

NOTITIE

Onderwerp Ontwerp bodem- en oeverbescherming
Project Noordland 12-16 & Markiezaat Container Terminal
Opdrachtgever Mepavex Logistics B.V.
Projectcode 115018
Status Definitief
Datum 15 april 2022
Referentie 115018/22-005.489
Auteur(s) ir. G.E. Nientker

Gecontroleerd door ir. R.B.M Peters
Goedgekeurd door ir. G.R. Spaargaren
Paraaf



Bijlage(n) I Berekening stromingsbelasting en benodigde sortering stortsteen
 II Rekenresultaten

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Mepavex Logistics B.V. realiseert een nieuwe containerterminal genaamd Markiezaat Container Terminal (afgekort MCT) en een uitbreiding van de bedrijfslocaties 12-16 van Mepavex Logistics op het bedrijventerrein Noordland te Bergen op Zoom. Deze ontwikkelingen volgen uit de groeiende capaciteitsvraag. Om deze groeiende vraag te kunnen faciliteren is een uitbreiding van de havencapaciteit en faciliteiten noodzakelijk.

Voor het ontwerp van de containerterminal is een bodembescherming gewenst. Daarnaast is voor de breuksteen glooiing aan weerszijde van de kadeconstructie een ontwerp opgesteld om de gradering van de stortsteen bekleding te bepalen. Deze notitie beschrijft het ontwerp van de bodembescherming en breuksteen bekleding en de daarbij gehanteerde uitgangspunten

1.2 Leeswijzer

De gehanteerde uitgangspunten en ontwerpmethodiek is beschreven in hoofdstuk 2. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in hoofdstuk 3, waarna een analyse en interpretatie van de resultaten is beschreven in hoofdstuk 4. De eindconclusie is opgenomen in hoofdstuk 5

2 UITGANSPUNTEN EN METHODIEK

2.1 Uitgangspunten

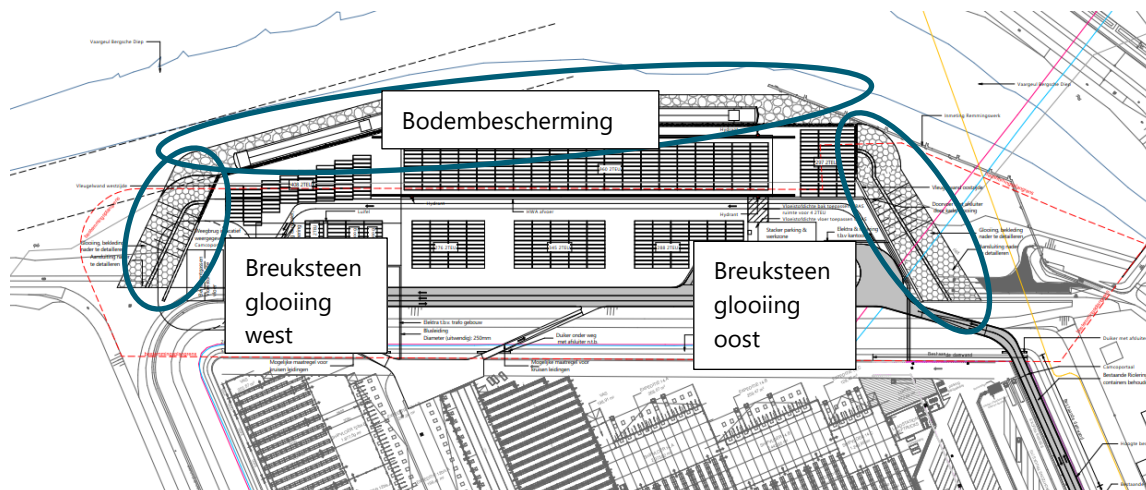
2.1.1 Locatie

De container terminal wordt uitgebreid richting het Bergsche Diep. Deze locatie is weergegeven in afbeelding 2.1. Het ontwerp van de container terminal is opgenomen in afbeelding 2.2 waarin ook de locatie van de bodembescherming is aangegeven. De breuksteen glooiingen zijn voorzien aan beide zijden van de kadeconstructie, en tevens aangegeven in afbeelding 2.2.

Afbeelding 2.1 Locatie uitbereiding container terminal



Afbeelding 2.2 Boven-aanzicht van het ontwerp van de container terminal inclusief de locatie van de bodembescherming en breuksteen glooiing



2.1.2 Nautische uitgangspunten

Voor de bepaling van de benodigde steensortering van de bodembescherming is uitgegaan van een stilliggend schip nabij de kadeconstructie. Daarbij is gekeken naar een aantal verschillende belastingen op de bodem:

- de schroefstraal belasting als gevolg van de hoofdschroef op maximaal vermogen;
- de schroefstraal belasting als gevolg van de boegschroef naar de kade gericht op vol vermogen;
- de schroefstraal belasting als gevolg van schuin naar de bodem gericht stuurrooster op vol vermogen.

Het uitgangspunt wordt gehanteerd dat manoeuvrerende schepen hun motor vermogen volledig hanteren aangezien dit resulteert in de maatgevende belastingen op de bodem. In de praktijk hoeft deze belasting niet altijd op te treden, maar het is wel aannemelijk dat deze belasting regelmatig voorkomt. Voor de analyse is daarbij het grootst toegestane schip gehanteerd dat bij de container terminal aan kan leggen, een schip uit de scheepsklasse CEMT Va.

Daarbij worden de volgende uitgangspunten gehanteerd voor het maatgevende schip (CEMT Va), opgenomen in tabel 2.1

Tabel 2.1 Kenmerken en uitgangspunten voor maatgevend schip in scheepsklasse CEMT Va

Kenmerk	Eenheid	Waarde
lengte	[m]	135
breedte	[m]	11,40
diepgang geladen/ongeladen	[m]	3,50/2,80
maximaal motor vermogen (hoofdschroef)	[kW]	1746
maximaal motor vermogen (boegschroef)	[kW]	706
diameter hoofdschroef	[m]	1,20
diameter boegschroef	[m]	1,00

Voor de dimensies van de kadeconstructie en schematisering van het onderwater profiel zijn de uitgangspunten aangehouden zoals opgenomen in tabel 2.2

Tabel 2.2 Kenmerken en uitgangspunten van de condities voor de kadeconstructie

Kenmerk	Eenheid	Waarde
waterdiepte (hoog waterpeil)	[m + NAP]	1,20
waterdiepte (laag waterpeil)	[m + NAP]	-0,30
bodemniveau	[m + NAP]	-5,70
bodemniveau bij damwand	[m + NAP]	-5,70
taludhelling bodem	[1:x]	0 (horizontale bodem)

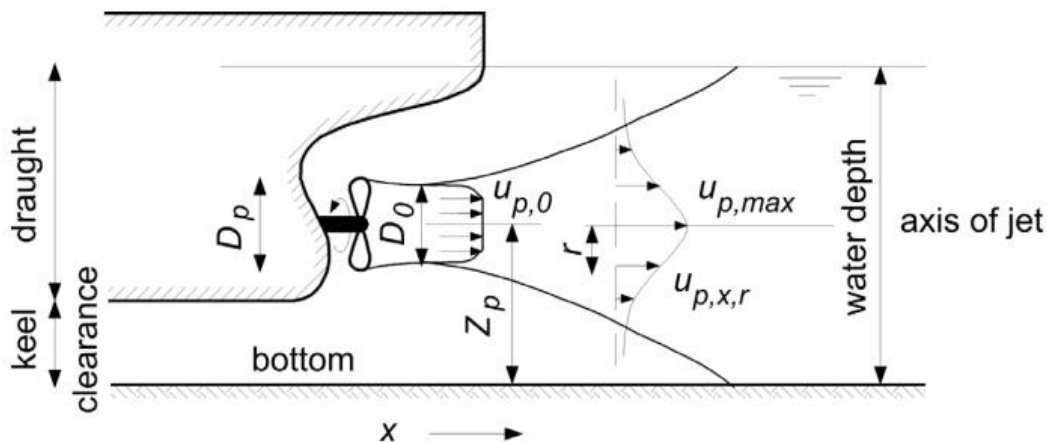
2.2 Bepaling hydraulische belasting

In deze paragraaf zijn de verschillende rekenmethodes die zijn toegepast toegelicht. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen de rekenmethodieken voor de belasting als gevolg van schroefstralen en de belasting door windgolven. De uitgebreide toelichting is opgenomen in bijlage I.

2.2.1 Hoofdschroef belasting

De belasting van de hoofdschroef op de bodem is bepaald conform de methode zoals beschreven in paragraaf 4.3.4.3 uit The Rock Manual [ref. 1]. Daarbij wordt de stroomsnelheid direct achter de hoofdschroef vertaald naar het dichtstbijzijnde punt op de bodem waar de schroefstraal de bodem raakt.

Afbeelding 2.3 Belasting op de bodem door de hoofdschroef voor een varend schip [ref. 1]



2.2.2 Boegschroef belasting

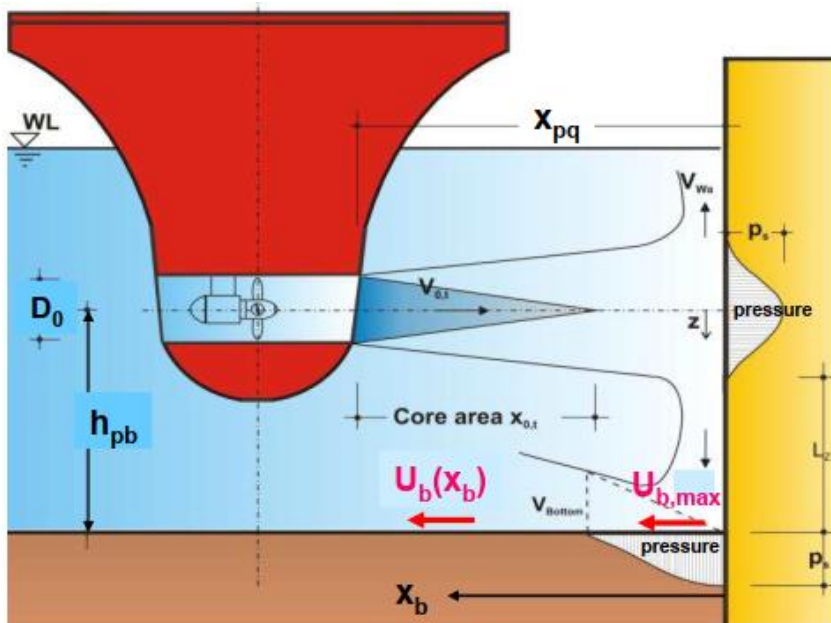
Voor de belastingen van de boegschroef op de bodem zijn twee verschillende methoden gehanteerd zoals beschreven in ontwerpmethodiek van bodembescherming van de Port of Rotterdam [ref. 3]. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen:

- horizontale boegschroeven in een straalbuis;
- schuin naar beneden gerichte stuurrooster.

Horizontaal gericht boegschroeven

Voor de belasting waarbij de schroefstraal van de boegschroef horizontaal uitstroomt is de methode zoals beschreven in paragraaf 3.7 gehanteerd. Daarbij wordt de stroomsnelheid bepaald bij de bodem als gevolg van het deflecteren van de stroombelasting door de kadeconstructie. De hoogste belasting treedt dan op in de hoek waar de bodem en verticale kadeconstructie bij elkaar komen. Vervolgens kan het verloop van de stroombelasting bepaald worden op verschillende afstanden van de kade.

Afbeelding 2.4 belasting op de bodem door boegschroef met horizontale uitstroom

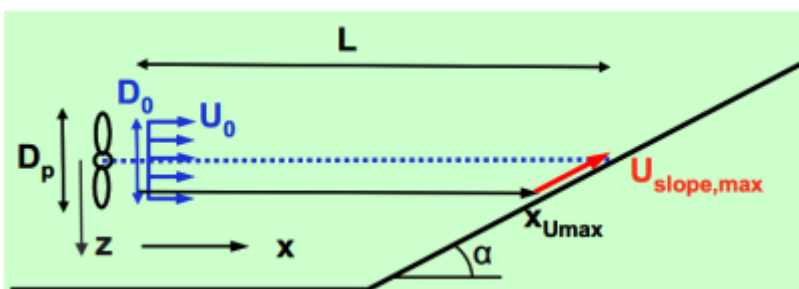


Voor de hoogte van de boegschroef ten opzichte van de bodem (h_{pb}) is aangenomen dat de boegschroef aan de onderkant van het schip zit. Daarmee komt de as van de boegschroef gelijk te liggen met de onderkant van het schip. Daarnaast is aangenomen dat de boegschroef in het midden van het schip zit. De afstand van de zijkant van het schip tot de kade is voor de berekeningen geschematiseerd op 1 m, waardoor de afstand van de boegschroef tot de kade (x_{pq}) 6,7 m is. Namelijk de helft van de breedte van het schip plus de afstand van het schip tot de kade.

Schuin naar beneden gericht stuurroosters

Voor de belastingsituatie waarbij de boegschroef onder een hoek richting de bodem uitstroomt is de methode gehanteerd zoals opgenomen in paragraaf 3.10.5 van [ref. 3].

Afbeelding 2.5 belasting schematisatie voor schuine uitstroom van de boegschroef richting de bodem



Daarbij wordt een hoek van 45 graden aangehouden voor de berekeningen omdat dit resulteert in de maatgevende belasting op de bodem.

2.2.3 Golfbelasting

De breuksteen bekleding naast de kadeconstructie wordt ook belast door golven boven op de stroombelasting. Daarom dient voor het breuksteen talud een aanvullende belasting gehanteerd te worden.

Voor het vaststellen van de breuksteen gradering op de aansluit glooiingen aan weerszijde van de kadeconstructie zijn daarom golfcondities afgeleid. De golfcondities en bijbehorende waterstand zijn afgeleid met een Hydra-NL analyse bij maatgevende stormcondities. Daaruit volgt een maatgevende significante golfhoogte van circa 1m met een bijbehorende spectrale golfperiode ($T_{m-1,0}$) van circa 3,5 s. De uitgangspunten die zijn gehanteerd in de ontwerpberekeningen zijn opgenomen in tabel 2.3.

Tabel 2.3 uitgangspunten voor de stortsteen bekleding

Kenmerk	Eenheid	Waarde
waterdiepte	[m]	5,75 (bij dagelijkse waterstand) 8,80 (bij maatgevende stormcondities)
taludhelling stortsteen bekleding	[1:x]	3
significante golfhoogte	[m]	1,0
golfperiode	[s]	3,5

2.3 Methodiek bodem- en oeverbescherming

Bodembescherming

De stabiele mediane steendiameter (D_{50}) van een doorgaande steenbestorting, belast door schroefstralen, wordt berekend met de formule van Izbash zoals nader toegelicht in bijlage I. Daarbij is een stabiliteitscoëfficiënt ($\beta_{Iz,cr}$) van 2,5 toegepast. Daarbij wordt uitgegaan dat de belasting van de boegschroeven overal kan optreden en niet enkel op één locatie optreedt. Daarbij kan enige verplaatsing van stenen optreden.

Gepenetreerd breuksteen

De stabiliteit van de betongepenetreerde breuksteenlaag onder stromingsbelasting is getoetst aan de hand van onderzoek van Römisch [ref. 4]. In deze methode is de stabiliteit van betongepenetreerde breuksteen voor verschillende steengroottes en betonvolumes beoordeeld. In zijn conclusie stelt Römisch over de maximale stroomsnelheden:

- $U \leq 8$ m/s: op basis van de proeven en praktijkervaring is betongepenetreerde breuksteen stabiel;
- $8 < U < 12$ m/s: betongepenetreerde breuksteen wordt bij deze snelheden stabiel geacht, maar hard bewijs hiervoor ontbreekt.

Ook in de ontwerpmethodiek van de haven van Rotterdam [ref. 3] is beschreven dat een gepenetreerde 10-60 kg breuksteen gradering met een laagdikte van circa 0,5 m hoge schroefstraal snelheden kan opnemen tot circa 8 m/s.

Oeverbescherming

Het stortsteen op de oever is berekend aan de hand van de optreden golfbelasting met de Van der Meer formules, zoals beschreven in het rapport van der Meer [ref. 5]. Daarbij is het uitgangspunt gehanteerd dat de bekleding moet worden ontworpen op een schadegetal van 2. Dit houdt in dat onder maatgevende stormcondities enkel het begin van schade mag optreden, en geen significante verplaatsing van stenen mag plaatsvinden. Verder is aangenomen dat golven loodrecht invallen op het talud. Dit is een conservatief uitgangspunt omdat in werkelijkheid de maatgevende golf zeer waarschijnlijk strijkend in komt vallen op het talud. Echter, omdat dit een VO ontwerp betreft is gekozen om een conservatief uitgangspunt te hanteren.

Een gedetailleerde toelichting op de formules is gegeven in bijlage I.

3 RESULTATEN

De resultaten van de berekening zijn opgedeeld in de resultaten van het stroombeeld dat wordt gegenereerd door het schip door zowel de hoofdschroef als de boegschroef. Vervolgens zijn de resultaten van de benodigde stortsteen diameter gepresenteerd

3.1 Bodembescherming

3.1.1 Hoofdschroef

De belasting van de hoofdschroef is voor de maatgevende situatie gepresenteerd in tabel 3.1. De maatgevende situatie betreft een geladen schip bij een lage waterstand. Voor de situatie wordt de belasting van de schroef zo dicht mogelijk bij de bodem gebracht. Dit is de maatgevende situatie voor alle belastingcombinaties.

Tabel 3.1 Belasting en resulterende steendiameter van de hoofdschroef

Beschrijving	Eenheid	Waarde
maximale stroomsnelheid bij de bodem	[m/s]	1,63
mediane steendiameter (D_{50})	[m]	0,21
nominale steendiameter (D_{n50})	[m]	0,18

3.1.2 Boegschroef

De belasting van de boegschroef is onderverdeeld in de belasting als gevolg van horizontale uitstroom van de straalas en de belasting van een schuine uitstroom.

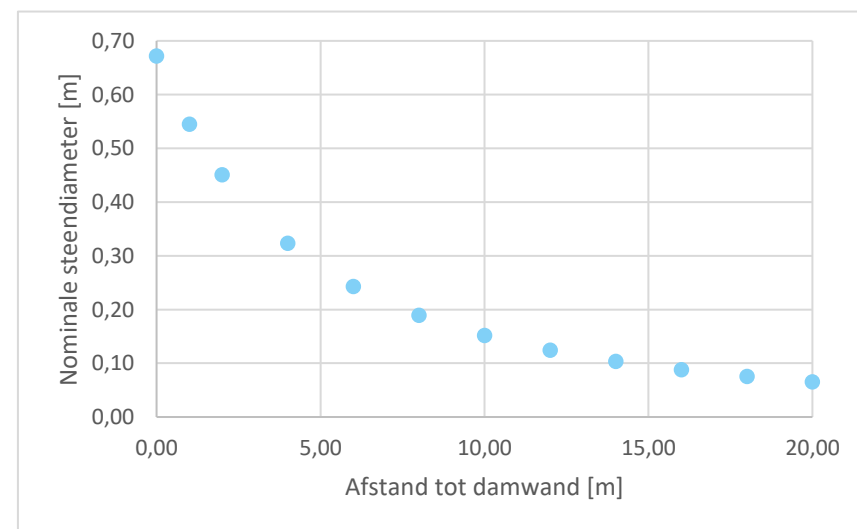
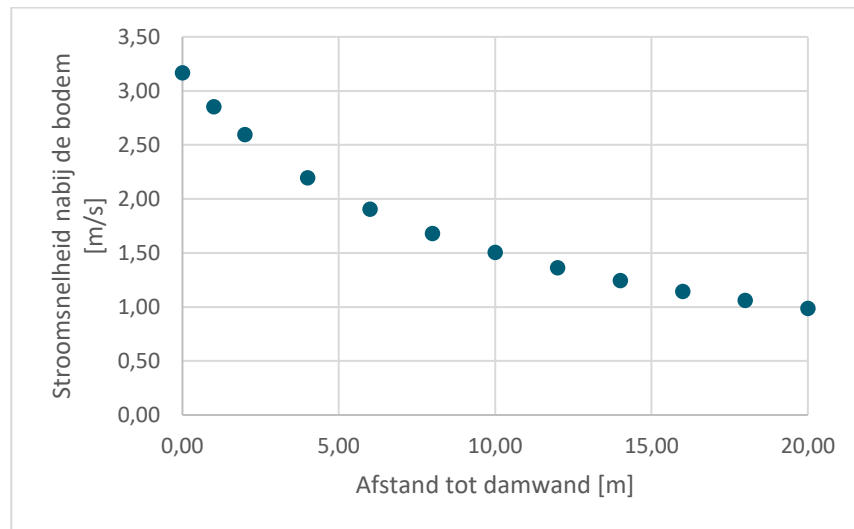
Horizontale uitstroom

Voor de horizontale uitstroom tegen de damwand is het verloop van de afname van de stroomsnelheid op de bodem bepaald tot een afstand van 20 m naast de damwand. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 3.2. Daarnaast zijn de resultaten geplot in afbeelding 3.1.

Tabel 3.2 Belasting en resulterende steendiameter van de boegschroef met horizontale uitstroming

Beschrijving	Eenheid	Afstand tot de damwand [m]											
		0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
maximale stroomsnelheid bij de bodem	[m/s]	3,17	2,85	2,59	2,20	1,91	1,68	1,51	1,36	1,24	1,14	1,06	0,99
mediane steendiameter (D_{50})	[m]	0,80	0,65	0,54	0,38	0,29	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08
nominale steendiameter (D_{n50})	[m]	0,67	0,54	0,45	0,32	0,24	0,19	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07

Afbeelding 3.1 Snelheidsverloop vanaf de damwand (links) en bijbehorende benodigde steendiameter (rechts)



Schuine uitstroom

De belasting als gevolg van de schuin uittredende boegschroef is significant hoger dan de belasting van de horizontaal uitstromende boegschroef. Omdat het schip relatief dicht bij de bodem ligt onder maatgevende omstandigheden komt de schroefstraal met zeer hoge stroomsnelheid direct op de bodem terecht. De resulterende stroomsnelheid en bijhorende steendiameter zijn opgenomen in tabel 3.3.

Tabel 3.3 Belasting en resulterende steendiameter van de boegschroef met schuine uitstroming

Beschrijving	Eenheid	Waarde
maximale stroomsnelheid bij de bodem	[m/s]	8,69
mediane steendiameter (D_{50})	[m]	6,01
nominale steendiameter (D_{n50})	[m]	5,05

Door de extreem hoge stroomsnelheid is de resulterende steendiameter enorm groot. De rekenmethode is daarmee ook niet meer geschikt om een correcte bodembescherming te dimensioneren. Daarom dient voor een dergelijke belasting een beton gepenetreerde breuksteen bekleding te worden aangebracht.

3.2 Taludbescherming

Op basis van de schematisatie van het profiel en de inkomende golfkarakteristieken wordt de formule van 'surgung waves' klappende golven gehanteerd voor de ontwerpberekeningen van het talud. Met het conservatieve uitgangspunt waarbij zeer beperkte schade mag optreden aan het talud, en dat de golven loodrecht in komen vallen zijn de resultaten in tabel 3.4 opgenomen.

Tabel 3.4 Belasting en resulterende steendiameter van de windgolven op het breuksteen talud

Beschrijving	Eenheid	Waarde
significante golfhoogte	[m]	1,00
gemiddelde golfperiode	[s]	3,50
irribarren getal (ξ_m)	[-]	1,09
kritisch irribarren getal (ξ_{cr})	[-]	2,01
Schadegetal	[-]	2
nominale steendiameter (D_{n50})	[m]	0,39

De benodigde nominale steendiameter resulteert in een 60-300 kg gradering. Deze is enkel nodig op het talud ten westen van de kade omdat hier de golven kunnen optreden die zijn afgeleid voor dit ontwerp. Voor het breuksteen talud ten oosten van de kade zijn geen golfkarakteristieken bekend. Maar vanwege de positie van het talud ten opzichte van de omgeving kunnen hier nooit soortgelijke golven ontstaan. Daarom is het ten oosten van de kade voldoende om een 10-60 kg gradering toe te passen.

4 ONTWERPUITKOMST

4.1 Bodembescherming

4.1.1 Afmetingen bodembescherming

Voor de bodembescherming is een afweging gemaakt tot waar de bodembescherming moet komen opdat de er geen erosie ontstaat te dicht bij de kadeconstructie waardoor de stabiliteit van de kade in gevaar komt. De bodembescherming moet namelijk zodanig breed zijn dat tijdens de gebruiksduur van de kademuur geen verlies van grond optreedt uit de passieve grondwig. Dit is het deel van de grond dat nodig is voor de stabiliteit van de damwand. Ontgroningen naast de bodembescherming resulteren in zakking van de rand van de bodembescherming. Deze zakking van de rand van de bodembescherming mag niet resulteren in verlies van grond uit de passieve grondwig. Dit betekent dat de vereiste breedte van de bodembescherming gelijk is aan de breedte van de passieve grondwig plus de breedte van de zakkingsstrook. Een veilig uitgangspunt voor de zakkingsstrook is 5 m [ref. 3]. Omdat op dit moment niet exact bekend is hoe groot de passieve grondwig is wordt een aanname gehanteerd dat de grondwig een minimale breedte heeft van 20 m. Dit resulteert in een minimale breedte van de bodembescherming van 25 m vanaf de kade. In de DO-fase dient de passieve wig bepaald te worden om deze aanname te verifiëren en indien nodig de beschermingszone aan te passen.

4.1.2 Breuksteen sortering

Daarnaast is bepaald welk type bodembescherming waar aangebracht dient te worden. Daarbij is aangenomen dat de belasting als gevolg van de schuin op de bodem gerichte schroefstraal enkel wordt toegepast wanneer het schip dicht bij de kant is (< 5 m). Omdat in de analyse is aangehouden dat de boegschroef halverwege de romp van het schip zit betekent dit dat de belasting van de schuine uitstraal enkel binnen ca. 10 m van de kade optreedt. Dit type belasting is altijd maatgevend, zoals te zien is bij de resultaten in hoofdstuk 3.

De belasting die verder optreedt vanaf 10 m afstand van de kade wordt gedomineerd door horizontale uitstroom van de boegschroef, en de belasting van de hoofdschroef die optreedt bij het wegvaren van een schip. De benodigde D_{n50} als gevolg van de boegschroef op een afstand van 10 m is 0,15 m. De resulterende D_{n50} benodigd voor de belasting van de hoofdschroef is 0,18 m. Voor beide type belasting geldt dat een 10-60 kg gradering voldoende is.

Alle belastingen gecombineerd resulteert dit in een bodembescherming met breuksteen van 10-60 kg over de volledige lengte van de container terminal met een breedte van minimaal 25 m. Daarvan is de eerste 10 m vanaf de kade gepenetreerd om de hogere belasting als gevolg van de schuine uitstraal, en de hoge belasting van de horizontale uitstraal van de boegschroef te weerstaan.

4.1.3 Gepenetreerd breuksteen

In het voorliggende ontwerp is de stroomsnelheid iets groter dan 8 m/s, zie tabel 3.3. Omdat in zowel het onderzoek van Römisch [ref. 4] en de conclusie van de haven van Rotterdam [ref. 3] is beschreven dat snelheden tot circa 8 m/s stabiel worden geacht is voor dit VO ontwerp een gepenetreerde breuksteen gradering ook voldoende geacht. Daarbij dient de breuksteen bekleding wel volledig te worden gepenetreerd (160 l/m²).

4.2 Breuksteen taludbekleding

Naast de containerterminal is een tweetal breuksteen glooiingen aangebracht waarmee wordt aangesloten op de bestaande oever. Op basis van de berekeningen is een 60-300 kg gradering benodigd tegen de belasting van de windgolven. Voor dit ontwerp is daarbij een aantal conservatieve uitgangspunten gehanteerd, zoals een schadefactor van 2, loodrechte golfval en een golfhoogte met bijbehorende golfperiode die zijn ontstaan met een lange strijklengte waarvan het onzeker is of deze in praktijk ook zullen ontstaan. In de DO-fase zou dit mogelijk geoptimaliseerd kunnen worden.

Deze belasting treedt alleen op aan de westzijde van de container terminal. Aan de oostzijde is de strijklengte veel korter en kan de maatgevende belasting die is aangehouden voor de analyse niet optreden. Voor de oostzijde is een 10-60 kg gradering daarom voldoende.

5 CONCLUSIE

5.1 Bodembescherming

De maatgevende belasting van de CEMT Va schepen resulteert in een bodembescherming voor de damwand met de volgende karakteristieken:

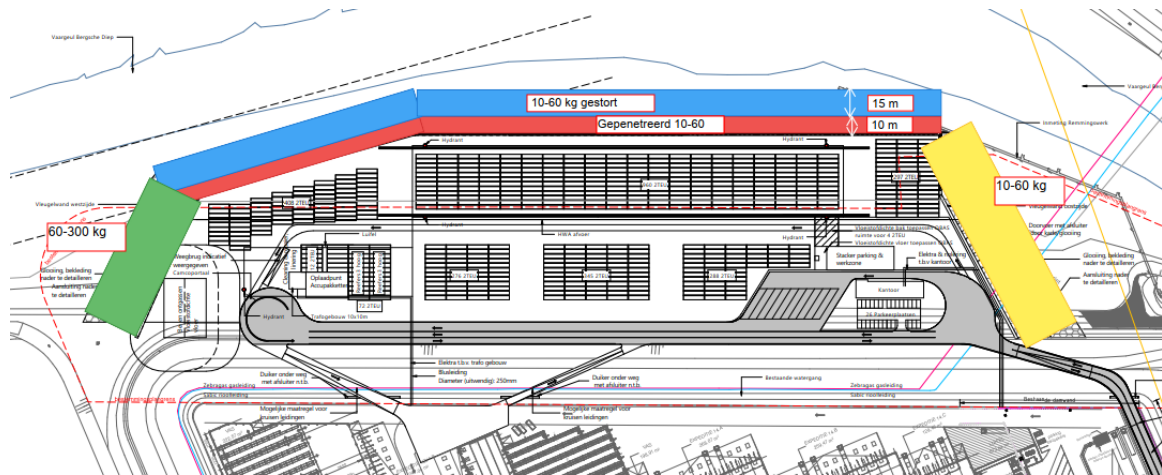
- van 0-10 m bescherming met 10-60 kg gradering;
 - laagdikte 0,50 m;
 - penetreren met 160 l/m² beton;
 - aanbrengen op een geotextiel;
- vanaf 10-25 m bescherming met 10-60 kg gradering;
 - laagdikte 0,50 m;
 - aanbrengen op een geotextiel.

5.2 Taludbescherming

Op basis van de golfbelasting is de volgende opbouw bepaald voor het talud:

- westelijke glooiing: 60-300 kg gradering;
 - laagdikte van 0,85 m;
 - filterlaag van 0,20 m;
 - aanbrengen op een geotextiel;
- oostelijke glooiing een 10-60 kg gradering;
 - laagdikte van 0,50 m;
 - aanbrengen op een geotextiel.

Afbeelding 5.1 Overzicht van het VO ontwerp voor de bodem- en oeverbescherming



6 REFERENTIES

- 1 CIRIA, CUR, CETMEF (2007): The Rock Manual, the use of rock in hydraulic engineering, (inclusief errata).
- 2 Marin (2010): Scheepskarakteristieken van nieuwe grote schepen.
- 3 Port of Rotterdam (2018). Standaardisatie Maritieme Infrastructuur Havenbedrijf Rotterdam.
- 4 Römisch, K. (1949). Stromungsstabilität vergossener Steinschüttungen.
- 5 Van der Meer (1988). Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack.

BIJLAGE: BEREKENING STROMINGSBELASTING EN BENODIGDE SORTERING STORTSTEEN

I.1 Schroefbelasting hoofdschroef

Voor de belasting als gevolg van de hoofdschroef op de bodem is de methode gehanteerd zoals beschreven met formule 4.187 tot en met 4.190 in de Rock Manual [ref. 1].

Daarvoor dient eerst de stroomsnelheid direct achter de schroef bepaald te worden met:

$$U_{p,0} = 1,15 \left(\frac{P}{(\rho_w D_0^2)} \right)^{1/3}$$

$$D_0 = 0,7 \cdot D$$

Waarin:

P = toegepaste vermogen

D_0 = Straaldiameter bij het begin van de schroefstraal

ρ_w = Dichtheid van water

De maximale stroomsnelheid bij de bodem is vervolgens gegeven met onderstaande formule, die tevens ook gebruikt wordt om de stroomsnelheid op de bodem te bepalen voor een horizontale vrije uitstroom van de boegschroef.

$$U_{p,\max\ bed} = c u_{p,0} \left(\frac{D_0}{z_p} \right)^n - 0,5V_s$$

Waarin voor de factoren "c" en "n" in Nederland specifieke waarden worden gehanteerd:

$$c = 0,3$$

$$n = 1$$

z_p = afstand tussen onderkant schip en de bodem.

V_s = vaarsnelheid

Door de stroomsnelheid te verminderen met de halve waarde van de vaarsnelheid wordt gerekend met een varend schip. De belasting voor een stilstaand schip ligt hoger, daarbij wordt de vaarsnelheid niet meegenomen in de berekeningen. Voor de analyse is uitgegaan van de belastingen voor een stil liggend schip aangezien deze belasting veel voorkomt en maatgevend is.

I.2 Schroefbelasting boegschroef (horizontale uitstroom)

Voor de belasting als gevolg van de boegschroef, die horizontaal uitstroomt tegen de damwand, op de bodem is de methode gehanteerd zoals beschreven met formule (9) uit de ontwerpmethodiek van de Port of Rotterdam [ref. 3]. Daarin wordt de stroomsnelheid op de bodem bepaald als een functie van de afstand van de damwand. Daarmee wordt inzicht verkregen van de afname van de stroomsnelheid naarmate de afstand tot de kade groter wordt.

$$U_{b(x_b)} = 2,8 \frac{U_0 D_0}{(x_{pk} + h_{pb} + x_b)}$$

Waarin:

U_0 = gelijk aan beschrijving voor $U_{p,0}$ zoals opgenomen bij de schroefbelasting van de hoofdschroef

x_{pk} = afstand van schroef tot de kademuur

h_{pb} = hoogte van de schroef-as ten opzichte van de bodem

x_b = afstand vanaf de kademuur over de bodem tot punt van interesse

1.3 Schroefbelasting hoofdschroef (schuine uitstroom)

Voor de belasting als gevolg van de boegschroef, die schuin uitstroomt tegen de damwand, op de bodem is de methode gehanteerd zoals beschreven met formule (15a) tot en met (15c) uit de ontwerpmethodiek van de Port of Rotterdam [ref. 3]

$$U_{slope,max} = f \cdot a \left(\frac{D_0}{L} \cdot \frac{L}{x_{Umax}} \right)^m \cdot U_0 \cdot \exp \left(-b \cdot \left(\frac{L}{\frac{x_{Umax}}{\cot(\alpha)} - 1} \right)^2 \right)$$

$$\frac{x_{Umax}}{L} = K \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2}{K}} - 1 \right)$$

$$K = \frac{b}{m \cdot (\cot \alpha)^2}$$

$$L = \frac{h_{pb}}{\sin \beta}$$

Waarin:

f = correctiefactor voor schuine straling op de bodem (=1,0)

a = coëfficiënt afhankelijk van het type schroef (=2,8)

b = coëfficiënt afhankelijk van het type schroef (=15,4)

m = coëfficiënt afhankelijk van het type schroef (=1)

L = afstand tussen schroef en bodem

h_{pb} = hoogte van de uitstroomopening van de schroef ten opzichte van de horizontale bodem

β = hoek van de straalas ten opzichte van het horizontale vlak

x_{Umax} = afstand tot maximale stroomsnelheid op de bodem

α = hoek van de straalas op de bodem (is gelijk aan β)

De correctiefactor is voor dit VO ontwerp op 1,0 gezet omdat een factor van 1,2 zeer conservatief is [ref. 3].

In de literatuur is ook aangegeven dat met een factor van 1,0 gerekend kan worden. De waarden van de coëfficiënten a, b en m zijn voor de standaard schroeven vastgesteld op de gegeven waarden.

1.4 Bepaling steendiameter voor schroefstralen

De toplaag van de bodembescherming bestaat uit breuksteen. De stabiele mediane steendiameter (D_{50}) van een doorgaande steenbestorting, belast door schroefstralen, wordt berekend met de formule van Izbash zoals beschreven in [ref. 3]

$$D_{50} = m_{tal} \cdot \beta_{Iz,cr} \cdot \frac{U_b^2}{2g\Delta}$$

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

Waarin:

m_{tal} = factor voor invloed van de taludhelling of bodemhelling (= 1 voor horizontale bodem)

$\beta_{Iz,cr}$ = kritieke stabiliteitscoëfficiënt bij begin van beweging (=2,5)

u_b = (tijd-gemiddelde) stroomsnelheid nabij de bodem

Δ = relatieve dichtheid breuksteen

ρ_s = dichtheid stortsteen

ρ_w = dichtheid water

De benodigde nominale steendiameter (D_{n50}) is vervolgens bepaald door de mediane steendiameter te vermenigvuldigen met een factor (0,84).

1.5 Van der Meer

Voor de bepaling van de breuksteen gradering op het talud van de glooiing aan weerszijde van de kadeconstructie zijn de Van der Meer formules gehanteerd zoals opgenomen in de Rock Manual [ref.1]. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen 'plunging waves' (klappende golven) en 'surging waves' (rollende golven). Gebaseerd op het irribarrengetal wordt de correcte formule gehanteerd.

Voor plunging waves ($\xi_m < \xi_{cr}$)

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \frac{H_s}{H_{2\%}}$$

Voor surging waves ($\xi_m \geq \xi_{cr}$)

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P \frac{H_s}{H_{2\%}}$$

$$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi}{gH_s} T_m^2}}$$

Waarin:

N = het aantal golven tijdens de stort (= 7500)

H_s = significante golfhoogte

$H_{2\%}$ = golfhoogte overschreden door 2% van de golven

ξ_m = irribarren getal

α = taludhelling

c_{pl} = coefficient voor plunging waves (= 8,7)

c_s = coefficient voor surging waves (= 1,4)

Δ = relatieve dichtheid breuksteen

P = permeabiliteitsfactor (= 0,1)

S_d = schadegetal (= 2)

Voor de berekening is uit conservatief oogpunt een maximaal aantal golven aangehouden van 7.500 en is een schadegetal van 2 gehanteerd. Daardoor is enkel de start van schade toegestaan bij de stortsteen bekleding.



BIJLAGE: REKENRESULTATEN

II.1 Bodembescherming

In deze bijlage zijn de rekenresultaten gegeven van de berekeningen die zijn gehanteerd voor de bodembescherming. Daarvoor is eerst een algemeen overzicht gepresenteerd van de gehanteerde uitgangspunten en tussen resultaten. Daarna zijn de resultaten weergegeven van het snelheidsverloop en de benodigde steendiameter.

Abbeelding II.1 Resultaten berekeningen van de schroefstraal van de hoofdschroef en boegschroef

Scheepsbelastingen container terminal

Randvoorwaarden

Symbol	Beschrijving	waarde	eenheid
B	breedte schip	11,4	[m]
L	lengte schip	135	[m]
D	diepgang geladen schip	3,5	[m]
P_h	motorvermogen hoofdschroef	1746	[kW]
P_b	motorvermogen boegschroef	706	[kW]
$D_{0,h}$	diameter hoofdschroef	1,2	
$D_{0,b}$	diameter boegschroef	1,00	[m]
h_w	waterniveau	-0,3	[m+NAP]
h_b	bodemniveau	-5,7	[m+NAP]
$h_{b,damwand}$	bodemniveau bij damwand	-5,7	[m+NAP]
$\cot(\alpha)$	taludhelling (1:x)	0,0	[-]
b_b	breedte vaargeul (bodembreedte)	97,5	[m]
y	positie varend schip uit as vaarweg (retourstroming)	42,10	[m]
Z_{bs}	hoogte as boegschroef boven bodem	2,40	[m]
Z_{bs}	hoogte as boegschroef boven bodem bij damwand	2,40	[m]
X_{pk}	afstand boegschroef afgemeerd schip tot kade	6,65	[m]
β	hoek van de straal-as	45	[°]
α	hoek van de straal-as op de bodem	45	[°]
f	correctiefactor	1,0	[-]
g	gravitatieconstante	9,81	[m/s ²]
ρ_w	dichtheid water	1000	[kg/m ³]

Tussenresultaten I

Symbol	Beschrijving	waarde	eenheid	formule Rock Manual
h	waterdiepte	5,4	[m]	
y_s	positie schip vanaf zijkant	1,0	[m]	

Symbol	Beschrijving	waarde	eenheid	formule PoR
K		15,40	[-]	15c
L	Lengte vanaf boegschroef tot aan de bodem (schuine uitstraling)	3,39	[m]	
$X_{u,max}$	afstand tot maximale stroomsnelheid op de bodem	3,29	[m]	15b

Eindresultaten

Symbol	Beschrijving	waarde	eenheid	formule Rock Manual
u_0	stroomsnelheid achter boegschroef	10,24	[m/s]	4.187
$u_{b,max}$	maximum stroomsnelheid aan bed	1,28	[m/s]	4.190
$u_{b,max,damw}$	Maximale bodemsnelheid boegschroef bij damwand	3,17	[m/s]	4.188
$u_{slope,max}$	Maximale stroomsnelheid onder hoek van boegschroef	8,69		

Afbeelding II.2 Overzicht berekeningen stroomsnelheid op verschillende locaties vanaf de damwand als gevolg van boegschroef

Randvoorwaarden																
Symbool	Beschrijving	waarde	eenheid													
P_b	motorvermogen boegschroef	706	[m]													
D_0	diameter boegschroef	1,00	[m]													
Z_{bs}	hoogte as boegschroef boven bodem	2,40	[m]													
ρ_w	dichtheid water	1000	[kg/m ³]													
Variabelen																
x_{pk}	afstand boegschroef afgemeerd schip tot kade (aanname)	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	[m]
x_b	afstand over de bodem	0,00	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00	[m]	
Eindresultaten																
Symbool	Beschrijving	waarde													eenheid	
U_0	stroomsnelheid achter boegschroef	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	10,24	[m/s]
$U_{b,max}$	maximum stroomsnelheid aan bed	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	[m/s]
$U_{b,max,damw}$	Maximale bodemsnelheid boegschroef bij damwand	3,17	2,85	2,59	2,20	1,91	1,68	1,51	1,36	1,24	1,14	1,06	0,99	0,92	[m/s]	

Afbeelding II.3 Overzicht berekeningen D_{n50} op verschillende locaties vanaf de damwand als gevolg van boegschroef

Steendiameter conform Izbash															
Vaste randvoorwaarden															
Symbool	Beschrijving	eenheid	waarde												
Δ	relatieve dichtheid breuksteen in water	[-]	1,6												
$\beta_{Iz,cr}$	kritieke stabiliteitscoefficient bij begin van beweging	[-]	2,5												
m_{tal}	factor voor invloed van taludhelling bodemhelling	[°]	1												
g	gravitatieconstante	[m/s ²]	9,81												
bodem horizontaal															
Resultaat															
Symbool	Beschrijving	eenheid	waarde												
x_b	afstand over de bodem	[m]	0,00	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00
$U_{b,max,dam}$	Maximale bodemsnelheid boegschroef bij damwand	[m/s]	3,17	2,85	2,59	2,20	1,91	1,68	1,51	1,36	1,24	1,14	1,06	0,99	0,92
D_{50}	Benodigde steendiameter	[m]	0,80	0,65	0,54	0,38	0,29	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
D_{n50}	nominale steendiameter		0,67	0,54	0,45	0,32	0,24	0,19	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06

Afbeelding II.4 Overzicht berekening D_{n50} als gevolg van boegschroef met schuine uitstraal

Steendiameter conform Izbash			
Vaste randvoorwaarden			
Symbool	Beschrijving	eenheid	waarde
Δ	relatieve dichtheid breuksteen in water	[-]	1,6
$\beta_{iz,cr}$	kritieke stabiliteitscoefficient bij begin van beweging	[-]	2,5
m_{tal}	factor voor invloed van taludhelling bodemhelling	[°]	1
g	gravitatieconstante	[m/s ²]	9,81
u_b			
Resultaat			
Symbool	Beschrijving	eenheid	waarde
$U_{slope,max}$	Maximale bodemsnelheid boegschroef bij damwand	[m/s]	8,69
D50	Benodigde steendiameter	[m]	6,01
Dn50	nominale steendiameter		5,05

Afbeelding II.5 Overzicht berekening maximale stroomsnelheid op de bodem als gevolg van schroefstraal van de hoofdschroef

Symbool	Beschrijving	waarde	eenheid	
P_{hs}	motorvermogen hoofdschroef	1746	[kW]	
Z_p	afstand as schroef tot bodem	2,40	[m]	
D_{hs}	diameter hoofdschroef	1,20	[m]	
Tussenresultaten				
Symbool	Beschrijving	waarde	eenheid	formule RM
D0		0,84	[m/s]	
u_0		15,55	[m/s]	4.187
Resultaten				
Symbool	Beschrijving	waarde	eenheid	formule RM
$u_{p,max,bed}$	schroefstraalstroming aan de bodem	1,63	[m/s]	4,190

Afbeelding II.6 Overzicht berekening van de D_{n50} als gevolg van de hoofdschroef.

Steendiameter conform Izbash			
Vaste randvoorwaarden			
Symbool	Beschrijving	eenheid	waarde
Δ	relatieve dichtheid breuksteen in water	[-]	1,6
$\beta_{iz,cr}$	kritieke stabiliteitscoefficient bij begin van beweging	[-]	2,5
m_{tal}	factor voor invloed van taludhelling bodemhelling	[°]	1
g	gravitatieconstante	[m/s ²]	9,81
u_b			
Resultaat			
Symbool	Beschrijving	eenheid	waarde
$u_{p,max,bed}$	Maximale bodemsnelheid boegschroef bij damwand	[m/s]	1,63
D50	Benodigde steendiameter	[m]	0,21
Dn50	nominale steendiameter		0,18

II.2 Breuksteen talud

In deze paragraaf is de berekening gepresenteerd voor de bepaling van de breuksteen gradering op het talud.

Afbeelding II.7 Overzicht Van der Meer berekening breuksteen talud

Randvoorwaarden			
Symbol	beschrijving	eenheid	waarde
H_s	Significante golfhoogte	[m]	1,00
T_p	Piek golfperiode	[s]	3,85
T_m	Gemiddelde golfperiode	[s]	3,50
β	Hoek van inval golven	[°]	0,00
L_0	Diep water golflengte	[m]	19,11
$\cot \alpha$	Helling talud	[1:m]	3
ξ_{5m}	Irribarren getal	[-]	1,46
	Bodemniveau	[m+NAP]	-5,7
HWN	Hoogwater niveau	[m+NAP]	0
d	Waterdiepte	[m]	5,7
	Bodemhelling	[1:m]	1000
ρ_s	Dichtheid steen	[kg/m ³]	2600
ρ_w	Dichtheid water	[kg/m ³]	1000

Bepaling H2%/Hs met Battjes & Groenendijk 2000

Symbol	beschrijving	eenheid	waarde
H_{tr}	Transitionele golfhoogte	[m]	2,03
m0	Variatie vrije oppervlak beweging	[m]	0,06
H_{rms}	Root mean squared golfhoogte	[m]	0,71
$\sim H_{tr}$	Verhouding Htr/Hrms	[-]	2,86
$H_{2\%}/H_{rms}$	Verhouding H2%/Hrms volgens Battjes	[-]	1,98
$H_{2\%}$	Golfhoogte overschreden door 2% v.d. golven	[m]	1,40
$H_{2\%}/H_s$	Verhouding H2%/Hs	[-]	1,40

Van der Meer

Symbol	beschrijving	eenheid	waarde
H_s	Significante golfhoogte	[m]	1,00
Δ	Relatieve dichtheid	[-]	1,60
C_{pl}	Coëfficiënt voor 'plunging waves'	[-]	8,70
C_s	Coëfficiënt voor 'surging waves'	[-]	1,40
P	Permeabiliteitsfactor	[-]	0,1
S_d	Schadegetal	[-]	2
T	Stormduur	[uur]	10
N	Aantal golven	[-]	7500
X_{cr}	kritische Irribarren waarde	[-]	2,56
	plunging		0,39
	surging		0,55
D_{n50}	Benodigde nominale steendiameter	[m]	0,39
W50	Benodigde gewicht overeenkomste met Dn50	[kg]	154,9