



NOTITIE

Onderwerp	Drukpredictie Grebbedijk
Project	Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk
Opdrachtgever	Waterschap Vallei en Veluwe
Projectcode	124281
Status	Definitief
Datum	7 mei 2024
Referentie	124281-2.6/24-006.573
Auteur(s)	Anoniem (binnen Witteveen+Bos bekend)
Gecontroleerd door	Anoniem (binnen Witteveen+Bos bekend)
Goedgekeurd door	Projectleider
Paraaf	Dit rapport is geautoriseerd volgens de regels van het Witteveen+Bos managementsysteem
Bijlage(n)	I Maatgevende en representatieve sondering II Drukpredictie berekeningsresultaat maatgevend III Drukpredictie berekeningsresultaat dijkpaal 26-50
Aan	Waterschap Vallei en Veluwe
Kopie	-

1 INLEIDING

De dijkversterking binnen project gebiedsontwikkeling Grebbedijk omvat onder andere een aantal langsconstructies. De meest voor de hand liggende langsconstructie is een damwand. Wanneer deze trillend worden ingebracht kan het leiden tot trillingshinder en mogelijk zelfs schade in de directe omgeving. Schade dient voorkomen te worden, en dat kan door het nemen van verschillende beheersmaatregelen. De effecten en verwachtingen van het trillen van de damwanden is beschreven in de notitie trillingsanalyse [ref. 3]. Een veel gebruikte beheersmaatregel is het drukkend in plaats van trillend aanbrengen van damwanden. Op meerdere locaties ligt er een gebouw binnen de trillingscontour [ref. 3], om deze reden wordt onderzocht of de damwand op deze locaties drukkend geïnstalleerd kan worden.

1.1 Projectbeschrijving

De Grebbedijk is een 5,5 km lange dijk die de Gelderse Vallei beschermt tegen hoogwater vanuit de Nederrijn. Het traject ligt tussen de Wageningse Berg (dijkpaal 0) en de Grebbeberg bij Rhenen (dijkpaal 55+45), zoals weergegeven in afbeelding 1.1. De huidige dijk voldoet niet aan de waterveiligheidsnormen, met name op het gebied van stabiliteit binnenwaarts en piping.

Binnen het project gebiedsontwikkeling Grebbedijk wordt gewerkt aan de planuitwerking van de dijkversterking, om te komen tot een voorlopig ontwerp en een projectbesluit. Op veel locaties zal gebruik worden gemaakt van versterking van grond, maar op een aantal plekken is een langconstructie gepland. Hierbij gaat het om ofwel een constructie met stabiliteitsfunctie ofwel een constructie voor piping en heave, zonder stabiliteitsfunctie.

Afbeelding 1.1 Overzicht van het projectgebied Grebbedijk



1.2 Doel van dit document

Dit document beschrijft een algemene drukpredictie voor het project. Dit is noodzakelijk omdat op meerdere locaties de constructies zeer waarschijnlijk niet middels trillingen geïnstalleerd kunnen worden in verband met omgevingsbeïnvloeding (risico op schade) [ref. 3]. Deze drukpredictie analyse is uitgevoerd conform de CUR166 richtlijn [ref. 2].

Dit document volgt op de notitie trillingsanalyse [ref. 3].

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Locatie en type constructie

De trillingsanalyse [ref. 3] is gebaseerd op vier locaties. Deze locaties zijn hieronder opnieuw weergegeven in tabel 2.1. De overige dijkvakken waar niet getrild kan worden, zijn nader beschouwd in het uitvoeringsplan. Deze notitie beschrijft een drukanalyse voor damwanden tot NAP -3 m op basis van de maatgevende grondopbouw voor het projectgebied.

Locatie	Dijkvak	Dichtstbijzijnde dijkpaalnummer	Type damwand	Positie damwand	Hoogte maaiveld in m	Puntniveau
locatie 1a	1D	DP3+60	heave/piping-scherm	binnenteen	NAP 9.2 m	NAP -1 m (voor piping)
locatie 1b	1E	DP6+50	heave/piping-scherm	binnenteen	NAP 8.5 m	NAP -1 m
locatie 2	3C	DP36	stalen damwand voor stabiliteit	halverwege binnentalud	NAP 12 m	NAP -2 m
locatie 3	3D	DP48	stalen damwand voor stabiliteit	halverwege binnentalud	NAP 12,5 m	NAP -3 m

2.2 Maatgevende grondopbouw

De grondopbouw binnen het projectgebied bestaat uit een cohesieve toplaag vanaf maaiveld tot circa + 6 - +4 m NAP. Hieronder is een los tot matig vast gepakte zandlaag aanwezig met daaronder een matig tot vast gepakte zandlaag. Een indicatief geotechnisch lengteprofiel van de conusweerstand is gepresenteerd in afbeelding 2.1. Hieruit volgt dat de ondiepe gestuwde afzetting met een zeer hoge conusweerstand op een ondiep niveau voornamelijk voor komt van dijkpaal 0 tot dijkpaal 26.

Voor het drukkend installeren van damwanden is de dikte van de zandlaag en de hoogte van de conusweerstand maatgevend. Installatie van een damwand in een dikke vastgepakte zandlaag vereist een zeer hoge drukkracht. Wanneer de drukkracht van de installatie ontoereikend is, kan het zijn dat het niet mogelijk is om de damwand op druk te installeren.

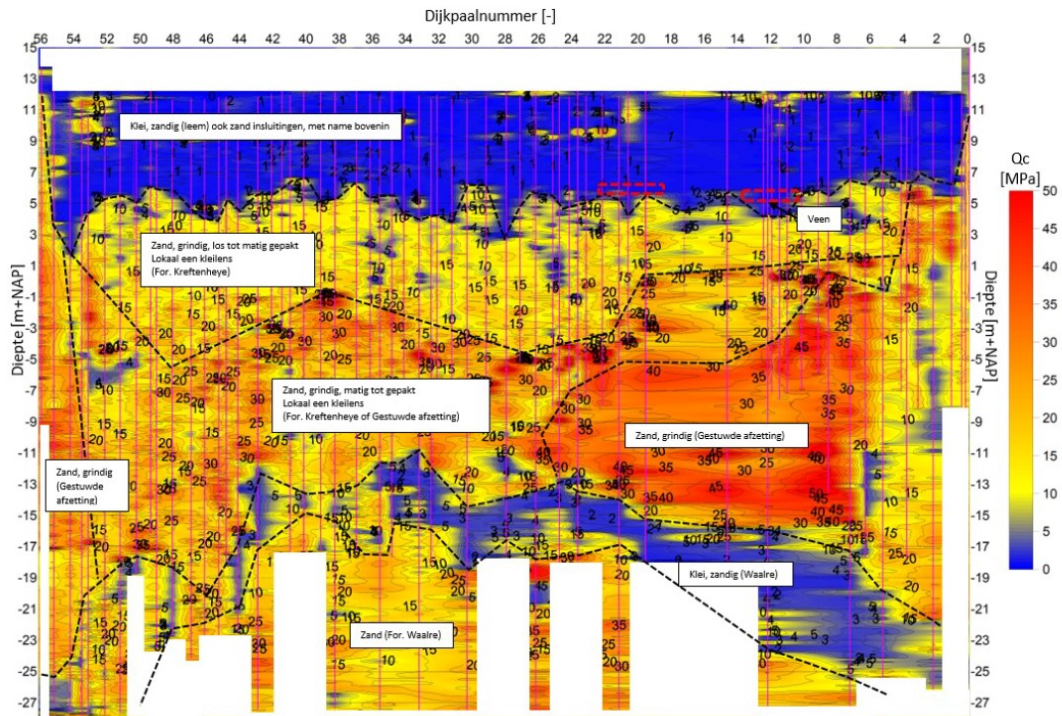
Sondering CPT00..00223186 (dijkvak 1D in het stedelijk gebied) is geselecteerd als maatgevende sondering omdat deze een dik pakket zand bevat met een zeer hoge conusweerstand op een ondiep niveau. Deze sondering bevat de ondiepe gestuwde afzetting zoals aanwezig tussen dijkpaal 0 - 26. Omdat deze hoge conusweerstand op een ondiep niveau ook voor kunnen komen binnen het gebied tussen dijkpaal 0 en 26 is deze sondering maatgevend voor dat gebied.

Aan de westelijke zijde is sondering 182266 geselecteerd als representatieve sondering voor het landelijke gebied van dijkpaal 26 tot 50. Sondering 182266 toont een gunstigere grondopbouw met een lagere conusweerstand in vergelijking met Sondering CPT00..00223186. Deze analyse is toegevoegd om inzicht te verkrijgen in de installatiemogelijkheden binnen dit gebied.

Ook in het landelijke gebied, bijvoorbeeld ter hoogte van dijkpaal 39, zijn er locaties waar de conusweerstand hoog is op een ondiep niveau. In een nadere fase zou een drukanalyse op basis van de meest maatgevende sondering per locatie moeten worden toegevoegd.

De sonderingen zijn in bijlage I toegevoegd.

Afbeelding 2.1 Indicatief geotechnisch lengteprofiel ter plaatse van de kruin van het dijklichaam - conusweerstand [ref. 5]



2.3 Uitvoering

De damwanden worden op druk geïnstalleerd met behulp van een silent piler. In de berekening is uitgegaan van een zwaar type silent piler met een maximale drukkracht van 150 ton (150 t) en een eigengewicht van 13,5 t. Er zijn ook lichtere silent pilers welke slechts een maximale drukkracht van 100 t aan kunnen. Omdat de damwand meerdere meters het zand in gaat is het op basis van expert judgement aanbevolen om een zwaar type silent piler toe te passen.

Damwanden kunnen gemakkelijker op diepte komen wanneer fluïdatie wordt toegepast. Echter is de daadwerkelijke afname van de conusweerstand als gevolg van fluïdatie onzeker. In de berekening is uitgegaan van een afname van de conusweerstand van 40 %, deze waarde is gekozen op basis van het onderzoek Waterschap rivierenland [ref. 4]. Echter laat dit onderzoek ook een zeer grote variatie zien in de afname van de conusweerstand die door fluïdatie bereikt kan worden.

2.4 Constructieve uitgangspunten

De predictie is gedaan voor damwanden van de volgende types met een staalkwaliteit van S355 GP:

- AZ 36-700;
- AZ 40-700.

2.5 Methode

De predictie methode is uitgevoerd volgens de CUR166 [ref. 2]. De slotwrijving wordt meestal aangehouden op 10 tot 20 kN/m. In de tool is uitgegaan van een gemiddelde waarde van 15 kN/m.

Op basis hiervan zijn de drie weerstandscomponenten bepaald, namelijk:

- puntweerstand;
- wandwrijving;
- slotwrijving.

Daarnaast is aan de hand van de gekozen installatie machine en het type damwand ook de maximaal uit te oefenen drukkracht bepaald.

De maximaal haalbare installatie diepte is de diepte voor waar de maximaal uit te oefenen drukkracht gelijk is aan de som van de drie weerstandscomponenten.

3 BEREKENINGSRESULTATEN

In deze notitie is een predictie gedaan met betrekking tot de haalbaarheid van het drukken van damwandplanken. De predictie is toegepast op de maatgevende sondering CPT00..00223186. Hierbij zijn 2 type planken getoetst ter plaatse van de maatgevende sondering. Een overzicht van het maximale installatie niveau per plank met of zonder fluïdatie is gegeven in tabel 3.1. In bijlage II zijn de gedetailleerde berekeningsresultaten weergegeven.

Er is gekozen om een fluïdatie reductie van maximaal 40 % toe te passen. Op basis van een onderzoek naar fluïdatie is dit percentage aangenomen als maximale reductie van de conusweerstand.

Tabel 3.1 Samenvatting resultaten schadevrij installatie niveau voor de maatgevende sondering

Type [-]	Fluïdatie qc reductie [%]	Installatie niveau [m + NAP]
AZ 36-700	0	+ 1,4
AZ 36-700	40	- 0,3
AZ 40-700	0	+ 1,4
AZ 40-700	40	- 0,3

Daarnaast is er ook nog een berekening uitgevoerd op een **representatieve** sondering 182266 voor dijkpaal 26 tot 50. Deze aanvullende analyse is toegevoegd om inzicht te verkrijgen of installatie binnen het gebied tussen de dijkpalen 26 tot 50 mogelijk is middels drukken. In bijlage III zijn de gedetailleerde berekeningsresultaten weergegeven.

Tabel 3.2 Samenvatting resultaten schadevrij installatie niveau voor de representatieve sondering dijkpaal 26 - 50

Type [-]	Fluïdatie qc reductie [%]	Installatie niveau [m + NAP]
AZ 36-700	0	- 5,0

4 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

In deze notitie is het maximale schadevrije installatieniveau bepaald voor een maatgevende sondering met behulp van een silent piler met een drukkracht van 150 ton. Daarnaast is ook gekeken naar een representatieve sondering voor het gebied tussen dijkpaal 26-50.

Door toepassing van fluidatie verlaag je de conusweerstand en dus de sterkte en de stijfheid van de grondlaag. Hierdoor kunnen de damwanden makkelijker op diepte komen. Echter zit er een onzekerheid in de daadwerkelijke afname van de conusweerstand. Bovenstaande resultaten in hoofdstuk 0 laten zien dat een reductie van 40 % resulteert in een maximaal schadevrij installatie niveau tot NAP -0,3 m voor de maatgevende sondering. Dit niveau ligt boven het geplande installatieniveau, wat betekent dat de damwand niet drukkend geïnstalleerd kan worden. Het is onzeker of deze 40 % afname ook daadwerkelijk behaald kan worden omdat de mate van reductie van de conusweerstand zeer variabel is. Daarnaast zorgt fluidatie voor een reductie van de sterkte en de stijfheid van de grond. Volgens de PPL dient er met een reductie van 50 % van de stijfheid en interface sterkte gerekend te worden. Het benodigde puntniveau van de constructie zal hierdoor dieper komen te liggen, wat weer invloed heeft op de inbrengbaarheid.

De gestuwde afzettingen beginnen op een dieper niveau ter plaatse van dijkpaal 26 tot 50. Hierdoor is het binnen dit deel van het projectgebied makkelijker om de damwanden op diepte te krijgen. Dit is aangetoond met een aanvullende berekening op basis van een **representatieve** sondering uit dit gebied. Tussen deze dijkpalen kunnen de damwanden dus mogelijk wel drukkend geïnstalleerd worden. Echter is de bodemopbouw binnen dit deel ook variabel waardoor er per locatie in detail naar de maatgevende grondopbouw gekeken moet worden.

Tussen dijkpaal 0 tot 26 wordt installatie middels drukken sterk afgeraden omdat de kans groot is dat de damwanden niet tot een diepte van NAP -3 m komen. Voor het westelijke deel tussen dijkpaal 26 tot dijkpaal 50 kan installeren op druk wel een optie zijn, maar een nadere beschouwing op basis van de maatgevende sondering voor elke afzonderlijke locatie is noodzakelijk.

Wanneer blijkt dat installatie van damwanden niet trillend of drukkend mogelijk is, wordt aanvullend onderzoek naar overige trillingsvrije grondstabiliserende technieken zoals Mixed-in-Place (MIP) of schroefpalen aanbevolen.

5 REFERENTIES

- 1 NEN-EN 9997-1+C2 (nl) Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels, d.d. november 2017.
- 2 CUR166 Damwandconstructies, 6^e herziene druk, deel 1, d.d. juli 2012.
- 3 Witteveen+Bos (2024). Trillingsanalyse Grebbedijk.
- 4 Waterschap Rivierenland (2021). Praktijkproef onderzoek effecten van fluideren op conusweerstand Vianen Hazelaarplein, d.d. 21 juni 2021.
- 5 Witteveen+Bos (2023). Planuitwerking gebiedsontwikkeling Grebbedijk, Geotechnisch interpretatierapport - fase 2, 124281-6.2/23-017.295, d.d. 30 oktober 2023.



BIJLAGE: MAATGEVENDE EN REPRESENTATIEVE SONDERING

Soil investigation

[CPT #893068] - CPT..0182266

[CPT](#) [BRO](#) [see on map](#) [download](#)

Metadata of this investigation.

Coordinates 170752.0, 440200.3 [crs: RD]
Surface level [m + NAP] 7.640
Reported class ISO22476D1
Investigation date March 16, 2022

[Nearby investigations](#)

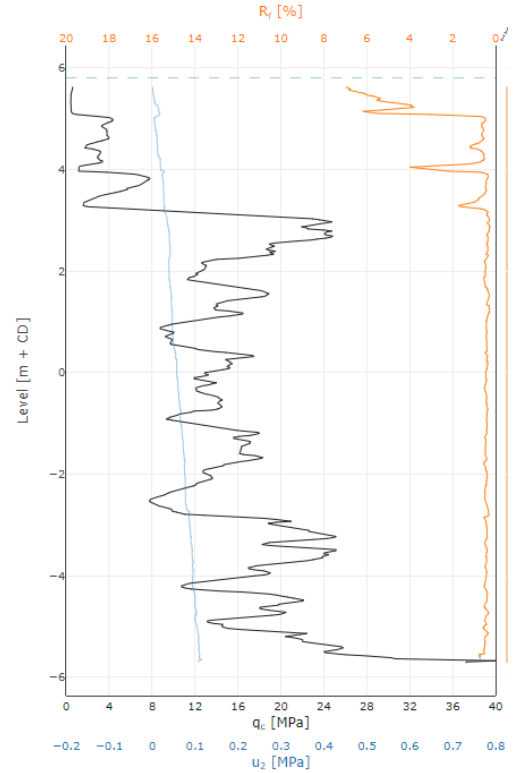
Settings

Classification method: R2010-ORG-NL
 Use this classification method

Min layer thickness [m]: 0.1
 Set the minimum layer thickness

Phreatic level [m+CD]: Phreatic level [m+CD]
 Override phreatic level, leave empty to auto determine

Qc;max [MPa]: 40 MPa
 Default: 40 MPa



Soil investigation

[CPT #944991] - CPT..0223186

[CPT](#) [BRO](#) [see on map](#) [download](#)

Metadata of this investigation.

Coordinates 174356.0, 441792.0 [crs: RD]
Surface level [m + NAP] 12.630
Reported class ISO22476D1
Investigation date Oct. 26, 2016

[Nearby investigations](#)

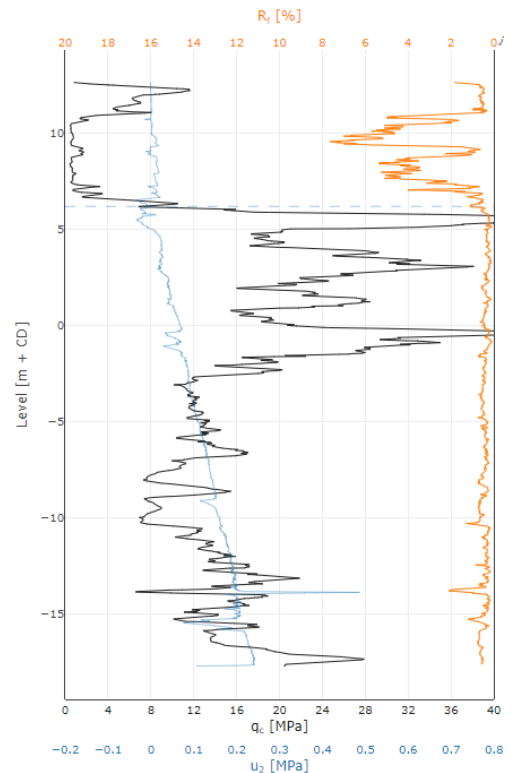
Settings

Classification method: R2010-ORG-NL
 Use this classification method

Min layer thickness [m]: 0.1
 Set the minimum layer thickness

Phreatic level [m+CD]: Phreatic level [m+CD]
 Override phreatic level, leave empty to auto determine

Qc;max [MPa]: 40 MPa
 Default: 40 MPa





BIJLAGE: DRUKPREDICTIE BEREKENINGSRESULTAAT MAATGEVEND

Verification of Sheet Pile Wall Pressing (CUR 166)

1. Upload GEF file

CPT [-]

Buckling UC [-]

Machine type [-]

2. Select sheet pile profile

Pile length [m]

Reduction qc [%]
(auger/fluidation)

Interlock friction [kN/m]

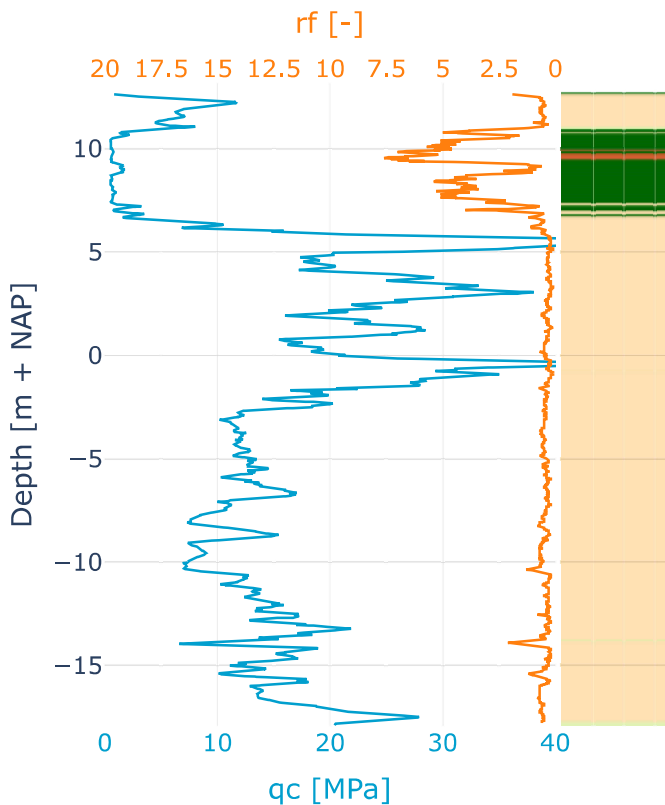
3. Installation machine properties

Net machine weight [tons]

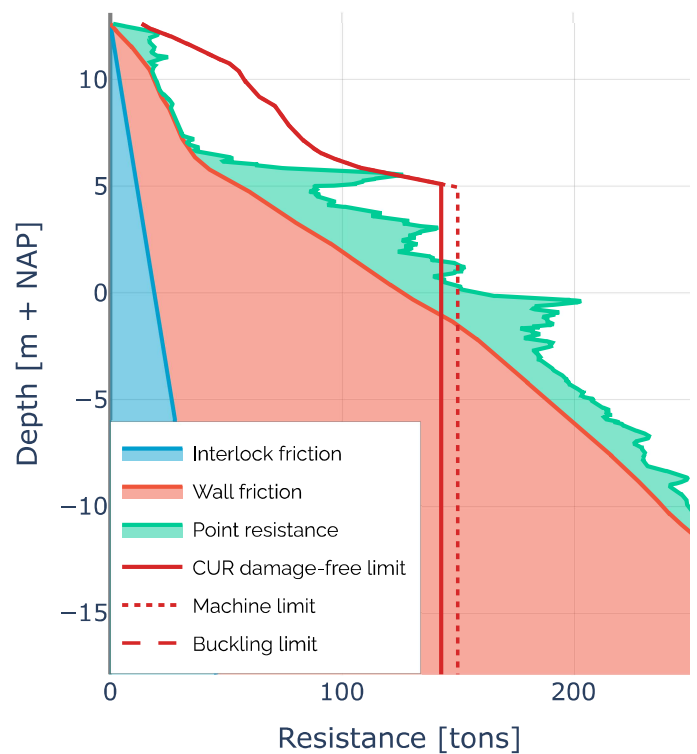
Max jack force [tons]

Number of clamped piles

Cone resistance



Stacked resistance



Verification of Sheet Pile Wall Pressing (CUR 166)

1. Upload GEF file

CPT [-]

Buckling UC [-]

Machine type [-]

2. Select sheet pile profile

Pile length [m]

Reduction qc [%] (auger/fluidation)

Interlock friction [kN/m]

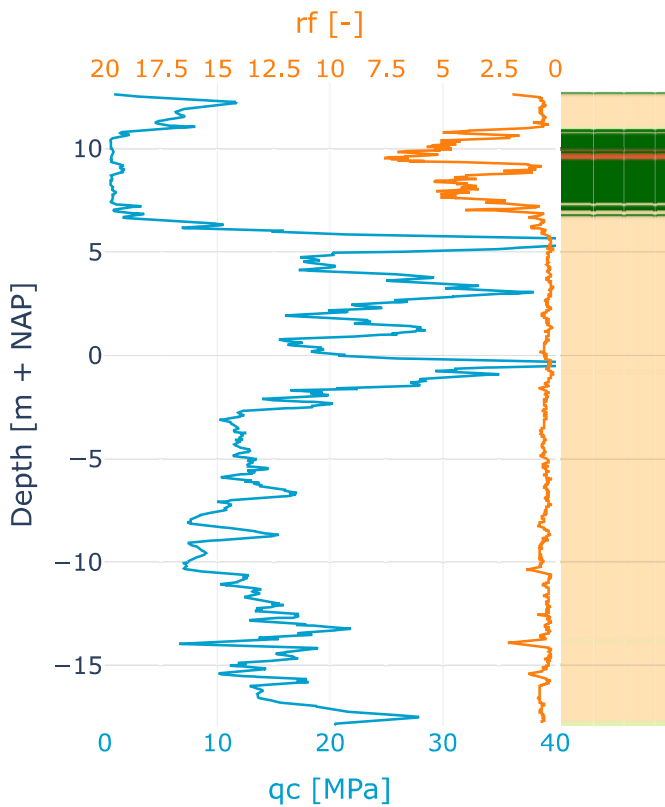
3. Installation machine properties

Net machine weight [tons]

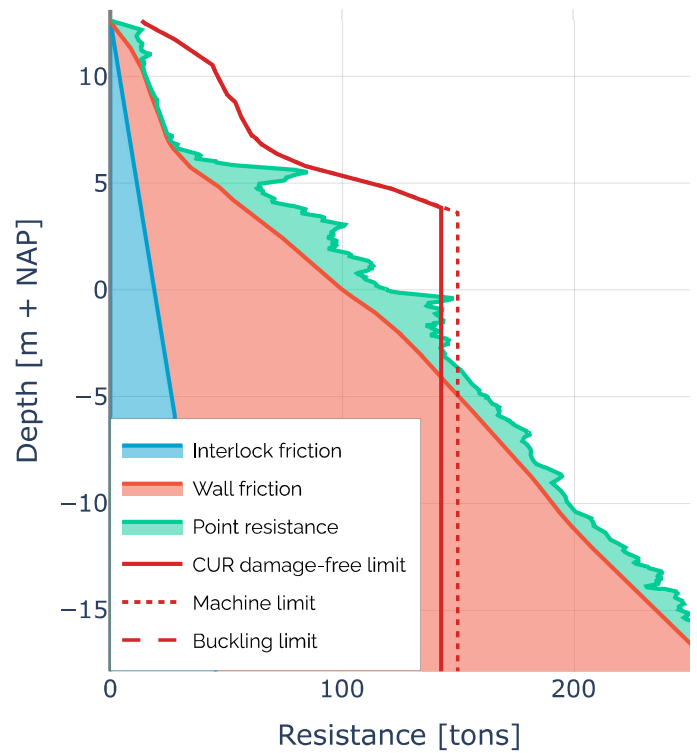
Max jack force [tons]

Number of clamped piles

Cone resistance



Stacked resistance



Verification of Sheet Pile Wall Pressing (CUR 166)

1. Upload GEF file

CPT [-]

Buckling UC [-]

Machine type [-]

2. Select sheet pile profile

Pile length [m]

Reduction qc [%]
(auger/fluidation)

Interlock friction [kN/m]

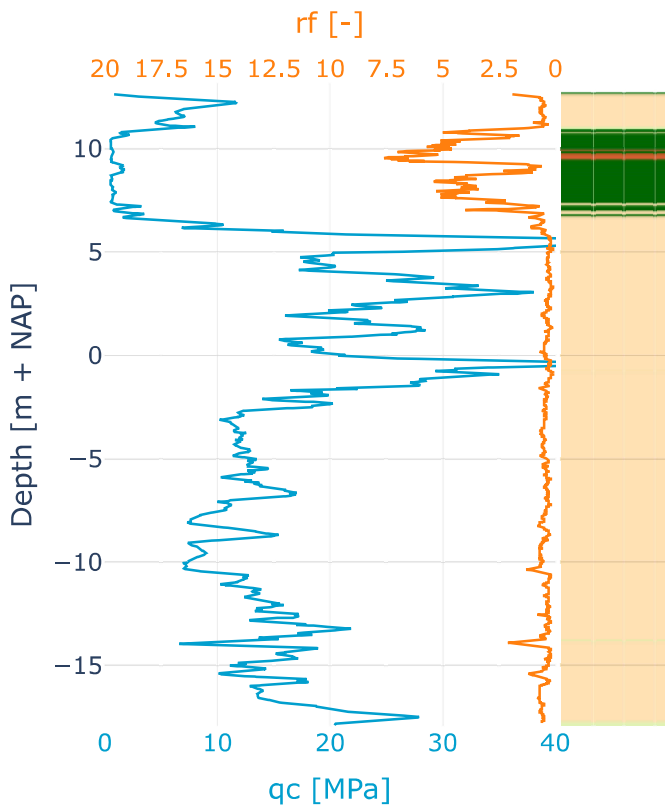
3. Installation machine properties

Net machine weight [tons]

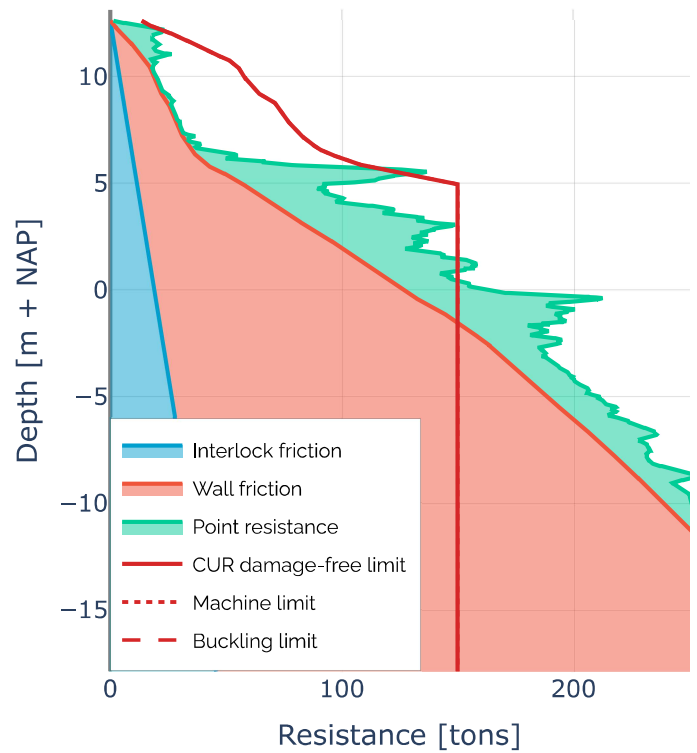
Max jack force [tons]

Number of clamped piles

Cone resistance



Stacked resistance



Verification of Sheet Pile Wall Pressing (CUR 166)

1. Upload GEF file

CPT [-]

Buckling UC [-]

Machine type [-]

2. Select sheet pile profile

Pile length [m]

Reduction qc [%]
(auger/fluidation)

Interlock friction [kN/m]

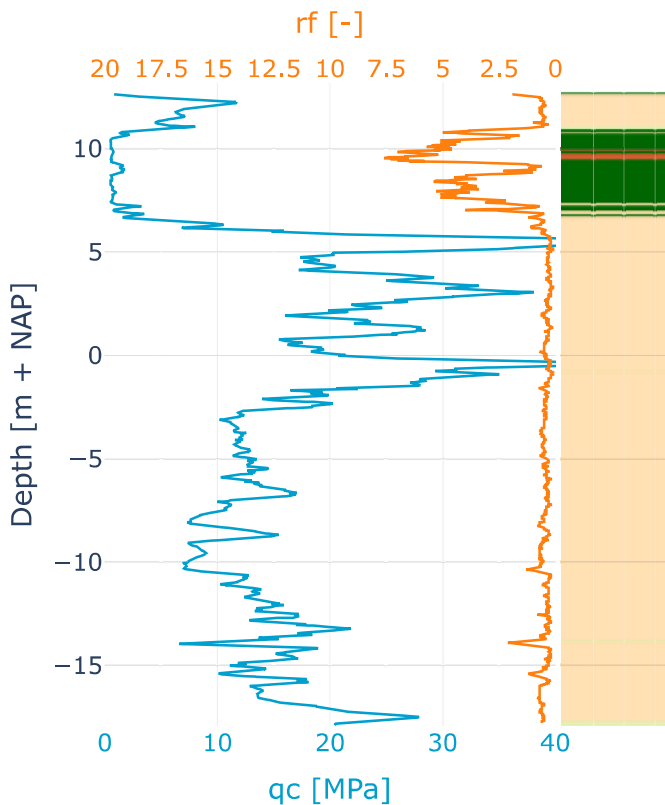
3. Installation machine properties

Net machine weight [tons]

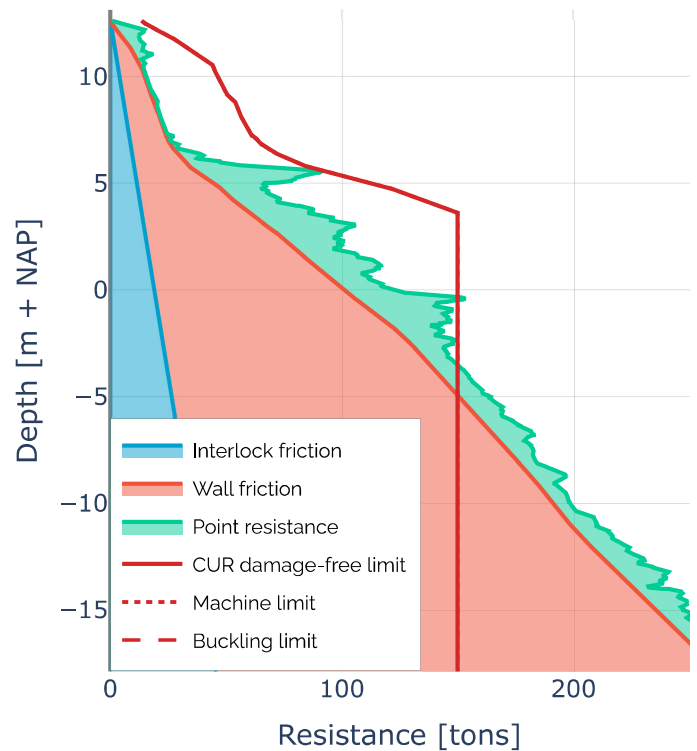
Max jack force [tons]

Number of clamped piles

Cone resistance



Stacked resistance





BIJLAGE: DRUKPREDICTIE BEREKENINGSRESULTAAT DIJKPAAL 26-50

Verification of Sheet Pile Wall Pressing (CUR 166)

1. Upload GEF file

CPT [-] 0000182266_IMBRO.gef

Buckling UC [-] 0

Machine type [-] Silent Piler

2. Select sheet pile profile

AZ 36-700

S355 GP

Pile length [m]

11

Reduction qc [%]
(auger/fluidation)

0

Interlock friction [kN/m]

15

3. Installation machine properties

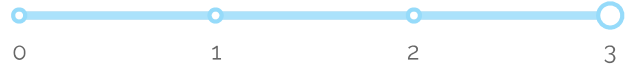
Net machine weight [tons]

13.5

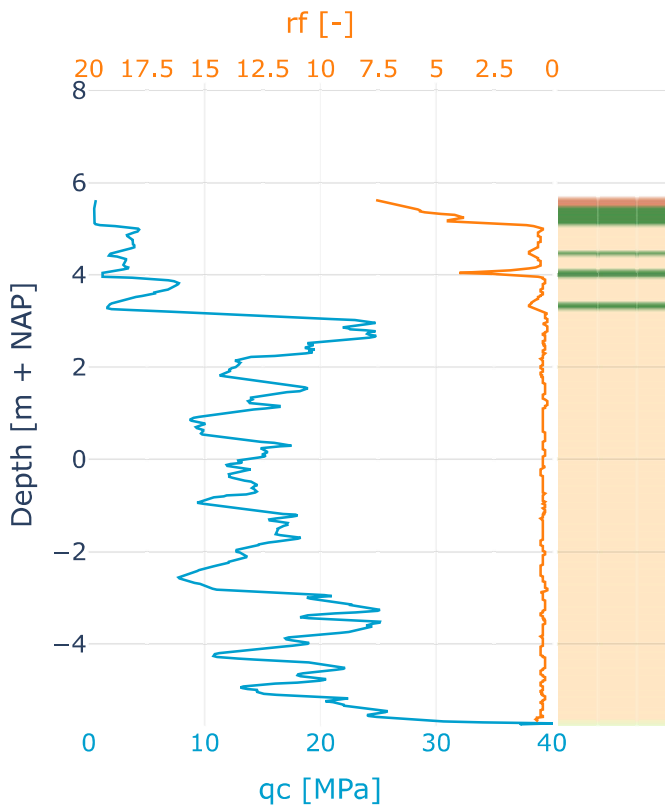
Max jack force [tons]

150

Number of clamped piles



Cone resistance



Stacked resistance

