

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Maritime & Aviation

Aan: Feyenoord City
Van: André Schram
Datum: 29 november 2019
Kopie:
Ons kenmerk: BF3499MANT1911261731
Classificatie: Projectgerelateerd

Onderwerp: Beschouwing langsdam betreffende stabiliteit kop langsdam i.r.t. erosiekuil en erosiebestendigheid

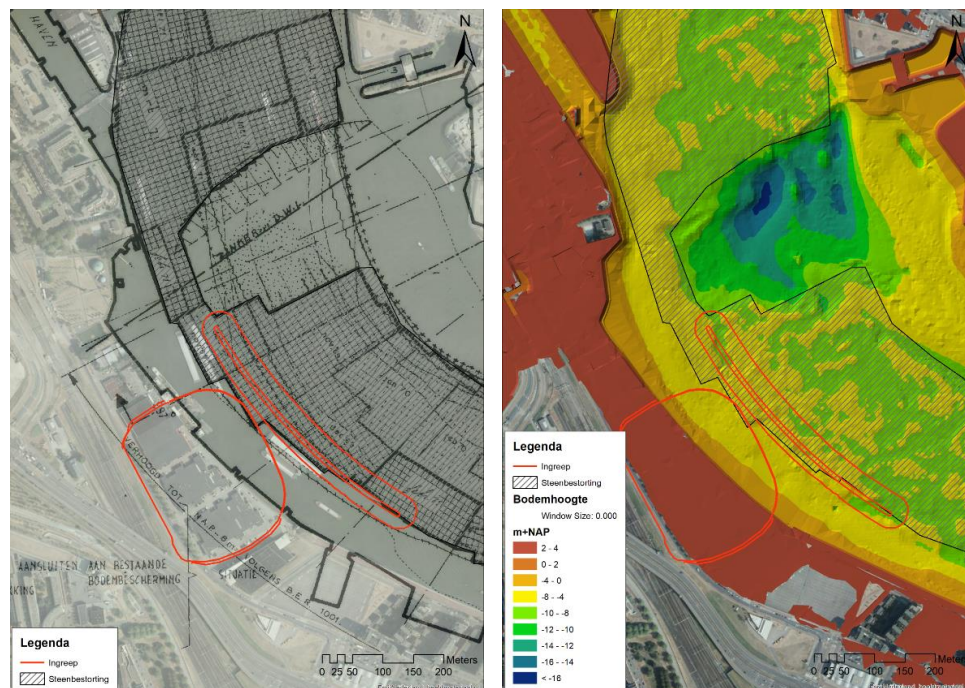
1. Inleiding

Door Rijkswaterstaat is de volgende aanvullende informatie gevraagd:

“Graag ontvang ik een onderbouwing van de stabiliteit (stabiliteitsberekening) van de langsdam in relatie tot de erosiekuil. U dient aan te tonen dat de langsdam erosiebestendig is en meerjarig bestand tegen hoge afvoeren. Eventuele gevolgen van het niet-stabiel zijn van de langsdam voor de vaargeul zijn voor rekening van initiatiefnemer/vergunninghouder.”

De stabiliteitsberekening en de erosiebestendigheid worden in deze memo behandeld.

De erosiekuil is diep verderop in de rivier. Ter plaatse van de noordelijke kop van de langsdam begint de bodem al wel wat te dalen, zie onderstaande figuur.



Figuur 1 Overzicht contouren langsdam en erosiekuil
(erosiekuil in gebied waar in het verleden geen bestorting is aangebracht)

2. Stabiliteitsberekening

De stabiliteit rond de noordelijk kop van de langsdam is onderzocht met Plaxis 2D waarbij de diepere waterbodem is meegenomen. Door de ronde vorm is de belasting vanuit de kruin kleiner dan voor een langsddoorsnede en is tevens de steundruk bij de teen juist groter door een toenemende breedte in verband met de ronde vorm. Dit is meegenomen door toepassing van een axiaal-symmetrisch model in Plaxis 2D.

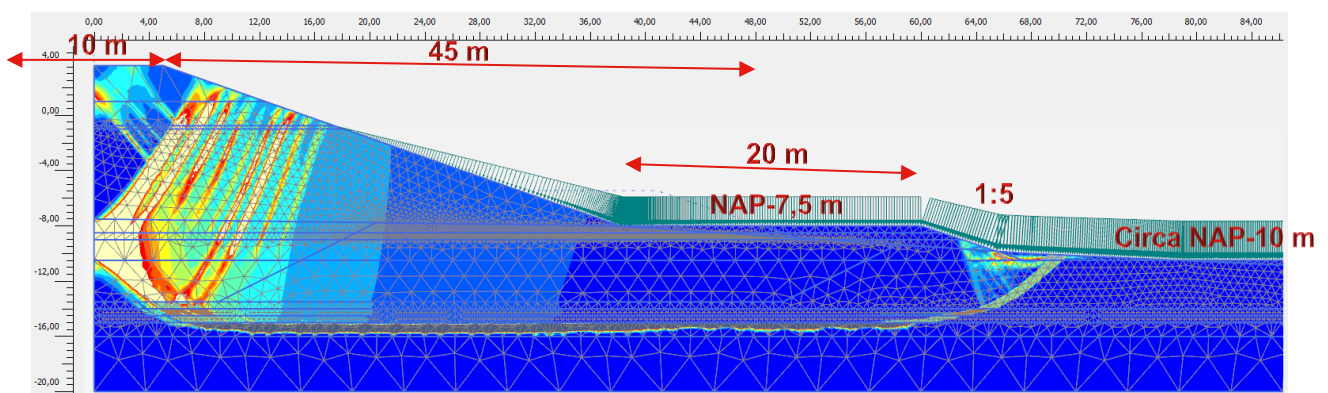
Ten noorden van de noordelijke kop van de langsdam is rekening gehouden met lokaal een dieper waterbodemniveau tot NAP-9 m nabij de teen van de langsdam en nog dieper verder van de teen. Mogelijk zijn hierdoor in de huidige situatie geen zandlagen aanwezig, wat ongunstig is voor de stabiliteit. Dit is niet uit het beschikbare grondonderzoek te herleiden. In de berekening is het diepste waterbodemniveau aangehouden en is de eventuele aanwezigheid van een zandlaag in de huidige situatie verwaarloosd (is conservatief).

In verband met het feit dat het niet een kegelvorm is (wat met een Plaxis 2D axiaal symmetrisch model wordt gemodelleerd), is naar het eind van de langsdam een kruinbreedte van 10 m aangehouden in plaats van 7 m.

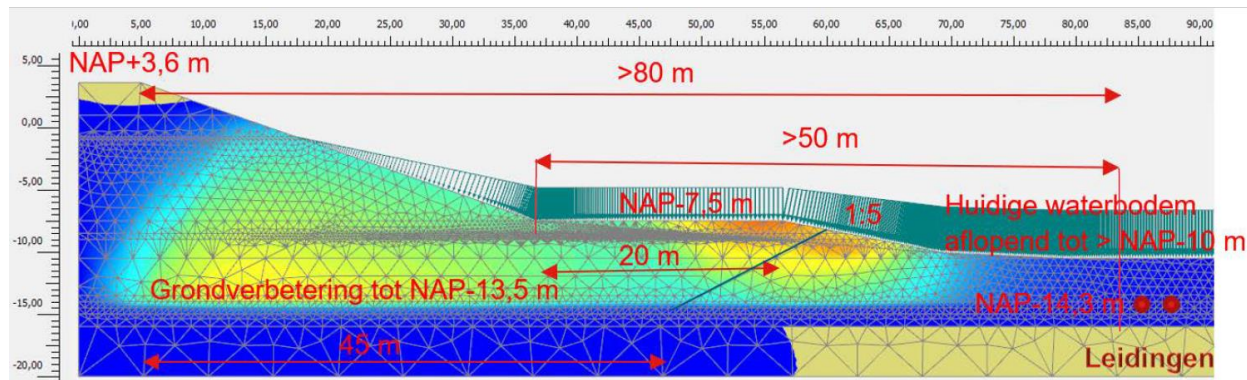
Om te voldoen aan de benodigde veiligheid tegen instabiliteit dient de teen van de grondverbetering te worden doorgezet tot minimaal 45 m uit de buitenkruinlijn van de kop van de langsdam in combinatie met het uitvullen van de waterbodem over minimaal 20 m uit de teen van de langsdam tot een niveau van minimaal NAP-7,5 m afgerond met een talud van ca. 1:5. De fase van de volledige ophoging is hierbij maatgevend.

De berekende veiligheidsfactor RC1 ten aanzien van stabiliteit in de bouwphase ligt net boven de 1,0 en voldoet hiermee juist. Maatgevend is een glijvlak welke deels horizontaal loopt door de klei/veenlagen welke onder de grondverbetering achterblijven. In de bouwphase is het consolidatiepercentage in het midden van deze lagen 0%. Door consolidatie neemt na verloop van tijd de stabiliteitsfactor sterk toe, waardoor deze in de gebruiksfase ruim voldoet.

Ter illustratie van bovengenoemde maatvoeringen zijn hieronder figuur 1 en 2 opgenomen (uitvoer Plaxis).



Figuur 2 Kritische glijvlak kop langsdam bij diepe waterbodem in de bouwphase (axiaal-symmetrisch model)



Figuur 3 Berekende horizontale grondvervorming na 30 jaar rond kop langsdam plus positie Evides leidingen

Onderstaande bodemopbouw is toegepast in de berekening:

Tabel 1 Globale grondopbouw

Niveau bovenzijde [NAP...m]	Grondsoort	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	C_p [-]	C'_p [-]	C_s [-]	C'_s [-]	PSM [-]	K_{start} [m/s]	RR [-]	CR [-]	C_α [-]
Waterbodem- niveau (0-1,5 m dikte)	Zand losgepakt	17/19	30	0	600	200	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0,0038	0,0115	0
Onderkant zandlaag	Klei, zwak siltig, sterk humeus	12,5	20	5	38,4	5,17	115	36,2	0,3864	$2 \cdot 10^{-9}$	0,0775	0,3864	0,0276
-8,5	Veen, kleiig	11	27,5	5	26,3	4,05	65,7	16,2	0,5517	$7 \cdot 10^{-9}$	0,1298	0,5517	0,0506
-9,0	Klei, zwak siltig, sterk humeus	12,5	20	5	38,4	5,17	115	36,2	0,3864	$2 \cdot 10^{-9}$	0,0775	0,3864	0,0276
-10,5	Klei, matig siltig, matig humeus	14,5	27,5	5	67,4	8,86	202	66,5	0,2556	$1 \cdot 10^{-9}$	0,0426	0,2556	0,0137
-14,0	Veen	10,5	22,5	5	22,0	3,39	55,1	13,6	0,6281	$1 \cdot 10^{-8}$	0,1566	0,6281	0,0631
-14,5	Klei, matig siltig, matig humeus	14,5	27,5	5	67,4	8,86	202	66,5	0,2556	$1 \cdot 10^{-9}$	0,0426	0,2556	0,0137
-15,0	Klei, sterk siltig, zwak humeus	19	27,5	5	161	19,4	645	387	0,1204	$1 \cdot 10^{-10}$	0,0143	0,1204	0,00380
-16,0	Zand, matig gepakt	19/21	32	0					n.v.t.	n.v.t.	0,0013	0,0038	0

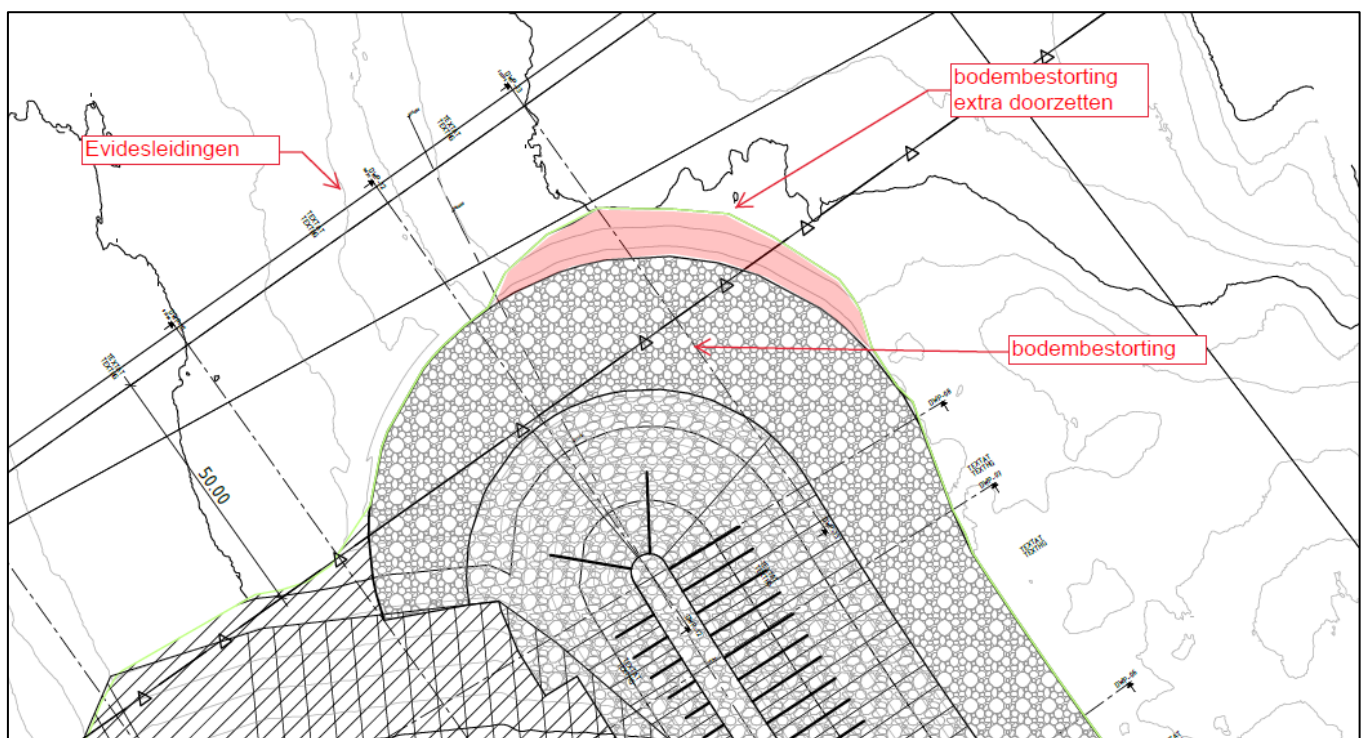
Waarin:

- γ volumieke gewicht van grond bij natuurlijk vochtgehalte
- γ_{sat} volumieke gewicht van verzadigde grond
- ϕ' effectieve hoek van inwendige wrijving
- c' effectieve cohesie
- C_p/C'_p primaire samendrukbaarheid voor/na de grensspanning (Koppejan)
- C_s/C'_s secundaire samendrukbaarheid voor/na de grensspanning (Koppejan)
- PSM Permeability strain modulus (afhankelijkheid doorlatendheid van rek)
- K_{start} initiële doorlatendheid
- RR primaire herbelasting/zwelingsratio voor de grensspanning (NEN-Bjerrum)
- CR primaire samendrukbaarheid na de grensspanning (NEN-Bjerrum)
- C_α secundaire samendrukkingsindex na de grensspanning (NEN-Bjerrum)

3. Erosiebestendigheid: Breuksteenbekleding en teen/bodembestorting

De bekleding van de langsdam en teenbestorting is gedimensioneerd op een steensortering 10 – 60kg. De zwaarte van deze sortering is volledig bepaald door de hoofdschroefstraalbelasting van passerende schepen. De resulterende stroomsnelheid is veel groter dan de stroomsnelheid bij maximale rivierafvoer. Het ontwerp van de breuksteenbestorting is uitgewerkt in de separate memo “Ontwerp bekleding langsdam Feyenoord City”, ref. BF3499MANT1911271504, d.d. 29 november 2019. Deze memo is als bijlage toegevoegd.

Met betrekking tot de erosiekuil is in onderstaande plattegrond van de noordelijke kop van de langsdam schematisch het uit te vullen gebied richting erosiekuil aangegeven (met daarop bestorting).



Figuur 4 Kop van de langsdam (startende erosiekuil opvullen en afdekken met stortsteen)

4. Conclusies

Stabiliteitsberekening

In het ontwerp en de stabiliteitsberekeningen van de langsdam is rekening gehouden met de erosiekuil. In de stabiliteitsberekening is de aanwezige diepte ter plaatse van de kop van de langsdam meegenomen, en wordt deze waar nodig aangevuld en afgedekt met breuksteen, zodat eroderen wordt voorkomen.

Erosiebestendigheid

In het ontwerp van de benodigde breuksteensortering op het talud van de langsdam is rekening gehouden met de stroomsnelheid als gevolg van hoofdschroefstraal belastingen van passerende schepen.

Aangezien de stroomsnelheid hierbij groter is dan de stroomsnelheid als gevolg van rivierafvoer, is de langsdam eveneens meerjarig bestand tegen hoge rivierafvoeren.

BIJLAGE

“Ontwerp bekleding langsdam Feyenoord City”, ref. BF3499MANT1911271504, d.d. 29 november 2019

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Maritime & Aviation

Aan: Feyenoord City
Van: Kasay Asmerom, André Schram
Datum: 29 november 2019
Kopie:
Ons kenmerk: BF3499MANT1911271504
Classificatie: Projectgerelateerd

Onderwerp: Ontwerp bekleding langsdam Feyenoord City

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Randvoorwaarden en uitgangspunten.....	2
2.1	Locatie, lay-out en hoofdafmetingen	2
2.2	Waterstanden	3
2.3	Golven	3
2.4	Stroomsnelheid	4
3	Ontwerpresultaten bekleding langsdam (breuksteen)	8
4	Principe doorsnedes langsdam	9
5	Referenties	11
	Bijlage A Ontwerpberekeningen	12

1 Inleiding

In deze notitie wordt het ontwerp van de bekleding van de langsdam in de Nieuwe Maas voor het nieuwe stadion van Feyenoord gepresenteerd.

De langsdam fungeert als afbakening van de vaargeul met het deels in de rivier te bouwen nieuwe stadion van Feyenoord.

2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

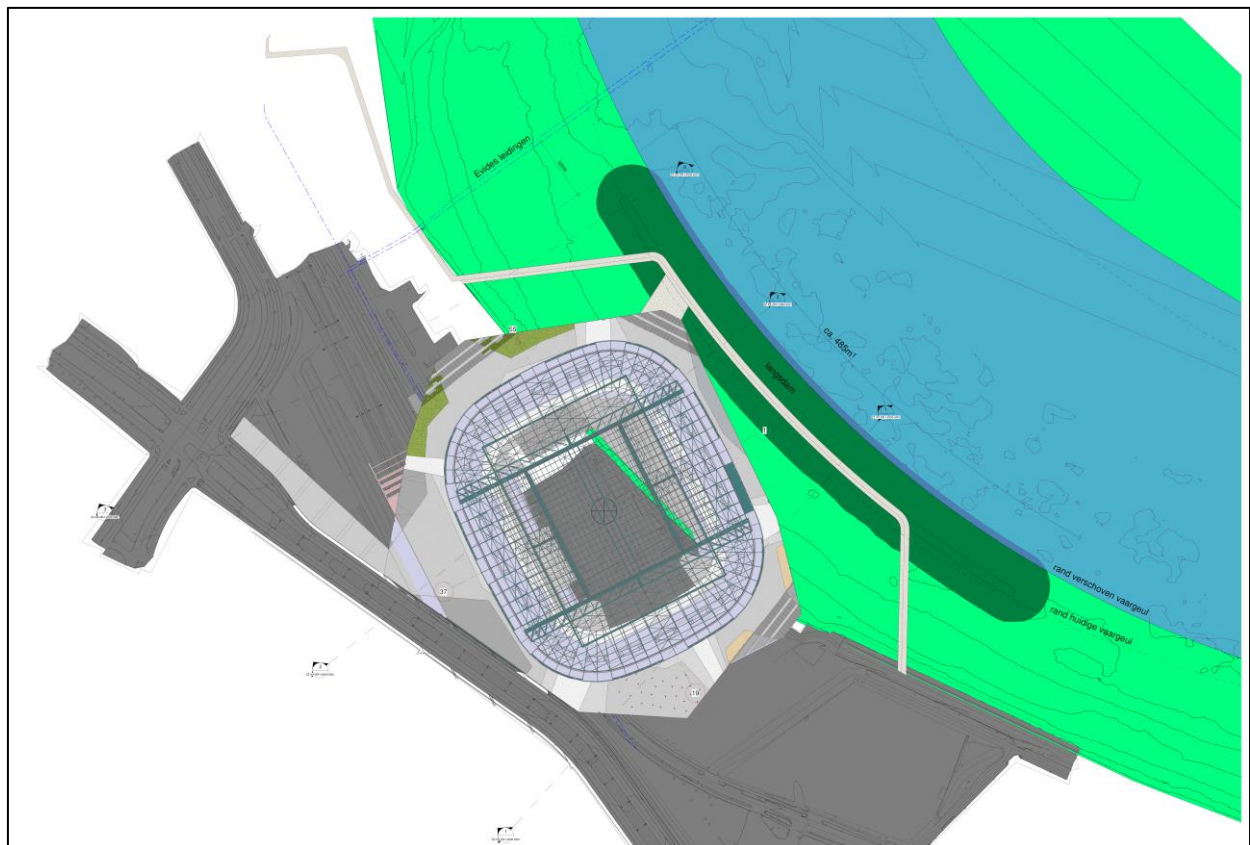
2.1 Locatie, lay-out en hoofdafmetingen

De locatie en lay-out van de langsdam is gepresenteerd in DO-situatie tekening FEY-RHD-ZZ-XX-DR-I-1510-2001. Een uitsnede van deze tekening is opgenomen in Figuur 2-1.

De langsdam is ontworpen met onderstaande hoofdafmetingen:

- Talud rivier- en landzijde: 1:3
- Kruinhoogte: NAP +3,0m

Voorzien is dat de langsdam zal worden opgebouwd m.b.v. perskades (meerdere dammetjes van granulair materiaal, bijv. gauwacke) met zandaanvulling erachter als kernmateriaal voor de langsdam. De langsdam krijgt vervolgens een bekleding van breuksteen.



Figuur 2-1 Lay-out langsdam

2.2 Waterstanden

Onderstaande waterstanden zijn overgenomen uit de statistische waarden van Rijkswaterstaat voor de locatie Rotterdam (Nieuwe Maas):

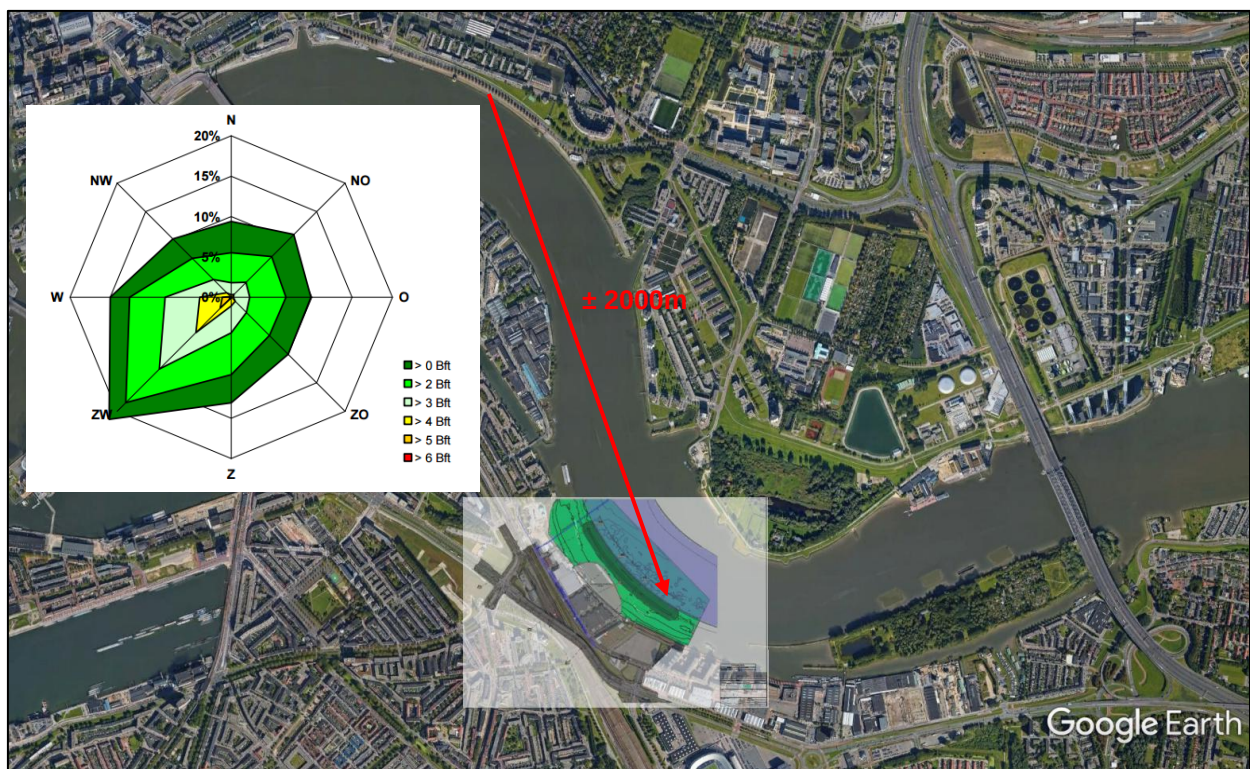
- HW NAP +1,32m
- Gemiddelde waterstand NAP +0,24m
- LW NAP -0,39m

Deze waterstanden komen redelijk overeen met de waterstanden zoals opgenomen in de HydroMeteoBundel [Ref. 1] voor de dichtstbijzijnde locatie (Waalhaven).

2.3 Golven

Golven gegenereerd door wind

De potentiële door wind opgewekte golfcondities zijn geschat aan de hand van een indicatieve som uitgevoerd met de Brettschneider-formule zoals opgenomen in de Rock Manual [Ref. 2]. Er zijn geen windgegevens in directe nabijheid van de projectlocatie. De dichtstbij gelegen windsensoren bevinden zich in de Lekhaven, ongeveer 5km ten westen van het projectgebied. Deze windgegevens, conform HydroMeteoBundel [Ref. 1] worden daarom toegepast in het berekenen van de windgolven.



Figuur 2-2 Strijklengte en windroos

Op basis van oriëntatie van de kade en beschikbare windroos, zie Figuur 2-2, is de volgende dominante windrichting en strijklengte bepaald:

- Windrichting: NNW
- Strijklengte: 2000m
- Windsnelheid: 8m/s (4Bft)

De berekende windgegeneerde golf heeft een hoogte (H) van ca. 0,2m en een periode (T) van 1,6s (zie Bijlage A). Hieruit kan worden geconcludeerd dat, door een zeer geringe strijklengte, de windgolven relatief klein zijn.

Golven gegenereerd door passerende schepen

Passerende schepen genereren secundaire golven welke schuin weglopen en breken op de oever. Op basis van de Rock Manual [Ref. 2] is een 1^e inschatting gemaakt van de secundaire scheepsgolfcondities. Voor een waterdiepte van gemiddeld 7,5m, een vaarsnelheid van 4m/s en een afstand van schip tot de langsdam van 10m, is de golfhoogte ca. 0,40m en de golfperiode ca. 2,1s (zie Bijlage A). Deze scheepgolven komen onder een hoek van ca. 55 graden aan ten opzichte van de normaal van de glooiing, welke leidt tot een zogenaamde equivalente golfhoogte reductie van 68%.

Op basis van deze inschatting wordt niet verwacht dat golven als gevolg van passerende schepen hoger zullen zijn dan 1,0m.

2.4 Stroomsnelheid

Schroefstroming gegenereerd door passerende schepen

Bij het passeren van de langsdam zullen schepen enkel hun hoofdschroef gebruiken. Het gebruik van een boegschroef is tijdens normale vaart (vaarsnelheid boven 2 á 3 knopen) niet aannemelijk.

De schroefstroming van de hoofdschroef veroorzaakt een naar achter en zijwaarts gerichte stroming naar het talud (radiaal uitwaaien), welke het talud van de langsdam zal belasten. De schroefstroming is hierdoor van invloed is op de stabiliteit van de breuksteenbekleding en op de stabiliteit van de grauwwacke tijdens de uitvoeringsfase.

Uitgangspunten

Relevante scheepsuitgangspunten zijn weergegeven Tabel 2-1. Bij het identificeren van deze uitgangspunten is gebruik gemaakt van scheepsdata zoals vermeld in PIANC WG180 [Ref. 3], zie Figuur 2-3

Tabel 2-1: Scheepsuitgangspunten

Parameter	Rijnschip max / 400 TEU containerschip (CEMT VIa)	Bron
Lengte	135m	HbR overzicht met ontwerpschepen binnenvaart (xls-sheet uit april 2018)
Breedte	17m	
Diepgang geladen	4,15m	
<u>Hoofdschroef</u>		
Totaal vermogen	3.400kW	PIANC WG180, see Figuur 2-3
Aangewend vermogen	100%	Aanname
Aantal schroeven	2	PIANC WG180, see Figuur 2-3
Type schroef	in tunnel	PIANC WG180, see Figuur 2-3
Schroefdiameter	1,8m	PIANC WG180, see Figuur 2-3
Schroefas t.o.v. kiel	0,5*D _p + 0,2m	Aanname

5.4.7. Propulsion Systems of Inland Vessels

Size and propulsion system of inland vessels vary widely and depend on the type of vessel and the navigation conditions such as width and depth of the waterways and the hydraulic structures such as locks. Ship types to be distinguished are: conventional cargo vessels, container vessels, push-tow units, passenger ships, recreational boats and service boats such as tugs and patrol vessels. For the cargo vessels the available power for the main propulsion system is about 0.5 kW per tonne loading capacity with a standard deviation of 30 %. For the largest ships the standard deviation is 20-25 %. Most ships are equipped with a double rudder system.

Focussing on the European and US inland fleet nowadays typical characteristic ship dimensions are [MARIN, 2008 ; PIANC Report 99, 2008]:

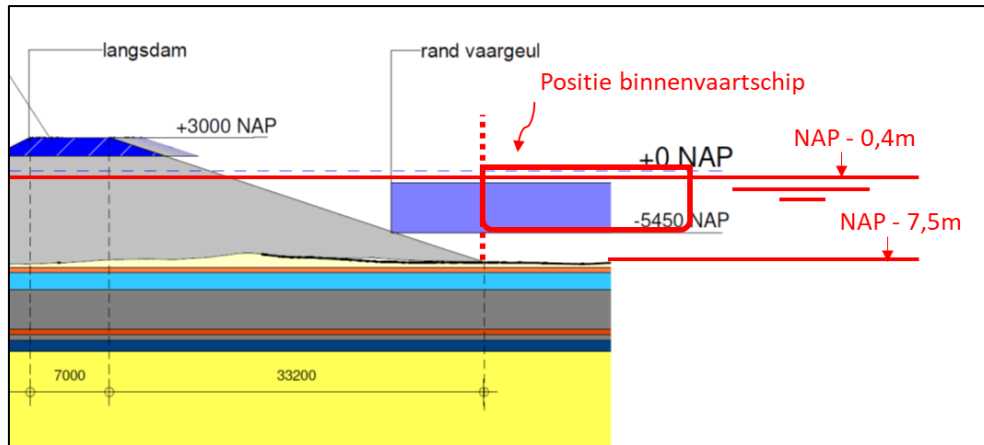
- Conventional cargo ship DEK-type and RHK-type: length up to 85 m; 1 (some 2) propeller with a diameter of 1.2 to 1.6 m and an installed engine power 550 to 750 kW; installed bow thruster power about 250 kW (standard deviation 30 %)
- Modern new built conventional cargo ship Rhine-type and Rhine-max: length 110 to 135 m; mostly 1 and some with 2 propellers in nozzles (ducted propellers) with a diameter of 1.6 to 1.8 m and an installed engine power of 900 to 2800 kW; equipped with bow thrusters up to 700 kW (standard deviation 30 %)
- Container vessel (400 TEU): length 135 m; 2 propellers in a nozzle with a diameter of 1.6 to 1.8 m and an installed engine power of 2,000 to 3,400 kW; equipped with 2 bow thrusters
- European push-tow units: length 185-250 m; 2 or 3 propellers in a nozzle with a diameter of 1.6 to 2.0 m and an installed engine power of 900 to 2,800 kW; equipped with 1 or 2 bow thrusters or equipped with flanking rudders
- USA push-tow units: length 440 m; 2 or 3 propellers in a nozzle with a diameter of 2.7 m and an installed engine power of 900 to 2,800 kW; no bow thrusters or equipped with flanking rudders
- Passenger ships: 2 or 3 propellers in a nozzle with a diameter of 1.6 to 1.8 m and an installed engine power of 800 to 1,400 kW; equipped with 2 bow thrusters
- Tugs: 2 propellers in a nozzle with a diameter of 1.6 to 1.8 m and an installed engine power of 800 to 1,000 kW; equipped with 2 bow thrusters

Different types of bow thrusters are applied for inland navigation: transverse thrusters in a tunnel (Figure 5.22) with up to 350 kW and pump jet thrusters (see Figure 5.14) up to 2,000 kW. The last type can also be built in older ships which originally were not equipped with a bow thruster.

Figuur 2-3 Hoofdschroef vermogen en dimensies PIANC WG180 [Ref. 3]

Voor de positie van het ontwerpschip en de geometrie van de langsdam zijn de onderstaande uitgangspunten gehanteerd (zie ook Figuur 2-4):

- Waterniveau: LW = NAP -0,4m;
- Bodemniveau / bovenzijde bodembescherming: NAP -7,5m;
- Talud: 1:3
- Afstand zijkant schip tot talud (teenlijn): Min. 0m



Figuur 2-4 Positie ontwerpschip

De kans dat een schip dwars op het talud komt te liggen wordt zeer klein geacht. Daarom wordt stroming ten gevolge van de hoofdschroef loodrecht op het talud buiten beschouwing gelaten. Voor het bepalen van de maximale schroefstroming bij het onderwatertalud is gebruik gemaakt van methodes en formules uit PIANC WG180 [Ref. 3].

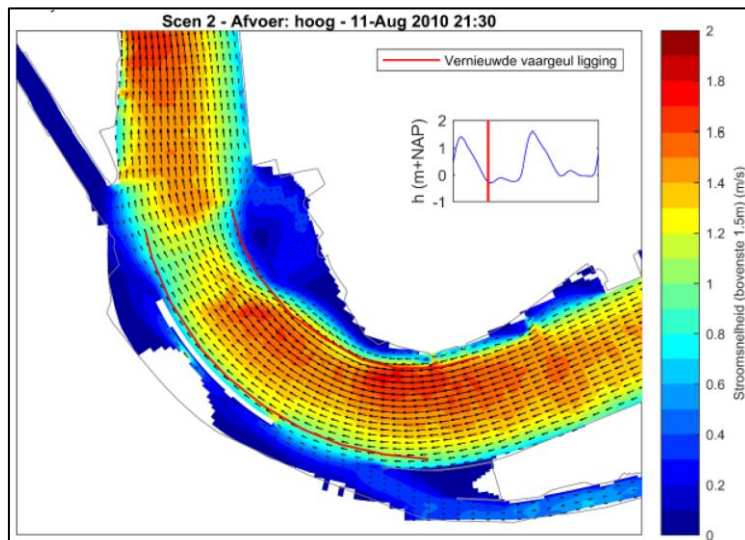
Hoofdschroefbelasting

Bovengenoemde input resulteert in een uitstroomsnelheid van 9,4m/s direct achter de propellers. Deze stroom waaiert radiaal uit onder een hoek van ca. 12,5° met de lengteas. De afstand van de schroefas tot de bodem (h_p) is 3,55m.

Op een afstand van circa 20m achter het schip bereikt de schroefstroom op bodemniveau de maximale stroomsnelheid van 1,8m/s. Ter plaatse van de teen van het talud bedraagt de maximale stroomsnelheid dan 0,5m/s. Ontwerpberekeningen zijn opgenomen in Bijlage A.

Getijstroming

De getijstroming is nader beschouwd in een rivierkundige beoordeling van de ontwikkeling van het stadion en de langsdam [Ref. 1]. Modelresultaten wijzen uit dat de stroomsnelheid nabij de langsdam circa 0,8m/s bedraagt (bij hoge afvoer), zie Figuur 2-5.



Figuur 2-5 Stroomsnelheid bij hoge afvoer

3 Ontwerpresultaten bekleding langsdam (breuksteen)

De bekleding van de langsdam start vanaf de teen en wordt doorgetrokken tot op de kruin van de langsdam. In het huidige ontwerp wordt breuksteen 10–60kg voorzien in een laagdikte van 0,5m, welke aangebracht dient te worden op een zinkstuk bestaande uit een roosterwerk van rijshouten wiepen (h.o.h. 1m) met geotextiel. Vanaf de teen van de langsdam wordt de bestorting nog ca. 20 m doorgezet op de bodem.

In deze paragraaf wordt gekeken in hoeverre breuksteen 10–60kg voldoet aan de verwachte golf- en stromingsbelastingen (door getij, wind en schepen).

Stabiliteit ten aanzien van golfbelastingen

De stabiliteit van de breuksteen is berekend met behulp van de Van der Meer formules [Ref. 2]. De volgende input parameters zijn hierbij toegepast:

- Scheepsgolven:
 $H_s = 0,4\text{m}$; $T_m = 2,1\text{s}$; golfhoek = $55^\circ \Rightarrow H_{seq} = 0,68 * 0,4 \approx 0,3\text{m}$;
Duur = 0,5 uur (conservatief voor een passerend schip);
Windgolven:
 $H_s = 0,2\text{m}$; $T_m = 1,6\text{s}$; golfhoek = $0^\circ \Rightarrow H_{seq} = 1 * 0,2 \approx 0,2\text{m}$;
(Storm)duur = 6 uur;
- Dichtheid water = 1.000kg/m^3 ;
- Dichtheid breuksteen = 2.650kg/m^3 ;
- Doorlatendheid van glooiing (P) = 0,1;
- Schade factor = 1 á 2
- Talud = 1:3

De resulterende minimaal benodigde steengrootte is ca. 2kg ($D_{n50} = 0,1\text{m}$), zie Bijlage A. Dit betekent dat de breuksteengradering van 10–60kg (met gemiddelde $W_{50} = 35\text{kg}$ en $D_{n50} = 0,24\text{m}$) ruim voldoende is wanneer het golfaanval betreft door de aangenomen scheeps- en windgolven.

Stabiliteit i.v.m. schroefstraal-stroming

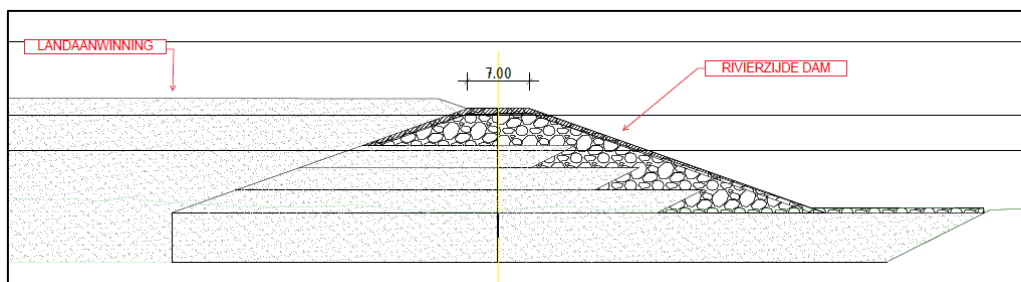
Voor het bepalen van de benodigde steengrootte ten aanzien van stromingen is gebruik gemaakt van de methodes (Izbash) en formules uit de Rock Manual [Ref. 2].

De resulterende minimaal benodigde steengrootte is ca. 32kg ($D_{n50} = 0,23\text{m}$), zie Bijlage A. Dit betekent dat de breuksteengradering van 10–60kg ($D_{n50} = 0,24\text{m}$; $W_{50} = 35\text{kg}$) voldoende zwaar is om stabiel te blijven in de maximale schroefstroomsnelheid van 1,8m/s.

4 Principe doorsnedes langsdam

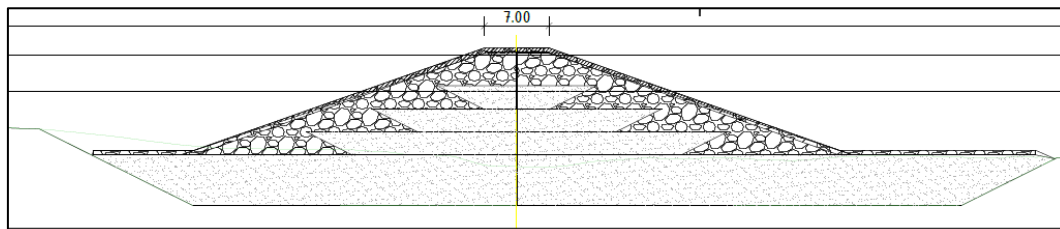
Zoals aangeven wordt de langsdam gefaseerd opgebouwd uit zand tussen stenen dammetjes van grauwacke. De specificatie van de grauwacke gradering (ca. 0 – 40 mm) is afhankelijk van de hydraulische stabiliteit hiervan tijdens de uitvoering bij golf- en stromingsbelastingen (door getij, wind en schepen). Tijdens de uitvoering zal de scheepvaart op afstand worden gehouden i.v.m. de nautische veiligheid, waardoor de stromingsbelastingen vanuit de scheepvaart naar verwachting voldoende laag zullen zijn.

Aan de stadionzijde van de langsdam wordt er een landaanwinning gerealiseerd waarop het stadion zal worden gebouwd. Deze landaanwinning (op NAP+4,1m) sluit voor een deel aan op de langsdam, zodat er over die lengte geen diepgelegen dammetjes aan de stadionzijde zullen worden toegepast.

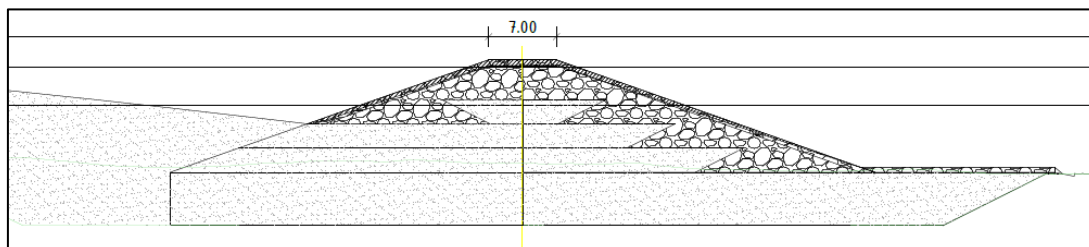


Figuur 4-1 Principeddoorsnede t.p.v. landaanwinning

De langsdam zal worden bekleed met breuksteen (10-60kg). De rivierzijde van de langsdam en de beide koppen worden volledig bekleed. Meelopend met het talud van de landaanwinning zal de toe te passen hoogte van de stenen dammetjes met breuksteenbekleding afnemen aan de stadionzijde van de langsdam (zie onderstaande figuren ter indicatie).



Figuur 4-2 Principeddoorsnede t.p.v. volledige dam

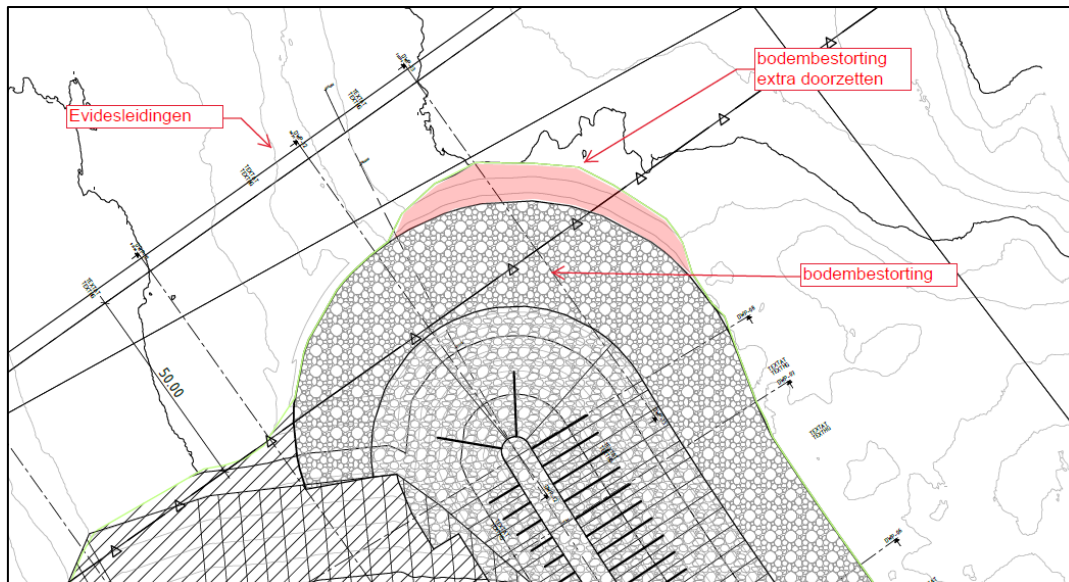


Figuur 4-3 Principeddoorsnede talud landaanwinning tegen dam

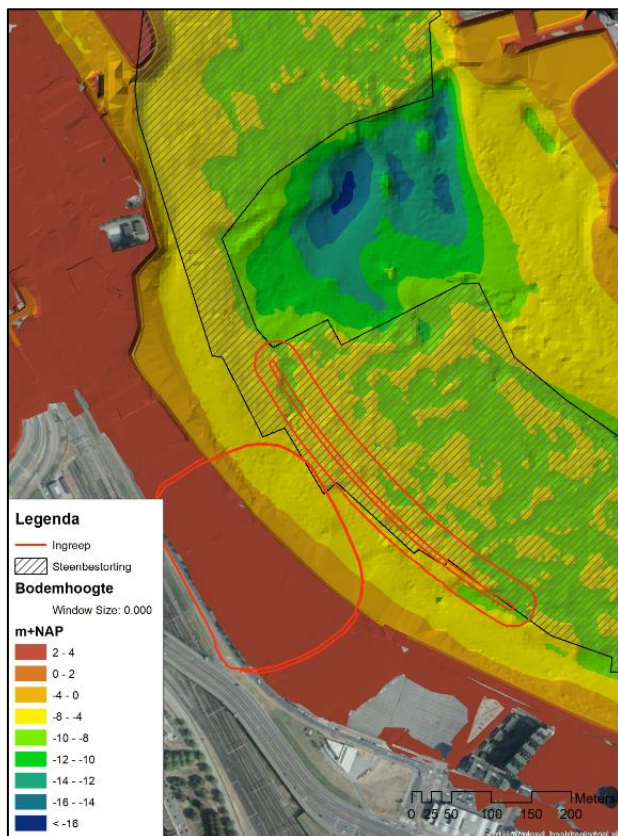
Aan de stadionzijde van de dam zal de 10-60kg bestorting mogelijk overgedimensioneerd zijn. Gezien het feit dat dit gebied nog nader ontwikkeld zal worden, met mogelijk ook scheepvaart richting stadion inclusief ligplaatsen, vlak langs de dam, wordt er nu niet voor een overgang naar lichtere bestorting gekozen. Eventueel kan dit nog in een later stadium worden doorgevoerd.

De teen van de noordelijke kop van de langsdam ligt op 50m uit zijkant bestaande Evides leidingen. Boven de Evides leidingen zit (verder de rivier in) een erosiekuil.

Ter plaatse van de noordelijke kop van de langsdam wordt het ook al iets dieper; deze verdieping wordt opgevuld en voorzien van breuksteen om erosie in de toekomst te voorkomen. E.e.a. is schematisch aangegeven in onderstaande figuren.



Figuur 4-4 Principe kop van de langsdam



Figuur 4-5 Indicatief: Diepe erosiekuil ligt verder in de rivier

5 Referenties

- 1 Havenbedrijf Rotterdam, HydroMeteoBundel nr.4, 2012
- 2 CIRIA / CUR / CETMEF, The Rock Manual: The use of rock in hydraulic engineering, 2007
- 3 PIANC WG180, Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour by Ships, 2015
- 4 Royal HaskoningDHV, Rivierkundige beoordeling Feyenoord City, BF3499WATRP190913_f2.0, 13 september 2019

Bijlage A Ontwerpberekeningen

WIND GENERATED WAVE GROWTH (SVERDRUP-MUNK-BRETSCHNEIDER 1977)

REFERENCES: CIRIA / CUR / CETMEF; The Rock Manual; 2007 (section 4.2.4.6, page 369)

Rock Manual 2007, Eq. 4.78 & 4.79 & 4.80

INPUT:

Constants $g = 9.807 \text{ s}^{-2} \cdot \text{m}$ $\text{knot} := \frac{1853.25 \cdot \text{m}}{3600 \cdot \text{sec}}$ hour := 3600 · sec
:
Wind speed: $U_{10} := 8 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$
Wind fetch: $F := 2.0 \cdot \text{km}$

DERIVED PARAMETERS AND FORMULAE:

$$H_s := \frac{U_{10}^2}{g} \cdot 0.283 \cdot \tanh \left[0.0125 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_{10}^2} \right)^{0.42} \right] \quad T_s := \frac{U_{10}}{g} \cdot 7.54 \cdot \tanh \left[0.077 \cdot \left[\frac{g \cdot F}{(U_{10})^2} \right]^{0.25} \right]$$

OUTPUT:

Significant wave height: $H_s = 0.25 \text{ m}$
Significant wave period: $T_s = 1.9 \text{ s}$

SHIP INDUCED WAVES AND WATER MOTIONS

REFERENCES: 1. CIRIA / CUR / CETMEF; The Rock Manual; 2007 (Section 4.3.4, p. 434) and errata list of 2 February 2016 (includes corrections)

Rock Manual - page 440:

$\alpha_i = 1$ for tugs, recreational craft and **loaded** conventional ships & **unloaded** push units

$\alpha_i = 0.35$ for **unloaded** conventional ships

INPUT:

Constants: $g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Waterway info:

Still water level: SWL := 0.0-m CD

Bed level: $h_{\text{bed}} := -7.5\text{-m}$ CD

Vessel info:

Length overall: $L_s := 135\text{-m}$

Breadth: $B_s := 17\text{-m}$

Draught: $T_s := 4.15\text{-m}$

Sailing distance to bank: $y_s := 10\text{-m}$

Ship speed: $V_s := 4\text{-m}\cdot\text{s}^{-1}$

Ship type coefficient: $\alpha_i := 1$

FORMULAE AND DERIVED PARAMETERS:

Water depth: $h := \text{SWL} - h_{\text{bed}}$ $h = 7.5\text{m}$

Secondary ship waves (interference peaks):

Secondary ship wave height: $H_i := 1.2 \cdot \alpha_i \cdot h \cdot \left(\frac{y_s}{h} \right)^{-0.333} \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{g \cdot h}} \right)^4$ $H_i = 0.4\text{m}$

Secondary ship wave length: $L_i := \frac{4 \cdot \pi}{3} \cdot \frac{V_s^2}{g} = 6.834\text{m}$ $L_i = 6.8\text{m}$

Secondary ship wave period: $T_i := 5.1 \cdot \frac{V_s}{g} = 2.08\text{s}$ $T_i = 2.1\text{s}$

VESSEL INDUCED FLOW VELOCITY - HOR. BED

REFERENCES: 1. PIANC WG48, Report 180; Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships; 2015
2. CIRIA / CUR / CETMEF; The Rock Manual; 2007 (Section 4.3.45, p. 434)
3. T. Blokland; PAO Course Quay Walls - Design of Scour Protections; 2017

INPUT:

Constants:	$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	hour := 3600·sec	W = 1 W
Berth information:		Deberthing information:	
Still water level:	SWL := -0.4·m CD	Distance of propeller axis to lateral boundary:	$y_{pb} := 5 \cdot \text{m}$
Bed level:	$h_{bed} := -7.0 \cdot \text{m}$ CD		
Vessel information:		Other information:	
Length overall:	$L_s := 135 \cdot \text{m}$	Density of water:	$\rho_w := 1025 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Breadth:	$B_s := 17 \cdot \text{m}$	Factor of confinement influence:	$f := 1$
Draught:	$T_s := 4.15 \cdot \text{m}$		

Main engine(s) / propeller(s):

Total power of main engine(s):	$P_p := 3400 \cdot \text{kW}$
%-age of power applied:	$P_{papp} := 100\%$
Number of propellers:	$N_p := 2$
Propeller diameter:	$D_p := 1.8 \text{m}$
Type of propeller:	$T_p := \text{"Ducted"}$
Distance between propellers:	$y_p := 9 \text{m}$
Distance of propeller tip to keel:	$h_{ptk} := 0.20 \text{m}$

FORMULAE AND DERIVED PARAMETERS:

Water depth:	$h := \text{SWL} - h_{bed}$	$h = 6.6 \text{m}$
Underkeel clearance:	$K_c := h - T_s$	$K_c = 2.45 \text{m}$
Distance propeller axis to keel:	$h_{pk} := \frac{D_p}{2} + h_{ptk}$	$h_{pk} = 1.1 \text{m}$
Distance propeller axis to bed:	$h_p := K_c + h_{pk}$	$h_p = 3.55 \text{m}$

Main propeller(s)

flow:

Propellor orifice outflow
velocity:

$$U_{p0} := \begin{cases} 1.48 \cdot \left(\frac{P_{papp} \cdot \frac{P_p}{N_p}}{\rho_w \cdot D_p^2} \right)^{\frac{1}{3}} & \text{if } T_p = \text{"Non-ducted"} \\ 1.17 \cdot \left(\frac{P_{papp} \cdot \frac{P_p}{N_p}}{\rho_w \cdot D_p^2} \right)^{\frac{1}{3}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad U_{p0} = 9.36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Max. U_{bed} at X from
propeller:

Flow velocity in prop. axis at
X:

$$U_{p_axis} := \begin{cases} 1.98 \cdot U_{p0} \left(\frac{D_p}{X_p} \right)^1 & \text{if } T_p = \text{"Non-ducted"} \\ 2.8 \cdot U_{p0} \left(\frac{D_p}{X_p} \right)^1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad U_{p_axis} = 2.39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Maximum flow velocity at
(x,r):
(1 propeller)

$$r_p := \sqrt{h_p^2 + y_{pb}^2} \quad r_p = 6.132 \text{ m}$$

$$U_{p_xr} := U_{p_axis} \cdot \exp \left(-15.4 \cdot \frac{r_p^2}{X_p^2} \right) \quad U_{p_xr} = 0.539 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Maximum flow velocity at
bed:
from 1 propeller

$$U_{p_bed1} := \begin{cases} f \cdot 0.216 \cdot U_{p0} \left(\frac{D_p}{h_p} \right)^1 & \text{if } T_p = \text{"Non-ducted"} \\ f \cdot 0.306 \cdot U_{p0} \left(\frac{D_p}{h_p} \right)^1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad U_{p_bed1} = 1.45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Maximum flow velocity at
bed:
by 2 propellers

$$U_{p_bed2} := \begin{cases} U_{p_bed1} & \text{if } \frac{h_p}{0.5 \cdot y_p} \leq 0.578 \\ 2 \cdot \frac{h_p}{\sqrt{h_p^2 + (0.5 \cdot y_p)^2}} \cdot U_{p_bed1} & \text{if } 0.578 < \frac{h_p}{0.5 \cdot y_p} < 1 \\ \sqrt{2} \cdot U_{p_bed1} & \text{if } \frac{h_p}{0.5 \cdot y_p} \geq 1 \end{cases} \quad U_{p_bed2} = 1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Maximum bed flow
velocity:

$$U_{p_bed} := \begin{cases} U_{p_bed1} & \text{if } N_p = 1 \\ U_{p_bed2} & \text{if } N_p = 2 \end{cases}$$

OUTPUT:

Main propeller(s) flow:

Propellor outflow
velocity:

$$U_{p0} = 9.4 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Max. U_{bed} at X from
propeller:

$$X_p = 19.7 \text{ m}$$

Flow velocity in prop. axis at
X:

$$U_{p_axis} = 2.4 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Maximum flow velocity at
(x,r):

$$U_{p_xr} = 0.5 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Maximum flow velocity at
bed:

$$U_{p_bed} = 1.8 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

STABILITY OF ROCK AGAINST WAVE ATTACK

REFERENCES:

1. CIRIA / CUR / CETMEF; The Rock Manual; 2007 (section 5.2.2.2, page 567)
2. Van Gent, M.R.A.; Oblique wave attack on rubble mound breakwater (Coastal Engineering 88); 2014

INPUT:

Constants:	$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	hour := 3600·sec	
Significant wave height:	$H_s := 0.4\text{m}$	Damage figure:	$S_m := 2.0$
Mean wave period:	$T_m := 2.1\cdot\text{sec}$	Notional permeability factor:	$P := 0.1$
Storm duration:	$S_d := 0.5\cdot\text{hour}$	Slope gradient:	$\cot\alpha := 3$
Incoming wave direction:	$\beta := 55\text{deg}$	Fourier asperity roughness:	$P_R := 0.01$
$H_{2\%} / H_s$ (Rayleigh = 1.4):	$R_{2\%} := 1.4$	Density of rock:	$\rho_a := 2650 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Density of water: Peak	$\rho_w := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$		

DERIVED PARAMETERS AND FORMULAE:

$H_{s_{eq}} :=$	$\begin{cases} H_s & \text{if } \beta - 10\text{deg} < 20\cdot\text{deg} \\ H_s \left[(1 - 0.42) \cdot (\cos(\beta - 10\cdot\text{deg}))^2 + 0.42 \right] & \text{if } 20\cdot\text{deg} \leq \beta - 10\text{deg} \end{cases}$	$H_{s_{eq}} = 0.284 \text{ m}$
Wave steepness:	$s_m := \frac{2 \cdot \pi \cdot H_s}{g \cdot T_m^2}$ $\tan\alpha := \frac{1}{\cot\alpha}$	$s_m = 0.058$ $\tan\alpha = 0.333$
Coefficients:	$C_{pl} := (5.5 + 70 \cdot P_R)$ $C_s := (0.6 + 40 \cdot P_R)$	$C_{pl} = 6.2$ $C_s = 1.0$
Iribarren numbers:	$\xi_m := \frac{\tan\alpha}{s_m}$ $\xi_{cr} := \left(\frac{C_{pl}}{C_s} \cdot P^{0.31} \cdot \sqrt{\tan\alpha} \right) \left[\frac{1}{(P+0.5)} \right]$	$\xi_m = 1.38$ $\xi_{cr} = 2.55$

Relative density: $\Delta := \frac{\rho_a - \rho_w}{\rho_w} \quad \Delta = 1.65$

Number of waves: $N_w := \frac{S_d}{T_m} \quad N_w = 857$

Van der Meer formulae:

$$D_{nplunging} := \frac{H_{seq}}{C_{pl} \cdot P^{0.18} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N_w}} \right)^{0.2} \cdot \xi_m^{-0.5} \cdot \Delta} \cdot \frac{R_{2\%}}{1.4} = 0.085 \text{ m} \quad (\text{plunging})$$

$$D_{nsurging} := \frac{H_{seq}}{C_s \cdot P^{-0.13} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N_w}} \right)^{0.2} \cdot \sqrt{\cot \alpha} \cdot \xi_m^P \cdot \Delta} \cdot \frac{R_{2\%}}{1.4} = 0.122 \text{ m} \quad (\text{surging})$$

$$D_{n50} := \begin{cases} D_{nplunging} & \text{if } \xi_m < \xi_{cr} \\ D_{nsurging} & \text{if } \xi_m \geq \xi_{cr} \\ D_{nplunging} & \text{if } \cot \alpha \geq 4 \end{cases} = 0.085$$

Convert rock diameter into rock weight:

$$V_n := D_{n50}^3 = 0.604 \text{ L} \quad \frac{H_{seq}}{\Delta \cdot D_{n50}} = 2.037$$

$$W_{50} := V_n \cdot \rho_a = 2 \text{ kg}$$

OUTPUT:

Nominal median rock diameter: $D_{n50} = 0.08 \text{ m}$

Median rock weight: $W_{50} = 2 \text{ kg}$

SCOUR PROTECTION DESIGN AGAINST FLOW (DUTCH METHOD)

REFERENCES: 1. PIANC WG48, Report 180; Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships; 2015
 2. CIRIA / CUR / CETMEF; The Rock Manual; 2007 (Section 4.3.45, p. 434)
 3. T. Blokland; PAO Course Quay Walls - Design of Scour Protections; 2017

INPUT:

Constants $g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Flow parameters:

Flow velocity near bed/slope: $U_b := 1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Angle of flow attack: $\psi := 90 \text{ deg}$

Bed / slope gradient: $\cot \alpha := 1000$

Material parameters:

Density of water: $\rho_w := 1025 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Density of quarry rock: $\rho_r := 2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Density of concrete: $\rho_c := 2400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Angle of repose for rock: $\phi_r := 40 \text{ deg}$

Rock layer thickness coefficient: $K_t := 0.95$

Izbash method parameter:

Izbash factor: $\beta_{iz} := 2.6$

FORMULAE AND DERIVED PARAMETERS:

Relative density of rock: $\Delta_r := \frac{\rho_r}{\rho_w} - 1$ $\Delta_r = 1.585$

Slope angle: $\alpha := \text{atan}\left(\frac{1}{\cot \alpha}\right)$ $\alpha = 0.1 \cdot \text{deg}$

Bed / slope factor - rock: $k_{slr} := \frac{\cos(\psi) \cdot \sin(\alpha) + \sqrt{\cos(\alpha)^2 \cdot \tan(\phi_r)^2 - \sin(\psi)^2 \cdot \sin(\alpha)^2}}{\tan(\phi_r)}$
 $k_{slr} = 1$

1. Quarry rock (Izbash) (*Dutch method*):

Min. average median rock diameter: $D_{50} := \beta_{iz} \cdot \frac{1}{k_{slr}} \cdot \frac{U_b^2}{2 \cdot g \cdot \Delta_r}$ $D_{50} = 0.27 \text{ m}$

Average nominal median rock diameter: $D_{n50} := 0.843 \cdot D_{50}$ $D_{n50} = 0.23 \text{ m}$

Minimum average median rock mass: $M_{50} := D_{n50}^3 \cdot \rho_r$ $M_{50} = 31.6 \text{ kg}$

Minimum required rock grading: $\text{Grading} := \begin{cases} "5-40\text{kg}" & \text{if } M_{50} \leq M_{50a} \\ "10-60\text{kg}" & \text{if } M_{50a} \leq M_{50} < M_{50b} \\ "40-200\text{kg}" & \text{if } M_{50b} \leq M_{50} < M_{50c} \\ "60-300\text{kg}" & \text{if } M_{50c} \leq M_{50} < M_{50d} \end{cases}$ $\text{Grading} = "10-60\text{kg}"$

Average rock layer thickness: $t_l := \begin{cases} 2 \cdot K_t \cdot D_{n50a} & \text{if } \text{Grading} = "5-40\text{kg}" \\ 2 \cdot K_t \cdot D_{n50b} & \text{if } \text{Grading} = "10-60\text{kg}" \\ 2 \cdot K_t \cdot D_{n50c} & \text{if } \text{Grading} = "40-200\text{kg}" \\ 2 \cdot K_t \cdot D_{n50d} & \text{if } \text{Grading} = "60-300\text{kg}" \end{cases}$ $t_l = 0.46 \text{ m}$