

**12. BIJLAGEN**

Nr.	Omschrijving
1	Vooronderzoek zettingsvloeiingen
2	Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal
3	Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen
4	Ontwerpdokument dukdalf
5	Plan van aanpak
6	Bedrijfsbeoordeling • Bedrijfsbeoordeling Bas Speelman • Bedrijfsbeoordeling Nick Jackson
7	Competentieverantwoording



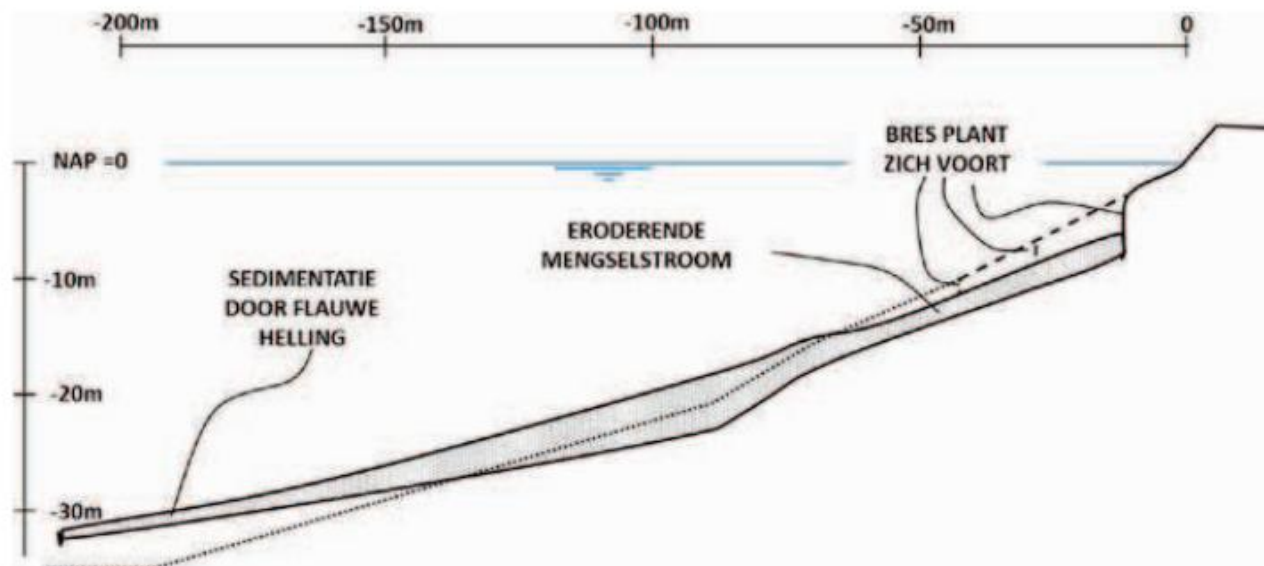
BIJLAGE 1

Vooronderzoek zettingsvloeiingen



Ontwerp afmeervoorziening Voorhavendam IJmuiden

Vooronderzoek zettingsvloeiingen OpenIJ



Document nr : Vooronderzoek versie_1.0.docx
Versie : 1.0
Datum : 11-2-2016
Status :

Werk nr :

Opdrachtgever :
Referentie :

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)	10-02-16	
Gecontroleerd				
Vrijgegeven	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)		
Geaccepteerd				



INHOUDSOPGAVE	PAG.
0 INLEIDING	2
1 ALGEMEEN	3
1.1 Gevolgen en risico's bij optredende zettingsvloeiingen	4
2 METINGEN	5
2.1 Proef zettingsvloeiing	6
2.2 Trillingsproef	7
2.2.1 Spisulazanden	7
2.2.2 Aanvulzanden	8
3 VERGELIJKBARE PROJECTEN EN VOORGAANDE ONDERZOEKEN	9
4 INVLOEDEN VAN TRILLINGEN OP ONDERWATERTALUDS	10
4.1 Trillingsbron	10
4.2 Invloedsgebied trillingen	11
5 VOORSPELLINGSMODELLEN	11
5.1 Relatieve dichtheid	11
5.2 Kans op verwekingvloeiing	12
5.3 Kans op bresvloeiingen	12
5.4 Bepalen optredende inscharingslengte	12
5.5 Trillingsniveau	13
6 VOORSPELLING TRILLINGSNIVEAU'S	14
6.1 Proef Werkhaven	14
6.1.1 Attewell et al. 1992 prediction model peak particle velocity	15
6.1.2 Best-fit formule Attewell et al. 1992	17
6.2 Proef Noordersluis	18
6.2.1 Attewell et al. 1992 prediction model peak particle velocity	18
6.2.2 Best-fit formule Attewell et al. 1992	20
7 VOORSPELLING ZETTINGSVLOEIING	21
7.1 Voorspelling bresvloeiing	21
7.2 Voorspelling verwekingsvloeiing	22



0 INLEIDING

In dit verslag wordt er gekeken naar wat zettingsvloeiingen nou precies zijn. De algemene informatie als oorzaak en gevolg worden beschreven. Hierbij wordt er gekeken naar wat mogelijke oorzaken kunnen zijn. Waar zettingsvloeiingen voornamelijk plaats vinden en wat de gevolgen hiervan zijn. Daarnaast wordt er ook gekeken naar hoe tot dus ver men de zettingsvloeiingen probeert te voorkomen.

Hierna zullen de metingen van de nog uit te voeren zettingsvloeiingen bij OpenIJ worden beschreven met daarbij de opzet en de doelstelling van deze metingen.

Verder worden er vergelijkbare projecten en voorgaande onderzoeken geanalyseerd om zo meer inzicht te verkrijgen over het gehele zettingsvloeiing verhaal. Als laatst zullen de bekende rekenmodel worden beschreven.



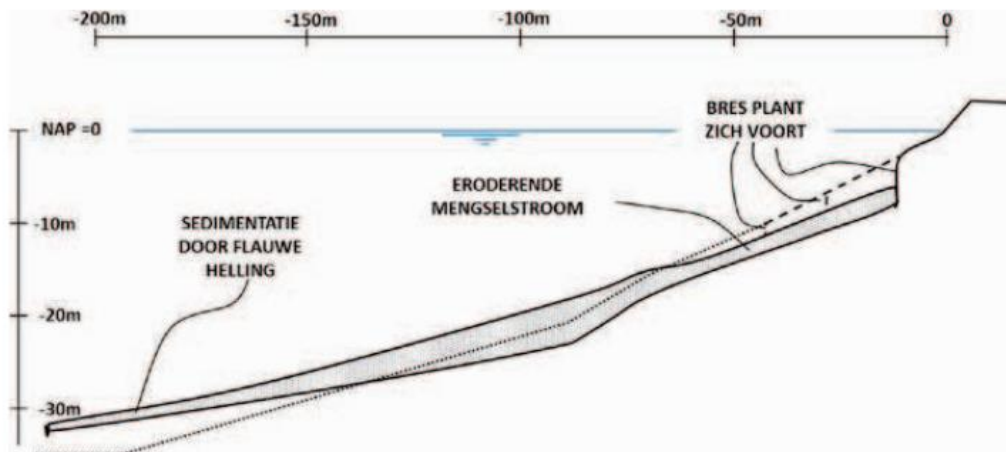
1 ALGEMEEN

Zettingsvloeiing is een mechanisme waarbij zand in een onderwatertalud schijnbaar spontaan vervloeit en waarbij zand over grote afstand verplaatst kan worden. Met als gevolg vaak boven water zichtbare komvormige inscharing in de oever met vaak grote schade als gevolg. Door een specifieke opbouw van de ondergrond kunnen zettingsvloeiingen op natuurlijke wijze plaatsvinden. Aanleiding hiervan is vrijwel altijd steiler of hoger worden van het onderwatertalud ten gevolge van erosie aan de teen of sedimentatie aan de top. Zettingvloeiingen kunnen ook ontstaan door ontgrondingskuilen bij waterbouwkundige constructies. Hiervoor wordt er vaak een bodembescherming voor aangebracht om dit te voorkomen. Deze voorkomen dat de kuil te diep wordt en de hellingen te steil waardoor zettingsvloeiingen kunnen ontstaan. Er worden twee verschillende mechanisme onderscheiden binnen de zettingsvloeiingen die qua proces van elkaar verschillen. Deze zijn verwekingsvloeiingen en bresvloeiingen

Bij verwekingsvloeiingen gaat het om een pakket los gepakt zand onder water dat plotseling verweekt. Hier wordt het onderling contact tussen de zandkorrels plots dramatisch verminderd waardoor de schuifsterkte afneemt van het zandlichaam. Als dit zandpakket zich dan in een helling bevindt zal de verweekte massa naar beneden vloeien en pas weer onder een zeer flauwe helling tot rust komen. Een oorzaken van het plotseling week worden van zandpakket kan trillingen zijn.

Een bresvloeiing in een onderwatertalud is een gestaag terugschrijdend erosieproces dat beschouwd kan worden als een onbeheerste vorm van het bresproces. Het bresproces is het proces waarbij door baggerwerkzaamheden een talud zodanig steil wordt dat dit talud onstabiel wordt met vloeiingen als gevolg.

Voorwaarde voor beide soorten vloeiingen is de aanwezigheid van een voldoende hoog en steil onderwatertalud bestaande uit zand- en/of siltlagen van voldoende dikte. Verder is er bij verwekingsvloeiingen een zeer los gepakt zandpakket nodig terwijl bij bresvloeiingen juist een vast gepakt zandpakket benodigd is. Bij opgetreden vloeiingen is achteraf vaak niet te zeggen van welke soort vloeiing sprake is geweest.



Figuur 1: mogelijk verloop van bresvloeiing



1.1 Gevolgen en risico's bij optredende zettingsvloeiingen

Blokkeren van de vaarweg

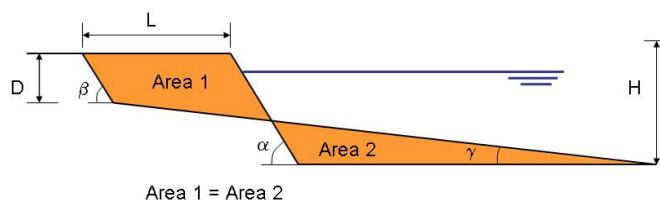
Op het moment dat zettingsvloeiing optreedt in de taluds als gevolg van de werkzaamheden, brengt dit een aantal gevolgen met zich mee. Om te beginnen kan het afgeschoven talud de huidige vaarweg blokkeren wat automatisch leidt tot een hoop problemen, zo is het mogelijk dat de schepen hun weg niet kunnen vervolgen of erger een schip loopt vast door een te kleine waterdiepte. Omdat zettingsvloeiing plots optreedt hoeft het niet zo te zijn dat men dit meteen zal opmerken en daarom zijn de risico's behoorlijk groot.

Schade aan constructies

Een tweede risico is het afvloeien van de taluds nabij de bestaande sluizen. Door een afnemende gronddruk tegen de sluiswanden, neemt de stabiliteit af en dit kan leiden tot grote problemen wanneer hier geen maatregelen voor worden genomen.

Inscharing van het talud

Wanneer zettingsvloeiing optreedt nabij dijken en oevers, kan inscharing optreden. Dit is in feite het binnenwaarts afkalven van een oever of dijk. Hieronder staat weergegeven hoe de grond zich ongeveer zal verplaatsen.



Figuur 2 inscharingslengte

Om een beeld te krijgen bij de ernst van dit fenomeen, is onderstaande figuur weergegeven. Hier is een ernstig geval van opgetreden inscharing van toepassing. Het zogehete project 'zandwinning Hooijdijk' heeft als gevolg van plaatselijke zandwinning last gehad van zo'n inscharing waarbij tientallen meters aan dijk is verzakt.



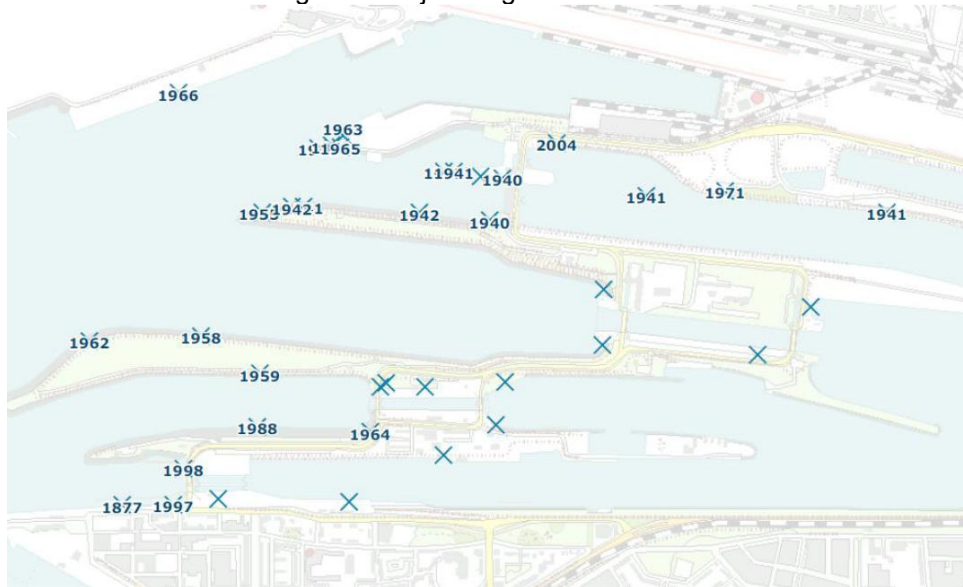
Figuur 3 Inscharing Hooijdijk



2 METINGEN

Om meer kennis te verkrijgen over de zettingsvloeiingen worden er bij project OpenIJ enkele proeven opgezet waarbij zettingsvloeiingen getracht gecreëerd te worden. Ook wordt er voor de proef een geluidsanalyse gemaakt zodat aantoonbaar is dat de geluidshinder nog binnen de gestelde eisen wordt gehandhaafd.

Binnen het projectgebied zijn er uit het verleden al enkele zettingsvloeiingen voorgekomen. Deltares heeft een rapportage op kunnen stellen van deze zettingsvloeiingen en heeft deze in kaart kunnen brengen. In totaal zouden er zo'n 72 gevallen zijn voorgekomen. Deltares heeft er hiervan 18 in kaart kunnen brengen.



Figuur 4: gedocumenteerde zettingsvloeiingen binnen het projectgebied

Deze zettingsvloeiingen zijn te verklaren aan de hand van de gevoeligheid van de ondergrond en de belastingen die voortkwamen uit eerdere werkzaamheden. De ondergrond wordt onderscheiden tussen de natuurlijke ondergrond en de aanvulzanden. De natuurlijke ondergrond bevat een gevoelige laag tussen -6m en -12m NAP (Spisulazanden). Deze laag is erg variabel. De aanvulzanden zijn afkomstig van de bouw van de Midden- en Noordersluis. Tijdens deze werkzaamheden zijn de bouwputten opgevuld met aanvulzand wat deels onverdicht is. Hierdoor is deze laag erg los gepakt waardoor de korrelspanning vrij laag is.

Project OpenIJ heeft zelf op basis van de beschikbare informatie verschillende oorzaken opgesteld die mogelijk tot de zettingsvloeiingen hebben geleid.

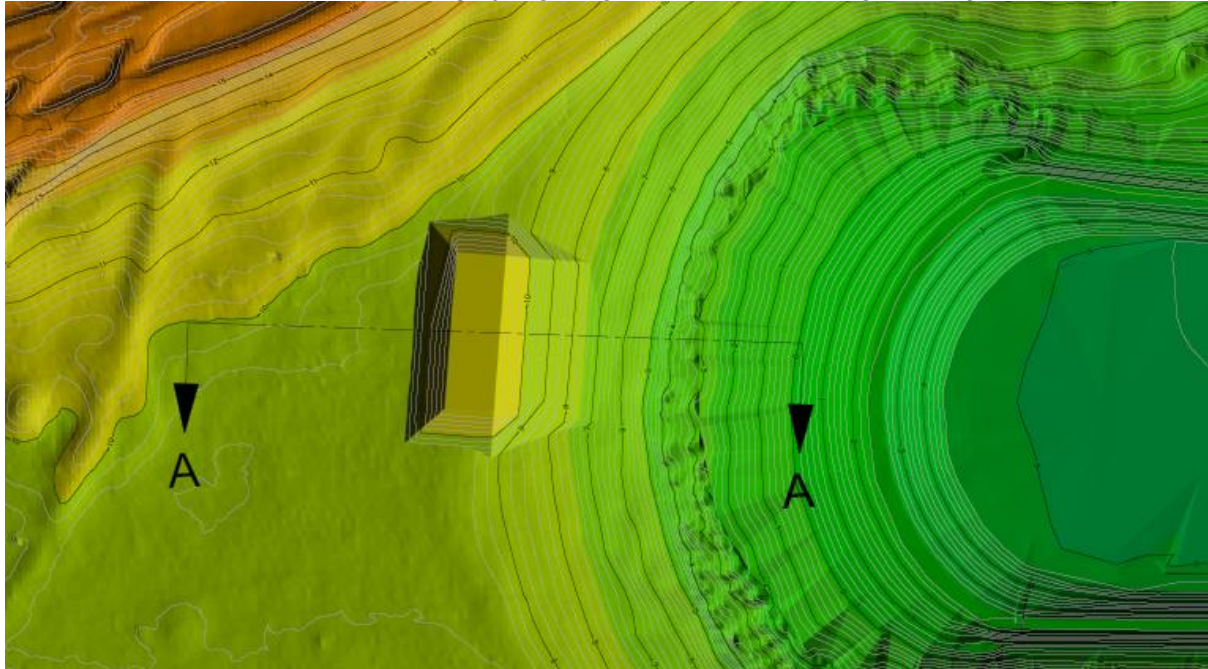
- Gevolgen van baggerwerkzaamheden
- Gevolgen van trillingen en lekkage waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen
 - o Excessieve en plotselinge zettingen net naast de sluis
 - o Bezinken van taluds in de hoek en naast de sluizencomplexen
- Ter gevolgen van het intrillen van damwanden

Op basis van de bekende gevallen van zettingsvloeiingen wordt het gemiddelde aantal zettingen per jaar op 1 geschat, tijdens de werkzaamheden van de nieuwe sluis kan dit echter veel hoger worden door de vele werkzaamheden in de grond. Om dit te kunnen voorspellen en daarmee mogelijk te voorkomen zet OpenIJ een onderzoek op.



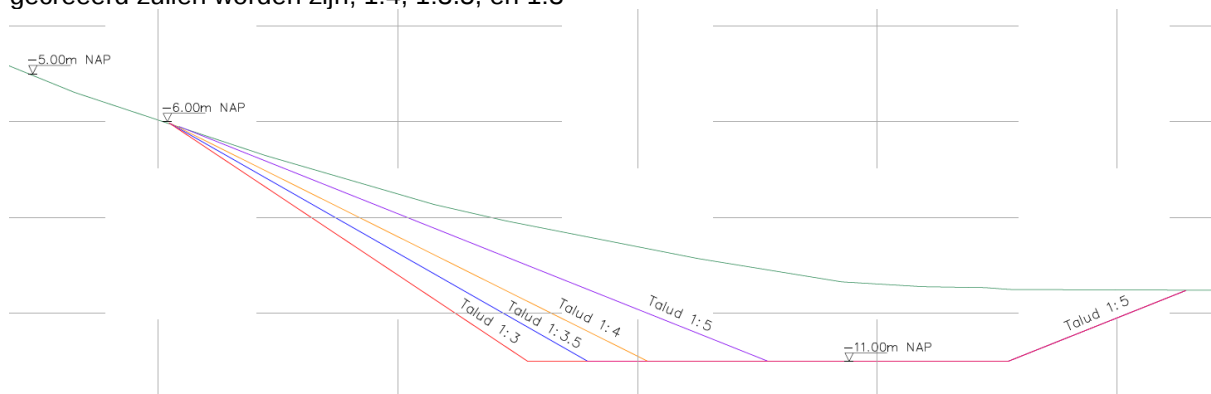
2.1 Proef zettingsvloeiing

De locatie van de zettingsvloeiing is geselecteerd op basis van de representativiteit van de grondcondities, beschikbaarheid van de locatie en mogelijke gevolgschade van de zettingsvloeiingen.



Figuur 5: locatie zettingsvloeiingproef

De talud wordt uitgevoerd door ze beginnen met het opzetten van een talud met een helling 1:5. Vervolgens wordt het talud steeds iets steiler opgezet, totdat deze zal bezwijken. De taludhelling die gecreëerd zullen worden zijn; 1:4, 1:3.5, en 1:3



Figuur 6: uitwerking taluds

Verwacht wordt dat bij een taludhelling van 1:3 een zettingsvloeiing zal optreden. Als dit echter nog niet bij eerdere hellingen is ontstaan.

Tijdens het uitvoeren van deze proef zal met behulp van een peilboot (multibeam) het talud continu monitorringen plaats vinden. Hiermee kan er een visueel beeld worden gemaakt voor wanneer het talud bezwijkt.

Verder wordt er ook nog op een andere locatie een trilproef uitgevoerd. Deze proef moet leiden tot een kwantificering van de effect van trillingen in aanvulzanden. De effecten betreffen trillingen, wateroverspanningen en maaiveldzakkingen.



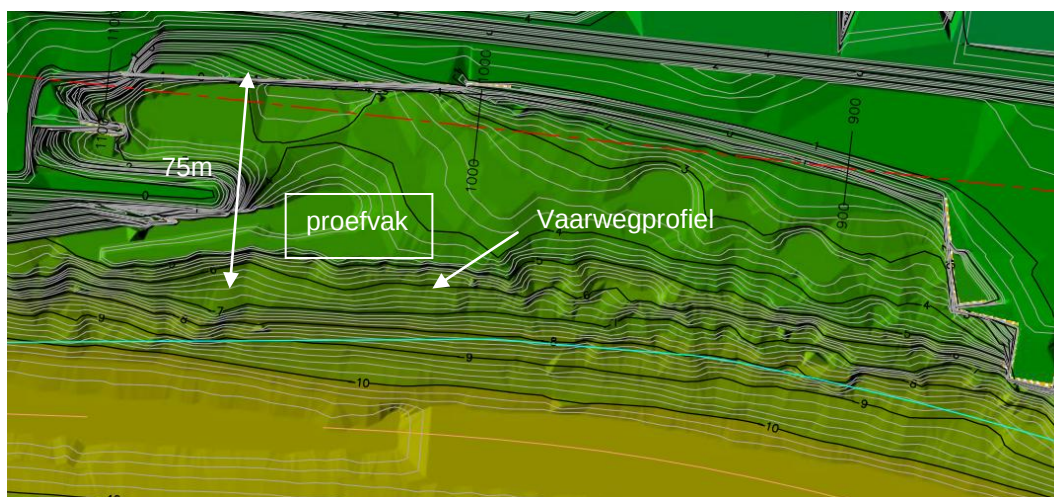
2.2 Trillingsproef

Naast de zettingvloeiingsproef worden er ook nog twee aanvullende proeven uitgevoerd in de vorm van een trillingsproef. De doeleinden van deze proeven zijn het in kaart brengen van het gedrag van spisulazand en aanvulzand. Bij de proef voor de spisulazanden wordt een combiwand aangebracht in het water en bij de aanvulzanden een aantal damwanden op het land. Hieronder worden de twee proeven behandeld.

2.2.1 Spisulazanden

Deze proef richt zich op het in kaart brengen van het gedrag van het onderwatertalud, deels opgebouwd uit spisulazand, tijdens het dynamisch belasten oftewel door trillingen afkomstig van heikwerkzaamheden. Spisulazand is een zandmengsel wat bestaat uit schelpen en grof korrelig zand. Aangezien hier nog weinig over bekend is, kan aan de hand van deze proef meer duidelijkheid worden verkregen.

De trillingsproef zal worden uitgevoerd in de Werkhaven ten zuiden van de Noordersluis. Deze haven bevindt zich op ca. 75m afstand van de zuidelijke kolkwand van de Noordersluis.



Figuur 7 Bathymetrie en vaarwegprofiel Middenbinnentoelidskanaal

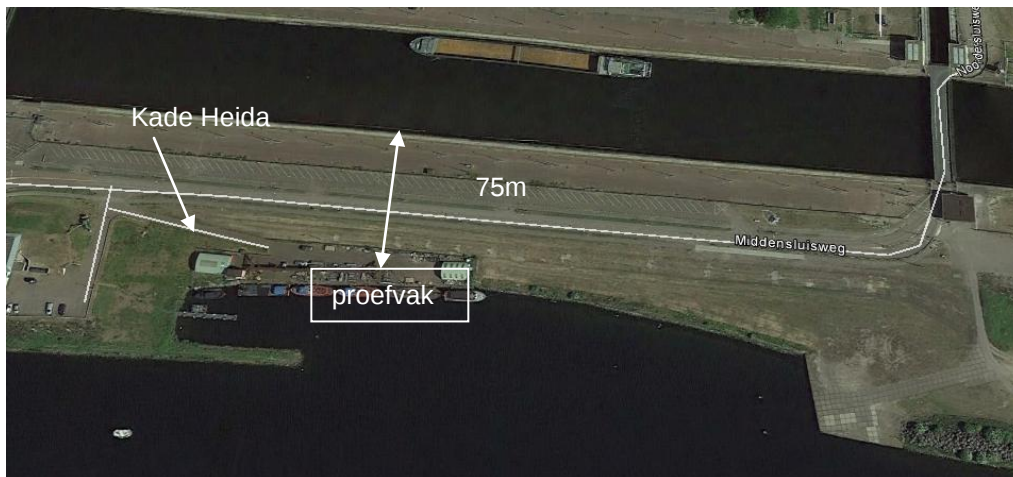
Vanuit de bathymetrie volgt dat het bodemniveau in de Werkhaven op NAP -6,0m ligt. Het kanaalpeil ligt op NAP -0,4m. De breedte van de Werkhaven bedraagt ca. 75m tot aan het bestaande Vaarwegprofiel. Hiermee is er voldoende ruimte voor de proef.

Met de trillingsproef ter plaatse van de Werkhaven worden de volgende aspecten beproefd of gemeten:

1. Inbrengbaarheid damwanden
2. Inbrengbaarheid combiwanden
3. Geluid bij aanbrengen damwanden
4. Geluid bij aanbrengen combiwanden
5. **Wateroverspanningen en trillingen in Spisulazanden bij aanbrengen damwanden**
6. **Wateroverspanningen en trillingen in Spisulazanden bij aanbrengen combiwanden**

Proefopstelling

Zie de bijlage voor tekeningen van de proefopstelling voor beide trillingsproeven.



Figuur 8 Figuur 5 Google Earth view Werkhaven

Gezien de noodzaak van het kwantificeren van wateroverspanningen, trillingen en maaiveldzakkingen in Aanvulzanden is uitvoering van een extra beproeving op een andere locatie noodzakelijk. De enig mogelijke locatie hiervoor is het Terrein Noordersluis, omdat hier Aanvulzanden aanwezig zijn tot ca. NAP -8m. Dit wordt in het volgende hoofdstuk behandeld.

2.2.2 Aanvulzanden

De trillingsproef ter plaatse van het Terrein Noordersluis is benodigd voor het kwantificeren van de effecten van trillen in Aanvulzanden. Deze effecten betreffen trillingen, wateroverspanningen en maaiveldzakkingen. Deze aanvulzanden zijn zeer losgepakt aangebracht tijdens de bouw van de oude sluisen. Hierdoor kunnen zettingen en zettingsvloeiingen ontstaan. Het is dus van belang om ook voor de aanvulzanden een gedragsvoorspelling te kunnen doen. Het Terrein Noordersluis zal door OpenIJ worden gebruikt voor het ketenpark.



Figuur 16: Terrein Noordersluis

Met de trillingsproef ter plaatse van het Terrein Noordersluis worden de volgende aspecten beproefd of gemeten:

1. Inbrengbaarheid damwanden
2. **Wateroverspanningen, trillingen en maaiveldzakkingen in Aanvulzanden bij aanbrengen damwanden**



3 VERGELIJKBARE PROJECTEN EN VOORGAANDE ONDERZOEKEN

De laatste periode zijn er meerder vergelijkbare project uitgevoerd en ook onderzoeken met betrekking tot zettingsvloeiingen.

Westerschelde

Een voorbeeld van een van deze onderzoeken is het zettingsvloeiing experiment in de Westerschelde uitgevoerd door IJkdijk. Ook hier waren er bewust zettingsvloeiingen gecreëerd om zodoende meer kennis te vergaren over dit onderwerp. De opzet van dit experiment is zo goed als het zelfde als openIJ. Het enige verschil hierbij is dat het talud niet steeds steiler werd gemaakt maar de bres hoogte bij de teen van het talud steeds hoger werd gemaakt d.m.v. baggerwerkzaamheden.

De conclusie van dit onderzoek was dat het experiment geslaagd was. Voor het eerst was het gelukt om onder natuurlijke omstandigheden een zettingsvloeiing te initiëren. Data bleek essentieel om kennis te verkrijgen over het faalmechanisme en kennisleemte te vullen. De hoofdvraag was in hoeverre waterbeheerders meettechnieken en data-analysesystemen kunnen inzetten in de huidige beoordelingsmethoden van vooroevers waar zettingsvloeiing een risico is en om meer kennis te over het optreden van zettingsvloeiingen te verkrijgen. Relevante parameters waren niet vaststaand en zijn aan de hand van verkregen kennis inzichtelijk gemaakt.

De eerste stap van het experiment was het inzichtelijk maken van informatie dat de beheerders helpt in de beoordeling van zettingsvloeiingen. De volgende informatie is hiervoor nodig:

- Actuele geometrie van diepste punt geul tot kruin dijk
- Geometrie onderwatertalud van afgelopen 10 jaar
- Aanwezigheid van bestorting
- Grondeigenschappen en – toestand vanaf waterlijn tot circa een half keer de geuldiepte onder de geulbodem.
 - o Grondopbouw
 - o Pakking van zand- en siltlagen dikker dan 0.5m
 - o Korrelverdeling van zand- en siltlagen dikker dan 0.5 m



4 INVLOEDEN VAN TRILLINGEN OP ONDERWATERTALUDS

Door het aanbrengen van, in dit geval, stalen buispalen komen trillingen vrij welke nadelige invloeden hebben op de omliggende taluds onder water. De trillingen worden veroorzaakt door het trilblok welke met een bepaalde frequentie de palen in de bodem aanbrengt. Afhankelijk van het type trilblok dat gebruikt wordt, de grootte van de buispaal, de grondopbouw en de afstand van de bron tot het talud bepalen de grootte van de trillingen.

Zoals gezegd hebben de trillingen dus invloed op de stabiliteit van de onderwatertaluds, en hierdoor ontstaan dus die zogenaamde zettingsvloeiingen. De instabiliteit wordt veroorzaakt door het volgende: Door de grote trillingen in de ondergrond ontstaat er een groter poriëngehalte tussen de zanddeeltjes. Doordat deze poriën groter worden kan het water hier makkelijker doordringen. De waterspanning neemt hierdoor automatisch toe en de algemene regel luidt dat zodra de waterspanning toeneemt, neemt de korrelspanning af. Dat wil zeggen dat de onderlinge samenhang van de zandkorrels kleiner wordt en daarmee neemt de stabiliteit af. Als dit op dusdanige wijze gebeurt kan er zettingsvloeiing ontstaan.

4.1 Trillingsbron

Zoals gezegd zijn de veroorzaakte trillingen afkomstig van het heien van de funderingselementen. Grote trilblokken welke aan een kraan hangen, worden op de buispaal of damwand geplaatst om deze te kunnen heien. Op onderstaande figuur staat dit afgebeeld.

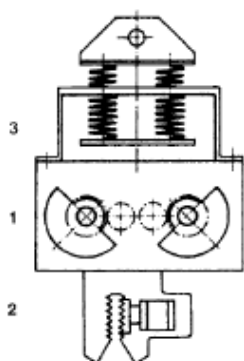


Fig. 2.13 Vibrator components.
1) Eccentric masses. 2) Clamp.
3) Springs. (Massarsch, 2000).

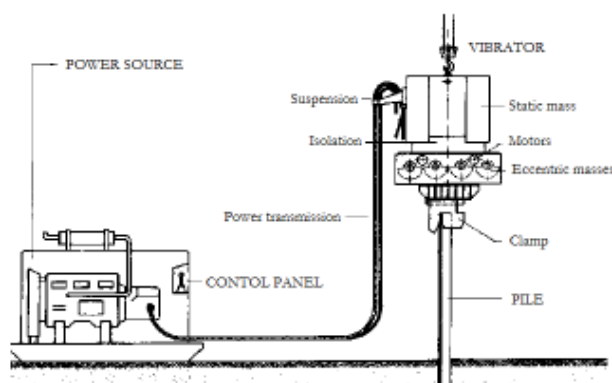


Fig. 2.14 Principles of the vibratory driving machinery.
Modified after Massarsch (2000).

Vooraf kan bepaald worden, aan de hand van de werkzaamheden, welk soort trilblok gebruikt kan worden. Op het project OpenIJ zijn de volgende mogelijkheden vastgesteld:

Ontgravingsniveau	Trilblok	Puntniveau [m NAP]	Verwachting
6m-NAP	2335VM	-26	Verwachte einddiepte: NAP -23/-24m, hulpmiddelen nodig
	2350VM	-26	Verwachte einddiepte: NAP -24/-25m, hulpmiddelen nodig
	105M	-26	Verwachte einddiepte: NAP -23/-25m, hulpmiddelen nodig

Het effect op de wateroverspanningen en daarmee op zettingsvloeiing is niet eenduidig. De frequentie van de PVE2335VM en PVE2350VM ($f=38,3$ Hz) ligt buiten de eigenfrequentie van losgepakte zanden. Hierdoor wordt met deze trilblokken een kleiner risico op omgevingseffecten, zoals overschrijding trillingswaarden en zettingsvloeiing, verwacht.

De frequentie van de PVE105M ($f=22,5$ Hz) ligt binnen de eigenfrequentie van losgepakte zanden (10-25 Hz). Zodra de beide frequenties op hetzelfde punt komen, worden de trillingen versterkt., hierdoor is het invloedsgebied van trillingen groter. Dit heet resonantie. Resonantie is een natuurkundig verschijnsel wat dus voor komt bij trillingen, in dit geval afkomstig van heiwerkzaamheden. Doordat trillingen als het ware via een tussenstof worden doorgegeven zou een voorwerp het andere kunnen laten trillen.



4.2 Invloedsgebied trillingen

Over het daadwerkelijke invloedsgebied van de trillingen met betrekking tot zettingen kan vooraf niet heel veel gezegd worden. Wel kan gezegd worden dat het invloedsgebied bij dichtgepakte zanden op een afstand van $0,5 \cdot$ inheidiepte verwaarloosbaar wordt. Echter bij losgepakte zanden, aanvulzanden en spulazanden in dit geval, zal het invloedsgebied groter zijn. Aan de hand van metingen kunnen hier betere uitspraken over worden gedaan.

5 VOORSPELLINGSMODELLEN

5.1 Relatieve dichtheid

De relatieve dichtheid, R_e , is gelijk aan de verhouding tussen het verschil tussen het maximum poriëngetal (e_{max}) en het aanwezige poriëngetal (e) en het verschil tussen het maximum en minimum poriëngetal (e_{min})

$$R_e = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

In situ relatieve dichtheid

De verwekinggevoeligheid hangt in de eerste plaats af van de pakking van het zand. Dat is van belang tot een diepte van ongeveer $0,5 \cdot H_r$ onder de teen van het talud. Hierbij is H_r de totale taludhoogte. Op basis van de conusweerstand q_c in zand en diepte kan een schatting van de relatieve dichtheid worden gemaakt. Er bestaan verschillende manieren om de relatieve dichtheid van een zandlaag te bepalen. Naast dat ze gemeten kan worden met een elektrische dichtheidsmeting. Kan deze ook door middel van correlaties met sondeerweerstand worden bepaald. De meeste gebruikte correlatie is van Baldi. Deze wordt gegeven in de volgende formule:

$$R_e = \frac{1}{2.5} * \ln \left[\frac{q_c}{0.14(\sigma'_{v0})^{0.6}} \right]$$

Met daarin:

R_e	= relatieve dichtheid, gebaseerd op het poriëngetal	[-]
q_c	= gemiddelde conusweerstand	[MPa]
σ'_v	= verticale korrelspanning	[kPa]

Met de relatieve dichtheid bekend kan er al een stelling worden gemaakt over de verwekinggevoeligheid. Uit metingen is gebleken dat:

$R_e < 0.33$	Zeer verwekinggevoelig
$0.33 < R_e < 0.67$	verwekinggevoelig
$R_e > 0.67$	niet verwekinggevoelig



5.2 Kans op verwekingvloeiing

Met de gegevens van verschillende metingen (o.a. Westerschelde) heeft men een vergelijking op kunnen stellen die de kans van een verwekingvloeiing aangeeft. Deze vergelijking is:

$$P(\text{verweking}) = \left(\frac{H_R}{25m}\right)^2 * \left(\frac{3.5}{\cot \alpha_R}\right)^6 * \left(\frac{1}{10}\right)^{10 * (R_e - 0.4)} * 0.1 \left[\frac{km}{jaar}\right]$$

Met daarin:

H_R	= rekenhoogte talud	[m]
$\cot \alpha_R$	= cotanges van rekenhellingshoek	[-]
R_e	= laagste waarde relatieve dichtheid, gemiddeld over 3 m hoogte tussen de maatgevende waterstand en $0,3H_r$ onder de teen	[-]

5.3 Kans op bresvloeiingen

Voor het bepalen van de kans op bresvloeiingen geldt:

$$P(\text{bres}) = f_{b1}(H_r) * f_{b2}(\cot(\alpha_R)) * f_{b3}(D_{50}) * 0.1 \left(\frac{km}{jaar}\right)$$

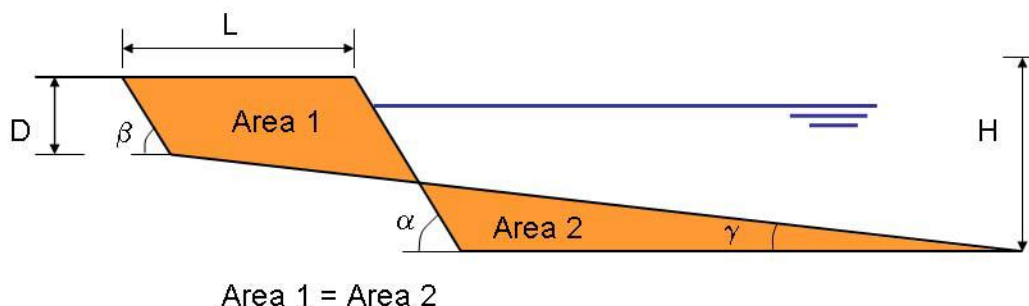
Met daarin:

H_R	= rekenhoogte talud	[m]
$\cot \alpha_R$	= cotanges van rekenhellingshoek	[-]
D_{50}	= korrelgrootte van het bodemmateriaal	[μm]

De CUR-aanbeveling 113 geeft aan dat de functies f_{b1} , f_{b2} en f_{b3} nog diende te worden uitgewerkt en gevalideerd

5.4 Bepalen optredende inscharingslengte

Als een zettingsvloeiing plaatsvindt, zal een deel van het vervloeide materiaal naar de zijanten afvloeien. Door dit tweedimensionale effect zal de oppervlakte van de verdwenen grond bovenin het dwarsprofiel (Area 1 in onderstaand figuur) ongeveer een factor 1.4 groter zijn dan de oppervlakte van de grond die er aan de onderkant (Area 2 in onderstaand figuur) bijkomt.



Figuur 9: inscharingslengte na zettingsvloeiing [Silvis en De Groot 1995]



De inscharingslengte kan vervolgens met de volgende formule worden bepaald:

$$L = ax - Db$$

Met daarin:

$$x = \frac{-cH + \sqrt{(cH)^2 + (1-c)\left(\frac{D^2b}{a} + H^2c\right)}}{(1-c)} \text{ mits } c \neq 1$$

a = $\cot \gamma - \cot \alpha$
 b = $\cot \gamma - \cot \beta$
 c = verhouding tussen area1 en area2 ($A1 = cA2$)
 H = geuldiepte
 D = breshoogte

Als $c = 1$ geldt:

$$x = \frac{1}{2}H + \frac{1}{2}\frac{D^2}{H} * \frac{b}{a}$$

5.5 Trillingsniveau

Door middel van de zogeheten voorspellingsmodellen van Attewel and Farmer (1973) kan worden bepaald wat de trillingsniveaus worden bij het gebruik van bepaalde trilblokken. Hieronder staat de formule voor het bepalen van de energie die vrijkomt door het trillen.

$$W_0 = \frac{1000 * W}{f}$$

Met:

W_0	= energie afkomstig van de bron (trilblok)	[J]
W	= vermogen trilblok	[kW]
f	= frequentie	[Hz]

Zodra de energie bepaald is, kan het trillingsniveau worden berekend.

$$v = C \left(\frac{\sqrt{W_0}}{r} \right)$$

Met:

v	= voorspeld verticaal trillingsniveau	[mm/s]
C	= evenredigheidsconstante	[-]
r	= horizontale afstand tot de bron	[m]

Voor de evenredigheidsconstante C , moet volgens de Eurocode 3 worden aangehouden: $C=1,0$.



6 VOORSPELLING TRILLINGSNIVEAU'S

6.1 Proef Werkhaven

Voor de proef bij de Werkhaven zijn een aantal verschillende voorzieningen en technieken gekozen om deze uit te voeren. Zo wordt er onderscheid gemaakt in de volgende elementen met trilblok.

	Buispaal 1	Buispaal 2	Buispaal 3	Plank 1	Plank 2
Trilblok	2350VM	2350VM	105M	2335VM	2335VM

Buispaal 1 en buispaal 2 zullen op dezelfde waardes uitkomen, daarom worden deze samen genomen. Dit geldt ook voor plank 1 en 2, hierdoor zullen er drie situaties worden berekend ieder op 4 afstanden van de bron.

De trillingen worden op verschillende afstanden van de bron gemeten, dit is van belang bij de voorspellingsberekeningen. De afstanden zijn als volgt:

	Afstand r van de bron
Trillingsopnemer 1	5,03 m
Trillingsopnemer 2	10,05 m
Trillingsopnemer 3	25,05 m
Trillingsopnemer 4	76,438 m

Elk trilblok heeft een eigen vermogen en frequentie, deze staan hieronder in een tabel vermeld.

Trilblok	Vermogen [kW]	Frequentie [Hz]
2350VM	805	38,333
105M	558	22,5
2335VM	590	38,333

Nu alle benodigde waardes bekend zijn, kunnen de berekeningen worden uitgevoerd. Deze zullen voor drie verschillende situaties.



6.1.1 Attewell et al. 1992 prediction model peak particle velocity

Situatie 1, buispaal 1 en 2

W = 805 kW
 f = 38,333 Hz

Afstand r	Energie W_0	Trillingsniveau v
5,03 m	21000 J	28,8 mm/s
10,05 m	21000 J	14,4 mm/s
25,05 m	21000 J	5,88 mm/s
76,438 m	21000 J	1,90 mm/s

Situatie 2, buispaal 3

W = 558 kW
 f = 22,5 Hz

Afstand r	Energie W_0	Trillingsniveau v
5,03 m	35777,8 J	37,6 mm/s
10,05 m	35777,8 J	18,8 mm/s
25,05 m	35777,8 J	7,55 mm/s
76,438 m	35777,8 J	2,47 mm/s

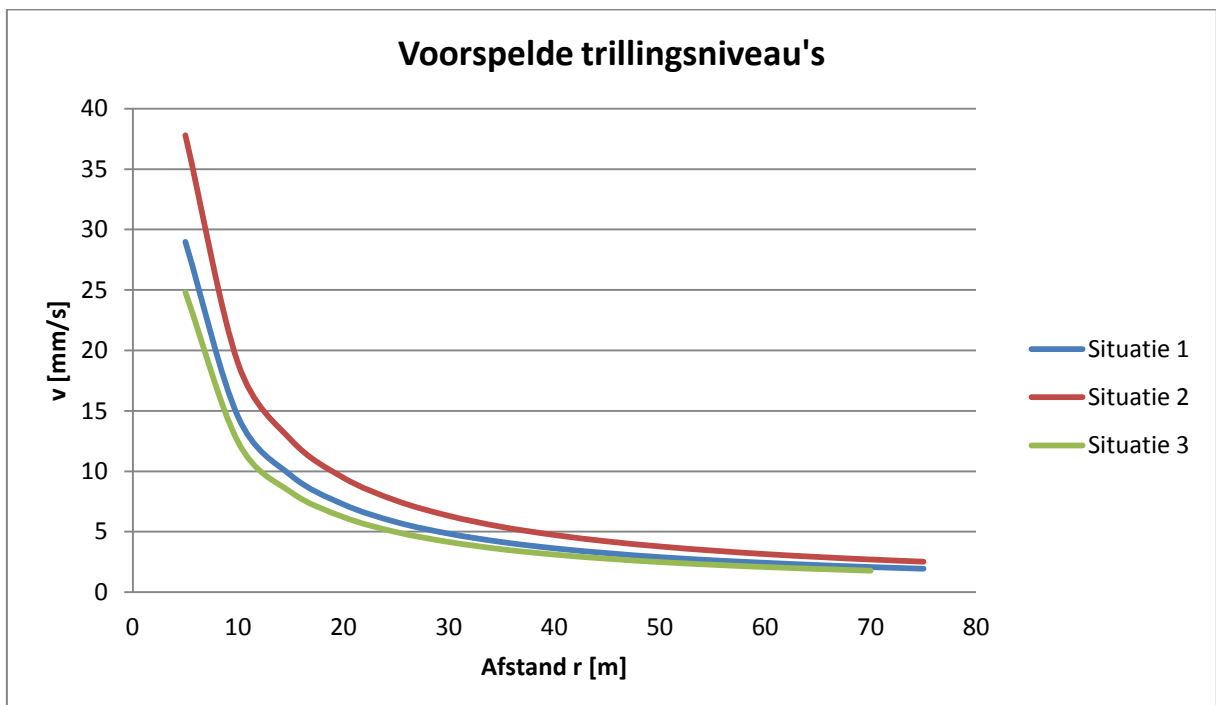
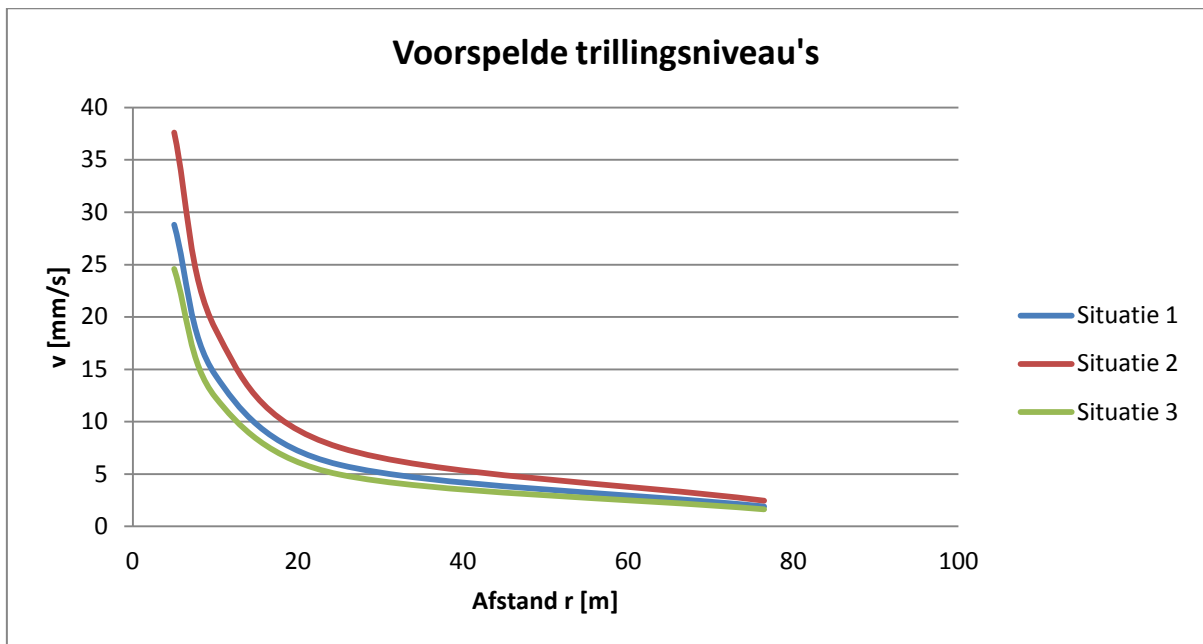
Situatie 3, plank 1 en 2

W = 590 kW
 f = 38,333 Hz

Afstand r	Energie W_0	Trillingsniveau v
5,03 m	15391 J	24,6 mm/s
10,05 m	15391 J	12,3 mm/s
25,05 m	15391 J	4,95 mm/s
76,438 m	15391 J	1,62 mm/s



Hieronder staan de drie situaties in een grafiek uitgezet, als eerste met de verschillende situaties en vervolgens over een afstand van 75 meter.



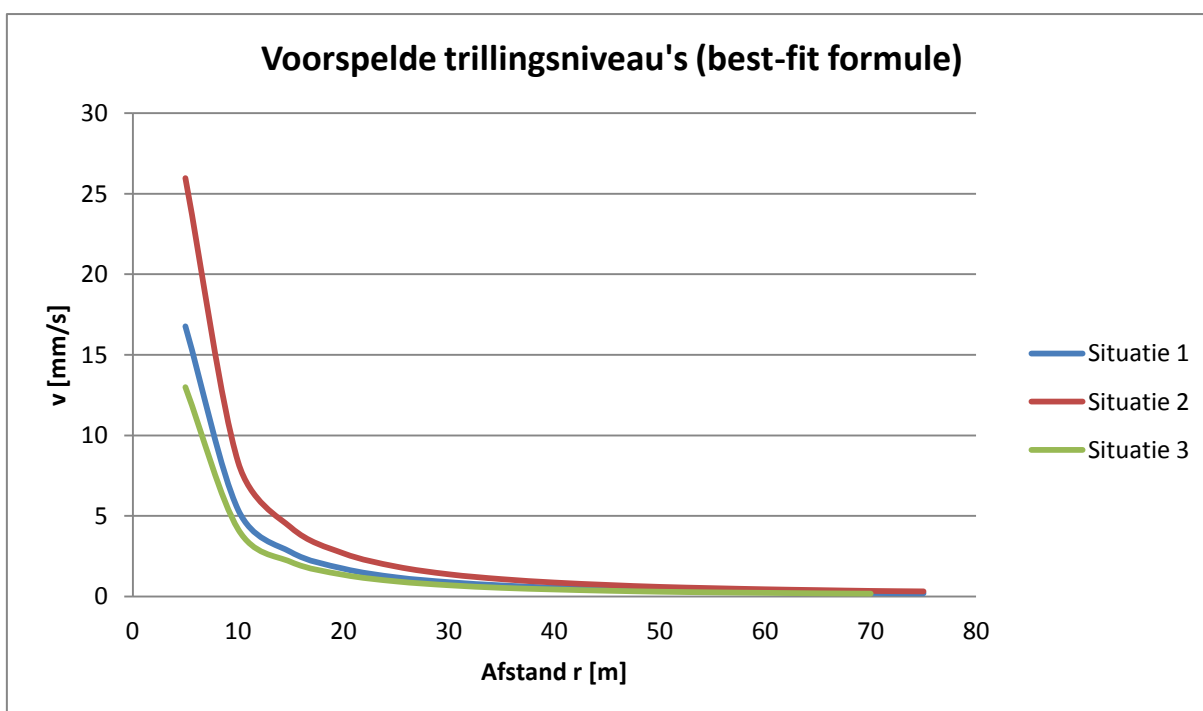
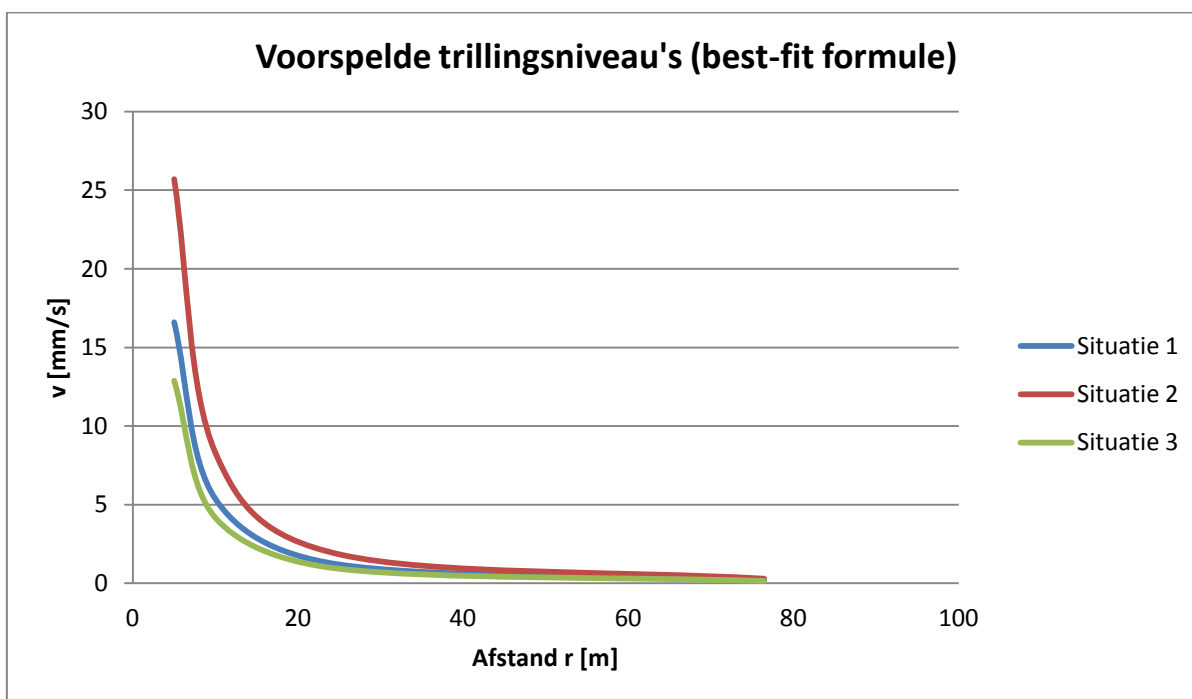


6.1.2 Best-fit formule Attewell et al. 1992

Aan de hand van een lineaire regressie analyse (Attewell et al. 1992) is er een 'best-fit' formule ontwikkeld specifiek voor een trilblok. Deze is gebaseerd op de voorgaande voorspellingsmodellen van Attewell and Farmer en meerder veldproeven. Deze best-fit formule is als volgt:

$$\log v = -0,464 + 1,64 \log \left(\frac{\sqrt{W_0}}{r} \right) - 0,334 \log \left(\frac{\sqrt{W_0}}{r} \right)^2$$

Aan de hand van deze formule is de volgende grafiek opgesteld met dezelfde situaties als de voorgaande formule





6.2 Proef Noordersluis

Voor de proef bij de Noordersluis zijn een aantal verschillende voorzieningen en technieken gekozen om deze uit te voeren. Zo wordt er onderscheid gemaakt in de volgende elementen met trilblok.

	Plank 1	Plank 2	Plank 3	Plank 4	Plank 5
Trilblok	2350VM	2350VM	2350VM	105M	105M

Plank 1, 2 en 3 zullen op dezelfde waardes uitkomen, daarom worden deze samen genomen. Dit geldt ook voor plank 4 en 5, hierdoor zullen er twee situaties worden berekend ieder op 5 afstanden van de bron.

De trillingen worden op verschillende afstanden van de bron gemeten, dit is van belang bij de voorspellingsberekeningen. De afstanden zijn als volgt:

	Afstand r van de bron
Trillingsopnemer 1	1,0 m
Trillingsopnemer 2	5,0 m
Trillingsopnemer 3	10,0 m
Trillingsopnemer 4	20,0 m
Trillingsopnemer 5	50,0 m

Elk trilblok heeft een eigen vermogen en frequentie, deze staan hieronder in een tabel vermeld.

Trilblok	Vermogen [kW]	Frequentie [Hz]
2350VM	805	38,333
105M	558	22,5

Nu alle benodigde waardes bekend zijn, kunnen de berekeningen worden uitgevoerd. Deze zullen voor drie verschillende situaties.

6.2.1 Attewell et al. 1992 prediction model peak particle velocity

Situatie 4, plank 1, 2 en 3

W = 805 kW

f = 38,333 Hz

Afstand r	Energie W_0	Trillingsniveau v
1,0 m	21000 J	144,91 mm/s
5,0 m	21000 J	28,98 mm/s
10,0 m	21000 J	14,49 mm/s
20,0 m	21000 J	7,25 mm/s
50,0 m	21000 J	2,89 mm/s

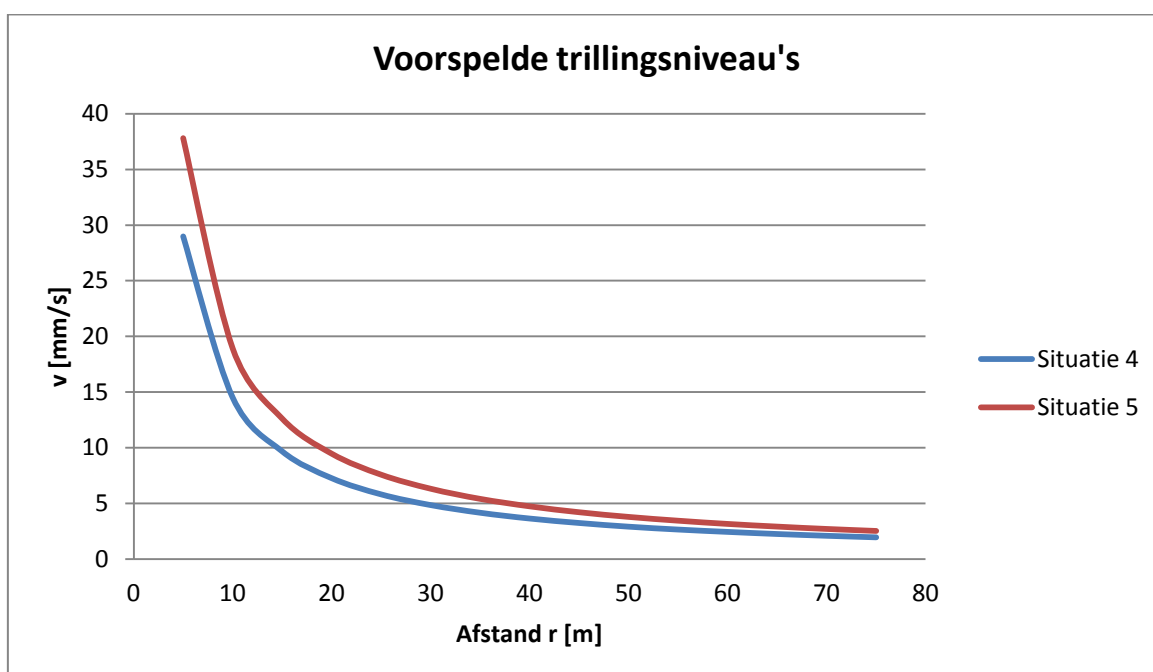
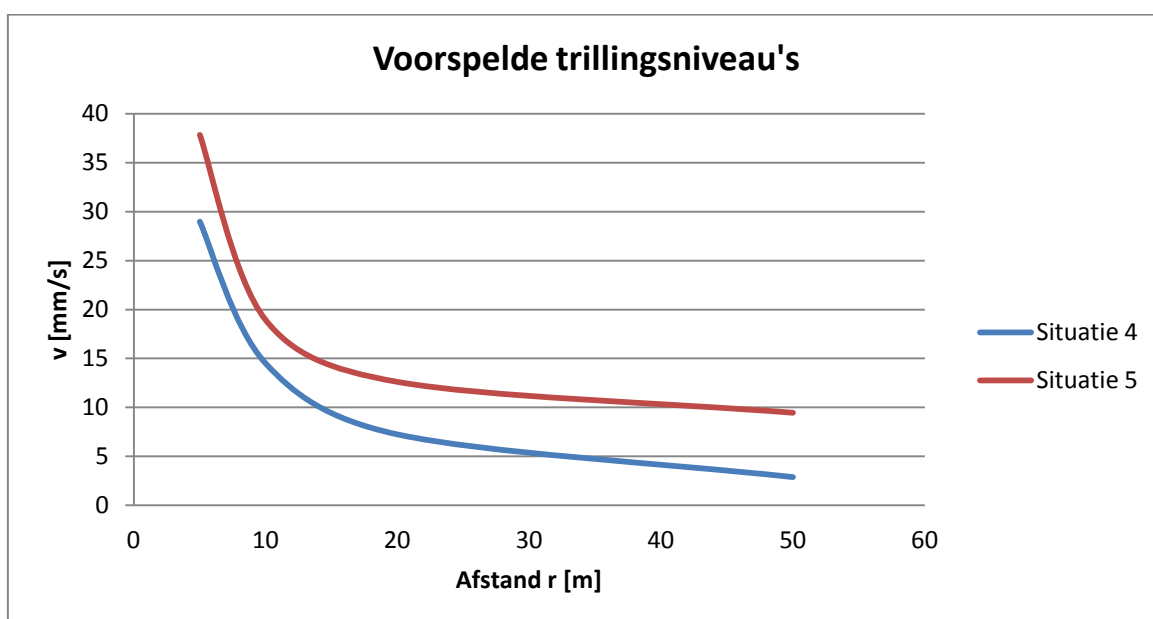
**Situatie 5, plank 4 en 5**

W = 558 kW

f = 22,5 Hz

Afstand r	Energie W_0	Trillingsniveau v
1,0 m	35777,8 J	189.15 mm/s
5,0 m	35777,8 J	37,83 mm/s
10,0 m	35777,8 J	18,92 mm/s
20,0 m	35777,8 J	12,61 mm/s
50,0 m	35777,8 J	9,46 mm/s

Hieronder staan de drie situaties in een grafiek uitgezet, als eerste met de verschillende situaties en vervolgens over een afstand van 75 meter.



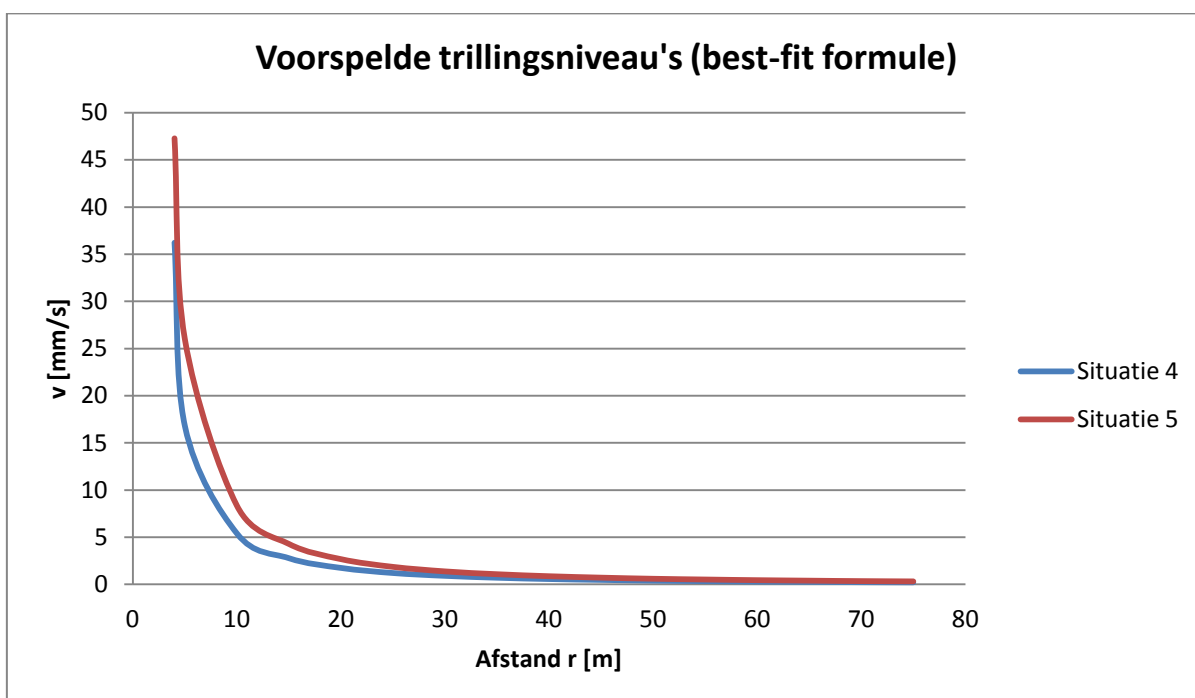
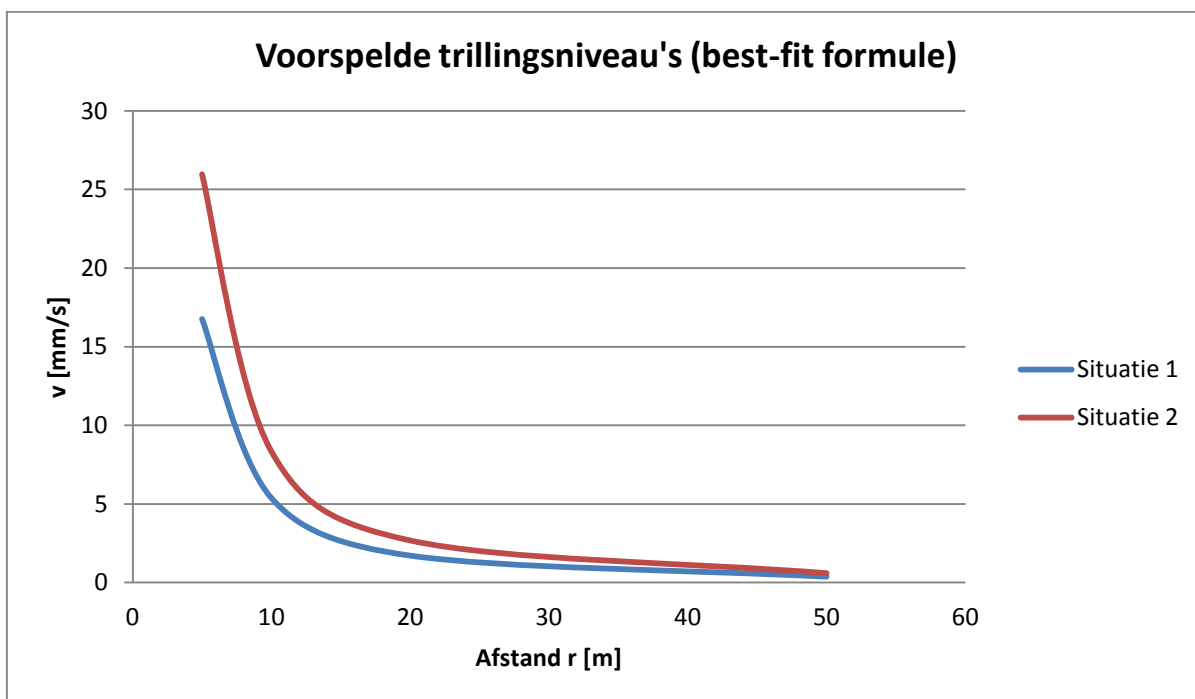


6.2.2 Best-fit formule Attewell et al. 1992

Aan de hand van een lineaire regressie analyse (Attewell et al. 1992) is er een 'best-fit' formule ontwikkeld specifiek voor een trilblok. Deze is gebaseerd op de voorgaande voorspellingsmodellen van Attewell and Farmer en meerder veldproeven. Deze best-fit formule is als volgt:

$$\log v = -0,464 + 1,64 \log \left(\frac{\sqrt{W_0}}{r} \right) - 0,334 \log \left(\frac{\sqrt{W_0}}{r} \right)^2$$

Aan de hand van deze formule is de volgende grafiek opgesteld met dezelfde situaties als de voorgaande formule.





7 VOORSPELLING ZETTINGSVLOEIING

7.1 Voorspelling bresvloeiing

Bij de zettingsvloeiingproef bij de westelijke kop zal er zeer hoogstwaarschijnlijk zettingsvloeiingen optreden. Deze zullen waarschijnlijk gekwantificeerd kunnen worden als bresvloeiingen. Bresvloeiingen hebben o.a. te maken met de geometrie van het talud. Het talud zal tijdens de proef steeds steiler worden waardoor de kans op bresvloeiing steeds zal toenemen. De kans op bresvloeiingen kan als volgt worden berekend:

$$P(bres) = f_{b1}(H_r) * f_{b2}(\cot(\alpha_R)) * f_{b3}(D_{50}) * 0.1 \left(\frac{km}{jaar} \right)$$

Met:

H_R	= rekenhoogte talud	[m]
$\cot \alpha_R$	= cotanges van rekenhellingshoek	[-]
D_{50}	= korrelgrootte van het bodemmateriaal	[μm]

De CUR-aanbeveling 113 geeft aan dat de functies f_{b1} , f_{b2} en f_{b3} nog diende te worden uitgewerkt en gevalideerd

Deze f-functies zullen ook bepalend zijn voor de invloeden van de verschillende parameters. Wel is er uit af te leiden dat hoe hoger de waarden zijn van H_R , α_R en D_{50} , hoe groter de kans op zettingsvloeiingen is. Verwacht wordt dat bij de proef er bij een talud van 1:3 zo goed als zeker een zettingsvloeiing zal optreden mits dit nog niet is gebeurd bij de voorafgaande taludhellingen. Geschat wordt dat deze zettingsvloeiingen zullen beginnen met ontstaan bij een talud van 1:4.



7.2 Voorspelling verwekingsvloeiing

De andere soort van zettingsvloeiingen is verwekingsvloeiingen. Deze ontstaan voornamelijk door een te lage relatieve dichtheid. Vaak dus in gebieden met los gepakt zand. Iets wat binnen het projectgebied wel voorkomt maar niet binnen het proefgebied. De kans van verwekingsvloeiingen wordt bepaald met de volgende formule:

$$P(\text{verweking}) = \left(\frac{H_R}{25m}\right)^2 * \left(\frac{3.5}{\cot \alpha_R}\right)^6 * \left(\frac{1}{10}\right)^{10 * (R_e - 0.4)} * 0.1 \left[\frac{km}{jaar}\right]$$

Met:

H_R = rekenhoogte talud [m]
 $\cot \alpha_R$ = cotanges van rekenhellingshoek [-]
 R_e = laagste waarde relatieve dichtheid, gemiddeld over 3 m hoogte tussen de maatgevende waterstand en $0,3H_R$ onder de teen [-]

Uit studies is gebleken dat de kans op een verwekingsvloeiing ongeveer met een factor 10 toeneemt als $\cot \alpha$ met een factor 1.5 afneemt of als de taludhoogte met een factor 3 toeneemt of als de relatieve dichtheid 10% afneemt.

Met de gegevens bekend van de proef komen de volgende kansen op een verwekingsvloeiing uit:

$$P(\text{verweking}) = \left(\frac{5}{25m}\right)^2 * \left(\frac{3.5}{\cot \alpha_R}\right)^6 * \left(\frac{1}{10}\right)^{10 * (0.51 - 0.4)} * 0.1 \left[\frac{km}{jaar}\right]$$

Talud	1:5	1:4	1:3.5	1:3
$P_{\text{verwekingsvloeiing}}$	0.00037	0,0014	0,0032	0,0078

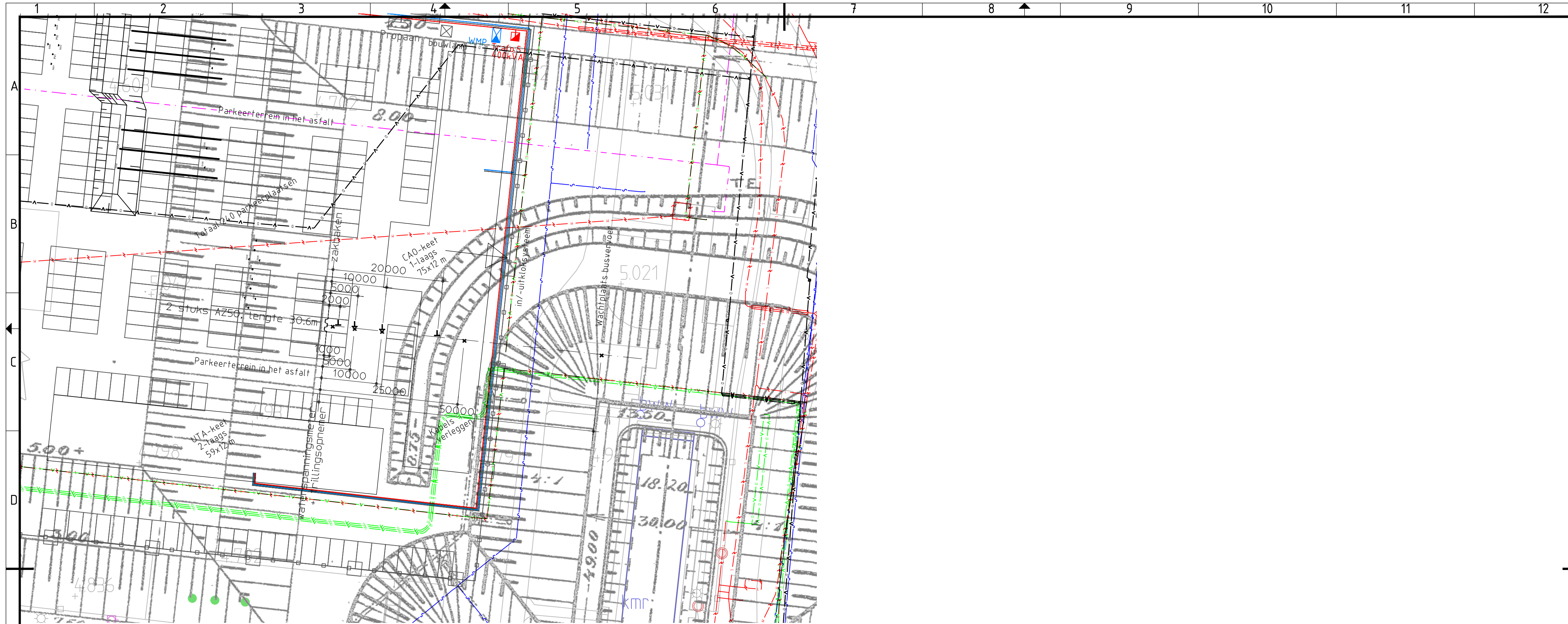


Op te merken is dat de kans toeneemt bij een steiler talud. Daarnaast blijven de kansen nog wel klein omdat het zand relatief vrij dicht gepakt is ten opzichten van de los gepakte zanden waarbij vaak verwekingsvloeiingen optreden.

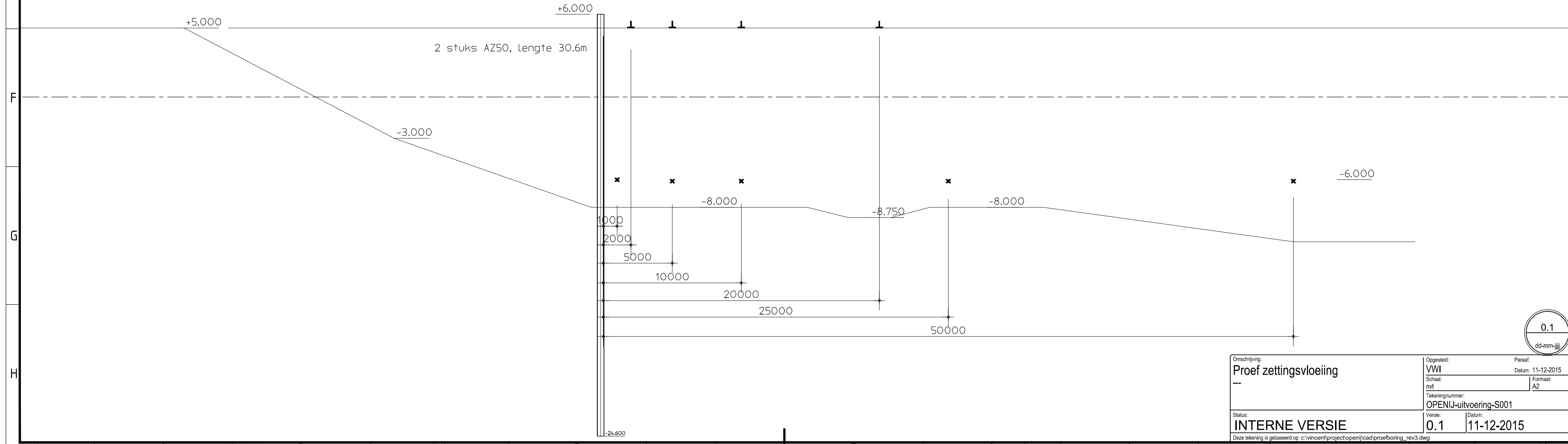


BIJLAGE 1
PROEFOPSTELLINGEN

Terrein Noordersluis
Werkhaven

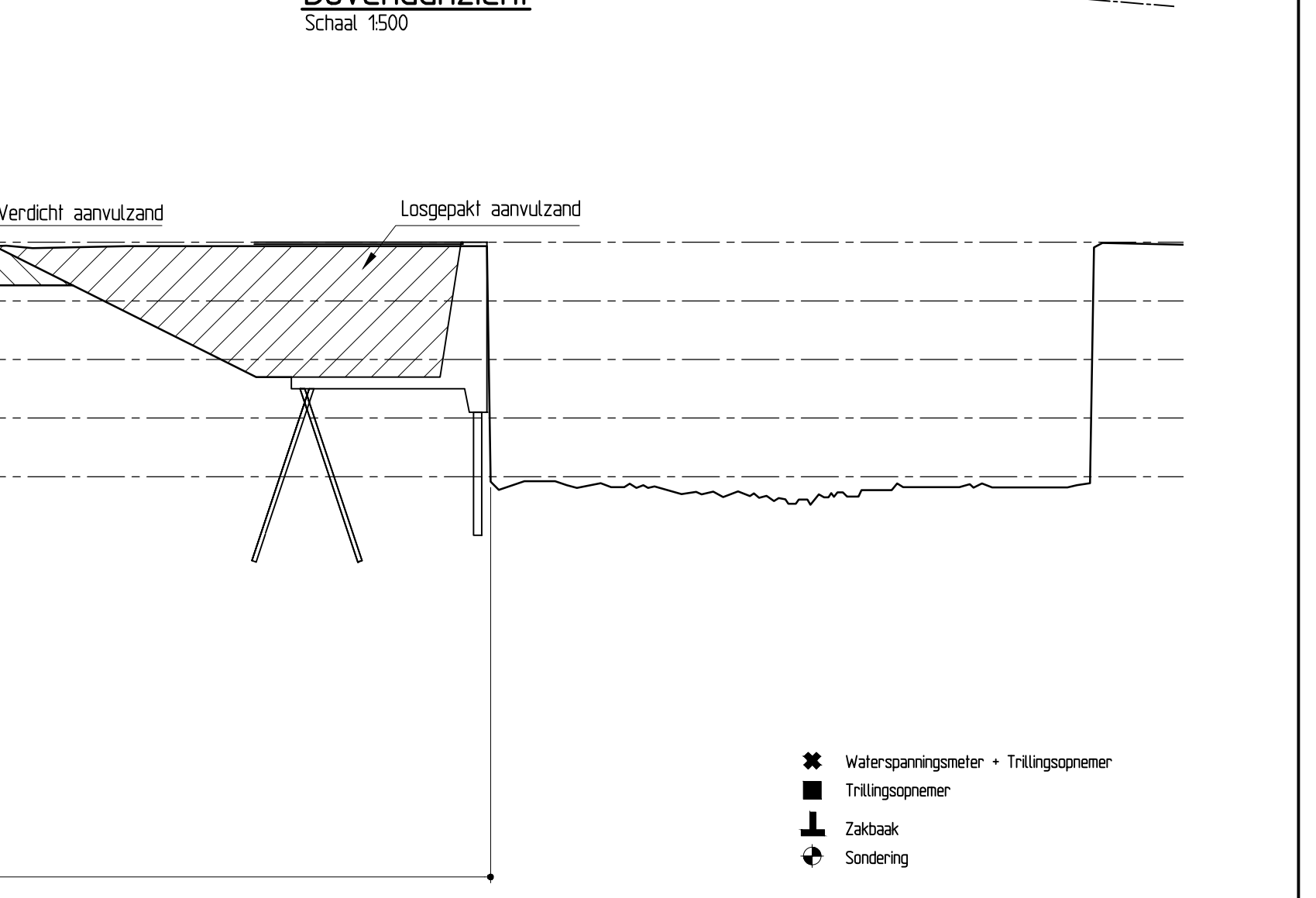
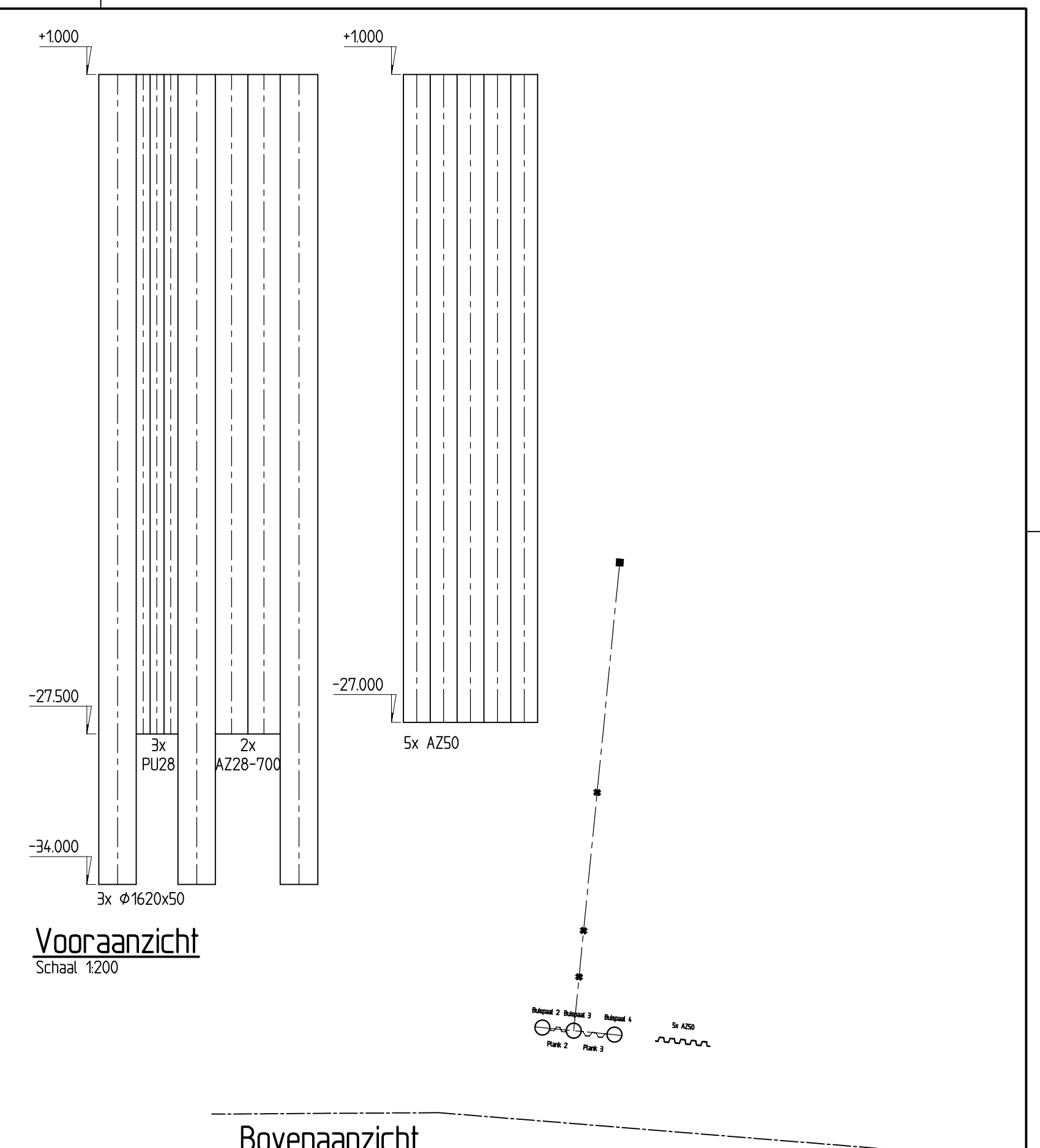


┴ zakbaak
✱ waterspanningsmeter + trillingsopnemer



Omschrijving: Proef zettingsvloeiing		Opgesteld: VWI	Paraaf: 
---		Schaal: nvt	Datum: 11-12-2015
		Tekeningnummer: OPENIJ-uitvoering-S001	Formaat: A2
Status: INTERNE VERSIE	Versie: 0.1		Datum: 11-12-2015
Deze tekening is gebaseerd op: c:\vincent\projectopenij\cad\proefboring_rev3.dwg			

0.1
dd-mm-jjjj





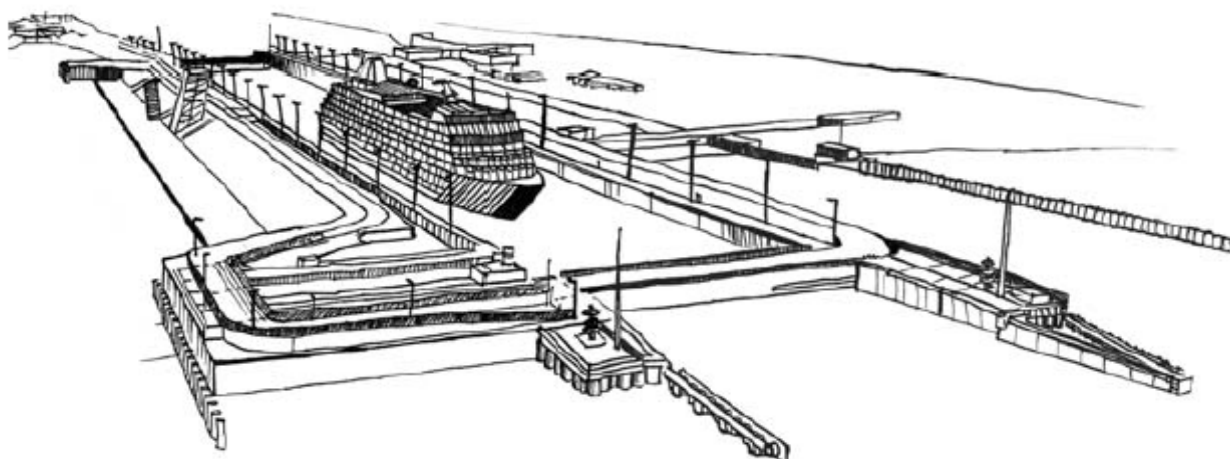
BIJLAGE 2

Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal



Document nr : Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal
Versie : 2.0
Datum : 6-6-2016
Status : Definitief

Werk nr :

Opdrachtgever : Volker Staal en Funderingen
: Hogeschool Rotterdam

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)	6-6-2016	
Gecontroleerd				
Vrijgegeven				
Geaccepteerd				



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

INHOUDSOPGAVE	PAG.
0. INLEIDING	2
1. UITKOMSTEN PROEF	3
1.1 Buispaal 1 intrillen	3
1.2 Naheiden buispaal 1	5
1.3 Trillen buispaal 2	6
1.4 Trillen buispaal 3	8
1.5 Conclusie	9
2. VERGELIJKING MET CALANDKANAAL	10
2.1 Meetresultaten	11
2.1.1 Sensor 4 (-11 m NAP)	11
2.1.2 Sensoren 2,5 en 6 (-17 m NAP)	12
2.1.3 Sensoren 3 en 7 (-22 m NAP)	13
2.2 Vergelijking met OpenIJ	14
2.2.1 Geometrie	15
2.2.2 Grondopbouw	16
2.2.3 Materieel	17
2.3 Conclusie	17
3. FIGUREN- EN TABELLENLIJST	18

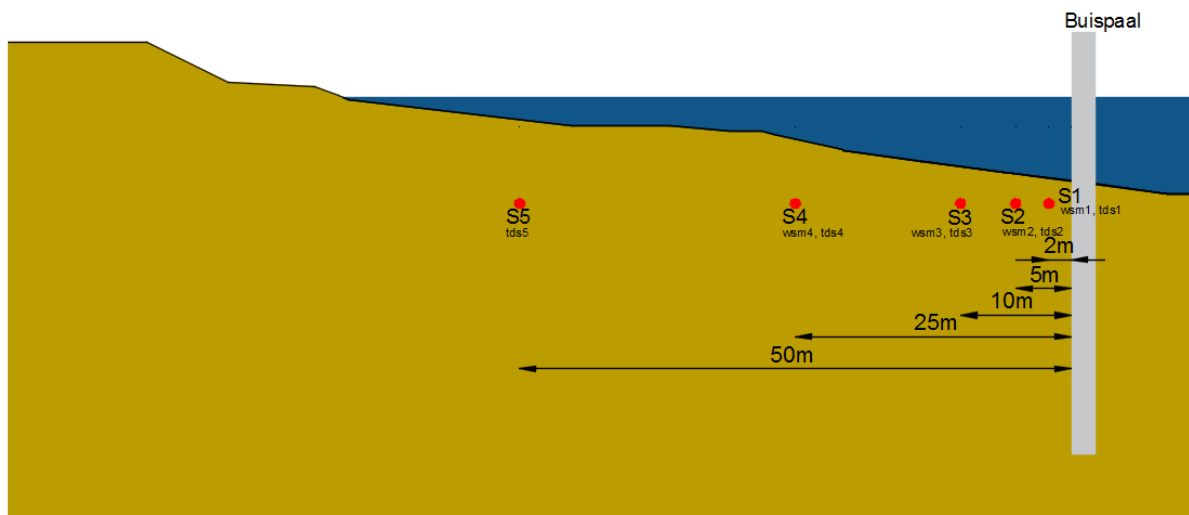


Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

0. INLEIDING

Voor de proeven bij OpenIJ zijn er 3 dezelfde buispalen in het water de grond in gebracht waarbij er bij tweemaal enkel gebruik is gemaakt van een trilblok en er eenmaal naast het trillen ook is nageheid. Tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden zijn er met special instrumenten metingen verricht betreffende de waterspanning en de trilsnelheid tgv het intrillen. De meters zijn op verschillende afstanden van de buispalen, in de bodem van het talud geplaatst. Het doel van de metingen is om het gevaar van zettingsvloeiingen binnen dit gebied in kaart te brengen en daarnaast ook om meer kennis te vergaren over dit onderwerp. Met de meetgegevens kan aan de hand van verschillende rekenmethode de zettinggevoeligheid van het project gebied bepaald worden en kan er zo ook direct een controle worden gedaan of de rekenmethoden overeenkomen met de werkelijkheid. De berekeningen worden behandeld in bijlage 'Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen'.

Verder zijn er bij een voorafgaand project (Calandkanaal) waarbij er ook buispalen in/dichtbij onderwatertaluds de grond in zijn getrild, vergelijkbare metingen uitgevoerd. Deze metingen kunnen worden vergeleken met die van het OpenIJ om vervolgens te kunnen concluderen wat de oorzaken zijn van de verschillende of identieke waarden die uit beide zijn gekomen. Hierbij zal er dus onder andere worden gekeken naar de bodemopbouw en het gebruikte materieel.



Figuur 1: proefopstelling OpenIJ



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

1. UITKOMSTEN PROEF

In totaal zijn er drie buispalen geïnstalleerd waarbij de waterspanningen en de trilsnelheden zijn gemeten. Dit betreft het intrillen van de drie buispalen waarbij er bij buispaal 1 nog is nageheid. Verder zijn er 4 waterspanningsmeters geplaatst en 5 trillingsmeters. Deze meetpunten zijn op een afstand van 5, 10, 25 en 50 meter geplaatst op een diepte van -10 m NAP. Voor een overzicht van de proefopstelling zie bijlage 4. De uitkomsten zijn in grafieken weergegeven om zo doende een goed beeld te geven van het verloop van de waarden gedurende de proef.

Bij iedere uitvoering zijn er 3 grafieken opgesteld. De eerste grafiek geeft het verloop van de wateroverspanning aan. De wateroverspanning wordt als volgt berekend:

$$\sigma_{wo} = \sigma_{w,n} - \sigma_{w,m}$$

Waarbij:

σ_{wo}	= wateroverspanning	[kPa]
$\sigma_{w,n}$	= normale waterspanning	[kPa]
$\sigma_{w,m}$	= gemeten waterspanning	[kPa]

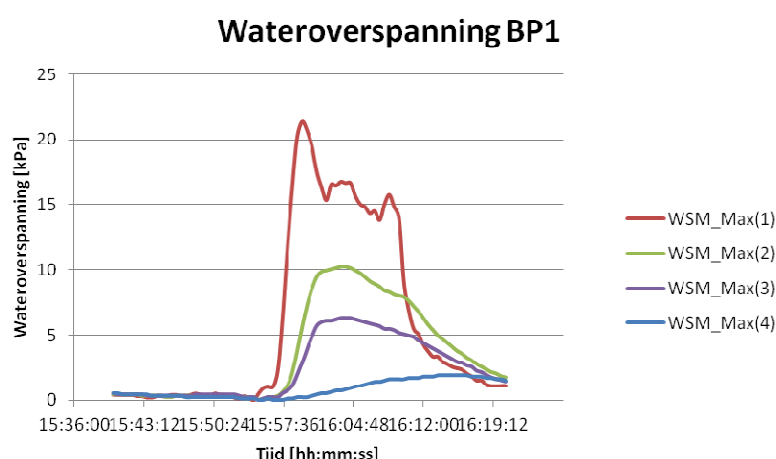
Onder de normale waterspanning wordt verstaan de waterspanning die normaal op het betreffende niveau aanwezig is. In dit geval waarbij de meters op een diepte van -10 m NAP zijn geplaatst en de waterstand -0.4 m NAP is, is de $\sigma_{w,n}$ 96 kPa.

In de tweede grafiek wordt de trilsnelheid van de grond gedurende het proces weergegeven. Deze zijn gemeten door de verschillende trillingsmeters (TDS). Daarnaast is ook de werkdruk van het trilblok weergegeven in bar.

De derde grafiek geeft het verloop van de afname van de trilsnelheid weer naarmate de afstand vanaf de bron toeneemt. Hiervoor zijn de maximum gemeten trilsnelheden per trillingsmeter gebruikt waaruit een trendlijn is opgezet.

1.1 Buispaal 1 intrillen

Buispaal is aangebracht tot 28.5 m diep (-27.8 m NAP)

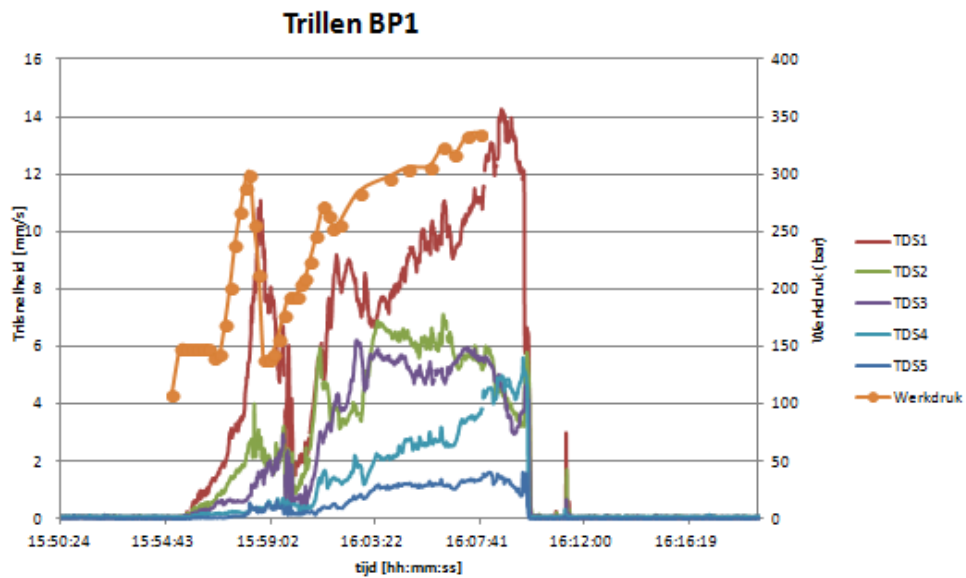


Figuur 2 Wateroverspanning buispaal 1

Waterspanningsmeter	Maximum waarde [kPa]
WSM01	21.3
WSM02	10.3
WSM03	6.3
WSM04	1.9



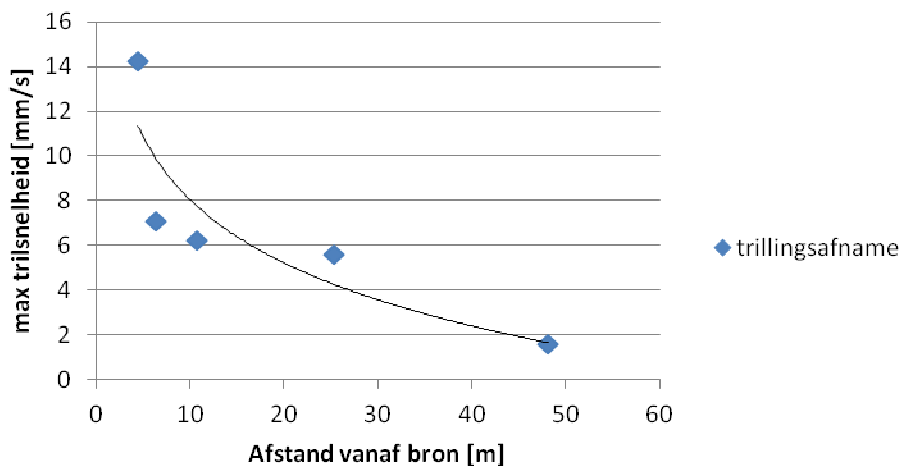
Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal



Figuur 3 Trillingen buispaal 1

trillingsmeter	Maximum waarde [mm/s]
TDS1	14.3
TDS2	7.1
TDS3	6.2
TDS4	5.6
TDS5	1.6

trillingsafname BP1



Figuur 4 Afname trillingen buispaal 1

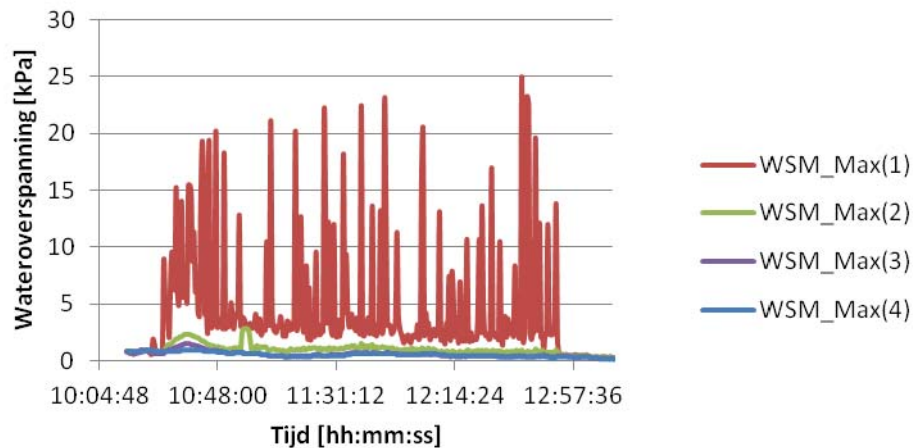


Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

1.2 Naheiden buispaal 1

Buispaal is aangebracht tot 35 meter diep (-33.8 m NAP) vanaf een diepte van 28.5 meter.

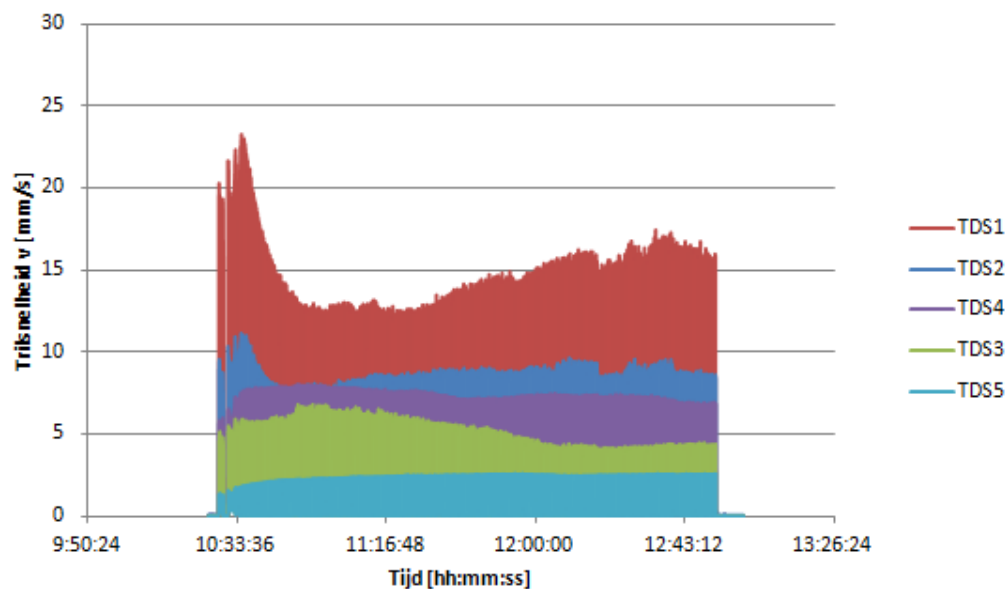
Wateroverspanning naheien BP1



Figuur 5 Wateroverspanning naheien 1

Waterspanningsmeter	Maximum waarde [kPa]
WSM01	25.0
WSM02	2.8
WSM03	1.5
WSM04	0.9

Trillen NAHEIEN BP1

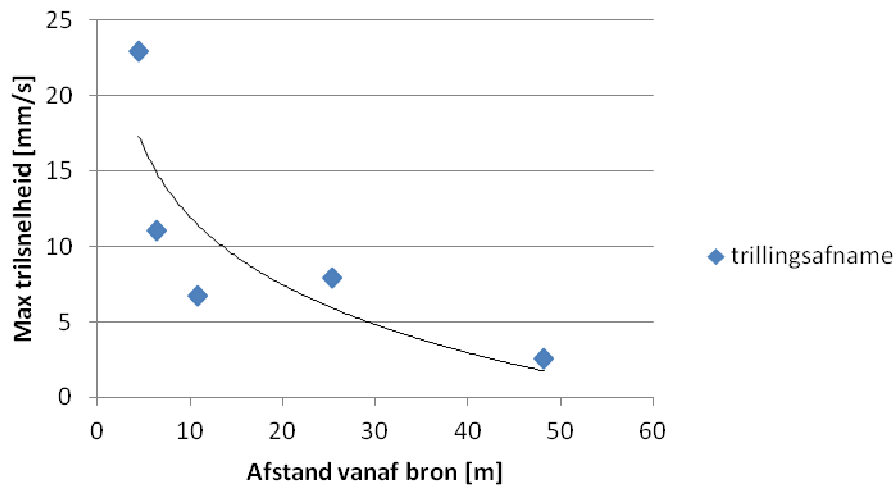


Figuur 6 Trillingen naheien buispaal 1

trillingsmeter	Maximum waarde [mm/s]
TDS1	23.0
TDS2	11.1
TDS3	6.8
TDS4	8.0
TDS5	2.6



trillingsafname BP1 Naheien

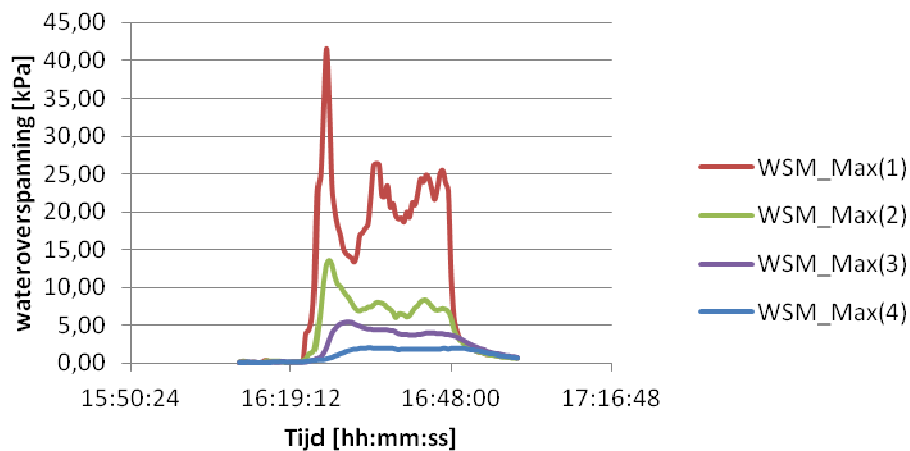


Figuur 7 Afname trillingen buispaal 1 heien

1.3 Trillen buispaal 2

Buispaal is aangebracht tot 35 m diep (-34 m NAP)

Wateroverspanning BP2



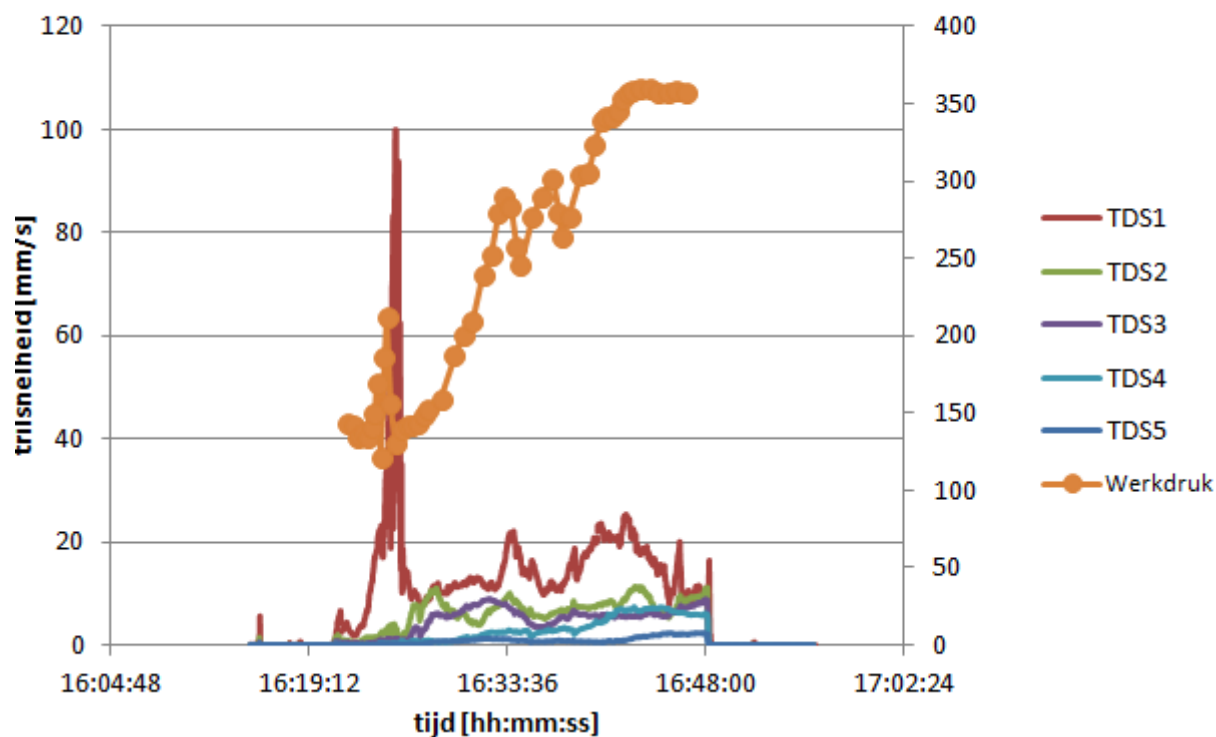
Figuur 8 Wateroverspanning buispaal 2

Waterspanningsmeter	Maximum waarde [kPa]
WSM01	41.5
WSM02	13.6
WSM03	5.4
WSM04	2.0



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

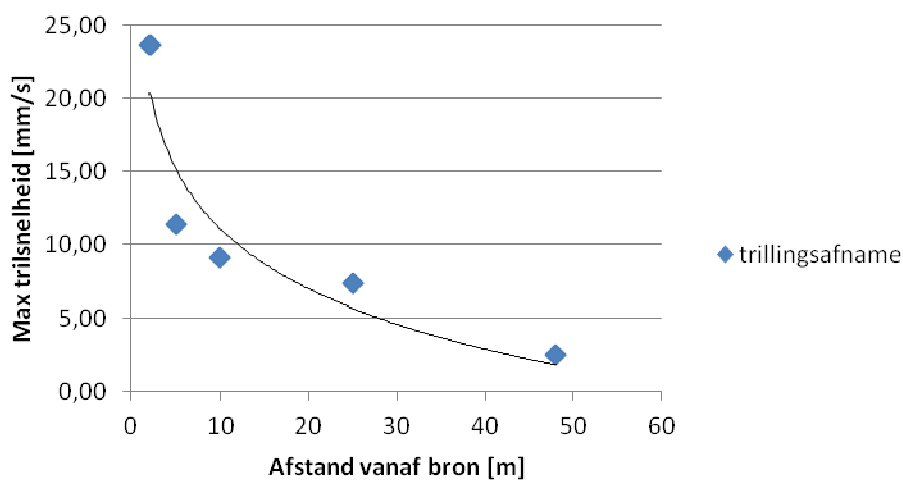
Trillen BP2



Figuur 9 Trillingen buispaal 2

trillingsmeter	Maximum waarde [mm/s]
TDS1	100
TDS2	11.35
TDS3	9.114
TDS4	7.365
TDS5	2.498

trillingsafname BP2



Figuur 10 afname trillingen buispaal 2

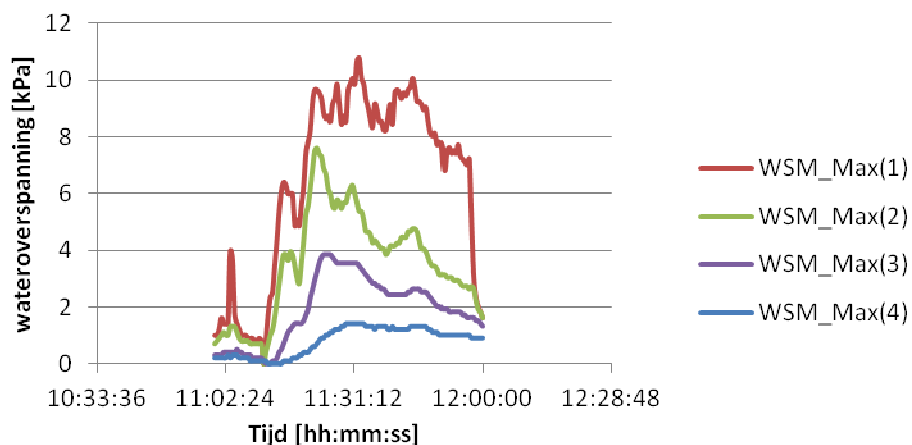


Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

1.4 Trillen buispaal 3

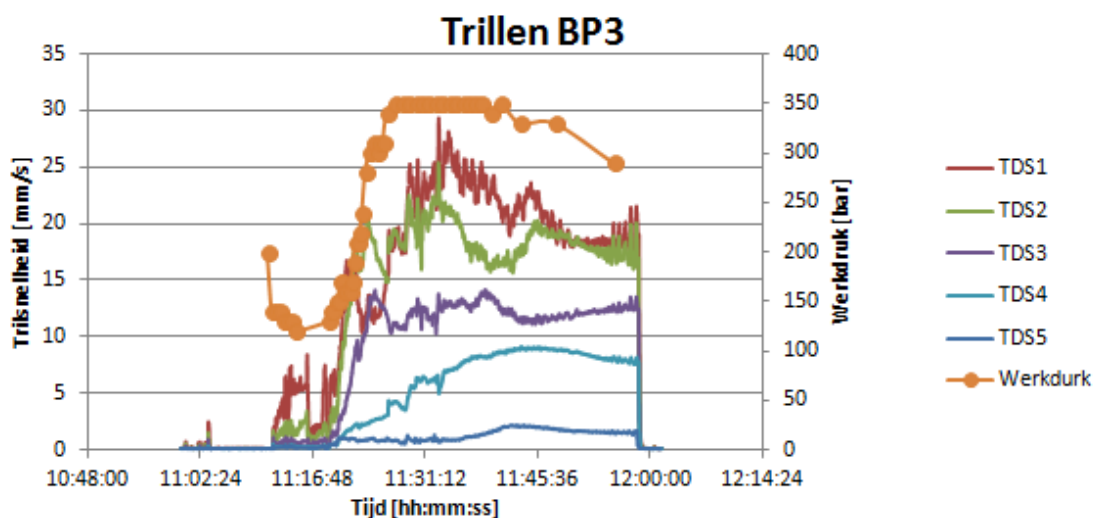
Buispaal is aangebracht tot 33.75 m diep (-32.55 m NAP)

Trillen BP3



Figuur 11 Wateroverspanning buispaal 3

Waterspanningsmeter	Maximum waarde [kPa]
WSM01	10.8
WSM02	7.6
WSM03	3.9
WSM04	1.4

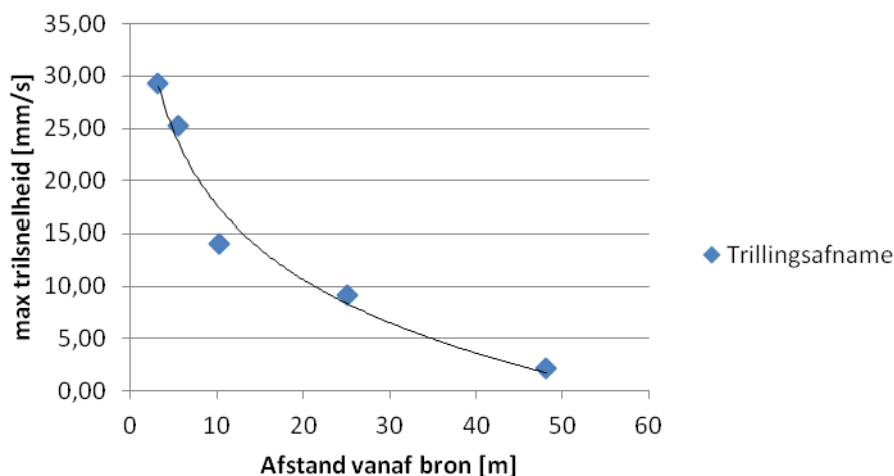


Figuur 12 Trillingen buispaal 3

trillingsmeter	Maximum waarde [mm/s]
TDS1	29.2
TDS2	25.3
TDS3	14.1
TDS4	9.10
TDS5	2.1



Trillingsafname BP3



Figuur 13 Afname trillingen buispaal 3

1.5 Conclusie

Uit de grafieken van de wateroverspanning is te concluderen dat deze net als de trilsnelheid, de wateroverspanning snel afneemt naarmate de afstand vanaf de bron toeneemt. Verder is ook op te merken dat de maximum waarden van de wateroverspanningen per buispaal nog redelijk veel verschillen. Dit is te verklaren doordat de verschillende buispalen ieder op een andere afstand vanaf de meters zijn geplaatst en tot verschillende dieptes zijn aangebracht. Hoe dichtere de buispaal bij de meters is geplaatst, hoe hoger de wateroverspanning uiteraard. Voor de diepte geldt dat hoe dieper een paal de grond in zal worden gebracht. Hoe hoger de werkdruk zal worden. Bij een hogere werkdruk ontstaan er meer trillingen wat dus resulteert in hogere waarden. Van buispaal 2 is bekend dat deze het diepst is aangebracht. Dit is dan ook terug te zien in de resultaten.

Bij het naheien van buispaal 1 is te zien dat in vergelijking met de verschillende trilprocessen er veel lager toenames zijn van de waterspanningen. Dit is te verklaren door de lagere werkfrequentie van het heiproces. Waarbij er bij het trillen er eigenlijk een continue belasting aanwezig is, is de belasting bij het heien minder omdat het aantal slagen per tijdseenheid tijdens het heien veel lager ligt dan het aantal trillingen per tijdseenheid bij het intrillen. Hierdoor bouwen wateroverspanning dus minder snel op waardoor ze ook minder hoger waardes zullen bereiken. Ook nemen de waardes bij het heien sneller af wanneer de afstand toeneemt dan bij het trillen. Dit komt doordat er bij het heien. De krachten voornamelijk recht naar beneden werken, terwijl bij het trillen deze krachten meer zijwaarts worden verdeelt.

Bij de grafieken van de trilsnelheden is af te lezen dat naarmate het proces vordert, de trilsnelheden toenemen. Deze trillingen nemen toe doordat de werkdruk wordt opgevoerd. Dit is weer nodig omdat de weerstand bij toenemende penetratie oploopt. Vervolgens ontstaan wateroverspanningen doordat de korrels in beweging willen komen maar dit wordt verhinder doordat de poriën gevuld zijn met water waarbij de spanning op het water groter wordt.

In de laatste grafieken is het verband weergegeven tussen de afstand vanaf de bron en de maximale gemeten trilsnelheid. Deze loopt zoals verwacht snel af naarmate de afstand groter wordt. Uit op te merken is dat er bij een afstand van 50 meter er nog amper trillingen in de grond zijn. Hiermee kan men dus een beter beeld krijgen van het invloedsgebied van deze processen.

Bij het intrillen van buispaal 2 is een groter piek te zien van ruim 100 mm/s. Deze wordt aanschouwd als een meetfout en zal daarom op 24 mm/s worden gehouden.

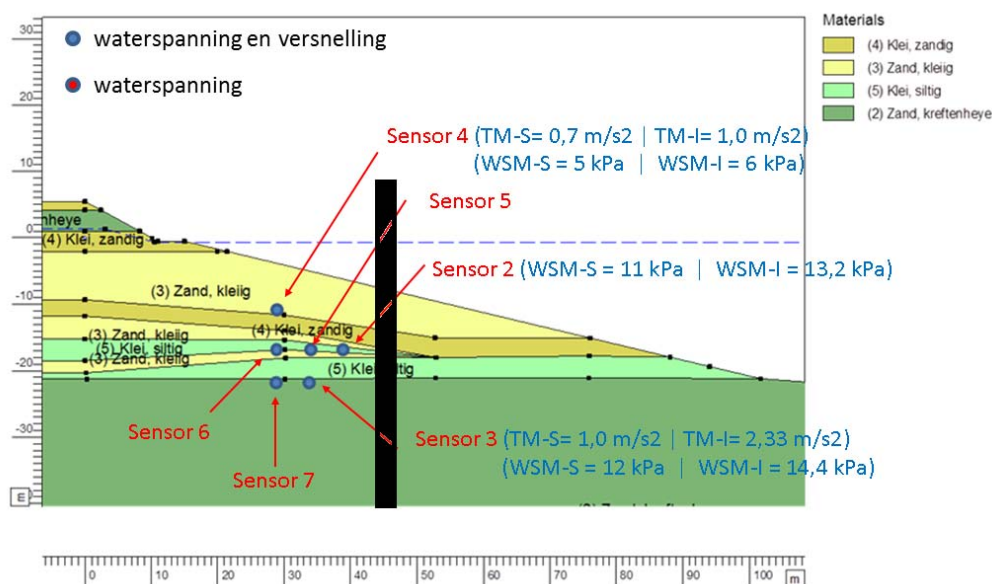
De grafiek van het naheien is in dit geval redelijk vergelijkbaar met de andere en komt hierbij ook op ongeveer de zelfde waarden uit.



2. VERGELIJKING MET CALANDKANAAL

In voorgaande projecten zijn er al eerder dergelijke proeven uitgevoerd betreffende het meten van wateroverspanningen en trilsnelheden gedurende het intrillen van buispalen. Een voorbeeld hiervan is het project Calandkanaal. Hierbij werden er nieuwe ligplaatsen voor schepen gerealiseerd waarbij er ook buispalen in de grond getrild moesten worden die zich nabij/in een talud zouden bevinden. Tijdens dit proces zijn er metingen uitgevoerd om de stabiliteit van de nabij gelegen dijken te controleren op mogelijke afschuivingen. Deze buispalen zijn eerst voorgepoot met het trilblok ICE 36 RF en vervolgens nageheid met een IHC S 280 (hydrohamer). Met de uitkomsten van deze gegevens kan er een vergelijking worden gedaan met project OpenIJ om zo doende te zien of de waarden een beetje overeenkomen en zo niet waarom dit dan niet het geval is. Hiervoor kan er worden gekeken naar de geometrie van het talud, de verschillende grondsoorten en de installatietechnieken/materieel.

Voor de vergelijking met OpenIJ zal er gekeken worden naar het intrillen voor trospaal 02 op 12 mei 2015. Dit omdat dit expliciet alleen het intrillen betreft en er van deze meting de meest bruikbare resultaten beschikbaar zijn. De proefopstelling ziet er als volgt uit:



Figuur 14: proefopstelling Caland

In totaal zijn hier 6 sensoren aanwezig die zowel de waterspanning als de versnelling zullen meten. Ook zijn de meters op verschillende dieptes en in verschillende grondlagen aangebracht. Sensor 4 bevindt zich op - 11 m NAP tussen een kleiige laag en een zanderige laag op een afstand van 15 meter van de buispaal.

Sensoren 2, 5 en 6 bevinden zich op -17 m NAP in zand/siltige laag op een afstand van 5, 10 en 15 meter van de buispaal. De laagste twee sensoren bevinden zich op een diepte van -22 m NAP tussen een zand- en kleilaag, 10 en 15 meter verwijderd van de buispaal.

Die waardes die nog bij de afbeelding zijn weergegeven zijn de signaleringswaarden (WSM-S) en de interventiewaarden (WSM-I). Wanneer de WSM-S wordt bereikt zal er een signaal worden afgegeven dat de waarden van de trilsnelheid of de wateroverspanning in de gevarenzone zitten qua zettingsvloeiingen. Bij de interventiewaarde betekend dit dat de maximale toelaatbare waarden zijn bereikt/overschreden. Wanneer men in de buurt komt van deze waarden zal het trillen kort worden gestopt om zo doende de waterspanning en trilsnelheid te doen laten zakken.



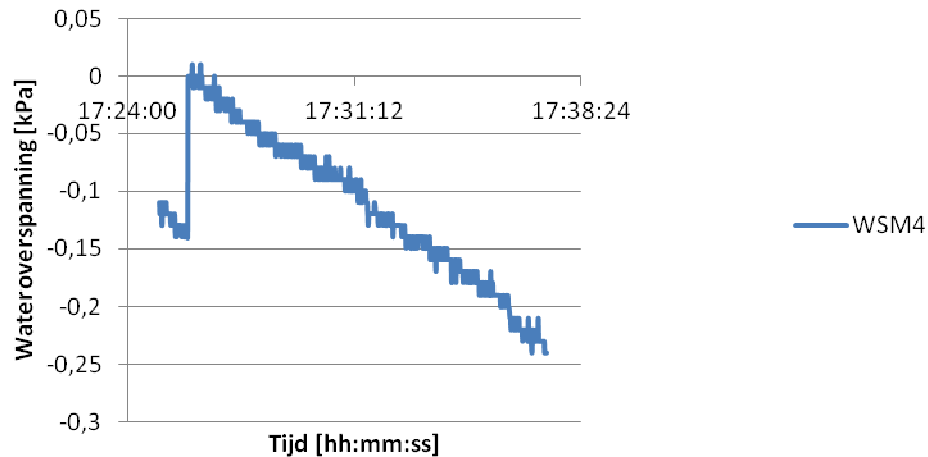
Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

2.1 Meetresultaten

Hieronder zijn de uitkomsten van de metingen weergegeven. De meters zijn per diepteligging gesorteerd om zo doende een beeld te geven van het verloop per diepte ligging. Van elk niveau is zowel het verloop van de waterspanning weergegeven als die van de trilsnelheid

2.1.1 Sensor 4 (-11 m NAP)

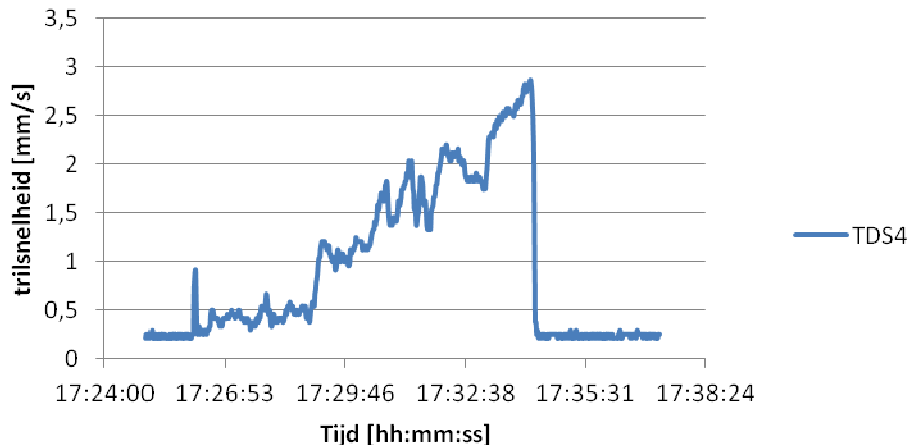
Wateroverspanning op -11 m NAP



Figuur 15 Wateronderspanning -11 m NAP

Waterspanningsmeter	Maximum waarde [kPa]
WSM 4	-0.24

Trillingen op -11 m NAP



Figuur 16 Trilsnelheid -11 m NAP

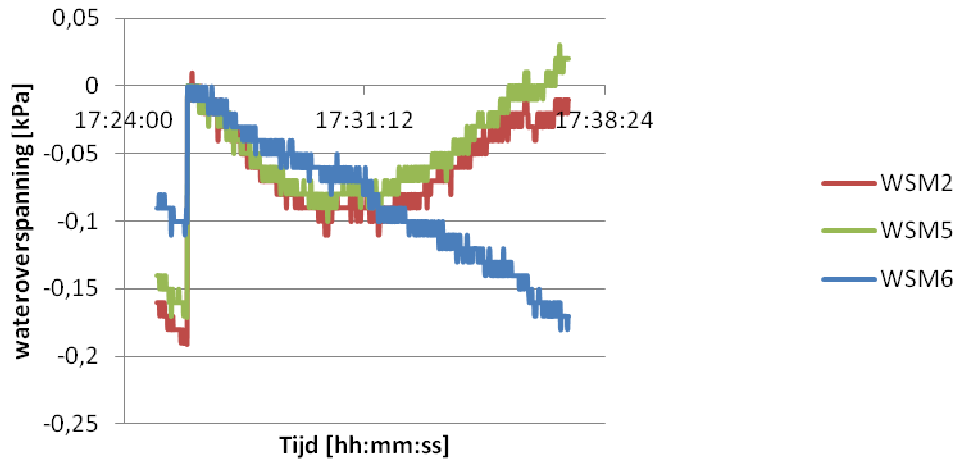
trillingsmeter	Maximum waarde [mm/s]
TDS4	2.9



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

2.1.2 Sensoren 2,5 en 6 (-17 m NAP)

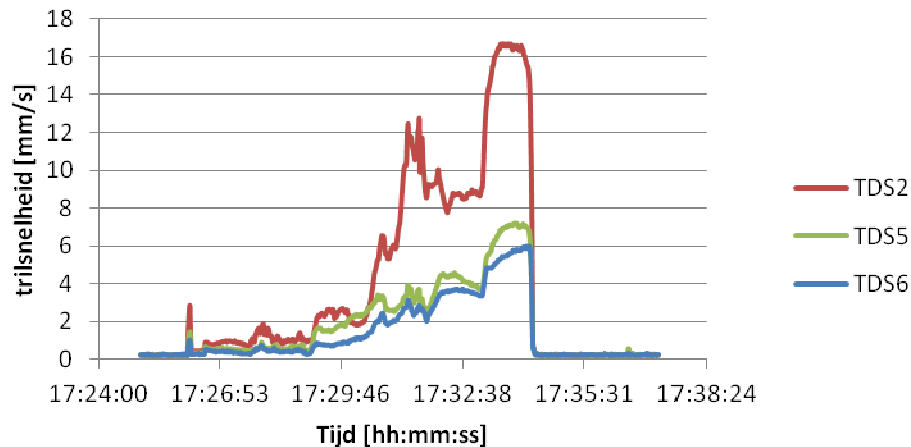
Wateroverspanning op -17 NAP



Figuur 17 Wateronderspanning -17 m NAP

Waterspanningsmeter	Maximum waarde [kPa]
WSM 2	-0.19
WSM5	-0.17
WSM6	-0.18

Trillingen op -17 m NAP



Figuur 18 Trilsnelheid -17 m NAP

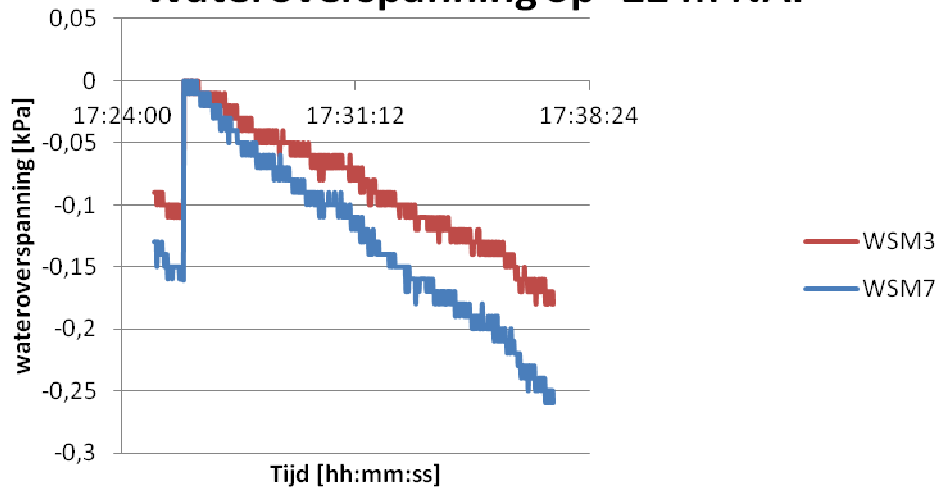
trillingsmeter	Maximum waarde [mm/s]
TDS2	16.7
TDS5	7.2
TDS6	6.0



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

2.1.3 Sensoren 3 en 7 (-22 m NAP)

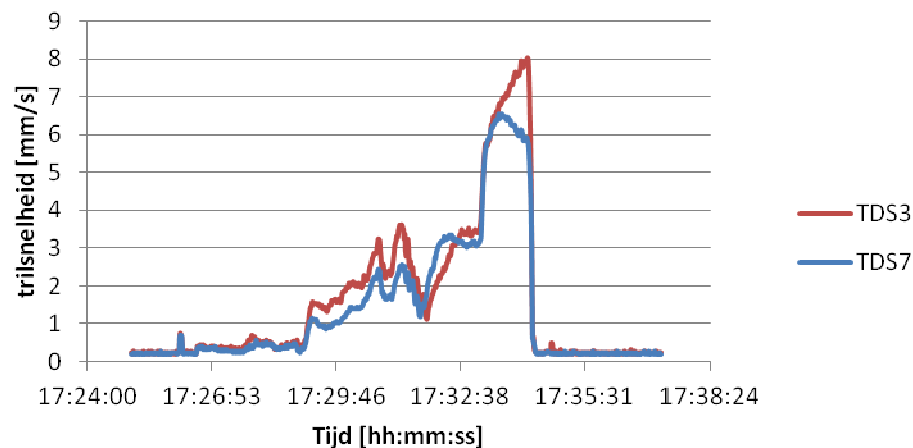
Wateroverspanning op -22 m NAP



Figuur 19 Wateronderspanning -22 m NAP

Waterspanningsmeter	Maximum waarde [kPa]
WSM 3	-0.18
WSM 7	-0.26

Trillingen op -22 m NAP



Figuur 20 Trilsnelheid -22 m NAP

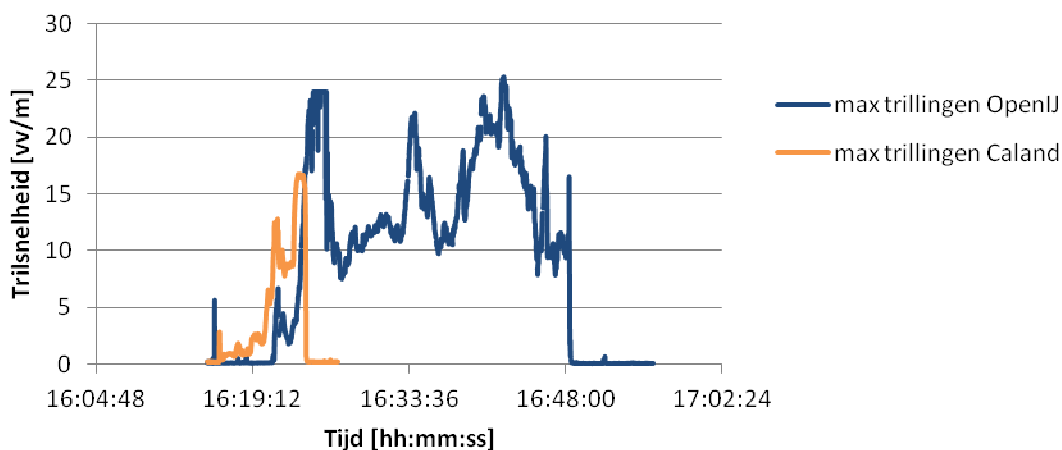
trillingsmeter	Maximum waarde [mm/s]
TDS3	8.0
TDS7	6.6



2.2 Vergelijking met OpenIJ

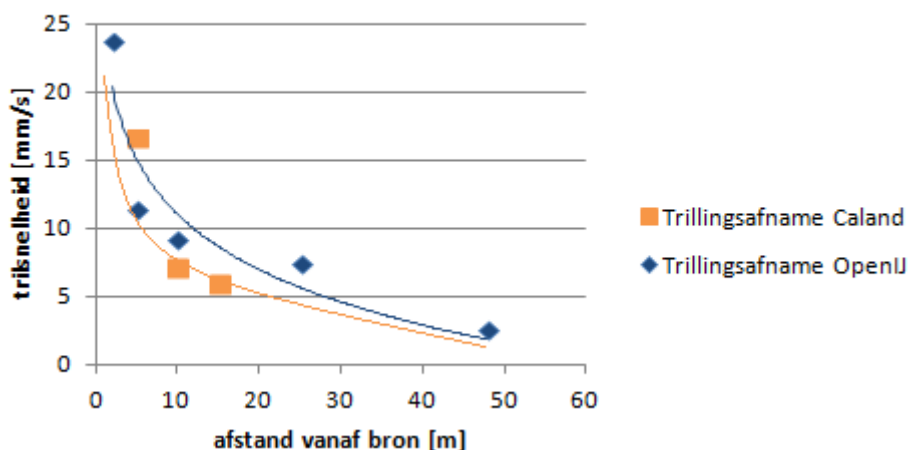
Wat direct opvalt is dat de waterspanning zo goed als niet wordt beïnvloed tijdens de installaties bij Caland. Deze worden daarom ook niet in de vergelijking meegenomen. Wat betreft de trilsnelheden liggen deze, zoals in de grafiek hieronder te zien, wat lager dan bij OpenIJ.

Max trilsnelheid Caland vs. OpenIJ



Figuur 21 Trillingen OpenIJ vs. Caland

Trillingsafname Caland vs. OpenIJ



Figuur 22 Trillingsafname OpenIJ vs. Caland

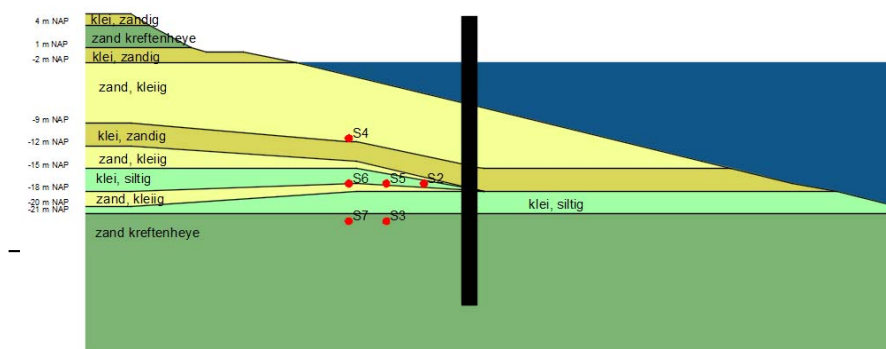


Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

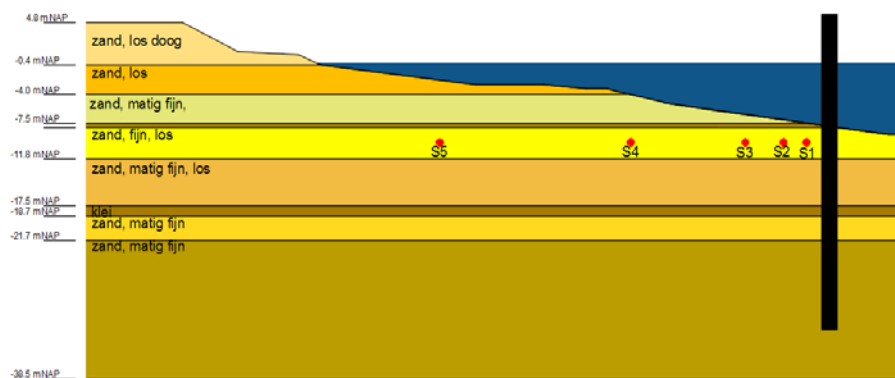
De maximum gemeten trilsnelheid bij OpenIJ bedraagt ongeveer 25 mm/s, bij Caland is dit 16.7 mm/s. Voor de waterspanning bij OpenIJ is er een overdruk uitgekomen van maximaal 25 kPa. Bij Caland zijn er zo goed als geen veranderingen in de waterspanning. In de grafiek van de trillingsafname is te zien dat de trendlijn van Caland ongeveer gelijk loopt aan de trendlijn van OpenIJ. Hieruit is dus op te maken de trillingen zich voor het grotendeels het zelfde voordeden in beide gevallen. De verschillen in waarden kunnen onder andere veroorzaakt worden door het verschil in geometrie, grondopbouw en gebruikt materieel.

2.2.1 Geometrie

De geometrie van het projectgebied heeft niet zo zeer te maken met de gevoeligheid voor trillingen en wateroverspanningen, maar wel voor de zettingsgevoeligheid. Hoe steiler het talud hoe groter de kans is op een zettingsvloeiing. Uit de doorsneden hieronder zijn de taluds weergegeven van Caland en OpenIJ. Hieruit is op te merken dat Caland een steiler talud heeft dan OpenIJ. De helling van Caland ligt op ongeveer 1:4. Bij OpenIJ is de gemiddelde helling 1:9. Het steilste gedeelte van dit talud is ongeveer 1:4.5. Caland zou dus geometrisch gezien het gevoeligst voor zettingsvloeiingen. Daarnaast is het hoogteverschil bij Caland ook groter dan bij OpenIJ. Bij Caland is het verschil tussen de waterstand en onderkant helling 18 meter. Bij OpenIJ is dat 8 meter. Een groter hoogteverschil zal ook een grotere kans op zettingsvloeiingen geven. Ook hierin zou Caland dus gevoeliger in zijn.



Figuur 24: Talud Caland



Figuur 23: Talud OpenIJ



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

2.2.2 Grondopbouw

De grondeigenschappen van de projectgebieden zullen het meest bepalend zijn voor de gevoeligheid op zettingsvloeiingen. Losgepakte zandlagen zullen veel gevoeliger zijn voor zettingsvloeiingen dan dichtgepakte zandlagen. Klei is zo goed als niet gevoelig voor zettingsvloeiingen. Naast de grondsoorten zijn ook de laagdiktes van belang. Hoe breder de laag hoe gevoeliger.

Qua trillingen verschillende beide proeven niet veel. Zoals eerder vermeldt is er bij OpenIJ een maximale trillingsnelheid van ongeveer 25 mm/s bereikt. Bij Caland is deze max ongeveer 17 mm/s. Het verschil kan verklaart worden door de verschillen van de relatieve dichtheden. De opbouw van het talud in OpenIJ bestaat voornamelijk uit losse zanden. Dit maakt het talud gevoeliger voor trillingen doordat deze zanden een hoger poriëngetal hebben en daarmee meer ruimte voor trillingen. Vergeleken de klei lagen en de kleiachtige zanden bij Caland komen hierdoor ook hogere trillingswaarde uit. Dit komt door de structuur van de grondsoorten. Zand heeft een korreligere opbouw dan dat klei heeft waardoor zand eerder zal vervormen en afschuiving. Daarnaast is zand ook stijver dan klei waardoor trillingen heviger zullen zijn.

De metingen van Caland laten zien dat de waterspanning zo goed als niet is veranderd. Het klei en de vaste zanden zorgen ervoor dat het water weinig indringing heeft binnen de grondstructuren. Hierdoor behouden deze gronden hun onderlinge spanningen en zal de waterspanning daarom niet toenemen. Bij de losse zanden van OpenIJ is er echter wel meer mogelijkheid voor het water om binnen het zandstructuur te komen en daarmee er voor te zorgen dat de onderlinge spanning afneemt. Zoals eerder in dit onderzoek is beschreven (Bijlage 1: vooronderzoek zettingsvloeiingen) zullen hierdoor de waterspanningen toenemen.

Het verschil in grondsoorten is dus duidelijk terug te zien in de meetresultaten van beide proeven. Bij OpenIJ zijn er voornamelijk los gepakte fijne zandlagen aanwezig. Bij Caland bestaat het talud voornamelijk uit klei en kleiig zand. Hoewel de trillingen niet veel van elkaar verschillen zijn de waterspanningen daar in tegen wel van groot verschil. Uit deze vergelijking is dus op te maken dat de grondeigenschappen een groot invloed hebben op de gevoeligheid van toenemende waterspanningen daarmee de kans op zettingsvloeiingen.



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

2.2.3 Materieel

Bij beide proeven zijn er verschillende trilblokken en paalsoorten gebruikt om de installatie uit te voeren. Ook de trilblokken en palen zullen een invloed hebben op de trillingen en wateroverspanning die ontstaan tijdens de installatie. Vooral de slagkracht, de energie en de frequentie van de trilblokken en de diamtere en diepteligging van de palen zijn bepalend voor de grote van de trilsnelheden in de ondergrond. Hoe groter deze waarden, hoe groter de trilsnelheden. In de tabel hieronder zijn de twee trilblokken en palen met elkaar vergeleken:

Tabel 1 Materieel OpenIJ vs. Caland

	OpenIJ	Caland	
Trilblok	PVE 2350 VM	ICE 36 RF	
Excentrische moment	0-50	0-35	kgm
max. centrifugaalkracht	0-2900	0-2030	kN
max. toerental	2300	2300	tpm
max. amplitude	0-15	0-16	mm
max. statische trekkracht	800	500	kN
max. werkdruk	350	350	bar
max. oliedoorstroming	1380	1012	l/min
Dyn. Gewicht	6600	4400	kg
totaalgewicht	10000	6800	Kg
Buispaal	-	-	
diameter	1620	2600	mm
Wanddikte	25	24	mm
Diepte (vanaf bodem)	28	18	m

Te zien is dat het gebruikte trilblok bij OpenIJ hogere waarden heeft dan het gebruikte trilblok bij Caland. Hiermee zouden er dus hogere meetwaarden moeten ontstaan wat in praktijk ook is gebleken. Het gebruik van een groter trilblok zou dus mede bepalend kunnen worden geacht voor hogere trilsnelheden. Verder is ook te zien dat de buispaal bij OpenIJ tot een grotere diepte is aangebracht dan bij Caland. Hoe dieper een paal in de grond komt hoe groter de weerstand zal worden die de grond tegen de paal oplevert. Dit resulteert in een hogere werkdruk wat vervolgens weer leidt tot hogere trillingen. De dieptegang van de buispaal zou dus ook mogelijk mede bepalend kunnen zijn voor de hogere trillingsuitkomsten.

2.3 Conclusie

Tijdens de beide proeven zijn er in zowel de proeven zelf als in de uitkomsten veel variaties. Uit de meetgegevens is gebleken dat het gebied van OpenIJ veel gevoeliger is voor zettingsvloeiingen dan Caland. Dit wordt voornamelijk verklaart door het verschil in de bodemopbouw en de grondsoorten. Door de vele kleiige grondsoorten die bij Caland aanwezig zijn worden de trillingsgolven snel gesmoord. Bij OpenIJ kunnen deze trillingsgolven zich makkelijker voortbewegen doordat de grond hier voornamelijk uit fijn zand bestaat en daarnaast ook nog los gepakt is. Dit resulteert in hogere trillingssnelheden. De vast gepakte gronden bij Caland worden ook als bepalend gezien voor het niet toenemen van de waterspanning. Door deze dicht gepakte gronden kan het water moeilijk infiltreren waardoor de grond zijn onderlinge spanning behoudt. Gekeken naar het gebruikte materieel is geconcludeerd dat er bij OpenIJ een groter trilblok is gebruikt dan bij Caland. Een groter trilblok zou ook moeten resulteren in grotere trillingen. Ook is de buispaal bij OpenIJ tot een grotere diepte aangebracht, hiervoor is er een grotere werkdruk nodig geweest waaruit ook weer hogere trillingen zullen ontstaan.



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal

3. FIGUREN- EN TABELLENLIJST

Figuren

Figuur 1: proefopstelling OpenIJ	2
Figuur 2 Wateroverspanning buispaal 1	3
Figuur 3 Trillingen buispaal 1	4
Figuur 4 Afname trillingen buispaal 1	4
Figuur 5 Wateroverspanning naheien 1	5
Figuur 6 Trillingen naheien buispaal 1	5
Figuur 7 Afname trillingen buispaal 1 heien	6
Figuur 8 Wateroverspanning buispaal 2	6
Figuur 9 Trillingen buispaal 2	7
Figuur 10 afname trillingen buispaal 2	7
Figuur 11 Wateroverspanning buispaal 3	8
Figuur 12 Trillingen buispaal 3	8
Figuur 13 Afname trillingen buispaal 3	9
Figuur 14: proefopstelling Caland	10
Figuur 15 Wateronderspanning -11 m NAP	11
Figuur 16 Trilsnelheid -11 m NAP	11
Figuur 17 Wateronderspanning -17 m NAP	12
Figuur 18 Trilsnelheid -17 m NAP	12
Figuur 19 Wateronderspanning -22 m NAP	13
Figuur 20 Trilsnelheid -22 m NAP	13
Figuur 21 Trillingen OpenIJ vs. Caland	14
Figuur 22 Trillingsafname OpenIJ vs. Caland	14
Figuur 23: Talud OpenIJ	15
Figuur 24: Talud Caland	15

Tabellen

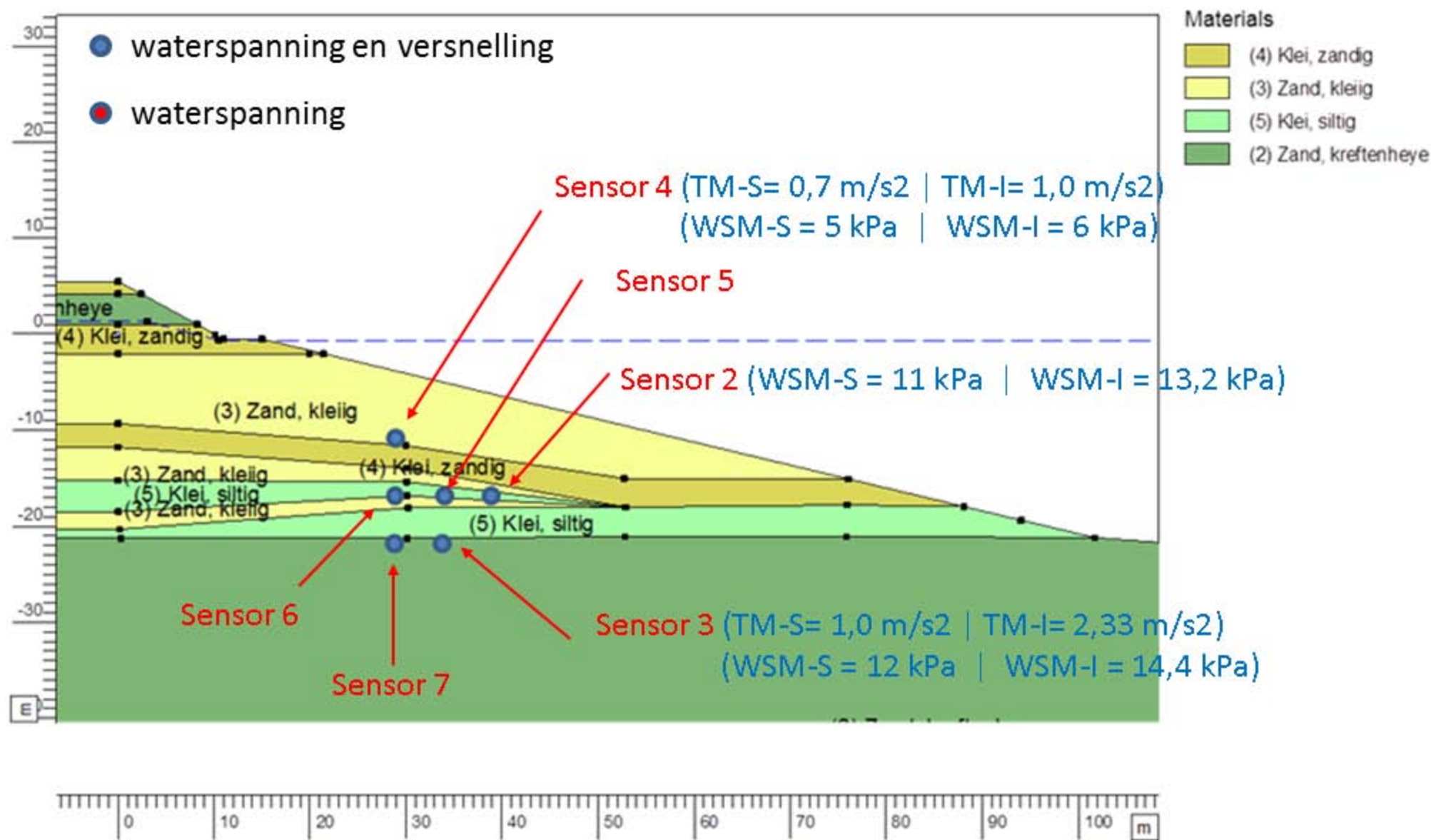
Tabel 1 Materieel OpenIJ vs. Caland\	17
--	----



BIJLAGE 1

Dwarsdoorsnede Ligplaats 79B Calandkanaal

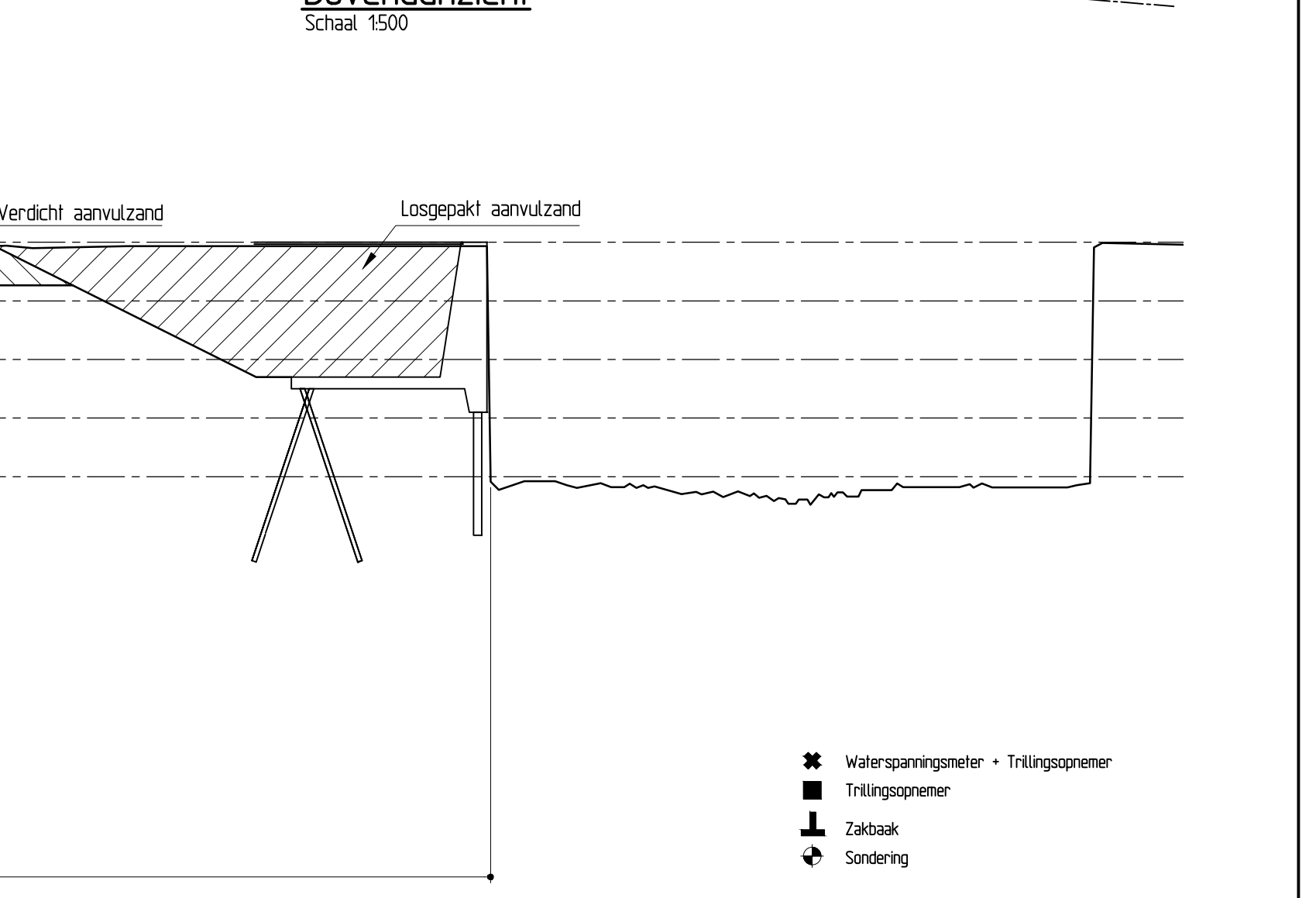
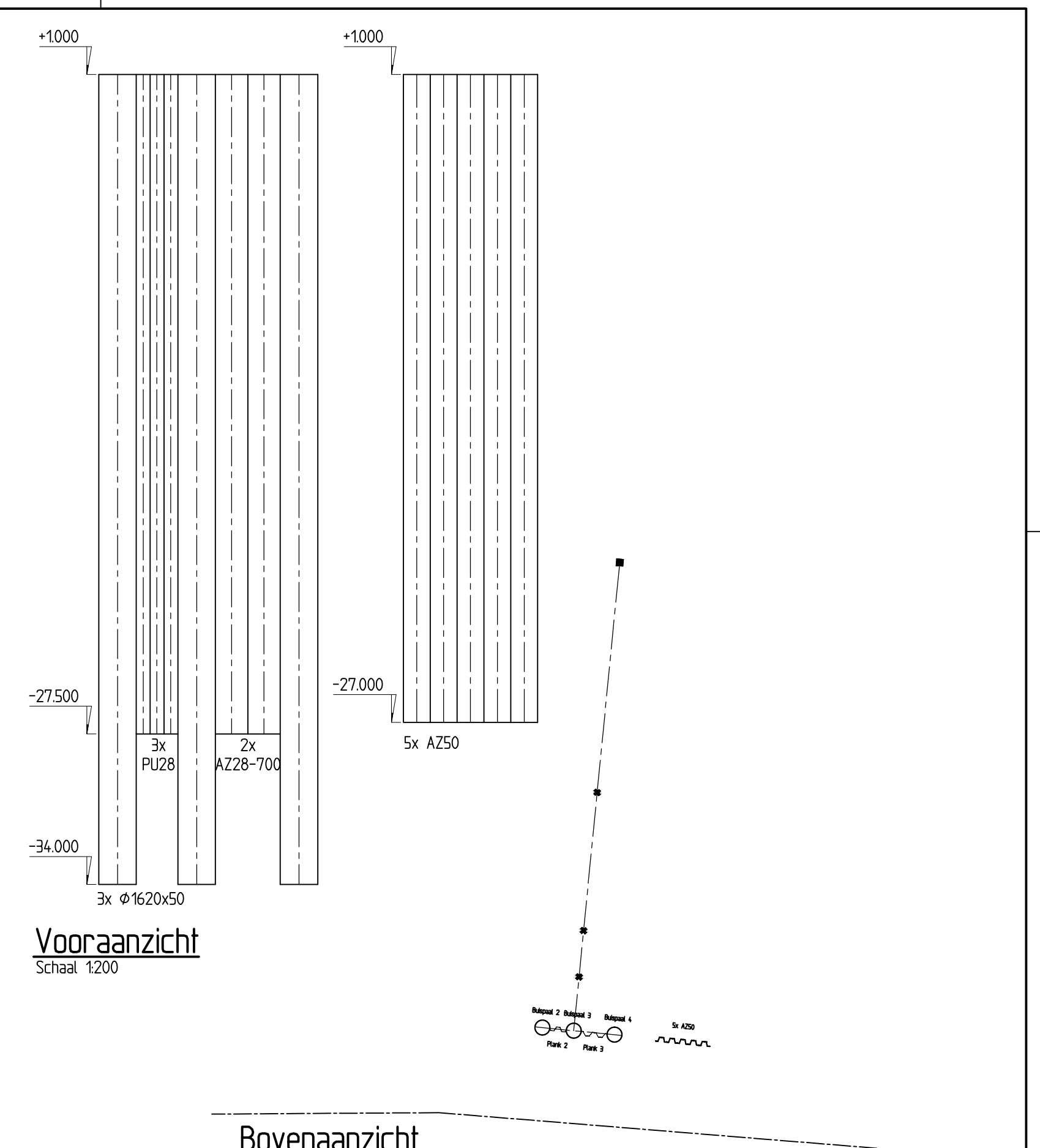
Ligplaats 79B





BIJLAGE 2

Proefopstellingen Werkhaven OpenIJ





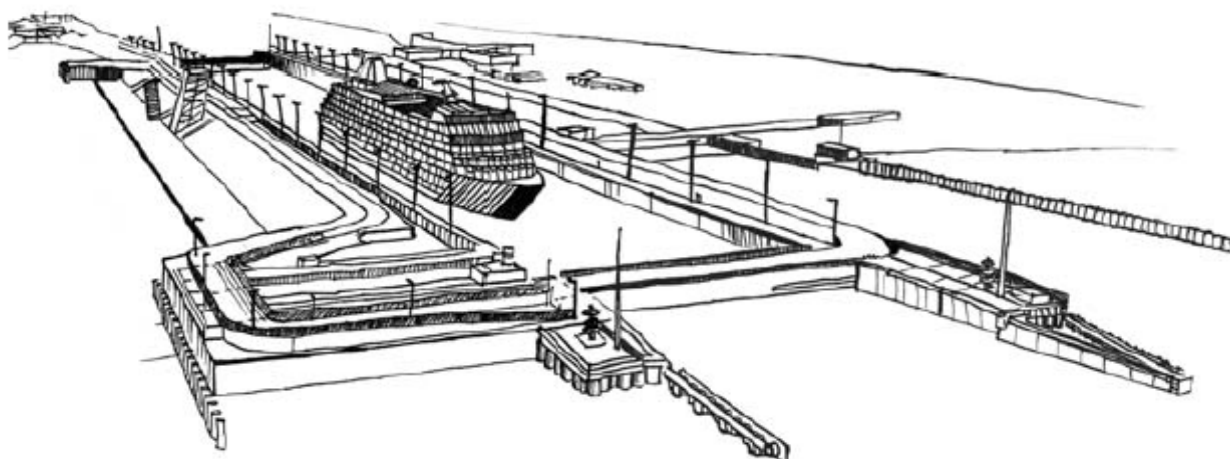
BIJLAGE 3

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen



Document nr : Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen.docx
Versie : 1.0
Datum : 7-6-2016
Status : Definitief

Opdrachtgever : Volker Staal en Funderingen
: Hogeschool Rotterdam

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)	7-6-2016	
Gecontroleerd	A. (Antoine) Feddema	Bedrijfsbegeleider		
Vrijgegeven	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)		
Geaccepteerd				



INHOUDSOPGAVE	PAG.
0. INLEIDING	2
1. RANDVOORWAARDEN UITGANGSPUNTEN EN EISEN	3
1.1. normen en richtlijnen	3
1.2. Berekeningsmethode	3
1.3. Geïdentificeerde raakvlakken	3
2. ALGEMEEN	4
2.1 Idriss & Boulanger	4
2.1.1 Aanpak	4
2.1.2 Grondopbouw en parameters	4
2.1.3 Trillingen	9
2.1.4 Verweking	11
2.1.5 Resultaten	16
2.1.6 Conclusie	23
2.2 Robertson (2009)	24
2.2.1 State parameter (ψ)	27
2.3 Vergelijking berekeningsmethodes	28
2.3.1 Relatieve dichtheid benadering	28
2.3.2 Vergelijking state parameter Boskalis	29
2.3.3 Conclusie	30
2.4 Vergelijking OpenIJ	31
2.4.1 Trillingsafname	31
2.4.2 Zettingsvloeiingen Idriss & Boulanger	32
2.4.3 Zettingsvloeiingen Robertson	33
2.4.4 Conclusie	34
3. SYMBOLEN LIJST	35
4 FIGUREN- EN TABELLENLIJST	36
5 BIJLAGE	37

Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen**0. INLEIDING**

In dit rapport worden verschillende methodieken beschreven om eventueel optredende zettingsvloeiingen vooraf vast te kunnen stellen. Zettingsvloeiing is een fenomeen wat zeer lastig is om te voorspellen. Dit bezwijkingsmechanisme is sterk afhankelijk van de grondopbouw met bijbehorende parameters van de verschillende grondlagen. In dit rapport worden twee methodes behandeld namelijk,

- Idriss & Boulanger - welke is gebaseerd op aardbevingsliteratuur en veldproeven uit het verleden door meerdere onderzoekers.
- Robertson (2009) - waarbij voor alle grondlagen de state parameter kan worden bepaald, hier mee kan worden vastgesteld er dilatant of contractant gedrag optreedt.

De methode Idriss & Boulanger zal in totaal voor vier sonderingen worden gemaakt. Drie sonderingen welke verder niks te maken hebben met het ontwerp van de dukdalf maar deze worden uitgevoerd om zo de uitkomsten te kunnen vergelijken ter validatie van de berekeningsmethode. De ontwerplocatie wordt ook met deze methode berekend en zijn ook opgenomen in de bijlage van dit rapport. Voor methode Robertson(2009) geldt dat deze alleen voor de ontwerplocatie wordt uitgevoerd (Sondering DKMP09) en tevens worden vergeleken met uitkomsten verkregen van een door Boskalis gehanteerde methode, wederom ter validatie van de berekeningsmethodiek.



1. RANDVOORWAARDEN UITGANGSPUNTEN EN EISEN

1.1. normen en richtlijnen

Bindende normen, richtlijnen en aanbevelingen

NEN normen

- [1] NEN-EN 1997-1+C1:2012 nl + NB Eurocode 7; Geotechnisch ontwerp – Deel 1: Algemene regels
- [2] NEN 1997-1:2011+C:2012 (nl) Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1 algemene regels. Samenstelling van NEN-EN 1997-1, NEN-EN 1997-1/C1, NEN-EN1997-1/NB Nationale bijlage en NEN 9097-1 aanvullingsnorm bin NEN-EN 1997-1;

CUR aanbevelingen en rapporten

- [3] CUR 166 damwandconstructies 2012;
- [4] CUR 2003-7: Bepaling geotechnische parameters; 1^e druk, oktober 2003;

Richtlijnen

- [5] NPR9998; Nederlands ontwerp praktijkrichtlijnen: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren – grondslagen voor aardbevingslasten: geïnduceerde aardbevingen, 4 december 2015.

Overige literatuur

- [6] I.M. Idriss & R.W. Boulanger, CPT and SPT based liquefaction triggering procedures, report no. UCD/CGM-14/01, 2014;
- [7] Scott M. Olson and Timothy D. Stark, Liquefied strength ratio from liquefaction flow failure case histories, 629-647 (2002)'
- [8] P.K. Robertson, Estimating in-situ state parameter and friction angle in sandy soils from CPT, 2010.

Verstreckte gegevens

- [9] Sonderingen Zeesluis IJmuiden, Fugro, 25 sonderingen met waterspanning tot 50 m onder maaiveldniveau;
- [10] Beproeuvingsvoorstel zettingsvloeiingen en trillingen OpenIJ, nr. 20160104;
- [11] Tekening OpenIJ nr. 20151211 proef Werkhaven
- [11] Tekening OpenIJ nr. 20151211 proef terrein Noordersluis
- [12] OPENIJ-1000269_Ontwerpbasis Geotechniek

1.2. Berekeningsmethode

De berekeningen van de zettingsvloeiingen zullen met twee methodes worden uitgevoerd, namelijk:

- Idriss&Boulanger ,gebaseerd op aardbevingsliteratuur waarbij uit eerder onderzoeken een benadering is gevonden om de verwekingsgevoeligheid van een zandlaag te bepalen. Diverse waarde voor referentiesnelheid betreffende trillingen zijn uitgevoerd conform CUR166.
- Robertson(2009), bij deze methode wordt door middel van de genormaliseerde conusweerstand de state paramater per schone zandlaag bepaald. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of er dilatant gedrag optreedt (wel of geen verweking)

1.3. Geïdentificeerde raakvlakken

De voornaamste raakvlakken zijn:

- a. Bestaande zeesluizen IJmuiden
- b. Stabiliteit omliggende taluds
- c. Vaarwegen omliggende kanalen
- d. Uitvoering overige projectactiviteiten OpenIJ



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

2. ALGEMEEN

Om vooraf te bepalen of er zettingsvloeiing op kan treden zullen er diverse berekeningen moeten worden gemaakt. In de volgende hoofdstukken worden deze berekeningen behandeld. Het eerste hoofdstuk is de methode van Idriss en Boulanger welke is gebaseerd op aardbevingsliteratuur. De tweede methode is het bepalen van de state parameter volgens Robertson(2009) waarmee je uit een gecorrigeerde conusweerstand de gevoeligheid van verweking kan bepalen. Vervolgens is aan de hand van verkregen uitkomsten van Boskalis, een vergelijking gemaakt van de uitkomsten van de state parameter. Alle uitkomsten van de verschillende berekeningen zijn met elkaar vergeleken ter validatie van de rekenmethodes.

2.1 Idriss & Boulanger

Bij het ontstaan van aardbevingen kan de veiligheid tegen verweking worden bepaald, aan de hand van de gemeten conusweerstand (sonderingen), de heersende verticale korrelspanning en de grootte van de optredende trillingen tijdens de werkzaamheden. Hiervoor is de methode Idriss & Boulanger conform literatuurstudie [6] 'CPT and SPT based liquefaction triggering procedures', CUR166 en overige literatuur welke staan opgenomen in de literatuurlijst.

2.1.1 Aanpak

De berekeningen zijn voor drie locaties uitgevoerd, namelijk twee ter hoogte van de Werkhaven (praktijkproef) en één ter hoogte van de Voorhavendam (ongeveer de ontwerplocatie). Bij alle drie de locaties zullen stalen buispalen worden aangebracht door middel van trillen danwel heien. Over het algemeen kan worden gesteld dat trillen, met name voor verweking, ongunstiger is voor de taludstabiliteit dan heien. Toch is voor alle drie de scenario's de berekening uitgevoerd. Voor het bepalen van de eventueel optredende verweking worden de volgende stappen aangehouden.

Tabel 1 Aanpak analyse Idriss & Boulanger

Stap	Beschrijving	Methode
1	Bepaal de benodigde grondparameters aan de hand van grondonderzoek (sonderingen): conusweerstand, soortelijk gewicht, laagdiktes etc.	Sondering DKMP17/ DKMP21/VH3
2	Bepaal de methode van inbrengen (de zogehete 'trigger' voor verweking) : Type hei- en trilblok, inheidiepte etc.	CUR166
3	Uitvoeren van trillingsprognose ter bepaling van de bronsterkte en de afname van het trillingsniveau met de afstand.	Projectspecifieke eisen OpenIJ
4	Aan de hand van verkregen trillingsniveau's bepalen van de versnellingen (a_{max}) tbv de CSR (Cyclic Stress Ratio).	CUR166
5	Bepaal de verwekingsgevoeligheid voor de diverse zandlagen ($FS_{liq} = CSR / CRR$)	Idriss & Boulanger (2014)
6	Vergelijken met proefuitkomsten OpenIJ ter verificatie van de verkregen waarden voor FS_{liq} .	

2.1.2 Grondopbouw en parameters

Project OpenIJ heeft diverse sonderingen beschikbaar gesteld. Zo is er het nodige aan grondonderzoek uitgevoerd op de projectlocatie. Het bestaat uit een grote verzameling aan onderzoeken die de laatste 50 jaar zijn verricht in de omgeving van het sluisterrein.

De belangrijkste bronnen die geraadpleegd zijn voor het opstellen van de bodemprofielen zijn hieronder weergegeven.:

1. Sonderingen Zeesluis IJmuiden, Fugro
 - 25 sonderingen met waterspanning tot 50 m onder maaiveldniveau
2. Laboratorium onderzoek Nieuwe Zeesluis IJmuiden, Deltares,
 - Volumieke massa's, watergehalten, doorlatendheden, statische en cyclische triaxiaaltesten, bepaling kritieke dichtheid, CRS oedometer testen en bepaling korrelvorm.



De locaties zijn zoals eerder vermeld twee bij de Werkhaven en een bij de Voorhavendam. Er is nog een sondering(DKMP09) welke wordt gebruikt, deze wordt toegepast bij het ontwerp van de dukdalf. De volgende sonderingen zijn hier maatgevend en zijn dan ook gebruikt voor de benodigde grondgegevens:

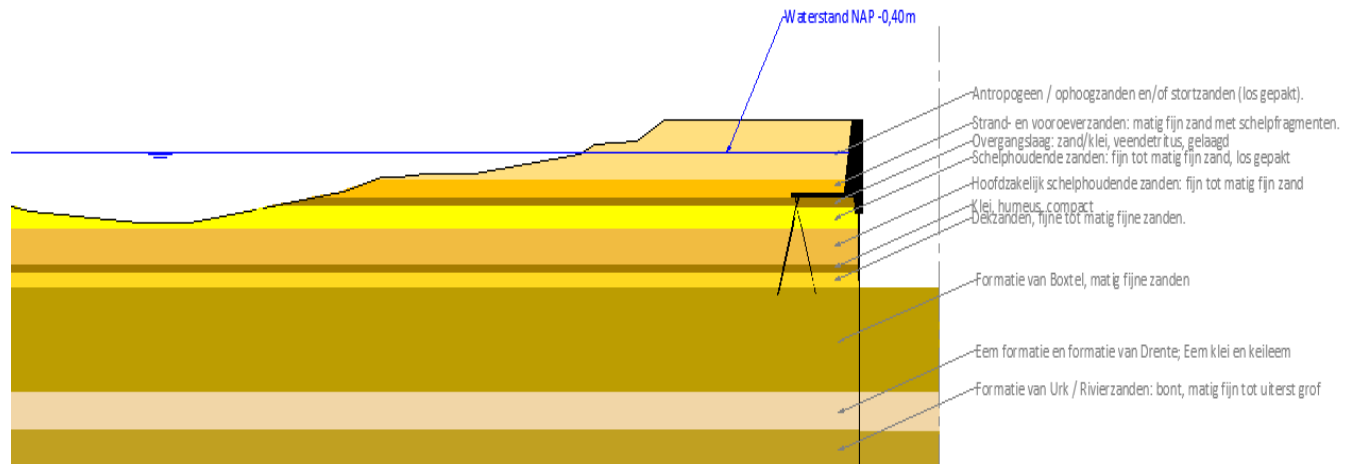
Tabel 2 Locatie vs. sondering

Locatie	Sondering
Werkhaven 1(proeflocatie)	DKMP17
Werkhaven 2	DKMP21
Voorhavendam	VH3
Voorhavendam (ontwerpllocatie dukdalf)	DKMP09

In het onderstaande figuur staan de locaties van de sonderingen aangegeven in een plattegrond van de projectlocatie OpenIJ



Figuur 1 Locaties sonderingen


Locatie Werkhaven [DKMP17]


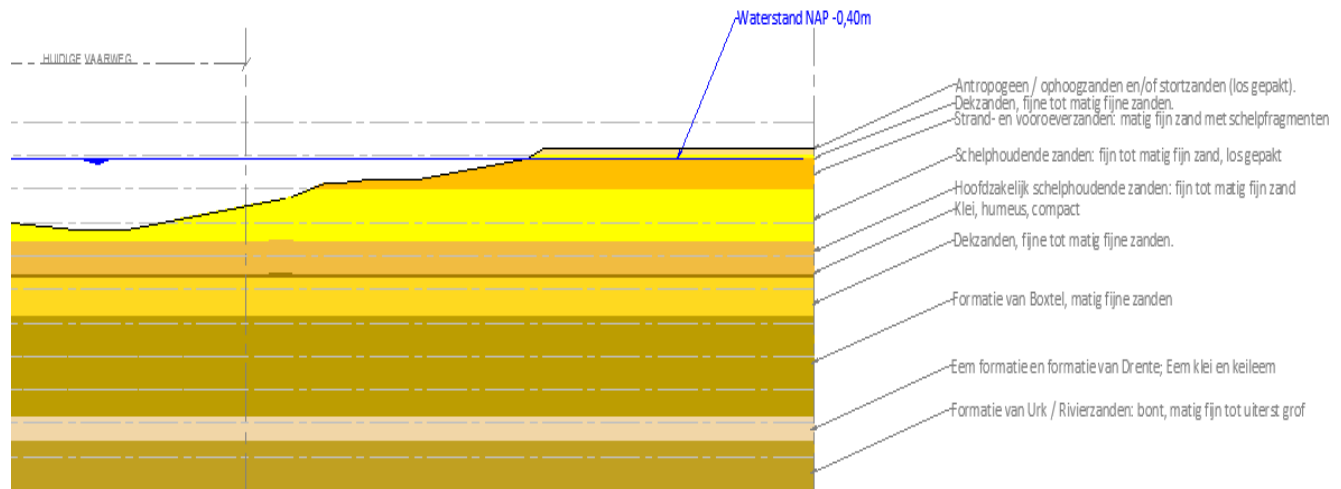
Figuur 2 Bodemopbouw Werkhaven (1)

Tabel 3 Grondgegevens DKMP17

Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	4,8	-0,4	5,2	16	20
AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)	-0,4	-4	3,6	16	20
Stz: Strand- en vooroeverzand	-4	-7,5	3,5	18	21
Ol: Overgangslaag	-7,5	-8	0,5	18	18
Scz1: Spisulazand 1	-8	-11,8	3,8	17	21
Scz2: Spisulazand 2	-11,8	-17,5	5,7	18	21
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	-17,5	-18,7	1,2	18	18
Dz: dekzand	-18,7	-21,7	3	17	20
Bx: formatie van Bontel	-21,7	-38,5	16,8	18	21
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	-38,5	-42,9	4,4	17	20
Ur: Formatie van Urk	-42,9	-47	4,1	18	21



Locatie Werkhaven (2) [DKMP21]



Figuur 3 Bodemopbouw Werkhaven (2)

Tabel 4 Grondgegevens DKMP21

Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0,76	-0,2	0.96	16	20
Dz: duinzand	-0,2	-0,4	0.2	17	20
Stz: Strand- en vooroeverzand	-0,4	-4,9	4.5	18	21
Scz1: Spisulazand 1	-4,9	-12,8	7.9	17	21
Scz2: Spisulazand 2	-12,8	-16,4	3.6	18	21
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen/Basisveen	-16,4	-18	5.6	18	18
Dz: dekzand	-18	-23,6	14.6	17	20
Bx: formatie van Bontel	-23,6	-38,2	8	18	21
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	-38,2	-42	0.96	17	20
Ur: Formatie van Urk	-42	-50	0.2	18	21

Alle overige parameters zoals: conusweerstand, effectieve verticale korrelspanning etc. staan in het Excel sheet in de bijlage.


Locatie Voorhavendam [VH3]


Figuur 4 Bodemopbouw Voorhavendam

Tabel 5 Grondgegevens VH3

Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	5	1,8	2,2	16	20
Dz: dekzand	1,8	-0,2	2	17	20
Stz: Strand- en vooroeverzand	-0,2	-0,72	0,52	18	21
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	-0.72	-8.22	7.5	18	21
Ol: Overgangslaag	-6	-6.5	0.5	18	18
Scz1: Spisulazand 1	-7	-12	5	17	21
Scz2: Spisulazand 2	-12.3	-14.8	2.5	18	21
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	-17	-20	3	18	18
Dz: dekzand	-18.5	-21	2.5	17	20
Bx: formatie van Boxtel	-21	-43	22	18	21
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	-43	-58	15	17	20

Alle overige parameters zoals: conusweerstand, effectieve verticale korrelspanning etc. staan in het Excel sheet in de bijlage.



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

2.1.3 Trillingen

Met behulp van de methode zoals deze in CUR166 staat beschreven is er een prognose gemaakt van de trillingen die door het intrillen/heien van de buispalen worden opgewekt. De CUR166 hanteert voor Nederland karakteristieke bodemprofielen, hier zitten vaste waarden aan voor de bronintensiteit ($V_{0, corr}$) en de dempingsconstante (α) als gevolg van materiaaldemping op een referentieafstand van 5 meter

Voor dit geval is het bodemprofiel 'Amsterdam' aangehouden, aangezien deze voor IJmuiden maatgevend is. In de CUR166 zijn voor dit profiel ook betrouwbaarheidsgevallen genoteerd. Over het algemeen kan deze op 95% worden aangenomen voor heiwerkzaamheden. Voor de trillingen afkomstig van het trillen is 50% aangehouden, aangezien uit ervaringen bij het verwerken van trillingsmetingen is gebleken dat 50% een reëlere inschatting is voor de trillingsintensiteit. De uiteindelijk gekozen waardes voor de parameters staan wederom in het Excel sheet opgenomen.

De bronsterkte van het inbrengen van stalen buispalen kan worden bepaald met de volgende empirische relatie:

$$\text{Trillen: } V_{0, corr (x=5m)} = V_0 + C_{vel}(F - 350)$$

$$\text{Heien: } V_{0, corr (x=5m)} = V_0 * \sqrt{(0,8 * E_h)}$$

Met daarin:

$V_{0, corr (x=5m)}$	= Gecorrigeerde trillingsnelheid op referentieafstand van 5 meter	[mm/s]
V_0	= Referentie trillingssnelheid (CUR166, tabel 5.20/5.21)	[mm/s]
C_{vel}	= Empirische parameter (CUR166, tabel 5.20/5.21)	[-]
F	= Slagkracht trilblok	[kN]
E_h	= Energie heiblok	[Nm]

Met de uitkomsten voor de gecorrigeerde trillingsnelheid kan voor elke afstand (x) worden bepaald wat de trillingssnelheid wordt in mm/s. De formule die hier voor wordt gehanteerd komt uit CUR166 en staat hieronder vermeld:

$$V_x = V_0 * \sqrt{\frac{x_0}{x}} * e^{-\alpha * (x - x_0)}$$

Met daarin:

V_x	= Trillingsnelheid op afstand x van de bron	[mm/s]
x_0	= Referentieafstand van de bron (5 meter)	[m]
x	= Afstand van de bron	[m]
α	= Dempingsconstante (CUR166, tabel 5.20/5.21)	[m ⁻¹]

Versnellingen

Zodra alle trillingssnelheden zijn berekend, kunnen de maximale horizontale versnellingen worden bepaald waar uiteindelijk mee zal worden gerekend. De versnelling is afhankelijk van de frequentie (f) van het hei- en trilblok en de trillingssnelheden. Om de versnelling (a_{max}) te bepalen wordt gebruik gemaakt van de volgende formule:

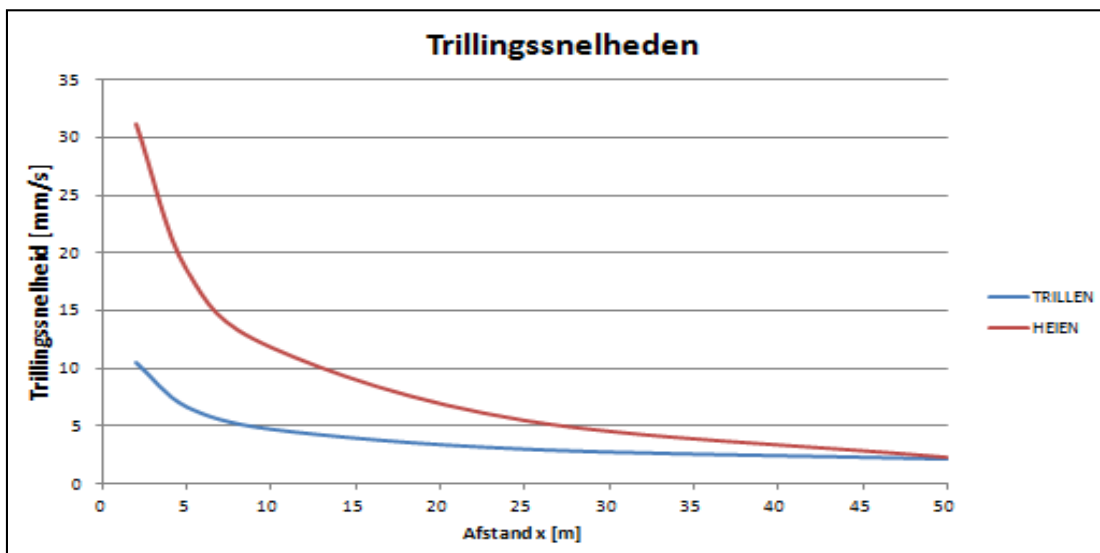
$$a_{max} = V_x * 2 * \pi * f / 1000$$

De frequentie van het hei- en trilblok staat in Hz (1/m).

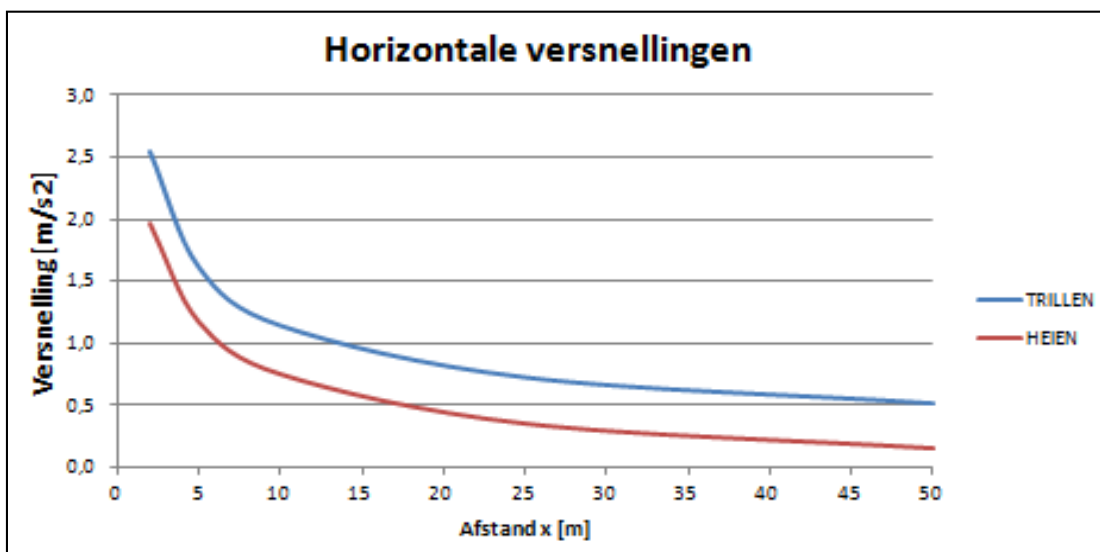


Resultaten

Op onderstaande grafieken staan de trillingssnelheden en de versnellingen vermeld bij een trilblok PVE2350VM en een heiblok van IHC S120. De gemeten waarden bij het OpenIJ staan uitgezet tegen de berekende waarden, vermeld in rapport 'Data analyse praktijkproeven OpenIJ en Calandkanaal'.



Figuur 5 Trillingssnelheden PVE2350 - IHC S120



Figuur 6 Maximale versnellingen PVE2350 - IHC S120



2.1.4 Verweking

Relatieve dichtheid

Voorafgaand aan de berekeningen of er daadwerkelijk verweking zal optreden, kan door middel van de relatieve dichtheid al een indicatie worden gegeven welke lagen verwekingsgevoelig zijn en welke niet. Achteraf kan hier ook mee worden vergeleken of deze benadering klopt. Dit geldt overigens voor de schone zandlagen, de klei- en veenlagen kunnen buiten beschouwing worden gelaten.

De relatieve dichtheid is een belangrijke parameter en wordt, in dit project, gebruikt als indicatie voor de sterkte (ϕ'_{kar}) en stijfheid (E-moduli) van zand. Het bepalen van de in-situ relatieve dichtheid is zeer lastig daarom is er in de loop der jaren door vele onderzoekers op zoek gegaan naar een goede benadering voor de relatieve dichtheid. De correlatie met de conusweerstand (q_c) heeft tot nu toe het meeste succes gehad.

De relatieve dichtheid kan uit de conusweerstand worden bepaald met de methode van Lunne. Deze methode staat hieronder beschreven.

$$R_e = \frac{1}{C_2} \ln \left[\frac{q_c}{C_0 (\sigma'_{v0})^{C_1}} \right] \cdot 100\%$$

Met daarin

R_e	= Relatieve Dichtheid	[%]
q_c	= conusweerstand	[kPa]
σ'_{v0}	= effectieve korrelspanning	[kPa]

Waarbij voor C_0 , C_1 en C_2 de volgende waarde moet worden aangehouden:

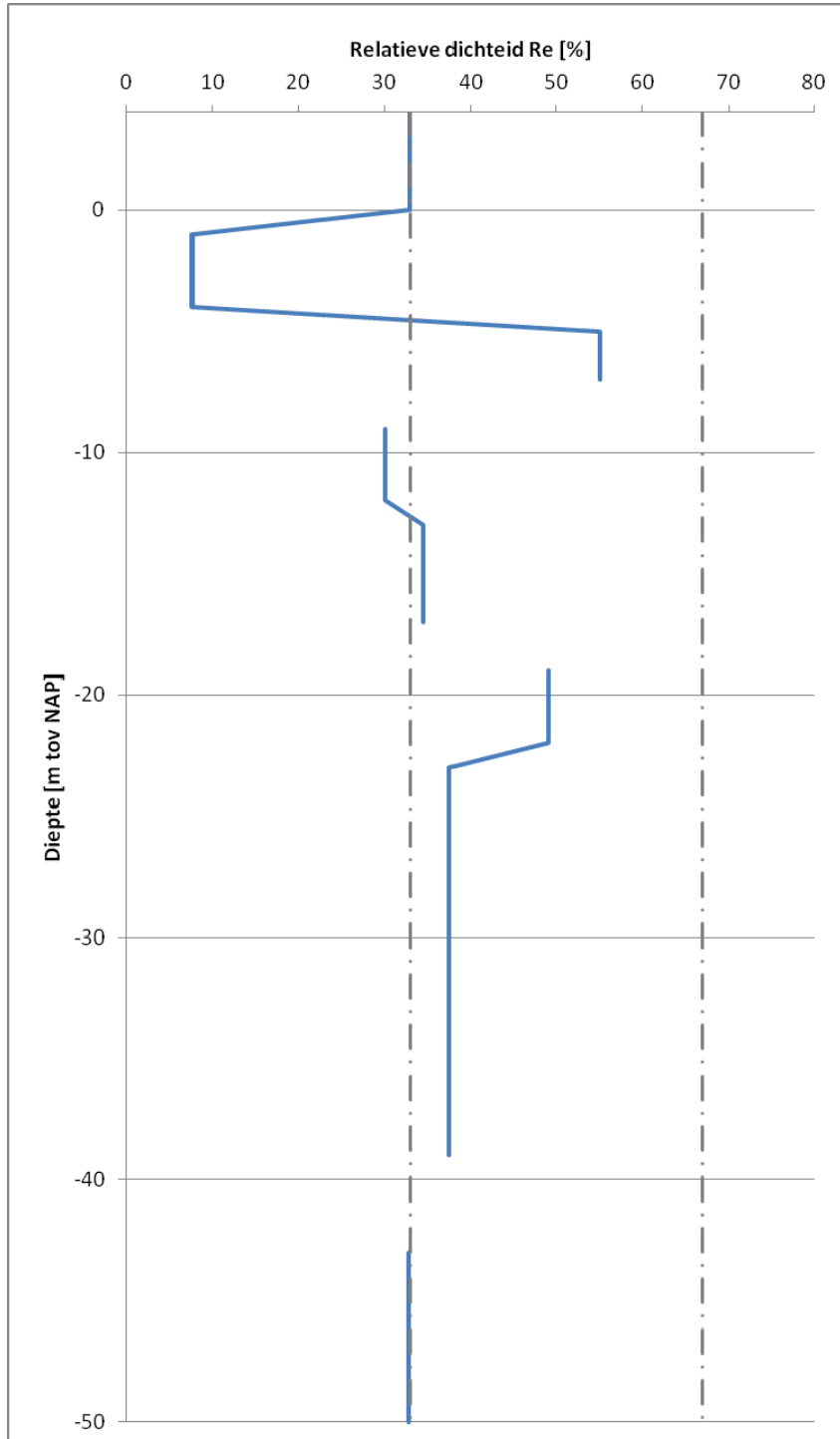
$C_0 = 61$;
 $C_1 = 0,71$;
 $C_2 = 2,91$.

Over het algemeen kan de volgende indeling gemaakt worden voor schoon zand:

$R_e > 67\%$	: Nauwelijks gevoelig voor verweking
$33\% < R_e < 67\%$	: Redelijk gevoelig voor verweking
$R_e < 33\%$	: Zeer gevoelig voor verweking

In de figuren op de volgende drie pagina's is de relatieve dichtheid als functie van de diepte weergegeven voor alle schone zandlagen. Verweking treedt op mits er aan een aantal voorwaarden wordt voldaan namelijk:

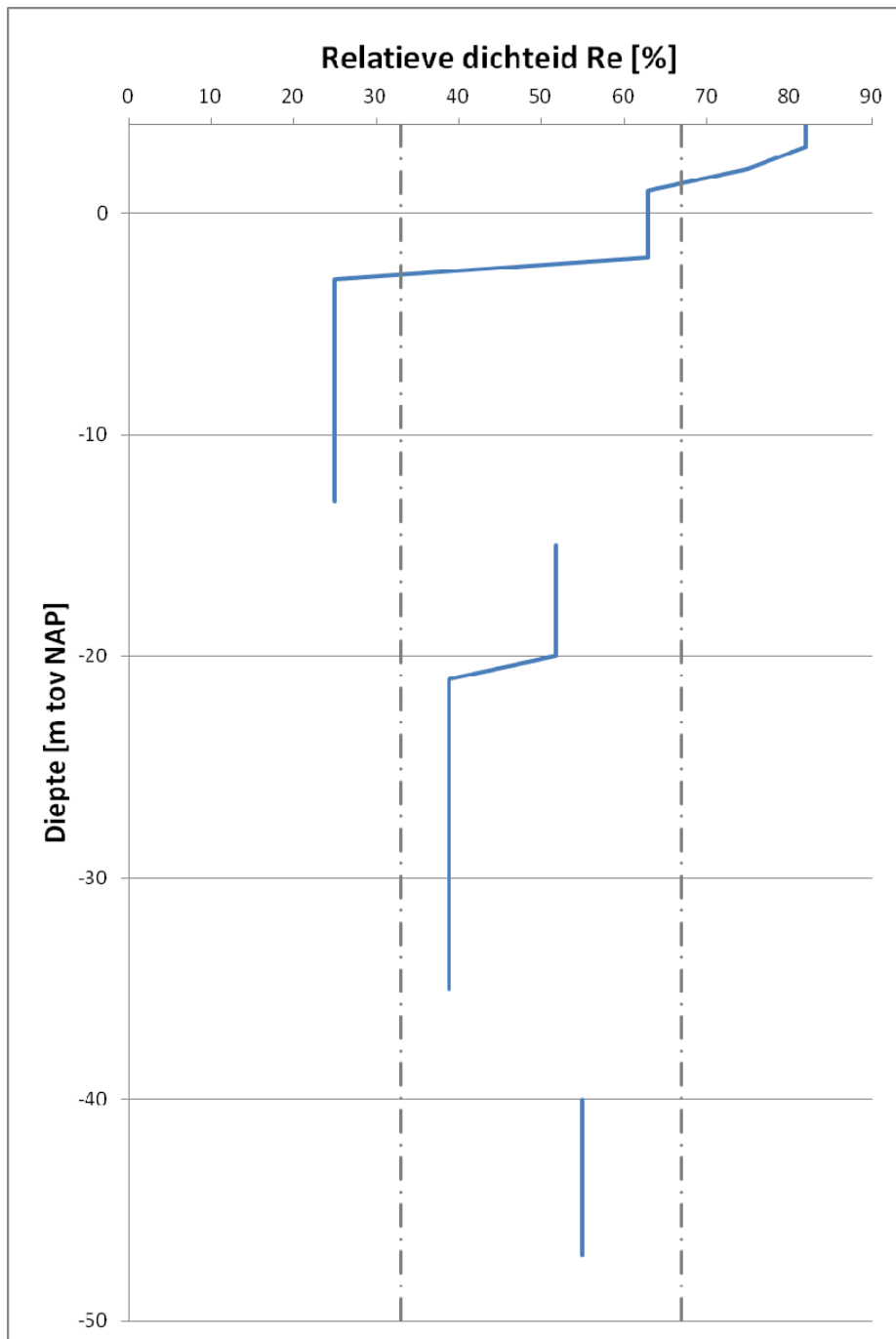
- Taludhelling ongunstig genoeg
- Minimale laagdikte van zettingsgevoelige laag 2 – 6 m
- Geen verweking bij lagen boven waterniveau.


Relatieve dichtheid DKMP17


Figuur 7 Relatieve dichtheid DKMP17

Verklaring

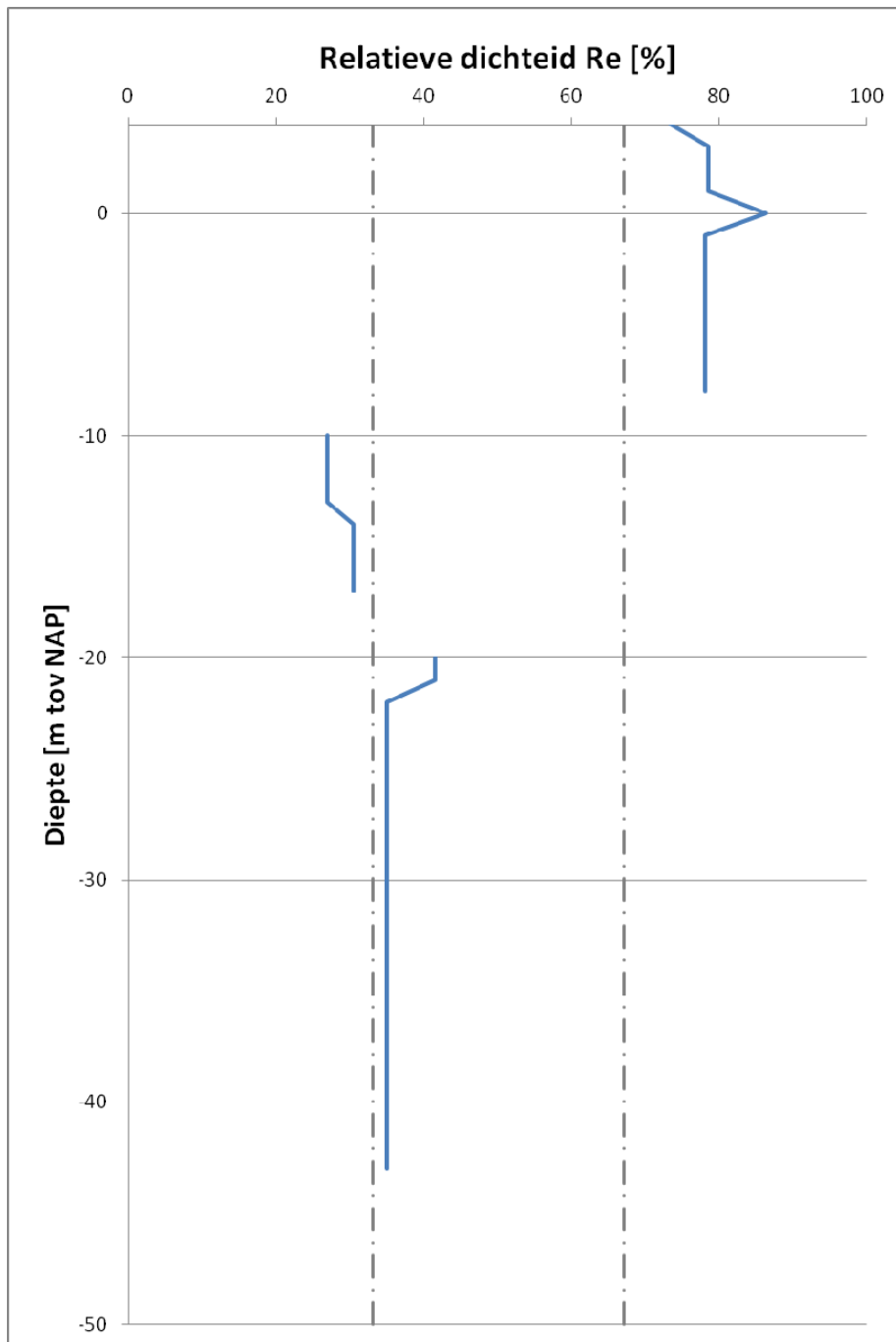
Uit bovenstaande figuur is op te maken dat voor locatie Werkhaven (DKMP17) de meest gevoelige laag op -0,4m tot -4 m NAP ligt. De zandlaag die hier van toepassing is is *Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt)*.

Relatieve dichtheid DKMP21

Figuur 8 Relatieve dichtheid DKMP21

Verklaring

Voor de tweede locatie, Werkhaven 2 (DKMP21), ligt de meest gevoelige laag op ongeveer -5 m tot -12 m NAP. Deze zandlaag is een laag van *spisulazand* welke al bekend staat om de verwekingsgevoeligheid.

Relatieve dichtheid VH3

Figuur 9 Relatieve dichtheid VH3

Verklaring

Voor de derde locatie (Voorhavendam VH3), ligt de meest gevoelige laag op ongeveer -8 m tot -13 m NAP. Deze zandlaag is ook een laag van *spiculazand*. Uit de berekening zal blijken of deze benadering correct is.



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

Kans op verweking

De veiligheid tegen verweking (FSliq) is gedefinieerd als het quotiënt van de cyclic resistance ratio en de cyclic stress ratio, volgens: I.M. Idriss & R.W. Boulanger, *CPT and SPT based liquefaction triggering procedures*, 2014. De verhouding is als volgt:

$$FS_{liq} = \frac{CRR_{7,5}}{CSR}$$

Met daarin:

CSR = Cyclic Stress Ratio
 $CRR_{7,5}$ = Cyclic Resistance Ratio

Cyclic Stress Ratio (CSR)

Het bepalen van deze twee variabele is benodigd om de weerstand tegen verweking (liquefaction) te bepalen per grondlaag. Dit geldt overigens alleen voor de zandlagen aangezien klei niet verwekingsgevoelig is. De CSR is een variabele waarde voor de grootte van de optredende krachten afkomstig van bewegingen in de ondergrond als gevolg van de trillingen tijdens het aanbrengen van de stalen buispalen.

De CSR wordt als volgt berekend:

$$CSR = 0,65 * \frac{a_{max}}{g} * \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} * \frac{r_d}{MSF} * \frac{1}{K_\sigma}$$

Met daarin:

a_{max}	= Maximale horizontale versnelling, afkomstig van trillingen	[m/s ²]
g	= Valversnelling	[m/s ²]
σ_{v0}	= Verticale grondspanning op beschouwd niveau	[kN/m ²]
σ'_{v0}	= Verticale korrelspanning op beschouwd niveau	[kN/m ²]
r_d	= Diepte reductiefactor	[-]
MSF	= Magnitude Scaling Factor, om optredende trillingen te schalen naar een standaard 'aardbeving' met een magnitude van 7,5.	[-]
K_σ	= Correctiefactor voor de isotrope spanningstoestand	[-]

Cyclic Resistance Ratio (CRR_{7,5})

De CRR is om aan te geven in hoeverre de ondergrond het vermogen heeft om weerstand te bieden tegen verweking. Er kan worden gesteld dat er geen verweking zal optreden wanneer $FS_{liq} > 1,0$. Alle waarden onder 1,0 betekent automatisch voor de verwekingsgevoelige lagen dat er verweking zal optreden. Deze waarde geldt voor een 'aardbeving' met een magnitude van 7,5. Bij de CRR wordt al een schaalfactor toegepast waardoor de $CRR_{7,5}$ toepasbaar is voor deze situatie. De CRR wordt als volgt berekend:

$$CRR_{7,5} = \exp\left(\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137}\right)^4 - 2,8\right) \quad [\text{kN/m}^2]$$

Waarbij de genormaliseerde conusweerstand (q_{c1Ncs}) per laag wordt bepaald door middel van de volgende formule, C_N^* (q_c / Pa) volgens Idriss & Boulanger. C_N is een correctiefactor op de verhouding tussen de conusweerstand q_c en de atmosferische druk P_a (100 kPa). Voor alle berekeningen, formules en uitkomsten voor alle parameters en de CSR en CRR wordt verwezen naar het Excel sheet in bijlage 5.

Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen**2.1.5 Resultaten**

De kans op verweking is voor drie locaties bepaald, een bij de Voorhavendam en twee bij de Werkhaven (3 sonderingen) op verschillende afstand van de bron (buispaal). Hieronder staan in tabellen weergegeven welke waarde voor FSliq de verschillende grondlagen hebben. Er wordt onderscheid gemaakt tussen trillen en heien aangezien hier de horizontale versnelling ($a_{\max}$) verschilt. Nogmaals, er zal wel verweking optreden wanneer FSliq $< 1,0$ en zodra aan de voorwaarden wordt voldaan zodanig dat verweking op kan treden. Per locatie is aan de hand van de dwarsdoorsnede bepaald welke lagen verwekingsgevoelig zijn. **De verwekingsgevoelige lagen zijn met een rood kader aangegeven.**

Onder elke tabel met de uitkomsten voor de kans op verweking staan de waardes in een grafiek uitgezet tegen de diepte ten opzichte van NAP voor afstanden van 2m, 5m, 10m, 25m en 50m van de bron. Voor elke zandlaag is de FSliq berekend, dit wil niet automatisch zeggen dat alles onder 1.0 zal verweken. Dit is sterk afhankelijk van het aanwezig talud. Zo zal een zandlaag op -30 meter nooit verweken. Het draait om de lagen binnen het rode kader.

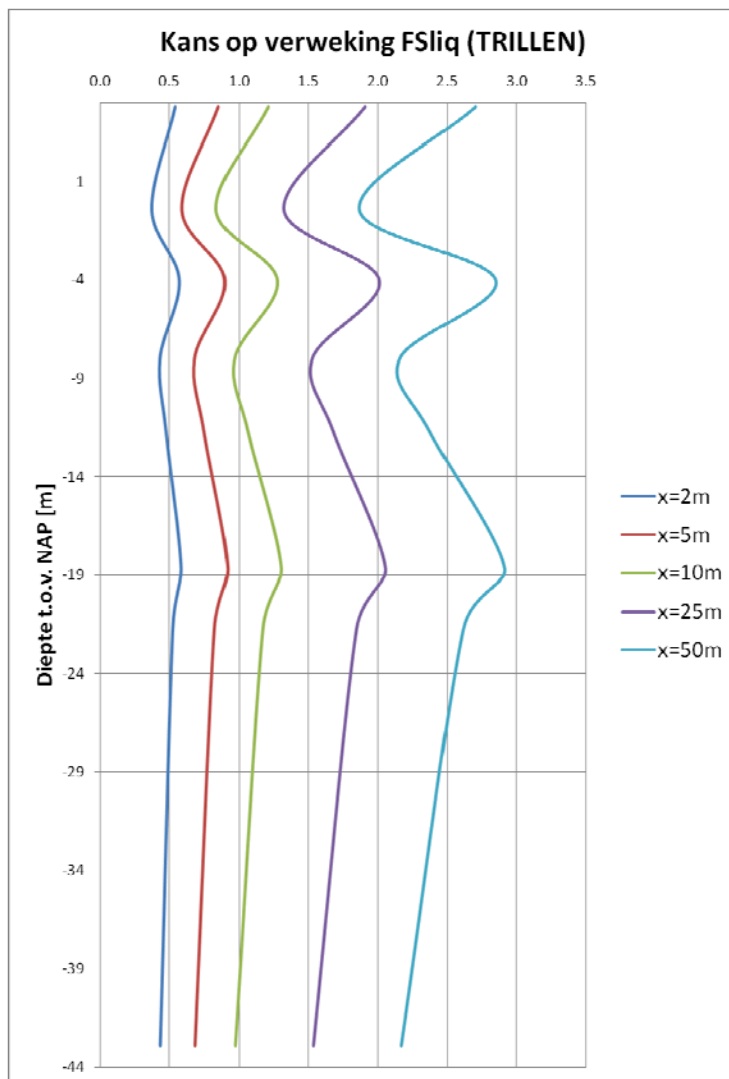


Locatie Werkhaven (1) DKMP17

TRILLEN

Tabel 6 FSliq Werkhaven(1) trillen

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	2.5515	1.6137	1.1411	0.7217	0.5103
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.54	0.85	1.21	1.91	2.70
AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)	0.37	0.59	0.84	1.32	1.87
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.57	0.90	1.27	2.01	2.85
Scz1: Spisulazand 1	0.43	0.68	0.97	1.53	2.16
Scz2: Spisulazand 2	0.48	0.75	1.07	1.69	2.38
Dz: dekzand	0.58	0.92	1.30	2.06	2.91
Bx: formatie van Bostel	0.52	0.83	1.17	1.85	2.61
Ur: Formatie van Urk	0.43	0.69	0.97	1.54	2.17



Figuur 10 FSliq werkhaven(1) trillen

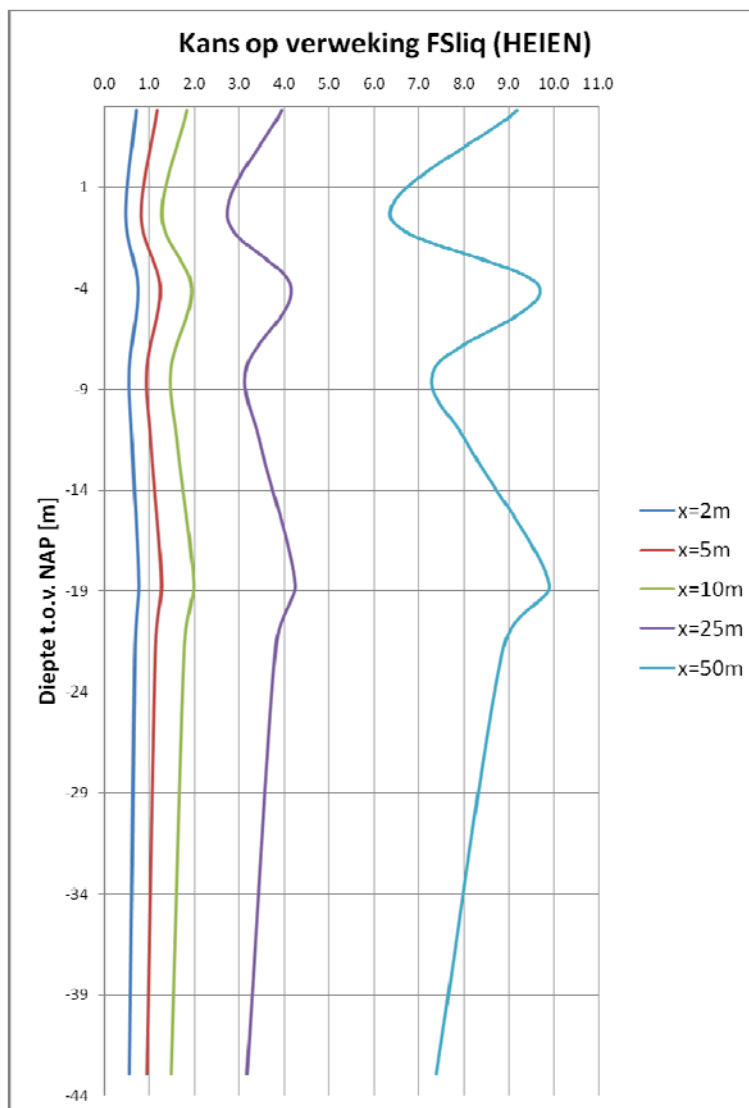


Locatie Werkhaven (1) DKMP17

HEIEN

Tabel 7 FSliq Werkhaven(1) heien

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	1.9611	1.1681	0.7473	0.3502	0.1502
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.70	1.18	1.84	3.94	9.18
AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)	0.49	0.82	1.28	2.72	6.35
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.74	1.24	1.94	4.15	9.68
Scz1: Spisulazand 1	0.56	0.94	1.47	3.15	7.33
Scz2: Spisulazand 2	0.62	1.04	1.63	3.47	8.10
Dz: dekzand	0.76	1.27	1.99	4.25	9.90
Bx: formatie van Bostel	0.68	1.14	1.79	3.81	8.89
Ur: Formatie van Urk	0.56	0.95	1.48	3.16	7.38



Figuur 11 FSliq Werkhaven(1) heien.

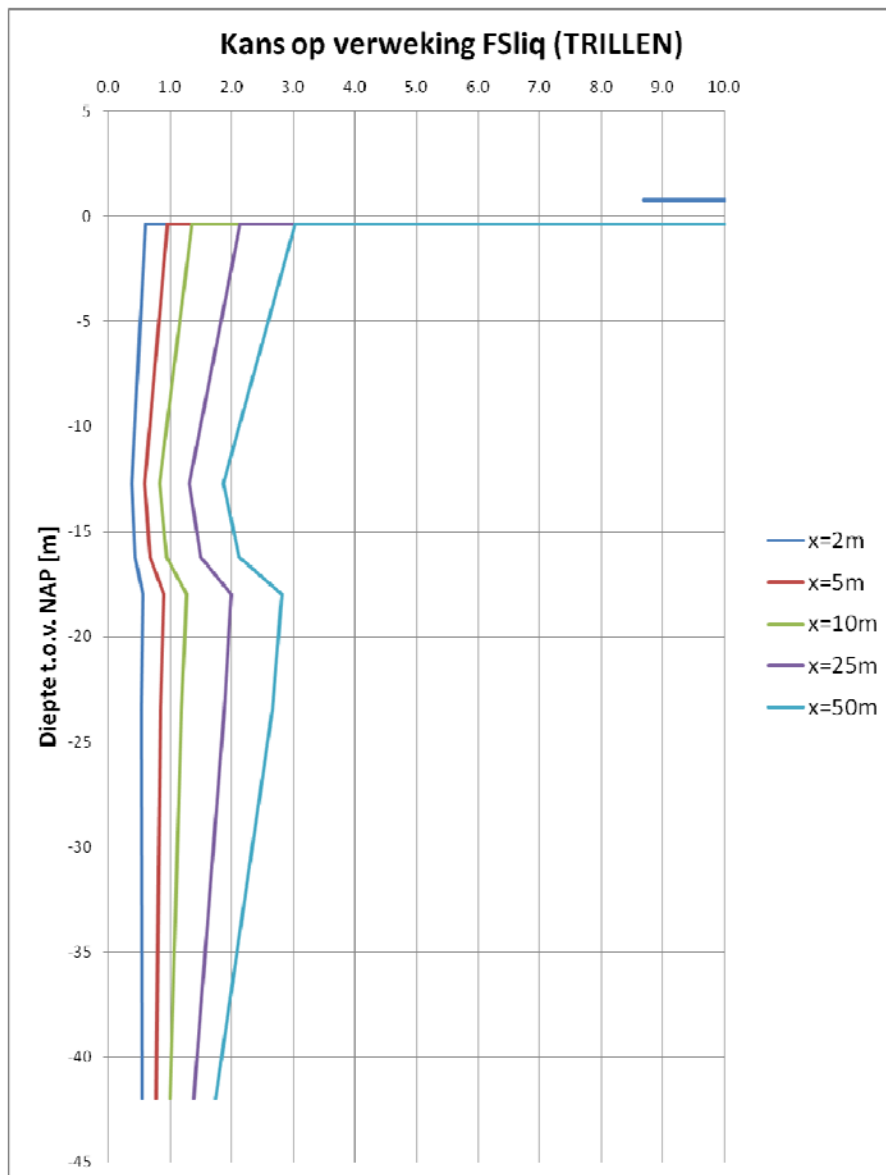


Locatie Werkhaven (2) DKMP21

TRILLEN

Tabel 8 FSliq Werkhaven(2) trillen

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	2,5516	1,6137	1,1411	0,7217	0,5103
AO: Antropogene laag	8.69	13.75	19.44	30.74	43.47
Dz: duinzand	483.21	764.05	1080.53	1708.48	2416.15
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.60	0.96	1.35	2.14	3.02
Scz1: Spisulazand 1	0.37	0.59	0.83	1.31	1.86
Scz2: Spisulazand 2	0.42	0.67	0.95	1.50	2.12
Dz: dekzand	0.56	0.89	1.26	1.99	2.82
Bx: formatie van Boxtel	0.53	0.84	1.19	1.88	2.65
Ur: Formatie van Urk	0.55	0.78	1.00	1.38	1.73



Figuur 12 FSliq werkhaven(2) trillen

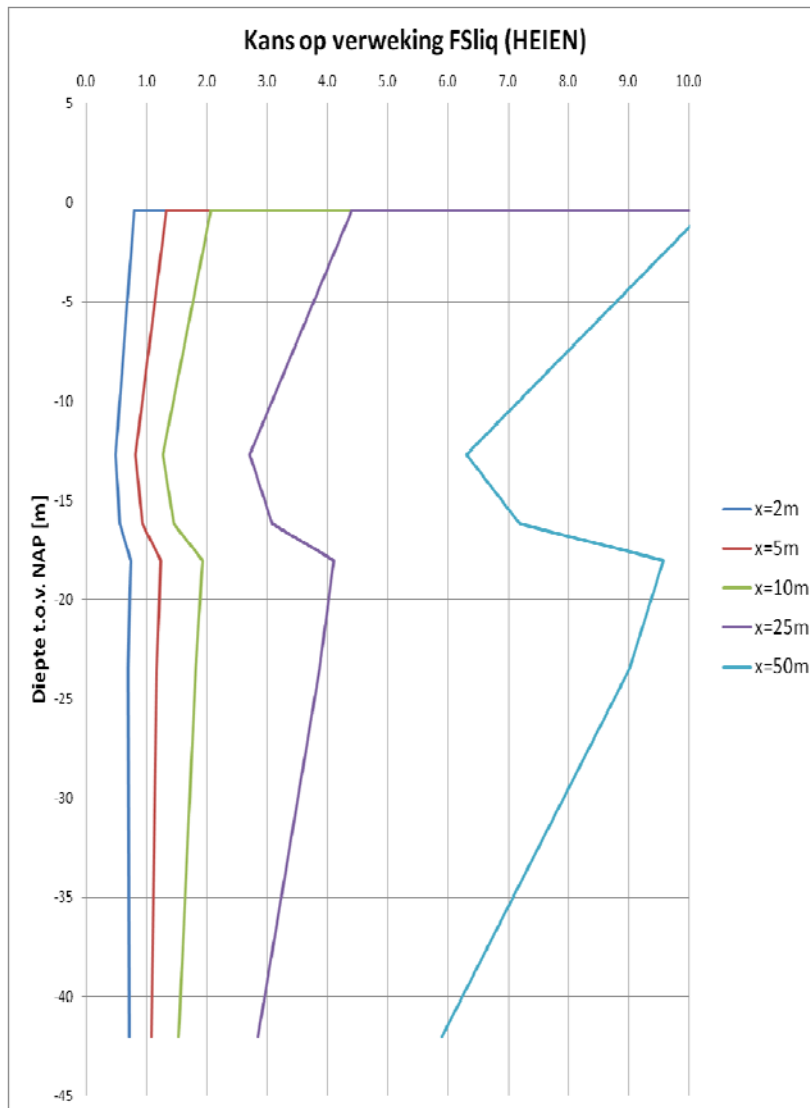


Locatie Werkhaven (2) DKMP21

HEIEN

Tabel 9 FSliq werkhaven(2) heien

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	1.9611	1.1681	0.7473	0.3502	0.1502
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	11.31	18.99	29.68	63.36	147.72
Dz: duinzand	628.72	1055.57	1649.81	3521.20	8210.19
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.79	1.32	2.06	4.40	10.27
Scz1: Spisulazand 1	0.48	0.81	1.27	2.71	6.31
Scz2: Spisulazand 2	0.55	0.93	1.45	3.09	7.20
Dz: dekzand	0.73	1.23	1.92	4.11	9.58
Bx: formatie van Boxtel	0.69	1.16	1.81	3.87	9.01
Ur: Formatie van Urk	0.71	1.07	1.53	2.84	5.89

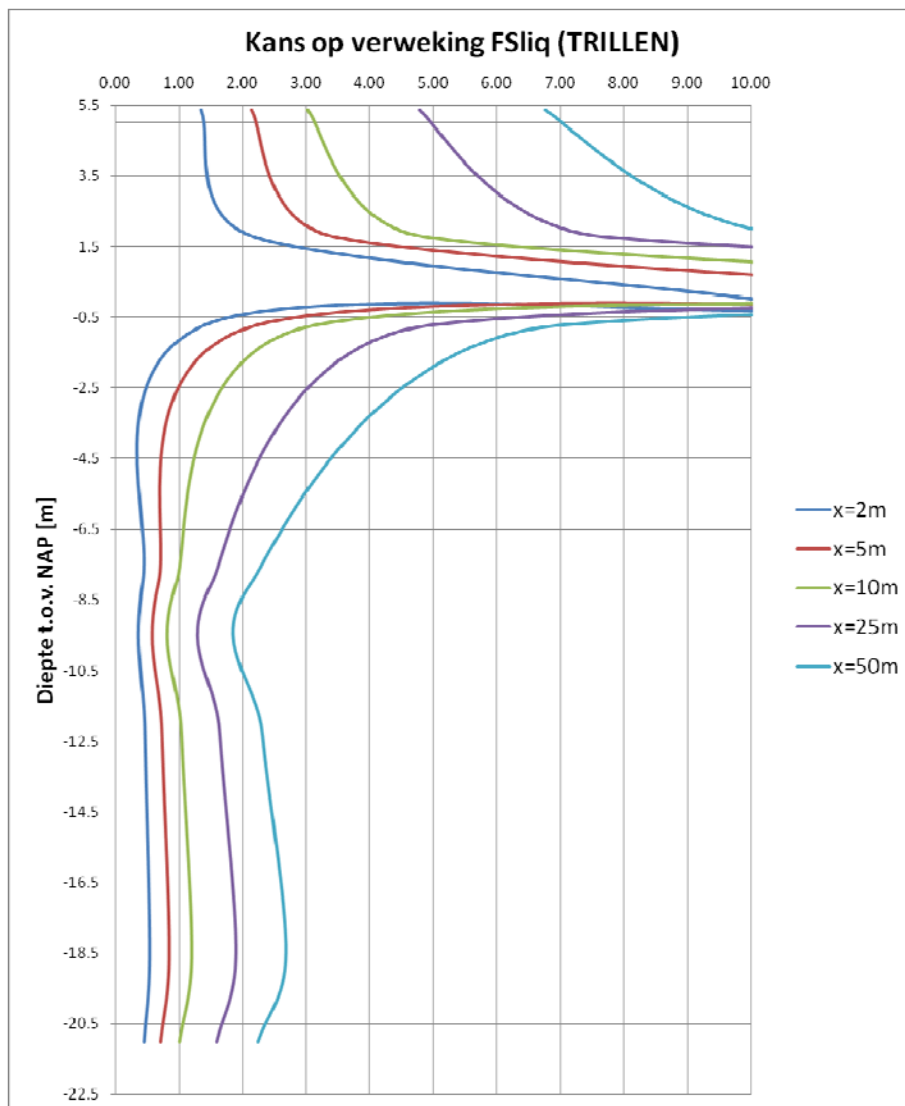


Figuur 13 FSliq werkhaven(2) heien


Locatie Voorhavendam VH3
TRILLEN

Tabel 10 FSliq Voorhavendam trillen

Grondlaag/Afstand x		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
	Afstand [m]	2	5	10	25	50
	a.max [m/s ²]	2.5516	1.6137	1.1411	0.7217	0.5103
AO: Antropogene laag (aanvulzand)		1.35	2.14	3.02	4.78	6.76
Dz: dekzand		2.16	3.41	4.82	7.63	10.79
Stz: Strand- en vooroeverzand		10.47	16.56	23.42	37.02	52.36
Stz: Strand- en vooroeverzand, nat		1.39	2.21	3.12	4.93	6.98
Scz1: Spisulazand 1		0.43	0.68	0.96	1.51	2.14
Scz2: Spisulazand 2		0.46	0.73	1.03	1.64	2.31
Dz: dekzand		0.54	0.85	1.20	1.90	2.68
Bx: formatie van Bostel		0.45	0.71	1.00	1.58	2.24



Figuur 14 FSliq Voorhavendam trillen



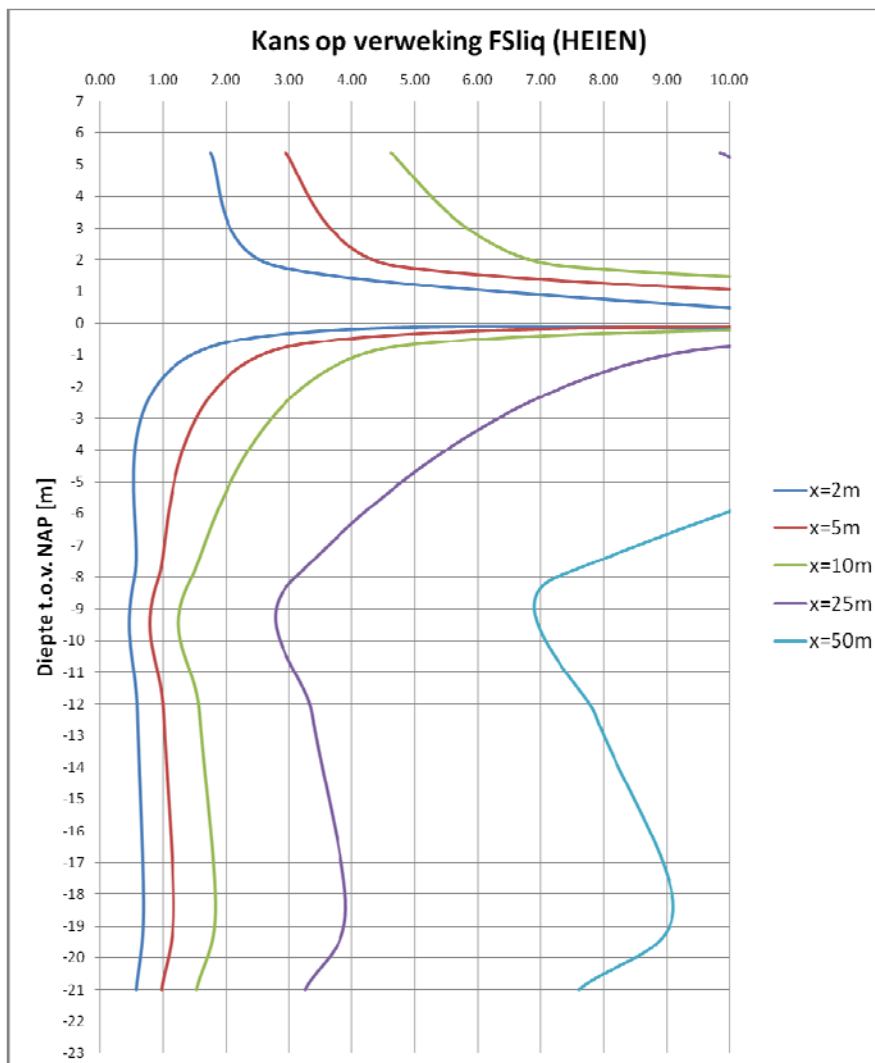
Locatie Voorhavendam VH3

HEIEN

Tabel 11 FSliq Voorhavendam heien

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	1.9611	1.1681	0.7473	0.3502	0.1502

AO: Antropogene laag (aanvulzand)	1.76	2.95	4.61	9.85	22.96
Dz: dekzand	2.81	4.71	7.37	15.72	36.66
Stz: Strand- en vooroeverzand	13.62	22.88	35.75	76.31	177.92
Stz: Strand- en vooroeverzand, nat	1.82	3.05	4.76	10.17	23.70
Scz1: Spisulazand 1	0.56	0.93	1.46	3.12	7.27
Scz2: Spisulazand 2	0.60	1.01	1.58	3.37	7.86
Dz: dekzand	0.70	1.17	1.83	3.91	9.11
Bx: formatie van Bortel	0.58	0.98	1.53	3.27	7.61



Figuur 15 FSliq Voorhavendam heien



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

2.1.6 Conclusie

Hieronder staan voor de drie sonderingen alle uitkomsten van de **verwekingsgevoelige lagen**, er is gekozen om de uitkomsten van het trillen te gebruiken als vergelijkingsmateriaal aangezien deze maatgevend zijn. De lagen die zullen worden vergeleken zijn de volgende:

- Stz: Strand- en vooroeverzand
- Scz1: Spisulazand 1
- Scz2: Spisulazand 2

Grondlaag/Afstand x	x1	x2	x3	x4	x5			
Afstand [m]	2	5	10	25	50			
a.max [m/s ²]	2.5515334	1.6137314	1.14108043	0.72168263	0.51030668			
	FSliq					qc	qc1Ncs	owater
Stz DKMP17	0.57	0.90	1.27	2.01	2.85	14320	82	71
Stz DKMP21	0.60	0.96	1.35	2.14	3.02	10920	100	45
Stz VH3	1.39	2.21	3.12	4.93	6.98	26310	151	61
Scz1 DKMP17	0.43	0.68	0.97	1.53	2.16	8760	40	114
Scz1 DKMP21	0.37	0.59	0.83	1.31	1.86	6860	34	124
Scz1 VH3	0.43	0.68	0.96	1.51	2.14	8030	34	125
Scz2 DKMP17	0.48	0.75	1.07	1.69	2.38	12490	46	171
Scz2 DKMP21	0.42	0.67	0.95	1.50	2.12	10920	47	160
Scz2 VH3	0.46	0.73	1.03	1.64	2.31	10620	38	176

Voorafgaand aan de berekeningen is door VolkerInfraDesign al het een en ander uitgesproken over de mogelijke kans op verweking. Uit de berekeningen blijkt dat over het algemeen geldt dat de aanwezige schelphoudende – en aanvulzanden zullen gaan verweken tot ongeveer 10 meter van de bron (buispaal). Dit was al deels voorspelt, daarom kan nu door middel van deze uitkomsten worden geconcludeerd dat de uitspraken juist waren. Voor de bodemopbouw van de drie locaties wordt verwezen naar de bijlage van dit rapport, hierin staan de tekeningen en sonderingen opgenomen. In het verleden zijn verwekingen opgetreden in de lagen bestaande uit schelphoudende – en aanvulzanden tijdens soortgelijke werkzaamheden.

Benadering relatieve dichtheid

- DKMP17

Uit de bepaling van de relatieve dichtheid voor deze sondering is gebleken dat de meest gevoelige laag op -0,4m tot -4 m NAP ligt. De zandlaag die hier van toepassing is is Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt). Uit de uitkomsten van Idriss & Boulanger komt ook diezelfde zandlaag als meest verwekingsgevoelig uit de berekening. De benadering is hier juist

- DKMP21

Uit de bepaling van de relatieve dichtheid voor deze sondering is gebleken dat de meest gevoelige laag op -5 m tot -12 m NAP zit. Deze zandlaag is een laag van *spisulazand1* welke al bekend staat om de verwekingsgevoeligheid. Uit de uitkomsten van Idriss & Boulanger komt ook diezelfde zandlaag als meest verwekingsgevoelig uit de berekening. De benadering is hier juist.

- VH3

Uit de bepaling van de relatieve dichtheid voor deze sondering is gebleken de meest gevoelige laag op ongeveer -8 m tot -13 m NAP zit. Deze zandlaag is ook een laag van *spisulazand*. Uit de uitkomsten van Idriss & Boulanger komt ook diezelfde zandlaag als meest verwekingsgevoelig uit de berekening. De benadering is hier juist.

Alle uitkomsten van de verschillende sonderingen staan opgenomen in bijlage 5 'Vergelijking sonderingen'.



2.2 Robertson (2009)

De methode van Robertson(2009) is het bepalen van de state parameter (ψ) van de 'schone zandlagen' waarmee je uit de gecorrigeerde conusweerstand de gevoeligheid van verweking kan bepalen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of er wel of geen verweking optreedt. Als de state parameter van de zandlaag kleiner is dan -0.1, dan treedt er geen verweking op. Uit de berekeningen zou dus ook moeten blijken welke zandlagen het meest verwekingsgevoelig zijn.

Robertson(1990) heeft een diagram ontwikkeld om het gedrag van de grond te identificeren aan de hand van genormaliseerde waarden voor de conusweerstand (q_{c1Ncs}) en het wrijvingsgetal (F_r) uit sonderingen, zie figuur 16, Qt-Fr chart. Deze parameters worden genormaliseerd met de effectieve verticale korrelspanning. [P.K. Robertson, *Estimating in-situ state parameter and friction angle in sandy soils from CPT*, 2010] De formules die hier voor gebruikt worden zijn als volgt:

$$q_{c1Ncs} = C_N \cdot (q_c / P_a)$$

Met daarin:

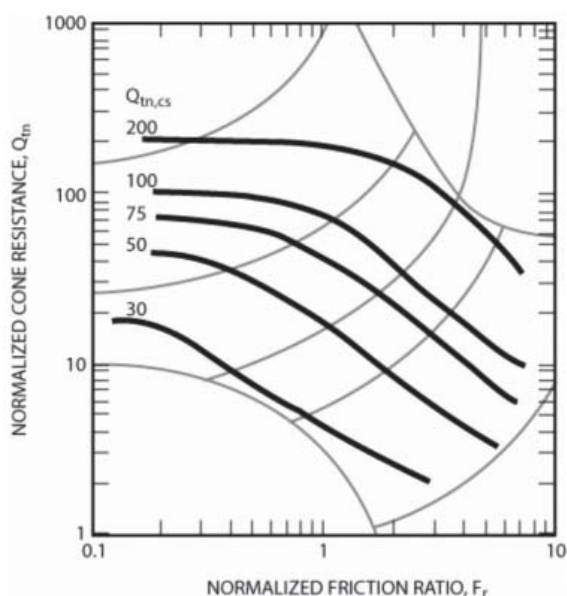
C_N	= Correctiefactor op de conusweerstand	[-]
P_a	= Atmosferische druk	[kPa]
q_c	= Conusweerstand uit sondering	[kPa]

$$F_r = [f_s / (q_c - \sigma_{vo})] \cdot 100\%$$

Met daarin:

f_s	= Wrijvingsgetal uit sondering	[kPa]
σ_{vo}	= Grondspanning op beschouwd niveau	[kPa]

Alle overige formules en uitkomsten van bovengenoemde parameters staan in het excel sheet in de bijlage.

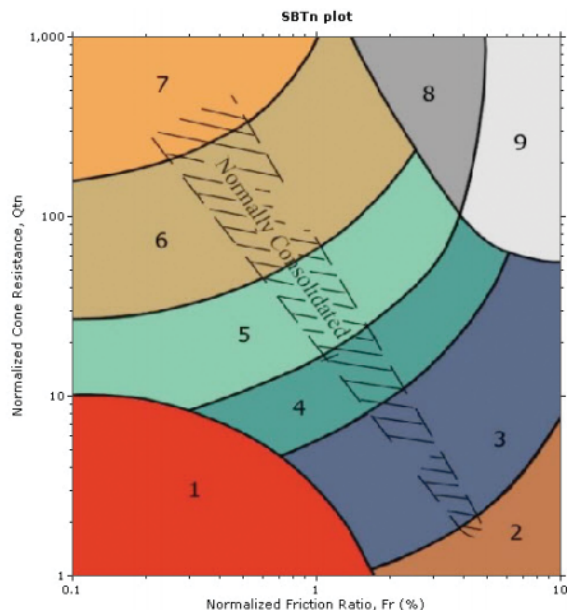


Figuur 16 Qt-Fr chart



Gedragstype grondsoorten (I_c)

Elke grondsoort heeft een bepaald gedragstype, deze wordt aangegeven met I_c . In 1993 hebben twee onderzoekers, Jefferies en Davies, ontdekt dat met de waarden voor I_c de zones voor de zogehete Soil Behaviour Type Index kan worden aangegeven in het diagram van Robertson(1990). Robertson en Wride(1998) hebben deze zo aangepast dat het daadwerkelijk kan worden toegepast in het diagram. Dit diagram staat hieronder weergegeven met de bijbehorende gedragstypes:



Figuur 17 Qt-Fr chart SBT

SBT zone	Proposed common SBT description
1	<i>Sensitive fine-grained</i>
2	<i>Clay - organic soil</i>
3	<i>Clays: clay to silty clay</i>
4	<i>Silt mixtures: clayey silt & silty clay</i>
5	<i>Sand mixtures: silty sand to sandy silt</i>
6	<i>Sands: clean sands to silty sands</i>
7	<i>Dense sand to gravelly sand</i>
8	<i>Stiff sand to clayey sand*</i>
9	<i>Stiff fine-grained*</i>

* Overconsolidated or cemented

Figuur 18 SBT zones

Om de index van het gedragstype te bepalen, wordt gebruik gemaakt van de volgende formule volgens Robertson en Wride(1998):

$$I_c = [(3,47 - \log q_{c1Ncs})^2 + (\log F_r + 1,22)^2]^{0,5}$$

Met: daarin:

q_{c1Ncs}	= Genormaliseerde conusweerstand	[kPa]
F_r	= Genormaliseerd wrijvingsgetal volgens Robertson	[kPa]



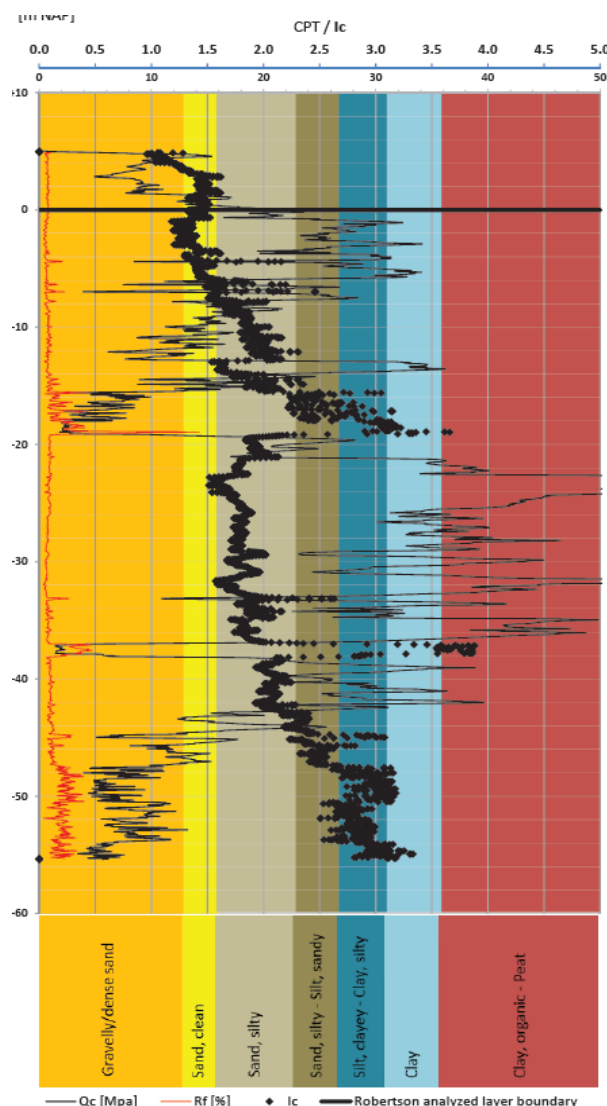
Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

Via Volker Infra Design is een voorbeeld voor de waarden van I_c verkregen om zo een beeld te krijgen van de verschillen tussen de grondlagen. De sondering die hier van toepassing is, is DKMP09. Hieronder staat als eerste de grondopbouw weergegeven gevolgd door de uitkomsten van VID. Het volledige diagram is in de bijlage opgenomen

Tabel 12 grondopbouw DKMP09

Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	5	1,8
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden	1,8	-0,2
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten	-0,2	-0,72
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	-0,72	-6
Overgangslaag: zand/klei, veendetritus, gelaagd	-6	-7
Spisulazand 1	-7	-12,3
Spisulazand 2	-12,3	-17
Klei, humeus, compact	-17	-18,5
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden	-18,5	-21
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden	-21	-43
Eem formatie en formatie van Drente; Eem klei en keileem	-43	-58

Figuur 19 I_c , DKMP09 (VID)

Op de figuur links staan de uitkomsten van het gedragstype per grondlaag. De dikgedrukte zwarte stippen geven de I_c aan. Om aan te geven welke I_c waarden welk type grondsoort aangeeft is hier een tabel voor opgesteld aan de hand van de figuur.

Tabel 13: Categorie gedragstype index I_c

Categorie grondsoort	Gedragstype index (I_c)
Dense sand to gravelly sand	0 - 1.3
Clean sand	1.3 – 1.64
Silty sand	1.64 – 2.3
Silty sand to sandy silt	2.3 – 2.7
Clayey silt, silty clay	2.7 – 3.1
Clay	3.1 – 3.65
Clay, organic - peat	3.65 – 5.0



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

Aan de hand van vroegere studies naar verweking hebben Robertson en Wride(1998) voorgesteld om een correctiefactor (K_c) toe te kennen aan de genormaliseerde conusweerstand van de siltige zandlagen. Deze wordt als volgt:

$$q_{c1Ncs+Kc} = K_c * q_{c1Ncs} \quad [\text{kPa}]$$

De waarde voor K_c is een functie van de samenstelling van de zandlaag welke kan worden bepaald in relatie met I_c , als volgt:

$$\text{Als } I_c \leq 1,64 \rightarrow K_c = 1,0$$

$$\text{Als } I_c > 1,64 \rightarrow K_c = 5,581 I_c^3 - 0,403 I_c^4 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

De uitkomsten voor de waarden van het gedragstype index staan hier onder weergegeven en komen nagenoeg overeen met de waarden verkregen van VolkerInfraDesign, door het aflezen van de sondering kunnen kleine verschillen worden waargenomen met betrekking tot wrijvingsgetallen en de conusweerstand per grondlaag.

Tabel 14: I_c categorisering per grondlaag

Grondlaag	I_c Berekend	Categorie
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	1.79	Siltig zand
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	1.70	Siltig zand
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	1.55	Schoon zand
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	2.26	Siltig zand tot zandig silt
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	2.20	Siltig zand
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	2.03	Siltig zand
Formatie van Bortel, matig fijne zanden	2.09	Siltig zand

2.2.1 State parameter (ψ)

Zoals gezegd kan aan de hand van de genormaliseerde conusweerstand en het wrijvingsgetal worden bepaald wat de state parameter van de schone zandlagen is. Hieruit kan worden opgemaakt of de laag wel of geen dilatant gedrag vertoont. Er geldt het volgende:

Als $\psi < -0,1 \rightarrow$ Contractant gedrag

Als $\psi \geq -0,1 \rightarrow$ Dilatant gedrag

De formule die gehanteerd wordt bij het bepalen van de state parameter (ψ) is als volgt:

$$\Psi = 0,485 - 0,314 * \log q_{c1Ncs+Kc} \quad [-]$$

De berekening van de state parameter per zandlaag is uitgevoerd voor sondering DKMP09, hieronder staan de uitkomsten weergegeven:

Tabel 15: Zettingsvloeiing-gevoelige lagen volgens Robertson (sondering DKMP09)

Grondlaag	Ψ	WEL/NIET
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	-0.185047734	NIET
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-0.204035813	NIET
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	-0.196958106	NIET
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	-0.106863835	NIET
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	-0.105475101	NIET
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	-0.1288344	NIET
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-0.126131359	NIET
Formatie van Bortel, matig fijne zanden	-0.185047734	NIET



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

2.3 Vergelijking berekeningsmethodes

Om te kijken of de uitkomsten van de verschillende methodes overeenkomen, zijn deze vergeleken met elkaar. Hierbij is gekeken welke lagen volgens de berekeningen het meest verwekingsgevoelig zijn en of dit met elkaar overeen komt. De uitkomsten zijn van sondering DKMP09, welke tevens wordt toegepast bij het ontwerp van de dukdalf. De lagen zijn genummerd van 1 t/m 8, met 8 is meest verwekingsgevoelig.

Grondlaag	Idriss & Boulanger	Robertson (2009)
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	5	5
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden	7	7
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten	8	8
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	6	6
Spisulazand 1	1	1
Spisulazand 2	2	2
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden	4	4
Formatie van Bostel, matig fijne zanden	3	3

Bij bovenstaande vergelijking worden alle zandlagen meegenomen, echter is het van belang om daadwerkelijk te kijken naar de verwekingsgevoelige lagen aangezien bij de overige lagen verweking geen rol zal spelen in de praktijk. Als vervolg hier op kan het invloedsgebied voor verweking worden bepaald. Hoe verder van de paal verweking optreedt, hoe groter het risico wordt. Aan de hand van de doorsnede ter plaatse en de grondopbouw is bepaald dat de verwekingsgevoelige lagen zijn: Strand- en vooroeverzanden(Stz,nat), Spisulazand 1 en Spisulazand 2.

Als hierin een vergelijking wordt gemaakt, wordt deze als volgt:

Grondlaag	Idriss & Boulanger	Robertson(2009)
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	3	3
Spisulazand 1	1	1
Spisulazand 2	2	2

2.3.1 Relatieve dichtheid benadering

Voorafgaand aan de berekeningen voor de verwekingsgevoeligheid, is met behulp van de relatieve dichtheid een benadering gedaan voor de zandlagen. Hoe lager de relatieve dichtheid, des te meer de laag gevoelig is voor verweking. Deze uitkomsten zijn ook vergeleken met de uitkomsten van de berekeningsmethodes.

Grondlaag	Idriss & Boulanger	Robertson(2009)	Relatieve dichtheid
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	1.29	-0.196958106	75%
Spisulazand 1	0.45	-0.106863835	32%
Spisulazand 2	0.48	-0.105475101	34%

Grondlaag	Idriss & Boulanger	Robertson(2009)	Relatieve dichtheid
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	3	3	3
Spisulazand 1	1	2	1
Spisulazand 2	2	1	2



2.3.2 Vergelijking state parameter Boskalis

Onze begeleider A. Feddema heeft via Boskalis een uitwerking weten te krijgen waar de state parameter in staat weergegeven van sondering DKMP09. Er is dan ook een vergelijking gemaakt van de verkregen waarden ter validatie van de rekenmethode die gehanteerd is. Wanneer deze berekening kloppend blijkt kan worden gesteld dat er met behulp van Robertson(2009) een goede indicatie kan worden gegeven welke grondlagen verwekingsgevoelig zullen zijn. Hier kan dan extra rekening mee worden gehouden wanneer er trillingen ontstaan tijdens werkzaamheden nabij deze grondlagen.

Boskalis heeft de state parameter uitgezet in de sondering zelf, hier hebben wij de minimale waarden uit gehaald en in een tabel weergegeven om zo goed met de berekende waarden te kunnen vergelijken. Hieronder staan de uitkomsten van zowel onze berekeningen als de bevindingen van Boskalis. De state parameter staat uitgezet in de sondering welke staat opgenomen in bijlage 4 'State parameter DKMP09 volgens Boskalis'. De state parameter wordt alleen voor de 'schone' zandlagen berekend aangezien klei/veen niet gevoelig zijn voor zettingsvloeiingen.

Grondlaag	ψ Robertson(2009)	ψ Boskalis
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	-0.185047734	-0,221
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden	-0.204035813	-0.224
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten	-0.248678353	-0.237
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten nat	-0.196958106	-0.215
Spisulazand 1	-0.106863835	-0,117
Spisulazand 2	-0.105475101	-0,045
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden	-0.1288344	-0,114
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden	-0.126131359	N.V.D.

De grafiek met de state parameter van Boskalis (DKMP09) staat in de bijlage opgenomen van dit rapport.

Om te kijken of de resultaten overeenkomen staan hieronder de grondlagen weergegeven, genummerd van 1 t/m 7. Daarin is 1 het meest gevoelig en 7 het minst gevoelig. Geconcludeerd kan worden, is dat de nummers overeenkomen.

Grondlaag	ψ Robertson(2009)	ψ Boskalis
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	4	4
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden	6	5
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten	7	7
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten nat	5	6
Spisulazand 1	2	3
Spisulazand 2	1	1
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden	3	2
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden	-	-



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

2.3.3 Conclusie

Zodra de verwekingsgevoelige lagen worden vergeleken met elkaar van de verschillende berekeningsmethodes kan worden opgemaakt dat deze met elkaar overeen komen. Uit de berekeningen blijkt dat de laag twee schelphoudende zandlagen in alle gevallen het meest verwekingsgevoelig zijn, dit geldt ook voor de uitkomsten van de state parameter van Boskalis en de benadering met de relatieve dichtheid. Tussen deze twee zanden zit weinig verschil en daarom zal hier dan ook geen onderscheid in hoeven te worden gemaakt.

Voor de exacte uitkomsten van de berekeningen wordt verwezen naar bijlage 6. Hierin staan de methodes volledig uitgewerkt inclusief uitkomsten van alle verschillende parameters.



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

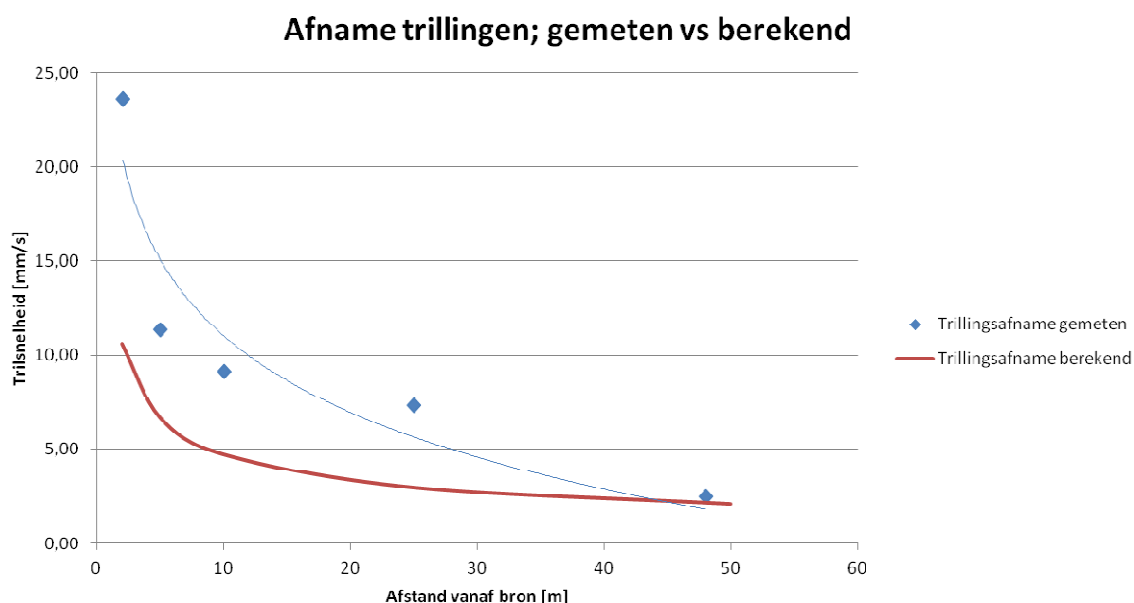
Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

2.4 Vergelijking OpenIJ

Om te controleren of de berekeningen met de realiteit overeenkomen zullen de berekende waarden met de gemeten waarden van OpenIJ worden vergeleken. De sondering die hier van toepassing is, is DKMP17 aangezien deze ter hoogte van de praktijkproeven is gesitueerd en daarmee het meest zal overeenkomen met de uitkomsten van de metingen van OpenIJ.

2.4.1 Trillingsafname

De trilsnelheden tijdens het intrillen van buispaal 2 zijn zowel van te voren berekend als tijdens de uitvoering gemeten. De berekende waarden zijn de verwachtingswaarden en zouden dus een beeld moeten geven van de realiteit. Hieronder zijn de berekende waarden vergeleken met de gemeten waarden;



TRILLEN					
Symbol	Uitkomsten berekend	Uitkomsten gemeten	verschil	Eenheid	
TDS1	10,59	23,63	13,04	mm/s	
TDS2	6,70	11,35	4,65	mm/s	
TDS3	4,74	9,11	4,38	mm/s	
TDS4	3,00	7,37	4,37	mm/s	
TDS5	2,12	2,50	0,38	mm/s	

Figuur 20: vergelijking van de gemeten en berekende waarde voor de trillingsafname

Hieruit is op te maken dat de gemeten waarden hoger uitvallen dan de berekende waarde. De berekeningen geven dus een onjuist beeld van de realiteit. De reden dat de berekeningen niet overeen komen zou te verklaren kunnen zijn doordat er bij het berekenen van het trillingsverloop, de grondeigenschappen niet worden meegenomen terwijl deze juist veel invloed hebben op deze trillingen. Ook de keuze voor het bodemprofiel 'Amsterdam' heeft invloed op de uitkomsten aangezien deze V_0 en C_{vel} bepaalt. Doordat er zich bij OpenIJ veel los gepakte zandlagen bevinden, zullen de trillingssnelheden minder snel aflopen dan bij een normaal gepakte grond. Hierdoor zullen de waarden van de gemeten waarden dan ook hoger zijn dan de berekende waarden.



2.4.2 Zettingsvloeiingen Idriss & Boulanger

De tabel hieronder geeft de uitkomsten weer van de Idriss en Boulanger methode. Volgens deze methode zouden de lagen verweken wanneer de uitkomst lager is dan 1. De lagen in het rode kader zijn de verwekingsgevoelige lagen.

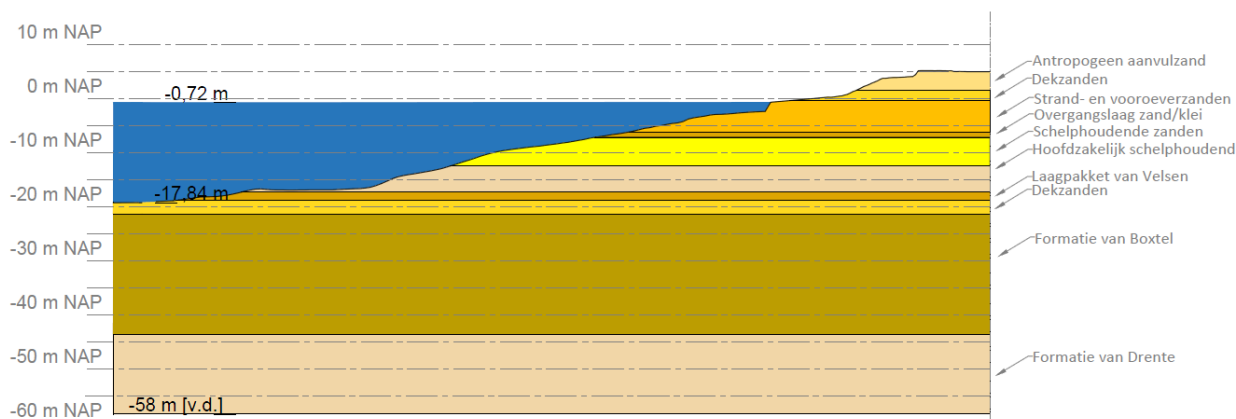
Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	2.5515	1.6137	1.1411	0.7217	0.5103
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.54	0.85	1.21	1.91	2.70
AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)	0.37	0.59	0.84	1.32	1.87
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.57	0.90	1.27	2.01	2.85
Scz1: Spisulazand 1	0.43	0.68	0.97	1.53	2.16
Scz2: Spisulazand 2	0.48	0.75	1.07	1.69	2.38
Dz: dekzand	0.58	0.92	1.30	2.06	2.91
Bx: formatie van Bostel	0.52	0.83	1.17	1.85	2.61
Ur: Formatie van Urk	0.43	0.69	0.97	1.54	2.17

Figuur 21: uitkomsten Idriss & Boulanger

Volgens deze methode zouden er dus enkele zettingsvloeiingen plaats hebben moeten vinden. In praktijk zijn deze echter niet tot nauwelijks ontstaan. De berekeningen komen dus ook hier niet overeen met de realiteit. wat wel terug te zien is, is dat de lagen die het meest gevoelig waren voorspelt ook de laagste uitkomsten hebben en daarmee dus ook volgens de berekeningen het meest gevoeligst zijn.

Een mogelijke reden voor het niet ontstaan van de zettingsvloeiingen is de vorm van het talud. Een van de randvoorwaarden voor het ontstaan van zettingsvloeiingen is dat het talud voldoende steil is. De hellingen van het project gebied zijn vrij klein en zouden daarom dus als mogelijke reden kunnen worden gezien voor het niet verweken van de gevoelige lagen.

Hieronder staat de grondopbouw welke is toegepast bij de vergelijking met OpenIJ.



Figuur 22 Grondopbouw DKMP09



2.4.3 Zettingsvloeiingen Robertson

De andere gebruikte methode is die van Robertson. Hierbij zouden er zettingsvloeiingen moeten ontstaan wanneer de uitkomsten groter zijn dan -0.1. Hieronder de uitkomsten weergegeven in een tabel;

Grondlaag		ψ	WEL/NIET
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).		-0.085029324	NIET
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt, nat).		-0.081172528	WEL
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.		-0.143734055	NIET
Kleilaag			
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt		-0.090524506	WEL
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand		-0.101555548	NIET
Kleilaag			
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.		-0.121338448	NIET
Formatie van Bortel, matig fijne zanden		-0.10857895	NIET
Kleilaag			

Figuur 23: uitkomsten methode Robertson

Uit de uitkomsten is af te leiden dat er verweking optreedt in de volgende lagen:

- AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)
- Scz1: Spisulazand 1

Uit de uitkomsten is af te leiden dat er, in tegenstelling tot de praktijk, wel zettingsvloeiingen plaats vinden. Ook hebben de zandlagen die het meest gevoelig werden geacht de hoogste waarden en daarmee de grootste kans op verweken. De reden waarom de berekeningen weer verschillen van de realiteit wordt wederom verklaard door een niet steil genoeg talud.



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

2.4.4 Conclusie

Grotendeels komen de berekeningen niet overeen met de realiteit. De gemeten trillingswaarden blijken groter te zijn dan de berekende maar de zettingsvloeiingen die volgens de berekeningen op zouden moeten treden hebben in de praktijk niet plaats gevonden. Verklaringen hiervoor zijn enkele randvoorwaarden die in de berekeningen niet worden meegenomen.

Zo wordt voor het berekenen van der trillingsafname geen rekening gehouden met de eigenschappen van de grond. In de praktijk worden de trillingen veel minder gedempt door de aanwezige losgepakte en schelphoudende zanden. Dit wordt in de berekeningen dus niet meegenomen. Verder kan het verschil tussen de theorie van Idriss & Boulanger en de praktijk verklaard worden door een te flauw talud.

Al met al geven de verschillende rekenmethodieken wel een zeer goede indicatie van de gevoeligheid voor zettingsvloeiingen per laag die ook overeenkomen met de praktijk. Hier kan in de toekomst wel degelijk mee worden gewerkt om zo aan de hand van sonderingen te bepalen of maatregelen moeten worden toegepast of niet.

Ook onderling blijken de verschillen rekenmethode aardig overeen te komen. Hiermee kan worden uitgegaan dat de verschillende methoden een redelijk betrouwbare uitkomst geven. Het enige wat ze tekort komen is de input van de geometrie van de taluds. Naast de grondsoort blijkt ook dat de steilheid van het talud een belangrijk gegeven te zijn voor het ontstaan van zettingsvloeiingen. Als de geometrie nog in de verschillende methode verwerkt kan worden, zouden deze methode een realistischere uitkomsten geven. Het is ook mogelijk om door midden van proeven te bepalen bij welke taludsteilheid een zandsoort zal vloeien. Deze gegevens kunnen vervolgens samen met de berekeningsmethode gekoppeld kunnen worden om daarmee in de toekomst betere voorspellingen te kunnen leveren.



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

3. SYMBOLEN LIJST

$a_{\max, \text{trillen}}$	Maximale horizontale versnelling bij trillingen	[m/s ²]
$a_{\max, \text{heien}}$	Maximale horizontale versnelling bij heien	[m/s ²]
a	Dempingsconstante	[m/s ⁻¹]
C_{vel}	Emperische parameter, afhankelijk van de grondslag	[m/s]
C_{σ}		[-]
C_N	Correctiefactor	[-]
E_h	Energie heiblok	[Nm]
F_r	Genormaliseerd wrijvingsgetal volgens Robertson	[kPa]
f_s	Wrijvingsgetal	[%]
f	Frequentie	[Hz]
f_{trilblok}	Slagkracht trilblok	[kN]
I_C	Gedragstype index grondlaag	[kN/m ³]
K_C	Correctiefactor op genormaliseerde conusweerstand	[-]
K_{σ}	Correctiefactor isotrope spanningstoestand	[-]
M	Magnitude	[-]
MSF-zand	Magnitude schaalfactor voor zandgronden	[-]
MSF-klei	Magnitude schaalfactor voor kleigronden	[-]
m_{heiblok}	Massa heiblok	[kg]
n	Toerental	[tpm]
P_a	Atmosferische druk	[kPa]
q_c	Conusweerstand	[kPa]
q_{c1Ncs}	Genormaliseerde conusweerstand	[kN/m ²]
R_e	Relatieve dichtheid	[%]
r_d	Diepte reductiefactor	[-]
V_0	Referentietrillingssnelheid op 5 m afstand	[m/s]
$V_{0, \text{corr}} (x=5\text{m})$	Verwachtingswaarde voor de bronsterkte	[m/s]
z	Diepte onder onder maaiveld	[m]
$\alpha(z)$		[-]
$\beta(z)$		[-]
σ'_{v0}	Korrelspanning op beschouwd niveau	[kPa]
σ_{v0}	Grondspanning op beschouwd niveau	[kN/m ²]
σ_{water}	Waterspanning op beschouwd niveau	[kN/m ²]
γ_{droog}	Volumegewicht droog	[kN/m ³]
γ_{nat}	Volumegewicht nat (verzadigd)	[kN/m ³]
ψ	State parameter	[-]



4 FIGUREN- EN TABELLENLIJST

Figuren

Figuur 1 Locaties sonderingen	5
Figuur 2 Bodemopbouw Werkhaven (1).....	6
Figuur 3 Bodemopbouw Werkhaven (2).....	7
Figuur 4 Bodemopbouw Voorhavendam	8
Figuur 5 Trillingssnelheden PVE2350 - IHC S120	10
Figuur 6 Maximale versnellingen PVE2350 - IHC S120.....	10
Figuur 7 Relatieve dichtheid DKMP17	12
Figuur 8 Relatieve dichtheid DKMP21.....	13
Figuur 9 Relatieve dichtheid VH3	14
Figuur 10 FSliq werkhaven(1) trillen.....	17
Figuur 11 FSliq Werkhaven(1) heien.....	18
Figuur 12 FSliq werkhaven(2) trillen.....	19
Figuur 13 FSliq werkhaven(2) heien.....	20
Figuur 14 FSliq Voorhavendam trillen	21
Figuur 15 FSliq Voorhavendam heien	22
Figuur 16 Qt-Fr chart	24
Figuur 17 Qt-Fr chart SBT	25
Figuur 18 SBT zones.....	25
Figuur 19 Ic, DKMP09 (VID).....	26
Figuur 20: vergelijking van de gemeten en berekende waarde voor de trillingsafname	31
Figuur 21: uitkomsten Idriss & Boulanger.....	32
Figuur 22 Grondopbouw DKMP09	32
Figuur 23: uitkomsten methode Robertson	33

Tabellen

Tabel 1 Aanpak analyse Idriss & Boulanger	4
Tabel 2 Locatie vs. sondering.....	5
Tabel 3 Grondgegevens DKMP17.....	6
Tabel 4 Grondgegevens DKMP21.....	7
Tabel 5 Grondgegevens VH3	8
Tabel 6 FSliq Werkhaven(1) trillen	17
Tabel 7 FSliq Werkhaven(1) heien	18
Tabel 8 FSliq Werkhaven(2) trillen	19
Tabel 9 FSliq werkhaven(2) heien.....	20
Tabel 10 FSliq Voorhavendam trillen	21
Tabel 11 FSliq Voorhavendam heien	22
Tabel 12 grondopbouw DKMP09	26
Tabel 13: Categorie gedragstype index Ic.....	26
Tabel 14: Ic categorisering per grondlaag	27
Tabel 15: Zettingsvloeiing-gevoelige lagen volgens Robertson (sondering DKMP09)	27



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Berekeningsmethodiek zettingsvloeiingen

5 BIJLAGE

Nr.	Omschrijving
1	Sonderingen • Werkhaven DKMP17 • Werkhaven DKMP21 • Voorhavendam VH3 • Voorhavendam DKMP09
2	Grondopbouw • Werkhaven DKMP17 • Werkhaven DKMP21 • Voorhavendam VH3 • Voorhavendam DKMP09
3	CPT / Ic index [DKMP09]
4	State parameter DKMP09 volgens Boskalis
5	Spreadsheet Idriss & Boulanger • Werkhaven DKMP17 • Werkhaven DKMP21 • Voorhavendam VH3 • Vergelijking DKMP17/DKMP21/VH3 • Voorhavendam DKMP09
6	Spreadsheet Robertson(2009) • Voorhavendam DKMP09 • Werkhaven DKMP17



BIJLAGE 1

Sonderingen

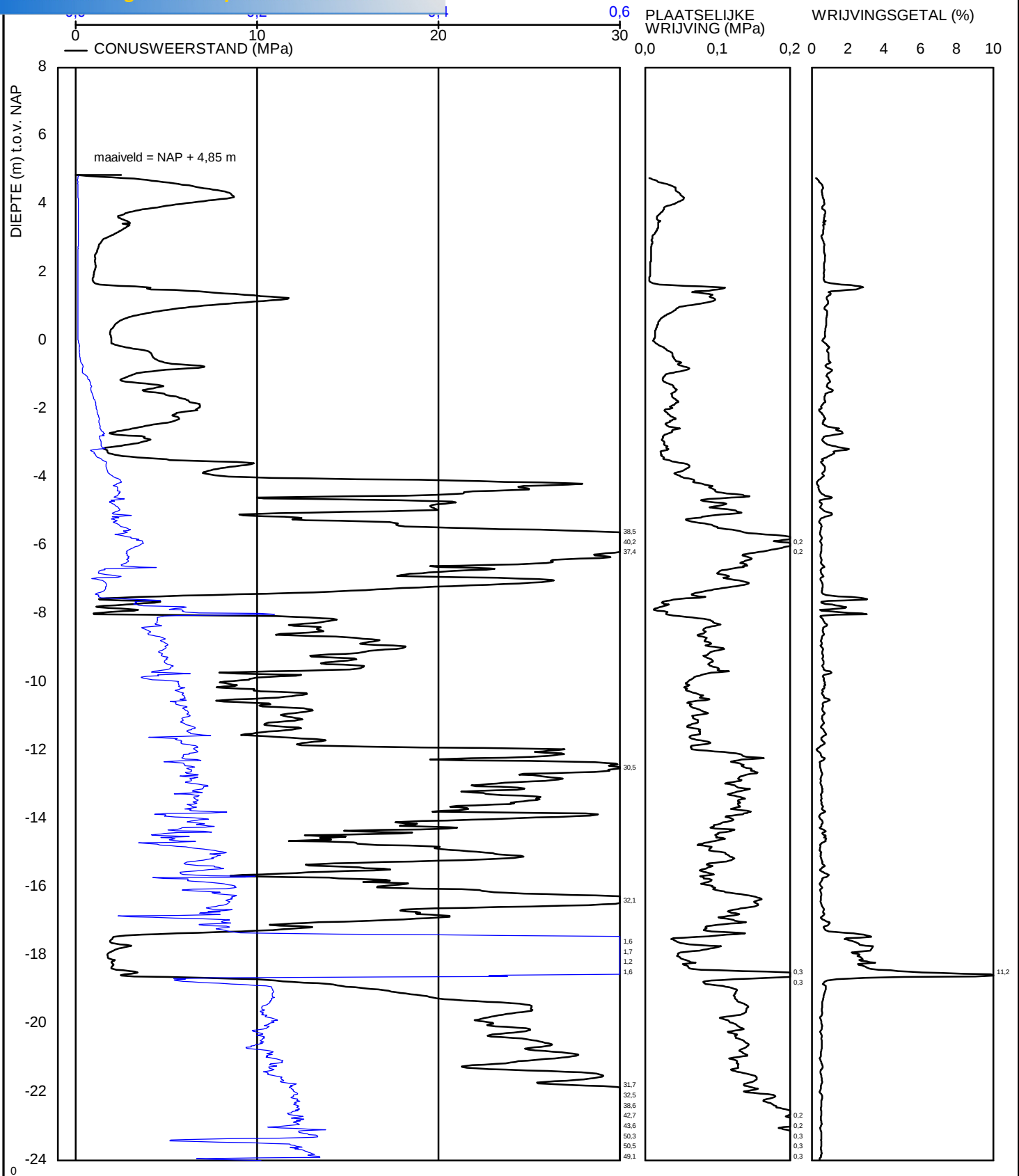
Werkhaven	DKMP17
Werkhaven	DKMP21
Voorhavendam	VH3
Voorhavendam	DKMP09



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



Telefoon
Telefax

datum

get.

2012-08-20

-

gez.

CPT-1012-0127-000/-

form.

BIJL.

-

A4

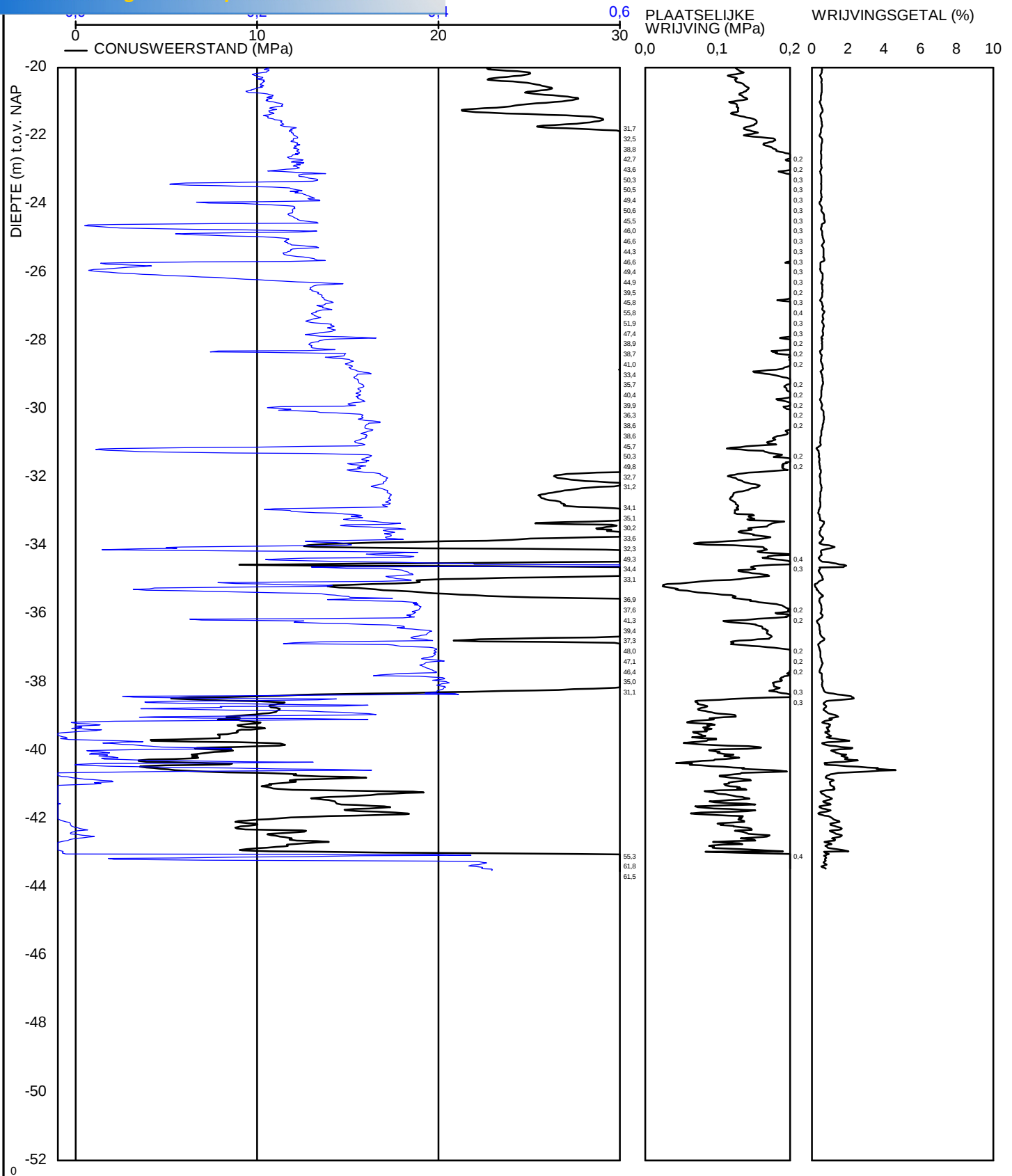
Sondering DKMP17 [Blad 1 / 2]



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



Telefoon
Telefax

datum

get.

2012-08-20

-

gez.

CPT-1012-0127-000/-

form.

BIJL.

-

A4

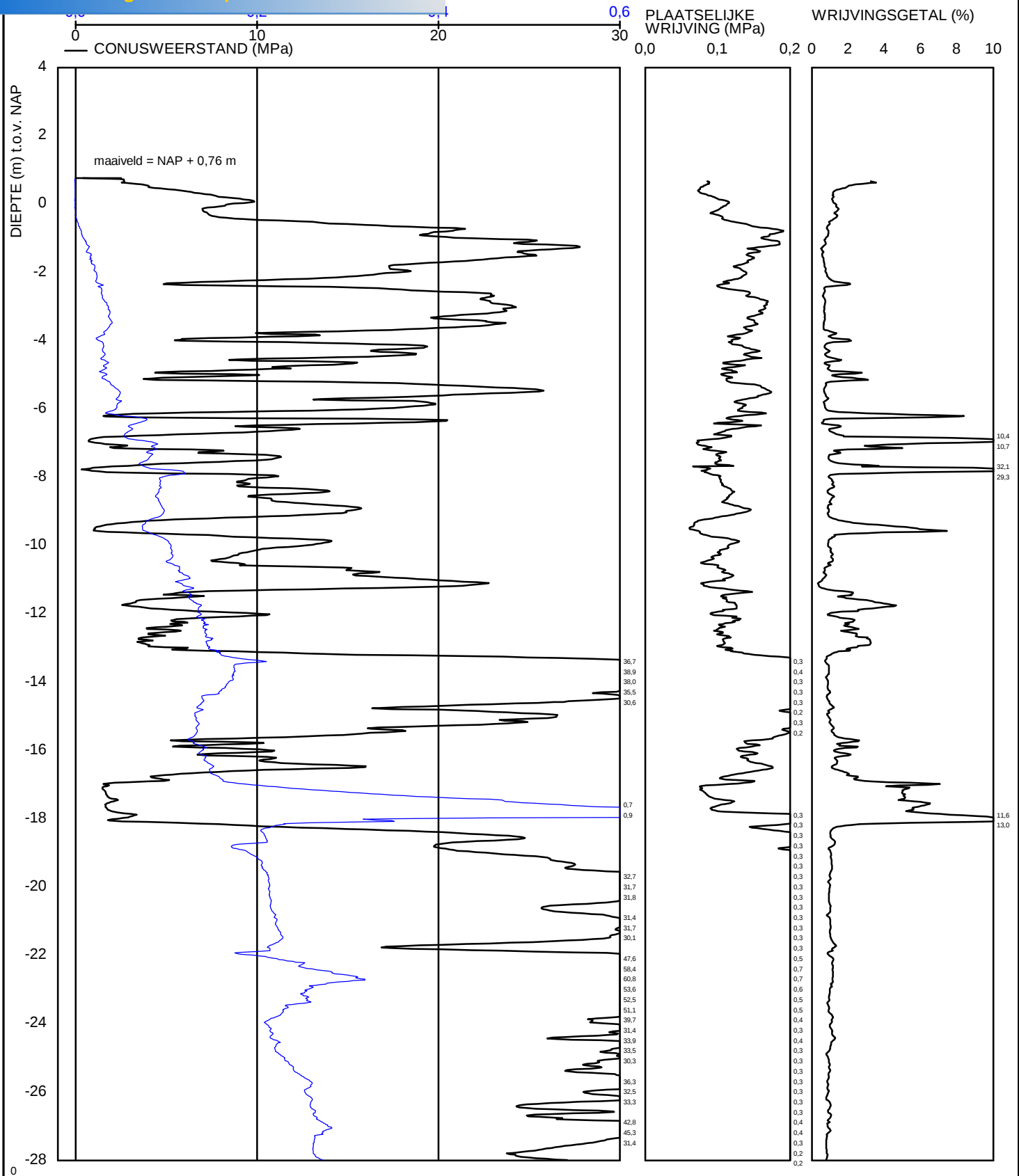
Sondering DKMP17 [Blad 2 / 2]



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



Telefoon
Telefax

datum

get.

2012-08-13

-

gez.

CPT-1012-0127-000/-

form.

BIJL.

-

A4

Sondering DKMP21

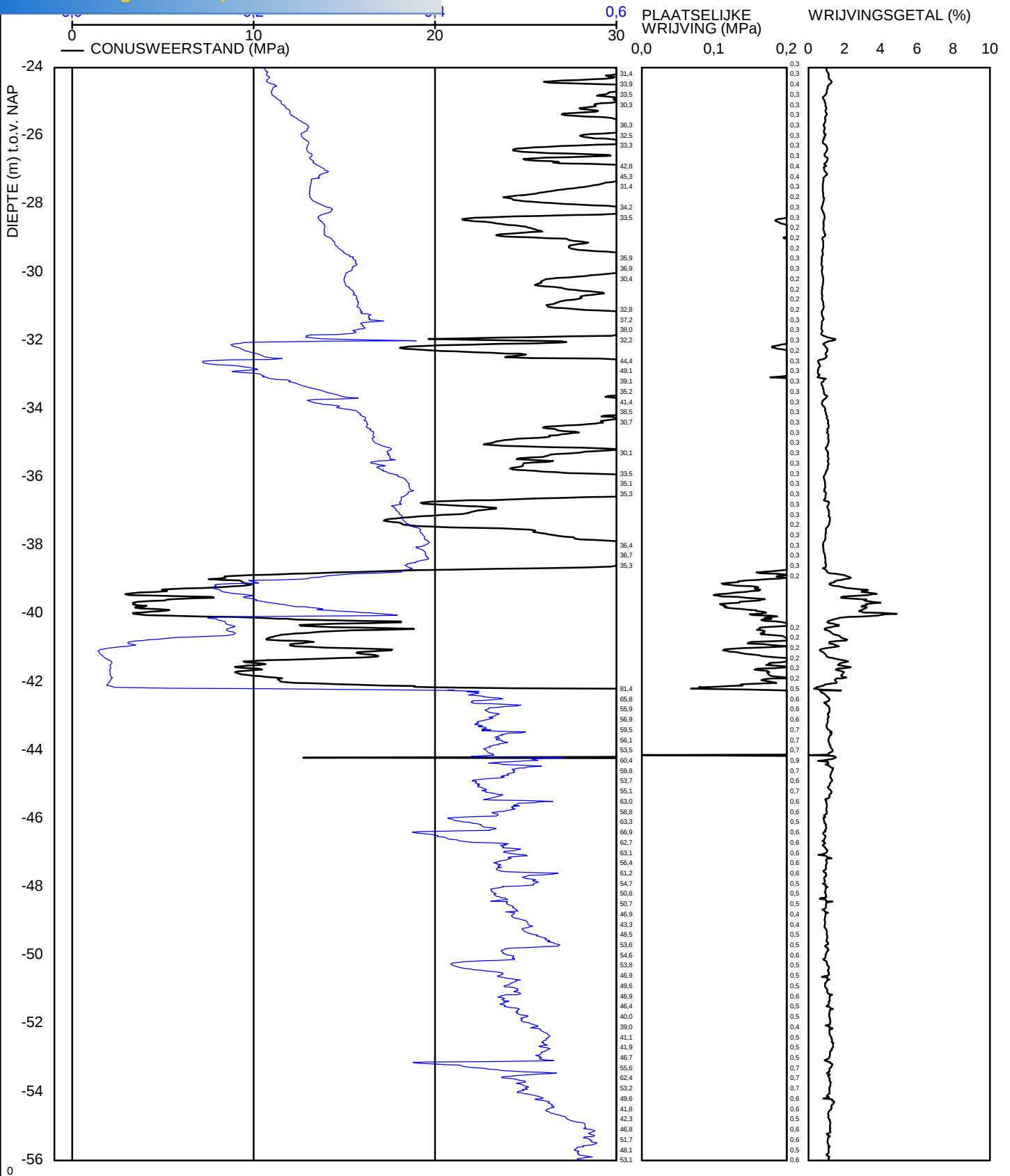
[Blad 1 / 3]



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



Telefoon
Telefax

datum

get.

2012-08-13

-

gez.

CPT-1012-0127-000/-

form.

BIJL.

-

A4

Sondering DKMP21

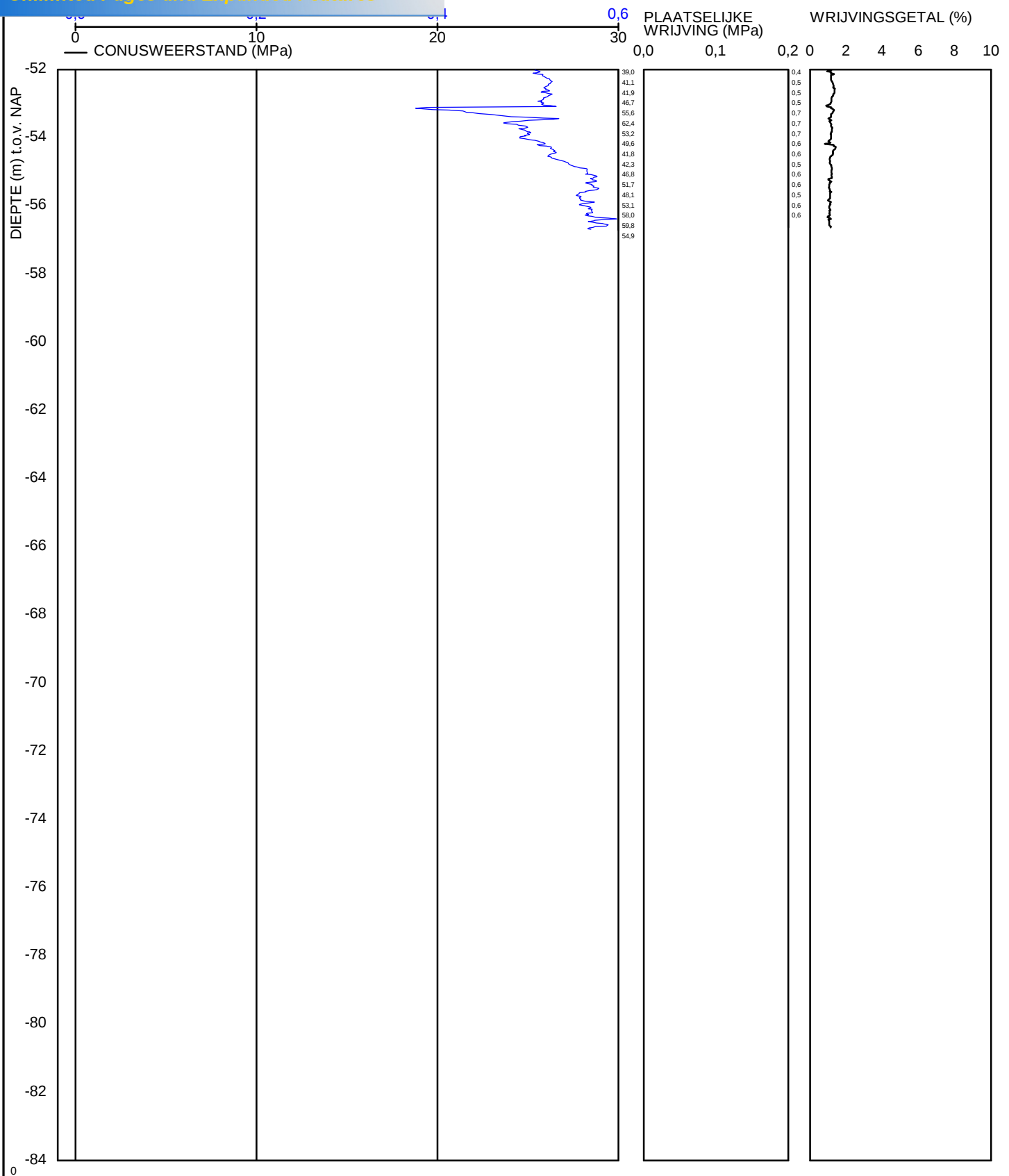
[Blad 2 / 3]



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



Telefoon
Telefax

datum

get.

2012-08-13

-

gez.

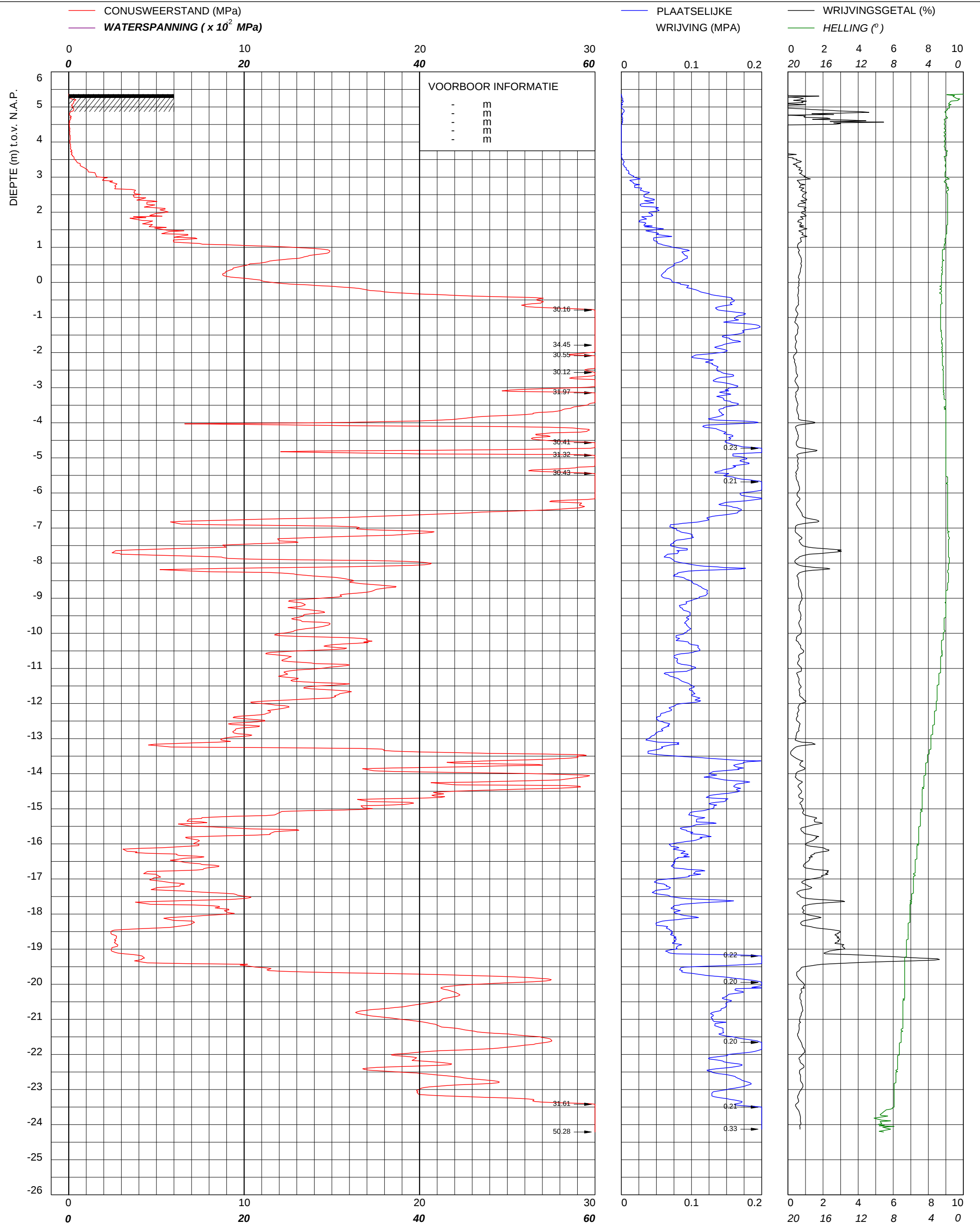
CPT-1012-0127-000/-

form.

BIJL. -

A4

Sondering DKMP21 [Blad 3 / 3]





bam
infra

BAM Infraconsult bv
Contactweg 60
1014 BW AMSTERDAM
Telefoon (020) 410 85 43
Email info@baminfraconsult.nl

© copyright

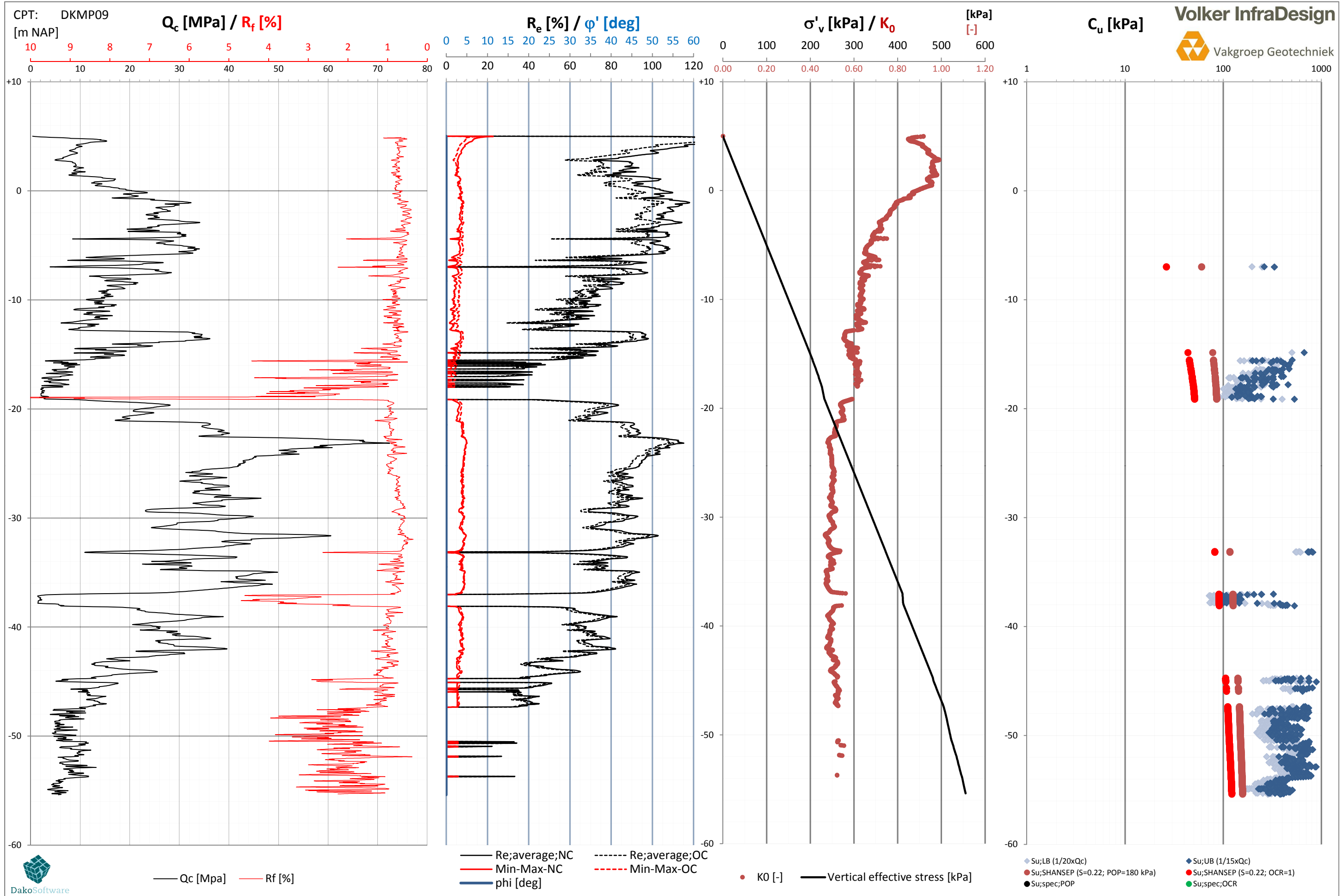
Sondering TE1 volgens NEN-EN-22476, klasse 3
Conus: 141204, Ac: 1.500 mm2 Filterpositie U2

**Combinatie OpenIJ
Zeetoeegang IJmond**

MV	5.366 m N.A.P.	X	101149
Km		Y	497985
Uitvoeringsdatum		6-1-2016	
Printdatum		7-1-2016	

Opdrachtnummer :
002708-001

Locatiecode :
VH3



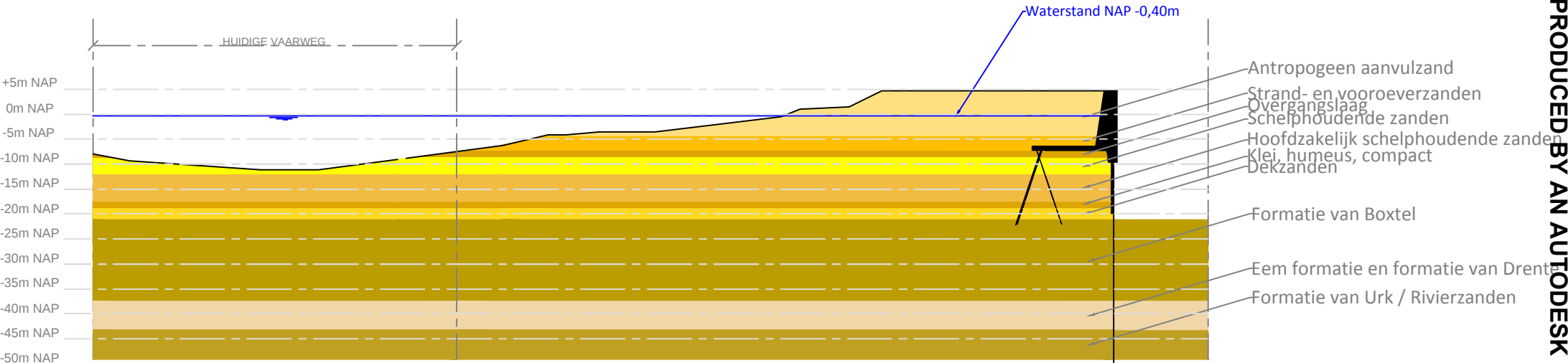


BIJLAGE 2

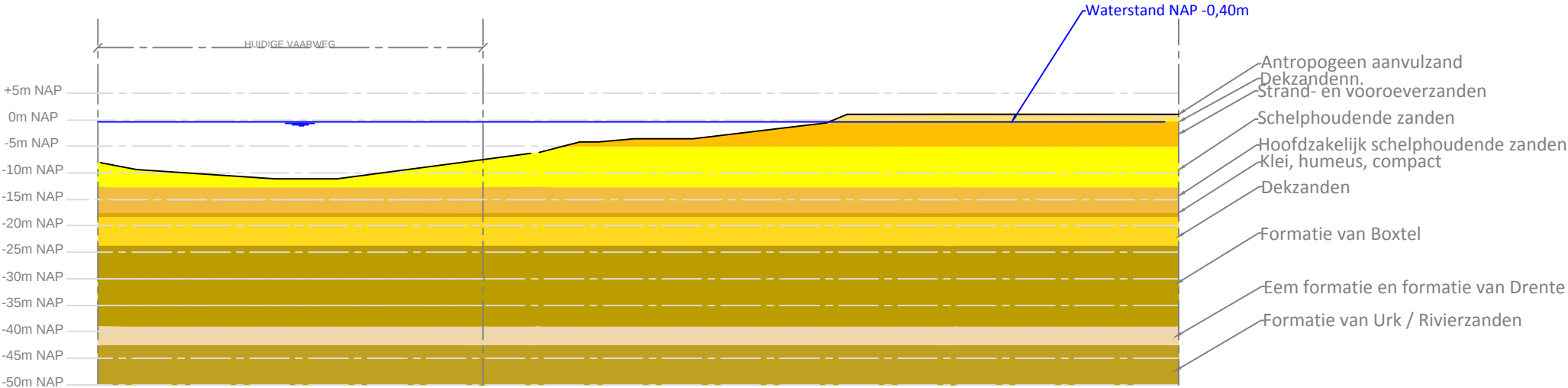
Grondopbouw

Werkhaven	DKMP17
Werkhaven	DKMP21
Voorhavendam	VH3
Voorhavendam	DKMP09

DKMP17



			Get.	Volker Staal en Funderingen bv TECHNISCH BUREAU Auteursrecht voorbehouden volgens de wet.	Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578	
		Eerste uitgave	Omschrijving		Schaal : 1:1	
			Datum	PROJECT : OpenIJ		Datum : 19-5-2016
		0	Wijz.	BENAMING : Grondopbouw DKMP17		Get. : Nick Jackson
						Gez. :
						TEKENING NR. : G-01-DKMP17
						WIJZ. :



			Get.
		Eerste uitgave	Omschrijving
			Datum
	0	Wijz.	



Volker Staal en Funderingen bv

TECHNISCH BUREAU

Auteursrecht voorbehouden volgens de wet.

OPDRACHTGEVER : VSF

PROJECT : OpenIJ

BENAMING : Grondopbouw DKMP21

Quarantaineweg 10
3089 KP Rotterdam
Postbus 54548
3008 KA Rotterdam
Telefoon 010-2992288
Telefax 010-2992277
Handelsreg. Rotterdam 24229578

Schaal :

Datum :

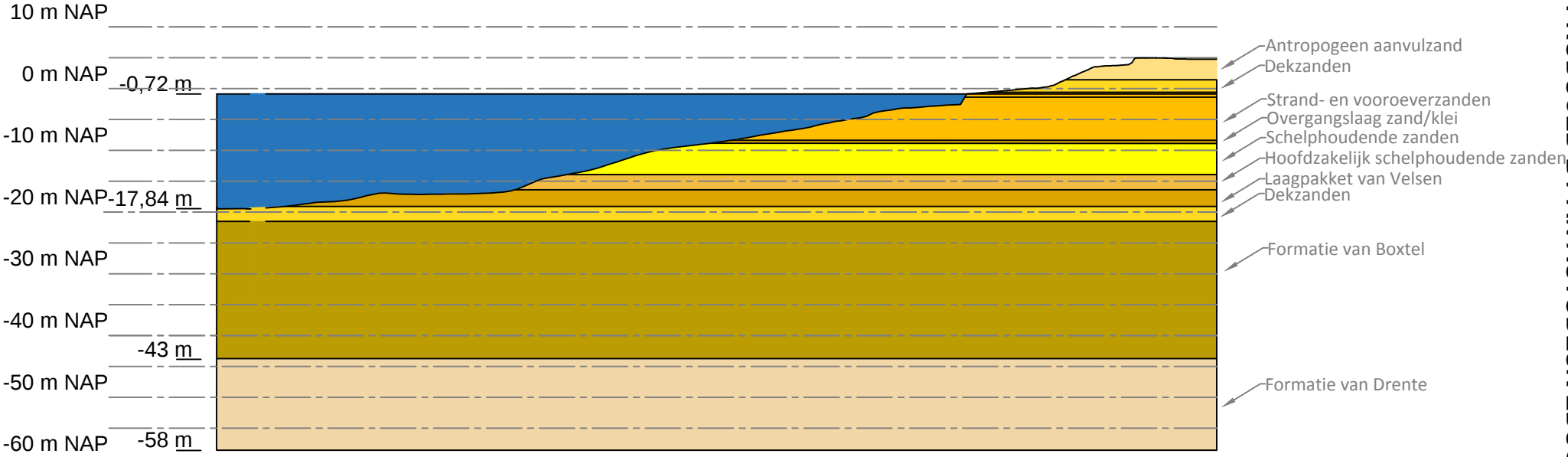
Get. : Nick Jackson

Gez. :

TEKENING NR. : G-1-DKMP21

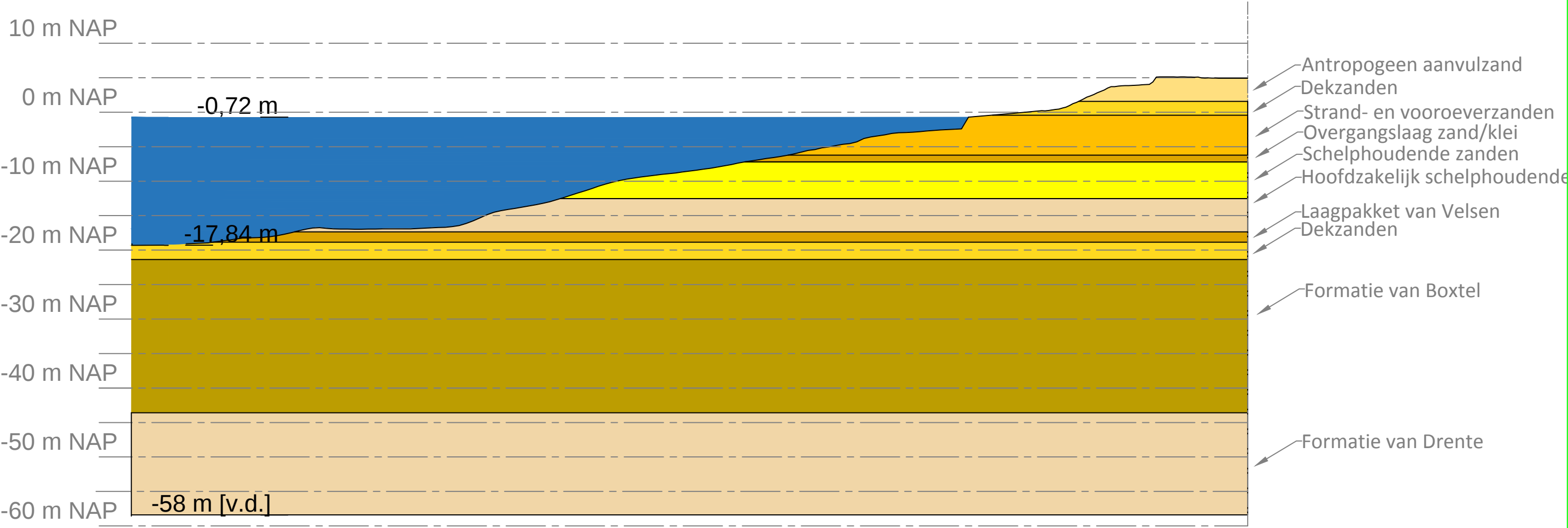
WIJZ. :

VH3



			Get.	Volker Staal en Funderingen bv		Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578	
						TECHNISCH BUREAU	
				Auteursrecht voorbehouden volgens de wet.			
		Eerste uitgave	Omschrijving	<u>OPDRACHTGEVER :</u> VSF			
			Datum	<u>PROJECT :</u> OpenIJ			
		0	Wijz.	<u>BENAMING :</u> Grondopbouw VH3			
				Schaal : 1:1		<u>TEKENING NR. :</u> G-01-VH3	
				Datum : 19-5-2016		<u>WIJZ. :</u>	
				Get. : Nick Jackson			
				Gez. :			

DKMP09

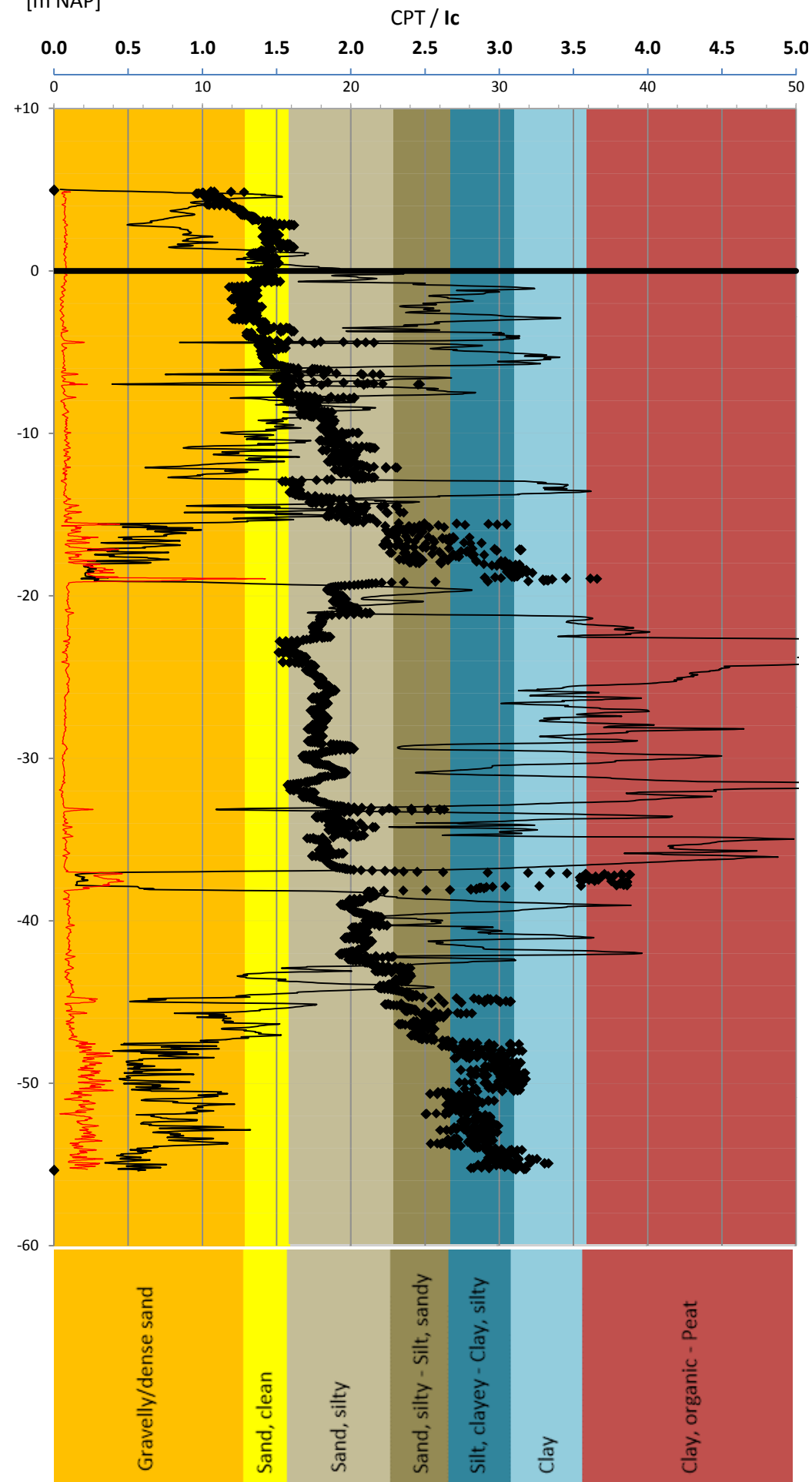


			Get.	Volker Staal en Funderingen bv  TECHNISCH BUREAU Auteursrecht voorbehouden volgens de wet. Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578		
		Eerste uitgave	Omschrijving		OPDRACHTGEVER : VSF	Schaal : 1:1
					PROJECT : OpenIJ	Datum : 19-5-2016
		Datum			BENAMING : Grondopbouw DKMP09	Get. : Nick Jackson
		Wijz.	0			Gez. : TEKENING NR. : G-1-DKMP09
						WIJZ. :

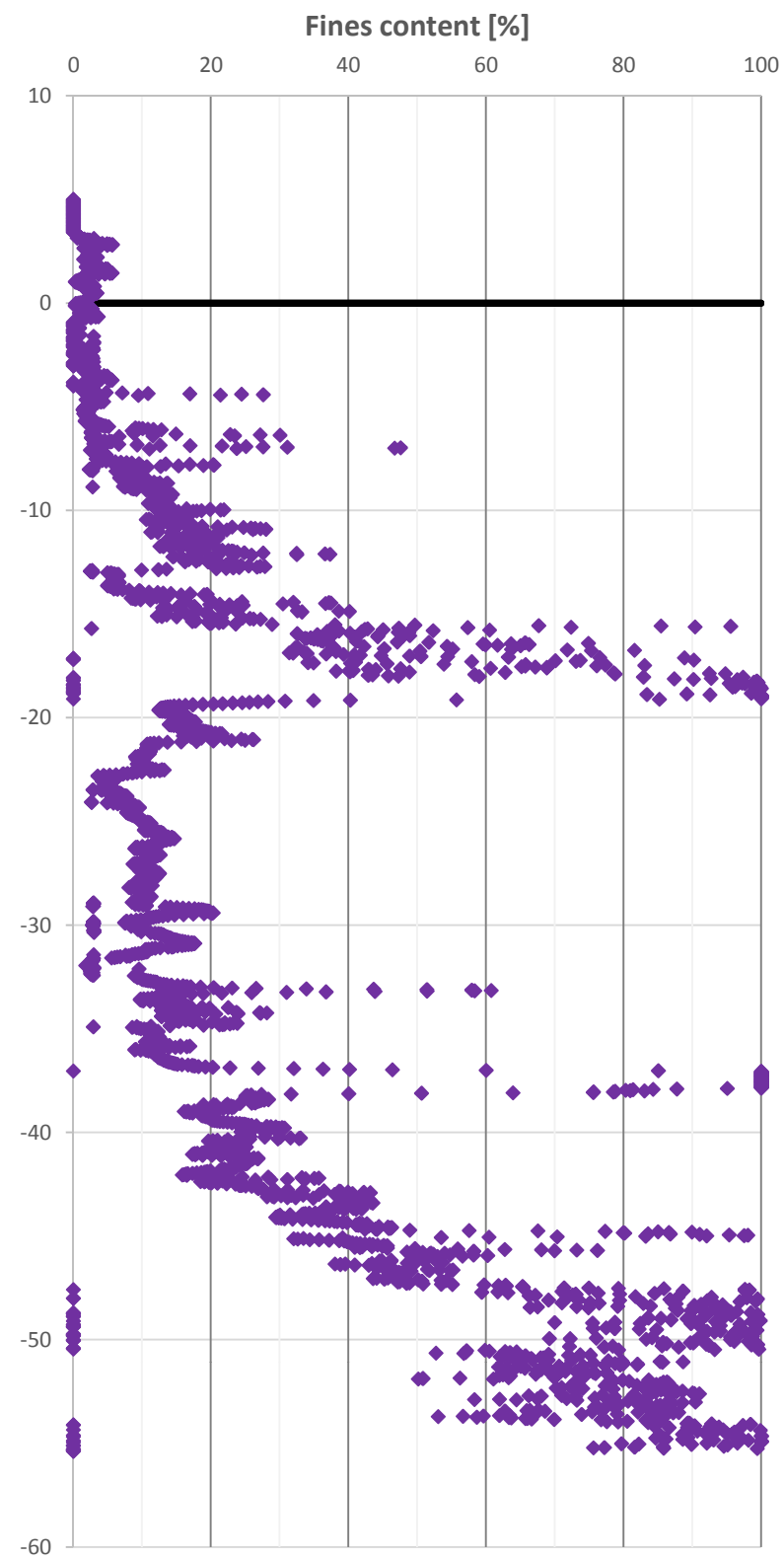


BIJLAGE 3

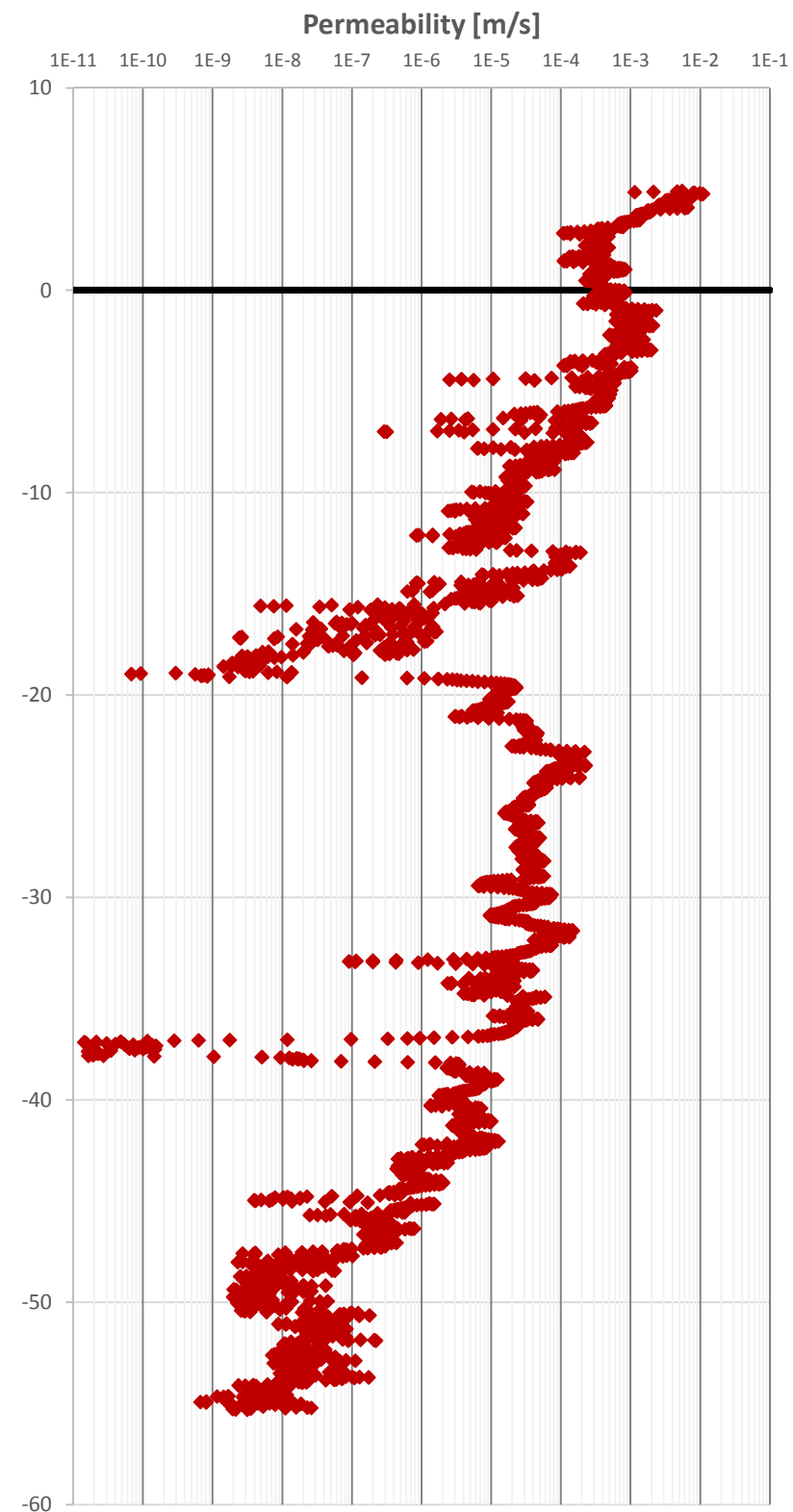
CPT / Ic index [DKMP09]



CPT / Ic index / Fines content / Permeability



**Caution: rough estimate.
Verify with laboratory tests.**

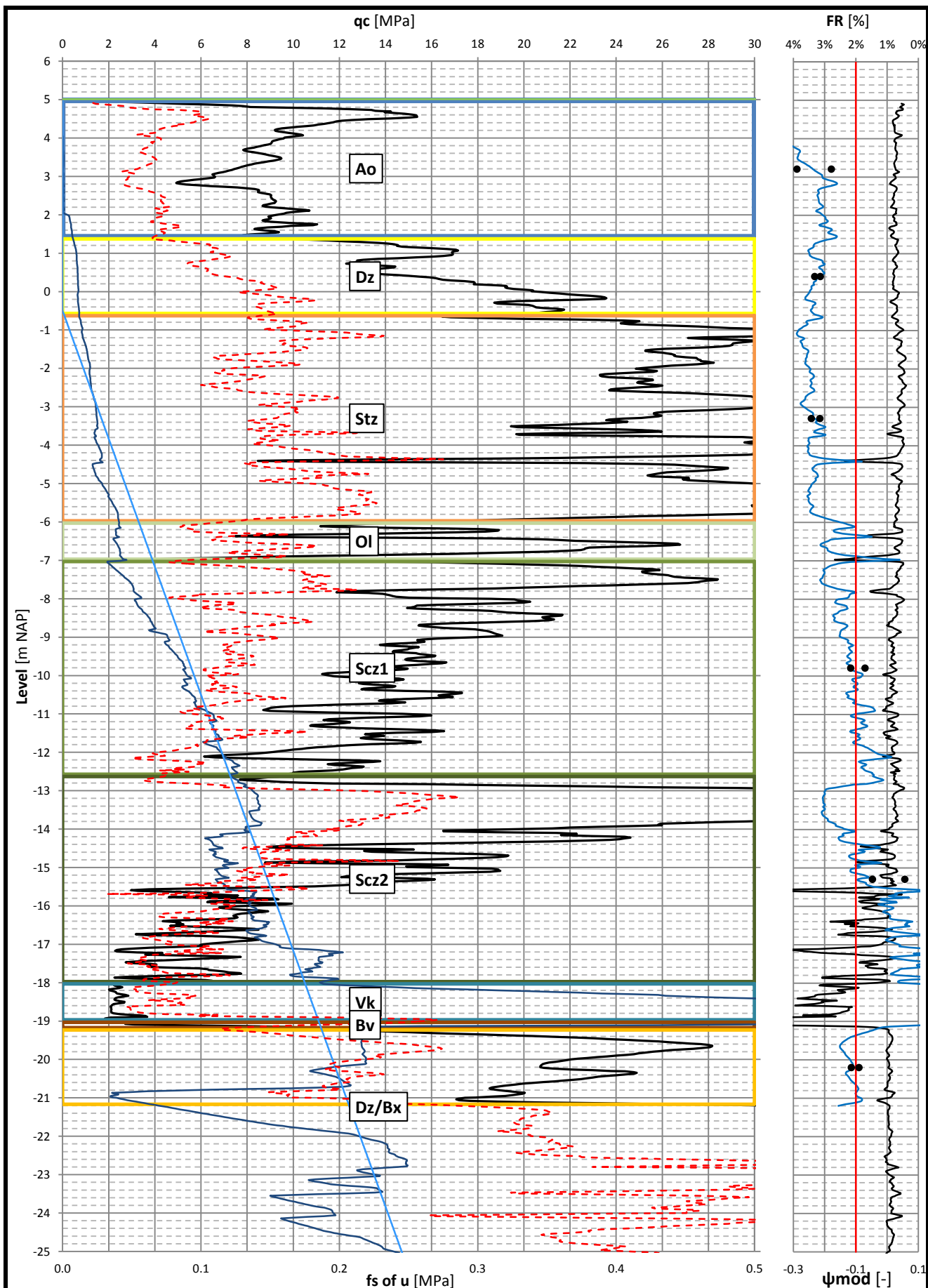


**Caution: rough estimate.
Verify with laboratory tests.**



BIJLAGE 4

State parameter DKMP09 volgens Boskalis



DKMP09_000

RD X 101222 m
RD Y 497954 m
Maaiveld 5.01 mNAP

Meting waterspanning
GWS (schatting)
Boring

u2
-0.5 mNAP
B009

hyDRONAMIC

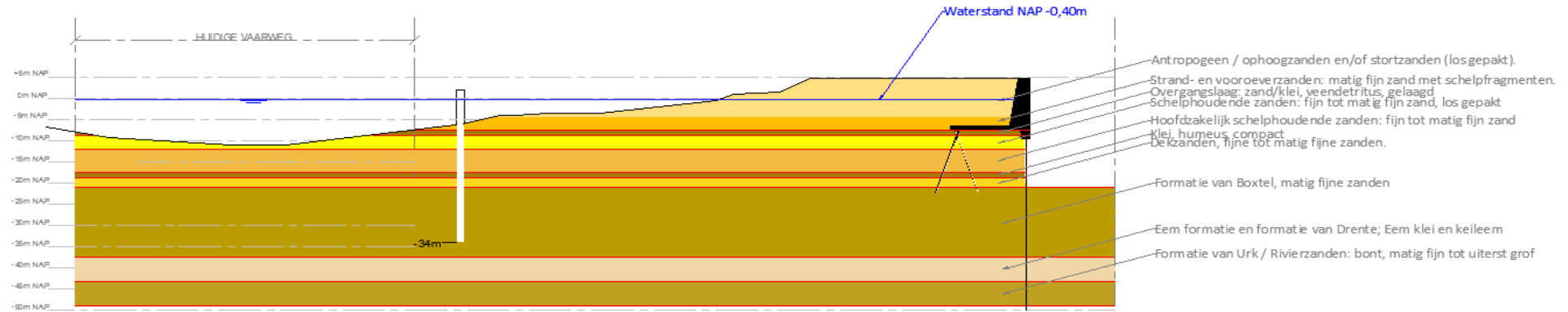


BIJLAGE 5

Spreadsheet Idriss & Boulanger

Werkhaven	DKMP17
Werkhaven	DKMP21
Voorhavendam	VH3
Vergelijking	DKMP17/DKMP21/VH3
Voorhavendam	DKMP09

DKMP17



Grondopbouw en parameters

Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	4.8	-0.4	5.2	16	20
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt, nat).	-0.4	-4	3.6	16	20
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	-4	-7.5	3.5	18	21
Overgangslaag: zand/klei, veendetritus, gelaagd	-7.5	-8	0.5	18	18
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	-8	-11.8	3.8	17	21
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	-11.8	-17.5	5.7	18	21
Klei, humeus, compact	-17.5	-18.7	1.2	18	18
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-18.7	-21.7	3	17	20
Formatie van Bostel, matig fijne zanden	-21.7	-38.5	16.8	18	21
E em formatie en formatie van Drente; Eem klei en keileem	-38.5	-42.9	4.4	17	20
Formatie van Urk / Rivierzanden: bont, matig fijn tot uiterst grof	-42.9	-47	4.1	18	21

Met daarin:

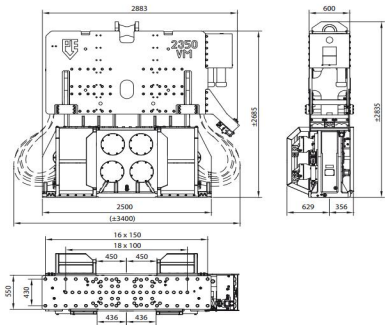
Symbool	Eenheid
γ_{droog}	Volumegewicht droog
γ_{nat}	Volumegewicht nat (verzadigd)

Waterstand --> NAP -0,40 m

Bepalen van optredende trillingen afkomstig van trillen

Invoer

Gegevens trilblok			
gekozen type: PVE2350			
Symbool		Waarde	Eenheid
F _{trilblok}	Slagkracht trilblok	2900	kN
	N	2300	tpm
f	Frequentie trilblok	38.33	Hz



Uitvoer

Symbool	Profiel Amsterdam, CUR 166 Tabel 5.21	Waarde	Eenheid
V ₀	Referentietrillingssnelheid op r ₀ =5m afstand	0.0016	m/s
C _{vel}	Emperische parameter, afhankelijk van de grondslag	0.000002	m/s
a	dempingsconstante	0	m/s ⁻¹

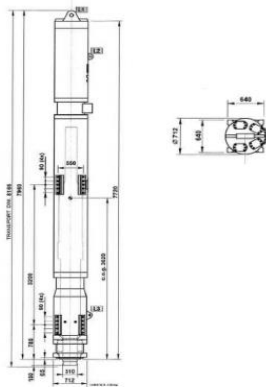
Bepalen bronsterkte					
Symbool		Formule		Uitkomsten	Eenheid
$v_{0,corr}$ (x=5m)	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte	$V_0 + C_{vel}$ (F-350)		0.0067	m/s
				6.7	mm/s

gekozen type: IHC S120

Symbool	Waarde	Eenheid
E_h	120000	Nm
m_{heiblok}	14300	kg
f	10.00	Hz

Symbol	Profiel Amsterdam, CUR 166 Tabel 5.20	Waarde	Eenheid
V_0	Referentietrillingsnelheid op $r_0=5\text{m}$ afstand	6.00E-05	m/s
a	dempingsconstante	0.02	m/s^{-1}

Symbool	Formule		Uitkomsten	Eenheid
$v_{0, \text{corr}} (x=5\text{m})$	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte	$V_0 \cdot \sqrt{(0,8 \cdot E_h)}$	0.0186	m/s
			18.5903	mm/s



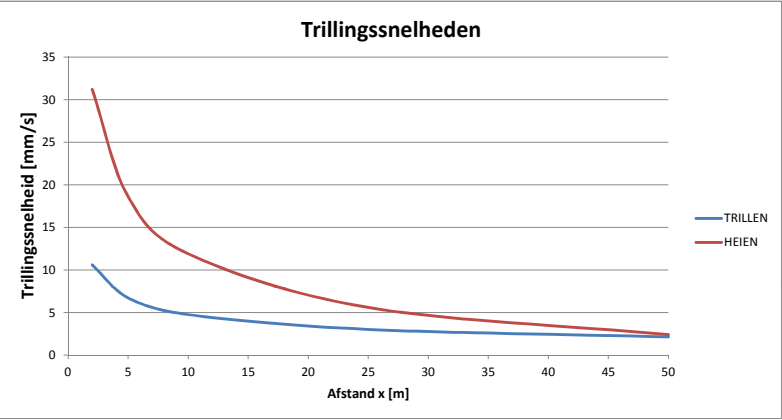
Bepalen van trillingssnelheden

Invoer

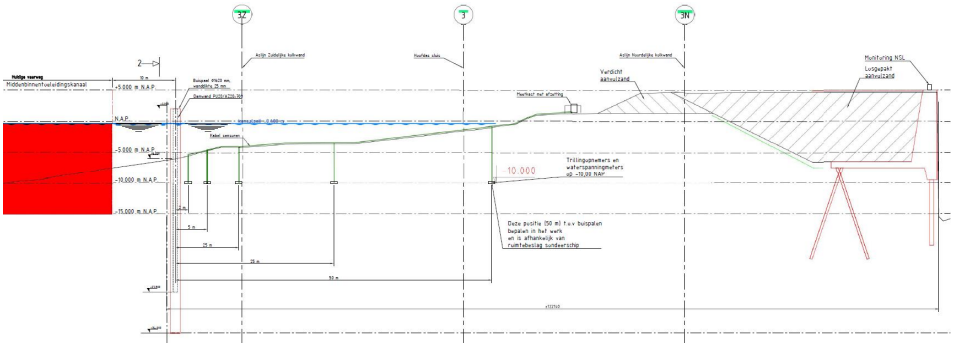
Uitvoer

Invoergegevens

Symbool		Waarde	Eenheid
$V_{0,corr}$ (x=5m)	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte (TRILLEN)	6.7	mm/s
$V_{0,corr}$ (x=5m)	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte (HEIEN)	18.5903	mm/s
x_0	Referentieafstand	5	m
x_1	Afstand van de bron (TM1)	2	m
x_2	Afstand van de bron (TM2)	5	m
x_3	Afstand van de bron (TM3)	10	m
x_4	Afstand van de bron (TM4)	25	m
x_5	Afstand van de bron (TM5)	50	m
g	Valversnelling	9.81	m/s ²



Situatieschets



Bepalen trillingssnelheid op afstand x van de bron

TRILLEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
V_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_1)} * \exp[-a * (x_1 - x_0)]$	10.594	mm/s
V_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_2)} * \exp[-a * (x_2 - x_0)]$	6.700	mm/s
V_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_3)} * \exp[-a * (x_3 - x_0)]$	4.738	mm/s
V_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_4)} * \exp[-a * (x_4 - x_0)]$	2.996	mm/s
V_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_5)} * \exp[-a * (x_5 - x_0)]$	2.119	mm/s

HEIEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
V_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_1)} * \exp[-a * (x_1 - x_0)]$	31.211	mm/s
V_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_2)} * \exp[-a * (x_2 - x_0)]$	18.590	mm/s
V_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_3)} * \exp[-a * (x_3 - x_0)]$	11.894	mm/s
V_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_4)} * \exp[-a * (x_4 - x_0)]$	5.573	mm/s
V_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_5)} * \exp[-a * (x_5 - x_0)]$	2.390	mm/s

Bepalen van horizontale versnellingen

Invoer

Invoergegevens

Symbool		Waarde	Eenheid
f_{heiblok}	Frequentie heiblok	10.00	Hz
f_{trilblok}	Frequentie trilblok	38.33	Hz

TRILLEN

Symbool		Uitkomsten	Eenheid
v_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	10.594	mm/s
v_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	6.700	mm/s
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	4.738	mm/s
v_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	2.996	mm/s
v_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	2.119	mm/s

HEIEN

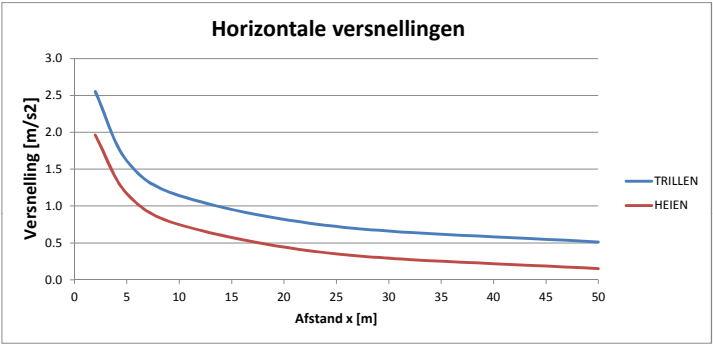
Symbool		Uitkomsten	Eenheid
v_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	31.211	mm/s
v_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	18.590	mm/s
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	11.894	mm/s
v_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	5.573	mm/s
v_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	2.390	mm/s

Uitvoer

Bepalen versnellingen op afstand x van de bron

TRILLEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a_{x1}	Versnelling op afstand x_1 van de bron	$V_{x1}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	2.5515	m/s^2
a_{x2}	Versnelling op afstand x_2 van de bron	$V_{x2}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	1.6137	m/s^2
a_{x3}	Versnelling op afstand x_3 van de bron	$V_{x3}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	1.1411	m/s^2
a_{x4}	Versnelling op afstand x_4 van de bron	$V_{x4}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	0.7217	m/s^2
a_{x5}	Versnelling op afstand x_5 van de bron	$V_{x5}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	0.5103	m/s^2

HEIEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a_{x1}	Versnelling op afstand x_1 van de bron	$V_{x1}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	1.9611	m/s^2
a_{x2}	Versnelling op afstand x_2 van de bron	$V_{x2}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	1.1681	m/s^2
a_{x3}	Versnelling op afstand x_3 van de bron	$V_{x3}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	0.7473	m/s^2
a_{x4}	Versnelling op afstand x_4 van de bron	$V_{x4}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	0.3502	m/s^2
a_{x5}	Versnelling op afstand x_5 van de bron	$V_{x5}^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f / 1000$	0.1502	m/s^2



Bepalen van optreden verweking (Relatieve dichtheid [%])

De relatieve dichtheid is afhankelijk van de conusweerstand en wordt bepaald met de volgende formule:

$$R_{\varepsilon} = \frac{1}{C_2} \ln \left[\frac{q_c}{C_o (\sigma'_{vo})^{C_1}} \right] \cdot 100\%$$

Met daarin:		Eenheid
Symbool		
q _c	Conusweerstand	kN/m ²
σ' _{vo}	Korrelspanning op beschouwd niveau	kPa
Re	Relatieve dichtheid	%

Waarbij voor C_o, C₁ en C₂ de volgende waarde moet worden aangehouden:

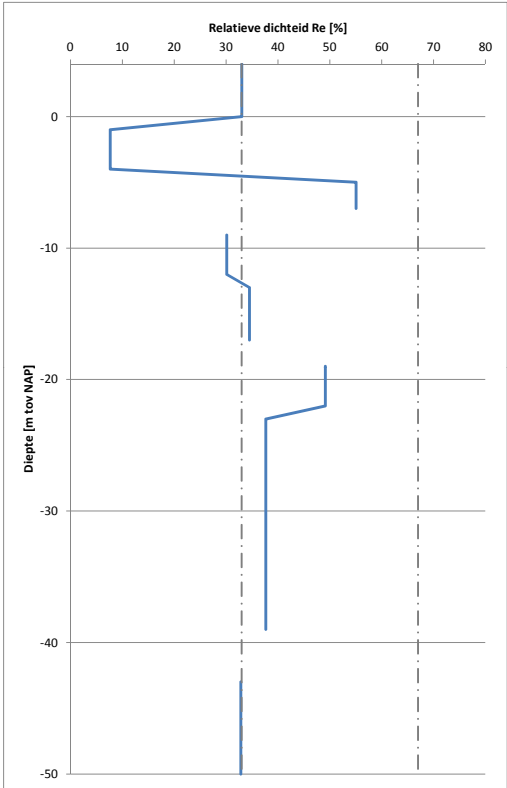
Ad a: Lunne&Christoffersen (1983)

C_o = 61;

C₁ = 0,71;

C₂ = 2,91.

Grondlaag	σ' _{vo}	q _c	C0	C1	C2	Re	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]
Ao droog	83.2	3680	61	0.71	2.91	33	4.8	-0.4
Ao nat	155.2	2740	61	0.71	2.91	8	-0.4	-4
Stz	228.7	14320	61	0.71	2.91	55	-4	-7.5
Ol	237.7	1830	61	0.71	2.91		-7.5	-8
Scz1	317.5	8760	61	0.71	2.91	30	-8	-11.8
Scz2	437.2	12490	61	0.71	2.91	35	-11.8	-17.5
Vk/Bv	458.8	1520	61	0.71	2.91		-17.5	-18.7
Dz	518.8	21560	61	0.71	2.91	49	-18.7	-21.7
Bx	871.6	22312	61	0.71	2.91	38	-21.7	-38.5
Ee/Dr	959.6	9070	61	0.71	2.91		-38.5	-42.9
Ur	1045.7	22083	61	0.71	2.91	33	-42.9	-47



Bepalen van optreden verweking

Grondopbouw en parameters [DKMP17]

Grondlaag	z	σ'_{v0}	σ'_{v0}	$K\sigma$	r_d	$\alpha(z)$	$\beta(z)$	qc	qc1Ncs	C σ	C $_N$
Ao droog	5.2	83.2	83.2	1.012125603	0.95856369	-0.280705	0.0317848	3680	41.63	0.06592766	1.1311426
Ao nat	8.8	191.2	155.2	0.976822057	0.91286197	-0.573544	0.0643164	2740	20.41	0.05273174	0.7449078
Stz	12.3	299.7	228.7	0.923454819	0.86268364	-0.897804	0.1000129	14320	82.27	0.0925307	0.5745022
Ol	12.8	313.7	237.7	0.960669539	0.85527164	-0.945643	0.1052408	1830	10.24	0.04542467	0.5598355
Scz1	16.6	431.5	317.5	0.92470004	0.79871827	-1.306898	0.1442869	8760	40.40	0.06517741	0.4611388
Scz2	22.3	608.2	437.2	0.898356437	0.71979871	-1.780285	0.1935336	12490	46.48	0.06890059	0.3721725
Vk/Bv	23.5	641.8	458.8	0.937419114	0.70502267	-1.860334	0.2014411	1520	5.48	0.04107855	0.3603399
Dz	26.5	731.8	518.8	0.860075277	0.67191844	-2.020045	0.2163236	21560	71.55	0.08499096	0.3318563
Bx	43.3	1252.6	871.6	0.843025212	0.6231975	-1.648148	0.1567009	22312	52.30	0.0725003	0.2344161
Ee/Dr	47.7	1384.6	959.6	0.881466897	0.65657912	-1.263527	0.1123753	9070	19.93	0.05241705	0.2197858
Ur	51.8	1511.7	1045.7	0.839228977	0.70684526	-0.872455	0.0700682	22083	45.82	0.06849272	0.20749

Met daarin:

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
σ_{v0}	Grondspanning op beschouwd niveau	$\sigma'_{v0} * \sigma_{water}$	Tabel	kN/m ²
σ'_{v0}	Korrelspanning op beschouwd niveau	$\gamma_{grondlaag} * \text{dikte grondlaag}$	Tabel	kN/m ²
K_{σ}	Correctiefactor isotrope spanningstoestand	$1 - C\sigma * \text{Ln}(\sigma'_{v0} / \text{Pa})$	Tabel	-
C σ		$1 / (37,3 - 8,27 * (q_{c1Ncs})^{0,264})$	Tabel	-
C $_N$	Correctiefactor	$(\text{Pa} / \sigma_{v0}')^{0,67}$	Tabel	-
qc	Conusweerstand	-	Tabel	MPa
z	Diepte onder onder maaiveld	-	Tabel	m
r_d	Diepte reductiefactor	$\exp[\alpha(z) + \beta(z) * M]$	Tabel	-
$\alpha(z)$		$-1,012 - 1,126 * \text{SIN}((z/11,73)+5,133)$	Tabel	-
$\beta(z)$		$0,106 + 0,118 * \text{sin}((z/11,28)+5,142)$	Tabel	-
Pa	Atmosferische druk	-	100	kPa
q_{c1Ncs}	Genormaliseerde conusweerstand	$C_N * (qc / \text{Pa})$	Tabel	kN/m ²

Bepalen Cyclic Stress Ratio (CSR)
[Idriss & Boulanger]

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
g	Valversnelling	-	9.81	m/s ²
amax,trillen	Maximale horizontale versnelling bij trillingen	-	2.5515	m/s ²
amax,heien	Maximale horizontale versnelling bij heien	-	1.9611	m/s ²
M	Magnitude	-	7.5	-
MSF-zand	Magnitude schaafactor voor zandgronden	$6,9 * \exp[-M / 4] - 0,058$	1.000149272	-
MSF-klei	Magnitude schaafactor voor kleigronden	$1,12 * \exp[-M / 4] + 0,828$	0.999757563	-

Bepalen van optreden verweking (2)

CSR

Cyclic stress ratio per grondlaag

Gebruikte formule:

$$0,65 * (a_{\max} / g) * (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) * (r_d / MSF) * (1 / K_o)$$

TRILLEN

Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.160091159	
AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)	0.194610655	
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.206936583	
Ol: Overgangslaag	0.198685558	
Scz1: Spisulazand 1	0.198431492	
Scz2: Spisulazand 2	0.188412378	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.177908416	
Dz: dekzand	0.186274462	
Bx: formatie van Bortel	0.179581302	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.181675322	
Ur: Formatie van Urk	0.205817915	

HEIEN

Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.123044016	
AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)	0.149575258	
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.159048809	
Ol: Overgangslaag	0.152707176	
Scz1: Spisulazand 1	0.152511905	
Scz2: Spisulazand 2	0.144811342	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.136684578	
Dz: dekzand	0.143168167	
Bx: formatie van Bortel	0.13802389	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.139633327	
Ur: Formatie van Urk	0.158189015	

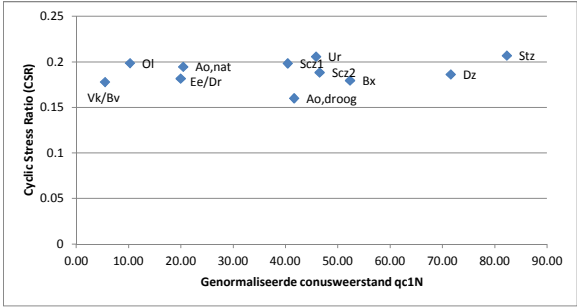
CRR

Cyclic resistance ratio per grondlaag

Gebruikte formule:

$$= \exp \left(\frac{q_{c1N_{cr}}}{113} + \left(\frac{q_{c1N_{cr}}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1N_{cr}}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1N_{cr}}}{137} \right)^4 - 2.8 \right)$$

Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.086495954	
AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)	0.07268896	
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.117881662	
Ol: Overgangslaag	0.066563958	
Scz1: Spisulazand 1	0.085661876	
Scz2: Spisulazand 2	0.089831103	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.063828414	
Dz: dekzand	0.108522265	
Bx: formatie van Bortel	0.093920544	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.072394195	
Ur: Formatie van Urk	0.08937102	



Uitkomsten optredende verwekingen FSliq

TRILLEN

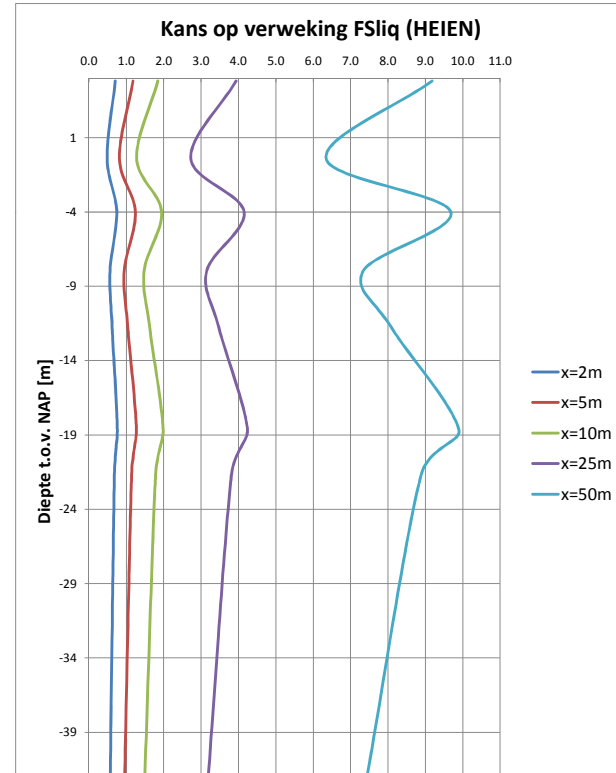
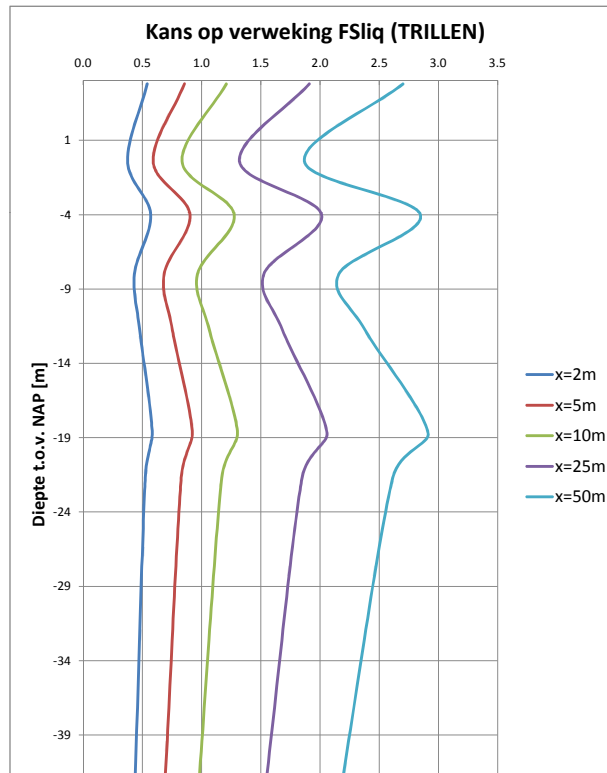
Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	2.5515	1.6137	1.1411	0.7217	0.5103
Ao droog	0.54	0.85	1.21	1.91	2.70
Ao nat	0.37	0.59	0.84	1.32	1.87
Stz	0.57	0.90	1.27	2.01	2.85
Scz1	0.43	0.68	0.97	1.53	2.16
Scz2	0.48	0.75	1.07	1.69	2.38
Dz	0.58	0.92	1.30	2.06	2.91
Bx	0.52	0.83	1.17	1.85	2.61
Ur	0.43	0.69	0.97	1.54	2.17

Er treedt verweking op wanneer $FS_{liq} < 1,0$

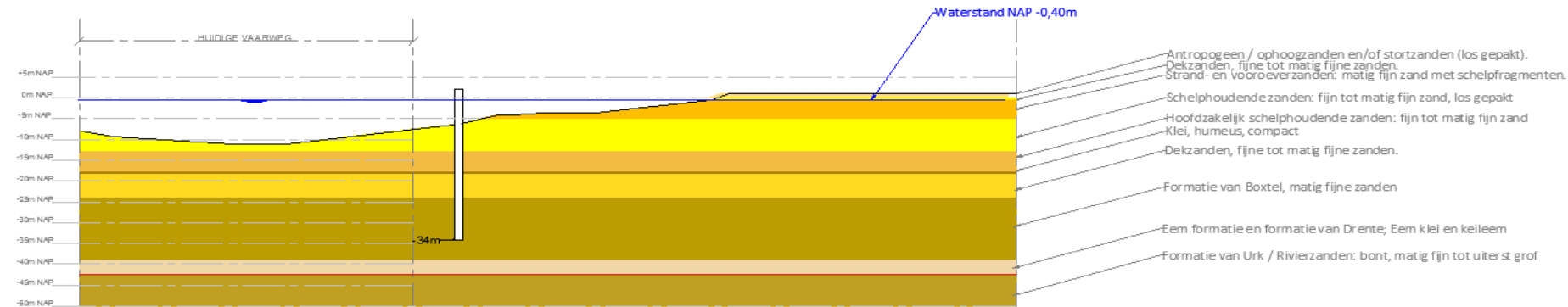
Verwekingsgevoelige lagen

HEIEN

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	1.9611	1.1681	0.7473	0.3502	0.1502
Ao droog	0.70	1.18	1.84	3.94	9.18
Ao nat	0.49	0.82	1.28	2.72	6.35
Stz	0.74	1.24	1.94	4.15	9.68
Scz1	0.56	0.94	1.47	3.15	7.33
Scz2	0.62	1.04	1.63	3.47	8.10
Dz	0.76	1.27	1.99	4.25	9.90
Bx	0.68	1.14	1.79	3.81	8.89
Ur	0.56	0.95	1.48	3.16	7.38



DKMP21



Grondopbouw en parameters		DKMP21				
Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γ _{droog} [kN/m ³]	γ _{nat} [kN/m ³]	
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	0.76	-0.2	0.96	16	20	
Duinzand: fijn tot matig zand	-0.2	-0.4	0.2	17	20	
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	-0.4	-4.9	4.5	18	21	
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	-4.9	-12.8	7.9	17	21	
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	-12.8	-16.4	3.6	18	21	
Klei, humeus, compact	-16.4	-18	1.6	18	18	
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-18	-23.6	5.6	17	20	
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden	-23.6	-38.2	14.6	18	21	
E em formatie en formatie van Drente; Eem klei en keileem	-38.2	-42	3.8	17	20	
Formatie van Urk / Rivierzanden: bont, matig fijn tot uiterst grof	-42	-50	8	18	21	

Met daarin:		
Symbool	Eenheid	
Y _{droog}	Volumegewicht droog	kN/m ³
Y _{nat}	Volumegewicht nat (verzadigd)	kN/m ³

Laagwaterstand --> NAP -0,40 m

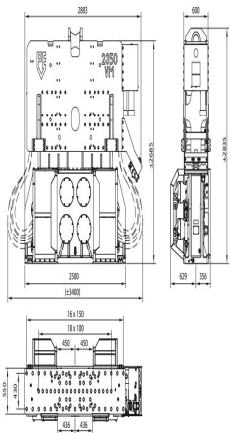
Bepalen van optredende trillingen afkomstig van trillen

Invoer

Uitvoer

Gegevens trilblok
gekozen type: PVE2350

Symbool		Waarde	Eenheid
F _{trilblok}	Slagkracht trilblok	2900	kN
N	Toerental	2300	tpm
f	Frequentie trilblok	38.33	Hz



Symbool	Profiel Amsterdam, CUR 166 Tabel 5.21	Waarde	Eenheid
V ₀	Referentietrillingssnelheid op r ₀ =5m afstand	0.0016	m/s
C _{vel}	Emperische parameter, afhankelijk van de grondslag	0.000002	m/s
a	dempingsconstante	0	m/s ⁻¹

Bepalen bronsterkte

Symbool	Formule	Uitkomsten	Eenheid
V _{0,corr} (x=5m)	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte	V ₀ + C _{vel} (F-350)	0.0067 m/s
			6.7 mm/s

Bepalen van optredende trillingen afkomstig van heien

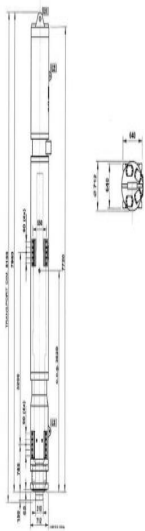
Gegevens heiblok
gekozen type: IHC S120

Symbool		Waarde	Eenheid
E_h	Energie heiblok	120000	Nm
$m_{heiblok}$	Massa heiblok	14300	kg
f	Frequentie heiblok	10.00	Hz

Symbool	Profiel Amsterdam, CUR 166 Tabel 5.20	Waarde	Eenheid
V_0	Referentietrillingssnelheid op $r_0=5m$ afstand	6.00E-05	m/s
a	dempingsconstante	0.02	m/s^{-1}

Bepalen bronsterkte

Symbool	Formule		Uitkomsten	Eenheid
$V_{0,corr} (x=5m)$	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte	$V_0 * \sqrt{(0,8 * E_h)}$	0.0186	m/s
			18.5903	mm/s

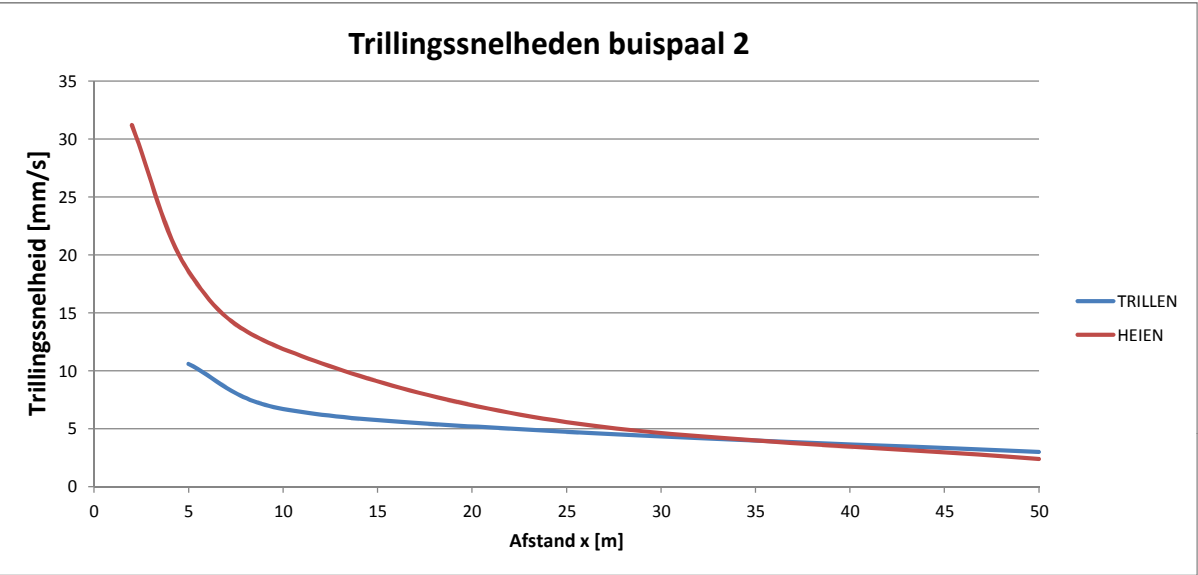


Invoer

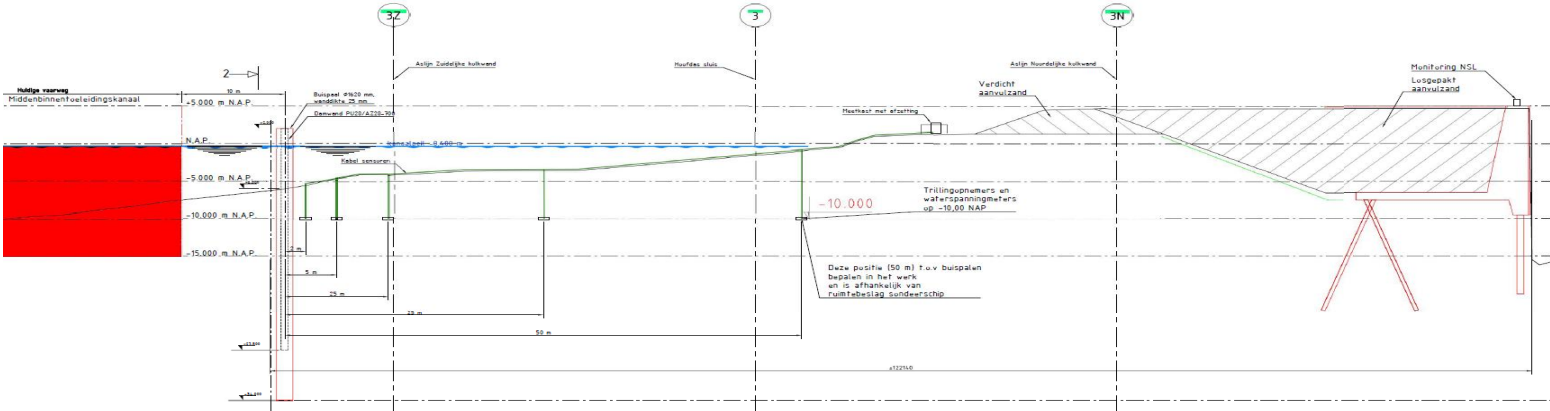
Uitvoer

Invoergegevens

Symbool		Waarde	Eenheid
$v_{0,corr}$ (x=5m)	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte (TRILLEN)	6.7	mm/s
$v_{0,corr}$ (x=5m)	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte (HEIEN)	18.5903	mm/s
x_0	Referentieafstand	5	m
x_1	Afstand van de bron (TM1)	2	m
x_2	Afstand van de bron (TM2)	5	m
x_3	Afstand van de bron (TM3)	10	m
x_4	Afstand van de bron (TM4)	25	m
x_5	Afstand van de bron (TM5)	50	m
g	Valversnelling	9.81	m/s ²



Situatieschets



Bepalen trillingssnelheid op afstand x van de bron

TRILLEN				
Symbol		Formule	Uitkomsten	Eenheid
v_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_1)} * \exp[-a*(x_1-x_0)]$	10.594	mm/s
v_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_2)} * \exp[-a*(x_2-x_0)]$	6.700	mm/s
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_3)} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	4.738	mm/s
v_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_4)} * \exp[-a*(x_4-x_0)]$	2.996	mm/s
v_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_5)} * \exp[-a*(x_5-x_0)]$	2.119	mm/s

HEIEN				
Symbol		Formule	Uitkomsten	Eenheid
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_3)} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	31.211	mm/s
v_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_2)} * \exp[-a*(x_2-x_0)]$	18.590	mm/s
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_3)} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	11.894	mm/s
v_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_4)} * \exp[-a*(x_4-x_0)]$	5.573	mm/s
v_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{(x_0/x_5)} * \exp[-a*(x_5-x_0)]$	2.390	mm/s

Bepalen van horizontale versnellingen

Invoer

Invoergegevens			
Symbool		Waarde	Eenheid
f _{heiblok}		10.00	Hz
f _{trilblok}		38.33	Hz

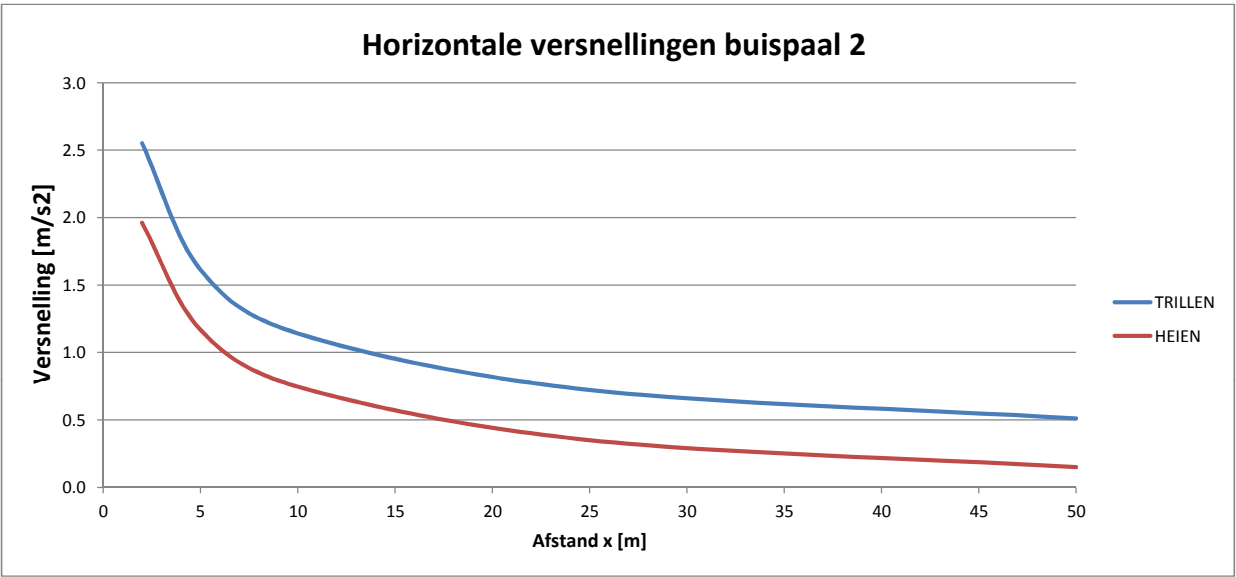
TRILLEN			
Symbool		Uitkomsten	Eenheid
v _{x1}		10.594	mm/s
v _{x2}		6.700	mm/s
v _{x3}		4.738	mm/s
v _{x4}		2.996	mm/s
v _{x5}		2.119	mm/s

HEIEN			
Symbool		Uitkomsten	Eenheid
v _{x1}		31.211	mm/s
v _{x2}		18.590	mm/s
v _{x3}		11.894	mm/s
v _{x4}		5.573	mm/s
v _{x5}		2.390	mm/s

Uitvoer

Bepalen versnellingen op afstand x van de bron				
TRILLEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a _{x1}	Versnelling op afstand x ₁ van de bron	V _{x1} * 2 * π* f / 1000	2.5516	m/s ²
a _{x2}	Versnelling op afstand x ₂ van de bron	V _{x2} * 2 * π* f / 1000	1.6137	m/s ²
a _{x3}	Versnelling op afstand x ₃ van de bron	V _{x3} * 2 * π* f / 1000	1.1411	m/s ²
a _{x4}	Versnelling op afstand x ₄ van de bron	V _{x4} * 2 * π* f / 1000	0.7217	m/s ²
a _{x5}	Versnelling op afstand x ₅ van de bron	V _{x5} * 2 * π* f / 1000	0.5103	m/s ²

HEIEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a _{x1}	Versnelling op afstand x ₁ van de bron	V _{x1} * 2 * π* f / 1000	1.9611	m/s ²
a _{x2}	Versnelling op afstand x ₂ van de bron	V _{x2} * 2 * π* f / 1000	1.1681	m/s ²
a _{x3}	Versnelling op afstand x ₃ van de bron	V _{x3} * 2 * π* f / 1000	0.7473	m/s ²
a _{x4}	Versnelling op afstand x ₄ van de bron	V _{x4} * 2 * π* f / 1000	0.3502	m/s ²
a _{x5}	Versnelling op afstand x ₅ van de bron	V _{x5} * 2 * π* f / 1000	0.1502	m/s ²



Bepalen van optreden verweking (Relatieve dichtheid [%])

De relatieve dichtheid is afhankelijk van de conusweerstand en wordt bepaald met de volgende formule:

$$R_s = \frac{1}{C_2} \ln \left[\frac{q_c}{C_0 (\sigma'_{v0})^{C_1}} \right] \cdot 100\%$$

Met daarin:

Symbool		Eenheid
q _c	Conusweerstand	kN/m ²
σ' _{v0}	Korrelspanning op beschouwd niveau	kPa
Re	Relatieve dichtheid	%

Waarbij voor C₀, C₁ en C₂ de volgende waarde moet worden aangehouden:

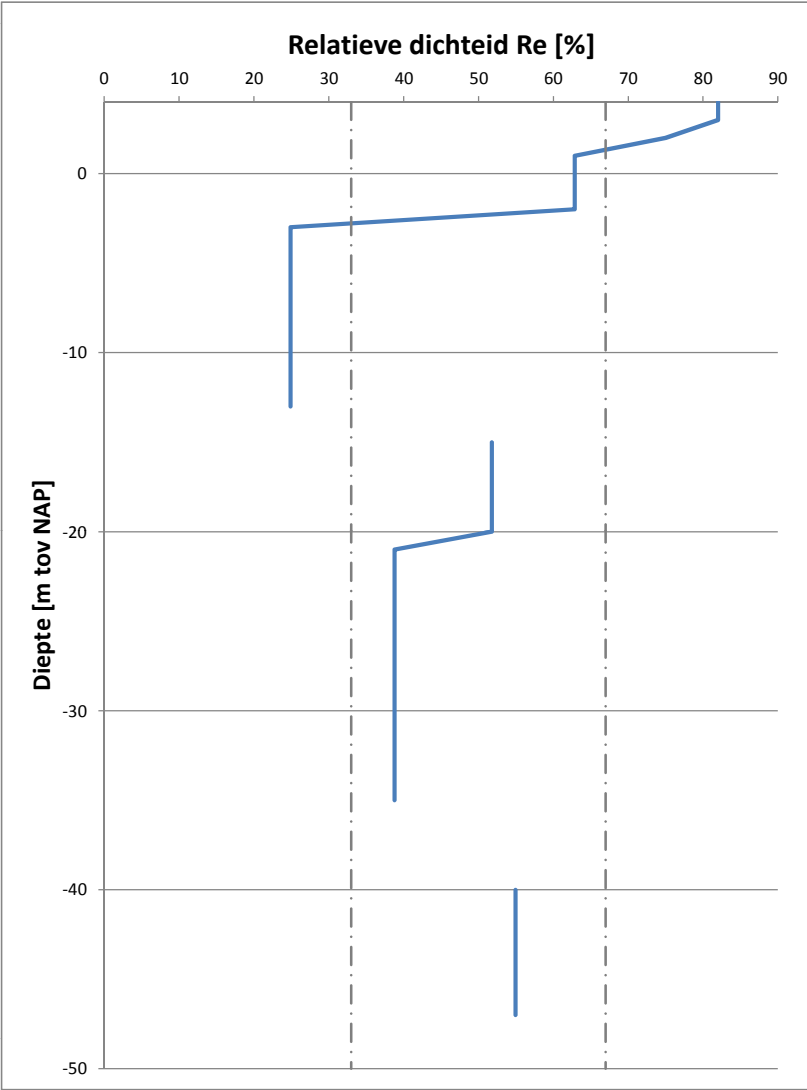
Ad a: Lunne&Christoffersen (1983)

C₀ = 61;

C₁ = 0,71;

C₂ = 2,91.

Grondlaag	σ' _{v0}	q _c	C0	C1	C2	Re	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]
Ao droog	15.36	5360	61	0.71	2.91	87	0.76	-0.2
Dz	18.76	7840	61	0.71	2.91	95	-0.2	-0.4
Stz	113.26	10920	61	0.71	2.91	63	-0.4	-4.9
Scz1	279.16	6860	61	0.71	2.91	25	-4.9	-12.8
Scz2	354.76	10920	61	0.71	2.91	35	-12.8	-16.4
Vk/Bv	383.56	2130	61	0.71	2.91		-16.4	-18
Dz	495.56	22570	61	0.71	2.91	52	-18	-23.6
Bx	802.16	21770	61	0.71	2.91	39	-23.6	-38.2
Ee/Dr	878.16	6090	61	0.71	2.91		-38.2	-42
Ur	1046.16	42038	61	0.71	2.91	55	-42	-50



Bepalen van optreden verweking

Grondopbouw en parameters [DKMP21]

Grondlaag	z	σ _{vo}	σ' _{vo}	Kσ	r _d	α(z)	β(z)	qc	qc1Ncs	Cσ	C _N
Ao droog	0.96	15.36	15.36	1.431124049	0.99949899	-0.025169	0.003289	5360	188.05	0.23012878	3.508471
Dz	1.16	18.76	18.76	1.785151363	0.99795778	-0.034558	0.0043351	7840	240.57	0.46918314	3.0685556
Stz	5.66	158.26	113.26	0.98671484	0.95319484	-0.314835	0.0355866	10920	100.46	0.10669451	0.9199595
Scz1	13.56	403.16	279.16	0.936789666	0.84395321	-1.018559	0.1131867	6860	34.48	0.06157161	0.5026647
Scz2	17.16	514.76	354.76	0.912547719	0.79050534	-1.358423	0.1497786	10920	46.75	0.06906283	0.4280986
Vk/Bv	18.76	559.56	383.56	0.940727963	0.76746131	-1.500892	0.1648299	2130	8.65	0.04409053	0.4062858
Dz	24.36	727.56	495.56	0.857669865	0.6949456	-1.91229	0.2064491	22570	77.24	0.08892753	0.3422043
Bx	38.96	1180.16	802.16	0.846897876	0.61038538	-1.941063	0.1929864	21770	53.95	0.07353121	0.247825
Ee/Dr	42.76	1294.16	878.16	0.894721801	0.62053883	-1.69023	0.1617417	6090	14.20	0.04845593	0.2332414
Ur	50.76	1542.16	1046.16	0.774193672	0.69234571	-0.971937	0.0805689	42038	87.20	0.09618147	0.2074289

Met daarin:

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
σ _{vo}	Grondspanning op beschouwd niveau	σ' _{vo} * σ _{water}	Tabel	kN/m ²
σ' _{vo}	Korrelspanning op beschouwd niveau	γ _{grondlaag} * dikte grondlaag	Tabel	kN/m ²
K _σ	Correctiefactor isotrope spanningstoestand	1 - Cσ * Ln(σ' _{vo} / Pa)	Tabel	-
Cσ		1 / (37,3 - 8,27 * (qc1Ncs ^{0,264})	Tabel	-
C _N	Correctiefactor	(Pa / σ _{vo}) ^{0,67}	Tabel	-
qc	Conusweerstand	-	Tabel	MPa
z	Diepte onder onder maaiveld	-	Tabel	m
r _d	Diepte reductiefactor	exp[α(z) + β(z) * M	Tabel	-
α(z)		-.1,012 - 1,126*SIN((z/11,73)+5,133)	Tabel	-
β(z)		0,106 +0,118*sin((z/11,28)+5,142)	Tabel	-
Pa	Atmosferische druk	-	100	kPa
qc1Ncs	Genormaliseerde conusweerstand	C _N * (qc / Pa)	Tabel	kN/m ²

Bepalen Cyclic Stress Ratio (CSR)

[Idriss & Boulanger]

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
g	Valversnelling	-	9.81	m/s ²
amax,trillen	Maximale horizontale versnelling bij trillingen		1.6137	m/s ²
amax,heien	Maximale horizontale versnelling bij heien		1.1681	m/s ²
M	Magnitude	-	7.5	-
MSF-zand	Magnitude schaafactor voor zandgronden	6,9 * exp[-M / 4] - 0,058	1.000149272	-
MSF-klei	Magnitude schaafactor voor kleigronden	1,12 * exp[-M / 4] + 0,828	0.999757563	-

Bepalen van optreden verweking (2)

CSR Cyclic stress ratio per grondlaag

Gebruikte formule:

$$0,65 \cdot (a_{\max} / g) \cdot (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) \cdot (r_d / MSF) \cdot (1 / K_{\sigma})$$

TRILLEN

Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.0747	
Dz: duinzand	0.0598	
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.1443	
Scz1: Spisulazand 1	0.1391	
Scz2: Spisulazand 2	0.1344	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.1273	
Dz: dekzand	0.1272	
Bx: formatie van Bortel	0.1134	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.1093	
Ur: Formatie van Urk	0.1409	

HEIEN

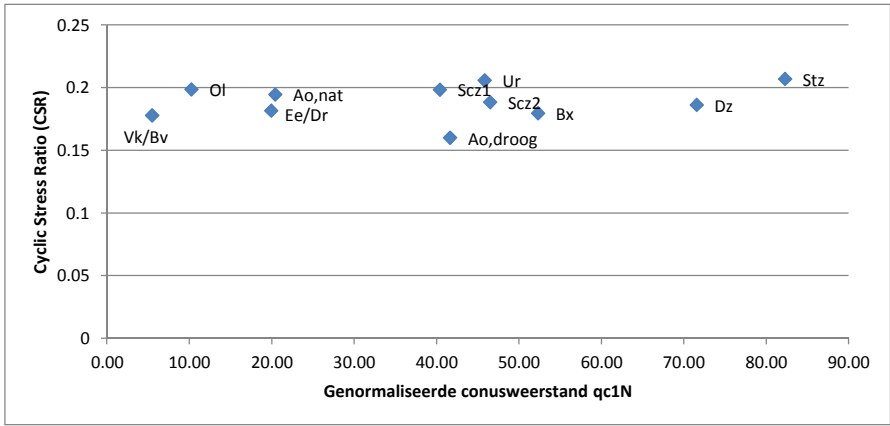
Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.0540	
Dz: duinzand	0.0433	
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.1045	
Scz1: Spisulazand 1	0.1007	
Scz2: Spisulazand 2	0.0973	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.0921	
Dz: dekzand	0.0921	
Bx: formatie van Bortel	0.0821	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.0791	
Ur: Formatie van Urk	0.1020	

CRR Cyclic resistance ratio per grondlaag

Gebruikte formule:

$$= \exp \left(\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.8 \right)$$

Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	1.0265	
Dz: duinzand	45.6637	
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.1379	
Scz1: Spisulazand 1	0.0817	
Scz2: Spisulazand 2	0.0900	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.0656	
Dz: dekzand	0.1133	
Bx: formatie van Bortel	0.0951	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.0689	
Ur: Formatie van Urk	0.1227	



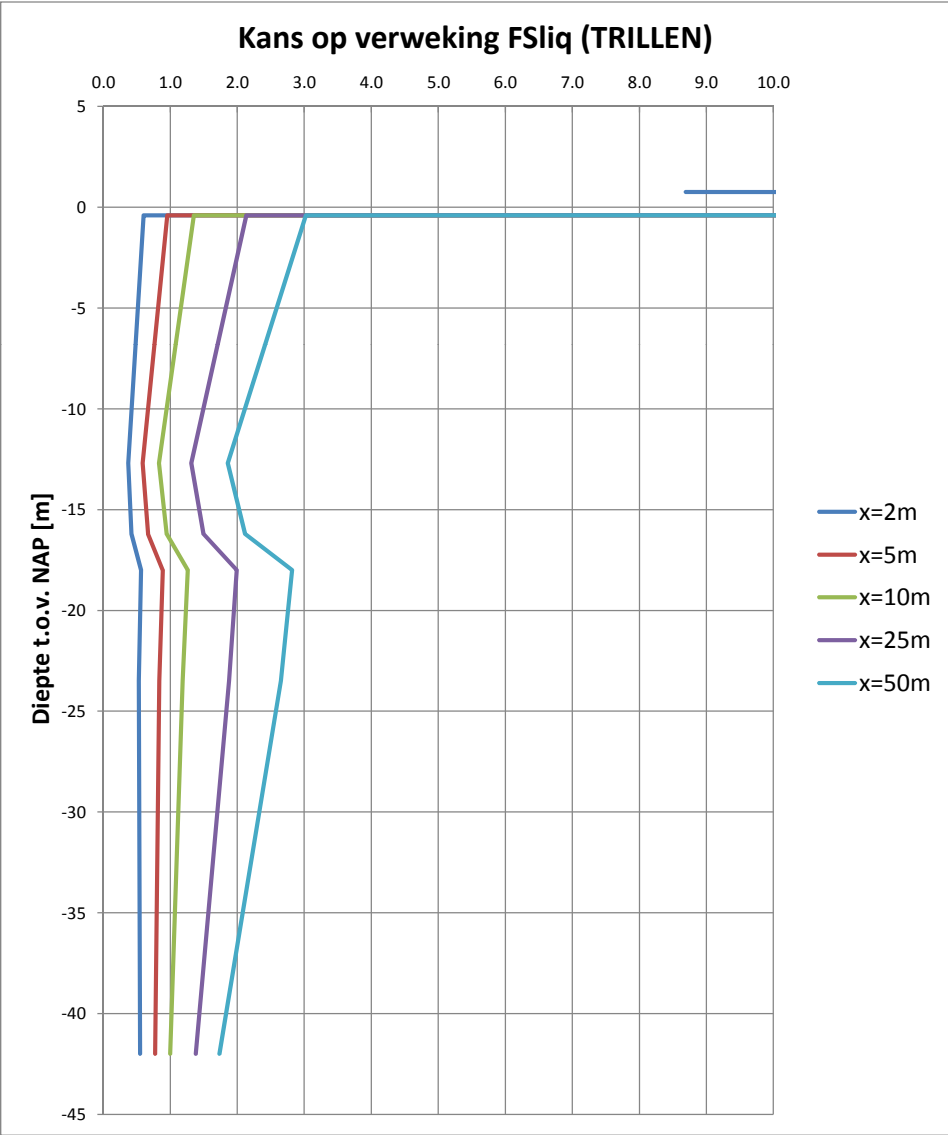
Uitkomsten optredende verwekingen FSliq

TRILLEN

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s2]	2.5516	1.6137	1.1411	0.7217	0.5103
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	8.69	13.75	19.44	30.74	43.47
Dz: duinzand	483.21	764.05	1080.53	1708.48	2416.15
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.60	0.96	1.35	2.14	3.02
Scz1: Spisulazand 1	0.37	0.59	0.83	1.31	1.86
Scz2: Spisulazand 2	0.42	0.67	0.95	1.50	2.12
Dz: dekszand	0.56	0.89	1.26	1.99	2.82
Bx: formatie van Boxtel	0.53	0.84	1.19	1.88	2.65
Ur: Formatie van Urk	0.55	0.78	1.00	1.38	1.73

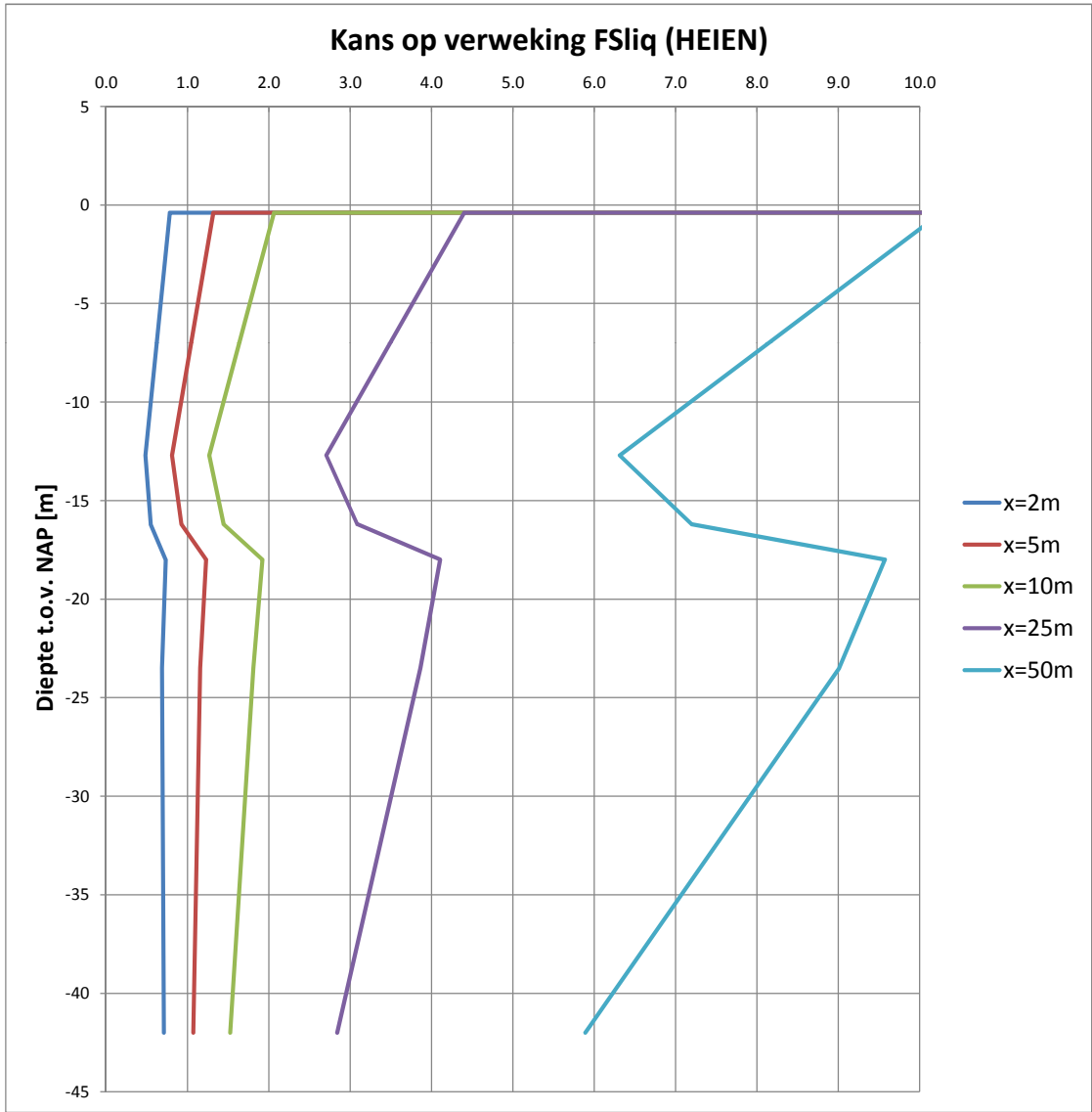
Er treedt verweking op wanneer $FS_{liq} < 1,0$

Verwekingsgevoelige lagen

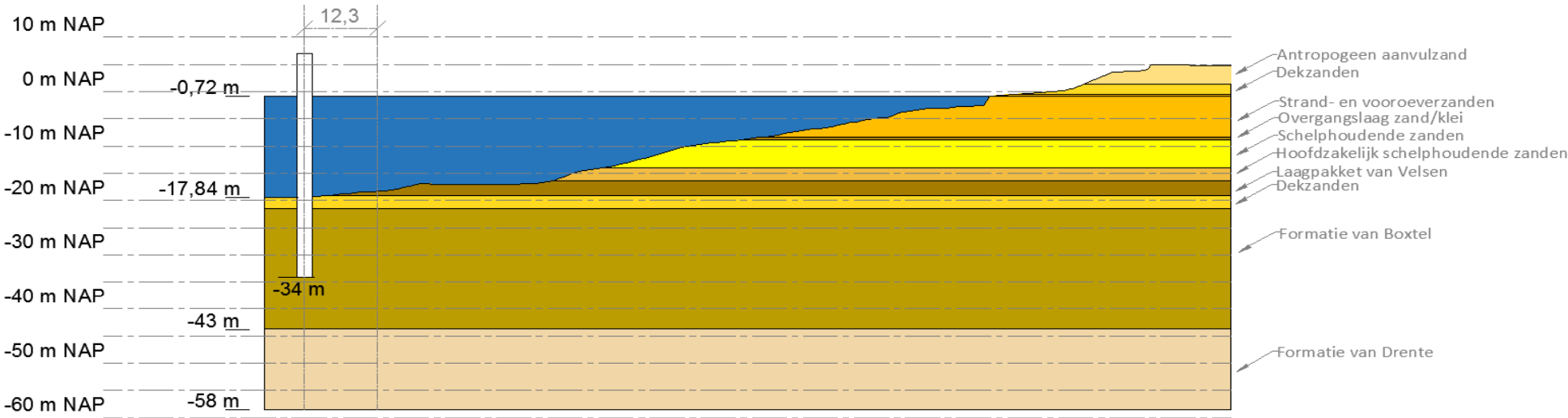


HEIEN

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s2]	1.9611	1.1681	0.7473	0.3502	0.1502
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	11.31	18.99	29.68	63.36	147.72
Dz: duinzand	628.72	1055.57	1649.81	3521.20	8210.19
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.79	1.32	2.06	4.40	10.27
Scz1: Spisulazand 1	0.48	0.81	1.27	2.71	6.31
Scz2: Spisulazand 2	0.55	0.93	1.45	3.09	7.20
Dz: dekszand	0.73	1.23	1.92	4.11	9.58
Bx: formatie van Boxtel	0.69	1.16	1.81	3.87	9.01
Ur: Formatie van Urk	0.71	1.07	1.53	2.84	5.89



VH3



Grondopbouw en parameters		VH3					
Grondlaag		Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).		5.37	1.8	3.57	16	20	
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.		1.8	-0.2	2	17	20	
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.		-0.2	-0.72	0.52	18	21	
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. Nat		-0.72	-6.8	6.08	18	21	
Overgangslaag: zand/klei, veendetritus, gelaagd		-6.8	-8	1.2	18	18	
Schelfhoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt		-8	-13.2	5.2	17	21	
Hoofdzakelijk schelfhoudende zanden: fijn tot matig fijn zand		-13.2	-18.3	5.1	18	21	
Klei, humeus, compact		-18.3	-19	0.7	18	18	
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.		-19	-23	4	17	20	
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden		-23	-45	22	18	21	
Eem formatie en formatie van Drente; Eem klei en keileem		-45	-58	13	17	20	

Met daarin:

Symbool		Eenheid
γ_{droog}	Volumegewicht droog	kN/m ³
γ_{nat}	Volumegewicht nat (verzadigd)	kN/m ³

Laagwater --> NAP -0,72 m

Bepalen van optredende trillingen afkomstig van trillen

Invoer

Uitvoer

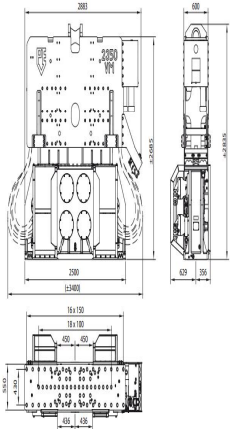
Gegevens trilblok
gekozen type: PVE2350

Symbool		Waarde	Eenheid
F_{trilblok}	Slagkracht trilblok	2900	kN
N	Toerental	2300	tpm
f	Frequentie trilblok	38.33	Hz

Symbool	Profiel Amsterdam, CUR 166 Tabel 5.21	Waarde	Eenheid
V_0	Referentietrillingssnelheid op $r_0=5\text{m}$ afstand	0.0016	m/s
C_{vel}	Emperische parameter, afhankelijk van de grondslag	0.000002	m/s
a	dempingsconstante	0	m/s^{-1}

Bepalen bronsterkte

Symbool	Formule		Uitkomsten	Eenheid
$V_{0,corr} (x=5\text{m})$	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte	$V_0 + C_{\text{vel}} (F-350)$	0.0067	m/s
			6.7	mm/s



Bepalen van optredende trillingen afkomstig van heien

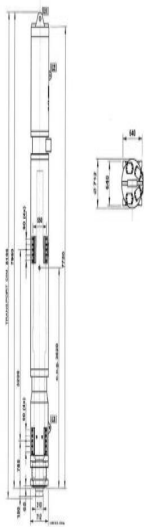
Gegevens heiblok
gekozen type: IHC S120

Symbool		Waarde	Eenheid
E_h	Energie heiblok	120000	Nm
$m_{heiblok}$	Massa heiblok	14300	kg
f	Frequentie heiblok	10.00	Hz

Symbool	Profiel Amsterdam, CUR 166 Tabel 5.20	Waarde	Eenheid
V_0	Referentietrillingssnelheid op $r_0=5m$ afstand	6.00E-05	m/s
a	dempingsconstante	0.02	m/s^{-1}

Bepalen bronsterkte

Symbool	Formule		Uitkomsten	Eenheid
$V_{0,corr} (x=5m)$	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte	$V_0 * \sqrt{(0,8 * E_h)}$	0.0186	m/s
			18.5903	mm/s



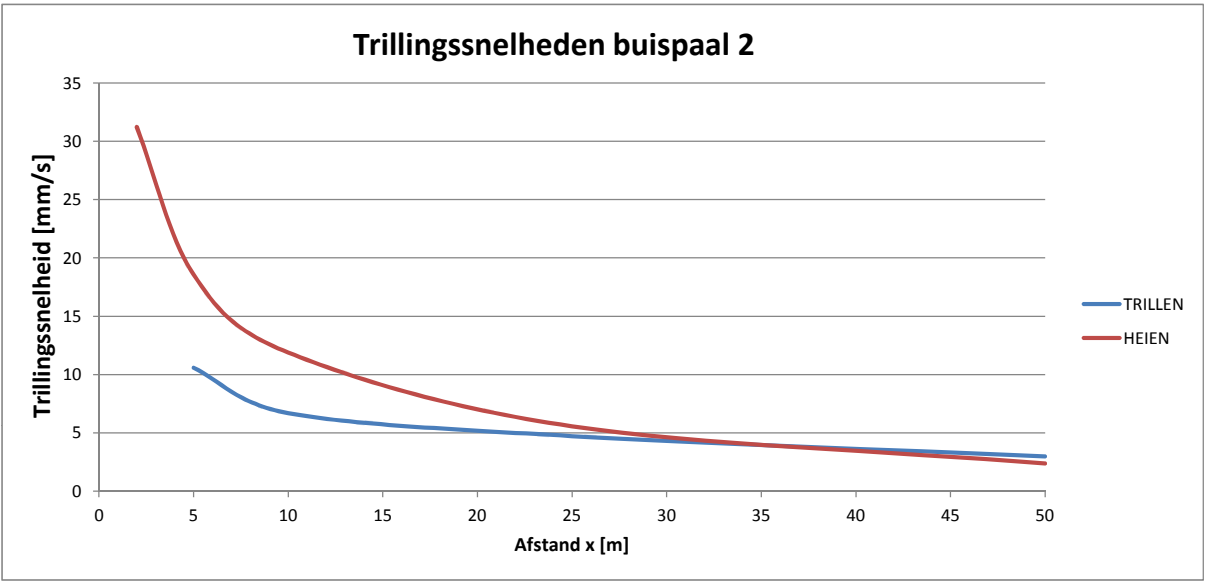
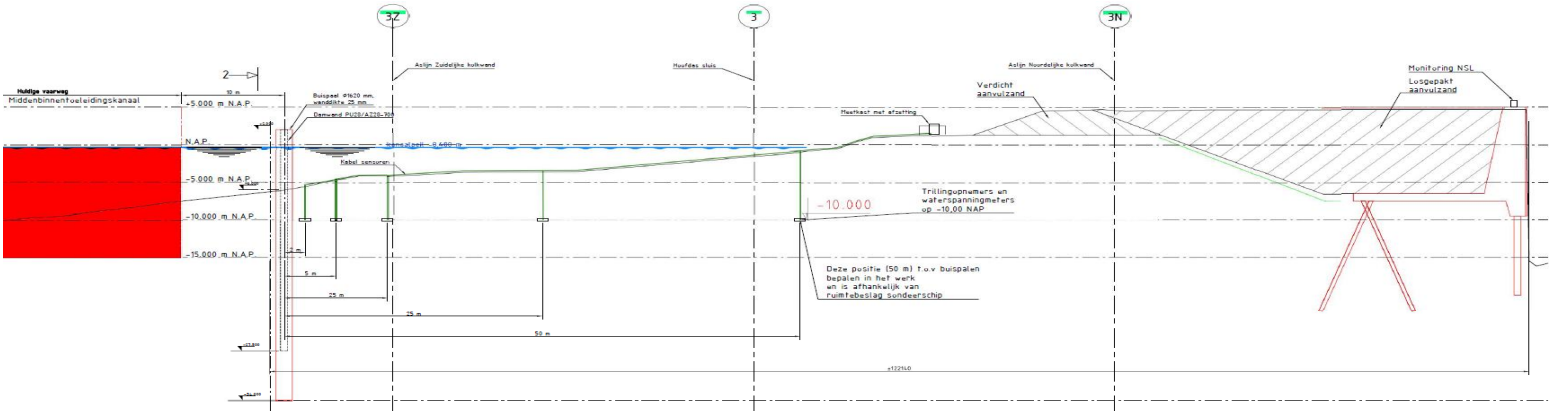
Invoer

Uitvoer

Invoergegevens

Symbool		Waarde	Eenheid
$V_{0,corr}$ (x=5m)	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte (TRILLEN)	6.7	mm/s
$V_{0,corr}$ (x=5m)	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte (HEIEN)	18.5903	mm/s
x_0	Referentieafstand	5	m
x_1	Afstand van de bron (TM1)	2	m
x_2	Afstand van de bron (TM2)	5	m
x_3	Afstand van de bron (TM3)	10	m
x_4	Afstand van de bron (TM4)	25	m
x_5	Afstand van de bron (TM5)	50	m
g	Valversnelling	9.81	m/s ²

Situatieschets



Bepalen trillingssnelheid op afstand x van de bron

TRILLEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
V_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_1} * \exp[-a*(x_1-x_0)]$	10.594	mm/s
V_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_2} * \exp[-a*(x_2-x_0)]$	6.700	mm/s
V_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_3} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	4.738	mm/s
V_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_4} * \exp[-a*(x_4-x_0)]$	2.996	mm/s
V_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_5} * \exp[-a*(x_5-x_0)]$	2.119	mm/s

HEIEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
V_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_3} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	31.211	mm/s
V_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_2} * \exp[-a*(x_2-x_0)]$	18.590	mm/s
V_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_3} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	11.894	mm/s
V_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_4} * \exp[-a*(x_4-x_0)]$	5.573	mm/s
V_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	$V_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_5} * \exp[-a*(x_5-x_0)]$	2.390	mm/s

Bepalen van horizontale versnellingen

Invoer

Invoergegevens			
Symbool		Waarde	Eenheid
f_{heiblok}	Frequentie heiblok	10.00	Hz
	Frequentie trilblok	38.33	Hz

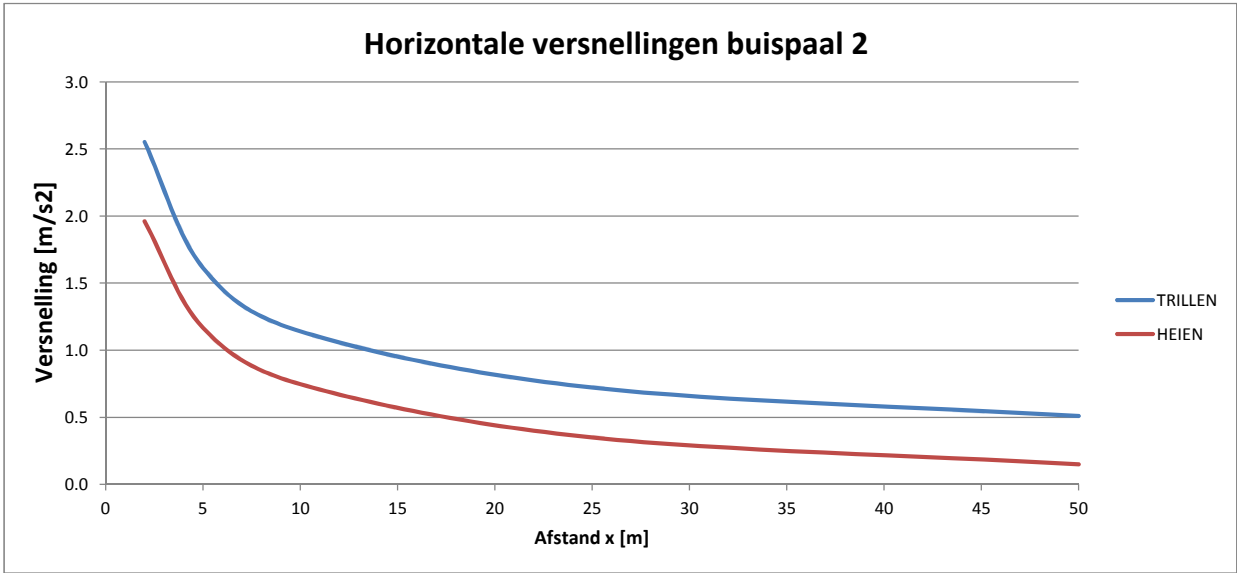
TRILLEN			
Symbool		Uitkomsten	Eenheid
v_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	10.594	mm/s
v_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	6.700	mm/s
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	4.738	mm/s
v_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	2.996	mm/s
v_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	2.119	mm/s

HEIEN			
Symbool		Uitkomsten	Eenheid
v_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	31.211	mm/s
v_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	18.590	mm/s
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	11.894	mm/s
v_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	5.573	mm/s
v_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	2.390	mm/s

Uitvoer

Bepalen versnellingen op afstand x van de bron				
TRILLEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a_{x1}	Versnelling op afstand x_1 van de bron	$V_{x1} * 2 * \pi * f / 1000$	2.5516	m/s^2
a_{x2}	Versnelling op afstand x_2 van de bron	$V_{x2} * 2 * \pi * f / 1000$	1.6137	m/s^2
a_{x3}	Versnelling op afstand x_3 van de bron	$V_{x3} * 2 * \pi * f / 1000$	1.1411	m/s^2
a_{x4}	Versnelling op afstand x_4 van de bron	$V_{x4} * 2 * \pi * f / 1000$	0.7217	m/s^2
a_{x5}	Versnelling op afstand x_5 van de bron	$V_{x5} * 2 * \pi * f / 1000$	0.5103	m/s^2

HEIEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a_{x1}	Versnelling op afstand x_1 van de bron	$V_{x1} * 2 * \pi * f / 1000$	1.9611	m/s^2
a_{x2}	Versnelling op afstand x_2 van de bron	$V_{x2} * 2 * \pi * f / 1000$	1.1681	m/s^2
a_{x3}	Versnelling op afstand x_3 van de bron	$V_{x3} * 2 * \pi * f / 1000$	0.7473	m/s^2
a_{x4}	Versnelling op afstand x_4 van de bron	$V_{x4} * 2 * \pi * f / 1000$	0.3502	m/s^2
a_{x5}	Versnelling op afstand x_5 van de bron	$V_{x5} * 2 * \pi * f / 1000$	0.1502	m/s^2



Bepalen van optreden verweking (Relatieve dichtheid [%])

De relatieve dichtheid is afhankelijk van de conusweerstand en wordt bepaald met de volgende formule:

$$R_{\sigma} = \frac{1}{C_2} \ln \left[\frac{q_c}{C_0 (\sigma'_{v0})^{C_1}} \right] \cdot 100\%$$

Met daarin:		
	Symbol	Eenheid
	q _c	Conusweerstand kN/m ²
	σ' _{v0}	Korrelspanning op beschouwd niveau kPa
	Re	Relatieve dichtheid %

Waarbij voor C₀, C₁ en C₂ de volgende waarde moet worden aangehouden:

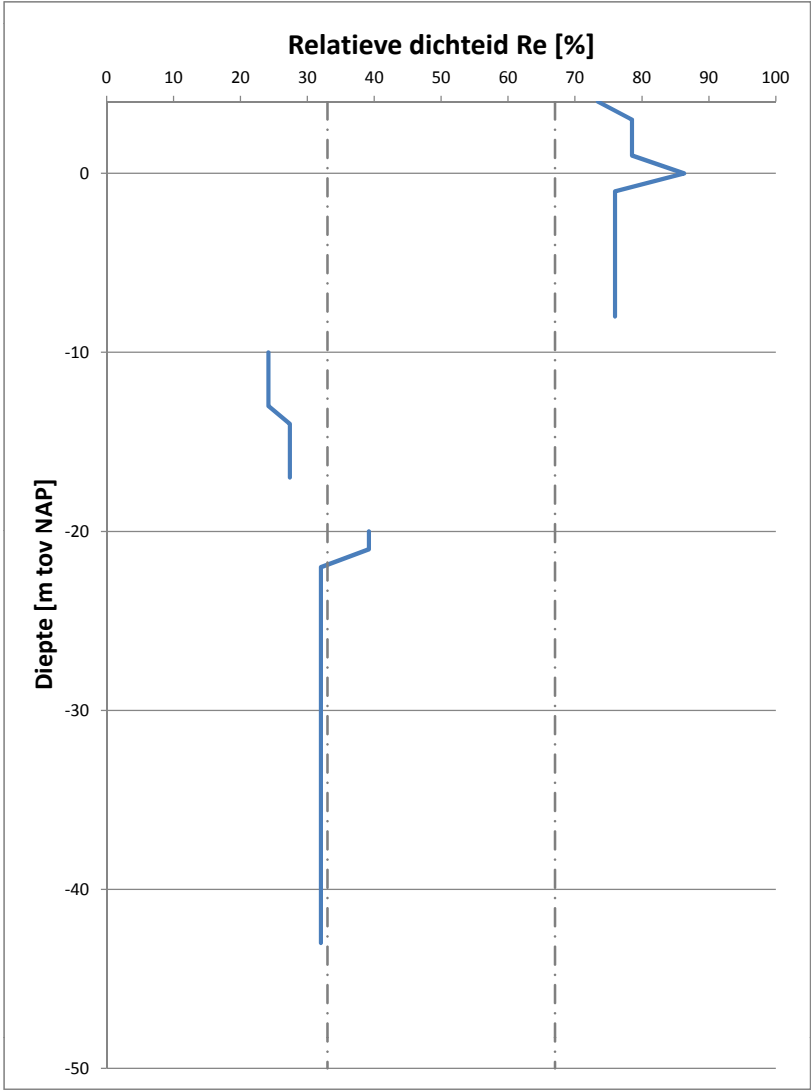
Ad a: Lunne&Christoffersen (1983)

C₀ = 61;

C₁ = 0,71;

C₂ = 2,91.

Grondlaag	σ' _{v0}	q _c	C0	C1	C2	Re	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]
Ao droog	57.12	9135.333333	61	0.71	2.91	73	5.37	1.8
Dz	91.12	14753.13	61	0.71	2.91	79	1.8	-0.2
Stz	100.48	19851.53846	61	0.71	2.91	86	-0.2	-0.72
Stz nat	228.16	26310	61	0.71	2.91	76	-0.72	-6.8
Ol	249.76	3220	61	0.71	2.91		-6.8	-8
Scz1	358.96	8030	61	0.71	2.91	24	-8	-13.2
Scz2	466.06	10620	61	0.71	2.91	27	-13.2	-18.3
Vk/Bv	478.66	2400	61	0.71	2.91		-18.3	-19
Dz	558.66	17020	61	0.71	2.91	39	-19	-23
Bx	1020.66	21203	61	0.71	2.91	32	-23	-45
Ee/Dr	1280.66	30320	61	0.71	2.91		-45	-58



Bepalen van optreden verweking

Grondopbouw en parameters [VH3]

Grondlaag	z	σ _{vo}	σ' _{vo}	Kσ	r _d	α(z)	β(z)	qc	qc1Ncs	Cσ	C _N
Ao	3.57	57.12	57.12	1.077474031	0.97623583	-0.169159	0.0193477	9135	132.95	0.13834256	1.4552979
Dz	5.57	91.12	91.12	1.015820618	0.95425761	-0.308072	0.0348333	14753	157.02	0.17012722	1.0642871
Stz	6.09	100.48	100.48	0.998771961	0.94803699	-0.347771	0.0392464	19852	197.88	0.25645506	0.9967968
Stz,nat	12.17	288.96	228.16	0.866505539	0.86460471	-0.885397	0.0986552	26310	151.39	0.16183561	0.5754128
Ol	13.37	322.56	249.76	0.95356013	0.84678712	-1.00032	0.1112019	3220	17.44	0.05073564	0.5415763
Scz1	18.57	483.76	358.96	0.921603155	0.77015918	-1.484398	0.1630987	8030	34.11	0.06134143	0.4247361
Scz2	23.67	641.86	466.06	0.902053851	0.70299555	-1.870975	0.202476	10620	37.87	0.06363676	0.3565693
Vk/Bv	24.37	661.46	478.66	0.931300517	0.69483108	-1.912866	0.206504	2400	8.41	0.04387443	0.350253
Dz	28.37	781.46	558.66	0.873717381	0.65441714	-2.086908	0.2217197	17020	53.75	0.0734043	0.3157993
Bx	50.37	1463.46	1020.66	0.842463445	0.68721274	-1.009366	0.0845672	21203	44.71	0.06781499	0.2108869
Ee/Dr	63.37	1853.46	1280.66	0.810943483	0.93362897	-0.003139	-0.0087384	30320	54.92	0.07414095	0.1811421

Met daarin:

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
σ _{vo}	Grondspanning op beschouwd niveau	σ' _{vo} * σ _{water}	Tabel	kN/m ²
σ' _{vo}	Korrelspanning op beschouwd niveau	γ _{grondlaag} * dikte grondlaag	Tabel	kN/m ²
K _σ	Correctiefactor isotrope spanningstoestand	1 - Cσ * Ln(σ' _{vo} / Pa)	Tabel	-
Cσ		1 / (37,3 - 8,27 * (q _{c1Ncs} ^{0,264})	Tabel	-
C _N	Correctiefactor	(Pa / σ' _{vo}) ^{0,67}	Tabel	-
qc	Conusweerstand	-	Tabel	MPa
z	Diepte onder onder maaiveld	-	Tabel	m
r _d	Diepte reductiefactor	exp[α(z) + β(z) * M	Tabel	-
α(z)		-.1,012 - 1,126*SIN((z/11,73)+5,133)	Tabel	-
β(z)		0,106 +0,118*sin((z/11,28)+5,142)	Tabel	-
Pa	Atmosferische druk	-	100	kPa
q _{c1Ncs}	Genormaliseerde conusweerstand	C _N * (qc / Pa)	Tabel	kN/m ²

Bepalen Cyclic Stress Ratio (CSR)

[Idriss & Boulanger]

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
g	Valversnelling	-	9.81	m/s ²
amax,trillen	Maximale horizontale versnelling bij trillingen		0.5103	m/s ²
amax,heien	Maximale horizontale versnelling bij heien		0.1502	m/s ²
M	Magnitude	-	7.5	-
MSF-zand	Magnitude schaafactor voor zandgronden	6,9 * exp[-M / 4] - 0,058	1.000149272	-
MSF-klei	Magnitude schaafactor voor kleigronden	1,12 * exp[-M / 4] + 0,828	0.999757563	-

Bepalen van optreden verweking (2)

CSR Cyclic stress ratio per grondlaag

Gebruikte formule:

$$0,65 \cdot (a_{\max} / g) \cdot (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) \cdot (r_d / MSF) \cdot (1 / K_{\sigma})$$

TRILLEN

Grondlaag	Waarde
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.030630827
Dz: dekzand	0.031758457
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.03209
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	0.042722362
Ol: Overgangslaag	0.038787759
Scz1: Spisulazand 1	0.038074238
Scz2: Spisulazand 2	0.036285188
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.034869583
Dz: dekzand	0.035420415
Bx: formatie van Bortel	0.039541276
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.056352607

HEIEN

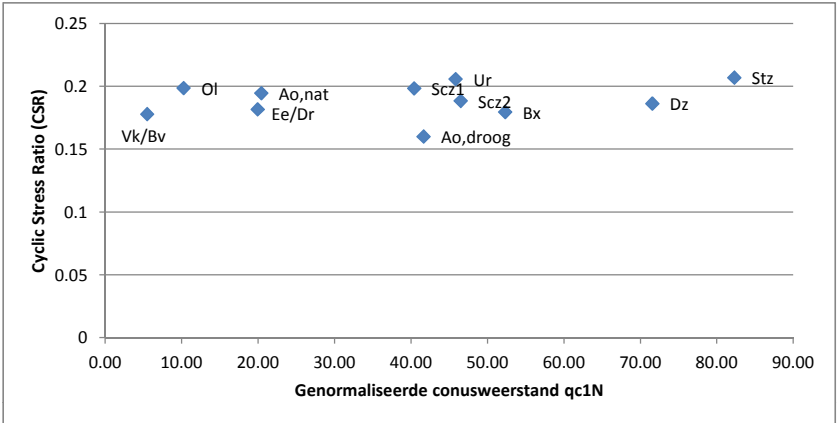
Grondlaag	Waarde
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.009014241
Dz: dekzand	0.009346087
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.009443656
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	0.012572617
Ol: Overgangslaag	0.011414717
Scz1: Spisulazand 1	0.011204737
Scz2: Spisulazand 2	0.010678244
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.01026165
Dz: dekzand	0.010423753
Bx: formatie van Bortel	0.011636467
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.828216767

CRR Cyclic resistance ratio per grondlaag

Gebruikte formule:

$$= \exp \left(\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.8 \right)$$

Grondlaag	Waarde
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.206934702
Dz: dekzand	0.342610689
Stz: Strand- en vooroeverzand	1.680221467
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	0.297992102
Ol: Overgangslaag	0.070860596
Scz1: Spisulazand 1	0.08146121
Scz2: Spisulazand 2	0.08396075
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.06549761
Dz: dekzand	0.09495498
Bx: formatie van Bortel	0.088608176
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.095800051



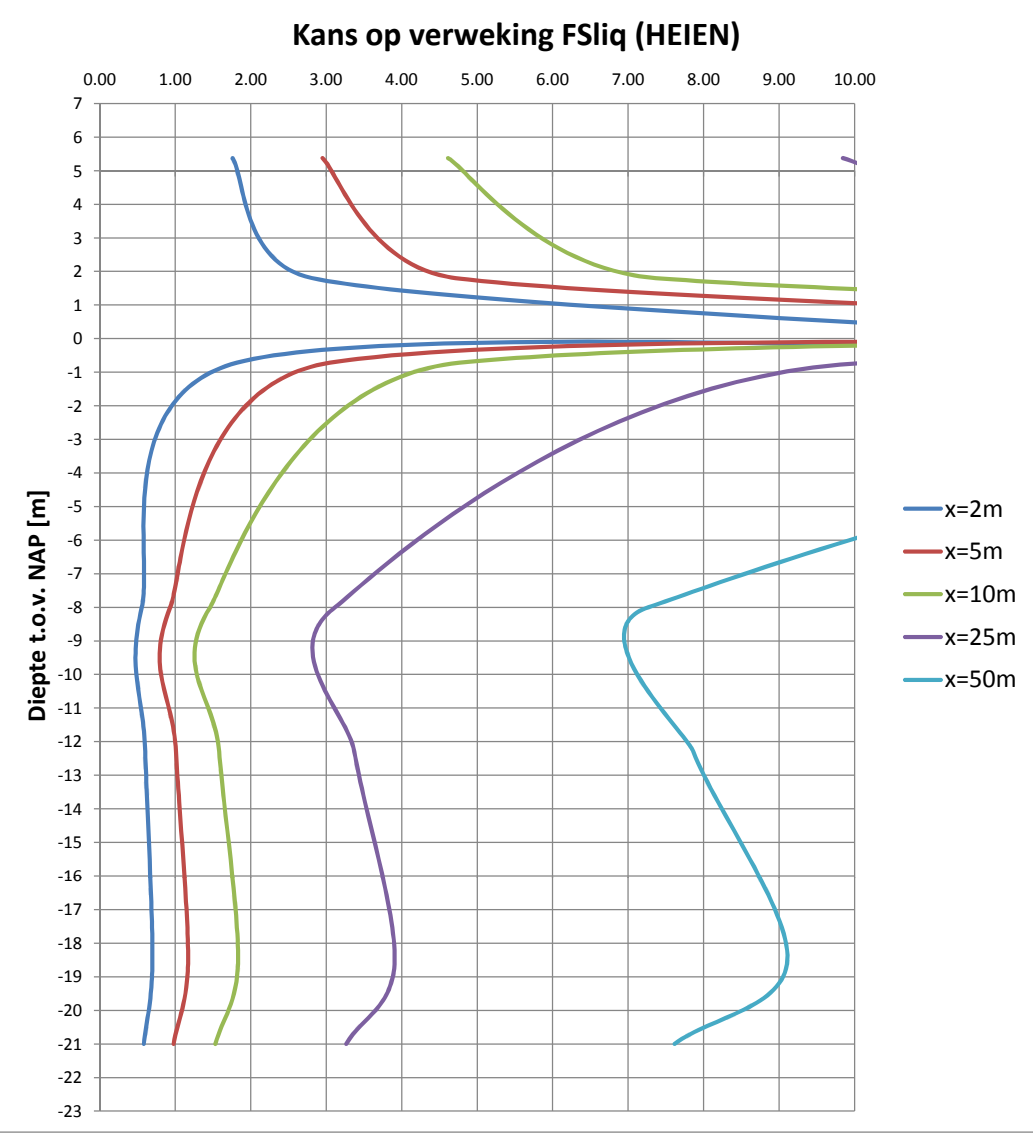
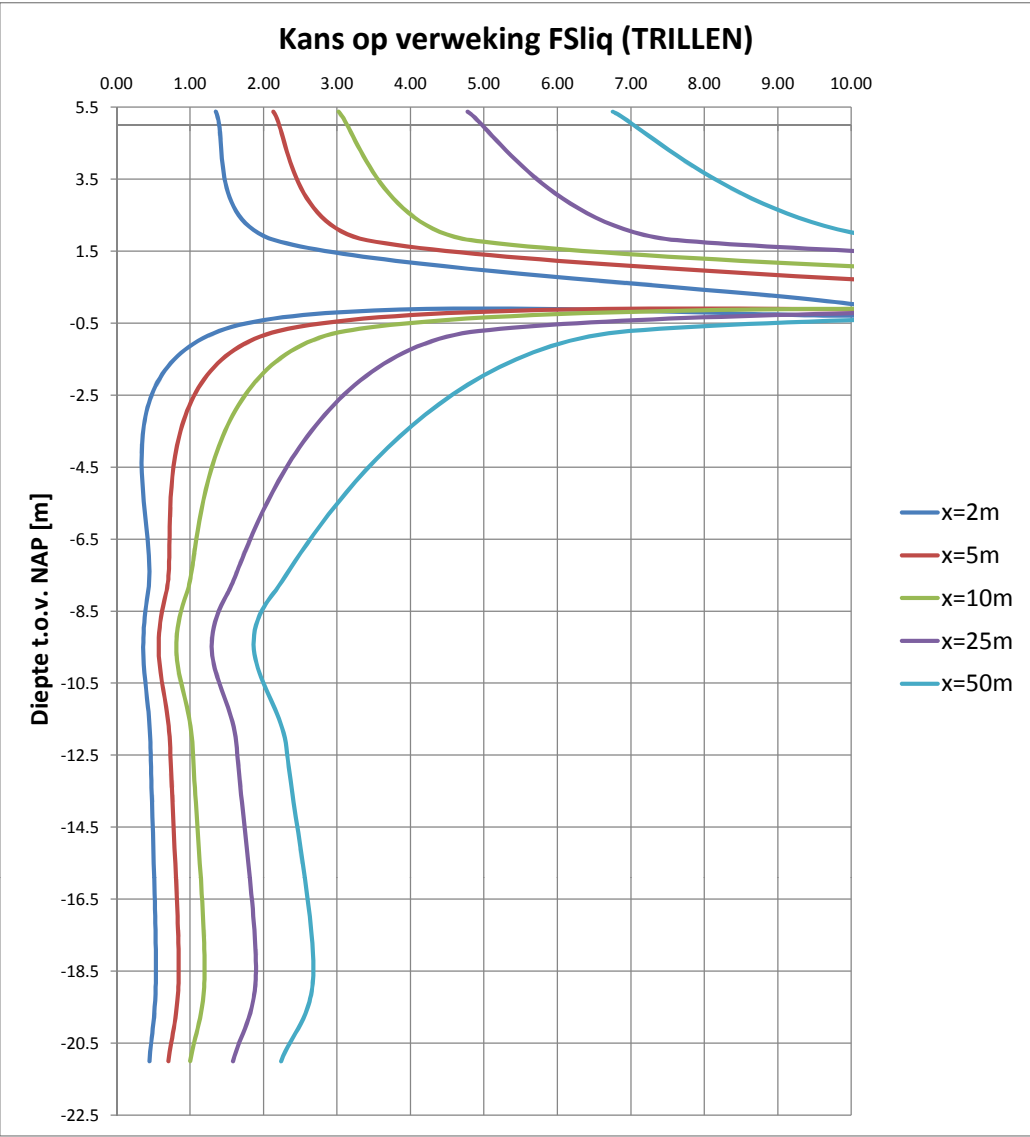
Uitkomsten optredende verwekingen FSliq

TRILLEN

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s2]	2.5516	1.6137	1.1411	0.7217	0.5103
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	1.35	2.14	3.02	4.78	6.76
Dz: dekzand	2.16	3.41	4.82	7.63	10.79
Stz: Strand- en vooroeverzand	10.47	16.56	23.42	37.02	52.36
Stz: Strand- en vooroeverzand, nat	1.39	2.21	3.12	4.93	6.98
Scz1: Spisulazand 1	0.43	0.68	0.96	1.51	2.14
Scz2: Spisulazand 2	0.46	0.73	1.03	1.64	2.31
Dz: dekzand	0.54	0.85	1.20	1.90	2.68
Bx: formatie van Boxtel	0.45	0.71	1.00	1.58	2.24

HEIEN

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s2]	1.9611	1.1681	0.7473	0.3502	0.1502
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	1.76	2.95	4.61	9.85	22.96
Dz: dekzand	2.81	4.71	7.37	15.72	36.66
Stz: Strand- en vooroeverzand	13.62	22.88	35.75	76.31	177.92
Stz: Strand- en vooroeverzand, nat	1.82	3.05	4.76	10.17	23.70
Scz1: Spisulazand 1	0.56	0.93	1.46	3.12	7.27
Scz2: Spisulazand 2	0.60	1.01	1.58	3.37	7.86
Dz: dekzand	0.70	1.17	1.83	3.91	9.11
Bx: formatie van Boxtel	0.58	0.98	1.53	3.27	7.61



Vergelijking tussen de sonderingen

DKMP17

Grondlaag/Afstand x	x1	x2	x3	x4	x5	
Afstand [m]		2	5	10	25	50
a.max [m/s2]	2.5516181	1.6137314	1.14108043	0.72168263	0.51030668	

Verwekingsgevoelige lagen

Meest verwekingsgevoelig

	FSliq		z			σv0	σ'v0	owater	Kσ	rd	α(z)	β(z)	qc	qc1Ncs	Cσ	CN	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γdroog [kN/m³]	γnat [kN/m³]	
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.54	0.85	1.21	1.91	2.70	5.2	83.2	83.2	0	1.012126	0.958564	-0.28071	0.031785	3680	41.6	0.065928	1.131143	4.8	-0.4	5.2	16	20
AO: Antropogene laag (aanvulzand,nat)	0.37	0.59	0.84	1.32	1.87	8.8	191.2	155.2	36	0.976822	0.912862	-0.57354	0.064316	2740	20.4	0.052732	0.744908	-0.4	-4	3.6	16	20
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.57	0.90	1.27	2.01	2.85	12.3	299.7	228.7	71	0.923455	0.862684	-0.8978	0.100013	14320	82.3	0.092531	0.574502	-4	-7.5	3.5	18	21
Scz1: Spisulazand 1	0.43	0.68	0.97	1.53	2.16	16.6	431.5	317.5	114	0.9247	0.798718	-1.3069	0.144287	8760	40.4	0.065177	0.461139	-8	-11.8	3.8	17	21
Scz2: Spisulazand 2	0.48	0.75	1.07	1.69	2.38	22.3	608.2	437.2	171	0.898356	0.719799	-1.78029	0.193534	12490	46.5	0.068901	0.372173	-11.8	-17.5	5.7	18	21
Dz: dekzand	0.58	0.92	1.30	2.06	2.91	26.5	731.8	518.8	213	0.860075	0.671918	-2.02005	0.216324	21560	71.5	0.084991	0.331856	-18.7	-21.7	3	17	20
Bx: formatie van Bostel	0.52	0.83	1.17	1.85	2.61	43.3	1252.6	871.6	381	0.843025	0.623198	-1.64815	0.156701	22312	52.3	0.0725	0.234416	-21.7	-38.5	16.8	18	21
Ur: Formatie van Urk	0.43	0.69	0.97	1.54	2.17	51.8	1511.7	1045.7	466	0.839229	0.706845	-0.87245	0.070068	22083	45.8	0.068493	0.20749	-42.9	-47	4.1	18	21

DKMP21

Grondlaag/Afstand x	x1	x2	x3	x4	x5	
Afstand [m]		2	5	10	25	50
a.max [m/s2]	2.5516181	1.6137314	1.14108043	0.72168263	0.51030668	

	FSliq		z	ov0	σ'v0	owater	Kσ	rd	α(z)	β(z)	qc	qc1Ncs	Cσ	CN	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	Ydroog [kN/m³]	Ynat [kN/m³]			
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	8.69	13.75	19.44	30.74	43.47	0.96	15.36	15.36	0	1.431124	0.999499	-0.02517	0.003289	5360	188.1	0.230129	3.508471	0.76	-0.2	0.96	16	20
Dz: duinzand	483.21	764.05	1080.53	1708.48	2416.15	1.16	18.76	18.76	0	1.785151	0.997958	-0.03456	0.004335	7840	240.6	0.469183	3.068556	-0.2	-0.4	0.2	17	20
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.60	0.96	1.35	2.14	3.02	5.66	158.26	113.26	45	0.986715	0.953195	-0.31484	0.035587	10920	100.5	0.106695	0.919959	-0.4	-4.9	4.5	18	21
Scz1: Spisulazand 1	0.37	0.59	0.83	1.31	1.86	13.56	403.16	279.16	124	0.93679	0.843953	-1.01856	0.113187	6860	34.5	0.061572	0.502665	-4.9	-12.8	7.9	17	21
Scz2: Spisulazand 2	0.42	0.67	0.95	1.50	2.12	17.16	514.76	354.76	160	0.912548	0.790505	-1.35842	0.149779	10920	46.7	0.069063	0.428099	-12.8	-16.4	3.6	18	21
Dz: dekzand	0.56	0.89	1.26	1.99	2.82	24.36	727.56	495.56	232	0.85767	0.694946	-1.91229	0.206449	22570	77.2	0.088928	0.342204	-18	-23.6	5.6	17	20
Bx: formatie van Bostel	0.53	0.84	1.19	1.88	2.65	38.96	1180.16	802.16	378	0.846898	0.610385	-1.94106	0.192986	21770	54.0	0.073531	0.247825	-23.6	-38.2	14.6	18	21
Ur: Formatie van Urk	0.55	0.78	1.00	1.38	1.73	50.76	1542.16	1046.16	496	0.774194	0.692346	-0.97194	0.080569	42038	87.2	0.096181	0.207429	-42	-50	8	18	21

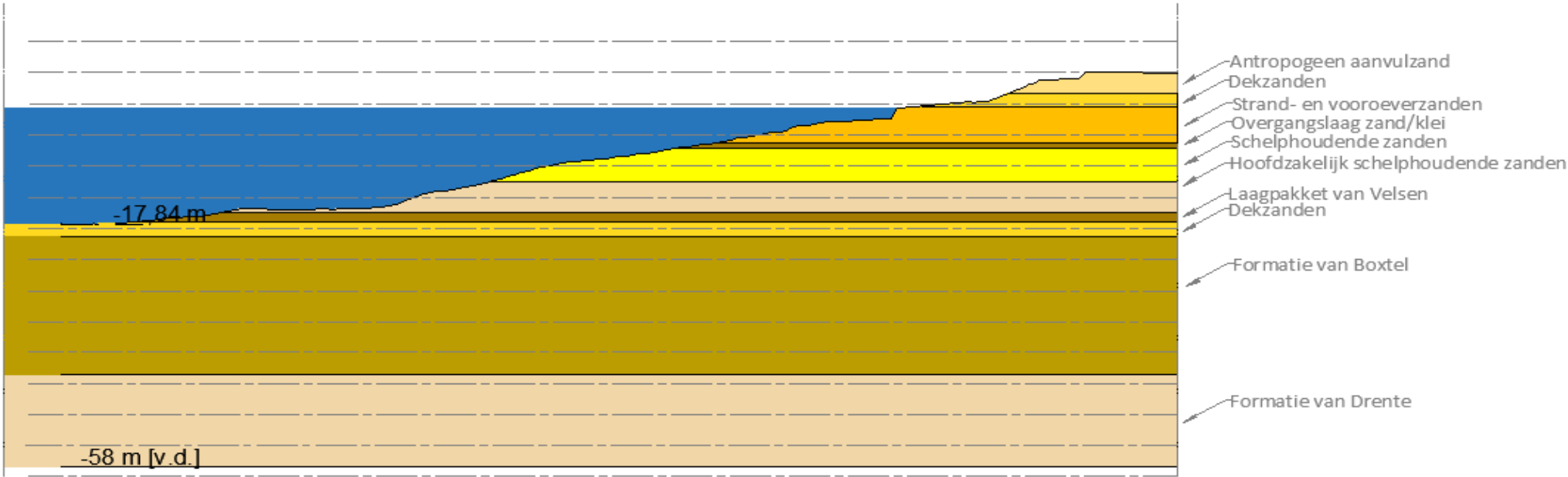
VH3

Grondlaag/Afstand x	x1	x2	x3	x4	x5	
Afstand [m]		2	5	10	25	50
a.max [m/s2]	2.5516181	1.6137314	1.14108043	0.72168263	0.51030668	

	FSliq					z	ov0	o'v0	owater	Kσ	rd	α(z)	β(z)	qc	qc1Ncs	Cσ	CN	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	Ydroog [kN/m³]	Ynat [kN/m³]
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	1.35	2.14	3.02	4.78	6.76	3.57	57.12	57.12	0	1.077474	0.976236	-0.16916	0.019348	9135.333	132.9	0.138343	1.455298	5.37	1.8	3.57	16	20
Dz: dekzand	2.16	3.41	4.82	7.63	10.79	5.57	91.12	91.12	0	1.015821	0.954258	-0.30807	0.034833	14753.13	157.0	0.170127	1.064287	1.8	-0.2	2	17	20
Stz: Strand- en vooroeverzand	10.47	16.56	23.42	37.02	52.36	6.09	100.48	100.48	0	0.998772	0.948037	-0.34771	0.039246	19851.54	197.9	0.256455	0.996797	-0.2	-0.72	0.52	18	21
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	1.39	2.21	3.12	4.93	6.98	12.17	288.96	228.16	60.8	0.866506	0.864605	-0.8854	0.098655	26310	151.4	0.161836	0.575413	-0.72	-6.8	6.08	18	21
Scz1: Spisulazand 1	0.43	0.68	0.96	1.51	2.14	18.57	483.76	358.96	124.8	0.921603	0.770159	-1.4844	0.163099	8030	34.1	0.061341	0.424736	-6.8	-13.2	6.4	17	21
Scz2: Spisulazand 2	0.46	0.73	1.03	1.64	2.31	23.67	641.86	466.06	175.8	0.902054	0.702996	-1.87097	0.202476	10620	37.9	0.063637	0.356569	-13.2	-18.3	5.1	18	21
Dz: dekzand	0.54	0.85	1.20	1.90	2.68	28.37	781.46	558.66	222.8	0.873717	0.654417	-2.08691	0.22172	17020	53.7	0.073404	0.315799	-18.3	-23	4.7	17	20
Bx: formatie van Bostel	0.45	0.71	1.00	1.58	2.24	50.37	1463.46	1020.66	442.8	0.842463	0.687213	-1.00937	0.084567	21203	44.7	0.067815	0.210887	-23	-45	22	18	21

Grondlaag/Afstand x	x1	x2	x3	x4	x5																		
Afstand [m]		2	5	10	25	50																	
a.max [m/s2]	2.5515334	1.6137314	1.14108043	0.72168263	0.51030668																		
	FSliq					z	σv0	σ'v0	owater	Kσ	rd	α(z)	β(z)	qc	qc1Ncs	Cσ	CN	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γdroog [kN/m³]	γnat [kN/m³]	
Stz DKMP17	0.57	0.90	1.27	2.01	2.85	12.30	300	229	71	0.92	0.86	-0.90	0.10	14320	82	0.09	0.57	-4	-7.5	3.5	18	21	
Stz DKMP21	0.60	0.96	1.35	2.14	3.02	5.66	158	113	45	0.99	0.95	-0.31	0.04	10920	100	0.11	0.92	-0.4	-4.9	4.5	18	21	
Stz VH3	1.39	2.21	3.12	4.93	6.98	12.17	289	228	61	0.87	0.86	-0.89	0.10	26310	151	0.16	0.58	-0.72	-6.8	6.1	18	21	
Scz1 DKMP17	0.43	0.68	0.97	1.53	2.16	16.60	432	318	114	0.92	0.80	-1.31	0.14	8760	40	0.07	0.46	-8	-11.8	3.8	17	21	
Scz1 DKMP21	0.37	0.59	0.83	1.31	1.86	13.56	403	279	124	0.94	0.84	-1.02	0.11	6860	34	0.06	0.50	-4.9	-12.8	7.9	17	21	
Scz1 VH3	0.43	0.68	0.96	1.51	2.14	18.57	484	359	125	0.92	0.77	-1.48	0.16	8030	34	0.06	0.42	-6.8	-13.2	6.4	17	21	
Scz2 DKMP17	0.48	0.75	1.07	1.69	2.38	22.30	608	437	171	0.90	0.72	-1.78	0.19	12490	46	0.07	0.37	-11.8	-17.5	5.7	18	21	
Scz2 DKMP21	0.42	0.67	0.95	1.50	2.12	17.16	515	355	160	0.91	0.79	-1.36	0.15	10920	47	0.07	0.43	-12.8	-16.4	3.6	18	21	
Scz2 VH3	0.46	0.73	1.03	1.64	2.31	23.67	642	466	176	0.90	0.70	-1.87	0.20	10620	38	0.06	0.36	-13.2	-18.3	5.1	18	21	

Situatieschets



Grondopbouw en parameters		DKMP09					
Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	γ _{droog} [kN/m³]		γ _{nat} [kN/m³]	
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	5	1.8	3.2	16		20	
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	1.8	-0.2	2	17		20	
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	-0.2	-0.72	0.52	18		21	
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	-0.72	-6	5.28	18		21	
Overgangslaag: zand/klei, veendetritus, gelaagd	-6	-7	1	18		18	
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	-7	-12.3	5.3	17		21	
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	-12.3	-17	4.7	18		21	
Klei, humeus, compact	-17	-18.5	1.5	18		18	
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-18.5	-21	2.5	17		20	
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden	-21	-43	22	18		21	
Eem formatie en formatie van Drente; Eem klei en keileem	-43	-58	15	17		20	

Met daarin:

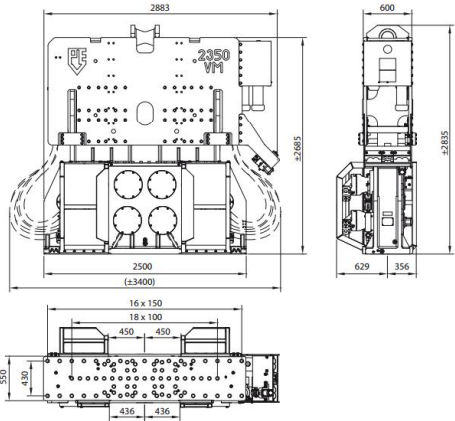
Symbool		Eenheid
γ _{droog}	Volumegewicht droog	kN/m ³
γ _{nat}	Volumegewicht nat (verzadigd)	kN/m ³

Waterstand --> NAP -0,72 m

Bepalen van optredende trillingen afkomstig van trillen

Gegevens trilblok
gekozen type: PVE2350

Symbool		Waarde	Eenheid
F_{trilblok}	Slagkracht trilblok	2900	kN
N	Toerental	2300	tpm
f	Frequentie trilblok	38.33	Hz



Symbool	Profiel Amsterdam, CUR 166 Tabel 5.21	Waarde	Eenheid
V_0	Referentietrillingssnelheid op $r_0=5\text{m}$ afstand	0.0016	m/s
C_{vel}	Emperische parameter, afhankelijk van de grondslag	0.000002	m/s
a	dempingsconstante	0	m/s^{-1}

Bepalen bronsterkte

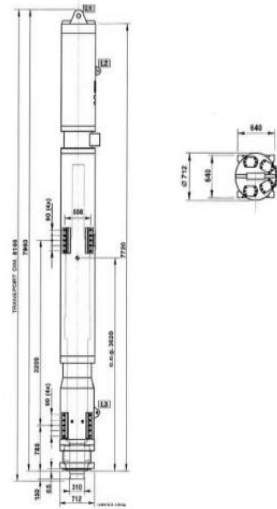
Symbool	Formule		Uitkomsten	Eenheid
$V_{0,\text{corr}} (x=5\text{m})$	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte	$V_0 + C_{\text{vel}} (F-350)$		0.0067 m/s
				6.7 mm/s

Bepalen van optredende trillingen afkomstig van heien

Gegevens heiblok

gekozen type: IHC S120

Symbol	Waarde	Eenheid
E_h	120000	Nm
m_{heiblok}	14300	kg
f	10.00	Hz



Symbol	Profiel Amsterdam, CUR 166 Tabel 5.20	Waarde	Eenheid
V_0	Referentietrillingssnelheid op $r_0=5\text{m}$ afstand	6.00E-05	m/s
a	dempingsconstante	0.02	m/s^{-1}

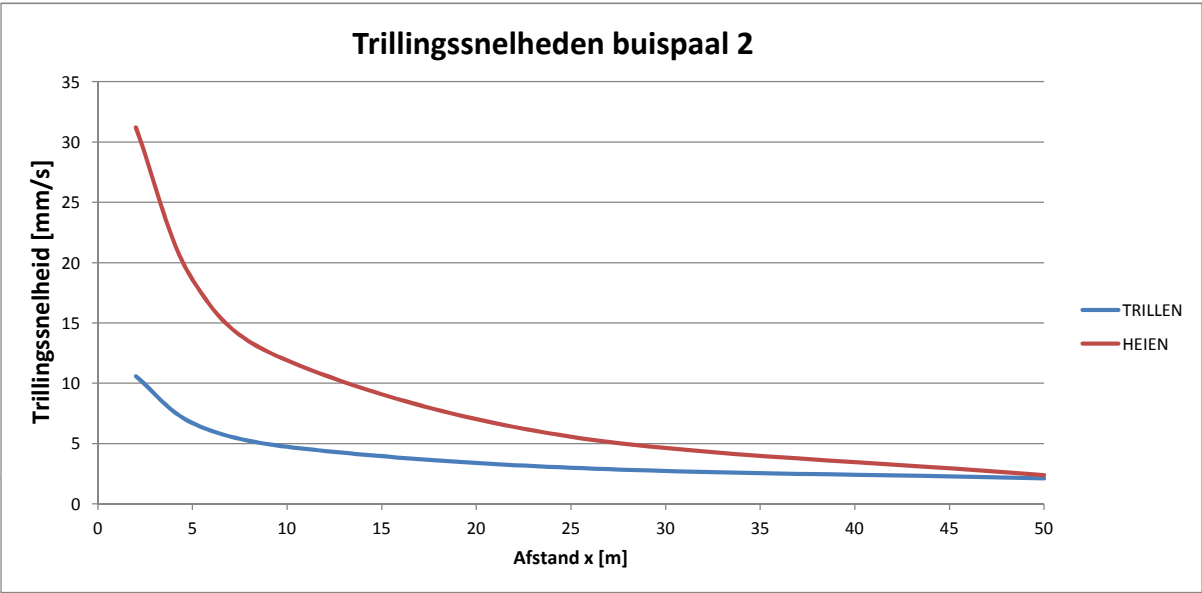
Bepalen bronsterkte

Symbool	Formule		Uitkomsten	Eenheid
$V_{0,corr}$ (x=5m) Verwachtingswaardevoor de bronsterkte	$V_0 * \sqrt{(0,8 * E_h)}$		0.0186	m/s
			18.5903	mm/s

Bepalen van trillingssnelheden

Invoergegevens

Symbool		Waarde	Eenheid
$v_{0,corr} (x=5m)$	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte (TRILLEN)	6.7	mm/s
$v_{0,corr} (x=5m)$	Verwachtingswaardevoor de bronsterkte (HEIEN)	18.5903	mm/s
x_0	Referentieafstand	5	m
x_1	Afstand van de bron (TM1)	2	m
x_2	Afstand van de bron (TM2	5	m
x_3	Afstand van de bron (TM3)	10	m
x_4	Afstand van de bron (TM4)	25	m
x_5	Afstand van de bron (TM5)	50	m
g	Valversnelling	9.81	m/s ²



Bepalen trillingssnelheid op afstand x van de bron

TRILLEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
v_{x1}	Trillingssnelheid op afstand x_1 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_1} * \exp[-a*(x_1-x_0)]$	10.594	mm/s
v_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_2} * \exp[-a*(x_2-x_0)]$	6.700	mm/s
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_3} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	4.738	mm/s
v_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_4} * \exp[-a*(x_4-x_0)]$	2.996	mm/s
v_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_5} * \exp[-a*(x_5-x_0)]$	2.119	mm/s

HEIEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_3} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	31.211	mm/s
v_{x2}	Trillingssnelheid op afstand x_2 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_2} * \exp[-a*(x_2-x_0)]$	18.590	mm/s
v_{x3}	Trillingssnelheid op afstand x_3 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_3} * \exp[-a*(x_3-x_0)]$	11.894	mm/s
v_{x4}	Trillingssnelheid op afstand x_4 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_4} * \exp[-a*(x_4-x_0)]$	5.573	mm/s
v_{x5}	Trillingssnelheid op afstand x_5 van de bron	$v_{0,corr} * \sqrt{x_0/x_5} * \exp[-a*(x_5-x_0)]$	2.390	mm/s

Bepalen van horizontale versnellingen

Invoer

Invoergegevens			
Symbool		Waarde	Eenheid
f _{heiblok}	Frequentie heiblok	10.00	Hz
	f _{trilblok}	38.33	Hz

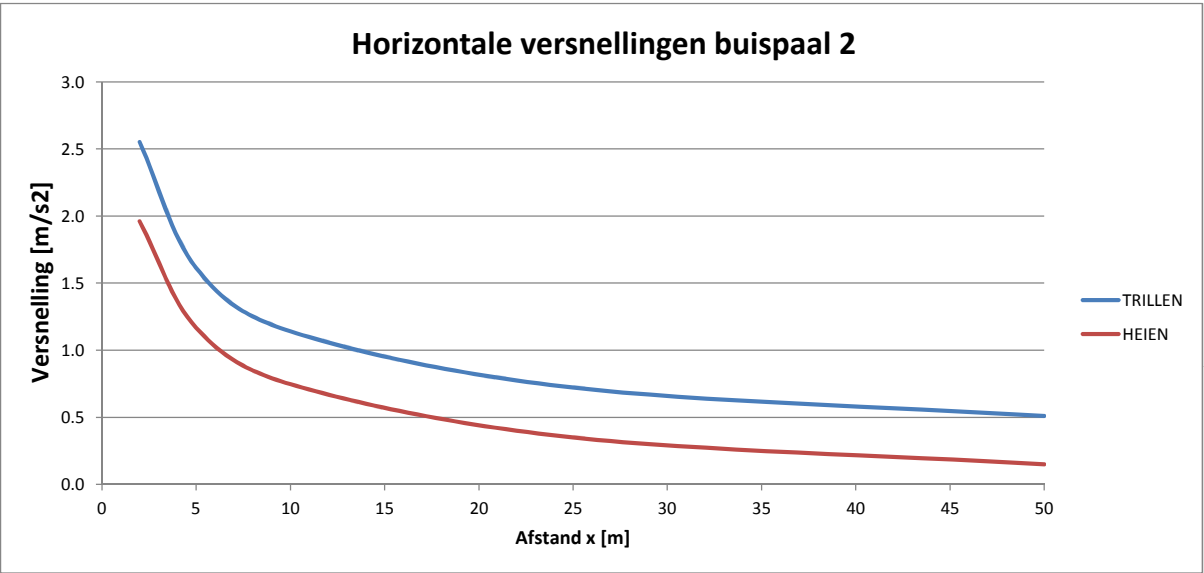
TRILLEN			
Symbool		Uitkomsten	Eenheid
v _{x1}	Trillingssnelheid op afstand x ₁ van de bron	10.594	mm/s
	Trillingssnelheid op afstand x ₂ van de bron	6.700	mm/s
	Trillingssnelheid op afstand x ₃ van de bron	4.738	mm/s
	Trillingssnelheid op afstand x ₄ van de bron	2.996	mm/s
	Trillingssnelheid op afstand x ₅ van de bron	2.119	mm/s

HEIEN			
Symbool		Uitkomsten	Eenheid
v _{x1}	Trillingssnelheid op afstand x ₁ van de bron	31.211	mm/s
	Trillingssnelheid op afstand x ₂ van de bron	18.590	mm/s
	Trillingssnelheid op afstand x ₃ van de bron	11.894	mm/s
	Trillingssnelheid op afstand x ₄ van de bron	5.573	mm/s
	Trillingssnelheid op afstand x ₅ van de bron	2.390	mm/s

Uitvoer

Bepalen versnellingen op afstand x van de bron				
TRILLEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a _{x1}	Versnelling op afstand x ₁ van de bron	V _{x1} * 2 * π * f / 1000	2.5516	m/s ²
a _{x2}	Versnelling op afstand x ₂ van de bron	V _{x2} * 2 * π * f / 1000	1.6137	m/s ²
a _{x3}	Versnelling op afstand x ₃ van de bron	V _{x3} * 2 * π * f / 1000	1.1411	m/s ²
a _{x4}	Versnelling op afstand x ₄ van de bron	V _{x4} * 2 * π * f / 1000	0.7217	m/s ²
a _{x5}	Versnelling op afstand x ₅ van de bron	V _{x5} * 2 * π * f / 1000	0.5103	m/s ²

HEIEN				
Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a _{x1}	Versnelling op afstand x ₁ van de bron	V _{x1} * 2 * π * f / 1000	1.9611	m/s ²
a _{x2}	Versnelling op afstand x ₂ van de bron	V _{x2} * 2 * π * f / 1000	1.1681	m/s ²
a _{x3}	Versnelling op afstand x ₃ van de bron	V _{x3} * 2 * π * f / 1000	0.7473	m/s ²
a _{x4}	Versnelling op afstand x ₄ van de bron	V _{x4} * 2 * π * f / 1000	0.3502	m/s ²
a _{x5}	Versnelling op afstand x ₅ van de bron	V _{x5} * 2 * π * f / 1000	0.1502	m/s ²



Bepalen van optreden verweking (Relatieve dichtheid [%])

De relatieve dichtheid is afhankelijk van de conusweerstand en wordt bepaald met de volgende formule:

$$R_{\text{e}} = \frac{1}{C_2} \ln \left[\frac{q_c}{C_0 (\sigma'_{v0})^{C_1}} \right] \cdot 100\%$$

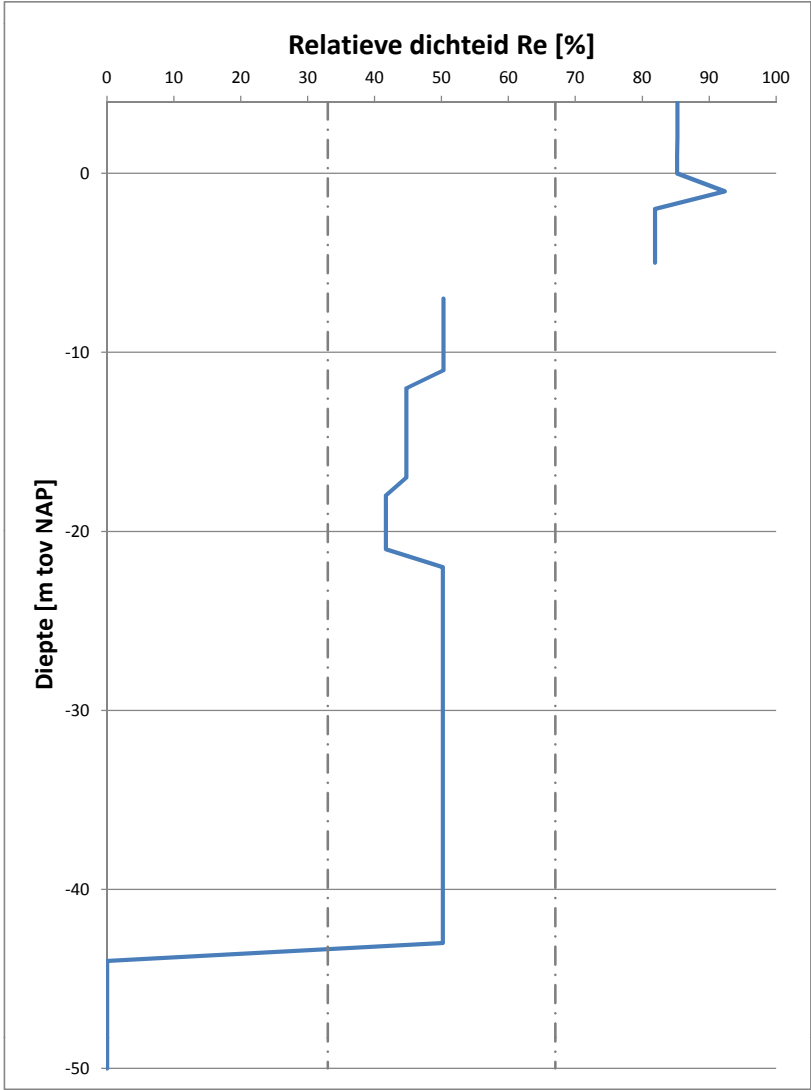
Met daarin:		
	Symbol	Eenheid
	q _c	Conusweerstand kN/m ²
	σ' _{v0}	Korrelspanning op beschouwd niveau kPa
	Re	Relatieve dichtheid %

Waarbij voor C₀, C₁ en C₂ de volgende waarde moet worden aangehouden:

Ad α: Lunne&Christoffersen (1983)

- C₀ = 61;
- C₁ = 0,71;
- C₂ = 2,91.

Grondlaag	σ' _{v0}	q _c	C0	C1	C2	Re	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]
Ao droog	51.2	7900	61	0.71	2.91	71	5	1.8
Dz	85.2	14130	61	0.71	2.91	79	1.8	-0.2
Stz	94.56	22012	61	0.71	2.91	91	-0.2	-0.72
Stz nat	205.44	23850	61	0.71	2.91	75	-0.72	-6
Ol	223.44	5810	61	0.71	2.91		-6	-7
Scz1	334.74	9620	61	0.71	2.91	32	-7	-12.3
Scz2	433.44	12230	61	0.71	2.91	34	-12.3	-17
Vk/Bv	460.44	1120	61	0.71	2.91		-17	-18.5
Dz	510.44	20230	61	0.71	2.91	47	-18.5	-21
Bx	972.44	28544	61	0.71	2.91	43	-21	-43
Ee/Dr	1272.44	9894	61	0.71	2.91		-43	-58



Bepalen van optreden verweking

Grondopbouw en parameters [DKMP09]

Grondlaag	z	σ _{v0}	σ' _{v0}	Kσ	r _d	α(z)	β(z)	qc	qc1Ncs	Cσ	C _N
Ao droog	3.2	51.2	51.2	1.08589	0.97993	-0.14603	0.01677	7900	123.71	0.128296	1.565991
Dz	5.2	85.2	85.2	1.02732	0.95856	-0.28071	0.03178	14130	157.31	0.170573	1.113283
Stz	5.72	94.56	94.56	1.02147	0.95248	-0.31937	0.03609	22012	228.53	0.383849	1.038188
Stz nat	11	258.24	205.44	0.88763	0.88174	-0.77461	0.08650	23850	147.23	0.156070	0.617307
Ol	12	286.24	223.44	0.95078	0.86711	-0.86920	0.09688	5810	33.90	0.061217	0.583529
Scz1	17.3	450.54	334.74	0.91947	0.78846	-1.37118	0.15114	9620	42.82	0.066655	0.445088
Scz2	22	596.24	433.44	0.89958	0.72361	-1.75898	0.19140	12230	45.78	0.068469	0.374333
Vk/Bv	23.5	638.24	460.44	0.93977	0.70502	-1.86033	0.20144	1120	4.03	0.039440	0.359479
Dz	26	713.24	510.44	0.86550	0.67702	-1.99775	0.21436	20230	67.87	0.082513	0.335488
Bx	48	1395.24	972.44	0.82082	0.65963	-1.23538	0.10924	28544	62.18	0.078773	0.217837
Ee/Dr	63	1845.24	1272.44	0.86998	0.92523	-0.01941	-0.00777	9894	18.00	0.051119	0.181925

Met daarin:

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
σ _{v0}	Grondspanning op beschouwd niveau	σ' _{v0} * σ _{water}	<i>Tabel</i>	kN/m ²
σ' _{v0}	Korrelspanning op beschouwd niveau	γ _{grondlaag} * dikte grondlaag	<i>Tabel</i>	kN/m ²
K _σ	Correctiefactor isotrope spanningstoestand	1 - Cσ * Ln(σ' _{v0} / Pa)	<i>Tabel</i>	-
Cσ		1 / (37,3 - 8,27 * (qc1Ncs ^{0,264})	<i>Tabel</i>	-
C _N	Correctiefactor	(Pa / σ _{v0}) ^{0,67}	<i>Tabel</i>	-
qc	Conusweerstand	-	<i>Tabel</i>	MPa
z	Diepte onder onder maaiveld	-	<i>Tabel</i>	m
r _d	Diepte reductiefactor	exp[α(z) + β(z) * M	<i>Tabel</i>	-
α(z)		-.1,012 - 1,126*SIN((z/11,73)+5,133)	<i>Tabel</i>	-
β(z)		0,106 +0,118*sin((z/11,28)+5,142)	<i>Tabel</i>	-
Pa	Atmosferische druk	-		100 kPa
qc1Ncs	Genormaliseerde conusweerstand	C _N * (qc / Pa)	<i>Tabel</i>	kN/m ²

Bepalen Cyclic Stress Ratio (CSR)

[Idriss & Boulanger]

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
g	Valversnelling	-	9.81	m/s ²
amax,trillen	Maximale horizontale versnelling bij trillingen		0.5103	m/s ²
amax,heien	Maximale horizontale versnelling bij heien		0.1502	m/s ²
M	Magnitude	-	7.5	-
MSF-zand	Magnitude schaalfactor voor zandgronden	6,9 * exp[-M / 4] - 0,058	1.000149272	-
MSF-klei	Magnitude schaalfactor voor kleigronden	1,12 * exp[-M / 4] + 0,828	0.999757563	-

Bepalen van optreden verweking (2)

CSR Cyclic stress ratio per grondlaag

Gebruikte formule:

$$0,65 * (a_{\max} / g) * (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) * (r_d / MSF) * (1 / K_{\sigma})$$

TRILLEN

Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.030508582	
Dz: dekzand	0.031544656	
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.031524055	
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	0.042214193	
Ol: Overgangslaag	0.039513391	
Scz1: Spisulazand 1	0.039019404	
Scz2: Spisulazand 2	0.037408307	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.035169933	
Dz: dekzand	0.036952228	
Bx: formatie van Boxtel	0.038980534	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.05216023	

HEIEN

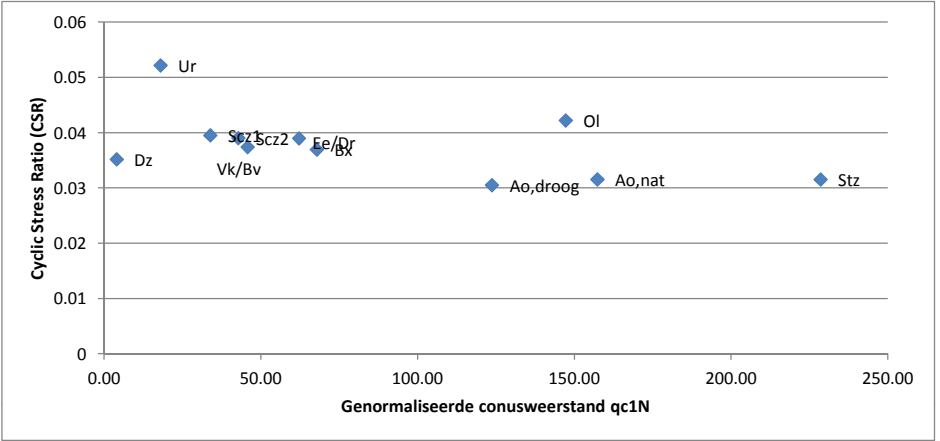
Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.008978266	
Dz: dekzand	0.009283169	
Stz: Strand- en vooroeverzand	0.009277106	
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	0.012427937	
Ol: Overgangslaag	0.011623706	
Scz1: Spisulazand 1	0.011482887	
Scz2: Spisulazand 2	0.011013076	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.010345985	
Dz: dekzand	0.010874545	
Bx: formatie van Boxtel	0.011475942	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.015350055	

CRR Cyclic resistance ratio per grondlaag

Gebruikte formule:

$$= \exp \left(\frac{q_{c1Ncr}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncr}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncr}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncr}}{137} \right)^4 - 2.8 \right)$$

Grondlaag	Waarde	Eenheid
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	0.179968788	
Dz: dekzand	0.345238206	
Stz: Strand- en vooroeverzand	14.40196128	
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	0.27125847	
Ol: Overgangslaag	0.081327184	
Scz1: Spisulazand 1	0.087307642	
Scz2: Spisulazand 2	0.089343945	
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	0.063015345	
Dz: dekzand	0.105559482	
Bx: formatie van Boxtel	0.101160121	
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	0.071203862	



Uitkomsten optredende verwekingen Fsl_{liq} bij trillen

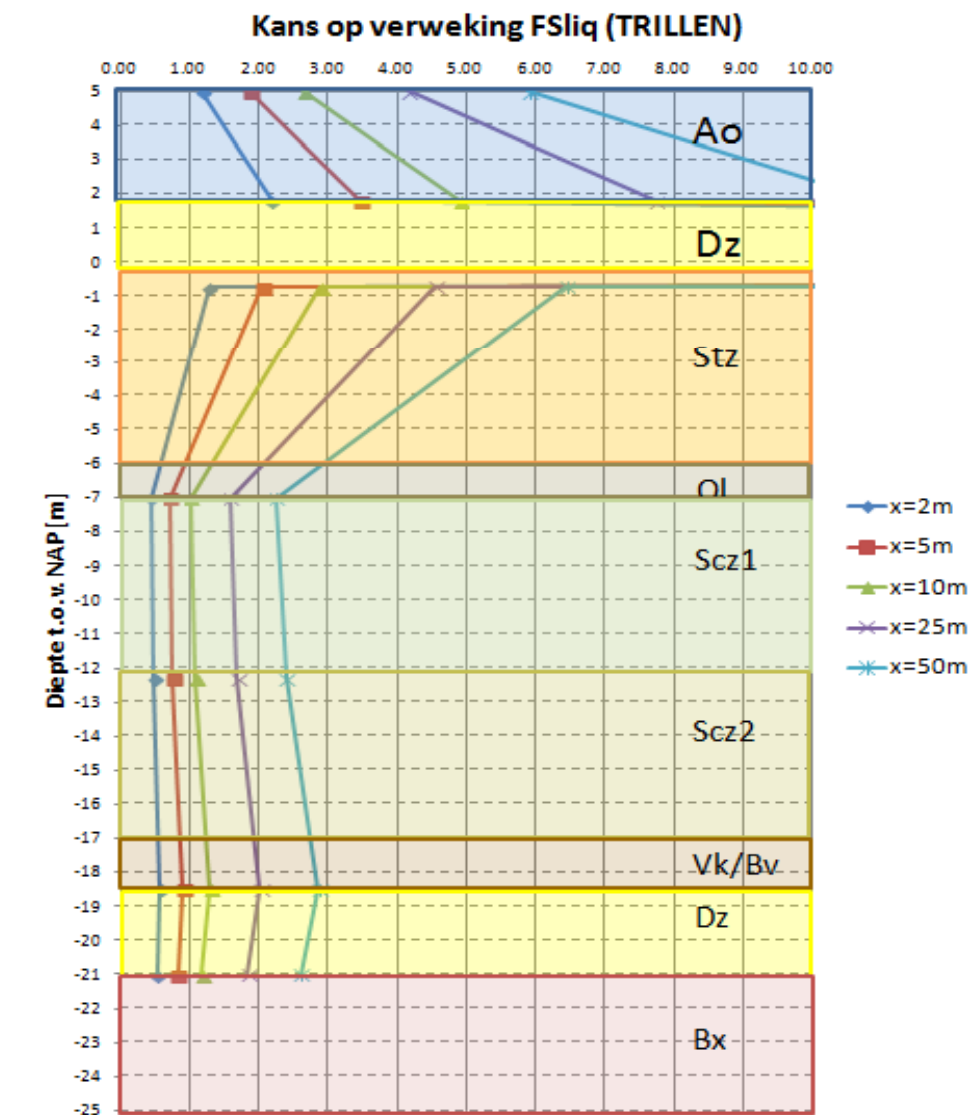
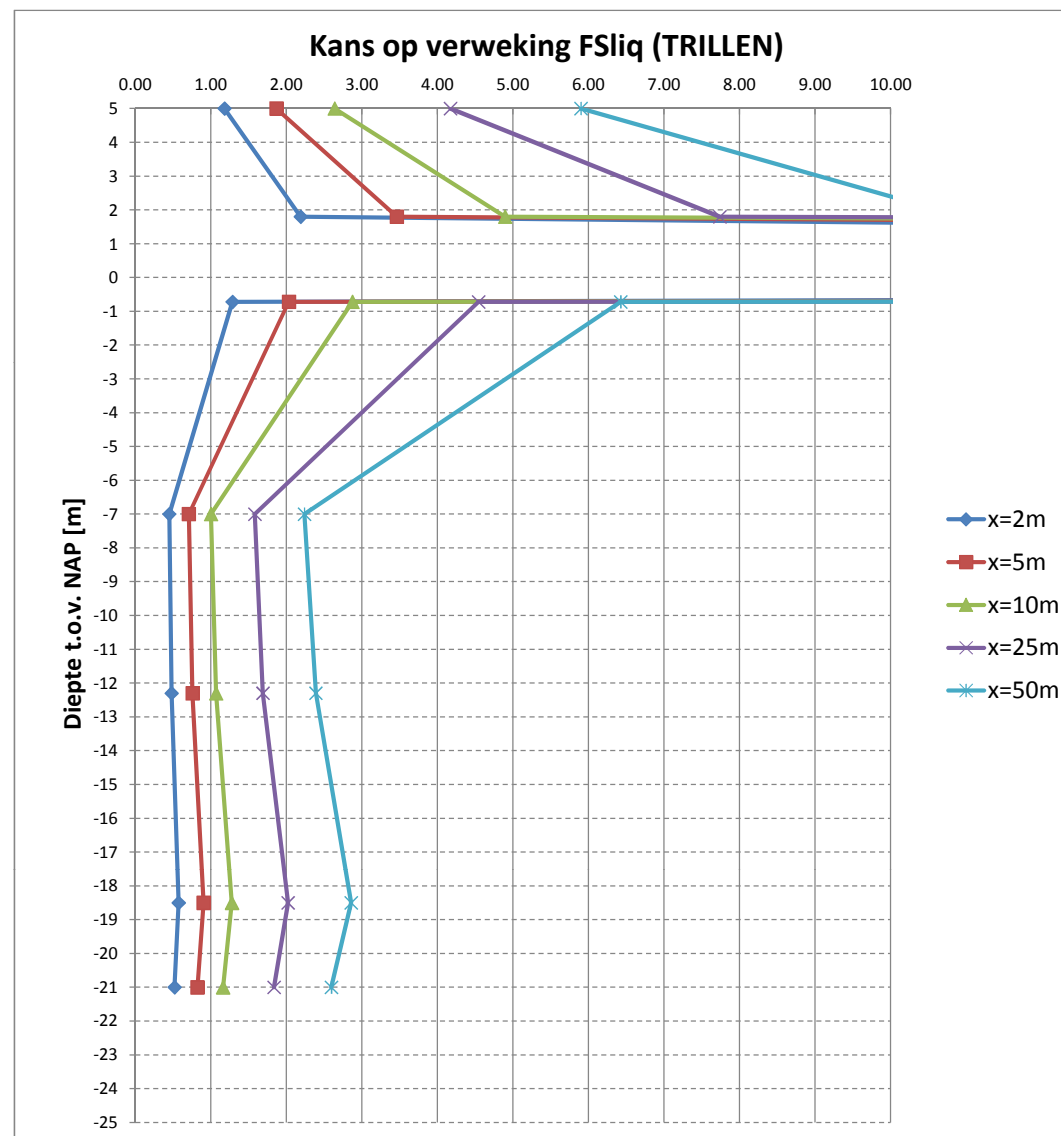
TRILLEN

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	2.5516	1.6137	1.1411	0.7217	0.5103

AO: Antropogene laag (aanvulzand)	1.18	1.87	2.64	4.17	5.90
Dz: dekzand	2.19	3.46	4.89	7.74	10.94
Stz: Strand- en vooroeverzand	91.37	144.47	204.31	323.05	456.86
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	1.29	2.03	2.87	4.54	6.43
Scz1: Spisulazand 1	0.45	0.71	1.00	1.58	2.24
Scz2: Spisulazand 2	0.48	0.76	1.07	1.69	2.39
Dz: dekzand	0.57	0.90	1.28	2.02	2.86
Bx: formatie van Boxtel	0.52	0.82	1.16	1.84	2.60

Er treedt verweking op wanneer $FS_{liq} < 1,0$

Verwekingsgevoelige lagen



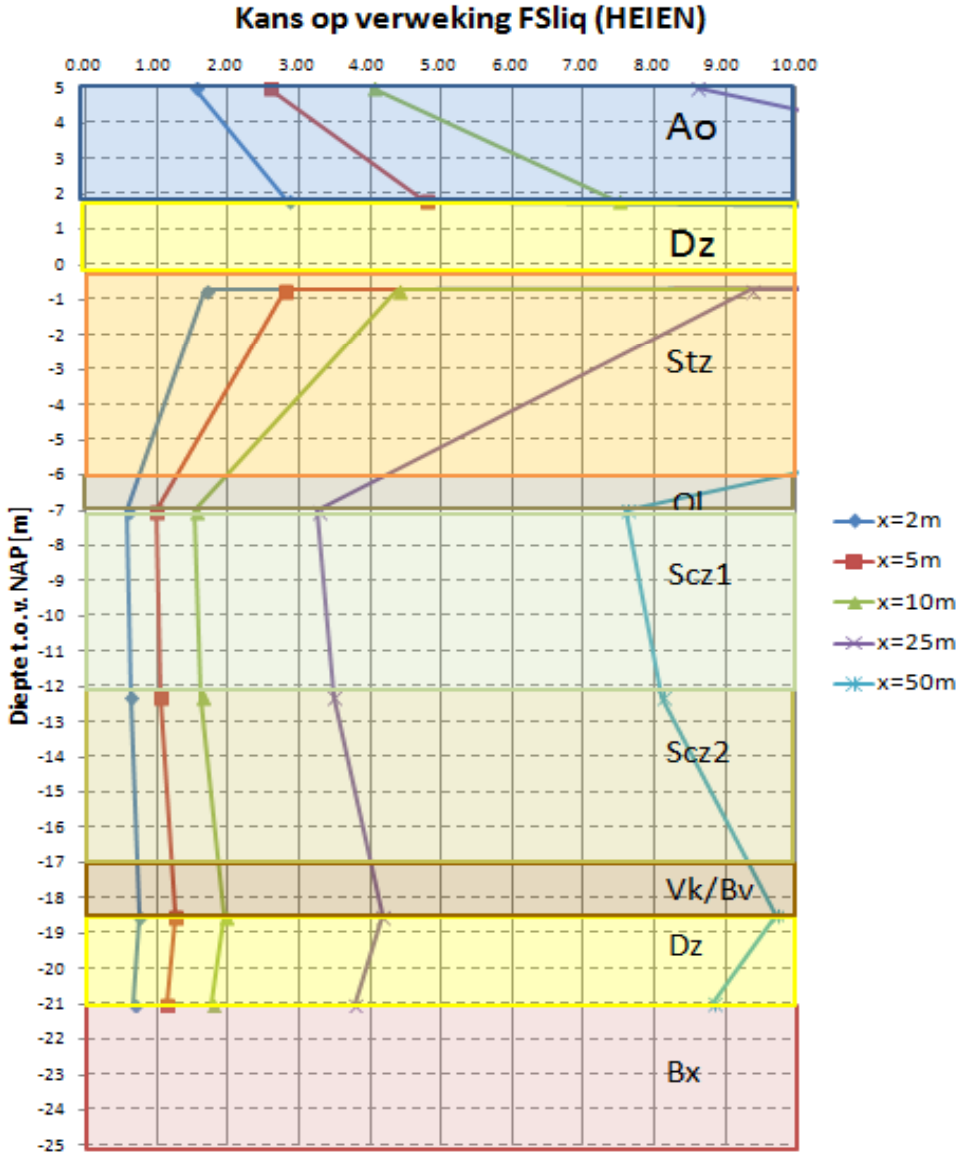
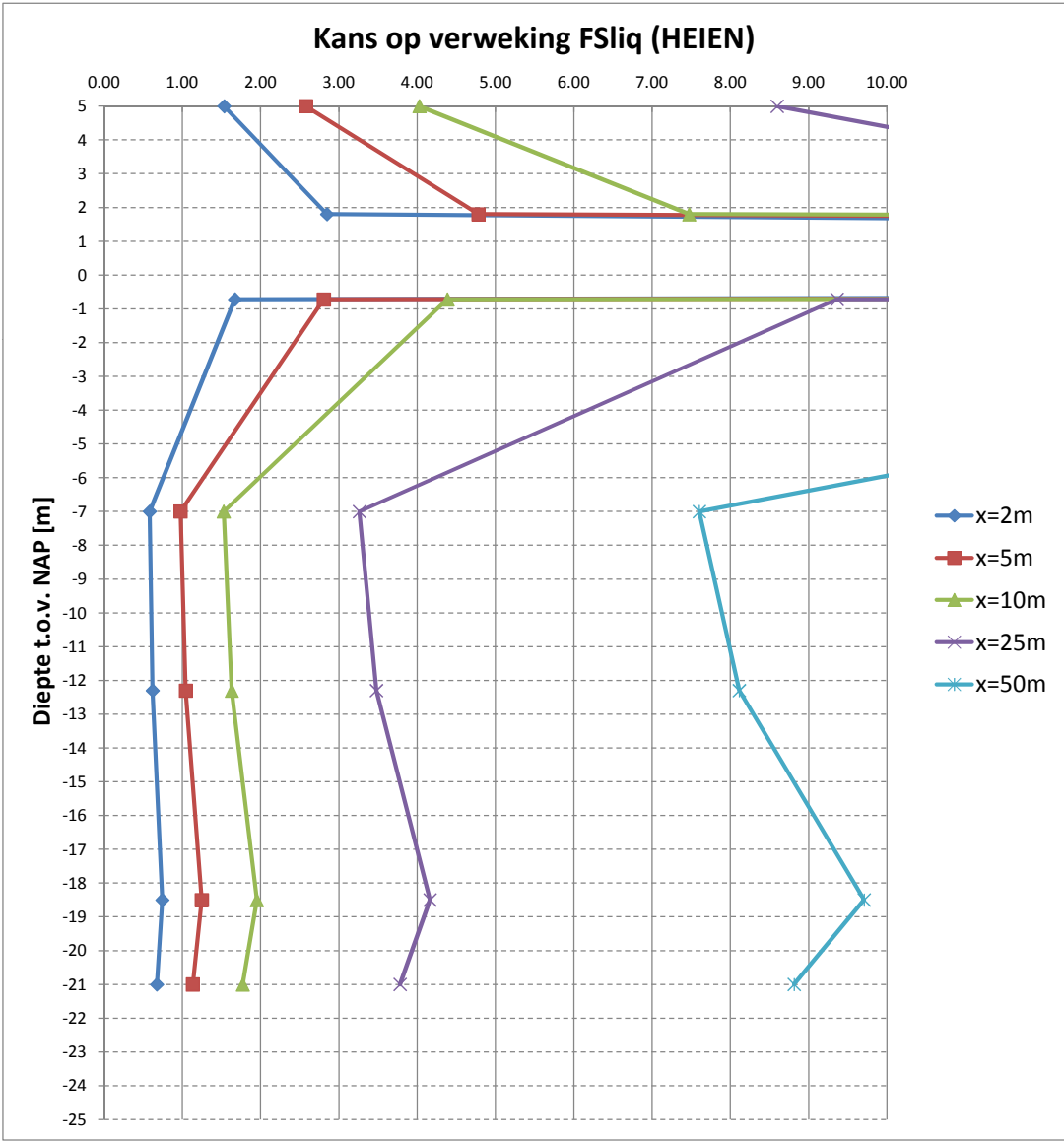
HEIEN

Grondlaag/Afstand x	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Afstand [m]	2	5	10	25	50
a.max [m/s ²]	1.9611	1.1681	0.7473	0.3502	0.1502

AO: Antropogene laag (aanvulzand)	1.54	2.58	4.03	8.60	20.04
Dz: dekzand	2.85	4.78	7.47	15.95	37.19
Stz: Strand- en vooroeverzand	118.88	199.59	311.95	665.80	1552.42
Stz: Strand- en vooroeverzand nat	1.67	2.81	4.39	9.36	21.83
Scz1: Spisulazand 1	0.58	0.98	1.53	3.26	7.60
Scz2: Spisulazand 2	0.62	1.04	1.63	3.48	8.11
Dz: dekzand	0.74	1.25	1.95	4.16	9.71
Bx: formatie van Bortel	0.68	1.13	1.77	3.78	8.81

Er treedt verweking op wanneer $FS_{liq} < 1.0$

Verwekingsgevoelige lagen



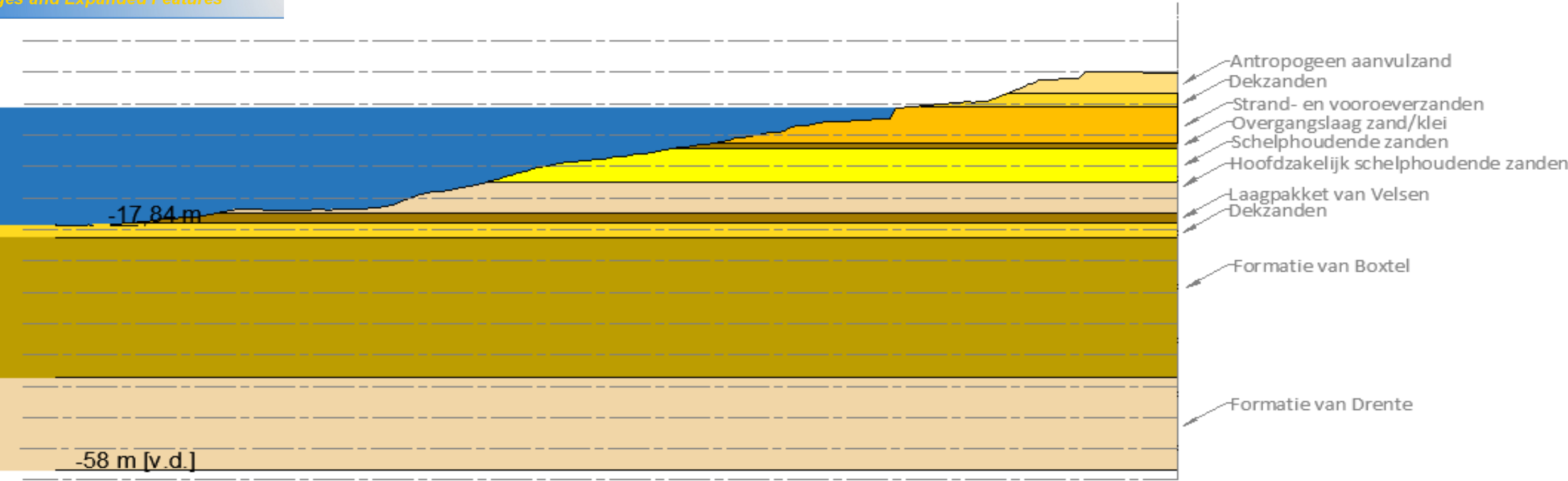


BIJLAGE 6

Spreadsheet Robertson(2009)

Voorhavendam	DKMP09
Werkhaven	DKMP17

Situatieschets



Waterstand --> NAP -0,72 m

Grondopbouw en parameters [DKMP09]

Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte	γ_{droog}	γ_{nat}	σ_{v0}	σ'_{v0}
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	5	1.8	3.2	16	20	51.2	51.2
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	1.8	-0.2	2	17	20	111.2	91.2
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	-0.2	-0.72	0.52	18	21	127.32	102.12
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	-0.72	-6	5.28	18	21	291	213
Overgangslaag: zand/klei, veendetritus, gelaagd	-6	-7	1	18	18	319	231
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	-7	-12.3	5.3	17	21	483.3	342.3
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	-12.3	-17	4.7	18	21	629	441
Klei, humeus, compact	-17	-18.5	1.5	18	18	671	468
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-18.5	-21	2.5	17	20	746	518
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden	-21	-43	22	18	21	1428	980
Eem formatie en formatie van Drente; Eem klei en keileem	-43	-58	15	17	20	1878	1280

Met daarin:

Symbool		Eenheid	
γ_{droog}	Volumegewicht droog	<i>Sondering DKMP09</i>	<i>Tabel</i> kN/m ³
γ_{nat}	Volumegewicht nat (verzadigd)	<i>Sondering DKMP09</i>	<i>Tabel</i> kN/m ³
σ_{v0}	Grondspanning op beschouwd niveau	$\sigma'_{v0} + \sigma_{\text{water}}$	<i>Tabel</i> kN/m ²
σ'_{v0}	Korrelspanning op beschouwd niveau	$\gamma_{\text{grondlaag}} \cdot \text{dikte grondlaag}$	<i>Tabel</i> kN/m ²
Pa	Atmosferische druk	-	100 kPa

Bepalen state parameter volgens Robertson(2009)

Grondlaag	qc	qc1Ncs	I _c	fs	F _r	K _c	q _{c1Ncs,Kc}	C _N
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	7900	123.71	1.791136032	66	0.84089	1.100256041	136.1162511	1.565990511
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	14130	150.30	1.704605204	109	0.77753	1.040964572	156.452162	1.063661545
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	22012	217.05	1.547127335	149	0.68084	1	217.047738	0.986042786
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	23850	143.71	1.693759803	167	0.70886	1.033634636	148.5392076	0.602539698
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	9620	42.18	2.257242161	110	1.20394	1.818838858	76.72142726	0.438477565
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	12230	45.25	2.204631211	125	1.07749	1.678190857	75.94408479	0.370020806
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	20230	67.20	2.029989834	183	0.93923	1.34119424	90.13358044	0.332199566
Formatie van Bortel, matig fijne zanden	28544	61.86	2.085173217	282	1.03998	1.428515149	88.36457894	0.216709789

Met daarin:

Symbool		Formule	Eenheid
I _c	Gedragstype index	$[(3,47 - \log q_{c1Ncs})^2 + (\log F_r + 1,22)^2]^{0,5}$	kN/m ³
qc	Conusweerstand	Sondering DKMP09	kPa
q _{c1Ncs}	Genormaliseerde conusweerstand	C _N * (qc / Pa)	kPa
fs	Wrijvingsgetal	Sondering DKMP09	kPa
F _r	Genormaliseerd wrijvingsgetal volgens Robertson	[f _s / (qc - σ _{vo})] * 100%	%
q _{c1Ncs,Kc}	Gecorrigeerde genormaliseerde conusweerstand	q _{c1Ncs} * K _c	kN/m ²
K _c	Correctiefactor op genormaliseerde conusweerstand	5,581 I _c ³ - 0,403 I _c ⁴ - 21,63 I _c ² + 33,75 I _c - 17,88	-
ψ	State parameter	0,485 - 0,314 * log q _{c1Ncs,Kc}	-

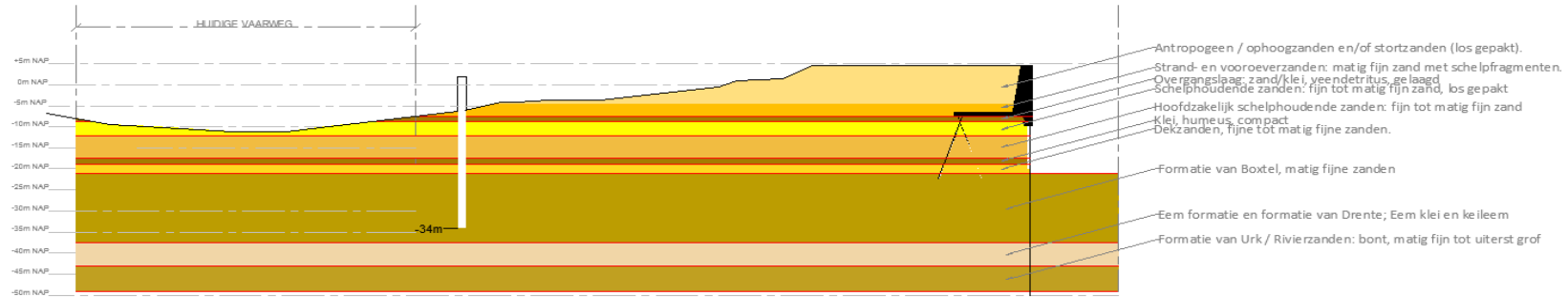
Conclusie:

Is de state parameter kleiner dan -0.1, dan treedt dilatant gedrag op en daarmee geen verweking.

Wel of geen verweking

Grondlaag	ψ	WEL/NIET
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	-0.185047734	NIET
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-0.204035813	NIET
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	-0.248678353	NIET
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	-0.196958106	NIET
Kleilaag		
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	-0.106863835	NIET
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	-0.105475101	NIET
Kleilaag		
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-0.1288344	NIET
Formatie van Bortel, matig fijne zanden	-0.126131359	NIET
Kleilaag		

Situatieschets



Laagwaterstand --> NAP -0,40 m

Grondopbouw en parameters [DKMP17]

Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte	γ_{droog}	γ_{nat}	σ_{v0}	σ'_{v0}	C_N
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	4.8	-0.4	5.2	16	20	83.2	83.2	1.131142633
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt, nat).	-0.4	-4	3.6	16	20	191.2	155.2	0.744907848
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	-4	-7.5	3.5	18	21	299.7	228.7	0.574502165
Overgangslaag: zand/klei, veendetritus, gelaagd	-7.5	-8	0.5	18	18	313.7	237.7	0.559835518
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	-8	-11.8	3.8	17	21	431.5	317.5	0.461138838
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	-11.8	-17.5	5.7	18	21	608.2	437.2	0.372172515
Klei, humeus, compact	-17.5	-18.7	1.2	18	18	641.8	458.8	0.360339869
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-18.7	-21.7	3	17	20	731.8	518.8	0.331856266
Formatie van Bortel, matig fijne zanden	-21.7	-38.5	16.8	18	21	1252.6	871.6	0.234416114
E em formatie en formatie van Drente; Eem klei en keileem	-38.5	-42.9	4.4	17	20	1384.6	959.6	0.219785754
Formatie van Urk / Rivierzanden: bont, matig fijn tot uiterst grof	-42.9	-47	4.1	18	21	1511.7	1045.7	0.207490032

Met daarin:

Symbool	Eenheid
γ_{droog}	Volumegegewicht droog
γ_{nat}	Volumegegewicht nat (verzadigd)
σ_{v0}	Grondspanning op beschouwd niveau
σ'_{v0}	Korrelspanning op beschouwd niveau
K_0	Correctiefactor isotrope spanningstoestand
C_σ	Correctiefactor
C_N	Conusweerstand
q_c	Diepte onder onder maaiveld
z	Diepte reductiefactor
r_d	
$\alpha(z)$	
$\beta(z)$	
P_a	Atmosferische druk
q_{c1Ncs}	Genormaliseerde conusweerstand

Bepalen state parameter volgens Robertson(2009)

Grondlaag	qc	q _{c1Ncs}	I _c	f _s	F _r	K _c	q _{c1Ncs,Kc}
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	3680.00	41.63	2.158231391	27.95	0.77706	1.570416406	65.37023009
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt, nat).	2740.00	20.41	2.564013529	36.95	1.44970	3.113465884	63.54731767
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	14320.00	82.27	1.933482325	119.16	0.84991	1.222089657	100.5397397
Kleilaag							
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	8760.00	40.40	2.20727837	76.43	0.91775	1.684786161	68.05822116
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	12490.00	46.48	2.166005668	113.67	0.95671	1.587466483	73.79234307
Kleilaag							
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	21560.00	71.55	1.903737369	127.64	0.61280	1.192381938	85.31279432
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden	22312.00	52.30	2.116494189	195.74	0.92945	1.485432282	77.69245066

Met daarin:

Symbool	Formule	Eenheid
I _c	$[(3,47 - \log q_{c1Ncs})^2 + (\log F_r + 1,22)^2]^{0.5}$	Tabel kN/m ³
f _s %	Wrijvingsgetal	Tabel %
f _s	Wrijvingsgetal	Tabel MPa
F _r	Genormaliseerd wrijvingsgetal volgens Robertson	Tabel %
q _{c1Ncs,Kc}	$[f_s / (q_c - \sigma_{vo})] * 100\%$	Tabel kN/m ²
K _c	Correctiefactor op genormaliseerde conusweerstand	Tabel -
ψ	State parameter	Tabel -

Conclusie:

Is de state parameter kleiner dan nul, dan treedt dilatant gedrag op en daarmee geen verweking.

Wel of geen verweking

Grondlaag	ψ	WEL/NIET
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	-0.085029324	NIET
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt, nat).	-0.081172528	WEL
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	-0.143734055	NIET
Kleilaag		
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	-0.090524506	WEL
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	-0.101555548	NIET
Kleilaag		
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	-0.121338448	NIET
Formatie van Boxtel, matig fijne zanden	-0.10857895	NIET
Kleilaag		



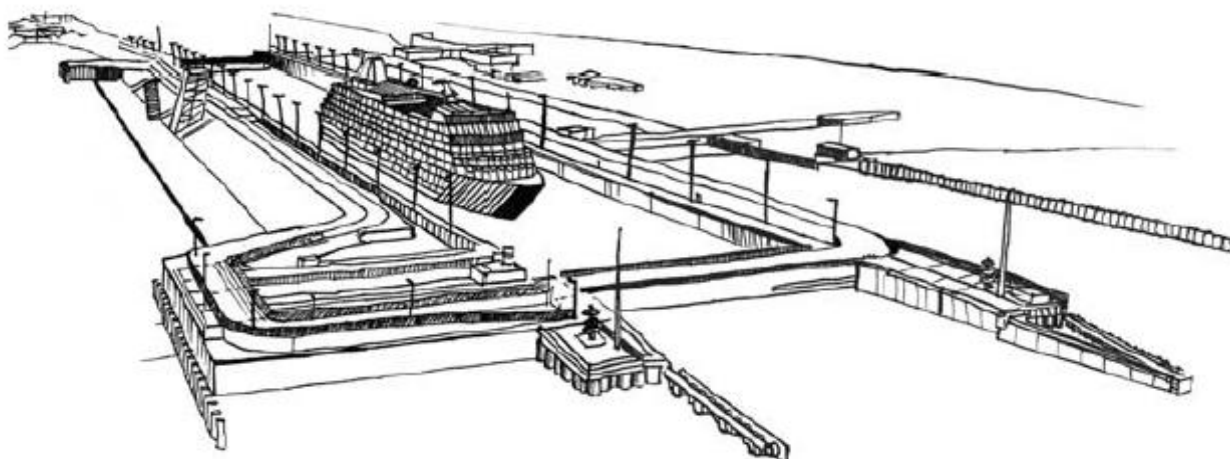
BIJLAGE 4

Ontwerpdokument dukdalf



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Ontwerpdokument dukdalf



Document nr : Ontwerpdokument dukdalf versie_DEF.docx
Versie : 4.0
Datum : 19-5-2016
Status : Definitief

Werk nr :

Opdrachtgever : Volker Staal en Funderingen
: Hogeschool Rotterdam

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)	19-5-2016	
Gecontroleerd	L.A. (Leendert) van Gelder	Schoolbegeleider		
Vrijgegeven	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)		
Geaccepteerd				



INHOUDSOPGAVE	PAG.
0. ALGEMEEN	3
1. RANDVOORWAARDEN UITGANGSPUNTEN EN EISEN	4
1.1. documenten uit de aanbiedingsfase	4
1.2. Vormgevingen	4
1.3. normen en richtlijn	4
1.4. Geotechnisch onderzoek	5
1.5. Beschrijving van de bouwmethode	5
1.6. Berekeningsmethode	5
1.7. Kabels en leidingen	5
1.8. Geïdentificeerde raakvlakken	6
2. GEBRUIKSEISEN	7
2.1 Functie	7
2.2 Vaarwegklasse	7
2.3 Afmetingen maatgevend schip	7
2.4 Levensduur	7
2.5 Installatiemethode stalen buispalen	7
3. FUNCTIONEEL EN GEOMETRIE	8
3.1 Bodemniveaus en waterstanden	8
3.1.1 Waterstanden	8
3.1.2 Sondering	9
4. ONTWERPEISEN	10
4.1 Materiaal	10
4.1.1 Buizen	10
4.1.2 Constructieonderdelen	10
4.1.3 Buisprofielen	10
4.2 Corrosie	11
5. BELASTINGEN	12
5.1 Permanente belastingen	12
5.1.1 Eigen gewicht	12
5.1.2 Gronddruk	12
5.2 Veranderlijke belastingen	12
5.2.1 Temperatuursinvloeden	12
5.2.2 Stroming, golf en windbelasting	12
5.2.3 Trosbelasting	14
5.3 Scheepsbelastingen	15
5.3.1 Aanvaarbelasting	15
5.3.2 Schroefstraalbelasting	17
5.3.3 Belastingfactoren	17
5.4 Reactiekracht Fender(s)	18
5.4.1 Fendertype	19
6. STABILITEITSBEREKENINGEN	21
6.1.1 Inheidiepte	21
6.1.2 Funderingstype	22
6.1.3 verplaatsing	23
7. FENDERCONSTRUCTIE	24
7.1 Verbinding fendertube en -cone	24
7.1.1 Boutverbinding	24
7.1.2 Dikte verbindingsplaat	25
7.1.3 Verstevigingsplaten	26
7.2 Lasverbindingen	28
7.2.1 Verbindingsplaat - fendertube	28
7.2.2 Fendertube – monopile	29


 Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Ontwerpdokument dukdalf

7.2.3	Fendertube – achterwand monopile	30
7.2.4	fendertube – verstevigingsplaten	31
8.	KOPBOLDER	32
8.1	Ontwerp Bolder en founding-tube	32
8.1.1	Krachten schema	33
8.1.2	Optredende krachten	34
8.1.3	Check bolder	34
8.1.4	Check Founding tube	35
8.1.5	Monopile	35
9.	LOCATIE	36
9.1	Dwarsdoorsnede	36
9.2	Positie dukdalf	37
9.3	Zettingsvloeiingen	38
9.3.1	Uitkomsten optredende verwekingen FSliq	38
9.3.2	Conclusie	39
10.	VORMGEVING	41
11.	SYMBOLLEN LIJST	43
12.	FIGUREN- EN TABELLENLIJST	47
13.	BIJLAGE	48

Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Ontwerpdokument dukdalf**0. ALGEMEEN**

Dit document betreft de ontwerputgangspunten en uitkomsten van de afmeervoorziening voor de voorhavendam bij project OpenIJ. Aan de hand van de gegevens van het projectgebied en van de normen en richtlijnen zijn er berekeningen uitgevoerd en keuzes gemaakt voor het ontwerp van de dukdalf. Deze keuzes en uitkomsten zijn in dit document vermeldt. De onderbouwing van deze keuzes zijn terug te vinden in de berekeningen. In de bijlage zijn zowel de berekeningen als de definitieve ontwerp tekeningen van de dukdalf te vinden. Voor het ontwerp is er gekeken naar de soorten belastingen die het ontwerp zou moeten kunnen verdragen. Ook zijn er aan de hand van de functionaliteit keuzes gemaakt betreffende de vorm en materiaal keuzes voor dit ontwerp. Aan het eind is de locatie nader bepaald met behulp van verschillende dwarsdoorsneden en berekeningen betreffende eventueel optredende zettingsvloeiingen.



1. RANDVOORWAARDEN UITGANGSPUNTEN EN EISEN

1.1. documenten uit de aanbiedingsfase

Het uitgangspunt voor deze fase zijn de uitgangspunten gebruikt en herleid van de documenten:

- QU-SNO-0027
- OPENIJ-1.001.525_ontwerpbasis geleidewerken
- Gegevens zeesluizen IJmuiden

1.2. Vormgevingen

Enkele ambitiebeelden zijn gemaakt voor het project OpenIJ. Ten aanzien van de afmeervoorzieningen zijn geen voorwaarden terug te vinden binnen deze beelden.

1.3. normen en richtlijn

Bindende normen, richtlijnen en aanbevelingen

NEN normen

- [10] NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 (nl) + NB eurocode – grondslagen van het constructief ontwerpen
- [11] NEN-EN 1991-1-1+C1:2011 (nl) + NB Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-1: algemene belastingen – volumieke gewichten, eigengewichten opgelegde belastingen voor gebouwen.
- [12] NEN-EN 1993-1-1+C2:2011 (nl) + NB Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies deel 1-1: algemene regels en regels voor gebouwen.
- [13] NEN-EN 1993-1-8+C2:2011 (nl) + NB Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-8: ontwerp en berekening van verbindingen
- [14] NEN-EN 1993-5:2008 (en) incl. C1:2009 + NB Eurocode 3: ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 5: Palen en damwanden
- [15] NEN-EN 1997-1+C1:2012 nl + NB Eurocode 7; Geotechnisch ontwerp – Deel 1: Algemene regels
- [16] NEN 1997-1:2011+C:2012 (nl) Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1 algemene regels. Samenstelling van NEN-EN 1997-1, NEN-EN 1997-1/C1, NEN-EN1997-1/NB Nationale bijlage en NEN 9097-1 aanvullingsnorm bin NEN-EN 1997-1;

CUR aanbevelingen en rapporten

- [17] CUR 178 (1995) Achtergronden bij numerieke modellering van geotechnische constructies deel 1;
- [18] CUR 191 (1997) Achtergronden bij numerieke modellering van geotechnische constructies deel 2;
- [19] CUR 195 Backgrounds on numerical modelling of geotechnical Construction, part 3
- [20] CUR 2008-2 Van onzekerheid naar betrouwbaarheid
- [21] CUR 113 Oeverstabiliteit bij zand winputten
- [22] CUR 166 damwandconstructies 2012;

**Richtlijnen**

- [23] Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken (ROK), versie 1.2;
- [24] RVW 2011 Richtlijnen vaarwegen 2011;
- [25] EAU2012 Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways
- [26] Rijkswaterstaat Advies Richtlijn Afmeervoorzieningen 2004;
- [27] Ontwerpen van Schutsluisen MVW 2000

Toepassing van normen en richtlijn

Voor de rangorde van de documenten schrijft de ROK het volgende over:

Daar waar gegevens onderling strijdig zijn, geldt de volgende rangorde:

1. Eisen uit het contract;
2. ROK bepaling;
3. RWS richtlijnen
4. EC's + NB's. NEN-normen, CUR- en CROW-documenten

1.4. Geotechnisch onderzoek

Referentie sondering zullen uitgevoerd worden ter bodemonderzoek voor dit project. Aan de hand van deze sonderingen zullen de grondparameters bepaald worden geldend voor het project gebied. Dit wordt verder behandeld in hoofdstuk 3.1.2

1.5. Beschrijving van de bouwmethode

- I. Prefabricage staal: Het staalwerk wordt zoveel mogelijk geprefabriceerd en eventueel gecoat op het werk geleverd.
- II. Heien
- III. Assemblage: Assemblage gebeurt op het werk droog of vanaf het water

1.6. Berekeningsmethode

De berekeningen van de dukdalf zijn zowel deels met de hand uitgevoerd als met behulp van software. Hierbij wordt de stabiliteit en sterkte van de dukdalf berekend ten gevolge van de verschillende belastingen conform NEN-EN 1993-1-1. Deze berekeningen zijn omschreven in de hoofdstukken 6, 7 en 8. De gebruikte software is D-sheet. Hiermee is de inheidiepte van de buispaal bepaald en is de maximale vervorming gecontroleerd. Voor het bepalen van optredende zettingsvloeiingen zijn handberekeningen uitgevoerd aan de hand van diverse literatuur, deze staan omschreven in het document 'Rapport zettingsvloeiingen' en de Excel sheets die hier van toepassing zijn. Beide in de bijlage van het hoofd rapport terug te vinden.

1.7. Kabels en leidingen

Ter plaatse van de locatie zijn geen kabels en leidingen bekend, voor de uitvoering zijn hierin daarom geen beperkingen.



1.8. Geïdentificeerde raakvlakken

De raakvlakken van dit project zijn hieronder weergegeven. Aangezien deze startnotitie een momentopname is en het raakvlakdossier een dynamisch document is, worden in dit hoofdstuk slechts enkele raakvlakken benoemd.

De voornaamste raakvlakken zijn:

- a. Bestaande zeesluizen IJmuiden
- b. Stabiliteit omliggende taluds
- c. Vaarwegen omliggende kanalen
- d. Geluidshinder tijdens uitvoering
- e. Uitvoering overige projectactiviteiten OpenIJ



2. GEBRUIKSEISEN

2.1 Functie

Bij de nieuw te realiseren zeesluis te IJmuiden, zullen afmeervoorzieningen moeten worden geplaatst om zo schepen te kunnen laten afmeren gedurende de wachttijd. Afhankelijk van het scheepstype kunnen krachten worden bepaald. Hieronder staan de uitgangspunten betreffende de scheepsklasse en bijbehorende afmetingen etc.

2.2 Vaarwegklasse

In eis **SE_01936** worden de schepen die de nieuwe sluis zouden kunnen passeren beschreven.

Schepen die de Nieuwe Sluis kunnen passeren zijn:

- binnenvaart CEMT III en alle CEMT klassen daarboven;
- alle zeescheepvaart tot en met maximale schepen:
 - cruiseschip (lengte 361 meter, breedte 47 meter, diepte 9,3 meter in zout water met soortelijk gewicht van 1025 kg/m³);
 - bulkschip (lengte 342 meter, breedte 63,5 meter, diepte 13,75 meter in zout water met soortelijk gewicht van 1025 kg/m³);
 - containerschip (lengte 398 meter, breedte 56,4 meter, diepte 13,75 meter in zout water met soortelijk gewicht van 1025 kg/m³);
 - tanker (lengte 342 meter, breedte 63,5 meter, diepte 13,75 meter in zout water met soortelijk gewicht van 1025 kg/m³).

2.3 Afmetingen maatgevend schip

De maatgevende afmetingen van het schip waar de afmeervoorziening op is gedimensioneerd staan weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 1 Scheepsafmetingen

Scheepstype	Lengte [m]	Breedte [m]	Diepgang [m] (bij zoutwater)	Massa [ton]
Container	399	59	14	260.000

2.4 Levensduur

Conform de Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken – projectspecifieke aanpassingen (eis **BNR-0060**) geeft een ontwerplevensduur voor geleidewerken van 50 jaar. Voor een dukdalf zal dezelfde levensduur worden aangehouden.

2.5 Installatiemethode stalen buispalen

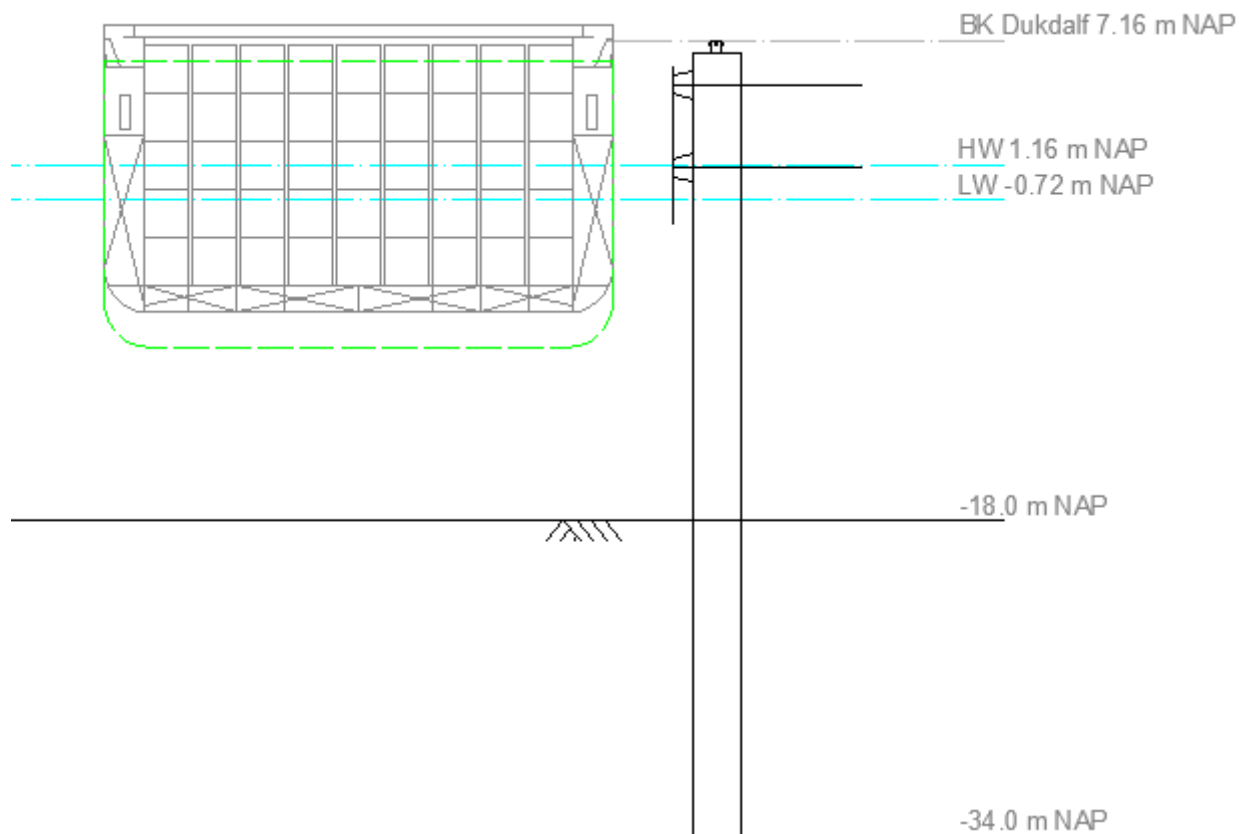
De buispalen zullen door triltechnieken in de grond worden geplaatst. Dit zal doormiddel van een trilblok (2350 VM) vanaf een barge worden uitgevoerd. Vervolgens zal het kopstuk op de buispaal worden gelast waarna als laatst de fenderconstructie zal worden bevestigd.



3. FUNCTIONEEL EN GEOMETRIE

3.1 Bodemniveaus en waterstanden

Op de locatie van de reeds te realiseren dukdalf is de bodemdiepte -18 m NAP. Hieronder staat de situatie zoals deze is ontworpen weergegeven in een overzichtstekening met bijbehorende hoogtematen.



Figuur 1 Dukdalf overzicht

3.1.1 Waterstanden

De waterstanden zijn conform de hydraulische randvoorwaarden van het OpenIJ

Tabel 2 Ontwerpwaterstanden geleidewerken

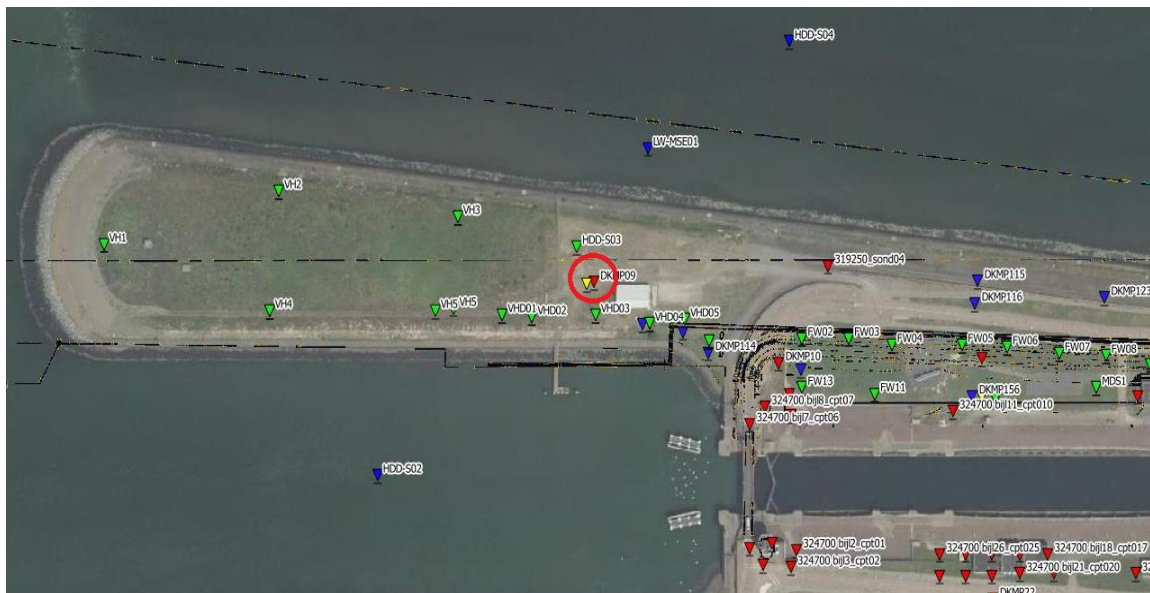
	Hoogwater	Laagwater
Zeezijde	NAP +1,16 m	NAP - 0,72 m
Kanaalzijde	NAP +0,10 m	NAP - 0,74 m

De maatgevende waterstand voor de sterkte berekeningen is de hoogwaterstand aan de zeezijde aangezien aan die kant de afmeervoorziening wordt gerealiseerd. Deze is ook terug te vinden in de overzichtstekening.



3.1.2 Sondering

Vanuit het project OpenIJ zijn er sonderingen gemaakt ter plaatse van de te realiseren afmeervoorzieningen. De locatie is ter hoogte van de Voorhavendam. Hieronder staat op de plattegrond aangegeven de locatie van de gebruikte sondering tijdens berekeningen. De exacte locatie van de dukdalf wordt in hoofdstuk 9 behandeld.



Figuur 2 Plattegrond sonderingen Voorhavendam IJmuiden

Zoals aangegeven zal de gebruikte en tevens meest maatgevende sonderingen zijn:

- DKMP09

De totale sondering is in de bijlage opgenomen. Hieronder staat in een tabel beschreven welke grondlagen hier aanwezig zijn met bijbehorende eigenschappen.

Tabel 3: Bodemprofiel 1 Voorhavendam

Grondlaag	Van [NAP +m]	Tot [NAP +m]	Dikte [m]	Ydroog [kN/m ³]	Ynat [kN/m ³]
AO: Antropogene laag (aanvulzand)	5	2,8	2,2	16	20
Dz: dekzand	1,8	-0,2	2	17	20
Stz: Strand- en vooroeverzand	-0,2	-6	5,8	18	21
Ol: Overgangslaag	-6	-7	1	18	18
Scz1: Spisulazand 1	-7	-12,3	5,3	17	21
Scz2: Spisulazand 2	-12,3	-17	4,7	18	21
Vk/Bv: Laagpakket van Velsen / Basisveen	-17	-18,5	1,5	18	18
Dz: dekzand	-18,5	-21	2,5	17	20
Bx: formatie van Bostel	-21	-43	22	18	21
Ee/Dr: Formatie van Eem / Drenthe	-43	-58	15	17	20



4. ONTWERPEISEN

4.1 Materiaal

4.1.1 Buizen

Voor buispalen onder de waterlijn wordt X70 toegepast de eigenschappen van deze staalsoort worden in Tabel 4 Staalsoorten weergegeven.

Tabel 4 Staalsoorten

Staalsoort	Nominale dikte van het element				Elasticiteits-modules E [N/mm ²]
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	
	$t \leq 25$ mm		$t > 25$ mm		
X70	483	565	De vloeigrens en de treksterkte dienen in overleg met de leverancier te worden vastgesteld		210000

4.1.2 Constructieonderdelen

Hieronder staan de nominale waarden van de vloeigrens f_y en de treksterkte f_u voor warmgewalst constructiestaal. Voor de kopbolder en de fenderconstructie wordt S355H toegepast.

Tabel 5 Staalspanningen per klasse

Norm en staalsoort	Nominale dikte van het element t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 450	440	550	410	550

Voor het constructie staal wordt S355H aangehouden conform tabel 3.1 uit de NEN-EN 1993-1-1+C2:2011.

4.1.3 Buisprofielen

De afmeervoorzieningen zullen worden uitgevoerd in ronde stalen buispalen. Nadat de installatie-effecten uitvoerig zijn behandeld kan er eventueel een wijziging qua profiel worden doorgevoerd. Dit is afhankelijk van de oplossingsrichting. Voor nu wordt uitgegaan van een ronde stalen buispaal.



4.2 Corrosie

Voor de stalen funderingsonderdelen zijn de volgende gebieden en bijbehorende maatregelen van toepassing.

- Zeezijde, vanaf NAP tot onderkant constructie:
 - Door middel van katodische bescherming;
- Zeezijde, vanaf NAP -1,00 m tot bovenkant constructie:
 - Door middel van een epoxy glasvezel versterkte coating;

Voor de binnenzijde van buispalen wordt geen corrosie in rekening gebracht. Deze zijn luchtdicht afgesloten waardoor geen corrosie kan optreden



5. BELASTINGEN

5.1 Permanente belastingen

5.1.1 Eigen gewicht

onder de permanente belastingen valt enkel het eigen gewicht van de constructie. Dat valt te bepalen naar de hand van het ontwerp en het gekozen materiaal, zie Tabel 4 Staalsoorten.

In de berekening is het volgende soortelijk gewicht aangehouden:

Tabel 6 Soortelijk gewicht staal

Materiaal	Soortelijk gewicht [kN/m ³]
Staal	78,5

5.1.2 Gronddruk

De gronddruk is afhankelijk van de bodemopbouw, grondwaterstand en bovenbelasting. De in horizontale richting werkende grondruk is afhankelijk van de richting van de belasting:

- actieve grondruk: de constructie wijkt t.o.v. de grond
- passieve grondruk: de constructie drukt tegen de grond.

5.2 Veranderlijke belastingen

5.2.1 Temperatuursinvloeden

De constructie zal zich in het water bevinden en daarmee zal de temperatuur van deze constructie samen gaan met de temperatuur van het water. Echter heeft de constructie geen enkele vorm van hinder bij de thermische vervorming dus zullen deze invloeden buiten beschouwing worden gehouden

5.2.2 Stroming, golf en windbelasting

Aangezien de constructie zich in het water bevindt, werken er ook krachten op afkomstig van golven en stroming. Deze belastingen worden buiten beschouwing gehouden, omdat de horizontale belastingen ten gevolge van de overige krachten vele malen groter zullen zijn dan deze belastingen, deze zijn dan ook maatgevend.

Wel wordt de windbelasting meegenomen, welke een kracht op het schip uitoefent. Deze kracht zal moeten worden opgenomen door de dukdalf.

De windbelasting wordt berekend conform de EAU 2012 en de NEN-EN 1991-1-4. Dit geldt voor de zowel de formules als de factoren/coëfficiënten. De coëfficiënten en windsnelheden zijn afhankelijk van het windgebied. Het gebied betreft "Windgebied II" – onbebouwd gebied.

$$W_t = (1 + 3,1 \sin \alpha_w) * k_t * H * L_{\bar{u}} * v^2 * \varphi$$

$$W_l = (1 + 3,1 \sin \alpha_w) * k_l * H * L_{\bar{u}} * v^2 * \varphi$$

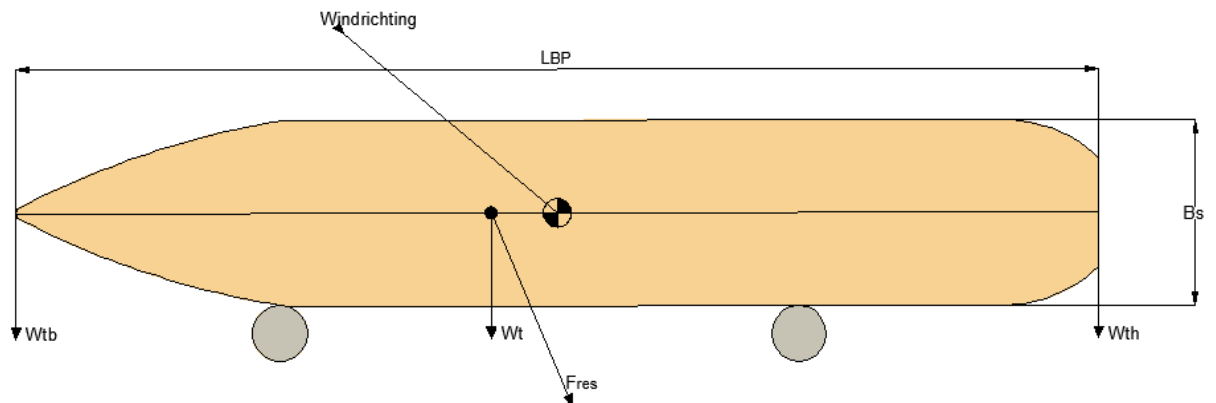
$$W_{tb} * (0,50 + k_e) * \gamma_{wind}$$

$$W_{lh} * (0,50 + k_e) * \gamma_{wind}$$

$$F_w = W_{tb} + W_{lh}$$



W_t	: Karakteristieke windbelasting [kN]
W_l	: Karakteristieke windbelasting [kN]
α_w	: windhoek (meest ongunstig)
k_t	: Windbelasting coëfficiënt ($0,000161 \text{ kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)
k_l	: Windbelasting coëfficiënt (0)
k_e	: Excentriciteitscoëfficiënt (0)
H	: Maximaal vrijboord schip [m]
v	: Gemiddelde maatgevend windsnelheid [m/s]
ϕ	: Dynamische factor (1,25) [-]
Y_{wind}	: Veiligheidsfactor (1,25) [-]
W_{tb}	: Maatgevende windbelasting [kN]
W_{lh}	: Maatgevende windbelasting [kN]
F_w	: Resulterende kracht tgv windbelasting [kN]



Figuur 3 Krachtenschema windbelasting

Tijdens de berekeningen wordt uitgegaan van de meest ongunstige windrichting. Dat houdt in dat voor de windhoek α , 90 graden wordt aangehouden. Dit resulteert in de volgende waarde voor de windbelasting op de afmeerpalen.

$$F_w = 1412 \text{ kN}$$

De volledige berekeningen voor alle waardes zijn aan de hand van een excell sheet bepaald. Deze is als bijlage bijgevoegd.



5.2.3 Trosbelasting

De trosbelasting ontstaat door de schepen die aan de dukdalf worden vastgelegd. Hiermee zullen de stroming, golf en windbelasting die op het schip werken wel van belang zijn omdat deze zorgen voor het afdrijven van het schip. De grootte van deze trosbelasting wordt bepaald aan de hand van tabel 3.2 uit CUR 116. Deze is hieronder opgenomen.

Tabel 7 Karakteristieke waarden van de bolderkrachten voor zeeschepen

Waterverplaatsing in kN		Bolderkracht in kN
<	20.000	100
<	100.000	300
<	200.000	600
<	500.000	800
<	1.000.000	1.000
<	2.000.000	1.500
>	2.000.000	2.000

Voor de waterverplaatsing geldt:

$$V = L_s * b_s * d_s * \rho_{\text{water}}$$

L_s : Lengte schip [m]

b_s : Breedte schip [m]

d_s : Diepgang schip [m]

ρ_{water} : Dichtheid zout water (10,25 kN/m³)

Door aanwezige stroming van het water wordt er een verhoging van 25% aan toegevoegd. De waarde voor de waterverplaatsing is als volgt:

$$V = 2996280 \text{ kN} > 2000000 \text{ kN}$$

De troskracht wordt hierdoor:

$$F_{\text{tros}} = 2000 \text{ kN}$$



5.3 Scheepsbelastingen

5.3.1 Aanvaarbelasting

Deze belasting ontstaat bij het contact tussen een aanvarend schip en de dukdalf. De grote van deze belasting zal bepaald worden aan de hand van de scheepsklasse. Er zal onderscheid worden gemaakt in afmeerenergie met en zonder scheepsrotatie. De maatgevende waarde zal worden gebruikt.

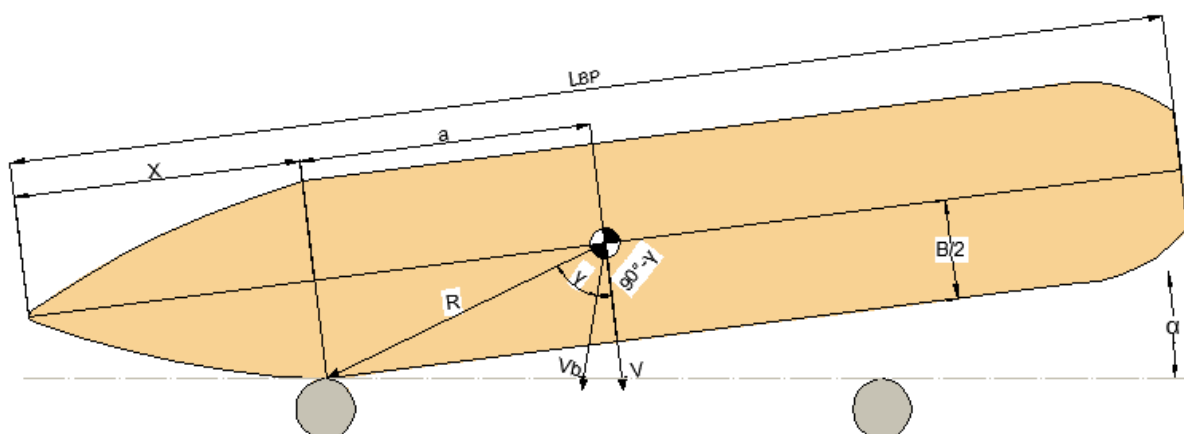
Afmeerenergie op dukdalf (zonder scheepsrotatie)

De dukdalf kan flexibel worden uitgevoerd. In dat geval moet een energiebeschouwing worden gehanteerd waarbij, bij manoeuvreren, de dukdalf niet plastisch mag vervorming. In § 15.5.2 van "Ontwerp van schutsluizen" wordt ingegaan op de normale en extreme aanvaarsnelheden.

De energie die het schip op flexibele constructie levert wordt bepaald met de volgende vereenvoudigde formule, conform de EAU 2012 en het sluizenboek:

$$E_z = \frac{1}{2} * m_s * C_e * C_m * C_s * V_z^2$$

- E : Afmeerenergie [kNm]
 m_s : waterverplaatsing schip (massa schip) [ton]
 C_e : Excentriciteit factor $= (k_r^2 + r^2 * \cos^2 \gamma) / (k_r^2 + r^2)$ [-]
 k_r : Traagheidsstraal schip $= 0,19 * C_B + 0,11 * L_s$ [m]
 L_s : Lengte schip [m]
 C_B : Blockcoëfficiënt, ligt tussen 0,9 en 1 en is vastgesteld op 1,0 (-)
 C_m : massa coëfficiënt $= 1 + 2 * d_s / b_s$ [-]
 b_s : Breedte schip
 d_s : Diepgang schip [m]
 h_{water} : Waterdiepte [m]
 C_s : Coëfficiënt voor invloed elasticiteit scheepshuid ligt tussen 0,9 en 1 en is vastgesteld op 1,0 (-)
 V_z : Afmeersnelheid schip [m/s]



Figuur 4 Krachtenschema afmeerenergie

De waarde voor de afmeerenergie wordt beschouwd met een afmeerhoeken van 6°. De waarde voor de afmeerenergie wordt dan:

$$E_{z,6^\circ} = 1018,8 \text{ kNm}$$



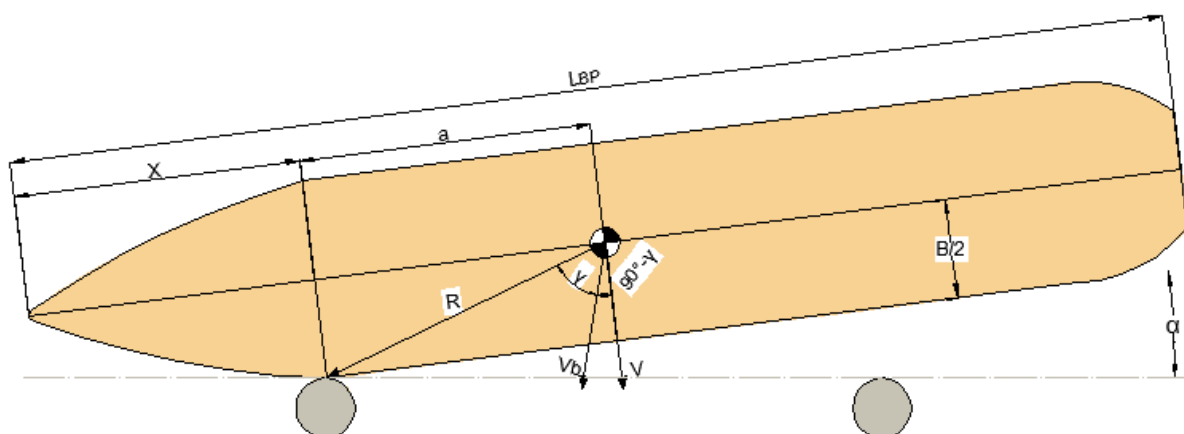
De volledige berekeningen voor alle waarden zijn aan de hand van een excell sheet bepaald. Deze is als bijlage bijgevoegd. Verder zijn de betekenissen van de verschillende gebruikte coëfficiënten ook terug te vinden in de bijlage.

Afmeerenergie (met scheepsrotatie) op dukdalf

Als extra methode zal de scheepsrotatie worden meegenomen in het bepalen van de afmeerenergie. Hierbij wordt de situatie uitgewerkt waarbij het schip tijdens het afmeren zelf nog om zijn eigen as draait. Hierdoor komt het schip met een draaiende beweging tegen de dukdalf wat een andere energie oplevert dan wanneer een schip afmeert zonder rotatie. Vooraf kan voorspeld worden dat deze waarde lager uit zal komen dan de methode zonder scheepsrotatie, toch wordt deze methode behandeld. De volgende formule is van toepassing voor dit type belasting (EAU 2012).

$$E_{z,\omega} = \frac{m_s * C_m * C_s}{2 * (kr^2 + r^2)} * [v_z^2 * (kr^2 + r^2 * \cos^2 \gamma) + 2 * v_z * \omega * r * kr^2 * \sin \gamma + \omega^2 * kr^2 * r^2]$$

- $E_{z,\omega}$: Afmeerenergie met scheepsrotatie [kNm]
- m_s : waterverplaatsing schip [ton]
- r : afstand van zwaartepunt schip tot raakpunt met dukdalf [m]
- ω : Scheepsrotatiesnelheid [rad/s]
- γ : hoek tussen snelheidsvector v_z en afstand r [°]
- k_r : Traagheidsstraal schip = $0,19 * C_B + 0,11$ * L_s [m]
- L_s : Lengte schip [m]
- C_B : Blockcoëfficiënt, ligt tussen 0,9 en 1 en is vastgesteld op 1,0 (-)
- C_m : massa coëfficiënt = $1 + 2 * d_s / b_s$ [-]
- b_s : Breedte schip
- d_s : Diepgang schip [m]
- C_s : Coëfficiënt voor invloed elasticiteit scheepshuid ligt tussen 0,9 en 1 en is vastgesteld op 1,0 (-)
- V_z : Afmeersnelheid schip [m/s]



Figuur 5 Krachtenschema afmeerenergie

De waarde voor de afmeerenergie met scheepsrotatie wordt als volgt:

$$E_{z,6^\circ,\omega} = 998,4 \text{ kN}$$



De volledige berekeningen voor alle waardes zijn aan de hand van een excell sheet bepaald. Deze is als bijlage bijgevoegd.

5.3.2 Schroefstraalbelasting

Bij het manoeuvreren van schepen zal de schroef van deze schepen impact hebben op de constructies. Omdat dit enkel bepalend is voor de bodembescherming van de constructie wordt dit buiten beschouwing gelaten omdat er geen bodembescherming wordt ontworpen.

5.3.3 Belastingfactoren

Gekeken naar de functie van de dukdalf zal de constructie worden ingedeeld in de gevolgklasse CC2. De kans op slachtoffers is relatief klein, daar in tegen zijn de economische schade relatief hoog. Hier komen de volgende belastingfactoren in de uiterste grenstoestand van toepassing:

$$\gamma_G = 1.2$$

$$\gamma_Q = 1.5$$

Voor de aanvaarbelasting wordt geen belastingsfactor gebruikt omdat de kracht afhankelijk is van de bepaalde energie conform EAU2012 en de representatieve stijfheid van de dukdalf.



5.4 Reactiekracht Fender(s)

De energie afkomstig van het afmeren van het schip moet worden omgezet in een reactiekracht op de combinatie van de fendercones en de buispaal. De vrijgekomen energie wordt deels door de paal worden opgenomen en de rest door de fenderconstructie. De stabiliteit van de dukdalf wordt bepaald met behulp van D-sheet. Voorafgaand aan de berekening zijn de volgende uitgangspunten vastgesteld:

- Maximale vervorming top buispaal = 1,5 m
- $E_{d,a} / E_{\text{totaal}} < 1,0 \rightarrow$ dit betekent dat de totale energie wat het systeem (buispaal+fender) kan opnemen, groter moet zijn dan de energie afkomstig van het afmeren.
- $E_{d,a}$ = max. afmeerenergie = 1528,15 kNm
- Aangrijpingspunt reactiekracht R_F = +3 m NAP
- Bovenkant buispaal = +7,16 m NAP
- D_{buis} (buitendiameter) = 2600 mm
- t (wanddikte) = 24 mm

$$E_{R,\text{paal}} : \text{opneembare energie buispaal} = 1/2 * R_F * \delta$$

$$R_F : \text{Reactiekracht fender +10\% tolerantie} = 2252,8 \text{ kN}$$

$$\delta : \text{Vervorming buispaal thv } R_F [\text{mm}]$$

$$E_{R,\text{paal}} = 773,72 \text{ kNm}$$

$$E_{\text{totaal}} : \text{totaal opneembare energie} = E_{R,\text{paal}} + E_F$$

$$E_F : \text{opneembare energie fender -10\% [kNm]}$$

$$E_{\text{totaal}} = 1708 \text{ kNm}$$

Conclusie:

$$E_{d,a} / E_{\text{totaal}} < 1,0 \rightarrow 1528,15 / 1708 = 0.89 \text{ KLOPT}$$

Dit betekent dat het gekozen fendertype voldoet en hier mee verder kan worden gerekend.



5.4.1 Fendertype

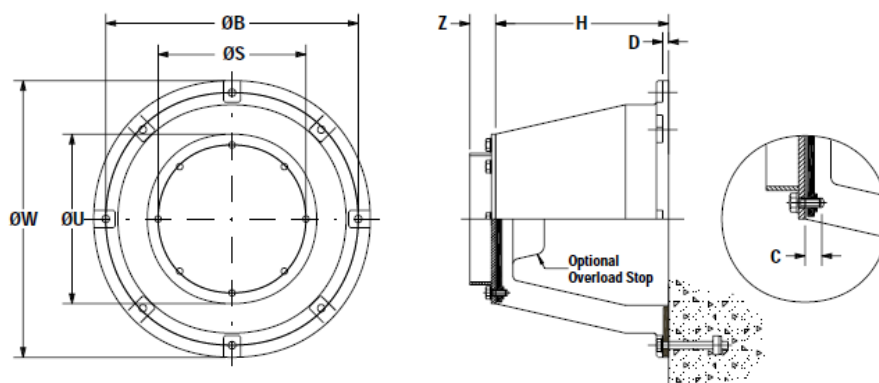
Na het bepalen van de afmeerenergie kan met behulp van de gegevens van 'Trelleborg' het type fender verder worden vastgesteld.

Aan de hand van de berekende waarde voor de afmeerenergie, is gekozen voor het volgende fendertype met bijbehorende afmetingen:

- Supercone fender SCN 950 E3.0

Tabel 8 Super cone fender dimensions

	H	ØW	ØU	C	D	ØB	ØS	Anchors/ Head bolts ^	Z _{min}	Weight
SCN 950	950	1520	930	40 – 52	40 – 50	1390	815	6 × M30	142	980



(Trelleborg fender systems)

Deze afmetingen zijn vertaald naar een ontwerptekening voor de fendercones, deze is ook als bijlage toegevoegd.

Tabel 9 Super cone fender performance

Performance Data*															
			F 1.9	F 2.0	F 2.1	F 2.2	F 2.3	F 2.4	F 2.5	F 2.6	F 2.7	F 2.8	F 2.9	F 3.0	F 3.1
950	CV	E	398	407.0	418	429	441	452	463.0	474	485	497	508	519.0	571.0
		R	731	753.0	777	800	824	847	871.0	902	932	963	993	1024.0	1126.0
	RPD	E _R	438.2	447.7	460.0	472.3	484.7	497.0	509.3	521.6	533.9	546.3	558.6	570.9	628.1
		R _R	804.3	828.3	854.3	880.2	906.2	932.1	958.1	991.8	1025.4	1059.1	1092.7	1126.4	1238.6

(Trelleborg fender systems)

Aan de hand van reactie energie van dit type fender komt een reactiekracht tot stand van $R_R = 1024$ kN, hieruit volgen de rekenwaardes voor het ontwerp. De energie en reactiekracht vallen in de categorie CV, aangezien we te maken hebben met lage afmeersnelheden. Er is gekozen voor F3.0, vanwege de omstandigheden waar de dukdalf in zal verkeren. Deze keuze heeft betrekking op de rubbersoort van de fendercones, dit type garandeert de levensduur van het rubber.

$$F_{RPD} = R_R \cdot n$$

n : Aantal dukdalven
 R_R : Reactiekracht fender
 AF : Hoek factor
 $T_{flow\ temp}$: Temperatuursfactor



VF : Snelheidsfactor
TollReactionF : Productietolerantie factor (+/-10%)

$F_{RPD} = 2048 \text{ kN}$

De uiteindelijke rekenwaarde voor de afmeerbelasting wordt als volgt berekend:

$F_E = F_{RPD} * AF * T_{\text{flow temp}} * VF * \text{TollreactionF}$

$F_E = 2475,83 \text{ kN}$



6. STABILITEITSBEREKENINGEN

6.1.1 Inheidiepte

De inheidiepte is door middel van D-sheet vastgesteld. Bij deze berekeningen horen de volgende uitgangspunten:

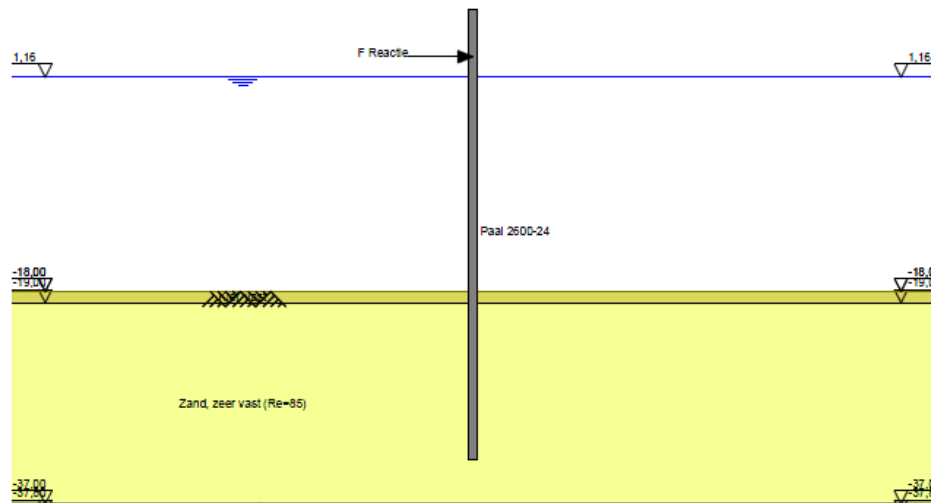
- Bovenkant buispaal = +7,16 m NAP
- D_{buis} (buitendiameter) = 2600 mm
- t (wanddikte) = 24 mm
- EI (Stijfheid) = $3,38E+7 \text{ kNm}^2$
- F_E reactiekracht (+3m NAP) = 2475,83 kN
- Verplaatsing teen buispaal = Max. 5 – 10 cm
- Ontwerpwaterstand (HW) = +1,16 m NAP
- Inheidiepte = -33,0 m NAP

De gegevens met betrekking tot de grondopbouw worden behandeld in hoofdstuk 2.



Functioneel en geometrie. De overige invoergegevens zoals deze in D-sheet staan ingevoerd zijn terug te vinden in het rapport in de bijlage.

Hieronder staat de situatie zoals deze in D-sheet is ingevoerd weergegeven.



Figuur 6 Situatieschets D-sheet

Met behulp van D-sheet is de check gedaan of de verplaatsing aan de top onder het maximum van 1,5 meter zou eindigen. Dit geldt hetzelfde voor de verplaatsing onder aan de buispaal, deze moet binnen de 5 – 10 cm vallen. In beide gevallen zijn ze kloppend. Alle uitvoergegevens staan ook in de bijlage in het D-sheet rapport.

6.1.2 Funderingstype

De afmeervoorziening zal worden uitgevoerd als monopile. Het soort funderingstype kan dus worden gezien als een enkele buispaal.

**6.1.3 verplaatsing**

De maximale verplaatsing aan de top van de buispaal is vastgesteld conform de EAU 2012. Deze waarde mag maximaal 1,5 meter worden. Voor de onderkant, ookwel het kwispeleffect genoemd, staat de maximale verplaatsing vastgesteld op 5-10 cm.

Controle op verplaatsing BK dukdalf

$$\delta_{BK, \text{buispaal}} < \delta_{\text{Toelaatbaar}} \rightarrow 946,6 \text{ mm} < 1500 \text{ mm}$$

Controle op kwispeleffect

$$\delta_{\text{kwispel}} < \delta_{\text{Toelaatbaar}} \rightarrow 25 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$



7. FENDERCONSTRUCTIE

In dit hoofdstuk worden de berekeningen van de fenderconstructie behandeld. In dit rapport worden alleen eindantwoorden gegeven, voor alle uitgebreide berekeningen wordt verwezen naar het excell sheet in de bijlage. Dit geldt ook voor alle tekeningen met bijbehorende waardes.

7.1 Verbinding fendertube en -cone

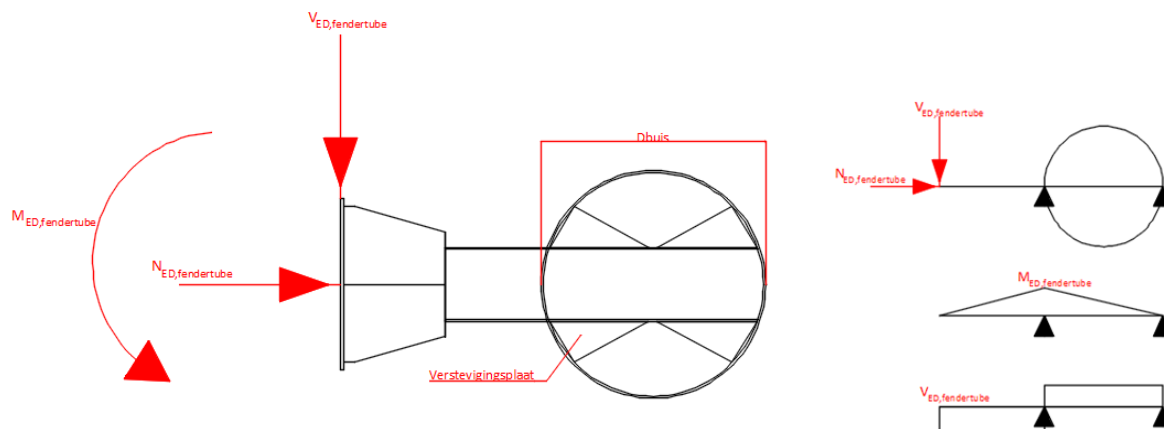
Voor de berekeningen van de verbinding tussen de fendertube en de fendercone zijn de volgende uitgangspunten opgesteld:

Uitgangspunten

D_{buis}	: Buiten diameter buispaal	= 2600 mm
d_{buis}	: Binnen diameter buispaal	= 2552 mm
t	: Wanddikte	= 24 mm
f_{yd}	: Vloeigrens	= 355 N/mm ²
R_R	: Reactiekracht fender	= 1024 kN
$\alpha_{\text{verticaal}}$	: Afmeerhoek verticaal	= 2 Graden
$\alpha_{\text{horizontaal}}$	: Afmeerhoek horizontaal	= 6 Graden

Hieronder staat op een dwarsdoorsnede van bovenaf aangegeven welke krachten op de fenderconstructie werken.

Krachtschema



Figuur 7 Krachtschema fender

Aan de hand van de gemaakte berekeningen zijn de volgende waardes naar voren gekomen voor de axiale kracht, de dwarskracht agv langswrijving van het schip en het optredend moment.

Optredende krachten

$V_{ED,fendertube}$	: Ontwerpwaarde horizontale kracht	= 668,85	kN
$N_{ED,fendertube}$	: Ontwerpwaarde axiale kracht	= 1856,87	kN
$M_{ED,fendertube}$	: Ontwerpwaarde moment	= 757,13	kN/m

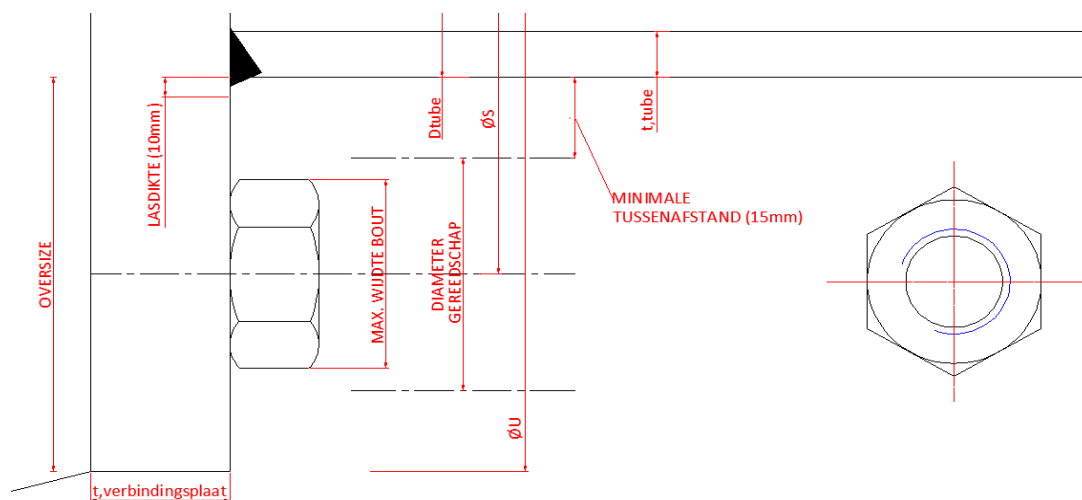
7.1.1 Boutverbinding

De zogehete verbindingssplaat wordt met de fendercone verbonden door middel van een boutverbinding. Deze is vastgesteld aan de hand van de gekozen hoofdstuk 0



De gegevens zijn als volgt:

Aantal bouten	: 6	Stuks
Bout type	: M30	-
Maximale wijdte bout	= 53,1298	mm
Diameter gereedschap	= 73,1298	mm
Uitvoeringsmarge	= 5	mm
Minimale tussenafstand	= 15	mm
Oversize	= 150	mm



Figuur 8 Boutverbinding cone-plaat

De volledige tekeningen inclusief alle afmetingen zijn opgenomen in de bijlage.

7.1.2 Dikte verbindingsplaat

Op Figuur 8 Boutverbinding cone-plaat is de verbindingsplaat weergegeven. Om de krachten op te kunnen nemen moet de dikte van deze plaat worden berekend. Deze waarde is bepaald aan de hand van de optredende dwarskracht en het moment in de verbindingsplaat. Deze zijn als volgt:

$M_{ed, stiffner}$	: Moment in verbindingsplaat	= 67084 Nmm/mm
$V_{ed, stiffner}$	: Dwarskracht in verbindingsplaat	= 725 N/mm

Aan de hand van een aantal berekeningen is de volgende waarde voor de dikte van de verbindingsplaat bepaald:

$t_{verbindingsplaat}$	: Toegepaste dikte verbindingsplaat	= 40 mm
------------------------	-------------------------------------	---------

Voor de volledige berekeningen wordt doorverwezen naar de bijlage.



Check optredende spanningen

Aan de hand van de volgende optredende spanningen afkomstig van de krachten op de constructie zijn checks uitgevoerd. Hieronder staan de verkregen spanningen.

$\sigma_{E,N,d}$	= 68,54	N/mm ²
$\sigma_{E,M,d}$	= 185,49	N/mm ²
$\tau_{E,V,d}$	= 43,90	N/mm ²
$\sigma_{E,d}$	= 254,03	N/mm ²
$\sigma_{\text{von Mises}}$	= 265,16	N/mm ²

u.c. [NEN 1993-1-8]

Optredende spanningen

$\sigma_{E,d} / f_{yd} < 1$	<u>WAAR</u>
$\sigma_{\text{von Mises}} / f_{yd} < 1$	<u>WAAR</u>

Verhouding tussen diameters

$0,2 < D_{\text{tube}}/D_{\text{buis}} < 1,0$	<u>WAAR</u>
---	-------------

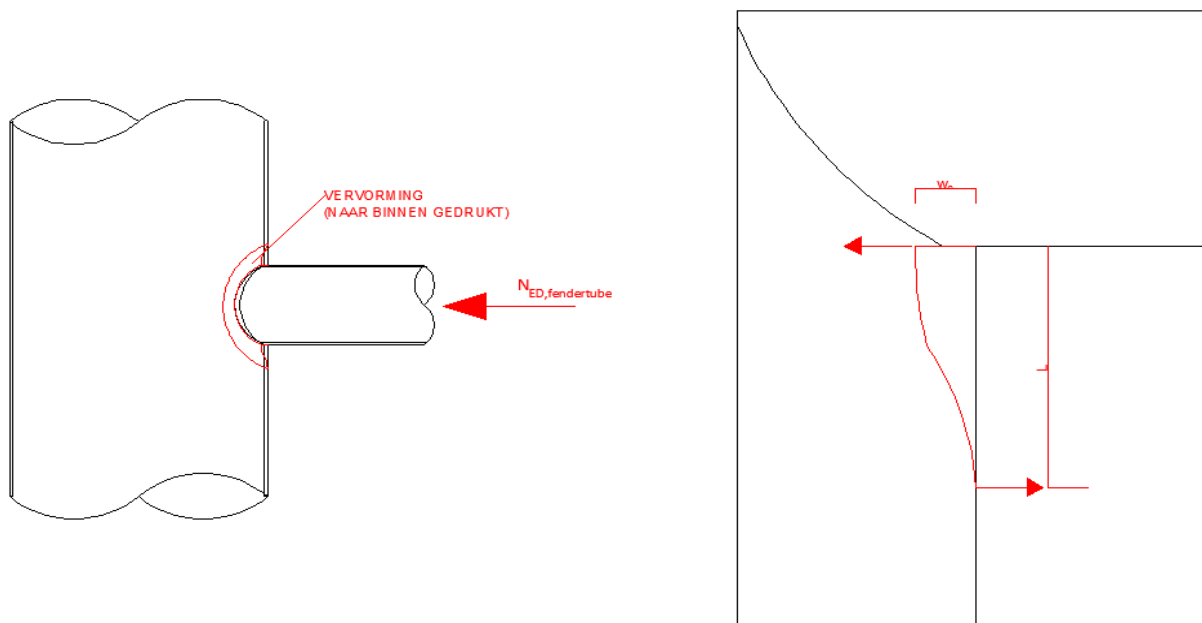
Verhouding monopole

$10 < D_{\text{buis}}/t < 50$	<u>ONWAAR</u>	VERSTEVIGINGSPLATEN BENODIGD
-------------------------------	---------------	-------------------------------------

Om de optredende krachten op te kunnen nemen, zijn verstevigingsplaten nodig. Deze zijn ook door middel van een excell sheet bepaald welke is opgenomen in de bijlage. Hieronder worden de uitkomsten behandeld.

7.1.3 Verstevigingsplaten

Om een beeld te krijgen van wat er daadwerkelijk gebeurt zodra de reeds genoemde krachten optreden staat hieronder een schets weergegeven.



Figuur 9 Optredende vervorming buispaal

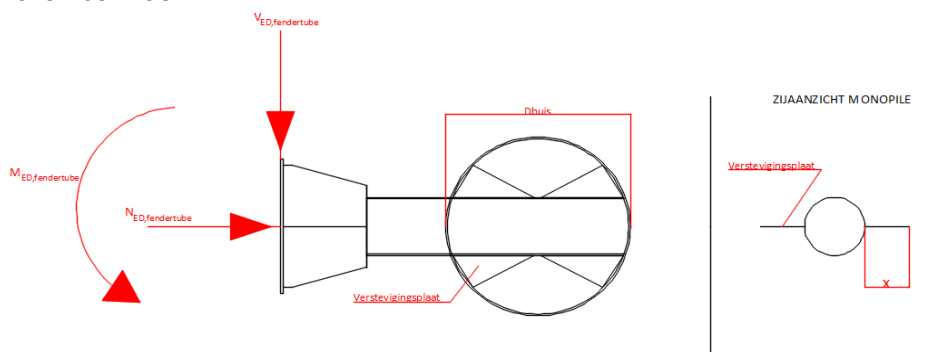


Voor de berekeningen van de verstevigingsplaten zijn de volgende uitgangspunten opgesteld:

Uitgangspunten

$N_{ED, \text{fendertube}}$	Ontwerpwaarde axiale kracht	= 1856,87	kN
$V_{ED, \text{fendertube}}$	Ontwerpwaarde horizontale kracht	= 668,85	kN
$M_{ED, \text{fendertube}}$	Ontwerpwaarde moment	= 757,13	kN/m
D_{tube}	Buiten diameter tube	= 630	mm
d_{tube}	Binnen diameter tube	= 602	mm
t_{tube}	Wanddikte tube	= 21	mm
t	Wanddikte buis	= 24	mm
x	Lengte verstevigingsplaten	= 350	mm
t_{stiffner}	Dikte verstevigingsplaten	= 20	mm
E_{staal}	Elasticiteitsmodulus staal	= 210000	N/mm ²

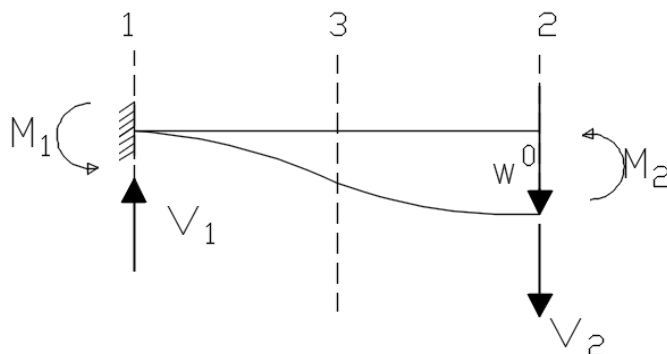
Hieronder staat een schets van de situatie met daarin aangegeven waar de verstevigingsplaten zich zullen bevinden.



Figuur 10 Situatieschets verstevigingsplaten

Door de optredende krachten zal er doorbuiging plaatsvinden (zie Figuur 9 Optredende vervorming buispaal). Als gevolg van de doorbuiging zal een moment optreden. Hiernaast zal ook een kracht V_2 optreden welke uiteindelijk zorgt voor die doorbuiging. Alle benodigde waardes zijn berekend en staan hieronder vermeld.

M_{Ed}	: Buigend moment	= 45742,49	Nmm/mm
V_2	: Dwarskracht in punt 2	= 346,53	N/mm
L	: Lengte tussen V_1 en V_2	= 264,00	mm
$I_{\text{versteviging}}$	: Traagheidsmoment	= 1152	mm ⁴
EI	: Stijfheid	= 2,42E+08	Nmm ² /mm
w_0	: Doorbuiging	= 2,20	mm



Figuur 11 Krachtenschema doorbuiging



Check optredende spanningen

Aan de hand van de volgende optredende spanningen afkomstig van de krachten op de constructie zijn checks uitgevoerd. Hieronder staan de verkregen spanningen en de toelaatbare spanningen.

σ_x	: Optredende buigspanning	= 317,66	N/mm ²
τ_x	: Optredende schuifspanning	= 12,5	N/mm ²
M_{Rd}	: Toelaatbaar moment	= 51120	Nmm/mm
f_{yd}	: Vloeigrens	= 355	N/mm ²

u.c. [NEN 1993-1-8]

Optredend moment

$$M_{Ed}/M_{Rd} < 1,0 \quad \underline{\text{WAAR}}$$

Buigspanning

$$\sigma_x < f_{yd} \quad \underline{\text{WAAR}}$$

Schuifspanning

$$\tau_x < f_{yd} \quad \underline{\text{WAAR}}$$

7.2 Lasverbindingen

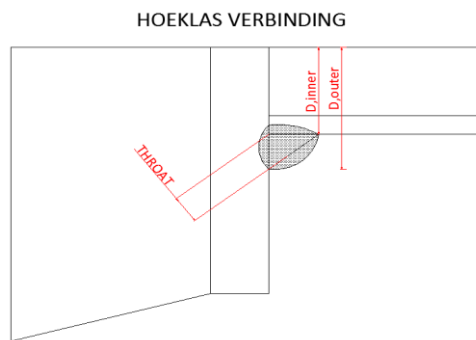
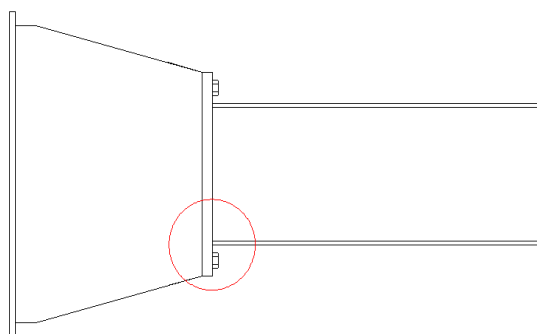
De fenderconstructie zal op een aantal locaties lasverbindingen krijgen om zo de constructie sterk genoeg te maken. Deze verbindingen zullen moeten worden berekend aan de hand van de optredende krachten. Deze krachten zijn als volgt:

$N_{ED, \text{fendertube}}$	Ontwerpwaarde axiale kracht	= 1856,87	kN
$V_{ED, \text{fendertube}}$	Ontwerpwaarde horizontale kracht	= 668,85	kN
$M_{ED, \text{fendertube}}$	Ontwerpwaarde moment	= 757,13	kN/m

7.2.1 Verbindingsplaat - fendertube

Uitgangspunten

D_{inner}	: Binnendiameter lasverbinding	= 630	mm
D_{outer}	: Buitendiameter lasverbinding	= 655	mm
$A_{\text{verbinding}}$	: Oppervlakte lasverbinding	= 25700	mm ²
$W_{\text{verbinding}}$	: Weerstandsmoment lasverbinding	= 4050939	mm ³
Throat	: Zie tekening	= 18	mm



Figuur 12 Lasverbinding verbindingsplaat - fendertube



Check optredende spanningen

Aan de hand van de volgende optredende spanningen afkomstig van de krachten op de constructie zijn checks uitgevoerd. Hieronder staan de verkregen spanningen en de toelaatbare spanningen.

$\sigma_{E,N,d}$	= 72,25	N/mm ²
$\sigma_{E,M,d}$	= 186,90	N/mm ²
$T_{E,V,d}$	= 40,88	N/mm ²
$\sigma_{E,d}$	= 259,15	N/mm ²
$\sigma_{\text{von Mises}}$	= 268,65	N/mm ²

f_u	: Nominale treksterkte staal (S355 H)	= 510 N/mm ²
f_{vwd}	: Rekenwaarde schuifsterkte lasverbinding	= 261,73 N/mm ²

u.c. [NEN 1993-1-8]

Spanning tgv axiale kracht

$$\sigma_{E,N,d} < f_{vwd} \quad \underline{\text{WAAR}}$$

Spanning tgv moment

$$\sigma_{E,M,d} < f_{vwd} \quad \underline{\text{WAAR}}$$

Schuifspanning

$$T_x < \sigma_{\text{contact}} \quad \underline{\text{WAAR}}$$

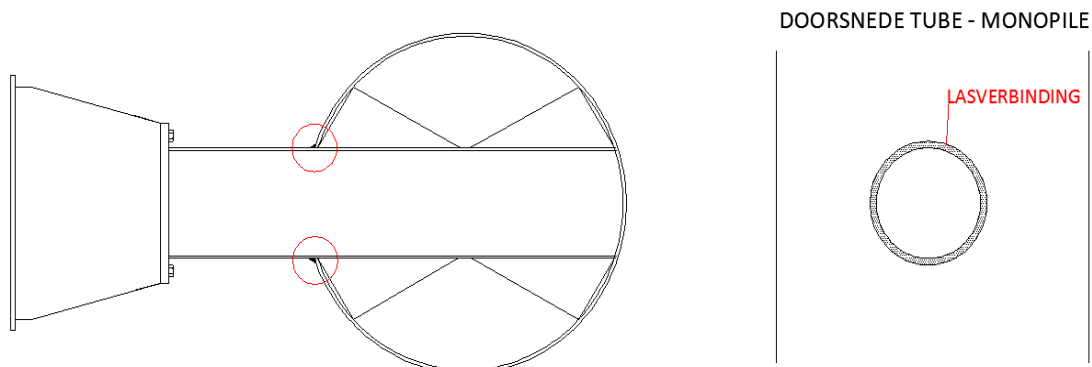
Spanning tgv axiale en dwarskracht

$$\sigma_{\text{von Mises}} < f_{vwd} \quad \underline{\text{ONWAAR}} \quad \text{TOEPASSEN VOLLEDIGE LAS}$$

In dit geval zal er een volledige las moeten worden toegepast om zo de krachten te kunnen opnemen.

7.2.2 Fendertube – monopile

Bij deze verbinding zal een volledige las worden toegepast. Hiervoor zijn geen berekeningen uitgevoerd aangezien de verbinding volledig luchtdicht zal moeten worden uitgevoerd. Tevens worden de krachten dusdanig hoog dat een hoeklas niet zal voldoen, dit is bij vorige berekeningen gebleken.



Figuur 13 Lasverbinding fendertube - buispaal

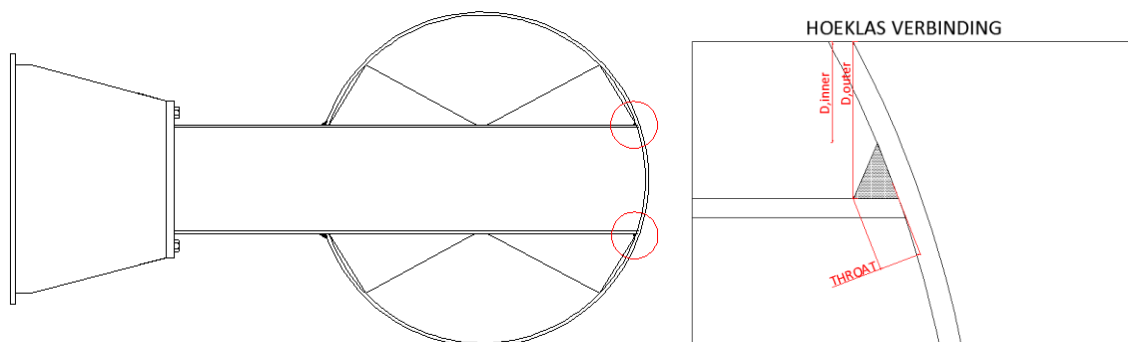
In de bijlage zijn tekeningen opgenomen met daarin de lasverbindingen getekend.



7.2.3 Fendertube – achterwand monopile

Uitgangspunten

D_{inner}	: Binnendiameter lasverbinding	= 630	mm
D_{outer}	: Buitendiameter lasverbinding	= 644	mm
$A_{verbinding}$	: Oppervlakte lasverbinding	= 14152	mm ²
$W_{verbinding}$	: Weerstandsmoment lasverbinding	= 2229515	mm ³
Throat	: Zie tekening	= 10	mm



Figuur 14 Lasverbinding fendertube - achterwand monopile

In de bijlage zijn tekeningen opgenomen met daarin de lasverbindingen getekend.

Check optredende spanningen

Aan de hand van de volgende optredende spanningen afkomstig van de krachten op de constructie zijn checks uitgevoerd. Hieronder staan de verkregen spanningen en de toelaatbare spanningen.

$\sigma_{E,N,d}$	= 131,21	N/mm ²
$\sigma_{E,M,d}$	= 0,00	N/mm ²
$T_{E,V,d}$	= 74,24	N/mm ²
$\sigma_{E,d}$	= 131,21	N/mm ²
$\sigma_{von Mises}$	= 183,71	N/mm ²

f_{vwd} Rekenwaarde schuifsterkte lasverbinding 261,73 N/mm²

u.c. [NEN 1993-1-8]

Spanning tgv axiale kracht

$$\sigma_{E,N,d} < f_{vwd} \quad \underline{\text{WAAR}}$$

Spanning tgv moment

$$\sigma_{E,M,d} < f_{vwd} \quad \underline{\text{WAAR}}$$

Spanning tgv axiale en dwarskracht

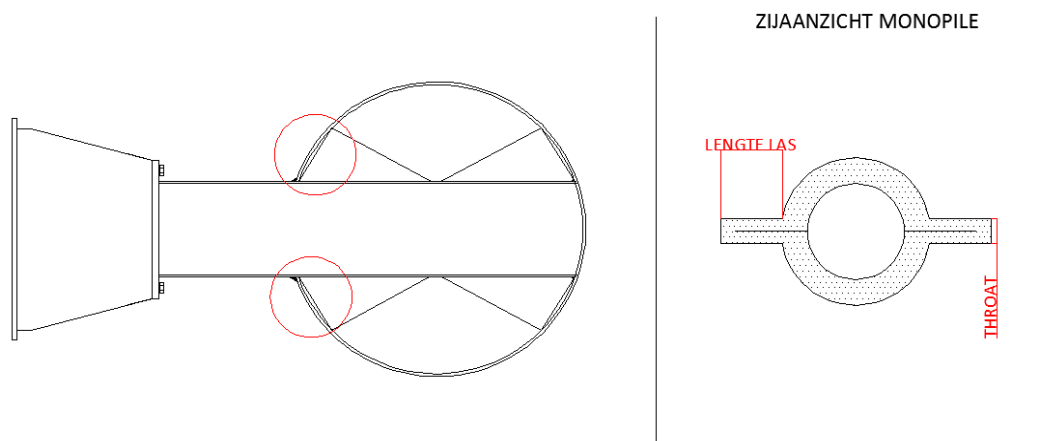
$$\sigma_{von Mises} < f_{vwd} \quad \underline{\text{WAAR}}$$



7.2.4 fendertube – verstevigingsplaten

Uitgangspunten

Throat	: Zie tekening	= 6 mm
Lengte las	: Zie tekening	= 437,5 mm
Aantal kanten	: Zie tekening	= 2 -
$A_{\text{verbinding}}$	: Oppervlakte lasverbinding	= 5250 mm ²



Figuur 15 Lasverbinding verstevigingsplaten

In de bijlage zijn tekeningen opgenomen met daarin de lasverbindingen getekend.

Check optredende spanningen

Aan de hand van de volgende optredende spanningen afkomstig van de krachten op de constructie zijn checks uitgevoerd. Hieronder staan de verkregen spanningen en de toelaatbare spanningen.

f_{vwd}	: Vloeigrens lasverbinding	= 261,7 N/mm ²
$F_{\text{R,d,las}}$	: Toelaatbare kracht	= 1374 kN

u.c. [NEN 1993-1-8]

Optredende kracht

$$V_{\text{ED,fendertube}} < F_{\text{R,d,las}}$$

WAAR



8. KOPBOLDER

In dit hoofdstuk zal het ontwerp van de kopbolder en de daarbij horende connectie op de monopile worden toegelicht. Hieronder is het ontwerp van de bolder zelf uitgewerkt maar ook het ontwerp van de 'founding tube'. De buis verbindt de bolder met de monopile. Voor de rekenmethode en tussenuitkomsten wordt er verwezen naar de Excel sheets in de bijlage.

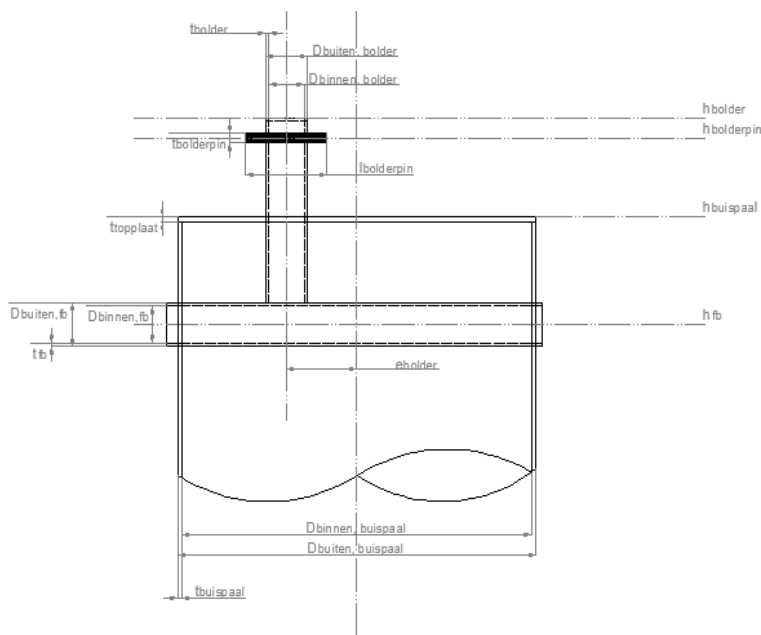
8.1 Ontwerp Bolder en founding-tube

De bolder dient er voor om de schepen vast te kunnen leggen aan de afmeervoorziening. De trossen zullen om de bolders worden gelegd waardoor het schip vast zal komen te liggen. De bolder zal daarom ook bestand moeten zijn tegen de optredende troskrachten. Vervolgens zal er ook gekeken worden naar de founding-tube. Dit is de buis waarin de bolderbuis vast zit gelast en welke zelf vast zit gelast aan de monopile. De founding tube dient ervoor om de krachten die optreden in de bolder door te geven aan de monopile. De gebruikte uitgangspunten van zowel de bolder als van de founding tube zijn hieronder weergegeven:

Uitgangspunten

D_{bolder}	: Buiten diameter bolder	= 630 mm
d_{bolder}	: Binnen diameter bolder	= 602 mm
t_{bolder}	: Wanddikte bolder	= 14 mm
f_{yd}	: Vloeigrens	= 355 N/mm ²
F	: troskracht	= 2000 kN
h_{bolder}	: hoogte bolder	= 7.16 m NAP
$h_{bolderpin}$	: hoogte bolderpin	= 7.00 m NAP
e_{bolder}	: excentriciteit bolder	= 347 mm
D_{fb}	: Buiten diameter founding tube	= 630 mm
d_{fb}	: Binnen diameter founding tube	= 602 mm
$t_{founding tube}$	: wanddikte founding tube	= 14 mm
$h_{founding tube}$	: hoogte founding tube	= 5.50 m NAP

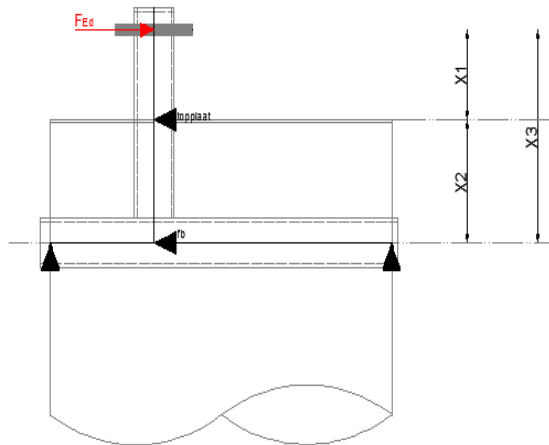
Verder zullen de eerder gebruikte uitgangspunten voor de monopile ook hier van toepassing zijn.



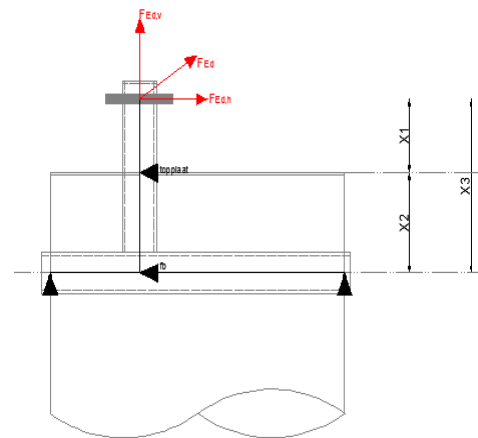


8.1.1 Krachten schema

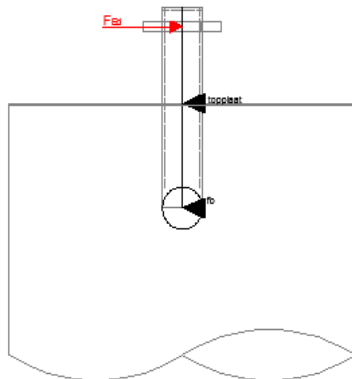
In totaal zal er gerekend worden met 4 verschillende belastingsgevallen. Dit vanwege de verschillende mogelijke hoeken van afmeren en de verschillende waterstanden. De belastingsgevallen zijn hieronder weergegeven:



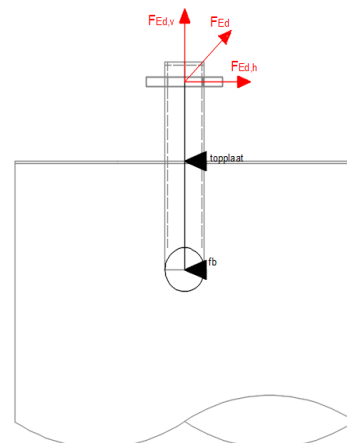
Figuur 16: Belasting geval 1: zonder hoek, recht op de constructie



Figuur 17: Belasting geval 2: onder een 45° hoek, recht op de constructie



Figuur 18: Belasting geval 3: zonder hoek, dwars op de constructie



Figuur 19: Belasting geval 4: onder een 45° hoek, dwars op de constructie



8.1.2 Optredende krachten

Tabel 10 Optredende krachten kopbolder

	Geval 1	Geval 2	Geval 3	Geval 4
$V_{Ed, \text{bolder}}$ [kN]	2000	1414	2000	1414
$N_{Ed, \text{bolder}}$ [kN]	0	1414	0	1414
$M_{Ed, \text{bolder}}$ [kNm]	1000	707	1000	707
$V_{Ed, \text{founding tube}}$ [kN]	0	896	633	1002
$N_{Ed, \text{founding tube}}$ [kN]	1000	707	0	0
$M_{Ed, \text{founding tube}}$ [kNm]	0	854	604	955
$V_{Ed, \text{monopile}}$ [kN]	0	896	633	1002
$N_{Ed, \text{monopile}}$ [kN]	500	354	0	0
$M_{Ed, \text{monopile}}$ [kNm]	0	0	0	0

8.1.3 Check bolder

Door de optredende spanningen te berekenen kan er een check worden uitgevoerd om te controleren of het ontwerp de optredende krachten kan verdragen. De optredende spanningen zijn:

$$\begin{array}{lll}
 \sigma_{E,N,d} & = 52 & \text{N/mm}^2 \\
 \sigma_{E,M,d} & = 245 & \text{N/mm}^2 \\
 \tau_{E,V,d} & = 116 & \text{N/mm}^2 \\
 \sigma_{E,d} & = 245 & \text{N/mm}^2 \\
 \sigma_{\text{von Mises}} & = 317 & \text{N/mm}^2
 \end{array}$$

$$f_y : \text{Vloeigrens staal} = 355 \text{ N/mm}^2$$

u.c. [NEN 1993-1-8]

Spanning tgv axiale kracht

$$\sigma_{E,N,d} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Spanning tgv moment

$$\sigma_{E,M,d} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Schuifspanning

$$\tau_x < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Spanning tgv axiale en dwarskracht

$$\sigma_{\text{von Mises}} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$



8.1.4 Check Founding tube

Door de optredende spanningen te berekenen kan er een check worden uitgevoerd om te controleren of het ontwerp de optredende krachten kan verdragen. De optredende spanningen zijn:

$\sigma_{E,N,d}$	= 37	N/mm ²
$\sigma_{E,M,d}$	= 234	N/mm ²
$\tau_{E,V,d}$	= 58	N/mm ²
$\sigma_{E,d}$	= 235	N/mm ²
$\sigma_{\text{von Mises}}$	= 255	N/mm ²

$$f_y : \text{Vloeigrens staal} = 355 \text{ N/mm}^2$$

u.c. [NEN 1993-1-8]

Spanning tgv axiale kracht

$$\sigma_{E,N,d} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Spanning tgv moment

$$\sigma_{E,M,d} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Schuifspanning

$$\tau_x < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Spanning tgv axiale en dwarskracht

$$\sigma_{\text{von Mises}} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

8.1.5 Monopile

Door de optredende spanningen te berekenen kan er een check worden uitgevoerd om te controleren of het ontwerp de optredende krachten kan verdragen. De optredende spanningen zijn:

$\sigma_{E,N,d}$	= 36	N/mm ²
$\sigma_{E,M,d}$	= 0	N/mm ²
$\tau_{E,V,d}$	= 102	N/mm ²
$\sigma_{E,d}$	= 36	N/mm ²
$\sigma_{\text{von Mises}}$	= 197	N/mm ²

$$f_y : \text{Vloeigrens staal} = 261 \text{ N/mm}^2$$

u.c. [NEN 1993-1-8]

Spanning tgv axiale kracht

$$\sigma_{E,N,d} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Spanning tgv moment

$$\sigma_{E,M,d} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Schuifspanning

$$\tau_x < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$

Spanning tgv axiale en dwarskracht

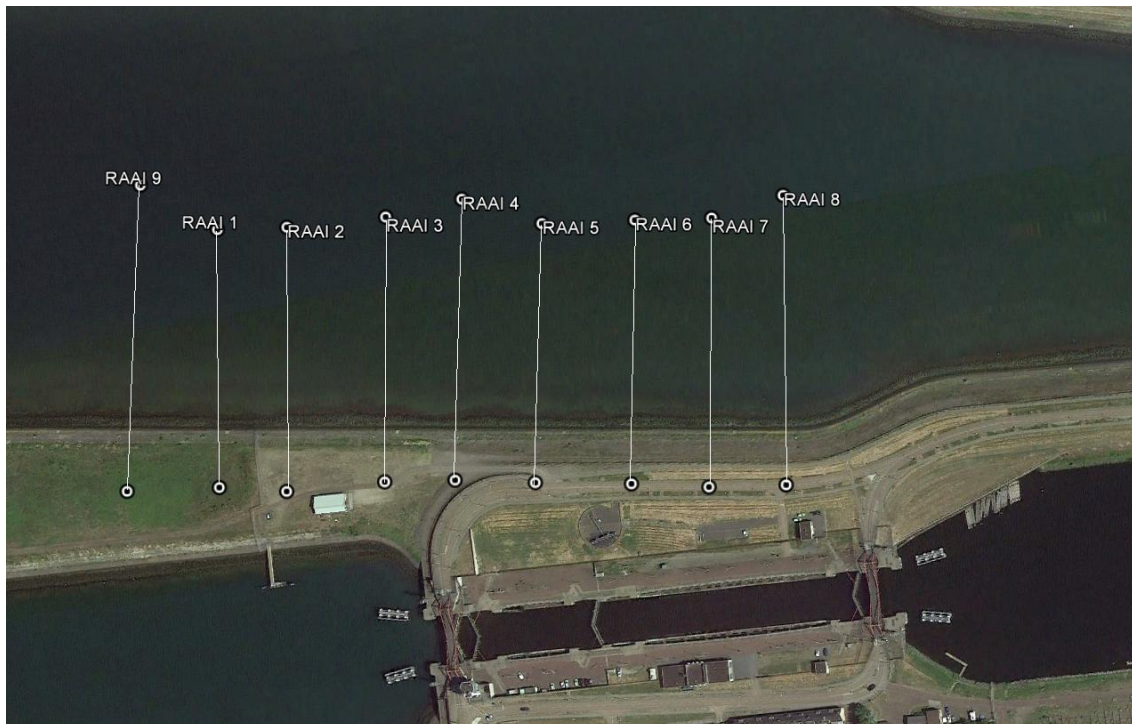
$$\sigma_{\text{von Mises}} < f_y \quad \underline{\text{VOLDOET}}$$



9. LOCATIE

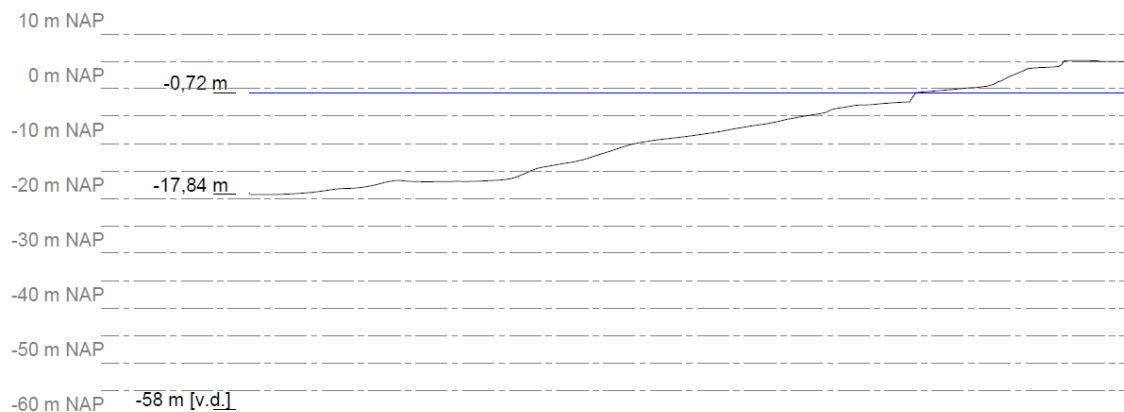
9.1 Dwarsdoorsnede

Om de locatie nader te bepalen van de te plaatsen dukdalf, zijn ter hoogte van de Voorhavendam een aantal doorsneden gebruikt om te kijken naar de geometrie. Hieronder staat in een plattegrond weergegeven waar deze doorsneden zich bevinden.



Figuur 20 Locatie dwarsdoorsneden

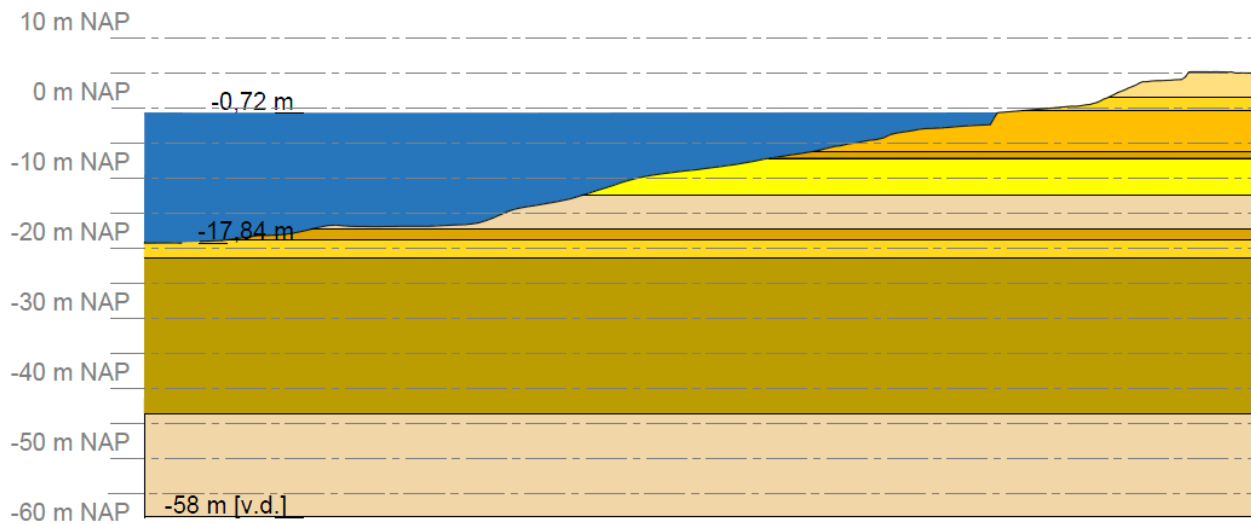
Deze dwarsdoorsneden zijn zowel boven het water (AHN) als onder het water (bathymetrie). Deze doorsneden zijn verkregen vanuit het project OpenIJ en deze zijn dan ook daadwerkelijk ingemeten en op een schaal van 1:1 in Autocad geplaatst. Het is belangrijk om te bepalen welke dwarsdoorsnede de maatgevende doorsnede is, daarom zijn de 8 doorsneden vergeleken en zijn uiteindelijk de doorsneden 4, 5 en 6 als maatgevend bepaald. Deze drie zijn overigens nagenoeg gelijk. Hieronder staat de uiteindelijk gekozen doorsnede waar mee gerekend zal gaan worden.



Figuur 21 Dwarsdoorsnede 5 (G-2-DKMP09)



Zoals eerder vermeld zal de maatgevende doorsnede zijn: DKMP09. Zodra deze in de dwarsdoorsnede wordt geplaatst ziet deze er dan ongeveer als volgt uit:

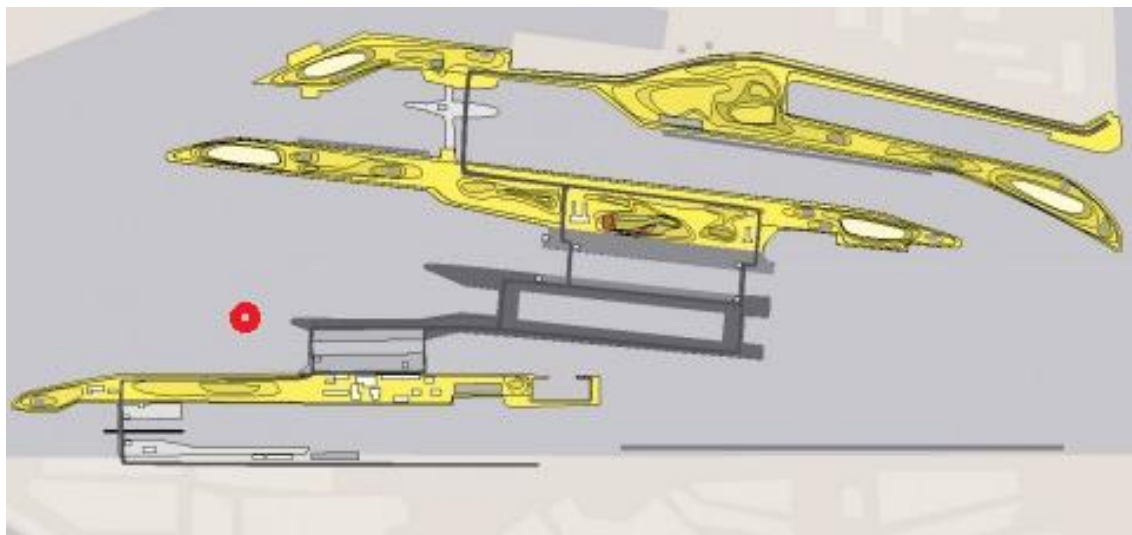


Figuur 22 Dwarsdoorsnede 5 (G-1-DKMP09)

De volledige tekeningen zijn terug te vinden in de bijlage onder de tekeningnummers: G-1-DKMP09 & G-2-DKMP09.

9.2 Positie dukdalf

Aan de hand van ontwerpdocumenten van OpenIJ en de stabiliteitsberekeningen is de plaats bepaald van de dukdalf. Met behulp van een aantal berekeningen betreffende mogelijk optredende zettingsvloeiingen, zal worden aangetoond dat er geen verweking zal optreden wanneer de paal op deze locatie wordt aangebracht.



Figuur 23 Positie dukdalf (BUREAU B+B STEDEBOUW EN LANDSCHAPSARCHITECTUUR)



9.3 Zettingsvloeiingen

Er is bepaald of er wel of geen verweking zal gaan optreden tijdens het aanbrengen van de dukdalf. De methode die hier voor is gebruikt is die van Idriss&Boulanger, gebaseerd op aardbevingsliteratuur. De gehele methode zoals deze is gehanteerd staat omschreven in het document 'Berekeningsmethode zettingsvloeiingen'.

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van de volgende uitgangspunten:

Sondering : DKMP 09
 Grondwaterstand : -0,72 m NAP
 Trilblok : PVE2350VM
 Waterdiepte thv dukdalf : -18 m NAP

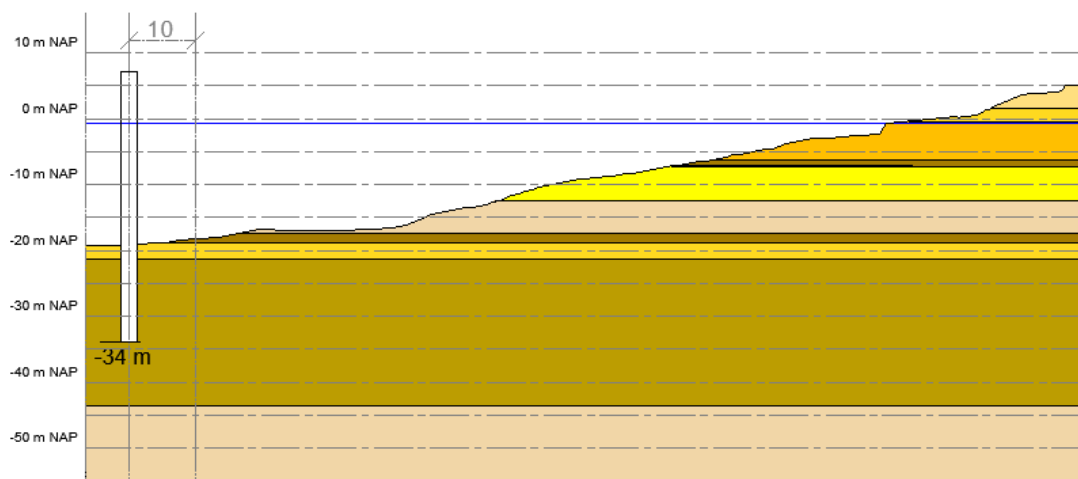
9.3.1 Uitkomsten optredende verwekingen FSliq

Hieronder staan voor alle zandlagen de uitkomsten van FSliq bij een afstand van 10 meter van de buispaal. Gesteld kan worden dat er verweking op zal treden zodra $FSliq < 1,0$, daarom is er een minimum vastgesteld op 10 meter. Alles wat binnen deze afstand valt, zal verweken zodra aan de voorwaarden wordt voldaan (Omschreven in Rapport berekeningsmethode zettingsvloeiingen).

Tabel 11 FSliq voor x=10

Grondlaag/Afstand x	X
Afstand [m]	10
a.max [m/s ²]	1.1411
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	2.64
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	4.89
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	204.31
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	2.87
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	1.00
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	1.07
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	1.28
Formatie van Bortel, matig fijne zanden	1.16

De zandlagen in het rode kader zijn de verwekingsgevoelige lagen, de overige lagen zullen niet gaan verweken. Hieronder staat deze 'gevaarzone' aangegeven.

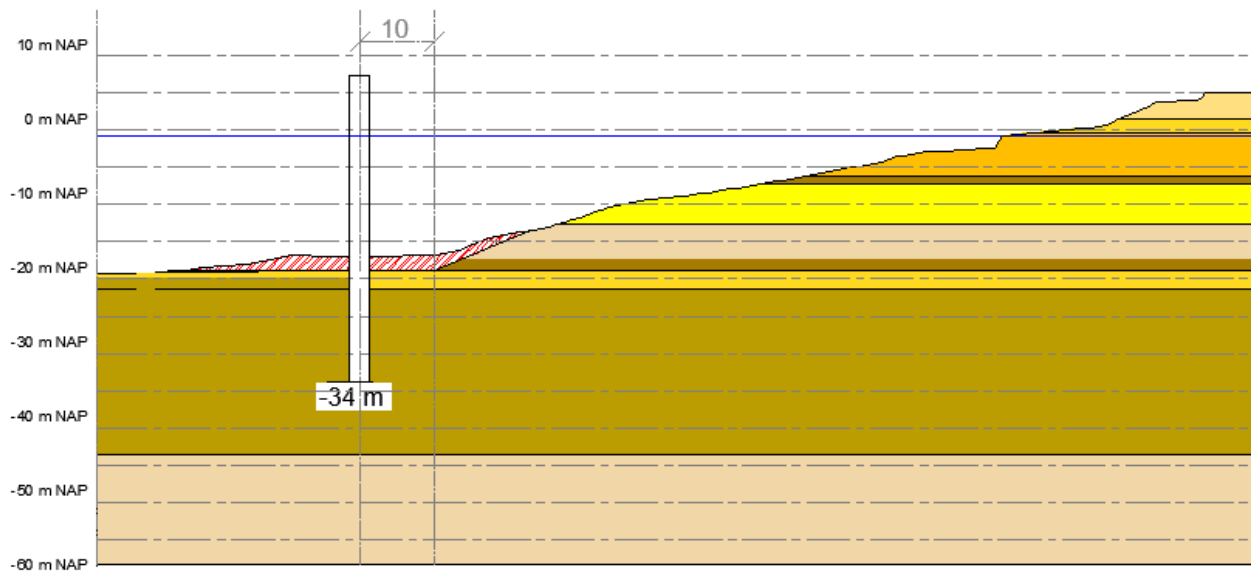




9.3.2 Conclusie

De minimale afstand van de dukdalf tot de betreffende zandlagen moet in dit geval 10 meter zijn wil je geen verweking krijgen. Gezien de situatie kan worden uitgesloten dat dit zal optreden omdat hier simpelweg het talud niet steil genoeg is en de afstand tot de verwekingsgevoelige lagen is te groot.

Afhankelijk van het gewenste eindresultaat kan er voor worden gekozen om de dukdalf meer richting het land te plaatsen. Dit komt doordat de verwekingsgevoelige lagen nog ver genoeg zitten ten opzichte van de bron (buispaal). Wel zal een deel van de aanwezige lagen moeten worden afgegraven om zo aan de gewenste diepte van -18 m NAP te komen. Hieronder staat de situatie weergegeven zodra dit van toepassing is. De afgegraven grond is met rood gearceerd.





Toepassingen trilbloktypes

Voorafgaand aan de berekeningen is gekozen om gebruik te maken van het trilblok 2350VM. Dit omdat uit ervaringen is gebleken dat met dit type de gewenste inheidiepte zal worden gehaald. Hiernaast is ook dit type toegepast tijdens de praktijkproeven bij OpenIJ, wat de vergelijking inzichtelijker maakt.

Het bepalen van de toepasbare trilblokken kan vooraf worden gedaan met modelleringsprogramma's, echter zijn deze voor dit onderzoek niet beschikbaar. Daarom is er ongeacht het resultaat een berekening gemaakt van drie type trilblokken om een vergelijking te kunnen maken.

De volgende trilblokken met bijbehorende specificaties zijn door gerekend:

Type trilblok	Slagkracht [kN]	Toerental [tpm]	frequentie [Hz]	VSF
PVE 105 M	2150	1350	22.5	Ja
PVE 2070	3070	2000	33.33	Nee
PVE 2350 VM	2900	2300	38.33	Nee
ICE 36 rf	2030	2300	38.33	Ja

Als referentie afstand zal 10 meter worden aangehouden voor de verschillende trilblokken om te kijken wat de verschillen zijn. De uitkomsten zijn als volgt:

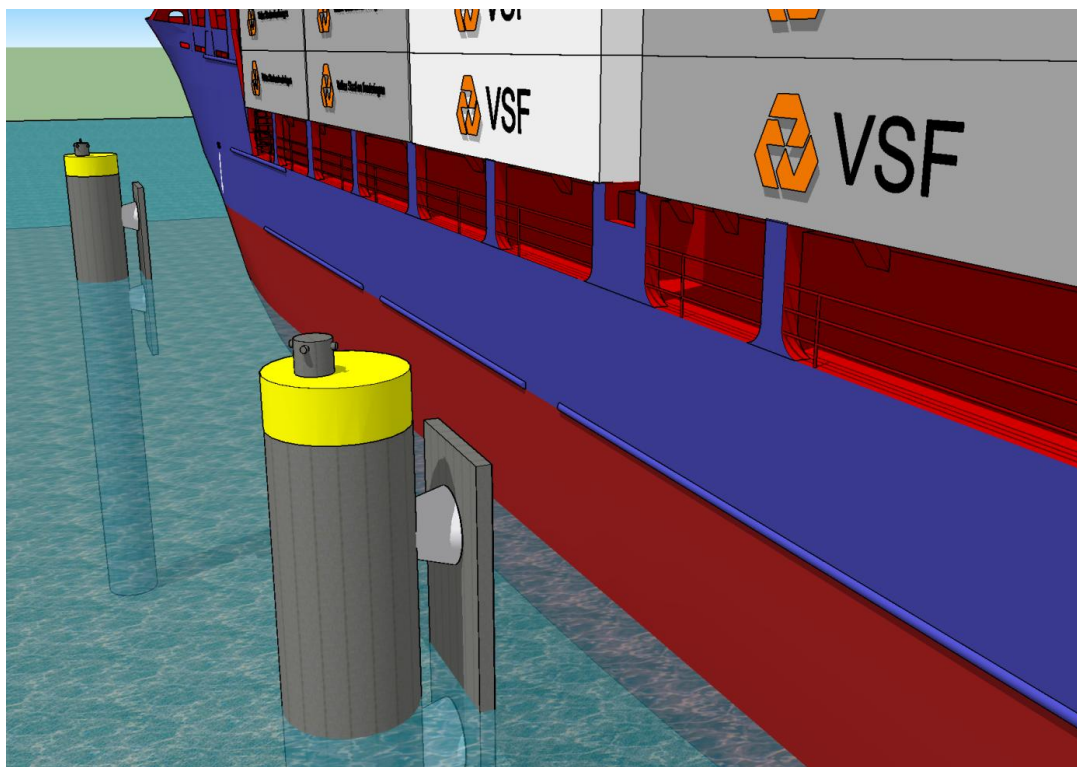
Type trilblok	2350VM	PVE 105M	PVE2070	ICE 36 rf
Afstand [m]	10	10	10	10
a.max [m/s ²]	1.14	0.52	1.04	0.84
Antropogeen / ophoogzanden en/of stortzanden (los gepakt).	2.64	5.79	2.89	3.56
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	4.89	10.74	5.36	6.61
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten.	204.31	448.49	223.61	275.98
Strand- en vooroeverzanden: matig fijn zand met schelpfragmenten. (nat)	2.87	6.31	3.15	3.88
Schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand, los gepakt	1.00	2.20	1.10	1.35
Hoofdzakelijk schelphoudende zanden: fijn tot matig fijn zand	1.07	2.34	1.17	1.44
Dekzanden, fijne tot matig fijne zanden.	1.28	2.80	1.40	1.73
Formatie van Bortel, matig fijne zanden	1.16	2.55	1.27	1.57

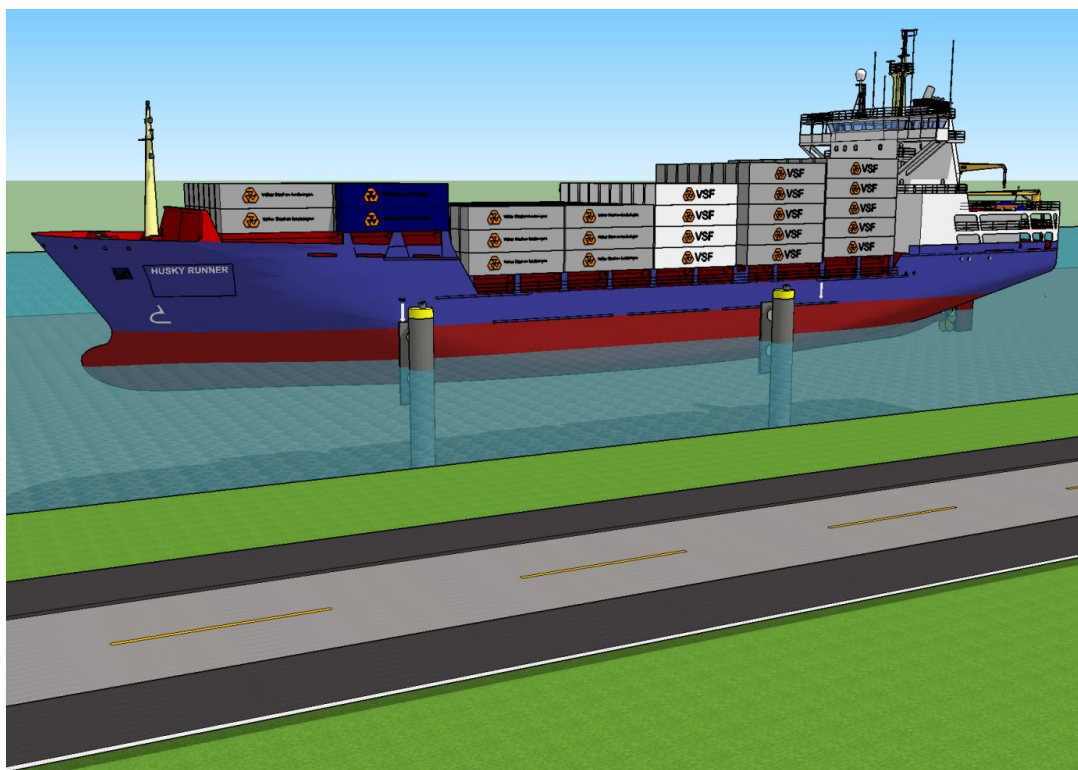
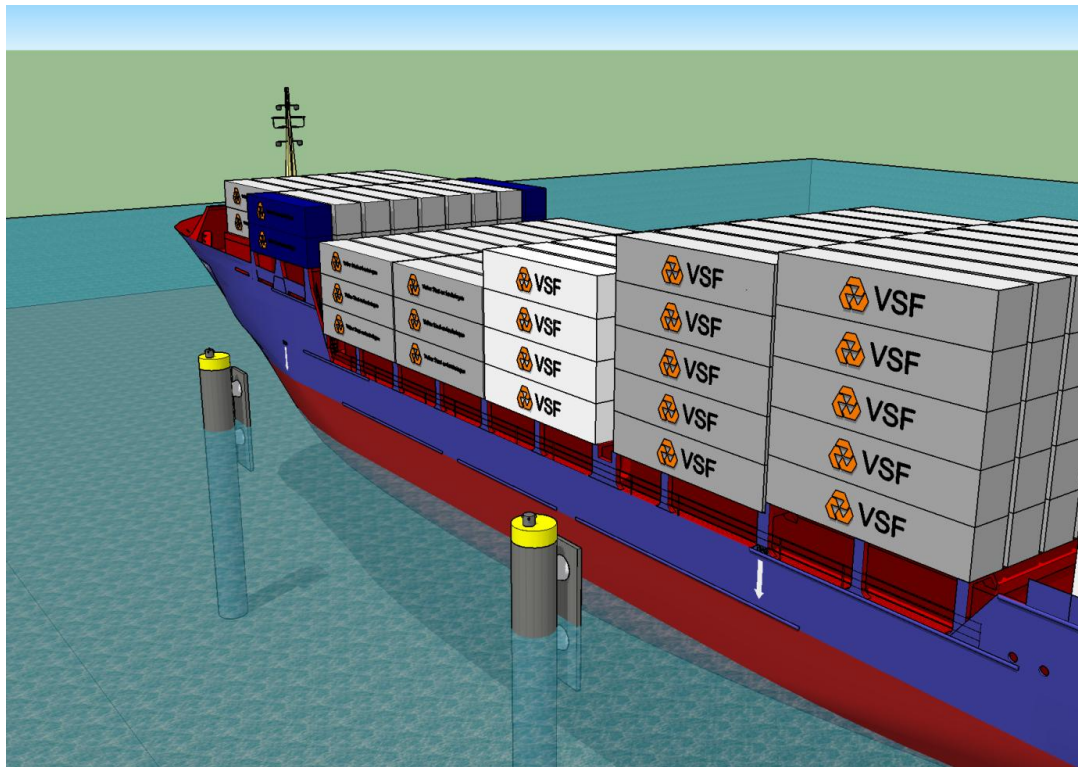
Er kan dus worden gesteld dat de verwekingsgevoeligheid, zoals verwacht, sterk afhankelijk is van het gekozen trilblok. Afhankelijk van de haalbaarheid van het type trilblok kan worden bepaald welke per situatie het beste toepasbaar is met betrekking tot de taludstabiliteit. In dit geval zal het type ICE 36 rf het best toepasbaar zijn, aangezien deze minder snel verweking zal doen laten optreden en uit eerder haalbaarheidsanalyses is gebleken dat dit type de inheidiepte kan bereiken. De overige types komen niet in aanmerking aangezien deze of te licht zijn of gewoonweg te veel trillingen opwekken tijdens de werkzaamheden.



10. VORMGEVING

Om een indruk te krijgen van de ontworpen dukdalf, zijn 3d-modellen gemaakt met behulp van Sketch-up. Hieronder staan de modellen weergegeven zoals deze in de praktijk zullen worden uitgevoerd.







11. SYMBOLEN LIJST

Constructieberekeningen

A_{tube}	Oppervlakte fendertube	$[\text{mm}^2]$
$A_{\text{overdracht}}$	Oppervlakte overdracht tube-buispaal	$[\text{mm}^2]$
$A_{\text{verbinding}}$	Oppervlakte lasverbinding	$[\text{mm}^2]$
$A_{\text{c,bolder}}$	oppervlakte doorsnede bolder	$[\text{mm}^2]$
$A_{\text{c,fb}}$	oppervlakte doorsnede funderingsbuis	$[\text{mm}^2]$
AF	Hoek factor	$[-]$
B_s	Breedte schip	$[\text{m}]$
C_M	Massa coëfficiënt	$[-]$
C_e	Excentriciteitscoëfficiënt	$[-]$
C_s	Coëfficiënt t.b.v. elasticiteit scheepshuid	$[-]$
C_B	Blockcoëfficiënt	$[-]$
C_{prob}	Waarschijnlijkheidsfactor	$[-]$
D_{buis}	Buitendiameter buispaal	$[\text{mm}]$
$D_{\text{tube,limiet}}$	Maximale buitendiameter fendertube	$[\text{mm}]$
D_{tube}	Buitendiameter fendertube	$[\text{mm}]$
D_{inner}	Binnendiameter lasverbinding	$[\text{mm}]$
D_{tube}	Buitendiameter lasverbinding	$[\text{mm}]$
$D_{\text{buiten,bolder}}$	buitendiameter bolder	$[\text{mm}]$
$D_{\text{binnen, bolder}}$	binnendiameter bolder	$[\text{mm}]$
$D_{\text{buiten,fb}}$	buitendiameter funderingsbuis	$[\text{mm}]$
$D_{\text{binnen,fb}}$	binnendiameter funderingsbuis	$[\text{mm}]$
d_{buis}	Binnendiameter buispaal	$[\text{mm}]$
d_{tube}	Binnendiameter fendertube	$[\text{mm}]$
d_s	Diepgang schip	$[\text{m}]$
E_{staal}	Elasticiteitsmodulus staal	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
E_R	Opneembare energie fender	$[\text{kNm}]$
E_Z	Afmeerenergie zonder scheepsrotatie	$[\text{kNm}]$
$E_{Z,\omega}$	Afmeerenergie met scheepsrotatie	$[\text{kNm}]$
$E_{d,n}$	Maximale afmeerenergie	$[\text{kNm}]$
$E_{a,n}$	Maximale afmeerenergie abnormaal	$[\text{kNm}]$
e_{bolder}	Excentriciteit bolder tov buispaal	$[\text{mm}]$
$F_{\text{Ed,hor.friction}}$	Horizontale kracht a.g.v. langswrijving	$[\text{kN}]$
$F_{\text{Ed,ver.inclination}}$	Verticale kracht a.g.v. inclinatie schip	$[\text{kN}]$
$F_{\text{Ed,hor.inclination}}$	Horizontale kracht a.g.v. inclinatie schip	$[\text{kN}]$
$F_{\text{Ed,hor.combi.inclination}}$	Combinatie van de krachten a.g.v. inclinatie	$[\text{kN}]$
$F_{R,d,las}$	Opneembare kracht lasverbinding	$[\text{kN}]$
F_s	Veiligheidsfactor	$[-]$
F_w	Rekenwaarde voor de windbelasting	$[\text{kN}]$
F_{tros}	Maximale trosbelasting	$[\text{kN}]$
F_{bolder}	Kracht op bolder tgv troskrachten	$[\text{kN}]$
f_{yd}	Vloeigrens materiaal	$[\text{N}/\text{mm}^2]$



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Ontwerpdokument dukdalf

f_u	Nominale treksterkte materiaal	[N/mm ²]
f_{vwd}	Rekenwaarde voor de schuifsterkte	[N/mm ²]
f_{conv}	Omrekenfactor	[-]
H	Maximaal vrijboord schip	[m]
$h_{buispaal}$	Hoogte buispaal tov NAP	[m]
h_{bolder}	Hoogte bolder tov NAP	[m]
$h_{bolder\ pin}$	Hoogte bolderpin tov NAP	[m]
h_{fb}	hoogte funderingsbuis tov NAP	[m NAP]
I_{buis}	Traagheidsmoment buispaal	[mm ⁴]
I_{tube}	Traagheidsmoment fendertube	[mm ⁴]
I_{bolder}	traagheidsmoment bolder	[cm ⁴]
I_{fb}	traagheidsmoment funderingsbuis	[cm ⁴]
k_r	Traagheidsstraal schip	[m]
k_t	Windbelasting coëfficiënt	[kN*s ² /m ⁴]
k_l	Windbelasting coëfficiënt	[-]
k_e	Eccentriciteitscoëfficiënt	[-]
LF	Load factor	[-]
L	Lengte verstevigingsplaten (langsrichting)	[mm]
L_s	Lengte schip	[m]
$L_{\bar{u}}$	Werkbare lengte schip	[m]
$I_{bolderpin}$	Lengte bolder pin	[mm]
$M_{ED, fendertube}$	Ontwerpwaarde voor het optredend moment	[kNm]
$M_{ED, stiffner}$	Optredend moment in verbindingsplaat	[kNm]
$M_{Ed, transfer}$	Buigend moment agv kracht overdracht	[kNm]
$M_{Rd, transfer}$	Tegenwerkend moment agv kracht overdracht	[kNm]
$M_{Ed, bolder}$	moment in bolder	[kNm]
$M_{Ed, buispaal}$	moment in buispaal	[kNm]
$M_{Ed, fb}$	moment in funderingsbuis	[kNm]
m_s	massa schip	[ton]
$N_{ED, fendertube}$	Ontwerpwaarde voor de axiale kracht	[kN]
$N_{Ed, bolder}$	normaalkracht bolder	[kN]
$N_{Ed, fb}$	normaalkracht funderingsbuis	[kN]
$N_{Ed, buispaal}$	normaalkracht buispaal	[kN]
n	Aantal fenders per dukdalf	[stuks]
O_{las}	omtrek lasverbinding	[mm]
Opp_{las}	oppervlakte las	[mm ²]
P	Jaarlijkse overschrijdingskans	[-]
R_R	Reactiekracht fender	[kN]
$R_{R, repr}$	Representatieve waarde voor de reactiekracht	[kNm]
R_p	Referentieperiode	[1/jaar]
$R_{topplaat}$	reactiekracht topplaat	[kN]
R_{fb}	reactiekracht funderingsbuis	[kN]
$R_{fb, v}$	verticaal component R_{fb}	[kN]
$R_{fb, h}$	horizontaal component R_{fb}	[kN]



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Ontwerpdokument dukdalf

TF	Temperatuursfactor	[-]
TollReactionF	Productie tolerantie factor	[-]
T_{buispaal}	Wanddikte buispaal	[mm]
$t_{\text{benodigd,V}}$	Benodigde dikte voor de dwarskracht	[mm]
$t_{\text{benodigd,M}}$	Benodigde dikte voor het moment	[mm]
t_{benodigd}	Benodigde dikte a.g.v. moment en dwarskracht	[mm]
$t_{\text{verbindingsplaat}}$	Dikte verbindingsplaat tube - cone	[mm]
t_{fb}	winddikte funderingsbuis	[mm]
t_{las}	keeldikte hoeklas	[mm]
t_{topplaat}	Dikte topplaat	[mm]
t_{bolder}	Wanddikte bolder	[mm]
$t_{\text{bolderpin}}$	Dikte/diameter bolder pin	[mm]
t_{tube}	Wanddikte fendertube	[mm]
t_{stiffner}	Dikte verstevigingsplaten	[mm]
t_{wind}	Tijds-interval windsnelheid	[s]
$V_{\text{ED,fendertube}}$	Ontwerpwaarde voor de dwarskracht	[kN]
$V_{\text{ED,stiffner}}$	Optredende dwarskracht in verbindingsplaat	[kN]
$V_{\text{Ed, buispaal}}$	dwarskracht op buispaal	[kN]
$V_{\text{Ed, fb}}$	dwarskracht op funderingsbuis	[kN]
$V_{\text{Ed, bolder}}$	dwarskracht op bolder	[kN]
V_2	Dwarskracht t.h.v. doorbuiging w_0	[N/mm]
V_z	Snelheid schip	[m/s]
VF	Snelheidsfactor	[-]
Vwater	Verplaatste water	[kN]
v_w	Windsnelheid	[m/s]
v	Maatgevende windsnelheid	[m/s]
W_{tube}	Weerstandsmoment fendertube	[mm ³]
$W_{\text{verbinding}}$	Weerstandsmoment lasverbinding	[mm ³]
$W_{\text{el,bolder}}$	weerstandsmoment elastisch bolder	[cm ³]
$W_{\text{pl, bolder}}$	weerstandsmoment plastisch bolder	[cm ³]
W_{las}	weerstandsmoment las	[mm ³]
$W_{\text{el,fb}}$	weerstandsmoment funderingsbuis	[cm ³]
$W_{\text{pl, fb}}$	weerstandsmoment plastisch funderingsbuis	[cm ³]
W_t	Karakteristieke windkracht	[kN]
W_l	Karakteristieke windkracht	[kN]
W_{tb}	Maatgevende windbelasting	[kN]
W_{th}	Maatgevende windbelasting	[kN]
w_0	Doorbuiging buispaal a.g.v. axiale kracht	[mm]
x	Lengte verstevigingsplaten (dwarsrichting)	[mm]
$\sigma_{\text{E,N,d}}$	Buigspanning a.g.v. axiale kracht	[N/mm ²]
$\sigma_{\text{E,M,d}}$	Buigspanning a.g.v. optredend moment	[N/mm ²]
$\sigma_{\text{von mises}}$	Von mises spanning	[N/mm ²]
$\tau_{\text{E,V,d}}$	Schuifspanning a.g.v. dwarskracht	[N/mm ²]
$\mu_{\text{staal-UHMWPE}}$	Wrijvingsfactor	[-]

Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Ontwerpdokument dukdalf

$\alpha_{\text{horizontaal}}$	Afmeerhoek horizontaal	[°]
$\alpha_{\text{verticaal}}$	Afmeerhoek verticaal	[°]
α_w	Windhoek (meest ongunstig)	[°]
β_w	Correlatiefactor	[-]
γ_{M2}	Partiële veiligheidsfactor	[-]
γ	Hoek met snelheidsvector schip	[°]
γ_{wind}	Veiligheidsfactor	[-]
ρ	Dichtheid zout water	[kN/m ³]
ω	Rotatiesnelheid schip	[rad/s]
φ	Dynamische factor	[-]

Berekeningen zettingsvloeiingen

Zie 'Rapport zettingsvloeiingen'



12. FIGUREN- EN TABELLENLIJST

Figuren

Figuur 1 Dukdalf overzicht	8
Figuur 2 Plattegrond sonderingen Voorhavendam IJmuiden	9
Figuur 3 Krachtenschema windbelasting	13
Figuur 4 Krachtenschema afmeerenergie	15
Figuur 5 Krachtenschema afmeerenergie	16
Figuur 6 Situatieschets D-sheet	22
Figuur 7 Krachtenschema fender	24
Figuur 8 Boutverbinding cone-plaat	25
Figuur 9 Optredende vervorming buispaal	26
Figuur 10 Situatieschets verstevigingsplaten	27
Figuur 11 Krachtenschema doorbuiging	27
Figuur 12 Lasverbinding verbindingsplaat - fendertube	28
Figuur 13 Lasverbinding fendertube - buispaal	29
Figuur 14 Lasverbinding fendertube - achterwand monopile	30
Figuur 15 Lasverbinding verstevigingsplaten	31
Figuur 16: Belasting geval 1: zonder hoek, recht op de constructie	33
Figuur 17: Belasting geval 2: onder een 45° hoek, recht op de constructie	33
Figuur 18: Belasting geval 3: zonder hoek, dwars op de constructie	33
Figuur 19: Belasting geval 4: onder een 45° hoek, dwars op de constructie	33
Figuur 20 Locatie dwarsdoorsneden	36
Figuur 21 Dwarsdoorsnede 5 (G-2-DKMP09)	36
Figuur 22 Dwarsdoorsnede 5 (G-1-DKMP09)	37
Figuur 23 Positie dukdalf (BUREAU B+B STEDEBOUW EN LANDSCHAPSARCHITECTUUR)	37

Tabellen

Tabel 1 Scheepsafmetingen	7
Tabel 2 Ontwerpwaterstanden geleidewerken	8
Tabel 3: Bodemprofiel 1 Voorhavendam	9
Tabel 4 Staalsoorten	10
Tabel 5 Staalspanningen per klasse	10
Tabel 6 Soortelijk gewicht staal	12
Tabel 7 Karakteristieke waarden van de bolderkrachten voor zeeschepen	14
Tabel 8 Super cone fender dimensions	19
Tabel 9 Super cone fender performance	19
Tabel 10 Optredende krachten kopbolder	34
Tabel 11 FSliq voor x=10	38

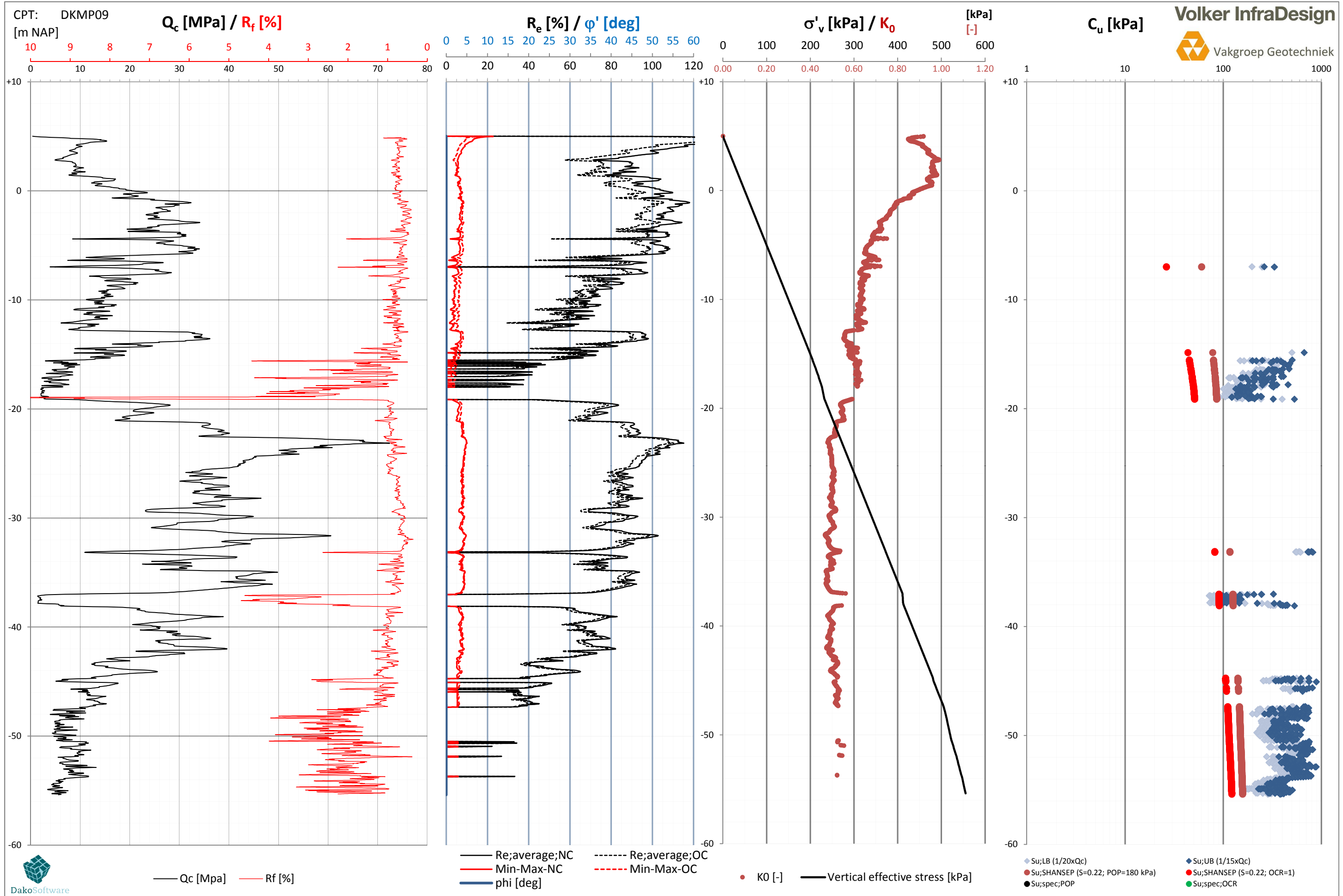
**13. BIJLAGE**

Nr.	Omschrijving
1	Sondering DKMP09
2	Dwarsdoorsnedes DKMP09 • G-1-DKMP09 • G-2-DKMP09
3	Spreadsheet dukdalf berekening
4	Vooronderzoek afmeercoëfficiënten
5	D-sheet rapport • Reactiekracht • Bolderkracht/Troskracht • Fender
6	Spreadsheet fenderconstructie
7	Spreadsheet kopbolder
8	Ontwerptekeningen • D-01-01 Detailtekening kopbolder • D-02-01 Detailtekening fenderconstructie • DO-01-01 Voor- en zijaanzicht dukdalf • DO-01-02 Bovenaaanzicht dukdalf



BIJLAGE 1

Sondering DKMP09



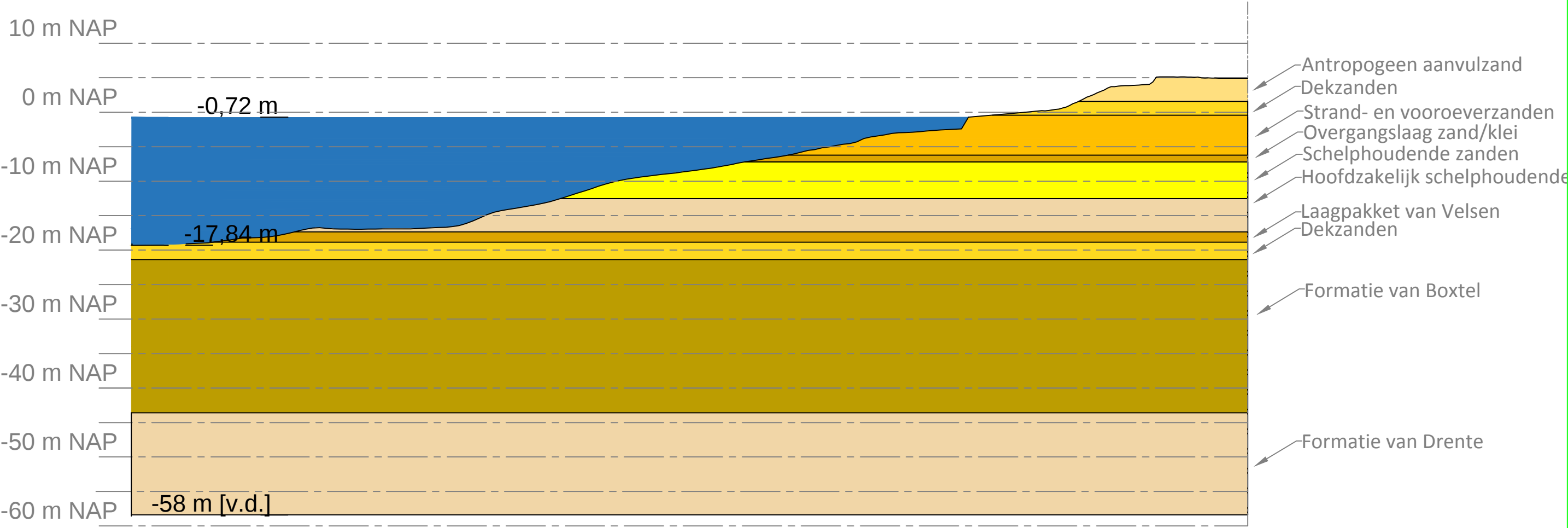


BIJLAGE 2

Dwarsdoorsnedenes DKMP09

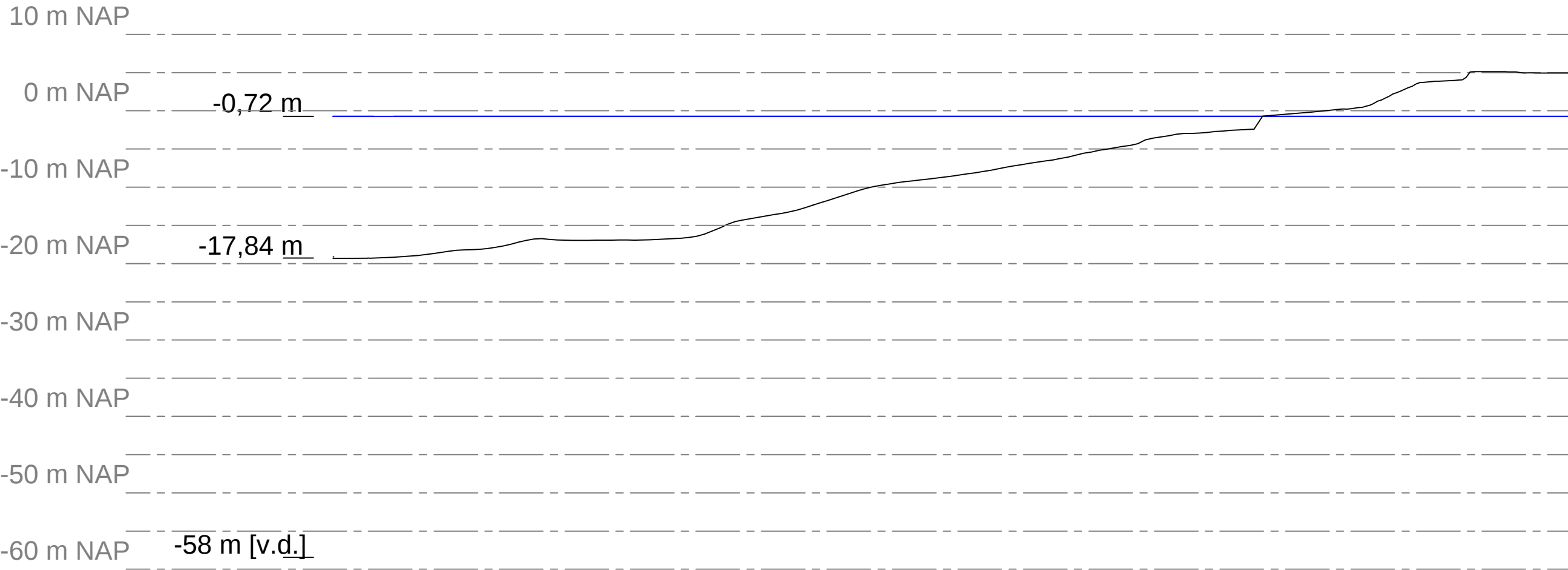
G-1-DKMP09
G-2-DKMP09.

DKMP09



			Get.	Volker Staal en Funderingen bv  TECHNISCH BUREAU Auteursrecht voorbehouden volgens de wet. OPDRACHTGEVER : VSF PROJECT : OpenIJ BENAMING : Grondopbouw DKMP09 Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578 Schaal : 1:1 Datum : 19-5-2016 Get. : Nick Jackson Gez. : TEKENING NR. : G-1-DKMP09 WIJZ. :
		Eerste uitgave	Omschrijving	
			Datum	
		0	Wijz.	

DKMP09



			Get.	Volker Staal en Funderingen bv  TECHNISCH BUREAU Auteursrecht voorbehouden volgens de wet.	Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578	
		Eerste uitgave	Omschrijving		OPDRACHTGEVER : VSF	
			Datum	PROJECT : OpenIJ		Schaal : 1:1
		0	Wijz.	BENAMING : Dwarsdoorsnede DKMP09		Datum : 19-5-2016
				TEKENING NR. : G-2-DKMP09		Gez. : Nick Jackson
						WIJZ. :



BIJLAGE 3

Spreadsheet dukdalf berekening

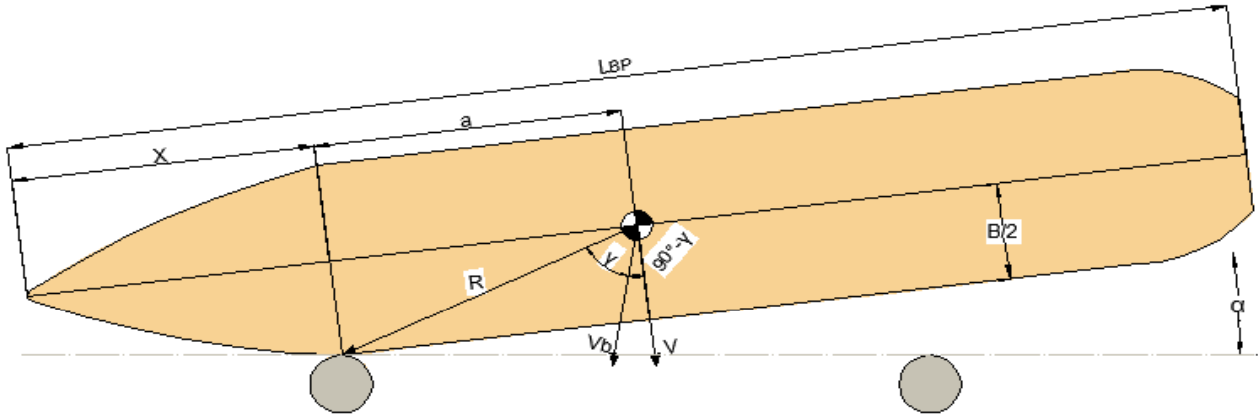
AFMEERENERGIE

Invoer

Uitvoer

Invoergegevens schip

Symbool		Waarde	Eenheid
v_z	Afmeersnelheid	0,08	m/s
L_s	Lengte schip	399	m
L_u	lengte tussen loodlijnen	379	m
d_s	Diepgang schip	14	m
b_s	Breedte schip	59	m
m_s	Massa schip	260000	ton
H	Maximale vrijboord	22,4	m
α	Afmeerhoek (radialen)	0,10	Radialen
α	Afmeerhoek (graden)	6	Graden
γ	Hoek met snelheidsvector (rad)	1,01	Radialen
γ	Hoek met snelheidsvector (graden)	57,76	Graden
ρ	Dichtheid zout water	10,25	kN/m ³



Bepalen scheepskrachten

Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
a	Zie tekening	$0,5 * L_s - x$	59,85	m
b	Halve breedte schip	$b_s/2$	29,5	m
r	Afstand zwaartepunt schip - ducdalf	$\sqrt{a^2 + b^2}$	67	m
k_r	Traagheidsstraal schip	$(0,19 * C_B + 0,11) * L_s$	119,7	m
%	Boegimpact	35%	0,35	%
x	Afstand boegimpact	$\% * L_s$	139,65	m
C_m	massa coëfficiënt	$1+2 * d_s / b_s$	1,47	-
C_e	Excentriciteit factor	$(k_r^2 + r^2 * \cos^2 \gamma) / (k_r^2 + r^2)$	0,83	-
C_s	Coëfficiënt voor invloed elasticiteit scheepshuid	0,9 - 1,0	1	-
C_B	Blockcoefficient	0,9 - 1,0	1	-
m_m	-	$C_s * C_e * C_m * m_s$	318363,65	-
ω	Rotatiesnelheid schip	0,0064	0,0064	rad/s

E_z	Afmeerenergie (zonder scheepsrotatie)	$\frac{1}{2} * m_s * C_s * C_e * C_m * v_z^2$	1018,76	kNm
-------	---------------------------------------	---	---------	-----

$E_{z,\omega}$	Afmeerenergie met scheepsrotatie	$[m_m/2(k_r^2 + r^2)]$ $* [v_z^2 * (k_r^2 + r^2 * \cos^2 \gamma)$ $2 * v_z * \omega * r * k_r^2 * \sin \gamma + \omega^2 * k_r^2 * r^2]$	1032,63	kNm
----------------	----------------------------------	--	---------	-----

$E_{d,n}$	Maximale afmeerenergie	$E_{d,n}$	1032,63	kNm
-----------	------------------------	-----------	---------	-----

F_s	Veiligheidsfactor	1,5	1,50	-
-------	-------------------	-----	------	---

$E_{d,a}$	Maximale afmeerenergie (abnormale omstandigheden)	$E_{d,n} * F_s$	1528,15	kNm
-----------	---	-----------------	---------	-----

FENDERKRACHT

Invoer

Uitvoer

Bepalen Fender type

gekozen type: SCN 950 E3,0 (TRELLEBORG)

Symbool		Waarde	Eenheid
E_R	opneembare energie	519	kNm
R_R	Reactiekracht	1024	Kn
n	aantal fender per dukdalf	2	-
AF	hoek factor	1	-
$T_{flow temp}$	temperatuurs factor	1,099	-
VF	snelheid factor	1	-
TollReactionF	productietolerantie factor	1,10	-
TollReactionF	productietolerantie factor	0,90	-

Symbool		Waarde	Eenheid
R_F	Reactiekracht fender +10% productietolerantie	2252,8	kN
E_F	Opneembare energie fender -10% productietolerantie	934,2	kNm
δ	Vervorming tpv aangrijpingspunt afmeerkracht	0,6869	m

Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$E_{R,paal}$	Opneembare energie buispaal	$1/2 * R_F * \delta$	773,72	kNm

E_{totaal}	Totaal opneembare energie	$E_{R,paal} + E_F$	1707,92	kNm
--------------	---------------------------	--------------------	---------	-----

Check op opneembare energie

Opneembare energie moet groter zijn dan de maximaal optredende afmeerenergie afkomstig van het schip

$E_{d,a} / E_{totaal} < 1,0$

0,89473851

WAAR

Symbool		Formule	Waarde	Eenheid
F_{RPD}	reactie kracht per dukdalf	$R_R * n$	2048	kN
F_E	Kracht tgv afmeerenergie	$F_{RPD} * AF * T_{flow temp} * VF * TollreactionF$	2475,83	kN

WINDBELASTING

Invoer

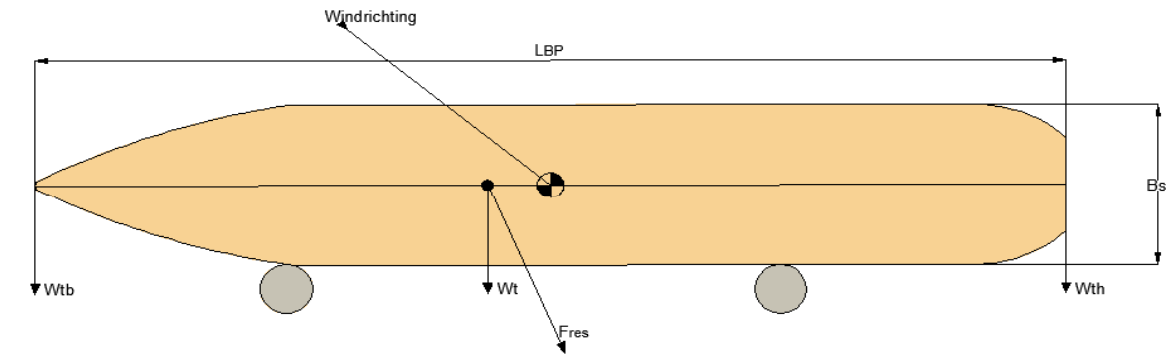
Uitvoer

Invoergegevens

Symbool			Waarde	Eenheid
α_w	Windhoek (meest ongunstig)		90	Graden
k_t	Windbelasting coëfficiënt		1,61E-04	kN*s ² /m ⁴
k_l	Windbelasting coëfficiënt		0	-
k_e	Eccentriciteitscoëfficiënt		0	
φ	Dynamische factor		1,25	-
v_w	Windsnelheid		20,7	m/s
t	Tijds-interval windsnelheid		60	s
γ_{wind}	Veiligheidsfactor		1,5	-
R_p	Referentieperiode		50	Jaar

Gebiedsgegevens

Windgebied II (dutch)
Onbebouwd gebied



Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
K	Afhankelijk van windgebied	0,234	-
P	Jaarlijkse overschrijdingskans	0,02	-
C_{prob}	Waarschijnlijkheidsfactor	1	-

De windsnelheid moet verder worden omgezet als gevolg van het verschil van het tijdsinterval

Dit gebeurt als volgt:

f_{conv}	Omrekenfactor	1,185	1,185	-
v	Maatgevende windsnelheid	$v_w * C_{prop} * f_{conv}$	24,53	m/s

Windbelasting per ducdalf

W_t	Karakteristieke windkracht	$(1 + 3,1 \sin \alpha) * k_t * H * L_{oa} * v^2 * \varphi$	4214,87	kN
W_l	Karakteristieke windkracht	$(1 + 3,1 \sin \alpha) * k_l * H * L_{oa} * v^2 * \varphi$	1	kN
W_{tb}	Maatgevende windbelasting	$W_t * (0,50 + k_e) * \gamma_{wind}$	3161,15	kN
W_{th}	Maatgevende windbelasting	$W_l * (0,50 + k_e) * \gamma_{wind}$	0,75	kN

F_w	Rekenwaarde voor de windbelasting	3161,90	kN
-------	-----------------------------------	---------	----

Troskracht

Invoer

Uitvoer

Invoergegevens schip

Symbool			Waarde	Eenheid
L_s	Lengte schip		399	m
L_{li}	lengte tussen loodlijnen		379	m
d_s	Diepgang schip		14	m
b_s	Breedte schip		59	m
m_s	Massa schip		260000	ton
ρ	Dichtheid zout water		10,25	kN/m ³
V_{water}	verplaatste water		2600000	kN

WATERVERPLAATSING IN kN	BOLDERKRACHT IN kN
<20.000	100
<100.000	300
<200.000	600
<500.000	800
<1.000.000	1.000
<2.000.000	1.500
>2.000.000	2.000

Trosbelasting per trospaal

Symbool	Formule	Waarde	Eenheid
F_{tros}	Maximale trosbelasting a.h.v. tabel	2000	kN



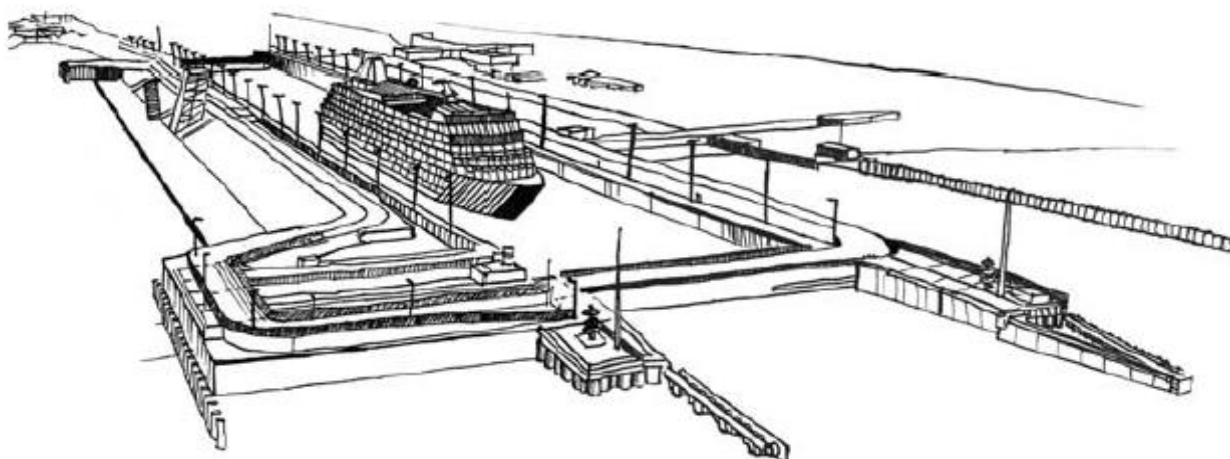
BIJLAGE 4

Vooronderzoek afmeercoëfficiënten



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Vooronderzoek afmeercoëfficiënten



Document nr : PvE versie_1.0.docx
Versie : 1.0
Datum : 15-2-2016
Status : Definitief

Werk nr :

Opdrachtgever : Volker Staal en Funderingen
: Hogeschool Rotterdam

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)	15-2-2016	
Gecontroleerd	L.A. (Leendert) van Gelder	Schoolbegeleider		
Vrijgegeven	Bas Speelman Nick Jackson	Afstudeerder (0859182) Afstudeerder (0863374)		
Geaccepteerd				



INHOUDSOPGAVE	PAG.
0. ALGEMEEN	2
1. BERTH CONFIGURATION COEFFICIENT (C_C)	3
2. BLOCK COËFFICIËNT (C_B)	4
3. ADDED MASS COEFFICIENT (C_M)	5
4. ECCENTRICITY COEFFICIENT (C_E)	6

Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Vooronderzoek afmeercoëfficiënten**0. ALGEMEEN**

Om de krachten op een afmeervoorziening volledig te kunnen bepalen, worden een aantal coëfficiënten genoemd welke van toepassing zullen zijn. Afhankelijk van de soort afmeervoorziening, afmetingen van het ontwerpschip en bodemgegevens van de ontwerplocatie, zijn een aantal coëfficiënten opgesteld om de berekeningen juist te krijgen. Er zijn in dit geval vier verschillende coëfficiënten te bepalen namelijk, de Berth configuration coëfficiënt welke rekening houdt met het dempende effect van het water dat vast zit tussen het schip en de ligplaats; De Block coëfficiënt, welke rekening houdt met de vorm van de romp van het schip; De added mass coëfficiënt, welke rekening houdt met de extra toegevoegde massa aan het schip door de zijdelingse verplaatsing; En de excentriciteitscoëfficiënt, welke zorgt voor het juist afvoeren van de energie afkomstig van de rotatie van het schip.



1. BERTH CONFIGURATION COEFFICIENT (C_C)

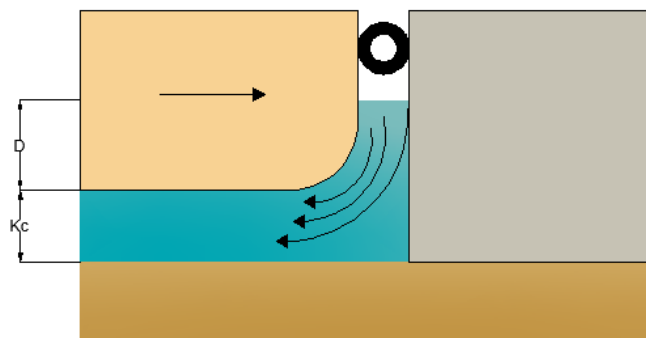
De berth configuration Coefficient (C_C) houdt rekening met het dempende effect van het water dat vast zit tussen het schip en de ligplaats. De waarde van deze factor wordt ook beïnvloed door de aanmeerhoek van het schip. Wanneer deze groter is dan 5° dan wordt de coëfficiënt op 1 gehouden. Ook wanneer de kielspeling relatief groter dan het schip is wordt de coëfficiënt ook op 1 gehouden. Dit omdat het water dan makkelijk kan ontsnappen.

De volgende situaties geven de volgende coëfficiënt waarden

Gesloten constructie

$$\frac{K_C}{D} \leq 0.5 \rightarrow C_C \approx 0.8$$

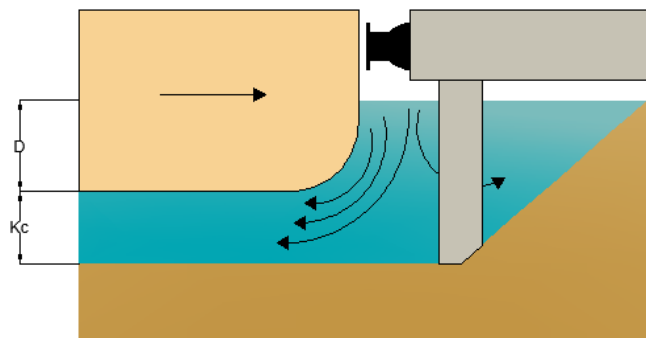
$$\frac{K_C}{D} > 0.5 \rightarrow C_C \approx 0.9$$



Semi-gesloten constructie

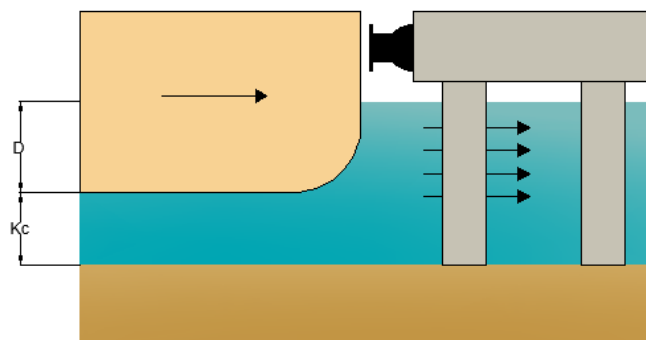
$$\frac{K_C}{D} \leq 0.5 \rightarrow C_C \approx 0.9$$

$$\frac{K_C}{D} > 0.5 \rightarrow C_C \approx 1.0$$



Open constructie

$$C_C = 1.0$$



Waarbij:

K_C = Kielspeling [m]
 D = Diepgang [m]



2. BLOCK COËFFICIËNT (C_B)

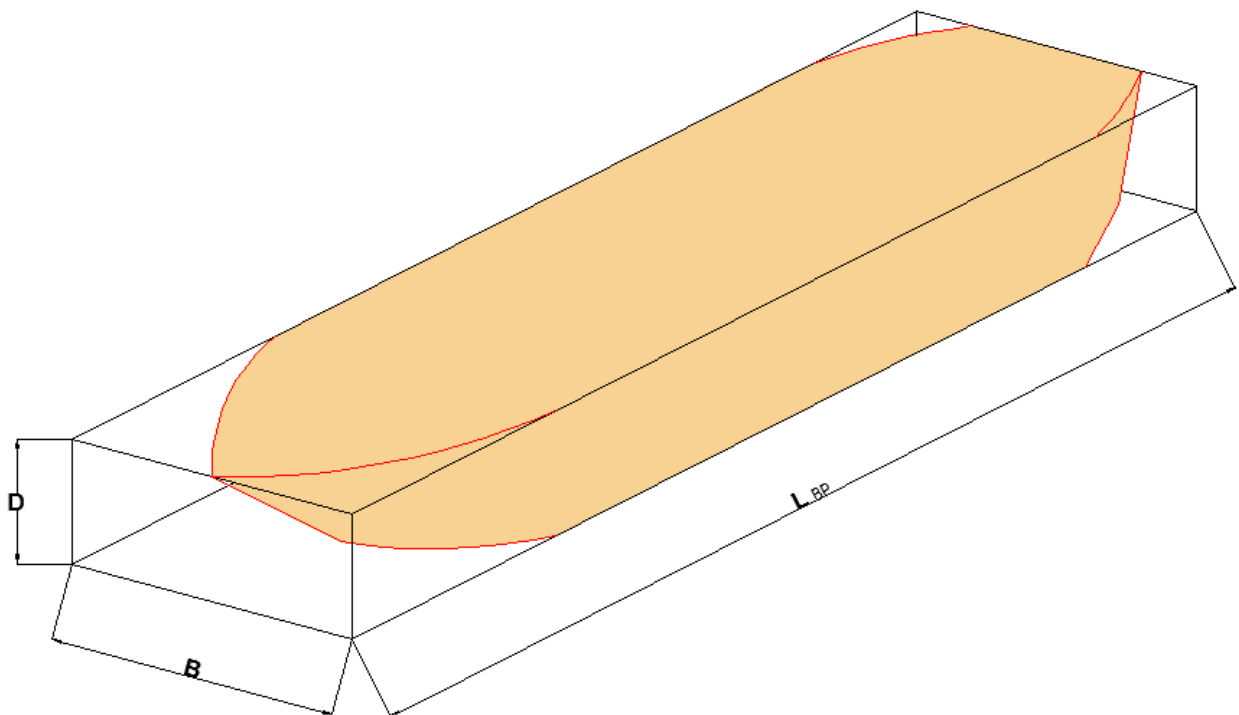
Deze coëfficiënt houdt rekening de vorm van de romp en wordt als volgt bepaald:

Block Coëfficiënt per scheepsklasse	
Tankers & Bulk Carriers	0.72-0.85
Container schepen	0.65-0.75
RoRo schepen	0.65-0.75
Passagiers schepen	0.65-0.75
Cargo schepen	0.60-0.65

$$C_B = 1 + \frac{M_D}{L_{BP} \cdot B \cdot D \cdot \rho_{SW}}$$

Waarin:

M_D	=	Verplaatsing schip	[ton]
L_{BP}	=	Lengte tussen loodlijnen	[m]
B	=	Breedte schip	[m]
ρ_{SW} [t/m ³]	=	massa zoutwater	[1.025]





3. ADDED MASS COEFFICIENT (C_M)

Door de zijdelingse verplaatsing van het schip door het water, zal het water nog een extra massa aan het schip toevoegen zodra deze wordt tegengehouden door de fender. Dat komt doordat het schip plots tot stilstand komt maar het water blijft nog in beweging en daarom wordt deze beweging omgezet in extra kracht oftewel massa op het schip.

De methode om dit te berekenen heet de Vasco Costa methode. Deze methode wordt gebruikt wanneer de waterdiepte niet veel groter is dan de diepgang van het schip.

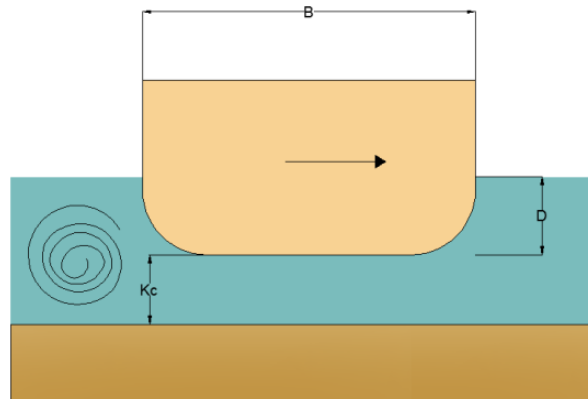
Vasco Costa methode

$$C_M = 1 + \frac{2 * D}{B}$$

Met:

D = Diepgang schip

B = Breedte schip



Softness Coëfficiënt (C_S)

De Softness Coëfficiënt (C_S) houdt rekening met de elastische vervorming van de scheepshuid. Door deze vervorming kan er bij contact met de fender energie worden geabsorbeerd. Wanneer er een 'zachte' fender wordt gebruikt (afbuiging, $\delta_f \geq 150\text{mm}$) kan de C_S -coëfficiënt worden behouden op 1.

$$\delta_f < 150\text{mm} \rightarrow C_S \approx 0.9$$

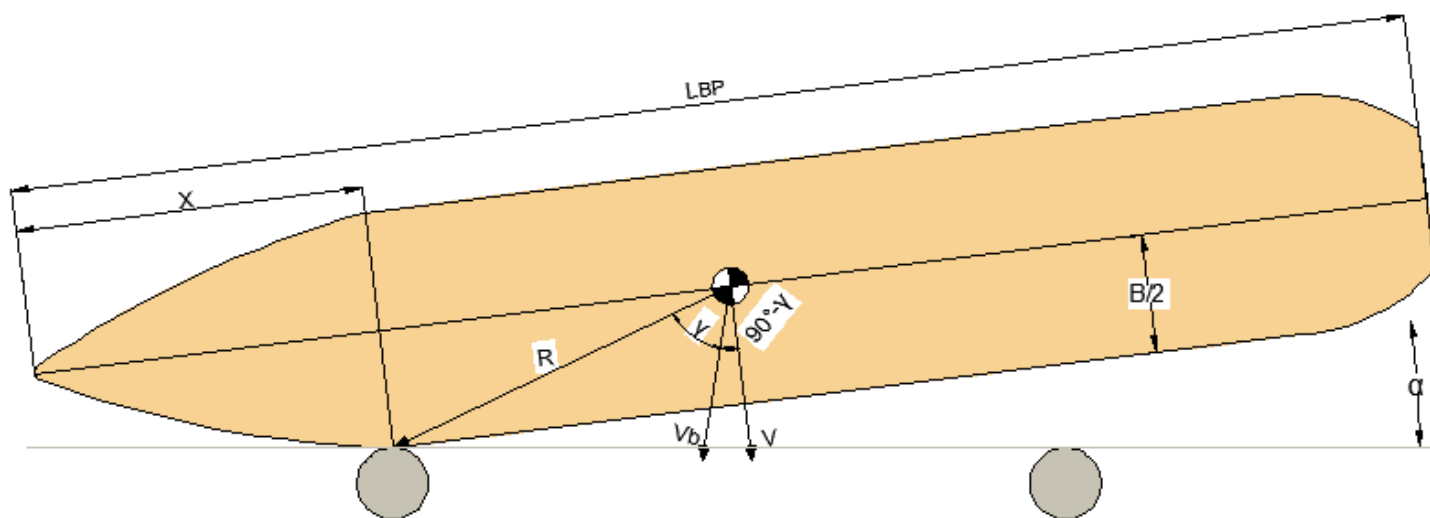
$$\delta_f \geq 150\text{mm} \rightarrow C_S = 1.0$$



4. ECCENTRICITY COEFFICIENT (C_E)

De excentriciteit coëfficiënt zorgt voor het juist afvoeren van de energie afkomstig van de rotatie van het schip wanneer het punt van impact niet recht tegenover het centrum van de massa van het schip staat. Als deze factor niet wordt meegenomen wordt het krachterspel onjuist.

$$C_E = \frac{K_r^2 + (R^2 * \cos^2(\gamma))}{K_r^2 + R^2}$$



Met:

K_r = traagheidsstraal schip

De traagheidsstraal van een schip is de loodrechte afstand van de rotatie as tot het aangrijpingspunt van de massa van het schip.

$$K_r = [(0,19 * C_B) + 0,11] * L_S$$

Met:

C_B = Block coëfficiënt



BIJLAGE 5

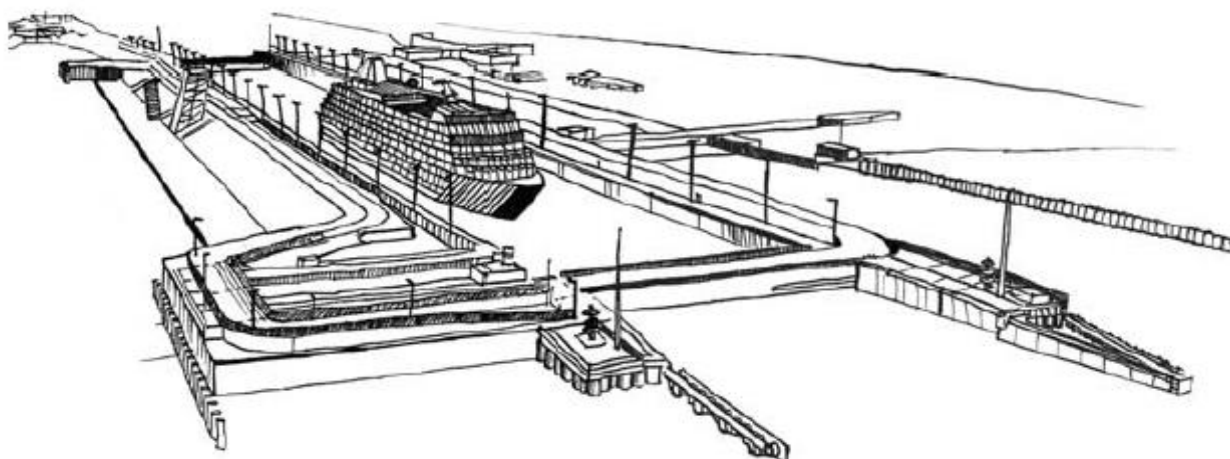
D-sheet rapport

Reactiekracht
Troskracht
Fenderkracht



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

D-sheet rapport, reactiekracht



Document nr : D-sheet rapport, reactiekracht
Versie : 1.0
Datum : 19-4-2016
Status : Definitief

Werk nr :

Opdrachtgever : Volker Staal en Funderingen
: Hogeschool Rotterdam

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman / Nick Jackson	Afstudeerders	19-4-2016	
Gecontroleerd				
Vrijgegeven				
Geaccepteerd				

Report for D-Sheet Piling 14.1

Design of Sheet Pilings
Developed by Deltares

Dongle client ID: 01-00981-013

Date of report: 4/14/2016
Time of report: 2:58:10 PM

Date of calculation: 4/14/2016
Time of calculation: 2:58:02 PM

Filename: C:\..\Start Menu\Programs\Deltares Systems\D-Sheet Piling\Dukdalf

1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Summary	3
2.1 Overview of Maxima	3
3 Input Data	4
3.1 General Input Data	4
3.2 Pile Properties	4
3.3 Outline	4
3.4 Horizontal Forces	5
3.5 Water Level	5
3.6 Surface	5
3.7 Soil Material Properties	5
3.8 Soil Material Properties calculated using Brinch Hansen	5
3.9 Modulus of Subgrade Reaction	5
4 Calculation Results	6
4.1 Charts of Moments, Forces and Displacements	6
4.2 Moments, Forces and Displacements	6
4.3 Stresses	7

2 Summary

2.1 Overview of Maxima

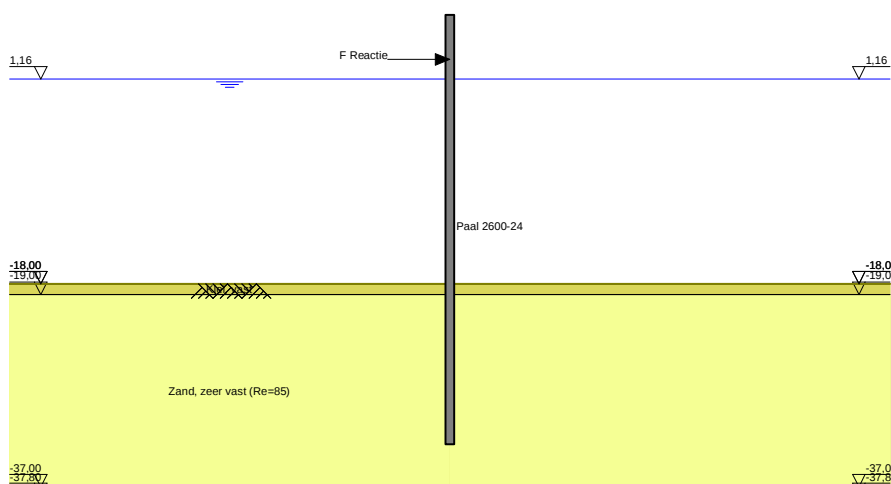
Displacement [mm]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. resistance [%]
946,6	-58437,0	8696,0	0,0	29,7

Model	Single pile; Pile loaded by forces
Unit weight of water	9,81 kN/m ³

Length	40,16 m
Level top side	7,16 m
Number of sections	1

Section name	From [m]	To [m]	Corrected stiffness EI [kNm²]	Corrected max. moment [kNm]
Paal 2600-24	-33.00	7.16	3,3800E+07	160000.00

Outline



3.4 Horizontal Forces

Name	Level [m]	Load [kN]
F Reactie	3,00	2475,83

3.5 Water Level

Water level: 1,16 [m]

3.6 Surface

Surface level: -18,00 [m]

3.7 Soil Material Properties

Layer name	Level [m]	Unit weight		Cohesion [kN/m ²]	Friction angle phi [deg]	Brinch Hansen used
		Unsat [kN/m ³]	Sat [kN/m ³]			
Klei, vast	-18,00	18,00	18,00	10,00	24,00	Yes
Zand, zeer vast...	-19,00	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Klei, vast II	-37,00	18,00	18,00	10,00	24,00	Yes
Zand, Vast II	-37,80	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Zand, ziltig II	-44,50	17,00	20,00	1,00	30,00	Yes
Zand, Vast III	-53,00	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Onbekend	-55,50	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes

Layer name	Level [m]	Earth pressure coefficients			Additional pore pressure	
		Active [-]	Neutral [-]	Passive [-]	Top [kN/m ²]	Bottom [kN/m ²]
Klei, vast	-18,00	0,00	0,00	3,22	0,00	0,00
Zand, zeer vast...	-19,00	0,00	0,00	11,88	0,00	0,00
Klei, vast II	-37,00	0,00	0,00	6,14	0,00	0,00
Zand, Vast II	-37,80	0,00	0,00	16,12	0,00	0,00
Zand, ziltig II	-44,50	0,00	0,00	11,96	0,00	0,00
Zand, Vast III	-53,00	0,00	0,00	18,77	0,00	0,00
Onbekend	-55,50	0,00	0,00	69,38	0,00	0,00

3.8 Soil Material Properties calculated using Brinch Hansen

Layer name	Level [m]	Fictive cohesion [kN/m ²]
Klei, vast	-18,00	19,67
Zand, zeer vast...	-19,00	0,00
Klei, vast II	-37,00	51,12
Zand, Vast II	-37,80	0,00
Zand, ziltig II	-44,50	6,70
Zand, Vast III	-53,00	0,00
Onbekend	-55,50	0,00

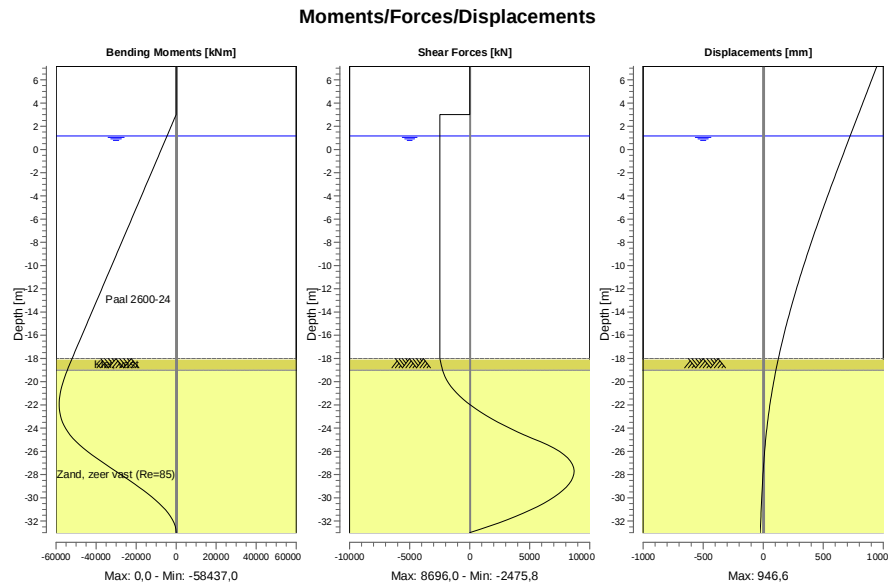
3.9 Modulus of Subgrade Reaction

Layer name	Level [m]	Menard used	E-Mod Menard [kN/m ²]	Soil type Menard	Branch 1	
					Top [kN/m ³]	Bottom [kN/m ³]
Klei, vast	-18,00	No	n.a.	n.a.	7758,81	7758,81
Zand, zeer vast...	-19,00	No	n.a.	n.a.	47974,00	47974,00
Klei, vast II	-37,00	No	n.a.	n.a.	7758,81	7758,81
Zand, Vast II	-37,80	No	n.a.	n.a.	67889,60	67889,60
Zand, ziltig II	-44,50	No	n.a.	n.a.	40733,80	40733,80
Zand, Vast III	-53,00	No	n.a.	n.a.	67889,60	67889,60
Onbekend	-55,50	No	n.a.	n.a.	63966,00	63966,00

4 Calculation Results

Number of iterations: 5

4.1 Charts of Moments, Forces and Displacements



4.2 Moments, Forces and Displacements

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
1	7,16	0,0	0,0	946,6
1	5,77	0,0	0,0	895,2
2	5,77	0,0	0,0	895,2
2	4,39	0,0	0,0	843,8
3	4,39	0,0	0,0	843,8
3	3,00	0,0	0,0	792,3
4	3,00	0,0	-2475,8	792,3
4	2,08	-2277,8	-2475,8	758,2
5	2,08	-2277,8	-2475,8	758,2
5	1,16	-4555,5	-2475,8	724,2
6	1,16	-4555,5	-2475,8	724,2
6	-0,31	-8204,5	-2475,8	669,9
7	-0,31	-8204,5	-2475,8	669,9
7	-1,79	-11853,5	-2475,8	616,1
8	-1,79	-11853,5	-2475,8	616,1
8	-3,26	-15502,5	-2475,8	563,1
9	-3,26	-15502,5	-2475,8	563,1
9	-4,74	-19151,5	-2475,8	511,1
10	-4,74	-19151,5	-2475,8	511,1
10	-6,21	-22800,5	-2475,8	460,3
11	-6,21	-22800,5	-2475,8	460,3
11	-7,68	-26449,5	-2475,8	411,0
12	-7,68	-26449,5	-2475,8	411,0
12	-9,16	-30098,5	-2475,8	363,4
13	-9,16	-30098,5	-2475,8	363,4
13	-10,63	-33747,5	-2475,8	317,7

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
14	-10,63	-33747,5	-2475,8	317,7
14	-12,10	-37396,5	-2475,8	274,2
15	-12,10	-37396,5	-2475,8	274,2
15	-13,58	-41045,5	-2475,8	233,1
16	-13,58	-41045,5	-2475,8	233,1
16	-15,05	-44694,4	-2475,8	194,6
17	-15,05	-44694,4	-2475,8	194,6
17	-16,53	-48343,4	-2475,8	159,0
18	-16,53	-48343,4	-2475,8	159,0
18	-18,00	-51992,4	-2475,8	126,5
19	-18,00	-51992,4	-2475,8	126,5
19	-19,00	-54365,0	-2257,9	106,4
20	-19,00	-54365,0	-2257,9	106,4
20	-20,40	-57120,2	-1565,2	80,9
21	-20,40	-57120,2	-1565,2	80,9
21	-21,80	-58431,4	-195,1	58,7
22	-21,80	-58431,4	-195,1	58,7
22	-23,20	-57350,4	1852,4	39,9
23	-23,20	-57350,4	1852,4	39,9
23	-24,60	-52928,8	4577,1	24,3
24	-24,60	-52931,8	4588,6	24,3
24	-26,00	-44351,9	7477,9	11,9
25	-26,00	-44350,6	7479,7	11,9
25	-27,40	-32852,3	8658,3	2,0
26	-27,40	-32852,4	8657,2	2,0
26	-28,80	-20832,2	8281,8	-6,0
27	-28,80	-20832,3	8281,1	-6,0
27	-30,20	-10261,0	6623,5	-12,8
28	-30,20	-10261,0	6623,1	-12,8
28	-31,60	-2810,5	3840,8	-19,0
29	-31,60	-2810,5	3840,7	-19,0
29	-33,00	0,0	0,0	-25,0
Max		-58431,4	8658,3	946,6
Max, minor nodes incl.		-58437,0	8696,0	946,6

4.3 Stresses

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat* [%]	Mob* [%]	Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat* [%]	Mob* [%]
1	7,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
1	5,77	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	5,77	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	4,39	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
3	4,39	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
3	3,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
4	3,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
4	2,08	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
5	2,08	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
5	1,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
6	1,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
6	-0,31	0,00	14,46	-		0,00	14,46	-	
7	-0,31	0,00	14,46	-		0,00	14,46	-	
7	-1,79	0,00	28,92	-		0,00	28,92	-	
8	-1,79	0,00	28,92	-		0,00	28,92	-	
8	-3,26	0,00	43,38	-		0,00	43,38	-	
9	-3,26	0,00	43,38	-		0,00	43,38	-	
9	-4,74	0,00	57,83	-		0,00	57,83	-	
10	-4,74	0,00	57,83	-		0,00	57,83	-	
10	-6,21	0,00	72,29	-		0,00	72,29	-	
11	-6,21	0,00	72,29	-		0,00	72,29	-	
11	-7,68	0,00	86,75	-		0,00	86,75	-	
12	-7,68	0,00	86,75	-		0,00	86,75	-	
12	-9,16	0,00	101,21	-		0,00	101,21	-	

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat*	Mob* [%]	Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat*	Mob* [%]
13	-9,16	0,00	101,21	-		0,00	101,21	-	
13	-10,63	0,00	115,67	-		0,00	115,67	-	
14	-10,63	0,00	115,67	-		0,00	115,67	-	
14	-12,10	0,00	130,13	-		0,00	130,13	-	
15	-12,10	0,00	130,13	-		0,00	130,13	-	
15	-13,58	0,00	144,58	-		0,00	144,58	-	
16	-13,58	0,00	144,58	-		0,00	144,58	-	
16	-15,05	0,00	159,04	-		0,00	159,04	-	
17	-15,05	0,00	159,04	-		0,00	159,04	-	
17	-16,53	0,00	173,50	-		0,00	173,50	-	
18	-16,53	0,00	173,50	-		0,00	173,50	-	
18	-18,00	0,00	187,96	-		0,00	187,96	-	
19	-18,00	0,00	187,96	A		70,61	187,96	P	
19	-19,00	0,00	197,77	A		96,99	197,77	P	
20	-19,00	0,00	197,77	A		97,28	197,77	P	
20	-20,40	0,00	211,50	A		283,36	211,50	P	
21	-20,40	0,00	211,50	A		283,36	211,50	P	
21	-21,80	0,00	225,24	A		469,44	225,24	P	
22	-21,80	0,00	225,24	A		469,44	225,24	P	
22	-23,20	0,00	238,97	A		655,52	238,97	P	
23	-23,20	0,00	238,97	A		655,52	238,97	P	
23	-24,60	0,00	252,71	A		841,60	252,71	P	
24	-24,60	0,00	252,71	A		841,60	252,71	P	
24	-26,00	0,00	266,44	A		570,02	266,44	-	55
25	-26,00	0,00	266,44	A		570,02	266,44	-	55
25	-27,40	0,00	280,17	A		94,80	280,17	-	8
26	-27,40	0,00	280,17	A		94,80	280,17	-	8
26	-28,80	289,15	293,91	-	21	0,00	293,91	A	
27	-28,80	289,15	293,91	-	21	0,00	293,91	A	
27	-30,20	614,80	307,64	-	39	0,00	307,64	A	
28	-30,20	614,80	307,64	-	39	0,00	307,64	A	
28	-31,60	911,18	321,38	-	51	0,00	321,38	A	
29	-31,60	911,18	321,38	-	51	0,00	321,38	A	
29	-33,00	1198,66	335,11	-	61	0,00	335,11	A	

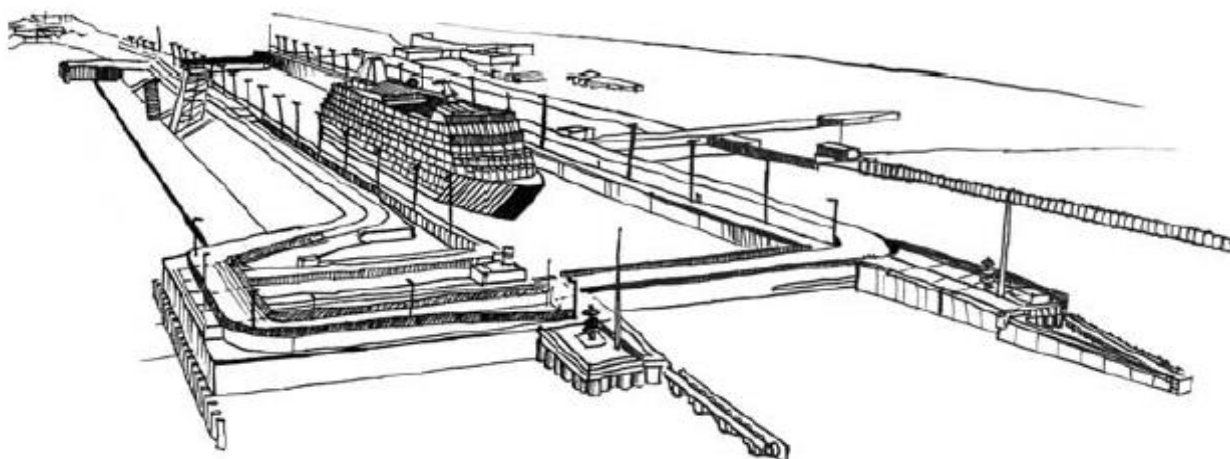
*

Stat
MobStatus (A=active, P=passive, Number is branche, 0 is unloading)
Percentage passive mobilized**End of Report**



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

D-sheet rapport, bolderkracht



Document nr : D-sheet rapport, bolderkracht
Versie : 1.0
Datum : 19-4-2016
Status : Definitief

Werk nr :

Opdrachtgever : Volker Staal en Funderingen
: Hogeschool Rotterdam

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman / Nick Jackson	Afstudeerders	19-4-2016	
Gecontroleerd				
Vrijgegeven				
Geaccepteerd				

Report for D-Sheet Piling 14.1

Design of Sheet Pilings
Developed by Deltares

Dongle client ID: 01-00981-013

Date of report: 4/14/2016
Time of report: 2:59:03 PM

Date of calculation: 4/14/2016
Time of calculation: 2:58:52 PM

Filename: C:\..\Start Menu\Programs\Deltares Systems\D-Sheet Piling\Dukdalf

1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Summary	3
2.1 Overview of Maxima	3
3 Input Data	4
3.1 General Input Data	4
3.2 Pile Properties	4
3.3 Outline	4
3.4 Horizontal Forces	5
3.5 Water Level	5
3.6 Surface	5
3.7 Soil Material Properties	5
3.8 Soil Material Properties calculated using Brinch Hansen	5
3.9 Modulus of Subgrade Reaction	5
4 Calculation Results	6
4.1 Charts of Moments, Forces and Displacements	6
4.2 Moments, Forces and Displacements	6
4.3 Stresses	7

2 Summary

2.1 Overview of Maxima

Displacement [mm]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. resistance [%]
886,6	-54982,9	7864,0	0,0	26,2

3 Input Data

3.1 General Input Data

Model Single pile; Pile loaded by forces
 Unit weight of water 9,81 kN/m³

3.2 Pile Properties

Length 40,16 m
 Level top side 7,16 m
 Number of sections 1

Section name	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ²]	Diameter [m]
Paal 2600-24	-33,00	7,16	3,3800E+07	2,60

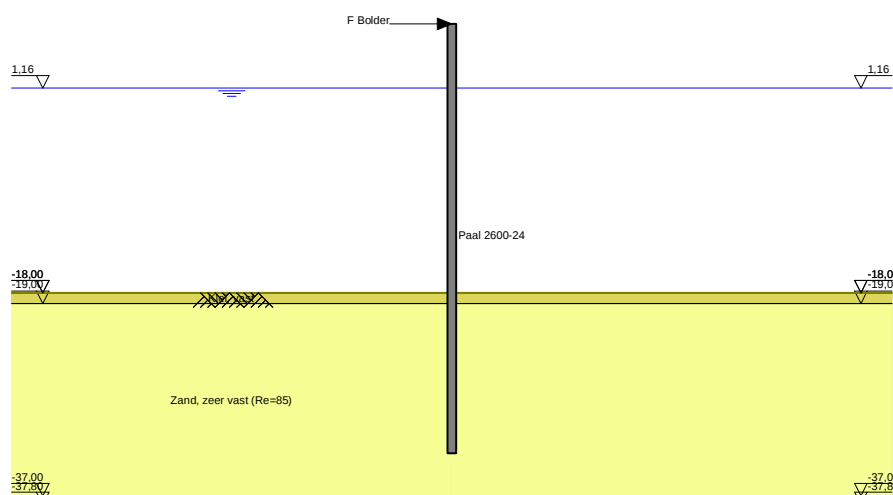
Section name	From [m]	To [m]	Max. char. moment [kNm]	Max. rep. moment [kNm]	Modification factor [-]	Material factor [-]	Design moment [kNm]
Paal 2600-24	-33,00	7,16	100000,00	100000,00	1,00	1,00	160000,00

Section name	From [m]	To [m]	Red. factor EI [-]	Red. factor max. moment [-]	Note to reduction factor
Paal 2600-24	-33,00	7,16	1,00	1,60	

Section name	From [m]	To [m]	Corrected stiffness EI [kNm ²]	Corrected max. moment [kNm]
Paal 2600-24	-33,00	7,16	3,3800E+07	160000,00

3.3 Outline

Outline



3.4 Horizontal Forces

Name	Level [m]	Load [kN]
F Bolder	7,16	2000,00

3.5 Water Level

Water level: 1,16 [m]

3.6 Surface

Surface level: -18,00 [m]

3.7 Soil Material Properties

Layer name	Level [m]	Unit weight		Cohesion [kN/m ²]	Friction angle phi [deg]	Brinch Hansen used
		Unsat [kN/m ³]	Sat [kN/m ³]			
Klei, vast	-18,00	18,00	18,00	10,00	24,00	Yes
Zand, zeer vast...	-19,00	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Klei, vast II	-37,00	18,00	18,00	10,00	24,00	Yes
Zand, Vast II	-37,80	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Zand, ziltig II	-44,50	17,00	20,00	1,00	30,00	Yes
Zand, Vast III	-53,00	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Onbekend	-55,50	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes

Layer name	Level [m]	Earth pressure coefficients			Additional pore pressure	
		Active [-]	Neutral [-]	Passive [-]	Top [kN/m ²]	Bottom [kN/m ²]
Klei, vast	-18,00	0,00	0,00	3,22	0,00	0,00
Zand, zeer vast...	-19,00	0,00	0,00	11,88	0,00	0,00
Klei, vast II	-37,00	0,00	0,00	6,14	0,00	0,00
Zand, Vast II	-37,80	0,00	0,00	16,12	0,00	0,00
Zand, ziltig II	-44,50	0,00	0,00	11,96	0,00	0,00
Zand, Vast III	-53,00	0,00	0,00	18,77	0,00	0,00
Onbekend	-55,50	0,00	0,00	69,38	0,00	0,00

3.8 Soil Material Properties calculated using Brinch Hansen

Layer name	Level [m]	Fictive cohesion [kN/m ²]
Klei, vast	-18,00	19,67
Zand, zeer vast...	-19,00	0,00
Klei, vast II	-37,00	51,12
Zand, Vast II	-37,80	0,00
Zand, ziltig II	-44,50	6,70
Zand, Vast III	-53,00	0,00
Onbekend	-55,50	0,00

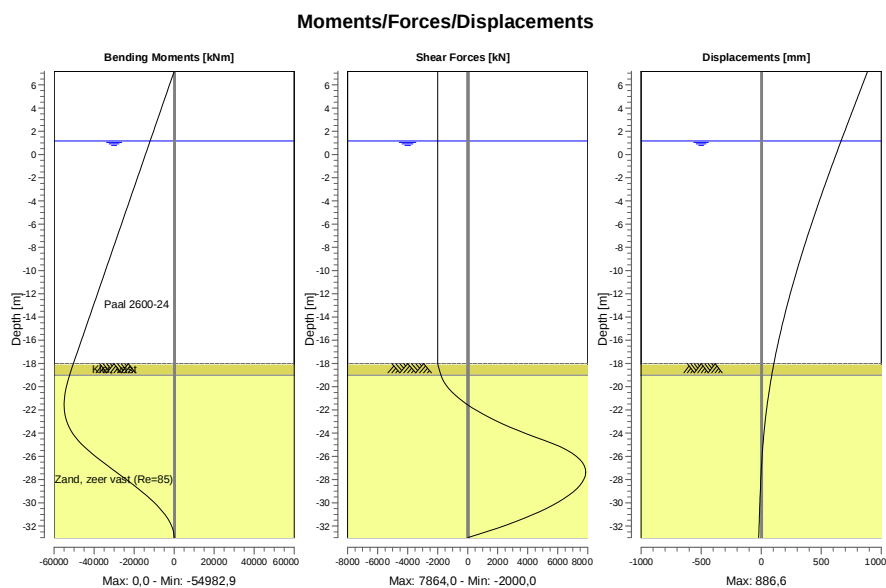
3.9 Modulus of Subgrade Reaction

Layer name	Level [m]	Menard used	E-Mod Menard [kN/m ²]	Soil type Menard	Branch 1	
					Top [kN/m ³]	Bottom [kN/m ³]
Klei, vast	-18,00	No	n.a.	n.a.	7758,81	7758,81
Zand, zeer vast...	-19,00	No	n.a.	n.a.	47974,00	47974,00
Klei, vast II	-37,00	No	n.a.	n.a.	7758,81	7758,81
Zand, Vast II	-37,80	No	n.a.	n.a.	67889,60	67889,60
Zand, ziltig II	-44,50	No	n.a.	n.a.	40733,80	40733,80
Zand, Vast III	-53,00	No	n.a.	n.a.	67889,60	67889,60
Onbekend	-55,50	No	n.a.	n.a.	63966,00	63966,00

4 Calculation Results

Number of iterations: 6

4.1 Charts of Moments, Forces and Displacements



4.2 Moments, Forces and Displacements

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
1	7,16	0,0	-2000,0	886,6
1	5,96	-2400,0	-2000,0	841,9
2	5,96	-2400,0	-2000,0	841,9
2	4,76	-4800,0	-2000,0	797,3
3	4,76	-4800,0	-2000,0	797,3
3	3,56	-7200,0	-2000,0	752,9
4	3,56	-7200,0	-2000,0	752,9
4	2,36	-9600,0	-2000,0	708,8
5	2,36	-9600,0	-2000,0	708,8
5	1,16	-12000,0	-2000,0	665,1
6	1,16	-12000,0	-2000,0	665,1
6	-0,31	-14947,7	-2000,0	612,1
7	-0,31	-14947,7	-2000,0	612,1
7	-1,79	-17895,4	-2000,0	560,1
8	-1,79	-17895,4	-2000,0	560,1
8	-3,26	-20843,1	-2000,0	509,3
9	-3,26	-20843,1	-2000,0	509,3
9	-4,74	-23790,8	-2000,0	459,8
10	-4,74	-23790,8	-2000,0	459,8
10	-6,21	-26738,5	-2000,0	411,9
11	-6,21	-26738,5	-2000,0	411,9
11	-7,68	-29686,2	-2000,0	365,6
12	-7,68	-29686,2	-2000,0	365,6
12	-9,16	-32633,8	-2000,0	321,3
13	-9,16	-32633,8	-2000,0	321,3
13	-10,63	-35581,5	-2000,0	279,0

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
14	-10,63	-35581,5	-2000,0	279,0
14	-12,10	-38529,2	-2000,0	239,1
15	-12,10	-38529,2	-2000,0	239,1
15	-13,58	-41476,9	-2000,0	201,6
16	-13,58	-41476,9	-2000,0	201,6
16	-15,05	-44424,6	-2000,0	166,8
17	-15,05	-44424,6	-2000,0	166,8
17	-16,53	-47372,3	-2000,0	134,8
18	-16,53	-47372,3	-2000,0	134,8
18	-18,00	-50320,0	-2000,0	105,9
19	-18,00	-50320,0	-2000,0	105,9
19	-19,00	-52216,8	-1782,1	88,1
20	-19,00	-52216,8	-1782,1	88,1
20	-20,40	-54305,8	-1089,3	65,8
21	-20,40	-54305,8	-1089,3	65,8
21	-21,80	-54950,9	280,8	46,7
22	-21,80	-54950,9	280,8	46,7
22	-23,20	-53203,6	2328,2	30,7
23	-23,20	-53203,6	2328,2	30,7
23	-24,60	-48115,9	5052,9	17,8
24	-24,60	-48117,2	5065,0	17,8
24	-26,00	-39296,1	7245,2	7,6
25	-26,00	-39296,0	7244,2	7,6
25	-27,40	-28560,0	7864,0	-0,2
26	-27,40	-28560,1	7863,1	-0,2
26	-28,80	-17846,2	7261,8	-6,4
27	-28,80	-17846,2	7261,2	-6,4
27	-30,20	-8686,4	5673,9	-11,6
28	-30,20	-8686,4	5673,6	-11,6
28	-31,60	-2355,8	3234,7	-16,3
29	-31,60	-2355,8	3234,6	-16,3
29	-33,00	0,0	0,0	-20,8
Max		-54950,9	7864,0	886,6
Max, minor nodes incl.		-54982,9	7864,0	886,6

4.3 Stresses

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat* [%]	Mob* [%]	Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat* [%]	Mob* [%]
1	7,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
1	5,96	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	5,96	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	4,76	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
3	4,76	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
3	3,56	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
4	3,56	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
4	2,36	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
5	2,36	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
5	1,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
6	1,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
6	-0,31	0,00	14,46	-		0,00	14,46	-	
7	-0,31	0,00	14,46	-		0,00	14,46	-	
7	-1,79	0,00	28,92	-		0,00	28,92	-	
8	-1,79	0,00	28,92	-		0,00	28,92	-	
8	-3,26	0,00	43,38	-		0,00	43,38	-	
9	-3,26	0,00	43,38	-		0,00	43,38	-	
9	-4,74	0,00	57,83	-		0,00	57,83	-	
10	-4,74	0,00	57,83	-		0,00	57,83	-	
10	-6,21	0,00	72,29	-		0,00	72,29	-	
11	-6,21	0,00	72,29	-		0,00	72,29	-	
11	-7,68	0,00	86,75	-		0,00	86,75	-	
12	-7,68	0,00	86,75	-		0,00	86,75	-	
12	-9,16	0,00	101,21	-		0,00	101,21	-	

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat*	Mob* [%]	Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat*	Mob* [%]
13	-9,16	0,00	101,21	-		0,00	101,21	-	
13	-10,63	0,00	115,67	-		0,00	115,67	-	
14	-10,63	0,00	115,67	-		0,00	115,67	-	
14	-12,10	0,00	130,13	-		0,00	130,13	-	
15	-12,10	0,00	130,13	-		0,00	130,13	-	
15	-13,58	0,00	144,58	-		0,00	144,58	-	
16	-13,58	0,00	144,58	-		0,00	144,58	-	
16	-15,05	0,00	159,04	-		0,00	159,04	-	
17	-15,05	0,00	159,04	-		0,00	159,04	-	
17	-16,53	0,00	173,50	-		0,00	173,50	-	
18	-16,53	0,00	173,50	-		0,00	173,50	-	
18	-18,00	0,00	187,96	-		0,00	187,96	-	
19	-18,00	0,00	187,96	A		70,61	187,96	P	
19	-19,00	0,00	197,77	A		96,99	197,77	P	
20	-19,00	0,00	197,77	A		97,28	197,77	P	
20	-20,40	0,00	211,50	A		283,36	211,50	P	
21	-20,40	0,00	211,50	A		283,36	211,50	P	
21	-21,80	0,00	225,24	A		469,44	225,24	P	
22	-21,80	0,00	225,24	A		469,44	225,24	P	
22	-23,20	0,00	238,97	A		655,52	238,97	P	
23	-23,20	0,00	238,97	A		655,52	238,97	P	
23	-24,60	0,00	252,71	A		841,60	252,71	P	
24	-24,60	0,00	252,71	A		841,60	252,71	P	
24	-26,00	0,00	266,44	A		366,65	266,44	-	36
25	-26,00	0,00	266,44	A		366,65	266,44	-	36
25	-27,40	10,95	280,17	-	1	0,00	280,17	A	
26	-27,40	10,95	280,17	-	1	0,00	280,17	A	
26	-28,80	309,09	293,91	-	22	0,00	293,91	A	
27	-28,80	309,09	293,91	-	22	0,00	293,91	A	
27	-30,20	557,22	307,64	-	35	0,00	307,64	A	
28	-30,20	557,22	307,64	-	35	0,00	307,64	A	
28	-31,60	780,53	321,38	-	44	0,00	321,38	A	
29	-31,60	780,53	321,38	-	44	0,00	321,38	A	
29	-33,00	996,36	335,11	-	51	0,00	335,11	A	

*

Stat
Mob

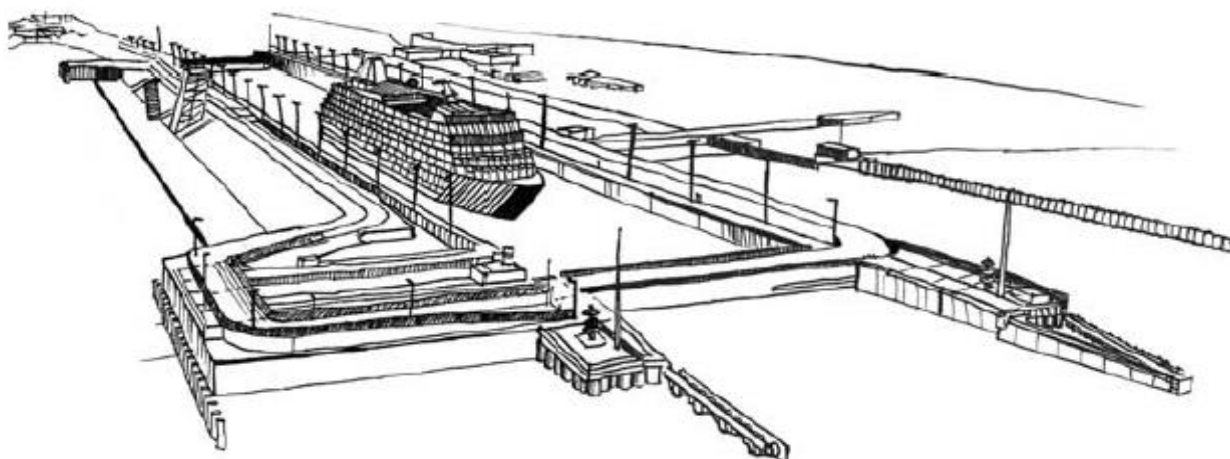
Status (A=active, P=passive, Number is branche, 0 is unloading)
Percentage passive mobilized

End of Report



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

D-sheet rapport, fenderkracht



Document nr : D-sheet rapport, fenderkracht
Versie : 1.0
Datum : 19-4-2016
Status : Definitief

Werk nr :

Opdrachtgever : Volker Staal en Funderingen
: Hogeschool Rotterdam

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman / Nick Jackson	Afstudeerders	19-4-2016	
Gecontroleerd				
Vrijgegeven				
Geaccepteerd				

Report for D-Sheet Piling 14.1

Design of Sheet Pilings
Developed by Deltares

Dongle client ID: 01-00981-013

Date of report: 4/14/2016
Time of report: 2:57:13 PM

Date of calculation: 4/14/2016
Time of calculation: 2:57:04 PM

Filename: C:\..\Start Menu\Programs\Deltares Systems\D-Sheet Piling\Dukdalf

1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Summary	3
2.1 Overview of Maxima	3
3 Input Data	4
3.1 General Input Data	4
3.2 Pile Properties	4
3.3 Outline	4
3.4 Horizontal Forces	5
3.5 Water Level	5
3.6 Surface	5
3.7 Soil Material Properties	5
3.8 Soil Material Properties calculated using Brinch Hansen	5
3.9 Modulus of Subgrade Reaction	5
4 Calculation Results	6
4.1 Charts of Moments, Forces and Displacements	6
4.2 Moments, Forces and Displacements	6
4.3 Stresses	7

2 Summary

2.1 Overview of Maxima

Displacement [mm]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. resistance [%]
822,9	-52900,3	7645,9	0,0	26,3

3 Input Data

3.1 General Input Data

Model Single pile; Pile loaded by forces
 Unit weight of water 9,81 kN/m³

3.2 Pile Properties

Length 40,16 m
 Level top side 7,16 m
 Number of sections 1

Section name	From [m]	To [m]	Stiffness EI [kNm ²]	Diameter [m]
Paal 2600-24	-33,00	7,16	3,3800E+07	2,60

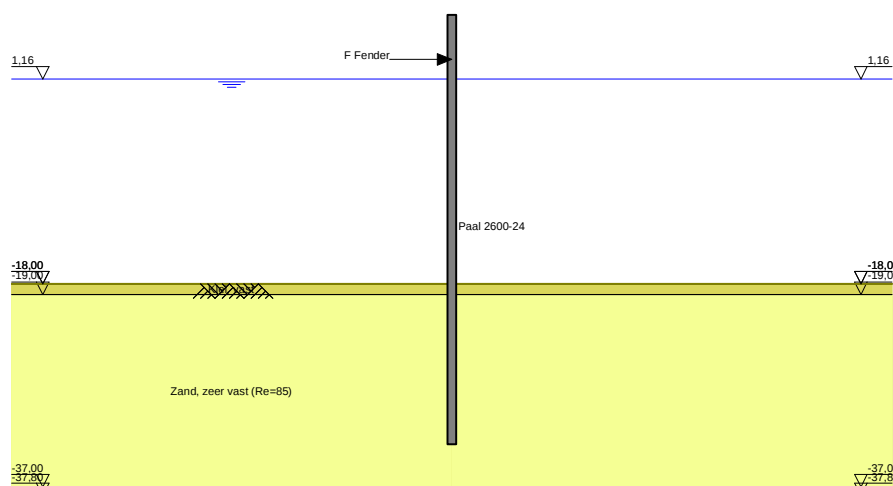
Section name	From [m]	To [m]	Max. char. moment [kNm]	Max. rep. moment [kNm]	Modification factor [-]	Material factor [-]	Design moment [kNm]
Paal 2600-24	-33,00	7,16	100000,00	100000,00	1,00	1,00	160000,00

Section name	From [m]	To [m]	Red. factor EI [-]	Red. factor max. moment [-]	Note to reduction factor
Paal 2600-24	-33,00	7,16	1,00	1,60	

Section name	From [m]	To [m]	Corrected stiffness EI [kNm ²]	Corrected max. moment [kNm]
Paal 2600-24	-33,00	7,16	3,3800E+07	160000,00

3.3 Outline

Outline



3.4 Horizontal Forces

Name	Level [m]	Load [kN]
F Fender	3,00	2252,80

3.5 Water Level

Water level: 1,16 [m]

3.6 Surface

Surface level: -18,00 [m]

3.7 Soil Material Properties

Layer name	Level [m]	Unit weight		Cohesion [kN/m ²]	Friction angle phi [deg]	Brinch Hansen used
		Unsat [kN/m ³]	Sat [kN/m ³]			
Klei, vast	-18,00	18,00	18,00	10,00	24,00	Yes
Zand, zeer vast...	-19,00	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Klei, vast II	-37,00	18,00	18,00	10,00	24,00	Yes
Zand, Vast II	-37,80	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Zand, ziltig II	-44,50	17,00	20,00	1,00	30,00	Yes
Zand, Vast III	-53,00	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes
Onbekend	-55,50	18,00	21,00	0,00	34,00	Yes

Layer name	Level [m]	Earth pressure coefficients			Additional pore pressure	
		Active [-]	Neutral [-]	Passive [-]	Top [kN/m ²]	Bottom [kN/m ²]
Klei, vast	-18,00	0,00	0,00	3,22	0,00	0,00
Zand, zeer vast...	-19,00	0,00	0,00	11,88	0,00	0,00
Klei, vast II	-37,00	0,00	0,00	6,14	0,00	0,00
Zand, Vast II	-37,80	0,00	0,00	16,12	0,00	0,00
Zand, ziltig II	-44,50	0,00	0,00	11,96	0,00	0,00
Zand, Vast III	-53,00	0,00	0,00	18,77	0,00	0,00
Onbekend	-55,50	0,00	0,00	69,38	0,00	0,00

3.8 Soil Material Properties calculated using Brinch Hansen

Layer name	Level [m]	Fictive cohesion [kN/m ²]
Klei, vast	-18,00	19,67
Zand, zeer vast...	-19,00	0,00
Klei, vast II	-37,00	51,12
Zand, Vast II	-37,80	0,00
Zand, ziltig II	-44,50	6,70
Zand, Vast III	-53,00	0,00
Onbekend	-55,50	0,00

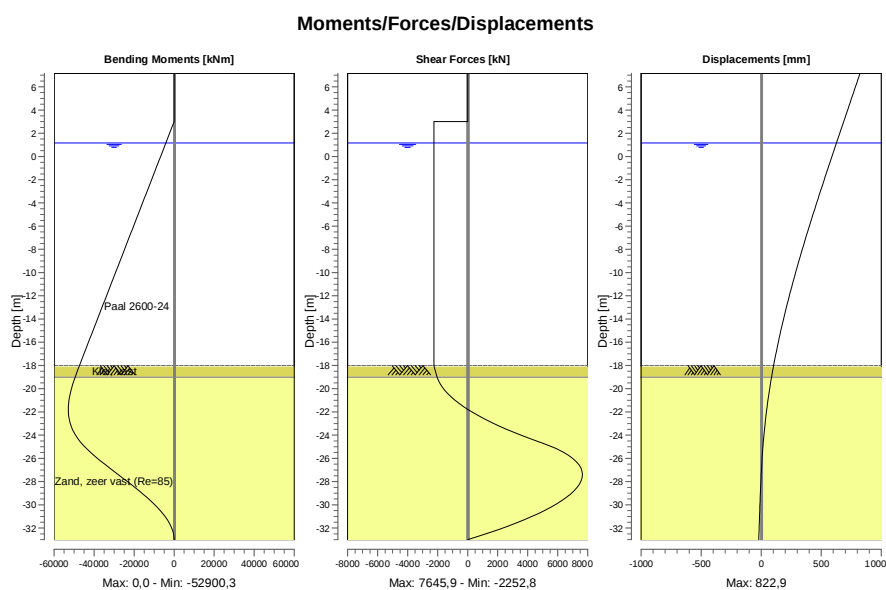
3.9 Modulus of Subgrade Reaction

Layer name	Level [m]	Menard used	E-Mod Menard [kN/m ²]	Soil type Menard	Branch 1	
					Top [kN/m ³]	Bottom [kN/m ³]
Klei, vast	-18,00	No	n.a.	n.a.	7758,81	7758,81
Zand, zeer vast...	-19,00	No	n.a.	n.a.	47974,00	47974,00
Klei, vast II	-37,00	No	n.a.	n.a.	7758,81	7758,81
Zand, Vast II	-37,80	No	n.a.	n.a.	67889,60	67889,60
Zand, ziltig II	-44,50	No	n.a.	n.a.	40733,80	40733,80
Zand, Vast III	-53,00	No	n.a.	n.a.	67889,60	67889,60
Onbekend	-55,50	No	n.a.	n.a.	63966,00	63966,00

4 Calculation Results

Number of iterations: 6

4.1 Charts of Moments, Forces and Displacements



4.2 Moments, Forces and Displacements

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
1	7,16	0,0	0,0	822,9
1	5,77	0,0	0,0	777,6
2	5,77	0,0	0,0	777,6
2	4,39	0,0	0,0	732,2
3	4,39	0,0	0,0	732,2
3	3,00	0,0	0,0	686,9
4	3,00	0,0	-2252,8	686,9
4	2,08	-2072,6	-2252,8	656,9
5	2,08	-2072,6	-2252,8	656,9
5	1,16	-4145,2	-2252,8	626,9
6	1,16	-4145,2	-2252,8	626,9
6	-0,31	-7465,4	-2252,8	579,1
7	-0,31	-7465,4	-2252,8	579,1
7	-1,79	-10785,7	-2252,8	531,7
8	-1,79	-10785,7	-2252,8	531,7
8	-3,26	-14106,0	-2252,8	485,1
9	-3,26	-14106,0	-2252,8	485,1
9	-4,74	-17426,3	-2252,8	439,4
10	-4,74	-17426,3	-2252,8	439,4
10	-6,21	-20746,6	-2252,8	394,7
11	-6,21	-20746,6	-2252,8	394,7
11	-7,68	-24066,8	-2252,8	351,5
12	-7,68	-24066,8	-2252,8	351,5
12	-9,16	-27387,1	-2252,8	309,7
13	-9,16	-27387,1	-2252,8	309,7
13	-10,63	-30707,4	-2252,8	269,7

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
14	-10,63	-30707,4	-2252,8	269,7
14	-12,10	-34027,7	-2252,8	231,7
15	-12,10	-34027,7	-2252,8	231,7
15	-13,58	-37348,0	-2252,8	195,9
16	-13,58	-37348,0	-2252,8	195,9
16	-15,05	-40668,2	-2252,8	162,5
17	-15,05	-40668,2	-2252,8	162,5
17	-16,53	-43988,5	-2252,8	131,7
18	-16,53	-43988,5	-2252,8	131,7
18	-18,00	-47308,8	-2252,8	103,7
19	-18,00	-47308,8	-2252,8	103,7
19	-19,00	-49458,4	-2034,9	86,4
20	-19,00	-49458,4	-2034,9	86,4
20	-20,40	-51901,3	-1342,1	64,7
21	-20,40	-51901,3	-1342,1	64,7
21	-21,80	-52900,3	28,0	46,0
22	-21,80	-52900,3	28,0	46,0
22	-23,20	-51507,0	2075,4	30,4
23	-23,20	-51507,0	2075,4	30,4
23	-24,60	-46773,1	4800,1	17,7
24	-24,60	-46774,4	4812,0	17,7
24	-26,00	-38305,8	6998,6	7,7
25	-26,00	-38305,7	6997,7	7,7
25	-27,40	-27897,2	7645,9	0,0
26	-27,40	-27897,2	7644,9	0,0
26	-28,80	-17459,9	7086,7	-6,2
27	-28,80	-17459,9	7086,1	-6,2
27	-30,20	-8509,5	5551,1	-11,3
28	-30,20	-8509,5	5550,9	-11,3
28	-31,60	-2310,4	3170,6	-15,9
29	-31,60	-2310,4	3170,6	-15,9
29	-33,00	0,0	0,0	-20,4
Max		-52900,3	7645,9	822,9
Max, minor nodes incl.		-52900,3	7645,9	822,9

4.3 Stresses

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat* [%]	Mob* [%]	Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat* [%]	Mob* [%]
1	7,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
1	5,77	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	5,77	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	4,39	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
3	4,39	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
3	3,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
4	3,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
4	2,08	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
5	2,08	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
5	1,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
6	1,16	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
6	-0,31	0,00	14,46	-		0,00	14,46	-	
7	-0,31	0,00	14,46	-		0,00	14,46	-	
7	-1,79	0,00	28,92	-		0,00	28,92	-	
8	-1,79	0,00	28,92	-		0,00	28,92	-	
8	-3,26	0,00	43,38	-		0,00	43,38	-	
9	-3,26	0,00	43,38	-		0,00	43,38	-	
9	-4,74	0,00	57,83	-		0,00	57,83	-	
10	-4,74	0,00	57,83	-		0,00	57,83	-	
10	-6,21	0,00	72,29	-		0,00	72,29	-	
11	-6,21	0,00	72,29	-		0,00	72,29	-	
11	-7,68	0,00	86,75	-		0,00	86,75	-	
12	-7,68	0,00	86,75	-		0,00	86,75	-	
12	-9,16	0,00	101,21	-		0,00	101,21	-	

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat*	Mob* [%]	Effective stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat*	Mob* [%]
13	-9,16	0,00	101,21	-		0,00	101,21	-	
13	-10,63	0,00	115,67	-		0,00	115,67	-	
14	-10,63	0,00	115,67	-		0,00	115,67	-	
14	-12,10	0,00	130,13	-		0,00	130,13	-	
15	-12,10	0,00	130,13	-		0,00	130,13	-	
15	-13,58	0,00	144,58	-		0,00	144,58	-	
16	-13,58	0,00	144,58	-		0,00	144,58	-	
16	-15,05	0,00	159,04	-		0,00	159,04	-	
17	-15,05	0,00	159,04	-		0,00	159,04	-	
17	-16,53	0,00	173,50	-		0,00	173,50	-	
18	-16,53	0,00	173,50	-		0,00	173,50	-	
18	-18,00	0,00	187,96	-		0,00	187,96	-	
19	-18,00	0,00	187,96	A		70,61	187,96	P	
19	-19,00	0,00	197,77	A		96,99	197,77	P	
20	-19,00	0,00	197,77	A		97,28	197,77	P	
20	-20,40	0,00	211,50	A		283,36	211,50	P	
21	-20,40	0,00	211,50	A		283,36	211,50	P	
21	-21,80	0,00	225,24	A		469,44	225,24	P	
22	-21,80	0,00	225,24	A		469,44	225,24	P	
22	-23,20	0,00	238,97	A		655,52	238,97	P	
23	-23,20	0,00	238,97	A		655,52	238,97	P	
23	-24,60	0,00	252,71	A		841,60	252,71	P	
24	-24,60	0,00	252,71	A		841,60	252,71	P	
24	-26,00	0,00	266,44	A		371,77	266,44	-	36
25	-26,00	0,00	266,44	A		371,77	266,44	-	36
25	-27,40	0,83	280,17	-		0,00	280,17	A	
26	-27,40	0,83	280,17	-		0,00	280,17	A	
26	-28,80	295,82	293,91	-	21	0,00	293,91	A	
27	-28,80	295,82	293,91	-	21	0,00	293,91	A	
27	-30,20	541,88	307,64	-	34	0,00	307,64	A	
28	-30,20	541,88	307,64	-	34	0,00	307,64	A	
28	-31,60	763,64	321,38	-	43	0,00	321,38	A	
29	-31,60	763,64	321,38	-	43	0,00	321,38	A	
29	-33,00	978,07	335,11	-	50	0,00	335,11	A	

*

Stat
MobStatus (A=active, P=passive, Number is branche, 0 is unloading)
Percentage passive mobilized**End of Report**



BIJLAGE 6

Spreadsheet fenderconstructie

Invoer

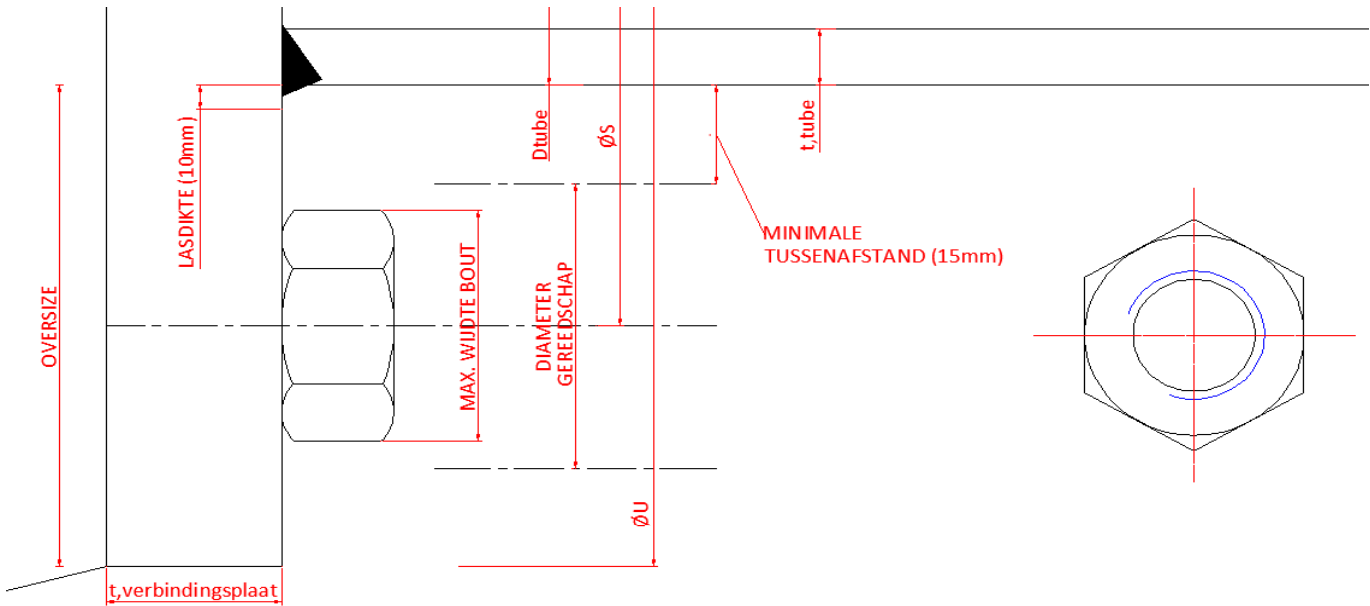
Uitvoer

Gegevens buispaal

Symbol			Waarde	Eenheid
D_{buis}	Buiten diameter		2600	mm
d_{buis}	Binnen diameter		2552	mm
t	Wanddikte		24	mm
f_{yd}	Vloegrens		355	N/mm ²
ϵ	Relatieve reksterkte		0,81	-

Gegevens fender
gekozen type: SCN 950, E3.0 (TRELLEBORG)

Symbol			Waarde	Eenheid
E_R	opneembare energie		519	kNm
R_R	Reactiekracht fender		1024	kN
n	aantal fender per dukdalf		2	-
AF	hoek factor		1	-
TF	temperatuurs factor		1,099	-
VF	snelheid factor		1	-
$TollReactionF$	productietolerantie factor		1,10	-
LF	Load factor		1,5	-
$\mu_{staal-UHMWPE}$	Wrijvingsfactor		0,25	-
Aantal bouten	-		6	Stuks
Bout type	-		M30	-
	Maximale wijdte bout		53,1298	mm
	Diameter gereedschap		73,1298	mm
	Uitvoeringsmarge		5	mm
	Minimale tussenafstand		15	mm
	Oversize bevestiging		200	mm

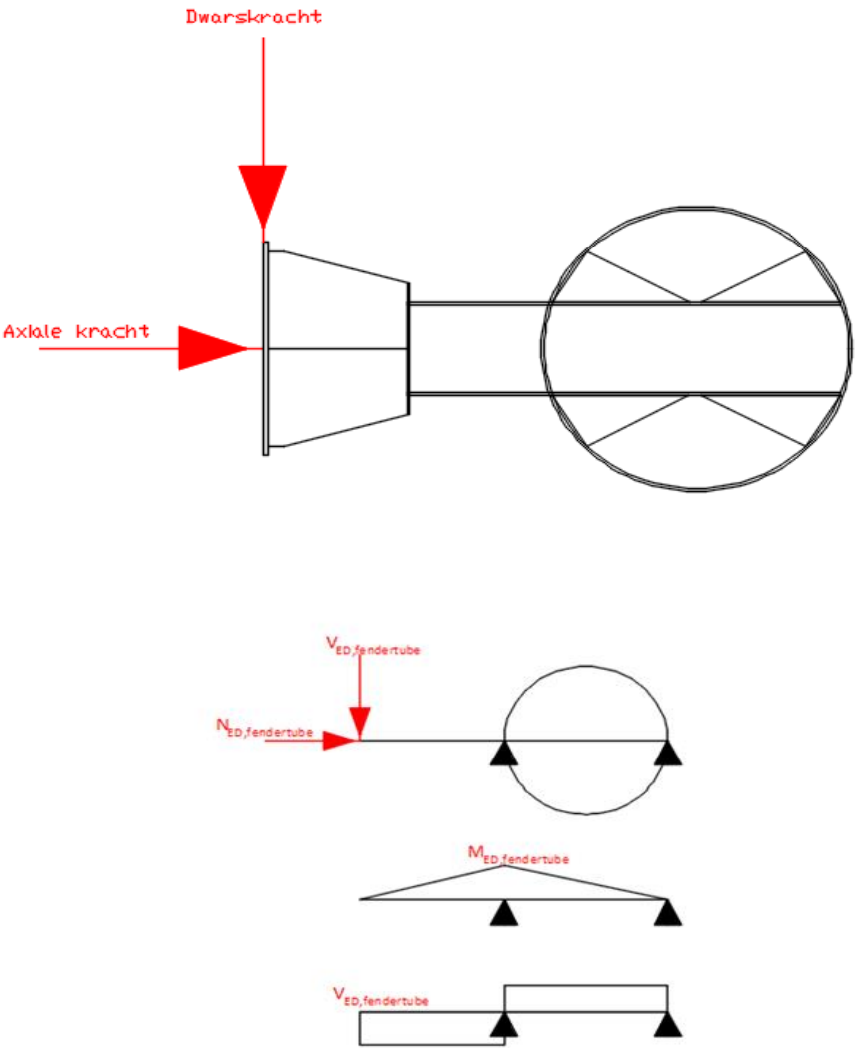


Bepalen axiale kracht (Loodrecht op fender)

Symbol		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$R_{R,repr}$	Representatieve waarde voor de reactiekracht	$RR * AF * TF * VF * TollReactionF$	1237,91	kN
$N_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde axiale kracht	$R_{R,repr} * LF$	1856,87	kN

Bepalen horizontale kracht (dwars op fender)

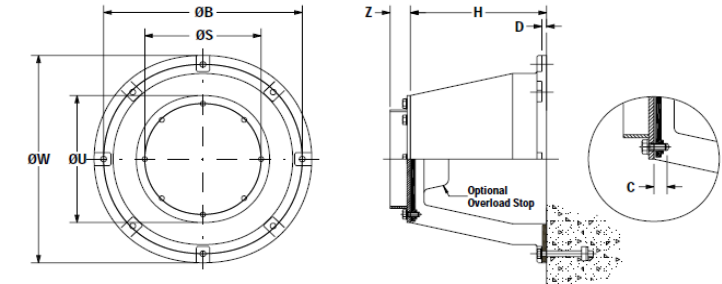
Symbol		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$F_{Ed,hor,friction}$	Waarde voor de horizontale kracht a.g.v. wrijving	$N_{ED,fendertube} * \mu_{staal-UHMWPE}$	464,22	kN
$\alpha_{verticaal}$	Afmeerhoek verticaal	-	2	Graden
$\alpha_{horizontaal}$	Afmeerhoek horizontaal	-	6	Graden
$F_{Ed,ver.inclination}$	Kracht a.g.v. verticale inclinatie	$F_{Ed,for,friction} * \sin(\alpha_{verticaal})$	64,80	kN
$F_{Ed,hor.inclination}$	Kracht a.g.v. horizontale inclinatie	$F_{Ed,for,friction} * \sin(\alpha_{horizontaal})$	194,10	kN
$F_{Ed,hor.combi.inclination}$	combinatie van de krachten a.g.v. horizontale inclinatie	$\sqrt{F_{Ed,hor.inclination}^2 + F_{Ed,ver.inclination}^2}$	204,63	kN
$V_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde horizontale kracht	$F_{Ed,hor.combi.inclination} + F_{Ed,hor,friction}$	668,85	kN



Invoer

Gegevens fender
gekozen type: SCN 950, E3,0 (TRELLEBORG)

Symbool		Waarde	Eenheid
D_{tube}	Buiten diameter tube	530	mm
d_{tube}	Binnen diameter tube	502	mm
ϕW	Zie tekening	1520	mm
ϕU	Zie tekening	930	mm
ϕB	Zie tekening	1390	mm
ϕS	Zie tekening	815	mm
H	Zie tekening	950	mm
Z	Zie tekening	142	mm
Gewicht	-	980	kg
t_{tube}	Wanddikte	14	mm
f_{yd}	Vloeigrens	355	N/mm ²
A_{tube}	Oppervlakte tube	22695	mm ²
W_{tube}	Weerstandsmoment tube	2852402	mm ³

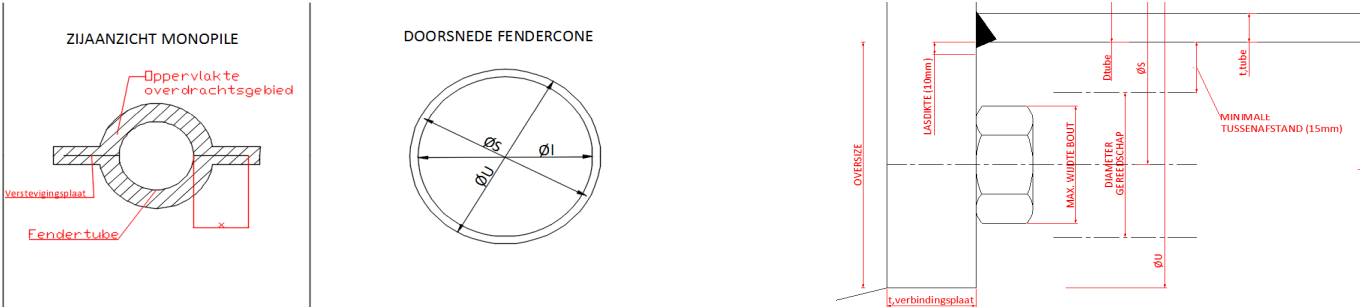


Symbool	Formule	Eenheid
Afstand fenderpaneel - middelloodlijn monopile	$z + H + (0,5 \cdot D_{buis})$	2392 mm
Afstand fenderpaneel - zijkant monopile	$z + H$	1092 mm

Uitvoer

Bepalen druk waar overdracht plaatsvindt

Symbool	Formule	Uitkomsten	Eenheid
l_q	Zie tekening	115	mm
ϕl	Zie tekening	700,00	mm
$A_{overdracht}$	Oppervlakte overdracht	294446	mm ²
q_{ed}	Resulterende druk	6,31	N/mm ²



Bepalen moment en dwarskracht in verbindingssplaat

Symbool	Formule	Uitkomsten	Eenheid
L	Zie tekening (oversize)	200	mm
$M_{ed,stiffner}$	Moment in verbindingssplaat	103345	Nmm/mm
$V_{ed,stiffner}$	Dwarskracht in verbindingssplaat	725	N/mm

Bepalen dikte verbindingssplaat

Symbool	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$t_{benodigd,V}$	Benodigde dikte voor dwarskracht	3,54	mm
$t_{benodigd,M}$	Benodigde dikte voor moment	41,79	mm
$t_{benodigd}$	Benodigde dikte	45,33	mm
$t_{verbindingssplaat}$	Toegepaste dikte verbindingssplaat	50	mm

Check fendertube [NEN 1993-1-1]

Optredende krachten

Symbool	Formule	Eenheid
$V_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde horizontale kracht	668,85 kN
$N_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde axiale kracht	1856,87 kN
$M_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde moment	730,38 kN/m

Check sterkte - spanningen

Symbool	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$\sigma_{E,N,d}$	$N_{ed,fendertube} / A_{tube}$	81,82	N/mm ²
$\sigma_{E,M,d}$	$M_{ed,fendertube} / W_{tube}$	256,06	N/mm ²
$\tau_{E,V,d}$	$V_{ed,fendertube} \cdot \pi / (2 \cdot A_{tube})$	50,55	N/mm ²
$\sigma_{E,d}$	$\sigma_{E,N,d} + \sigma_{E,M,d}$	337,88	N/mm ²
$\sigma_{von Mises}$	$\sqrt{(\sigma_{E,d})^2 + 3 \cdot (\tau_{E,V,d})^2}$	349,04	N/mm ²

Check op optredende spanningen [NEN 1993-1-8]

$\sigma_{E,d} / f_{yd} < 1$

WAAR

$\sigma_{von Mises} / f_{yd} < 1$

WAAR

Check op verbinding fendertube - monopile [NEN 1993-1-8]

Verhouding tussen diameters

$0,2 < D_{tube} / D_{buis} < 1,0$

$D_{tube} / D_{buis} = 0,203846154$

WAAR

Verhouding monopile

$10 < D_{buis} / t < 50$

$D_{buis} / t = 108,33$

ONWAAR

VERSTEVIGINGSPLATEN BENODIGD

Berekening overdracht kracht op verstevigingsplaten

Invoer

Uitvoer

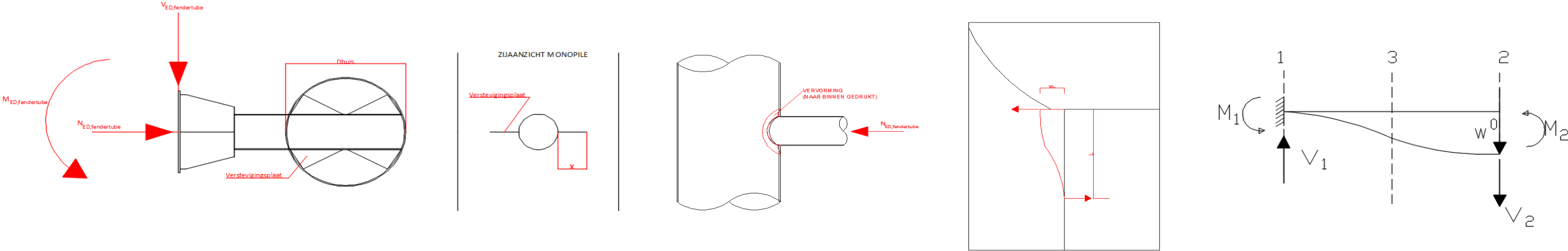
Gegevens fendertube

Symbool		Waarde	Eenheid
$N_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde axiale kracht	1856,87	kN
$V_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde horizontale kracht	668,85	kN
$M_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde moment	730,38	kN/m
D_{tube}	Buiten diameter tube	530	mm
d_{tube}	Binnen diameter tube	502	mm
t_{tube}	Wanddikte tube	21	mm
t	Wanddikte buis	24	mm
x	Lengte verstevigingsplaten	370	mm
$t_{stiffner}$	Dikte verstevigingsplaten	20	mm
E_{staal}	Elasticiteitsmodulus staal	210000	N/mm ²

Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
V_2	Dwarskracht in punt 2, thv doorbuiging w^0	$N_{ED,fendertube} / (\pi * D_{tube} + 2 * x) / 2$ (kanten)	386,04	N/mm
L	Lengte tussen V1 en V2	$11 * t$	264,00	mm
$I_{versteviging}$	Traagheidsmoment verstevigingsplaat	$1/12 * t^3$	1152	mm ⁴
EI	Stijfheid	$E_{staal} * I_{versteviging}$	2,42E+08	Nmm ² /mm

Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
w^0	Doorbuiging bij 2 agv axiale kracht	$V_2 * L^3 / (12 * EI)$	2,45	mm

Symbool		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,transfer}$	Buigend moment agv doorbuiging	$6 * EI * w_0 / L^2$	50956,84	Nmm/mm
$M_{Rd,transfer}$	Toelaatbaar moment	$f_{yd} * t^2 / 4$	51120	Nmm/mm



Check fendertube (2) [NEN 1993-1-1]

Symbool		Waarde	Eenheid
M_{Ed}	Buigend moment	50956,84	Nmm/mm
M_{Rd}	Toelaatbaar moment	51120	Nmm/mm
f_{yd}	Vloegrens	355	N/mm ²
σ_x	Optredende buigspanning	353,87	N/mm ²
τ_x	Optredende schuifspanning	13,9	N/mm ²

Check op optredend moment [NEN 1993-1-8]

$M_{Ed}/M_{Rd} < 1,0$ 0,996808283WAAR

Check op buigspanning [NEN 1993-1-8]

$\sigma_x < f_{yd}$ WAAR

Check op schuifspanning [NEN 1993-1-8]

$\tau_x < f_{yd}$ WAAR

BEPALEN LASVERBINDINGEN

Verbindingsplaat - fendertube

Krachten op lasverbinding

Symbol		Waarde	Eenheid
$N_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde axiale kracht	1856,87	kN
$V_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde horizontale kracht	668,85	kN
$M_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde moment	730,38	kN/m

Bepalen lasverbinding

Type:	Hoeklas verbinding
-------	--------------------

Symbol		Waarde	Eenheid
D_{inner}	Binnendiameter lasverbinding	530	mm
D_{outer}	Buitendiameter lasverbinding	555	mm
$A_{verbinding}$	Oppervlakte lasverbinding	21701	mm ²
$W_{verbinding}$	Weerstandsmoment lasverbinding	2878612	mm ³
Throat	Zie tekening	18	mm

Check sterkte - spanningen

Symbol		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$\sigma_{E,N,d}$		$N_{ed,fendertube} / A_{verbinding}$	85,56	N/mm ²
$\sigma_{E,M,d}$		$M_{ed,fendertube} / W_{verbinding}$	253,73	N/mm ²
$\tau_{E,V,d}$		$V_{ed,fendertube} * \pi / (2 * A_{verbinding})$	48,41	N/mm ²
$\sigma_{E,d}$		$\sigma_{E,N,d} + \sigma_{E,M,d}$	339,29	N/mm ²
$\sigma_{von\ Mises}$		$\sqrt{(\sigma_{E,d})^2 + 3 * \tau_{E,V,d}^2}$	349,50	N/mm ²
f_u	Nominale treksterkte staal (S355 H)	-	510	N/mm ²
β_w	Correlatiefactor voor hoeklassen	Tabel 4.1 NEN 1993-1-8	0,9	-
γ_{M2}	Partiële veiligheidsfactor voor lasverbinding	Tabel 2.1 NEN 1993-1-8	1,25	-

f_{vwd}	Rekenwaarde schuifsterkte lasverbinding	$(f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w * \gamma_{M2})$	261,73	N/mm ²
-----------	---	--	--------	-------------------

Check op spanning tgv axiale kracht [NEN 1993-1-8]

$\sigma_{E,N,d} < f_{vwd}$

WAAR

Check op spanning tgv moment [NEN 1993-1-8]

$\sigma_{E,M,d} < f_{vwd}$

WAAR

Check op schuifspanning [NEN 1993-1-8]

$\tau_x < \sigma_{contact}$

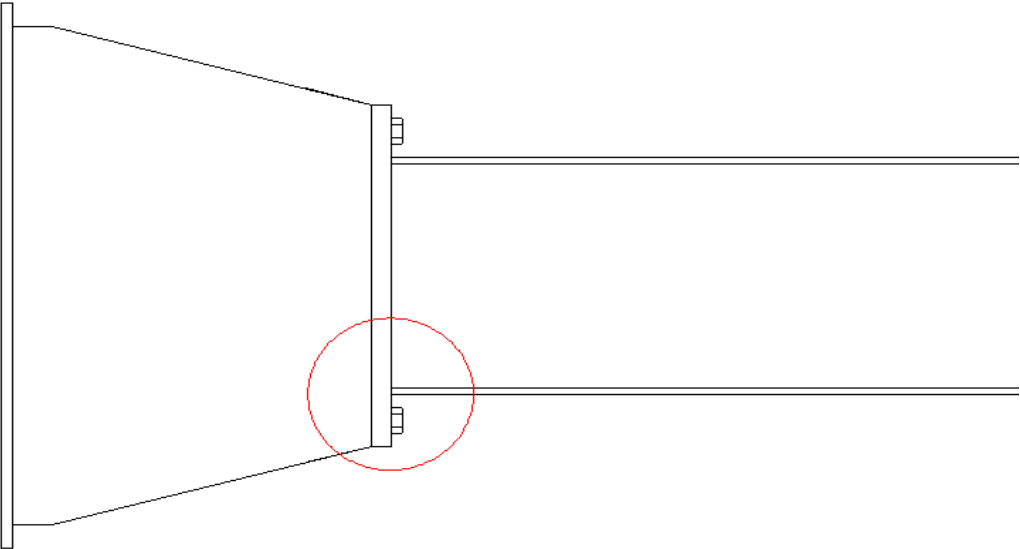
WAAR

Check op spanning tgv axiale en dwarskracht [NEN 1993-1-8]

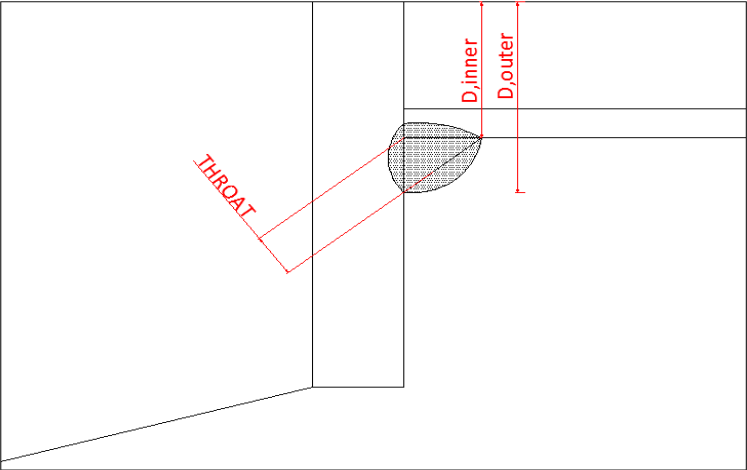
$\sigma_{von\ Mises} < f_{vwd}$

ONWAAR

TOEPASSEN VOLLEDIGE LAS



HOEKLAS VERBINDING

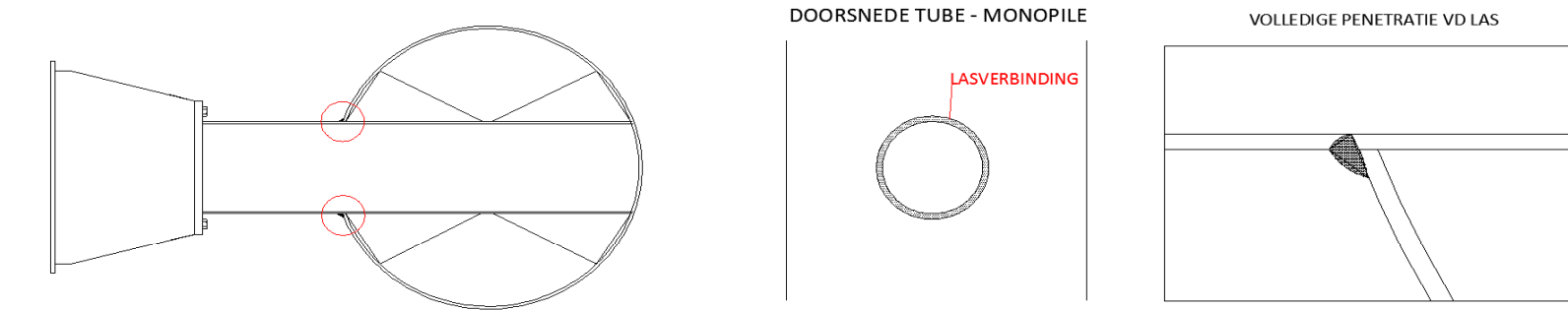


BEPALEN LASVERBINDINGEN (2)

Fendertube - monopile

Doorsnijding van de monopile

Type:	Volledige las
-------	---------------



Verbinding met achterwand van monopile

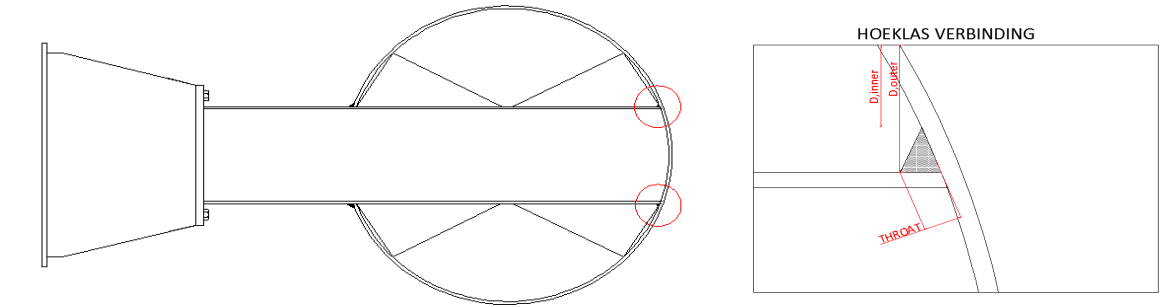
Krachten op lasverbinding

Symbool		Waarde	Eenheid
$N_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde axiale kracht	1856,87	kN
$V_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde horizontale kracht	668,85	kN
$M_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde moment	0,00	kN/m

Bepalen lasverbinding

Type:	Hoeklas verbinding
-------	--------------------

Symbool		Waarde	Eenheid
D_{inner}	Binnendiameter lasverbinding	530	mm
D_{outer}	Buitendiameter lasverbinding	544	mm
$A_{verbinding}$	Oppervlakte lasverbinding	11931	mm ²
$W_{verbinding}$	Weerstandsmoment lasverbinding	1581368	mm ³
Throat	Zie tekening	10	mm



Check sterkte - spanningen

Symbool	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$\sigma_{E,N,d}$	$N_{ed,fendertube} / A_{verbinding}$	155,64	N/mm ²
$\sigma_{E,M,d}$	$M_{ed,fendertube} / W_{verbinding}$	0,00	N/mm ²
$\tau_{E,V,d}$	$V_{ed,fendertube} * \pi / (2 * A_{verbinding})$	88,06	N/mm ²
$\sigma_{E,d}$	$\sigma_{E,N,d} + \sigma_{E,M,d}$	155,64	N/mm ²
$\sigma_{von Mises}$	$\sqrt{(\sigma_{E,d})^2 + 3 * \tau_{E,V,d}^2}$	217,91	N/mm ²
f_{vwd}	Rekenwaarde schuifsterkte lasverbinding	$(f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w * \gamma_{M2})$	261,73 N/mm ²

Check op spanning tgv axiale kracht [NEN 1993-1-8]

$\sigma_{E,N,d} < f_{vwd}$

WAAR

Check op spanning tgv moment [NEN 1993-1-8]

$\sigma_{E,M,d} < f_{vwd}$

WAAR

Check op schuifspanning [NEN 1993-1-8]

$\tau_x < \sigma_{contact}$

WAAR

Check op spanning tgv axiale en dwarskracht [NEN 1993-1-8]

$\sigma_{von Mises} < f_{vwd}$

WAAR

BEPALEN LASVERBINDINGEN (3)

Fendertube - verstevigingsplaten

Krachten op lasverbinding		
Symbol		
$N_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde axiale kracht	0,00 kN
$V_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde horizontale kracht	928,44 kN
$M_{ED,fendertube}$	Ontwerpwaarde moment	0,00 kN/m

Bepalen lasverbinding

Type: Hoeklas verbinding

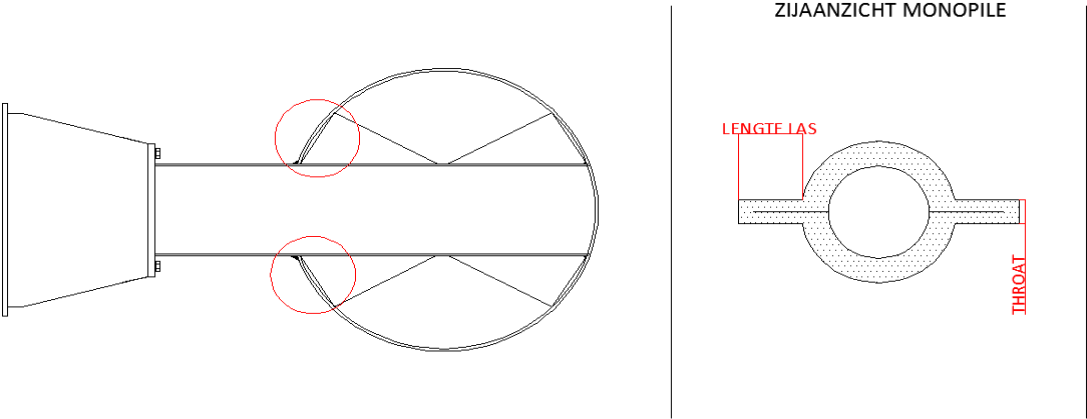
Symbol		Waarde	Eenheid
Throat	Zie tekening	6	mm
Lengte las	Zie tekening (1,25 * lengte stiffner)	462,5	mm
Aantal kanten	Zie tekening	2	-
$A_{verbinding}$	Oppervlakte lasverbinding	5550	mm ²

f_{vwd}	Vloeigrens lasverbinding	261,7	N/mm ²
-----------	--------------------------	-------	-------------------

$F_{R,d,las}$	$A_{verbinding} * f_{vwd}$	1452	kN
---------------	----------------------------	------	----

Check op optredende kracht [NEN 1993-1-8]

$V_{ED,fendertube} < f_{R,d,las}$ WAAR





BIJLAGE 7

Spreadsheet kopbolder

Berekening Kopbolder

Invoergegevens buispaal

Symbool		Waarde	Eenheid
$D_{\text{buiten, buispaal}}$	Diameter buispaal	2600	mm
t_{buispaal}	wanddikte buispaal	24	mm
h_{buispaal}	hoogte buispaal tov NAP	6,50	m NAP
t_{topplaat}	wanddikte topplaat	20	mm

Invoergegevens bolder

Symbool		Waarde	Eenheid
-	Materiaal	S355;J2	-
$D_{\text{buiten, bolder}}$	diameter bolder	630	mm
t_{bolder}	wanddikte bolder	14	mm
$D_{\text{binnen, bolder}}$	binnendiameter bolder	602	mm
h_{bolder}	hoogte bolder tov NAP	7,16	m NAP
$h_{\text{bolder pin}}$	hoogte hart pin tov NAP	7,00	m NAP
$t_{\text{bolder pin}}$	dikte pin	80	mm
$l_{\text{bolder pin}}$	lengte pin	910	mm
con_{pin}	lengte uitsteking pin	140	mm
e_{bolder}	excentriciteit bolder	347	mm

Invoergegevens funderingsbuis

Symbool		Waarde	Eenheid
-	Materiaal	S355;J2	-
$D_{\text{buiten, fb}}$	diameter funderingsbuis	630	mm
t_{fb}	wanddikte funderingsbuis	14	mm
$D_{\text{binnen, fb}}$	binnendiameter funderingsbuis	602	mm
h_{fb}	hoogte hart funderingsbuis tov NAP	5,50	m NAP

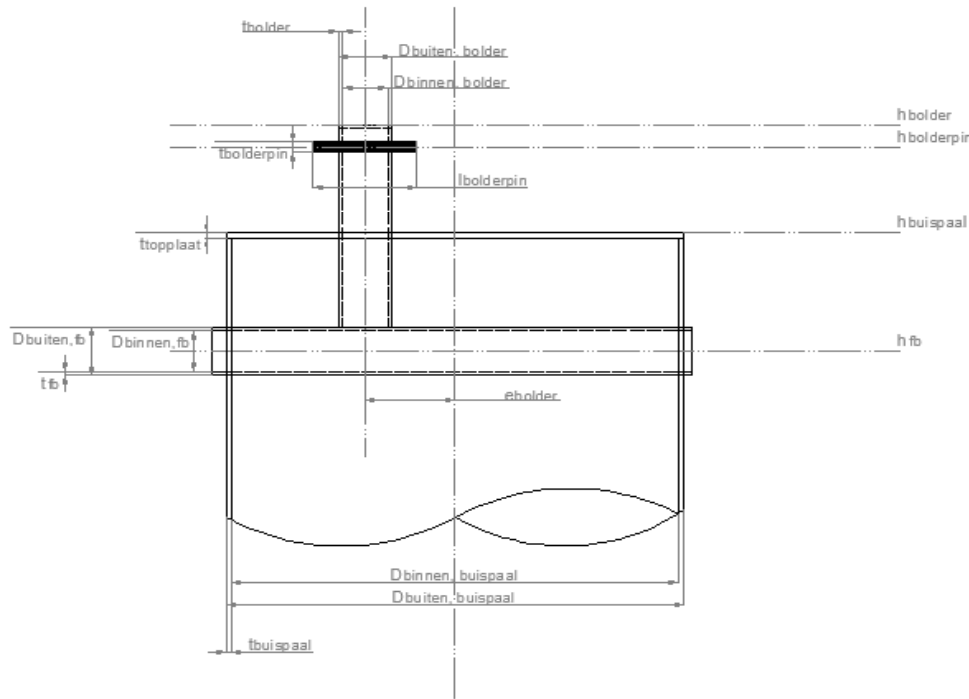
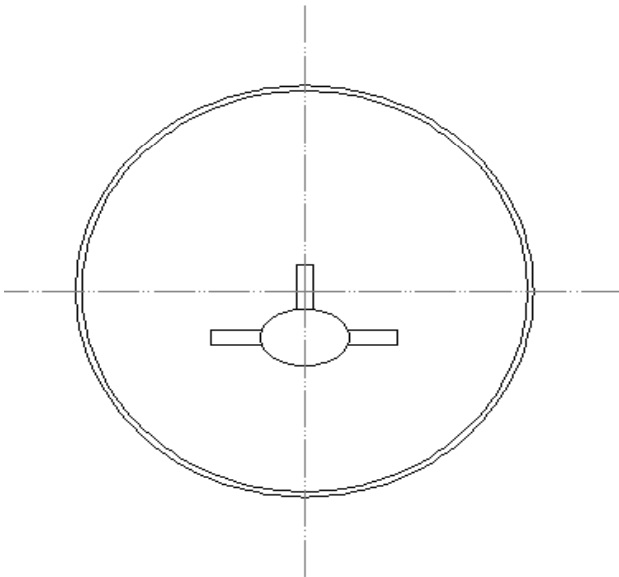
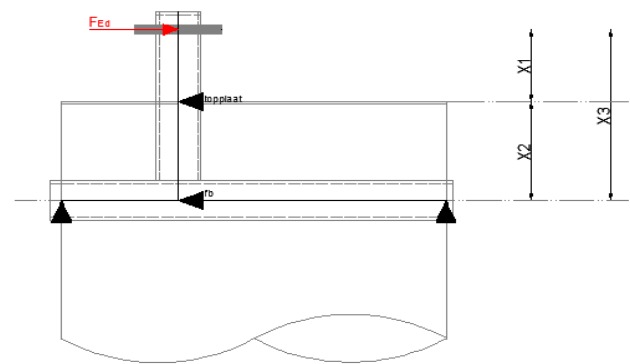
Belastingen

Symbool		Waarde	Eenheid
F_{bolder}	kracht op bolder	2000	kN
F_{Ed}	rekenwaarde kracht	2000	kN

Belastingsgeval 1

Invoergegevens belasting

Symbool		Waarde	Eenheid
F_{bolder}	Kracht bolder	2000	kN
F_{Ed}	rekenwaarde kracht	2000	kN
x_1	zie tekening	0,50	m
x_2	zie tekening	1,00	m
x_3	zie tekenign	1,50	m



Uitvoer reactiekrachten

Eenheid		Formule	Uitkomsten	Eenheid
R_{topplaat}	reactiekracht topplaat	$F_{\text{Ed}} * (x_1 + x_2) / x_2$	3000	kN
R_{fb}	reactiekracht funderingsbuis	$F_{\text{Ed}} * x_1 / x_2$	1000	kN

M/V/N Bolder

Eenheid		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{\text{Ed, bolder}}$	moment bolder	$F_{\text{Ed}} * x_1$	1000	kNm
$V_{\text{Ed, bolder}}$	dwarskracht bolder	F_{Ed}	2000	kN
$N_{\text{Ed, bolder}}$	normaalkracht bolder	0	0	kN

M/V/N Funderingsbuis

Eenheid		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{\text{Ed, fb}}$	moment funderingsbuis	$F_{\text{Ed}} * x_3 - R_{\text{topplaat}} * x_2$	0	kNm
$V_{\text{Ed, fb}}$	dwarskracht funderingsbuis	$F_{\text{Ed}} - R_{\text{topplaat}} + R_{\text{fb}}$	0	kN
$N_{\text{Ed, fb}}$	normaalkracht funderingsbuis	$F_{\text{Ed}} - R_{\text{topplaat}}$	1000	kN

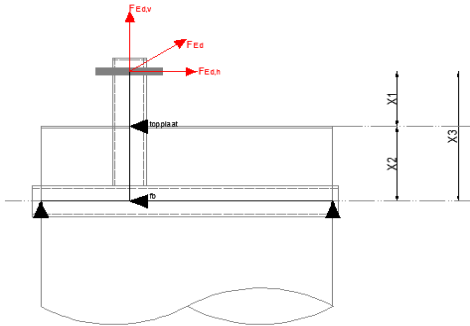
M/V/N buispaal

Eenheid		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{\text{Ed, buispaal}}$	moment buispaal	0	0	kNm
$V_{\text{Ed, buispaal}}$	dwarskracht buispaal	0	0	kN
$N_{\text{Ed, buispaal}}$	normaalkracht buispaal	$R_{\text{fb}} / 2$	500	kN

Belastingsgeval 2

Invoergegevens belasting

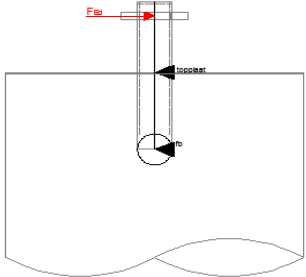
Symbool		Waarde	Eenheid
F_{bolder}	Kracht bolder	2000	kN
F_{Ed}	rekenwaarde kracht	2000	kN
$F_{Ed,h}$	horizontaal component	1414	kN
$F_{Ed,v}$	verticaal component	1414	kN
X_1	zie tekening	0,50	m
x_2	zie tekening	1,00	m
x_3	zie tekenign	1,50	m



Belastingsgeval 3

Invoergegevens belasting

Symbool		Waarde	Eenheid
F_{bolder}	Kracht bolder	2000	kN
F_{Ed}	rekenwaarde kracht	2000	kN
X_1	zie tekening	0,50	m
x_2	zie tekening	1,00	m
x_3	zie tekenign	1,50	m



Uitvoer reactiekrachten

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$R_{topplaat}$	reactiekracht topplaat	$F_{Ed} * (x_1 + x_2) / x_2$	2121 kN
R_{fb}	reactiekracht funderingsbuis	$(R_{fb,v}^2 + R_{fb,h}^2)^{0,5}$	1581 kN
$R_{fb,v}$	vertictaal component R_{fb}	$F_{Ed,v}$	1414 kN
$R_{fb,h}$	horizontaal component R_{fb}	$x_1 * F_{Ed,h} / x_2$	707 kN

M/V/N Bolder

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,bolder}$	moment bolder	$F_{Ed,h} * x_1$	707 kNm
$V_{Ed,bolder}$	dwarskracht bolder	$F_{Ed,h} - R_{topplaat}$	1414 kN
$N_{Ed,bolder}$	normaalkracht bolder	$F_{Ed,v}$	1414 kN

M/V/N Funderingsbuis

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,fb}$	moment funderingsbuis	$(D_{buiten,buispaal} / 2 - e_{bolder}) * V_{Ed,fb}$	854 kNm
$V_{Ed,fb}$	dwarskracht funderingsbuis	$(D_{buiten,buispaal} / 2 + e_{bolder}) * F_{Ed,v} / D_{buiten,buispaal}$	896 kN
$N_{Ed,fb}$	normaalkracht funderingsbuis	$F_{Ed} - R_{topplaat}$	707 kN

M/V/N buispaal

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,buispaal}$	moment buispaal	0	0 kNm
$V_{Ed,buispaal}$	dwarskracht buispaal	$(D_{buiten,buispaal} / 2 + e_{bolder}) * F_{Ed,v} / D_{buiten,buispaal}$	896 kN
$N_{Ed,buispaal}$	normaalkracht buispaal	$N_{Ed,fb} / 2$	354 kN

Uitvoer reactiekrachten

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$R_{topplaat}$	reactiekracht topplaat	$F_{Ed} * x_3 / x_2$	3000 kN
R_{fb}	reactiekracht funderingsbuis	$F_{Ed} * x_1 / x_2$	1000 kN

M/V/N Bolder

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,bolder}$	moment bolder	$F_{Ed} * x_1$	1000 kNm
$V_{Ed,bolder}$	dwarskracht bolder	F_{Ed}	2000 kN
$N_{Ed,bolder}$	normaalkracht bolder	0	0 kN

M/V/N Funderingsbuis

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,fb}$	moment funderingsbuis	$(D_{buiten,buispaal} / 2 - e_{bolder}) * V_{Ed,fb}$	604 kNm
$V_{Ed,fb}$	dwarskracht funderingsbuis	$(D_{buiten,buispaal} / 2 + e_{bolder}) * F_{Ed,v} / D_{buiten,buispaal}$	633 kN
$N_{Ed,fb}$	normaalkracht funderingsbuis	0	0 kN

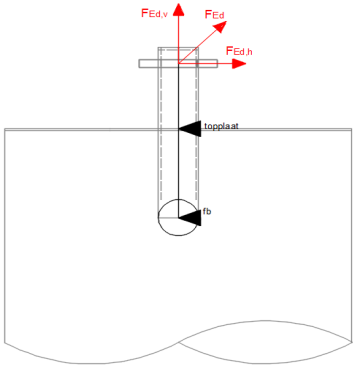
M/V/N buispaal

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,buispaal}$	moment buispaal	0	0 kNm
$V_{Ed,buispaal}$	dwarskracht buispaal	$(D_{buiten,buispaal} / 2 + e_{bolder}) * F_{Ed,v} / D_{buiten,buispaal}$	633 kN
$N_{Ed,buispaal}$	normaalkracht buispaal	0	0 kN

Belastingsgeval 4

Invoergegevens belasting

Symbol			Waarde	Eenheid
F_{bolder}	Kracht bolder		2000	kN
F_{Ed}	rekenwaarde kracht		2000	kN
$F_{Ed,h}$	horizontaal component		1414	kN
$F_{Ed,v}$	verticaal component		1414	kN
X_1	zie tekening		0,50	m
x_2	zie tekening		1,00	m
x_3	zie tekenign		1,50	m



Uitvoer reactiekrachten

Eenheid		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$R_{topplaat}$	reactiekracht topplaat	$F_{Ed,h} * x_3 / x_2$	2121	kN
R_{fb}	reactiekracht funderingsbuis	$(R_{fb,v}^2 + R_{fb,h}^2)^{0,5}$	1581	kN
$R_{fb,v}$	vertictaal component R_{fb}	$F_{Ed,v}$	1414	kN
$R_{fb,h}$	horizontaal component R_{fb}	$x_1 * F_{Ed,h} / x_2$	707	kN

M/V/N Bolder

Eenheid		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,bolder}$	moment bolder	$F_{Ed,h} * x_1$	707	kNm
$V_{Ed,bolder}$	dwarskracht bolder	$F_{Ed,h} - R_{topplaat}$	1414	kN
$N_{Ed,bolder}$	normaalkracht bolder	$F_{Ed,v}$	1414	kN

M/V/N Funderingsbuis

Eenheid		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,fb}$	moment funderingsbuis	$(D_{buiten,buispaal} / 2 - e_{bolder}) * V_{Ed,fb}$	955	kNm
$V_{Ed,fb}$	dwarskracht funderingsbuis	$((((D_{buiten,buispaal} / 2 + e_{bolder}) * R_{fb,h}) / D_{buiten,buispaal})^2 + ((D_{buiten,buispaal} / 2 - e_{bolder}) * R_{fb,v})^2)^{0,5}$	1002	kN
$N_{Ed,fb}$	normaalkracht funderingsbuis	0	0	kN

M/V/N buispaal

Eenheid		Formule	Uitkomsten	Eenheid
$M_{Ed,buispaal}$	moment buispaal	0	0	kNm
$V_{Ed,buispaal}$	dwarskracht buispaal	$((((D_{buiten,buispaal} / 2 + e_{bolder}) * R_{fb,h}) / D_{buiten,buispaal})^2 + ((D_{buiten,buispaal} / 2 - e_{bolder}) * R_{fb,v})^2)^{0,5}$	1002	kN
$N_{Ed,buispaal}$	normaalkracht buispaal	0	0	kN

Sterkte controle Bolder

Symbool		Waarde	Eenheid
f _{yd}	Vloeigrens	355	N/mm ²
D _{buiten,bolder}	diameter bolder	630	mm
t _{bolder}	wanddikte bolder	14	mm
D _{binnen, bolder}	binnendiamter bolder	602	mm
D _{buiten,bolder} /t _{bolder}	-	45	-
-	class	1	-

Sterkte controle Funderingsbuis

Symbool		Waarde	Eenheid
f _{yd}	Vloeigrens	355	N/mm ²
D _{buiten,fb}	diameter funderingsbuis	630	mm
t _{fb}	wanddikte funderingsbuis	14	mm
D _{binnen, fb}	binnendiamter funderingsbuis	602	mm
D _{buiten,fb} /t _{fb}	-	45	-
-	class	1	-

Sterkte controle Funderingsbuis

Symbool		Waarde	Eenheid
f _{wud}	vloeigrens lasverbinding	261	N/mm ²
O _{lasverbinding}	omtreklasverbinding	1979,203	mm
t _{las}	keeldikte hoeklas	7	mm
Opp _{las}	oppervlakte las	13854	mm ²
W _{las}	weerstandsmoment las	2206850	mm ³

Controle topplaat

Symbool		Waarde	Eenheid
t _{topplaat}	Dikte topplaat	20	mm
f _{yd}	vloeigrens	355	N/mm ²

Hoogte V-las

Symbool		Waarde	Eenheid
U.C.-topplaat	Unity check topplaat	0,34	mm
t _{topplaat}	dikte topplaat	22	N/mm ²
f _{yd}	vloeigrens	355	N/mm ²
f _{wud}	vloeigrens lasverbinding	261	N/mm ²

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
I	Traagheidsmoment	π(D _{buiten} ⁴ -D _{binnen} ⁴)/64	128574 cm ⁴
W _{el}	weerstandsmoment elastisch	π(D _{buiten} ⁴ -D _{binnen} ⁴)/32D _{buiten}	4082 cm ³
W _{pl}	weerstandsmoment plastisch	4(D _{buiten} ³ -D _{binnen} ³)/24	5313 cm ³
A _c	Oppervlakte	π(D _{buiten} ² -D _{binnen} ²)/4	27093 mm ²

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
I	Traagheidsmoment	π(D _{buiten} ⁴ -D _{binnen} ⁴)/64	128574 cm ⁴
W _{el}	weerstandsmoment elastisch	π(D _{buiten} ⁴ -D _{binnen} ⁴)/32D _{buiten}	4082 cm ³
W _{pl}	weerstandsmoment plastisch	4(D _{buiten} ³ -D _{binnen} ³)/24	5313 cm ³
A _c	Oppervlakte	π(D _{buiten} ² -D _{binnen} ²)/4	27093 mm ²

check

		Belastingeval:					
		1	2	3	4		
$\sigma_{xE,N,d}$	=	$N_{xE,d}/A_c$	0	52	0	52	N/mm^2
$\sigma_{xE,M,d}$	=	$M_{xE,d}/W_{e,c}$	245	173	245	173	N/mm^2
$\tau_{E,V,d}$	=	$\pi^*V_{Ed}/(2 \cdot A_c)$	116	82	116	82	N/mm^2
σ_{xEd}	=	$\sigma_{xE,N} \cdot \sigma_{xE,M}$	245	225	245	225	N/mm^2
$\sigma_{von\ misses}$	=	$(\sigma_{xE}^2 + 3 \cdot \tau_{E,d}^2)^{0,5}$	317	266	317	266	N/mm^2
U.C		0,89	0,75	0,89	0,75		

check

		Belastingeval:					
		1	2	3	4		
$\sigma_{xEd,N,d}$	=	N_{xEd}/A_c	37	26	0	0	N/mm ²
$\sigma_{xEd,M,d}$	=	$M_{xEd}/W_{e,c}$	0	209	148	234	N/mm ²
$\tau_{E,V,d}$	=	$\pi^*V_{Ed}/(2^*A_c)$	0	52	37	58	N/mm ²
σ_{xEd}	=	$\sigma_{xEd,N}^*\sigma_{xEd,M}$	37	235	148	234	N/mm ²
$\sigma_{von\ misses}$	=	$(\sigma_{xEd}^2 + 3^*\tau_{E,d}^2)^{0,5}$	37	252	161	255	N/mm ²
U.C			0,10	0,71	0,45	0,72	

check

		Belastingeval:					
		1	2	3	4		
$\sigma_{x E, N, d}$	=	$N_{x E d} / A_c$	36	26	0	0	N/mm ²
$\sigma_{x E, M, d}$	=	$M_{x E d} / W_{e, c}$	0	0	0	0	N/mm ²
$\tau_{E, V, d}$	=	$\pi * V_{E d} / (2 * A_c)$	0	102	72	114	N/mm ²
$\sigma_{x E, d}$	=	$\sigma_{x E, N} * \sigma_{x E, M}$	36	26	0	0	N/mm ²
$\sigma_{\text{von misses}}$	=	$(\sigma_{x E}^2 + 3 * \tau_{E, d}^2)^{0,5}$	36	178	124	197	N/mm ²
U.C			0,14	0,68	0,48	0,75	

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
σ _{topplaat}	spanning topplaat	R _{topplaat} /(b _{bolder} *t _{topplaat})/2	119,0 N/mm ²
U.C			0,34

Eenheid	Formule	Uitkomsten	Eenheid
a _{min}	minimale lashoogte	U.C-topplaat*t _{topplaat} *f _{yd} /f _{wud}	10,0 mm
a _{applied}	aangenomen lashoogte	bepalen m.b.v. a _{min}	12,0 mm

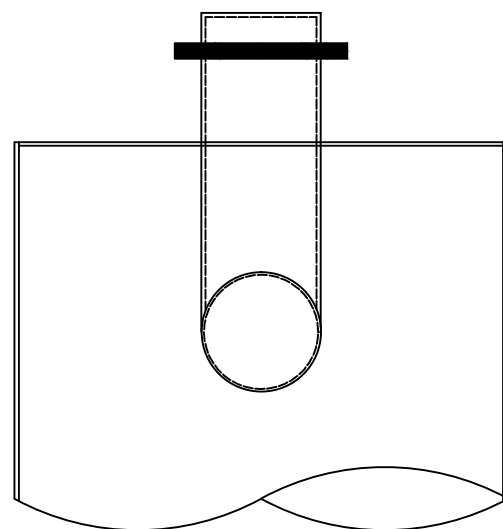


BIJLAGE 8

Ontwerptekeningen

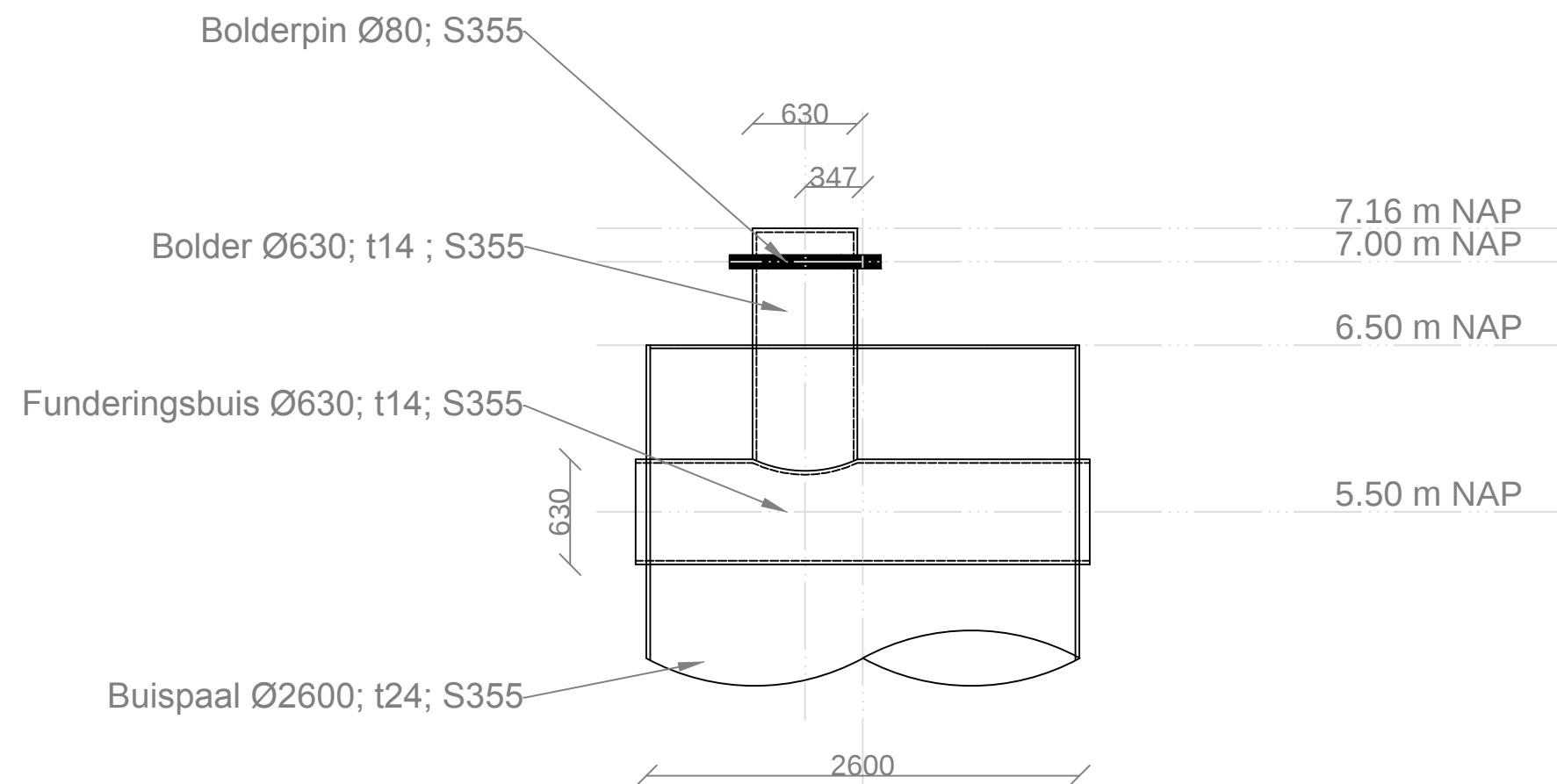
D-01-01	Detailtekening kopbolder
D-02-01	Detailtekening fenderconstructie
DO-01-01	Voor- en zijaanzicht dukdalf
DO-01-02	Bovenaanzicht dukdalf

DOORSNEDE D1



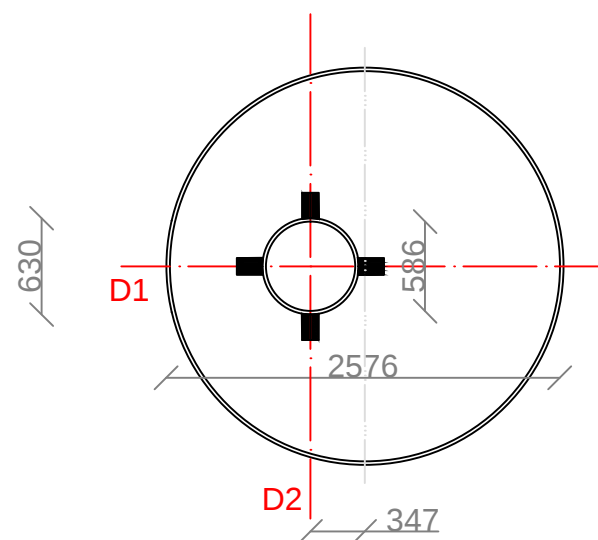
D1

DOORSNEDE D2



D2

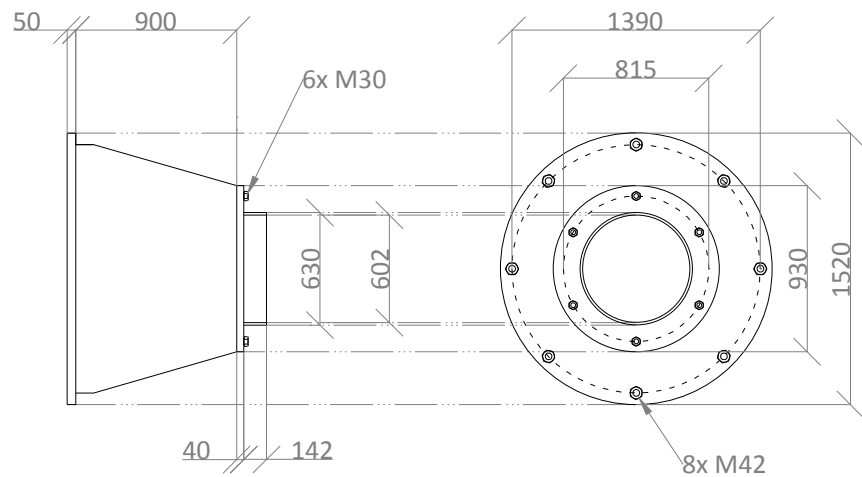
BOVENAANZICHT



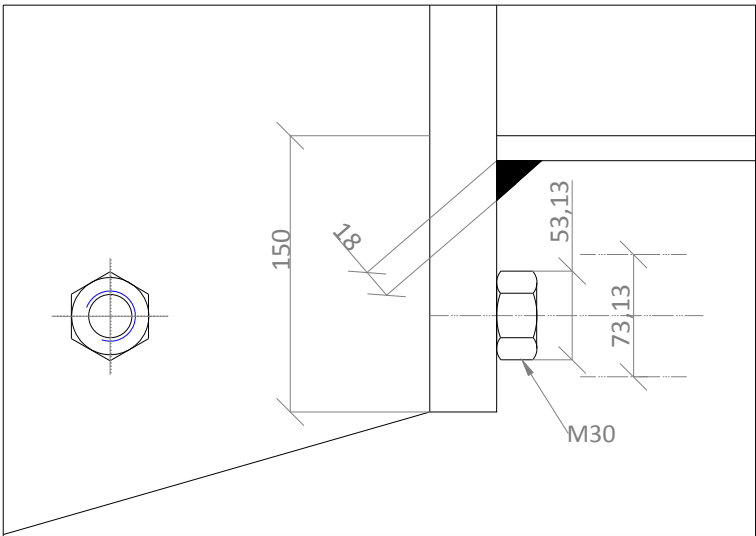
		B.S.	Get.	Volker Staal en Funderingen bv  TECHNISCH BUREAU Auteursrecht voorbehouden volgens de wet.	Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578	
		Eerste uitgave	Omschrijving			
		14-04-16	Datum			
		0	Wijz.			
OPDRACHTGEVER : VSF						Schaal : 1:50
PROJECT : OpenIJ						Datum : 14-04-16
BENAMING : Dukdalf Kopbolder						Get. : Bas Speelman
						Gez. :
				TEKENING NR. : D-01--01	WIJZ. :	

DETAILTEKENINGEN FENDERCONSTRUCTIE

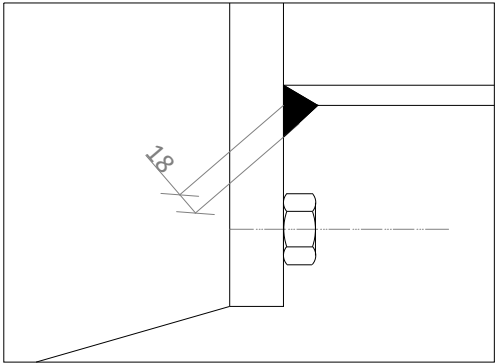
DOORSNEDES FENDERCONE



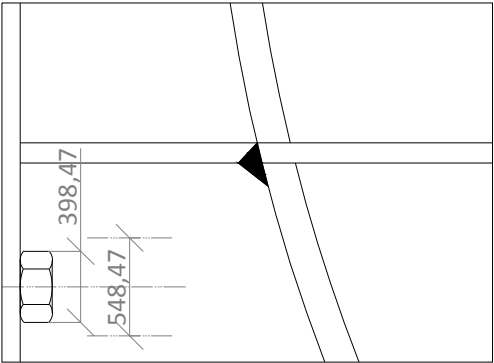
BOUTVERBINDING VERBINDINGSPLAAT - FENDERCONE



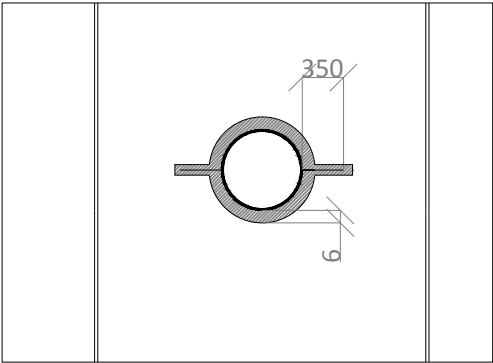
VERBINDINGSPLAAT - FENDERTUBE
VOLLEDIGE LAS



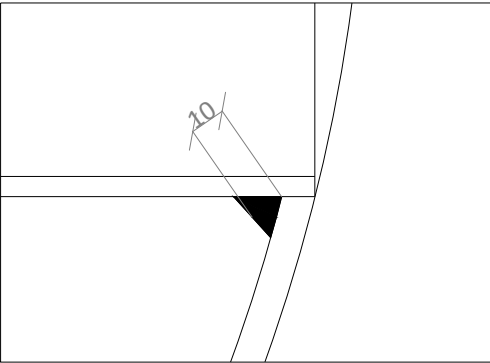
FENDERTUBE - BUISPAAL (1)
VOLLEDIGE LAS



FENDERTUBE - BUISPAAL (2)
VERBINDINGSPLAAT
HOEKLAS (THROAT=6mm)

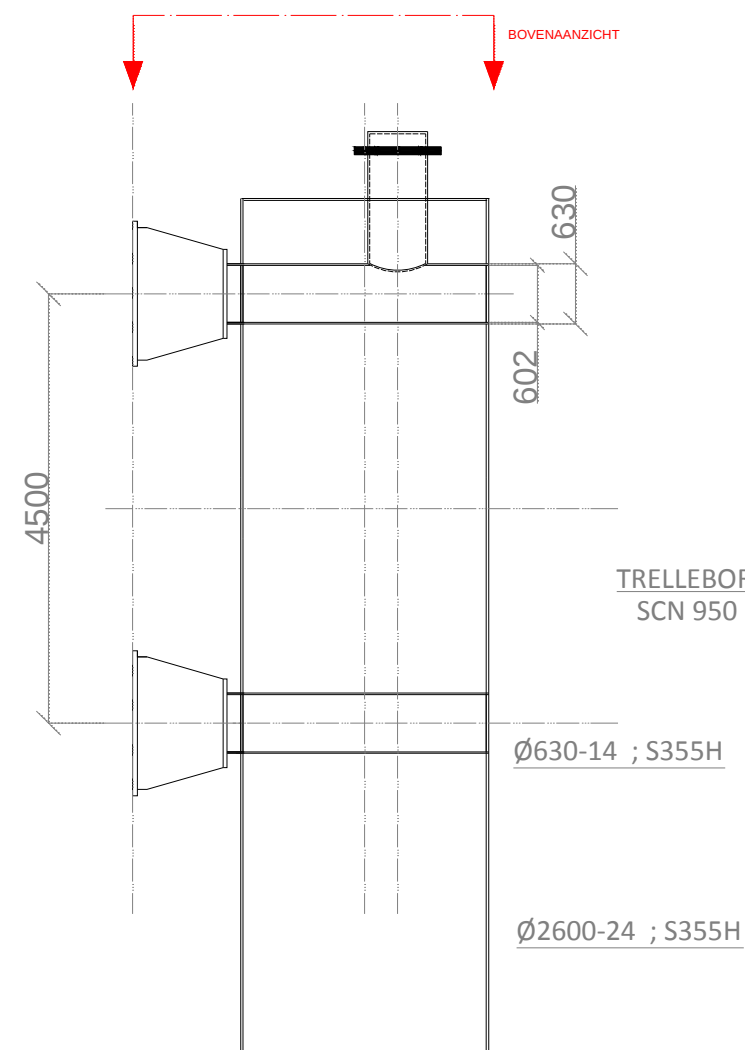


FENDERTUBE - ACHTERWAND BUISPAAL
HOEKLAS (THROAT=10mm)

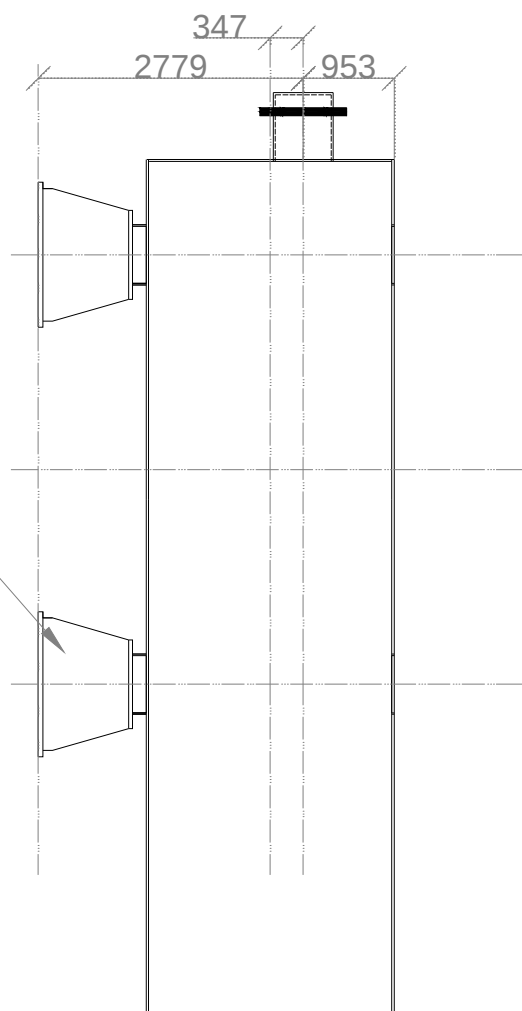


		N.J.	Get.	Volker Staal en Funderingen bv		Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578	
						TECHNISCH BUREAU	
				Auteursrecht voorbehouden volgens de wet.			
		Eerste uitgave	Omschrijving	OPDRACHTGEVER :		Schaal : 1:40	
				VSF		Datum : 15-04-16	
		15-04-16	Datum	PROJECT :		Get. : Nick Jackson	
		0	Wijz.	BENAMING :		Gez. :	
				Dukdalf		TEKENING NR. :	
				DETEAILTEKENINGEN FENDERCONSTRUCTIE		WIJZ. :	

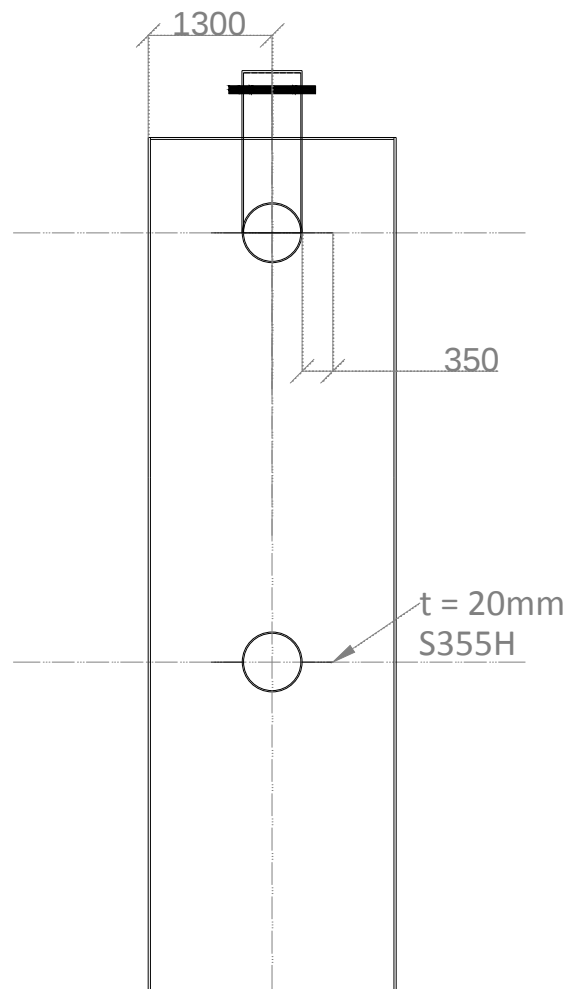
ZIJAANZICHT DOORSNEDE



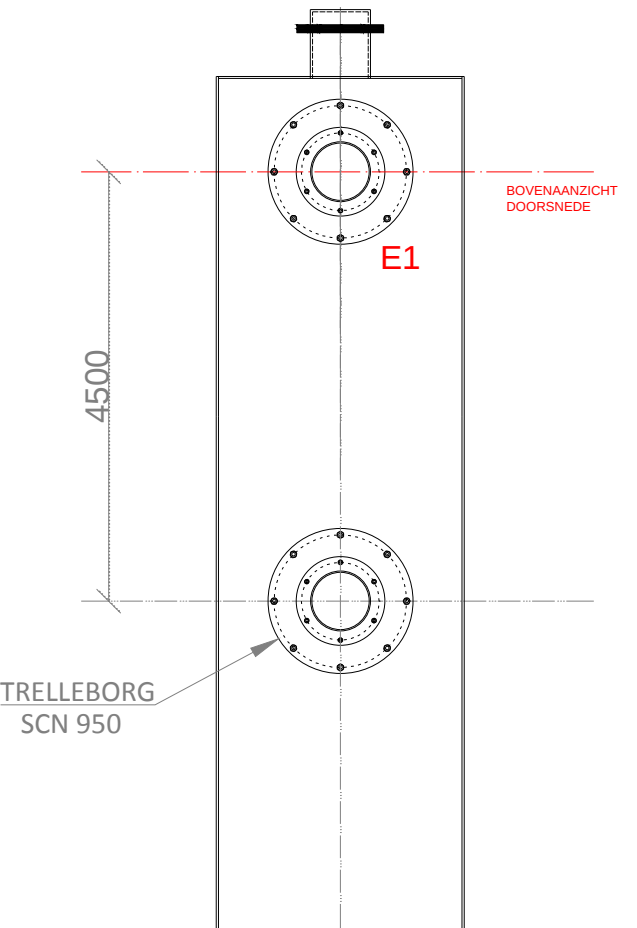
ZIJAANZICHT



VOORAANZICHT DOORSNEDE

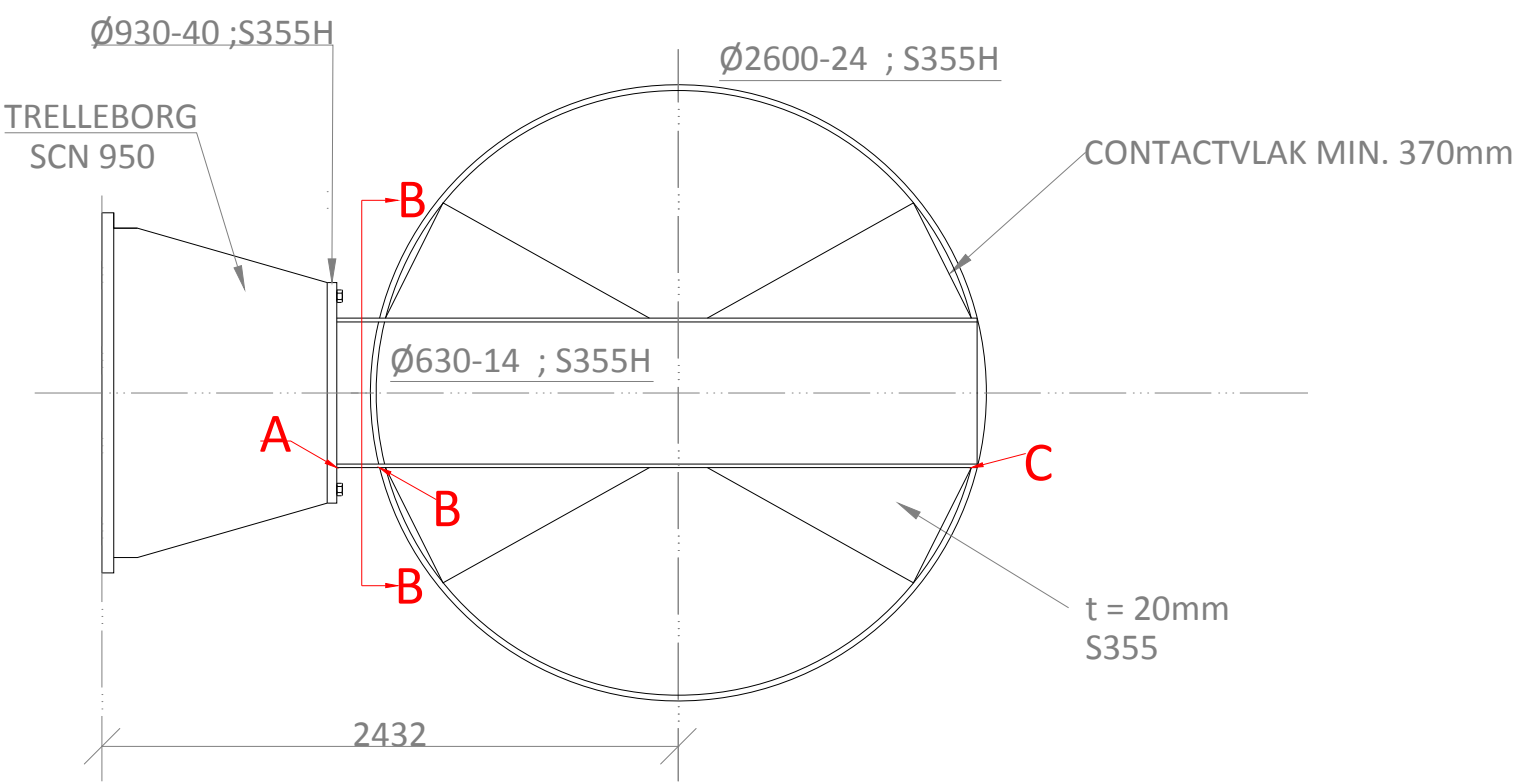


VOORAANZICHT

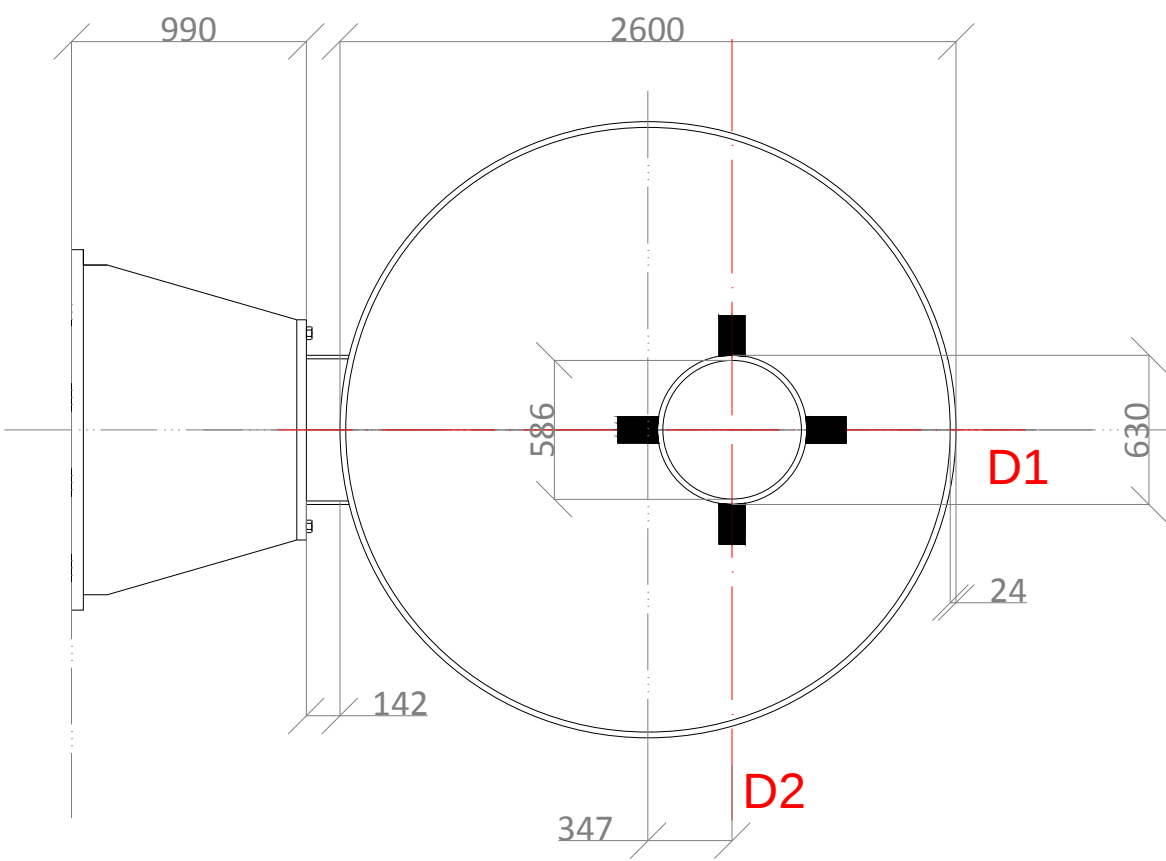


			N.J.	Get.	Volker Staal en Funderingen bv  TECHNISCH BUREAU Auteursrecht voorbehouden volgens de wet. OPDRACHTGEVER : VSF PROJECT : OpenIJ BENAMING : Dukdalf VOOR- EN ZIJAANZICHT Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578 Schaal : 1:50 Datum : 15-04-16 Get. : Nick Jackson Gez. : TEKENING NR. : D-02-02 WIJZ. :
		Eerste uitgave	Onschrijving		
	15-04-16	Datum			
0	Wijz.				

BOVENAANZICHT DOORSNEDE



BOVENAANZICHT



		N.J.	Get.	 Volker Staal en Funderingen bv TECHNISCH BUREAU Auteursrecht voorbehouden volgens de wet. Quarantaineweg 10 3089 KP Rotterdam Postbus 54548 3008 KA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelsreg. Rotterdam 24229578	
		Eerste uitgave	Onschrijving		
OPDRACHTGEVER : VSF					Schaal : 1:50
PROJECT : OpenIJ					Datum : 15-04-16
	15-04-16	Datum			Get. : Nick Jackson
	0	Wijz.			Gez. :
BENAMING : Dukdalf BOVENAANZICHT					TEKENING NR. : D-02-01
					WIJZ. :



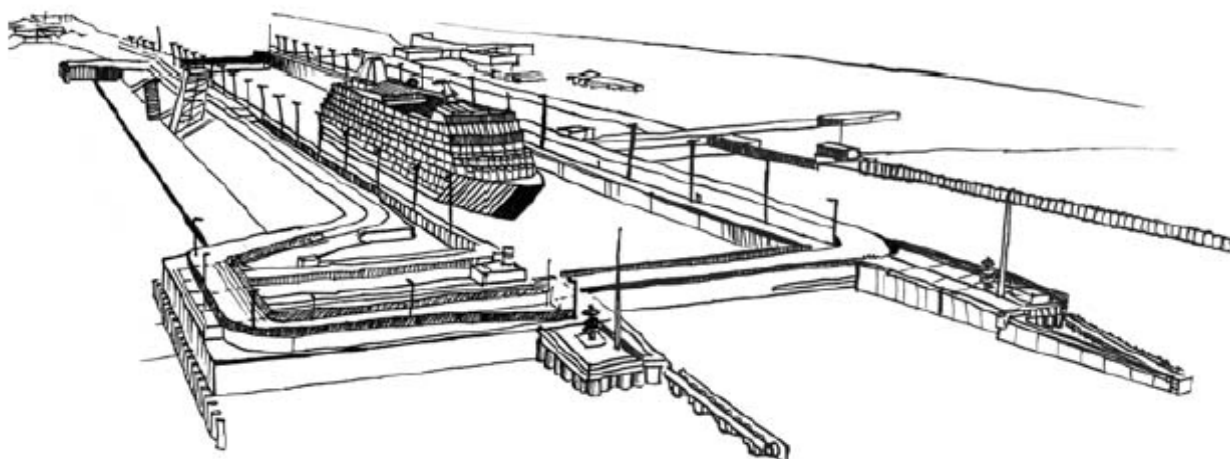
BIJLAGE 5

Plan van aanpak



Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden

Plan van Aanpak



Document nr : PvA versie_1.0.docx
Versie : 1.0
Datum : 9-2-2016
Status : Definitief

Werk nr :

Opdrachtgever : Volker Staal en Funderingen
: Hogeschool Rotterdam

Akkoord	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Opgesteld	Bas Speelman / Nick Jackson	Afstudeerders	9-2-2016	
Gecontroleerd				
Vrijgegeven				
Geaccepteerd				



INHOUDSOPGAVE	PAG.
0. INLEIDING	2
1. ACHTERGRONDEN	3
1.1. Omschrijving bedrijf/locatie	3
1.2. Aanleiding voor opdracht	4
2. PROJECTRESULTAAT	5
2.1. Doelstelling en gewenst resultaat	5
2.2. Afbakening en randvoorwaarden	5
2.3. Onderzoeksvraag	5
3. PROJECTACTIVITEITEN	6
4. PROJECTGRENZEN	8
5. TUSSENRESULTATEN	9
5.1. Programma van eisen	9
5.2. Voorlopig ontwerp afmeerpalen (VO)	9
5.3. 1 ^e voorspelling uitkomsten proeven	9
5.4. Definitief ontwerp afmeerpalen (DO)	9
5.5. Analyse van de metingen afkomstig van de proeven	9
5.6. Concept eindverslag	9
6. KWALITEIT	10
7. PROJECTORGANISATIE	11
8. PLANNING	12
9. RISICO'S	13
10. LEERDOELEN EN COMPETENTIES	14
10.1. Leerdoelen Bas Speelman	14
10.2. Leerdoelen Nick Jackson	14



0. INLEIDING

Dit document bevat het plan van aanpak van de afstudeerstage van Nick Jackson en Bas Speelman bij Volker Staal en Funderingen. De afstudeerstage richt zich op het ontwerpen van afmeervoorzieningen bij de voorhavendam van de nieuwe zeesluis bij IJmuiden. Hier wordt er expliciet gekeken naar de gevolgen van de trillingen op de omgeving die ontstaan bij het aanbrengen van deze afmeervoorziening. Verder bevat dit document informatie over de organisatie en over de aanleiding van dit project.

Voor dit onderwerp is er een hoofdvraag geformuleerd waaruit enkele deelvragen zijn opgesteld die moeten leiden tot een antwoord op de hoofdvraag. Om de kwaliteit te waarborgen is er een kwaliteitsplan opgesteld en een planning waarin alle werkzaamheden zijn uitgeschreven en hoe deze ook op kwaliteit gewaarborgd worden. Tijdens deze afstudeerstage wordt er ook gewerkt aan de competenties waar de studenten aan willen werken, ook deze staan in dit document omschreven.



1. ACHTERGRONDEN

1.1. Omschrijving bedrijf/locatie

De afstudeerperiode zal worden doorlopen binnen het bedrijf Volker Staal en Funderingen. VSF is een civiel aannemingsbedrijf wat zich voornamelijk gespecialiseerd heeft in het complexe funderingswerk. Naast het feit dat zij als aannemingsbedrijf te werk gaan ontwerpt VSF zelf waterbouwkundige staalconstructies. Ze ontwerpen het niet alleen, maar kunnen verschillende constructies zelf maken in hun eigen werkplaats.

VSF is op verschillende werkgebieden actief, zij verdelen hun werkgebieden als volgt:

- Staal
- Funderingen
- Offshore
- Engineering

Het bedrijf is met het staal veel bezig met waterbouwkundige staalconstructies, hierbij denkend aan: afmeervoorzieningen, remmingwerken, bruggen, zuigankers, etc. Een heel breed scala aan werkzaamheden in dat werkgebied. Wat betreft de funderingswerkzaamheden wordt voornamelijk gewerkt met palen, wanden, ankers, grondverbetering en nog meer overige mogelijkheden. Als derde tak van sport is de offshore. VSF heeft een hoop ervaring en expertise met betrekking tot drijvende funderingstechnieken. Hiernaast beschikt VSF over een flinke vloot van werktuigen zoals kraanschepen, kranen en pontons.

VSF beschikt ook over veel kennis op het gebied van ontwerpen en ontwikkelen. Aangezien ze een eigen engineering afdeling hebben kunnen zij naast het realiseren van funderingswerkzaamheden en civiele constructies ook zelf producten ontwerpen en ontwikkelen.

Ontwerp afmeervoorziening voorhavendam IJmuiden
Plan van Aanpak**1.2. Aanleiding voor opdracht**

In het kader van risicobeheersing van het project OpenIJ worden er enkele beproevingen uitgevoerd rond het aanbrengen van funderingselementen en zettingsvloeiingen. In de tenderfase van dit project zijn er een groot aantal risico's geïnventariseerd die verband houden met het aanbrengen van funderingselementen en zettingsvloeiingen. Deze risico's kunnen worden gecategoriseerd naar de volgende aspecten:

- Beschikbaarheid van de vaarwegen
- Trillingen en vervormingen van bestaande objecten
- Kwaliteit/uitvoerbaarheid van de aan te brengen funderingsconstructies
- Productiegevoeligheid van het aanbrengen van funderingselementen

Aan de hand van de verzameling aan risico's die met de bovenstaande aspecten verband houden is er besloten om een beproevingen uit te voeren omtrent de invloeden van het aanbrengen van funderingselementen en zettingsvloeiingen. Hiermee wilt men meer kennis verkrijgen over de effecten van deze zettingsvloeiingen.

Dezelfde soort metingen zijn uitgevoerd tijdens het project Calandkanaal 2015. Hierbij zijn er bij vergelijkbare uitvoeringen dezelfde metingen gemaakt omtrent de invloeden van de zettingsvloeiingen.

Tijdens het afstudeeronderzoek zal er een afmeervoorziening worden ontworpen. Aan de hand van de twee proeven kan worden voorspeld wat de effecten op de omliggende onderwatertaluds zal worden zodra deze afmeervoorzieningen worden aangebracht. Trillingen afkomstig van het aanbrengen van dergelijke afmeerconstructies worden geanalyseerd en verwerkt om in de toekomst voorspellingen te kunnen doen over eventuele zettingsvloeiingen.



2. PROJECTRESULTAAT

2.1. Doelstelling en gewenst resultaat

De doelstellingen van dit afstudeeronderzoek luiden als volgt:

- Door middel van het testen van funderingstechnieken (damwanden en combiwanden) wordt de impact van dynamische belastingen op de ondergrond (trillingen en wateroverspanningen) in Spisula- en aanvulzanden gekwantificeerd;
- Het verkrijgen van een ontwerp van een afmeervoorziening rekening houdend met zettingsvloeiing in omliggende taluds.
- Het in kaart brengen van de installatie-effecten en de gevolgen hier van tijdens het aanbrengen van een afmeervoorziening, waaronder:
 - o De mogelijk optredende zettingsvloeiingen
 - o Optredende plooi tijdens hijswerkzaamheden
- Een ontwerp van een afmeervoorziening voor schepen, met daar bij
 - o Ontwerpberekeningen
 - o Ontwerptekeningen
 - o Alternatieve oplossing van de verbinding tussen de paal en het kopstuk

2.2. Afbakening en randvoorwaarden

- Dit onderzoek zal zich richten op het project OpenIJ, nieuwe zeesluis IJmuiden.
- Met behulp van praktijkproeven worden metingen verricht, deze worden nader geanalyseerd waar uiteindelijk rekenmodellen mee kunnen worden opgesteld.
- Met behulp van metingen van reeds uitgevoerde proeven op het Calandkanaal in 2015 zullen analyses en modellen worden aangevuld.

2.3. Onderzoeksvraag

In overleg met dhr. B. Admiraal (Volker Staal en Funderingen) en dhr. A. Feddema (Volker Infra Design) is de volgende onderzoeksvraag opgesteld met betrekking tot het onderzoek naar taludstabiliteit voor het ontwerpen van een afmeervoorziening op project OpenIJ, nieuwe zeesluis IJmuiden:

“Wat zijn de effecten van het aanbrengen van stalen afmeervoorzieningen op de omgeving en hoe kunnen deze in de toekomst worden gekwantificeerd in de ontwerpfase?”

Enkele deelvragen met betrekking tot dit onderzoek zijn:

- o Wat zijn de effecten van trillingen die veroorzaakt worden bij het aanbrengen van funderingselementen op verschillende diepten en afstanden van de bron (taluds van Spisula- en aanvulzanden);
- o Wat is de impact van aanvaarsnelheden van schepen op een afmeervoorziening;
- o Welke troskrachten komen er op een afmeervoorziening te staan;
- o Wat voor invloed hebben de golven op de stabiliteit van een ducdalf;
- o Hoe kan plooi tijdens hijswerkzaamheden worden voorkomen;
- o Welke alternatieven bieden een betere verbinding tussen de buispaal en het kopstuk;
- o Wat voor invloed hebben de effecten op het ontwerp en de uitvoeringsmethode van een ducdalf;
- o Hoe kan de uitvoeringsmethode worden geoptimaliseerd;
- o Hoe kan het ontwerp worden geoptimaliseerd?



3. PROJECTACTIVITEITEN

- Afstudeerplan
 - o Afstudeerplanformulier
 - o Leerdoelen en competenties
- Plan van Aanpak
 - o Concept plan van aanpak
 - o Bespreken concept met begeleider VSF
 - o Uitwerken/aanvullen plan van aanpak
 - o Bespreken met begeleider VSF en Hogeschool
 - o Definitief Plan van Aanpak
- Literatuuronderzoek
 - o Ductdalf berekeningen
 - Stabiliteit (inheidiepte)
 - Botskrachten
 - Troskrachten
 - Golfbelasting
 - Plooi
 - o Scheepsklasse
 - Aanvaarsnelheden
 - o Vaarwegklasse
 - Cemt-klasse
 - o Zettingsvloeiingen
 - o Spisula- en aanvulzanden
 - o Vergelijkbare rekenmodellen
 - o Grondonderzoek projectlocatie
- Programma van eisen
 - o Opstellen PvE
 - o Verwerken uitgangspunten
 - o Bespreken met begeleider VSF
 - o Eventueel aanvullen PvE
 - o Definitief PvE
- Voorlopig ontwerp afmeervoorziening
 - o Uitvoeren berekeningen ductdalf
 - o Ontwerp- en detailtekeningen ductdalf
 - o Bespreken VO met begeleider VSF
- Definitief ontwerp afmeervoorziening
 - o Verbeteringen doorvoeren aan VO
 - o Bespreken DO met begeleider VSF
- Beproeving zettingsvloeiingen en trillingen
 - o 1^{ste} voorspelling oefuitkomsten
 - o Bijwonen proeven
 - o Data analyse
 - o Opstellen rekenmodellen zettingsvloeiingen
 - o Bespreken rekenmodel met begeleider VSF



- Eindrapportage
 - o Opstellen concept eindverslag
 - o Bespreken concept met begeleider VSF
 - o Opleveren concept eindverslag
 - o Bespreken concept eindverslag met begeleider Hogeschool (Groenlicht-gesprek)
 - o Opstellen definitief eindverslag
 - o Controle
 - o Opleveren definitief eindverslag
- Presentatie
 - o Voorbereiden presentatie
 - o Voordracht bij VSF
 - o Afstudeerzitting Hogeschool



4. PROJECTGRENZEN

Om te voorkomen dat het project niet te breed wordt uitpakkt worden er van te voren grenzen opgezet die aangeven tot hoe verre het project loopt. Dit om te voorkomen dat het project te breed wordt waardoor dit de gewenste kwaliteit kan benadelen. Verder zijn er nog enkele aspecten waar uit later nog moet blijken of ze wel of niet behandeld worden.

Wel onderzoeken

- Literatuur onderzoek naar afmeervoorzieningen
- Aanwezige krachten op afmeervoorzieningen analyseren en berekenen
- Ontwerpen van afmeervoorziening tot in detail
- Analysering meetgegevens van proeven die op het water plaats vinden
- Gevolgen bepalen van zettingsvloeiingen en trillingen door aanbrengen afmeervoorzieningen
- Ontwerp aanpassen op conclusie van de meetgegevens

Niet onderzoeken

- Uitwerken van de meetproeven op land
- Uitvoeringsplan van het gemaakte ontwerp

Nader te bepalen

- Innovatieve demontabele kopstukken ontwerpen
- Bepalen van effecten installatie



5. TUSSENRESULTATEN

Tijdens dit afstudeeronderzoek zullen er gedurende de afstudeerperiode een aantal tussenresultaten worden opgeleverd. Afhankelijk van de planning worden de volgende tussenresultaten opgeleverd:

5.1. Programma van eisen

Voordat een ontwerp kan worden gerealiseerd zullen er eerst een aantal eisen moeten worden opgesteld. Deze eisen worden onderverdeeld in een aantal verschillende categorieën namelijk: gebruikerseisen, kwaliteitseisen, omgevingseisen, ontwerpseisen etc. Zodra deze eisen in beeld zijn gebracht in het PvE kan het VO worden gemaakt.

5.2. Voorlopig ontwerp afmeerpalen (VO)

Voorafgaand aan het definitieve ontwerp van de afmeerpalen, zal eerst een voorlopig ontwerp moeten worden gemaakt. Hierbij horen een aantal stabiliteitsberekeningen en ontwerptekeningen van een ducdalf ter hoogte van de Voorhavendam bij de nieuw te realiseren zeeluis te IJmuiden. Dit VO zal opgeleverd worden afhankelijk van de planning. Dit geldt overigens voor alle tussenresultaten.

5.3. 1^e voorspelling uitkomsten proeven

Voorafgaand aan de metingen welke afkomstig zullen zijn van de praktijkproeven van de zettingsvloeiingen en trillingen op het OpenIJ, zal er een voorspelling worden gedaan van de eventuele uitkomsten. Hierdoor leren de afstudeerders beter kijken naar het gedrag van spijlen- en aanvulzanden welke verstoord worden door trillingen afkomstig van de heiproeven.

5.4. Definitief ontwerp afmeerpalen (DO)

Het voorlopig ontwerp zal uiteindelijk volledig worden uitgewerkt naar een definitief ontwerp. Deze bevat zoals gezegd een aantal stabiliteitsberekeningen en ontwerptekeningen van een ducdalf ter hoogte van de Voorhavendam bij de nieuw te realiseren zeeluis te IJmuiden.

5.5. Analyse van de metingen afkomstig van de proeven

Eind februari/begin maart zullen de heiproeven worden uitgevoerd. Hierna kunnen alle metingen worden verzameld en hier zal een data analyse van worden gemaakt. Met de uitkomsten van de data analyse zal een rekenmodel worden opgesteld om in de toekomst een globale voorspelling te kunnen doen van de mogelijk optredende zettingsvloeiingen.

5.6. Concept eindverslag

Er zal een concept van het eindverslag worden opgeleverd, deze moet ook door de hogeschool worden goedgekeurd zodat er uiteindelijk een definitief eindverslag kan worden gemaakt met daarin het hele onderzoek.



6. KWALITEIT

Om de kwaliteit van de op te brengen stukken te waarborgen worden er enkele maatregelen getroffen die hiervoor zouden moeten helpen. Zo wordt er eenmaal per twee weken overleg gepleegd met de stagebegeleider betreffende de voortgang van het proces. Hierbij worden de tussenresultaten besproken en beoordeelt en weten beide partijen hiermee of het project nog op waardig niveau is. Daarnaast wordt er ook nog voor de afstudeerzitting een eindpresentie binnen het bedrijf gegeven door de studenten dienend als generale repetitie om zo nog de laatste punten te verbeteren voor de afstudeerzitting.

De producten die de studenten leveren zullen ook door elkaar gecontroleerd worden op duidelijkheid en taalkundigheid.

Gedurende de stageperiode zullen de studenten om de twee weken een terugkomdag hebben op school. Hierbij wordt er met de begeleidend docent de voortgang van het proces besproken en kan er vanuit school bepaalt worden of het niveau nog voldoet aan de door school opgestelde eisen. Daarnaast zal er een week voor de afstudeerzitting een groenlicht gesprek plaats vinden met de begeleidend docent. Hierbij wordt een concept eindrapport worden beoordeelt en zal er ter gevolgen van die beoordeling en GO of een NO GO worden gegeven. Dit bepaalt of het eindrapport van voldoende niveau is voor de afstudeerzitting.

De planning heeft ook invloed op de kwaliteit van de producten. Bij een onjuiste planning is er de kans dat er een tijdnood ontstaat waardoor er sneller fouten kunnen optreden.

Om er voor te zorgen dat alle producten zijn voorzien van de zelfde lay-out zal er worden gewerkt met een standaard template van word. Hierdoor worden verschillen in bijvoorbeeld tekstgrootte of lettertype voorkomen.



7. PROJECTORGANISATIE

Het afstudeerproject wordt uitgevoerd door:

- Bas Speelman
Student
06 – 53 37 19 53
bas_speelman@hotmail.com
- Nick Jackson
Student
06 – 57 98 88 25
nick_jackson_7@hotmail.com

De begeleiding wordt verzorgd door:

- Antoine Feddema
Ontwerpleider geotechniek, VID
06 – 11 91 10 79
afeddema@volkerinfradesign.nl
- Aissa Yahyaoui

06 –
a.yahyaoui@vsf.nl



8. PLANNING

- Zie bijlage 1 Planning afstudeeronderzoek



9. RISICO'S

Tijdens het uitvoeren van deze afstudeerstage zijn er enkele risico's die het succes van het project bedreigen. Bij deze risico's wordt er onderscheidt gemaakt tussen interen en externe risico's.

Interne risico's

- De haalbaarheid van het project
- Een te lange doorlooptijd
- Onvoldoende kennis/niveau bij de projectmedewerkers
- Onvoldoende motivatie bij de projectmedewerkers
- Onvoldoende inbreng opdrachtgever
- Een ongeschikt projectleider
- Onvoldoende bekendheid van het project binnen de organisatie
- Projectleden die niet met elkaar willen of kunnen samenwerken

Externe risico's

- Onvoldoende tijd voor besluitvorming
- Afhankelijkheid van andere projecten
- Onvoldoende medewerking van de organisatie
- Onduidelijke projectgrenzen, afbakening
- Een andere doelstelling dan die welke is geformuleerd in het plan van aanpak



10. LEERDOELEN EN COMPETENTIES

Tijdens de afstudeerfase worden er een aantal competenties beoordeelt, deze staan vermeld in bijlage 3.

10.1. Leerdoelen Bas Speelman

Tijdens deze afstudeerperiode zijn dit de leerdoelen waar ik aan wil werken:

- Meer inzicht en kennis verkrijgen over het opstellen van een eigen onderzoek. Hiermee wil ik meer ervaring op doen over hoe het is om zo'n onderzoek op te stellen en daarmee ervaren waar de struikelblokken zitten en mogelijke zwakke punten **(1. Initiëren)**
- Ervaring opdoen betreffende het werken binnen een bedrijf met daarin verschillende deskundige te benaderen voor informatie hun visie op de onderwerpen van het project. **(8. Communiceren en samenwerken)**
- Het kunnen opstellen van een kloppend ontwerp onderbouwd door de verschillende berekeningen gevolg uit de verschillende meetgegevens **(2. Ontwerpen)**

10.2. Leerdoelen Nick Jackson

De leerdoelen waar ik tijdens de afstudeerperiode aan zou willen werken zijn:

- Aan de hand van literatuur onderzoeken welke berekeningen er moeten worden gemaakt om een dergelijke afmeervoorziening te kunnen ontwerpen. **(2. Ontwerpen)**
- Een rekenkundig model opstellen waarbij de metingen ,afkomstig van de heiproeven, worden geïmplementeerd. Het lijkt me een uitdaging om dit model zo te maken dat VSF hier in de toekomst gebruik van kan maken om eventuele voorspellingen te kunnen doen van het gedrag van onderwatertaluds. **(3. Specificeren)**
- Inzicht krijgen in de samenwerking binnen een bedrijf tijdens een project en tevens werken aan een professionele houding, zodat ik na de afstudeerperiode makkelijker in zo'n werkomgeving zal passen. **(8. Communiceren en samenwerken)**



BIJLAGE 1

PLANNING AFSTUDEERONDERZOEK



BIJLAGE 2

TIJDSHEMA EN ACTIVITEITENSHEMA VANUIT HOGESCHOOL ROTTERDAM

TIJDSHEMA EN ACTIVITEITENSHEMA VANUIT HOGESCHOOL ROTTERDAM

Activiteit	Voorjaar 16	Opmerkingen
Studieplanning plus cijferlijst in orde maken	Voor 1 nov	Gesprek over studieplanning met SLC-coach
Afstudeeropdracht verwerven	Sept-dec	
Beoordeling toelaatbaarheid (1 ^e check)	Half december	Op basis van Osirisuitdraai van 1 december resp. 15 mei
Uploaden in Praktijlink afstudeerplan (formulier+ opdrachtomschrijving)	Uiterlijk 15 jan 2016	
Beoordeling opdracht-omschrijving	Binnen 10 werkdagen	Door 2 docenten van de opleiding
Controle toelaatbaarheid, vaststellen startdatum en toewijzing docent-begeleider	Na goedkeuring opdracht	Afstudeercoördinator registreert in Praktijlink, student en bedrijf krijgen mail.
Contract opmaken, onder-tekenen en uploaden in Praktijlink (student verantwoordelijk)	Na bevestigings-brief	Student, bedrijf en school (BEB) ondertekenen. Uiterlijk 1 week voor start afstuderen
Start afstuderen	Tussen 25 jan en 8 feb 2016	Alleen als student toelaatbaar is (studieresultaten) en opdracht goedgekeurd
Inleveren tussentijds verslag	1 week voor tussentijdse voordracht	Inleveren bij de begeleiders
Tussentijdse voordracht	Half april	Zelf plannen in overleg met betrokkenen
Inleveren concept eindverslag	Half mei (uiterlijk 3 weken voor inleverdatum afstudeerverslag)	Inleveren bij de begeleiders
Bespreken concept met docentbegeleider/Groen-licht-gesprek	Uiterlijk 2 weken voor inleverdatum afstudeerverslag	
Inleveren 3 afstudeer-verslagen+ 1 USB-stick+ bedrijfsbeoordeling + toestemmingsformulier	DI 14 juni	Voor 16.00 uur bij Bureau Externe Betrekkingen IGO (AP.B01.008) en uploaden in Praktijlink
Afstudeerzitting	28 juni-1 juli	Rooster wordt later bekend gemaakt
Bij uitstel: Inleveren 3 afstudeerverslagen + 1 USB-stick + bedrijfsbeoordeling + toestemmingsformulier	Eind sept 10 oktober 2016	Inleveren bij de begeleiders Voor 16.00 uur bij Bureau Externe Betrekkingen IGO en uploaden in Praktijlink
Bij uitstel: afstudeerzitting	31 okt- 4 nov 2016	Rooster wordt later bekend gemaakt
Evaluatieformulier invullen	5 werkdagen na ontvangst	Wordt verstuurd per mail



BIJLAGE 3

LEERDOELEN EN COMPETENTIES

LEERDOELEN EN COMPETENTIES

	Competenties	Niveau		Kerntaken	Onderdeel afstuderen
1.	Initiëren	2	1.1	Signaleren en/of analyseren van (de behoefte aan) een civieltechnisch project in de gebouwde omgeving	Afstudeerrapport Verdediging
			1.2	Ontwikkelen van een Programma van Eisen voor een te maken civiel technisch project	
2.	Ontwerpen	3	2.1	Ontwerpen van oplossingsvarianten in de vorm van bv. schema's, tekeningen en/of berekeningen voor civieltechnische (deel)problemen	Afstudeerrapport Verdediging
			2.2	Oplossingsvarianten beoordelen en de meest passende kiezen	
			2.3	Inventariseren en verzamelen van gegevens	
3.	Specificeren	3	3.1	Schematiseren van de werkelijke situatie in een (vereenvoudigd) rekenkundig of fysisch model	Afstudeerrapport Verdediging
			3.2	Detailleren en/of berekenen en tekenen van een (deel van een) civieltechnische ontwerp	
			3.3	Contract-, begrotings- en vergunningsdocumenten opstellen en contractvorming organiseren en begeleiden	
4.	Realiseren	2	4.1	Voorbereiden van de uitvoering van een civieltechnisch project	(Stage, 3 ^e jaar)
			4.2	Bouwplaats management voeren: (bij)sturen, bewaken, evalueren en zo nodig optimaliseren van het uitvoeringsproces aan de hand van een uitvoeringsplan	
5.	Beheren	1	5.1	Opstellen van een plan voor het beheren en/of onderhouden van civieltechnische objecten	(Module Beheer en Onderhoud, 3 ^e jaar)
6.	Monitoren, toetsen en evalueren	3	6.1	Hanteren van plan-do-check-act cyclus	Afstudeerrapport Verdediging Functioneren in het bedrijf
			6.2	Omgevingsbewust en maatschappelijk verantwoord handelen	
7.	Analyseren en onderzoeken	3	7.1	Uitvoeren van onderzoek	
8.	Communiceren en samenwerken	3	8.1	Verwoorden en verbeelden van informatie	
			8.2	Functioneren in teams	
9.	Managen en ondernemen	2	9.1	Regie voeren over eigen leerproces	
			9.2	Projectmatig werken en processen aansturen	



BIJLAGE 6

Bedrijfsbeoordeling

Bedrijfsbeoordeling Bas Speelman

Bedrijfsbeoordeling Nick Jackson



BIJLAGE 7

Competentieverantwoording

Competentieverantwoording

Naam : Nick Jackson

Studentnummer : 0863374

Toelichting: Met het afstuderen toon je aan dat je onderstaande competenties ontwikkeld hebt. Dit moet je kunnen aantonen! Geef aan of en hoe je gewerkt hebt aan deze competenties en waar het bewijs daarvoor terug te vinden is in het rapport. Voeg dit verslag toe als laatste hoofdstuk van het rapport.

Competenties met Kerntaken	Niveau	Beoordeling ¹	Wat heb je gedaan? Waar is dat terug te vinden in het rapport?
1 Initiëren 1.1 Signaleren en/of analyseren van (de behoefte aan) een civieltechnisch project in de gebouwde omgeving. 1.2 Ontwikkelen van een Programma van Eisen voor een te maken civiel technisch project.	2	B.1, B.3	Er is een bezoek gebracht aan de projectlocatie OpenIJ tijdens de praktijkproeven. Hier is een data analyse van gemaakt over de uitvoering en de uitkomsten van de metingen. De proefuitkomsten zijn vergeleken met soortgelijke metingen bij Calandkanaal welke in 2015 zijn uitgevoerd. Omschreven in hoofdstuk 1 van het eindrapport. Voor het ontwerp van de afmeervoorziening (dukda) zijn vooraf eisen opgesteld waar deze aan moet voldoen. Dit zijn zowel eisen vanuit OpenIJ als uit CUR166, EAU2012 en de NEN. Alle eisen staan opgenomen in een ontwerpdocument. Omschreven in hoofdstuk 3 van het eindrapport.
2 Ontwerpen 2.1 Ontwerpen van oplossingsvarianten in de vorm van bv. schema's, tekeningen en/of berekeningen voor civieltechnische (deel)problemen. 2.2 Oplossingsvarianten beoordelen en de meest passende kiezen. 2.3 Inventariseren en verzamelen van gegevens	3	B.1, B.4,	Er is een afmeervoorziening (dukda) ontworpen waarbij diverse constructies zijn berekend en getekend in ACAD. Aan de hand van verkregen informatie vanuit OpenIJ is dit ontwerp tot stand gekomen. Omschreven in hoofdstuk 3 van het eindrapport. Voor het uitwerken van de berekeningsmethodieken is veel literatuur bestudeert om zo tot benodigde gegevens te kunnen komen. Omschreven in hoofdstuk 2 van het eindrapport. Er zijn veel grondonderzoeken (sonderingen) verkregen en toegepast tijdens de berekeningen voor de verwekingsgevoeligheid van de grondlagen. Omschreven in hoofdstuk 2 van het eindrapport.

¹ De codes verwijzen naar de rubric uit de modulehandleiding CIVAFS

Competenties met Kerntaken	Niveau	Beoordeling ¹	Wat heb je gedaan? Waar is dat terug te vinden in het rapport?
3 Specificeren 3.1 Schematiseren van de werkelijke situatie in een (vereenvoudigd) rekenkundig of fysisch model 3.2 Detailleren en/of berekenen en tekenen van een (deel van een) civieltechnische ontwerp 3.3 Contract-, begrotings- en vergunningsdocumenten opstellen en contractvorming organiseren en begeleiden	3	B.5	Er zijn stabiliteitsberekeningen voor de dukdalf uitgevoerd mbv computerprogramma D-sheet PILING. Hiermee zijn checks uitgevoerd mbt verplaatsing en sterkte van de dukdalf. Omschreven in hoofdstuk 3 van het eindrapport. Er zijn detailtekeningen gemaakt mbv ACAD van de kopbolder en de fenderconstructie. Deze zijn vooraf in zijn geheel berekend en terug te vinden in hoofdstuk 3 van het eindrapport. Voor de verschillende berekeningsmethodieken voor de verwekingsgevoeligheid is de werkelijke situatie bij OpenIJ nagebootst. Uitkomsten van de methodieken zijn ter validatie vergeleken met uitkomsten van andere methoden en met ervaringsgetallen en de praktijkproeven. Omschreven in hoofdstuk 2 van het eindrapport.
6 Monitoren, toetsen en evalueren 6.1 Hanteren van plan-do-check-act cyclus 6.2 Omgevingsbewust en maatschappelijk verantwoord handelen	3	A.2, B.1, B.2, B.3, B.5	Gedurende de periode is er gewerkt volgens de vooraf opgestelde planning in het plan van aanpak. Wanneer hier van af is geweken, werd dit tijdig gemeld aan de begeleiding. De stand van zaken werd wekelijks besproken om zo de voortgang van het onderzoek te bewaken.
7 Analyseren en onderzoeken 7.1 Uitvoeren van onderzoek	3	A.1, A.2, B.2, B.3, B.4, B.5	Gedurende heel de afstudeerperiode is er onderzoek gedaan naar zettingsvloeiingen ahv diverse literatuurstudies. De uitkomsten hiervan staan omschreven in hoofdstuk 1 en 2 van het eindrapport.
8 Communiceren en samenwerken 8.1 Verwoorden en verbeelden van informatie 8.2 Functioneren in teams	3	C.2, C.3, C.4	De goede communicatie en samenwerking met de 2^e afstudeerder blijkt uit het halen van de deadlines voor tussen- en eindproducten. Er is volgens planning gewerkt en het werk is goed afgewisseld/verdeeld tussen de beiden afstudeerders. De goede communicatie binnen het bedrijf blijkt uit het resultaat, aangezien werkmethode, uitwerkingen en resultaten uitvoerig zijn besproken.
9 Managen en ondernemen 9.1 Regie voeren over eigen leerproces 9.2 Projectmatig werken en processen aansturen	2	A.2, B.2, C.1, C.2	Tijdens de afstudeerperiode hebben de afstudeerders met regelmaat contact opgenomen met de begeleiders (school en bedrijf) om zo de voortgang te kunnen bespreken. Er is gewerkt volgens de wensen van het bedrijf, echter hebben de afstudeerders zelf enige sturing weten te geven aan het onderzoek om zo aan de eigen competenties te voldoen.

Competentieverantwoording

Naam : Bas Speelman

Studentnummer : 0859182

Toelichting: Met het afstuderen toon je aan dat je onderstaande competenties ontwikkeld hebt. Dit moet je kunnen aantonen! Geef aan of en hoe je gewerkt hebt aan deze competenties en waar het bewijs daarvoor terug te vinden is in het rapport. Voeg dit verslag toe als laatste hoofdstuk van het rapport.

Competenties met Kerntaken	Niveau	Beoordeling ¹	Wat heb je gedaan? Waar is dat terug te vinden in het rapport?
1 Initiëren 1.1 Signaleren en/of analyseren van (de behoefte aan) een civieltechnisch project in de gebouwde omgeving. 1.2 Ontwikkelen van een Programma van Eisen voor een te maken civiel technisch project.	2	B.1, B.3	Er is een bezoek gebracht aan de projectlocatie OpenIJ tijdens de praktijkproeven. Hier is een data analyse van gemaakt over de uitvoering en de uitkomsten van de metingen. De proefuitkomsten zijn vergeleken met soortgelijke metingen bij Calandkanaal welke in 2015 zijn uitgevoerd. Omschreven in hoofdstuk 1 van het eindrapport. Voor het ontwerp van de afmeervoorziening (dukdaIf) zijn vooraf eisen opgesteld waar deze aan moet voldoen. Dit zijn zowel eisen vanuit OpenIJ als uit CUR166, EAU2012 en de NEN. Alle eisen staan opgenomen in een ontwerpdocument. Omschreven in hoofdstuk 3 van het eindrapport.
2 Ontwerpen 2.1 Ontwerpen van oplossingsvarianten in de vorm van bv. schema's, tekeningen en/of berekeningen voor civieltechnische (deel)problemen. 2.2 Oplossingsvarianten beoordelen en de meest passende kiezen. 2.3 Inventariseren en verzamelen van gegevens	3	B.1, B.4,	Er is een afmeervoorziening (dukdaIf) ontworpen waarbij diverse constructies zijn berekend en getekend in ACAD. Aan de hand van verkregen informatie vanuit OpenIJ is dit ontwerp tot stand gekomen. Omschreven in hoofdstuk 3 van het eindrapport. Voor het uitwerken van de berekeningsmethodieken is veel literatuur bestudeert om zo tot benodigde gegevens te kunnen komen. Omschreven in hoofdstuk 2 van het eindrapport. Er zijn veel grondonderzoeken (sonderingen) verkregen en toegepast tijdens de berekeningen voor de verwekingsgevoeligheid van de grondlagen. Omschreven in hoofdstuk 2 van het eindrapport.

¹ De codes verwijzen naar de rubric uit de modulehandleiding CIVAFS

Competenties met Kerntaken	Niveau	Beoordeling ¹	Wat heb je gedaan? Waar is dat terug te vinden in het rapport?
3 Specificeren 3.1 Schematiseren van de werkelijke situatie in een (vereenvoudigd) rekenkundig of fysisch model 3.2 Detailleren en/of berekenen en tekenen van een (deel van een) civieltechnische ontwerp 3.3 Contract-, begrotings- en vergunningsdocumenten opstellen en contractvorming organiseren en begeleiden	3	B.5	Er zijn stabiliteitsberekeningen voor de dukdalf uitgevoerd mbv computerprogramma D-sheet PILING. Hiermee zijn checks uitgevoerd mbt verplaatsing en sterkte van de dukdalf. Omschreven in hoofdstuk 3 van het eindrapport. Er zijn detailtekeningen gemaakt mbv ACAD van de kopbolder en de fenderconstructie. Deze zijn vooraf in zijn geheel berekend en terug te vinden in hoofdstuk 3 van het eindrapport. Voor de verschillende berekeningsmethodieken voor de verwekingsgevoeligheid is de werkelijke situatie bij OpenIJ nagebootst. Uitkomsten van de methodieken zijn ter validatie vergeleken met uitkomsten van andere methoden en met ervaringsgetallen en de praktijkproeven. Omschreven in hoofdstuk 2 van het eindrapport.
6 Monitoren, toetsen en evalueren 6.1 Hanteren van plan-do-check-act cyclus 6.2 Omgevingsbewust en maatschappelijk verantwoord handelen	3	A.2, B.1, B.2, B.3, B.5	Gedurende de periode is er gewerkt volgens de vooraf opgestelde planning in het plan van aanpak. Wanneer hier van af is geweken, werd dit tijdig gemeld aan de begeleiding. De stand van zaken werd wekelijks besproken om zo de voortgang van het onderzoek te bewaken.
7 Analyseren en onderzoeken 7.1 Uitvoeren van onderzoek	3	A.1, A.2, B.2, B.3, B.4, B.5	Gedurende heel de afstudeerperiode is er onderzoek gedaan naar zettingsvloeiingen ahv diverse literatuurstudies. De uitkomsten hiervan staan omschreven in hoofdstuk 1 en 2 van het eindrapport.
8 Communiceren en samenwerken 8.1 Verwoorden en verbeelden van informatie 8.2 Functioneren in teams	3	C.2, C.3, C.4	De goede communicatie en samenwerking met de 2^e afstudeerder blijkt uit het halen van de deadlines voor tussen- en eindproducten. Er is volgens planning gewerkt en het werk is goed afgewisseld/verdeeld tussen de beiden afstudeerders. De goede communicatie binnen het bedrijf blijkt uit het resultaat, aangezien werkmethode, uitwerkingen en resultaten uitvoerig zijn besproken.
9 Managen en ondernemen 9.1 Regie voeren over eigen leerproces 9.2 Projectmatig werken en processen aansturen	2	A.2, B.2, C.1, C.2	Tijdens de afstudeerperiode hebben de afstudeerders met regelmaat contact opgenomen met de begeleiders (school en bedrijf) om zo de voortgang te kunnen bespreken. Er is gewerkt volgens de wensen van het bedrijf, echter hebben de afstudeerders zelf enige sturing weten te geven aan het onderzoek om zo aan de eigen competenties te voldoen.