[https://waterinfo.rws.nl/#!/details/publiek/wind/Hoek-van-Holland\(HOEK\)/Windsnelheid___20Lucht___20t.o.v.___20Mean___20Sea___20Level___20in___20m___2Fs](https://waterinfo.rws.nl/#!/details/publiek/wind/Hoek-van-Holland(HOEK)/Windsnelheid___20Lucht___20t.o.v.___20Mean___20Sea___20Level___20in___20m___2Fs)

Rijkswaterstaat. (2001). *Hydraulische randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen - Rijkswaterstaat Rapportendatabank*.

https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_86927_31/

Rijkswaterstaat. (2003). *Project zeepoort IJmond : Functioneel programma van eisen : grote zeesluis IJmuiden*. https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_131636_31/

Rijkswaterstaat. (2017, november). *Analyse geavanceerde betrouwbaarheidsanalyses voor Betrouwbaarheid Sluiten*. <https://docplayer.nl/123974456-Analyse-geavanceerde-betrouwbaarheidsanalyses-voor-betrouwbaarheid-sluiten.html>

RoyalhaskoningDHV. (z.d.). *Uitkomsten onderzoek Rijkswaterstaat MultiWaterWerk: Standaardisatie van Sluisdeuren*. Geraadpleegd op 7 april 2021, van <https://www.royalhaskoningdhv.com/nl-nl/nederland/nieuws/nieuwsberichten/uitkomsten-onderzoek-rijkswaterstaat-multiwaterwerk-c-standaardisatie-van-sluisdeuren-gepubliceerd/12418>

- R.P.L. Nijssen. (2015). *Composieten*. <https://www.inholland.nl/media/12080/composieten-basiskennis-3e-druk-nl.pdf>
- Sluiting Maeslantkering*. (2019a, september 13). Haven van Rotterdam.
<https://www.portofrotterdam.com/nl/havenkrant/havenkrant-online-extra/sluiting-maeslantkering>
- Sluiting Maeslantkering*. (2019b, september 13). Haven van Rotterdam.
<https://www.portofrotterdam.com/nl/havenkrant/havenkrant-online-extra/sluiting-maeslantkering>
- Soorten sluizen en stuwen*. (z.d.). Sluizen en stuwen. Geraadpleegd op 8 maart 2021, van
https://www.sluizenenstuwen.nl/soorten_sluizen_en_stuwen.asp
- Staal & CO2 | Bouwen met staal*. (z.d.). Bouwen Met Staal. Geraadpleegd op 25 april 2021, van
<https://www.bouwenmetstaal.nl/themas/duurzaam/staal-co2/>
- Stiho. (z.d.). *Producten*. Geraadpleegd op 13 mei 2021, van https://www.stiho.nl/schaduwkosten-wet-en-regelgeving-cms-ST_nieuws_schaduwkosten_wetregelgeving_NC
- TAW. (2003). *Leidraad Kunstwerken*. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A3a3aead8-08a8-4c99-afe9-ada2811d15c1>
- Tosec BV. (2020, 15 april). *Staal*. Tosec Plaatbewerking. <https://www.tosec.nl/wiki/staal/>
- van Alphen, S. (2013, oktober). *Haalbaarheidsstudie naar grote sluisdeuren uitgevoerd in hogesterktebeton*. <https://docplayer.nl/112404855-Afstudeerverslag-haalbaarheidsstudie-naar-grote-sluideuren-uitgevoerd-in-hogesterktebeton-cie-master-thesis.html>
- Van Korten Hof, B. M. I. (2012). *Ontwerp gekromde roldeur nieuwe zeesluis IJmuiden*.
<https://repository.tudelft.nl/islandora/search/author%3A%22Van%20Korten%20hof%2C%20B.M.I.%22?collection=education>
- van Laack, F. H. H. M. (2021). *Sluizencomplex configuratie*. CoP Centrum Hoogwaterveiligheid.
- van Lierop, P. (2017). *Nieuwe zeesluis IJmuiden. Sectorhoofd Stalen en Beweegbare Kunstwerken Iv-Infra Ontwerpleider Deuren en Bewegingswerk OpenIJ*. <https://docplayer.nl/57342505-Nieuwe-zeesluis-ijmuiden-sectorhoofd-stalen-en-beweegbare-kunstwerken-iv-infra-ontwerpleider-deuren-en-bewegingswerk-openij.html>

Waterkering Zeetoegang IJmond - PDF Gratis download. (2014). Docplayer.

<https://docplayer.nl/40460531-Waterkering-zeetoegang-ijmond.html>

Wikipedia-bijdragers. (2017, 17 juli). *Metacentrum*. Wikipedia.

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Metacentrum>

Wikipedia-bijdragers. (2020a, februari 10). *Thialf (schip, 1985)*. Wikipedia.

[https://nl.wikipedia.org/wiki/Thialf_\(schip,_1985\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Thialf_(schip,_1985))

Wikipedia-bijdragers. (2020b, december 7). *Lijst van zeesluizen*. Wikipedia.

https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_zeesluizen

BIJLAGE

INHOUDSOPGAVE BIJLAGE

BIJLAGE A: SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE

BIJLAGE B: QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING

BIJLAGE C: BEREKENING BOTSKRACHT AANVARING

BIJLAGE D: BEREKENINGEN PLAAT EN PROFIELEN SCHUIF

BIJLAGE E: BEREKENING ZWAARTEPUNT

BIJLAGE F: ONDERHOUD

BIJLAGE G: UITVOERING

BIJLAGE H: INVOER LOCKFILL

BIJLAGE I: INTERVIEW D. EGAS

BIJLAGE J: SCIA UITKOMSTEN

BIJLAGE K: TECHNISCHE TEKENINGEN

An aerial photograph of a large waterway, likely a canal or river, with a ship passing through a lock system. The lock is flanked by green grassy banks and white structural elements. The ship is moving towards the viewer, leaving a wake. The background shows a cityscape and industrial areas under a clear blue sky.

EEN GESCHIKTE SLUISDEUR VOOR DE NIEUWE WATERWEG

BIJLAGE

Davide Ferrara
Hogeschool Rotterdam

Community of Practice
Hoogwaterveiligheid
15-06-2021

TITELPAGINA

Datum:	15-06-2021
Versie:	1.0
Status:	Definitief
Student:	Davide Ferrara
Studentnummer:	0931803
Email:	davide.ferrara@hotmail.com
Bedrijf:	CoP Hoogwaterveiligheid
Bedrijfsbegeleider:	Gelder, L.A. van
School:	Hogeschool Rotterdam
Instituut:	Gebouwde Omgeving
Opleiding:	Civiele Techniek
Docentbegeleider:	Kuppen, W.J.J.M. Stoutjesdijk, P.M.J.

FIGURENLIJST

FIGUUR 1 NOMOGRAM GROEN & DORRESTEIN	6
FIGUUR 2 NOMOGRAM VOOR OVERGANGSGEBIEDEN	7
FIGUUR 3 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING OP VERTICAAL KUNSTWERK	8
FIGUUR 4 PNEUMATISCHE CAISSONMETHODE SLUISDEUR NIEUWE WATERWEG	17
FIGUUR 5 DOCKWISE SCHIP (OPENIJ, 2017)	18
FIGUUR 6 KANTELEN SLUISDEUR (OPENIJ) FIGUUR 7 HIJSPROCES SLUISDEUR (OPENIJ)	18
FIGUUR 8 UITVOER LOCKFILL	21
FIGUUR 9 SPANNINGEN BELASTINGCOMBINATIE 1	23
FIGUUR 10 MOMENTEN HORIZONTALE LIGGER	24
FIGUUR 11 DWARSKRACHT HORIZONTALE LIGGERS	24
FIGUUR 12 NORMAALKRACHT	26
FIGUUR 13 MOMENT VERTICALE LIGGER FIGUUR 14 DWARSKRACHT VERTICALE LIGGER	27
FIGUUR 15 MAXIMAAL POSITIEF VERVAL	33
FIGUUR 16 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING	34
FIGUUR 17 OPWAARTSE KRACHT	35
FIGUUR 18 IJSBELASTING	36
FIGUUR 19 EIGEN GEWICHT SCHUIF	37
FIGUUR 20 MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL	38
FIGUUR 21 AANHANGEND GEWICHT	39
FIGUUR 22 AANVAARBELASTING 0,5 M/S	40
FIGUUR 23 MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN	40
FIGUUR 24 MAXIMAAL POSITIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN	41
FIGUUR 25 VERKEERSBELASTING	42
FIGUUR 26 GEMODELLEERDE OPLEGGINGEN	43
FIGUUR 27 BELASTINGCOMBINATIES	44
FIGUUR 28 3D SPANNINGEN BC1	46
FIGUUR 29 3D SPANNINGEN BC2	48
FIGUUR 30 3D SPANNINGEN BC3	50
FIGUUR 31 3D SPANNINGEN BC4	52
FIGUUR 32 3D SPANNINGEN BC5	54
FIGUUR 33 3D SPANNINGEN BC6	56

TABELLENLIJST

TABEL 1 OVERZICHT NORMEN	4
TABEL 2 TOEGEPASTE PROFIELEN SCHUIF	11
TABEL 3 BEREKENING ZWAARTEPUNT CONSTRUCTIE	14
TABEL 4 ONDERHOUDSPPLAN GROTE SLUIS 1	15
TABEL 5 ONDERHOUDSPPLAN GROTE SLUIS 2	15
TABEL 6 REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN BC1	45
TABEL 7 INTERNE KRACHTEN BC1	45
TABEL 8 SPANNINGEN BC1	46
TABEL 9 REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN BC 2	47
TABEL 10 INTERNE KRACHTEN BC2	47
TABEL 11 SPANNINGEN BC2	48
TABEL 12 REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN BC3	49
TABEL 13 INTERNE KRACHTEN BC3	49
TABEL 14 SPANNINGEN BC3	50
TABEL 15 REACTIEKRACHTEN LIJNOPLEGGINGEN BC4	51
TABEL 16 INTERNE KRACHTEN BC 4	51
TABEL 17 SPANNINGEN BC4	52
TABEL 18 REACTIEKRACHTEN LIJNOPLEGGINGEN BC5	53
TABEL 19 INTERNE KRACHTEN BC5	53
TABEL 20 SPANNINGEN BC5	54
TABEL 21 REACTIEKRACHTEN LIJNOPLEGGINGEN BC6	55
TABEL 22 INTERNE KRACHTEN BC6	55
TABEL 23 SPANNINGEN BC6	56

NORMENLIJST

Norm nummer	Titel
-	TAW-leidraad: Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies
NEN-EN 1991-1-7:2006+A1:2014+NB:2019	Deel 1-7: Algemene belastingen - Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen
NEN-EN 1993-1-1; Eurocode 3	Ontwerp van staalconstructie - Deel 1-12
NEN-EN 1991-2+C1; Eurocode 1	Belastingen op constructies - Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen

TABEL 1 OVERZICHT NORMEN

BIJLAGE

INHOUDSOPGAVE BIJLAGE

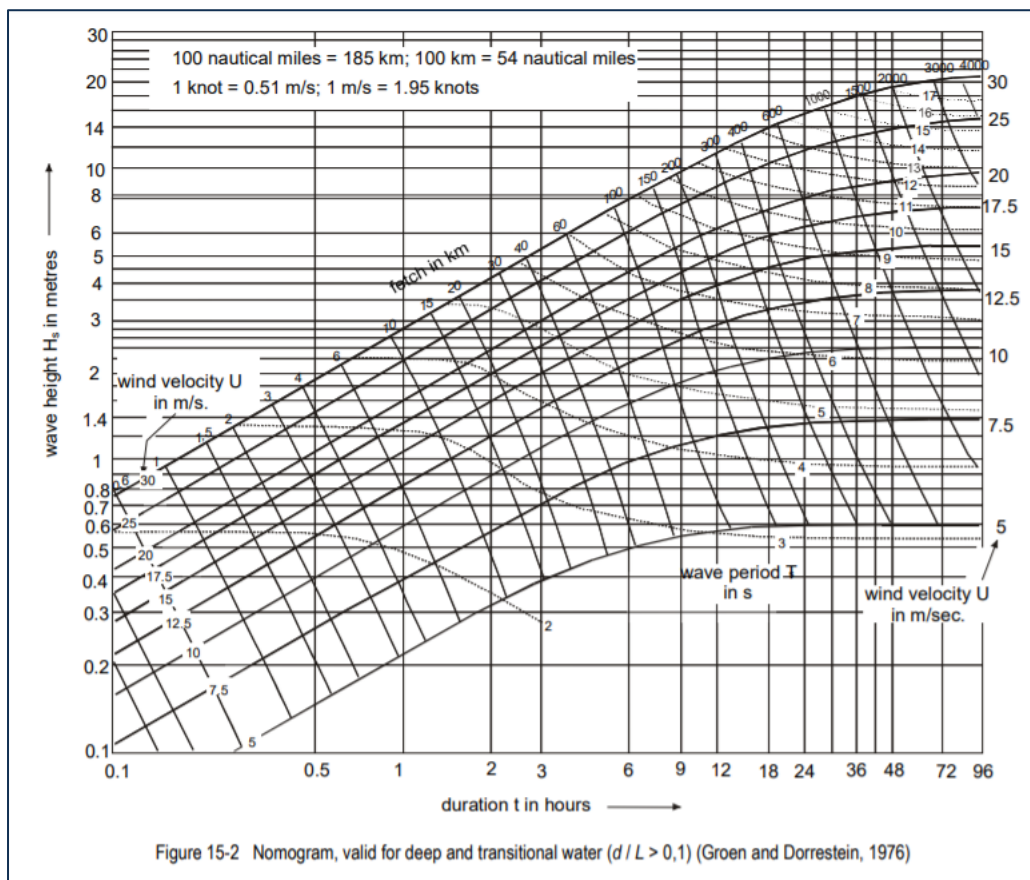
FIGURENLIJST	2
TABELLENLIJST	3
NORMENLIJST	4
BIJLAGE A: SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE	6
BIJLAGE B: QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING	8
BIJLAGE C: BEREKENING BOTSKRACHT AANVARING	10
BIJLAGE D: BEREKENINGEN PLAAT EN PROFIELEN SCHUIF	11
BIJLAGE E: BEREKENING ZWAARTEPUNT	13
BIJLAGE F: ONDERHOUD	15
BIJLAGE G: UITVOERING	16
BIJLAGE H: INVOER LOCKFILL	19
BIJLAGE I: INTERVIEW D. EGAS	28
BIJLAGE J: SCIA UITKOMSTEN	29
BIJLAGE K: TECHNISCHE TEKENINGEN	57

BIJLAGE A SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE

Voorspelling golfhoogte en -periode

De golven in de Noordzee zijn golven die voornamelijk zijn opgewekt door de wind. De hoogte heeft dan invloed op de sterkte van de golf. Deze wordt voorspeld met behulp van de nomogram Groen & Dorrestein en de nomogram voor overgangsgebieden. Uit een controle moet blijken welke van de twee nomogrammen correct zijn voor de juiste voorspelling van de maatgevende golfhoogte.

Voorspelling diep water



FIGUUR 1 NOMOGRAM GROEN & DORRESTEIN

Windsnelheid = 24,2 m/s

Strijklengte = 200 km

Golfperiode $T_s = 10$ seconden

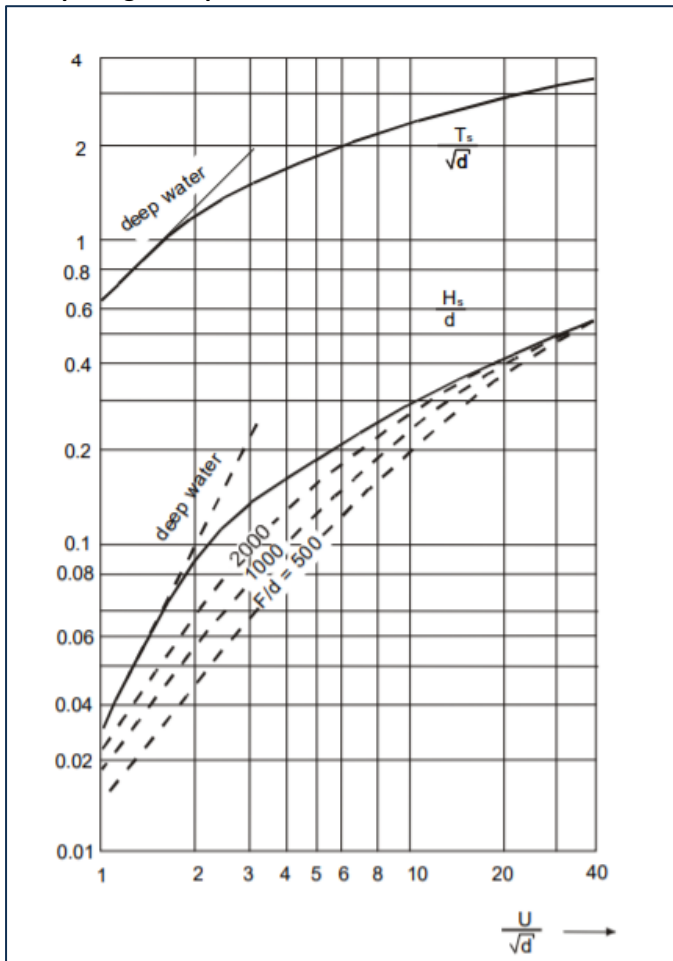
Golfhoogte $H_s = 7,8$ meter

Waterdiepte (h) = 25 meter

$L_0 = 1,56 * T^2 = 1,56 * 7,82 = 94,91$ meter

$\frac{h}{L_0} = 0,26 \rightarrow$ geen diepwater $\rightarrow$ alternatieve monogram

Voorspelling ondiep water



FIGUUR 2 NOMOGRAM VOOR OVERGANGSGEBIEDEN

$$\frac{U}{\sqrt{d}} = \frac{24,2}{\sqrt{25}} = 4,84$$

$$\frac{F}{h} = \frac{200000}{25} = 8000$$

$$\frac{T_s}{\sqrt{d}} = \frac{T_s}{\sqrt{25}} = 1,5 \rightarrow 7,5 \text{ seconden}$$

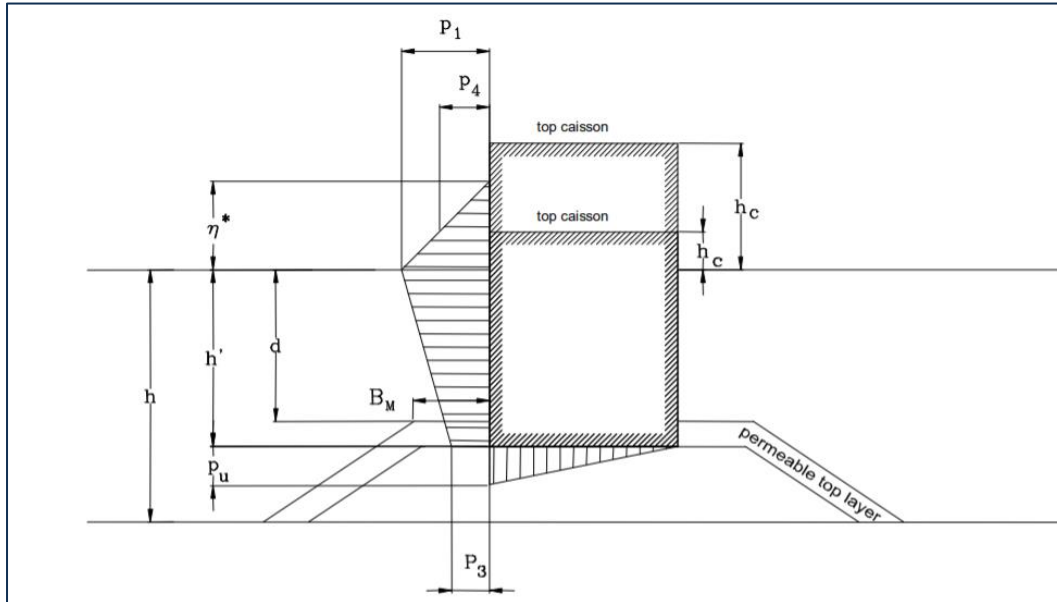
$$\frac{H_s}{d} = 0,16 \rightarrow 4 \text{ meter}$$

$$L_0 = 1,56 * T^2 = 1,56 * 7,5^2 = 87,75 \text{ meter}$$

$$\frac{h}{L_0} = \frac{25}{87,75} = 0,28 \rightarrow \text{ondiep water correcte voorspelling}$$

BIJLAGE B QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING

De quasi-statistische windgolfbelasting komt voort uit de significante golf die op de sluisdeur slaat. Het berekenen van de grootte van de belasting die hierbij ontstaat is gedaan met behulp van de een verfijning van de formule van Sainflou.



FIGUUR 3 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING OP VERTICAAL KUNSTWERK

$$P_1 = 0,5 * (1 + \cos(\beta)) * (\lambda_1 * \alpha_1 + \lambda_1 * \alpha_2 \cos^2(\beta)) * \rho * g * H_D$$

$$P_3 = \alpha_1 * p_1$$

Waarin:

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ = factor afhankelijk van de vorm van de constructie en de golf condities (voor verticaal rechte constructies en niet brekende golven geldt: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$)

β = hoek van de golfaanval (loodrecht op constructie = 0)

$$\eta = 0,75 * (1 + \cos(\beta)) * \lambda_1 * H_D$$

H_b = waterdiepte op afstand $5 * H_D$ van de constructie

H_D = ontwerp golfhoogte, $H_D = 4$ (m)

L_D = ontwerp golflengte, $L_D = 87,75$ (m)

$$\alpha_1 = 0,6 * 0,5 * \frac{\frac{4 * \pi * h}{L_D}}{\sinh\left(\frac{4 * \pi * h}{L_D}\right)}$$

$$\alpha_2 = \min\left(\frac{\frac{1-d}{hb} * \left(\frac{H_D}{d}\right)^2}{3}, \frac{2 * d}{H_D}\right)$$

$$\alpha_3 = 1 - \left(\frac{h'}{h}\right) * 1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2 * \pi * h}{L_D}\right)}$$

$$h = 29 + 8,6 = 37,6 \text{ (m)}$$

$$g = \text{gravitatieversnelheid, } g = 9,81 \text{ (m/s)}$$

$$d = h$$

$$h_b = h$$

$$h' = h$$

Invullen geeft:

$$\alpha_1 = 0,6 * 0,5 * \frac{\frac{4 * \pi * h}{LD}}{\sinh\left(\frac{4 * \pi * h}{LD}\right)} = \alpha_1 = 0,6 * 0,5 * \frac{\frac{4 * \pi * 37,6}{87,75}}{\sinh\left(\frac{4 * \pi * 37,6}{87,75}\right)} = 0,602$$

$$\alpha_2 = \min\left(\frac{\frac{1-d}{hb} * \left(\frac{HD}{d}\right)^2}{3}, \frac{2d}{HD}\right) = \min\left(\frac{\frac{1-37,6}{37,6} * \left(\frac{4}{37,6}\right)^2}{3}, \frac{2 * 37,6}{4}\right) = 0$$

$$\alpha_3 = 1 - \left(\frac{h'}{h}\right) * 1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2 * \pi * h}{LD}\right)} = 0,865$$

$$P_1 = 0,5 * (1 + \cos(\beta)) * (\lambda_1 * \alpha_1 + \lambda_2 * \alpha_2 * \cos^2(\beta)) * \rho * g * H_b * \gamma_{\text{Golf}} =$$

$$0,5 * (1 + \cos(0)) * (1 * 0,602 + 1 * 0 * \cos^2(0)) * 1025 * 9,81 * 4 * \gamma_{\text{Golf}} = 45,4 \text{ kN/m}^2$$

$$P_3 = \alpha_1 * p_1 = 0,602 * 36,32 * \gamma_{\text{Golf}} = 27,33 \text{ kN/m}^2$$

BIJLAGE C BEREKENING BOTSKRACHT AANVARING

De botskracht bij aanvaring wordt bepaald aan de hand van de eurocode NEN-EN 1991-1-7+C1+A1:2015. De maximale frontale botskracht op de sluisdeurconstructie is bepaald met uitdrukking:

$$F_{bow} = \sqrt{F_o * L (E_{imp} + (0,5 - L) * L^{1,6})} \text{ voor } E_{imp} \geq L^{2,6}$$

$$2,24 * F_o * \sqrt{(E_{imp} * L)} \text{ voor } E_{imp} \leq L^{2,6}$$

Waarin:

$$L = L_{pp} / 275 \text{ m}$$

$$E_{imp} = E / 1425 \text{ MNm}$$

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2$$

F_{bow} = maximale frontale botskracht, in [MN];

F_o = de referentiebotskracht = 210 MN;

E_{imp} = de door plastische vervormingen te absorberen energie;

L_{pp} = de lengte van het schip, in [m];

m_x = de massa plus de toegevoegde massa bij beweging in lengterichting, in [10^6 kg];

v_r = de vaarsnelheid (aanvaringssnelheid) van het schip

Maximaal frontale botskracht 0,5 m/s

$$m_x = c_m * m = 1,1 * 200 * 10^6 = 220 * 10^6$$

$$E = \frac{1}{2} * m_x * v^2 = \frac{1}{2} * 220 * 10^6 * 0,5^2 = 27,5 \text{ MN}$$

$$E_{imp} = \frac{27,5}{1425} = 0,019$$

$$L = \frac{L_{pp}}{275} = \frac{400}{275} = 1,45$$

$$E_{imp} \leq L^{2,6} \text{ dus } F_{bow} = 2,24 * F_o * \sqrt{(E_{imp} * L)} = 2,24 * 210 * \sqrt{(0,019 * 1,45)} = 78 \text{ MN}$$

BIJLAGE D BEREKENINGEN PLAAT EN PROFIELEN SCHUIF

TOEGEPASTE PROFIELEN

Naam	Afmeting	G kg/m ²	I _y (mm ⁴)	W _{y,rel} (mm ³)	A m ² /m
Kokerprofiel 1	180 x 180 x 10	52,5	3192*10 ⁴	354,7*10 ³	0,694
Kokerprofiel 2	150 x 150 x 10	43,1	54,93	286,9*10 ³	0,574

TABEL 2 TOEGEPASTE PROFIELEN SCHUIF

Met de bekende profielen kan vervolgens het gewicht van de schuif berekend worden. Dit is nodig omdat vanuit het trekpunt bij de stang een moment ontstaat wat het bovenste profiel dient op te kunnen nemen.

$$\frac{((577,5 + 387,9 + 883,125) * 9,81)}{1000} = 18,13 \text{ kN}$$

KOKERPROFIEL 1

$$m_y = \frac{1}{4} * 18,13 * 2,5^2 = 28,33 \text{ kNm}$$

$$m_x = \frac{1}{8} * \frac{3}{2} * 58,75 * 3^2 = 99,14 \text{ kNm}$$

$$\sigma_y = \frac{m}{w} = \frac{28,33 * 10^6}{354,7 * 10^3} = 79,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_x = \frac{m}{w} = \frac{99,14 * 10^6}{354,7 * 10^3} = 279,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{vergelijk}} = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2} = 249,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Unity check} = \frac{249,36}{355} = 0,70 < 1,00 \text{ dus voldoet.}$$

KOKERPROFIEL 2

De grootste h.o.h. afstand tussen de profielen is 0,625 mm

$$m = \frac{1}{8} * q * l^2 * 0,625 = \frac{1}{8} * 58,75 * 2,5^2 * 0,625 = 28,69 \text{ kNm}$$

$$\text{De maximale normaalkracht bedraagt: } 2,5 \text{ m} - \frac{0,18}{2} = 2,32 \text{ m}$$

$$N_{\text{max}} = \frac{355}{2,32} = 153 \text{ kN}$$

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{153}{54,93} + \frac{28,69}{236,3} = 27,83 + 131,1 = 158,93 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Unity check} = \frac{158,93}{355} = 0,45 < 1,00 \text{ dus voldoet.}$$

TOEGEPASTE PLAAT

Moment

$$\frac{1}{8} * q * l^2 = \frac{1}{8} * 58,75 * 0,625^2 = 2,86 \text{ kNm}$$

Dwarskracht

$$V_{\max} = \frac{1}{2} * q * l = \frac{1}{2} * 58,75 * 0,625 = 18,35 \text{ kN}$$

Bepalen benodigde dikte huidplaat

$$t_{\max} = \frac{355}{\sqrt{3}}$$

$$w = \frac{M_{\max}}{f_{\max}} = \frac{2,86 * 10^6}{355} = 8056,33 \text{ mm}^3$$

Het weerstandsmoment van de plaat is:

$$w = \frac{1}{6} * b * h^2$$

$$8056,33 = \frac{1}{6} * 1000 * h^2$$

$$48,33 = h^2$$

$$h = 7 \text{ mm}$$

De toegepaste plaatdikte bedraagt 10 mm.

BIJLAGE E BEREKENING ZWAARTEPUNT

Element	Element nummer	Soortelijk gewicht	Type profiel	Oppervlakte	Lengte	Aantal	Gewicht element kN/m ¹	Gewicht totaal kN	Zwaartepunt t.o.v. onderkant deur	Z*G
Horizontale ligger	1	78,5	HEA 800	0,02858	91	2	2,04	832,98	0,395	329,03
Verbindende ligger	1	78,5	HEA 800	0,02858	11	27	2,04	1359,31	0,395	536,93
Verticaal vakwerk	1	78,5	HEA 1000	0,03468	29,4246767	27	3,468	7500,73	4,885	36641,05
Horizontale ligger	2	78,5	HEA 800	0,02858	91	3	2,04	1249,47	4,885	6103,64
Verbindende ligger	2	78,5	HEA 800	0,02858	11	27	2,04	1359,31	4,885	6640,23
Vakwerk ligger	2	78,5	HEA 360	0,01428	91	4	1,12	457,00	4,885	2232,45
Horizontale plaat	1	78,5	-	0,25	91	1		1785,88	4,885	8724,00
Horizontale ligger	3	78,5	HEA 800	0,02858	91	3	2,04	1249,47	9,77	12207,29
Verbindende ligger	3	78,5	HEA 800	0,02858	11	27	2,04	1359,31	9,77	13280,46
Vakwerk ligger	3	78,5	HEA 360	0,01428	91	4	1,12	457,00	9,77	4464,90
Horizontale plaat	2	78,5	-	0,25	91	1		1785,88	9,77	17448,00
Horizontale ligger	4	78,5	HEA 800	0,02858	91	3	2,04	1249,47	15,83	19779,06
Verbindende ligger	4	78,5	HEA 800	0,02858	11	27	2,04	1359,31	15,83	21517,88
Vakwerk ligger	4	78,5	HEA 360	0,01428	91	4	1,12	457,00	15,83	7234,33
Horizontale plaat	3	78,5	-	0,25	91	1		3536,00	15,83	55974,88
Horizontale ligger	5	78,5	HEA 800	0,02858	91	3	2,04	1249,47	18,83	23527,46
Verbindende ligger	5	78,5	HEA 800	0,02858	11	27	2,04	1359,31	18,83	25595,81
Vakwerk ligger	5	78,5	HEA 360	0,01428	91	4	1,12	457,00	18,83	8605,33
Horizontale plaat	4	78,5	-	0,25	91	1		1785,88	18,83	33628,03
Horizontale ligger	6	78,5	HEA 800	0,02858	91	3	2,04	1249,47	21,83	27275,86
Verbindende ligger	6	78,5	HEA 800	0,02858	11	27	2,04	1359,31	21,83	29673,74
Vakwerk ligger	6	78,5	HEA 360	0,01428	91	4	1,12	457,00	21,83	9976,33
Horizontale plaat	5	78,5	-	0,25	91	1		1785,88	21,83	38985,65
Horizontale ligger	7	78,5	HEA 800	0,02858	91	3	2,04	1249,47	24,83	31024,26
Verbindende ligger	7	78,5	HEA 800	0,02858	11	27	2,04	1359,31	24,83	33751,67
Vakwerk ligger	7	78,5	HEA 360	0,01428	91	4	1,12	457,00	24,83	11347,34
Horizontale plaat	6	78,5	-	0,25	91	1		3536,00	24,83	87798,88
Horizontale ligger	8	78,5	HEA 800	0,02858	91	3	2,04	1249,47	27,83	34772,66
Verbindende ligger	8	78,5	HEA 800	0,02858	11	27	2,04	1359,31	27,83	37829,60

Vakwerk ligger	8	78,5	HEA 360	0,014 28	91	4	1,12	457,00	27,83	1271 8,34
Horizontale plaat	7	78,5	-	0,25	91	1		1785,88	27,83	4970 0,90
Horizontale ligger	9	78,5	HEA 800	0,028 58	91	3	2,04	1249,47	27,83	3477 2,66
Verbindende ligger	9	78,5	HEA 800	0,028 58	11	27	2,04	1359,31	27,83	3782 9,60
Vakwerk ligger	9	78,5	HEA 360	0,014 28	91	4	1,12	457,00	27,83	1271 8,34
Verticaal vakwerk	2	78,5	HEA 600	0,017 8	29,42 4676 7	27	3,468	3849,85	32,715	1259 47,96
Horizontale ligger	10	78,5	HEA 800	0,028 58	91	3	2,04	1249,47	32,715	4087 6,30
Verbindende ligger	10	78,5	HEA 800	0,028 58	11	27	2,04	1359,31	32,715	4446 9,83
Vakwerk ligger	10	78,5	HEA 360	0,014 28	91	4	1,12	457,00	32,715	1495 0,79
Horizontale plaat	8	78,5	-	0,25	91	1		1785,88	32,715	5842 4,90
Horizontale ligger	11	78,5	HEA 800	0,028 58	91	3	2,04	1249,47	37,6	4697 9,95
Verbindende ligger	11	78,5	HEA 800	0,028 58	11	27	2,04	1359,31	37,6	5111 0,05
Vakwerk ligger	11	78,5	HEA 360	0,014 28	91	4	1,12	457,00	37,6	1718 3,24
Horizontale plaat	9	78,5	-	0,25	91	1		3536,00	37,6	1329 53,60
Kolommen	1	78,5	HEA 1000	0,034 68	37,6	54	3,468	19169,4 4	18,8	3603 85,48
Wanden drijfkist breedterichting	1	78,5		0,3	11	24		6217,20	21,815	1356 28,22
Wanden drijfkist lengterichting	1	78,5		0,3	91	3		6429,15	21,815	1402 51,91
Totaal								97339,6 9		1963 808,7 9
Zwaartepunt										20,17 5

TABEL 3 BEREKENING ZWAARTEPUNT CONSTRUCTIE

BIJLAGE F ONDERHOUD

NIET-BESCHIKBAARHEID

Dichtgelegen naast de twee grote sluiscomplexen zal een bergingsplaats gelegen zijn waar de reserve sluisdeuren gestald kunnen worden. Het onderhoudsplan is zo gepland dat elke sluisdeur niet langer dan 3 jaar bij een bepaalde locatie gelokaliseerd is waarna het vervolgens naar het droogdok verplaatst wordt voor onderhoud. In het droogdok vindt binnen een tijdsbestek van 1 jaar onderhoud plaats. Het is van belang dat er een beschikbaarheid van 99% aangehouden wordt. Hierin is rekening gehouden met niet-beschikbaarheid door zowel gepland onderhoud als ongepland onderhoud:

- Gepland onderhoud: gem. 70 uur/jaar

- Ongepland onderhoud: gem. 18 uur/jaar

De beschikbaarheid per jaar bedraagt:

$$88/(365 \cdot 24) = 0,99\% \text{ beschikbaarheid}$$

Hieronder is een schema van het gepland onderhoud in een periode van 8 jaar weergegeven voor de 4 sluisdeuren. Hiervan dient telkens 1 sluisdeur als reservesluisdeur in de bergingsplaats. Deze kan bij onverwachte defecten bij de operationele sluisdeuren als vervangen dienen.

Grote sluis 1 (Meest noordelijke sluis)	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4	Jaar 5	Jaar 6	Jaar 7	Jaar 8
Droogdok onderhoudsplaats	Deur nr. 4	Deur nr. 1	Deur nr. 2	Deur nr. 3	Deur nr. 4	Deur nr. 1	Deur nr. 4	Deur nr. 3
Naastgelegen bergingsplaats	Deur nr. 3	Deur nr. 3	Deur nr. 3	Deur nr. 2	Deur nr. 3	Deur nr. 2	Deur nr. 1	Deur nr. 1
Binnensluishoofd	Deur nr. 1	Deur nr. 4	Deur nr. 4	Deur nr. 4	Deur nr. 3	Deur nr. 3	Deur nr. 3	Deur nr. 2
Buitensluishoofd	Deur nr. 2	Deur nr. 2	Deur nr. 1	Deur nr. 1	Deur nr. 1	Deur nr. 4	Deur nr. 4	Deur nr. 4

TABEL 4 ONDERHOUDSPAN GROTE SLUIS 1

Grote sluis 2	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4	Jaar 5	Jaar 6	Jaar 7	Jaar 8
Droogdok onderhoudsplaats	Deur nr. 4	Deur nr. 1	Deur nr. 2	Deur nr. 3	Deur nr. 4	Deur nr. 1	Deur nr. 4	Deur nr. 3
Naastgelegen bergingsplaats	Deur nr. 3	Deur nr. 3	Deur nr. 3	Deur nr. 2	Deur nr. 3	Deur nr. 2	Deur nr. 1	Deur nr. 1
Binnensluishoofd	Deur nr. 1	Deur nr. 4	Deur nr. 4	Deur nr. 4	Deur nr. 3	Deur nr. 3	Deur nr. 3	Deur nr. 2
Buitensluishoofd	Deur nr. 2	Deur nr. 2	Deur nr. 1	Deur nr. 1	Deur nr. 1	Deur nr. 4	Deur nr. 4	Deur nr. 4

TABEL 5 ONDERHOUDSPAN GROTE SLUIS 2

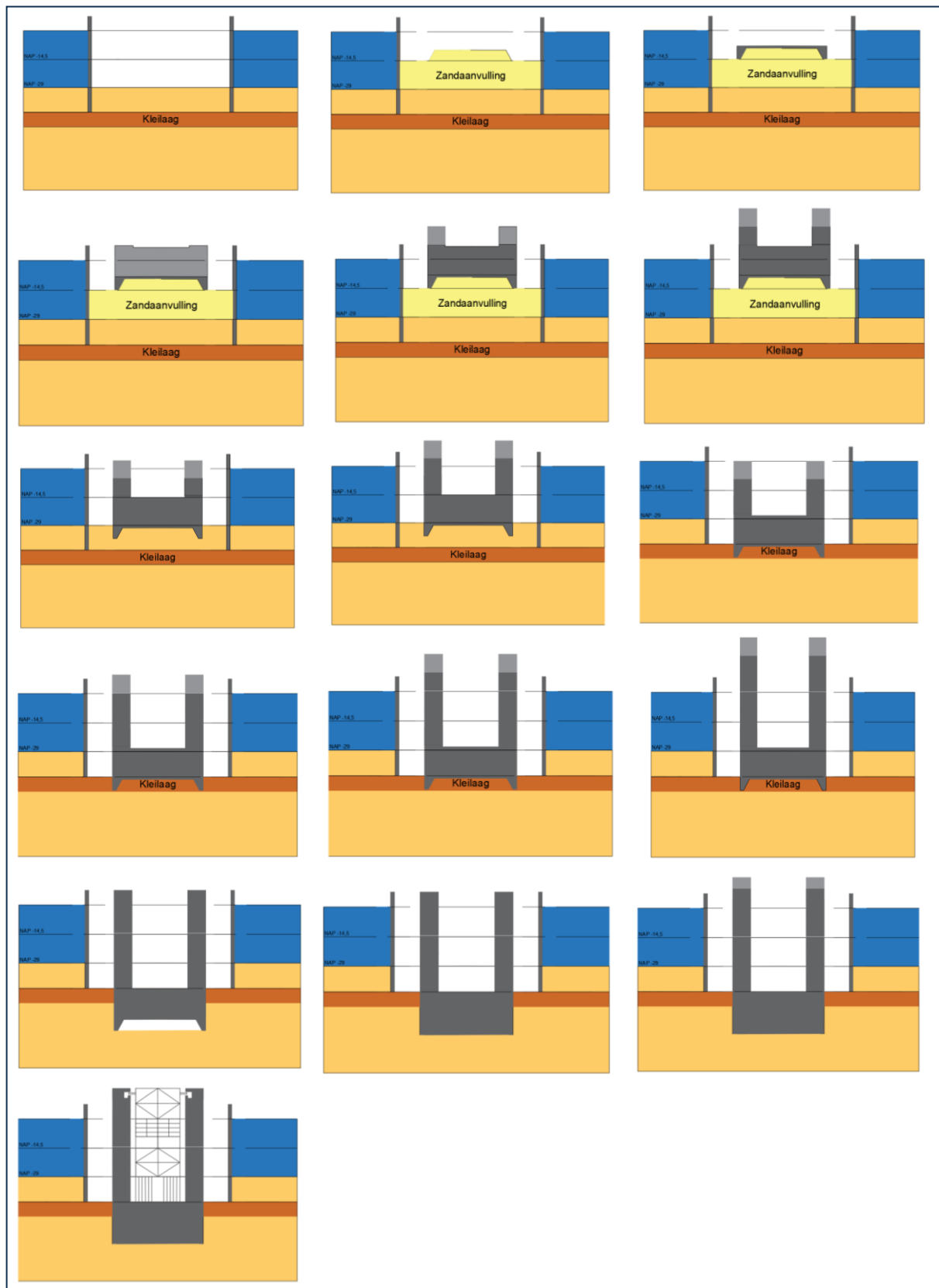
BIJLAGE G UITVOERING

PNEUMATISCHE CAISSONMETHODE

Voor het plaatsen van de deurkas van de sluisdeur zou de pneumatische caisson methode kunnen worden toegepast. Deze methode is eerder toegepast voor de sluishoofden van de sluis van IJmuiden. De caissons bestaan uit een aantal betonnen dozen met interne vloeren, wanden en snijranden die, door het onder verhoogde luchtdruk verwijderen van de grond tussen de snijranden, gecontroleerd op diepte worden gebracht. De caissons worden zoveel mogelijk ter plaatste gebouwd of anders met een hefschip aangevoerd. Tussen de sluishoofdwanden wordt een drempel samengesteld uit prefab betonnen dozen die worden afgezonken en gekoppeld met de sluiswanden waardoor een monoliete verbinding ontstaat en het geheel stabiel en stijf genoeg is om de krachten vanuit de deuren op de ondergrond over te dragen. Het gaat om een bouwmethode die vergelijkbaar is met een afgezonken tunnel. Onder- en achterloopsheid wordt voorkomen door het aanbrengen van kwelschermen ter plaatse van de drempel en door de diepe ligging van de onderkant van de caissons. Wanneer de werkkamer de gewenste diepte heeft bereikt worden de snijbladen verwijderd en wordt de werkkamer opgevuld met beton wat voor een sterke fundering zorgt.

Er kunnen echter wel problemen voorkomen bij het toepassen van deze methodiek. Het sluishoofd valt zeker af te zinken echter zou het afzinken van de drempel van de roldeur moeizaam kunnen verlopen. Als de drempel wordt afgezonken, ontstaat echter boven de drempel een sleuf en stort deze in. Hierdoor zal de drempel ongecontroleerd zakken, en is de drempel niet meer toegankelijk voor afzinkerelateerde werkzaamheden. Dit is een te groot veiligheidsrisico.¹

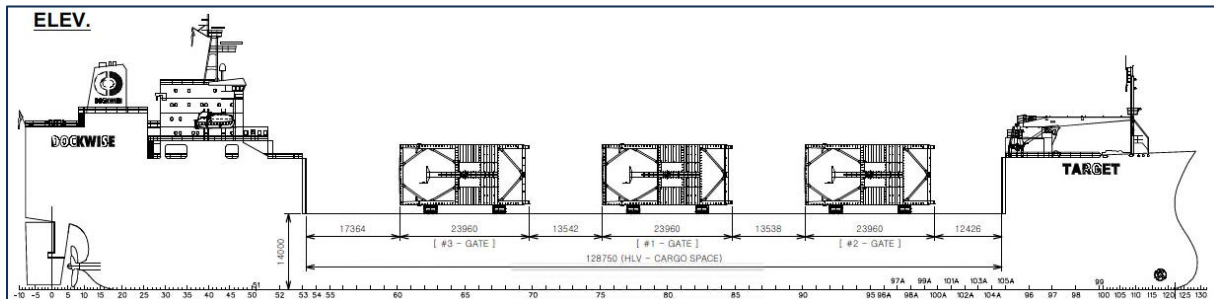
¹ Er is gesproken met de heer D. Egas, hoofd bedrijfsbureau bij Volkerwessels Staal en Funderingen, over de uitvoerbaarheid van de methode. (zie bijlage I)



FIGUUR 4 PNEUMATISCHE CAISSONMETHODE SLUISDEUR NIEUWE WATERWEG

TRANSPORT

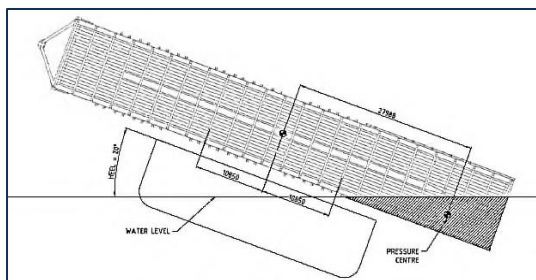
Met behulp van de Dockwise Talisman kunnen de sluisdeuren naar het sluisencomplex. Het gros gewicht en de totale cargo lengte van dit schip is genoeg om in totaal 3 sluisdeuren te kunnen vervoeren.



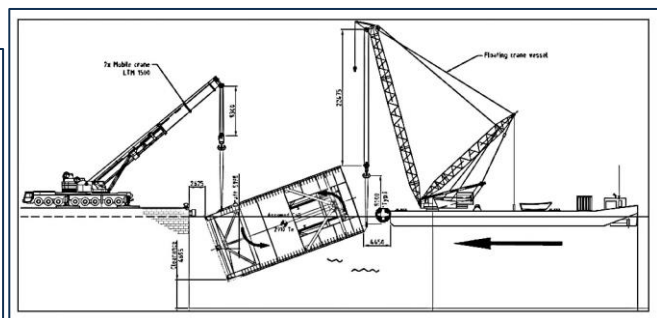
FIGUUR 5 DOCKWISE SCHIP (OPENIJ, 2017)

MONTAGE

De sluisdeur zal de sluis ingevaren worden waarna deze vervolgens door middel van grote lieren 90 graden om zijn as gedraaid en in de deurkas gemanoeuvreed. Nadat de deur op de juiste positie ligt, is in de volgende fase de sluisdeur afgezonken en gekoppeld aan de bovenrolwagen. Vervolgens wordt de deur verder afgezonken en gekoppeld aan de onderrolwagen. Het tillen van een enkele sluisdeur kan uitgevoerd worden door twee mobiele kranen aan land in het sluisencomplex en daarnaast een drijvende kraan. De sluisdeur heeft een gewicht van 9922 ton. Een geschikte drijvende kraan om de sluisdeur op te hijsen is de Thialf. Deze bevat twee kranen met gezamenlijk een totale hijscapaciteit van 14.200 ton. Het kraanschip bestaat uit twee pontons met elk vier kolommen. De vaardiepgang is rond de 12 meter. Tijdens hijswerkzaamheden wordt het kraanschip naar een diepte van 26,6 meter geballast om het effect van deining en zeegang te verminderen (InfraWiki, 2021).



FIGUUR 6 KANTELEN SLUISDEUR (OPENIJ)



FIGUUR 7 HIJSPROCES SLUISDEUR (OPENIJ)

BIJLAGE H INVOER LOCKFILL

LOCKFILL 5

INFO

TITLE = 'Sluis Nieuwe Waterweg'
 PROJNUM = '1.0' \\Project number
 PROJTIT = 'Sluis Nieuwe Waterweg' \\Project title
 COMP = 'Centrum Hoogwaterveiligheid' \\Company name
 Comment: Template case for system gate openings.
 Based on File S1_R1_J.LFI

APPROACH HARBOUR

RHO_VOORH = 1025 \\density approach harbour [kg/m³]
 VOORH = 1 \\water level approach harbour; 1: basin storage method, 2:time table

Basin storage method

SV = 273000.0 \\surface area approach harbour [m²]
 HV = 2.36 \\initial water level approach harbour [mCD]

Time table

HF = [0.0 4.40
 900.0 4.40] \\water level approach harbour as function of time; time [s], water level [mCD]

LOCK CHAMBER

HK = -1.23 \\initial water level lock chamber [mCD]
 RHOK = 1025 \\water density lock chamber [kg/m³]
 LK = 550.0 \\length lock chamber [m]
 BK = 91.0 \\width lock chamber [m]
 ZK = -29.0 \\level lock chamber bottom [mCD]
 KI = 0.005 \\Nikuradse roughness lock chamber walls and bottom [m]

FILLING AND EMPTYING SYSTEM

SYSTYPE = 1 \\levelling system type; 1: gate openings, 2: culverts with stilling chamber, 3: vertical slit, 4: butterfly valves, 5: shutter slides, 6: lift gate

1: gate openings

ZHMAXD = 3.00 \\maximum height of opening [m]
 VHD = [0.0 0.0031
 900.0 0.0031] \\lift velocities sluice gates as function of time; time [s], lift velocity [m/s]
 BH = [0.0 60
 1.0 55] \\total width of all combined gate openings as function of relative lift height; relative lift height [-], width gate openings [m]
 MUH = [0.0 0.70
 1.0 0.65] \\discharge coefficient as function of relative lift height; relative lift height [-], discharge coefficient [-]

1: gate openings or 4: butterfly valves

ALFA = 0.0 \\angle of filling jet with horizontal [°]

ABB = 144.0 \\surface area of filling jet behind breaking bars [m²]

ZG = -14.7 \\level of top of filling jet behind breaking bars [mCD]

SHIP

MS = 2e8 \\ship mass [kg]

LS = 400.0 \\ship length [m]

BS = 61.0 \\ship breadth [m]

TS = 15.0 \\ship draft [m]

KII = 0.005 \\Nikuradse roughness ship hull [m]

XS = 75 \\distance between bow and lock gate [m]

BETA = 63 \\bow angle in vertical plane [°]

GAMMA = 30 \\bow angle in horizontal plane [°]

MODE

PROMILLAGE = 0 \\calculate lift velocity using a maximum permillage; 0: no, 1: yes

BODEM_V = 0 \\calculate bottom velocities; 0: no, 1: yes

Calculate lift velocity

PROM = 0.8 \\specified maximum permillage [‰]

Calculate bottom velocities

XF = 0.0 \\start position of filling jet with respect to the downstream side of the gate [m]

DXF = 3.5 \\distance between output locations [m]

ALFF = 0.0 \\angle of filling jet with horizontal (+ is upwards) [°]

BREEKB = 1 \\breaking bars at downstream side of gates; 0: no, 1: yes

Without breaking bars

ZHI = -29 \\level underside of gate opening [mCD]

With breaking bars

DFB = 3.0 \\height filling jet [m]

BFB = 2.5 \\width filling jet [m]

ZF = -17.7 \\level underside of filling jet [mCD]

When emptying

ZV = -29 \\level of approach harbour bottom [mCD]

SIMULATION PARAMETERS

TEND = 900 \\end time of calculation [s]

DT = 1 \\time step [s]

C1 = 0.90 \\coefficient pressure build up at bow [-]

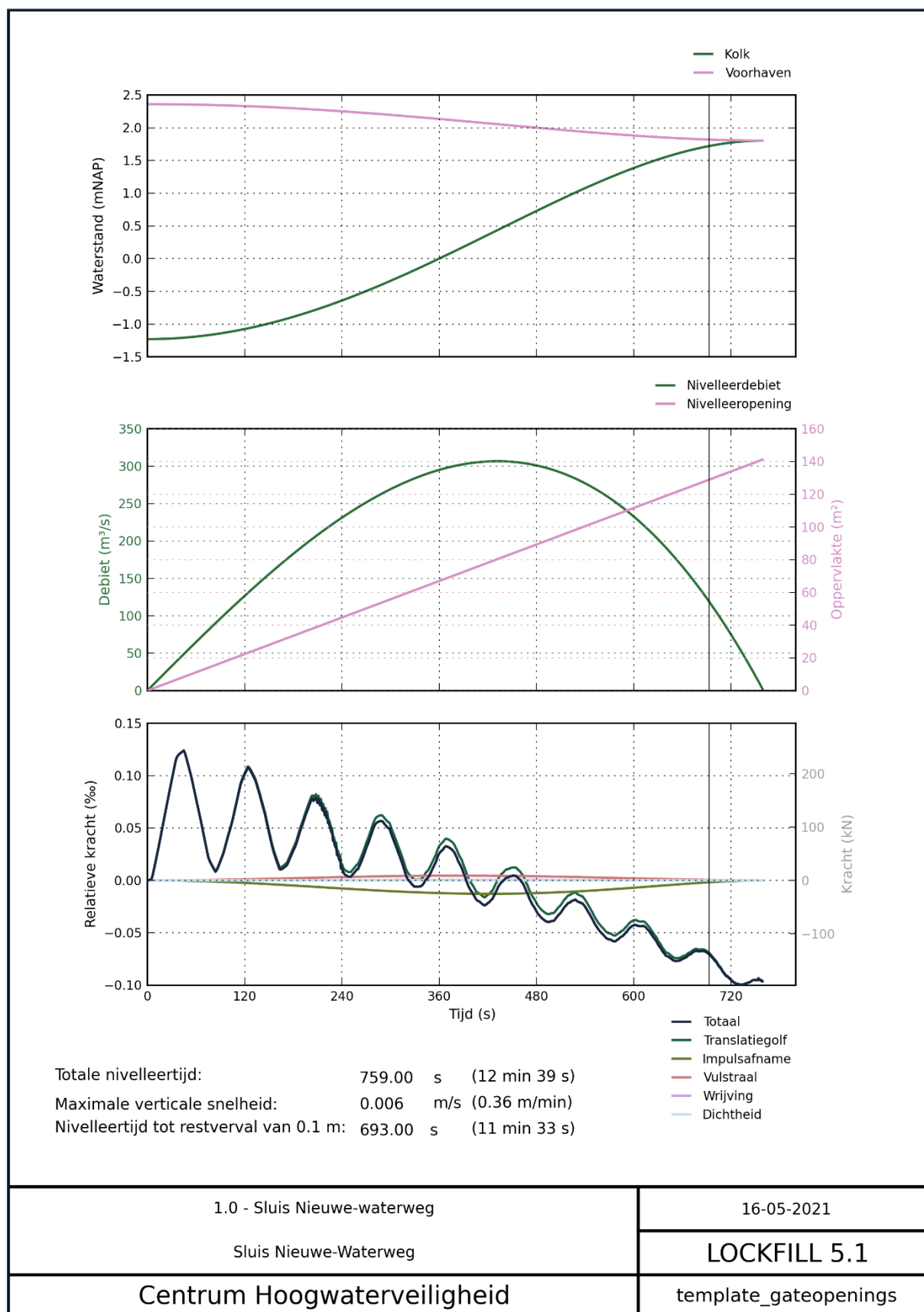
C3 = 0.90 \\coefficient boundary layer development due to the flow profile at the stern [-]

Density difference

CIC = 0.42 \\coefficient for density wave velocity [-]; recommended to use 0.42 for a fresh lock chamber/salt approach harbour and 0.46 for a salt lock chamber/fresh approach harbour

MENG = 0.80 \\mixture coefficient for fresh and salt water in mixing zone [-]

PI = 1.00 \\impuls coefficient to account for deviation from uniform flow [-]



FIGUUR 8 UITVOER LOCKFILL

TOEGEPASTE PROFIELEN HANDBEREKENING

TOEGEPASTE PLAAT EN PROFIELEN

HUIDPLAAT

De maximale kracht op de onderste regel van de sluisdeur komt grotendeels voort uit een combinatie van de hydrostatische waterdruk en de quasi-statische windgolfdrukbelasting op de constructie. Deze bedraagt 413,32 kN/m². T-profielen zullen op 0,47 meter afstand h.o.h. de huidplaat ondersteunen.

Moment

$$\frac{1}{8} * q * l^2 = \frac{1}{8} * 413,32 * 0,47^2 = 11,41 \text{ kNm}$$

Dwarskracht

$$V_{\max} = \frac{1}{2} * q * l = \frac{1}{2} * 413,32 * 0,47 = 97,13 \text{ kN}$$

Bepalen benodigde dikte huidplaat

$$t_{\max} = \frac{355}{\sqrt{3}}$$

$$A = \frac{V_{\max}}{t_{\max}} = \frac{97,13 * 10^3}{\frac{355}{\sqrt{3}}} = 386,94 \text{ mm}^2$$

$$w = \frac{M_{\max}}{f_{\max}} = \frac{11,41 * 10^6}{355} = 32140,84 \text{ mm}^3$$

Het weerstandsmoment van de plaat is:

$$w = \frac{1}{6} * b * h^2$$

$$82281,69 = \frac{1}{6} * 1000 * h^2$$

$$493,69 = h^2$$

$$h = 22,21 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm}$$

$$A = 25 * 1000 = 25000 \text{ mm}^2$$

$$25000 \text{ mm}^2 > 758,2 \text{ mm}^2$$

De benodigde plaatdikte bedraagt minimaal 25 mm te zijn.

DOORBUIGING HUIDPLAAT

$$q = 413,32 \text{ kN/m} = 413,32 \text{ N/mm}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 25^3 = 1,302,083 \text{ mm}^4$$

$$\text{Doorbuiging} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E I} = \frac{5 \cdot 413,32 \cdot 752^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1302083} = 6,29 \text{ mm}$$

TOETSING HUIDPLAAT MET MODEL

Voor de handberekening is de plaat geschematiseerd als een ligger op twee starre steunpunten. De plaat is namelijk vast gelast. De q_{res} komt voort uit de vervalbelasting. Het maximale verval is aan de zeekant $413,32 \text{ kN/m}^2$ en aan de waterkant $306,9 \text{ kN/m}^2$. De vervalbelasting $q_{\text{res}} = 106,42 \text{ kN/m}^2$

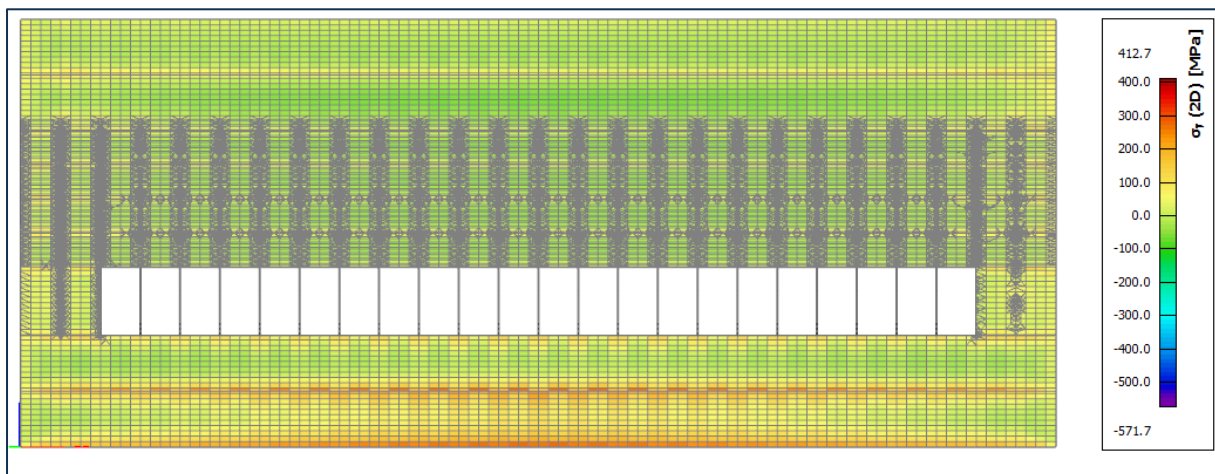
$$\text{Het moment in de plaat} = \frac{1}{12} \cdot q \cdot l^2 = 1,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Weerstandmoment plaat} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 1/6 \cdot 1 \cdot 0,045 = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\text{Spanning lokaal plaat} = \sigma_{\text{plaat}} = \frac{M}{W} = \frac{1,96 \cdot 10^6}{3,38 \cdot 10^5} = 5,8 \text{ N/mm}^2$$

HANDBEREKENING VERGELEKEN MET SCIA-MODEL

De spanningen met vergeleken met het model zijn min of meer gelijk. Enkel verschil zou kunnen liggen aan het feit dat in het model tevens met schuifspanningen rekening wordt gehouden en de krachtsafdracht naar de omliggende elementen en oplettingen in het model.



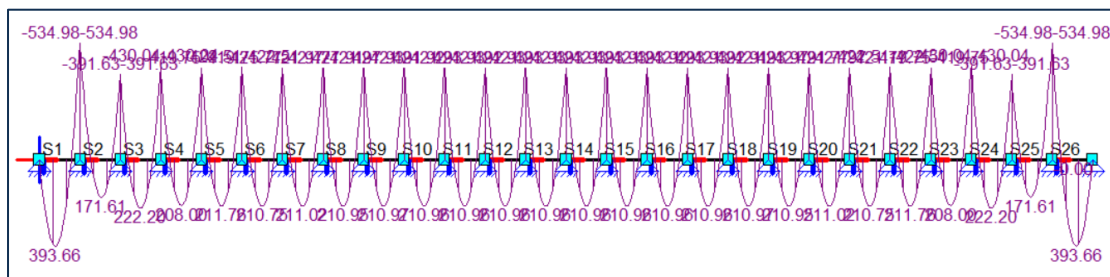
FIGUUR 9 SPANNINGEN BELASTINGCOMBINATIE 1

HORIZONTALE LIGGER

De horizontale liggers zijn berekend met behulp van het programma MatrixFrame. Hierbij is een h.o.h. afstand van 3,5 m ingevoerd over een totale breedte van 91 m. De maatgevende horizontale ligger bevindt zich onderaan de constructie. Deze ligger neemt de meeste hydrostatische waterdruk op.

Moment

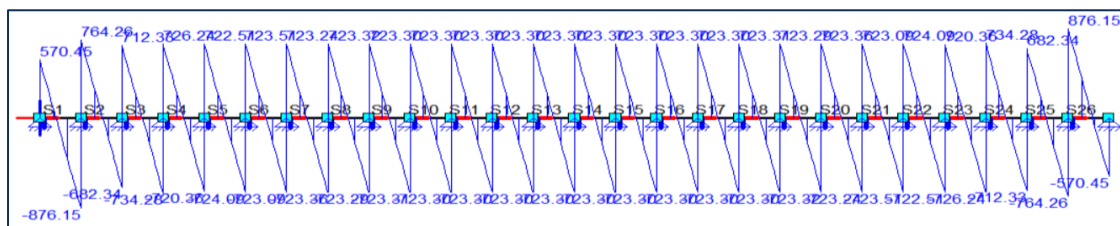
$$M_{\max} = 534,98 \text{ kN/m} = 543980000 \text{ N/mm}$$



FIGUUR 10 MOMENTEN HORIZONTALLE LIGGER

Dwarskracht

$$V_{\max} = 876,15 \text{ kN} = 876150 \text{ N}$$



FIGUUR 11 DWARSKRACHT HORIZONTALE LIGGERS

Benodigd profiel

$$f_{\max} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$t_{\max} = \frac{355}{\sqrt{3}}$$

$$A = \frac{V_{max}}{t_{max}} = \frac{876,15 \cdot 10^3}{\frac{355}{\sqrt{3}}} = 4274,75 \text{ mm}^2$$

$$w = \frac{M_{max}}{f_{max}} = \frac{534,98 \cdot 10^6}{355} = 1506,99 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \rightarrow \text{toegepast profiel} = \text{HEA 800}$$

$$w_{v,el} = 1506,99 * 10^3 \text{ mm}^3 < 7680 * 10^3 \text{ mm}^3, \text{ dus voldoet.}$$

DOORBUIGING HORIZONTALE LIGGER

$$q = 393,66 \text{ kN/m} = 393,66 \text{ N/mm}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

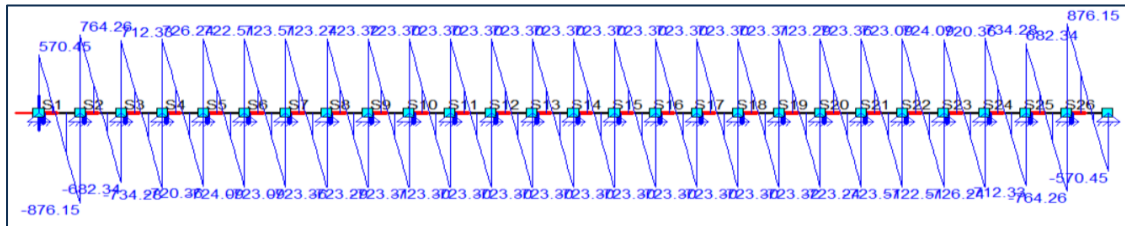
$$I_y = 33090 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$\text{Doorbuiging} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI} = \frac{5 \cdot 393,66 \cdot 3500^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 33090 \cdot 10^4} = 1,64 \text{ mm}$$

VERBINDENDE LIGGER

Het benodigde profiel voor de verbindende ligger tussen de twee huidplaten wordt bepaald met de normaalkracht dat door de ligger loopt afkomstig van de hydrostatische waterdruk. Deze kracht werkt als druk dat evenwijdig aan de ligger werkt. Voor de bepaling van het profiel is de normaal kracht benodigd die berekent is uit MatrixFrame. De dwarskracht op de buitenste liggers geldt als normaalkracht voor de verbindingsregels aan beide zijde van de sluisdeur.

Normaalkracht



FIGUUR 12 NORMAALKRACHT

Benodigd profiel

$$N_{\max} = 876,15 \text{ kN}$$

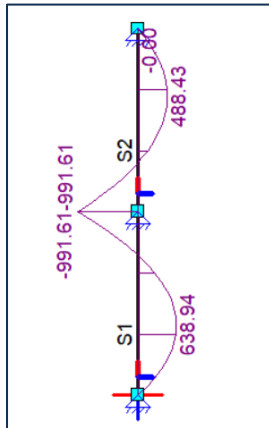
$$f_{\max} = 355 \text{ N/m}^2$$

$$A = \frac{876,15 \cdot 10^3}{355} = 2468 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{toegepast profiel} = \text{HEA 800}$$

VERTECALE LIGGER

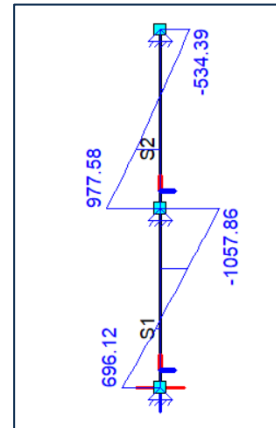
Het benodigde profiel voor de verticale liggers is tevens bepaald met behulp van het programma MatrixFrame. De externe belasting op de verticale liggers bestaat uit de hydrostatische waterdruk en de quasi-statische windgolfbelasting.

Moment



FIGUUR 13 MOMENT VERTICALE LIGGER

Dwarskracht



FIGUUR 14 DWARSKRACHT VERTICALE LIGGER

Benodigd profiel

$$f_{\max} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$t_{\max} = \frac{355}{\sqrt{3}}$$

$$A = \frac{V_{\max}}{t_{\max}} = \frac{1057,86 \cdot 10^3}{\frac{355}{\sqrt{3}}} = 5161,32 \text{ mm}^2$$

$$W = \frac{M_{\max}}{f_{\max}} = \frac{991,61 \cdot 10^6}{355} = 2793,27 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \rightarrow \text{toegepast profiel} = \text{HEA1000}$$

$$W_{y,el} = 2793,27 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 < 11190 \cdot 10^3 \text{ mm}^3, \text{ dus voldoet.}$$

$$q = 991,61 \text{ kN/m} = 991,61 \text{ N/mm}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$I_y = 553846 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$\text{Doorbuiging} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 991,61 \cdot 3500^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 553846 \cdot 10^4} = 1,67 \text{ mm}$$

BIJLAGE I INTERVIEW D. EGAS

VRAAG D. FERRARA

Nu heb ik voor mijn roldeur als uitvoering gekeken naar de pneumatische caissonmethode. Echter blijkt deze methode, als ik het goed begrepen heb, naar uw inzien wat uitdagingen/valkuilen te hebben gezien het gewicht om de caisson te laten zakken. Zou u misschien nogmaals concreter kort kunnen beschrijven waarom u denkt wat deze uitvoering het lastig maakt.

ANTWOORD D. EGAS

Bij de drempel ontstaan 2 problemen als je deze wil afzinken:

- Als de drempel wordt afgezonken, ontstaat boven de drempel een sleuf. Deze stort in. Hierdoor zal de drempel ongecontroleerd zakken, en is de drempel niet meer toegankelijk voor afzinkerelateerde werkzaamheden. Daarnaast is dit een te groot veiligheidsrisico.
- Als je daar maatregelen voor zou treffen: doordat de luchtdruk steeds hoger wordt bij het toenemen van de diepte zal de drempel steeds minder zakken. Sterker nog bij een diepte van 10 meter is de opwaartse kracht 100 kN/m^2 door de luchtdruk, terwijl de neerwaartse kracht vanuit de drempel = $4 \text{ m (hoogte drempel)} * 25 \text{ kn/m}^3 \text{ (s.m. beton)} = 100 \text{ kN/m}^2$

BIJLAGE J SCIA UITKOMSTEN

PROFIELEN

KOLOMMEN EN VERTICAAL VAKWERK ONDER CONSTRUCTIE

Voor de kolommen zijn HEA1000 profielen toegepast. Verder is dit profiel ook gebruikt voor het verticale vakwerk onder de constructie.

Type	HEA1000	
Bron omschrijving	Profil Arbed / Structural shapes / Edition Octobre 1995	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	gewalst	
Knik y-y	a	
Knik z-z	b	
Kip	Standaard	
Pas 2D EEM analyse toe	x	
		
A [m ²]	3,4700e-02	
A _y , z [m ²]	1,8900e-02	1,6433e-02
I _y , z [m ⁴]	5,5400e-03	1,4000e-04
I _w [m ⁴], t [m ⁴]	3,2074e-05	8,2200e-06
W _a y, z [m ³]	1,1200e-02	9,3400e-04
W _a y, z [m ³]	1,2833e-02	1,4708e-03
d y, z [mm]	0	0
c YUCS, ZUCS [mm]	150	495
α [deg]	0,00	
A _L , D [m ² /m]	3,1000e+00	3,0953e+00
M _{ply} +, - [Nm]	4,55e+06	4,55e+06
M _{plz} +, - [Nm]	5,22e+05	5,22e+05

STAVEN VERTICAAL VAKWERK BOVEN CONSTRUCTIE

Voor het verticaal vakwerk aan de bovenkant van de constructie zijn HEA600 profielen toegepast.

Type	HEA600	
Bron omschrijving	Profil Arbed / Structural shapes / Edition Octobre 1995	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	gewalst	
Knik y-y	a	
Knik z-z	b	
Kip	Standaard	
Pas 2D EEM analyse toe	x	

A [m ²]	2,2700e-02	
A _y , z [m ²]	1,4459e-02	7,8448e-03
I _y , z [m ⁴]	1,4100e-03	1,1300e-04
I _w [m ⁴], t [m ⁴]	8,9782e-06	3,9800e-06
W _a y, z [m ³]	4,7900e-03	7,5100e-04
W _a y, z [m ³]	5,3333e-03	1,1542e-03
d y, z [mm]	0	0
c YUCS, ZUCS [mm]	150	295
α [deg]	0,00	
A _L , D [m ² /m]	2,3100e+00	2,3074e+00
M _{ply} +, - [Nm]	1,90e+06	1,90e+06
M _{plz} +, - [Nm]	4,10e+05	4,10e+05

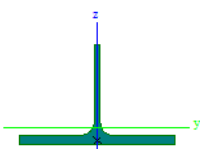
HORizontALE LIGGERS

Voor de horizontale liggers zijn HEA800 profielen toegepast.

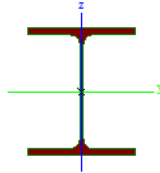
Type	HEA800	
Bron omschrijving	Profil Arbed / Structural shapes / Edition Octobre 1995	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	gewalst	
Knik y-y	a	
Knik z-z	b	
Kip	Standaard	
Pas 2D EEM analyse toe	x	
		
A [m ²]	2,8600e-02	
A _{y, z} [m ³]	1,6483e-02	1,2024e-02
I _{y, z} [m ⁴]	3,0300e-03	1,2600e-04
I _w [m ⁴], t [m ⁴]	1,8290e-05	5,9700e-06
W _{s y, z} [m ³]	7,6800e-03	8,4300e-04
W _{a y, z} [m ³]	8,7083e-03	1,3125e-03
d _{y, z} [mm]	0	0
c YUCS, ZUCS [mm]	150	395
α [deg]	0,00	
A _{L, D} [m ² /m]	2,7000e+00	2,6983e+00
M _{ply} +, - [Nm]	3,09e+06	3,09e+06
M _{plz} +, - [Nm]	4,66e+05	4,66e+05

VERSTIJVERS HUIDPLAAT EN DRIJKIST

Voor de verstijvingen van de huidplaat en drijfkisten zijn HEAT400 t-profielen toegepast.

Type	HEAT400	
Bron omschrijving	Staalprofielen / deel 5 (Over)spannend staal / SG 1998	
Onderdeelmateriaal	S 355	
Bouwwijze	gewalst	
Knik y-y	c	
Knik z-z	c	
Kip	Standaard	
Pas 2D EEM analyse toe	x	
		
A [m ⁵]	7,9490e-03	
A _{y, z} [m ²]	5,5032e-03	2,2131e-03
I _{y, z} [m ⁴]	1,8950e-05	4,2830e-05
I _w [m ⁴], t [m ⁴]	1,5709e-39	7,6820e-07
W _{pl} y, z [m ³]	1,1760e-04	2,8550e-04
W _{el} y, z [m ³]	2,1650e-04	4,3640e-04
d _{y, z} [mm]	0	-24
e YUCS, ZUCS [mm]	150	34
α [deg]	0,00	
A _{L, D} [m ² /m]	9,6700e-01	9,6672e-01
M _{pl} +, - [Nm]	7,69e+04	7,69e+04
M _{pl} +, - [Nm]	1,55e+05	1,55e+05

ONDERSTEUNENDE LIGGERS ONDER HORIZONTALE PLAAT

Type	HEA360		
Bron omschrijving	Profil Arbed / Structural shapes / Edition Octobre 1995		
Onderdeelmateriaal	S 355		
Bouwwijze	gewalst		
Knik y-y	b		
Knik z-z	c		
Kip	Standaard		
Pas 2D EEM analyse toe	x		
			
A [m ²]	1,4300e-02		
A _{y, z} [m ²]	1,0125e-02		3,6844e-03
I _{y, z} [m ⁴]	3,3100e-04		7,8900e-05
I _w [m ⁴], I _t [m ⁴]	2,1766e-06		1,4900e-06
W _{el} y, z [m ³]	1,8900e-03		5,2600e-04
W _{pl} y, z [m ³]	2,0875e-03		8,0417e-04
d y, z [mm]	0		0
e YUCS, ZUCS [mm]	150		175
α [deg]	0,00		
A _{L, D} [m ² /m]	1,8300e+00		1,8334e+00
M _{ply} +, - [Nm]	7,42e+05		7,42e+05
M _{plz} +, - [Nm]	2,85e+05		2,85e+05

MATERIAAL

STAAL

Staalkwaliteit	S355
Soortelijk gewicht	7850 kg/m ³
f _y	355 N/mm ²
E _s	210000 N/mm ²

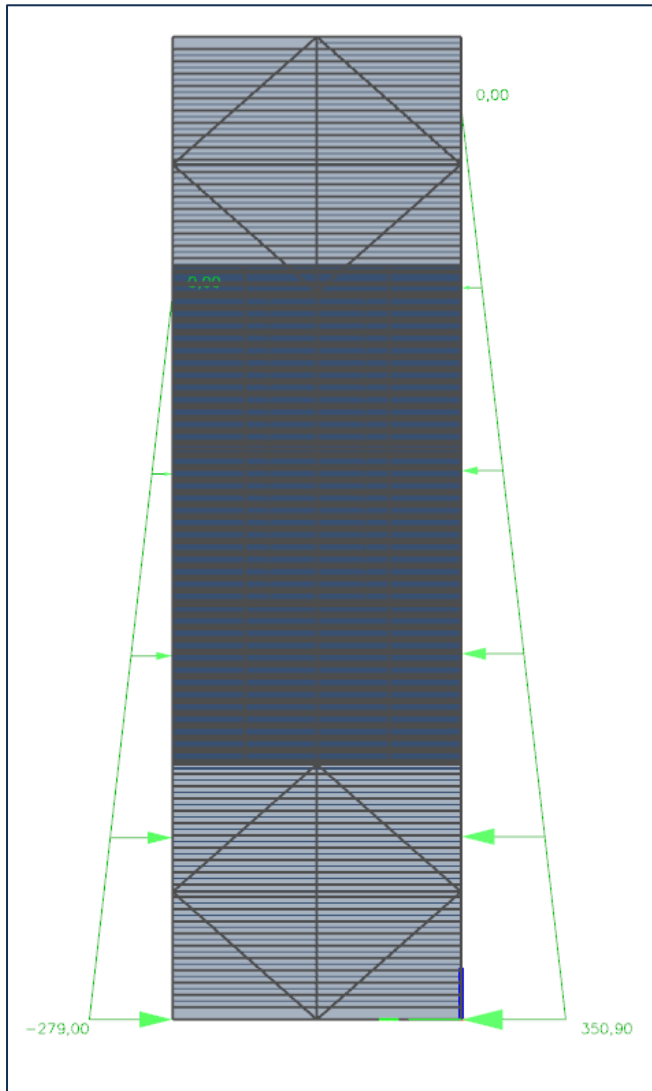
BELASTINGGEVALLEN

Belastingsgevallen					
Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Belastingtype	Richting
Studentenversie *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Stu					
BG1	Eigen gewicht	Permanent	LG1	Eigen gewicht	-Z
BG2	Maximaal positief verval	Permanent	LG1	Standaard	
BG3	Quasi-statische windgolfbelasting	Permanent	LG1	Standaard	
BG4	Opwaartse kracht	Permanent	LG1	Standaard	
BG5	Uitbelasting	Permanent	LG1	Standaard	
BG6	Eigen gewicht schuif	Permanent	LG1	Standaard	
BG7	Maximaal negatief verval	Permanent	LG1	Standaard	
BG8	Aanhangend gewicht	Permanent	LG1	Standaard	
BG10	Aanvaarbelasting - 0,5 m/s	Permanent	LG1	Standaard	
BG9	Maximaal negatief verval tijdens schutten	Permanent	LG1	Standaard	
BG11	Maximaal positief verval tijdens schutten	Permanent	LG1	Standaard	
BG12	Verkeersbelasting	Permanent	LG1	Standaard	

BELASTINGEN IN MODEL

BELASTINGGEVAL BG2: MAXIMAAL POSITIEF VERVAL

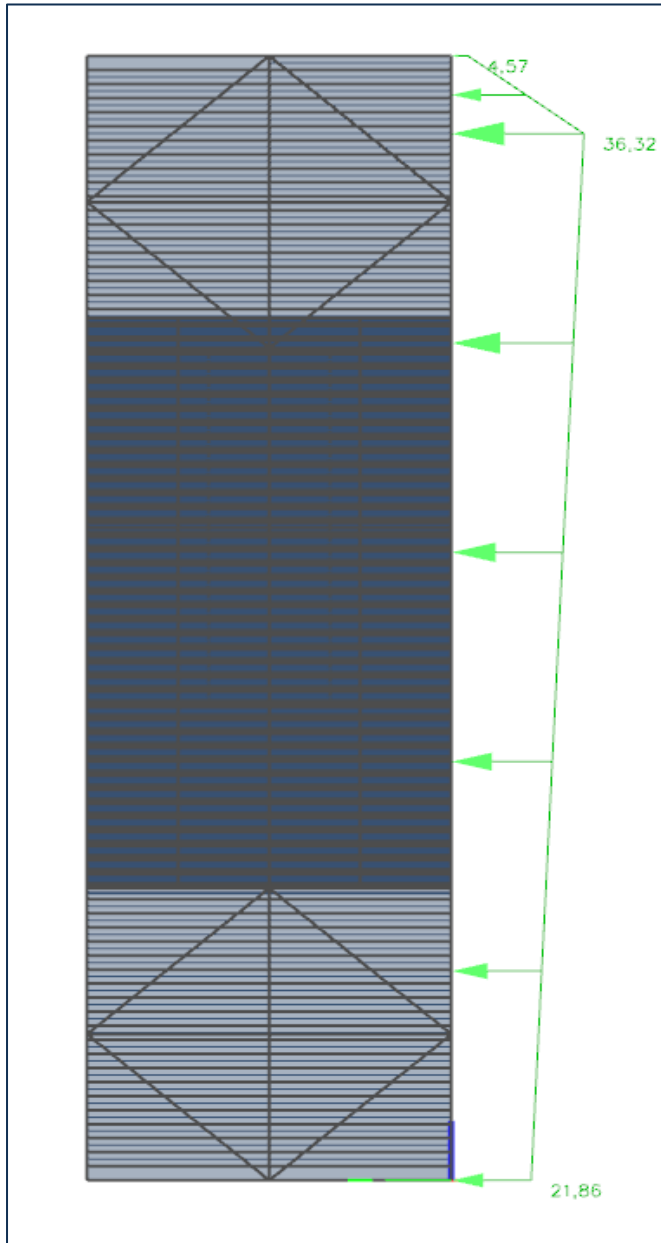
Aan de zeezijde is het maximaal verval 350,9 kN/m². Aan de kanaalzijde is het maximaal verval 279 kN/m².



FIGUUR 15 MAXIMAAL POSITIEF VERVAL

BELASTINGGEVAL BG3: QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING

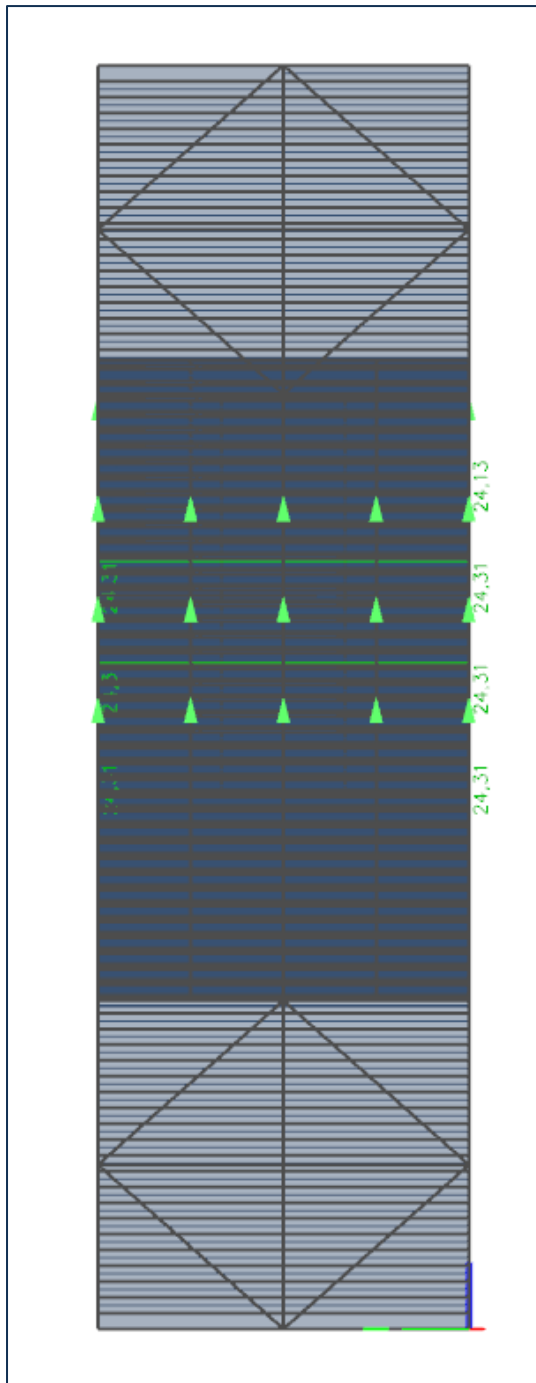
De Quasi-statische windgolfbelasting is bovenaan de constructie maximaal $36,32 \text{ kN/m}^2$. Onderin de constructie is de belasting $21,86 \text{ kN/m}^2$.



FIGUUR 16 QUASI-STATISCHE WINDGOLFBELASTING

BELASTINGGEVAL BG4: OPWAARTSE KRACHT

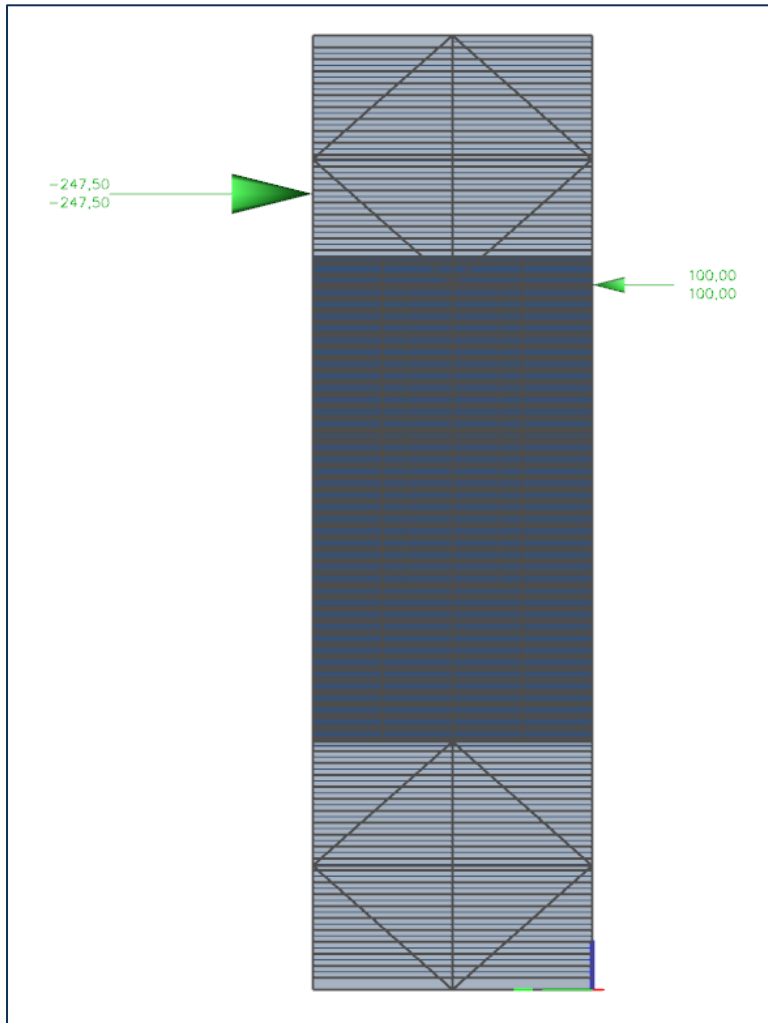
De opwaartse kracht is gelijk aan $24,31 \text{ kN/m}^2$.



FIGUUR 17 OPWAARTSE KRACHT

BELASTINGGEVAL BG5: IJSBELASTING

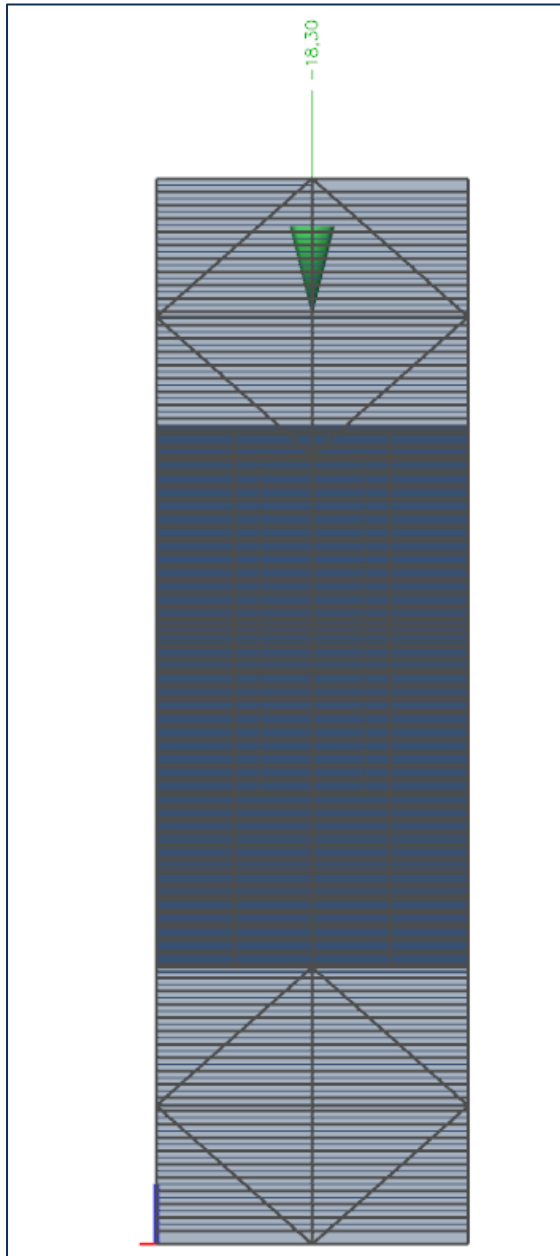
De lijnbelasting aan de zeezijde is 100 kN/m. De lijnbelasting aan de zeezijde is 247,5 kN/m.



FIGUUR 18 IJSBELASTING

BELASTINGGEVAL BG6: EIGEN GEWICHT SCHUIF

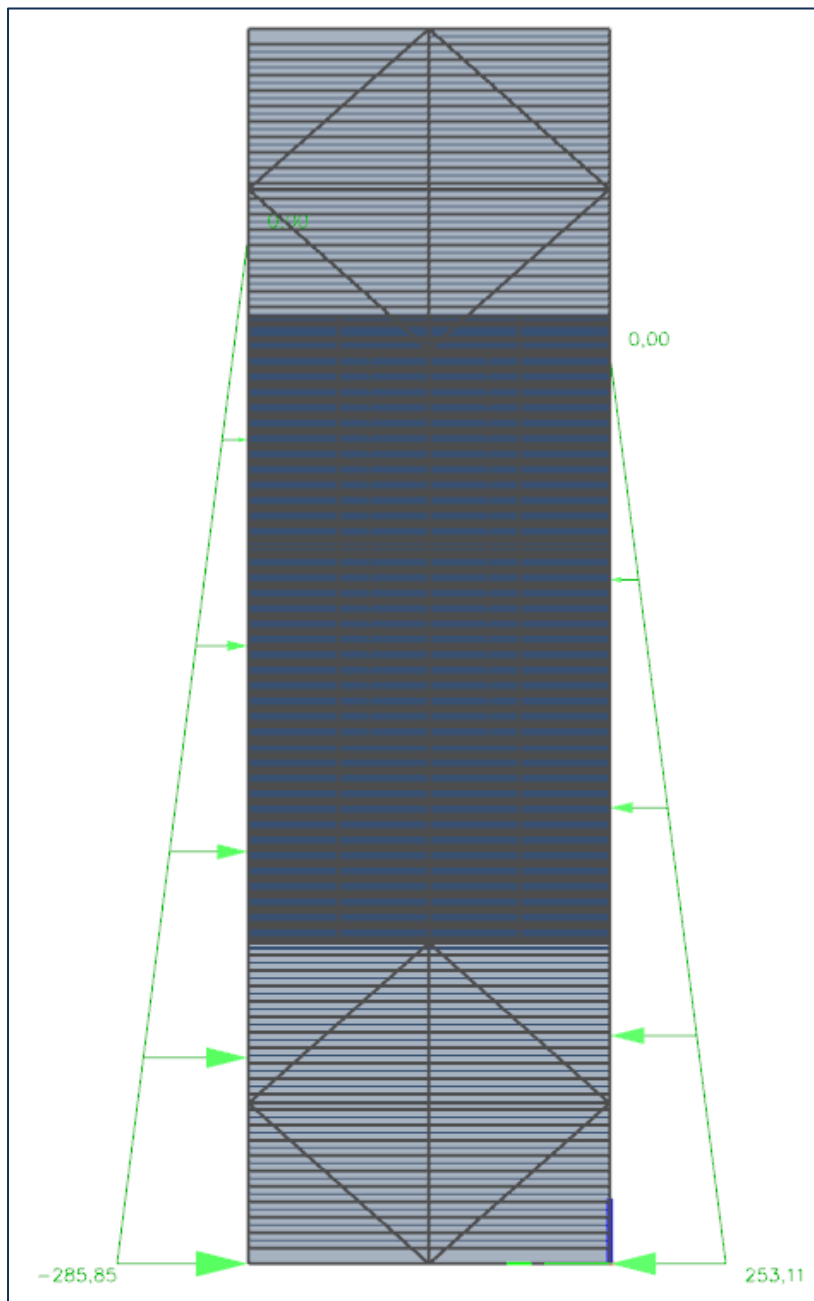
Het eigen gewicht van de schuif bedraagt 18,3 kN. Dit is op een hart op hart afstand van 3,5 m tussen iedere schuif. De schuif hangt aan de bovenste horizontale plaat van de constructie.



FIGUUR 19 EIGEN GEWICHT SCHUIF

BELASTINGGEVAL BG7: MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL

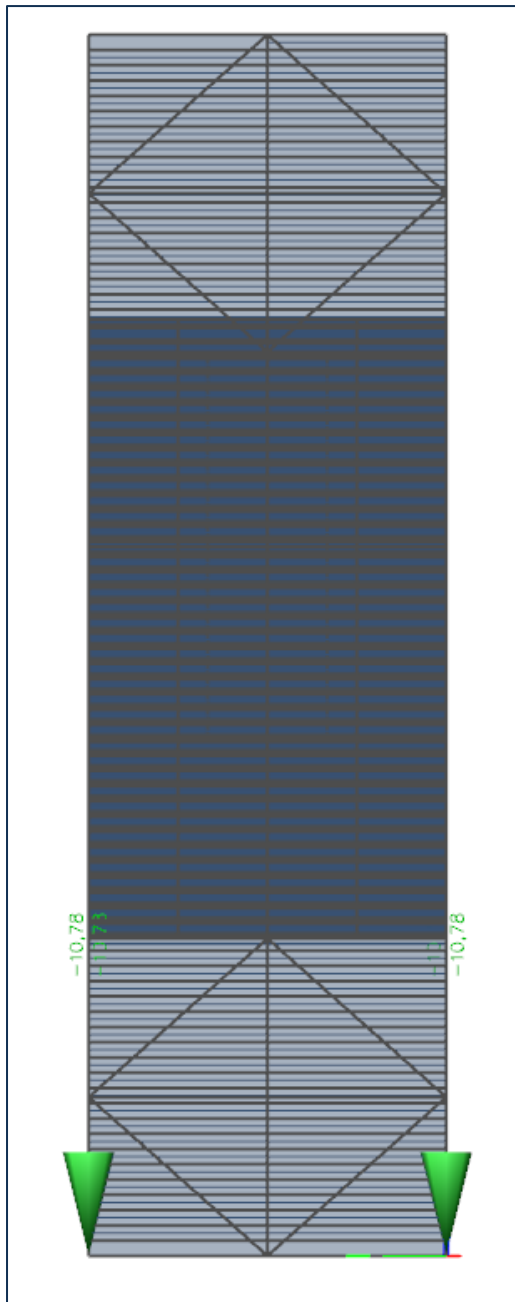
Het maximale negatieve verval van de schuif bedraagt $253,11 \text{ kN/m}^2$ aan de zeezijde en $285,85 \text{ kN/m}^2$ aan de kanaalzijde.



FIGUUR 20 MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL

BELASTINGCOMBINATIE BG8: AANHANGEND GEWICHT

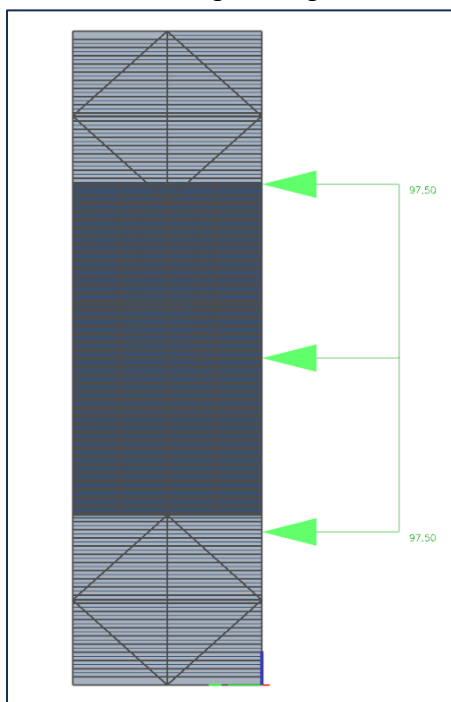
Het aanhangend gewicht is als lijnlast onderaan de constructie gesitueerd en is gelijk aan 10,78 kN/m.



FIGUUR 21 AANHANGEND GEWICHT

BELASTINGGEVAL BG9: AANVAARBELASTING 0,5 M/S

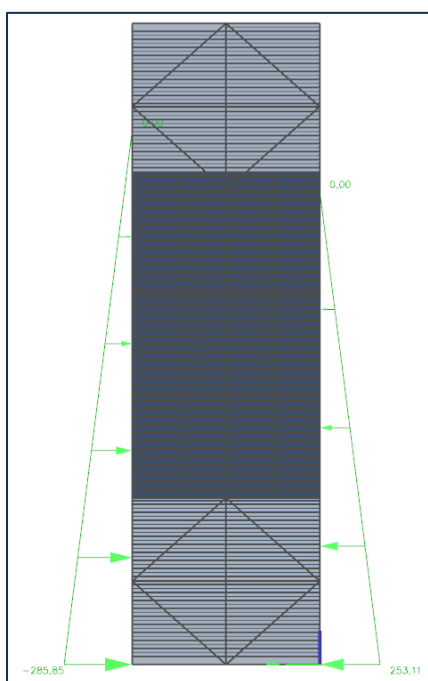
De aanvaarbelasting bedraagt $97,5 \text{ kN/m}^2$ verdeeld over de botsoppervlakte.



FIGUUR 22 AANVAARBELASTING 0,5 M/S

BELASTINGGEVAL BG 10: MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN

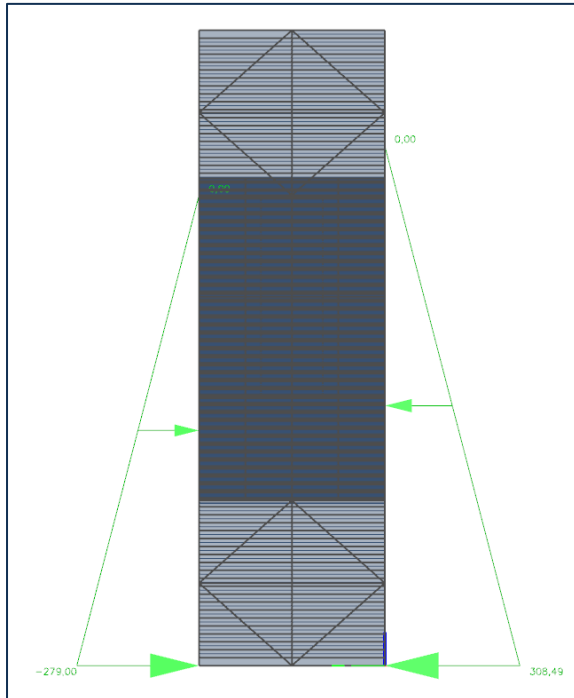
Het maximale negatieve verval aan de zeezijde is $253,11 \text{ kN/m}^2$. Aan de kanaalzijde is de waterstand $285,85 \text{ kN/m}^2$.



FIGUUR 23 MAXIMAAL NEGATIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN

BELASTINGGEVAL BG 11: MAXIMAAL POSITIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN

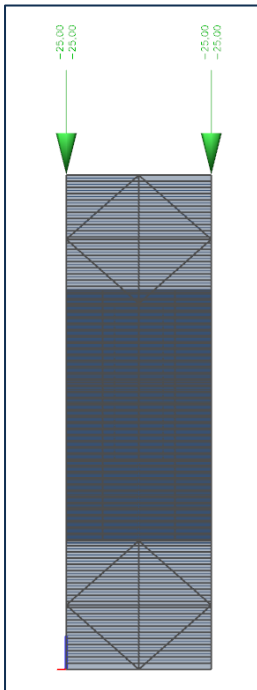
De waterstand aan de zeezijde is 308,49 kN/m². De waterstand aan de kanaalzijde is 279 kN/m².



FIGUUR 24 MAXIMAAL POSITIEF VERVAL TIJDENS SCHUTTEN

BELASTINGGEVAL BG 12: VERKEERSBELASTING

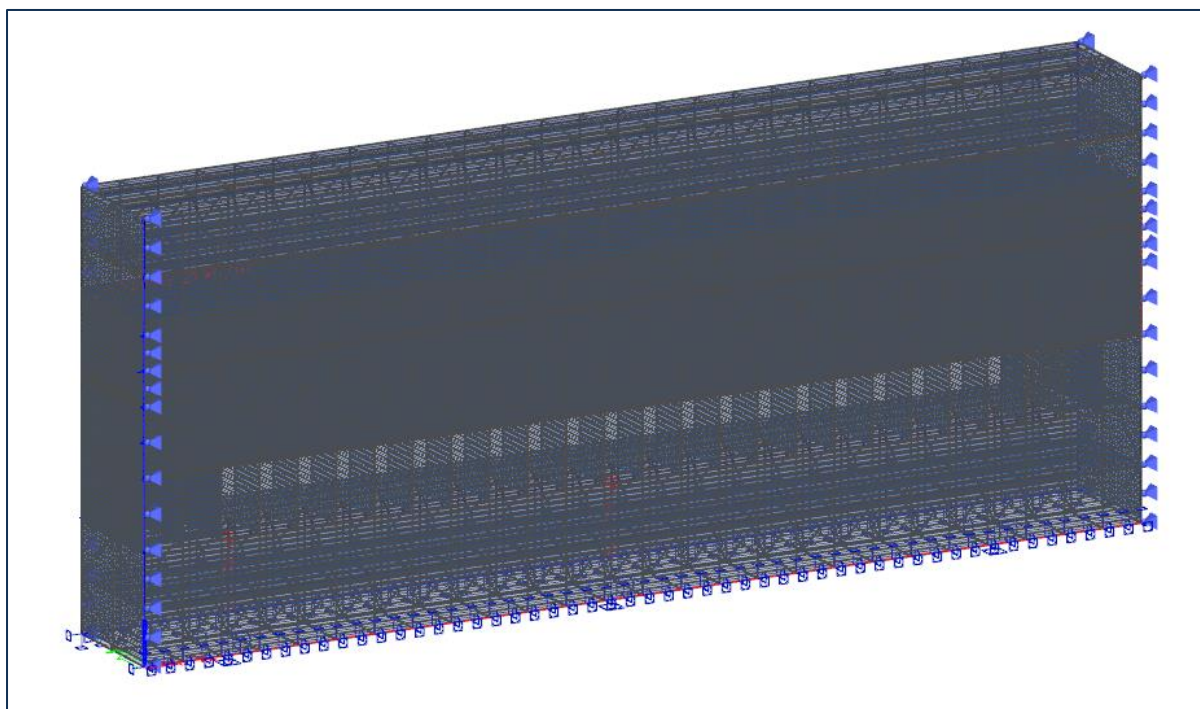
De verkeersbelasting is 25 kN/m gesitueerd aan de bovenkant van de constructie.



FIGUUR 25 VERKEERSBELASTING

OPLEGGINGEN

In het model bevinden zich 6 opleggingen. Hiervan bevinden zich 4 opleggingen ter plaatse van de verticale eindaanslagen van de deur. Verder is in het model een lijnoplegging gesitueerd langs de gehele onderzijde van de huidplaten. Deze werken als verende plaat die de belastingen opnemen en vervolgens afgedragen naar de betonnen vloer.



FIGUUR 26 GEMODELLEERDE OPLEGGINGEN

BELASTINGCOMBINATIES

Niet-lineaire combinaties				
Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coeff. []
Studentenversie *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie* *Studentenversie				
BC1	Maximaal verval	Uiterste Grenstoestand	BG1 - Eigen gewicht	1,20
			BG2 - Maximaal positief verval	1,10
			BG3 - Quasi-statische windgolfbelasting	1,25
			BG4 - Opwaartse kracht	0,90
			BG6 - Eigen gewicht schuif	1,20
			BG8 - Aanhangend gewicht	1,20
BC2	Maximaal negatief verval	Uiterste Grenstoestand	BG1 - Eigen gewicht	1,20
			BG4 - Opwaartse kracht	0,90
			BG6 - Eigen gewicht schuif	1,20
			BG7 - Maximaal negatief verval	1,10
			BG8 - Aanhangend gewicht	1,20
BC3	Maximaal positief verval tijdens schutten	Uiterste Grenstoestand	BG1 - Eigen gewicht	1,20
			BG3 - Quasi-statische windgolfbelasting	1,25
			BG4 - Opwaartse kracht	0,90
			BG6 - Eigen gewicht schuif	1,20
			BG8 - Aanhangend gewicht	1,20
			BG11 - Maximaal positief verval tijdens schutten	1,10
			BG12 - Verkeersbelasting	1,50
BC4	Maximaal negatief verval tijdens schutten	Uiterste Grenstoestand	BG1 - Eigen gewicht	1,20
			BG3 - Quasi-statische windgolfbelasting	1,25
			BG4 - Opwaartse kracht	0,90
			BG6 - Eigen gewicht schuif	1,20
			BG8 - Aanhangend gewicht	1,20
			BG9 - Maximaal negatief verval tijdens schutten	1,10
BC6	Aanvaarbelasting - 0,5 m/s	Uiterste Grenstoestand	BG1 - Eigen gewicht	1,00
			BG4 - Opwaartse kracht	1,00
			BG6 - Eigen gewicht schuif	1,00
			BG8 - Aanhangend gewicht	1,00
			BG10 - Aanvaarbelasting - 0,5 m/s	1,00
			BG11 - Maximaal positief verval tijdens schutten	1,00
BC5	IJsbelasting	Uiterste Grenstoestand	BG1 - Eigen gewicht	1,00
			BG4 - Opwaartse kracht	1,00
			BG5 - IJsbelasting	1,00
			BG6 - Eigen gewicht schuif	1,00
			BG8 - Aanhangend gewicht	1,00
			BG11 - Maximaal positief verval tijdens schutten	1,00

FIGUUR 27 BELASTINGCOMBINATIES

RESULTATEN BELASTINGGEVAL 1

REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: schuine steunpunten

TABEL 6 REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN BC1

Naam	dx [m]	Belasting	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	e [mm]
Slb11/S211	6,06	BC1	-7074,33	-11153,18	-16753,15	0	0	0	0
Slb16/S216	4,885	BC1	1715,24	-13473,64	-22539,01	0	0	0	0
Slb72/S13417	3,5	BC1	4,25	9783,54	-706,85	790,26	0,03	1,1	-1118
Slb17/S440	4,885	BC1	-1989,95	-13226,17	-24826,73	0	0	0	0
Slb2/S648	4,885	BC1	-2015,88	-12719,04	23877,84	0	0	0	0
Sle26/E175	0	BC1	-185,03	-348,78	411,93	-33,85	51,17	18,75	-97,1
Sle24/E173	0	BC1	-1548,87	-3042,26	2082,54	877,04	-362,71	-3,83	288,3
Sle21/E170	0	BC1	-2112,05	-5929,09	5073,96	624,62	-540	-1,31	105,3
Sle5/E154	0	BC1	2191,45	-5885,79	5030,88	623,97	562,04	1,36	106
Slb64/S13297	3,5	BC1	-2235,79	5680,98	-5892,96	588,09	-1,39	-569,67	-99,8
Slb80/S13537	3,5	BC1	2236,11	5721,03	-5936,07	587,83	1,38	570,41	-99

INTERNE KRACHTEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

TABEL 7 INTERNE KRACHTEN BC1

Naam	dx [m]	Belasting	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S1055	7,356	BC1	-18254,76	0	241,98	0	1449,95	0,01
S1056	7,356	BC1	18377,05	-0,01	213,34	0	237,19	-0,02
S1469	5,5	BC1	-6150,62	-1147,14	53,74	-3,07	-56,15	-327,19
S661	5,5	BC1	-4055,77	1029,47	1,9	0,3	-9,08	293,69
S451	6,022+	BC1	-2038,05	-105,79	-2240,79	-5,33	-1185,19	-4,05
S627	6,06	BC1	-2338,5	-154,03	2316,82	13,82	1349,27	11,64
S619	0	BC1	-3116,83	9,61	236,95	-28,33	-275,06	87,04
S644	2,970+	BC1	0	-102,62	149,45	20,65	-47,1	36,99
S1056	0	BC1	18361,35	-0,01	231,02	0	-1401,34	0,04
S626	2,635-	BC1	-300,28	-10,24	105,61	-0,05	-3,12	-452,3
S626	4,885	BC1	-1352,53	1026,38	471,56	0,89	445,34	857,37

SPANNINGEN

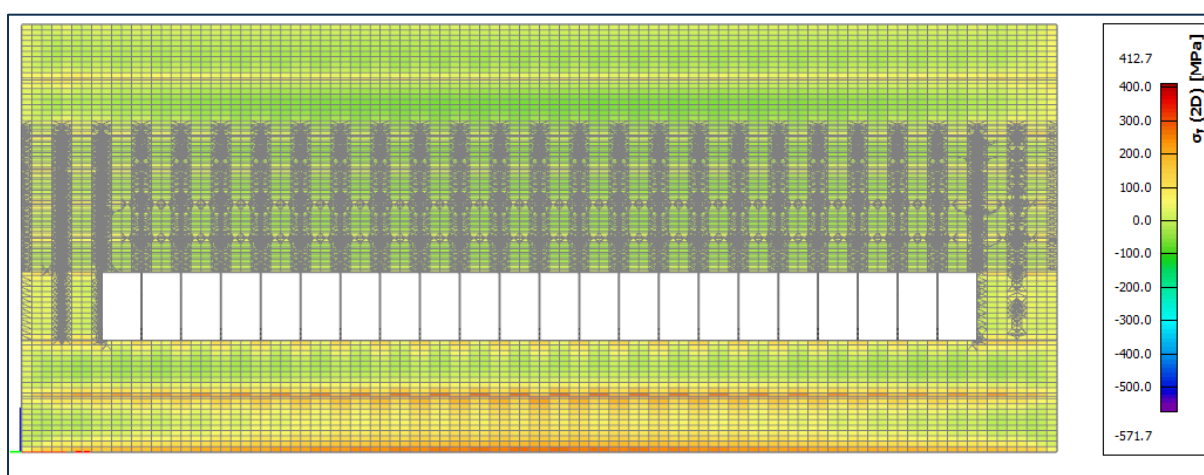
Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

TABEL 8 SPANNINGEN BC1

Naa m	Net	x [m]	y [m]	z [m]	Belast ing	σ_x+ [MPa]	σ_x- [MPa]	σ_y+ [MPa]	σ_y- [MPa]	$\tau_{xy}+$ [MPa]	$\tau_{xy}-$ [MPa]	τ_{xz} [MPa]	τ_{yz} [MPa]
E152	Element: 83689	7,00 4	11	9,76 5	BC1	-536,4	-203,5	-429,3	56,3	-238,4	-37,2	17	32,7
E595	Element: 336641	91	0,04 6	18,8 73	BC1	489,2	206,7	143,3	57	-20,3	11,9	-137,7	-23,9
E569	Element: 267900	0	8,24 4	18,0 19	BC1	398	-555,3	28,7	-32,4	41,5	-29,4	69,6	3,3
E569	Element: 263465	0	2,75 6	18,0 19	BC1	-379,8	525,6	-27,3	35	37	-22,8	67,1	-2,2
E599	Element: 358892	84,0 05	11	9,76 2	BC1	-132,9	-69,3	-571,7	116,2	-169,1	20,8	15,1	36,8
E596	Element: 337942	91	10,8 11	18,8 15	BC1	-141,4	-288	270,7	-310,4	155,2	108,2	-50,7	88,8
E148	Element: 75245	84,0 05	0	9,76 2	BC1	40,7	42,2	-50,2	412,7	-36,6	-5,1	11,8	31,8
E228	Element: 98848	0,67 7	10,5 1	27,8 3	BC1	-133,6	-136,9	-60,5	-56,6	250,3	246,7	0,7	0,4
E333	Element: 117496	90,9 27	10,8 17	24,8 3	BC1	-204,5	-289,3	-274,8	-282,3	-339	-306,8	2,4	3
E228	Element: 98805	0,32 7	10,7 75	27,8 3	BC1	-210,3	-204,4	-119,4	-112,3	250,2	246,8	2,3	-1,1
E596	Element: 338129	91	10,9 54	18,8 73	BC1	-510,9	-200,8	-148,7	-54,1	-19	4,5	-156,9	26,9
E256	Element: 108210	7,00 3	10,9 98	9,77	BC1	-507,6	-406,6	-135,7	2	-36,6	197	144,9	35,3
E571	Element: 278799	7	10,9 85	15,8 12	BC1	88,8	-66,7	-135,3	2,3	-51,5	40,9	50,7	-112
E569	Element: 253167	0	0,18 3	9,77 1	BC1	64,1	77,5	5,5	10,5	-29	29,3	56,9	166,1



FIGUUR 28 3D SPANNINGEN BC1

RESULTATEN BELASTINGGEVAL 2

REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: schuine steunpunten

Naam	Belasting	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	ex [mm]	ey [mm]
Sn1/K770	BC2	-19,3	2732,28	-391,89	-307,24	14,8	6,38	784	-37,8
Sn7/K900	BC2	0	8290,19	-734,59	-880,03	-0,02	0,02	1198	0
Sn6/K1030	BC2	16,52	2817,13	-377,04	-311,81	-20,88	-6,01	827	55,4

TABEL 9 REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN BC 2

INTERNE KRACHTEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naam	dx [m]	Belasting	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	e [mm]
Slb5/S644	0	BC2	-5863,16	3535,63	-5423,83	0	0	0	0
Slb72/S13417	3,5	BC2	-1,08	-2034	230,12	-241	-0,01	-0,26	-1047,2
Slb32/S8	4,885	BC2	-617	3304,54	-5830,09	0	0	0	0
Slb16/S216	4,885	BC2	-539,15	3512,41	6675,63	0	0	0	0
Slb24/E173	0	BC2	489,08	970,14	-706,86	-286,12	114,71	1,37	294,9
Slb85/S13697	3,5	BC2	-47,54	-130,57	125,98	13,06	6,04	13,83	103,7
Slb5/E154	0	BC2	-678,79	1800,62	-1869,8	-182,76	-171,59	-0,43	101,5
Slb21/E170	0	BC2	654,87	1816,75	-1882,81	-182,7	164,91	0,41	100,6
Slb80/S13537	3,5	BC2	-608,96	-1118,6	1809,45	-224,07	-0,37	-158,84	-123,8
Slb64/S13297	3,5	BC2	608,41	-1117,28	1793,37	-223,77	0,37	158,63	-124,8

TABEL 10 INTERNE KRACHTEN BC2

SPANNINGEN

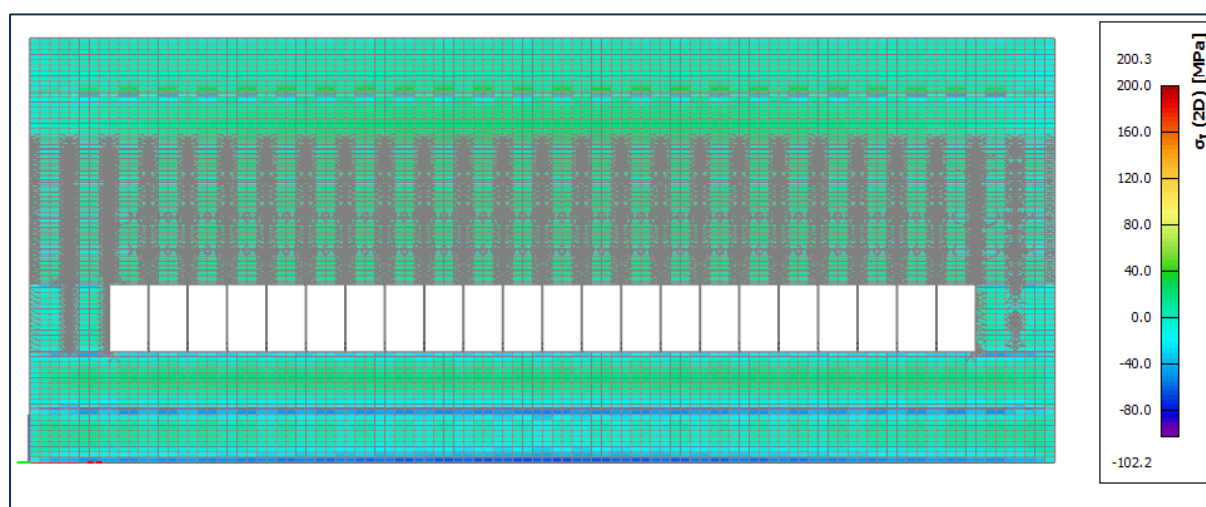
Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naa m	Net	x [m]	y [m]	z [m]	Belast ing	σ_x [MPa]	σ_y [MPa]	σ_z [MPa]	τ_{xy} [MPa]	τ_{yz} [MPa]	τ_{xz} [MPa]	τ_{xy} [MPa]	τ_{yz} [MPa]
E59 5	Element: 336641	91	0,04 6	18,8 73	BC2	-137,5	-59,2	-40,3	-16,5	6,8	-3,2	37,8	5,3
E15 2	Element: 83689	7,00 4	11	9,76 5	BC2	161,5	61,4	151,2	-9,8	83	14,9	-3	-9,7
E56 9	Element: 263465	0	2,75 6	18,0 19	BC2	116,7	-160,5	9,2	-10,1	-13,2	9,3	-20,4	1,1
E59 8	Element: 353710	0	8,24 4	25,5 38	BC2	-115,5	163,9	-7,6	8,8	-5,5	19,5	-20,9	-0,4
E59 6	Element: 337942	91	10,8 11	18,8 15	BC2	42,1	87	-82	93,9	-46,5	-33,8	15,6	-26,6
E59 9	Element: 358892	84,0 05	11	9,76 2	BC2	40,4	20,3	200,3	-28,5	60,1	-5,7	-4,6	-11,4
E14 7	Element: 69611	82,6 88	0	4,79 3	BC2	20,2	-39,7	86,2	-102,2	-6,3	-17,4	0,4	-2,1
E22 8	Element: 98805	0,32 7	10,7 75	27,8 3	BC2	53,3	58	28,9	33,9	-65,2	-69,5	-0,2	0,1
E33 3	Element: 117496	90,9 27	10,8 17	24,8 3	BC2	54,5	85,7	76,5	80,8	94,8	87,2	-0,9	-0,7
E35 7	Element: 121132	0,81 7	10,4 41	24,8 3	BC2	37,3	38,8	6,2	16,9	-59,9	-74,8	-0,7	-1,6
E38 3	Element: 127396	90,9 13	10,8 2	18,8 3	BC2	43,8	36	74,7	71	85,3	88,3	-1,1	1,6
E25 6	Element: 108210	7,00 3	10,9 98	9,77	BC2	159,7	111,8	42,7	-2,9	19,4	-60,8	-58,3	-16,3
E27 7	Element: 109767	83,9 94	10,9 95	9,77	BC2	124,8	29,2	37,6	-22,6	-29,1	57	56,3	-16,6
E56 9	Element: 253167	0	0,18 3	9,77 1	BC2	-19,4	-23,6	-1,8	-3,3	8,7	-8,9	-16,8	-48
E57 1	Element: 278799	7	10,9 85	15,8 12	BC2	-27,8	21,1	45,4	0,6	16,1	-13,2	-16,3	36,1

TABEL 11 SPANNINGEN BC2



FIGUUR 29 3D SPANNINGEN BC2

RESULTATEN BELASTINGGEVAL 3

REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: schuine steunpunten

Naam	Belasting	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	ex [mm]	ey [mm]
Sn7/K900	BC3	0	-16655,21	-589,72	1784,16	0,11	-0,03	-3025,4	-0,2
Sn1/K770	BC3	-18,78	-5337,56	-363,17	603,88	12,21	-12,84	-1662,8	-33,6
Sn6/K1030	BC3	26,01	-5470,51	-423,87	612,57	8,48	12,2	-1445,2	-20

TABEL 12 REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN BC3

INTERNE KRACHTEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naam	dx [m]	Belasting	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S1055	7,356	BC3	-10902,65	0	146,42	0	879,3	0
S1056	7,356	BC3	11025,69	0	118	0	106,18	-0,01
S1469	5,5	BC3	-3737,3	-699,05	31,02	-1,88	-34,06	-199,12
S661	5,5	BC3	-2463,75	626,9	1,07	0,16	-5,05	178,6
S451	6,022+	BC3	-1207,41	-62,21	-1337,28	-3,16	-704,7	-2,19
S627	6,06	BC3	-1389,33	-91,53	1381,85	8,23	801,81	7,05
S619	0	BC3	-1749,6	8,45	140,38	-17,05	-160,47	50,22
S644	2,970+	BC3	0	-60,66	88,71	12,39	-29,02	22,3
S1056	0	BC3	11010	0	135,66	0	-828,19	0,02
S626	2,635-	BC3	-169,82	-5,47	63,2	-0,03	-1,92	-261,95
S626	4,885	BC3	-779,75	590,81	283,37	0,5	267,92	495,39

TABEL 13 INTERNE KRACHTEN BC3

SPANNINGEN

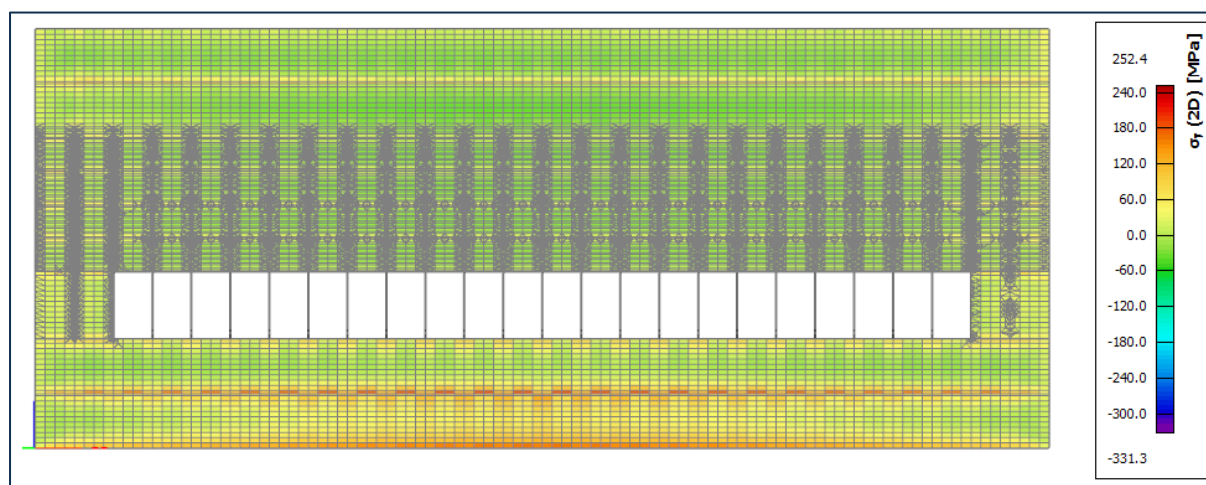
Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naa m	Net	x [m]	y [m]	z [m]	Belast ing	σ_x+ [MPa]	σ_x- [MPa]	σ_y+ [MPa]	σ_y- [MPa]	$\tau_{xy}+$ [MPa]	$\tau_{xy}-$ [MPa]	τ_{xz} [MPa]	τ_{yz} [MPa]
E15 2	Element: 83689	7,00 4	11	9,76 5	BC3	-321,5	-123,3	-249,7	31,9	-139,6	-22,3	11,1	19,7
E59 5	Element: 336641	91	0,04 6	18,8 73	BC3	296	124,7	86,7	34,4	-12	7,3	-83,6	-14,9
E56 9	Element: 267900	0	8,24 4	18,0 19	BC3	241,3	-336,3	17,6	-19,5	25,7	-18,4	42,2	2,1
E59 7	Element: 345604	0	2,75 6	25,5 38	BC3	-218,8	315,5	-15,2	19,5	12,3	-39,6	39,7	-1,3
E59 9	Element: 358892	84,0 05	11	9,76 2	BC3	-78,5	-42,9	-331,3	65,5	-97,5	10,8	9,1	21,8
E59 6	Element: 337942	91	10,8 11	18,8 15	BC3	-84,9	-172,7	162,4	-186,3	93,3	64,6	-30,3	53,3
E14 8	Element: 75245	84,0 05	0	9,76 2	BC3	26	25	-19,5	252,4	-21,1	-2	7,6	19,3
E22 8	Element: 98848	0,67 7	10,5 1	27,8 3	BC3	-81,7	-83,1	-38,1	-33,1	153,3	149,1	0,5	0,1
E33 3	Element: 117496	90,9 27	10,8 17	24,8 3	BC3	-124,8	-174	-166,7	-170,6	-205,6	-185,6	1,4	1,9
E22 8	Element: 98805	0,32 7	10,7 75	27,8 3	BC3	-128,8	-123,8	-74,1	-66,9	152,9	149,6	1,5	-0,8
E59 6	Element: 338129	91	10,9 54	18,8 73	BC3	-306,5	-120,4	-89,2	-32,5	-11,4	2,7	-94,1	16,1
E27 7	Element: 109921	83,9 94	0,00 5	9,77 5	BC3	293,7	127,7	74,4	-8,8	23,9	-106,3	87,1	28,9
E57 1	Element: 278799	7	10,9 85	15,8 12	BC3	53,1	-39,8	-80,5	1,6	-30,9	24,4	30,3	-66,9
E56 9	Element: 253167	0	0,18 3	9,77 1	BC3	38,3	46,3	3,2	6,2	-17,3	17,4	34,2	99,9

TABEL 14 SPANNINGEN BC3



FIGUUR 30 3D SPANNINGEN BC3

RESULTATEN BELASTINGGEVAL 4

REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: schuine steunpunten

Naam	Belasting	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	ex [mm]	ey [mm]
Sn1/K770	BC2	-19,3	2732,28	-391,89	-307,24	14,8	6,38	784	-37,8
Sn7/K900	BC2	0	8290,19	-734,59	-880,03	-0,02	0,02	1198	0
Sn6/K1030	BC2	16,52	2817,13	-377,04	-311,81	-20,88	-6,01	827	55,4

TABEL 15 REACTIEKRACHTEN LIJNOPLEGGINGEN BC4

INTERNE KRACHTEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naam	dx [m]	Belasting	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	e [mm]
Slb5/S644	0	BC2	-5863,16	3535,63	-5423,83	0	0	0	0
Slb72/S13417	3,5	BC2	-1,08	-2034	230,12	-241	-0,01	-0,26	-1047,2
Slb32/S8	4,885	BC2	-617	3304,54	-5830,09	0	0	0	0
Slb16/S216	4,885	BC2	-539,15	3512,41	6675,63	0	0	0	0
Slc24/E173	0	BC2	489,08	970,14	-706,86	-286,12	114,71	1,37	294,9
Slb85/S13697	3,5	BC2	-47,54	-130,57	125,98	13,06	6,04	13,83	103,7
Slc5/E154	0	BC2	-678,79	1800,62	-1869,8	-182,76	-171,59	-0,43	101,5
Slc21/E170	0	BC2	654,87	1816,75	-1882,81	-182,7	164,91	0,41	100,6
Slb80/S13537	3,5	BC2	-608,96	-1118,6	1809,45	-224,07	-0,37	-158,84	-123,8
Slb64/S13297	3,5	BC2	608,41	-1117,28	1793,37	-223,77	0,37	158,63	-124,8

TABEL 16 INTERNE KRACHTEN BC 4

SPANNINGEN

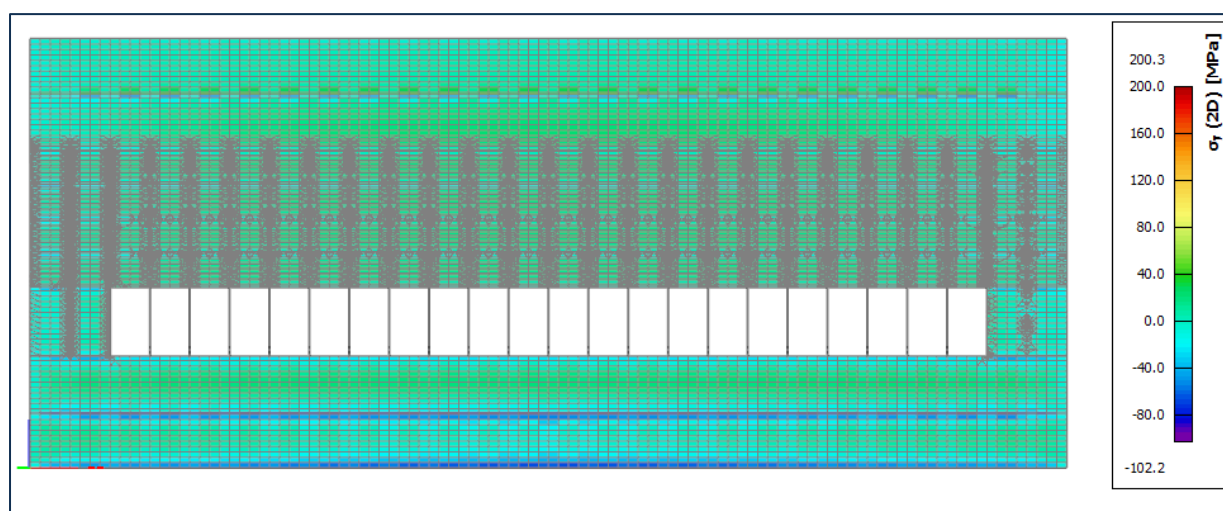
Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naa m	Net	x [m]	y [m]	z [m]	Belast ing	σ_x+ [MPa]	σ_x- [MPa]	σ_y+ [MPa]	σ_y- [MPa]	$\tau_{xy}+$ [MPa]	$\tau_{xy}-$ [MPa]	τ_{xz} [MPa]	τ_{yz} [MPa]
E59 5	Element: 336641	91	0,04 6	18,8 73	BC2	-137,5	-59,2	-40,3	-16,5	6,8	-3,2	37,8	5,3
E15 2	Element: 83689	7,00 4	11	9,76 5	BC2	161,5	61,4	151,2	-9,8	83	14,9	-3	-9,7
E56 9	Element: 263465	0	2,75 6	18,0 19	BC2	116,7	-160,5	9,2	-10,1	-13,2	9,3	-20,4	1,1
E59 8	Element: 353710	0	8,24 4	25,5 38	BC2	-115,5	163,9	-7,6	8,8	-5,5	19,5	-20,9	-0,4
E59 6	Element: 337942	91	10,8 11	18,8 15	BC2	42,1	87	-82	93,9	-46,5	-33,8	15,6	-26,6
E59 9	Element: 358892	84,0 05	11	9,76 2	BC2	40,4	20,3	200,3	-28,5	60,1	-5,7	-4,6	-11,4
E14 7	Element: 69611	82,6 88	0	4,79 3	BC2	20,2	-39,7	86,2	-102,2	-6,3	-17,4	0,4	-2,1
E22 8	Element: 98805	0,32 7	10,7 75	27,8 3	BC2	53,3	58	28,9	33,9	-65,2	-69,5	-0,2	0,1
E33 3	Element: 117496	90,9 27	10,8 17	24,8 3	BC2	54,5	85,7	76,5	80,8	94,8	87,2	-0,9	-0,7
E35 7	Element: 121132	0,81 7	10,4 41	24,8 3	BC2	37,3	38,8	6,2	16,9	-59,9	-74,8	-0,7	-1,6
E38 3	Element: 127396	90,9 13	10,8 2	18,8 3	BC2	43,8	36	74,7	71	85,3	88,3	-1,1	1,6
E25 6	Element: 108210	7,00 3	10,9 98	9,77	BC2	159,7	111,8	42,7	-2,9	19,4	-60,8	-58,3	-16,3
E27 7	Element: 109767	83,9 94	10,9 95	9,77	BC2	124,8	29,2	37,6	-22,6	-29,1	57	56,3	-16,6
E56 9	Element: 253167	0	0,18 3	9,77 1	BC2	-19,4	-23,6	-1,8	-3,3	8,7	-8,9	-16,8	-48
E57 1	Element: 278799	7	10,9 85	15,8 12	BC2	-27,8	21,1	45,4	0,6	16,1	-13,2	-16,3	36,1

TABEL 17 SPANNINGEN BC4



FIGUUR 31 3D SPANNINGEN BC4

RESULTATEN BELASTINGGEVAL 5

REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: schuine steunpunten

Naam	Belasting	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	ex [mm]	ey [mm]
Sn7/K900	BC5	0	-7364,54	-1068	780,99	0,05	-0,01	-731,3	0
Sn6/K1030	BC5	29,47	-2460,31	-624,95	274,72	-10,55	5,42	-439,6	16,9
Sn1/K770	BC5	-26,01	-2411,27	-599,11	270,63	21,24	-5,68	-451,7	-35,5

TABEL 18 REACTIEKRACHTEN LIJNOPLEGGINGEN BC5

INTERNE KRACHTEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naam	dx [m]	Belasting	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S1055	7,356	BC5	-4726,89	0	76,32	0	423,59	0
S1056	7,356	BC5	4975,99	0	33,12	0	-25,69	-0,01
S99	0	BC5	3539,71	-325,24	4,36	0,17	-14,25	27,08
S661	5,5	BC5	-1146,92	284,57	3,08	-0,02	1,39	82,11
S19	6,022+	BC5	674,21	-35,45	589,95	-1,58	336,14	-2,28
S619	0	BC5	-47,01	27,56	53,23	-8,56	-27,17	30,51
S644	2,970+	BC5	0	-13,8	16,27	5,13	-20,94	10,71
S195	6,06	BC5	728,25	-26,01	-634,47	3,4	-394,08	1,3
S631	4,885	BC5	340,53	-290,33	104,24	-1,94	48,57	-447,98
S631	3,190+	BC5	287,7	-16,59	14,18	0,04	-27,91	316,91

TABEL 19 INTERNE KRACHTEN BC5

SPANNINGEN

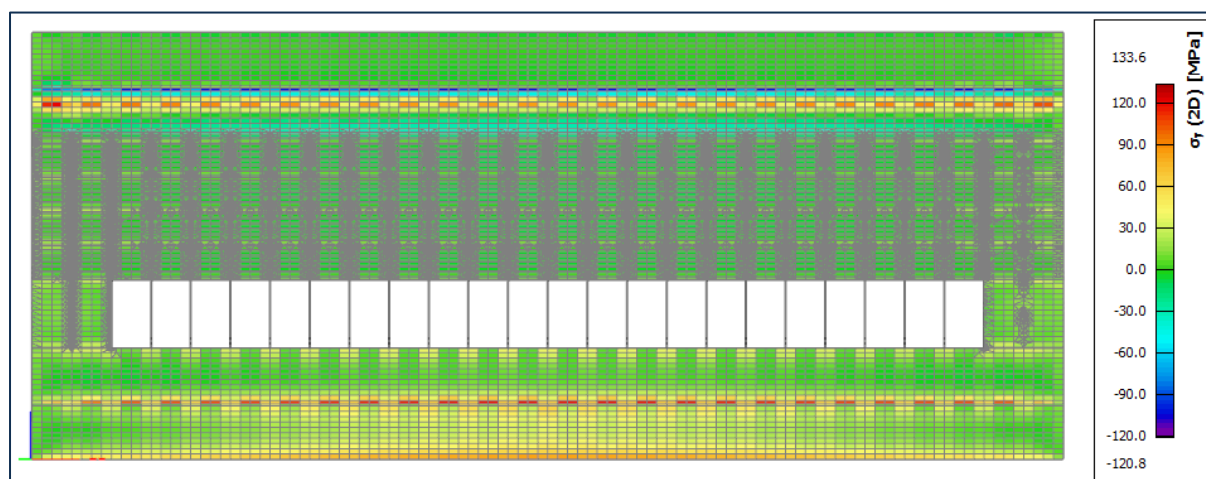
Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naa m	Net	x [m]	y [m]	z [m]	Belast ing	σ_x+ [MPa]	σ_x- [MPa]	σ_y+ [MPa]	σ_y- [MPa]	$\tau_{xy}+$ [MPa]	$\tau_{xy}-$ [MPa]	τ_{xz} [MPa]	τ_{yz} [MPa]
E15 2	Element: 83689	7,00 4	11	9,76 5	BC5	-134,1	-45,9	-84,8	36	-46,1	-1	5,4	8
E56 9	Element: 267900	0	8,24 4	18,0 19	BC5	110,2	-153,1	9	-8,8	13,9	-11	19,1	1,5
E56 9	Element: 263465	0	2,75 6	18,0 19	BC5	-98,6	137,4	-6,3	9,6	8,2	-3,8	17,6	-0,2
E59 9	Element: 358892	84,0 05	11	9,76 2	BC5	-34,7	-14,5	-120,8	55,1	-35,3	11	3,2	9,1
E14 8	Element: 72294	86,1 88	0	32,5 73	BC5	56,6	-7,9	112,5	-104,1	14,1	15,3	0,7	-0,7
E14 7	Element: 72202	82,6 88	0	32,5 73	BC5	49,9	-14,7	109,5	-107,7	15,7	16,2	0,6	-0,9
E14 8	Element: 75245	84,0 05	0	9,76 2	BC5	12,6	10	3,5	133,6	-8,8	3,7	3,6	8,8
E22 8	Element: 98848	0,67 7	10,5 1	27,8 3	BC5	-37,8	-35,2	-18,7	-8,4	72,4	67,6	0,4	-0,1
E33 3	Element: 117496	90,9 27	10,8 17	24,8 3	BC5	-56,5	-72,3	-74,4	-74,3	-89,9	-80,7	0,4	0,8
E22 8	Element: 98805	0,32 7	10,7 75	27,8 3	BC5	-58,2	-53,8	-36,4	-25,4	71,5	68,8	1,4	-0,7
E25 6	Element: 108539	7,00 6	0,00 5	9,77	BC5	138,9	50	33,8	-4,4	-15,2	48	-47,1	16,6
E27 7	Element: 109921	83,9 94	0,00 5	9,77	BC5	140,9	47,1	34,4	-4,2	16,3	-48,4	49,2	17,8
E42	Element: 14649	7	10,9 81	15,5 57	BC5	0,5	-2,3	-4,9	-4,8	-7,4	9,7	-2,9	-23,3
E56 9	Element: 253167	0	0,18 3	9,77 1	BC5	17,3	20,8	1,1	2,6	-7,5	8,1	15,3	45,6

TABEL 20 SPANNINGEN BC5



FIGUUR 32 3D SPANNINGEN BC5

RESULTATEN BELASTINGGEVAL 6

REACTIEKRACHT LIJNOPLEGGINGEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: schuine steunpunten

Naam	Belasting	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	ex [mm]	ey [mm]
Sn7/K900	BC6	0	-19839,97	-997,11	2090,01	0,07	0	-2096,1	-0,1
Sn6/K1030	BC6	33,34	-5122,2	-658,79	585,31	-0,67	13,51	-888,5	1
Sn1/K770	BC6	-24,91	-5049,12	-608,26	582,53	20,67	-14,12	-957,7	-34

TABEL 21 REACTIEKRACHTEN LIJNOPLEGGINGEN BC6

INTERNE KRACHTEN

Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naam	dx [m]	Belasting	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S1055	7,356	BC6	-12953,5	0	171	0	1046,81	0,01
S1056	7,356	BC6	13182,8	0	129,33	0	53,44	-0,02
S99	0	BC6	7585,8	-720,88	13,47	0,72	-40,72	54,79
S661	5,5	BC6	-2082,74	615,09	0,35	0,21	-3,63	164,56
S195	6,06	BC6	1761,74	-46,77	-1642,27	8,78	-951,47	5,9
S627	6,06	BC6	-1532,14	-90,67	1666,41	10,42	884,61	10,54
S619	0	BC6	-995,33	60,23	125,07	-14,81	-173,08	8,38
S644	2,970+	BC6	0	-38,88	70,27	11,65	-41,43	19,42
S1056	0	BC6	13169,73	0	144,06	0	-953,93	0,02
S1469	5,5	BC6	-3089,28	-662,35	26,4	-1,49	-29,11	-180,91
S546	0	BC6	847,8	-129,34	50,3	0,08	-34,02	254,63

TABEL 22 INTERNE KRACHTEN BC6

SPANNINGEN

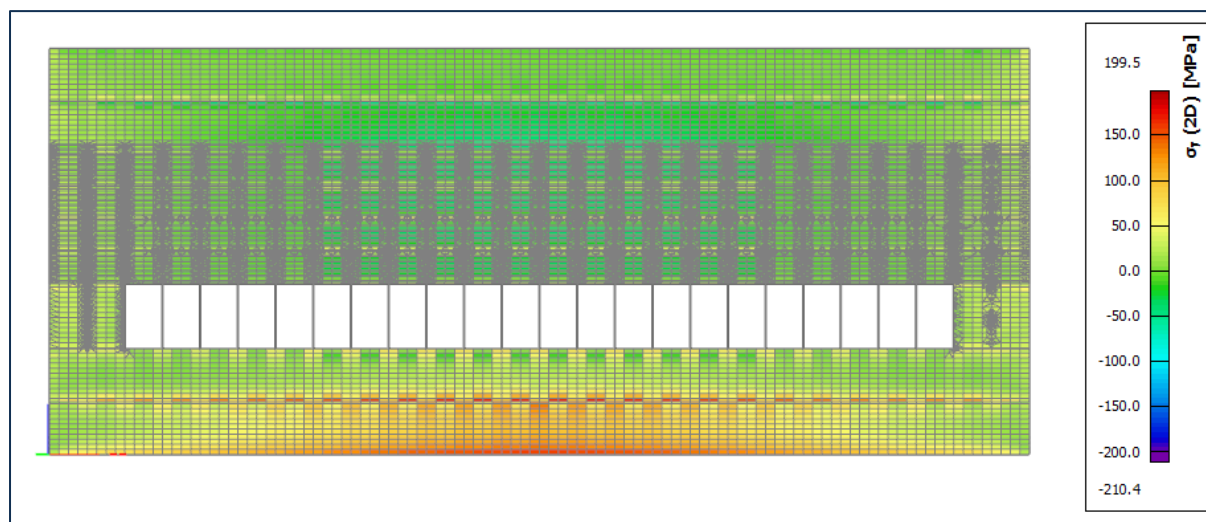
Niet-lineaire berekening

Extreem: globaal

Systeem: hoofd

Naa m	Net	x [m]	y [m]	z [m]	Belast ing	σ_{x+} [MPa]	σ_{x-} [MPa]	σ_{y+} [MPa]	σ_{y-} [MPa]	τ_{xy+} [MPa]	τ_{xy-} [MPa]	τ_{xz} [MPa]	τ_{yz} [MPa]
E15 2	Element: 83689	7,00 4	11	9,76 5	BC6	-352,3	-156,5	-174,9	-0,2	-110	-29,3	28,1	26,1
E28 2	Element: 112190	7,02 3	10,9 81	15,8 3	BC6	-155,1	-312,3	-40,9	-57	54,9	37,8	-45,8	-12
E28 2	Element: 112587	7,02 4	0,01 9	15,8 3	BC6	134,1	276,2	39,3	43,8	47,6	33,4	45,8	-15,5
E59 9	Element: 358892	84,0 05	11	9,76 2	BC6	-83,9	-75	-210,4	-9,8	-57,6	-16,9	14,2	23,1
E42	Element: 14768	7	10,9 95	9,82 4	BC6	104,7	-82,4	181,2	-132,7	80,7	-72,8	21,9	33,7
E59 6	Element: 337942	91	10,8 11	18,8 15	BC6	-61,7	-145,4	148,8	-165,3	85,4	57,6	-29,3	50,8
E14 8	Element: 75245	84,0 05	0	9,76 2	BC6	44,5	48,3	36,2	199,5	-18,7	-16,4	16,5	24,5
E33 3	Element: 117496	90,9 27	10,8 17	24,8 3	BC6	-121	-164,4	-143,1	-146,1	-189,6	-170,8	1,2	1,5
E22 8	Element: 98805	0,32 7	10,7 75	27,8 3	BC6	-131,5	-125	-70,4	-62,2	143,4	139	2,4	-0,8
E59 6	Element: 338129	91	10,9 54	18,8 73	BC6	-268,7	-96,6	-78,5	-26	-11,5	1,1	-89,5	14,4
E27 7	Element: 109921	83,9 94	0,00 5	9,77 5	BC6	341	162,2	76,7	18,6	-0,2	-110,3	85,4	33
E57 1	Element: 278799	7	10,9 85	15,8 12	BC6	55,1	-40,6	-90,5	6,1	-38,4	29,2	31,7	-76,7
E56 9	Element: 253167	0	0,18 3	9,77 1	BC6	32,3	38,3	1,6	4,1	-15,8	16,2	33,3	94

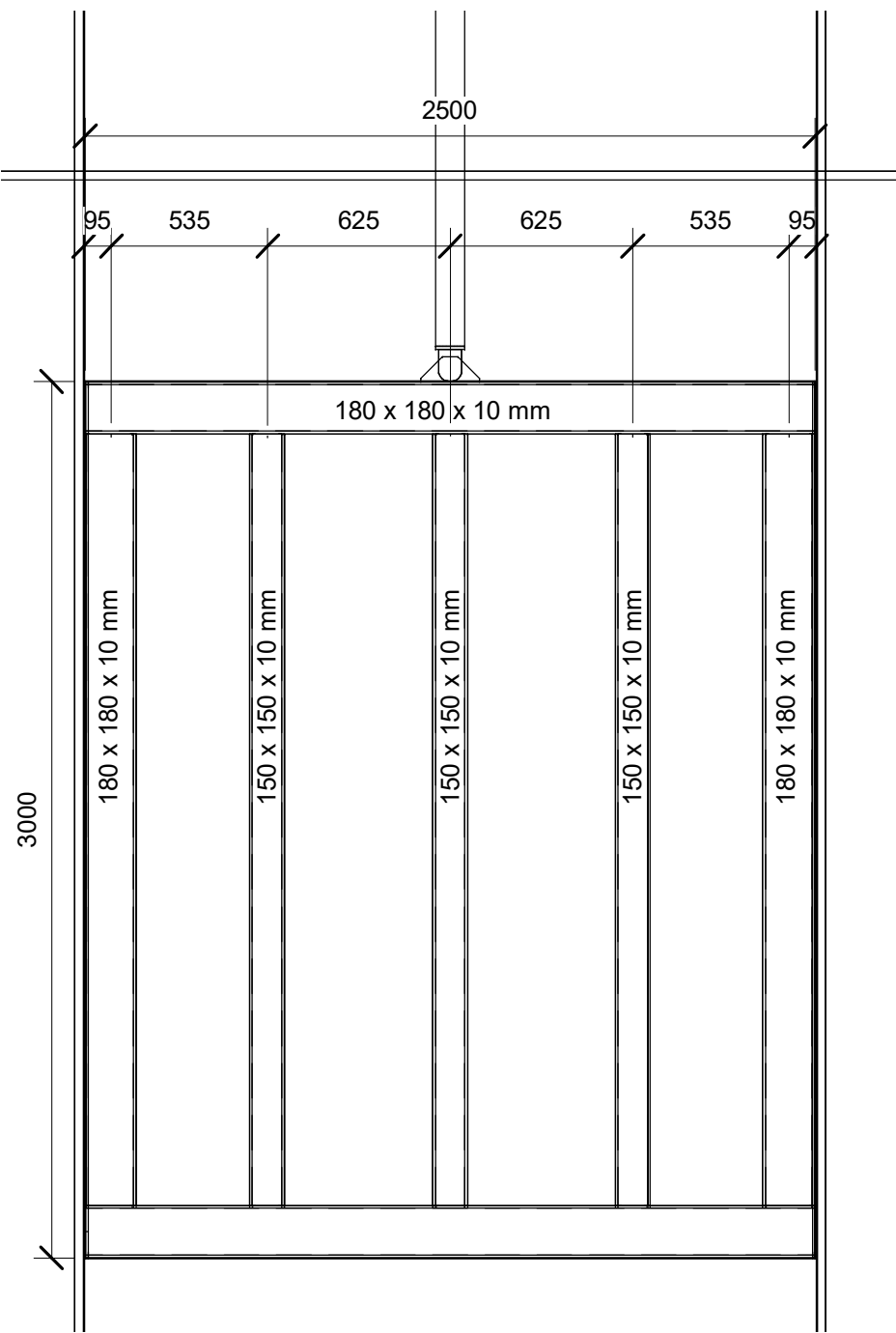
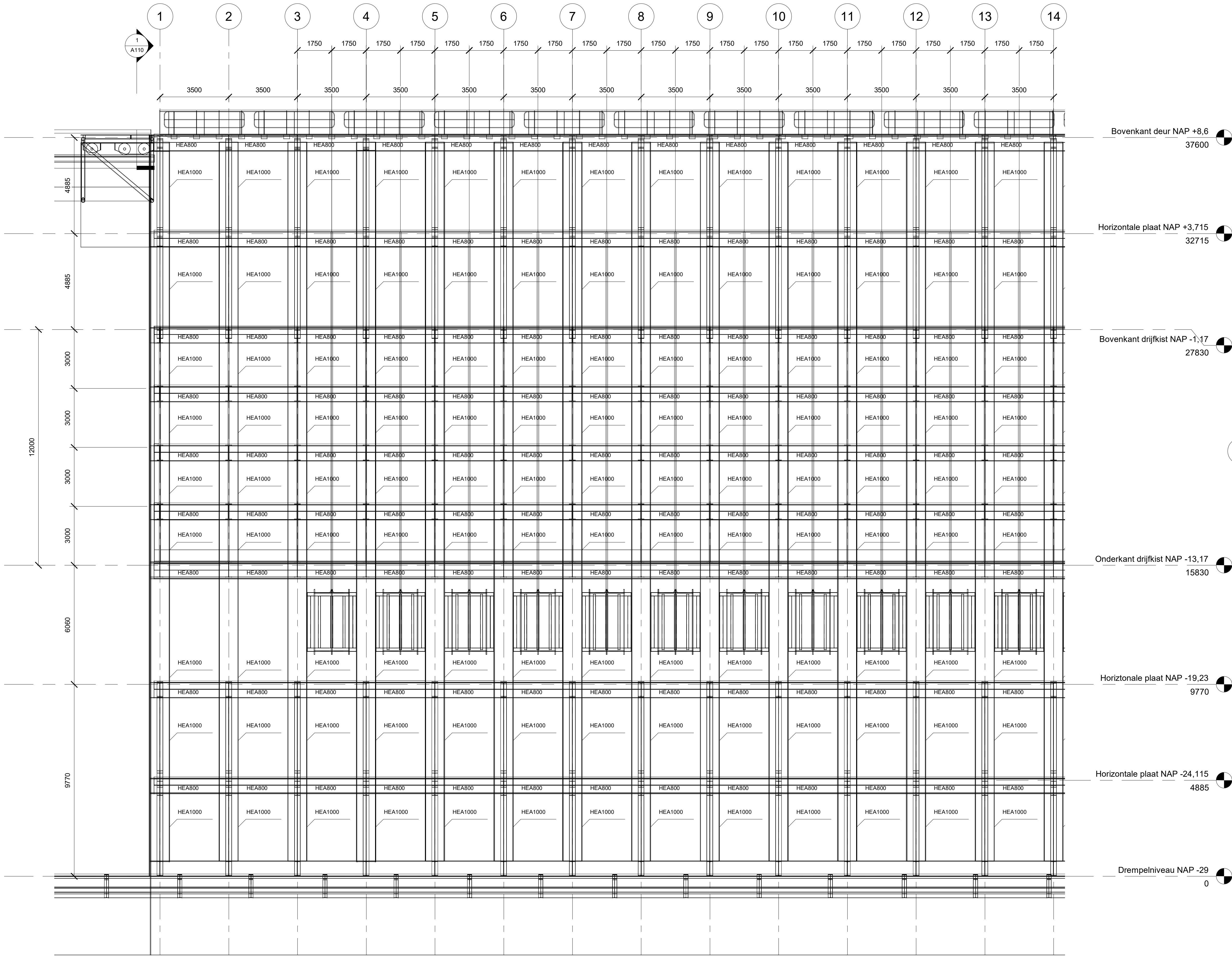
TABEL 23 SPANNINGEN BC6



FIGUUR 33 3D SPANNINGEN BC6

BIJLAGE K: TECHNISCHE TEKENINGEN

In de volgende bladzijde zijn de technische tekeningen ingevoegd die behoren bij het document 'Een geschikte sluisdeur voor de Nieuwe Waterweg'.



1 As 3-4 - as B
1 : 25

Renvooi

- Voor aanzicht roldeur as 1-14
- Schuif roldeur as 3-4 - as B
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid
- Technische tekeningen roldeur
- Staalkwaliteit: S355

Opmerkingen

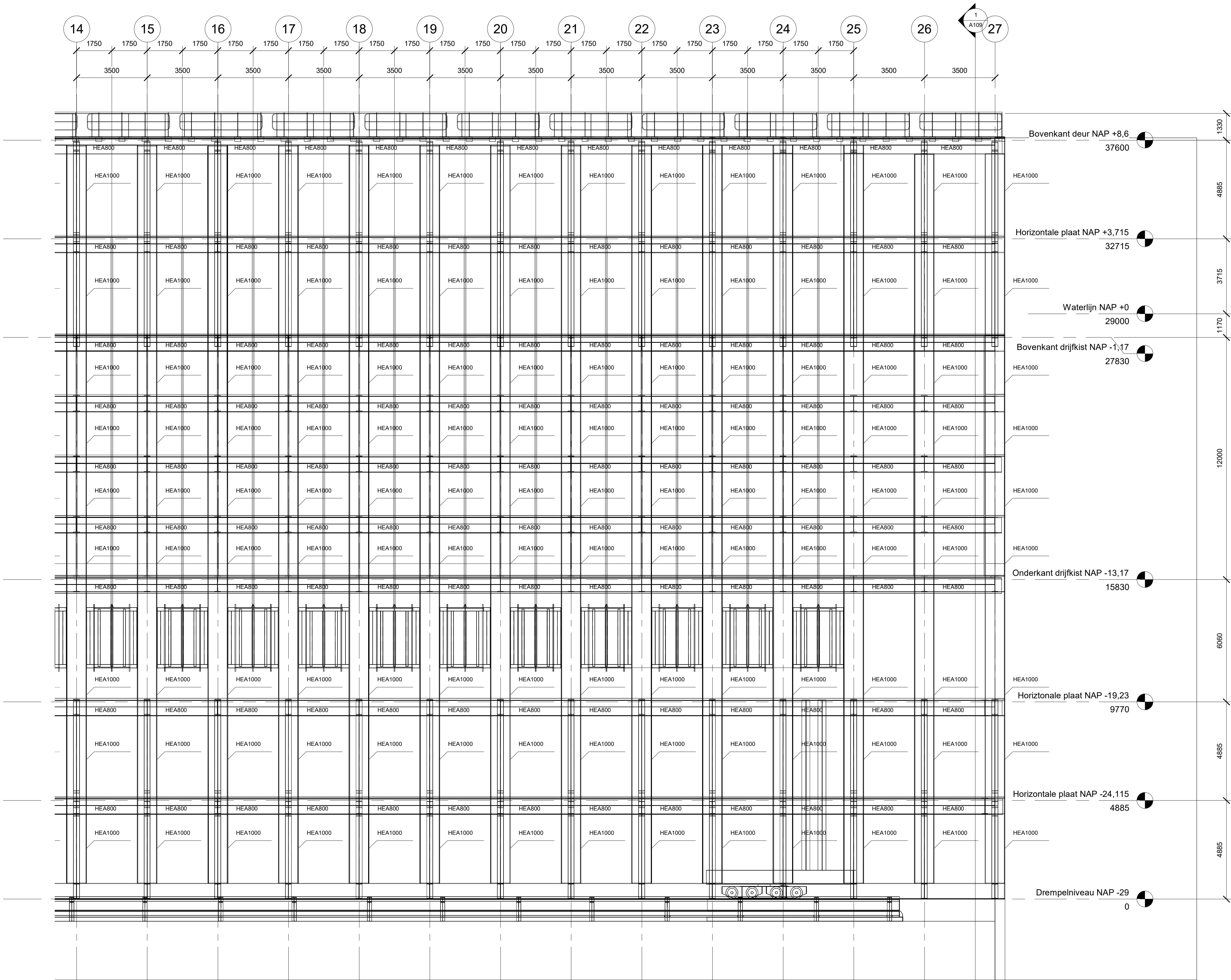
- maten in mm

Bijbehorende documenten

- Afstuderrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg

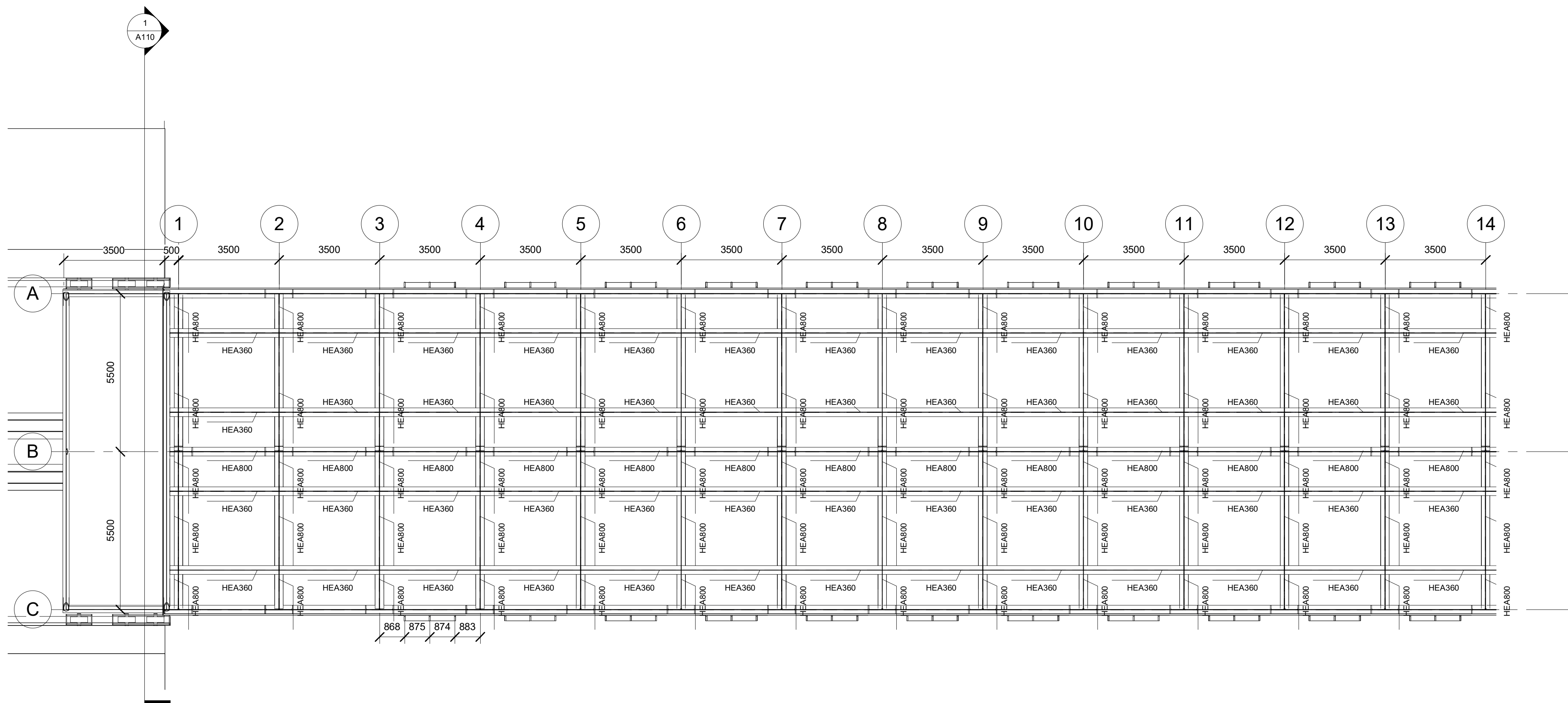
Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal: 1:100 / 1:25		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A101		
Blad: 1 van: 12		

2 Vooraanzicht as 1-14
1 : 100



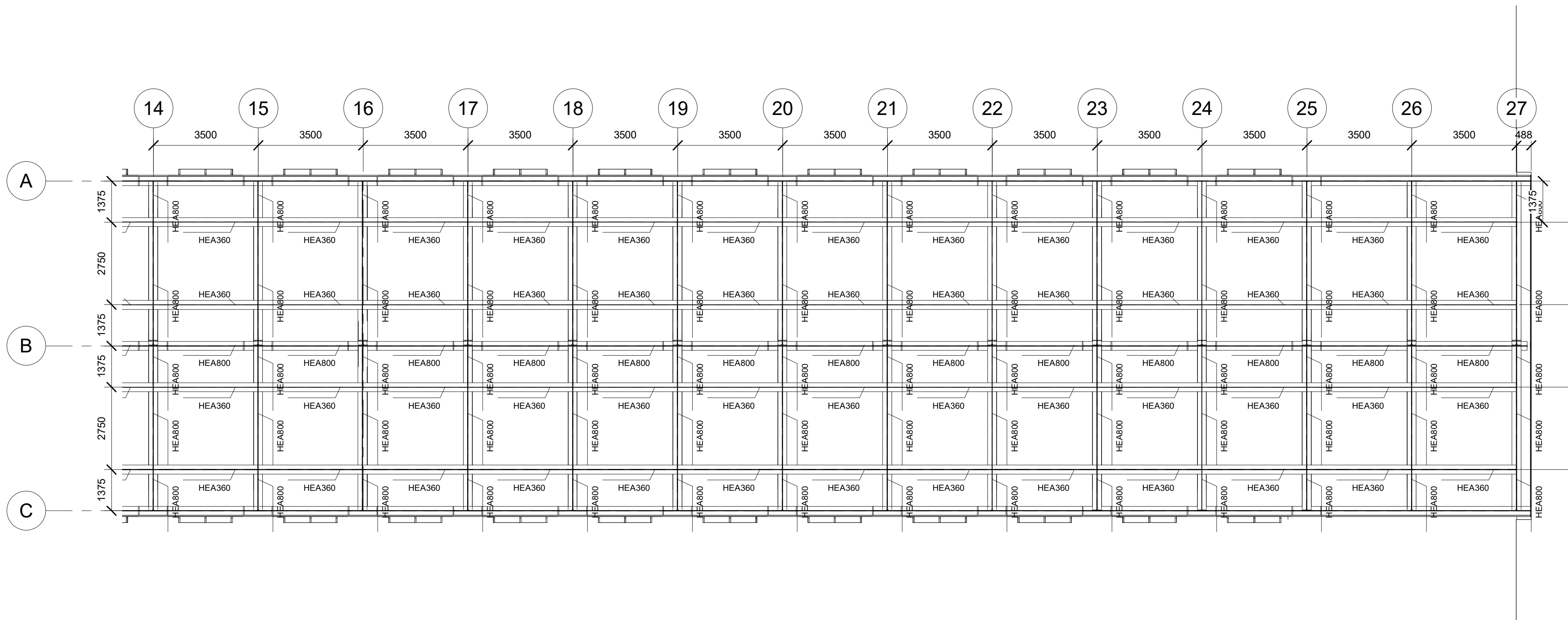
1 Vooraanzicht as 14-27
1 : 100

Renvooi		
-Vooraanzicht roldeur as 14-27		
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid		
- Technische tekeningen roldeur		
- Staalkwaliteit: S355		
Opmerkingen		
- maten in mm		
Bijbehorende documenten		
- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg		
Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A102		
Blad: 2 van: 12		



Bovenkant deur NAP +8,6

1 As 1-14
1:100



Bovenkant deur NAP +8,6

2 As 13-27
1:100

Renvooi

-Bovenkant roldeur NAP +8,6 as 1-13
-Bovenkant roldeur NAP +8,6 as 13-27

- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid

- Technische tekeningen roldeur

- Staalkwaliteit: S355

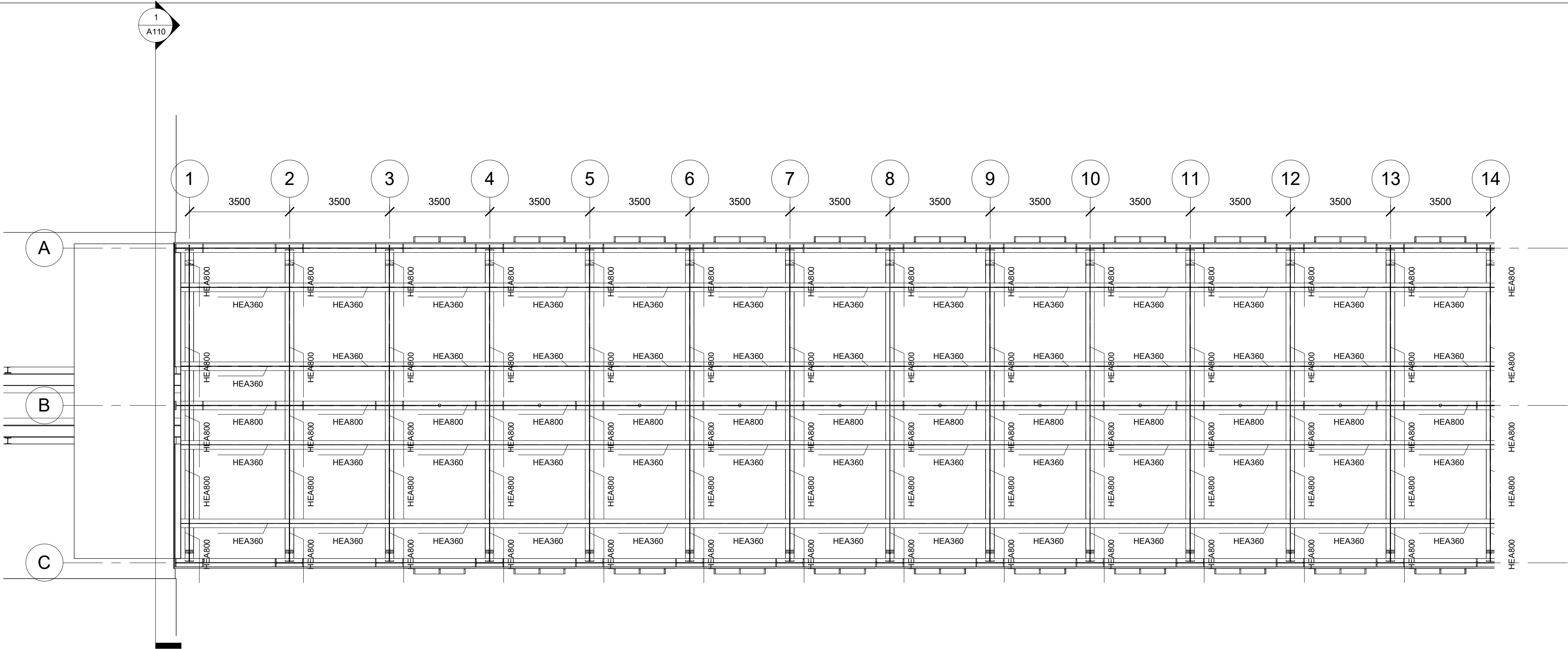
Opmerkingen

- maten in mm

Bijbehorende documenten

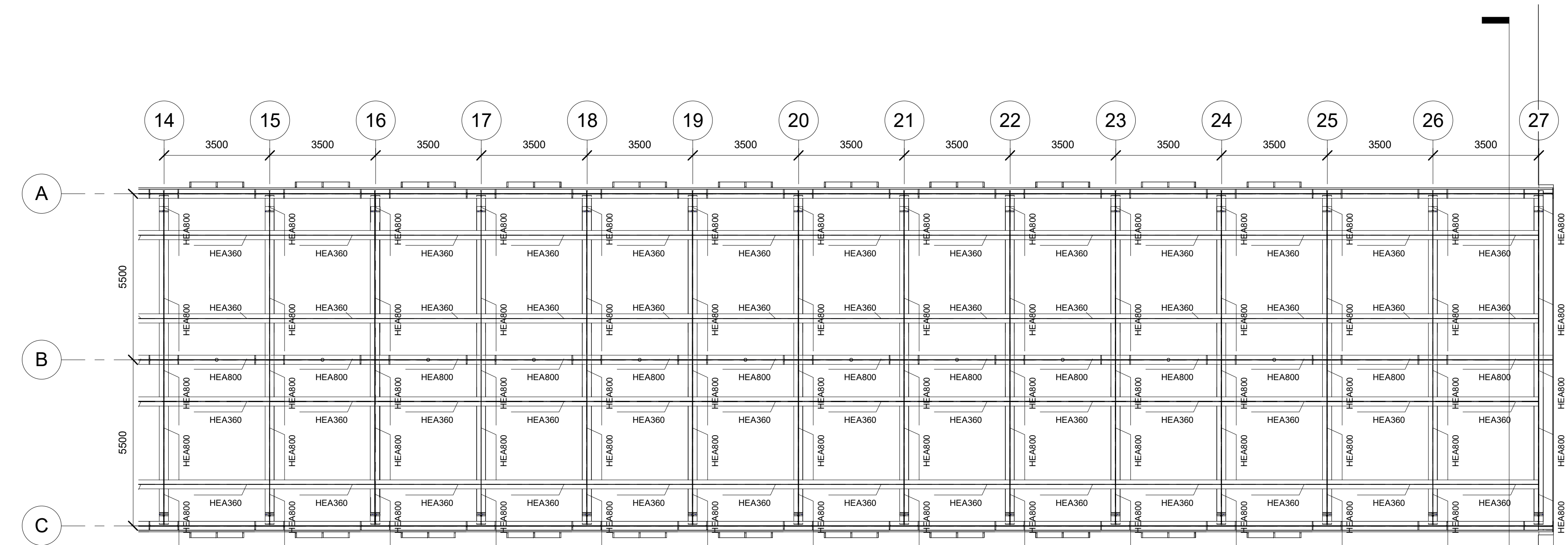
- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg

Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A103		
Blad: 3 van: 12		



Horizontale plaat NAP

1 +3.715 As 1-14
1:100



Horizontale plaat NAP

2 +3.715 As 14-27
1:100

Renvooi

-Horizontale plaat NAP +3.715 as 1-14
-Horizontale plaat NAP +3.715 as 13-27

- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid

- Technische tekeningen roldeur

- Staalkwaliteit: S355

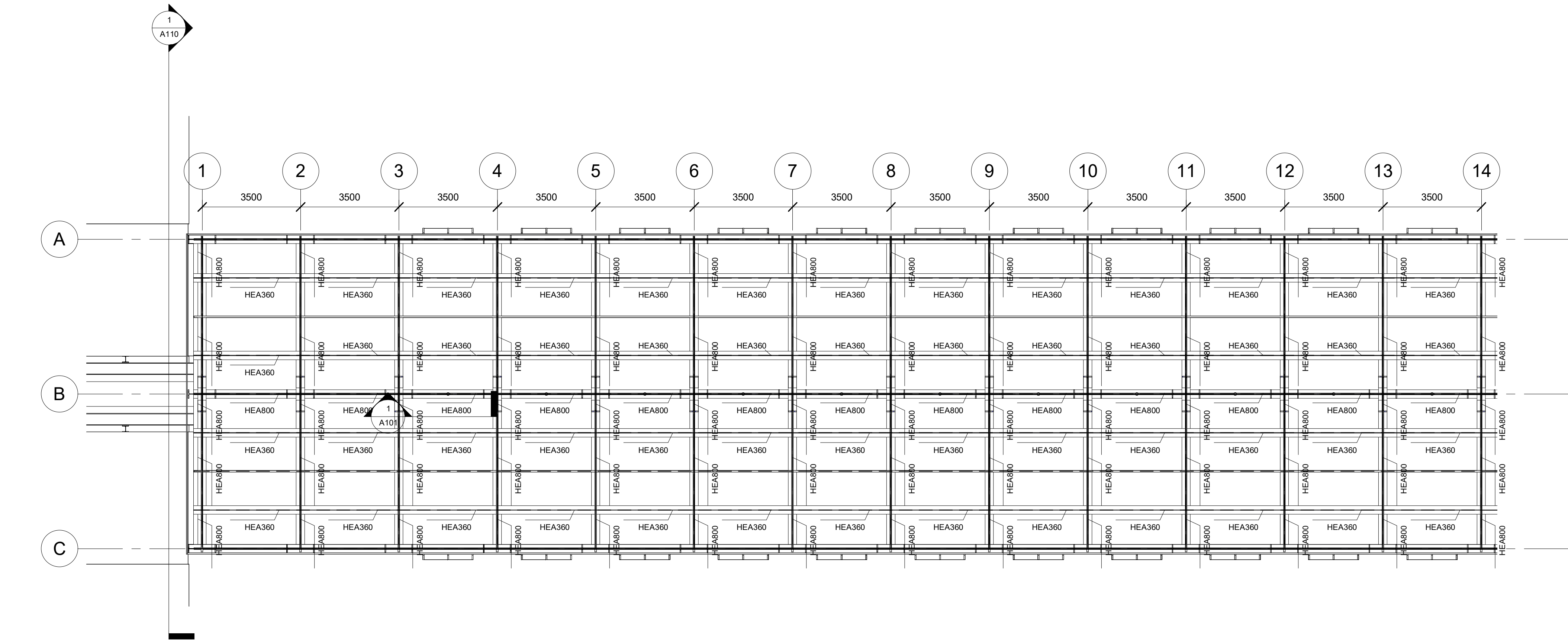
Opmerkingen

- maten in mm

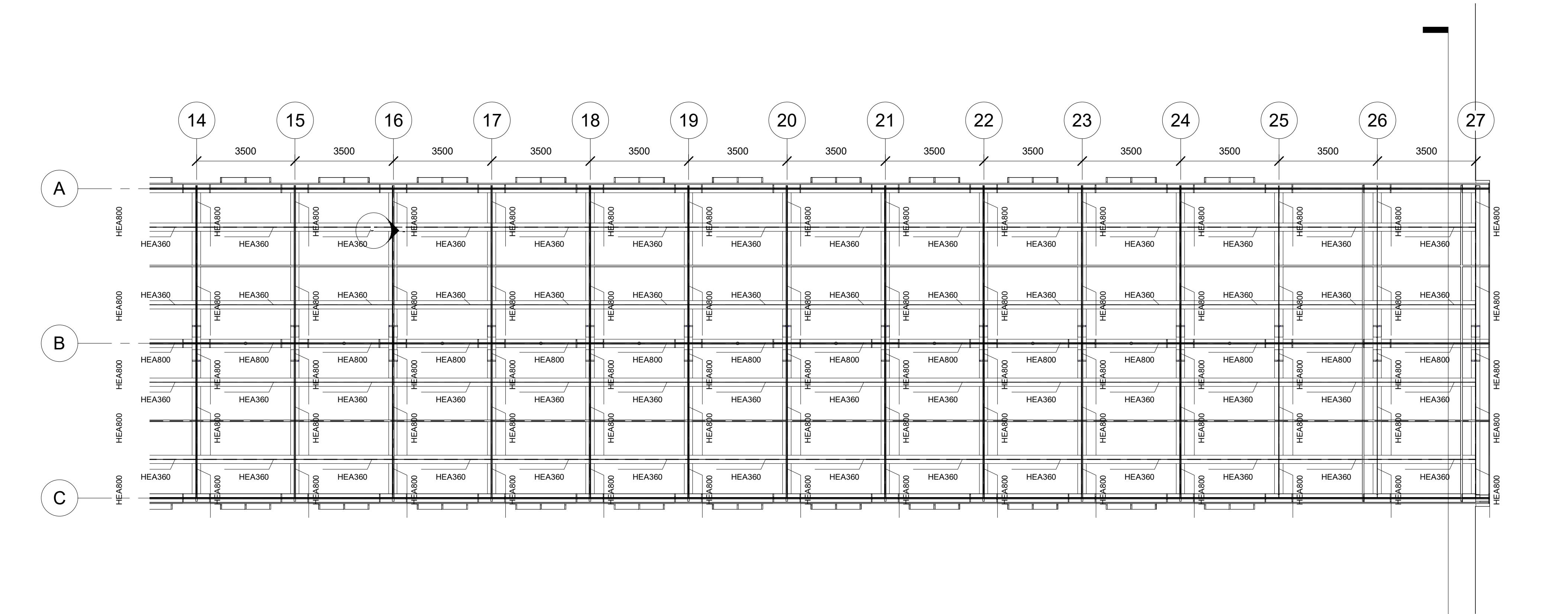
Bijbehorende documenten

- Afstuderrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg

Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A104		
Blad: 4 van: 12		



1 Bovenkant drijfkist NAP
-1,17 As 1-14
1:100



2 Bovenkant drijfkist NAP
-1,17 As 14-27
1:100

Renvooi

- Bovenkant drijfkist NAP -1,17 as 1-14
- Bovenkant drijfkist NAP -1,17 as 14-27
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid
- Technische tekeningen roldeur
- Staalkwaliteit: S355

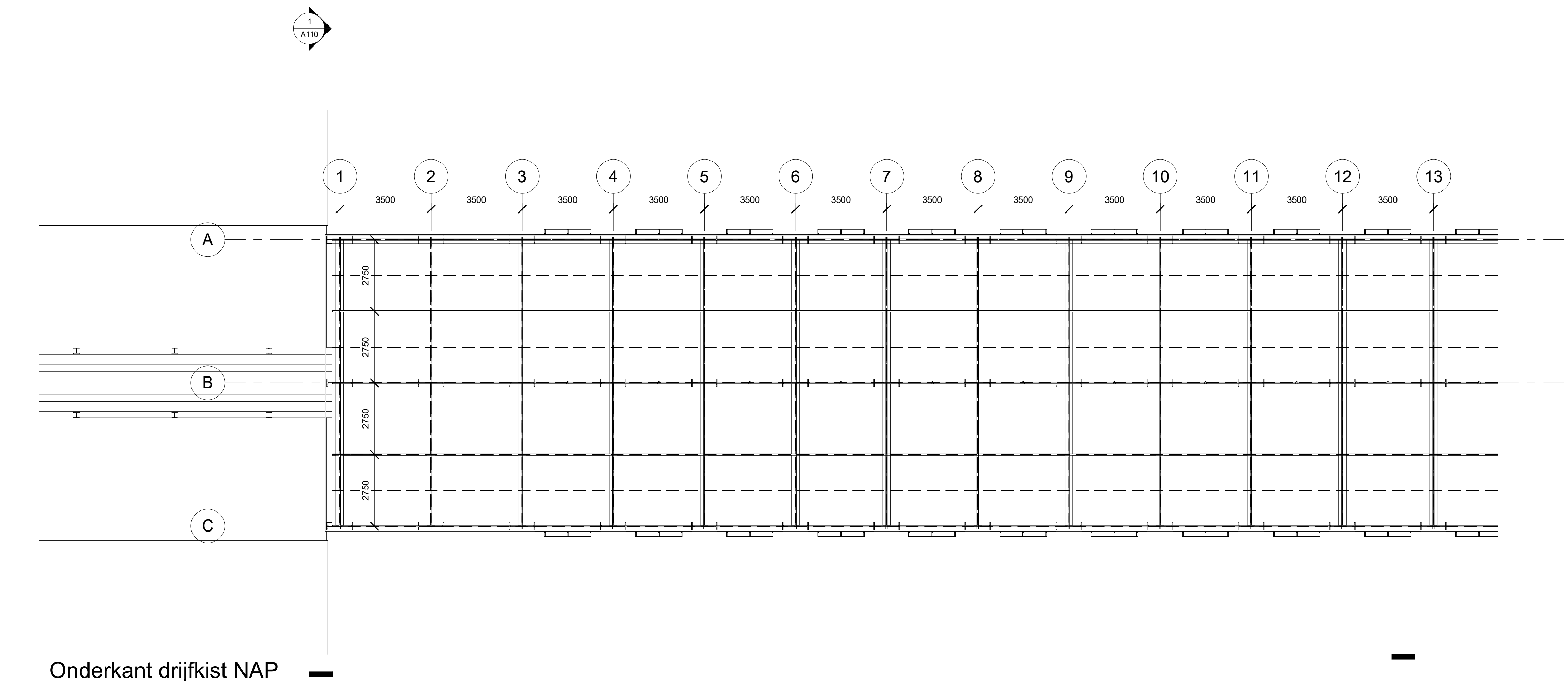
Opmerkingen

- maten in mm

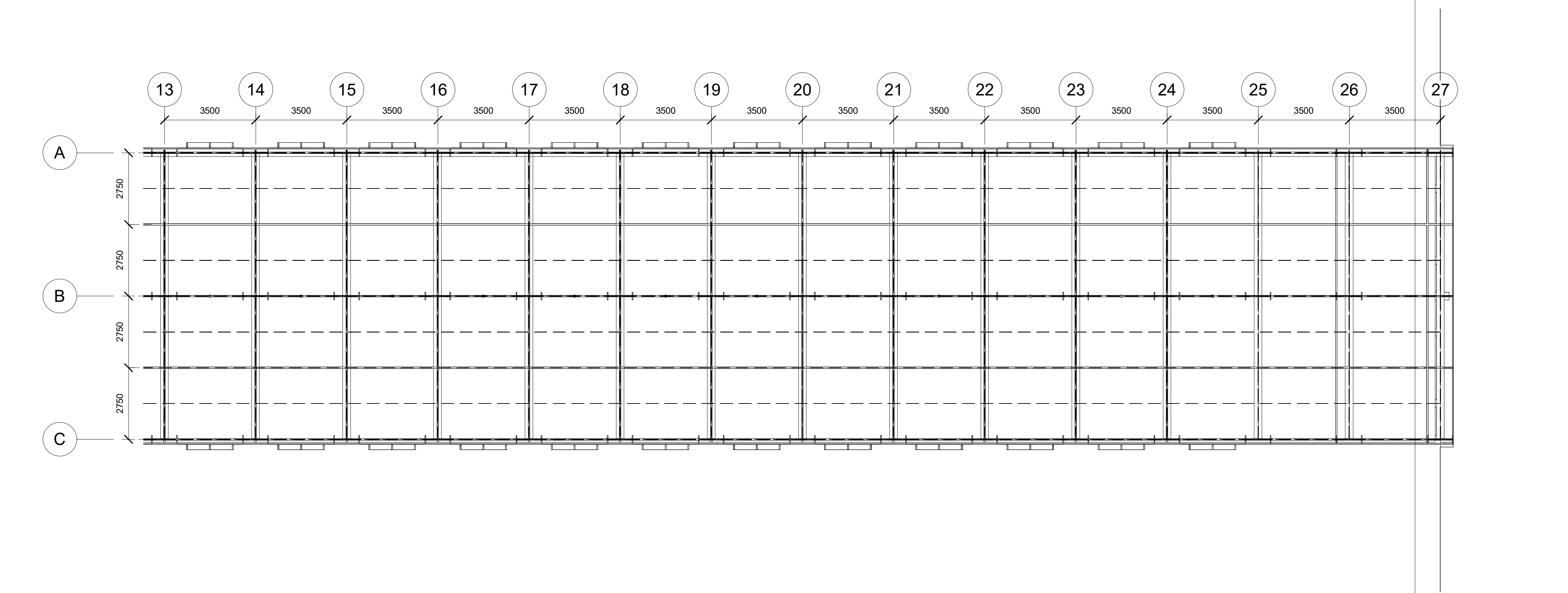
Bijbehorende documenten

- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg

Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A105		
Blad: 5 van: 12		

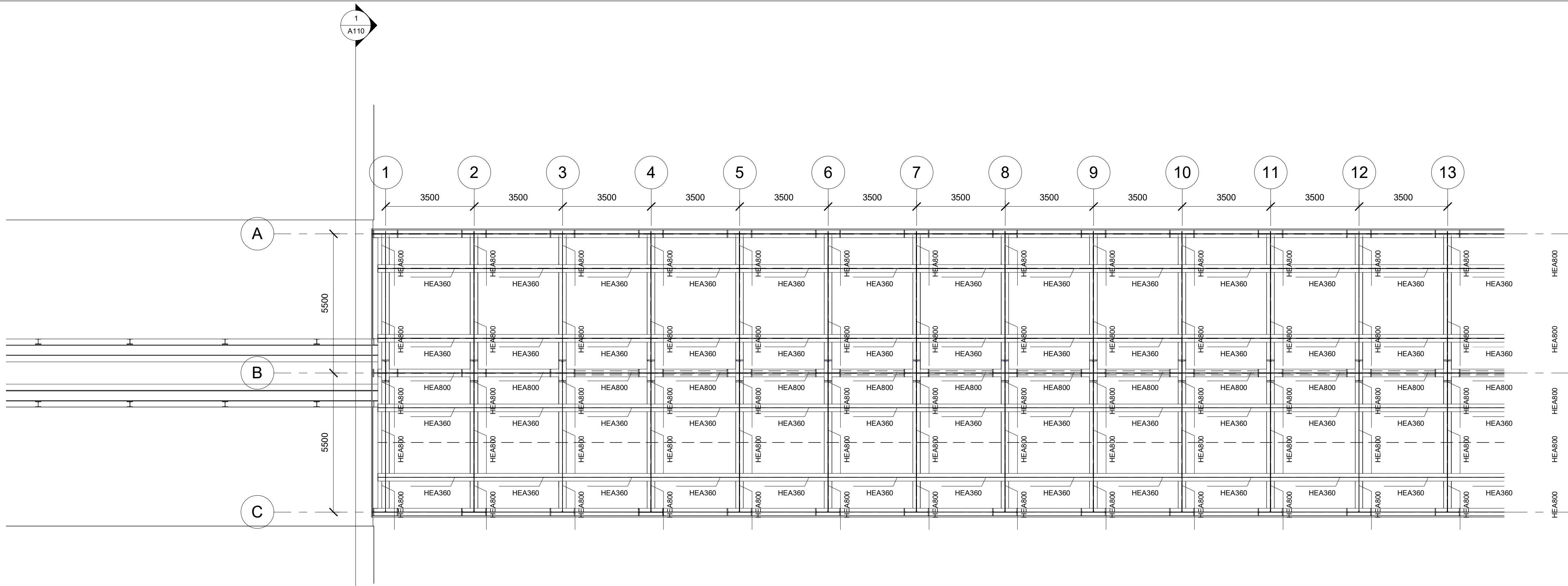


1 Onderkant drijfkist NAP
-13,17 As 1-13
1:100

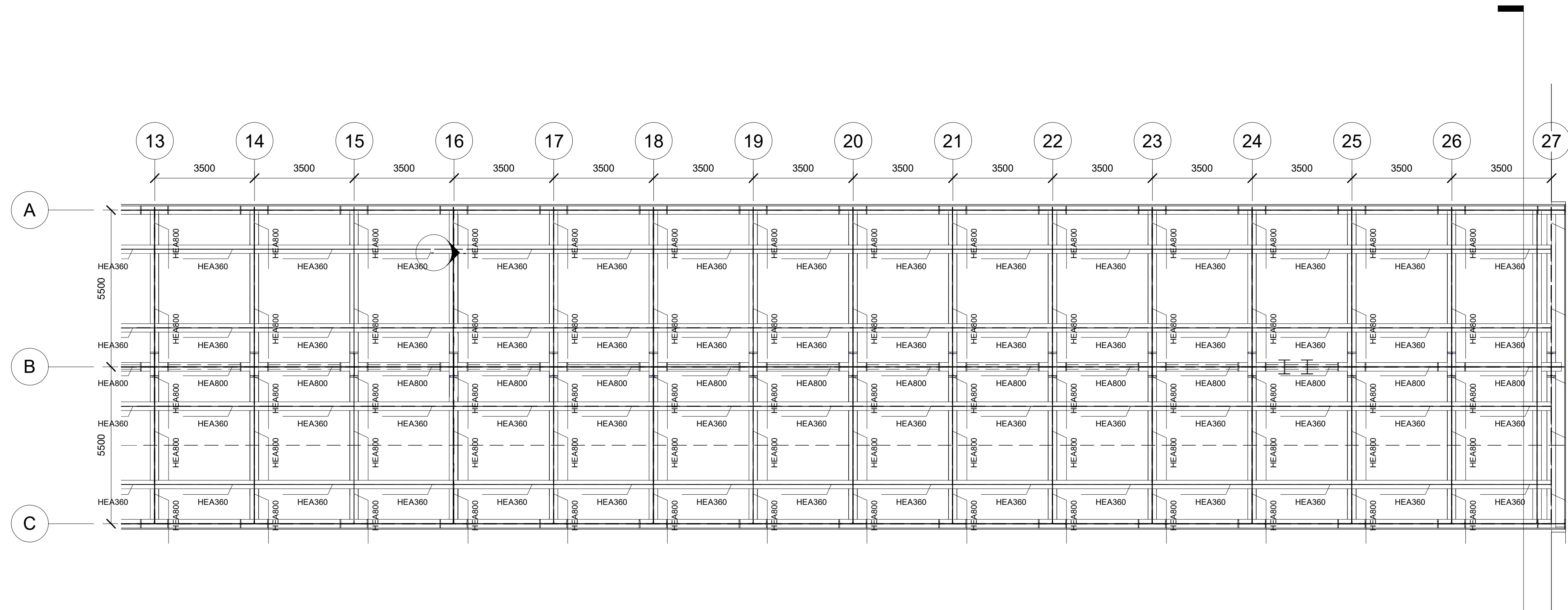


2 Onderkant drijfkist NAP
-13,17 As 13-27
1:100

Renvooi		
-Onderkant drijfkist NAP -13,17 as 1-13 -Onderkant drijfkist NAP -13,17 as 13-27		
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid		
- Technische tekeningen roldeur		
- Staalkwaliteit: S355		
Opmerkingen		
- maten in mm		
Bijbehorende documenten		
- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg		
Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A106		
Blad: 6 van: 12		



1 Horizontale plaat NAP
-19.23 As 1-13
1:100



2 Horizontale plaat NAP
-19.23 As 13-27
1:100

Renvooi

- Horizontale plaat NAP -19.23 as 1-13
- Horizontale plaat NAP -19.23 as 13-27
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid
- Technische tekeningen roldeur
- Staalkwaliteit: S355

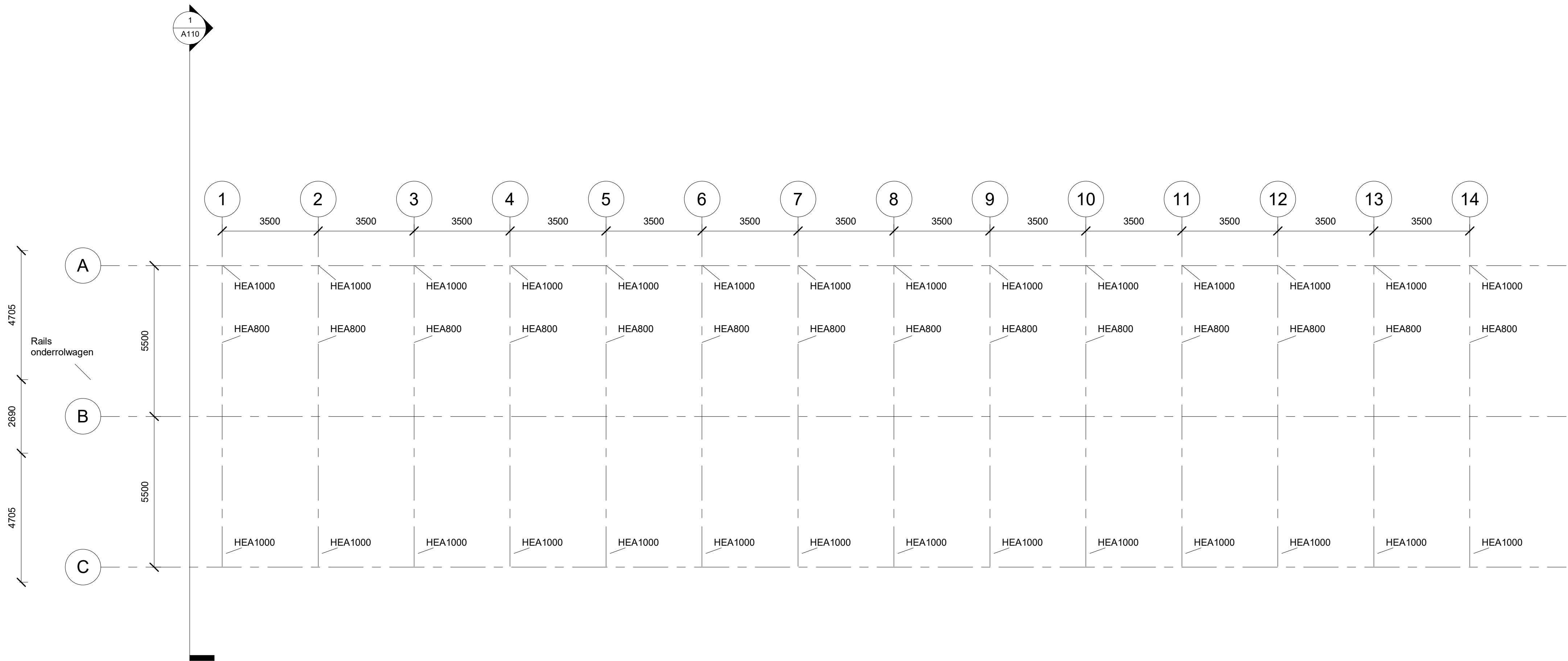
Opmerkingen

- maten in mm

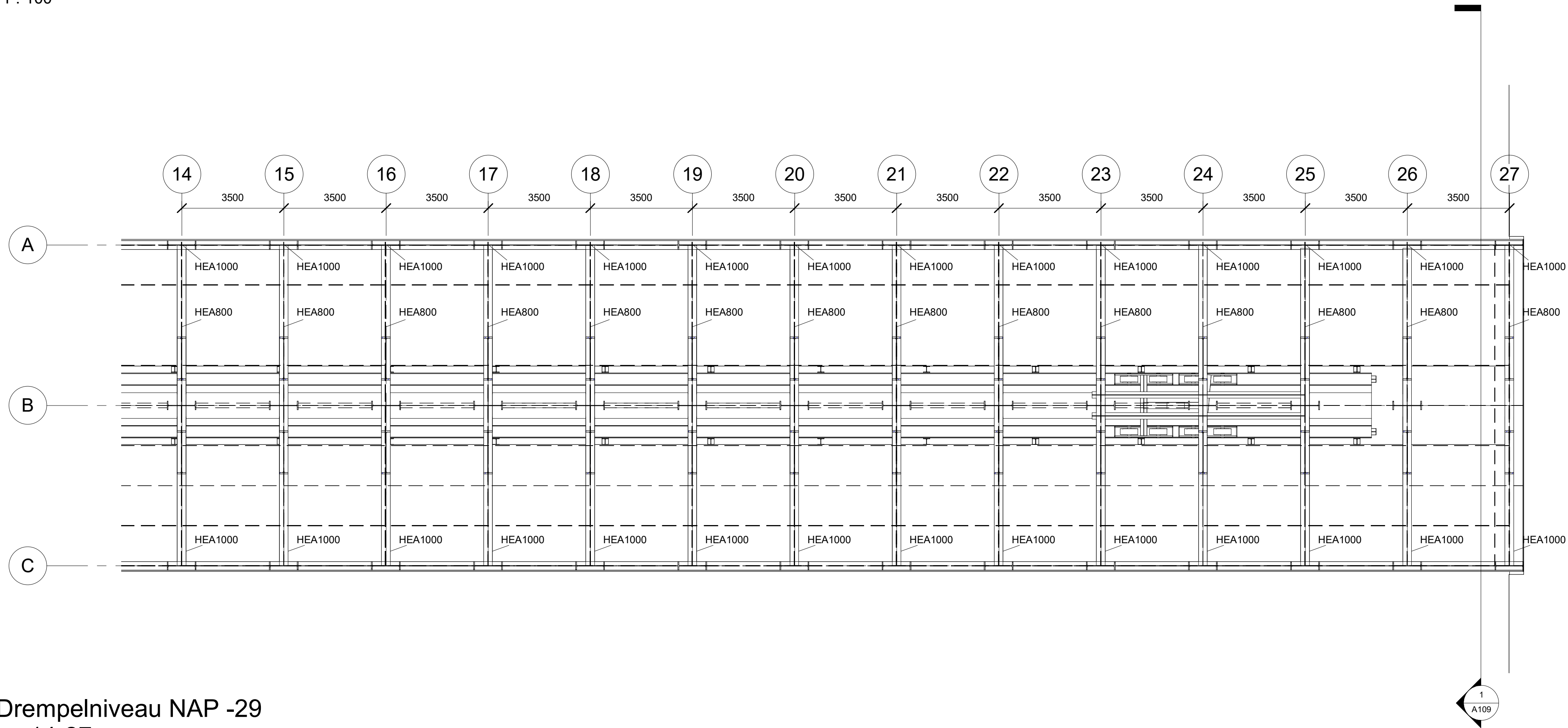
Bijbehorende documenten

- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg

Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A107		
Blad: 7 van: 12		



2 Drempelniveau NAP -29
as 1-14
1 : 100



1 Drempelniveau NAP -29
as 14-27
1 : 100

Renvooi

-Drempelniveau NAP -29 as 1-14
-Drempelniveau NAP -29 as 14-27

- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid

- Technische tekeningen roldeur

- Staalkwaliteit: S355

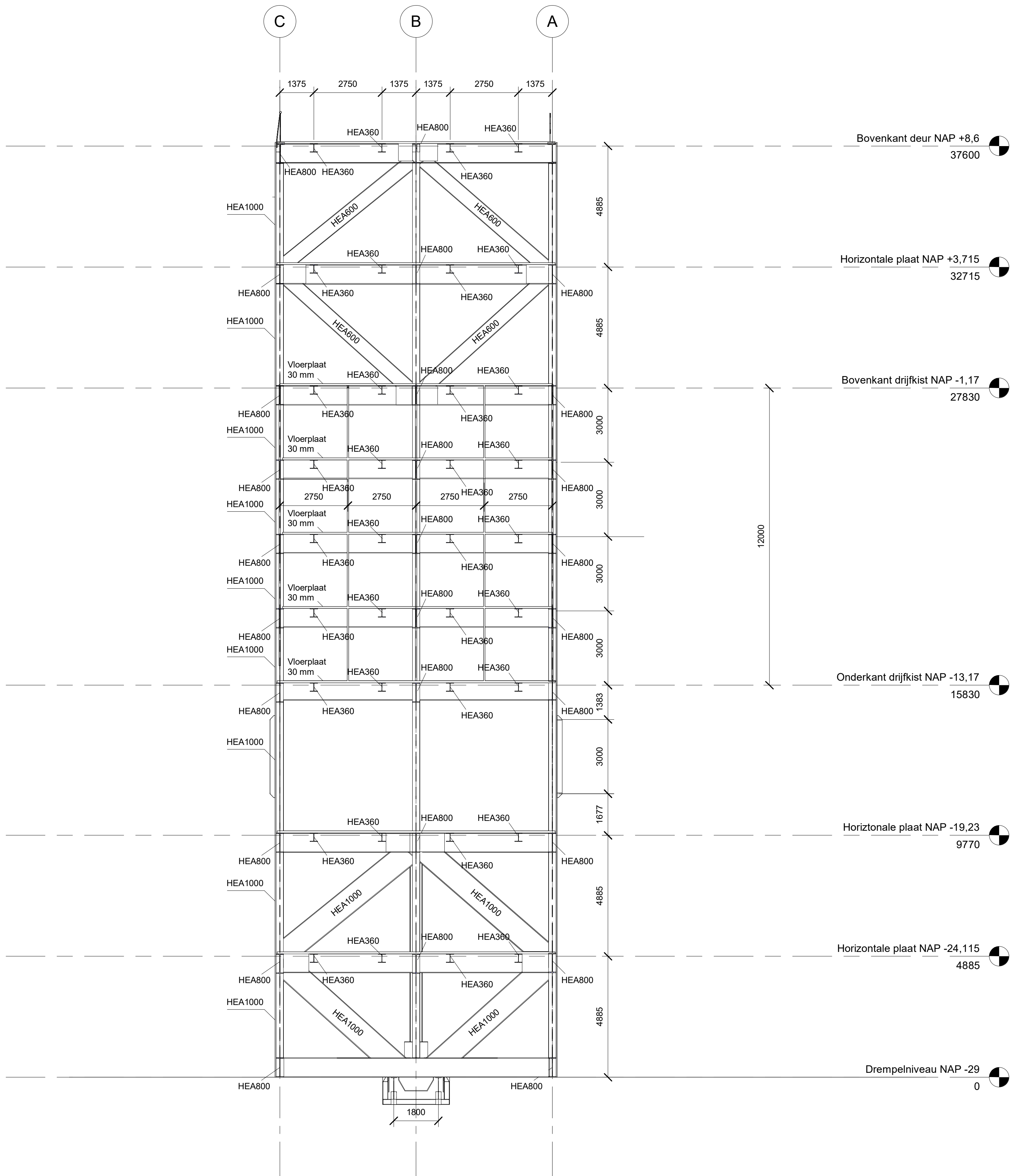
Opmerkingen

- maten in mm

Bijbehorende documenten

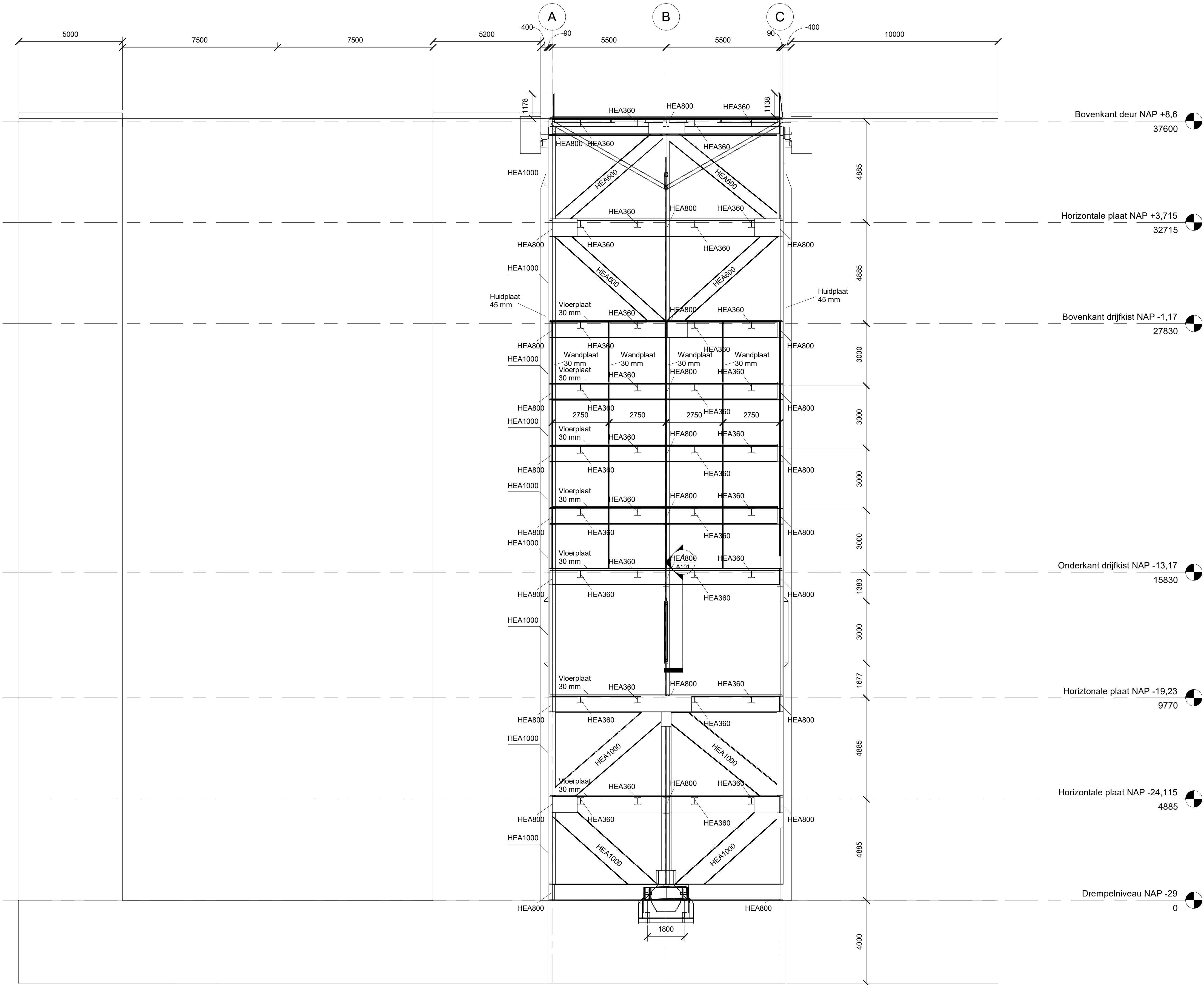
- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg

Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A108		
Blad: 8 van: 12		



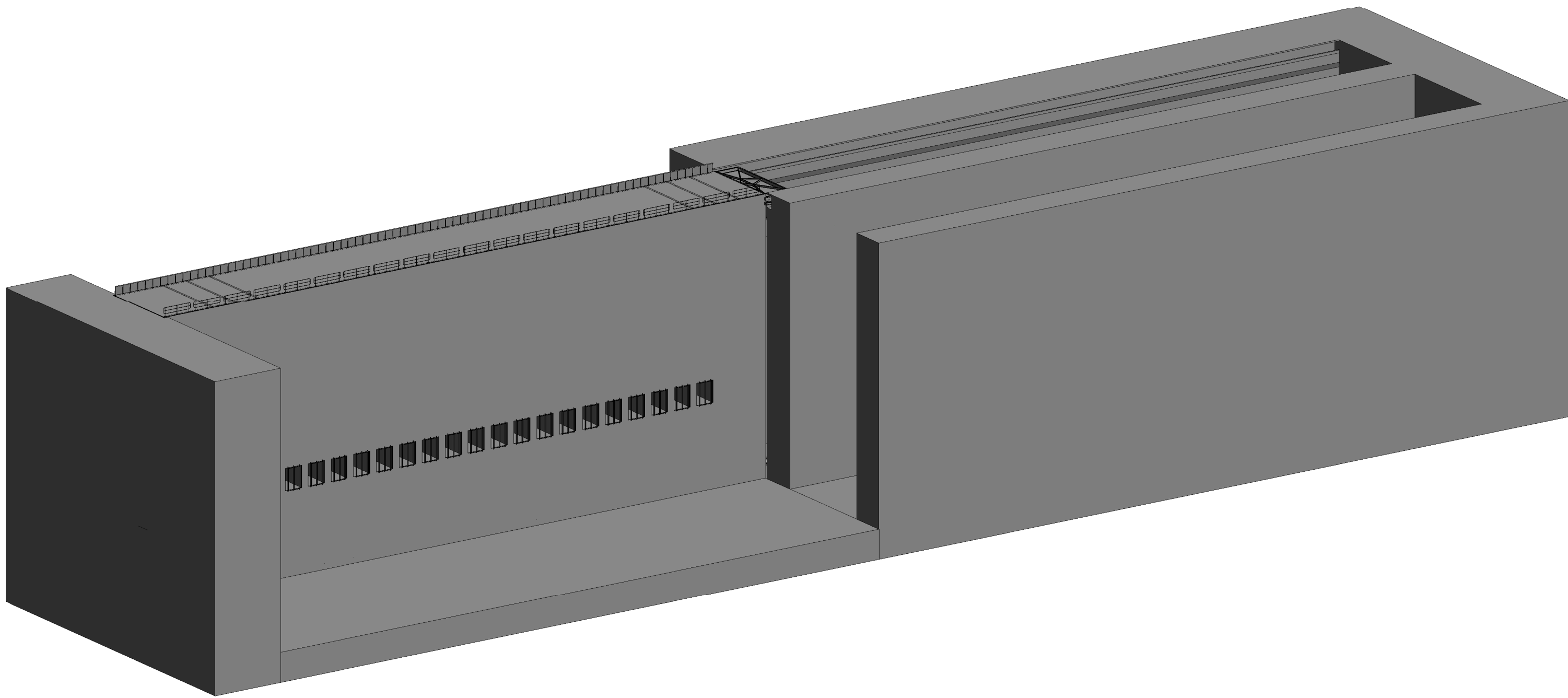
1 As 27 - as C-A
1 : 100

Renvooi		
-Snede zijaanzicht as 27 - as C-A		
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid		
- Technische tekeningen roldeur		
- Staalkwaliteit: S355		
Opmerkingen		
- maten in mm		
Bijbehorende documenten		
- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg		
Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A109		
Blad: 9 van: 12		



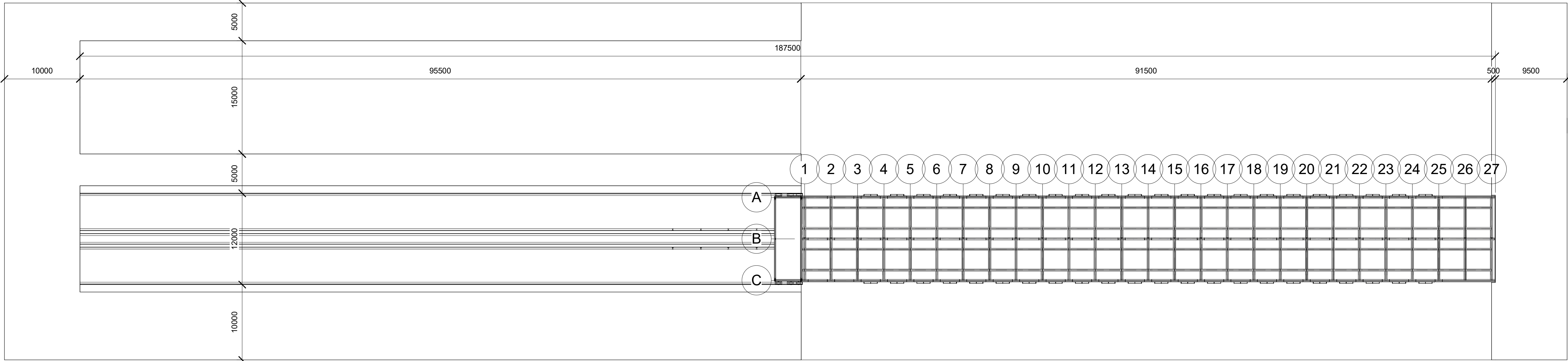
1 As 1 - as A-C
1 : 100

Renvooi		
-Snedes zijaanzicht as 1 - as A-C		
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid		
- Technische tekeningen roldeur		
- Staalkwaliteit: S355		
Opmerkingen		
- maten in mm		
Bijbehorende documenten		
- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg		
Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A110		
Blad: 10 van: 12		



1 3D-weergave

Renvooi		
-3D-weergave ontwerp roldeur Nieuwe Waterweg		
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid		
- Technische tekeningen roldeur		
- Staalkwaliteit: S355		
Opmerkingen		
- maten in mm		
Bijbehorende documenten		
- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg		
Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A111		
Blad: 11 van: 12		



Bovenaanzicht deurkas en

1 - nis
1 : 300

Renvooi		
-3D-weergave ontwerp roldeur Nieuwe Waterweg		
- Opdrachtgever: CoP Centrum Hoogwaterveiligheid		
- Technische tekeningen roldeur		
- Staalkwaliteit: S355		
Opmerkingen		
- maten in mm		
Bijbehorende documenten		
- Afstudeerrapport sluisdeur Nieuwe Waterweg		
Rev: 1.0	Datum: 13-6-2021	Gew:
Getekend: D.D.P. Ferrara		
Gecontroleerd: W.J.J.M. Kuppen		
Schaal:		
Formaat: A1		
Tekeningnummer: A112		
Blad: 12 van: 12		