

Bijlagen project stoplogs

Afstudeerscriptie Tim van Dijk – GDF SUEZ

Bijlagen

<i>Bijlage I</i>	<i>Processen om vervuiling in het koelwatersysteem te voorkomen</i>	2
<i>Bijlage Ia</i>	<i>Thermoshocken</i>	2
<i>Bijlage Ib</i>	<i>Chloor-bleeklooginstallatie</i>	2
<i>Bijlage II</i>	<i>Flowschema koelwatersysteem</i>	3
<i>Bijlage IIa</i>	<i>Flowschema koelwatersysteem</i>	3
<i>Bijlage II b</i>	<i>Overzichtsfoto koelwaterinstallatie</i>	4
<i>Bijlage IIc</i>	<i>Bovenaanzicht koelwaterinstallatie</i>	5
<i>Bijlage IId</i>	<i>Zijaanzicht koelwaterinstallatie</i>	6
<i>Bijlage III</i>	<i>Getijden omgeving Maasvlakte</i>	7
<i>Bijlage IV</i>	<i>Resultaten brainstormsessie</i>	10
<i>Bijlage V</i>	<i>Morfologisch overzicht</i>	13
<i>Bijlage VI</i>	<i>Beschrijving van de criteria voor een concept</i>	16
<i>Bijlage VII</i>	<i>Opties voor het concept drijvende stoplogs</i>	17
<i>Bijlage VIII</i>	<i>Toelichting op de kosten</i>	19
	<i>Toelichting op de kosten in de huidige situatie</i>	19
	<i>Toelichting op de kosten voor het ontwerp drijvende stoplogs met dompelpompen</i>	20
<i>Bijlage IX</i>	<i>Berekeningen</i>	21
<i>Bijlage IXa</i>	<i>Maximale aanzuighoogte water</i>	21
<i>Bijlage IXb</i>	<i>Inhoud put en inlaat bij vol- en leegpompen</i>	22
<i>Bijlage IXc</i>	<i>Diameter kleppen</i>	23
<i>IXd</i>	<i>Sterkteberekening stoplogs</i>	24
	<i>Aanpak</i>	24
	<i>Aannames en opmerkingen</i>	24
	<i>Bepaling van de verdeelde belasting q en zijn resulterende kracht</i>	25
	<i>Splitsing van de stoplog in 3 segmenten</i>	25
	<i>Grootte van de reactiekrachten</i>	26
	<i>Berekening van de interne dwarskrachten en interne momenten</i>	26
	<i>Bepalen van de trek- en schuifspanningen</i>	30
	<i>Bepalen van de Von Mises spanning</i>	31
	<i>Benodigde dikte per materiaal</i>	32
<i>Bijlage IXe</i>	<i>Het zwaartepunt van een driehoek met een rechte hoek</i>	34

Bijlage I Processen om vervuiling in het koelwatersysteem te voorkomen

Bijlage Ia Thermoshocken

Om te voorkomen dat organismen als mosselen en zeepokken zich gaat hechten aan de binnenzijde van de koelwaterinstallatie wordt het de systeem periodiek afgesloten. In deze periode zorgt men ervoor dat met behulp van de hulpkoelwaterpomp en de retourleidingen het zeewater in het systeem blijft circuleren. Hierdoor warmt het water op tot boven de 43°C, waardoor aanwezige zeeorganismen los zullen laten. Dit proces heet thermoshocken en gebeurt per koelwatersysteem 4 keer per jaar.

Bijlage Ib Chloor-bleeklooginstallatie

Omdat thermoshocken niet de gewenste resultaten geeft, is hiervoor een alternatief gevonden in de vorm van een chloor-bleeklooginstallatie. Deze installatie voegt pulserend een oplossing van natriumhypochloriet (NaOCl) toe aan het inkomende zeewater. Zeeorganismen als oesters en mossels zullen hierdoor geïrriteerd raken en loslaten. Het chloor-bleekloogsysteem is nog in de testfase. Mogelijk wordt dit systeem aangepast..

Het natriumhypochloriet bevindt zich in twee tanks (concentratie 12,5%) naast de koelwaterinlaat (figuur B1.1). Samen hebben deze tanks een inhoud van 50.000 liter. Beide tanks zijn boven een lekbak geplaatst. De pompen en andere toebehoren voor het systeem zijn geplaatst in een kleine container naast de tanks. Vanuit de tank wordt het natriumhypochloriet naar een mengstation gepompt waar zeewater wordt toegevoegd. Dit zeewater wordt opgepompt door een pomp die zich in een dode hoek van de koelwaterput bevindt. Hierna wordt het verdunde chloor-bleekloog naar spuitkoppen gepompt die het in het inkomende zeewater spuiten. Deze spuitkoppen bevinden zich in frames (figuur B1.2) die voor de zeewaterinlaat worden geplaatst. De frames waar de spuitkoppen zich in bevinden gebruiken dezelfde sleuven als de stoplogs.

Voor de hele koelwaterinstallatie (4 frames) wordt er ongeveer 850 liter per uur uit de tanks gepompt. De tanks zullen dus na ongeveer 60 uur bijgevoeld moeten worden.



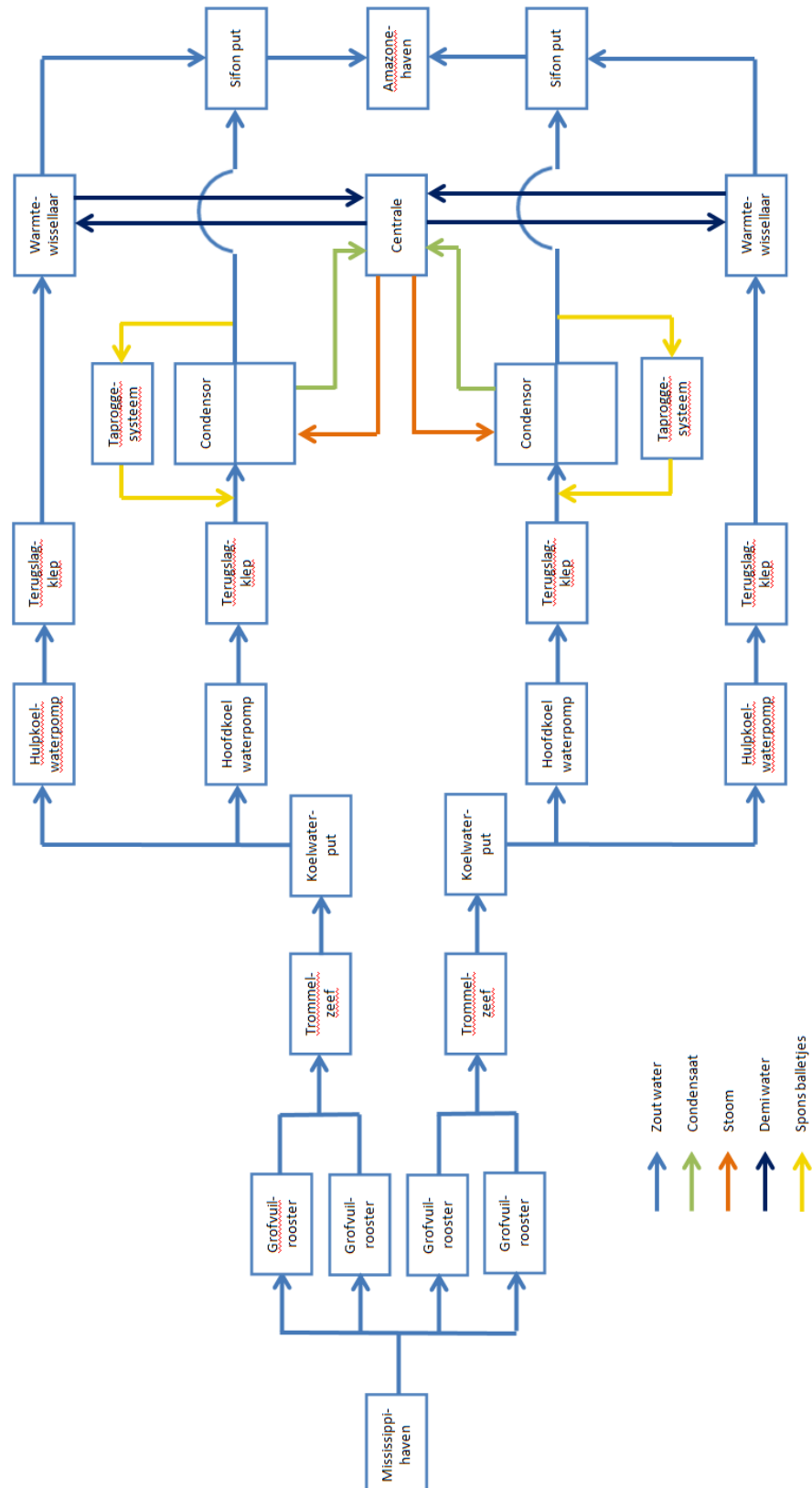
Figuur B1.1 Chloor-bleekloogtanks



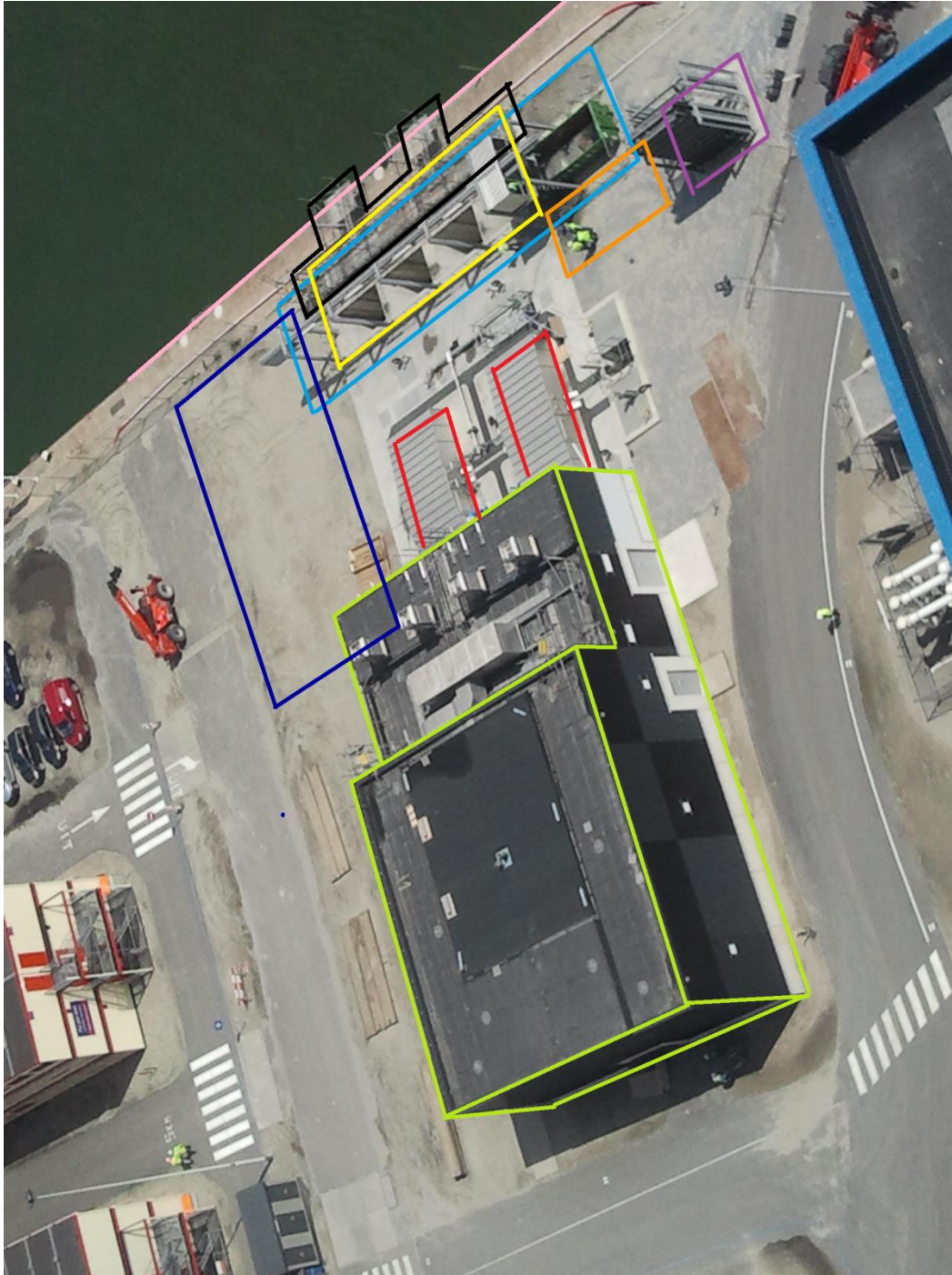
Figuur B1.2 Frame met spuitkoppen voor NaOCl inspuiting

Bijlage II Flowschema koelwatersysteem

Bijlage IIa Flowschema koelwatersysteem



Bijlage II b Overzichtsfoto koelwaterinstallatie



Lichtblauw	Grijpmechanisme grofzuilfilter	Rood	Trommelzeef behuizing
Oranje	Ruimte gereserveerd voor chloor-bleekloogstelsel	Zwart	Steiger
Paars	Stellage voor stoplogs en hijsbalk	Groen	Koelwatergebouw
Donkerblauw	Positie kraan voor (ver)plaatsen stoplogs	Roze	Kade
Geel	Putten waar onder andere de stoplogs in gelaten worden		

Bijlage IIc Bovenaanzicht koelwaterinstallatie

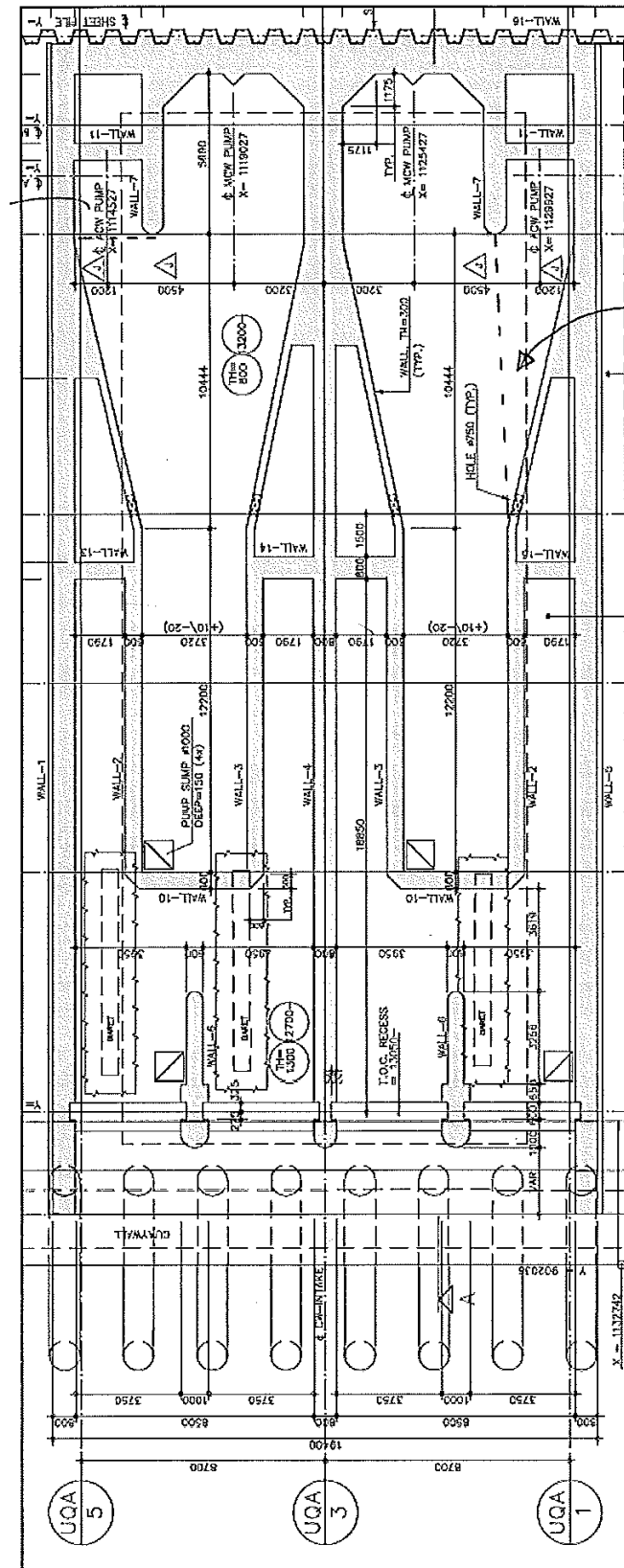


Figure 1: Plan view of intake structure

Bijlage IId Zijaanzicht koelwaterinstallatie

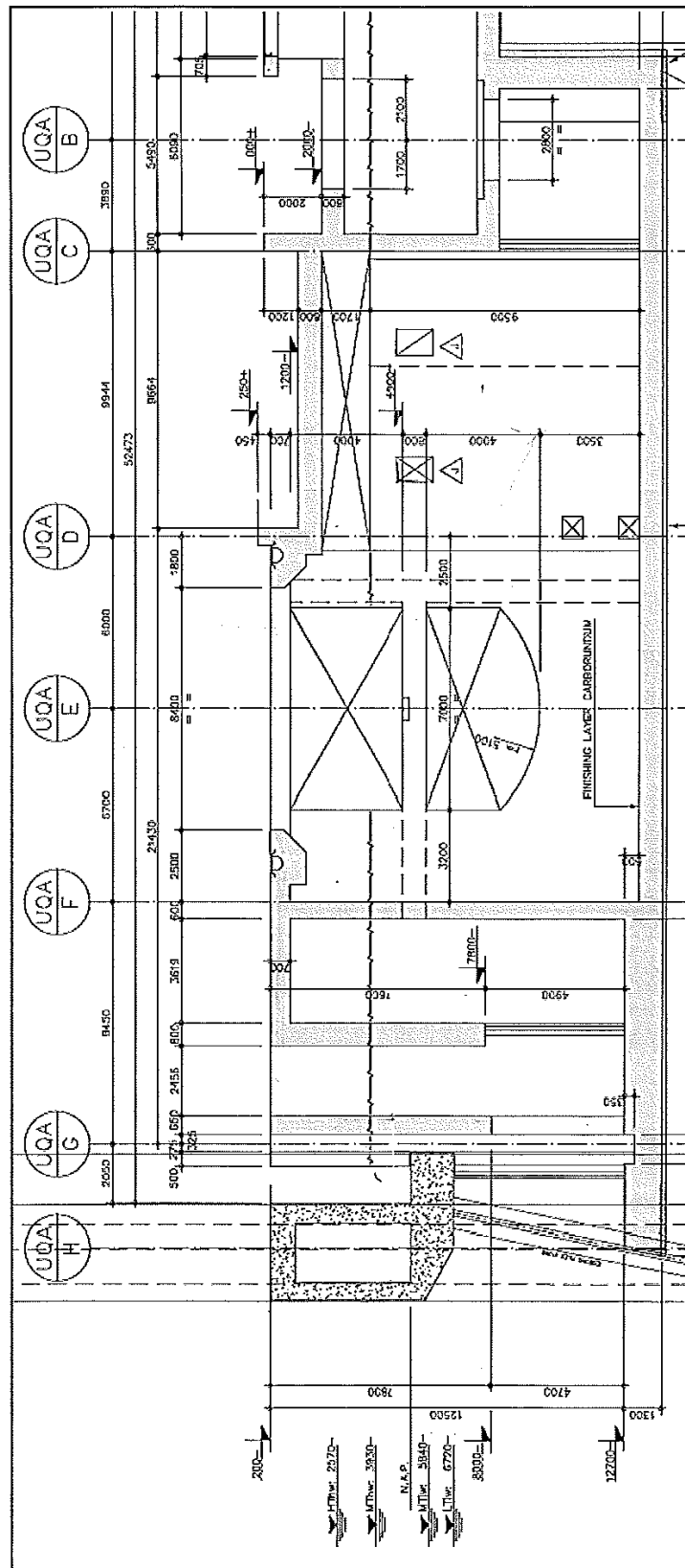
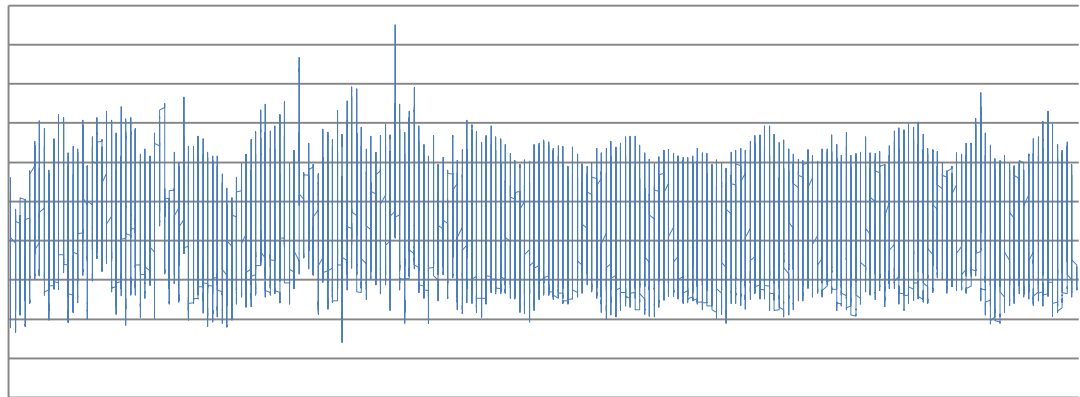
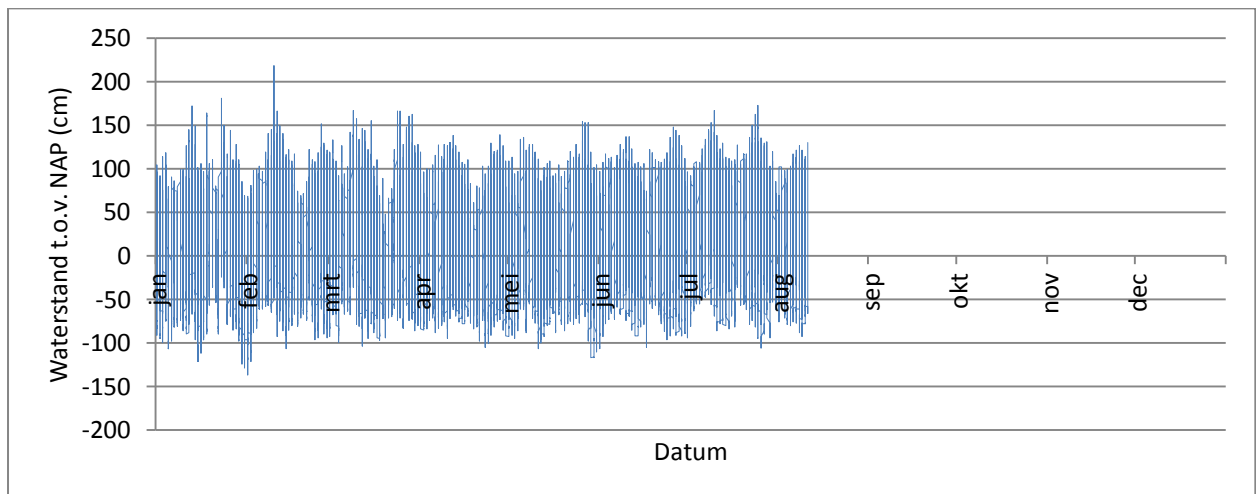


Figure 2: Longitudinal section of intake structure

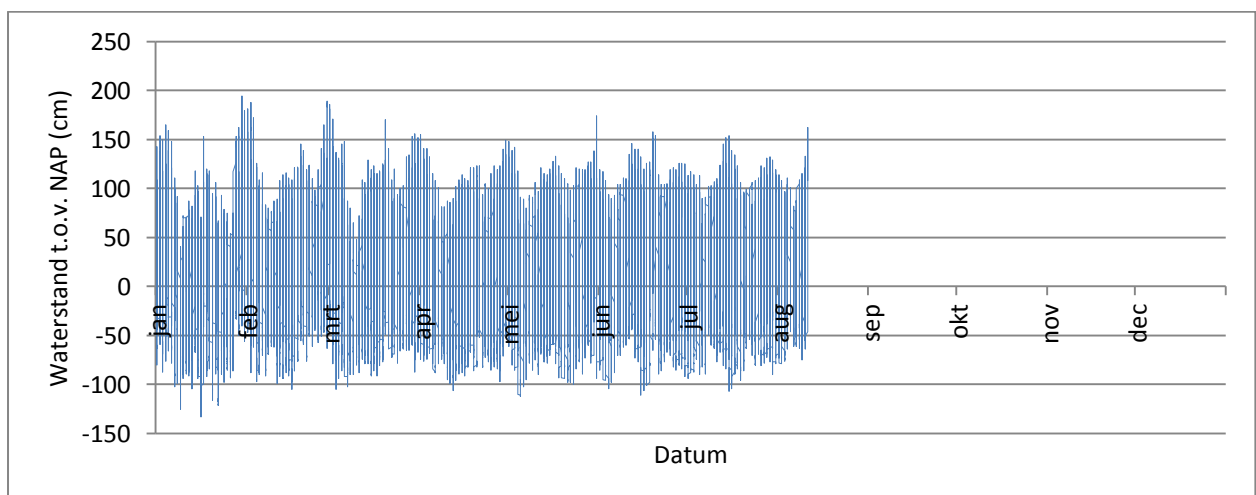
Bijlage III Getijden omgeving Maasvlakte



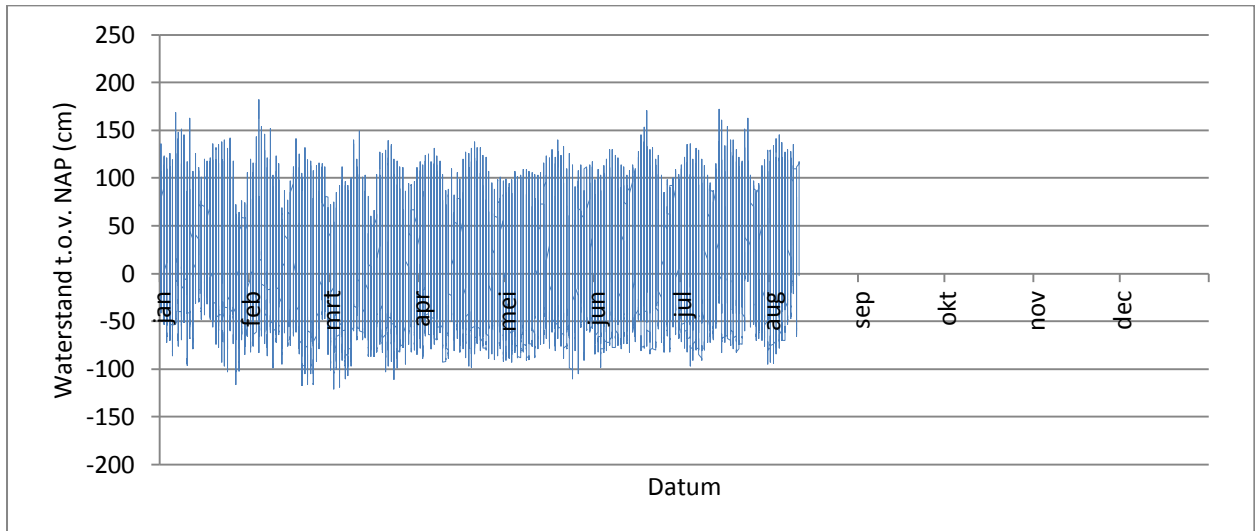
Grafiek B3.1 Waterpeil t.o.v. NAP, Hoek van Holland 2008 (Gemiddeld + 0,09 mNAP)



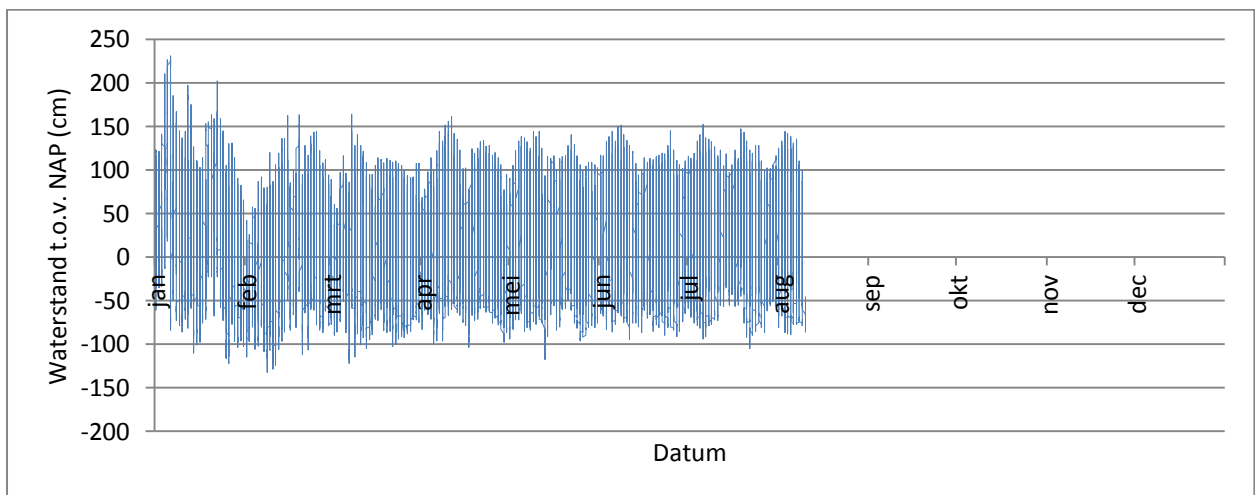
Grafiek B3.2 Waterpeil t.o.v. NAP, Hoek van Holland 2009 (Gemiddeld + 0,07 mNAP)



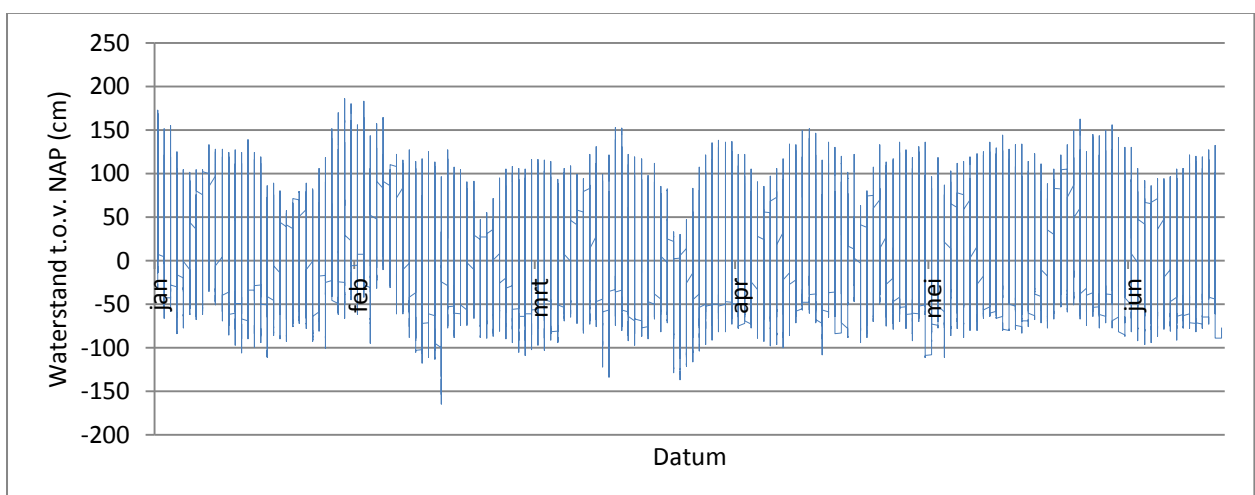
Grafiek B3.3 Waterpeil t.o.v. NAP, Hoek van Holland 2010 (Gemiddeld + 0,08 mNAP)



Grafiek B3.4 Waterpeil t.o.v. NAP, Hoek van Holland 2011 (Gemiddeld + 0,09 mNAP)



Grafiek B3.5 Waterpeil t.o.v. NAP, Hoek van Holland 2012 (Gemiddeld + 0,09 mNAP)



Grafiek B3.6 Waterpeil t.o.v. NAP, Hoek van Holland 2013 (t/m juni) (Gemiddeld - 0,04 mNAP)

	Niveau
Hoog-hoog	+ 2,95 mNAP
Hoog	+ 1,24 mNAP
Laag	- 0.70 mNAP
Laag-laag	- 1,61 mNAP
Hoogste waterpeil	+ 3,03 mNAP
Gemiddeld waterpeil (jan. 2008 – jun. 2013)	+ 0,08 mNAP
Perseel centrale	+ 5,00 mNAP
Minimaal waterniveau tijdens bedrijf koelwatersysteem	- 2,21 mNAP

Tabel B3.1 Benaming waterpeilen

Bijlage IV Resultaten brainstormsessie

De functies die vervuld moeten worden door een concept zijn:

- Chloor-bleekloog frames verwijderen en plaatsen.
- Koelwatersysteem afsluiten en openen.
- Koelwatersysteem leegpompen.
- Koelwatersysteem vullen en niveau gelijk maken aan niveau in de haven.

Aanwezig bij de brainstormsessie waren:

- Dhr. R. van Raalte Technisch specialist W
- Dhr. M. Bewier Technisch specialist E
- Dhr. A. Jens Productietechnicus
- Dhr. R. van Hoorn Onderhoudstechnicus W
- Dhr. R. Hendriks Onderhoudstechnicus W
- Dhr. T. van Dijk Stagiair

Chloor-bleekloogframes verwijderen en plaatsen

Hijsen	Alternatieven
Portaalkraan	Frames optillen m.b.v. cilinders
Bovenloopkraan	Rijdende frames met rails op de bodem van de put
Bovenloopkraan naast de put	Rijdende frames met rails op de randen van de put
Kraan naast de put op rails	Frames optillen d.m.v. een tandheugel in de sleuven/op pijlers
Wandzwenkkraan	Frames optillen d.m.v. een wormwiel in de sleuven/op pijlers
Kolomzwenkkraan	Frames optillen d.m.v. een lier
Overige vaste kranen	Frames laten staan en sleuven niet gebruiken om stoplogs te plaatsen
Rijdende mobiele kraan	Chloor-bleekloog installatie verwerken in alternatief voor stoplogs
Kraanschip	Chloor-bleeklooginspuiting verplaatsen
Hijsmechanisme aan een verreiker	Stoom inblazen i.p.v. NaOCl
Helicopterkraan	Bypass met zoet water i.p.v. NaOCl
Kraan op trein	Bypass met heet water i.p.v. NaOCl
	Keramische coating in koelwatersysteem i.p.v. NaOCl
	Rubberen coating in koelwatersysteem i.p.v. NaOCl
	Detoneren i.p.v. NaOCl
	Electroshocken i.p.v. NaOCl
	Koperanodes i.p.v. NaOCl
	UV-lampen i.p.v. NaOCl

Koelwatersysteem afsluiten en openen

Stoplogs verwijderen m.b.v. een kraan	Alternatieven
Portaalkraan	Frames optillen m.b.v. cilinders
Bovenloopkraan	Rijdende frames met rails op de bodem van de put
Bovenloopkraan naast de put	Rijdende frames met rails op de randen van de put
Kraan naast de put op rails	Frames optillen d.m.v. een tandheugel in de sleuven/op pijlers
Wandzwenkkraan	Frames optillen d.m.v. een wormwiel in de sleuven/op pijlers
Kolomzwenkkraan	Frames optillen d.m.v. een lier
Overige vaste kranen	Stoplogs onder de bodem van de put laten zakken (chloor-bleekloog frames kunnen bovenop geplaatst worden)
Rijdende mobiele kraan	Hefboom
Kraanschip	2 ^e sleuf maken • Stoplogs laten hangen aan kabels • Ponton afzinken
Hijsmechanisme aan een verreiker	Schotten met lamellen plaatsen
Helicopterkraan	Schotten afzinken • Voor de kade • In 2^e sleuf
Kraan op trein	Ophaaldeur • In de koelwaterinlaat • Aan de kade
	Overheaddeur principe • In de koelwaterinlaat • Aan de kade • Over grofvuilrooster
	Sluisdeuren • In de koelwaterinlaat • Aan de kade
	Schuifdeur • In de koelwaterinlaat • Aan de kade
	Draaideur • In de koelwaterinlaat • Aan de kade
	Rooster plaatsen waar een doek overheen kan zakken • In de koelwaterinlaat • Aan de kade • Over het grofvuilrooster
	Afsluiter/klep/kogelkraanprincipe
	Flens
	Conservering van pompen (niet afsluiten)
	Balgstuw

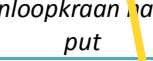
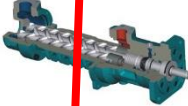
Koelwatersysteem leegpompen

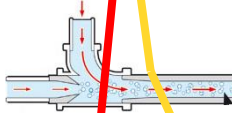
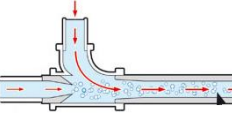
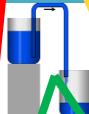
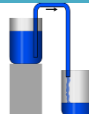
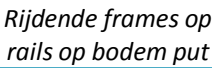
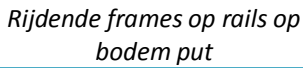
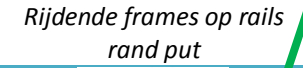
Pompen	Alternatieven
Dompelpomp (stijgleiding of aan binnenzijde stoplogs)	Bucket elevator
Centrifugaalpomp	Lopende band
Zuigerpomp	Weg laten lopen d.m.v. zwaartekracht (onmogelijk)
Schroefpomp	Overdruk of vacuüm
Lobbenpomp	Opstuwen of wegduwen
Jetpomp	Niet leegpompen, inspectie en onderhoud door duiker
Membraanpomp	Niet leegpompen, inspectie en onderhoud door robot
Slangenpomp	Droogdok: omheinen van hoofd- en hulpkoelwaterpomp voor inspectie en onderhoud
Tandradpomp	Hulpkoelwaterpomp langer laten pompen
Mobiele pompwagen	
Ejector	
Hevelen in combinatie met pomp	

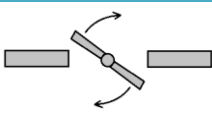
Koelwatersysteem vullen en niveau gelijk maken aan niveau in de haven

Pompen	Alternatieven
Dompelpomp	Bucket elevator
Centrifugaalpomp	Lopende band
Zuigerpomp	Weg laten lopen d.m.v. zwaartekracht
Schroefpomp	Niet leegpompen, inspectie en onderhoud door duiker
Lobbenpomp	Niet leegpompen, inspectie en onderhoud door robot
Jetpomp	Droogdok: omheinen van hoofd- en hulpkoelwaterpomp voor inspectie en onderhoud
Membraanpomp	Afsluiting opheffen waardoor systeem vol loopt
Slangenpomp	Vullen met een slang aan de kraan
Tandradpomp	
Mobiele pompwagen	
Ejector	
Hevelen in combinatie met pomp	

Bijlage V Morfologisch overzicht

NaOCl frames plaatsen en verwijderen	Koelwatersysteem afsluiten en openen	Koelwatersysteem toegankelijk maken	Koelwatersysteem vullen met water
 Portalkraan	 Portalkraan	 Dompelpomp	 Dompelpomp
 Bovenloopkraan	 Bovenloopkraan	 Centrifugaalpomp	 Centrifugaalpomp
 Bovenloopkraan naast de put	 Bovenloopkraan naast de put	 Zuigerpomp	 Zuigerpomp
 Kraan naast de put op rails	 Kraan naast de put op rails	 Schroefpomp	 Schroefpomp
 Wandzwenkkraan	 Wandzwenkkraan	 Lobbenpomp	 Lobbenpomp
 Kolomzwenkkraan	 Kolomzwenkkraan	 Jetpomp	 Jetpomp
 Overige vaste kranen	 Overige vaste kranen	 Membraanpomp	 Membraanpomp
 Rijdende mobiele kraan	 Rijdende mobiele kraan	 Slangenpomp	 Slangenpomp
 Kraanschip	 Kraanschip	 Tandradpomp	 Tandradpomp
 Hijsmechanisme aan verreiker	 Hijsmechanisme aan verreiker	 Mobiele pomp	 Mobiele pomp

			
Helicopterkraan	Helicopterkraan	Ejector	Ejector
			
Kraan op trein	Kraan op trein	Hevelen in combinatie met pomp	Hevelen in combinatie met pomp
			
Cilinders	Cilinders	Bucket elevator	Bucket elevator
			
Rijdende frames op rails op bodem put	Rijdende frames op rails op bodem put	Lopende band	Lopende band
			
Rijdende frames op rails rand put	Rijdende frames op rails rand put	Zwaartekracht	Zwaartekracht
			Alternatief (zie koelwatersysteem toegankelijk maken)
Tandheugel	Tandheugel	Overdruk of vacuüm	
			
Wormwiel	Wormwiel	Opstuwen of wegduwen	Afsluiting opheffen
			
Lier	Lier	Inspectie door duiker	Vullen met slang aan kraan
	Stoplog onder bodem van put laten zakken		
Frames laten staan		Inspectie met robot	
			
NaOCl verwerken in alternatief stoplogs	Hefboom	Droogdok	

		
NaOCl inspuiting verplaatsen	Balgstuw	Langer pompen hulpkoelwaterpomp
		
Stoom inblazen i.p.v. NaOCl	Schotten met lamellen	
		
Bypass met zoet water	Schotten afzinken	
		
Bypass met heet water	Ophaaldeur	
		
Keramische coating	Overheaddeurprincipe	
		
Rubberen coating	Sluisdeuren	
		
Detoneren	Schuifdeur	
		
Electroshocken	Draaideur	
		
Koperanodes	Flens	
		
UV-lampen	Afsluiters/klep/kogelkraanprincipe	
Conservering van pompen (niet afsluiten)		
2 ^e sleuf maken		
Rooster plaatsen met doek		

Bijlage VI Beschrijving van de criteria voor een concept

Functionele criteria

Betrouwbaarheid:	Het concept moet betrouwbaar zijn. Gedeeltelijk stil liggen van de centrale ten gevolge van de onjuiste werking van een concept zal veel geld kosten.
Veiligheid:	Het concept moet veilig zijn. Bij inspecties en onderhoud van het koelwatersysteem mag er geen gevaar voor personen ontstaan door falen van het concept. Het afsluiten van een koelwatersysteem moet dan ook waterdicht gebeuren. Wanneer mensen zich in het koelwatersysteem bevinden zal deze nooit vol mogen lopen.
Onderhoud:	Onderhoud aan het concept zal zo min mogelijk moeten zijn om kosten en (gedeeltelijk) stil liggen van de centrale te voorkomen.
Snelheid:	Om te voorkomen dat de centrale zo niet te lang zonder voldoende koelwater zit zal het concept zo snel mogelijk moeten werken
Gebruiksvriendelijkheid (ergonomie):	Een concept moet gebruiksvriendelijk zijn. Er moet zo min mogelijk personeel nodig zijn om de functies uit te voeren. Ook moet het concept makkelijk te bedienen zijn.
Complexiteit:	Een hogere complexiteit zorgt ervoor dat niet alleen iets sneller kapot zal gaan, maar ook het onderhoud zal lastiger zijn en langer duren. Daarnaast is een complexere constructie vaak duurder en zwaarder als een makkelijkere constructie.
Levensduur:	Het concept moet meerdere jaren meegaan.
Veelzijdigheid:	Een concept kan ook gebruikt worden om functies buiten de beschouwde taken van het project uit te voeren.

Fabricage criteria

Kosten:	De terugverdientijd mag niet meer als 2 jaar bedragen. Een kortere terugverdientijd is nog gunstiger.
Aanpassingen:	Er zullen zo weinig mogelijk aanpassingen aan de huidige constructie gedaan mogen worden.
Materiaal:	De materialen die gebruikt worden bij het fabriceren van een concept mogen niet of zo min mogelijk corroderen of op andere manieren vergaan.
Afmetingen:	De afmetingen van een concept zullen beperkt moeten blijven aangezien de ruimte rond het koelwatergebouw beperkt is.
Gewicht:	Om zo weinig mogelijk schade aan te richten aan de huidige constructie zal een concept zo licht mogelijk moeten zijn.

Bijlage VII Opties voor het concept drijvende stoplogs

Optie 1: De huidige stoplogs lichter maken.

Aan de bovenzijde van de stoplogs komt minder druk te staan door het zeewater als aan de onderzijde. Hierdoor kan het aantal verstevigingen aan de bovenzijde verminderd worden. De stoplogs kunnen dus lichter gemaakt worden en zal het benodigde drijfvermogen minder zijn.

Optie 2: Sleuven voor de stoplogs breder maken, zodat de verplaatste waterkolom vergroot kan worden.

Door de sleuven in de koelwaterinlaat te verbreden kunnen de stoplogs dikker gemaakt worden, waardoor er een grotere waterverplaatsing mogelijk is en de stoplogs meer drijfvermogen krijgen. De maximale hoogte van de te verplaatsen waterkolom is 1,39 m. Om een waterverplaatsing van $4,5605 \text{ m}^3$ te krijgen zal de oppervlakte van de sleuven $4,5605 / 1,39 = 3,2809 \text{ m}^2$ moeten zijn. Dit is een oppervlakte toename van $3,2809 - 1,6438 = 1,6371 \text{ m}^2$. De doorlaatbreedte van de inlaat is 3,75 m. De sleuven zullen dus $1,6371 / 3,75 = 0,4366 \text{ m}$ breder moeten worden.

Optie 3: Toelaten dat de stoplogs voor de inlaat hangen bij lage waterstand en opvoeren van de stromingssnelheid om dezelfde capaciteit te behouden.

Bij een lage waterstand komen de stoplogs lager te hangen. Wanneer stoplogs gedeeltelijk voor de inlaat hangen wordt de doorstroming beperkt. Om dezelfde hoeveelheid water het koelwatersysteem in te krijgen zal de stroomsnelheid van het water toe moeten nemen. Echter mag de stroming door de inlaat niet de maximale snelheid overschrijden.

Maximale snelheid in inlaat ($v_{\text{stroming,max}}$)		
Maximaal debiet totaal	$28,0 \text{ m}^3/\text{s}$	$v_{\text{stroming,max}} = \frac{\Phi_{\text{volume,max}}}{A_{\text{inlaat}}}$
Maximaal debiet per kant	$14,0 \text{ m}^3/\text{s}$	
Maximaal debiet per stoplog	$7,0 \text{ m}^3/\text{s}$	$v_{\text{stroming,max}} = \frac{7,0}{17,625} = 0,3972 \text{ m/s}$
Oppervlakte inlaat m^2	17,625	
Nominale snelheid in inlaat ($v_{\text{stroming,nominaal}}$)		
Nominaal debiet hoofdcoolwaterpomp	$12,5 \text{ m}^3/\text{s}$	$v_{\text{stroming,nominaal}} = \frac{\Phi_{\text{volume,nominaal}}}{A_{\text{inlaat}}}$
Nominaal debiet hulpcoolwaterpomp	$0,7 \text{ m}^3/\text{s}$	
Totaal nominaal debiet	$13,2 \text{ m}^3/\text{s}$	$v_{\text{stroming,nominaal}} = \frac{6,6}{17,625} = 0,3745 \text{ m/s}$
Nominaal debiet per stoplog	$6,6 \text{ m}^3/\text{s}$	

De snelheid door de inlaat mag dus bij nominaal bedrijf opgevoerd worden met $0,3972 - 0,3745 = 0,0227 \text{ m/s}$. De oppervlakte dus de hoogte van de inlaat en kan hierdoor verkleint worden.

Minimale oppervlakte inlaat ($A_{\text{inlaat,min}}$)		$A_{\text{inlaat,min}} = \frac{\Phi_{\text{volume,nominaal}}}{v_{\text{stroming,maximaal}}}$
Totaal nominaal debiet	$6,6 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_{\text{inlaat,min}} = \frac{6,6}{0,3972} = 16,6163 \text{ m}^2$
Maximale snelheid in inlaat m/s	0,3972	
Maximale oppervlakte reductie inlaat (ΔA)		
Oppervlakte inlaat m^2	17,625	$\Delta A = A_{\text{inlaat}} - A_{\text{inlaat,min}}$ $\Delta A = 17,625 - 16,6163 = 1,009 \text{ m}^2$
Minimale oppervlakte inlaat m^2	16,6163	
Maximale hoogte reductie inlaat (Δh_{inlaat})		$\Delta h_{\text{inlaat}} = \frac{\Delta A_{\text{inlaat}}}{b_{\text{inlaat}}}$
Maximale oppervlakte reductie inlaat	$1,009 \text{ m}^2$	$\Delta h_{\text{inlaat}} = \frac{1,009}{3,75} = 0,2691 \text{ m}$
Breedte inlaat	3,75 m	

De stoplogs mogen 0,2691 m uitsteken zonder dat de stroming door de inlaat de maximale snelheid overschrijdt. Dit geeft een extra drijfvermogen van maximaal $0,2691 \cdot 1,6438 = 0,4423 \text{ m}^3$. Dit is onvoldoende aangezien een extra drijfvermogen van minimaal $4,5605 - 2,2848 = 2,2757 \text{ m}^3$ nodig is.

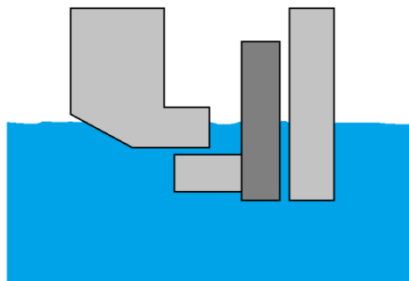
Optie 4: Toelaten dat de stoplogs voor de inlaat hangen bij lage waterstand en in deze situatie minder koelvermogen leveren om dezelfde stromingssnelheid te houden.

Om voldoende drijfvermogen te krijgen is er een waterverplaatsing van minimaal $4,5605 \text{ m}^3$ nodig. De oppervlakte van de sleuf is $1,6438 \text{ m}^2$. Hieruit volgt dat de stoplogs minimaal $4,5605 / 1,6438 = 2,7744 \text{ m}$ onder water moeten liggen voor het juiste drijfvermogen. Bij een waterstand van $-1,61 \text{ mNAP}$ zullen de stoplogs $2,7744 - 1,39 = 1,3844 \text{ meter}$ voor de inlaat uitsteken.

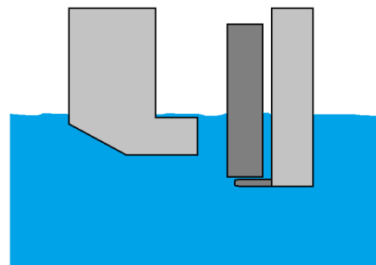
Optie 5: Drijflichamen gedeeltelijk onder de kademuur plaatsen.

De onderkant van de kademuur ligt hoger als de doorgang van de inlaat. Dit verschil in hoogte kan gebruikt worden om drijflichamen te plaatsen, zoals te zien is in figuur B7.1 Dit drijflichaam zal een inhoud moeten hebben van $4,5605 - 2,2848 = 2,2757 \text{ m}^3$.

Het drijfvermogen zal toenemen wanneer het waterniveau hoger wordt. Hierdoor zal de stoplog hoger gaan drijven, waardoor het drijflichaam tegen de onderkant van de kade gedrukt zal worden. Ook wordt het drijfvermogen ongelijk verdeeld waardoor de stoplogs schuin zullen komen te hangen. Wanneer deze stoplogs geplaatst of verwijderd moeten worden, zullen de drijflichamen eerst gedemonteerd moeten worden. Echter kunnen ook flexibele drijflichamen gebruikt worden, waardoor de drijflichamen niet gedemonteerd hoeven te worden bij plaatsing en verwijdering van de stoplogs.



Figuur B7.1 Drijflichamen gedeeltelijk onder de kademuur plaatsen



Figuur B7.2 Stoplogs vergrendelen bij hoger waterniveau

Optie 6: Wanneer de stoplogs drijven bij hoger waterniveau de stoplogs vergrendelen.

Na het leegpompen van de drijflichamen zal de stoplog gaan drijven. Bij laag waterniveau zal deze gedeeltelijk voor de inlaat hangen en zal niet het volledige koelvermogen benut kunnen worden. Wanneer het zeewaterniveau stijgt zal de stoplog niet meer voor de inlaat hangen. Bij een hoger waterniveau zullen de stoplogs vergrendeld worden, waardoor deze niet meer voor de inlaat kunnen hangen bij laag water (figuur B7.2). Een nadeel hiervan is dat de stoplogs niet gebruikt kunnen worden wanneer deze op de vergrendeling rusten.

De last die een vergrendeling draagt is zal beperkt zijn. Dit i.v.m. het feit dat de stoplogs altijd gedeeltelijk onder water zullen staan, ook bij zeer laag water. De stoplogs zullen dus altijd drijfvermogen hebben. Bij een vergrendeling op $-3,00 \text{ mNAP}$ en een waterniveau van $-1,61 \text{ mNAP}$ (laag-laag water) is de hoogte van het water waarin de stoplogs staan $1,39 \text{ m}$. Het drijfvermogen is daardoor $1,39 \cdot 1,6438 = 2,2848 \text{ m}^3$. Dit staat gelijk aan 2.340 kg . De last die de vergrendeling zal moeten dragen is bij laag-laag water dus $4.670 - 2.340 = 2.330 \text{ kg}$.

Optie 7: Gedeelte van het gewicht van de stoplogs opvangen met een takel.

Zoals bij optie 6 is besproken is er bij een zeewaterniveau van $-1,61 \text{ mNAP}$ een gewicht van 2.330 kg dat moet worden opgetild om te voorkomen dat de stoplog voor de inlaat komt te hangen. Dit gewicht zou opgetild kunnen worden m.b.v. een takel op de rand van de inlaat.

Optie 8: Nieuwe stoplogs van ander materiaal construeren.

Door nieuwe stoplogs van een lichter materiaal te maken wordt het benodigde drijfvermogen laag gehouden. Bovendien kunnen andere materialen beter bestand zijn tegen de corrosieve invloeden van zeewater.

Bijlage VIII Toelichting op de kosten

Toelichting op de kosten in de huidige situatie

Kraan

Een Kraan zal ingehuurd moeten worden om de stoplogs en de chloor-bleekloogframes te verplaatsen. Dit kost 3.000 euro per dag. Per thermoshock procedure is de kraan 3 keer nodig. Bij 4 keer per jaar thermoshocken is de kraan dus 12 keer nodig:

- Frames verwijderen en stoplogs plaatsen (1^e systeem)
- Frames verwijderen (2^e systeem), stoplogs verplaatsen (naar 2^e systeem) en frames plaatsen (1^e systeem)
- Stoplogs verwijderen en frames plaatsen (2^e systeem)

Steiger

Om de stoplogs te kunnen geleiden wordt er een steiger geplaatst over de putten van de koelwaterinlaat. Deze steiger moet gekeurd zijn, wat door middel van een label kenbaar wordt gemaakt.

Kosten van de steiger zijn:

Montage steiger:	€ 442,96	(4x per jaar)
Demontage steiger:	€ 238,52	(4x per jaar)
Huur per dag:	€ 5,48	

Duiker

Omdat de stoplogs in zeewater geplaatst worden kunnen de sleuven vervuild raken met zeeorganismen als mosselen, maar ook met zand. Voordat de stoplogs geplaatst worden zullen de sleuven geïnspecteerd en mogelijk schoongemaakt worden. Hiervoor wordt een duiker in gehuurd. Deze is een dag bezig voor alle vier de sleuven en kost 2500 tot 4000 euro per dag afhankelijk van de werkzaamheden.

Dompelpomp

Een groot gedeelte van de koelwaterinlaat en koelwaterput wordt leeggepompt met een gehuurde dompelpomp. Huren van een dompelpomp kost 263 euro per week.

Kraan ontvangen en begeleiden

Ingehuurd personeel als kraanmachinisten mogen niet zonder begeleiding het terrein van de centrale betreden. De kraan zal daarom ontvangen en naar de hijslocatie begeleidt moeten worden.

Verplaatsen van de stoplogs en de chloor-bleekloogframes

Het verplaatsen van de stoplogs en frames duurt ongeveer een uur. Onder het kopje kraan is te zien dat dit 12 keer per jaar wordt uitgevoerd.

Vergunningen regelen

Voor alle werkzaamheden die plaatsvinden op het terrein van de centrale is een werkvergunning nodig. Dit wordt gedaan zodat overzicht gehouden kan worden op de werkzaamheden op het terrein en het is ter bevordering van de veiligheid.

Vergunningen (aantal per jaar):

- | | |
|--------------------------|-----|
| - Stoplogs verplaatsen | 12x |
| - Dompelpomp verplaatsen | 8x |
| - Steiger opbouwen | 4x |
| - Steiger afbreken | 4x |
| - Duiker | 4x |

Vermogensverlies

Wanneer werkzaamheden aan een koelwatersysteem plaatsvinden zal het desbetreffende koelwatersysteem uitgeschakeld moeten worden. Bij werkzaamheden door een duiker zullen beide koelwatersystemen uitgeschakeld moeten worden.

Toelichting op de kosten voor het ontwerp drijvende stoplogs met pompelampen

Eenmalige kosten

De kosten voor het materiaal van de stoplogs is gebaseerd op de kiloprijs voor CFRP uit het boek Materials and the Environment. In totaal zijn er 4 stoplogs van 1881 kg CFRP.

De prijs van pompelampen, regelsystemen voor kleppen, auto-koppelingssystemen en leidingen is via de werkvoorbereiding van de afdeling onderhoud werktuigbouwkunde verkregen.

De prijzen voor de kleppen, de handlier, de staalkabels en bevestigingsogen zijn gevonden op de websites van de leveranciers.

De kosten voor de constructie van de stoplogs zijn gebaseerd op personeelskosten van 100 euro per uur. Fabriceren van stoplogs 2 mensen circa 4 weken van 5 dagen (8 uur per dag).

De kosten voor het plaatsen van de stoplogs wordt bepaald door de huurprijs van een kraan voor 1 dag (3000 euro). Hierbij zijn 2 man personeel van GDF SUEZ een hele dag nodig (2x8 uur). Het ontvangen en begeleiden van de kraan kost nog eens een half uur. Personeelskosten zijn 50 euro per uur.

Voor het plaatsen van het auto-koppelingssysteem in de koelwaterput zijn 2 mensen een dag bezig (2x8 uur). Er zijn 2 systemen, waardoor het plaatsen van de auto-koppelingssystemen 32 uur kost.

Duiker

Omdat het chloor-bleekloogstelsel voor de stoplogs is geplaatst zullen de sleuven van de stoplogs niet vervuild raken met organismen als zeepokken en mosselen e.d. Wel is het mogelijk dat zand zich ophoopt in de sleuven. De sleuven zullen dus geïnspecteerd en mogelijk schoongemaakt moeten worden.

Kosten voor personeel

De stoplogs worden 4 keer per jaar gebruikt waarbij 2 van de 4 stoplogs tegelijk worden gebruikt.

- Afzinken 1^e set
- Drijven 1^e set
- Afzinken 2^e set
- Drijven 2^e set

De pompelampen in de stoplogs worden gebruikt om de stoplogs te laten drijven en de koelwaterinlaat leeg te pompen. Dit gebeurt 4 keer per jaar.

- Leegpompen 1^e koelwaterinlaat
- Leegpompen 1^e set stoplogs
- Leegpompen 2^e koelwaterinlaat
- Leegpompen 2^e set stoplogs

De 2 pompelampen in de koelwaterput worden 1 keer per jaar gebruikt. Per jaar wordt dus 18 keer per jaar een pompelamp bediend.

Vermogensverlies

Zoals eerder is genoemd mogen de koelwatersystemen bij werkzaamheden van een duiker in de koelwaterinlaat niet in werking zijn.

Afzinken en laten drijven van de stoplogs is afhankelijk van de capaciteit van de pompelamp en van de kleppen. De capaciteit van beide is dermate hoog dat de tijd die dit duurt verwaarloosd kan worden.

Het leeg- en volpompen van het stelsel mag maximaal 2 uur duren.

Bijlage IX Berekeningen

Bijlage IXa Maximale aanzuighoogte water

$$F = m \cdot g$$

$$F = \text{Kracht [N]}$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

$$g = \text{valversnelling [m/s}^2\text{]}$$

$$m = V \cdot \rho$$

$$V = \text{volume [m}^3\text{]}$$

$$\rho = \text{dichtheid [kg/m}^3\text{]}$$

$$V = A \cdot h$$

$$A = \text{oppervlakte [m}^2\text{]}$$

$$h = \text{hoogte [m]}$$

Uit bovenstaande formules volgt:

$$F = A \cdot h \cdot \rho \cdot g \quad \rightarrow \quad h = \frac{F}{A \cdot \rho \cdot g}$$

De maximale aanzuighoogte wordt bepaald aan de hand van de kracht die nodig is om een kolom water een vacuüm te laten trekken. De kracht die een kolom water maximaal kan uitoefenen is dus gelijk aan de luchtdruk op hetzelfde oppervlak.

$$p_{\text{lucht}} = 1.013 \text{ mbar} = 101.300 \text{ Pa} = 101.300 \text{ N/m}^2$$

Om met een kolom zeewater met dichtheid ρ en doorsnede A een druk gelijk aan de luchtdruk op de doorsnede te veroorzaken is een gewicht water nodig van 101.300 N/m^2 .

$$F = 101.300 \text{ N/m}^2$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{zeewater}} = 1028,1 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = \frac{101.300}{1 \cdot 1028,1 \cdot 9,81} = 10,04 \text{ m}$$

De theoretisch maximale aanzuighoogte van zeewater met een dichtheid van $1028,1 \text{ kg/m}^3$ is 10,04 meter. In de praktijk zal dit echter minder zijn door verliezen in het systeem.

Bijlage IXb Inhoud put en inlaat bij vol- en leegpompen

Leegpompen

Aan de hand van figuur B10.1 zijn de oppervlaktes van de inlaat en de put te vinden.

Koelwaterinlaat: $101,86 \text{ m}^2$

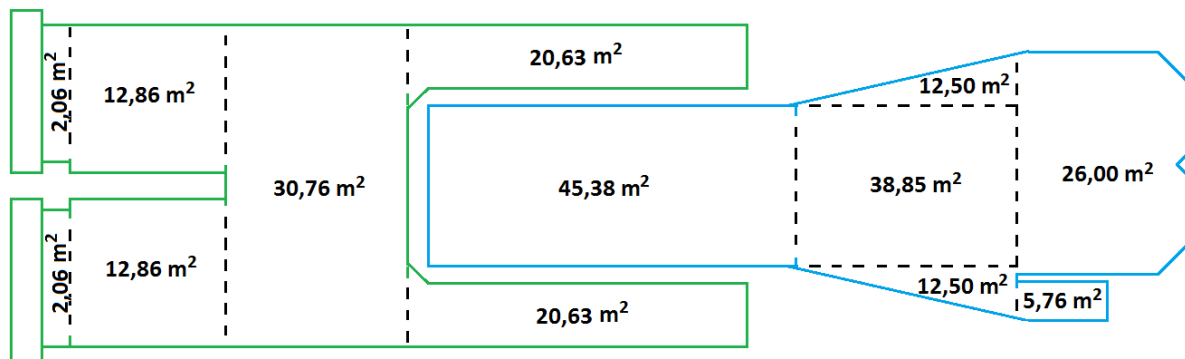
Koelwaterput: $140,99 \text{ m}^2$

Het grootste gedeelte van de put en inlaat zal leeggepompt worden door de hulpkoelwaterpomp. Deze kan de put leegpompen tot een niveau van 2,5. De inlaat kan leeggepompt worden tot een niveau van 2,9 m (hoogte doorgang tussen inlaat en put is 2,9 m boven bodem van de inlaat). Beide ruimtes zullen apart leeggepompt moeten worden.

De hoeveelheid water die dus nog uit de inlaat en put gepompt moet worden is:

Inlaat: $2,9 * 101,86 = 295 \text{ m}^3$

Put: $2,5 * 140,99 = 352 \text{ m}^3$



Figuur B10.1 Plattegrond koelwatersysteem

Volpompen

Beide ruimtes kunnen tegelijk volgepompt worden. Er hoeft dus maar naar één punt water gepompt te worden. De bodem van de inlaat ligt op -7,7mNAP. Bij hoog-hoog tij staat er dus ongeveer 10,7 m water in de koelwaterinlaat en bij laag-laag tij ongeveer 6,1 m (bijlage III). De inhoud is dus:

Hoog-hoog tij: 1085 m^3

NAP: 784 m^3

Laag-laag tijd: 620 m^3

De bodem van de put ligt op -8,2mNAP. Bij hoog-hoog tij staat er dus ongeveer 11,2 m water in de koelwaterput en bij laag-laag tij ongeveer 6,6 m. De oppervlakte van de inlaat is ongeveer 141 m^2 (figuur 3.5).

De inhoud is dus:

Hoog-hoog tij: 1579 m^3

NAP: 1156 m^3

Laag-laag tijd: 931 m^3

Het totale volume dat verpompt moet worden bij volpompen is dus:

Hoog-hoog-tij: 2664 m^3

NAP: 1940 m^3

Laag-laag-tij: 1551 m^3

Bijlage IXc Diameter kleppen

In deze berekeningen zijn geen verliezen door weerstand e.d. meegenomen.

Wet van Torricelli: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$

v = stroomsnelheid [m/s]

g = valversnelling [m/s^2]

h = Hoogte verschil van het water (voor en na klep) [m]

$\Phi_V = v \cdot A$

Φ_V = volumestroom [m^3/s]

A = oppervlakte doorsnede klep [m^2]

$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,5 \cdot d)^2$

r = radius klep [m]

d = diameter klep [m]

Uit bovenstaande formules volgt:

$\Phi_V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot d)^2$ en $t = V/\Phi_V$

$$d = 2 \sqrt{\frac{V}{t \sqrt{2gh\pi}}}$$

Klep in drijvende stoplogs

Inhoud put en inlaat bij h.h. water

2664 m^3

Inhoud put en inlaat bij NAP

1940 m^3

Inhoud put en inlaat bij l.l. water

1551 m^3

Om de pomptijd van 2 uur te garanderen zullen de kleppen een gemiddelde capaciteit moeten hebben van $2664/4 = 666 \text{ m}^3/\text{h}$ (185 L/s) bij hoog-hoog water en $1551/4 = 388 \text{ m}^3/\text{h}$ (108 L/s) bij laag-laag water.

Waterstand t.o.v. klep bij h.h. water

+/- 10,5 m

Waterstand t.o.v. klep bij NAP

+/- 7,5 m

Waterstand t.o.v. klep bij l.l. water

+/- 6 m

Inhoud put en inlaat bij h.h. water

2664 m^3

Inhoud put en inlaat bij NAP

1940 m^3

Inhoud put en inlaat bij l.l. water

1551 m^3

Beschikbare tijd waarin een klep de put en inlaat gevuld moet hebben is twee uur. Daadwerkelijk zou het 4 uur zijn (2 kleppen hebben in 2 uur dezelfde capaciteit als 1 klep in 4 uur) Marge wordt genomen in verband met verliezen door weerstand in de stoplog.

Diameter klep bij h.h. water

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$h = 10,5 \text{ m}$

$V = 2664 \text{ m}^3$

$$d = 2 \sqrt{\frac{2664}{7200 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 10,5} \cdot \pi}} = 0,18 \text{ m}$$

Diameter klep bij NAP

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$h = 7,5 \text{ m}$

$V = 1940 \text{ m}^3$

$$d = 2 \sqrt{\frac{1940}{3600 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 7,5} \cdot \pi}} = 0,17 \text{ m}$$

Diameter klep bij l.l. water

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$h = 10,5 \text{ m}$

$V = 2664 \text{ m}^3$

$$d = 2 \sqrt{\frac{1551}{3600 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6} \cdot \pi}} = 0,16 \text{ m}$$

IXd Sterkteberekening stoplogs

In deze bijlage wordt berekend voor meerdere materialen hoe dik een stoplog moet zijn.

Aanpak

Om bezwijken van de stoplog te voorkomen wordt de maximale Von Mises spanning in het materiaal vergeleken met de vloeispanning van het materiaal. Dit is een eigenschap van het materiaal en heeft een vaste waarde. Wanneer de Von Mises spanning lager is als de vloeispanning zal de stoplog niet bezwijken.

De Von Mises spanning is niet gelijk over de stoplog. Om het maximum te bepalen zal de stoplog verdeeld worden in kleinere componenten (blokjes) en zal de Von Mises spanning voor ieder blokje uitgerekend worden. De Von Mises spanning in een blokje is te berekenen door de trek- en schuifspanningen in het blokje te bepalen.

De kracht die het water uitoefent op de stoplogs wanneer deze in gebruik zijn vormen een verdeelde belasting q over de lengte van de stoplog. Voor deze belasting wordt een formule bepaald. Aan de hand van de verdeelde belasting kunnen de interne dwarskrachten en interne momenten per blokje bepaald worden. Aan de hand van de inwendige dwarskrachten en momenten en de afmetingen van de stoplog kunnen de trek- en schuifspanning bepaald worden.

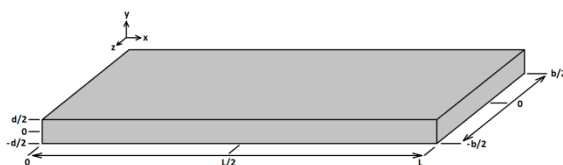
Aannames en opmerkingen

Om een sterkteberekening te kunnen maken zijn ten eerste een aantal aannames gedaan:

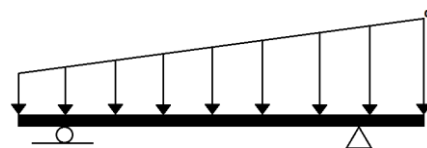
1. Het systeem is in evenwichtstoestand; wanneer de stoplogs worden gebruikt zullen de er alleen statische effecten optreden.
2. Er wordt uitgegaan van de maximale belasting. Dit is bij hoog-hoog water (+2,95 mNAP).
3. De krachten die op de stoplog uitgeoefend worden zijn die van de waterdruk. De krachten opgewekt door het eigen gewicht zijn te verwaarlozen.
4. De stoplog is simpel opgelegd. De bevestiging van de stoplog wordt aan de onderzijde gezien als een scharnier en aan de bovenzijde als een roloplegging (figuur B10.3)
5. De stoplogs zijn gemaakt van één materiaal welke homogeen.
6. De stoplog is symmetrisch.

Daarnaast zijn er een aantal opmerkingen welke belangrijk voor de berekening van de sterkte.

1. Het coördinatenstelsel is gedefinieerd zoals te zien is in figuur B10.2
 x-richting In de lengte (L) richting
 y-richting In de dikte (d) richting
 z-richting In de breedte (b) richting
2. De lengte van de stoplog loopt van 0 tot L
 De dikte van de stoplog loopt van $-d/2$ tot $d/2$
 De breedte van de stoplog loopt van $-b/2$ tot $b/2$ figuur B10.2
3. Het krachtenspel is te zien in figuur B10.3



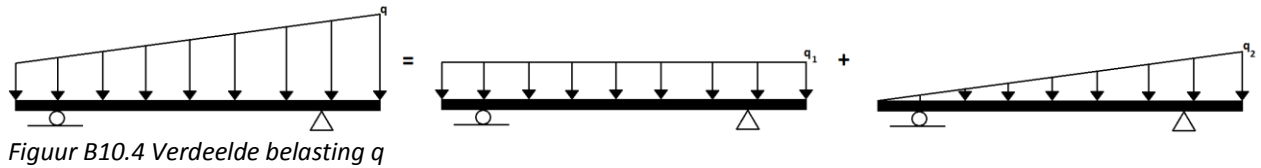
Figuur B10.2 Geometrische situatie



Figuur B10.3) Krachtenspel op de stoplog

Bepaling van de verdeelde belasting q en zijn resulterende kracht

De verdeelde belasting q bestaat uit een constante verdeelde belasting en een oplopende verdeelde belasting. De resultante van beide krachten is hieronder in formulevorm gegeven.



$q_1 = \rho_w \cdot g \cdot b \cdot (h - L)$	$q_1 = 1024 \cdot 9,81 \cdot 3,95 \cdot (11 - 5,6) = 214269,2352 \text{ N/m}$
$q_2 = \rho \cdot g \cdot b \cdot x$	$q_2 = 1024 \cdot 9,81 \cdot 3,95 \cdot x = 39679,488 \cdot x \text{ N/m}$
$q = q_1 + q_2$	$q = 214269,2352 + 39679,488 \cdot x \text{ N/m}$

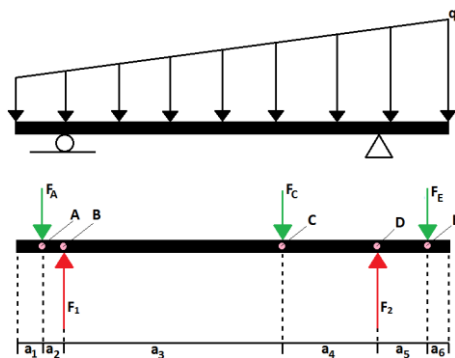
$$q = 214269,2352 + 39679,488 \cdot x \quad [6.1]$$

Een verdeelde belasting heeft een resulterende kracht. Deze wordt berekend door formule 6.1 voor de belasting te integreren. De formule voor de resulterende kracht is dan:

$$F_{\text{res}} = 214269,2352 \cdot x + 19839,744 \cdot x^2 \quad [6.2]$$

Splitting van de stoplog in 3 segmenten

Omdat de oplegging van de stoplog uit 3 delen bestaat (voor het 1^e steunpunt, tussen 2 steunpunten en na 2^e steunpunt) zullen de interne dwarskrachtfuncties en interne momentfuncties variëren. Daarom wordt de resulterende kracht van de verdeelde belasting voor ieder segment bepaald. De aangrijpingspunten voor deze resulterende krachten zijn bepaald aan de hand van de berekening in bijlage IXe (figuur B10.5 en tabel B10.1).



$a_1 + a_2 = 0,55 \text{ m}$	$a_1 = 0,7071068578 \cdot 0,55 = 0,3889087718 \text{ m}$
$a_3 + a_4 = 4,70 \text{ m}$	$a_2 = 0,55 - 0,3889087718 = 0,1610912282 \text{ m}$
$a_5 + a_6 = 0,35 \text{ m}$	$a_3 = 0,7071068578 \cdot 4,70 = 3,323402232 \text{ m}$
	$a_4 = 4,70 - 3,323402232 = 1,376597768 \text{ m}$
	$a_5 = 0,7071068578 \cdot 0,35 = 0,2474874002 \text{ m}$
	$a_6 = 0,35 - 0,2474874002 = 0,1025125998 \text{ m}$

Tabel B10.1 Aangrijpingspunten resulterende krachten

Figuur B10.5 Resulterende krachten

Deze segmenten zijn a_1+a_2 , a_3+a_4 en a_5+a_6

- 1^e segment: x tussen 0 en 0,55 m.
- 2^e segment: x tussen 0,55 en 5,25 m.
- 3^e segment: x tussen 5,25 en 5,60 m.

Per segment zijn de resulterende krachten (aangegeven met groene pijlen):

$$\begin{aligned}
 \text{1^e segment} \quad F_A &= 214269,2352 \cdot x + 19839,744 \cdot x^2 \\
 &= 214269,2352 \cdot 0,55 + 19839,744 \cdot 0,55^2 = 123849,6019 \text{ N} \\
 \text{2^e segment} \quad F_C &= 214269,2352 \cdot x + 19839,744 \cdot x^2 - F(a_1 + a_2)_{\text{res}} \\
 &= 214269,2352 \cdot 5,25 + 19839,744 \cdot 5,25^2 - 123849,6019 = 1547896,827 \text{ N} \\
 \text{3^e segment} \quad F_E &= 214269,2352 \cdot x + 19839,744 \cdot x^2 - F(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)_{\text{res}} \\
 &= 214269,2352 \cdot 5,60 + 19839,744 \cdot 5,60^2 - 1671746,429 = \\
 &150335,6602 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Grootte van de reactiekrachten

De stoplog is in rust, omdat de steunpunten de krachten van het water opvangen door tegengestelde krachten te geven. Deze reactiekrachten zijn weergegeven met rode pijlen in figuur B10.5 Om de reactiekrachten te berekenen wordt het resulterende moment om punt B gelijk gesteld aan 0 (stoplog in rust).

$$\sum M_B = 0$$

$$M_B = -F_A \cdot a_2 - F_C \cdot a_3 + F_2 \cdot (a_3 + a_4) - F_E \cdot (a_3 + a_4 + a_5) = 0$$

$$F_2 = \frac{-F_A \cdot a_2 + F_C \cdot a_3 + F_E \cdot (a_3 + a_4 + a_5)}{(a_3 + a_4)}$$

$$F_2 = \frac{-123849,6019 \cdot 0,1610912282 + 1547896,827 \cdot 3,323402232 + 150335,6602 \cdot 4,9474874}{4,70}$$

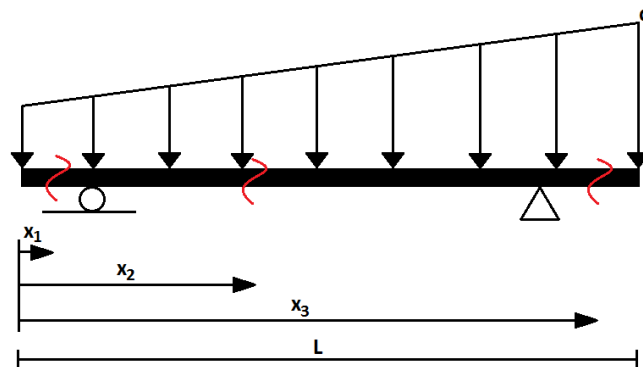
$$F_2 = 1248535,419 \text{ N}$$

$$F_1 = F_{\text{res}} - F_2 = 2214269,2352 \cdot L + 19839,744 \cdot L^2 - F_2$$

$$F_1 = 214269,2352 \cdot 5,6 + 19839,744 \cdot 5,6^2 - 1248535,419 = 573546,6698 \text{ N}$$

Berekening van de interne dwarskrachten en interne momenten

Om de momenten en dwarskrachten te kunnen bepalen per segment, worden snedes gemaakt in de 3 segmenten. Per segment kunnen de formules vervolgens bepaald worden voor de interne dwarskrachten en interne momenten.



Figuur B10.6 Snedes maken in de 3 segmenten

1^e segment ($x = 0$ t/m $x = 0,55$) (figuur B10.7)

$$F_A = 214269,2352 \cdot x + 19839,744 \cdot x^2, \text{ met } x = 0 \text{ t/m } 0,55$$

$$\uparrow^+ \sum F_z = 0$$

$$-F_A + V_1 = 0$$

$$V_1 = F_A$$

$$V_1 = 214269,2352 \cdot x_1 + 19839,744 \cdot x_1^2 \quad [6.3]$$

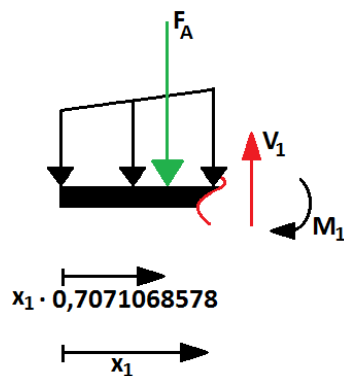
$$\circlearrowleft^+ \sum M = 0$$

$$-F_A \cdot -(0,2928931422 \cdot x_1) + M_1 = 0$$

$$M_1 = -F_A \cdot (0,2928931422 \cdot x_1)$$

$$M_1 = -(214269,2352 \cdot x_1 + 19839,744 \cdot x_1^2) \cdot (0,2928931422 \cdot x_1)$$

$$M_1 = -62757,98957 \cdot x_1^2 - 5810,924961 \cdot x_1^3 \quad [6.4]$$



Figuur B10.7 Vrijlichaamschema 1^e segment

3^e segment ($x = 0,5,25 \text{ t/m } x = 5,60$) (figuur B10.9)

$$F_A = 123849,6019 \text{ N}$$

$$F_1 = 573546,6698 \text{ N}$$

$$F_C = 1547896,827 \text{ N}$$

$$F_2 = 1248535,419 \text{ N}$$

$$F_E = 214269,2352 \cdot x + 19839,744 \cdot x^2 - 1671746,429, \text{ met } x = 5,25 \text{ t/m } 5,60$$

$$\uparrow^+ \sum F_z = 0$$

$$-F_A + F_1 - F_C + F_2 - F_E + V_3 = 0$$

$$V_3 = F_A - F_1 + F_C - F_2 + F_E$$

$$V_3 = 123849,6019 - 573546,6698 + 1547896,827 - 1248535,419 + 214269,2352 \cdot x_3 + 19839,744 \cdot x_3^2 - 1671746,429$$

$$V_3 = 19839,744 \cdot x_3^2 + 214269,2352 \cdot x_3 - 1822082,089 \quad [6.7]$$

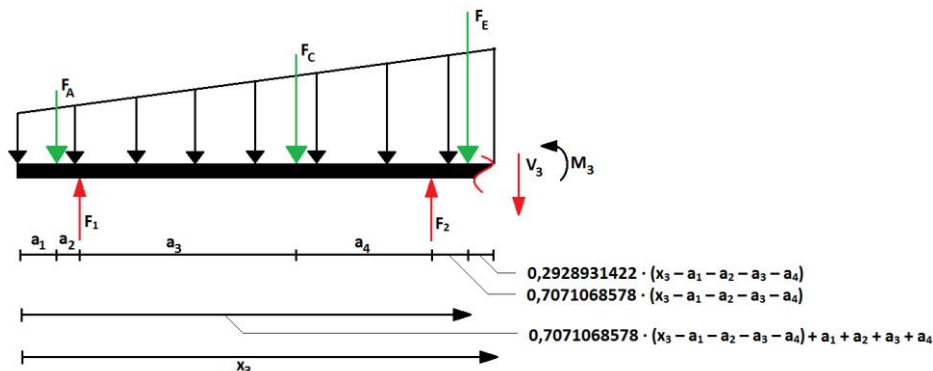
$$\curvearrowright^+ \sum M = 0$$

$$-F_A \cdot -(x_3 - a_1) + F_1 \cdot -(x_3 - a_1 - a_2) - F_C \cdot -(x_3 - a_1 - a_2 - a_3) + F_2 \cdot -(x_3 - a_1 - a_2 - a_3 - a_4) - F_E \cdot -(0,2928931422 \cdot (x_3 - a_1 - a_2 - a_3 - a_4)) + M_3 = 0$$

$$M_3 = -F_A \cdot (x_3 - a_1) + F_1 \cdot (x_3 - a_1 - a_2) - F_C \cdot (x_3 - a_1 - a_2 - a_3) + F_2 \cdot (x_3 - a_1 - a_2 - a_3 - a_4) - F_E \cdot (0,2928931422 \cdot (x_3 - a_1 - a_2 - a_3 - a_4))$$

$$M_3 = -123849,6019 \cdot (x_3 - 0,3889087718) + 573546,6698 \cdot (x_3 - 0,55) - 1547896,827 \cdot (x_3 - 3,873402232) + 1248535,419 \cdot (x_3 - 5,25) - (214269,2352 \cdot x_3 + 19839,744 \cdot x_3^2 - 1671746,429) \cdot (0,2928931422 \cdot (x_3 - 5,25))$$

$$M_3 = -5810,924961 \cdot x_3^3 - 32250,63352 \cdot x_3^2 + 969458,1699 \cdot x_3 - 3397094,487 \quad [6.8]$$



Figuur B10.9 Vrijlichaamschema 3^e segment

Bepalen van de trek- en schuifspanningen

Door de stoplog in x- en y-richting te verdelen in kleine blokjes kan het blokje met de grootste combinatie van tek- en schuifspanning en dus de grootste Von Mises spanning gevonden worden. Het punt met de maximale Von Mises spanning bepaalt uiteindelijk de dikte van de stoplog. In Excel is een dergelijke verdeling van de stoplog gemaakt.

De lengte van de stoplog (x-as) is verdeeld in stukjes van 1/112 keer de lengte (van x=0 tot x=L). Omdat de stoplog een lengte van 5,6 meter heeft zijn deze stukjes ieder 0,05 meter lang. De dikte van de stoplog (y-as) is verdeeld in 1/50 keer de dikte van de stoplog (van y=-d/2 tot y=d/2 met y=0 als midden). De dikte van de stoplog is nog nader te bepalen en dus variabel. Het aantal punten waarvoor de spanningen worden bepaald is $112 \cdot 50 = 5600$.

De trekspanning wordt berekend met formule 6.9

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad [6.9]$$

Hierin is M het interne moment (formule 6.4, 6.6 en 6.8), y is de afstand van het blokje tot y=0 (neutrale as) en I is het traagheidsmoment. Het traagheidsmoment is afhankelijk van vorm van de doorsnede van de stoplog. In dit geval is de formule voor het traagheidsmoment:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot d^3 \quad [6.10]$$

De schuifspanning wordt berekend met formule 6.11

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \quad [6.11]$$

Hierin is V de interne dwarskracht (formule 6.3, 6.5 en 6.7), I is het traagheidsmoment (formule 6.10), b is de breedte van de stoplog en Q is een product van $\bar{y}'$ en A' (figuur B10.10)

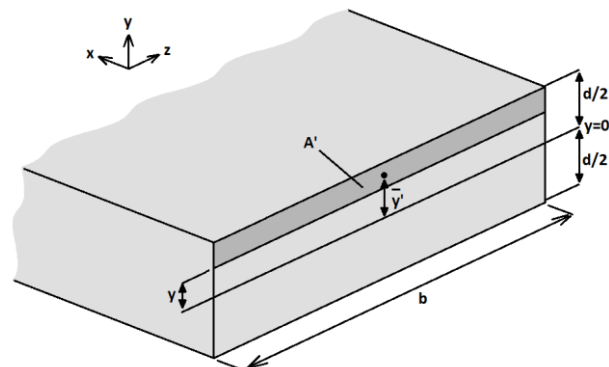
$$Q = \bar{y}' \cdot A'$$

$$\bar{y}' = y + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d}{2} - y \right)$$

$$A' = \left(\frac{d}{2} - y \right) \cdot b$$

De formule voor de schuifspanning wordt dan:

$$\tau = \frac{6 \cdot V}{b \cdot d^3} \cdot \left(\frac{d^2}{4} - y^2 \right) \quad [6.12]$$



Figuur B10.10 Schuifspanning in stoplog

Door vergelijking 6.9 en 6.12 in te vullen voor ieder blokje wordt voor ieder blokje de trek- en schuifspanning bepaald.

Bepalen van de Von Mises spanning

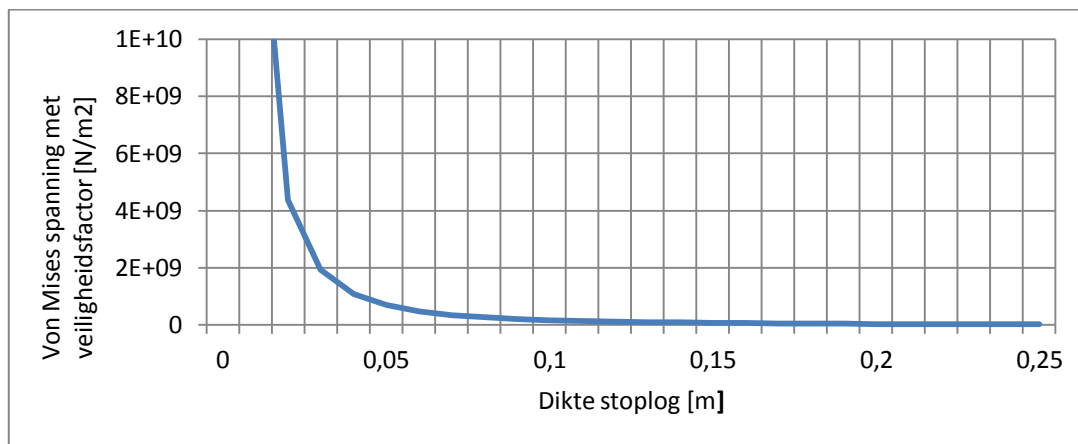
De Von Mises spanning wordt berekend met formule 6.12

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \frac{1}{2}(\sigma_y - \sigma_z)^2 + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad [6.12]$$

Omdat in de z-richting geen inwendige dwarskrachten of inwendige momenten aanwezig zijn, zijn volgens formule 6.9 en 6.12 de trek- en schuifspanning en deze richting 0. Ook is er een veiligheidsfactor VF vereist. Deze is gelijkgesteld aan de veiligheidsfactor die gebruikt is voor de constructie van de huidige stoplogs en heeft een waarde van 1,978. Hierdoor wordt de formule voor de Von Mises spanning vereenvoudigd tot:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \cdot 1,978 \quad [6.13]$$

De maximale Von Mises spanning is bepalend voor de sterkteberekening en is afhankelijk van de dikte van het materiaal. In grafiek B10.1 is de maximale Von Mises spanning uitgezet tegen de dikte van de stoplog tot een maximale dikte van 0,25 m (aangezien de sleuven in de koelwaterinlaat 0,25 m breed zijn). Hierin is ook een veiligheidsfactor meegenomen van 1,978.



Grafiek B10.1 Von Mises spanning bij bepaalde dikte stoplog

Benodigde dikte per materiaal

De Von Mises spanning moet lager liggen als de vloeispanning van het materiaal waarvan de stoplog is gemaakt. Hierdoor wordt voorkomen dat het materiaal niet plastisch zal vervormen. In tabel B10.2 is de benodigde dikte gegeven voor een aantal materialen. Aan de hand van de dikte kan met behulp van de dichtheid het materiaal bepaald waarmee de stoplog zo licht mogelijk gemaakt kan worden.

Materiaal	Vloeispanning σ_v [N/m ²]	Dichtheid ρ [kg/m ³]	Minimale dikte stoplog d [m]	Volume stoplog L·b·d [m ³]	Gewicht stoplog m [kg]
Ongelegeerd staal (0,9% gew. C)*	$6,00 \cdot 10^8$	7800	0,055	1,2166	9489
Roestvast staal ferritisch (AISI 446)**	$3,45 \cdot 10^8$	7500	0,072	1,5926	11945
Aluminiumlegering AlZn ₅ Mg ₂	$5,00 \cdot 10^8$	2800	0,060	1,3272	3716
Magnesiumlegering MgAl ₃ Zn ₁ (plaat)	$1,20 \cdot 10^8$	1800	0,120	2,6544	4778
Titaniumlegering TiAl ₆ V ₄	$8,25 \cdot 10^8$	4400	0,047	1,0396	4574
CFRP***	$10,50 \cdot 10^8$	1600	0,041	0,9069	1451

Tabel B10.2 Dikte en gewicht van stoplog per materiaal

* Ongelegeerd staal waarvan 0,9% van het gewicht bestaat uit koolstof.

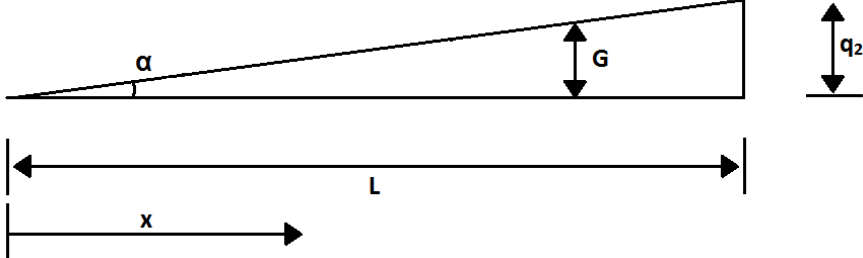
** Bevat 23 tot 27 gewichtsprocent chroom

*** Carbon Fibre Reinforced Polymer (Koolstofvezel versterkte kunststof).

Epoxy met continu hoge sterkte koolstofvezel versterking (0, +- 45, 90), quasi isotropische opbouw

Bijlage IXe Het zwaartepunt van een driehoek met een rechte hoek:

Om het aangrijpingspunt van de verdeelde belasting te kunnen berekenen zal het zwaartepunt van de driehoek berekend moeten worden. Het zwaartepunt van een driehoek met een rechte hoek ligt op het punt waarbij beide helften van de driehoek dezelfde oppervlakte hebben. Hierbij is x variabel met een mee variërende G .

$A = \frac{1}{2} \cdot L \cdot q_2$ $\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{q_2}{L} \right)$ Plaats zwaartepunt is bij $\frac{1}{2} \cdot A$ $\frac{1}{2} \cdot A = \frac{1}{2} \cdot x \cdot G \rightarrow A = x \cdot G$ $G = x \tan \alpha$ $A = x^2 \cdot \tan \alpha \rightarrow x = \sqrt{\frac{A}{\tan \alpha}}$	$A = \frac{1}{2} \cdot 5,6 \cdot 111102,5664 = 311087,1859$ $\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{111102,5664}{5,6} \right) = 89,99711207^\circ$ $x = \sqrt{\frac{311087,1859}{\tan 89,99711207}} = 3,959798404 \text{ m}$
	

Het zwaartepunt van de verdeelde belasting bevindt zich op 3,959798404 meter. Dit is op 0,7071068578 keer de lengte.