

Afstudeeropdracht

Beste werkmethodiek voor plaatsing dijkbekleding op zeedijk



12-03-2018

Hoofdrapport

Koen van Velzen, 551856



Afstudeeropdracht: Wat is de beste werkmethode voor het plaatsen van een nieuw ontwikkeld type dijkbekleding op een zeedijk?

Rapport: Hoofdrapport

Colofon

Opdrachtgever:	Hogeschool Arnhem en Nijmegen
Auteur:	Koen van Velzen, 551856
Gecontroleerd:	C. van der Giessen, Ernst Rob
Datum:	12-03-2018
Documentnaam:	Hoofdrapport
Versie:	1.0
Tekstgedeelte:	28 pagina's
Aantal bijlagen:	-



Voorwoord

Voor u ligt mijn afstudeeronderzoek, uitgevoerd ter afsluiting van de opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool Arnhem en Nijmegen. Dit onderzoek is gericht op de ontwikkeling en optimalisering van de beste werkmethode voor het plaatsen van een nieuw type dijkbekleding op de zeedijk in Den Oever. Gedurende het onderzoek zijn diverse civieltechnische vraagstukken onderzocht en beantwoord. Met de verschillende producten in dit rapport toon ik aan dat mijn competentieniveau voldoende is voor het afstuderen aan de opleiding Civiele Techniek.

Mijn dank gaat uit naar Combinatie Aan Den Oever, in het bijzonder naar Hakkers bv, wegens het beschikbaar stellen van tijd, informatie, machines en producten. Hierdoor is het mogelijk geweest om een onderzoek uit te voeren dat van dergelijke meerwaarde is gedurende de uitvoeringsperiode van de dijkversterking.

Daarnaast wil ik mijn studiebegeleiders Casper van der Giessen en Ernst Rob bedanken voor hun ondersteuning tijdens dit onderzoek.

Koen van Velzen

Den Oever, 12 maart 2018

Samenvatting

In het noorden van de provincie Noord-Holland, aan de voet van de Afsluitdijk, ligt het vissersdorp Den Oever. Dit dorp en de omringde 22.500 hectare worden beschermd door dijkkring 12. Deze dijkkring grenst deels aan het IJsselmeer en de Waddenzee. Uit de laatste veiligheidskeuring in 2006 is gebleken dat een deel van de dijk niet meer aan de huidige eisen voldoet. De dijk is afgekeurd op het faalmechanisme golfoverslag. Het gaat om een deel van ruim 900 meter zeedijk, ter hoogte van het dorp Den Oever.

De dijk moet verhoogd worden om opnieuw aan de eisen te voldoen. Deze verhoging valt echter niet in goede aarde bij de bewoners en ondernemers in Den Oever. Wanneer de dijk enkele meters hoger wordt, zouden velen hun uitzicht verliezen. Bewoners die woonachtig zijn achter de dijk zijn daardoor bang voor een daling van de waarde van hun woning. Wegens de felle weerstand is gekozen om de zeedijk opnieuw te ontwerpen en hierbij naar innovatieve oplossingen te kijken. Men is tijdens het ontwerp erin geslaagd om door middel van een getrapte dijkbekleding een oplossing te bedenken die de hoogte van de dijk reduceert. Dit door een golfremming te veroorzaken die van sterke invloed is op de golfploop en golfoverslag. Met deze oplossing zou de dijkverhoging zich beperken tot maximaal 1,5 meter. Deze sterke daling van de nieuwe dijkhoogte heeft ervoor gezorgd dat de bewoners zich erbij hebben neergelegd.

In 2016 is het werk op de markt gebracht en aanbesteed aan Combinatie Aan Den Oever V.O.F. een combinatie van Hakkers en Van Oord. Deze bedrijven zijn gestart met de optimalisering van het voorontwerp dat de opdrachtgever heeft aangeleverd. Na verloop van tijd is een nieuw type dijkbekleding ontworpen dat betere eigenschappen zou bieden.

Aangezien de dijkbekleding voor het eerst toegepast wordt, is deze eerst beproefd in de Westerscheldegoet van Deltares en daarbij akkoord bevonden.

De dijkbekleding is door een 3D-modelleur ontworpen en zo opgezet dat deze aan de eisen voldoet die uit de berekeningen voortkomen. De belangrijkste eisen bevinden zich in de minimale en maximale tussenruimte tussen ieder afzonderlijk element, dat 10-20 millimeter moet bedragen. De totale dijkbekleding is opgebouwd uit 2600 afzonderlijke elementen.

Het verwerkelijken van dit ontworpen blokkenmodel gaat door de strenge eisen, een grote uitdaging worden. Doel van dit onderzoek is om uitvoeringsprocessen te vergelijken, waardoor het beste proces naar voren komt.

Gedurende dit onderzoek is gekeken wat de beste wijze is om de elementen uit te voeren en te fabriceren: het storten van elementen op locatie of prefabricage in een fabriek.

Hoofddoel van dit onderzoek is de maakbaarheid van het opgestelde blokkenontwerp te onderzoeken. Door elke stap van het uitvoeringsproces goed te bekijken en waar mogelijk een vergelijking op te stellen, is onderzocht wat de meest gunstige, goedkope, effectieve maar vooral de meest veilige werkmethode is. Door diverse keuzematrices op te stellen, zijn alle mogelijkheden eerlijk overwogen.

De uit te voeren werkzaamheden zijn voor dit onderzoek in een vroeg stadium bekeken. Hierdoor is het mogelijk om speciale materieelstukken op tijd te laten fabriceren. De werkmethode is onderzocht, waardoor de toe te passen hijsvoorziening en de kranen in het rapport beschreven staan. Dit onderzoek is versterkt door praktijkuitgevoerde pilots.

Summary

In the northern part of the Dutch province of North-Holland, at the foot of the 'Afsluitdijk', the fishing village 'Den Oever' is located. The village and an area of 22.500 hectares is protected by dike ring number 12. This area borders partially the Lake IJssel and the Wadden Sea. In the last test round of the primary water defences which has been executed in 2006, it appeared that a part of the dike did not meet the current safety requirements anymore. The dike has been disapproved, because of the failure mechanism wave overtopping. The affected area consists out of approximately 900 meters of sea dike, located at the village of 'Den Oever'.

In order to reassure that the dike meets the safety requirements again, its height need to be increased. Although, the inhabitants and entrepreneurs of 'Den Oever' did not respond positively on the necessary adjustments. Due to the fact that the height of the dike will increase, they would loose their views. The inhabitants who are living behind the dike are afraid that the value of their property would decrease due to the modifications. Because of the fierce resistance, the decision has been made to redesign the sea dike and to apply innovative solutions in order to come up with another alternative. During this process the designers have succeeded to implement 'staged dike revetment', which would reduce the dike height. This implementation will inhibit the waves, which have a large influence on the wave run-up and wave overtopping. With this innovative solution, the increasement is reduced to a maximum of 1,5 meters. The large reduction of the new dike height satisfied the inhabitants of the village and the project could continue to the next phase.

In 2016 the project has been brought to the market and contracted to the 'Combinatie Aan Den Oever', a combination of Hakkers and Van Oord. These organisations started the optimisation of the primarily design, which has been provided by the client. During this process, a new type of element has been developed, which contains more suitable characteristics for the application of dike revetment. Due to the fact, that it would be the first time this type of dike revetment will be applied, it had to be approved by the 'Wester Scheldegraaf' of Deltaris. After their analysis, the party agreed with this solution.

The dike revetment is designed by a 3D-modeller and has been set up in such a way it meets the requirements that have been retrieved from the calculations. The most important requirements are based on the minimum and maximum intervals between the single elements, which have to be between the 10 and 20 millimeters. The total dike revetment will be constructed with 2600 single elements.

During this research, the focus is put of the execution and construction of the elements. The choice consisted out of whether to construct the elements, in-situ or prefab, in a factory.

The main goal of this research is to confirm the feasibility of the project using the design with the specific and unique elements. By analysing every step in the execution process, and where possible set up comparisons, the goal was to find the most preferable, economical, effective, but mainly the safest working method. Using a multicriteria analysis to compare several options and methods, all possibilities have been compared by an equal chance.

By doing this research, the execution phase involved in an early stage of the project. Due to this, it is possible to manufacture special materials on time.

This report, which is laying in front of you, contains the base for the execution method which will be started in may 2018. This report, is the foundation which will be used as a source, which can be used during the preparation and the execution phase.



Inhoudsopgave

Colofon	2
Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
Summary	5
Inhoudsopgave	6
1. Probleemanalyse	8
1.1. Hoofdvraag	8
1.2. Probleemstelling.....	8
1.3. Doelstelling	8
1.4 Leeswijzer	8
2. Projectintroductie	9
2.1. Aanleiding.....	9
2.2. Gunning	10
2.3. Ontwerp.....	10
3. Getrapte bekleding.....	11
3.1. Ontwerp elementen	11
3.2. Prefab of in-situ	11
3.2.1. Samenvatting.....	12
4. Plaatsingsmethodiek	13
4.1. Vergelijking hijsvoorzieningen.....	13
4.1.1. Hefmagneet.....	13
4.1.2. Mechanisch inklemmen	14
4.1.3. Hydraulisch inklemmen	14
4.1.4. Hijsvoorziening in last.....	15
4.1.5 Dragen	15
4.1.6. Vacuümlifter	15
4.1.7. Vacuümlifter met centreerhulp.....	15
4.2. Resultaten trade-off matrix 'hijsvoorziening'	16
4.3. Vergelijking kranen.....	18
4.3.1. Rupskraan	18
4.3.2. Los/Overslagkraan	18
4.3.3. Telekraan	18
4.3.4. Verreiker	19



4.3.5. Rupstelescoopkraan	19
4.3.6. Mobiele kraan.....	19
4.3.7. Geluidsberekening.....	19
4.4. Resultaten keuzematrix 'kranen'	20
5. Positionering betonnen elementen.	22
5.1. Tussenafstand elementen.	22
5.1.1. Tussenafstand-houders	23
5.2. Haalbaarheid toleranties.	24
5.3. Afwerken onderliggende filterlaag.....	25
5.4. Plaatsingsmethode op werkgrenzen.	26
6. Pilot.....	27
7. Conclusie en aanbevolen werkwijze	32
7.1. Conclusie	32
7.2. Aanbevolen werkwijze	32
7.2.1. Hijsvoorziening	33
7.2.2 Kraan.....	34
7.2.3. Planning	35
7.2.4. Filterlaag.....	35
7.2. Resumé aanbeveling	36
8. Bibliografie.....	37
8.1. Afbeeldingen en tabellen	37
8.2. Literatuurlijst	39

1. Probleemanalyse

1.1. Hoofdvraag

De dijkversterking in Den Oever heeft geleid tot onderstaand vraagstuk. Er wordt gestreefd naar een efficiënte en doelgerichte oplossing welke praktisch uitvoerbaar moet zijn. Hieruit volgt de volgende hoofdvraag:

“Wat is de beste werkmethode voor het plaatsen van een nieuw ontwikkeld type dijkbekleding op een zeedijk?”

Onderstaande deelvragen worden in dit onderzoek beantwoord:

- Dient er een speciale methode/plaatsingsmaterieel ontwikkeld te worden om de productie te verhogen, en ook direct de totaalkosten te verlagen?
- Zijn de gestelde eisen waaraan de betonnen elementen moeten voldoen tijdens en na het plaatsen praktisch haalbaar?
- Hoe moet er omgegaan worden met het onderlinge hoogte verschil tijdens de aanleg, op de onderlinge scheidingen van werkvakken?

1.2. Probleemstelling

De oudste dijken in Nederland zijn rond 500 voor Christus aangelegd. Sinds die tijd hebben vele ontwikkelingen op het gebied van dijkopbouw plaatsgevonden. Men gebruikte bijvoorbeeld steeds zwaardere materialen om de dijken tegen stormen te beschermen.

Door de eeuwen heen zijn de dijken steeds versterkt. Wegens de steeds strenger wordende eisen is de manier waarop dijken bekleed worden steeds belangrijker geworden.

Bij de aanbesteding van de zeedijk in Den Oever waren de uitvoeringseisen dermate streng dat deze niet op de conventionele manier uit te voeren zijn. Daarom wordt een nieuw ontwikkelde dijkbekleding uitgevoerd als een getrapte bekleding. Door deze trapvormige bekleding worden eventuele golfaanvallen afgeremd, waardoor de hoeveelheid overslaand water wordt verminderd.

Het is noodzakelijk om een methode te ontwikkelen om aan deze gestelde eisen te kunnen voldoen. Daarom worden in dit onderzoek een aantal methoden onderzocht en uiteindelijk een aanbeveling gedaan voor de methode die het meest haalbaar is.

1.3. Doelstelling

Het doel van dit afstudeeronderzoek is het opstellen en bedenken van de beste werkmethode om de getrapte dijkbekleding op de zeedijk te kunnen plaatsen. Het onderzoek naar deze methode wordt voornamelijk gericht op de uitvoerbaarheid in combinatie met de strikte nauwkeurigheid, waaraan de dijkbekleding moet voldoen. De informatie waarmee dit verslag is opgebouwd, is opgedaan bij gespecialiseerde bedrijven. Met deze bedrijven is gedurende het onderzoek diverse malen contact geweest. Om theoretische uitkomsten van dit onderzoek te bekrachtigen, is er gekozen voor het uitvoeren van praktijkgerichte pilots.

1.4 Leeswijzer

Deze scriptie is in totaal opgedeeld in 8 hoofdstukken. In hoofdstuk 1 zal allereerst de probleemstelling, hoofdvraag en deelvragen worden geformuleerd. Hoofdstuk 2 geeft een algemene introductie van het dijkversterking project weer. Vervolgens zal er in hoofdstuk 3 ingegaan worden op het ontwerp van de getrapte bekleding. Vanaf hoofdstuk 4 worden verschillende vergelijkingen gemaakt en specifiek ingegaan op de plaatsingsmethode. Hoofdstuk 5 zet de verschillende werkwijzen rondom de gestelde toleranties uiteen. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de uitgevoerde pilots. De uitkomsten hiervan hebben meegewogen in het beschrijven van de resume en daarbij de aanbevolen werkwijzen, welke beschreven zijn in hoofdstuk 7.

2. Projectintroductie

2.1. Aanleiding

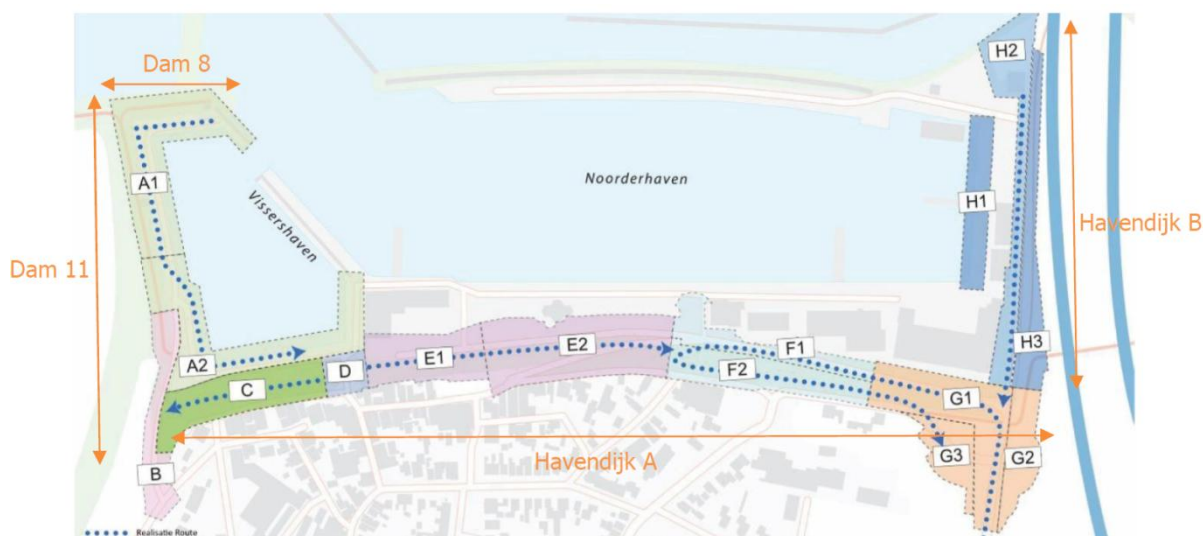
De Havendijk in Den Oever vormt samen met de Waddenzeedijk en de IJsselmeerdijk een gesloten waterkering voor het dijkkringgebied 12, Wieringen en Wieringermeer. Zie afbeelding 1 hieronder.



Afbeelding 1: Overzicht dijkkring 12 (Van Reen, 2011).

Deze dijken beschermen samen het achterland tegen overstromingen vanuit de Waddenzee en het IJsselmeer. Het dijktraject van dit project omvat de kade langs de Vissers- en Noorderhaven en bestaat uit de Havendijk A & B en een deel van Dam 11 (zie afbeelding 2).

De Havendijk in Den Oever is in de tweede landelijke toetsronde van primaire waterkeringen afgekeurd op het faalmechanisme “golfoverslag”. Dit betekent dat de dijk onvoldoende hoog is. Daarom is de dijk van circa 900 meter lengte opgenomen in het tweede Hoogwaterbeschermingsprogramma (Hoogwaterbeschermingsprogramma, 2006). Uitgangspunt daarbij is dat de dijk integraal dient te worden versterkt voor een planperiode van 50 jaar (constructies 100 jaar). Dat betekent dat naast aanpassing van de hoogte ook versterkingsmaatregelen nodig zijn voor onder andere piping, macrostabiliteit en bekleding. Het gehele buitentalud van de 900 meter lange zeedijk moet voorzien worden van een getrapte bekleding. Dit zodat het overslagdebiet significant afneemt en de totale dijkhoogte zodoende af mag nemen. Het exacte ontwerp en opbouw van de bekleding is door de opdrachtgever aan de aannemer ter keuze overgelaten.



Afbeelding 2: overzicht projectgebied (Combinatie Aan Den Oever V.O.F., 2017).

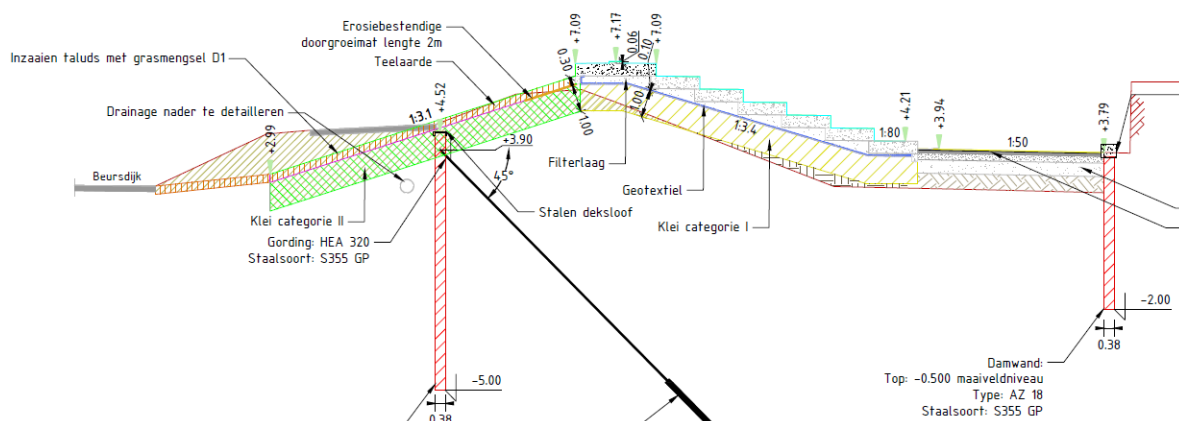
2.2. Gunning

Op 5 oktober 2016 is de opdracht voor de dijkversterking gegund aan aannemerscombinatie Aan Den Oever VOF: een combinatie van Hakkers bv uit Werkendam en Van Oord Nederland bv uit Rotterdam. Beide bedrijven zijn gespecialiseerd in waterbouwkundige werken, waarbij van Van Oord zich richt op grondverzet en baggerwerk en Hakkers op constructieve waterbouw.

2.3. Ontwerp

Vanaf oktober 2016 tot augustus 2017 heeft de aannemerscombinatie gewerkt aan het opstellen en uitwerken van het definitieve dijkversterkingsontwerp. Bij gunning heeft de opdrachtgever een Voor Ontwerp (VO) meegeleverd, waarop de inschrijvingen gebaseerd waren. Dit ontwerp is na gunning verder uitgewerkt tot het Definitieve Ontwerp (DO). Tijdens het opstellen van dit ontwerp zijn berekeningen opnieuw uitgevoerd en oplossingen op diverse wijzen bekeken. Dit heeft geleid tot enkele grote wijzigingen in de constructieve elementen. Zo is gekozen om de damwanden aan de binnenzijde van de dijk hoger naar de kruin te verplaatsen. Dit resulteert in een eenvoudigere uitvoering, maar heeft voor de stabiliteitsberekening geen rekentechnische nadelen.

Een groot onderdeel van dit ontwerp was de ontwikkeling van het blokkenmodel, dat de getrapte bekleding van het buitentalud gaat vormen. Na vele uren heeft de tekenaar het model zo ontwikkeld dat alle circa 2600 elementen op de gewenste onderlinge afstand en hoogte van elkaar gemodelleerd zijn.



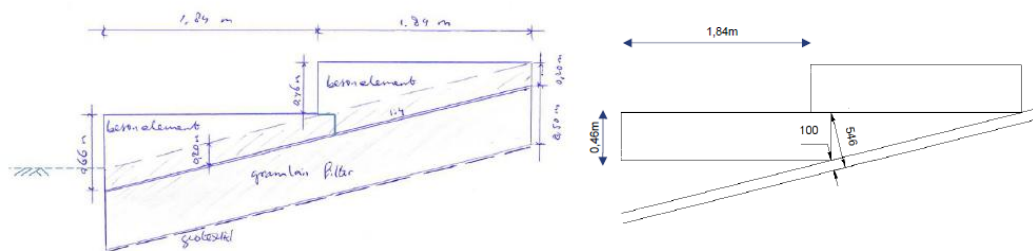
Afbeelding 3: doorsnede dijkprofiel (Combinatie Aan Den Oever V.O.F., 2017).

3. Getrapte bekleding

Een bepalend onderdeel van de dijkversterking is de getrapte bekleding. Dit ontwerp zorgt ervoor dat de dijk minder hoog hoeft te zijn dan voorheen beoogd.

3.1. Ontwerp elementen

Al in een vroeg stadium van de ontwerpfase is er gesproken over de manier waarop de getrapte bekleding zal worden toegepast. Allereerst kwam het model VO-blok welke in afbeelding 4 is weergegeven ter sprake. Dit ontwerp is meegeleverd in het voorontwerp van de opdrachtgever. Na gunning is dit ontwerp van de elementen aangepast tot een nieuwe vorm, het Van Oord-blok. Dit element is rechthoekig in plaats van trapeziumvormig. Zoals aangetoond in tabel 1 zijn de eigenschappen van het nieuwe Van Oord-blok beter. Door deze beter eigenschappen, behaald dit element betere resultaten bij de Steentoets. Op basis van deze toets kan de veiligheid beoordeeld worden van dijkbekledingen.



Afbeelding 4: VO blok en Van Oord blok (Combinatie Aan Den Oever V.O.F., 2017).

Faalmechanismen getrapte bekleding	VO Blok	Van Oord blok	Methode
1. Scheurvorming beschouwing plaatbekleding	✓	✓	CUR rapport 156/ Eurocode
2. Verplaatsen langs het talud (omhoog/omlaag)	✓	✓	PLAXIS (§8.4.6 van de Ontwerpmethodiek)
3. Opdrukken beschouwing individueel element	✓	✓	STEENTOETS2015 (§8.4.4 van de Ontwerpmethodiek) / Statische evenwichtsvergelijking (§8.3.2 van de Ontwerpmethodiek)
4. Uitdrukken blok t.g.v. wateroverdruk tijdens max. rundown	✗	✓	Steentoets/ Statische evenwichtsvergelijking
5. Mechanische belasting (bijv. kruierend ijs, scheepsaanvaring, puin)	✓	✓	Ontwerpmethodiek

Tabel 1: Tabel VO blok versus (Combinatie Aan Den Oever V.O.F., 2017).

3.2. Prefab of in-situ

In de voorbereidingsfase van het project wordt mede op basis van dit onderzoek nagedacht over de beste uitvoeringsmethode van de getrapte bekleding. De wijze van storten is een belangrijk punt van discussie. Om een goed onderbouwde keuze te kunnen maken, is besloten om een keuzematrix op te stellen. Deze keuzematrix, te vinden in bijlage 1, zorgt ervoor dat de uiteindelijke beslissing gegrond en overtuigend is.

De keuze kan gemaakt worden tussen storten van beton op locatie (in-situ) of storten in een fabriek (prefab). Beide uitvoeringsmethodes hebben voor- en nadelen. Zo is de uitvoerbaarheid van in-situ storten erg weersafhankelijk. Bij vorst is storten niet mogelijk en bij zware regenval is de afwerking van beton niet of nauwelijks uitvoerbaar. Bij toepassing van prefab-elementen is het daarentegen moeilijker om aan de gestelde toleranties te voldoen.

Aangezien de uitvoeringsperiode zowel in de zomer- als wintermaanden plaatsvindt, is de kans zeer aannemelijk dat er niet altijd gestort kan worden. In de wintermaanden speelt tevens de strakke planning een grote rol. Voor het werken aan zeedijken geldt in de wintermaanden een 'gesloten

4. Plaatsingsmethodiek

4.1. Vergelijking hijsvoorzieningen

Voor het heffen en hijsen van de getrapte bekleding zijn verschillende mogelijkheden:

- Aantrekken middels hefmagneet
- Mechanisch inklemmen
- Hydraulisch inklemmen
- Hijspunt in last door middel van instortvoorziening
- Dragen
- Aanzuigen door middel van vacuümlifter
- Aanzuigen door middel van vacuümlifter met centreerhulp

Belangrijk is dat op het betonnen element aan de onderzijde geen trekbelasting mag staan, omdat anders het blok bezwijkt. Om deze krachten te kunnen verdragen moet wapening toegepast worden.

Alle hef- en hijsvoorzieningen zijn hieronder per mogelijkheid beschreven. In bijlage 2 is de Trade-off matrix te vinden, waarin alle afwegingen beschreven staan.



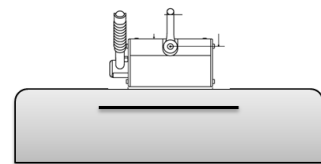
Afbeelding 5: Trekspanning in element

4.1.1. Hefmagneet

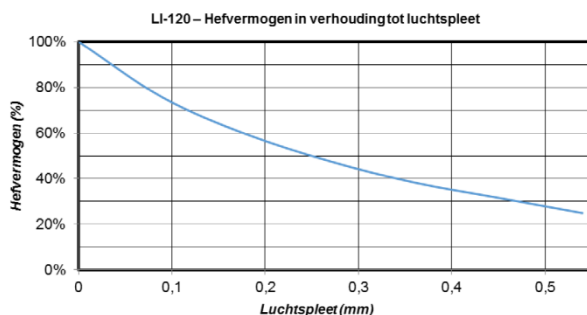
De hefmagneet is een veelvoorkomende hijsvoorziening in de staalbouw. De magneet is aan en uit te schakelen, waardoor de last eenvoudig losgelaten kan worden. Voor toepassing van deze methode bij de betonnen elementen dient er staal in of aan het element verwerkt te worden in de vorm van een plaat. Deze plaat mag echter niet in het eindresultaat zichtbaar zijn, waardoor er 2 mogelijke opties zijn:

- De stalen plaat wordt enkele centimeters onder het betonoppervlak verzonken.
- De stalen plaat wordt bevestigd met ankers/draadeinden die direct na plaatsing gedemonteerd kunnen worden.

Uit vooronderzoek is gebleken dat de hefkracht bij een magneet 100% is, indien de magneet over de volledige oppervlakte in contact is met het staal. Tussen het staal en de magneet mag geen ruimte zijn. In onderstaande tabel (tabel 2) is zichtbaar hoeveel het hefvermogen afneemt naarmate de tussenruimte groter wordt. Wanneer staal in beton wordt toegepast dient er een minimale betondekking van 50 millimeter gehanteerd te worden. Betrouwbare aantrekking is voor deze dikte met geen enkele magneet haalbaar. Deze optie is hierdoor niet haalbaar gebleken voor het plaatsen van de getrapte bekleding.

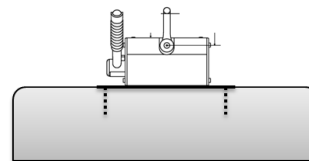


Afbeelding 6: element heffen met magneet optie 1.



Tabel 2: Krachtverlies hefmagneet

Bij optie 2 is om het betonnen element te voorzien van een los opschroefbare stalen plaat. Welke door middel van ankers of draadeinde in het beton bevestigd worden. De magneet behaalt hierdoor zijn volledige hechting en hijscapaciteit. Nadeel is dat de schroefhulzen na plaatsing van de elementen afgewerkt dienen te worden. Dit vergt veel arbeid omdat er circa $(2600 \times 4 =) 10.400$ gaten dichtgesmeerd moeten worden. Bovendien blijft deze bewerking zichtbaar. Ook het bevestigen en demonteren van de stalen platen is tijdrovend en productieverlagend. Hierom is dit geen geschikte hijsmethode voor de dijkbekleding. De hoge mate aan arbeid en materiaal zorgen voor een derde positie in de Trade-off matrix.



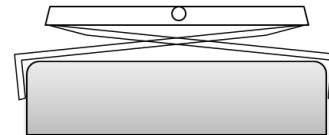
Afbeelding 7: element heffen met magneet optie 2.

4.1.2. Mechanisch inklemmen

Een veelvoorkomende methode voor het hijsen van materialen is door middel van een klem. Een klem is makkelijk te plaatsen en te koppelen aan iedere kraan. Dankzij de verstelbare klembekken is het mogelijk om onderdelen van verschillende afmetingen op te pakken.

Een nadeel van een klem is dat er veel spanning op de last uitgeoefend moet worden alvorens het veilig gehesen kan worden. Deze spanning moet opgebouwd worden op een relatief klein oppervlak, anders zal de last uit de klem glijden. Deze spanningen worden aan de buitenzijde opgebouwd en dienen door de last opgenomen te kunnen worden.

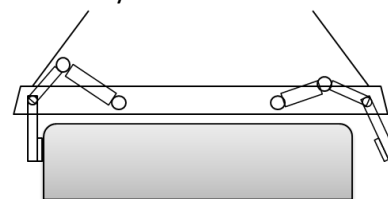
Het vereist dus een grote precisie om te berekenen hoeveel kracht zowel minimaal als maximaal benodigd is. Een nadeel van een mechanische klem in vergelijking met een hydraulische klem is dat deze klem eerst op het element neergelegd moet worden voordat deze in werking gezet wordt. Hierdoor is de kans op beschadigingen aan de randen van de betonnen elementen zeer aannemelijk. In de norm staan voor het gebruiken en toepassen van hefmaterialen diverse geschreven regels. Zo stelt de NEN-EN 13155 (2009) het volgende: *"The requirements of 5.2.7.5 and 5.2.7.6 shall not apply, if the clamp is intended to be used only to lift the lowest part of the clamp to a height less than 1.8 m."* Oftewel: voor deze hijsmethode is een maximale hijshoogte vastgesteld van 1,8 meter, gemeten van onderzijde last tot maaiveld. Wanneer de elementen vanuit het ruim van een binnenvaartschip gelost worden, moet het element hoger opgetild worden. Om deze hijsvoorziening op deze wijze toe te passen is uitvoering van een aanvullende Risico-Inventarisatie en -Evaluatie (RI&E) vereist.



Afbeelding 8: element heffen met mechanische klem.

4.1.3. Hydraulisch inklemmen

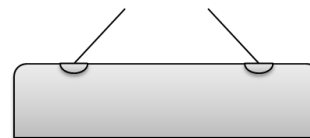
Een hydraulische klem is een uitbreiding op de hierboven beschreven mechanische klem die het eenvoudiger maakt om een element op te pakken. De klem is tijdens of voorafgaand aan de vlucht richting het element al op maat te stellen, zodat het element direct vastgepakt en ingeklemd kan worden. De aansturing van de klem kan verricht worden door een externe hydraulische unit of door gebruik te maken van een extra hydraulische functie op de kraan. Veiligheidseisen voor het gebruik van een hydraulische klem staan evenals de mechanische klem beschreven in NEN-EN 13155 (2009). Om het financiële aspect van de matrix in te vullen, is er bij verschillende leveranciers een prijs aangevraagd. Doordat de afmetingen van de elementen niet veel voorkomen in de bouw en infra, zijn ze niet standaard leverbaar. Hierdoor zal er een specifiek ontwerp opgesteld moeten worden.



Afbeelding 9: element heffen met hydraulische klem.

4.1.4. Hijsvoorziening in last

Het aanbrengen van een vaste hijsvoorziening in de betonnen elementen, leidt in de prefabricage tot aanzienlijk meer kosten. Dit doordat de voorziening voorafgaand aan het stortproces al aangebracht moet zijn. Om op deze wijze te kunnen storten, dient direct in de stelkist een voorziening te worden geplaatst om te voorkomen dat de hijsvoorziening zal verplaatsen. Dit alles levert een verlenging van het arbeidsproces op. Om de krachten vanuit het aangebrachte t-slot anker of schroefhuls over te dragen in het betonnen element, zal er wapening toegepast moeten worden. Door het stellen, vlechten en leveren van betonijzer, zal dit alles kostenverhogend zijn.



Afbeelding 10: element heffen met hijsvoorziening in last.

4.1.5 Dragen

Categorie 'dragen' is moeilijk toe te passen bij het plaatsen van de elementen. Dit omdat in de praktijk blijkt dat het onderliggende filtermateriaal verplaatst wordt tijdens het plaatsen. Dit komt mede doordat de hijsvoorziening tijdens het neerleggen met terugtrekkende beweging onder de last verwijderd dient te worden. Tijdens deze handeling rust het gewicht van het element op een klein oppervlak, waardoor een vervorming van de filterlaag plaatsvindt. Ook is het bij deze methode lastig om de elementen strak tegen elkaar te plaatsen. Ook is er een verhoogde kans op beschadiging, omdat de lepels of banden langs het beton schuren bij het oppakken en plaatsen.

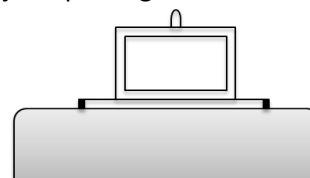


Afbeelding 11: element dragend heffen.

4.1.6. Vacuümlifter

Een vacuümlifter maakt het mogelijk om elementen zonder t-slot, ankers of schroefhulzen, aan de vlakke bovenzijde op te pakken.

Een vacuümlifter haalt zijn kracht uit een vacuümpomp die aangedreven wordt door een brandstofmotor. Aan de onderzijde van de lifter zit een stalen plaat met daaromheen een dik rubber dat de tussenruimte luchtdicht afsluit. De afmeting van deze stalen plaat bepaalt het maximaal te heffen gewicht. Een mogelijk risico is dat bij een te groot vacuüm het bovenste vliesje van het beton aangetast wordt. Een proef moet vaststellen of dit risico zich ook bij toepassing voor de hier onderzochte dijkbekleding voordoet. Een ander belangrijk aandachtspunt is dat de last niet hoger gelift mag worden dan 1,8 meter. Wanneer dit wel gedaan wordt, dient een valbeveiliging onder het element aangebracht te worden (NEN-EN 13155, 2009). Uitzondering op deze regel kan gemaakt worden door het opstellen van een Risico-Inventarisatie en - Evaluatie (RI&E). In deze inventarisatie zullen regels opgesteld gaan worden, waardoor de werkwijze alsnog veilig uitgevoerd kan worden terwijl de last hoger gelift zal worden.

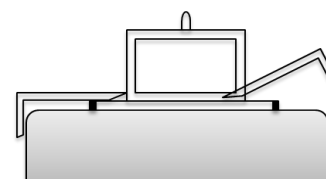


Afbeelding 12: element heffen met vacuüm lifter.

4.1.7. Vacuümlifter met centreerhulp

Een vacuümlifter met centreerhulp is een uitbreiding op bovenstaande werkmethode. Deze methode moet zelf ontwikkeld en gebouwd worden, aangezien deze nog niet in de markt te verkrijgen is. Het idee is gebaseerd op machinaal straten met behulp van vacuüm. Hierbij worden betonklinkers die al in patroon op de pallet liggen, gecentreerd opgepakt door het uitklappen van diverse 'armen'.

Een voordeel van de centreerhulp is dat de betonnen elementen exact vlak hangen, doordat de last recht boven het zwaartepunt opgepakt wordt. Hierdoor ontstaat bij het positioneren een geringere kans op schade aan de onderliggende filterlaag. Doordat de vacuümlifter op afstand te bedienen is, zijn tijdens het oppakken bovendien geen menselijke handelingen nodig. Naar verwachting zullen de elementen vijf keer gelift worden. Wanneer het oppakproces enkel vanuit de kraancabine aangestuurd wordt, zijn er minder menselijke handelingen



Afbeelding 13: element heffen met vacuüm lifter met centreerhulp.

benodigd. Dit biedt een risicovermindering van 50 procent op het gebied van. Dit is een forse verlaging, zeker bij het totaal aantal oppak- en plaatsingshandelingen: wanneer ieder element 5 maal opgepakt en geplaatst wordt, zijn dit in totaal 26.000 handelingen. Ook bij deze hijsmethode geldt een maximale hijshoogte van 1,8 meter (NEN-EN 13155, 2009).

4.2. Resultaten trade-off matrix 'hijsvoorziening'

Voor het analyseren van de methodes is gebruik gemaakt van de kennis vanuit het projectteam en vanuit gespecialiseerde bedrijven in de civiele techniek.

In bijlage 2 is de trade-off matrix toegevoegd, die als basis dient voor van de eindkeuze en tevens ter beantwoording van een van de onderzoeksvragen. Na afweging van de voor- en nadelen blijkt de vacuümlifter met centreerhulp de beste optie.

	Hijspunt in last		Inklemmen		Dragen		Aantrekken/aanzuigen		
	Schroefhuizen	T slotanker	Mechanisch	Hydraulisch	Hijsbanden	Lepels	Hijsmagneet	Vacuüm lifter	Vacuüm lifter + centreerhulp
Conclusie									
Eindplaats	9e	8e	5e	6e	7e	3e	3e	2e	1e
eindconclusie	-	-	+/-	+/-	-	+	+	++	++

Tabel 3: Resultaten trade-off matrix 'hijsvoorziening'

Dit omdat de kans op beschadiging zeer gering is en de optredende spanningen in het beton zeer beperkt zijn. Door aanvullend een centreerhulp toe te voegen aan de unit, wordt het oppakproces eenvoudiger, sneller en dus goedkoper.

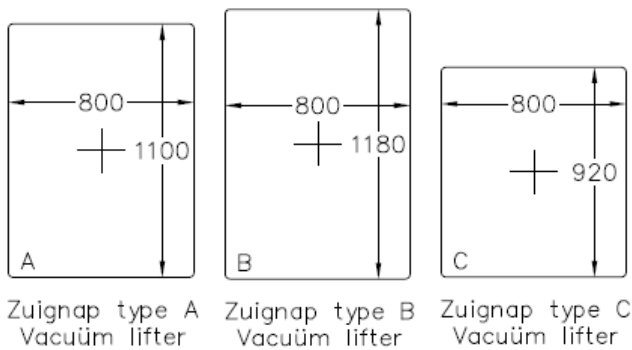
Het financiële deel van de trade-off is gebaseerd op opgevraagde offertes. Omdat het een specifieke hijsvoorziening betreft, zijn er niet veel aanbieders. Uiteindelijk zijn offertes ontvangen voor levering van een vacuümlifter, hydraulische klem en een mechanische klem. De kosten voor het aanbrengen van T-slotankers en schroefhuizen zijn gebaseerd op aanwezige kennis binnen het projectteam.

De trekspanningen worden aan de hand van de overhang kwadratisch toe- en afgenomen. Na alle elementen op gewicht en afmetingen beschouwd te hebben, zijn de onderstaande afmetingen voor de zuignappen vastgesteld. Door voor deze afmetingen te kiezen is het maximale overhang beperkt tot 43 cm. Hierdoor is de optredende trekspanning 0,06 N/mm². Ver onder de optredende spanningen van 0,34 N/mm² wanneer er gebruik gemaakt zou worden van een klem.

Doordat een breed vlak van het element tegen een stalen plaat wordt gezogen/getrokken is dit in de berekening als een vaste inklemming beschouwd. Door de diverse afmetingen en gewichten van de elementen zijn 3 verschillende type zuignappen benodigd. In onderstaande tabel (tabel 4) zijn de eigenschappen van de zuignappen weergegeven. In afbeelding 14 is de situatie geschetst.

Type zuignap:	Lengte (mm.)	Breedte (mm.)	WLL (kg.)	Type zuignap:
A	1100	800	2100	1100
B	1180	800	2268	1180
C	920	800	1722	920

Tabel 4: hijsvermogen zuignappen



Afbeelding 14: ontwerp zuignappen

Bij berekening van de maximale 'Work load Limit' (WLL) van de zuignap, wordt aan alle zijden van de zuignap een verlies van 5 centimeter aangehouden. Deze ruimte is nodig voor het rubber tussen de zuignap en het betonnen element. Het tussenliggende oppervlak is maatgevend voor de WLL en wordt op onderstaande manier in de berekening verwerkt.

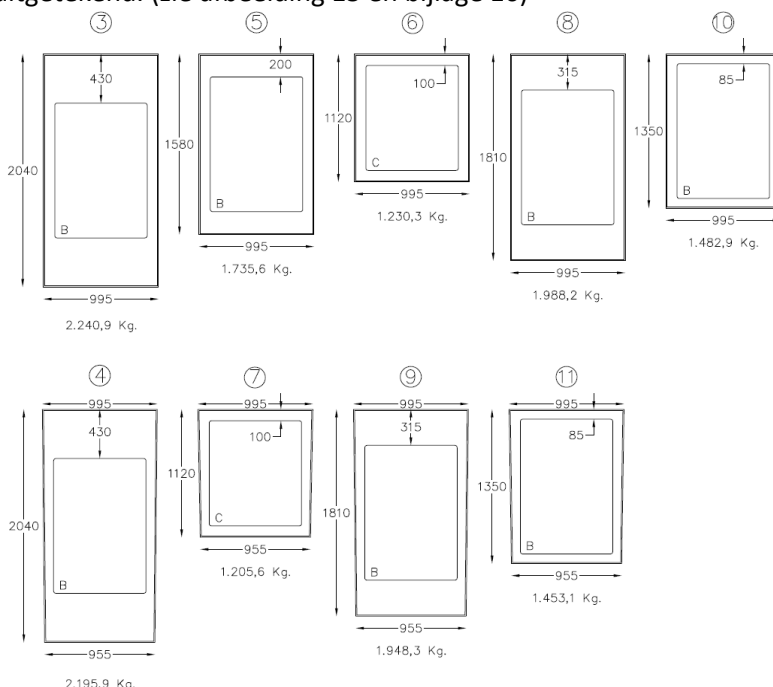
$$WLL = \text{lengte} * \text{breedte} * \text{vacuüm (0,9)} * \text{veiligheidsfactor (3)}$$

Zoals hierboven beschreven is het niet mogelijk om alle taludelementen met één type zuignap te liften. Middels onderstaande tabel, welke ook in bijlage 3 aan dit verslag is toegevoegd, is onderzocht welke afmetingen nodig en beschikbaar zijn. Bepalende factoren hiervoor zijn welk gewicht minimaal gelift moet kunnen worden en de beschikbare 'vlakke' oppervlakte.

Matrix blokken.	Element																	
	3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	Gewicht	Lengte	Gewicht	Lengte	Gewicht	Lengte	Gewicht	Lengte	Gewicht	Lengte	Gewicht	Lengte	Gewicht	Lengte	Gewicht	Lengte	Gewicht	Lengte
Toepasbaarheid zuignap:	2240,9	2040	2195,9	2040	1735,6	1580	1230,3	1120	1205,6	1120	1988,2	1810	1948,3	1810	1482,9	1350	1453,1	1350
A																		
B																		
C																		
Keuze:	B		B		A/B		C		C		A/B		A/B		A/B/C		A/B/C	

Tabel 5: Toepasbaarheid zuignappen

Om zeker te zijn dat bovenstaande tabel juist is ingevuld, is zuignap A/B/C op elk type element uitgetekend. (zie afbeelding 15 en bijlage 16)



Afbeelding 15: Verschillende soort zuignappen in combinatie met alle elementen

4.3. Vergelijking kranen

Evenals de vergelijking voor de hijsvoorziening, is er in dit onderzoek ook aandacht besteed aan het opstellen van een vergelijking voor de toe te passen kraan. Er zijn vele verschillende type kranen waaruit gekozen kan worden. Bij start van het onderzoek zijn er 8 type kranen geselecteerd, die allen minimaal geschikt zijn voor het benodigde hijswerk. In bijlage 4 is de volledige keuzematrix te vinden. Om de kranen te kunnen vergelijken, is een lijst samengesteld met criteria die binnen het project prioriteit moeten hebben. Deze punten zijn:

- Hijscapaciteiten
- Tarief
- Snelheid
- Veiligheid
- Verbruik/uitstoot
- Ruimtegebruik
- Geluid
- Mobiliteit
- Nauwkeurigheid

4.3.1. Rupskraan

Een hydraulische rupskraan is een veelzijdige machine waar veelal alle werkzaamheden mee uitgevoerd kunnen worden. In de keuzematrix is een rupskraan, Hitachi Zaxis 350 LC-3, met een eigen gewicht van 40 ton gekozen. Dit om zoveel mogelijk hijsvermogen te kunnen generen. Door de beperkte gieklenste is echter een maximale reikwijdte mogelijk van 10,8 meter, wat enkel genoeg is wanneer de elementen dicht bij de kraan geplaatst kunnen worden. De rupskraan is eenvoudig en snel te verplaatsen zonder extra handelingen te verrichten. Door de hefbare cabine en de mogelijkheid voor het toevoegen van een rotator scoort een rupskraan goed in de vergelijking. Een rotator kan door middel van een extra hydraulische aansluiting op de kraan, de hijsvoorziening inclusief last laten verdraaien. Hierdoor wordt maakt het mogelijk om de hijsvoorziening inclusief last gedurende het hijsen te roteren, zodat de last eenvoudiger en veiliger opgepakt kan worden en eveneens sneller te plaatsen is.



Afbeelding 16: Rupskraan Hitachi Zaxis 350LC-3 (Hakkers B.V., z.j.).

4.3.2. Los/Overslagkraan

Los- en overslagkranen zijn gebouwd voor het snel laden en lossen van bulkproducten, veelal vanuit een schip of treinwagon. Aan de vorm van de giek is zichtbaar dat deze ontworpen is om snel en vanuit een diepte te kunnen heffen. Dit type kraan is gebouwd om met zware bakken en poliepen, een grote hoeveelheid bulkmateriaal per keer te transporteren. Een geschikte kraan voor de uit te voeren werkzaamheden. Door de hijsvoorziening direct aan de lepelsteel van de giek te bevestigen, is het mogelijk om middels een extra hydraulisch functie een rotator aan te sturen. Hierdoor is het mogelijk om een hijsvoorziening bij te sturen gedurende de vlucht.



Afbeelding 17:
Los/Overslagkraan Sennebogen
Umschlagmaschine 835
(SWCON, z.j.).

4.3.3. Telekraan

Een telekraan biedt voordelen met zijn grote draaibereik en is gebouwd om te hijsen. Doordat hij breed uitgestempeld staat, met een lange giek en een groot contragewicht, staat hij zeer stabiel. Deze statische opstelling is echter tevens een nadeel: om de kraan naar de volgende werklocatie te verplaatsen dienen de giek en de stempels ingeschoven te worden. Doordat deze handeling veel tijd kost, is het niet gemakkelijk om kleine werkzaamheden op verschillende werklocaties uit te voeren. Wanneer in een continu proces elementen geplaatst kunnen worden, zorgt deze belemmering



Afbeelding 18: Telekraan Grove GMK 2035 (Autopoisk24, z.j.).

echter niet tot een onwerkbaar situatie. De ruimte die de telekraan in beslag neemt vanwege zijn stempels is een nadeel, dit omdat op de bouwlocatie slechts een smal werkterrein beschikbaar is. Een telekraan hijst door middel van een lange staaldraad. Afhankelijk van de vlucht en het gewicht van de last wordt bepaald hoever de giek uitgeschoven dient te worden. Doordat de giek zich altijd relatief hoog boven de last bevindt, hangt de last onder een 'slingerende' staalkabel die al snel 20 meter lang is. Als gevolg is de controle over de last tijdens het hijsen minder gecontroleerd dan bij een directe connectie (hijsvoorziening rechtstreeks aan de giek).

4.3.4. Verreiker

Een verreiker is een veelzijdig werktuig dat binnen een bouwterrein voor veel verschillende doeleinden ingezet kan worden. Voor het uitvoeren van reguliere werkzaamheden moet hij voldoen aan de verrekernorm EN 1459. Wanneer hij echter omgebouwd en ingezet wordt voor hijskraan, gelden er andere normen en regels. Op dat moment moet hij voldoen aan de gestelde eisen volgens de NEN-EN 13000:2010+A12014 (Aboma B.V., 2016). De verreiker is op dat moment voorzien van een lier met hijsdraad en hijsaak. De hijsmethode wordt hierdoor vergelijkbaar met de in hoofdstuk 4.3.3. beschreven methode. Voordeel van een verreiker is zijn verre bereik. Nadeel daar in tegen is de gevoeligheid voor windbelasting.



Afbeelding 19: Verreiker MRT 3050 Privilege plus (Alta Equipment Company, z.j.).

4.3.5. Rupstelescoopkraan

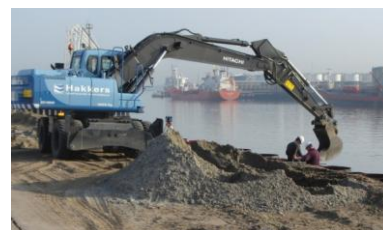
Een rupstelescoopkraan is een combinatie van de in hoofdstuk 4.3.1 en 4.3.3 beschreven kranen. Deze kraan biedt dezelfde mobiliteitsvoordelen als de rupskraan. Nadeel is echter dat de telescoopgiek dezelfde eerder beschreven nadelen van een lange hijsdraad heeft. Doordat een rupstelescoopkraan voor hijswerkzaamheden is gebouwd, is deze standaard voorzien van alle benodigde hijsbeveiligingen en keuringen.



Afbeelding 20: Rupstelescoopkraan Sennebogen 630R-HD (Hakkers B.V., z.j.).

4.3.6. Mobiele kraan

Een mobiele kraan is een veelvoorkomende machine op de bouwplaats, die mede door zijn mobiliteit en flexibiliteit breed inzetbaar is. Mobiele kranen zijn er in vele varianten. In de keuzematrix is een mobiele kraan van 19 ton geanalyseerd, een Hitachi ZX 180 W. Dit is een zware mobiele kraan, voorzien van een schuifbord en stempels. Deze optie komt niet veel voor bij mobiele kranen, maar biedt veel stabiliteit. Met een eigengewicht van 19 ton is het de lichtste kraan in de matrix. Dit leidt automatisch tot een lagere score in zijn hijsstabel. Zo is het enkel mogelijk om de taludelementen binnen een vlucht van 8 meter te plaatsen. Vanwege zijn lage uurtarief, snelle handelingen en lage verbruik behoort de mobiele kraan echter voor het deel binnen het draaibereik van 8 meter van de bekleding bij de beste keuzes.



Afbeelding 21: Mobiele kraan Hitachi EX 135 (Hakkers B.V., z.j.).

4.3.7. Geluidsberekening

De werkzaamheden moeten uitgevoerd worden in de nabijheid van woningen en bedrijfspanden. Volgens het Bouwbesluit dient daarom rekening gehouden te worden met de geluidsbelasting. De maximaal toelaatbare geluidsbelasting is afhankelijk van diverse factoren, waaronder de afstand tussen bron en gevel, tijdsduur, tijdstip en maximale geluidsbelasting bij de bron. Onderstaand tabel is afkomstig uit het Bouwbesluit en geeft de opbouw van de maximale blootstellingsduur per gevel weer. Naarmate de afstand groter wordt, zwakt de geluidsbelasting bij de gevel af. Onderstaande tabel is enkel geldig voor werkzaamheden tussen 7.00 en 19.00 uur.

Tabel 2 Toetsingskader Bouwbesluit

Geluidsbelasting in de dagperiode	Maximale blootstellingsduur
tot 60 dB(A)	geen beperking
meer dan 60 dB(A)	50 dagen
meer dan 65 dB(A)	30 dagen
meer dan 70 dB(A)	15 dagen
meer dan 75 dB(A)	5 dagen
meer dan 80 dB(A)	0 dagen

Tabel 6: Blootstellingsduur geluidsbelasting (BRIS Bouwbesluitonline, 2012).

Bij het opstellen van de keuzematrix is gebleken dat alle gekozen machines (binnen een marge van 8 decibel) dezelfde geluidsbelasting veroorzaken. Met behulp van een invulsheet (zie bijlage 5) is voor de maatgevende situatie (30 meter tussen machine en woninggevel) de geluidsbelasting op de gevel berekend. Hieruit blijkt dat er maximaal 64 dB op de dichtstbijzijnde gevel zal ontstaan. Ervan uitgaande dat de werkzaamheden tussen 7.00 en 16.00 uur uitgevoerd worden, geldt een beperking van maximaal 50 dagen. Doordat de werkzaamheden zich over de lengte van de dijk verplaatsen, blijven deze werkzaamheden binnen de gestelde norm.

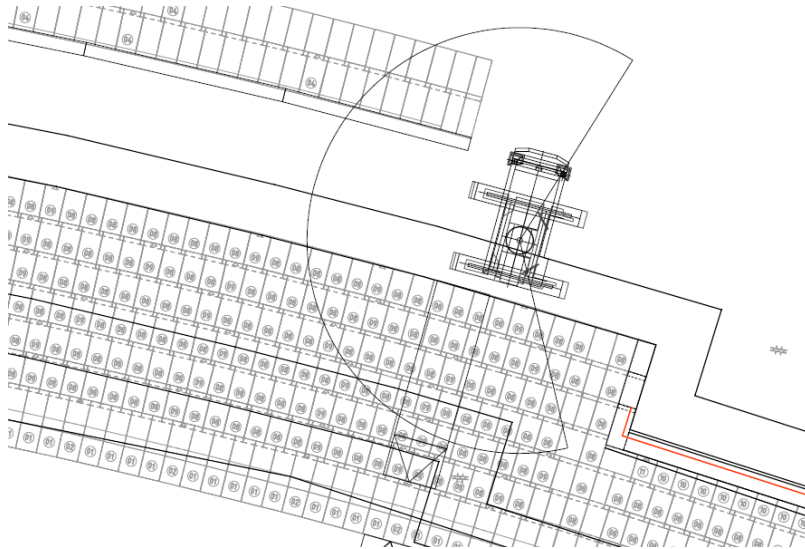
4.4. Resultaten keuzematrix 'kranen'

Voor het opstellen van de keuzematrix zijn alle benodigde gegevens opgevraagd bij verhuurbedrijven en leveranciers van kranen. Door deze gegevens overzichtelijk onder elkaar te plaatsen, zijn deze benodigde gegevens met elkaar te vergelijken. Kosten en veiligheid zijn belangrijke criteria in deze vergelijking.

Het werk moet echter wel uitvoerbaar zijn voor de kranen. Uit de matrix blijkt dat niet alle kranen het benodigde gewicht op de gewenste afstanden kunnen verwerken. Doordat de lichtere kranen op financieel vlak een voordeel bieden, is het lonend om voor de kraankeuze een scheiding in de werkzaamheden aan te brengen. Van de in totaal 2600 elementen moeten 1482 (57 %) binnen een vlucht van 8 meter vanuit de positie van de kraan aangebracht worden.

Voor het hijswerk binnen deze achtmeterzone blijkt na analyse van mogelijke kranen dat een mobiele kraan het meest geschikt is. Dit type kraan heeft de hoogste score van alle kranen, maar komt door zijn relatief korte giek en laag eigengewicht niet in aanmerking voor het hijswerk met langere vluchten. Binnen een vlucht van 8 meter en met een totale belasting van 2,5 ton blijft de mobiele kraan echter voldoende onder zijn maximale hijsvermogen van 3,8 ton.

Hieronder is de indeling van het werkterrein weergegeven. Daaruit blijkt een beperkte ruimte voor opslag en rijbaan. Ook op dit punt scoort de mobiele kraan zeer positief: met een ruimtegebruik van 18,9 m² ten opzichte van een gemiddelde van 37,3 m².



Afbeelding 22: Ruimtegebruik kranen

In de keuzematrix in bijlage 2 is de keuze voor de hijsvoorziening vastgesteld. De keuze is gevallen voor hijsen met een vacuümlifter met extra centreerhulp. Deze hijsvoorziening is het meest effectief met een extra rotatorfunctie tussen de giek en de hijsvoorziening. Deze rotator moet aangesloten worden op een extra hydraulische functie, welke vanuit de cabine van de kraan te bedienen zijn, zodat de machinist zowel tijdens het oppakken als het plaatsen van het element de vacuüm lifter inclusief het element kan roteren. Zo is er geen grondwerker nodig om de klem boven het element te draaien en centreren. De mobiele kraan beschikt over extra hydraulische aansluitingen en is hierdoor geschikt voor deze extra uitbereiding.

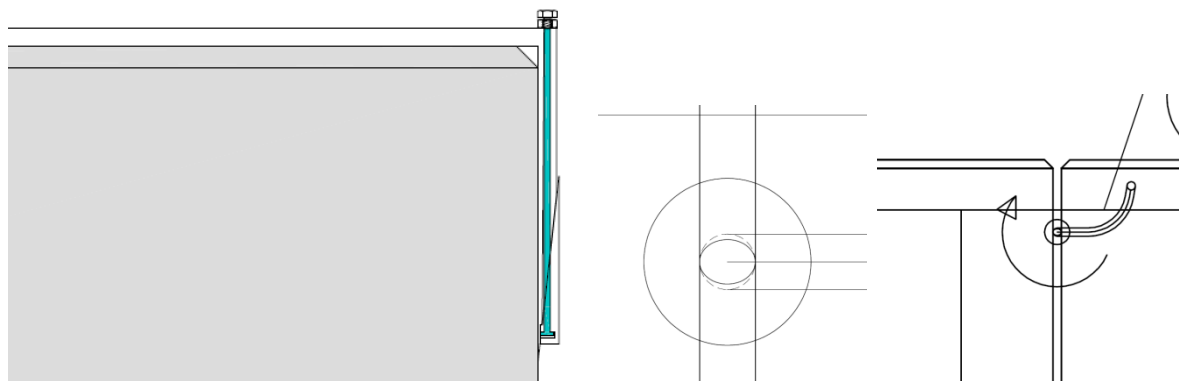
Voor de hijswerkzaamheden buiten de achtmeterzone is een andere kraan vereist. In de keuzematrix zijn drie verschillende vluchten bekeken, van 8, 14 en 16,5 meter. Na het bestuderen van het legplan is bij nader inzien een extra vluchtlengte van 10 meter toegevoegd. Hierdoor is het mogelijk om nog efficiënter de inzet van de kranen te bepalen.

Voor de zone van 8 tot 10 meter is de 40 tons rupskraan de meest geschikte en voordelige keuze. Binnen deze vlucht is het zowel mogelijk om de talud- als de kruinelementen te plaatsen.

Voor de zone buiten 10 meter kunnen slechts 3 kranen de last van 3,65 ton dragen. De 'los/overslagkraan rups, 18m. giek', 'los/overslagkraan mobiel, 18m. giek' en de 'telekraan (35 tons)'. Van deze 3 kranen scoren de twee los/overslagkranen het beste, waarbij de met rupsen uitgevoerde kraan een pluspunt scoort op mobiliteit. Deze zone beslaat enkel 134 kruinelementen.

5.1.1. Tussenafstand-houders

Gedurende dit onderzoek is gekeken hoe de tussenafstand tussen de elementen eenvoudig te bepalen is. De gekozen methode moet de variatie tussen 10 en 20 millimeter mogelijk maken. Er is gekeken naar twee verschillende afstandhouders, die verstelbaar zijn in dikte. Hiermee wordt het mogelijk om na plaatsing van het element zich in te schuiven waarna de afstandhouder uit de tussenruimte verwijderd wordt. Hieronder zijn 2 verschillende schetsen weergegeven. Het rechtse model is zodanig ontworpen dat met een eivormige staaf elke variërende tussenafstand in te stellen is. Ook is dit model direct te combineren met een geleider (zie hoofdstuk 6). Het linkse model is opgebouwd uit twee spievormige onderdelen die in en uit elkaar geschoven kunnen worden. Door deze verschuiving is een variatie in de dikte mogelijk. De ontwerptekeningen zijn bijgevoegd in bijlage 11 en 15.



Afbeelding 25: Ontwerpen tussenafstandhouders

Beide ontwerpen zijn besproken met bedrijven die gespecialiseerd zijn in machinebouw. Daarbij is gebleken dat door de zeer beperkte ruimte in combinatie met de zware elementen, beide methodes technisch niet haalbaar zijn. Groot risico bij beide ontwerpen is het geringe contactoppervlak met de betonnen elementen. Doordat de afstandhouders zeer klein uitgevoerd moeten worden, is er een zeer groot risico op beschadigingen aan het beton.

Een veiligere methode is het aanbrengen van 'niet verstelbare' afstandhouders, die in brede stroken uitgevoerd kunnen worden. Dit type zal blijft weliswaar achter tussen de elementen, maar door de afstandhouders niet te groot te ontwerpen, zal dat geen negatief effect hebben op de waterdoorlatendheid van de dijkbekleding. Om ze in het eindresultaat zo onzichtbaar mogelijk te maken, moeten ze aan de onderzijde van de tussenruimte worden aangebracht.

Door te kiezen voor een materiaal dat relatief weinig schade toe kan brengen aan de natuur, is de impact voor het milieu beperkter wanneer het materiaal tussen de elementen uitspoelt. Hierom is gekozen voor houten afstandhouders. De plaatjes kunnen op elke gewenste maat en dikte geleverd worden. Tevens zijn ze goedkoop in aanschaf.

5.2. Haalbaarheid toleranties.

De vereiste toleranties zijn gezien het aantal aan te brengen elementen vrij strikt.

Doordat de keuze gemaakt is voor uitvoering met prefab elementen, begint het stellen van de toleranties bij de uitvraag richting de betonleverancier. Onderstaande eisen zijn in de uitvraag opgenomen:

Betonkleur: grijs

Sterkteklasse: conform tekening

Milieuklasse: conform tekening

Veilingkanten: 10 x 10 mm

Afwerking kruin: ruw

Afwerking overige blokken: vlak

Garantie: 5 jaar vanaf aanvaarding werk (1 december 2019). Zie bijlage "Garantie" voor verdere details.

Kwaliteit: de betonelementen dienen te voldoen aan alle wettelijke normen en richtlijnen, waaronder de NEN 6722 Klasse A en de NEN 2889. Een KOMO-certificaat dient tevens meegeleverd te worden.

Om de eisen aan de leverantie te bepalen, is NEN 6722 en NEN 2889 doorgenomen. NEN6722 beschrijft in hoofdlijnen de voorschriften over de uitvoering van betonwerkzaamheden. Over de maximaal toelaatbare maatafwijkingen in vooraf vervaardigd beton stelt artikel 13.1: "De maximaal toelaatbare maatafwijkingen van de betonelementen moeten vóór de aanvang van de productie in de projectspecificatie worden vastgelegd. Voor de maximaal toelaatbare maatafwijkingen van de betonelementen wordt naar NEN 2889 verwezen" NEN 6722 (2002). Hieruit is op te maken dat enkel NEN 2889 (1990) eisen stelt aan de toelaatbare maatafwijking.

Na analyse van deze norm blijkt dat de maximale maatafwijkingen vastgelegd zijn per productbenaming. Er is echter geen specifieke maatafwijking toegekend aan betonnen elementen. De meest soortgelijke benaming is 'trapelementen'. Wanneer deze toekenning definitief is, dient de leverancier zich aan onderstaande toleranties te houden:

produkt	grootte ¹⁾					vorm ¹⁾					voorzieningen ²⁾	
	lengte ³⁾	breedte	dikte	hoogte	diagonaal ⁴⁾	kromte	buiging ⁵⁾	scheluwte	haaksheid		eenling	groep
									kop-eind mm	opleg-vlak mm		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm/m	mm/m	mm			mm	mm
kolommen < 10 m NVS ⁶⁾	–	7	7	11	–	1,4	–	5	10	6	11	5
balken < 10 m VS ⁷⁾ > 10 m VS ⁷⁾	11	–	7	11	–	1,4	1,4	8	10	6	11	5
	17	–	7	11	–	2,0	2,8	10	14	6	14	5
	21	–	8	11	–	2,0	2,0	14	16	8	14	5
spantvormige elementen	11	7	7	11	–	1,4	2,0	10	10	6	11	5
vloerplaten NVS ⁶⁾	28	12	12	–	28	2,0	1,6	8	20	–	50	–
vloerplaten VS ⁷⁾	28	12	12	–	28	1,0	2,0	8	20	–	50	–
vloerplaten TT ⁸⁾	21	7	7	7	21	2,0	2,8	10	20	6	28	5
wanden	11	–	7	8	11	1,4	–	8	10	–	11	5
gevelelementen – binnenspouwbladen	7	–	5	7	9	2,0	–	8	10	–	11	5
trapelementen	14	11	11	–	–	2,0	–	8	10	–	11	5
balkonelementen	7	7	5	–	9	1,4	2,0	8	10	–	11	5

Tabel 7: Maattoleranties betonnen elementen (NEN 2889, 1990).

Bij deze toleranties wordt het onmogelijk om met het opgestelde blokkenmodel te werken. Door middel van specifieke aanvullende afspraken zal daarom in samenspraak met de fabrikant een compromis gesloten moeten worden over de definitieve fabricage. Het is raadzaam om voor de productie van de elementen een beperkt aantal stalen mallen te gebruiken, die maat- en slijtvast zijn en nauwkeurig gefabriceerd kunnen worden. Door de mallen exact identiek te fabriceren, zal dit resulteren in maatvast betonnen elementen.

Gedurende de voorbereiding is besloten over de afwerking van de bovenzijde van de elementen. Doordat de betonnen elementen in hun definitieve situatie mogelijk als looppad gebruikt worden, dient de bovenzijde van de elementen veilig beloopbaar te zijn. Ook wanneer de elementen vochtig zijn, dient een voetganger niet uit te kunnen glijden. De benodigde stroefheid wordt gerealiseerd door de bovenzijde met een structuur af te werken gedurende een nabehandeling, of door een vast patroon dat direct in de mal is verwerkt.



Afbeelding 26: Stalen mal (Reesink Production, z.j.).



Afbeelding 27: Gerold beton (Agref architectonisch beton, z.j.).

5.3. Afwerken onderliggende filterlaag.

Onder de elementen dient een filterlaag te worden aangebracht. Deze laag heeft een waterdoorvoerende functie op moment dat de bekleding volledig af is. De filterlaag dient tijdens het plaatsingsproces nauwkeurig op hoogte aangebracht te zijn. Wegens het raakvlak met de getrapte bekleding is de afwerking hiervan in dit onderzoek meegenomen. Echter zijn de verdichting en afwerking van de zandkern en het kleipakket buiten de beschouwing van dit onderzoek gelaten.

De hoogteligging van de elementen is ook zeer belangrijk gedurende het plaatsingsproces. In dit onderzoek is gekeken met welke methode de onderliggende granulaire filterlaag kan worden afgewerkt en op een exacte hoogte aangebracht.

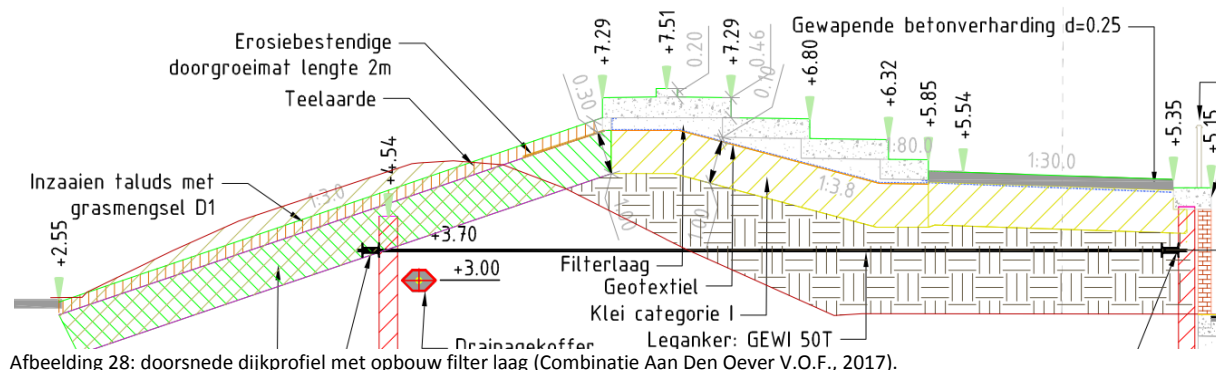
Ten tijde van de aanbesteding zijn de volgende maximale 'onderlinge hoogteverschillen' vastgesteld.

- Bij oplevering ≤ 10 mm;
- Aan het einde van de garantietermijn ≤ 20 mm;
- Gedurende de gehele planperiode ≤ 29 mm.

Om aan deze eisen te voldoen, dient tijdens de opbouw van de nieuw aan te brengen dijk kern veel aandacht te zijn voor verdichting. Per doorsnede van de dijk is de opbouw verschillend. Hierom moet iedere snede afzonderlijk beschouwd en berekend worden.

Voor snede HA-05, die hieronder is weergegeven, geldt dat de elementen op een pakket aangebracht moeten worden van:

- 100 tot 200 centimeter Zandpakket
- 100 centimeter Kleipakket categorie I
- Geotextiel
- 10 tot 54 centimeter Filterlaag 20-40 mengsels



Afbeelding 28: doorsnede dijkprofiel met opbouw filter laag (Combinatie Aan Den Oever V.O.F., 2017).

Na het aanbrengen van het geotextiel wordt de filterlaag middels een rups- of mobiele kraan verdeeld aangebracht. Vervolgens dient de laag dusdanig verdicht te worden dat na afloop geen restzetting kan optreden. De verdichting wordt uitgevoerd in stroken, door middel van een trilplaat of wals. Het dikste deel van de filterlaag bedraagt 54 centimeter. Door het beperkte doordringvermogen tijdens het verdichtingsproces zal dit in minimaal 2 lagen moeten worden opgebouwd en verdicht.

Voor het exact op hoogte afwerken van de filterlaag wordt een lasergestuurde kilverbak ingezet, ook wel leveler genoemd. De leveler ontvangt een hoogtemaat vanaf een vooraf opgestelde laser. Door de inzet van een afschotlaser wordt het tevens mogelijk om de X- en Y richting onder afschot uit te voeren. Doordat de aan te brengen strook een beperkte breedte heeft, kan dit niet met groot materieel worden uitgevoerd. Uit onderzoek is gebleken dat de meest geschikte oplossing, voor het egaliseren van de filterlaag, een rups aangedreven schranklader gebleken is. Bij deze combinatie gekozen wordt, kan het uitvlakken snel en met precisie worden uitgevoerd.



Afbeelding 29: Laser gestuurde kilverbak met schranklader (Melse Maljaars, z.j.).

5.4. Plaatsingsmethode op werkgrenzen.

De dijkversterking wordt gefaseerd uitgevoerd, waarbij het werk in verschillende vakken is verdeeld. Deze werkvakken zijn gelijk aan de deelgebieden op afbeelding 2. Vanwege deze werkmethode is op de vastgestelde grenzen tussen de vakken de creatie van een tijdelijke overgangsconstructie nodig. Doordat er een groot hoogteverschil tussen het nieuw en het bestaande dijklichaam zal zijn, moet deze overgang vooraf uitgedacht worden; zeker wanneer de overgangsconstructie in het gesloten dijkseizoen als onderdeel van de waterkering moet fungeren.

Na het aanbrengen van de damwanden in de buitenteen van de dijk wordt de huidige bekleding (basalt zetwerk) verwijderd. Door dit niet enkel binnen het werkvak uit te voeren, maar ook twintig meter voorbij de werkgrens, zal ruimte ontstaan voor een overgangsconstructie.

Belangrijk is dat de zandkern, kleilaag en filterlaag ruim voorbij het laatst aan te brengen element aangebracht en verdicht moeten kunnen worden. De minimale afstand moet bepaald worden naargelang de dikte van de materiaallaag, rekening houdend met de krachtafdracht onder een hoek van 45° in de ondergrond. Dit om wegzakken van de materialen tegen te gaan.

Door de overgang af te dekken met geotextiel, in combinatie met de vrijgekomen basalt zuilen van 350 millimeter hoogte, worden de onderliggende lagen beschermd tegen eventuele golfaanvallen. Zodra de werkzaamheden in het aangrenzende werkvak starten, kan de overgangsconstructie worden afgebroken en gezamenlijk met de vrijkomende basaltblokken van het volgende deelgebied worden afgevoerd.

6. Pilot.

Om er zeker van te zijn dat de conclusies van het onderzoek juist zijn, is besloten om dit proefondervindelijk aan te tonen. Na toestemming van het projectteam is een begin gemaakt aan het prefabriceren van de bekisting. In bijlage 13 is een fotorapportage toegevoegd welke gedurende de pilot genomen zijn.

Tijdens de proef is rekening gehouden met de volgende onderzoekspunten:

- Snelheid
- Veiligheid
- Nauwkeurigheid
- Onderhoud/slijtage
- Verbruik
- Aanschaf
- Multifunctionaliteit
- Betrouwbaarheid
- Schade aan beton
- Tussenafstand aanbrengen.
- Schade aan filterlaag

In totaal zijn vier stuks betonnen elementen geproduceerd van het type dat het meest in de definitieve dijkbekleding nodig is. De bovenzijde van de elementen zijn op vier wijzen uitgevoerd. Dit om mogelijke verschillen gedurende het oppakken te kunnen beschouwen en vanwege het feit dat de definitieve afwerking op het moment van uitvoeren nog niet bekend waren. De vier verschillende eindafwerkingen zijn:

- 1) Geponst
- 2) Geëgaliseerd middels stalen spaan
- 3) Geschuurd middels schuurspaen
- 4) Kistzijde (element ondersteboven gestort)



Afbeelding 30: Afwerking betonnen elementen.

Op 27 februari is gestart met de uitvoering van de eerste pilot. Er is gekozen voor twee pilots in verband met vertraging op de levering van het granulaatmengsel dat onder de elementen aangebracht moet worden. Gedurende deze pilot zijn de elementen in het zand geplaatst. Dit heeft voor het oppakproces geen invloed en is hierdoor bruikbaar voor tijdsregistratie en nauwkeurigheidsonderzoek.

Voor de proef is gebruikgemaakt van een 18 ton zware mobiele kraan in combinatie met een vacuüm unit. De unit was voorzien van een zuignap van 690*1600 millimeter, met een WLL van 2700 kilogram. Om in dit onderzoek het verschil tussen een draadkraan en vaste giek te kunnen onderscheiden, zijn twee van de vier elementen op positie gebracht door tussen de vacuümunit en hijshaak van de mobiele kraan een ketting aan te brengen. Deze ketting had een lengte van 4.5 meter en geeft hierdoor een soortgelijk effect als hijsen met een draadkraan.

Voorafgaand aan de plaatsing van het eerste element is de ondergrond geëgaliseerd. Vervolgens is het element op positie geplaatst en zijn afstandhouders aangebracht. Het tweede element is opgepakt vanaf de locatie waarop tijdens de definitieve uitvoering de tijdelijke opslag gelegen is. Vanaf het oppakken tot plaatsen is de methode vastgelegd op beeld, waardoor de handelingen in tijd uit te drukken zijn. Vervolgens is de holle ruimte tussen het dijktafstand en elementen opgevuld en

geëgaliseerd met zand, waarna vervolgens het derde element bovenop het eerste element is geplaatst. Ook naast element 3 zijn afstandhouders geplaatst. Vervolgens is het laatste element vanaf dezelfde locatie als element 2 opgepakt en geplaatst op positie. Ook deze stappen zijn op beeld vastgelegd.

Op 1 maart is de tweede pilot voor dit onderzoek uitgevoerd. Ditmaal worden de elementen wel op een 20-40 menggranulaat onderbaan geplaatst, waardoor bij de positionering het effect van de grove steenslag meegenomen kan worden. Gedurende de tweede pilot waren de weersomstandigheden niet optimaal: door een strenge oostenwind was het moeilijker de vacuümunit op positie aan te brengen.

Start van de tweede pilot is het op hoogte aanbrengen, uitvlakken en verdichten van het 20-40 'Granodiorite' mengsel. Door de aanwezigheid van de grove korrels, was de vrees tijdens de voorbereiding dat het haast onmogelijk zou zijn om het mengsel op exacte hoogte aan te leggen. Dit bleek tijdens de uitvoering inderdaad moeilijk. Voorafgaand aan het verdichten van het mengsel is de hoogte van de afwerking 5 centimeter hoger gehouden dan nodig. De afwerking is uitgevoerd met de bak van de kraan. Het mengsel is door het verdichten circa 4 centimeter ingeklonken en kwam hierdoor 1 centimeter hoger uit nodig. Door met een hark de grove korrels van het oppervlak te verwijderen is snel de benodigde hoogte behaald. Onderstaande foto's tonen het effect van een te hoog aangebrachte steenslag. Hierdoor sluiten de elementen niet strak op elkaar aan en komt het opgezette blokkenmodel in hoogtematen niet goed uit.



Afbeelding 31: Filterlaag te hoog afgewerkt



Afbeelding 32: Filterlaag op juiste hoogte afgewerkt

Voor de snelheid van het plaatsingsproces is het belangrijk dat de elementen direct op positie te plaatsen zijn, zonder aanpassing van de onderlaag. De pilot is echter in het klein uitgevoerd, waardoor deze niet volledig met de uiteindelijke situatie te vergelijken is. Wanneer straks vele betonnen elementen geplaatst zijn, is het exact op hoogte afwerken van de verharding vele malen eenvoudiger.

De totale tijdsduur van alle handelingen van zowel pilot 1 als 2 zijn in onderstaande tabel met elkaar vergeleken. Hierin is zichtbaar dat de totale tijdsduur het langst is wanneer gehesen wordt met een draadkraan. Na analyse van beide processen blijken er meer menselijke bijsturingen nodig bij een draadkraan als bij een kraan met vaste giek. Dit resulteert automatisch in een verhoogde kans op ongevallen. Het grootste tijdverlies bij een draadkraan wordt veroorzaakt door het zwenkproces: het moment dat het element loskomt van de grond totdat het boven de plaatsingspositie gekomen is. Door de lange ketting heeft het element de ruimte om te slingeren. Om dit te voorkomen, heeft tijdens beide pilots een grondwerker continu het element bijgestuurd. Dat de grondwerker zich voortdurend in het draaibereik van de kraan bevindt, is echter een grote verhoging van risico's.

*Tijdsverloop in minuten.

	Zuignap centreren	Element los van ondergrond	Element boven positie	Element op positie	Retour boven element
Direct aan hijshaak (proef 1)	0,05	0,18	0,39	0,53	1,02
Direct aan hijshaak (proef 2)	0,04	0,18	0,34	0,51	1,01
Direct aan hijshaak (gemiddelde)	0,05	0,18	0,37	0,52	1,02
“Draadkraan” (proef 1)	0,08	0,25	0,53	1,23	1,35
“Draadkraan” (proef 2)	0,13	0,31	1,05		
“Draadkraan” (proef 3)	0,06	0,19	1,05	1,14	1,25
“Draadkraan” (gemiddelde)	0,09	0,25	1,01	1,19	1,30

Tabel 8: tijdsduur van handelingen tijdens pilot.

Gelet op de verschillen in tijd, blijkt duidelijk dat het plaatsingsproces het snelst verloopt wanneer de vacuümunit direct in de hijshaak geplaatst is. De gemiddelde tijdswinst is 28 seconden. Op basis van het totaal aan te brengen elementen komt dit neer op een tijdswinst van ruim 20 uur. Dit is enkel gerekend voor het proces waarbij de elementen op hun definitieve plaatst gepositioneerd worden. Het is aannemelijk dat deze tijdswinst zich ook voordoet bij de overige stappen in het oppakproces, zoals bij het laden en lossen van het vrachtschip. In onderstaande tabel is de verwachte tijdswinst gecombineerd met de op dat moment geldende uurtarieven.

	Tijdswinst (uren):	Materieel/personeel	Uurtarief	Totale besparing
Laden schip	20	loskraan/schip/grondwerker	€ 129,00	€ 2.580,00
Lossen schip	20	loskraan/schip/vrachtwagen /grondwerker	€ 214,00	€ 4.280,00
Lossen in tussen depot	20	vrachtwagen/grondwerker	€ 115,00	€ 2.300,00
Plaatsen op dijklichaam	20	kraan/grondwerker	€ 129,00	€ 2.580,00

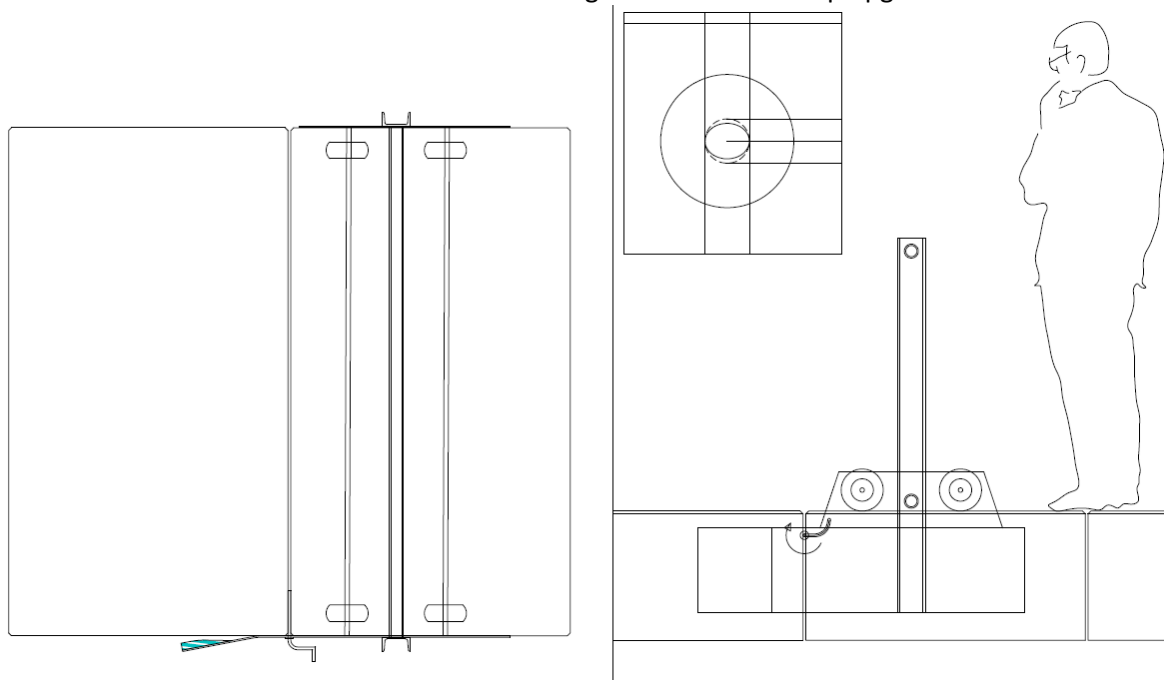
Totale besparing: € 11.740,00

Tabel 9: besparingsberekening bij tijdswinst

Het op positie aanbrengen van de elementen is een precisiewerk. Door voorafgaand aan het plaatsingsproces twee op maat gemaakte afstandhouders tussen de elementen aan te brengen, ligt de tussenafstand vast. Tijdens de pilot is echter gebleken dat het arbeidsintensief is om de elementen met de voorzijde strak gelijk te houden: gemiddeld is 22% van de totale tijd besteed aan het positioneren van de elementen. Door hiervoor een hulpmiddel te ontwikkelen is het mogelijk om tijdswinst te behalen en dus ook kosten te besparen.

Tijdens een brainstormsessie die voor dit onderzoek gepland stond, zijn enkele ideeën ontstaan. Belangrijk is dat de geleider snel en eenvoudig aan te brengen, vormvast en stootbestendig is.

Uit het tijdsverloop van de pilots blijkt dat er circa 1 minuut tijd tussen het plaatsen van de elementen zit. Binnen deze tijdsperiode moeten de afstandhouders en de geleider aan te brengen zijn. Met de ideeën uit de brainstormsessie is het volgende schetsontwerp opgesteld.



Afbeelding 33: Ontwerpschets geleider

Uitgangspunten voor dit ontwerp zijn:

- Snel te (ver-)plaatsen
- Verstelbaar
- Vormvast
- Veilig
- Eenvoudig in gebruik

Een mogelijkheid is om de geleider vast te klemmen op een voorliggend element. Door de geleider uit te rusten met gelagerde wielen zal deze eenvoudig verrijdbaar zijn. De klemkracht wordt behaald door de stalen platen tegen de voor- en achterzijde van het voorliggend element te kunnen verstellen. De aandrijving voor deze verstelling moet nader gedetailleerd worden bepaald. Afhankelijk van de kosten kan gekozen worden voor een hydraulisch (handmatig of pomp), pneumatisch of elektrisch verstelbare cilinder.

Door de geleiderplaat schuin weg te laten verlopen, wordt het eenvoudiger om het volgende element in te draaien.

Door een handgreep op heuphoogte of hoger aan te brengen, wordt het eenvoudig om de geleider te verplaatsen. De handgreep kan tevens direct als versteviging dienen die de klemkrachten opvangt.

Aan het gebruik van een vacuümunit zijn ook risico's verbonden. Wanneer een element gelift wordt, komt het volledige gewicht aan het bovenste laagje beton te hangen. Theoretisch is het mogelijk dat door deze hoge spanningen een vliesje beton van het element los kan komen. Dit zou blijvende

beschadiging achterlaten op de zichtbare zijde van het element. Tijdens beide pilots is hier goed op gelet en geconcludeerd dat dit niet heeft plaatsgevonden. Alle elementen zijn minimaal vijf keer gelift en hebben geen enkele afdruk opgelopen, zowel bij het grove als glad afgewerkte beton.



Afbeelding 34: Geen afdruk bovenzijde element.

7. Conclusie en aanbevolen werkwijze

7.1. Conclusie

In dit afstudeeronderzoek is onderzocht wat de beste werkmethode is voor het plaatsen van een nieuw ontwikkeld type dijkbekleding op een zeedijk. Aanleiding hiervoor is dat dit nieuw ontwikkeld type dijkbekleding nog nooit eerder is toegepast. Door de vele strenge eisen waaraan deze dijkbekleding moet voldoen, moet er een nieuwe plaatsingsmethode worden uitgedacht.

Uit de resultaten van het afstudeeronderzoek kan geconcludeerd worden dat er een speciale werkmethode is ontwikkeld. Deze methode is onderverdeeld in verschillende werkwijze, namelijk: het type kraan, toe te passen hijsvoorziening, geleider en afstandhouders. De beste werkmethode wordt behaald bij inzet van drie verschillende type kranen. Door de combinatie kunnen de sterke punten van iedere kraan benut worden. Voor de hijsvoorziening is er echter maar één geschikt, namelijk de vacuümlifter. De vacuümlifter met centreerhulp is door zijn schadevrije werking, multifunctionele inzetbaarheid, snelheid en betrouwbaarheid de beste werkwijze om de elementen te plaatsen. De vacuümlifter, in combinatie met een extra geleider, heeft geleid tot productieverhoging. De geleider wordt gekoppeld aan het voorliggende element, dit zorgt ervoor dat de elementen sneller geplaatst kunnen worden. Deze versnelling in het proces resulteert in een verlaging van de uitvoeringsduur en de uitvoeringskosten. De extra kosten voor de geleider zijn rendabel, doordat de opbrengsten hoger zullen zijn dan de gemaakte kosten. Voor de afstandhouders zal er geen speciaal hulpmiddel worden ontworpen, er is gebleken dat dit niet productie verhogend zal zijn. Een standaard afstandhouder voldoet namelijk aan de eisen. De tussenafstand van de elementen zal worden bepaald door het toepassen van houten vulplaatjes. Deze oplossing is goedkoop en doeltreffend. Door de vulplaatjes onderin, tussen de elementen te plaatsen zullen deze niet zichtbaar zijn. Aan de hand van de uitgevoerde pilots is bevestigd dat de gestelde eisen, die geschreven staan in het contract, praktisch haalbaar zijn. Op de plaats van de scheiding van werkvakken is vastgesteld dat de werkwijze het meeste effectief is, wanneer er enkele meters bekleding extra van de huidige dijk worden verwijderd. Hierdoor wordt er gezorgd dat de opbouw van de onderliggende fundatie enkele meters verder doorgetrokken en verdicht kunnen worden. Op deze wijze wordt er voorkomen dat er verzakking optreedt.

In het hierop volgende hoofdstuk volgt een uitgebreidere uitleg over de verschillende onderdelen van de werkwijze van dit uitgevoerde onderzoek.

7.2. Aanbevolen werkwijze

Bij aanbesteding heeft Combinatie Aan Den Oever toegezegd dat alle nodige bulkmaterialen voor de werkzaamheden per schip aangevoerd worden. *‘Wij voeren de bulkmaterialen (damwanden, betonelementen, zand, klei) aan via het water van maandag tot en met donderdag en rijden het direct het werk in.’* (Combinatie Aan Den Oever V.O.F., 2016).

Voordat ieder betonelement op zijn definitieve locatie is geplaatst, is het minimaal vijf maal opgepakt en verplaatst. Vanuit de fabriek wordt het element uit de mal in opslag genomen; vanuit de opslag wordt het in een binnenvaartschip geladen, naar Den Oever gevaren en daar gelost, in het werkt terrein opgeslagen en uiteindelijk op de definitieve locatie geplaatst. Ieder element wordt dus zwaar op de proef gesteld. Het oppakken dient daarom goed beschouwd en beproefd te worden om beschadigingen aan de elementen te voorkomen.

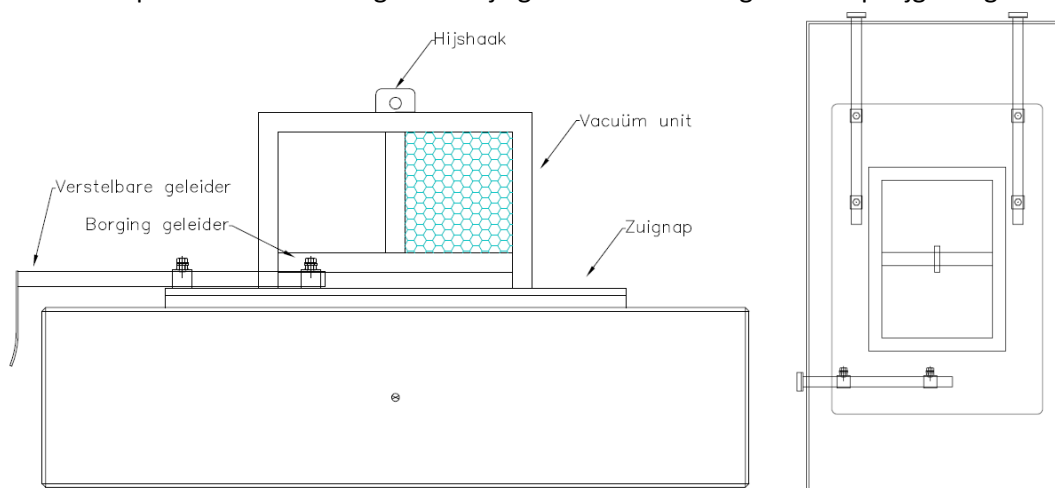
Veiligheid staat bij alle werkzaam voorop, zo ook bij het hijsen en transporteren van de elementen. Door in de voorbereidingsfase te kiezen voor een methode die het minste aantal menselijke handelingen vereist, wordt het risico op letsel sterk verlaagd. Dit is zeer bepalend bij het maken van de keuze.

Wanneer de betonelementen per schip in Den Oever aankomen, zal op de kade een loskraan aanwezig zijn om de elementen op een vrachtwagen over te laden. De vrachtwagen transporteert de elementen over een afstand van 100 meter, waarna ze binnen het werk tijdelijk in opslag worden genomen. Door te kiezen voor een vacuümunit met centreerhulp in combinatie met een kraan die voldoende zicht in het ruim van het schip biedt, is menselijke assistentie niet nodig bij het oppakken van de elementen.

7.2.1. Hijsvoorziening

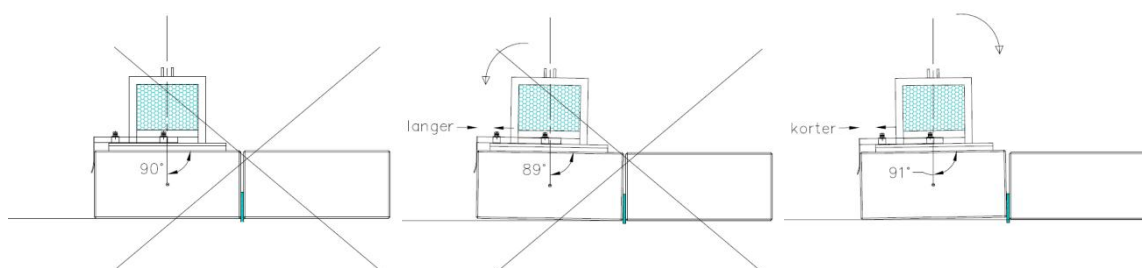
Gedurende het onderzoek is een afweging gemaakt voor de meest efficiënte hijsvoorziening. De keuzematrix heeft aangetoond dat dit de vacuümlifter met centreerhulp betreft. Bijlage 8 geeft aan welke locaties van de getrapte bekleding te maken hebben met de elementen met een opsluitende constructie. Dit is bij gebruik van een vacuümlifter echter geen beperking meer, omdat deze voorziening het mogelijk maakt om de elementen aan de bovenzijde op te pakken. Door het gegenereerde vacuüm blijft het element 'kleven' aan de zuignap.

Zoals eerder beschreven is de verwachting dat elk element gemiddeld vijf keer gehesen wordt. Dit komt in totaal neer op $2600 \times 5 = 13.000$ handelingen. Wanneer dit proces versneld kan worden, kan dit resulteren in een grote besparing van tijd en geld. Deze versnelling wordt onder andere behaald door toepassing van een centreerhulp. Deze hulpconstructie wordt aan twee zijden van de zuignap bevestigd. Met een verstelbare geleider kan deze voor ieder afzonderlijk element worden ingesteld. Zie de ontwerpschets in afbeelding 35. In bijlage 12 is het volledige ontwerp bijgevoegd.



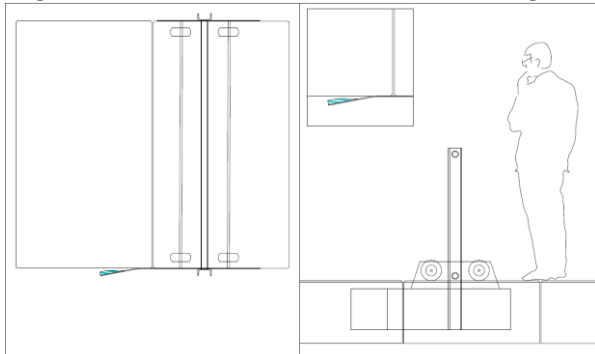
Afbeelding 35: ontwerp vacuümlifter met centreerhulp

Gedurende de pilot is gebleken dat het geen voordeel biedt wanneer de elementen volledig vlak/horizontaal onder de zuignap gehesen worden. Tijdens het contactmoment met de tussenafstandhouders, verplaatste het element zich steeds in de verkeerde richting. Hierdoor bleek het lastig om de bedoelde tussenafstand te behalen. Door, zoals hieronder weergegeven, het element enkele centimeters uit het lood op te hijsen, wordt automatisch een positieve verplaatsing van het element gegenereerd. Hierdoor komt bij het neerzetten van het element de tussenafstandhouder klem te zitten, zodat de gewenste maat behaald wordt (zie onderstaande schetsen).



Afbeelding 36: effect van schuin ophijsen elementen

Een andere hulpconstructie voor het winnen van tijd is toepassing van een geleider aan de voorzijde van de elementen. Deze geleider wordt aan het voorliggende element gekoppeld om zo voldoende stabiliteit te bieden. Tijdens het indraaien van het nieuw te plaatsen element dient de geleider al bevestigd te zijn. De tijdsperiode tussen het plaatsen is circa 1 minuut. Binnen deze tijd dienen de geleider en afstandhouders aangebracht te kunnen worden. Dit betekent dat de geleider dusdanig uitgevoerd moet worden dat deze eenvoudig en snel te plaatsen is.



Afbeelding 37: Ontwerpschets geleider constructie

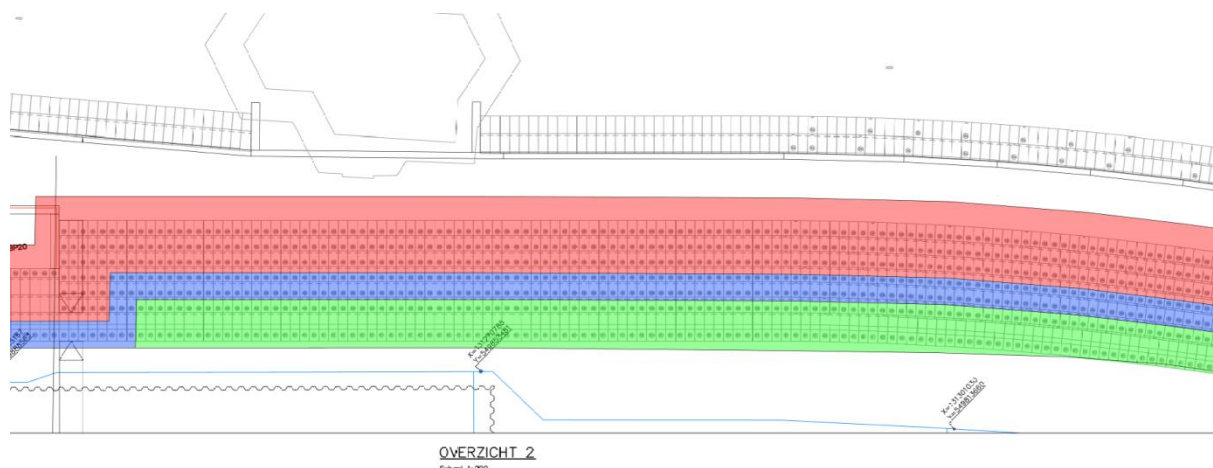
Zoals beschreven in het onderzoek in hoofdstuk 5 dienen de elementen op een vastgestelde tussenafstand geplaatst te worden. Deze tussenmaat is ontworpen in de blokkentekening (bijlage 6). Om deze afstand te bepalen is onderzocht welke methodes hiervoor mogelijk zijn. Door de beperkte ruimte van maximaal 20 millimeter is het toepassing van een verstelbare afstandhouder niet mogelijk. Na onderzoek en het afwegen van de voor- en nadelen is gekozen voor een afstandhouder die na het plaatsen van de elementen achterblijft.

Voor de materiaalkeuze van de afstandhouders is gekeken naar het effect op het milieu. Door te kiezen voor een zacht materiaal dat na enkele jaren wordt afgebroken in het milieu, blijft er geen restproduct achter. Wanneer dit wel het geval zou zijn, is het mogelijk dat schadelijke materialen vrijkomen in de omgeving. Hout is het meest geschikte materiaal bevonden. Dit is eenvoudig en in alle benodigde diktes te verkrijgen.

7.2.2 Kraan

Op basis van de opgestelde matrix is gekozen voor drie verschillende kranen. Deze keuze is gemaakt vanwege het grote verschil in de vluchtlengtes. In onderstaand overzicht is uitgewerkt welke kraan per locatie ingezet moet worden. In afbeelding 38 is ligging van het blokkenmodel vanuit bovenaanzicht weergegeven. Hierin is doormiddel van kleuren aangegeven welk deel van de elementen door welke kraan geplaatst kan worden. De indeling is afhankelijk van het bereik van elke kraan in combinatie met het gewicht van de aan te moeten brengen elementen. Het volledige overzicht is toegevoegd in bijlage 9

Kraan 1, rode vlak,	< 8 meter	Hitachi ZX 180 W (mobiele kraan)
Kraan 2, blauwe vlak:	8-10 meter	Hitachi Zaxis 350LC-3 (rupskraan)
Kraan 3, groene vlak:	> 10 meter	Sennebogen 835 E (los/overslagkraan rups)



Afbeelding 38: Overzicht inzetbaarheid kranen

De kranen zijn geselecteerd op basis van verbruik, mobiliteit, kosten en veiligheid. In bijlage 4 is de volledige keuzematrix te vinden.

7.2.3. Planning

Alle elementen worden per vrachtschip in de haven van Den Oever aangevoerd. Op basis van onderstaande planning is de productie en levering ingedeeld.

Deelgebied	Start levering	Einde levering	Aantal taludelementen	Aantal kruinelementen
E1	Mei 2018	Eind juni 2018	400	130
E2	September 2018	Eind november 2018	1000	130
C	September 2018	Eind oktober 2018	300	150
F	Maart 2019	April 2019	250	170
G	Januari 2019	Februari 2019	0	65

Tabel 10: planning levering elementen

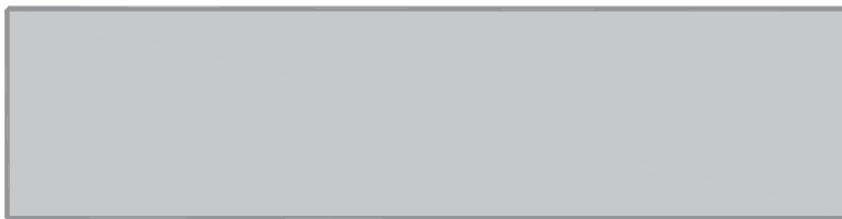
7.2.4. Filterlaag

Voorafgaand aan het aanbrengen van de elementen dient de filterlaag te zijn aangebracht. Deze filterlaag bestaat uit een steenslag met een 20-40 gradatie. Deze laag dient exact op hoogte te zijn aangelegd. Ook de verdichting dient voldoende aandacht te krijgen.

Het op hoogte afwerken van deze laag dient uitgevoerd te worden door middel van een kilverbak (leveler). Door een kilverbak aan een rups aangedreven schranklader te monteren kan deze flexibel en snel over de baan manoeuvreren. Wanneer de onderste rij met elementen is aangebracht moet de achterliggende strook aangevuld en verdicht worden. De steenslag wordt met een kraan achter de elementen verdeeld en direct met een trilwals of trilplaat in lagen verdicht. Direct na afloop kan het op hoogte worden afgewerkt met het kilverbord. Vanwege de grove gradatie zal de afwerking niet eenvoudig zijn, maar met voldoende aandacht voor de voorbereiding en met de inzet van de hierboven beschreven materieelstukken wordt dit mogelijk.

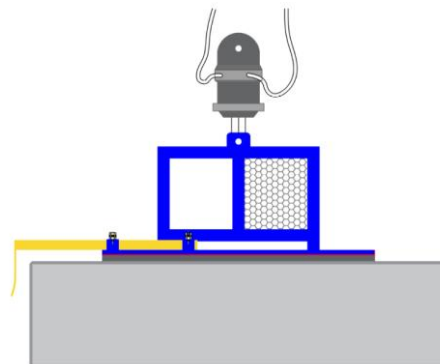
7.2. Resumé aanbeveling

Om de conclusies die gemaakt zijn in voorgaande hoofdstukken te verduidelijken, zijn ze hieronder uitgebeeld in plaatjes.



Afbeelding 39: Prefab element

Verplaatsen/oppakken van de elementen zal uitgevoerd worden met een vacuüm lifter die uitgerust is met een centreerhulp en rotator. De vacuüm lifter zal het werk in combinatie met 3 verschillende kranen uit gaan voeren.



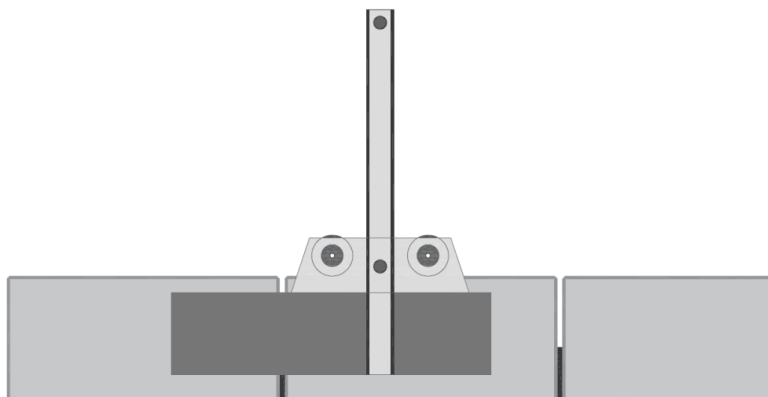
Afbeelding 40: Vacuümunit inclusief centreerhulp



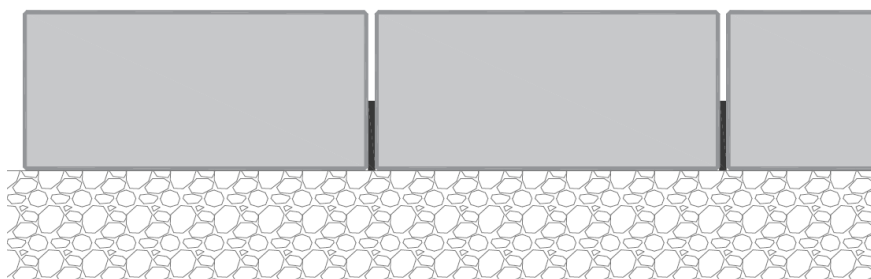
Afbeelding 41: Tussenafstandhouders tussen elementen

De tussenafstand zal bepaald worden door het aanbrengen van houten vul-plaatjes.

Voor een versnelling in het plaatsingsproces is een geleiderconstructie ontworpen. Deze wordt vastgeklemd aan het voorgaande element.



Afbeelding 42: Geleiderconstructie



Afbeelding 43: Elementen op filterlaag

De onderliggende filterlaag zal door een lasergestuurde kilver / leveler + schranklader op hoogte worden afgewerkt.

8. Bibliografie

8.1. Afbeeldingen en tabellen

Afbeeldingen:

- Afbeelding omslag: 3D ontwerp getrapte bekleding
- Afbeelding 3: Overzicht dijkkring 12
- Afbeelding 4: Overzicht projectgebied
- Afbeelding 3: Doorsnede dijkprofiel
- Afbeelding 5: Overzicht dijkkring 12
- Afbeelding 6: Overzicht projectgebied
- Afbeelding 3: Doorsnede dijkprofiel
- Afbeelding 4: Faseringstekening dijkdoorsnede HA07
- Afbeelding 5: Trekspanning in element
- Afbeelding 6: Element heffen met magneet optie 1
- Afbeelding 7: Element heffen met magneet optie 2
- Afbeelding 8: Element heffen met mechanische klem.
- Afbeelding 9: Element heffen met hydraulische klem.
- Afbeelding 10: Element heffen met hijsvoorziening in last.
- Afbeelding 11: Element dragend heffen.
- Afbeelding 12: Element heffen met vacuüm lifter.
- Afbeelding 13: Element heffen met vacuüm lifter met centreerhulp.
- Afbeelding 14: Ontwerp zuignappen
- Afbeelding 16: Rupskraan Hitachi Zakis 350LC-3
- Afbeelding 17: Los/Overslagkraan Sennebogen Umschlagmaschine 835
- Afbeelding 18: Telekraan Grove GMK 2035
- Afbeelding 19: Verreiker MRT 3050 Privilege plus
- Afbeelding 20: Rupstelescoopkraan Sennebogen 630R-HD
- Afbeelding 21: Mobiele kraan Hitachi EX 135 (Hakkers B.V., z.j.).
- Afbeelding 22: Ruimtegebruik kranen
- Afbeelding 23: Overzicht projectgebied
- Afbeelding 24: Blokkenmodel met maatvoering
- Afbeelding 25: Ontwerpen tussenafstandhouders
- Afbeelding 26: Stalen mal
- Afbeelding 27: Gerold beton
- Afbeelding 28: Doorsnede dijkprofiel met opbouw filter laag
- Afbeelding 29: Laser gestuurde kilverbak met schranklader
- Afbeelding 31: Filterlaag te hoog afgewerkt
- Afbeelding 32: Filterlaag op juiste hoogte afgewerkt
- Afbeelding 33: Ontwerpschets geleider
- Afbeelding 34: Geen afdruk bovenzijde element
- Afbeelding 35: Ontwerp vacuümlifter met centreerhulp
- Afbeelding 36: Effect van schuin ophijsen elementen
- Afbeelding 37: Ontwerpschets geleider constructie
- Afbeelding 38: Overzicht inzetbaarheid kranen
- Afbeelding 39: Prefab element
- Afbeelding 40: Vacuümunit inclusief centreerhulp
- Afbeelding 41: Tussenafstandhouders tussen elementen
- Afbeelding 42: Geleiderconstructie
- Afbeelding 43: Elementen op filterlaag



Tabellen:

- Tabel 1: Tabel VO blok versus
- Tabel 2: Krachtverlies hefmagneet
- Tabel 3: Resultaten trade-off matrix 'hijsvoorziening'
- Tabel 4: Hijsvermogen zuignappen
- Tabel 5: Toepasbaarheid zuignappen
- Tabel 6: Blootstellingsduur geluidsbelasting
- Tabel 7: Maattoleranties betonnen elementen
- Tabel 8: Tijdsduur van handelingen tijdens pilot.
- Tabel 9: Besparingsberekening bij tijdswinst
- Tabel 10: Planning levering elementen

8.2. Literatuurlijst

- Aboma B.V.. (juni 2016). *Abomafoon 3.03 verrijker als multifunctioneel werktuig* (3.03). Geraadpleegd van <https://www.abomafoon.nl/>
- Agref architectonisch beton. (z.j.). Gerold beton [Foto]. Geraadpleegd van <https://www.agref.be/architectonisch-beton>
- Alta Equipment Company. (z.j.). Verreiker MRT 3050 Privilege plus. [Foto]. Geraadpleegd van <https://industrial.altaequipment.com/catalog/aerial-lifts/telehandlers/mrt-3050-privilege-plus>
- Autopoisk24. (z.j.). Grove GMK 2035 [Foto]. Geraadpleegd van <https://autopoisk24.net/mark/truck-over-7500/grove/grove-gmk-2035>
- BRIS Bouwbesluitonline. (2012). *Blootstellingsduur geluidsbelasting* (Tabel geluidsbelasting bij werkzaamheden). Geraadpleegd van <https://www.bouwbesluitonline.nl/>
- Combinatie Aan Den Oever V.O.F.. (2016). *VON Havendijk omgevingsplan*. Geraadpleegd van Intern
- Combinatie Aan den Oever V.O.F.. (2017). *Fasering Schematisch obv planning v5.0* (Afbeelding overzicht projectgebied). Geraadpleegd van Intern
- Combinatie Aan den Oever V.O.F.. (2017). *Dwarsprofielen HDA* (Afbeelding doorsnede dijkprofiel). Geraadpleegd van Intern
- Combinatie Aan den Oever V.O.F.. (2017). *Presentatie ontwerp overleg* (Afbeelding VO blok en Van Oord blok). Geraadpleegd van Intern
- Combinatie Aan den Oever V.O.F.. (2017). *Presentatie ontwerp overleg* (Tabel VO blok versus Van Oord blok). Geraadpleegd van Intern
- De Jong, K., & Van Elsâcker, W. (2018). *IO Bouwfase ontwerpnota* (Afbeelding: Faseringstekening dijkdoorsnede HA07). Geraadpleegd van Intern
- Hakkers B.V.. (z.j.). Hitachi Zaxis 350LC-3 [Foto]. Geraadpleegd van <https://www.hakkers.com/materieel/kranen/23/>
- Hakkers B.V.. (z.j.). Sennebogen 630R-HD [Foto]. Geraadpleegd van <https://www.hakkers.com/materieel/kranen/17/>
- Hakkers B.V.. (z.j.). Hitachi EX 135 [Foto]. Geraadpleegd van <https://www.hakkers.com/materieel/kranen/26/>
- Hitachi Zaxis 350LC-3 [Foto]. (z.j.). Geraadpleegd van <https://www.hakkers.com/materieel/kranen/23/>
- Hoogwaterbeschermingsprogramma. (2006). *Hoogwaterbeschermingsprogramma 2*. Geraadpleegd van <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Documenten+openbaar/default.aspx>



Melse Maljaars. (z.j.). Profileren [Foto]. Geraadpleegd van Figuur 7 https://www.melse-maljaars.nl/nl/grondverzet_profileren.htm

Nederlands Normalisatie-instituut. (1990). *NEN 2898*. Geraadpleegd van <https://www.nen.nl/>

Nederlands Normalisatie-instituut. (2002). *NEN 6722*. Geraadpleegd van <https://www.nen.nl/>

Nederlands Normalisatie-instituut. (2009). *NEN-EN 13155+A2* (Hoofdstuk 5.2.7.7. & 7.2.2.2). Geraadpleegd van <https://www.nen.nl/>

Reesink Production. (z.j.). Stalen mallen [Foto]. Geraadpleegd van <http://www.staja.nl/producten/constructie/stalen-mallen/>

SWECON. (z.j.). SENNEBOGEN UMSCHLAGMASCHINE 835 [Foto]. Geraadpleegd van <https://www.swecon-baumaschinen.de/sennebogen-umschlagtechnik/umschlagbagger/835/>

User Manual automatische hefmagneet LI-120 [User Manual]. (2014). Geraadpleegd van <http://www.ixtur.com/index.php/pt/downloads/user-manuals/43-user-manual-li-120-v12-nl/file>

Van Reen, M. J. (2011). Veiligheid Nederland in Kaart 2 (Overstromingsrisico dijkkring 12 Wieringen) [Foto]. Geraadpleegd van https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/135860/dijkkringrapport_12_lr.pdf