



BETONNEN SLUISDEUREN

Betonvariant - Panama sluisdeur

Constructief ontwerper BV/BmS

Afstudeeropdracht

Betonvereniging en Bouwen met staal

Oktober 2019

Begeleider Jan Matthijs van der Waal, senior adviseur constructies

T.M. Nguyen

In samenwerking met Royal HaskoningDHV.



De masteropleiding is gegeven door de Betonvereniging en Bouwen met Staal.

BV/BmS *samenwerking* Betonvereniging en Bouwen met Staal
Opleidingen

Voorwoord

Voor u ligt mijn masterthesis ter afronding van mijn driejarige studie Constructief ontwerper aan de Betonvereniging te Gouda. Het afstuderen is een leerzaam proces geweest waarbij ik de tijdens de studie opgedane kennis en vaardigheden heb kunnen toepassen in mijn scriptie. Daarnaast heb ik veel nieuwe vaardigheden kunnen ontwikkelen. Ik heb met veel plezier aan deze opdracht gewerkt.

Graag wil ik de volgende personen bedanken voor hun bijdrage aan het afstudeerproces:

- Jan Matthijs van der Waal van Sweco, als begeleider namens de Betonvereniging,
- Hans van Stralen, oud-collega die mij vrijwillig heeft begeleid,
- Johan van Sloten, Geert Smits, Maarten Booij, Marcel van der Veen en Jan Doeksen, collega's, voor hun inhoudelijke input en feedback,
- Felicia Kosasi, mijn vriendin, als grote steun en toeverlaat.

Ik wens u veel plezier met het lezen van deze scriptie.

Thanh My Nguyen
Amersfoort, 1 oktober 2019

Lijst met afkortingen

Begrippenlijst

CD	Chard Datum; genormaliseerd waterpeil (vergelijkbaar met Nederlands NAP)
EEM	Eindige elementen methode
h.o.h.	Hart op hart
MCA	Multicriteria-analyse
IBA	Ingenieursbureau Amsterdam
HSB	Hoog sterkte beton
BGT	Bruikbaarheidsgrenstoestand
UGT	Uiterste grenstoestand

Samenvatting

Het Panamakanaal is een belangrijke handelsverbinding tussen Europa, Oost- en West-Amerika en Azië. In het kanaal zijn een aantal sluizen gebouwd waar schepen dagelijks passeren. Elke Panamasluis heeft inmiddels in totaal acht deuren die allemaal uitgevoerd zijn in staal, wat gebruikelijk is voor sluisdeuren met zulke grote afmetingen. In deze afstudeeropdracht is de haalbaarheid en de CO₂-uitstoot van een betonvariant voor de Panamasluis onderzocht en uitgewerkt.

Veel ervaring met betonnen sluisdeuren is er niet in de wereld. Vaak heeft dit te maken met het feit dat opdrachtgevers niet geïnteresseerd zijn in een betonvariant. Zij willen graag het aantal verschillende typen constructies zo beperkt mogelijk houden zodat ze hun beheer efficiënt kunnen inrichten.

Er zijn veel verschillende typen sluisdeuren met elk hun voor- en nadelen. Vanwege de overspanning van 55m en een waterverval van 21m, is een roldeur de beste optie. Voor dit soort afmetingen zijn geen standaard prefab liggers beschikbaar. Hiervoor dienen project-specifieke liggers te worden gemaakt. Vanwege de kans op aanvaring in twee richtingen is er gekozen voor een kokerligger. De afmetingen van de koker zijn met een parametrisch model onderzocht en bepaald. De trekspanning op de constructie ten gevolge van de waterdruk, welke de maatgevende belasting is, wordt opgenomen door de voorspanning. Allerlei afmetingen worden met elkaar vergeleken op hoeveelheid beton, maximale drukspanning op de constructie en het gewicht van de constructie laag water.

De meest efficiënte constructie bestaat uit drie opeengestapelde kokers met een afmeting van 10m x 10m met een wanddikte van 0.75m. Alle kokers worden excentrisch voorgespannen. Het zwaartepunt van de voorspanning ligt binnen de kern van de koker. Met een MCA analyse is de vormgeving van de binnenconstructie bepaald. Deze bestaat uit balken en kolommen. In de langsrichting van de koker lopen, halverwege de hoogte, balken van 2m x 1.5m. Deze balken worden om de vijf meter gesteund door kolommen die aansluiten van balk naar vloer. De betonkwaliteit van C45/55 is voldoende om de krachten op te kunnen nemen. De keuze voor deze betonkwaliteit is optimaal gekozen. De deur wordt buiten in een droog dok gebouwd. Dit gaat in zeven stappen. De kokers worden afzonderlijk van elkaar gemaakt. Nadat de kokers klaar zijn, worden ze op elkaar gestapeld. Met behulp van portaalkranen worden de kokers op elkaar gestapeld. Het gewicht van de koker wordt voor het transport, door de dok vol en leeg te laten lopen met water, onder controle gehouden. Daarna kan de voorspanning aangebracht worden aan de kokers. Wanneer de deur klaar is, wordt de dok weer gevuld en kan de deur naar zijn locatie gevaren worden.

De hoeveelheid beton voor deze betonvariant is uitgerekend. Tevens is er een onderzoek gedaan naar CO₂-uitstoot per kg beton of staal. Met deze twee gegevens is de hoeveelheid CO₂-uitstoot van dit ontwerp berekend. Deze variant stoot minder CO₂ uit dan de gelijkwaardige staalvariant.

Inhoudsopgave

1	Afstudeerproject	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Verantwoording onderzoeksopzet	1
1.4	Leeswijzer	1
2	Analyse situatie	2
2.1	Inleiding analyse situatie	2
2.2	Huidig ontwerp	2
3	Literatuurstudie	3
3.1	Inleiding literatuurstudie	3
3.2	Ervaringen met betonnen sluisdeuren	3
3.3	Type sluisdeuren	4
3.4	Standaard prefab beton	5
3.5	Conclusie	6
4	Globaal ontwerp	7
4.1	Inleiding globaal ontwerp	7
4.2	Parametrisch model	7
4.2.1	Doel parametrisch model	8
4.2.2	Maatgevende belasting	8
4.2.3	Bepaling excentriciteit voorspanning	10
4.2.4	Geometrie koker	11
4.2.5	Traagheidsmoment en weerstandsmoment	12
4.2.6	Bepaling voorspanning	13
4.2.7	Voorbeeldsom	13
4.2.8	Resultaten model	14
4.2.9	Interpretatie resultaten	16
4.2.10	Conclusie parametrisch model	17
4.3	Binnenconstructie	17
4.3.1	Varianten	17
4.3.2	Criteria en weegfactoren	18
4.3.2.1	Kosten	18
4.3.2.2	Duurzaamheid	18
4.3.2.3	Realiseerbaarheid	18
4.3.2.4	Veiligheid	18

4.3.3	Gevoeligheidsanalyse	18
4.3.4	Resultaten MCA	19
4.3.5	Conclusie	19
4.4	Uitvoering	20
4.4.1	Betonproductie	20
4.4.2	Stap 1 - Prefab koker	20
4.4.3	Stap 2 & 3 - Stapelen	21
4.4.4	Stap 4 t/m 7 - Transport	22
4.4.5	Conclusie uitvoering	22
4.5	Gebruikstoestand	23
4.6	Conclusie globaal ontwerp	23
5	Uitwerking detailontwerp	24
5.1	Inleiding detailontwerp	24
5.2	Voorspanning	25
5.2.1	Beschrijving probleem	25
5.2.2	Bepaling voorspanning	25
5.2.3	Detailering voorspanning	26
5.2.4	Splijtkrachten	27
5.2.5	Conclusie voorspanning	28
5.3	Samenwerking kokers	29
5.3.1	Invoer van het EEM model	29
5.3.2	Model verificatie	30
5.3.3	Belastingen uit het model	33
5.3.4	Conclusie EEM model	33
5.4	Dwarskracht lijf van de koker	34
5.4.1	Beschrijving probleem	34
5.4.2	Handberekening vloer	35
5.4.3	Drukspanningscontrole met EEM model	36
5.4.4	Conclusie	37
5.5	Bepaling balkafmeting	38
5.5.1	Beschrijving probleem	38
5.5.2	Berekening	38
5.5.3	Conclusie	39
5.6	Controle wanddikte	40
5.6.1	Beschrijving probleem	40
5.6.2	Gegevens	40

5.6.3	Resultaten	41
5.7	Kolommen	41
5.7.1	Beschrijving probleem	41
5.7.2	Bepaling kolomafmeting	41
5.7.3	Hoekdetail	42
5.7.4	Conclusie kolommen	43
5.8	Conclusie detail ontwerp	43
6	Varianten vergelijking op basis van duurzaamheid	44
6.1	Inleiding varianten vergelijking op basis van duurzaamheid	44
6.2	Duurzaamheid	44
6.3	Beton en staalvariant	44
6.4	Vergelijking CO ₂ -uitstoot	45
6.5	Conclusie vergelijking	45

7	Conclusie	46
8	Discussie	47
9	Literatuur	48
10	Bijlagen	1
Bijlage A1	Interview met Ingenieursbureau Amsterdam	1
Bijlage A2	Onderzoek sluisdeuren	2
Bijlage A3	Standaard prefab beton liggers	3
Bijlage A4	Analyse belastingen voor parametrisch model	4
Bijlage A5	Resultaten parametrisch model	5
Bijlage A6	MCA	6
Bijlage A7	Berekening voorspanning	7
Bijlage A8	Type voorspanning	8
Bijlage A9	EEM model	9
Bijlage A10	Berekening dwarskracht op twee kokers	10
Bijlage A11	Berekening balk	11
Bijlage A12	Berekening wand	12
Bijlage B1	Zelfreflectie	13

Tabellen

Tabel 1 Soorten prefab elementen	5
Tabel 2 Resultaten maatgevende belasting	9
Tabel 3 Bepaling vloerdikte op basis van de hoogte ligger en 70% $A_{s,max}$	12
Tabel 4 Voorbeeldsom	14
Tabel 5 Overzicht resultaten model	16
Tabel 6 Gewicht één koker	21
Tabel 7 Drukspanning vergelijking aan de hoog waterzijde	30
Tabel 8 Drukspanning vergelijking aan de laag waterzijde	31
Tabel 9 Resultaten horizontale verplaatsing ten gevolge van de waterbelasting	32
Tabel 10 Overzicht belastingen elementen	33
Tabel 11 Resultaten berekening vloerdikte	35
Tabel 12 Gegevens voor de berekening van de wand	41
Tabel 13 Hoeveelheden betonvariant	44
Tabel 14 Overzicht parameters materialen	45

Figuren

Figuur 1 Plattegrond van de situatie	2
Figuur 2 Principe Panama sluis, langsdoorsnede	2
Figuur 3 Afmetingen deur	2
Figuur 4 Overzicht toepassingsgebied per sluisdeur (Doeksen, 2012, p. 15)	4
Figuur 5 Deurtype als functie van type sluis en doorvaartbreedte (Vrijburcht, Ontwerpen van schutsluizen, 2000, p. 419)	4
Figuur 6 Toepassingsgebied standaard prefab liggers	5
Figuur 7 Onderdelen voor globaal ontwerp	7
Figuur 8 Schematisering model (links) en ligging kern doorsnede (rechts)	7
Figuur 9 Belastinggeval: waterdruk	8
Figuur 10: Scheepsbelasting	9
Figuur 11 Drukspanning - excentriciteit	10
Figuur 12 Voorspanning op kern constructie	11
Figuur 13 Definitie parameters	11
Figuur 14 Principe model	12
Figuur 15 Drukspanning/hoogte koker diagram	14
Figuur 16 Oppervlakte doorsnede/hoogte koker diagram	15
Figuur 17 Gewicht deur/hoogte koker diagram	16

Figuur 18 Aanduiding binnenconstructie	17
Figuur 19 Overzicht varianten	17
Figuur 20 Overzicht weegfactoren	18
Figuur 21 Resultaten MCA	19
Figuur 22 Principe uitvoering in zeven stappen	20
Figuur 23 Uitvoering koker	21
Figuur 24 Zijaanzicht portaalkraan	22
Figuur 25 Transport deur	22
Figuur 26 Principe stabiliteit van de deur (ideale situatie)	23
Figuur 27 Isometrie van de deur	24
Figuur 28 Principe nabootsen spanningsfiguur (links), invloed keuze hart op hart afstand (rechts)	25
Figuur 29 Drukspanning op één koker ten gevolge van de voorspanning	26
Figuur 30 Detaillering positie voorspanning onderste koker(links), tabel alle kokers (rechts)	27
Figuur 31 Principe vakwerkmodel en wapening bij voorspankracht (BVBmS, pp. 10-5)	27
Figuur 32 Vakwerkanalogie bovenaanzicht koker	28
Figuur 33 EEM model (links), Invoergegevens EEM model (rechts)	29
Figuur 34 Doorsnede deur, overzicht waterdruk	30
Figuur 35 Drukspanningen hoog waterzijde uit het EEM model	31
Figuur 36 Drukspanningen laag waterzijde uit het EEM model	31
Figuur 37 Verplaatsing ten gevolge van waterdruk (links met pendelstaven en rechts zonder pendelstaven)	32
Figuur 38 Verplaatsing ten gevolge van voorspanning	33
Figuur 39 Principe detail van een nok	34
Figuur 40 Dwarsdoorsnede, dwarskracht op lijf	34
Figuur 41 Drukspanningen in de vloer ten gevolge van de waterdruk	36
Figuur 42 Hoofdspanningen bij combinatie voorspanning en waterdruk	36
Figuur 43 Drukspanningen dichtbij de opleggingen	36
Figuur 44 Resultaten aanpassing model	37
Figuur 45 Situatie balken	38
Figuur 46 Resultaten balkafmetingen	39
Figuur 47 Situatie wanden(links), rekenschema (rechts)	40
Figuur 48 Resultaten afmetingen kolom	41
Figuur 49 Hartlijnen kruisen (links), hartlijnen kruisen niet (rechts)	42
Figuur 50 Principe detail balk-kolom verbinding	42
Figuur 51 CO ₂ -emissies door de fabricage van 1 ton product (Bowyer, 2008)	45

1 Afstudeerproject

1.1 Inleiding

In 1914 werd het Panamakanaal officieel in gebruik genomen. Het kanaal vormt een belangrijke handelsverbinding tussen Europa, Oost- en West-Amerika en Azië. Door de centraal gelegen verbinding tussen de Atlantische en de Grote (Pacifische) Oceaan worden lange en bovendien gevaarlijke omwegen vermeden. Door de stijgende olieprijs en de groeiende handel economie was er een grotere behoefte aan kortere handelsroutes waarover veel vervoerd kon worden. Het Panamakanaal, dat inmiddels zijn maximale capaciteit had bereikt, werd om die reden grootschalig uitgebreid. Elke Panamasluis heeft inmiddels in totaal acht deuren die allemaal uitgevoerd zijn in staal, wat gebruikelijk is voor sluisdeuren met zulke grote afmetingen. Deze stalen deuren hebben een levensduur van 50 jaar. Is een betonvariant, met een levensduur van 100 jaar, op gebied van CO₂-uitstoot duurzamer?

1.2 Probleemstelling

In dit afstudeerproject wordt de Panama sluisdeur in een betonvariant ontworpen. Helaas is er in de wereld slechts één betonnen sluisdeur gebouwd. Deze deur is vele malen kleiner dan de deur in het Panamakanaal. Er is derhalve geen eerder ontwerp van een betonnen sluisdeur van dit kaliber voor handen. Is het ontwerpen van een betonvariant van de Panama sluisdeur haalbaar en hoeveel CO₂-uitstoot levert dit ontwerp op?

1.3 Verantwoording onderzoeksopzet

Dit rapport is een geschreven samenvatting van mijn onderzoeksperiode. Het ontwerpen van een betonvariant, wat niet eerder op zo'n schaal is verricht, maakt dat dit onderwerp erg interessant en uitdagend is. In dit afstudeerwerk is een globaal ontwerp gemaakt van de sluisdeur. Om de constructeursvaardigheden te tonen is de constructie op belangrijke punten in detail uitgewerkt en getoetst volgens de Eurocode.

1.4 Leeswijzer

Het rapport is opgedeeld in zes onderdelen, namelijk, analyse van de situatie, literatuuronderzoek, globaal ontwerp, uitwerking, vergelijking CO₂-uitstoot met die van staal, en als afsluiting de hoofdconclusie.

Het onderzoek begint met het analyseren van de situatie en het probleem. Vervolgens is er een literatuurstudie gedaan om te analyseren wat voor informatie er al beschikbaar is en welk type deur het best past bij dit probleem. Tijdens deze fase is er ook een interview gehouden met Ingenieursbureau Amsterdam. Daarna is op basis van parametrische rekenmodellen en MCA analyses de hoofdafmeting en vormgeving van de binnenconstructie bepaald. Daaropvolgend zijn de detailberekeningen gemaakt om de constructie te toetsen op technische haalbaarheid. Uiteindelijk is de CO₂-uitstoot van de betonvariant vergeleken met die van staal. Dit rapport eindigt met de bevindingen en de conclusie.

2 Analyse situatie

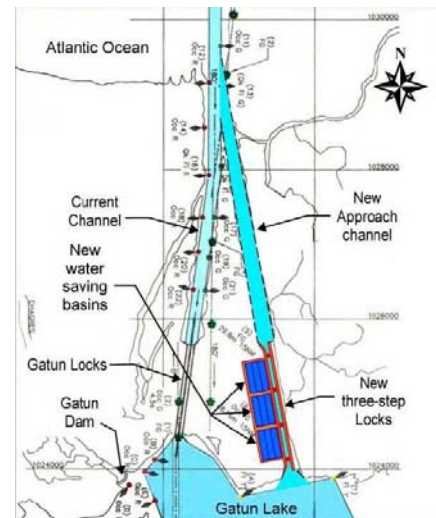
2.1 Inleiding analyse situatie

In dit hoofdstuk is de situatie beschreven. Het totaalplaatje van de sluis is hier kort beschreven. Daarna is alle relevante informatie hier beschreven waaronder de globale huidige afmetingen van het ontwerp. Dit tezamen is als basis gebruikt voor het ontwerp.

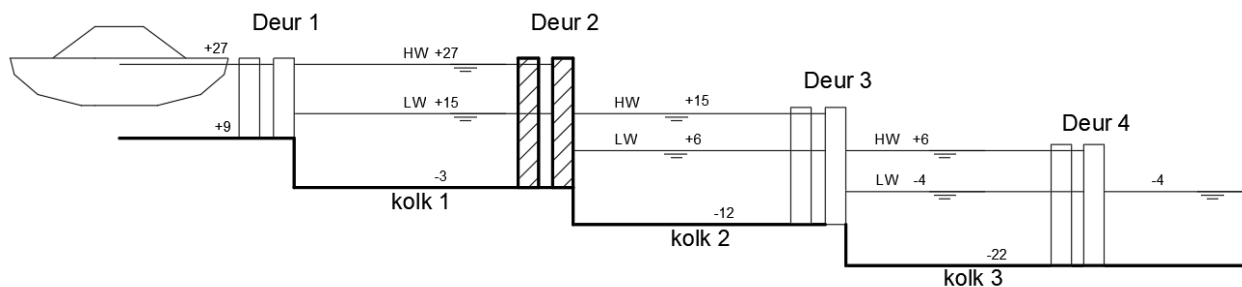
2.2 Huidig ontwerp

De twee en een halve kilometer lange sluis bevindt zich in Panama ten westen van Panama-stad. De sluis bestaat uit drie sluiskolken en vier sets sluisdeuren. Dit is in Figuur 1 weergegeven.

Elke kolkafsluiting bestaat uit twee deuren, elk met een eigen functie. De hoogste waterstand in het kanaal is CD +27m. De laagste waterstand in zee is CD -4m. Per kolk kunnen de schepen ca. 12 meter worden geschut. In Figuur 2 is dit principe weergegeven. Deze afstudeeropdracht richt zich op deurenset nummer twee. De bovenkant van de deur ligt op +28.5m en de onderkant op -3m. Voor het grootste verval is 21m aangehouden.

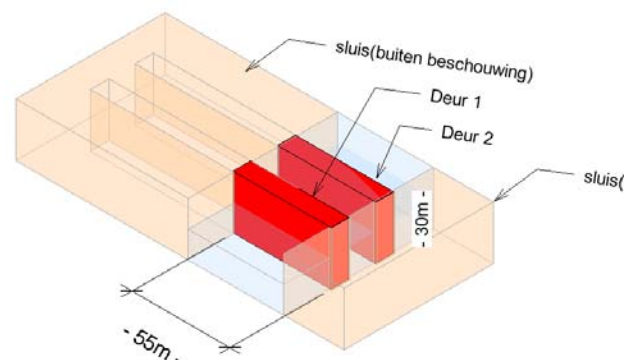


Figuur 1 Plattegrond van de situatie



Figuur 2 Principe Panama sluis, langsdoorsnede

De basisafmetingen van de deuren zijn weergegeven in Figuur 3. De breedte van de sluisolk is 55m en de hoogte van de deur is 30m. Bij gesloten toestand zijn beide deuren dicht. Eén deur houdt het water tegen terwijl de andere deur de krachten opvangt van een eventuele aanvaring met een schip. Schepen kunnen in twee richtingen de sluis passeren. Beide deuren worden even zwaar ontworpen. De deur fungeert ook als brug voor auto's.



Figuur 3 Afmetingen deur

3 Literatuurstudie

3.1 Inleiding literatuurstudie

In de literatuurstudie is informatie verzameld over sluisdeuren. Deze studie begint met een onderzoek naar bestaande betonnen sluisdeuren. Hiervoor is een interview gehouden. In paragraaf 3.2 'Ervaringen met betonnen sluisdeuren' is een samenvatting te lezen van een interview met Ingenieursbureau Amsterdam over de eerste betonnen sluisdeur ter wereld. In navolging op die paragraaf is onderzoek gedaan naar welk type deuren er dan van toepassing kunnen zijn op de Panama sluisdeur. Daarna is gekeken of standaard prefab liggers kunnen worden toegepast.

3.2 Ervaringen met betonnen sluisdeuren

In 2011 is de eerste betonnen sluisdeur ter wereld gebouwd in Amsterdam. De 10 cm dikke sluisdeur van ca. 4.75m x 6.55m heeft een gewicht van 14.1 ton. De plaat is in één keer plat gestort. De deur is uitgevoerd in hogesterktebeton C90/95 zodat het water niet het beton kan binnendringen. Dit voorkomt dat de wapening in het beton corrodeert. "Door toevoeging van 12 mm lange roestvrijstalen vezels blijft het beton na uitharding voldoende ductiel en wordt het eventuele ontstaan van micro-oppervlaktjescheurtjes voorkomen." (Cementonline, 2010)

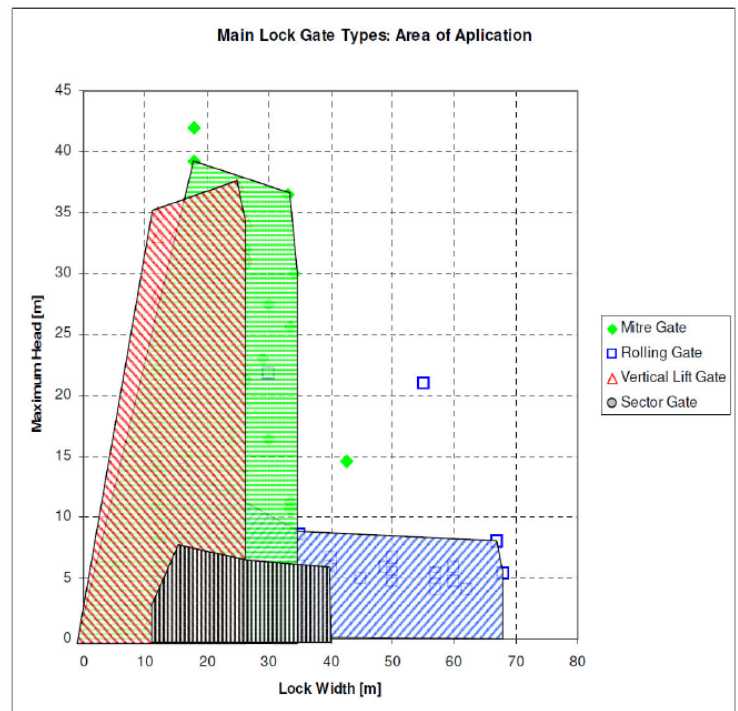
In een interview met Ingenieursbureau Amsterdam (IBA) werd gezegd dat de stichtingskosten van de deur lager waren in beton dan in staal. Zij hebben destijds een variantenstudie gedaan, waarbij ze de stichtingskosten van beide materialen hebben vergeleken.

Technisch gezien is een betonvariant in de meeste gevallen wel haalbaar. Echter, het is de uitdaging om een opdrachtgever/beheerder te overtuigen om dit te bouwen. Zelfs wanneer een betonvariant goedkoper en duurzamer wordt ingeschat, wordt er toch vaak voor een stalen variant gekozen. Opdrachtgevers kiezen vaak voor iets wat ze goed kennen. Daarnaast hebben de meeste opdrachtgevers/beheerders meerdere sluizen in beheer. Zij hebben vaak een heel beheersysteem voor hun bestaande deuren die voornamelijk van staal of hout zijn gemaakt. Het hebben van één betonnen sluisdeur in hun portfolio maakt hun systeem minder efficiënt.

In de Bijlage A1 is het volledige interview met Erik Bakker, projectmanager te IBA, te lezen. Hij was inhoudelijk betrokken bij dit project.

3.3 Type sluisdeuren

Bij de Panama sluisdeur is voor een roldeur gekozen. In deze paragraaf is uitgezocht of een ander deurtype beter bij een betonvariant past. Er is gebleken dat er veel verschillende deurtypes zijn met hun eigen voor- en nadelen. De meest voorkomende deuren zijn: puntdeuren, draaideuren, roldeuren en hefdeuren. In **Error! Reference source not found.** zijn deze types beschreven. In een eerder onderzoek is gekeken naar het toepassingsgebied van de verschillende type deuren. Hier is onderzocht welk deurtype wordt toegepast bij bepaalde overspanning en verval. In Figuur 4 is te zien dat de puntdeuren interessanter zijn bij grote vervallen en roldeuren bij grote kolkbreedtes. Puntdeuren kunnen ook redelijk grote afmetingen hebben. De vorm van de puntdeuren zorgt voor een betere momentenverdeling op de constructie.



Figuur 4 Overzicht toepassingsgebied per sluisdeur (Doeksen, 2012, p. 15)

Echter, puntdeuren in beton zijn niet interessant omdat het eigen gewicht van de deur nadelig werkt op de scharnieren. Een roldeur heeft dat probleem niet. Daarom is een roldeur voor de Panama sluisdeur een goede keuze. Dit wordt ook bevestigd in de ontwerptabel, zie Figuur 5. Hier is te zien dat voor brede sluiskolken de roldeur de beste optie is.

Type sluis	Sluisbreedte	Eenzijdig kerende puntdeuren	Dubbel stel puntdeuren	Tweezijdig kerende puntdeuren	Eenzijdig kerende draaideur	Tweezijdig kerende draaideur	Tweezijdig kerende roldeur	Eenzijdig kerende hefdeur	Tweezijdig kerende hefdeur
Tweezijdig kerende zeevaartsluis	Klein 6-10 m Middelgroot 10-16 m Groot 16-24 m Zeer groot > 24 m		X X X	X X X		X X		X X	
Tweezijdig kerende binnenvaartsluis	Zeer klein 4-6 m Klein 6-10 m Middelgroot 10-16 m Groot 16-24 m		X X X	X X X		X X X	X		X
Eenzijdig kerende binnenvaartsluis	Zeer klein 4-6 m Klein 6-10 m Middelgroot 10-16 m Groot 16-24 m	X X X			X X			X X	

Figuur 5 Deurtype als functie van type sluis en doorvaartbreedte (Vrijburcht, Ontwerpen van schutsluizen, 2000, p. 419)

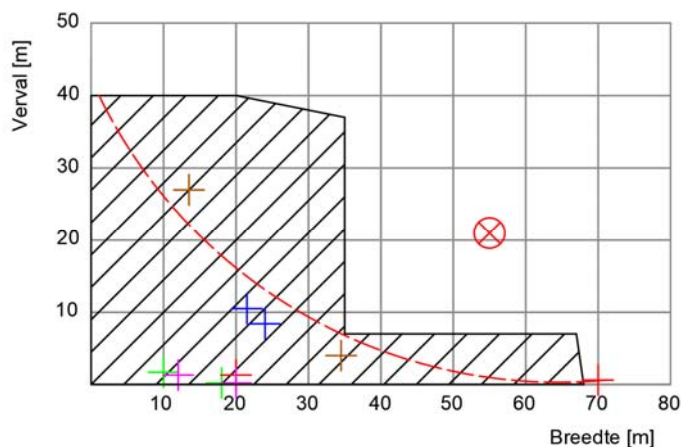
3.4 Standaard prefab beton

De gekozen roldeur kan op verschillende manieren gemaakt worden. De constructie kan gebouwd worden door gebruik te maken van standaard prefab liggers of door een project-specifieke ligger te ontwerpen. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar welke standaard liggers er bestaan en er wordt getoetst of deze kunnen worden toegepast.

Er zijn verschillende soorten prefab liggers/platen op de markt. Er zijn een vijftal producten uitgezocht. Tabel 1 is weergegeven welke liggers er zijn bekeken. Deze producten kunnen door de voorspanning een relatief grote belasting hebben. Dit is geprojecteerd in Figuur 6, waarbij één meter verval gelijk staat aan één kN/m² draagvermogen. Elk product wordt aangegeven met een kleur. De grootste overspanning met het bijbehorende draagvermogen is als een kruis in de figuur geplaatst. De gestreepte oppervlakte representeert de gebouwde sluisdeuren (Doeksen, 2012). De rode stippellijn representeert de denkbeeldige grens voor standaard prefab liggers. De cirkel met een kruis representeert de parameters voor het Panamakanaal. Om toch de afmetingen van 55m breed met een verval van 21m te realiseren in beton is het noodzakelijk om af te wijken van standaard prefab liggers. Voorspanning is ook vereist om de constructie zo slank mogelijk te bouwen. Zoals beschreven in paragraaf 2.2 kunnen schepen de sluis in twee richtingen passeren. De kans op een aanvaring door een schip is aanwezig. Dit mag niet leiden tot het bezwijken van de constructie. Om die reden is het voor de hand liggend om de liggers kokervorming uit te voeren in plaats van platen of I-liggers. In Bijlage A3 zijn de productgegevens weergegeven.

Prefab element	Type	Kleur in tabel	Bron
Kanaalplaat	Kanaalplaat400	Groen	VBI
Kokerliggers	HPK1800	Rood	Haitsma
Rechte Balken	BX600/1500	Geel	Prefabsystemen
I liggers	I65/160	Blauw	Prefabsystemen
TT liggers	TT810+80	Magenta	Haitsma

Tabel 1 Soorten prefab elementen



Figuur 6 Toepassingsgebied standaard prefab liggers

3.5 Conclusie

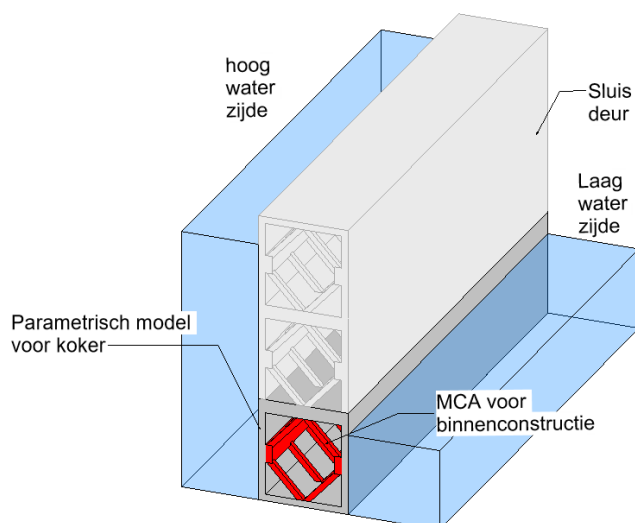
Er is ten eerste onderzoek gedaan naar bestaande betonnen sluisdeuren. Hieruit is gebleken dat er weinig ervaring met betonnen sluisdeuren is in de wereld. Er is maar één betonnen sluisdeur gebouwd in de wereld. Dit heeft niet veel te maken met de technische haalbaarheid van een betonvariant. Of een betonvariant duurzamer en/of goedkoper is, daar zijn de meeste opdrachtgevers niet in geïnteresseerd. Zij willen graag een bewezen concept met weinig risico en willen niet zoveel diversiteit in hun portfolio. Hierdoor kunnen ze hun beheer zo goed en efficiënt mogelijk kunnen inrichten.

Er is vervolgens gekeken naar type deuren voor dit ontwerp. Voor sluisdeuren met grote afmetingen, zoals voor de Panama sluisdeur, verdient het de aanbeveling om een roldeur toe te passen. Dit kan niet met standaard liggers worden uitgevoerd. Voor dit probleem moet een project-specifieke voorgespannen ligger ontworpen worden. Er zullen kokervormige liggers worden toegepast, zodat de deur bij een eventuele aanvaring met een schip niet zal bezwijken.

4 Globaal ontwerp

4.1 Inleiding globaal ontwerp

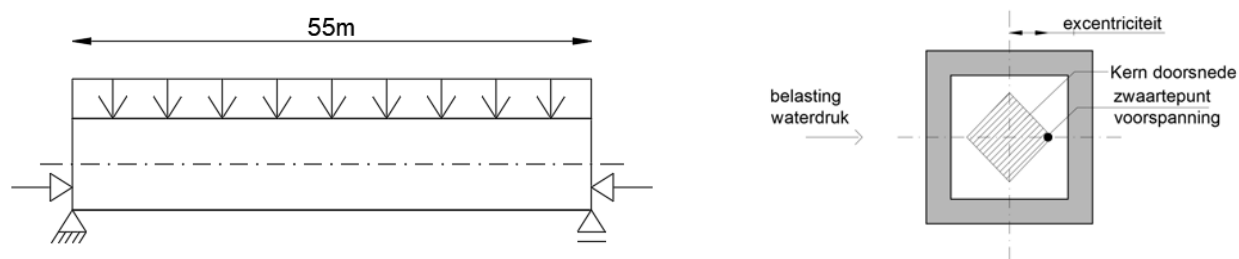
Uit het voorgaande hoofdstuk is gebleken dat de sluisdeur niet kan worden gerealiseerd met standaard prefab liggers. Daarom is ervoor gekozen om een project-specifieke koker te ontwerpen voor deze sluisdeur. Deze kokers worden op elkaar gestapeld en aan elkaar vast gemaakt tot één deur. In dit hoofdstuk is gekeken naar het globale ontwerp van de zwaarst belaste kokerligger en de binnenconstructie daarvan. In Figuur 7 zijn deze twee onderdelen weergegeven. Met een parametrisch model is het meest optimale ontwerp gemaakt voor de zwaarst belaste koker. Dit is weergegeven in donkergrijs. Met een “Multi-Criteria Analyse” (MCA) is een keuze gemaakt voor de vormgeving van de binnenconstructie. Dit is weergegeven in rood. Voor deze constructie is er ook naar de uitvoeringsaspecten gekeken.



Figuur 7 Onderdelen voor globaal ontwerp

4.2 Parametrisch model

Het parametrisch model richt zich op het optimaleren van de koker. Het rekenschema voor dit model is een voorgespannen ligger op twee steunpunten met daarop een gelijkmatig verdeelde belasting, zie Figuur 8. De gekozen belasting is verantwoord in paragraaf 4.2.2. Het zwaartepunt van de voorspanning ligt op de kern van de doorsnede. Dit is beschreven in paragraaf 4.2.3.



Figuur 8 Schematisering model (links) en ligging kern doorsnede (rechts)

De afmetingen van de koker bepalen het weerstandsmoment en zo ook de grootte van de voorspankracht die nodig is om de belasting op te kunnen nemen. Voor verschillende kokerafmetingen worden de volgende waarden berekend: maximale drukspanning, hoeveelheid beton en totaal gewicht bij laag water. Op basis van deze berekende waarden bij verschillende kokerafmetingen, wordt bepaald welke kokerafmetingen het meest optimaal zijn.

4.2.1 Doel parametrisch model

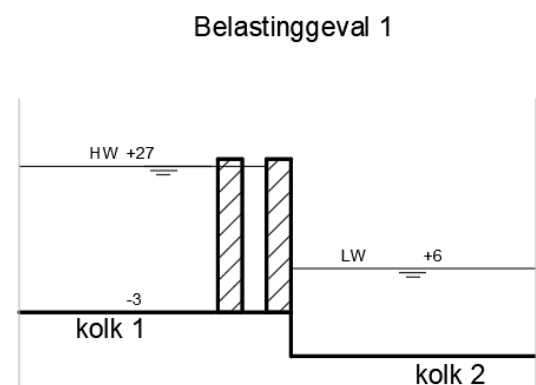
Voor het kiezen van de juiste afmetingen is er gekeken naar een aantal factoren. De maximale drukspanning op het beton mag niet te hoog of te laag zijn. Bij een te lage maximale drukspanning is de constructie minder efficiënt geconstrueerd. Er is dan ruimte om slanker te construeren. Bij een te hoge drukspanning komen problemen voor als krimp en maximale overschrijding van de drukk betonsterkte. Voor het behalen van een hoge betonkwaliteit is het belangrijk dat de constructie in een omgeving wordt gebouwd waar de omstandigheden gunstig zijn. Daarom is gekozen voor een constructie met een maximale drukspanning van circa 20 à 25 N/mm². Daarnaast moet er zo min mogelijk beton worden gebruikt en mag de constructie niet te zwaar zijn. Dit is nadelig voor de wielconstructie.

4.2.2 Maatgevende belasting

De deur moet voldoende sterk ontworpen zijn om verschillende belastingen op te kunnen nemen. In deze paragraaf is globaal gekeken naar welk belastinggeval maatgevend is voor het parametrisch model. Dit is bepaald door de volledige deur te modelleren als een ligger op twee steunpunten met de belasting erop. Het belastinggeval dat het grootste moment geeft, is de maatgevende belasting. Andere belastinggevallen worden niet meegenomen in het model.

Waterdruk

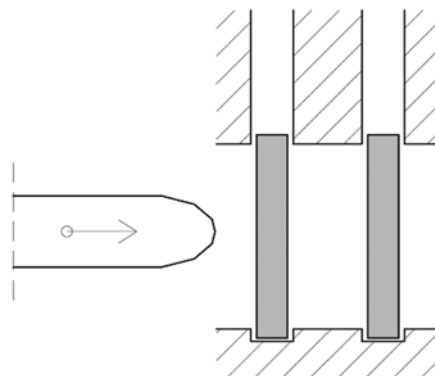
De deur scheidt het hoogwater van laagwater. De grootste waterdruk op de constructie ontstaat wanneer er aan de ene kant extreem hoogwater staat en aan de andere kant extreem laagwater, zie Figuur 9. Deze constructie behoort tot een betrouwbaarheidsklasse 3. De belastingfactor van 1.65 is hier van toepassing. De vraag is of dit realistisch is omdat de hoogwaterstand is gelimiteerd door de bovenkant van de deur. Er kan wel extreem laagwater ontstaan. Daarom is gekozen om toch de belastingfactor van 1.65 aan te houden.



Figuur 9 Belastinggeval: waterdruk

Scheepsbelasting

Er zijn per sluishoofd twee deuren aanwezig. Bij gesloten toestand zijn beide deuren dicht. De voorste deur moet eventuele aanvaringen met een schip kunnen weerstaan terwijl de andere deur het water keert, zie Figuur 10. Bij een aanvaring moet een hoeveelheid energie worden opgenomen. Het buigend moment op de deur is uitgerekend met een energiesom. Er is een ligger op 2 verende steunpunten met een gelijkmatig verdeelde belasting van 5.5m breed in het midden gemodelleerd. De energieopname is bepaald door: $E = \frac{F \cdot \Delta l}{2}$.



Figuur 10: Scheepsbelasting

Aardbeving

Het rekenmodel is voor het berekenen van het optredend moment identiek aan het model met de waterdruk. Voor de aardbevingsbelasting is de Westergaardmethode toegepast. Dit houdt in dat de waterdruk ten gevolge van de aardbeving is verhoogd met een factor. Voor een aardbeving belasting is een belastingfactor 1.0 aangehouden omdat dit een incidentele belasting is.

Resultaten

Het optredend moment ten gevolge van de verschillende belastinggevallen zijn uitgerekend en weergegeven in Tabel 2. Uit de berekening is gebleken dat de waterdruk maatgevend is. Voor het ontwerpen van de koker is daarom de waterdruk als belasting aangehouden. In Bijlage A4 zijn de berekeningen in detail weergegeven.

Type belasting	Belastingscombinatie	Type	Buigend moment kNm]
Waterdruk	ULS	Excel	1310203
Scheepsbelasting	SLS incidentieel	Scia	550000
Aardbevingsbelasting	SLS incidentieel	Excel	1278063

*

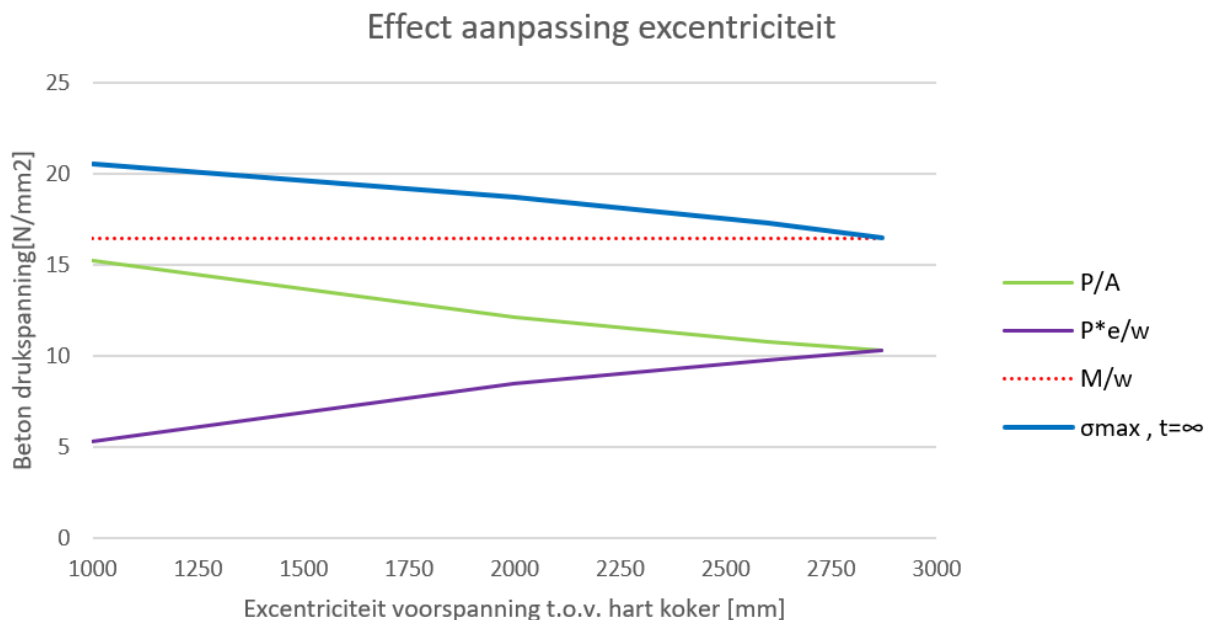
Tabel 2 Resultaten maatgevende belasting

*

Het optredend moment ten gevolge van de scheepsbelasting is minder dan de helft ten opzichte van het optredend moment ten gevolge van de waterdruk. Dit komt doordat er slappe veren zijn toegepast bij de opleggingen. De veren moeten hard genoeg zijn om de waterdruk tegen te gaan, en slap reageren bij een aanvaring met een schip. Door de slappe veer is de indrukking bij aanvaring groot en wordt er dus veel energie opgenomen. Een vereiste is wel dat de indrukking van de veer haalbaar is. De wielen onder de deur moeten deze verplaatsingen ook toestaan. Dit wordt niet verder uitgewerkt.

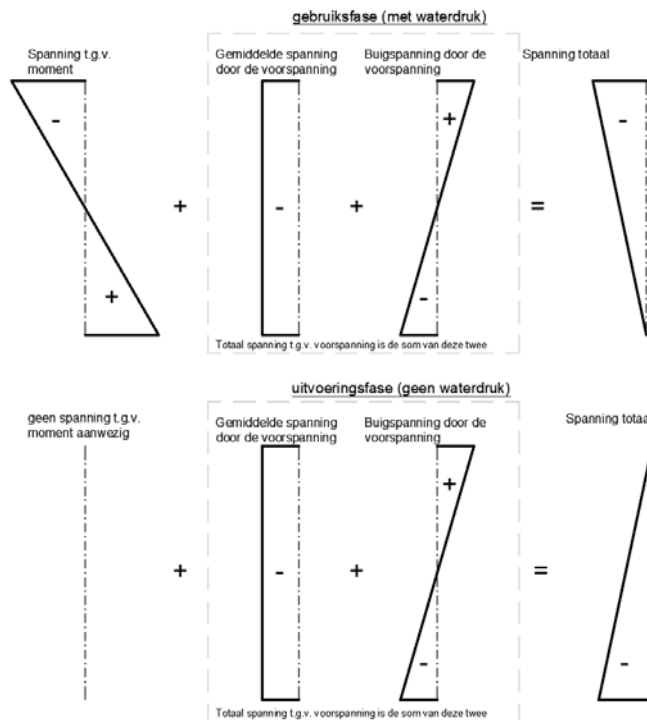
4.2.3 Bepaling excentriciteit voorspanning

Door de waterdruk ontstaan er trek- en drukspanningen op de ligger. Met behulp van voorspanning worden deze trekspanningen opgenomen. De voorspanning kan centrisch of excentrisch op de ligger worden aangebracht. De excentriciteit van de voorspanning heeft effect op de maximale drukspanning op de constructie. Bij een kleine excentriciteit is een grote voorspankracht nodig om het moment ten gevolge van de waterbelasting op te kunnen nemen. Hiervoor is een grotere axiale druk nodig en zal de maximale drukspanning toenemen. De maximale drukspanning op de constructie daalt wanneer de excentriciteit wordt vergroot. Dit komt doordat het aandeel druk ten gevolge van de excentriciteit groter wordt en een lagere axiale drukkracht nodig is. Dit is berekend en weergegeven in Figuur 11. Hier is de excentriciteit op de x-as en de betondrukspanning op de y-as weergegeven. Hoe groter de excentriciteit, hoe lager de maximale betondrukspanning.



Figuur 11 Drukspanning - excentriciteit

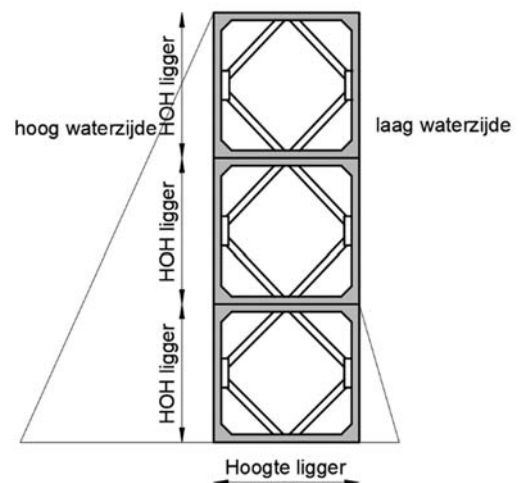
Tijdens de bouwphase, wanneer er geen waterdruk op de koker staat, mogen geen trekspanningen ontstaan in de koker ten gevolge van de voorspanning. Om die reden is er gekozen om het zwaartepunt van de voorspanning op de rand van de kern van de doorsnede te kiezen. Dit principe is weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12 Voorspanning op kern constructie

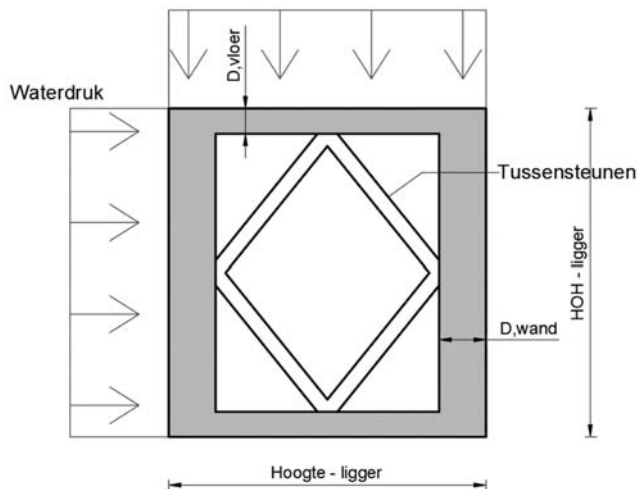
4.2.4 Geometrie koker

Er zijn twee parameters in het model die kunnen worden aangepast, namelijk de hoogte van de ligger en de hart op hart afstand van de ligger, hierna H.O.H. ligger. De hoogte van de ligger komt overeen met de dikte van de deur. In Figuur 13 is de doorsnede van de deur weergegeven. Links van het plaatje is de hoog waterzijde en rechts de laag waterzijde. Door het drukverschil wordt de deur horizontaal belast. Daarom is de benaming hoogte ligger zo gekozen.



Figuur 13 Definitie parameters

Uit deze twee parameters zijn de dikte van de vloeren en wanden bepaald. De dikte van de vloer heeft een directe relatie met de hoogte van de ligger. De hoogte van de ligger is feitelijk de overspanning van de vloer. Hetzelfde principe geldt voor de dikte van de wand in relatie tot de hart op hart afstand van de hoofdligger, zie Figuur 14. Om de vloeren en wanden zo slank mogelijk te maken, is ervoor gekozen om tussensteunpunten te maken. In paragraaf 4.3 wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 14 Principe model

Relatie hoogte ligger – dikte vloer

De overspanning van de vloer is afhankelijk van de hoogte van de ligger. Hoe hoger de ligger, hoe groter de overspanning. Voor het bepalen van de vloerdikte is een model gemaakt. De vloer is gemodelleerd als een één meter brede ligger op twee steunpunten. Vervolgens is er 70% van de maximale wapeningspercentage toegepast om hiermee de dikte van de vloer te bepalen. Er is niet meer dan 70% toegepast om wat restcapaciteit over te houden voor de lokale spanningen. Deze methode is ook toegepast om de dikte van de wanden te bepalen. De resultaten van de vloerdikte is weergegeven in Tabel 3.

Hoogte ligger [m]	Vloer dikte [m]
8	0.597
9	0.673
10	0.747
11	0.821

Tabel 3 Bepaling vloerdikte op basis van de hoogte ligger en 70% $A_{s,max}$

4.2.5 Traagheidsmoment en weerstandsmoment

Met de afmetingen van de koker is het traagheidsmoment bepaald met de volgende formule:

$I_{rechthoek} = \frac{b \cdot h^3}{12}$. Daaropvolgend is het weerstandsmoment bepaald door het traagheidsmoment te delen door de afstand van het zwaartepunt tot de uiterste vezel $w = \frac{I}{e}$. De afstand e is in dit geval de helft van de hoogte van de koker.

4.2.6 Bepaling voorspanning

Nu het weerstandsmoment is bepaald, kunnen de druk- en trekspanning in de uiterste vezel worden uitgerekend. De trekspanning in het beton wordt opgenomen door de excentrische voorspanning. De grootte van de voorspankracht bij $t=\infty$, is uitgerekend met de volgende formule:

$$\sigma_c = \frac{-P_{m,\infty}}{A_c} + \frac{-P_{m,\infty} * e}{W} + \frac{M_{Ed}}{W} = 0$$

De voorspankracht bij $t=0$ ligt hoger omdat er in de loop van de tijd spanningsverliezen ontstaan. Er is uitgegaan van een spanningsverlies van 20%.

4.2.7 Voorbeeldsom

Met de twee parameters “hoogte” en “H.O.H. ligger” kunnen de maximale drukspanning, de hoeveelheid beton en het totaal gewicht bij laag water worden uitgerekend. In Tabel 4 is een voorbeeldsom van een 10m x10m koker weergegeven.

Onderdeel	Symbol	Waarde	Dimensie	Toelichting
Belasting	q	210	kN/m ²	Waterdruk
Belastingsfactor	γ	1.65	-	Belastingfactor - CC3
Hoogte	h _{uit}	10	m	Parameter invoer
H.O.H. ligger	b _{uit}	10	m	Parameter invoer
Betonddoorsnede oppervlakte	A _c	27.6	m ²	$A_c = b_{uit} * h_{uit} - b_{in} * h_{in}$
Totale hoeveelheid beton per koker	V _{c,koker}	1526	m ³	$V_{c,koker} = A_c * 55$
Aantal kokers	s	3	stuks	$s = \frac{totale\ hoogte}{b_{uit}} = \frac{30}{10}$
Totale hoeveelheid beton deur	V _{c,deur}	4578	m ³	$V_{c,deur} = V_{c,koker} * s$
Maximaal wapeningspercentage	A _{s,max}	2	%	Aanname 70% van A _{s,max}
Dikte wand	t _{wand}	0.747	m	$z = \frac{M_d}{A_{s,max} * f_{y,d} * 0.7}$ $t_{wand} = \frac{z}{0.9 * 0.85}$
Dikte vloer	t _{vloer}	0.747	m	$z = \frac{M_d}{A_{s,max} * f_{y,d} * 0.7}$ $t_{vloer} = \frac{z}{0.9 * 0.85}$
Traagheidsmoment	I			$I_{koker} = \frac{b_{uit} * h_{uit}^3}{12} - \frac{b_{in} * h_{in}^3}{12}$

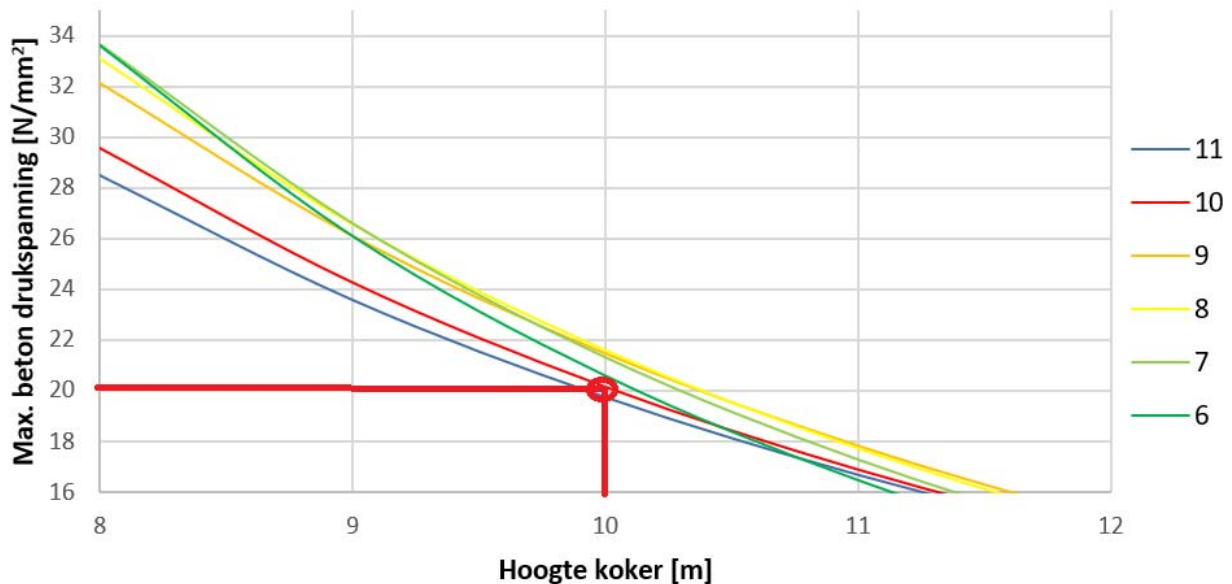
Weerstandsmoment	W	59.5	m ³	$w = \frac{I}{e}$
Optredende moment	M _{Ed}	1310203	kNm	$M_d = \frac{b * q * \gamma * l^2}{8}$
Excentriciteit voorspanning	e	3	m	$e = 0.3 * h$ Aanname omdat het een koker is
Voorspankracht bij t = ∞	P _{m,∞}	223107	kN	$\sigma_c = \frac{-P_{m,\infty}}{A_c} + \frac{M_{Ed}}{W} = 0$
Voorspankracht bij t = 0	P _{m,0}	278884	kN	$P_{m,0} = 0.8 * P_{m,\infty}$ (aanname)
Maximale drukkracht	σ _c	20	N/mm ²	$\sigma_c = \frac{P_{m,0}}{A_c} + \frac{P_{m,0} * e}{W}$

Tabel 4 Voorbeeldsom

4.2.8 Resultaten model

De resultaten van het parametrisch model zijn weergegeven in drie figuren. Elk figuur behandelt een ander onderdeel van de resultaten. Op de horizontale as is de hoogte van de koker weergegeven. De verticale as geeft de resultaten weer. Er zijn meerdere lijnen in verschillende kleuren weergegeven. Deze verschillende lijnen geven de h.o.h. afstand weer.

Maximale drukspanning bij t=0 hoogwater zijde

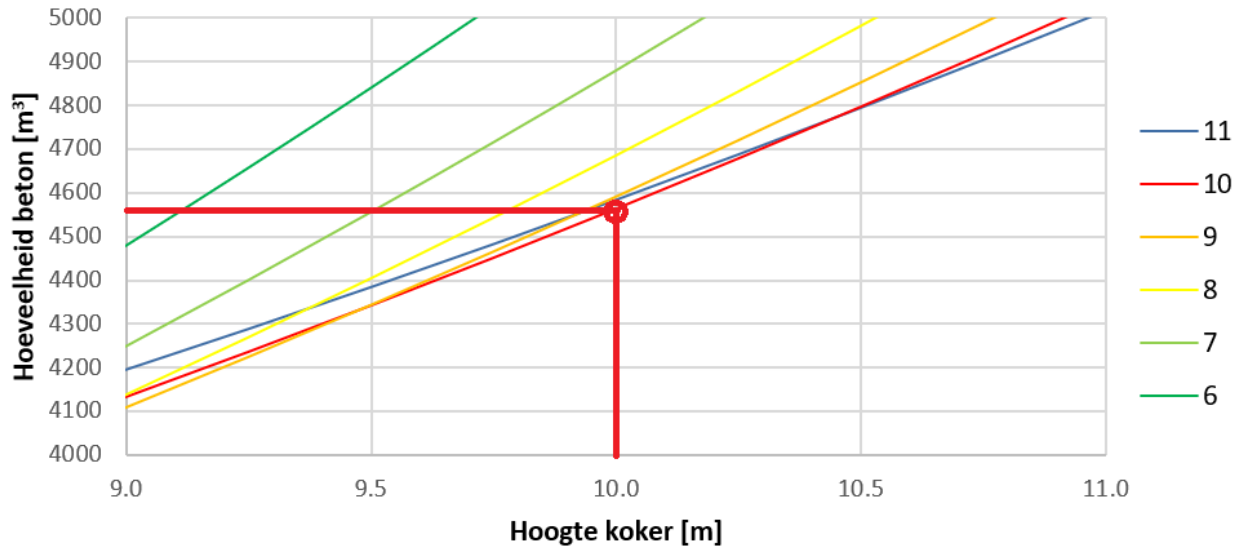


Figuur 15 Drukspanning/hoogte koker diagram

De maximale drukspanning treedt op wanneer de koker is voorgespannen bij t=0 en nog niet wordt belast door de waterdruk. In Figuur 15 is de hoogte van de koker uitgezet tegenover de drukspanning. De hoogte van de constructie heeft een grote invloed op de betondrukspanning

van de koker. Hoe hoger de liggers, hoe lager de drukspanningen omdat er minder voorspanning nodig is. Een hart op hart afstand van 10 meter, in combinatie met een hoogte van 10 meter, geeft 20 N/mm² als resultaat.

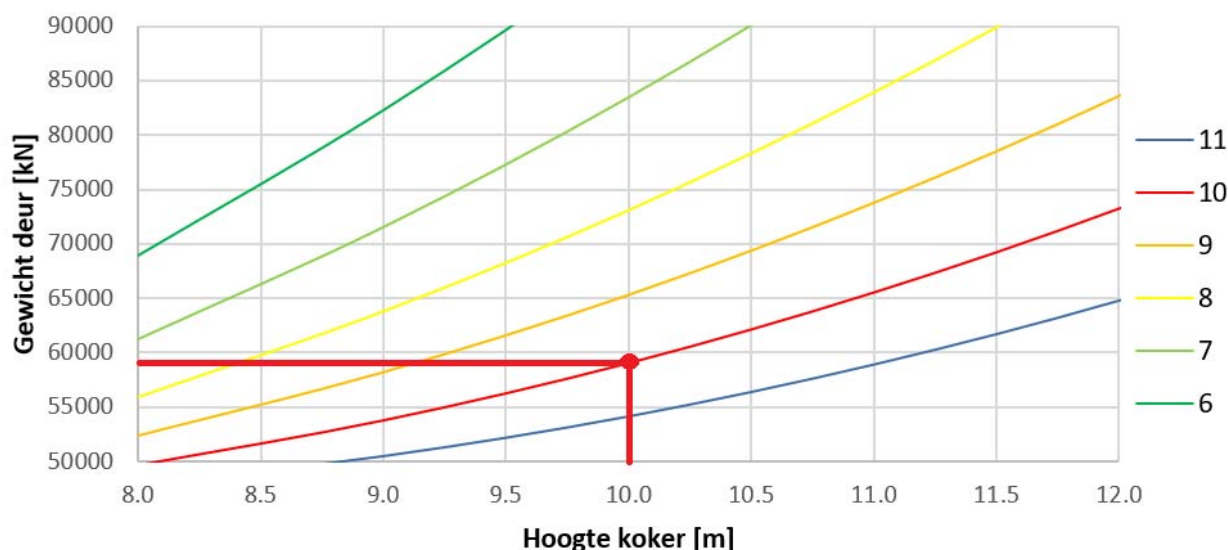
Hoeveelheid beton



Figuur 16 Oppervlakte doorsnede/hoogte koker diagram

De afmetingen van de koker hebben invloed op de hoeveelheid beton. In Figuur 16 is de hoogte van de koker uitgezet tegenover de hoeveelheid benodigd beton per deur. Hoe breder een deur, hoe meer beton er nodig is. De hoeveelheid beton per deur is bepaald door het volume van één koker te vermenigvuldigen met het aantal benodigde kokers per deur. Voor het bepalen van het aantal kokers moet de totale deurhoogte van 30m worden gedeeld door de HOH ligger. Een hart op hart afstand van 10 meter, in combinatie met een hoogte van 10 meter, geeft 4563 kN als resultaat.

Gewicht deur bij laag water



Figuur 17 Gewicht deur/hoogte koker diagram

Bij laagwater is het gewicht van de deur het hoogst. Het gewicht is bepaald door de hoeveelheid beton te vermenigvuldigen met het soortelijk gewicht van beton. De onderste koker wordt dichtgehouden. Hierdoor wordt een opwaartse kracht gegenereerd. Deze kracht wordt van het totaalgewicht afgetrokken. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 17. Een hart op hart afstand van 10 meter, in combinatie met een hoogte van 10 meter, geeft 59068 kN als resultaat.

4.2.9 Interpretatie resultaten

Uit alle resultaten zijn de vier beste varianten weergegeven. In Tabel 5 zijn deze varianten weergegeven. Variant 3 is uit dit onderzoek als beste naar voren gekomen. Alhoewel het gewicht van de deur bij laag water bijna 10% zwaarder is dan variant 1, is de betondrukspanning een stuk lager. Variant 4 heeft weer een te lage drukspanning, waardoor de kracht van voorspanning niet optimaal wordt benut. Er is relatief veel beton nodig en minder voorspanning. Variant 2 kan een goed alternatief zijn, maar is wegens de geometrie niet gekozen. De deur moet van een wegconstructie worden voorzien. Voor de bovenste 3 meter zal dan een waterkerende wand moeten worden geplaatst en een brug op 3 meter boven de bovenzijde van de deur.

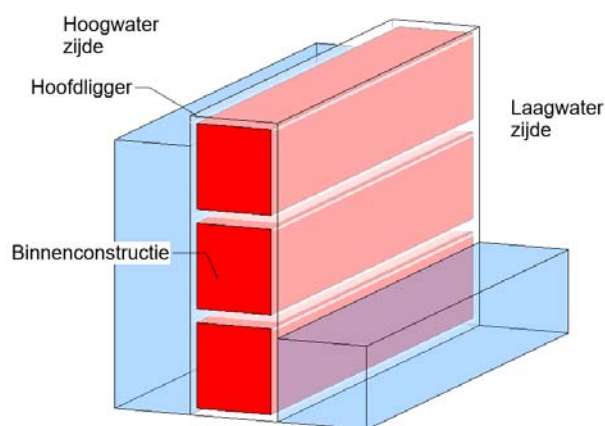
Variant	Hoogte [m]	H.o.h ligger [m]	Axiale druk	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	Hoeveelheid beton [m ³]	Gewicht van de deur [kN]
1	8	8	16.5	33	3647	55974
2	9	9	13	26	4109	58171
3	10	10	10	20	4563	59068
4	11	11	8.5	17	5017	58865

Tabel 5 Overzicht resultaten model

4.2.10 Conclusie parametrisch model

Het parametrisch model geeft inzicht over de globale afmetingen van de kokerconstructie. Hierbij is rekening gehouden met de maximaal optredende drukspanning op het beton door de voorspanning, het materiaalgebruik en het totaalgewicht van de koker. Uit de berekening is gebleken dat een koker van 10m x 10m de het meest optimaal is.

4.3 Binnenconstructie

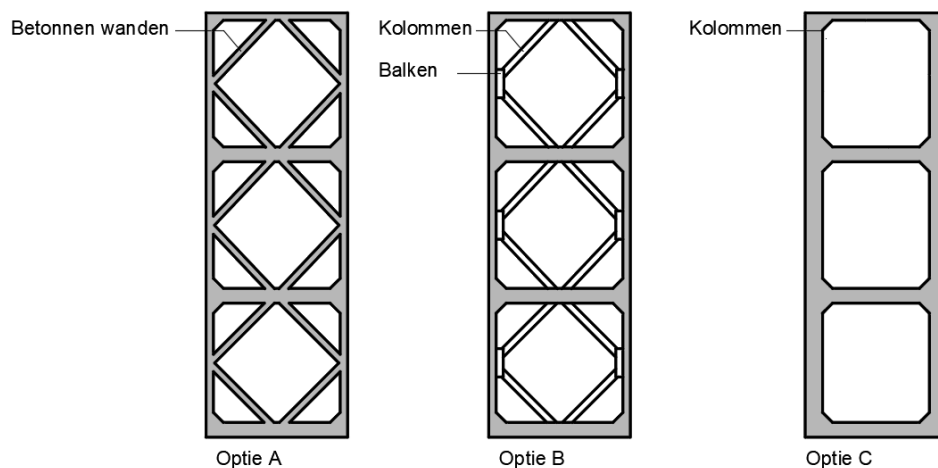


De deur heeft een totale hoogte van 30m. Om de kokers goed te laten werken is een binnenconstructie nodig. Om de beste keuze te maken is er gebruik gemaakt van een MCA analyse. Door middel van de gekozen criteria en de weegfactoren worden de varianten kwalitatief met elkaar vergeleken en afgewogen. In Figuur 18 is in rood aangegeven waar de binnenconstructie zich bevindt.

Figuur 18 Aanduiding binnenconstructie

4.3.1 Varianten

Er worden 3 opties bekeken. Bij optie A en B zijn de stabiliserende elementen in doorsnede als “gedraaide koker” gemaakt. Optie A bestaat uit betonnen wanden die parallel lopen met de koker. Optie B bestaat uit balken en kolommen. Bij optie C worden geen kruizen toegepast. Daartegenover worden de wanden en vloeren zwaarder uitgevoerd. In Figuur 19 zijn de varianten in doorsnede weergegeven.



Figuur 19 Overzicht varianten

4.3.2 Criteria en weegfactoren

In dit hoofdstuk worden de criteria beschreven en toegelicht. Bij elk criterium zijn de weegfactoren arbitrair toegekend. Dit is uiteindelijk meegenomen in de MCA. In Figuur 20 is een overzicht van de weegfactoren weergegeven.

Onderdeel	Weegfactor
Kosten	2
Duurzaamheid	4
Realiseerbaarheid	3
Veiligheid	4

Figuur 20 Overzicht weegfactoren

4.3.2.1 Kosten

Kosten worden opgedeeld in drie onderdelen, namelijk, “Directe kosten (bouwstoffen)”, “Materieel en mankracht” en “Onderhoudskosten”. “Directe kosten (bouwstoffen)” hebben een directe link met het materiaalgebruik en de kosten daarvan. De kosten voor het benodigde materieel en voor de mankracht voor het bouwen van de constructie vallen onder “Materieel en mankracht”. Voor de “Onderhoudskosten” is er alleen gekeken naar de kosten van het materieel dat nodig is.

4.3.2.2 Duurzaamheid

Duurzaamheid is opgedeeld in twee onderdelen, namelijk, “Energie en materiaalgebruik” en “Technische duurzaamheid”. “Energie en materiaalgebruik” heeft een directe link met het materiaalgebruik en de duurzaamheid daarvan. “Technische duurzaamheid” zegt wat over de levensduur, kans op schade en materiaalgebruik bij het vervangen van de onderdelen.

4.3.2.3 Realiseerbaarheid

Realiseerbaarheid wordt opgedeeld in drie onderdelen, namelijk, realiseerbaarheid, planning en onderhoudskosten. Realiseerbaarheid zegt wat over de moeilijkheid van het bouwen en het detailleren. De planning gaat over de snelheid en efficiëntie van de bouw. Bij onderhoudskosten zijn de uitvoerbaarheid en de kosten daarvan bekeken.

4.3.2.4 Veiligheid

Veiligheid is opgedeeld in twee onderdelen namelijk, “Veilig werken bij aanbrengen” en “Veilig onderhoud constructie. Bij “Veilig werken bij aanbrengen” is er gekeken naar veiligheid tijdens het bouwen van de constructie. Voor het onderdeel “Veilig onderhoud constructie” is de veiligheid tijdens het onderhoud bekeken.

4.3.3 Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse is een manier om het effect van wijzigingen van parameters op de uitkomst van de MCA in kaart te brengen. In dit onderzoek is er gekozen om de weegfactoren te laten variëren. Hierdoor is inzichtelijk welke onderdelen invloed hebben op de keuze van de constructie.

4.3.4 Resultaten MCA

In Figuur 21 zijn de resultaten van de MCA weergegeven. Uit de MCA is gebleken dat optie B het hoogst scoort. Echter, deze resultaten kunnen anders als er met weegfactoren worden geschoven. Zo is optie A het beste alternatief wanneer er geen weegfactoren worden toegepast en C wanneer veiligheid zwaarder meetelt.

Criterium	Weeg- factor	Alternatief		
		Wanden "gedraaide koker"	Kolom/balk "gedraaide koker"	Wanden "Open"
Onderdeel		Optie A	Optie B	Optie C
1 Kosten				
.1 Directe kosten (bouwstoffen)		2	4	2
.2 Materieel en mankracht		4	2	2
.3 Onderhoudskosten (materieel)		3	3	3
Subtotaal kosten	2	3.0	3.0	2.3
2 Duurzaamheid				
.1 Energie en materiaalgebruik		2	4	2
.2 Technische duurzaamheid		2	3	3
Subtotaal duurzaamheid	4	2.0	3.5	2.5
3 Realiseerbaarheid				
.1 Realiseerbaarheid		5	2	2
.2 Planning		5	2	2
.3 Onderhoudskosten (uitvoering)		2	3	3
Subtotaal realiseerbaarheid	3	4.0	2.3	2.3
4 Veiligheid (ARBO)				
.1 Veilig werken bij aanbrengen		4	3	4
.2 Veilig onderhoud constructie		2	3	4
Subtotaal veiligheid	4	3.0	3.0	4.0
Resultaat, niet gewogen		12.0	11.8	11.2
Resultaat, gewogen		38.0	39.0	37.7
Weging t.b.v. gevoeligheid		Optie A	Optie B	Optie C
Criterium 1 factor x2		44.0	45.0	42.3
Criterium 2 factor x2		46.0	53.0	47.7
Criterium 3 factor x2		50.0	46.0	44.7
Criterium 4 factor x2		50.0	51.0	53.7

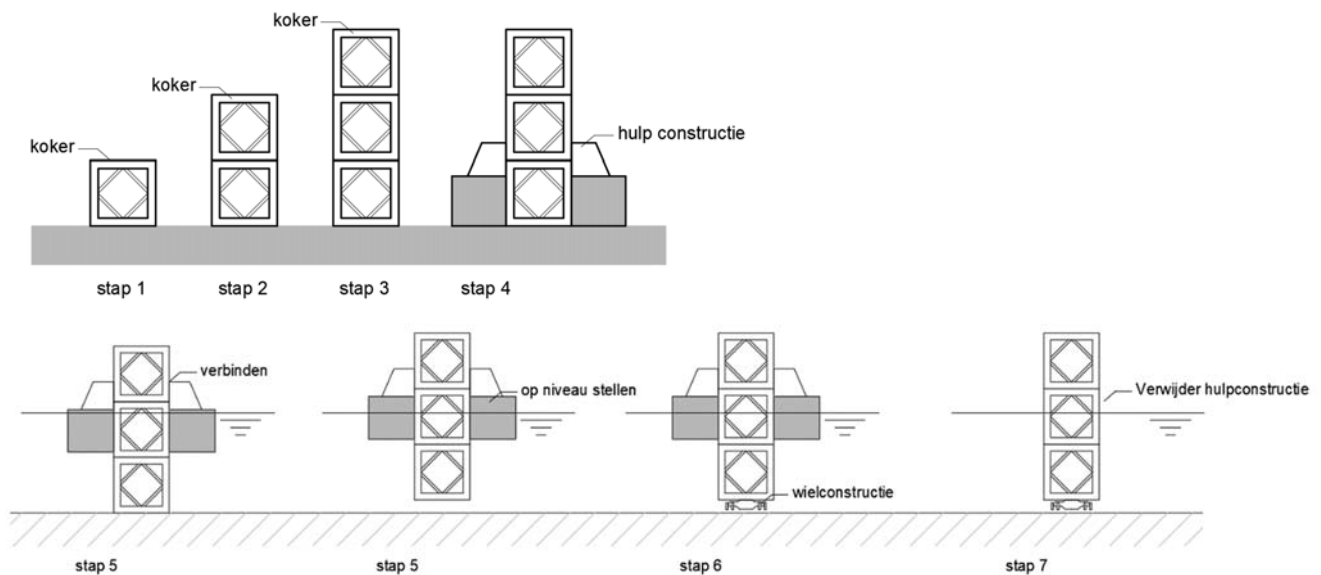
Figuur 21 Resultaten MCA

4.3.5 Conclusie

Voor deze analyse zijn drie alternatieven bekeken en vergeleken met elkaar. Er zijn een viertal criteria aangehouden. Uit de resultaten blijkt dat variant B, kolom balken structuur, de beste optie is. De gevoeligheidsanalyse toont aan dat andere varianten interessant kunnen zijn als de weegfactoren andere waardes hebben. Voor dit ontwerp is variant B gekozen.

4.4 Uitvoering

Het bouwen van de deur gebeurt in zeven stappen, zie Figuur 22. De kokers worden los van elkaar gemaakt. Dit verhoogt de snelheid van de productie omdat er meerdere kokers tegelijk kunnen worden gemaakt. Vervolgens worden de kokers op elkaar gestapeld en aan elkaar verbonden. Daarna worden er tijdelijke pontonconstructies tegen de deur gebouwd om het drijfvermogen te verhogen. Zo kan de deur weg worden gevaren.



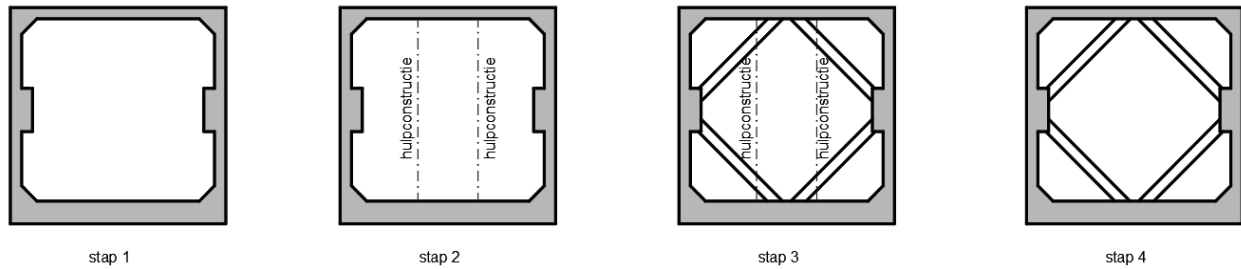
Figuur 22 Principe uitvoering in zeven stappen

4.4.1 Betonproductie

Er zijn grote hoeveelheden beton nodig om de kokers te bouwen. Deze zullen dicht bij het sluisencomplex worden gemaakt om zo de transportkosten te reduceren. Voor het behalen van een hoge betonkwaliteit is het belangrijk dat de constructie in een omgeving wordt gebouwd waar de omstandigheden gunstig zijn. Het aanleveren van grote hoeveelheden beton met een hoge betonkwaliteit in Panama is uitdagend. Met dit in gedachte is ervoor gekozen om een maximale sterkteklasse van C45/55 aangehouden.

4.4.2 Stap 1 - Prefab koker

De koker kan op verschillende manieren worden gemaakt. Om krimp scheuren te voorkomen in de wanden, wordt de koker gemaakt door horizontale glijbekisting. De bekisting kan na het harden van het beton uit de koker rijden. Op dat moment zijn de schuine kolommen nog niet gebouwd. Er worden hulpconstructies geplaatst om de spanningen op de vloer te beperken. Daarna kan de binnenconstructie worden gebouwd. Nadat de binnenconstructie is gebouwd, kunnen de hulpconstructies weer verwijderd worden. De koker is nu klaar om gestapeld te worden. In Figuur 23 is dit principe weergegeven.



Figuur 23 Uitvoering koker

4.4.3 Stap 2 & 3 - Stapelen

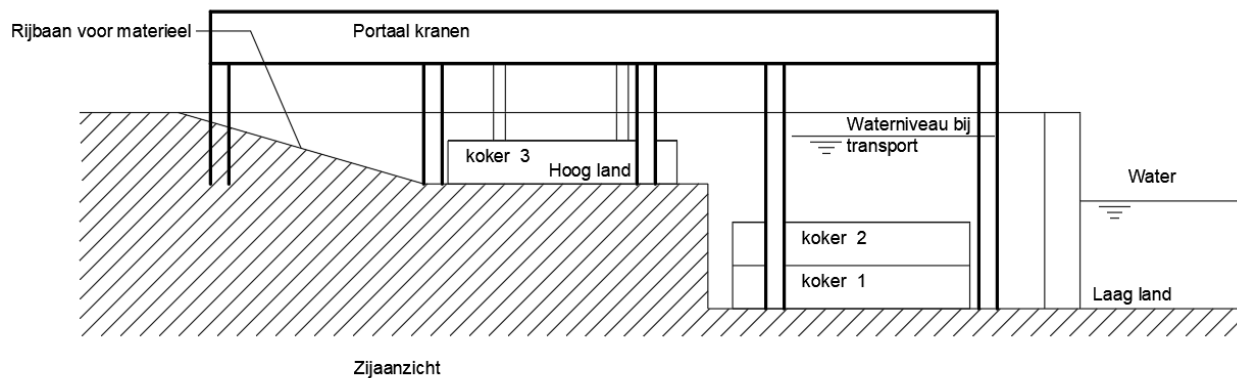
Kokers kunnen gemaakt worden in een droogdok met twee niveaus. Op de hoge zijde worden de kokers apart gebouwd. Daarna worden ze getransporteerd naar de lage zijde om gestapeld te worden. Voor het transport zijn kranen nodig. Het gewicht van één koker is uitgerekend om te bepalen wat er nodig is om de kokers op elkaar te kunnen stapelen. De hoofdafmeting is in het voorgaande hoofdstuk bepaald. Het gewicht van de binnenconstructie wordt geschat op 15% van de koker. Voor het soortelijk gewicht van beton is 25 kN/m^3 aangehouden. Het totale gewicht van één koker is geschat op 4388 ton. In Tabel 6 is de berekening weergegeven.

Ontwerp	Volume [m ³]	Toelichting
Kokers	1526	Koker 10m x10m, met dikte 0.75m rondom
Binnenconstructie	229	Inschatting van het gewicht van de binnenconstructie, ca 15% van de koker
Totaal volume	1755	Alle volumes bij elkaar opgeteld
Gewicht in kN	43880	Soortelijk gewicht beton = 25 kN/m^3
Gewicht in ton	4388	Verhouding $10 \text{ kN} = 1 \text{ ton}$

Tabel 6 Gewicht één koker

De grootste mobiele telescoop heeft een hijscapaciteit van 1200 ton (Bouw Machines, 2018). Hiermee kunnen de kokers niet worden opgehesen. Er dient een portaalkraanconstructie te worden gemaakt waar elementen door kunnen worden gehesen. De grootste portaalkraan kan 20000 ton hijsen (Fieldlens, jaartal onbekend). De positie van de hijsogen zal overeenkomen met het stramien van de kolommen. Hierdoor worden de krachten goed in de constructie geleid. De koker is tijdens dit proces nog niet voorgespannen. Er kan voor gekozen worden om de kokers beperkt voor te spannen. Een ander alternatief is traditioneel wapenen. Er moet voldoende basiswapening in de koker zitten voor deze situatie. Het gewicht van de koker wordt verlaagd door de bouwkuip te vullen met water. De koker drijft en de deur kan met een kleinere kracht worden opgetild. De benodigde wapening wordt hier niet verder uitgewerkt.

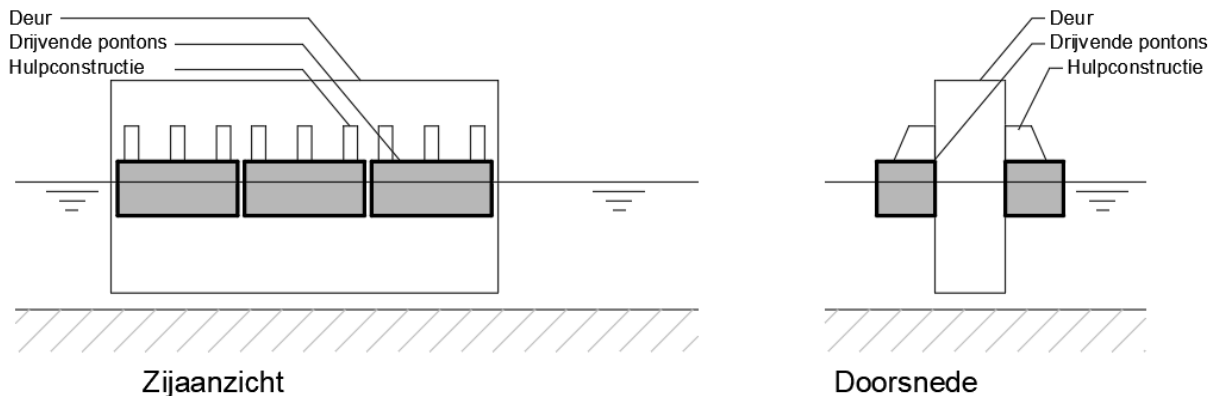
De gestapelde kokers kunnen nu voorgespannen worden. Wanneer de deur klaar is, kan het bouwdoek worden gevuld met water. Daarna worden de pontons aan de constructie vastgemaakt. Hierdoor drijft de samengestelde deur en kan deze weg worden getransporteerd. Vervolgens wordt dit proces herhaald tot alle deuren zijn gemaakt. In Figuur 24 is dit principe weergegeven.



Figuur 24 Zijaanzicht portaalkraan

4.4.4 Stap 4 t/m 7 - Transport

De deur wordt in een droge bouwplaats gemaakt. Nadat de deur klaar is, wordt de bouwplaats gevuld met water en kan de deur drijvend naar de locatie worden gevaren. Om de deur stabiel te houden tijdens het transport kunnen er drijvende lucht tanks aan de deur worden bevestigd. Deur twee wordt geplaatst wanneer deur één wordt geplaatst. Het laagste waterniveau is dan +15m.



Figuur 25 Transport deur

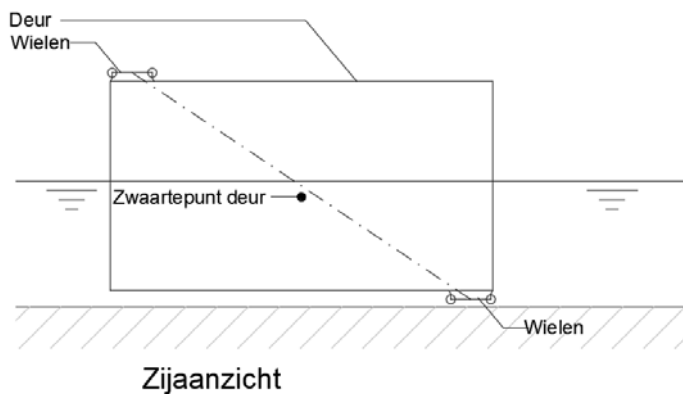
4.4.5 Conclusie uitvoering

De deur wordt in zeven stappen gemaakt. Eerst worden de kokers afzonderlijk van elkaar gemaakt. De kokers kunnen daarna, in een droogdok, op elkaar worden gestapeld door middel van portaalkranen. Vervolgens wordt de deur voorgespannen. Uiteindelijk wordt de deur met pontons naar de eindbestemming gevaren.

4.5 Gebruikstoestand

De functie van de deur is het keren van water en het laten passeren van schepen. Om de sluisdeur te kunnen openen of sluiten wordt de deur in en uit de kas gereden. Dit kan met een hydrovoet of met deurwielen. Het toepassen van hydrovoeten is alleen gedaan bij relatief lage belastingen. Er is daarom gekozen om wielen toe te passen. Om te voorkomen dat de wielen overbelast worden door het gewicht van de deur moet er voldoende opwaartse kracht worden gecreëerd. Dit wordt gedaan door de onderste koker af te sluiten met kopwanden.

Bij een deur op wielen is het belangrijk dat het zwaartepunt van de deur onder de hartlijn blijft, zie Figuur 26. De verwachting is dat het zwaartepunt van de deur hoger dan deze lijn komt te liggen. Hierdoor blijft de deur niet stabiel en moeten de wielen extra stabiliteit genereren. De stabiliteit van de deur in gebruiksfase is verder niet uitgewerkt in dit rapport.



Figuur 26 Principe stabiliteit van de deur (ideale situatie)

4.6 Conclusie globaal ontwerp

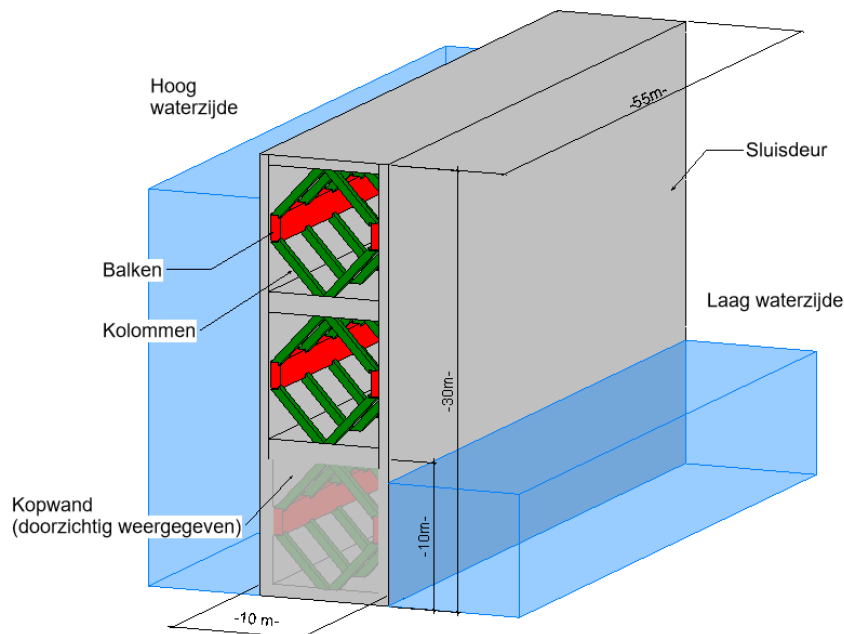
Het globale ontwerp van de deur bestaat uit drie opeengestapelde voorgespannen kokerliggers. De afmetingen van één koker bedraagt 10m bij 10m met wanddiktes van 750mm. Binnenin de kokers is een balken met kolommen structuur aanwezig die de wandoverspanning beperkt. De onderste koker wordt afgesloten met wanden. Deze constructie wordt in zeven stappen gemaakt. Nadat ze klaar zijn, worden ze naar hun eindbestemming gevaren.

5 Uitwerking detailontwerp

5.1 Inleiding detailontwerp

Het ontwerp bestaat uit drie gestapelde kokers. Voor het bepalen van de afmetingen is naar de zwaarst belaste koker als losstaand element gekeken. Bij de samenwerking tussen de kokers treedt er een verschuiving van de krachtsopname op van de zwaarst belaste kokers naar de wat lichter belaste kokers.

In dit hoofdstuk is de technische haalbaarheid van de constructie in detail bekeken. De positie en de hoeveelheid voorspanning is in detail uitgewerkt. Paragraaf 5.2 beschrijft de werkwijze waarop dit is uitgewerkt. In de hoofdstukken daarna is de samenwerking tussen de drie kokers doorgerekend met een “Eindige Elementen Methode” (EEM) berekening. De betrouwbaarheid van dit model is getoetst op spanningen en verplaatsingen. De krachten uit het model zijn gebruikt om de gekozen dimensies van de vloeren, wanden, balken en kolommen te controleren. In Figuur 27 is de isometrie van de deur weergegeven. In dit plaatje is te zien waar elk onderdeel zich bevindt. De onderste koker is gesloten met kopwanden. Binnen deze koker loopt de kolom-balkenstructuur zoals in bovenstaande kokers.



Figuur 27 Isometrie van de deur

5.2 Voorspanning

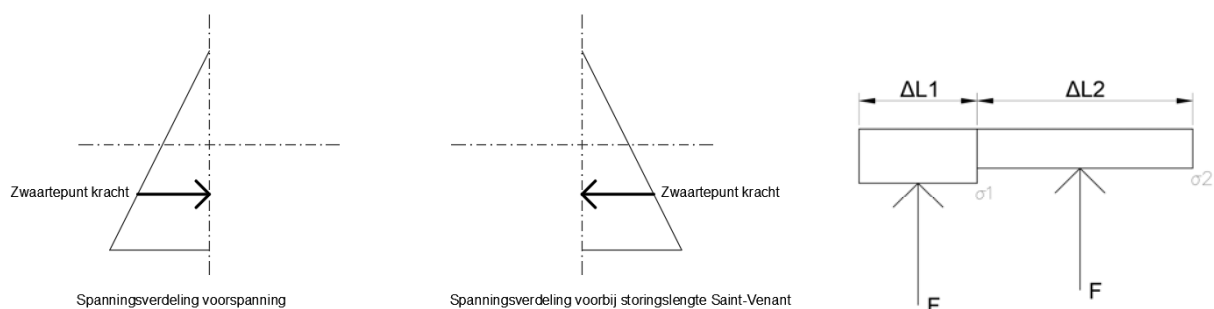
De waterdruk op de deur is niet gelijkmatig verdeeld. De druk loopt op, naarmate de constructie dieper ligt. De drie kokers hebben daarom elk een andere hoeveelheid waterdruk. Om de voorspanning te bepalen, worden de kokers apart van elkaar bekeken. De kokers worden voorgespannen met nagerekt staal met aanhechting. In het voorgaande hoofdstuk zijn de hoofdafmetingen van de kokers bepaald. In deze paragraaf is de voorspanning per koker in detail uitgerekend.

5.2.1 Beschrijving probleem

De voorspanning op de koker moet aan verschillende eisen voldoen. Volgens NEN-EN 1992-1-1, tabel 7.1N hoort de constructie onder druk te blijven in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). Hierdoor ontstaat er geen scheurvorming ten gevolge van de waterbelasting. Voor de detaillering van de voorspanning is rekening gehouden met de afstanden tussen de kabelkoppen: deze mogen niet te dicht bij elkaar staan. Dit is nodig om de krachten goed in te kunnen leiden in de constructie.

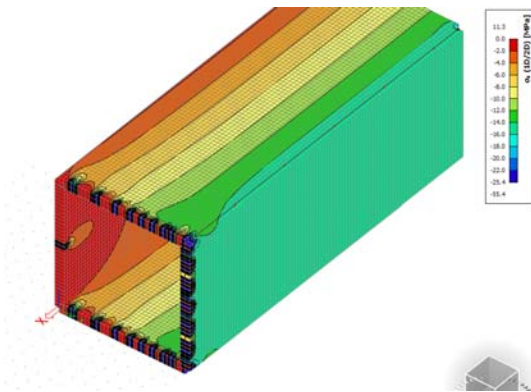
5.2.2 Bepaling voorspanning

In de paragraaf 4.2.3, Figuur 12 is te zien wat het gewenste spanningsfiguur is ten gevolge van de voorspanning. Dit spanningsfiguur is nagebootst door de voorspanning zo te kiezen, dat aan de laag waterzijde de hoogste drukspanning is. De voorspankrachten per voorspankabel zijn overal gelijk gekozen. Door de hart op hart afstand van de kabels slim te kiezen, wordt de spanning op de constructie beïnvloed. De bepaling van de hart op hart afstanden van de kabels is berekend met: $\Delta l = \frac{F}{\sigma * b}$. De berekeningen zijn weergegeven in Bijlage A7.



Figuur 28 Principe nabootsen spanningsfiguur (links), invloed keuze hart op hart afstand (rechts)

In een EEM model is te zien hoe de drukspanningen lopen zoals weergegeven in Figuur 29. Te zien is dat aan de rechterkant van de koker de drukspanning het hoogst is. De drukspanning loopt verder naar links toe af. De positie van de voorspanning is juist gekozen.

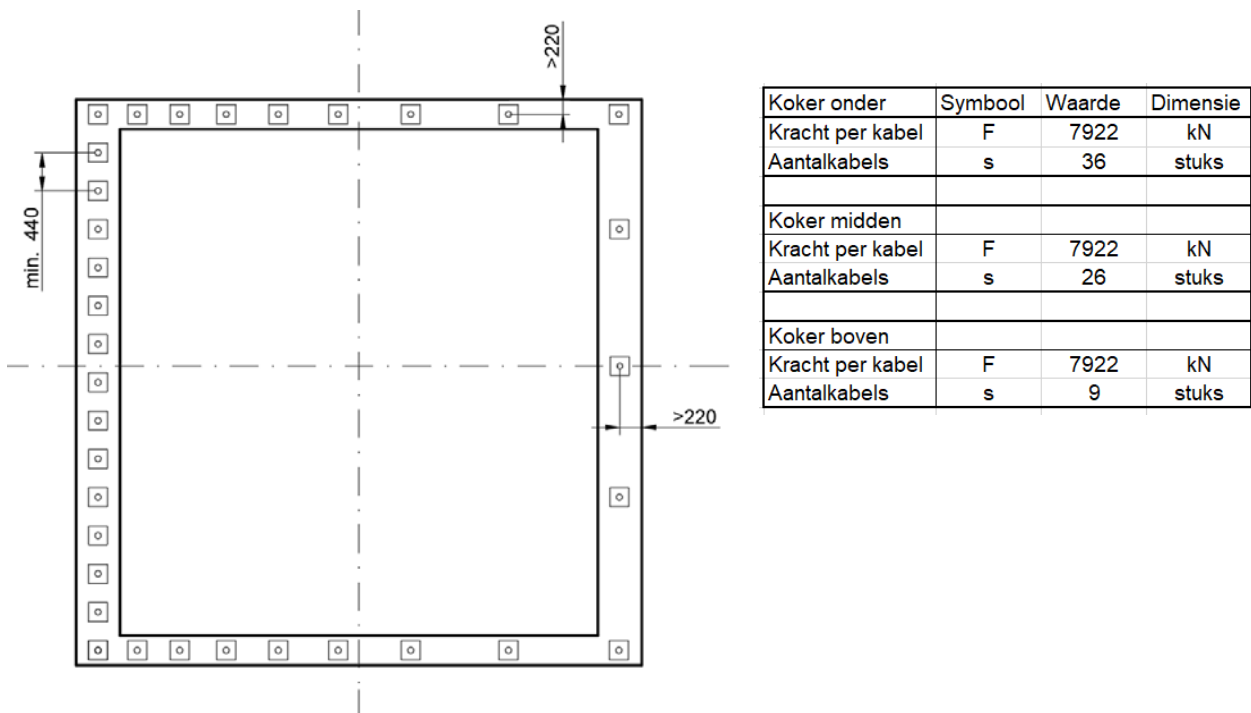


Figuur 29 Drukspanning op één koker ten gevolge van de voorspanning

5.2.3 Detaillering voorspanning

Om de voorspanning te kunnen detailleren, moet gekeken naar de positie van de kabels ten opzichte van elkaar. Als er veel kabels worden toegepast, zijn er minder strengen per kabel nodig. Dit heeft als gevolg dat de spleetspanningen gering zijn. Bij toepassing van veel kabels, wordt de afstand tussen de kabels kleiner; ze komen dicht op elkaar te liggen. Om wel te voldoen aan de detailleringseisen kunnen niet teveel kabels worden toegepast, omdat dan de afstand tussen de voorspankoppelen te klein wordt.

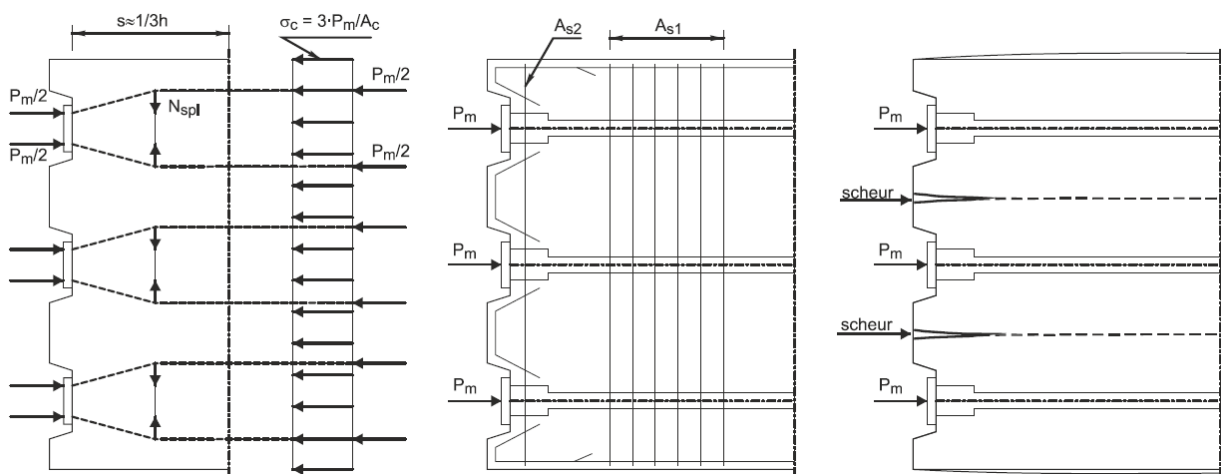
Er is gekozen om de voorspanning uit te voeren met het type “VSL voorspansysteem met strengen”, VMA type E 6-22. Hier zijn 22 strengen per kabel toegepast. Volgens de detailleringseisen moeten de kabels hart op hart 440mm uit elkaar liggen. De randafstanden moeten minimaal 220mm van de rand af liggen. Het aantal kabels en de detaillering is uitgewerkt en weergegeven in Figuur 30. In Bijlage A8 zijn de specificaties van het toegepaste voorspansysteem weergegeven.



Figuur 30 Detaillering positie voorspanning onderste koker(links), tabel alle kokers (rechts)

5.2.4 Splijtkrachten

Bij de krachtsinleiding van voorspanning zijn er splijtkrachten op de constructie aanwezig. Deze bevinden zich bij de kop en op de helft van de lengte van Saint-Venant. De splijtkrachten zijn berekend met behulp van de vakwerkanalogie. In Figuur 31 is dit principe weergegeven. De grootte van de splijtkracht is afhankelijk van de totale voorspankracht per voorspankabel en de inleidingslengte.

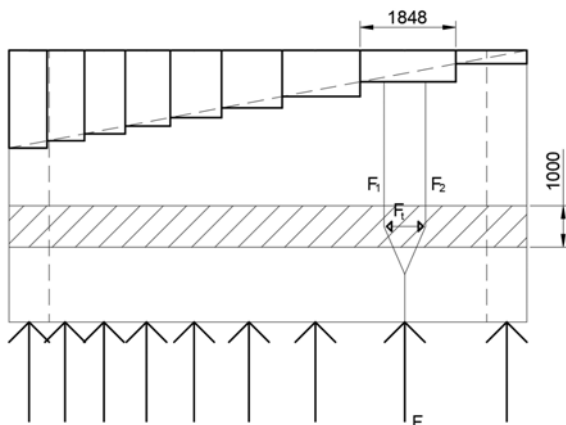


Figuur 31 Principe vakwerkmodel en wapening bij voorspankracht (BVBmS, pp. 10-5)

Het spanningsfiguur na de lengte van Saint-Venant is een driehoekvormige spanningsverdeling. Het zwaartepunt van een “spanningsblokje” ligt nagenoeg gelijk aan die van de voorspankabel. Hierdoor zullen de splijtkrachten minimaal zijn, zie Figuur 32. De grootte van deze krachten is afhankelijk van de kracht per kabel. De hoeveelheid splijtwapening wordt bepaald met de volgende formule:

$$A_{splijt} = \frac{T * Y_{p,unfav}}{\sigma_s}$$

Volgens NEN-EN 1992-1-1, artikel 8.10.3(4) hoeft geen scheurwijdte controle te worden uitgevoerd bij het inleiden van voorspankrachten indien de staalspanning $\sigma_s \leq 300 \text{ N/mm}^2$. Wel dient hierbij volgens artikel 2.4.2.2(3) van NEN-EN 1992-1-1 een belastingfactor $Y_{p,unfav} = 1.2$ te worden aangehouden.



Figuur 32 Vakwerkanalogie bovenaanzicht koker

Voor het opnemen van de trekkracht is er een gebied met een breedte van 1m gekozen. De trekkracht kan worden opgenomen met wapening $\varnothing 40$ met een hart op hart afstand van 150mm. De berekeningen zijn toegevoegd in Bijlage A7. De splijtkrachten op de kop zijn niet uitgerekend omdat de verwachting is dat er genoeg ruimte is om deze krachten weg te wapenen.

5.2.5 Conclusie voorspanning

De liggers zijn voorgespannen met VSL- VMA type E. De voorspanning is zodanig gekozen dat de gewenste spanningsfiguur wordt nagebootst. Met behulp van de specificatietabel zijn de hart op hart afstanden van de kabels gecontroleerd. Bij de krachtsinleiding zijn er splijtkrachten op de constructie. Deze worden opgenomen door extra wapening toe te voegen in de constructie.

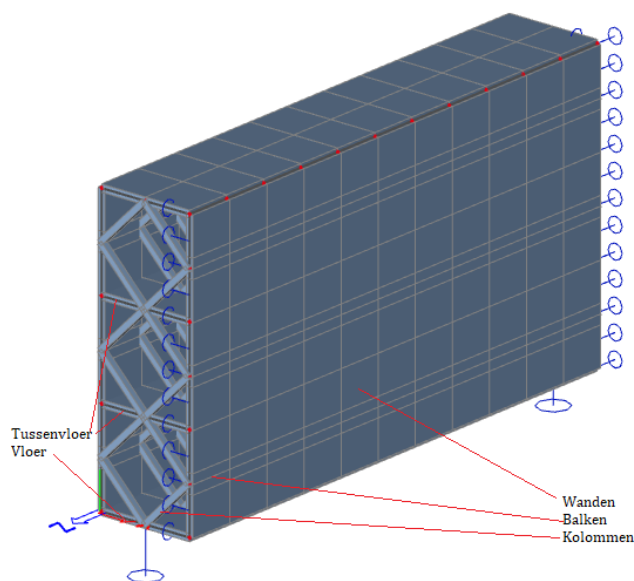
5.3 Samenwerking kokers

In de voorgaande hoofdstukken zijn de kokers afzonderlijk van elkaar berekend. Daar is beschreven dat de voorspanning pas wordt aangebracht nadat de kokers aan elkaar gekoppeld zijn. Bij de samenwerking tussen de kokers treedt er een verschuiving van de krachtsopname plaats van de zwaarst belaste kokers naar de wat lichter belaste kokers. Het gedrag van de deur wordt in dit hoofdstuk geanalyseerd. In deze paragraaf staat beschreven hoe het model is opgebouwd, of de resultaten betrouwbaar zijn, en welke resultaten worden gebruikt om de constructie onderdelen te berekenen.

5.3.1 Invoer van het EEM model

Geometrie

Het EEM model bestaat uit wanden, balken, kolommen, vloeren en tussenvloeren. Aan het uiteinde van de wanden, aan de laag waterzijde, is een lijnoplegging gemodelleerd. De bijbehorende invoergegevens zijn weergegeven in Figuur 33. De balk is gemodelleerd als wand van 2m x 1.5m over de gehele lengte van de deur.



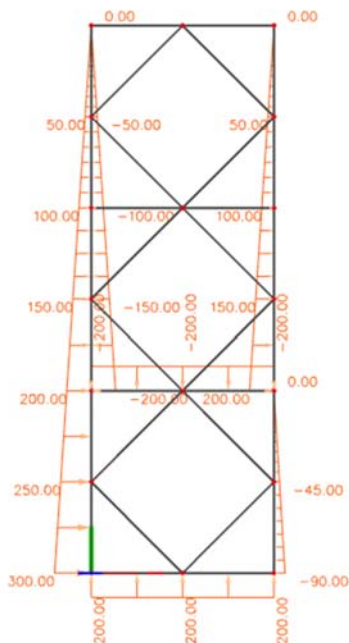
Onderdelen	Waarde	Dimensie
Vloerdikte	750	mm
Tussenvloerdikte	1500	mm
Wanddikte	750	mm
Eindwanden	750	mm
Balken	1500x2000	mm x mm
Kolommen	600x600	mm x mm

Gegevens	Waarde	Dimensie
Sterkteklasse	C45/55	-
E-Modulus	36300	N/mm ²
Opleggingen	Lijn opleggingen	-

Figuur 33 EEM model (links), Invoergegevens EEM model (rechts)

Belastingen en belastingcombinaties

Er zijn twee belastinggevallen toegevoegd aan het model: de voorspanning en de waterdruk. De voorspanning is aan beide koppen aangebracht. De waterdruk is aan beide zijden van de deur toegevoegd. De onderste koker wordt niet gevuld met water. Hierdoor ontstaat er alzijdige druk op de onderste koker. Dit heeft invloed op de momenten in de wanden en vloeren. Dit is weergegeven in Figuur 34.



Figuur 34 Doorsnede deur, overzicht waterdruk

5.3.2 Model verificatie

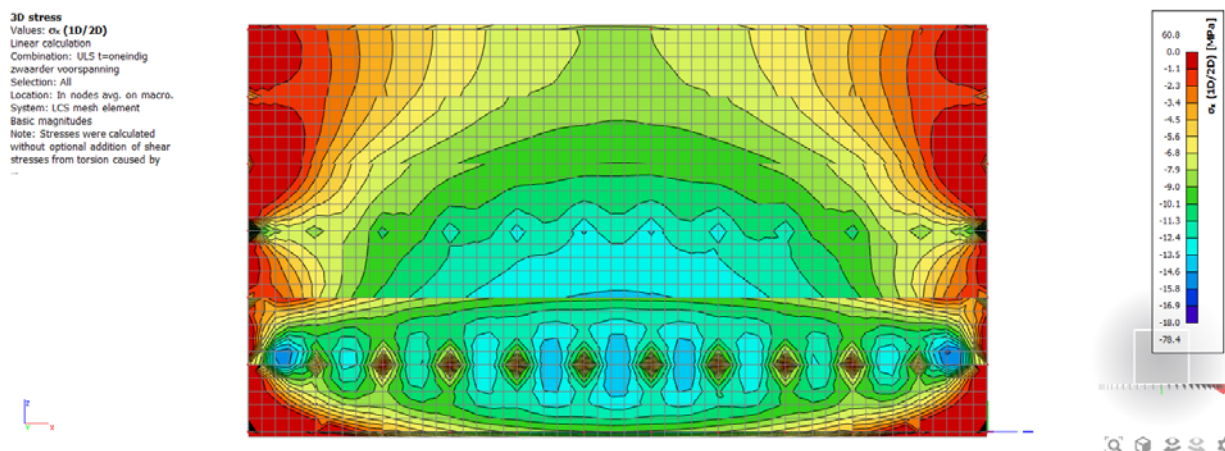
Het model is gecontroleerd op druk- en trekspanningen en op verplaatsingen. Hier is beschreven welke methodes zijn toegepast om dit te controleren.

Druk- en trekspanningen

Door de waterdruk en de voorspanning op de deur ontstaan er in het beton drukspanningen aan de hoog water- en laag waterzijde van de kokers. Door de samenwerking van de drie kokers zal de onderste koker minder drukspanningen krijgen dan berekend. De krachten verspreiden zich naar de bovenstaande kokers. Daarom worden de bovenste twee kokers meer belast dan voorgenomen in de handberekeningen. Dit is goed te zien in de drukspanningen aan de hoog waterzijde, zie Tabel 7 & Figuur 35. De resultaten van het EEM model voldoen aan de verwachtingen.

Hoog waterzijde, Gecombineerd bij t= oneindig				
Koker	Berekend σ_x [N/mm ²]	Berekend σ_x [N/mm ²]	Vershil [N/mm ²]	Afwijking in procent [%]
Boven	-3.92	-9	5.08	129.6
Midden	-11.75	-13.5	1.75	14.9
Onder	-16.45	-14.6	1.85	-11.2

Tabel 7 Drukspanning vergelijking aan de hoog waterzijde

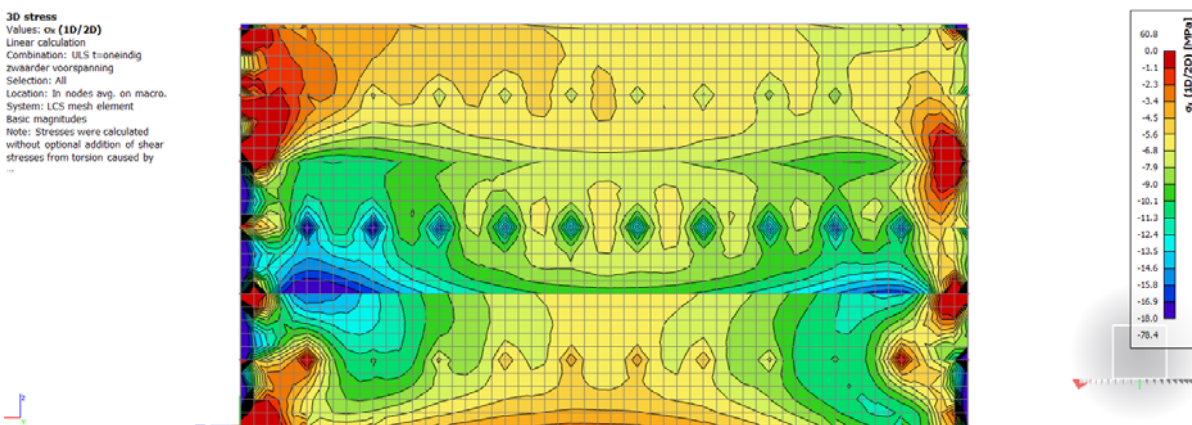


Figuur 35 Drukspanningen hoog waterzijde uit het EEM model

Aan de laag waterzijde mogen er in de BGT geen trekspanningen ontstaan. In het voorgaande hoofdstuk is de voorspanning per koker uitgerekend. Bij het berekenen van de alleenstaande koker is er meer voorspanning nodig waardoor dit een bovengrensbepaaling is. Door de krachtsverdeling zullen de spanningen op de constructie gunstiger zijn dan berekend. De deur gaat als één geheel werken. Dit is goed te zien in het EEM model. In Tabel 8 & Figuur 36 zijn de resultaten weergegeven. Het model laat zien dat aan de laag waterzijde drukspanningen aanwezig zijn in het beton. Het figuur geeft geen symmetrisch spanningsbeeld omdat er kleine onvolkomenheden zijn in het model.

Hoog waterzijde, Gecombineerd bij t= oneindig			
Koker	Berekend σ_x [N/mm ²]	Berekend σ_x [N/mm ²]	Vershil [N/mm ²]
Boven	0	-4.5	4.5
Midden	0	-5.6	5.6
Onder	0	-5.6	5.6

Tabel 8 Drukspanning vergelijking aan de laag waterzijde



Figuur 36 Drukspanningen laag waterzijde uit het EEM model

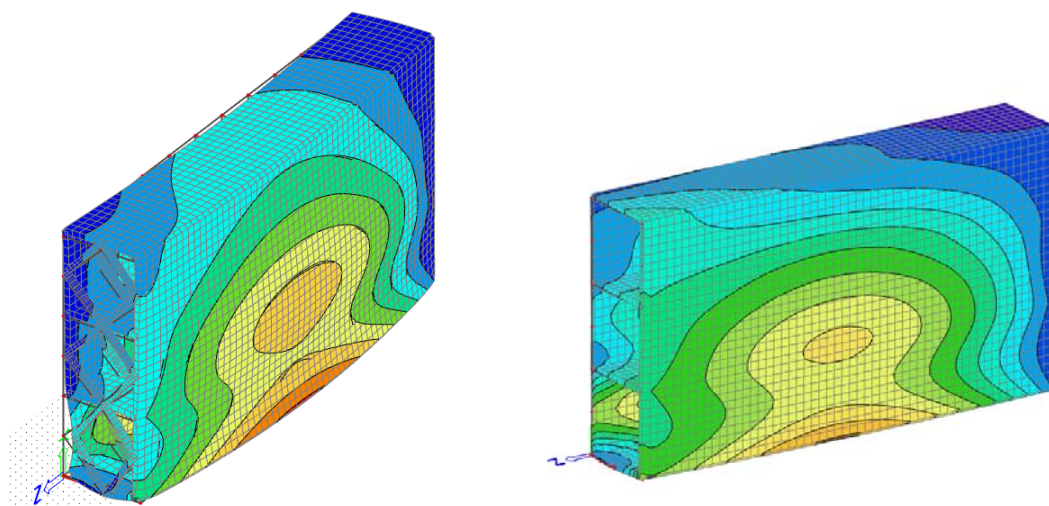
Doorbuiging

De constructie zal doorbuigen bij de twee belastinggevallen. De belastinggevallen waterdruk en voorspanning zijn afzonderlijk van elkaar geanalyseerd. Dit wordt gedaan door een handberekening te vergelijken met de resultaten van het EEM model. Eerst is het belastinggeval waterdruk bekeken. Voor de handberekening van de doorbuiging ten gevolge van de waterdruk is gebruik gemaakt van een simpel “ligger op twee steunpunten” model. De doorbuiging is berekend met de standaard doorbuigingsformule: $w = \frac{5ql^4}{385EI}$.

Dit is vergeleken met twee EEM modellen. Eén met drie lege kokers en één met kokers en kolommen. De handberekening gaat alleen uit van de zwaarst belaste koker zonder torsie. Het model met drie lege kokers heeft door het zwaartepunt van de belasting ook te maken met torsie. Hierdoor zal de doorbuiging van de handberekening minder zijn dan in het model met drie lege kokers. Het model met kolommen erin is het stijfst en zal minder doorbuigen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 9 & Figuur 37.

	Handberekening 1 koker	Scia model zonder pendelstaven	SCIA model met pendelstaven
L [mm]	55000	n.v.t.	n.v.t.
Q [N/mm]	3465	n.v.t.	n.v.t.
E [N/mm ²]	36300	n.v.t.	n.v.t.
I [mm ⁴]	3.98328E+14	n.v.t.	n.v.t.
U [mm]	28	31	23.3

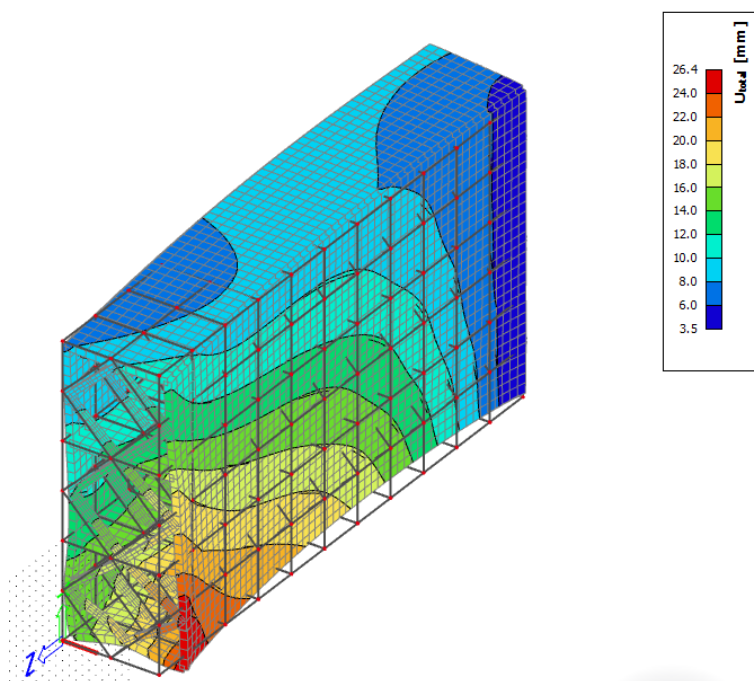
Tabel 9 Resultaten horizontale verplaatsing ten gevolge van de waterbelasting



Figuur 37 Verplaatsing ten gevolge van waterdruk (links met pendelstaven en rechts zonder pendelstaven)

Door de excentrische voorspanning ontstaat er een belasting op de constructie die tegengesteld staat aan de hoge waterdruk. De grootte van de belasting is gelijk aan de waterdruk. Daarom is de vervorming tegengesteld. Omdat de onderste koker meer wordt voorgespannen, is de tegengestelde belasting hier het grootst. Daarom wil de constructie draaien om zijn as. Dit is te

zien in Figuur 38. Het verplaatsingsbeeld van beide belastinggevallen voldoet aan de verwachtingen.



Figuur 38 Verplaatsing ten gevolge van voorspanning

5.3.3 Belastingen uit het model

Nu het model is gevalideerd kunnen de krachten uit het model worden gebruikt om de constructie elementen te toetsen. Dit is weergegeven in Tabel 10.

	My UGT [kNm]	Vy UGT [kN]
Wand hoek	2311	1354
Wand veld	1039	0
Wand ligger	720	2445

	N UGT	
Kolom	2000	Trek
Kolom	6500	Druk

	My UGT [kNm]	Vy UGT [kN]
Balk	6445	8350

Tabel 10 Overzicht belastingen elementen

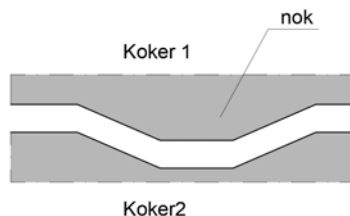
5.3.4 Conclusie EEM model

In grote lijnen komen de handberekeningen overeen met het model. Het verplaatsingsbeeld van de constructie voldoet aan de verwachtingen. De constructie gedraagt zich stijver doordat de drie kokers samenwerken. Door de samenwerking worden de krachten ook meer verdeeld over de kokers. Daardoor zijn de druk- en trekspanningen in de onderste koker gunstiger dan vooraf

berekend. Echter, de bovenste twee kokers worden meer belast dan volgens de handberekeningen. Dit model is betrouwbaar om te gebruiken voor detailberekeningen.

5.4 Dwarskracht lijf van de koker

De drie kokers worden op elkaar gestapeld. Door de waterdruk worden de drie kokers tegen de oplegging gedrukt. De dwarskracht wordt door de lijven van de kokers opgenomen. Er kan vanuit worden gegaan dat de vloeren samenwerken omdat ze door middel van nokken en ankers aan elkaar worden vastgemaakt, zie Figuur 39. In dit hoofdstuk is gekeken of de gekozen dikte voldoende is om deze krachten op te kunnen nemen. Dit is gedaan door de vloer als een buigligger te beschouwen. Hiermee kan gecontroleerd worden of de gekozen dikte voldoende is. Daarna kan de vloer op maximale drukspanning gecontroleerd worden aan de hand van een EEM model.

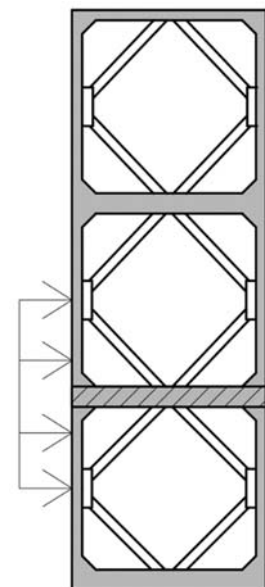


Figuur 39 Principe detail van een nok

5.4.1 Beschrijving probleem

De waterdruk op de deur veroorzaakt onder andere een dwarskracht op de deur. In Figuur 40 is de dwarsdoorsnede van de deur weergegeven. Voor deze berekening wordt gekeken naar de onderste twee kokers. De dwarskrachten gaan door het lijf van de gecombineerde kokers. Het gearceerde vlak, met een dikte van 1500mm en een hoogte van 10m, moet de dwarskracht kunnen opnemen.

De dikte van de vloer is met handsommen te controleren, waarbij voor deze methode de vloer als een ligger is beschouwd. De dwarskracht in combinatie met de voorspanning wordt meegenomen in de berekening. Hiermee is de minimale dikte uitgerekend. Door de voorspanning in combinatie met de waterdruk kunnen de drukspanningen nabij de opleggingen groot zijn. Met een EEM model zijn deze hoofddrukspanningen gecontroleerd. Deze spanningen mogen niet groter zijn dan de betonsterkte.



Figuur 40 Dwarsdoorsnede, dwarskracht op lijf

5.4.2 Handberekening vloer

De ligger is 55m lang en ligt op twee steunpunten. Een gelijkmatig verdeelde belasting is over de hele ligger aanwezig. Het lijf draagt de helft van de overspanning en is dus $10 \times 210 \text{ kN} \times 1.65 = 3465 \text{ kN/m}$. Hierin is de druk van laag water verrekend met de druk van hoog water. De optredende schuifspanning (v_{Ed}) is uitgerekend door het volgende formules:

$$V_{Ed} = \frac{L * q}{2} = \frac{55 * 3465}{2} = 95287.5 \text{ kN (Optredende dwarskracht)}$$

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b * d} = \frac{95287.5 * 10^3}{1500 * 9889} = 6.42 \text{ N/mm}^2$$

De dwarskracht kan worden opgenomen als het afschuifdraagvermogen (v_{Rd}) groter is dan v_{Ed} . Er is veel ruimte beschikbaar om de beugels te plaatsen in het 1500mm dikke lijf. Daarom is aangenomen dat afschuifdrukbreuk het maatgevende faalmechanisme is voor deze situatie. Voor het bepalen van de maximale schuifspanning ($v_{Rd,max}$), is gebruik gemaakt van [NEN-EN 1992-1-1 art. 6.2.3 formule \(6.9\)](#). Hier is beschreven hoe de $V_{Rd,max}$ is bepaald. De v_{Rd} mag niet groter zijn

dan $v_{Rd,max}$. De formule is:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} (\cot \theta + \tan \theta)$$

De factor α_{cw} , afhankelijk van de gemiddelde drukspanning op het element, heeft invloed op de dwarskrachtcapaciteit. De gemiddelde drukspanning is uitgerekend met $\sigma_{cp} = \frac{P}{A}$.

De aanbevolen waarde van α_{cw} is als volgt:

1	voor niet-voorgespannen constructies
$(1 + \sigma_{cp}/f_{cd})$	voor $0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 f_{cd}$
1,25	voor $0,25 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
$2,5 (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	voor $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < 1,0 f_{cd}$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

Met deze gegevens is de $v_{Rd,max}$ te bepalen per sterkteklasse.

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

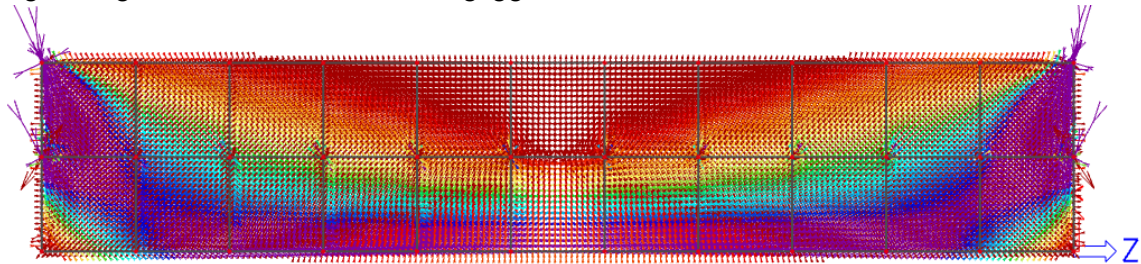
In het voorgaande hoofdstuk is de vloerdikte van 1500mm bepaald. Uit de berekeningen is gebleken dat de gekozen dikte, met een betonkwaliteit C45/55, de dwarskrachten op kan nemen, zie Tabel 11. Daarna is met [NEN-EN 1992-1-1 art. 6.2.3 formule \(6.8\)](#) de dwarskracht gecontroleerd. De berekening is te vinden in Bijlage A10.

Bepaling minimale dikte vloer op basis van $v_{Rd,max}$													
Situatie			Min vloerdikte in [mm]										
Type	P [kN]	e [mm]	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95
P _∞	228225	2870	3,038	1,903	1,621	1,423	1,274	1,160	1,072	1,019	973	903	852
P ₀	285281	2870	5,096	2,489	1,669	1,423	1,274	1,160	1,070	1,019	939	870	825
												793	

Tabel 11 Resultaten berekening vloerdikte

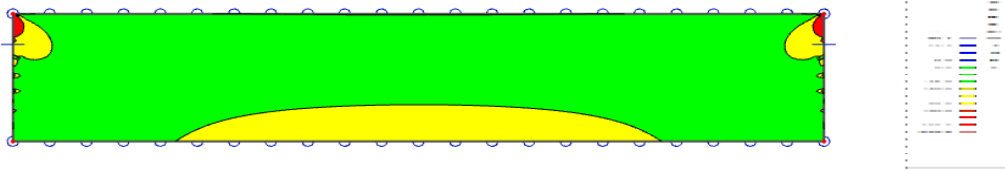
5.4.3 Drukspanningscontrole met EEM model

De waterdruk in combinatie met de voorspanning geeft hoge drukspanning nabij de opleggingen. Deze drukspanningen zijn door middel van een EEM model uitgerekend. Door de waterdruk ontstaat een soort van drukdiagonaal naar de randen toe. Dit is weergegeven in Figuur 41. In dit plaatje is paars het gebied waar de soort van drukboog loopt. Er is pas sprake van een gedrongen ligger als de overspanning kleiner dan drie keer de hoogte van de ligger is. Dat is niet het geval. Daarom gedraagt de vloer zich als een buigligger.

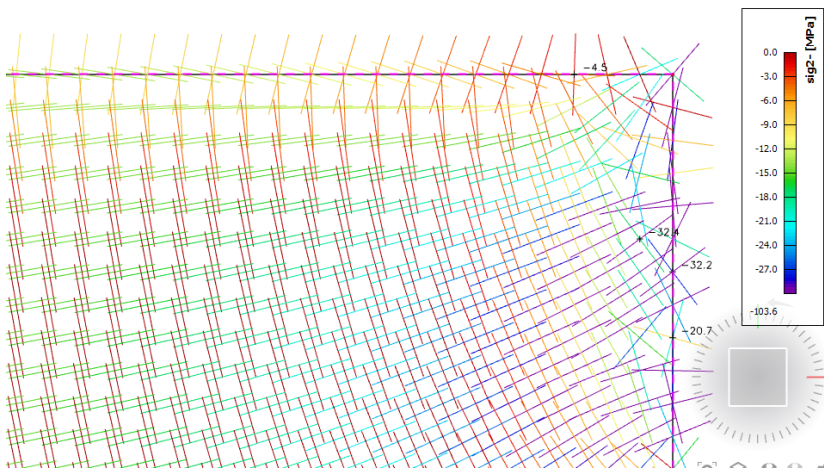


Figuur 41 Drukspanningen in de vloer ten gevolge van de waterdruk

Bij de gecombineerde situatie (waterdruk + voorspanning) zijn de grootste drukspanningen in de vloer dicht bij de opleggingen te vinden. Dit is weergegeven in Figuur 42. Dit figuur geeft de maximale drukspanning σ_2 weer. De iso-lijnen zijn zo gekozen dat de grens 30 N/mm² is weergegeven. Dit is de maximale drukspanning voor een C45/55. In Figuur 43 zijn de hoofdspansingen nabij de oplegging in detail weergegeven. In combinatie met de voorspanning zijn er grote drukspanningen aanwezig in de constructie. Daar is te zien hoe de druktrajectorijen lopen. In beide figuren is te zien dat de maximale betondruksterkte, dichtbij de oplegging, wordt overschreden.

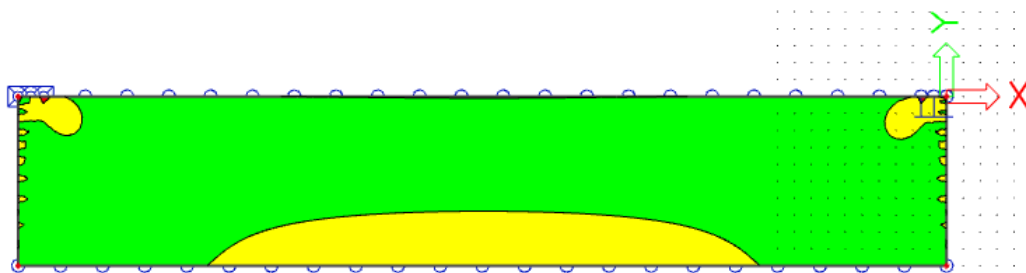


Figuur 42 Hoofdspansingen bij combinatie voorspanning en waterdruk



Figuur 43 Drukspanningen dichtbij de opleggingen

In het model is de oplegging gemodelleerd als een puntvormige oplegging aan het eind van de ligger. In werkelijkheid is de deur iets groter en zal de oplegging een breedte hebben. De oplegdruk wordt gespreid over een zekere breedte. Dit zal een gunstige invloed hebben op de maximaal optredende drukspanning in het beton. Een tweede aspect dat niet is meegenomen is dat de EEM berekening een lineair elastische berekening is. Het sigma-epsilon diagram van de druk in beton is kromlijinig. In werkelijkheid zal de lokale druk in het beton niet zo hoog oplopen als dat de lineair elastische berekening aangeeft. Om dit goed uit te kunnen rekenen, moet er een niet-lineaire berekening worden uitgevoerd. De resultaten zijn te zien in Figuur 44. De rek blijft onder de 3.5‰.



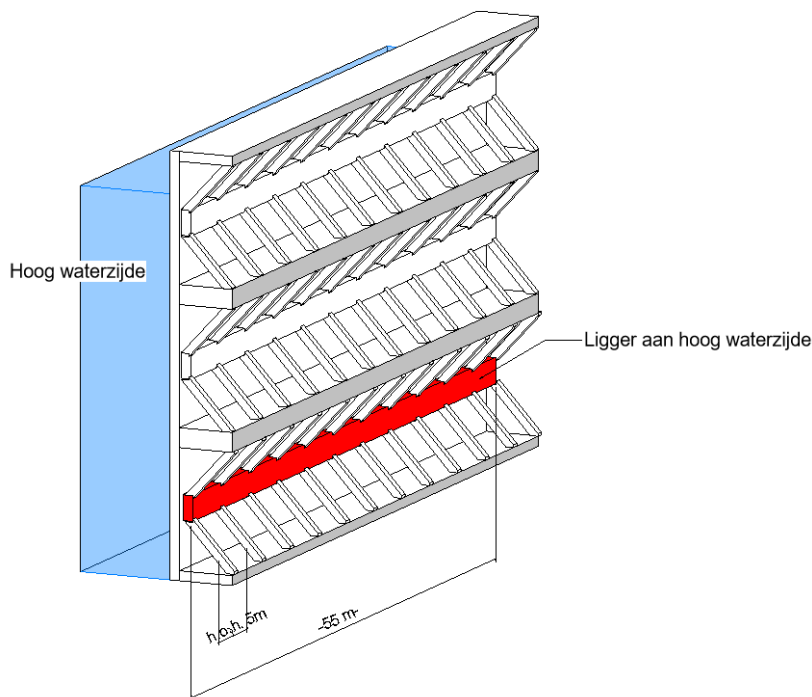
Figuur 44 Resultaten aanpassing model

5.4.4 Conclusie

De combinatie waterdruk en voorspanning zorgt voor grote drukspanningen nabij de opleggingen. Uit een lineair elastische EEM berekening volgt dat de spanningen de opneembare drukkrachtcapaciteit overschrijden. Echter, dit zijn piekspanningen in het model. In het model is de oplegging als een lijnoplegging aan de rand van de vloer gemodelleerd. In werkelijkheid is de oplegging een stuk breder. Hierdoor zullen de krachten zich meer verspreiden. Een tweede aspect dat niet is meegenomen, is dat de EEM berekening een lineair elastische berekening is. Deze twee aspecten zijn meegenomen in een tweede berekening. Door middel van een niet lineaire berekening is de drukspanning opnieuw uitgerekend. In de resultaten is te zien dat de drukspanning niet wordt overschreden. De dwarskracht kan dus worden opgenomen door de gekozen vloerdikte.

5.5 Bepaling balkafmeting

De balken aan de hoog waterzijde lopen evenwijdig met de sluisdeur. De ligger is om de 5 meter ondersteund door kolommen. Deze balken verkorten de overspanning van de vloeren. In Figuur 45 is de beschouwde balk in het rood weergegeven.



Figuur 45 Situatie balken

5.5.1 Beschrijving probleem

De constructie aan de hoog waterzijde is bij waterdruk op druk belast. De drukspanning op de balk bedraagt 16.45 N/mm^2 . Voor het berekenen van de $A_{s\max}$, welke gebaseerd is op de maximale betondrukcapaciteit in de drukzone, wordt de betondruksterkte met de optredende drukspanning gereduceerd.

5.5.2 Berekening

Het optredend moment van 6445 kNm en een dwarskracht van 8350 kN zijn uit het EEM model gehaald. De balk is getoetst op deze krachten door middel van de Eurocode. De berekening is uitgevoerd met een balkbreedte van minimaal 2 m . Deze breedte is minimaal nodig om de kolommen goed aan te laten sluiten. Voor het berekenen van het maximale wapeningspercentage is de volgende formule gebruikt waarbij de f_{cd} is gereduceerd door de initiële drukspanning σ_c op het beton.

$$\rho_{1,max} = \frac{\alpha * x_u * (f_{cd} - \sigma_c)}{f_{yd}}$$

Daarna kunnen de hefboomsarm en de hoogte worden berekend met het optredende moment en het maximale wapeningspercentage als gegeven.

$$z = \frac{M_{Ed}}{A_{s,max} * f_{yd}}, \quad h = \frac{z}{0.8}$$

In Figuur 46 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven. Voor de gekozen betonsterkteklasse C45/55 is een minimale hoogte van 1416mm nodig. Om praktische redenen is er gekozen voor een hoogte van 1500mm.

Betonkwaliteit	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/60	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105
Door druk op balk												
f_{ck}	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
f_{cd}	13.3	16.7	20.0	23.3	26.7	30.0	33.3	36.7	40.0	46.7	53.3	60.0
σ_{op}	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45
f_{cd}	-3.1	0.2	3.6	6.9	10.2	13.6	16.9	20.2	23.6	30.2	36.9	43.6
ϵ_{cu}	NVT	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.6
x_u	NVT	0.535	0.535	0.535	0.535	0.535	0.535	0.504	0.488	0.466	0.461	0.461
α	NVT	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.71	0.67	0.62	0.58	0.56
$\rho_{1,max}$	NVT	0.020	0.327	0.635	0.942	1.249	1.557	1.665	1.769	2.006	2.265	2.582
Breedte	NVT	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
As max	NVT	2862	11586	16133	19655	22636	25267	26129	26939	28686	30479	32543
f_{yd}	NVT	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435
min z	NVT	7164	1770	1271	1043	906	812	785	761	715	673	630
h	NVT	11194	2765	1986	1630	1416	1268	1226	1189	1117	1051	985
MRd	NVT	6445	6445	6445	6445	6445	6445	6445	6445	6445	6445	6445

Figuur 46 Resultaten balkafmetingen

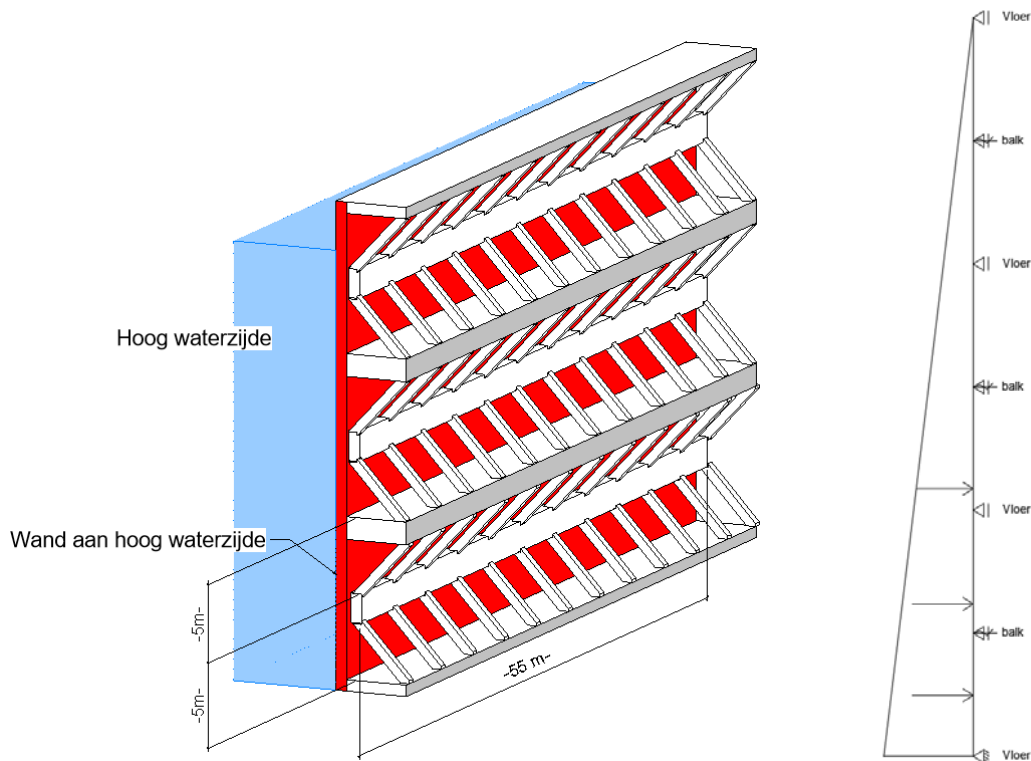
Voor de optredende dwarskracht is naar de grootte van de dwarskrachtspanning gekeken. Deze is lager dan de maximaal opneembare schuifspanning. Hiermee kan worden geconcludeerd dat de dwarskracht kan worden opgenomen. De balk is in detail gecontroleerd en de berekening is toegevoegd aan Bijlage A11.

5.5.3 Conclusie

Een balk met afmetingen van 2000mm x 1500mm kan de optredende belastingen opnemen.

5.6 Controle wanddikte

De wanden van de koker hebben over de gehele hoogte van de deur een dikte van 750mm. Ze worden om de vijf meter ondersteund door balken of vloeren. In Figuur 47 is de wand aan de hoog waterzijde weergegeven. In dit hoofdstuk is gekeken hoeveel wapening er nodig is om de momenten en dwarskrachten op te kunnen nemen.



Figuur 47 Situatie wanden(links), rekenschema (rechts)

5.6.1 Beschrijving probleem

De waterdruk op de wand zorgt voor momenten en dwarskrachten op de wanden. De doorgaande wand heeft zeven ondersteuning, bestaande uit vloeren of balken, met een overspanning van vijf meter. De ondersteuning van de balken zijn in verhouding slapper dan die van de vloeren. De steunpunten moeten als veren worden gemodelleerd. Hierdoor zijn de veld- en steunpuntmomenten groter. Deze krachten zijn berekend met het EEM model.

5.6.2 Gegevens

Uit het EEM model zijn de momenten en dwarskrachten op de wand gehaald. Met deze gegevens is de wapening aan de hand van [NEN-EN 1992-1-1 art. 6.2.2](#) berekend. Voor de wapeningsberekening van de wand zijn de volgende gegevens gebruikt. Dit is weergegeven in Tabel 12.

Onderdeel	Waarde	Toelichting
Afmeting	1000 x 750	Er wordt per meter vloer berekend hoeveel wapening er nodig is
Beton sterkte klasse	C45/55	Uit het voorontwerp
Milieuklasse	XF4, XD3, XS3, XC4	Conform NEN 1992-1-1 - tabel 4.1
Dekking	70mm	Conform NEN 1992-1-1 - tabel 4.5

	My UGT [kNm]	Vy UGT [kN]
Wand hoek	2311	1354
Wand veld	1039	0
Wand ligger	720	2445

Tabel 12 Gegevens voor de berekening van de wand

5.6.3 Resultaten

Uit de berekening is gebleken dat de hoofdwapening van Ø40-150 met Ø20-150 als bijlegwapening, voldoende is om het moment op te kunnen nemen. Voor de dwarskracht is Ø16-150 (3snedig) per meter voldoende. De berekening is weergegeven in Bijlage A12.

5.7 Kolommen

5.7.1 Beschrijving probleem

De kolommen, die hart op hart 5 meter van elkaar liggen, ondersteunen de balken. Deze kolommen kunnen op druk of trek worden belast, afhankelijk van het belastinggeval. In dit hoofdstuk is de afmeting van de kolommen bepaald en is er een oplossingsrichting gegeven voor het detailleren van het hoekdetail.

5.7.2 Bepaling kolomafmeting

In het EEM model is te zien dat de zwaarst belaste kolom een drukkracht heeft van 6500 kN en een trekkracht van 2000 kN. De trekkracht kan worden opgenomen door veel staven toe te voegen in de doorsnede. De drukkracht kan worden opgenomen door het beton. Met een globale formule voor de benodigde kolomdoorsnede kan de afmeting worden ingeschat. In Figuur 48 zijn de afmetingen per betonsterkteklasse bepaald. Er is gekozen voor een vierkante kolom. De wapening in de kolom mag niet clashen met de wapening in de balk. Er is vanuit gegaan dat de kolomafmeting 600mm x 600mm met een betonkwaliteit van C45/55 voldoende is.

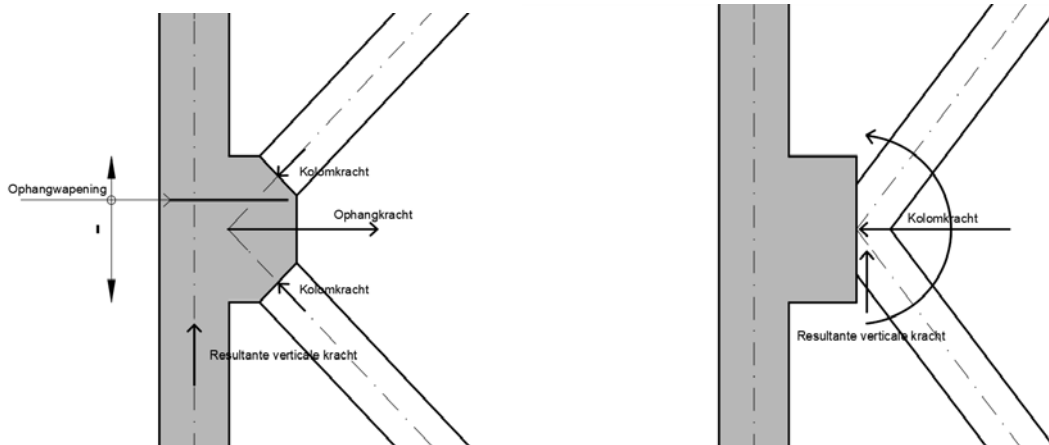
$$A_c = 1.5 * \frac{N_{Ed}}{f_{cd}}$$

Betonkwaliteit	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/60	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105
f_{ck} [N/mm ²]	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
f_{cd} [N/mm ²]	13.3	16.7	20.0	23.3	26.7	30.0	33.3	36.7	40.0	46.7	53.3	60.0
Ac benodigd [mm ²]	731250	585000	487500	417857	365625	325000	292500	265909	243750	208929	182813	162500
Afmeting vierkant [mm]	855	765	698	646	605	570	541	516	494	457	428	403

Figuur 48 Resultaten afmetingen kolom

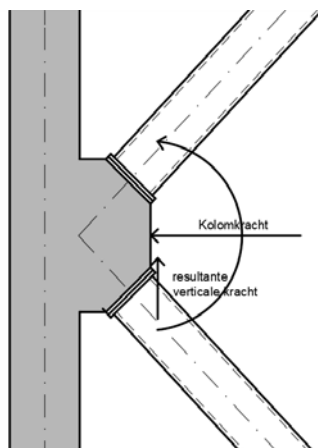
5.7.3 Hoekdetail

Het hoekdetail kan op verschillende manieren worden opgelost. Er kan gespeeld worden met het aangrijpingspunt van de kolommen. Het detail waarbij de hartlijnen van de kolommen naar het midden van de balk toekomen, heeft als voordeel dat er geen grote excentrische belasting op de balk wordt aangebracht. De drukkracht uit de kolom gaat middels ophangwapening naar de binnenzijde van de balk. Het detail waarbij de hartlijnen van de kolommen op de rand van de balk snijden, heeft als voordeel dat er geen ophangwapening benodigd is. Er ontstaat torsie ten gevolge van excentrische belasting. Beide oplossingen hebben hun voor- en nadelen. De optimale oplossing van dit detail ligt ertussenin waarbij er minder ophangwapening nodig is en de torsie op de balk geminimaliseerd is. Deze principes zijn weergegeven in Figuur 49.



Figuur 49 Hartlijnen kruisen (links), hartlijnen kruisen niet (rechts)

De kolommen kunnen ook uitgevoerd worden in staal, zie Figuur 50. Staal kan de optredende trekkrachten goed opnemen. De levensduur van staal is wel een stuk korter dan van beton. Bij een grote onderhoudsbeurt moeten de stalen kolommen vervangen worden. Het voordeel van een betonnen sluisdeur is juist dat er minder onderhoud nodig is. Om die reden is er gekozen voor betonnen kolommen. Het verder detailleren van dit knooppunt valt buiten de scope van deze opdracht.



Figuur 50 Principe detail balk-kolom verbinding

5.7.4 Conclusie kolommen

De kolommen kunnen zowel op druk als op trek worden belast, afhankelijk van het belastinggeval. De afmeting 600mm x 600mm is voldoende om de krachten op te kunnen nemen. Het detailleren van het hoekdetail kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Door te variëren met de hartlijnen van de kolom kan een optimaal ontwerp worden gemaakt. Hierbij moet rekening gehouden worden met de ophangkracht en de torsie op de balk.

5.8 Conclusie detail ontwerp

Dit hoofdstuk richt zich op de technische haalbaarheid van de constructie. De voorspanning is in detail uitgewerkt. Met het EEM model zijn de krachten in de elementen in detail uitgerekend. De vloeren, wanden, balken en kolommen in de constructie zijn gecontroleerd op sterkte en er is aangetoond dat de constructie voldoende groot gedimensioneerd is. De gekozen C45/55 is voldoende. Het optimaliseren van de constructie valt buiten de scope van deze afstudeeropdracht.

6 Varianten vergelijking op basis van duurzaamheid

6.1 Inleiding varianten vergelijking op basis van duurzaamheid

Met de resultaten uit de voorgaande hoofdstukken is een vergelijking met de staalvariant te maken. Een ontwerp kan op verschillende aspecten met elkaar vergeleken worden. Er is voor gekozen om de duurzaamheid van beide constructies met elkaar te vergelijken.

6.2 Duurzaamheid

Duurzaam ontwerpen kan op verschillende manieren gebeuren. Er kan gekeken worden naar duurzame materialen, hergebruikte materialen, de levensduur van het object en nog zoveel meer. De CO₂-uitstoot op basis van de gebruikte hoeveelheid materiaal is één onderdeel van duurzaamheid. Voor deze afstudeeropdracht is gekeken naar dit onderdeel.

6.3 Beton en staalvariant

Staalvariant

De bestaande stalen deur heeft een gewicht van 5000 ton (Schwartz, 2016). Dit biedt voldoende informatie om de hoeveelheid CO₂-uitstoot uit te rekenen.

Betonvariant

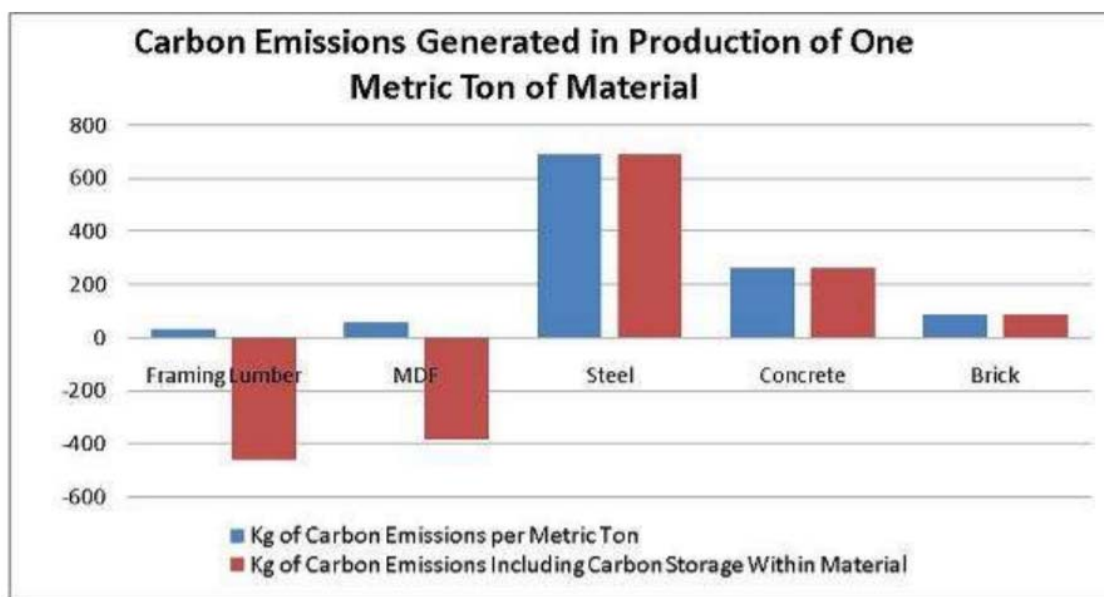
De hoeveelheden van de betonvariant zijn berekend met de volgende parameters, zie Tabel 13.

Kokers	Waarde	Dimensie	Toelichting
Aantal	3	stuks	Bepaald in voorgaande hoofdstukken
Afmetingen buitenkant koker	10 x 10	m	Binnenkant open
Wanddikte	0.75	m	Bepaald in voorgaande hoofdstukken
Vloerdikte	0.75	m	Bepaald in voorgaande hoofdstukken
Balken	Waarde	Dimensie	Toelichting
Aantal	6	stuks	Per koker 2 stuks, Aan hoog en laag waterzijde
Lengte	55	m	Lengte van de deur
Breedte	2	m	Bepaald in voorgaande hoofdstukken
Hoogte	0.75	m	Volledige hoogte van 1.5m al verrekend in wand
Kolommen	Waarde	Dimensie	Toelichting
Aantal	136	stuks	12 stramienen, h.o.h. 5 meter. 4 per stramien per koker minus 8 kolommen in verband met kopwanden
Lengte	7.1	m	Versimpeld $\sqrt{5^2 + 5^2}$
Breedte	0.6	m	Bepaald in voorgaande hoofdstukken
Hoogte	0.6	m	Bepaald in voorgaande hoofdstukken
Kopwanden	Waarde	Dimensie	Toelichting
Aantal	2	stuks	Alleen onderste koker
Afmetingen	10 x 10	m	Afmeting koker
Wanddikte	0.75	m	Conform andere wanden
Ontwerp	Volume [m ³]	Percentage geheel	Materiaal
Kokers	4579	82.2%	Beton
Balken	495	8.9%	Beton
Kolommen	346	6.2%	Beton
Kopwanden	150	2.7%	Beton
Totaal beton	5570		

Tabel 13 Hoeveelheden betonvariant

6.4 Vergelijking CO₂-uitstoot

De hoeveelheid materiaal die nodig is voor een constructie, is om te zetten in CO₂ uitstoot. Voor de CO₂-uitstoot zijn de gegevens uit een eerder onderzoek (Bowyer, 2008) gebruikt. Dit is weergegeven in Figuur 51. De verticale as geeft aan hoeveel Kg CO₂ er wordt uitgestoten per ton materiaal. In dit figuur is te zien dat staal een waarde heeft van 680Kg/ton, en beton een waarde heeft van 260Kg/ton. Met deze gegevens kan de vergelijking worden gemaakt.



Figuur 51 CO₂-emissies door de fabricage van 1 ton product (Bowyer, 2008)

De gehele sluis is ontworpen met een levensduur van 100 jaar. Aangezien de levensduur van de staalvariant 50 jaar is, moeten er dus twee deuren worden gebouwd. De levensduur van een betonvariant is 100 jaar, waardoor er dus slechts één deur hoeft te worden gemaakt. Bij de hoeveelheid CO₂-uitstoot per 100 jaar is een betonvariant gunstiger is dan een staalvariant. In Tabel 14 is een overzicht van de parameters en de resultaten van de varianten weergegeven.

Parameters:								
Soortelijk gewicht beton	25 kN/m ³							
Soortelijk gewicht staal	78 kN/m ³							
CO ₂ per ton beton	260 kg/ton							
CO ₂ per ton staal	680 kg/ton							
					50 jaar		100 jaar	
Variant	Materiaal	M ³ materiaal	gewicht in kN	Gewicht in ton	CO ₂	Verschil CO ₂	CO ₂	Verschil CO ₂
Betonvariant	Beton	5570	139244	13924	3620338	1.06	3620338	0.53
Staalvariant	Staal	-	50000	5000	3400000		6800000	

Tabel 14 Overzicht parameters materialen

6.5 Conclusie vergelijking

De CO₂-uitstoot, op basis van de gebruikte hoeveelheid materiaal per 100 jaar, is voor de staal- en betonvariant uitgerekend. Uit de berekening is gebleken dat de betonvariant, op het gebied van CO₂-uitstoot, gunstiger is dan een staalvariant.

7 Conclusie

De betonvariant van de Panama sluisdeur bestaat uit drie opeengestapelde kokers. Alle kokers hebben een afmeting van 10m x 10m met wanddiktes van 0.75m. De onderste koker is afgesloten aan beide kanten met een wand van 0.75m dik voor een extra opdrijvend vermogen. Alle kokers worden excentrisch voorgespannen. Het zwaartepunt van de voorspanning ligt in de centrale kern van de koker. Binnenin de kokers, evenwijdig aan de hoog en laag waterzijde, lopen er balken van 2m x 1.5m. Deze balken worden om de vijf meter gesteund door vierkante kolommen die aansluiten van balk naar vloer. De kolommen hebben een afmeting van 0.6m x 0.6m.

De beton- en staalvariant, op basis van CO₂-uitstoot van de benodigde materialen, zijn met elkaar vergeleken. Uit de berekening is gebleken dat de betonvariant minder CO₂-uitstoot dan die van staal. Er kan worden geconcludeerd dat de betonvariant duurzamer is.

8 Discussie

Uitdagend onderwerp

Op de wereld bestaat slechts één betonnen sluisdeur. Er zijn derhalve zo goed als geen voorbeelden of richtlijnen voor het ontwerpen van zo'n constructie. De uitdaging voor dit relatief nieuwe onderwerp is om de juiste keuzes te maken in het voorontwerp om tot een optimaal ontwerp te komen.

Verdieping voorontwerp

Dit onderzoek richt zich grotendeels op het voorontwerp. Het voorontwerp bestaat uit literatuuronderzoek van de constructieve en waterbouwkundige aspecten van dit project, het analyseren van de randvoorwaardes, het kiezen van een oplossingsrichting middels een MCA analyse en het ontwikkelen van een parametrisch model. Daarnaast zijn de resultaten getoetst op haalbaarheid. Het model is vervolgens daarop verder gefinetuned.

Optimalisatie

Het ontwerp kan nog worden geoptimaliseerd. De wanddikte van de kokers heeft de grootste impact op de hoeveelheid beton. De wanddikte wordt voornamelijk bepaald door het moment in de verticale richting in de wand. Het buigend moment kan worden gereduceerd door vouw in de hoeken van de koker aan te brengen. Hierdoor wordt de overspanning in de verticale richting verkort. Echter, de reductie op de wanddikte heeft grote invloed op het totale weerstandsmoment van de koker. Bij een verlaging van het weerstandsmoment zullen er meer trekspanningen ontstaan door de waterbelasting. Daardoor is er meer voorspanning benodigd en zullen de afstanden tussen de voorspankabels worden verkleind. Deze moeten getoetst worden op de detailleringseisen. Daarnaast moet er voldoende ruimte aanwezig zijn om de voorspankabels tussen de wandwapening te plaatsen.

Waterbouwkundige aspecten

Er zijn waterbouwkundige aspecten waar rekening mee gehouden moet worden in het ontwerp. Zo zijn het zwaartepunt en het metacentrum van de deur belangrijk voor de stabiliteit van de deur. Naast de waterdruk kunnen ook scheepsbelastingen en aardbevingsbelastingen de constructie belasten. Door middel van slimme verende opleggingen kunnen de interne krachten, voortkomend uit deze calamiteitsbelastingen, worden gereduceerd. Dit kan verder worden uitgewerkt in een vervolgstudie.

Aanbevelingen

In het rapport zijn enkele onderwerpen niet verder uitgewerkt. De grote, nader uit te werken onderwerpen zijn hier benoemd. Deze kunnen worden uitgewerkt in een vervolgonderzoek.

Bij de calamiteitssituatie waarbij een schip de deur aanvaart, is het van belang dat de stijve betonnen deur ondersteund wordt door verende opleggingen. Deze opleggingen moeten stijf genoeg zijn om de waterdruk tegen te gaan, maar genoeg inveren bij aanvaring.

Een ander vervolgonderzoek is het transport van de deur in het water. De deur kan worden beschouwd als een schip op het water.

9 Literatuur

- Arends, G. (1994). *De ontwikkeling van de sluis- en stuwbouw in Nederland tot 1940*. Delft: Delfse Universitaire Pers.
- Bezuyen, K. (2000). *Constructieve waterbouwkunde Deel B Schutsluizen*. Delft: TU Delft.
- Bouw Machines. (2018, nov 15). Opgehaald van <https://www.bouwmachines.nl/https://www.bouwmachines.nl/materieel/nieuws/2018/11/grootste-mobiele-kraan-ter-wereld-bij-pfeifer-in-groenlo-10142403>
- Bowyer, J. (2008). *Wood Products and carbon protocols carbon storage and low energy intensity should be considered*. DOVETAIL PARTNERS, INC.
- BVBmS. (sd). *Voorgespannen beton*. Gouda: Betonvereniging en Bouwen met staal.
- Cementonline. (2010, Oktober 27). Opgehaald van Cementonline: <https://www.cementonline.nl/eerste-betonnen-sluideuren-ter-wereld>
- Doeksen, J. (2012). *Gate design for large, high head locks*. Delft: TU delft.
- Fieldlens. (jaartal onbekend). Opgehaald van Fieldlens: <https://fieldlens.com/blog/building-better/biggest-cranes/>
- Reitsema, A. (2012). *Ontwerpen van een vvUHSB sluisdeur m.b.v. optimalisatie algoritmen*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Schwartz, K. (2016, juni 15). Opgehaald van deondernemer: <https://www.deondernemer.nl/>
- Slijk, R. (2013). *Standardization in river locks!* Breda: TU Delft.
- Sohn, E. &. (2012). *Recommendations of the Committee for waterfront structures Harbours and waterways EAU 2012*. Berlin: Verlag für Architektur und technischeWissenschaften GmbH & Co.
- Vrijburcht, A. (1994). *Krachten op puntdeuren en enkele draaideuren*. Delft: Deltares.
- Vrijburcht, A. (2000). *Ontwerpen van schutsluizen*. Delft: Rijkswaterstaat Bouwdienst.

10 Bijlagen

Bijlage A1 Interview met Ingenieursbureau Amsterdam

Vraag	Antwoord
Technische onderwerpen	
Wat was de functie van de deur?	Primair waterkering (beide deuren gesloten) - Schutsluis
Waar zijn de afschuiningen van 35 a 40 cm voor nodig?	Niet overloopbaar zijn
Wat was de grootste technische uitdaging?	Beheerders overtuigen
Scheepsbelasting? Hoe wordt de aanvaarbelasting opgenomen?	Nee, er gaat slechts recreatievaart door de sluis; de aanvaarbelasting is beperkt
Is er voorspanning toegepast?	Nee, traditonele wapening en vezelwapening
Roest het staal in beton niet? Roestvrije staalvezels toegepast?	Nee, wel RVS vezels toegepast
Wordt de duurzaamheid van de deur aangetast bij kleine krimpscheuren?	Uitgangspunt is een levensduur van 100 jaar (mede door krimpscheurbeperkende vezels kunnen scheuren healen dmv nahydratatie van ongebonden cement)
Kan de sluis worden leeggezet?	Ja, ten behoeve van onderhoud, dat is tevens ook de maatgevende situatie
Zijn er rekenregels voor staalvezel-versterkt beton met ZHSB?	Onze sluisdeur is uitgevoerd met HSB (c95/B105) niet met ZHSB
Is er ervaring met ZHSB voor waterbouwkundige toepassingen met het gebruik van stortvoegen? Of is het uitgangspunt dat er zich geen stortvoegen voordoen?	Wij hebben geen stortvoegen in de sluisdeuren; de deuren zijn geprefabriceerd
Duurzaamheid	
Is het net zo duurzaam zoals van te voren voorspeld?	Is mij niet bekend
Ontwerp	
Was er een architect betrokken in het ontwerpproces? Had hij invloed op de materiaalkeuze?	Meyer en van Schooten Architecten waren betrokken; de keuze tussen beton en staal is gemaakt door de aannemer (beide waren toegestaan/uitgewerkt in bestek)
Zijn er variantenstudies gedaan voor dit ontwerp? Zo ja, welke?	Ja, beton en staal
Welke criteria waren er aangehouden?	Stichtingskosten en duurzaamheid, inpassing binnen reeds ontworpen installatie/bewegingswerk
Wat was het doorslaggevende onderdeel? (duurzaamheid en bouw- en onderhoudskosten maatgevend?)	Beide; 20% lagere bouwkosten en in theorie lagere onderhoudskosten
Was het ontwerpproces net zo lang als bij een traditionele houten of stalen deur?	Hier is wel meer tijd aan besteedt (eerst afstudeertraject, later uitgebreide uitwerking in samenspraak met bureau Hageman), dit paste binnen het totale ontwerpproces van de gehele sluis
Waren er specifieke eisen voor de betonnen deur?	De systematiek van een staalvariant was de eis en daar voldeed de betonnen deur aan.
Onderhoud & Gebruik	
Voorkomt hoogsterkte beton echt hechting van algen?	Waarschijnlijk niet helemaal; periodiek schoonspuiten met hogedrukspuit is nodig. Er groeien wel mosselen aan het beton
Bewegingswerk?	Geldt ook voor staal, ca 20 jaar
Toekomst	
Waarom zijn er zo weinig betonnen sluisdeuren gemaakt?	Geen belangstelling vanuit opdrachtgevers
Wat vinden opdrachtgevers lastig?	Standaard werkprocessen aanpassen
Wat vinden ze belangrijk?	Dat een sluisdeur goed werkt, weinig fouten
Waar zien zij problemen in?	Dat ze teveel verschillende soorten deuren hebben
Is een betonnen sluisdeur technisch interessant? Zo ja, waarom?	Niet perse
Wat zijn de aanbevelingen voor toekomstige projecten? Zijn er valkuilen te benoemen waar je als ontwerper rekening mee moet houden?	Opdrachtgevers hebben een portfolio. Zij zijn geïnteresseerd in standaard oplossingen

Bijlage A2 Onderzoek sluisdeuren

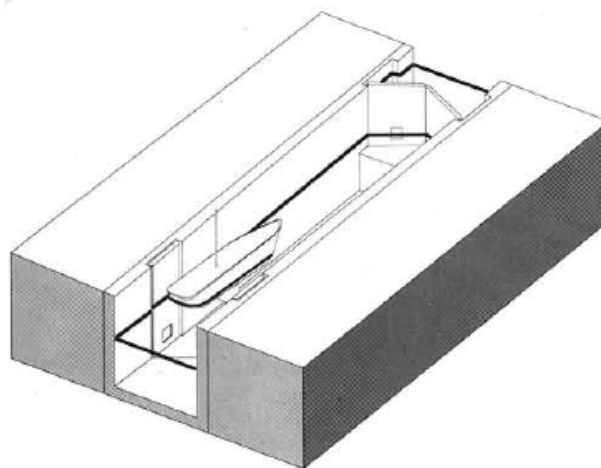
Onderzoek sluisdeuren

1.1 Inleiding

In de wereld worden veel sluizen gebouwd. Een sluis is een waterbouwkundig kunstwerk in een waterkering tussen twee waterwegen. Het kenmerk van een sluis is dat het een beweegbare waterkering is, welke tegelijkertijd de twee waterwegen direct met elkaar kan verbinden. Andere waterbouwkundige kunstwerken hebben geen dubbele functie. Een gemaal of een overlaat kan de waterstand wel reguleren, maar heeft geen directe verbinding tussen twee waterwegen. Duikers en grondduikers verbinden wel twee waterwegen met elkaar, maar hebben geen waterkerende functie.

1.2 Schutsluis

In 1994 beschreef Arends dat er verschillende type sluizen zijn. Deze kunnen worden ingedeeld in drie hoofdgroepen, namelijk sluizen ten behoeve van waterhuishouding, sluizen met een militaire functie, en sluizen voor de scheepvaart. De meest bekende scheepvaartsluizen zijn de schutsluizen. Zij maken scheepvaart mogelijk tussen twee verschillende waterwegen of kanaalpanden ook als de waterstand niet gelijk is. Een schutsluis bestaat daardoor tenminste uit twee sluishoofden die onderling verbonden zijn door een schutkolk. In Figuur 1 is een isometrie van een schutsluis weergegeven.



Figuur 1 Isometrie tekening schutsluis (Arends, 1994, p. 3),

De keersluizen en de spuisluizen kunnen, naast het beheersen van waterstanden, bij bepaalde omstandigheden ook scheepvaart kunnen doorlaten. In dit onderzoek worden alleen sluisdeuren voor schutsluizen behandeld.

2 Analyse sluisdeuren

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden een aantal sluisdeuren beschreven.

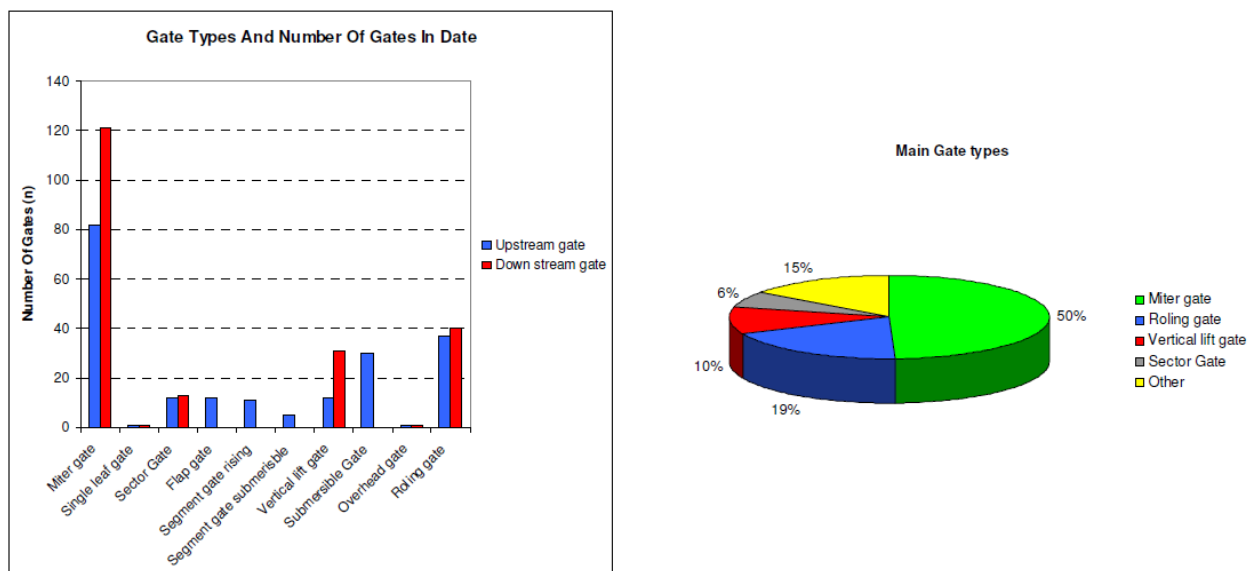
2.2 Sluisdeuren (afsluitmiddelen)

Een sluisdeur is een afsluitmiddel. “Onder een afsluitmiddel wordt verstaan een voorziening waarmee twee (verschillende) waterniveaus op gecontroleerde wijze van elkaar kunnen worden gescheiden of met elkaar in contact worden gebracht.” (Bezuyen, 2000, pp. 6-1). Bij het “scheiden” worden de twee waterwegen letterlijk van elkaar gescheiden. Het hoogste waterniveau mag niet naar het laagste waterniveau stromen. Bij scheiden van zout en zoet water worden hoge eigen gesteld. De krachten ten gevolge van het verschil in waterdruk moeten worden overgedragen naar de sluishoofden. Bij het “in contact brengen van de waterniveaus” moet het afsluitmiddel verplaatsbaar zijn. Bij een geopende stand moet het vereiste profiel van vrije ruimte, zowel de breedte als de hoogte, beschikbaar zijn. Bij een gesloten stand kan de sluiskolk op het gewenste waterniveau worden gebracht (vullen ledigen).

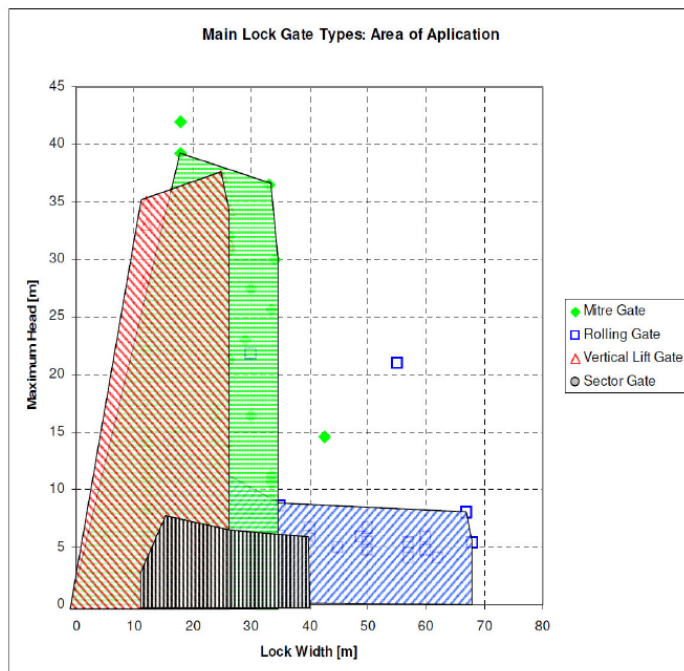
Er zijn dus een viertal functies waar een sluisdeur aan moet voldoen, namelijk: beweegbaarheid, waterkering, waterafdichting en eventueel waterdoorlating.

2.3 Type Sluisdeuren

Er zijn veel verschillende soorten deurtypes zoals enkele draaideur, puntdeuren, toldeuren, waaierdeuren kruisende deuren, gekoppelde deuren, klepdeuren, segmentdeuren, roldeuren, hefdeuren en schuiven, schipdeuren etc. Uit eerdere onderzoek is gebleken dat puntdeuren het meest wordt toegepast, zie Figuur . In dit hoofdstuk worden de meest toegepaste deuren beschreven.



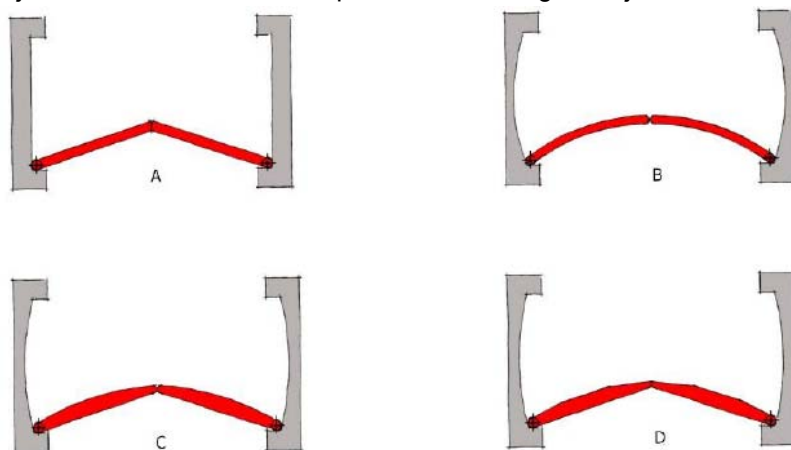
Figuur 2 Overzicht meest gebouwde sluisdeuren (Doeksen, 2012, p. 13)



Figuur 3 Overzicht toepassingsgebied per sluisdeur (Doeksen, 2012, p. 15)

2.3.1 Puntdeuren

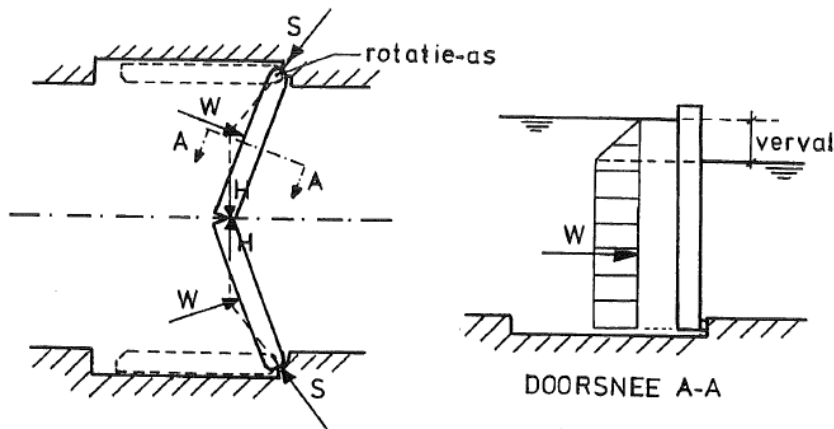
Een puntdeur bestaat in principe uit twee draaideuren die elkaar in het midden van de vaarwegbreedte ondersteunen. De deuren draaien om de verticale as en openen en sluiten daarmee de gehele sluisopening. De deurkas is een uitsparing in de wand welke zich achter de verticale draai-as bevindt. Zij zorgt er bij een open positie voor dat de sluisopening niet wordt verkleind. In de deurkas bevindt zich een bewegingswerk waarmee de deur open en dicht kan worden gemaakt. Om de krachswerking zo optimaal mogelijk te maken zijn er verschillende soorten puntdeuren. In Figuur zijn een aantal soorten weergegeven.



Figuur 4 Types puntdeuren (Doeksen, 2012, p. 22)

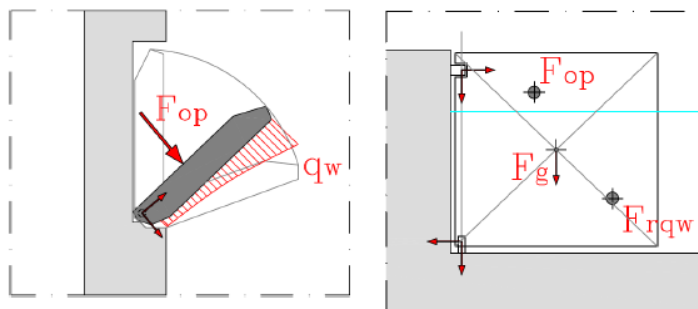
Krachtwerking

De globale krachtwerking van de puntdeur is een ligger op twee steunpunten, waarbij de ene deur functioneert als een steunpunt voor de andere deur. De deuren steunen elkaar waardoor de overspanning per deur kleiner is, wat resulteert in een kleiner buigend moment. Door de boogwerking krijgt hetsluishoofd krachten loodrecht op de vaarweg. In Figuur 5 is dit principe weergegeven.



Figuur 5 Globale krachswerking puntdeur (Bezuyen, 2000, pp. 6-2)

Er zijn ook andere krachten waar de constructie mee te maken krijgt. Tijdens het openen en sluiten van de deur treden er andere krachten op de deur. Door de druk of trek op de deur en de waterverplaatsing moet de deur andere krachten op kunnen nemen. Daarnaast krijgen de scharnierpunten ook druk of trekkracht vanwege de geometrie van de constructie. In Figuur 6 is dit duidelijk weergegeven.



Figuur 6 Bovenaanzicht (links), zijaanzicht(rechts) (Doeksen, 2012, p. 22)

Toepassingsgebied

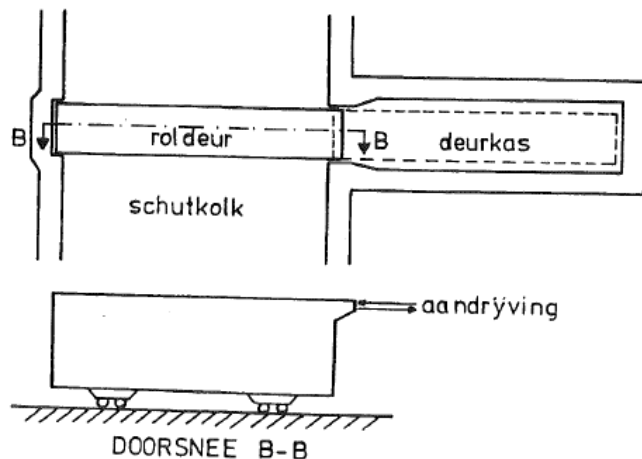
Uit eerdere onderzoek blijkt dat puntdeuren het grootste toepassingsgebied hebben als het gaat om de breedte hoogte verhouding (Doeksen, 2012). Ten opzichte van andere type deuren kunnen puntdeuren beter bij hoge dan bij brede sluisen worden gebruikt.

Voor en nadelen

Het voordeel van de puntdeur is dat het bewegingswerk zich buiten het profiel van de sluis bevindt. Daardoor kan de deur niet worden beschadigd door aanvaring. De nadelen van de puntdeuren zijn de vrij lange bewegingstijden, de verhoudingsgewijs grote beweegkracht en de noodzaak tot relatief veel bewegingswerken.

2.3.2 Roldeuren

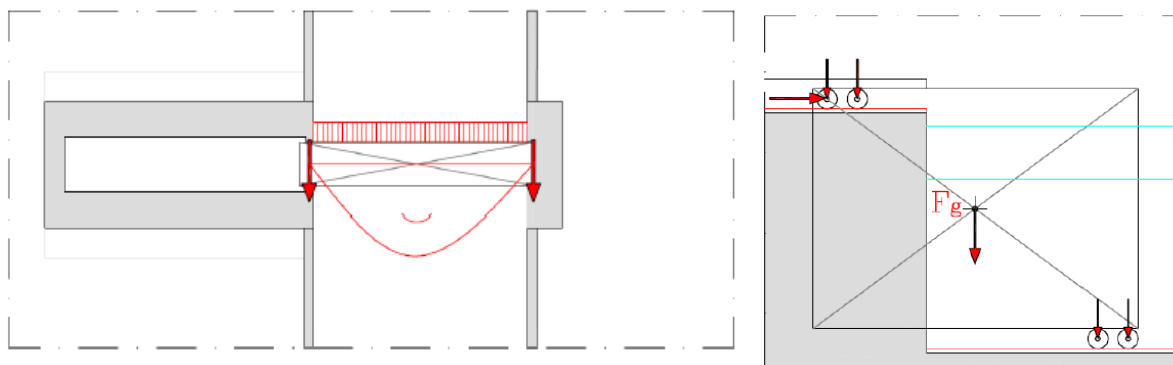
Roldeuren kunnen gezien worden als een schuivende wand. Het bestaat uit een driedimensionaal raamwerk met beplating aan beide lange zijden. Door rails kunnen deze deuren in horizontaal richting, loodrecht op de schutkolk bewegen. Aan het sluishoofd is een deurkas gebouwd waar de deur in geopende stand terecht komt. In Figuur 7 is dit principe weergegeven.



Figuur 7 Principe roldeur (Bezuyen, 2000, pp. 6-4)

Krachtwerking

De roldeur is een vierkante plaat die de horizontaalkrachten afgeeft aan het sluishoofd.



Figuur 8 Principe krachswerking roldeuren (Doeksen, 2012, p. 24)

Toepassingsgebied

De roldeur kan ook worden toegepast bij situaties waarbij de stroomrichting verandert.

Voor en nadelen

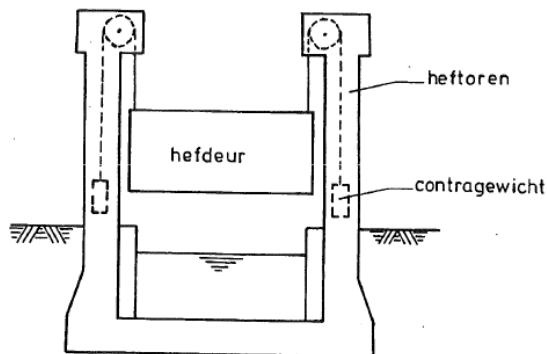
Er is een redelijk grote deurkasconstructie nodig om de deur op te kunnen bergen.

De deuren kunnen in een open positie niet geraakt worden door schepen.

Deze deur kan normaal gesproken drijven en kan dus makkelijk over het water worden getransporteerd.

2.3.3 Hefdeuren

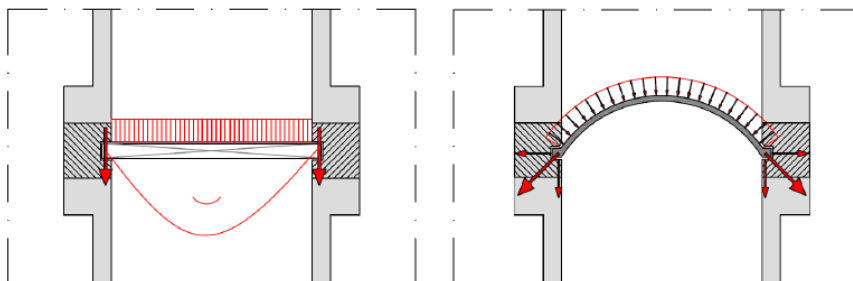
Bij een hefdeur wordt de deur verticaal omhoog of omlaag bewogen. De bewegingswerken bevinden zich in heftoren. Door middel van contra-gewichten wordt de benodigde energie om de deuren te verplaatsen beperkt. In Figuur 9 is dit principe weergegeven.



Figuur 9 Principe hefdeuren (Bezuyen, 2000, pp. 6-3)

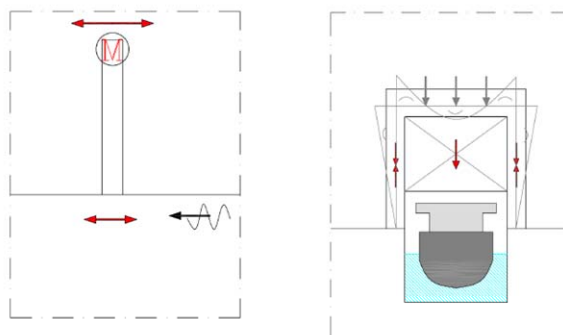
Krachtwerking

In het bovenaanzicht is de krachtwerking van de hefdeur bijna identiek aan de roldeur. De horizontale kracht gaat via de deur naar het sluishoofd. Er kan ook gekozen worden voor een boogvormige hefdeur. Door de boogwerking krijgt het sluishoofd naast evenwijdige krachten ook loodrechte krachten voor zijn kiezen, zie Figuur 10.



Figuur 10 Boven aanzicht krachswerking hefdeur (Doeksen, 2012, p. 20)

De hefdeur gaat altijd samen met een heftoren. Deze heftoren moeten de deur naar de gewenste hoogte brengen. Daarnaast zijn de heftoren gevoelig voor windkrachten en aardbevingen, zie Figuur 11.



Figuur 11 Krachten op de heftoren

3 Literatuur

- Arends, G. (1994). *De ontwikkeling van de sluis- en stuwbouw in Nederland tot 1940*. Delft: Delfse Universitaire Pers.
- Bezuyen, K. (2000). *Constructieve waterbouwkunde Deel B Schutsluizen*. Delft: TU Delft.
- Doeksen, J. (2012). *Gate design for large, high head locks*. Delft: TU delft.
- Vrijburcht, A. (2000). *Ontwerpen van schutsluizen*. Delft: Rijkswaterstaat Bouwdienst.

Bijlage A3 Standaard prefab beton liggers

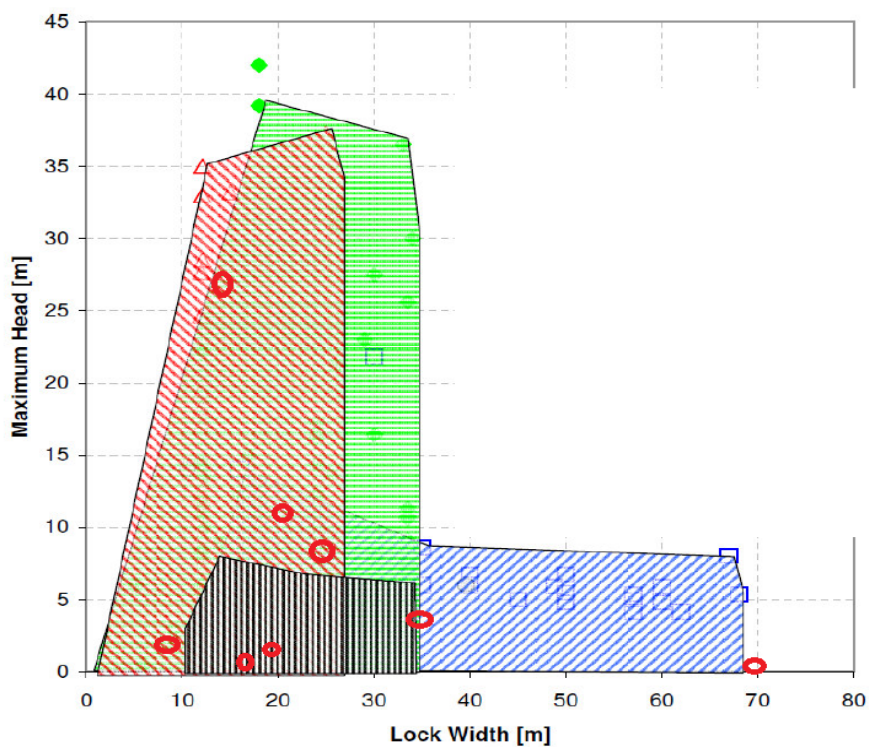
Overzicht standaard prefab liggers

Type	Soort	Betonsoort	Vorm	Voorgespannen	Max belasting	Maximale overspanning
01	Kanaalplaatvloer400	C45/55	Plaat	Ja	20	10
02	HPK-ligger	C30/37	Koker	Ja	19	20
03	BX600/1500	C50/60	Rechthoek	Ja	160	13.5
04	I65/160	C50/60	I vorming	Voorgerekt	54.5	24
5	TT platen	niet weergegeven	T vormig	Ja	20	21

Hoge verval	Breedte[m]	Verval[m]
1	10	1.7
2	20	1.3
3	13.5	27
4	21.5	10.5
5	12	1.3

Grootste overspanning	Breedte[m]	Verval[m]
1	18	0.18
2	70	0.6
3	34.5	4
4	24	8.4
5	20	0.15

Current Technologies: Area of Aplication



Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	1.2 m
qlast vanaf sill depth	17 kN/m

Rekenmodel

q	20.4 kN/m
l	10 m
M	255 kNm

Benodigd

w	2550000 mm ³
---	-------------------------

Kanaalplaat400

Breedte	18 m
Verval	0.18 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	1.2 m
qlast vanaf sill depth	1.8

Rekenmodel

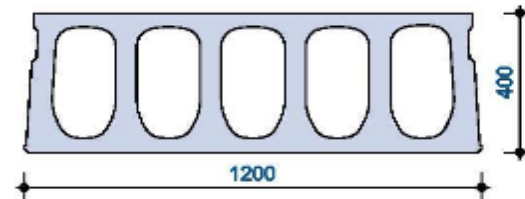
q	2.16 kN/m
l	18 m
M	87.48 kNm

Benodigd

w	874800
---	--------

Productomschrijving

De systeemvloeren zijn samengesteld uit geprefabriceerde voorgespannen kanaalplaten. In het betonnen element bevinden zich in de lengterichting 5 kanalen en voorspanwapening (boven en onder). Sparingen kunnen fabrieksmatig in de plaat worden opgenomen. De vloerplaten kunnen ook met ingestorte centraaldozen worden geleverd, die via leidingen in de afwerklaag met elkaar worden verbonden.

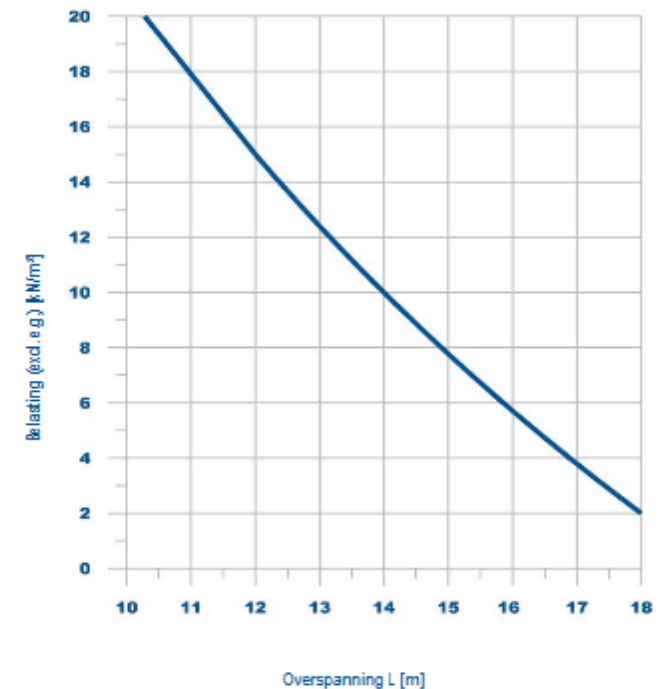


Doorsnede

Toepassing

De kanaalplaatvloer 400 is geschikt als vrijdragende verdieplings- of dakvloer in voornamelijk de utiliteitsbouw.

Constructieve eigenschappen



Bron:

https://www.vbi-techniek.nl/Product_Selector/Vloeren_selector#/filter/MjAwMEAyJDYqdHJ1ZSMxfA==/product/3173

Productinformatie

HKP-ligger

Breedte	20 m
Verval	1.3 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	1.48 m
qlast vanaf sill depth	13 kN/m

Rekenmodel

q	19.24 kN/m
l	20 m
M	962 kNm

Benodigd

w	9620000
---	---------

HKP-ligger

Breedte	70 m
Verval	0.6 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	1.48 m
qlast vanaf sill depth	6

Rekenmodel

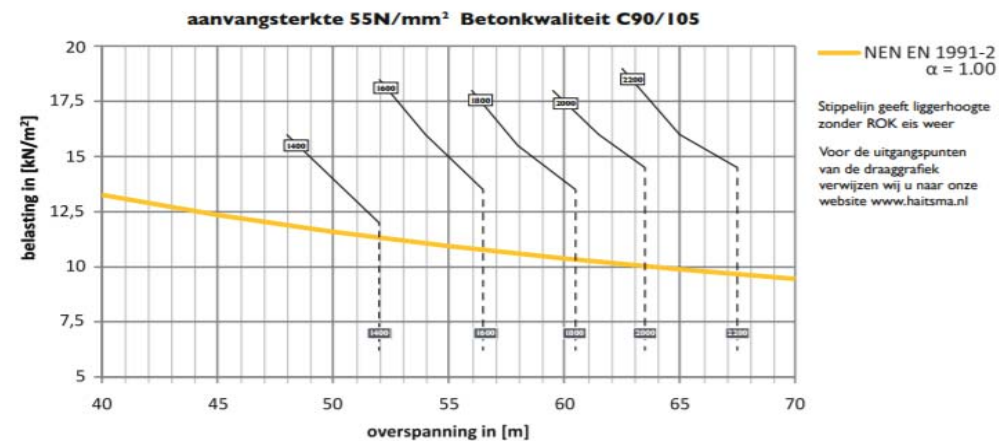
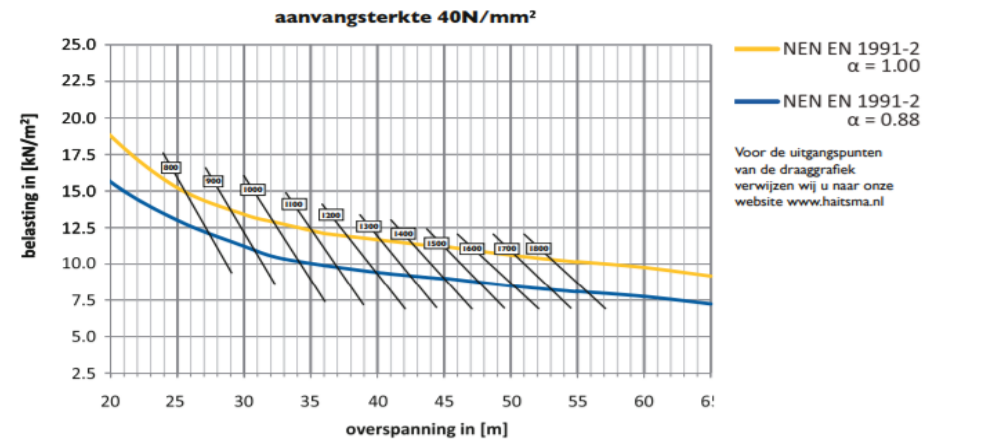
q	8.88 kN/m
l	70 m
M	5439 kNm

Benodigd

w	54390000
---	----------

Productgegevens:

HKP-ligger



Bron:

<https://www.haitsma.nl/media/238407/folder-hkp-hmp-ligger.pdf>

Productinformatie

BX600/1500

Breedte	33 m
Verval	27 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	0.6 m
qlast vanaf sill depth	270 kN/m

Rekenmodel

q	162 kN/m
l	33 m
M	22052.25 kNm

Benodigd

w	220522500
---	-----------

BX600/1500

Breedte	34.5 m
Verval	4 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	0.6 m
qlast vanaf sill depth	40

Rekenmodel

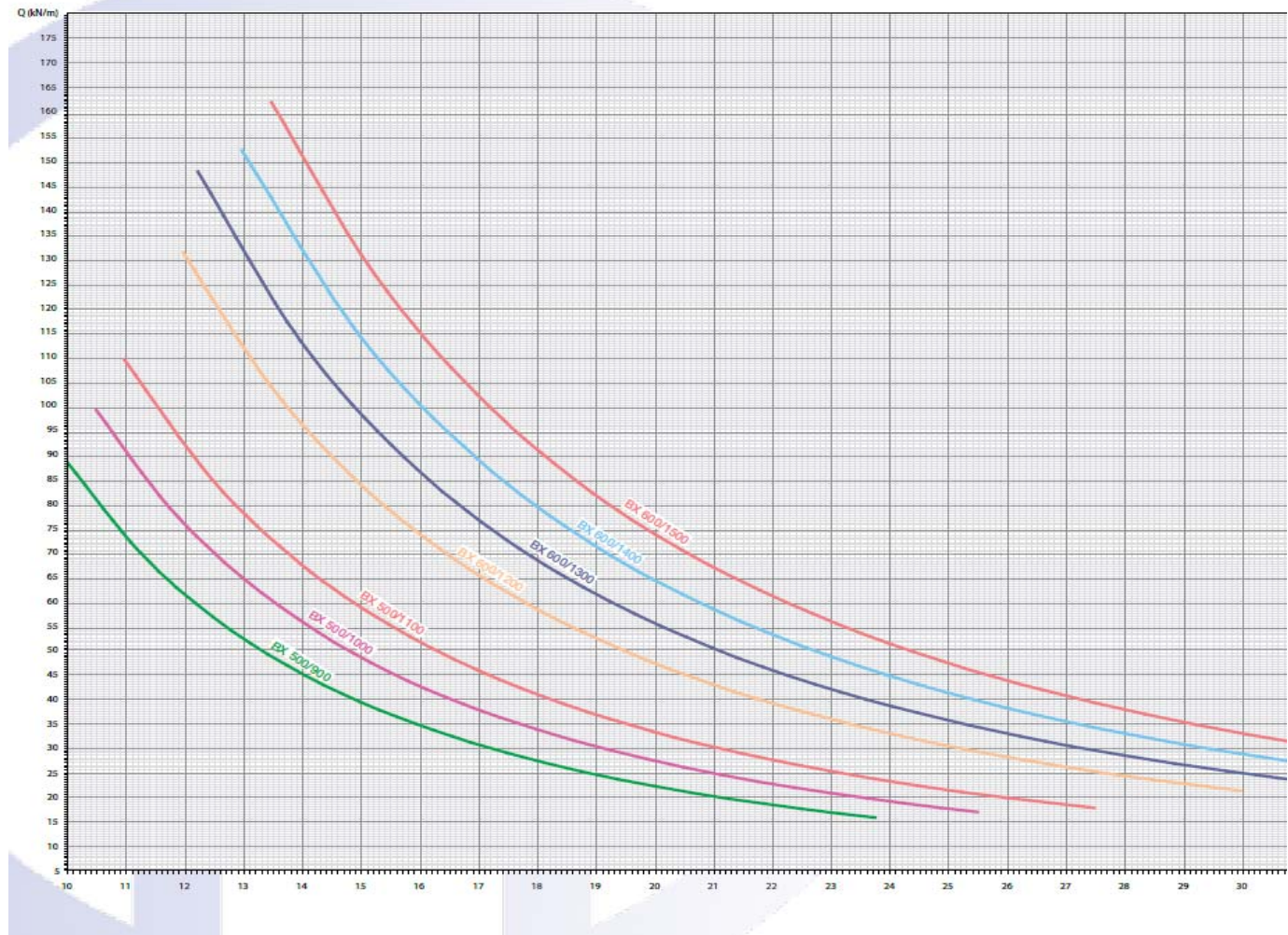
q	24 kN/m
l	34.5 m
M	3570.75 kNm

Benodigd

w	35707500
---	----------

Productgegevens:

Rechthoekige balken in voorgespannen beton (BX)



Bron:

<http://www.prefabsystems.be/nl/downloads/detail/draagstructuren?sent=true&download=true>

Productinformatie

I65/160

Breedte	21.5 m
Verval	10.5 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	0.65 m
qlast vanaf sill depth	105 kN/m

Rekenmodel

q	68.25 kN/m
l	21.5 m
M	3943.570313 kNm

Benodigd

w	39435703.13
---	-------------

I65/160

Breedte	24 m
Verval	8.4 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	0.65 m
qlast vanaf sill depth	84

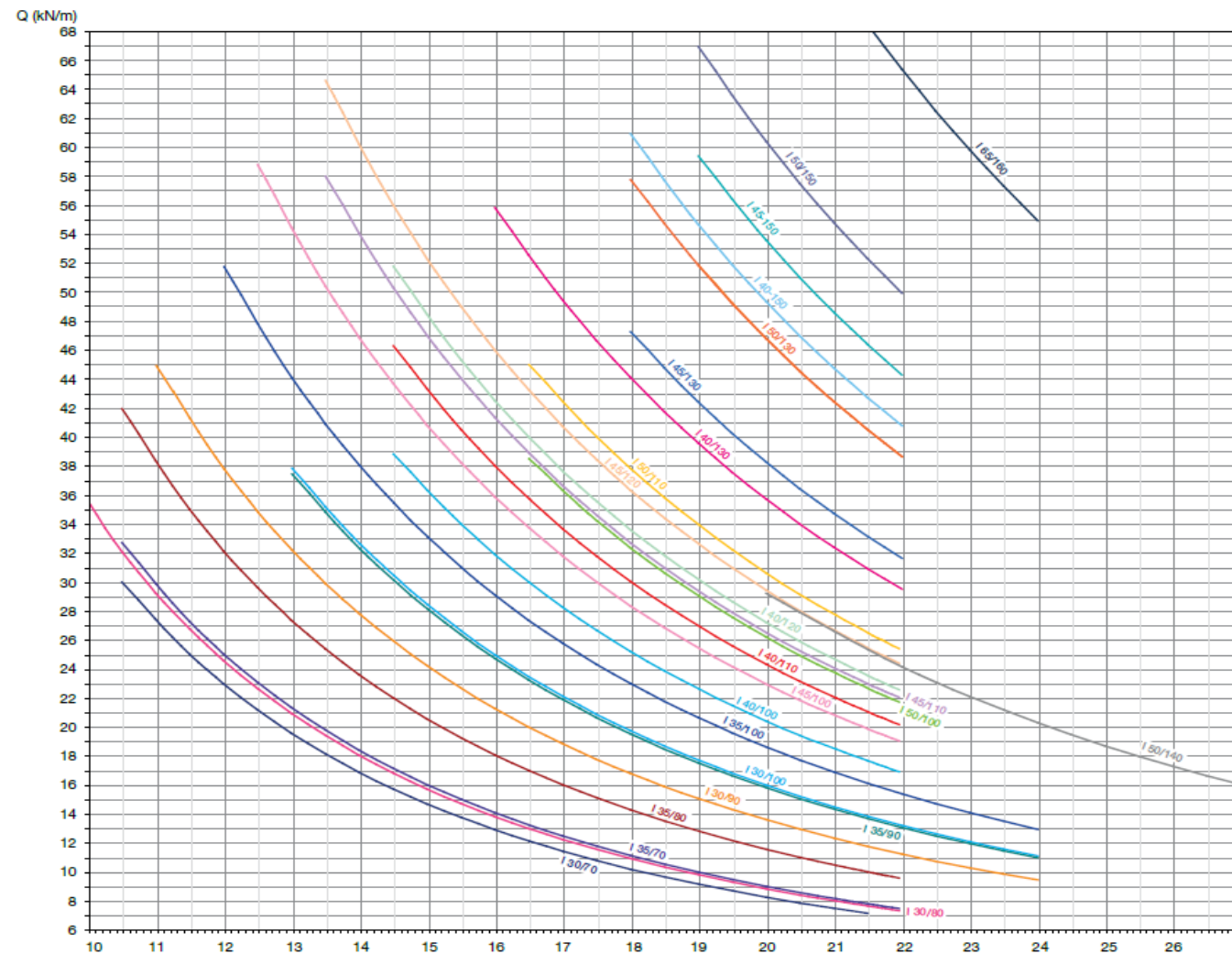
Rekenmodel

q	54.6 kN/m
l	24 m
M	3931.2 kNm

Benodigd

w	39312000
---	----------

Productgegevens:



Bron:

<http://www.prefabsystems.be/nl/downloads/detail/draagstructuren?sent=true&download=true>

Productgegevens

TT810+80

Breedte	13 m
Verval	1.3 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	1.5 m
qlast vanaf sill depth	13 kN/m

Rekenmodel

q	19.5 kN/m
l	13 m
M	411.9375 kNm

Benodigd

w	4119375
	900000000

TT810+80

Breedte	20 m
Verval	0.15 m
Sill depth	4.5 m
Water	10 kN/m
Hoh	1.5 m
qlast vanaf sill depth	1.5

Rekenmodel

q	2.25 kN/m
l	20 m
M	112.5 kNm

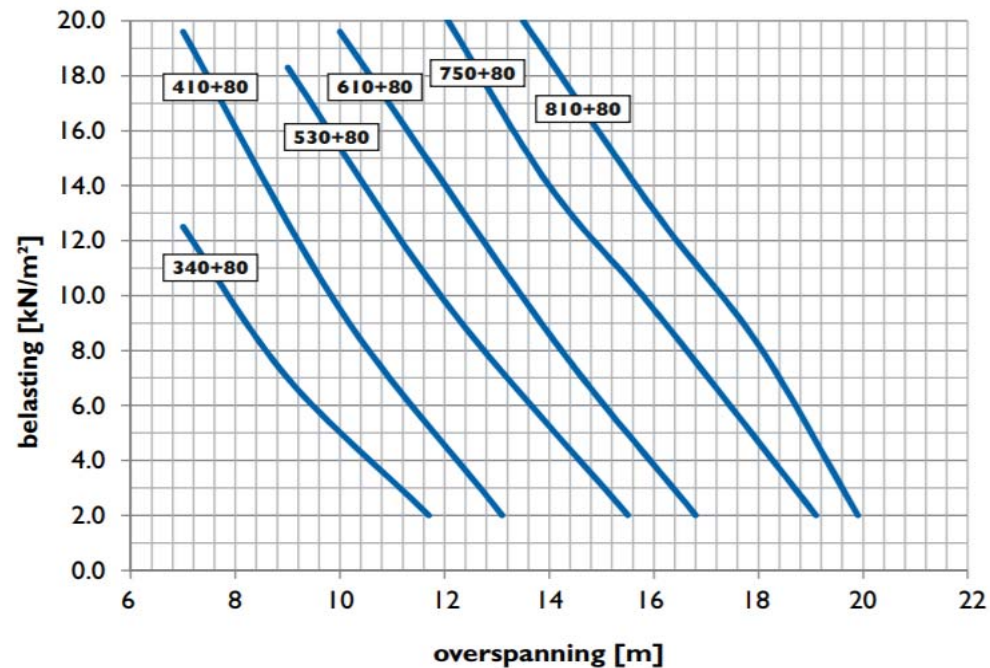
Benodigd

w	1125000
	900000000

Productgegevens:

TT-platen

60 mm flens
80 mm druklaag



Bron:

<https://www.haitsma.nl/media/232332/folder-tt-plaat.pdf>

Bijlage A4 Analyse belastingen voor parametrisch model

Analyse belastingen voor parametrisch model

Type belasting	Belastingscombinatie	Type	Buigend moment [kNm]
Waterdruk	ULS	Excel	1310203
Scheepsbelasting	SLS incidentieel	Scia	550000
Aardbevingsbelasting	SLS incidentieel	Excel	1278063

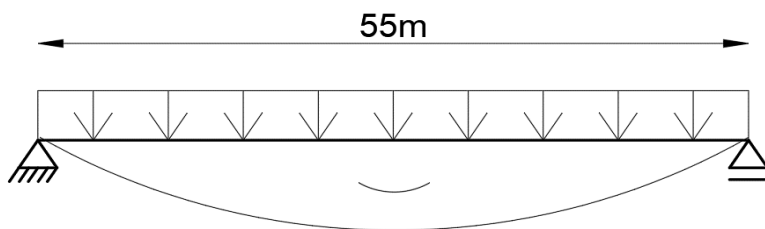
Gegevens

Hoogte koker	10 m
Overspanning	55 m

Waterdruk

Verval	21 m
Waterdruk	10 kN/m
Belastingsfactor	1.65
q last	346.5 kN/m
Moment waterdruk	131020 kNm

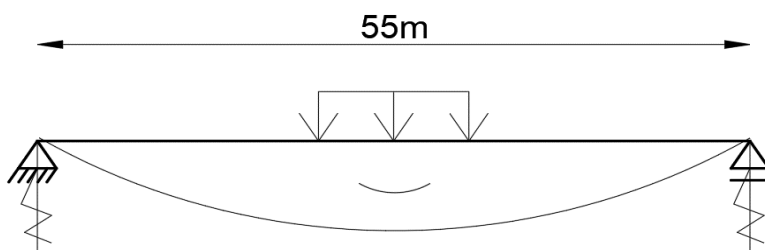
Rekenschema waterdruk



Scheepsbelasting

SCIA MODEL	550000 kNm
------------	------------

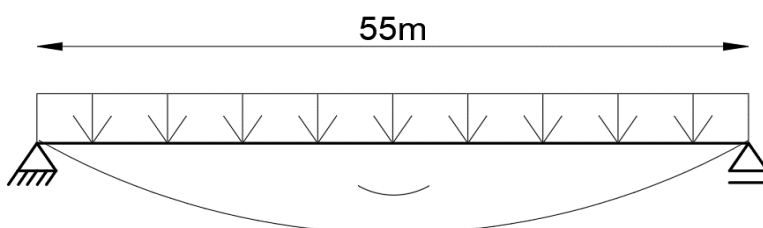
Rekenschema scheepsbelasting



Aardbeving

Belasting	338 kN/m
Belastingsfactor	1
Aardbevingbelasting	127806 kNm

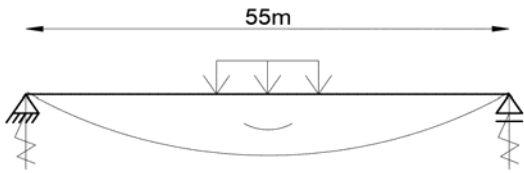
Rekenschema aardbeving



Scheepsbelasting berekening

Energie berekening CEMT VIc			
Frontale belasting			
Massa schip	G	ton	160000
Snelheid	v	m/s	0.53
Excentriciteitsfactor	Ce	-	0.50
Virtuele massa factor	Cm	-	1.50
Schip factor	Cs	-	1.00
Waterfront factor	Cc	-	1.00
Energie	Ed	kNm	16854.0

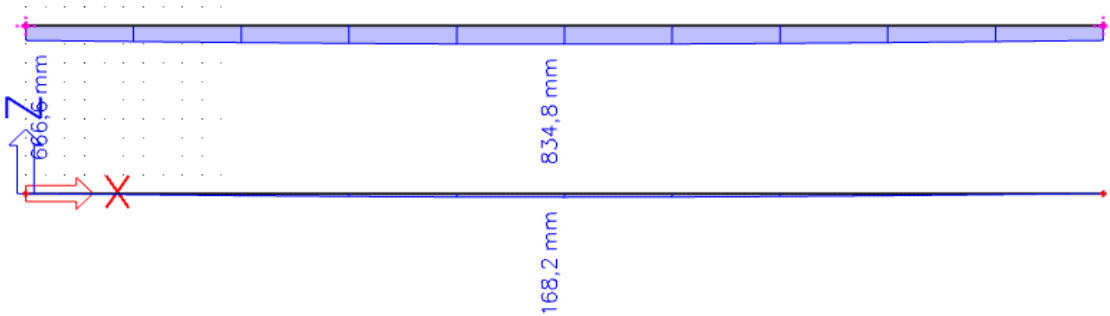
Rekenschema



Situatie zonder veren	
q last	7272.727 kN/m
Lengte belasting	5.5 m
Totale belasting	40000 kN
Verplaatsing	168 mm
Energie opname	3360 kNm

Conclusie:	Scheepsbelasting kan niet worden opgenomen Oplossing is een veer toepassen
------------	---

q last	7272 kN/m		
Lengte belasting	5.5 m		
Totale belasting	39996 kN		
Verplaatsing	842 mm	Benodigde veer	23750.59 kN/m
Energie opname	16838.32 kNm		



SCK Cell Fenders

PERFORMANCE DATA*

			E 0.9	E 1.0	E 1.1	E 1.2	E 1.3	E 1.4	E 1.5	E 1.6	E 1.7	E 1.8	E 1.9	E 2.0
1700	CV	E	678.0	753.0	800.2	847.4	894.6	941.8	989.0	1036.2	1083.4	1130.6	1177.8	1225.0
		R	908.0	1009.0	1072.2	1135.4	1198.6	1261.8	1325.0	1388.2	1451.4	1514.6	1577.8	1641.0
	RPD	E _R	739.0	820.8	872.2	923.7	975.1	1026.6	1078.0	1129.5	1180.9	1232.4	1283.8	1335.3
		R _R	989.7	1099.8	1168.7	1237.6	1306.5	1375.4	1444.3	1513.1	1582.0	1650.9	1719.8	1788.7
2000	CV	E	1104.0	1227.0	1303.6	1380.2	1456.8	1533.4	1610.0	1686.8	1763.6	1840.4	1917.2	1994.0
		R	1258.0	1397.0	1484.2	1571.4	1658.6	1745.8	1833.0	1920.0	2007.0	2094.0	2181.0	2268.0
	RPD	E _R	1186.8	1319.0	1401.4	1483.7	1566.1	1648.4	1730.8	1813.3	1895.9	1978.4	2061.0	2143.6
		R _R	1352.4	1501.8	1595.5	1689.3	1783.0	1876.7	1970.5	2064.0	2157.5	2251.1	2344.6	2438.1
2250	CV	E	1854.0	2060.0	2169.2	2278.4	2387.6	2496.8	2606.0	2715.0	2824.0	2933.0	3042.0	3151.0
		R	1876.0	2085.0	2195.4	2305.8	2416.2	2526.6	2637.0	2747.4	2857.8	2968.2	3078.6	3189.0
	RPD	E _R	1983.8	2204.2	2321.0	2437.9	2554.7	2671.6	2788.4	2905.1	3021.7	3138.3	3254.9	3371.6
		R _R	2007.3	2231.0	2349.1	2467.2	2585.3	2703.5	2821.6	2939.7	3057.8	3176.0	3294.1	3412.2
2500	CV	E	2544.0	2826.0	2975.8	3125.6	3275.4	3425.2	3575.0	3724.6	3874.2	4023.8	4173.4	4323.0
		R	2317.0	2574.0	2710.4	2846.8	2983.2	3119.6	3256.0	3392.2	3528.4	3664.6	3800.8	3937.0
	RPD	E _R	2696.6	2995.6	3154.3	3313.1	3471.9	3630.7	3789.5	3948.1	4106.7	4265.2	4423.8	4582.4
		R _R	2456.0	2728.4	2873.0	3017.6	3162.2	3306.8	3451.4	3595.7	3740.1	3884.5	4028.8	4173.2
3000	CV	E	3795.0	4217.0	4452.4	4687.8	4923.2	5158.6	5394.0	5629.4	5864.8	6100.2	6335.6	6571.0
		R	3310.0	3678.0	3879.0	4080.0	4281.0	4482.0	4683.0	4884.0	5085.0	5286.0	5487.0	5688.0
	RPD	E _R	3984.8	4427.9	4675.0	4922.2	5169.4	5416.5	5663.7	5910.9	6158.0	6405.2	6652.4	6899.6
		R _R	3475.5	3861.9	4073.0	4284.0	4495.1	4706.1	4917.2	5128.2	5339.3	5550.3	5761.4	5972.4

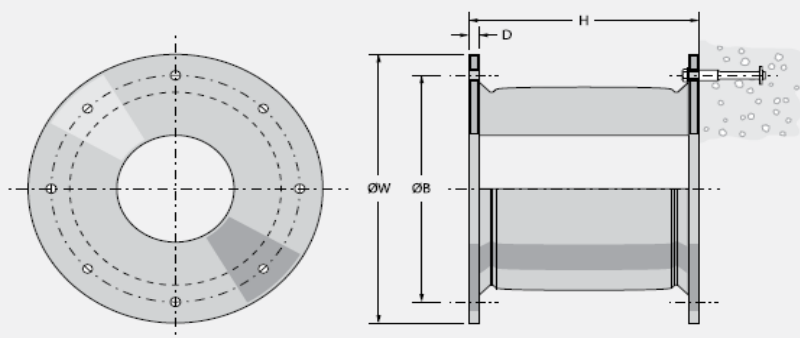
SCK Cell Fenders

DIMENSIONS

	H	ØW	ØB	D	ANCHORS / HEAD BOLTS ^	WEIGHT
SCK 400	400	650	550	24 – 32	4 × M20	75
SCK 500	500	650	550	24 – 32	4 × M24	95
SCK 630	630	840	700	24 – 32	4 × M27	220
SCK 800	800	1050	900	30 – 40	6 × M30	400
SCK 1000	1000	1300	1100	33 – 43	6 × M36	790
SCK 1150	1150	1500	1300	38 – 48	6 × M42	1200
SCK 1250	1250	1650	1450	38 – 48	6 × M42	1500
SCK 1450	1450	1850	1650	43 – 53	6 × M48	2300
SCK 1600	1600	2000	1800	45 – 55	8 × M48	3000
SCK 1700	1700	2100	1900	52 – 62	8 × M56	3700
SCK 2000	2000	2200	2000	50 – 65	8 × M64	5000
SCK 2250	2250	2550	2300	55 – 70	10 × M64	7400
SCK 2500	2500	2950	2700	65 – 80	10 × M64	10700
SCK 3000	3000	3350	3150	70 – 90	12 × M76	18500

^ Fender anchors / head bolts indicated are based on fenders RDP performance using a particular grade of steel. Please contact Trelleborg Marine Systems' local office for precise size, material and type for different grades of fenders pertaining to the project requirements.

[Units: mm, kg]



Bron:

<https://www.trelleborg.com>

Bepaling belasting aardbeving

kh	0.48
yw	10
r	1
alpha	0.3
S	1.6
H	21

Zwakke grond

$$k_h = \alpha \frac{S}{r}$$

$$q(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{h \cdot z}$$

where

k_h is the horizontal seismic coefficient with $r = 1$ (see expression (7.1));

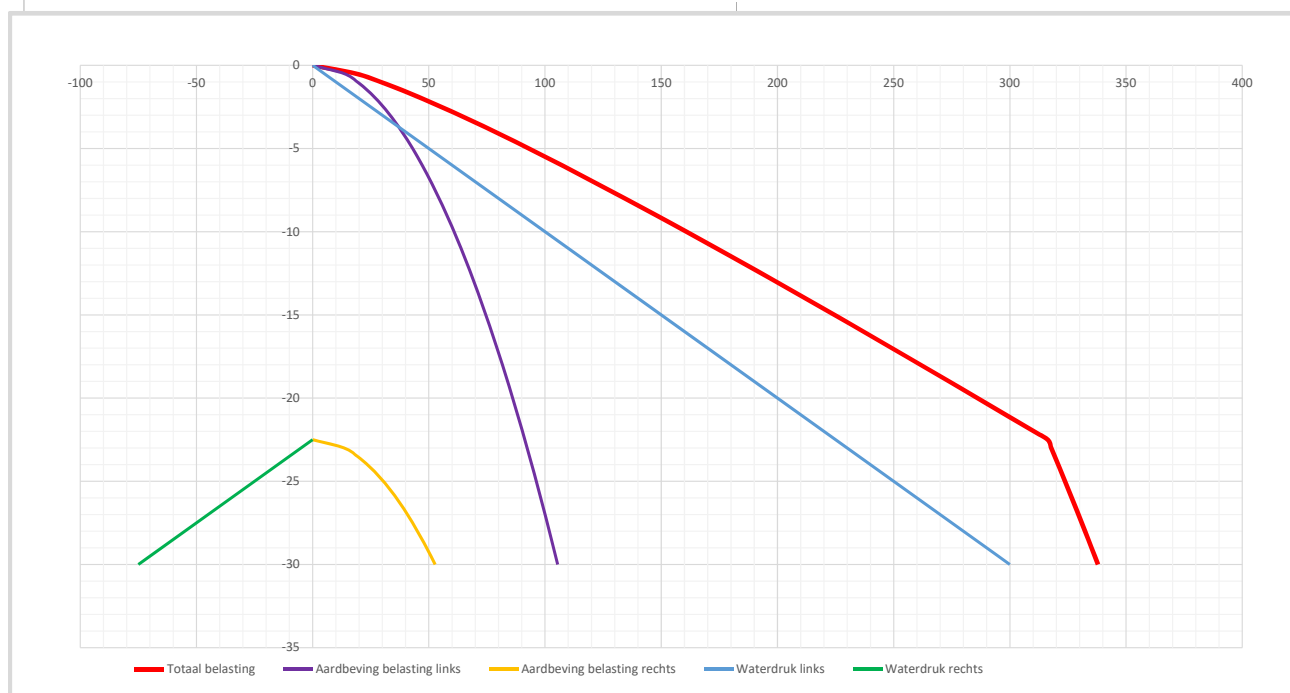
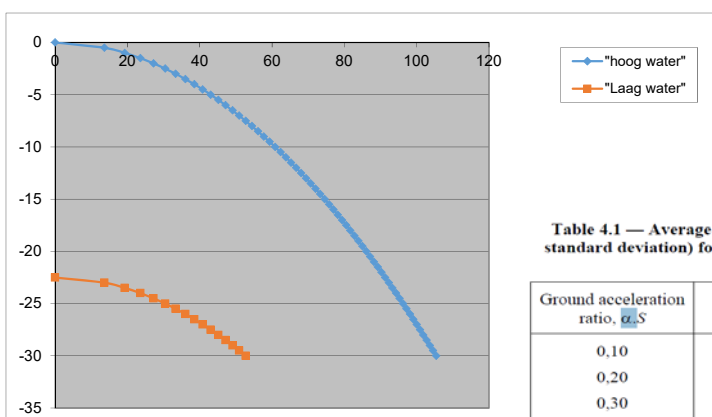
h is the free water height;

z is the vertical downward coordinate with the origin at the surface of water.

EN 1990-2:2004 (E)

(E.18)

Niveau	Aardbeving belasting links		Aardbeving belasting rechts		Waterdruk		Totaal waterdrukken	Alles totaal
	z [m]	q(z) [kN/m2]	q(z) [kN/m2]		Waterdruk links [kN/m2]	Waterdruk rechts		
0	0	0			0		0	0
-0.5	0.5	14			5		5	19
-1	1	19			10		10	29
-1.5	1.5	24			15		15	39
-2	2	27			20		20	47
-2.5	2.5	30			25		25	55
-3	3	33			30		30	63
-3.5	3.5	36			35		35	71
-4	4	38			40		40	78
-4.5	4.5	41			45		45	86
-5	5	43			50		50	93
-5.5	5.5	45			55		55	100
-6	6	47			60		60	107
-6.5	6.5	49			65		65	114
-7	7	51			70		70	121
-7.5	7.5	53			75		75	128
-8	8	54			80		80	134
-8.5	8.5	56			85		85	141
-9	9	58			90		90	148
-9.5	9.5	59			95		95	154
-10	10	61			100		100	161
-10.5	10.5	62			105		105	167
-11	11	64			110		110	174
-11.5	11.5	65			115		115	180
-12	12	67			120		120	187
-12.5	12.5	68			125		125	193
-13	13	69			130		130	199
-13.5	13.5	71			135		135	206
-14	14	72			140		140	212
-14.5	14.5	73			145		145	218
-15	15	75			150		150	225
-15.5	15.5	76			155		155	231
-16	16	77			160		160	237
-16.5	16.5	78			165		165	243
-17	17	79			170		170	249
-17.5	17.5	81			175		175	256
-18	18	82			180		180	262
-18.5	18.5	83			185		185	268
-19	19	84			190		190	274
-19.5	19.5	85			195		195	280
-20	20	86			200		200	286
-20.5	20.5	87			205		205	292
-21	21	88			210		210	298
-21.5	21.5	89			215		215	304
-22	22	90			220		220	310
-22.5	22.5	91	0	0	225	0	225	316
-23	23	92	0.5	14	230	-5	235	318
-23.5	23.5	93	1	19	235	-10	245	319
-24	24	94	1.5	24	240	-15	255	321
-24.5	24.5	95	2	27	245	-20	265	322
-25	25	96	2.5	30	250	-25	275	324
-25.5	25.5	97	3	33	255	-30	285	325
-26	26	98	3.5	36	260	-35	295	327
-26.5	26.5	99	4	38	265	-40	305	328
-27	27	100	4.5	41	270	-45	315	330
-27.5	27.5	101	5	43	275	-50	325	331
-28	28	102	5.5	45	280	-55	335	332
-28.5	28.5	103	6	47	285	-60	345	334
-29	29	104	6.5	49	290	-65	355	335
-29.5	29.5	105	7	51	295	-70	365	337
-30	30	105	7.5	53	300	-75	375	338

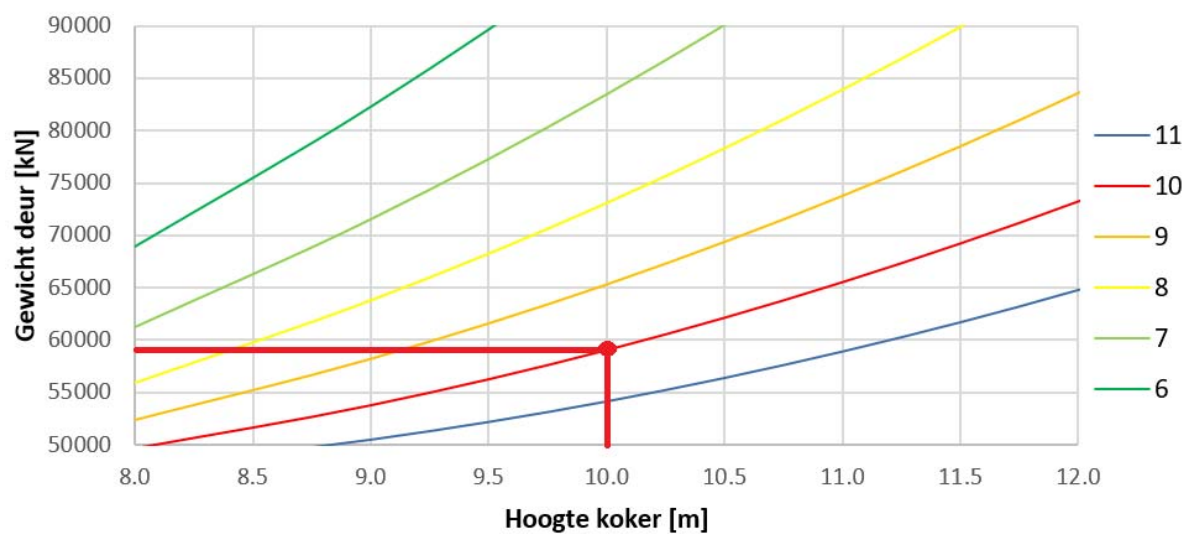
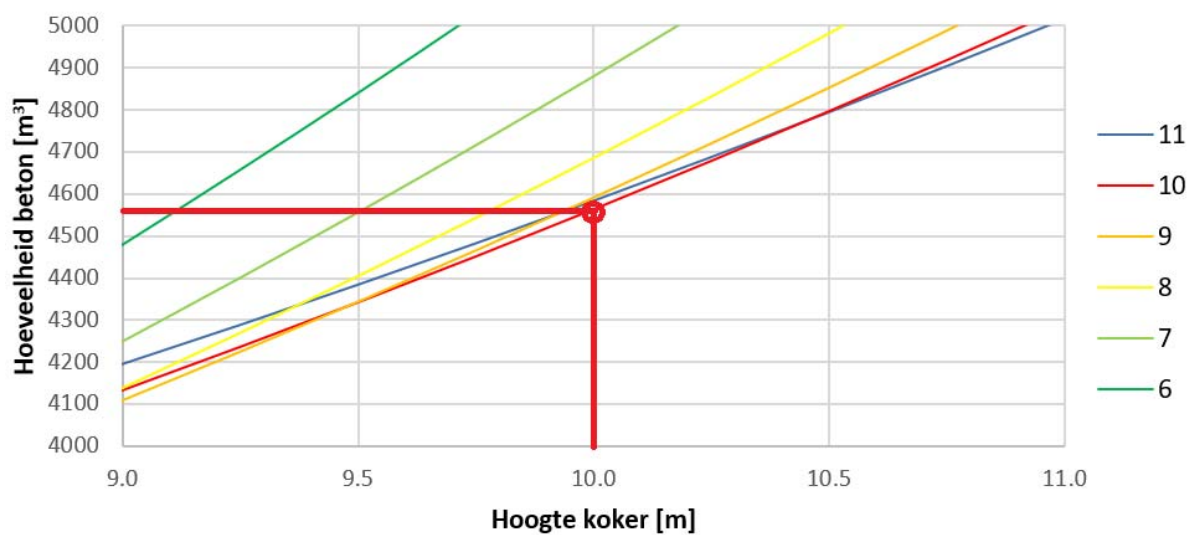
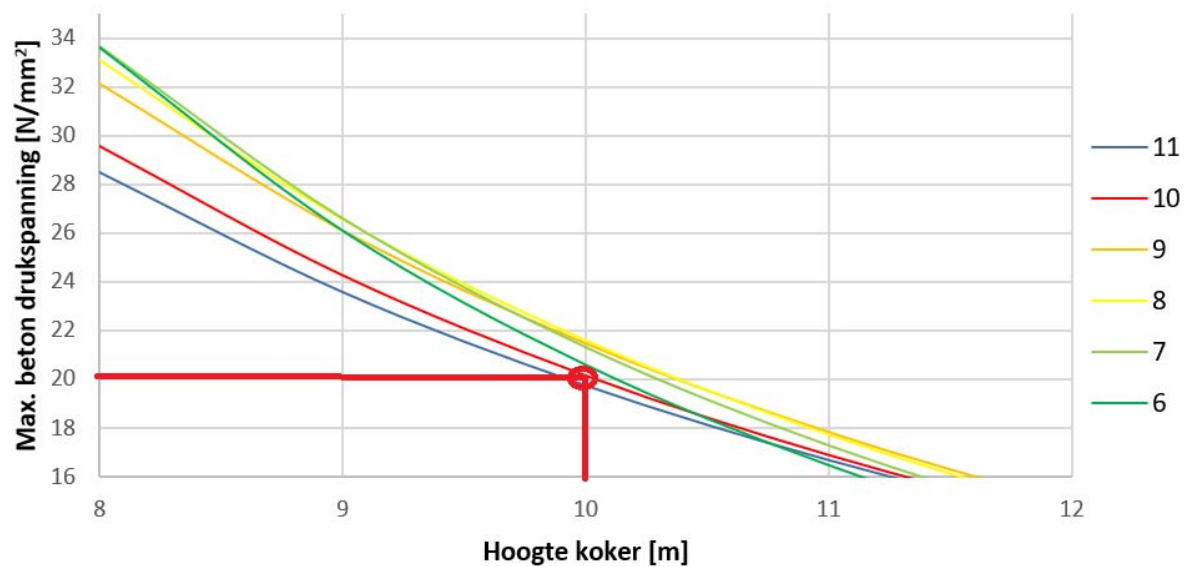


Bijlage A5 Resultaten parametrisch model

Geometrie Koker						Eigenschappen							
HOH koker [m]	Dikte vloer [m]	Hoogte [m]	Dikte wand [m]	Breedte red.[m]	Hoogte red. [m]	I uit [m4]	I in[m4]	I tot[m4]	W[m3]	A[m2]	Omtrek [m]	Aantal kokers	Totaal beton [m3]
4	0.597	8	0.299	2.81	7.40	170.7	94.9	75.8	19.0	11.2	24	7.5	4632
4	0.673	9	0.299	2.65	8.40	243.0	131.2	111.8	24.8	13.7	26	7.5	5650
4	0.747	10	0.299	2.51	9.40	333.3	173.6	159.7	31.9	16.4	28	7.5	6781
4	0.821	11	0.299	2.36	10.40	443.7	221.1	222.5	40.5	19.5	30	7.5	8035
4	0.896	12	0.299	2.21	11.40	576.0	272.9	303.1	50.5	22.8	32	7.5	9412
4	0.971	13	0.299	2.06	12.40	732.3	327.1	405.3	62.3	26.5	34	7.5	10925
4	1.046	14	0.299	1.91	13.40	914.7	382.9	531.7	76.0	30.4	36	7.5	12548
4	1.120	15	0.299	1.76	14.40	1125.0	438.2	686.8	91.6	34.7	38	7.5	14294
													0
5	0.597	8	0.373	3.81	7.25	213.3	121.1	92.3	23.1	12.4	26	6	4089
5	0.673	9	0.373	3.65	8.25	303.8	171.3	132.5	29.4	14.8	28	6	4896
5	0.747	10	0.373	3.51	9.25	416.7	231.5	185.1	37.0	17.6	30	6	5794
5	0.821	11	0.373	3.36	10.25	554.6	301.7	252.9	46.0	20.6	32	6	6790
5	0.896	12	0.373	3.21	11.25	720.0	381.1	338.9	56.5	23.9	34	6	7884
5	0.971	13	0.373	3.06	12.25	915.4	468.8	446.6	68.7	27.5	36	6	9087
5	1.046	14	0.373	2.91	13.25	1143.3	564.4	579.0	82.7	31.4	38	6	10378
5	1.120	15	0.373	2.76	14.25	1406.3	666.1	740.1	98.7	35.7	40	6	11767
													0
6	0.597	8	0.449	4.81	7.10	256.0	143.5	112.5	28.1	13.9	28	5	3813
6	0.673	9	0.449	4.65	8.10	364.5	206.3	158.2	35.1	16.3	30	5	4479
6	0.747	10	0.449	4.51	9.10	500.0	283.2	216.8	43.4	19.0	32	5	5221
6	0.821	11	0.449	4.36	10.10	665.5	374.4	291.1	52.9	22.0	34	5	6045
6	0.896	12	0.449	4.21	11.10	864.0	480.0	384.0	64.0	25.3	36	5	6950
6	0.971	13	0.449	4.06	12.10	1098.5	599.4	499.1	76.8	28.9	38	5	7947
6	1.046	14	0.449	3.91	13.10	1372.0	732.7	639.3	91.3	32.8	40	5	9016
6	1.120	15	0.449	3.76	14.10	1687.5	878.9	808.6	107.8	37.0	42	5	10168
													0
7	0.597	8	0.523	5.81	6.95	298.7	162.7	136.0	34.0	15.6	30	4.29	3683
7	0.673	9	0.523	5.65	7.95	425.3	237.1	188.1	41.8	18.0	32	4.29	4249
7	0.747	10	0.523	5.51	8.95	583.3	329.4	253.9	50.8	20.7	34	4.29	4879
7	0.821	11	0.523	5.36	9.95	776.4	440.3	336.1	61.1	23.7	36	4.29	5580
7	0.896	12	0.523	5.21	10.95	1008.0	570.5	437.5	72.9	26.9	38	4.29	6351
7	0.971	13	0.523	5.06	11.95	1281.6	719.9	561.6	86.4	30.5	40	4.29	7200
7	1.046	14	0.523	4.91	12.95	1600.7	889.2	711.4	101.6	34.4	42	4.29	8112
7	1.120	15	0.523	4.76	13.95	1968.8	1077.8	890.9	118.8	38.6	44	4.29	9093
													0
8	0.597	8	0.597	6.81	6.81	341.3	178.8	162.6	40.6	17.7	32	3.75	3647
8	0.673	9	0.597	6.65	7.81	486.0	263.7	222.3	49.4	20.1	34	3.75	4137
8	0.747	10	0.597	6.51	8.81	666.7	370.2	296.5	59.3	22.7	36	3.75	4684
8	0.821	11	0.597	6.36	9.81	887.3	499.5	387.9	70.5	25.7	38	3.75	5293
8	0.896	12	0.597	6.21	10.81	1152.0	652.8	499.2	83.2	28.9	40	3.75	5963
8	0.971	13	0.597	6.06	11.81	1464.7	830.5	634.1	97.6	32.5	42	3.75	6701
8	1.046	14	0.597	5.91	12.81	1829.3	1034.0	795.4	113.6	36.3	44	3.75	7494
8	1.120	15	0.597	5.76	13.81	2250.0	1263.0	987.0	131.6	40.5	46	3.75	8349
													0
9	0.597	8	0.673	7.81	6.65	384.0	191.7	192.3	48.1	20.1	34	3.33	3677
9	0.673	9	0.673	7.65	7.65	546.8	286.0	260.7	57.9	22.4	36	3.33	4109
9	0.747	10	0.673	7.51	8.65	750.0	405.4	344.6	68.9	25.0	38	3.33	4591
9	0.821	11	0.673	7.36	9.65	998.3	551.7	446.6	81.2	28.0	40	3.33	5128
9	0.896	12	0.673	7.21	10.65	1296.0	726.5	569.5	94.9	31.2	42	3.33	5720
9	0.971	13	0.673	7.06	11.65	1647.8	930.9	716.8	110.3	34.8	44	3.33	6372
9	1.046	14	0.673	6.91	12.65	2058.0	1166.6	891.4	127.3	38.6	46	3.33	7072
9	1.120	15	0.673	6.76	13.65	2531.3	1434.1	1097.2	146.3	42.7	48	3.33	7828
													0
10	0.597	8	0.747	8.81	6.51	426.7	202.1	224.6	56.2	22.7	36	3	3748
10	0.673	9	0.747	8.65	7.51	607.5	304.9	302.6	67.2	25.0	38	3	4132
10	0.747	10	0.747	8.51	8.51	833.3	436.2	397.2	79.4	27.7	40	3	4563
10	0.821	11	0.747	8.36	9.51	1109.2	598.2	511.0	92.9	30.6	42	3	5042
10	0.896	12	0.747	8.21	10.51	1440.0	793.2	646.8	107.8	33.8	44	3	5571
10	0.971	13	0.747	8.06	11.51	1830.8	1022.7	808.2	124.3	37.3	46	3	6154
10	1.046	14	0.747	7.91	12.51	2286.7	1289.0	997.7	142.5	41.1	48	3	6781
10	1.120	15	0.747	7.76	13.51	2812.5	1593.1	1219.4	162.6	45.2	50	3	7457
													0
11	0.597	8	0.821	9.81	6.36	469.3	209.9	259.4	64.8	25.7	38	2.73	3850
11	0.673	9	0.821	9.65	7.36	668.3	320.4	347.9	77.3	28.0	40	2.73	4196
11	0.747	10	0.821	9.51	8.36	916.7	462.4	454.3	90.9	30.6	42	2.73	4584
11	0.821	11	0.821	9.36	9.36	1220.1	638.8	581.2	105.7	33.4	44	2.73	5017
11	0.896	12	0.821	9.21	10.36	1584.0	852.6	731.4	121.9	36.6	46	2.73	5494
11	0.971	13	0.821	9.06	11.36	2013.9	1105.6	908.3	139.7	40.1	48	2.73	6021
11	1.046	14	0.821	8.91	12.36	2515.3	1400.8	1114.5	159.2	43.9	50	2.73	6587
11	1.120	15	0.821	8.76	13.36	3093.8	1739.7	1354.1	180.5	48.0	52	2.73	7199

Geometrie Koker		Krachten		Spanningen	
HOH koker [m]	Hoogte [m]	M [kNm]	V[kN]	Spanning M [N/mm2]	vED [N/mm2]
4	8	524081	38115	27.65	3.99
4	9	524081	38115	21.10	3.15
4	10	524081	38115	16.40	2.55
4	11	524081	38115	12.95	2.11
4	12	524081	38115	10.37	1.77
4	13	524081	38115	8.41	1.51
4	14	524081	38115	6.90	1.30
4	15	524081	38115	5.72	1.13
5	8	655102	47644	28.40	4.99
5	9	655102	47644	22.25	3.93
5	10	655102	47644	17.69	3.19
5	11	655102	47644	14.25	2.64
5	12	655102	47644	11.60	2.22
5	13	655102	47644	9.53	1.89
5	14	655102	47644	7.92	1.63
5	15	655102	47644	6.64	1.42
6	8	786122	57173	27.95	5.98
6	9	786122	57173	22.37	4.72
6	10	786122	57173	18.13	3.83
6	11	786122	57173	14.85	3.16
6	12	786122	57173	12.28	2.66
6	13	786122	57173	10.24	2.26
6	14	786122	57173	8.61	1.95
6	15	786122	57173	7.29	1.70
7	8	917142	66701	26.98	6.98
7	9	917142	66701	21.94	5.51
7	10	917142	66701	18.06	4.46
7	11	917142	66701	15.01	3.69
7	12	917142	66701	12.58	3.10
7	13	917142	66701	10.61	2.64
7	14	917142	66701	9.02	2.28
7	15	917142	66701	7.72	1.99
8	8	1048163	76230	25.79	7.98
8	9	1048163	76230	21.22	6.29
8	10	1048163	76230	17.68	5.10
8	11	1048163	76230	14.86	4.22
8	12	1048163	76230	12.60	3.55
8	13	1048163	76230	10.74	3.02
8	14	1048163	76230	9.23	2.60
8	15	1048163	76230	7.97	2.27
9	8	1179183	85759	24.52	8.98
9	9	1179183	85759	20.35	7.08
9	10	1179183	85759	17.11	5.74
9	11	1179183	85759	14.52	4.75
9	12	1179183	85759	12.42	3.99
9	13	1179183	85759	10.69	3.40
9	14	1179183	85759	9.26	2.93
9	15	1179183	85759	8.06	2.55
10	8	1310203	95288	23.33	9.97
10	9	1310203	95288	19.49	7.87
10	10	1310203	95288	16.49	6.38
10	11	1310203	95288	14.10	5.27
10	12	1310203	95288	12.15	4.43
10	13	1310203	95288	10.54	3.77
10	14	1310203	95288	9.19	3.25
10	15	1310203	95288	8.06	2.84
11	8	1441223	104816	22.22	10.97
11	9	1441223	104816	18.64	8.65
11	10	1441223	104816	15.86	7.01
11	11	1441223	104816	13.64	5.80
11	12	1441223	104816	11.82	4.88
11	13	1441223	104816	10.31	4.15
11	14	1441223	104816	9.05	3.58
11	15	1441223	104816	7.98	3.12

Geometrie Koker		Analyse								
HOH koker [m]	Hoogte [m]	Spanning [N/mm ²]	Voorspanning t=∞ [kN]	Spanning drukzone t= ∞ [N/mm ²]	Voorspanning t=0 [kN]	Spanning drukzone t= 0 [N/mm2]	Doorbuiging [mm]	Gewicht beton [kN]	Drijfvermogen [kN]	Neerwaartse kracht [kN]
4	8	2.40	128208	28	160260	30	73	115806	17600	98206
4	9	2.70	116117	21	145147	22	50	141244	19800	121444
4	10	3.00	106016	16	132520	17	35	169528	22000	147528
4	11	3.30	97465	13	121832	13	25	200877	24200	176677
4	12	3.60	90138	10	112672	10	18	235290	26400	208890
4	13	3.90	83799	8	104749	8	14	273132	28600	244532
4	14	4.20	78254	7	97818	7	10	313703	30800	282903
4	15	4.50	73373	6	91716	6	8	357338	33000	324338
5	8	2.40	153733	28	192166	33	75	102236	22000	80236
5	9	2.70	139847	22	174808	25	52	122401	24750	97651
5	10	3.00	128228	18	160286	19	38	144846	27500	117346
5	11	3.30	118353	14	147942	15	27	169743	30250	139493
5	12	3.60	109842	12	137302	12	21	197091	33000	164091
5	13	3.90	102437	10	128047	10	16	227179	35750	191429
5	14	4.20	95916	8	119895	8	12	259454	38500	220954
5	15	4.50	90142	7	112678	7	9	294180	41250	252930
6	8	2.40	177525	28	221906	34	74	95327	26400	68927
6	9	2.70	161822	22	202278	26	53	111973	29700	82273
6	10	3.00	148781	18	185977	21	38	130523	33000	97523
6	11	3.30	137728	15	172159	16	29	151115	36300	114815
6	12	3.60	128195	12	160244	13	22	173751	39600	134151
6	13	3.90	119885	10	149857	11	17	198667	42900	155767
6	14	4.20	112536	9	140671	9	13	225408	46200	179208
6	15	4.50	106003	7	132503	8	10	254191	49500	204691
7	8	2.40	200462	27	250577	34	72	92078	30800	61278
7	9	2.70	182725	22	228406	27	52	106214	34650	71564
7	10	3.00	168177	18	210222	21	38	121984	38500	83484
7	11	3.30	155945	15	194931	17	29	139504	42350	97154
7	12	3.60	145440	13	181800	14	22	158776	46200	112576
7	13	3.90	136301	11	170376	12	17	180000	50050	129950
7	14	4.20	128211	9	160264	10	14	202791	53900	148891
7	15	4.50	121007	8	151259	8	11	227332	57750	169582
8	8	2.40	223095	26	278868	33	68	91174	35200	55974
8	9	2.70	203035	21	253794	27	50	103427	39600	63827
8	10	3.00	186811	18	233514	22	38	117112	44000	73112
8	11	3.30	173313	15	216641	18	29	132328	48400	83928
8	12	3.60	161809	13	202261	15	22	149077	52800	96277
8	13	3.90	151851	11	189814	12	18	167532	57200	110332
8	14	4.20	143056	9	178820	10	14	187360	61600	125760
8	15	4.50	135231	8	169038	9	11	208720	66000	142720
9	8	2.40	245806	25	307258	32	65	91935	39600	52335
9	9	2.70	223120	20	278900	26	48	102721	44550	58171
9	10	3.00	205009	17	256261	21	36	114782	49500	65282
9	11	3.30	190108	15	237635	18	28	128205	54450	73755
9	12	3.60	177525	12	221906	15	22	142990	59400	83590
9	13	3.90	166710	11	208387	13	17	159289	64350	94939
9	14	4.20	157203	9	196504	11	14	176811	69300	107511
9	15	4.50	148770	8	185962	9	11	195695	74250	121445
10	8	2.40	268906	23	336133	30	62	93689	44000	49689
10	9	2.70	243320	19	304150	24	46	103304	49500	53804
10	10	3.00	223110	16	278888	20	35	114068	55000	59068
10	11	3.30	206650	14	258312	17	27	126057	60500	65557
10	12	3.60	192875	12	241094	14	21	139273	66000	73273
10	13	3.90	181129	11	226411	12	17	153849	71500	82349
10	14	4.20	170865	9	213582	10	14	169528	77000	92528
10	15	4.50	161803	8	202254	9	11	186432	82500	103932
11	8	2.40	292521	22	365651	28	59	96239	48400	47839
11	9	2.70	263785	19	329731	24	44	104895	54450	50445
11	10	3.00	241278	16	301597	20	34	114598	60500	54098
11	11	3.30	223102	14	278877	17	26	125415	66550	58865
11	12	3.60	208016	12	260021	14	21	137346	72600	64746
11	13	3.90	195250	10	244062	12	17	150513	78650	71863
11	14	4.20	184170	9	230212	10	14	164683	84700	79983
11	15	4.50	174439	8	218049	9	11	179968	90750	89218



Bijlage A6 MCA

MCA analyse binnenconstructie

		Alternatief			
Criterium	Weeg-	Wanden	Kolom/balk	Wanden	
Onderdeel	factor	"gedraaide koker"	"gedraaide koker"	"Open"	
		Optie A	Optie B	Optie C	
1 Kosten					
.1	Directe kosten (bouwstoffen)		2	4	2
.2	Materieel en mankracht		4	2	2
.3	Onderhoudskosten (materieel)		3	3	3
Subtotaal kosten		2	3.0	3.0	2.3
2 Duurzaamheid					
.1	Energie en materiaalgebruik		2	4	2
.2	Technische duurzaamheid		2	3	3
Subtotaal duurzaamheid		4	2.0	3.5	2.5
3 Realiseerbaarheid					
.1	Realiseerbaarheid		5	2	2
.2	Planning		5	2	2
.3	Onderhoudskosten (uitvoering)		2	3	3
Subtotaal realiseerbaarheid		3	4.0	2.3	2.3
4 Veiligheid (ARBO)					
.1	Veilig werken bij aanbrengen		4	3	4
.2	Veilig onderhoud constructie		2	3	4
Subtotaal veiligheid		4	3.0	3.0	4.0

Resultaat, niet gewogen		12.0	11.8	11.2
Resultaat, gewogen		38.0	39.0	37.7

Weging t.b.v. gevoeligheid		Optie A	Optie B	Optie C
	Criterium 1 factor x2	44.0	45.0	42.3
	Criterium 2 factor x2	46.0	53.0	47.7
	Criterium 3 factor x2	50.0	46.0	44.7
	Criterium 4 factor x2	50.0	51.0	53.7

Onderbouwing
B relatief weinig beton
A kan door middel van glijbekisting snel de koker bouwen. C kan door middel van ingestorte bouten snel gemonteerd worden. Wapeningsdetails bij B moeten goed gecontroleerd worden
A veel beton nodig
B gebruikt de minste energie, A het meest
C geen balken, A lange wanden met veel dekking
A is makkelijk te bouwen, B heeft moeilijke wapeningsdetails, C is neutraal
A kan snel gebouwd worden, B heeft specifieke bouwvolgorde, C heeft een makkelijke vorm om in 1 keer uit te voeren
A lastig uit te voeren
Door de wandenstructuur bij A hebben werknemers weinig ruimte om goed te kunnen werken en te onderhouden
Voor onderhoud weegt het voorgaande argument iets zwaarder mee

Wanneer realiseerbaarheid een factor 2 groter rol speelt, dan is optie A de beste keuze.
Wanneer veiligheid een factor 2 groter rol speelt, dan is optie C de beste keuze.

Kosten	Weegfactor	Onderbouwing
Duurzaamheid		2 De kosten zijn minder belangrijk dan de andere drie aspecten omdat de sluis veel wordt gebruikt. Hierdoor zouden de kosten snel worden terugverdiend.
Realiseerbaarheid		4 De deuren worden acht keer gemaakt. Om de milieu impact zo klein mogelijk te houden weegt dit zwaarder mee.
Veiligheid (uitvoering)		3 Dit heeft een gemiddelde weegfactor.
		4 De veiligheid van de werknemers staat voorop. Reductie van veiligheid kan leiden tot vertrouwensbreuk.

Onderdeel	Weegfactor
Kosten	2
Duurzaamheid	4
Realiseerbaarheid	3
Veiligheid	4

Bijlage A7 Berekening voorspanning

Berekening van de voorspanning

Koker onder

P_{∞}	228225286.2	N		
P_0	285282	kN		
w	79665600000	mm ³		
Ac	27750000	mm ²		
Moment	1.3102E+12	Nmm		
e	2870	mm ³		
Positie	P/A [N/mm²]	P*E/W [N/mm²]	M/W [N/mm²]	Totaal [N/mm²]
Onder	-8.22	-8.22	16.45	0.00
Boven	-8.22	8.22	-16.45	-16.45
Onder begin	-10.28	-10.28		-20.56
Boven begin	-10.28	10.28	-16.45	-16.45
Voorspanstaal	1860	N/mm ²		
A nodig	153377	mm ²		
VSL voorspansysteem met strengen				
Aantal strengen per kabel	22	Strengen		
Strengdiameter	15.7	mm		
A _p per kabel	4259	mm ²	7922	kN per kabel
Aantal kabels nodig	36	Kabels		

Koker midden

P_{∞}	163018061.6	N		
P_0	203773	kN		
w	79665600000	mm ³		
Ac	27750000	mm ²		
Moment	9.35859E+11	Nmm		
e	2870	mm ³		
Positie	P/A [N/mm²]	P*E/W [N/mm²]	M/W [N/mm²]	Totaal [N/mm²]
Onder	-5.87	-5.87	11.75	0.00
Boven	-5.87	5.87	-11.75	-11.75
Onder begin	-7.34	-7.34		-14.68
Boven begin	-7.34	7.34	-11.75	-11.75
Voorspanstaal	1860	n/mm2		
A nodig	109555	mm2		
VSL voorspansysteem met strengen				
Aantal strengen per kabel	22	Strengen		
Strengdiameter	15.7	mm		
A _p per kabel	4259	mm ²	7922	kN per kabel
Aantal kabels nodig	26	Kabels		

Koker boven

P_{∞}	54339245.18	N		
P_0	67924	kN		
w	79665600000	mm ³		
Ac	27750000	mm ²		
Moment	3.11953E+11	Nmm		
e	2870	mm ³		
Positie	P/A [N/mm²]	P*E/W [N/mm²]	M/W [N/mm²]	Totaal [N/mm²]
Onder	-1.96	-1.96	3.92	0.00
Boven	-1.96	1.96	-3.92	-3.92
Onder begin	-2.45	-2.45		-4.89
Boven begin	-2.45	2.45	-3.92	-3.92
Voorspanstaal	1860	n/mm2		
A nodig	36518	mm2		
VSL voorspansysteem met strengen				
Aantal strengen per kabel	22	Strengen		
Strengdiameter	15.7	mm		
A _p per kabel	4259	mm ²	7922	kN per kabel
Aantal kabels nodig	9	Kabels		

Onderste koker

punt	b	Spanning	F[kN]	HOH afstand [mm]
1	750	16.45	7922	642
2	750	15.22	7922	694
3	750	14.07	7922	750
4	750	12.84	7922	823
5	750	11.49	7922	920
6	750	9.97	7922	1059
7	750	8.23	7922	1283
8	750	6.12	7922	1726
9	750	3.28	7922	3218

1445
2267
3187
4246
5529
7255
10473

9367855 1.64 15363.28

15.57371876

	x	s
	9625	10000
	16.45	
x	8902.915	9250
x	8180.584	8555.83
x	7394.013	7805.34
	6522.902	6982.69
	5533.597	6063.12
	4362.494	5004.08
	2858.073	3720.91
	1496.428	1995.24
		997.62
		1.641082

Middenkoker

punt	b	Spanning	F[kN]	HOH afstand [mm]
1	750	14.68	7922	720
2	750	13.58	7922	778
3	750	12.44	7922	849
4	750	11.19	7922	944
5	750	9.80	7922	1077
6	750	8.22	7922	1284
7	750	6.34	7922	1667
8	750	3.89	7922	2715

10350670 1.94 20080.3

13.89800555

	x	s
	9625	10000
	14.68	
x	8861.066	9250
x	8047.488	8472.13
x	7150.89	7622.84
	6140.28	6678.93
	4959.377	5601.63
	3483.787	4317.13
	1987.835	2650.45
		1325.22
		1.945428

Boven

punt	b	Spanning	F[kN]	HOH afstand [mm]
1	750	4.89	7922	2160
2	750	4.52	7922	2335
3	750	3.38	7922	3124
4	750	1.85	7922	5698

6375000 0.926898 5908.977

4.629512749

	x	s
	9625	10000
	4.89	
x	8082.403	9250
x	5352.901	6914.81
x	1895.498	3791.00
		1.853797
		1895.50
		0.926898

Berekening centrale kern

Onderdeel	Waarde	Dimensie
Breedte	10000	mm
Hoogte	10000	mm
Dikte	750	mm
z	5000	mm
lyy	3.98328E+14	mm ⁴
lzz	3.98328E+14	mm ⁴
A	27750000	mm ²
i_I^2	14354166.67	
i_{II}^2	14354166.67	
K1	2870.833333	
K2	2870.833333	

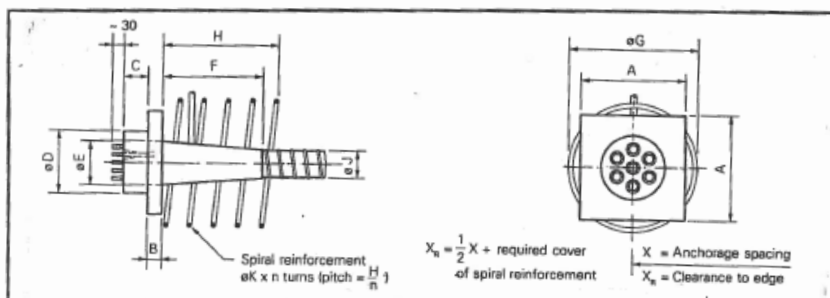
Als de zwaartepunt van de wapening op 2.87 meter
vanaf de middellijn zit, dan ontstaan er geen
trekspanningen

Splijtkrachten	Symbol	Waarde	Dimensie
Kracht	F	7922	kN
breedte	b	1848	mm
Kracht deel 1	F_1	3961	kN
Kracht deel 2	F_2	3961	kN
Splijtkracht	F_t	1981	kN
Belastingsfactor	$\gamma_{P,unfav}$	1.2	-
Splijtkracht incl rekenwaarde	$F_{t,d}$	2377	kN
Diameter staaf	D	40	mm
Hart op hart afstand	hoh	150	mm
Aantal staven per meter	s	6.666667	stuks
Totaal staal oppervlakte		8378	mm
Staal spanning		284	N/mm^2
Max staalspanning		300	N/mm^2
Unity check	U.C.	0.95	VOLDOET

Bijlage A8 Type voorspanning

VSL voorspanstelsysteem met strengen

VMA type E



Kabelgegevens											
Typeaanduiding	5-1	5-3	5-4	5-7	5-12	5-19	5-22	5-31	5-37	5-43	5-55
Aantal strengen ϕ 12,9 mm	1	3	4	7	12	19	22	31	37	43	55
Diameter omhullingsbuis in-/uitwendig	25/30	40/45	45/50	55/60	65/72	80/87	85/92	100/107	120/127	130/137	140/150
Min. buigstraal met standaard omhullingsbuis bij max. belasting	2500	2500	3000	3000	4000	5000	6500	7000	8500	9000	9500
Afmetingen anker	vierkant	60	105	120	155	210	260	285	335	365	400
	lengte inclusief trompet	800	800	800	800	1000	1000	1000	1500	1500	1500
Min. hoh afstand anker $a_x = a_y$	80	140	160	210	270	340	365	435	475	515	580
Min. randafstand anker $r_x = r_y$	40	70	80	105	135	170	183	218	237	258	290
Diameter spiraalwapening	60	120	140	190	250	320	340	410	440	490	540
Minimaal benodigde ruimte voor het anker voor het spannen	1200	1000	1200	1200	1300	1500	1500	2000	2200	2200	2250

Typeaanduiding	6-1	6-2	6-3	6-4	6-7	6-12	6-19	6-22	6-31	6-37
Aantal strengen ϕ 15,7 mm	1	2	3	4	7	12	19	22	31	37
Diameter omhullingsbuis in-/uitwendig	30/35	45/50	45/50	50/55	60/67	80/87	95/102	110/117	130/137	140/150
Min. buigstraal met standaard omhullingsbuis bij max. belasting	2500	2500	3000	3000	4000	5000	6500	7000	8500	9000
Afmetingen anker	vierkant	70	100	120	140	185	245	310	335	395
	lengte inclusief trompet	800	800	800	800	1000	1000	1000	1500	1500
Min. hoh afstand anker $a_x = a_y$	95	135	165	190	250	325	405	440	520	570
Min. randafstand anker $r_x = r_y$	48	68	83	95	125	163	203	220	260	285
Diameter spiraalwapening	70	120	140	170	230	300	380	410	490	540
Minimaal benodigde ruimte voor het anker voor het spannen	1200	1000	1200	1200	1300	1500	1500	2000	2200	2200

(lenzij anders aangegeven maten in mm)

Wrijvingscoëfficiënt: 0,13 - 0,26

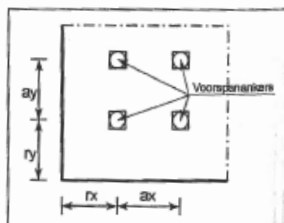
Wobble-factor: 0,005 - 0,010 (rad/m)

De hoh afstand en randafstand van de voorspanankers, alsmede de afmetingen van de spiraal zijn gebaseerd op het toepassen van sterkteklasse B45.

Voor andere sterkteklassen, mogelijke aanpassingen, en aanvullende gegevens contact opnemen met:

Civilco B.V.
 Rhijnhofweg 9
 2342 BB Oegstgeest
 tel: 071 5768900
 fax: 071 5720886

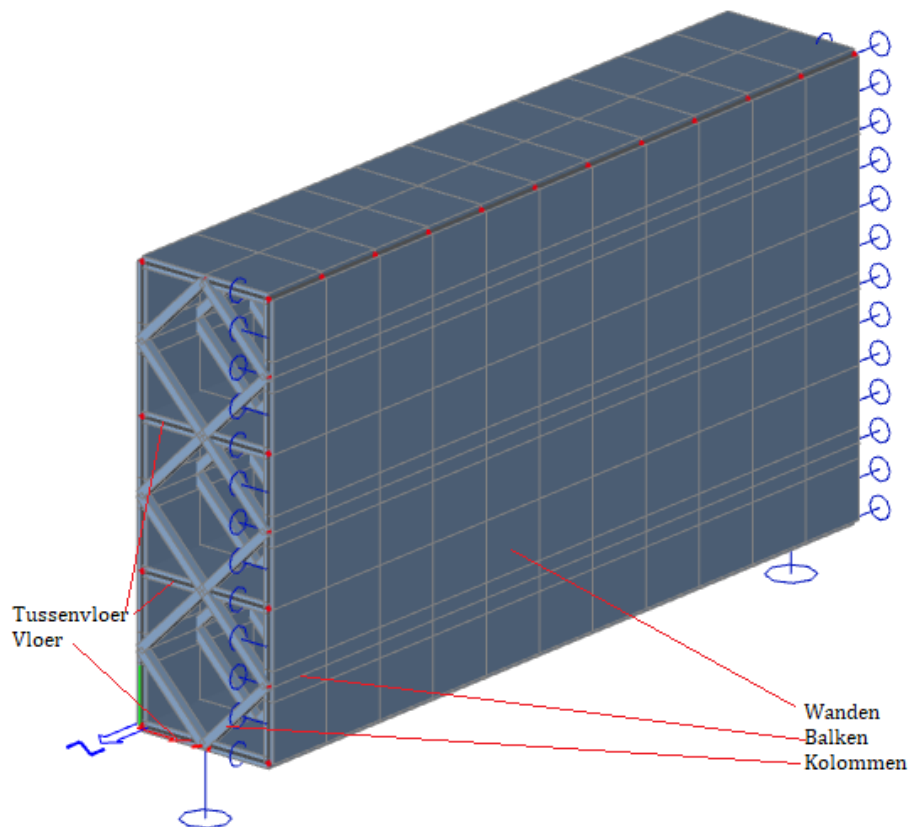
Postbus 751
 2300 AT Leiden



Bijlage A9 EEM model

Resultaten EEM model

1 Invoergegevens



Onderdelen	Waarde	Dimensie
Vloerdikte	750	mm
Tussenvloerdikte	1500	mm
Wanddikte	750	mm
Eindwanden	750	mm
Balken	1500x2000	mm x mm
Kolommen	600x600	mm x mm

Gegevens	Waarde	Dimensie
Sterkteklasse	C45/55	-
E-Modulus	36300	N/mm ²
Opleggingen	Lijn opleggingen	-

2 Resultaten voorspanning

Hoog waterzijde – spanningen

3D stress

Values: σ_x (1D/2D)

Linear calculation

Load case: LC3

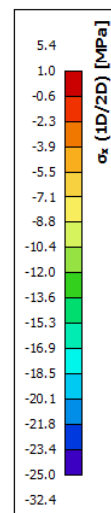
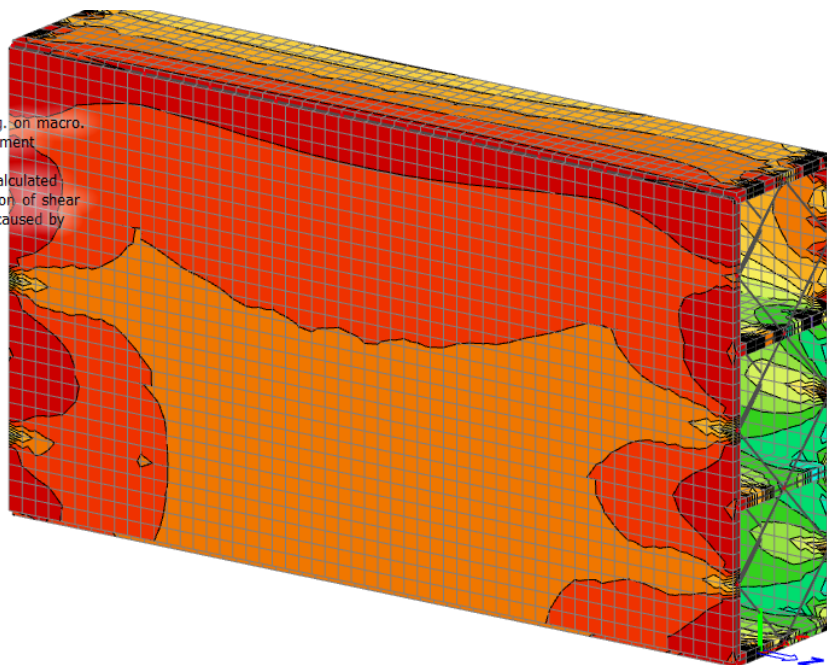
Selection: All

Location: In nodes avg. on macro.

System: LCS mesh element

Basic magnitudes

Note: Stresses were calculated without optional addition of shear stresses from torsion caused by ...



Laag waterzijde – spanningen

3D stress

Values: σ_x (1D/2D)

Linear calculation

Load case: LC3

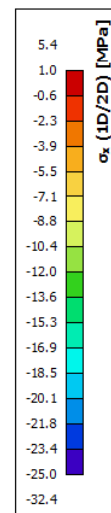
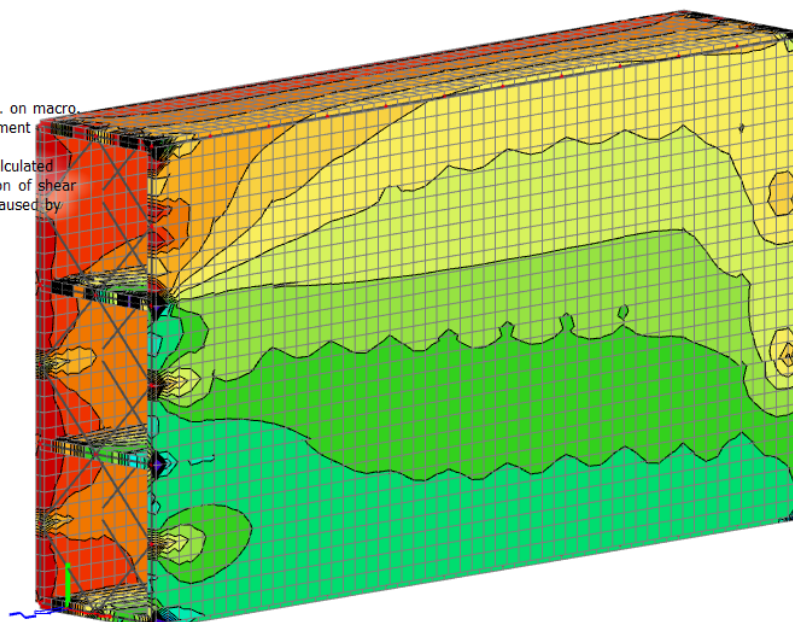
Selection: All

Location: In nodes avg. on macro.

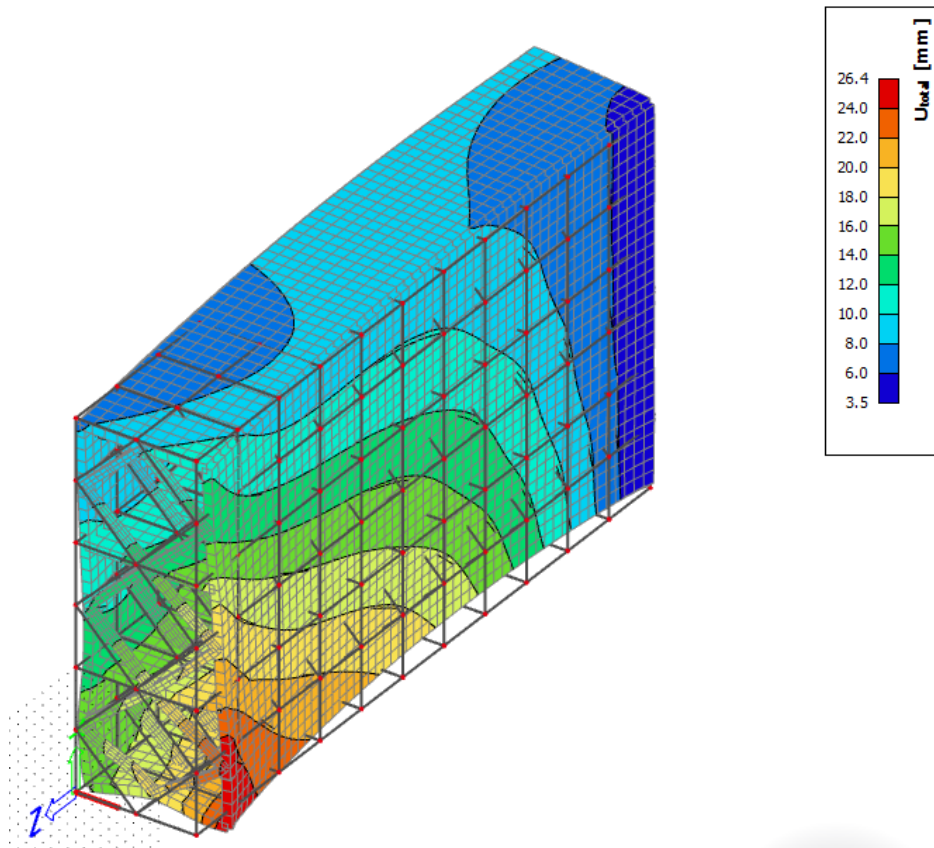
System: LCS mesh element

Basic magnitudes

Note: Stresses were calculated without optional addition of shear stresses from torsion caused by ...



Isometrie laag waterzijde - doorbuiging



3 Resultaten waterdruk

Laag waterzijde - spanningen

3D stress

Values: σ_x (1D/2D)

Linear calculation

Load case: LC2

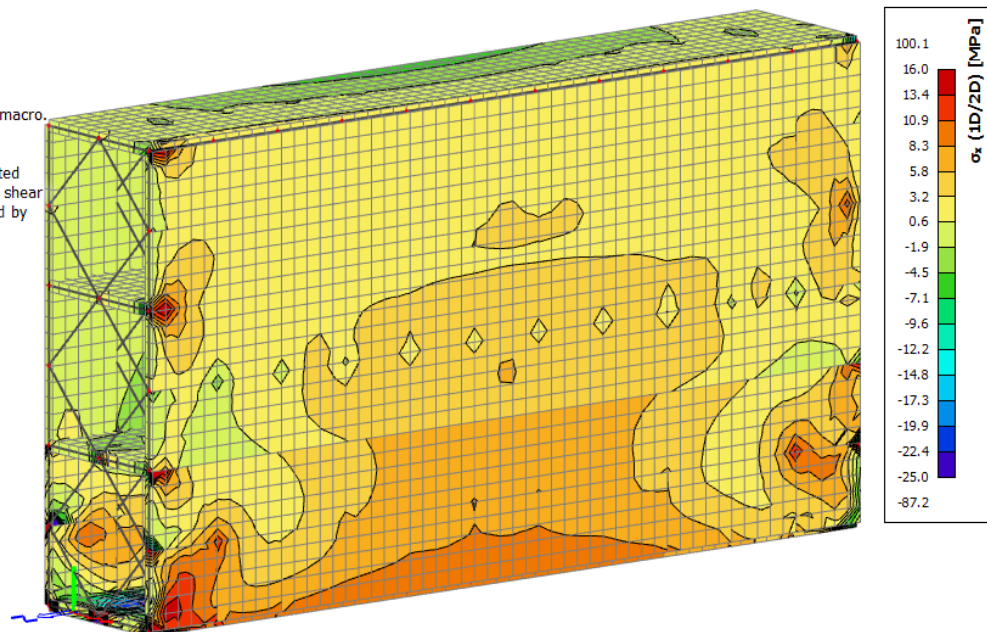
Selection: All

Location: In nodes avg. on macro.

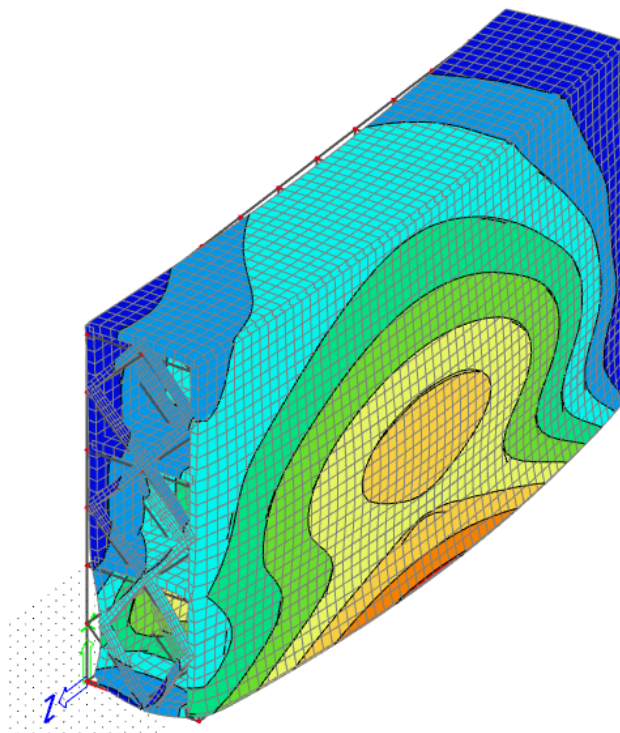
System: LCS mesh element

Basic magnitudes

Note: Stresses were calculated without optional addition of shear stresses from torsion caused by ...

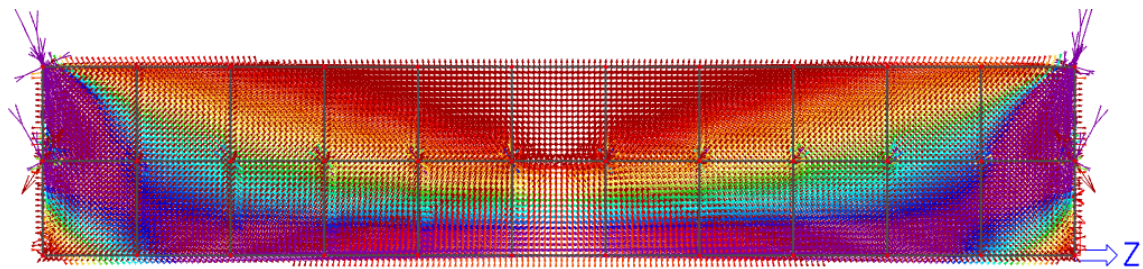


Laag waterzijde - doorbuiging

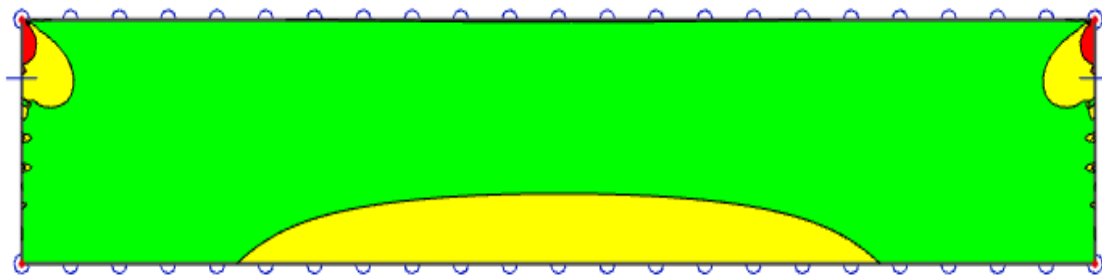


4 Resultaten op vloer

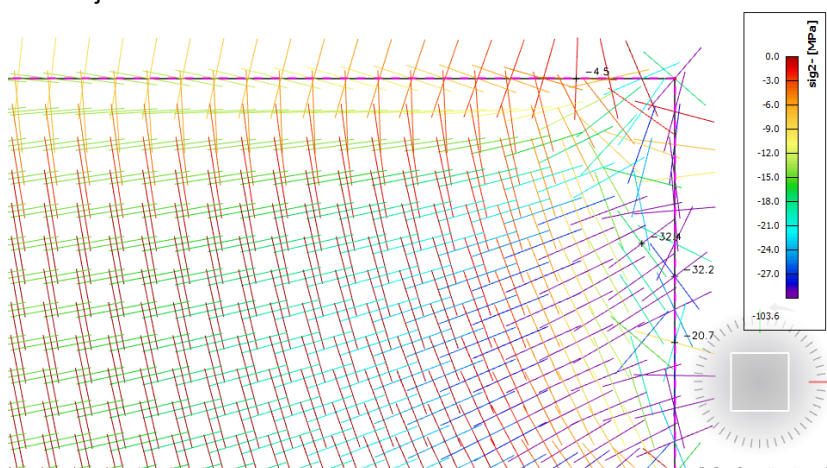
Drukspanning in de vloer



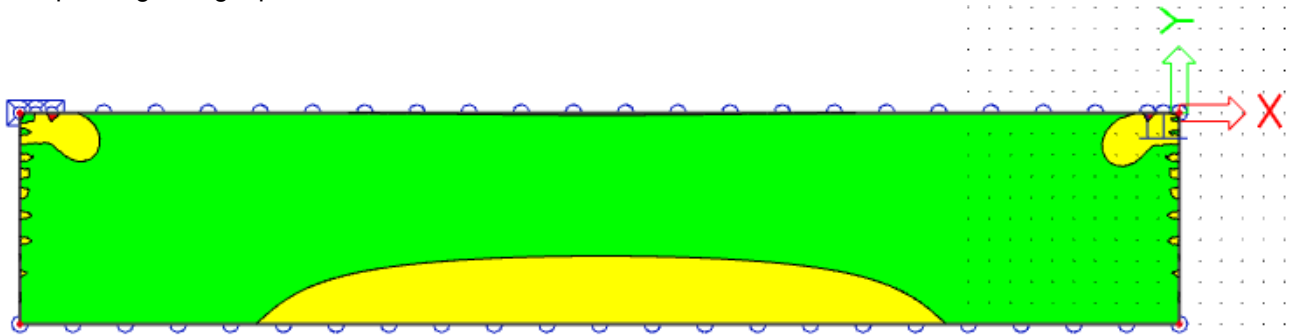
Hoofdspanning σ_2 – Niet geoptimaliseerd



Druktrajectoren



Hoofdspanning σ_2 – geoptimaliseerd

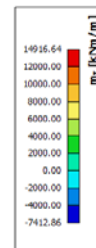
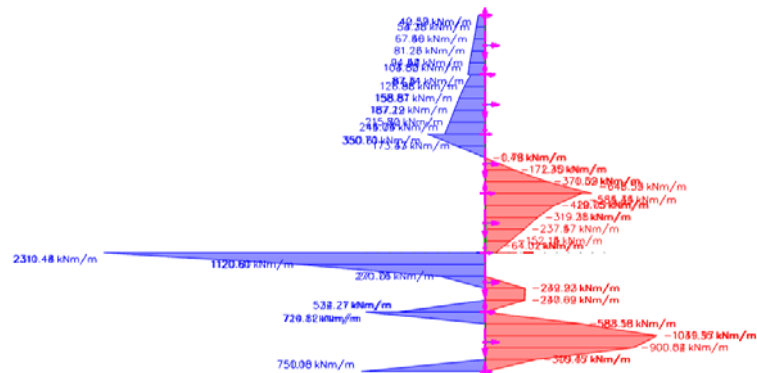


5 Resultaten wanden

Momentenlijn

2D Internal forces

Values: m_y
 Linear calculation
 Combination: ULS $p=0$
 Extreme: Mesh
 Selection: All
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element



Bijlage A10 Berekening dwarskracht op twee kokers

Afstudeeropdracht	Betonnen sluisdeur	Datum	okt - 2019
Onderdeel	Uitwerking dwarskracht kokers	Naam	My Nguyen
Detail omschrijving	Dwarskracht lijf	Studentnummer	17255

Materiaaleigenschappen	C45/55		Gegevens	100 Jaar
Betonsterkteklasse	f_{ck}	45	N/mm ²	Ontwerplevensduur
Druksterkte beton karakteristiek	f_{cd}	30	N/mm ²	Belastingsduur
Druksterkte beton ontwerp		B500B		Norm
Wapeningsoort	f_{yd}	435	N/mm ²	Nationale bijlage
Vloegrens				Nederlands

Geometrie	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Breedte	b	1500	mm	1 meter breed gemodelleerd
Hoogte	h	10000	mm	Dikte van de wand

Hoofdwapening	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Dekking boven	c_{boven}	70	mm	
Hoofdwapening boven	$A_{s,\text{boven}}$	32	150 mm	5362 mm ² totaal
Hoofdwapening onder	$A_{s,\text{onder}}$	32	150 mm	5362 mm ² totaal
Bijlegwapening	$A_{s,\text{onder2}}$	25	150 mm	8634 mm ² totaal
Dekking onder	c_{onder}	70	mm	

Geometrische eigenschappen	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Nuttige hoogte	d	9894	mm	
Hoogte drukzone	x_u	111	mm	
Inwendige hefboomsarm	z	9851	mm	

Berekening moment UGT	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Wapeningspercentage min	$\rho_{1,\text{min}}$	0.18	%	Tabel 3.1 constructieleer gewapend beton 2
Minimale wapening	$A_{s,\text{min}}$	26714	mm ²	Voldoet
Wapeningspercentage max	$\rho_{1,\text{max}}$	2.46	%	Tabel 3.2 constructieleer gewapend beton 2
Maximale wapening	$A_{s,\text{max}}$	365089	mm ²	Voldoet
Opneembare staalkracht	N_s	3756	kN	
Opneembaar moment	M_{Rd}	36998	kNm	$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z$
UGT Momenten	$M_{Ed,UGT}$	6445.0	kNm	
Unity check	U.C.	0.17	-	Voldoet

Beugelwapening	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Hoek		30	°	
Beugeldiameter	ϕ_v	20	mm	2094 mm ² /m totaal
Hart op hart afstand	s	150	mm	
Snedig	n	8		Beugel afstand 300mm

Berekening dwarskracht UGT	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
-	k	1.14	-	Kleiner dan 2
Draagvermogen beton	v_{min}	0.29	N/mm ²	$v_{\text{min}} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} + k_1 \sigma_{cp}$
Opneembaar dwarskracht (zonder wap.)	$V_{Rd,c}$	4253.4	kN	Dwarskracht wapening vereist!
-	$C_{Rd,c}$	0.12	-	
Beugel wapeningspercentage	ρ	0.00	-	
Opneembare dwarskracht (zonder wap.)	$V_{Rd,c}$	1748.4	kN	$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq v_{\text{min}} =$
Opneembare dwarskracht spanning	V_{Ed}	7.0	N/mm ²	Dwarskracht wapening vereist!
Max dwarskracht spanning	$V_{Rd,\text{max}}$	6.64	N/mm ²	Tabel 7.2 constructieleer gewapend beton 2
				Max dwarskracht spanning wordt niet overschreden
Opneembare dwarskracht	$V_{Rd,c}$	103177	kN	
UGT dwarskracht	$V_{Ed,UGT}$	95287.5	kN	De belasting
Unity check	U.C.	0.92	-	Voldoet

Bijlage A11 Berekening balk

Afstudeeropdracht	Betonnen sluisdeur	Datum	okt - 2019
Onderdeel	Uitwerking balken	Naam	My Nguyen
Detail omschrijving	Wapeningsberekening balken 2000x1500	Studentnummer	17255

Materiaaleigenschappen			Gegevens		
Betonsterkteklasse		C45/55	Ontwerplevensduur	100 Jaar	
Druksterkte beton karakteristiek	f_{ck}	45	N/mm ²	Belastingsduur	Lange duur
Druksterkte beton ontwerp	f_{cd}	30	N/mm ²	Norm	NEN-EN 1991-2
Wapeningsoort		B500B	Nationale bijlage	Nederlands	
Vloeigrens	f_{yd}	435	N/mm ²		

Geometrie	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Breedte	b	2000	mm	1 meter breed gemodelleerd
Hoogte	h	1500	mm	Dikte van de wand

Hoofdwapening	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Dekking boven	c_{boven}	70	mm	
Hoofdwapening boven	$A_{s,\text{boven}}$	40	150 mm	8378 mm ² totaal
Hoofdwapening onder	$A_{s,\text{onder}}$	40	150 mm	8378 mm ² totaal
Bijlegwapening	$A_{s,\text{onder}2}$	25	150 mm	11650 mm ² totaal
Dekking onder	c_{onder}	70	mm	

Geometrische eigenschappen	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Nuttige hoogte	d	1394	mm	
Hoogte drukzone	x_u	113	mm	
Inwendige hefboomsarm	z	1350	mm	

Berekening moment UGT	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Wapeningspercentage min	$\rho_{1,\text{min}}$	0.18	%	Tabel 3.1 constructieel gewapend beton 2
Minimale wapening	$A_{s,\text{min}}$	5018	mm ²	Voldoet
Wapeningspercentage max	$\rho_{1,\text{max}}$	2.46	%	Tabel 3.2 constructieel gewapend beton 2
Maximale wapening	$A_{s,\text{max}}$	68585	mm ²	Voldoet
Opneembare staalkracht	N_s	5068	kN	
Opneembaar moment	M_{Rd}	6843	kNm	$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z$
UGT Momenten	$M_{Ed,UGT}$	6445.0	kNm	
Unity check	U.C.	0.94	-	Voldoet

Beugelwapening	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Hoek		30.9	°	
Beugeldiameter	$\emptyset_v$	16	mm	1340 mm ² /m totaal
Hart op hart afstand	s	150	mm	
Snedig	n	3.333333333		Beugel afstand 300mm

Berekening dwarskracht UGT	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
-	k	1.38	-	Kleiner dan 2
Draagvermogen beton	v_{min}	0.38	N/mm ²	$v_{\text{min}} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} + k_1 \sigma_{cp}$
Opneembaar dwarskracht (zonder wap.)	$V_{Rd,c}$	1059.8	kN	Dwarskracht wapening vereist!
-	$C_{Rd,c}$	0.12	-	
Beugel wapeningspercentage	ρ	0.00	-	
Opneembare dwarskracht (zonder wap.)	$V_{Rd,c}$	596.6	kN	$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq v_{\text{min}} =$
Opneembare dwarskracht spanning	v_{Ed}	3.1	N/mm ²	Dwarskracht wapening vereist!
Max dwarskracht spanning	$V_{Rd,\text{max}}$	6.64	N/mm ²	Tabel 7.2 constructieel gewapend beton 2
				Max dwarskracht spanning wordt niet overschreden
Opneembare dwarskracht	$V_{Rd,c}$	8494	kN	
UGT dwarskracht	$V_{Ed,UGT}$	8350.0	kN	De belasting
Unity check	U.C.	0.98	-	Voldoet

Bijlage A12 Berekening wand

Afstudeeropdracht	Betonnen sluisdeur	Datum	okt - 2019
Onderdeel	Uitwerking wanden	Naam	My Nguyen
Detail omschrijving	Wapeningsberekening wanden koker t.g.v. waterdruk	Studentnummer	17255

Materiaaleigenschappen			Gegevens
Betonsterkteklasse	f_{ck}	C45/55	Ontwerplevensduur 100 Jaar
Druksterkte beton karakteristiek	f_{cd}	45	Belastingsduur Lange duur
Druksterkte beton ontwerp		30	Norm NEN-EN 1991-2
Wapeningsoort		B500B	Nationale bijlage Nederlands
Vloiegrens	f_{yd}	435	

Geometrie	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Breedte	b	1000	mm	1 meter breed gemodelleerd
Hoogte	h	750	mm	Dikte van de wand

Hoofdwapening	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Dekking boven	c_{boven}	70	mm	
Hoofdwapening boven	$A_{s,\text{boven}}$	40	150 mm	8378 mm ² totaal
Hoofdwapening onder	$A_{s,\text{onder}}$	40	150 mm	8378 mm ² totaal
Bijlegwapening	$A_{s,\text{onder}2}$	20	150 mm	10472 mm ² totaal
Dekking onder	c_{onder}	70	mm	

Geometrische eigenschappen	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Nuttige hoogte	d	644	mm	
Hoogte drukzone	x_u	202	mm	
Inwendige hefboomsarm	z	565	mm	

Berekening moment UGT	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Wapeningspercentage min	$\rho_{1,\text{min}}$	0.19	%	Tabel 3.1 constructieleer gewapend beton 2
Minimale wapening	$A_{s,\text{min}}$	1224	mm ²	Voldoet
Wapeningspercentage max	$\rho_{1,\text{max}}$	2.77	%	Tabel 3.2 constructieleer gewapend beton 2
Maximale wapening	$A_{s,\text{max}}$	17839	mm ²	Voldoet
Opneembare staalkracht	N_s	4555	kN	
Opneembaar moment	M_{Rd}	2575	kNm	$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z$
UGT Momenten	$M_{Ed,UGT}$	2311.0	kNm	
Unity check	U.C.	0.90	-	Voldoet

Beugelwapening	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
Hoek		30.9	°	
Beugeldiameter	ϕ_v	16	mm	1340 mm ² /m totaal
Hart op hart afstand	s	150	mm	
Snedig	n	3.333333333		Beugel afstand 300mm

Berekening dwarskracht UGT	Symbool	Waarde	Dimensie	Toelichting
-	k	1.56	-	Kleiner dan 2
Draagvermogen beton	v_{min}	0.46	N/mm ²	$v_{\text{min}} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} + k_1 \sigma_{cp}$
Opneembare dwarskracht (zonder wap.)	$V_{Rd,c}$	293.8	kN	Dwarskracht wapening vereist!
-	$C_{Rd,c}$	0.12	-	
Beugel wapeningspercentage	ρ	0.00	-	
Opneembare dwarskracht (zonder wap.)	$V_{Rd,c}$	253.7	kN	$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq v_{\text{min}} =$ Dwarskracht wapening vereist!
Opneembare dwarskracht spanning	V_{Ed}	5.7	N/mm ²	
Max dwarskracht spanning	$V_{Rd,\text{max}}$	6.05	N/mm ²	Tabel 7.2 constructieleer gewapend beton 2 Max dwarskracht spanning wordt niet overschreden
Opneembare dwarskracht	$V_{Rd,c}$	3223	kN	
UGT dwarskracht	$V_{Ed,UGT}$	2445.0	kN	
Unity check	U.C.	0.76	-	Voldoet

Bijlage B1 Zelfreflectie

Zelfreflectie

Thanh My Nguyen, 17255
Constructief ontwerper BV/BmS
Amersfoort, 2019

Bij het starten van de opleiding was mijn voornaamste doel me te ontwikkelen tot een zelfstandig constructeur. Buiten dat wilde ik mezelf met deze uitdagende afstudeeropdracht naar een hoger niveau brengen. Vol trots kan ik terugkijken en zeggen dat ik de afgelopen periode veel heb geleerd.

Aan het begin van mijn afstudeeropdracht had ik geen idee wat er bij het ontwerpen van een sluisdeur komt kijken.

Het begin verliep aldus wat moeizaam door een overvloed aan informatie over sluisdeuren. Tijdens mijn literatuuronderzoek heb ik geleerd om de informatie beter te screenen en te filteren.

Bij het schrijven van het plan van aanpak had ik meer tijd kunnen investeren in het zoeken naar de juiste hoofdvraag. Doordat ik deze niet vanaf het begin duidelijk voor ogen had, wilde ik teveel onderwerpen toevoegen aan mijn onderzoek. Ik heb geleerd dat het essentieel is om een goede hoofdvraag te hebben om vervolgens gericht onderzoek te kunnen doen. Na een duidelijke hoofdvraag te hebben geformuleerd, werd het onderzoeksproces makkelijker.

In het onderzoeksproces zelf neigde ik me teveel te focussen op de waterbouwkundige aspecten, terwijl het mijn hoofdtak was om de betontechnische aspecten te analyseren. Natuurlijk zijn bij dit soort ontwerpen zowel constructieve als waterbouwkundige aspecten van belang, maar ook in de praktijk worden hiervoor verschillende experts ingezet. Uiteindelijk heb ik derhalve de definitieve keuze gemaakt om het waterbouwkundige deel buiten beschouwing te laten, aangezien deze afstudeeropdracht in het kader van de constructeursopleiding is.

In het algemeen kan ik wel zeggen dat ik heb geleerd om in grote projecten de hoofd- van bijzaken te scheiden en gericht onderzoek te doen. Tevens heb ik hierin laten zien dat ik goed zelfstandig kan werken. Dit heb ik ook teruggekoppeld gekregen van collega's en mijn begeleider. In het hele proces heb ik daarnaast gemerkt dat mijn constructieve inzichten en rekenvaardigheden zijn verbeterd. Bovendien heb ik geleerd parametrische modellen te bouwen.

Deze afstudeeropdracht heeft mij al met al veel nieuwe inzichten en vaardigheden gebracht, welke zeker van pas zullen komen in mijn verdere carrière als constructeur.