

RAPPORT

Derde windturbine op deponie Sortiva te Alkmaar

Advies voorbelasting ter beperking van scheefstand

Klant: Sortiva B.V.

Referentie: BI1738-RHD-NL-WM-RP-GT-0003

Status: Definitief/3

Datum: 17 januari 2024

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Water & Maritime

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Derde windturbine op deponie Sortiva te Alkmaar

Sub titel: Advies voorbelasting ter beperking van scheefstand
Referentie: BI1738-RHD-NL-WM-RP-GT-0003
Uw kenmerk Sortiva/20230403.RHDHV/GPG
Status: Definitief/3
Datum: 17 januari 2024
Projectnaam: Windturbine Sortiva
Projectnummer: BI1738
Auteur(s): Jurgen Cools

Opgesteld door: Jurgen Cools

Gecontroleerd door: Ilse Hergarden

Datum: 13/12/2023

Goedgekeurd door: Felix de Haas

Datum: 13/12/2023

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Referenties	2
2.1	Projectspecifieke documenten	2
2.2	Normen en richtlijnen	2
3	Projectomschrijving	3
4	Uitgangspunten en randvoorwaarden	4
4.1	Terreinhoogte	4
4.2	Eigenschappen en hoogteligging stortzool	4
4.3	Opbouw deponie en ondergrond	5
4.4	Materiaaleigenschappen deponie en ondergrond	7
4.5	Materiaaleigenschappen voorbelasting	7
4.6	Grondwaterstand	7
4.7	Fasering ophoging stortlichaam en voorbelasting	7
5	Geotechnische zettingsanalyse	10
5.1	Algemeen	10
5.2	Voorspelling zakking stortzool	10
5.3	Voorspelling zakking stortlichaam door voorbelasting	12
5.4	Voorspelling zakking fundering	13
6	Advies en specificatie voorbelasting	14
6.1	Advies voorbelasting	14
6.2	Specificatie voorbelasting	14
6.3	Specificatie monitoring	15
7	Conclusies en aanbevelingen	17
7.1	Conclusies	17
7.2	Aanbevelingen	17

Tabellen

Tabel 4-1: laagopbouw deponie	6
Tabel 4-2: laagopbouw ondergrond	7
Tabel 4-3: eigenschappen grond- en stortmateriaal	8
Tabel 4-4: fasering opbouw stortlichaam	9

Figuren

Figuur 4-1: hoogteligging percolaatleiding 1014	4
Figuur 4-2: hoogteligging percolaatleiding 1015	5
Figuur 5-1: Plaxis model	10
Figuur 5-2: tijd-zakkingsverloop voor de stortzool	11
Figuur 5-3: tijd-zakkingsverloop van de stortzool bij gefaseerde voorbelasting tot 3 m hoogte	12
Figuur 5-4: tijd-zettingsverloop van het stortlichaam door voorbelasting	12
Figuur 6-1: afmetingen voorbelasting	14
Figuur 6-2: positie zakbaken	15

1 Inleiding

In opdracht van Sortiva B.V. (Sortiva) is door Royal HaskoningDHV (RHDHV) een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd voor het plaatsten van een windturbine type Enercon E-82 op de deponie te Alkmaar. Door middel van geofysisch onderzoek zijn de geotechnische opbouw en materiaaleigenschappen van het stortlichaam bepaald. Op basis van het onderzoek en analyse van de draagkracht en vervormingen is geconcludeerd dat een fundering op staal haalbaar is, mits maatregelen worden getroffen om excessieve zetting in het stortlichaam te voorkomen of te compenseren. Als preventieve maatregel is geadviseerd het stortlichaam voor te belasten met menggranulaat. Door het voorbelasten worden de stijfheid en sterkte van het stortlichaam verhoogd, waardoor na plaatsing van de turbine minder zetting zal optreden. Daarnaast wordt door het monitoren van de zettingen tijdens de voorbelasting meer zekerheid verkregen over de samendrukkingseigenschappen van het stortmateriaal.

Sortiva heeft aangegeven voorbereidingen te willen treffen voor het voorbelasten van de deponie. Voorwaarde voor het toepassen van een voorbelasting is dat geen noemenswaardige zakking mag optreden van de stortzool, die dient als scheiding met de onderafdeling van de deponie en met de drainagelaag waarin percolaatleidingen met onderliggende HDPE-folie van 2 mm en 100 mm Trisoplast® (combinatie-afdeling) zijn opgenomen.

Sortiva heeft RHDHV gevraagd geotechnische zettingsberekeningen uit te voeren om te bepalen welke zetting de stortzool ondervindt als gevolg van de voorbelasting en de fundering van de windturbine.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van de geotechnische zettingsberekeningen. Daarnaast is een specificatie opgesteld voor de uitvoering van de voorbelasting en monitoring van de zettingen.

2 Referenties

2.1 Projectspecifieke documenten

- [REF1] RHDHV, Haalbaarheid derde windturbine deponie Sortiva te Alkmaar, Geotechnisch interpretatierapport. Referentie BI1738-RHD-WM-RM-RP-GT-0001, Definitief/2.0. 6 oktober 2022
- [REF2] RHDHV, Tweede fase haalbaarheid derde windturbine E-82 op deponie Sortiva te Alkmaar, Conceptueel geotechnisch en constructief funderingsontwerp. Kenmerk BI1738-RHD-WM-RM-RP-GT-0002, Definitief/4. 13 december 2023
- [REF3] Inventec, Meting hoogteligging percolaatleidingen 17 en 18 mei 2022. Projectnummer 220632000, Documentnummer 220632501, 24 juni 2022.
- [REF4] Inpijn Blokpoel, WP Sortiva (W-04467 E70/E4) aan de Boekelerdijk te Alkmaar. Resultaten grondonderzoek, Funderingsadvies. Opdrachtnummer 02P000326, Documentnummer 02P000326-adv-02. 6 juli 2011.
- [REF5] Wiertsema & Partners, Resultaten grondonderzoek ten behoeve van de nieuwbouw van het kantoor GP Groot en Sortiva te Alkmaar. Opdrachtnummer VN-54556-1, 13 september 2011.
- [REF6] Sortiva, Tekening Percolaatdrainage. Tekeningnummer 2649Z100-RE-040, 02-01-2023.
- [REF7] Sortiva, Werkinstructie hoogtemeting percolaatdrainage met nieuwe hoogte 1013, 1014 en 1015. Tekeningnummer 2649Z100-RE-040, 2 juni 2023.
- [REF8] Wiertsema & partners, Geotechnisch onderzoek aan de Boekelerdijk te Alkmaar. Rapport VN-75883-1, 20 mei 2020.
- [REF9] Wiertsema & partners, Geotechnisch onderzoek plaatsen diepe peilfilters herijking grondwatermonitorsnetwerk deponie Sortiva te Alkmaar. Rapport VN-79679-1, 3 februari 2022.
- [REF10] SWECO, Sortiva Deponie BV, Herijking grondwatermonitoring. Kenmerk NL22-648800269-37947, versie D03, 1 december 2023.

2.2 Normen en richtlijnen

- [REF11] CUR2003-7 Bepaling Geotechnische parameters
- [REF12] CUR 162 Construeren met grond;
- [REF13] NEN 9997-1+C2:2017 Geotechnisch ontwerp van constructies.

3 Projectomschrijving

Huidige situatie

De deponie waarop de derde windturbine is geprojecteerd is sinds 1976 in eigendom van Sortiva. Vanaf 1976 is voornamelijk residu bouw- en sloopafval gestort. Naderhand is het stortlichaam ter plaatse ontgraven en zijn de vrijkomende nuttig toe te passen afvalstoffen gesorteerd. Na de ontgraving is in 1997 een bodembeschermende onderafdichting (een combinatieafdichting) aangebracht. De huidige hoogte van het stortlichaam bedraagt NAP +26,8 m.

Toekomstige situatie

De nieuwe windturbine van het type Enercon E-82 is voorzien op het hoogste deel van het stortlichaam met de bovenzijde van de deklaag op NAP +27,0 m. De fundering van de windturbine zal verdiept worden aangelegd met de onderkant op NAP +23,2 m, ofwel op 3,8 m diepte (3,6 m ten opzichte van de huidige hoogte). De diameter van de fundering is in de haalbaarheidsstudie [REF2] vastgesteld op 19,4 m.

De voorbelasting zal met menggranulaat worden uitgevoerd ter plaatse van de fundering en mogelijk ook de kraanopstelplaats (terreininrichting dient nog door Enercon te worden bepaald). De grootte en het verloop van vervormingen in het stortlichaam zullen worden gemeten met behulp van zakbaken. De grootte en het verloop van de zettingen van de ondergrond worden door middel van LPMH-metingen door Inventec bepaald.

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

4.1 Terreinhoogte

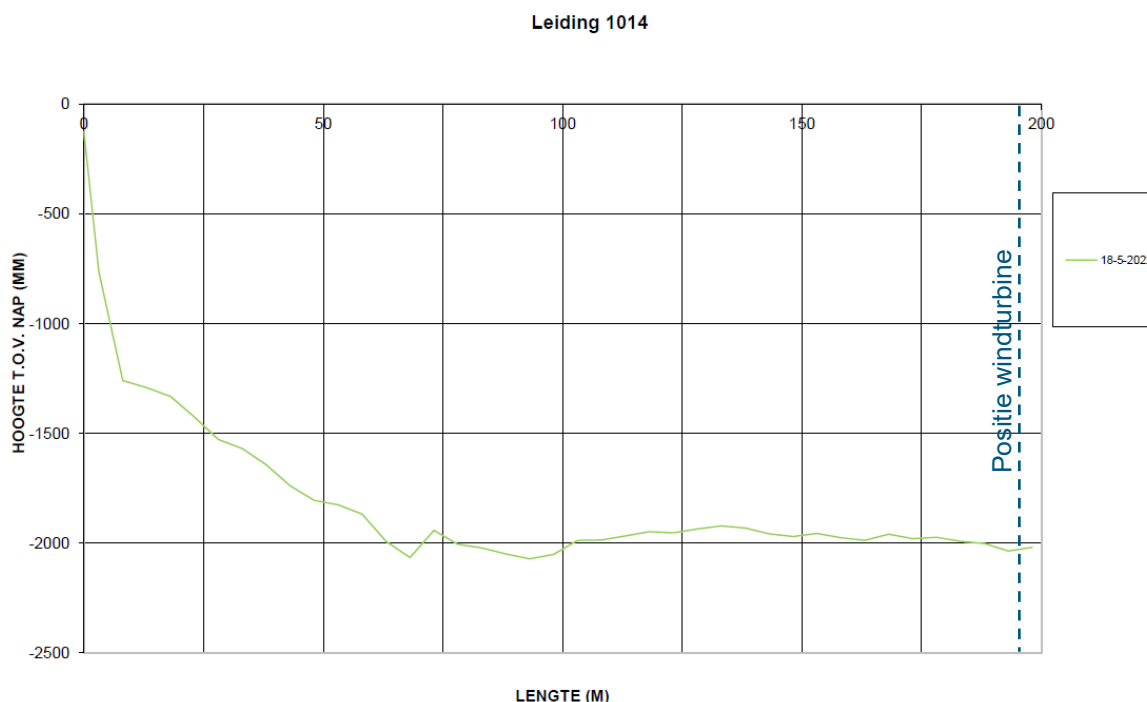
De huidige hoogte van het terrein bedraagt NAP +26,8 m. Aan de westelijke zijde is op ongeveer 50 m afstand vanuit het hart van de windturbine een talud met een helling 1:3 gelegen tot het niveau van NAP +18,0 m. Aan de zuidelijke zijde is op 70 m een vergelijkbare helling tot NAP -0,30 m gelegen. De oorspronkelijke maaiveldhoogte in de Boekelermeerpolder bedroeg NAP -1,3 à -1,5 m (www.topotijdreis.nl). Na aankoop van het terrein omstreeks 1979 is het stortlichaam gefaseerd opgehoogd, zie paragraaf 4.7.

4.2 Eigenschappen en hoogteligging stortzool

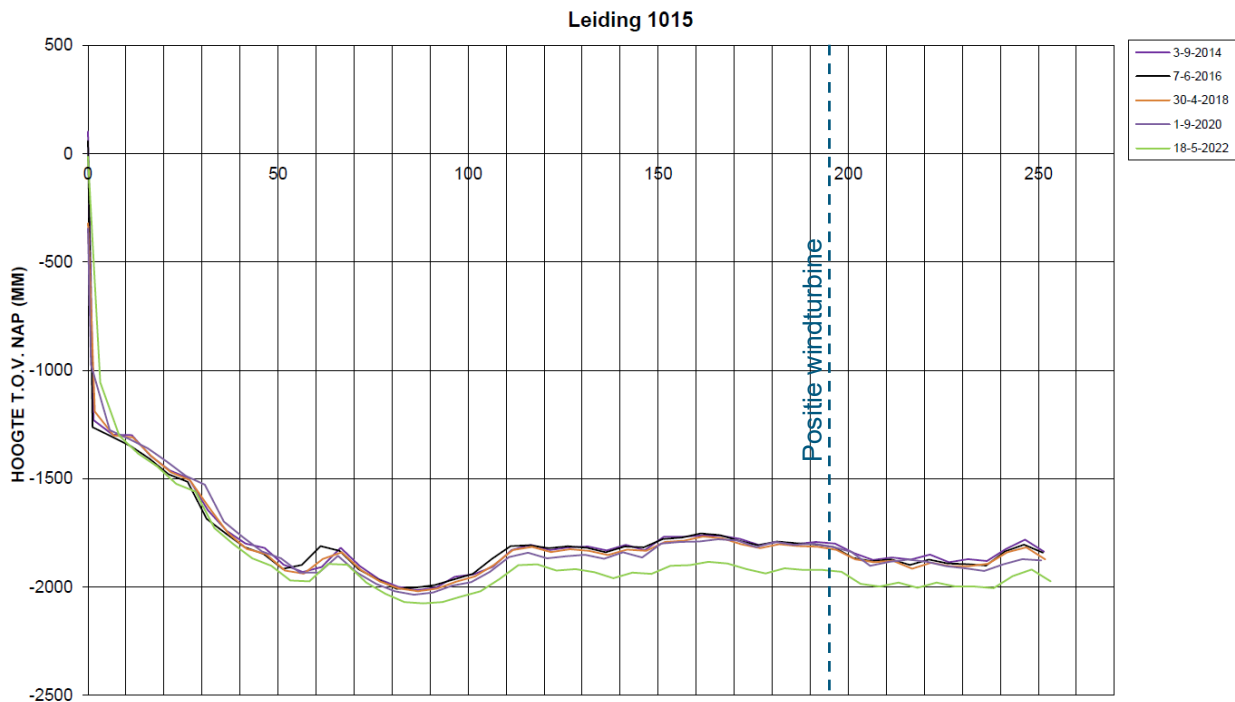
Omstreeks 1997 is in het kader van een sanering van het oorspronkelijke stortlichaam een onderafdichting aangebracht. Op de onderafdichting is eerder gestort materiaal teruggebracht, nadat vrijkomende nuttig toe te passen afvalstoffen zijn gesorteerd en opgewerkt.

Sinds 2008 zijn door Inventec met het zogenaamde LPMH-meetsysteem de hoogteligging (lengteprofiel) van 13 percolaatleidingen bepaald op de stortlocatie. Het lengte-meetinterval tussen de opeenvolgende metingen bedroeg steeds 5 m. Voor sommige leidingen zijn elke twee jaar herhalingsmetingen uitgevoerd, waardoor inzicht is verkregen in de tussentijdse zetting.

De windturbine is voorzien boven percolaatleidingen 1014 en 1015. Het verloop van de hoogte van de leidingen is weergegeven in de Figuren 4-1 en 4-2. In mei 2022 is de laatste meting verricht, waarbij de hoogte is vastgesteld op NAP -1,9 à NAP -2,1 m. Boven de leidingen is 0,5 m drainagezand aangebracht met daarop de stortzool. De hoogte van de stortzool bedraagt dus NAP -1,4 à -1,6 m.



Figuur 4-1: hoogteligging percolaatleiding 1014



Figuur 4-2: hoogteligging percolaatleiding 1015

Bij leiding 1015 is een verschil in hoogteligging gemeten tussen 2020 en 2022. Op 5 juni 2023 is door Inventec een aanvullende controlemeting verricht, waarbij dit verschil is bevestigd. De zakking van de percolaatleiding in deze periode is het gevolg van de tijdelijke en plaatselijke ophoging van ongeveer NAP +21,0 m naar NAP +29,0 m (zie ook paragraaf 4.7). Als gevolg van deze ophoging heeft de stortzool een zakking ondergaan van ongeveer 0,10 m.

4.3 Opbouw deponie en ondergrond

Opbouw deponie

Voor de opbouw van de deponie wordt uitgegaan van de laagopbouw zoals vastgesteld met boringen B01/B02 in het interpretatierapport [REF1], zie Tabel 4-1. In deze boring zijn de laagste waarden gemeten van de seismische golfsnelheden, hetgeen duidt op relatief ongunstige materiaaleigenschappen. De boring is verricht tot het niveau NAP +5,9 m. Vanaf dit niveau tot de stortzool op ongeveer NAP -1,5 m is niet bekend wat voor materiaal aanwezig is. Aangenomen is dat het materiaal overeenkomt met bovenliggende laag van matig vast menggranulaat.

Tabel 4-1: laagopbouw deponie

Laag N°	Omschrijving ¹⁾	B01/B02		
		Bovenkant laag		Dikte
		[m]	[m NAP]	[m]
D1	Afdekgrond	0,0	+26,4	2,8
D2	Mengsel van hout, grond, zand en residuen	2,8	+23,6	3,3
D3	Residu, afgewisseld met zakken asbest	6,0	+20,4	6,9
D4	Menggranulaat, los	13,0	+13,4	5,6
D5	Menggranulaat, matig vast	18,5	+7,9	9,4
	Onderkant stortlichaam (niveau stortzool)	27,9	-1,5	

1) omschrijving op basis van notitie 'Geschiedenis deponie Sortiva' van P. Krom d.d. 11-05-2012.

Opbouw ondergrond

Geen grondonderzoek is beschikbaar ter plaatse van de boogde windturbine. Voor het afleiden van de oorspronkelijk bodemopbouw onder het stortlichaam is gebruik gemaakt van grondonderzoek ter plaatse van de bestaande windturbines [REF4], het hoofdgebouw [REF5] en twee diepe boringen ter plaatse van het westelijk deel van het stortlichaam [REF8] en [REF9]). Uit de onderzoeken blijkt dat lokaal samendrukbare klei- en veenlagen worden aangetroffen tot ongeveer NAP -5 m. Vermoedelijk zijn deze grondlagen vooral aanwezig onder het oostelijk deel van het stortlichaam, zoals omschreven in het rapport van Sweco Nederland B.V. voor de herijking van de grondwatermonitoring [REF10]. Ter plaatse van de bestaande windturbines zijn de klei- en veenlagen niet aangetroffen, evenmin in de diepe boringen ter plaatse van de westelijke zijde van het stortlichaam. De overgang van het slappe lagenpakket naar een zandondergrond is gelegen onder het stortlichaam. SWECO vermoedt dat de overgang samenvalt met de ligging van een voormalige dijk tussen de historische Boekelerpolder in het oosten en de Boekelermeerpolder in het westen. Uit de hoogtemeting van de percolaatleidingen (Figuur 4-2) is de overgang echter niet duidelijk zichtbaar.

In onderhavig advies wordt uitgegaan van een bodemopbouw met aanwezigheid van klei en veen in de bovengrond. De aangehouden bodemopbouw is weergegeven in Tabel 4-2.

Uit de geotechnische analyse in paragraaf 5.2 blijkt dat met de aangehouden bodemopbouw de modelberekeningen redelijk overeenkomen met de gemeten zakkingen van de percolaatleidingen.

Tabel 4-2: laagopbouw ondergrond

Laag N°	Omschrijving	Bovenkant laag (oorspronkelijk voor aanleg deponie)	Dikte
		[m NAP]	[m]
O1	ZAND, vast gepakt (boven grondwaterstand)	-1,5	0,5
O2	ZAND, matig vast gepakt	-2,0	1,7
O3	VEEN, matig	-3,7	0,5
O4	KLEI, matig	-4,2	0,7
O5	ZAND, los tot matig gepakt	-4,9	14,6
O6	ZAND met klei- en siltlagen	-19,5	3,0
O7	ZAND, vast	-22,5	7,0
O8	LEEM, zandig, vast	-29,5	4,5
O9	ZAND, vast	<-34	-

4.4 Materiaaleigenschappen deponie en ondergrond

Grondeigenschappen voor het stortmateriaal zijn overgenomen uit het geotechnisch interpretatierapport [REF1], aangevuld met waarden op basis van correlaties en standaard waarden uit van NEN9997-1 [REF13]. Een overzicht van de gehanteerde waarden is weergegeven in tabel 4-3.

4.5 Materiaaleigenschappen voorbelasting

De voorbelasting zal worden uitgevoerd met menggranulaat van Sortiva. Voor het los gestorte, droge volumieke gewicht van het materiaal wordt uitgegaan van 17 kN/m³.

4.6 Grondwaterstand

Grondwaterstand in het stortlichaam

Op basis van waarnemingen tijdens het grondonderzoek in 2022 wordt uitgegaan van een schijngrondwaterstand in het stortlichaam op ongeveer 13 m diepte, ofwel NAP +13,4 m (ten tijde van het grondonderzoek bedroeg de terreinhoogte NAP +26,8 m).

Grondwaterstand ondergrond

Voor de grondwaterstand in de ondergrond wordt op basis van eerder onderzoek [REF4] uitgegaan van NAP -2,0 m.

4.7 Fasering ophoging stortlichaam en voorbelasting

Op basis van de historie van het stortlichaam [REF1] en hoogtemetingen van de deponie is een gefaseerde aanleg van het stortlichaam aangenomen, zoals aangegeven in tabel 4-4.

Projectgerelateerd

Tabel 4-3: eigenschappen grond- en stortmateriaal

Parameter	Name	Afdegrond	Mengsel van hout, grond, zand en residuen	Residu, afgewisseld met zakken asbest	Menggranulaat, los-matig vast	Zand, vast	ZAND, matig vast	VEEN, matig	KLEI, zwak zandig, slap	ZAND, los tot matig	ZAND met klei- en siltlagen	ZAND, vast	LEEM, zandig, vast	Unit
General														
Material mode	Model	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Soft soil	Soft soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Soft soil	-
Type of material behaviour	Type	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Undrained (A)	Undrained (A)	Drained	Drained	Drained	Undrained (A)	-
Soil unit weight below phreatic level	γ_{unsat}	15	12	12	12	18	18	11	15	17	17	19	21	kN/m ³
Soil unit weight above phreatic level	γ_{sat}	15	12	12	12	20	20	11	15	19	19	21	21	kN/m ³
Initial void ratio	e_{initial}	1.43	1.12	0.88	0.74	0.5	0.5	2.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	-
Parameters														
Modified compression index	λ^*	-	-	-	-	-	-	0.15	0.05	-	-	-	0.015	-
Modified swelling index	κ^*	-	-	-	-	-	-	0.03	0.01	-	-	-	0.01	-
Secant stiffness in standard drained triaxial test	E_{50}^{ref}	12090	10596	9253	13600	76700	28800	-	-	27700	8600	66600	-	kN/m ²
Tangent stiffness for primary oedometer loading	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	9672	10596	9253	13600	76700	28800	-	-	27700	8600	66600	-	kN/m ²
Unloading/reloading stiffness	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	38689	31788	27759	40799	230100	86400	-	-	83100	25800	266400	-	kN/m ²
Power of stress-level dependency of stiffness	m	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	-	-	0.67	0.67	0.67	-	-
Cohesion (constant)	c_{ref}	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	2.5	1	0.2	0.2	0.2	0.2	kN/m ²
Friction angle	ϕ'	25	25	25	25	35	32.5	15	22.5	30	27	35		°
Dilatancy angle	ψ'	0	0	0	0	5	2.5	0	0	0	0	5		°
Poisson ratio	ν_{ur}/ν'	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	-
K_0 -value for normal consolidation	K_0^{nc}													-
Interface strength	-	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	-
Strength reduction factor inter	R_{inter}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
K0-determination	-	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	-
Over-consolidation ratio	OCR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Pre-overburden	POP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kN/m ²

Toelichting:

- Voor het grove stortmateriaal en zand is uitgegaan van het '**Hardening Soil**'-model. Dit is een geavanceerd model voor de simulatie van elastoplastisch grondgedrag. Het model gaat uit van onomkeerbare verdichting van grond onder druk (primaire compressie).
- Klei en veen zijn gemodelleerd met het '**Soft Soil**'-model. Dit model is geschikt om consolidatie van slappe grond, zoals normaal geconsolideerde klei en veen te modeleren. Het houdt geen rekening met kruip (secundaire compressie). Aangezien de herhalingsmetingen van de leiding op eenzelfde niveau liggen is kruip als verwaarloosbaar beschouwd.
- Voor de stijfheid bij ontlasten/herbelasten is voor alle materialen uitgegaan van de standaard verhouding: $E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 3 \cdot E_{50}^{\text{ref}}$
- Waarden voor de hoek van inwendige wrijving (ϕ') en cohesie (c') voor de ondergrond zijn afgeleid op basis van standaard waarden uit tabel 2.b van NEN9997-1 [REF13].
- Waarden voor lambda (λ^*) en kappa (κ^*) zijn gecorreleerd aan de standaard waarden uit tabel 2.b van NEN9997-1 [REF13] voor de samendrukkingsparameters C_c , C_s en e_{init} .

Tabel 4-4: fasering opbouw stortlichaam

Omschrijving fase	Begin [jaar]	Eind [jaar]		Begin [dagen]	Eind [dagen]
1976: storten tot NAP +3,5 m	0	1		0	365
1977-1997: consolidatie 20 jaar	1	21		365	7.665
1997-1998: ophogen tot NAP +14	21	22		7.665	8.030
1998-2005: consolidatie	22	29		8.030	10.585
2005-2009: ophoging tot NAP +20 m	29	33		10.585	12.045
2009-2012: ophoging tot NAP +21 m	33	36		12.045	13.140
Dec.'20-Juni '21: ophoging tot NAP +26 m	44	44.5		16.060	16.243
Juni '21-Juni '22: ophoging tot NAP +29 m (plaatselijk en tijdelijk)	44.5	45.5		16.243	16.608
Juli 2022: ontgraven tot NAP +27 m	45.5			16.608	

Uit de historie van het stortlichaam blijkt dat in het verleden al ongeveer 2 m voorbelasting in de vorm van plaatselijke en tijdelijke overhoogte aanwezig is geweest. Peilingen duiden erop dat de maximale hoogte van het stortlichaam sterk varieert.

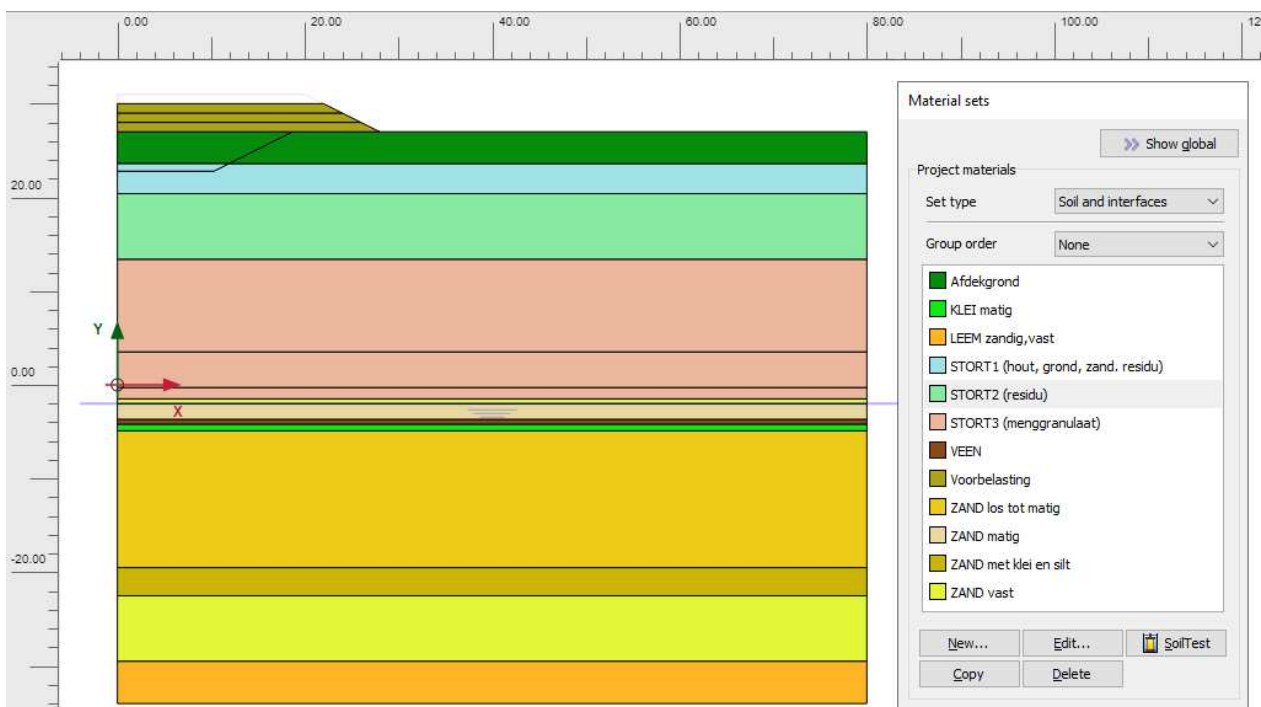
Voor de nieuwe voorbelasting is aangenomen dat de voorbelasting wordt aangebracht in lagen van 1 m dikte met een tussenperiode van 1 week. De vervormingen zijn berekend voor een voorbelasting met een maximale hoogte van 3 m.

5 Geotechnische zettingsanalyse

5.1 Algemeen

De zettingsanalyse is uitgevoerd met behulp van het eindige elementen programma Plaxis 2 D (Bentley software). Gekozen is voor het Plaxis-model om de belastinghistorie van het stortlichaam en het zettingsgedrag van het stortmateriaal mee te kunnen nemen in de berekening van de zakking.

Het grondmodel is weergegeven in Figuur 5-1.



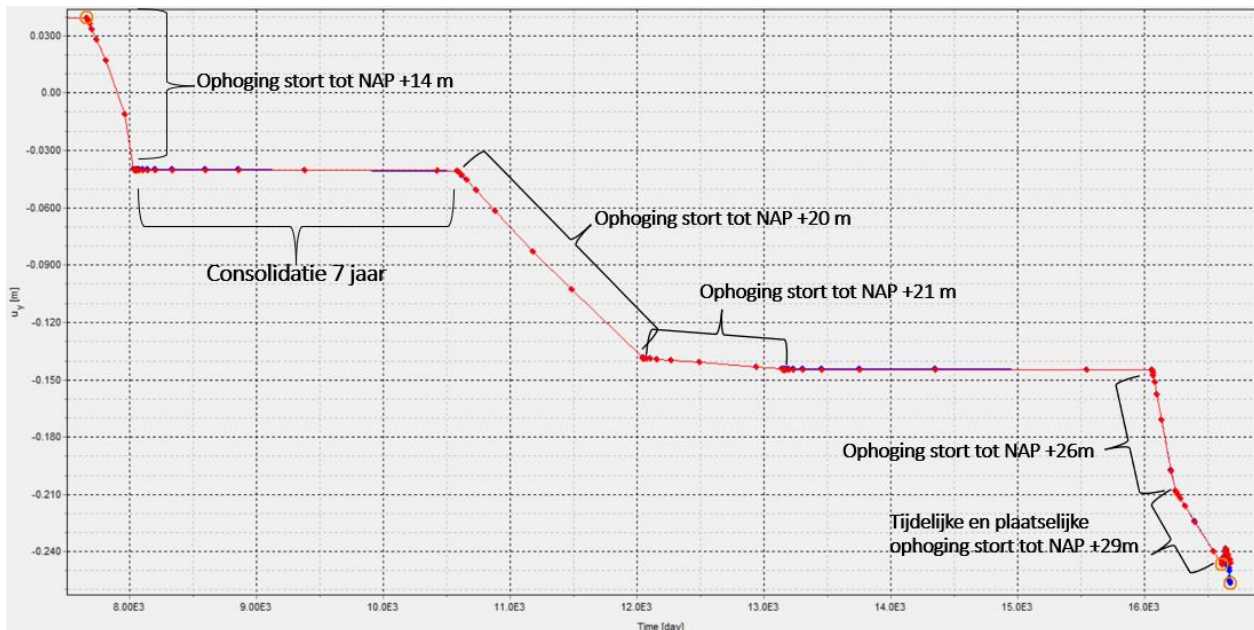
Figuur 5-1: Plaxis model

5.2 Voorspelling zakking stortzool

Historische zakking stortzool door aanleg deponie

Uit de berekening volgt dat vanaf de aanleg van de stortzool in 1997 ($t=7665$ dagen) tot aan de huidige situatie de stortzool met ongeveer 0,29 m is gezakt. Het verloop van de zakking in de tijd is weergegeven in Figuur 5-2 (relatieve zakking van +0,04 naar -0,25 m). Deze zakking is het gevolg van de samendrukking van de ondergrond.

De berekende zakking van de stortzool door ophoging bedraagt 0,10 m. Deze zakking komt redelijk overeen met de gemeten zettingen van de percolaatleiding.



Figuur 5-2: tijd-zakkingsverloop voor de stortzool

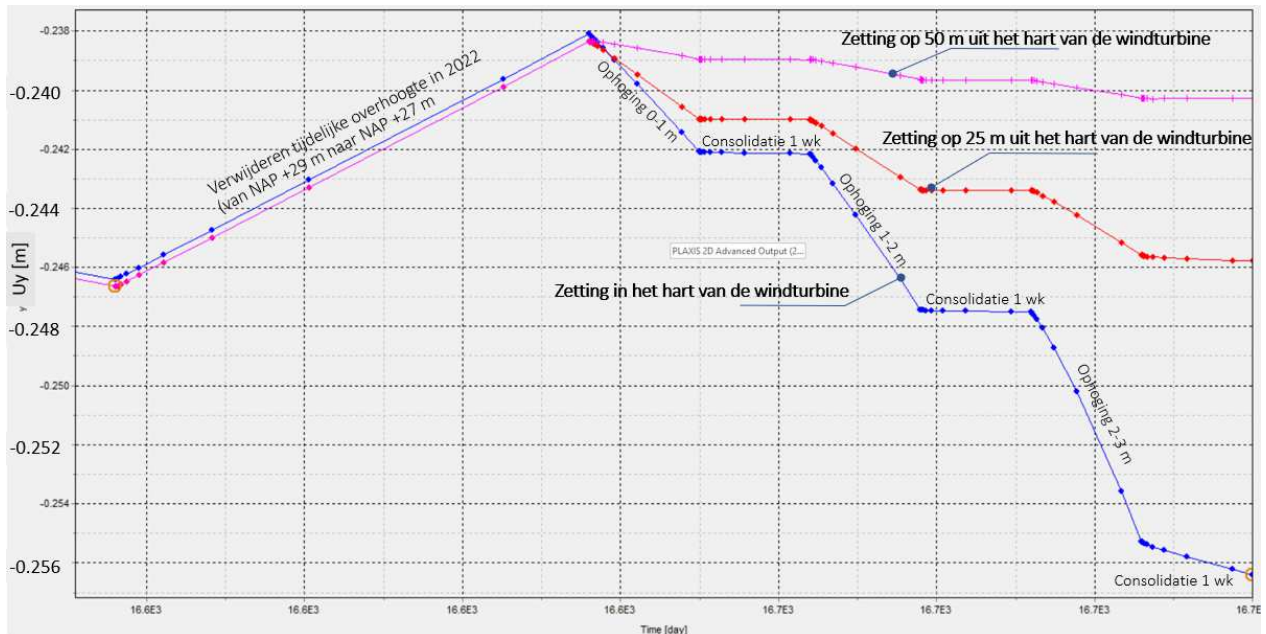
Zakking stortzool door voorbelasting

In Figuur 5-3 is het tijd-zettingsverloop weergegeven op het niveau van de stortzool als gevolg van de voorbelasting. De voorbelasting is hierbij aangebracht in drie ophoogslagen van elk 1 m met een tussenperiode van 7 dagen.

Zoals verwacht zal bij een voorbelasting tot 2 m de zetting ongeveer gelijk zijn aan de zetting, die al eerder is opgetreden in 2021-2022 door de plaatselijke en tijdelijke overhoogte. Het stortlichaam reageert relatief stijf op de herbelasting. De zetting van de 2 m voorbelasting bedraagt ongeveer 0,01 m. Bij de 1 m extra voorbelasting (tot NAP +30 m) wordt ongeveer 0,01 m extra zetting verwacht in het hart van de voorbelasting/windturbine.

Door spreiding van de belasting in het stortlichaam is de totale zetting onder de stortzool op 25 m afstand uit het hart van de turbine ongeveer 0,01 m en nihil op 50 m afstand. De zettingen op deze afstanden blijven binnen de al opgetreden zetting.

Of de leidingen en de afdichtingslagen deze geringe extra vervorming kunnen volgen zonder schade hangt af van de scheefstand en relatieve rotatie die de leidingen in het verleden al hebben ondergaan. Gezien de zeer geringe toename van slechts 0,02 m en het flauwe verloop van zettingen is de verwachting dat de zettingen opneembaar zijn.



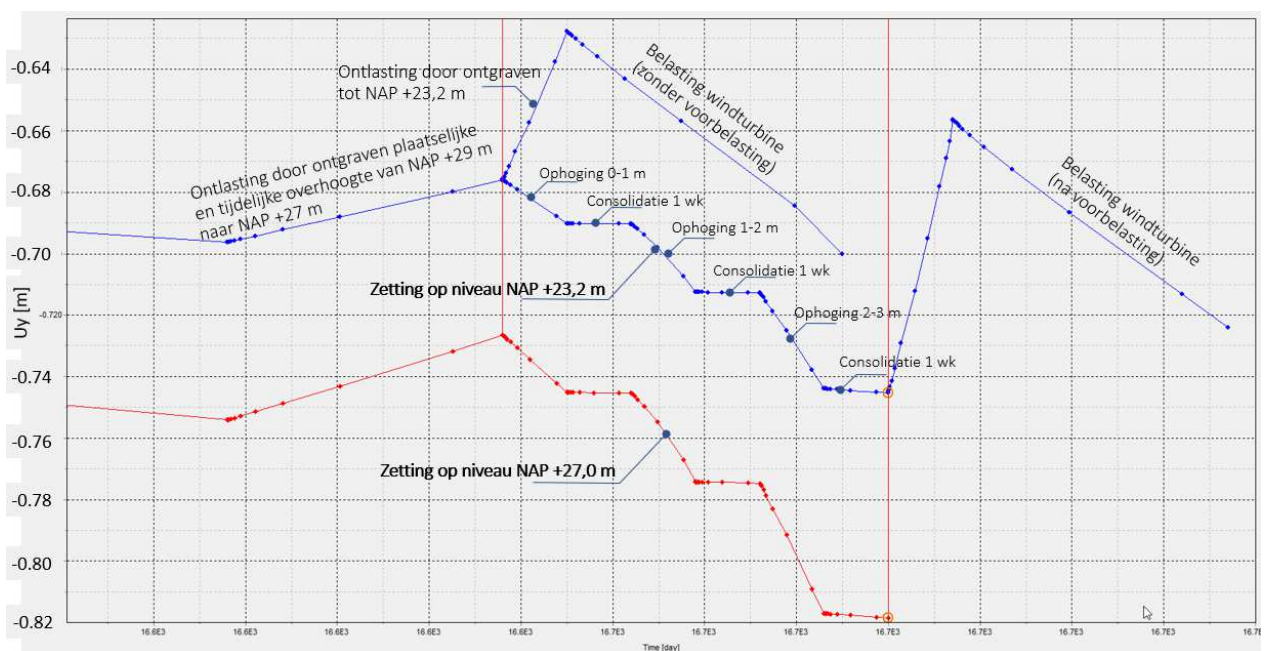
Figuur 5-3: tijd-zakkingsverloop van de stortzool bij gefaseerde voorbelasting tot 3 m hoogte

5.3 Voorspelling zakking stortlichaam door voorbelasting

De zakking van het stortlichaam (u_y) als gevolg van de 3 m voorbelasting tot NAP +30 m is bepaald in het hart van de windturbine op twee niveaus:

- Op het niveau NAP +27,0 m – bovenkant stortlichaam, en
- Op het niveau NAP +23,2 m – niveau onderkant windturbinefundering.

Het tijd-zettingsverloop is weergegeven in Figuur 5-4.



Figuur 5-4: tijd-zettingsverloop van het stortlichaam door voorbelasting

Uit Figuur 5-4 blijkt dat de bovenkant van het stortlichaam (NAP +27 m, rode getrapte lijn) ongeveer 0,09 m zetting zal ondergaan. Op het niveau van de onderkant fundering (NAP +23,2 m) is de te verwachten vervorming ongeveer 0,07 m (blauwe getrapte lijn).

5.4 Voorspelling zakking fundering

In Figuur 5-4 is eveneens aangegeven welke vervorming wordt verwacht door de permanent statische belasting van de fundering op het niveau NAP +23,2 m (onderkant fundering). In de figuur is te zien dat door ontgraving tot NAP +23,2 m ongeveer 0,05 m zwel optreedt. Dit is een opwaartse elastische vervorming door ontlasten van het stortmateriaal. Vervolgens wordt bij een funderingsbelasting van 92 kPa een zetting berekend van ongeveer 0,07 m, waarvan 0,05 m compensatie van de zwel en 0,02 m extra zetting. De zetting zal grotendeels gedurende de bouw al optreden.

Omdat het stortlichaam in het verleden al tijdelijk en plaatselijk met ongeveer 2 m is voorbelast is het aanbrengen van een voorbelasting van 3 m minder effectief dan vooraf gedacht. Toch is het door het variabele peil van het stortlichaam onzeker of de eerdere voorbelasting in de vorm van plaatselijke en tijdelijke overhoogte overal aanwezig was. Het risico op scheefstand is daardoor nog aanwezig. Geadviseerd wordt zekerheidshalve de locatie van de windturbine alsnog voor te belasten.

6 Advies en specificatie voorbelasting

6.1 Advies voorbelasting

Met Plaxis is in paragraaf 5.4 berekend dat de zetting door de permanente statische belasting van de windturbine ongeveer 0,07 m bedraagt. Een groot deel van deze vervorming, ongeveer 0,05 m, betreft zakking door herbelasting na ontgraven (compensatie van de zwel). De extra zetting van het stortlichaam is dan beperkt tot 0,02 m.

In het haalbaarheidsonderzoek [REF2] is berekend dat nog een extra vervorming van 0,05 m wordt verwacht door dynamische belastingen. In totaal bedraagt de voorspelde vervorming van het stortlichaam dan ongeveer 0,12 m.

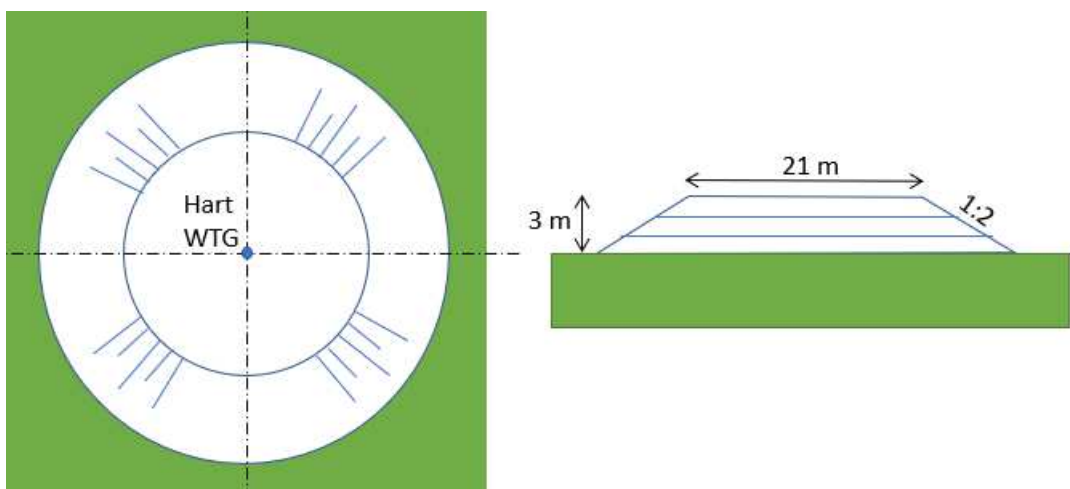
Opgemerkt wordt dat rekening moet worden gehouden met ongeveer 30% onnauwkeurigheid in verband met onzekerheid in het daadwerkelijke gedrag van het stortmateriaal.

Op basis van de berekeningen in hoofdstuk 5 wordt geadviseerd een voorbelasting van 3 m te hanteren. Een lagere belasting is niet effectief, aangezien het stortlichaam in het verleden grotendeels al met ongeveer 2 m is voorbelast door plaatselijke en tijdelijke overhoogte. Een hogere belasting wordt afgeraden in verband met mogelijke instabiliteit van de voorbelasting zelf. Voorwaarde voor het toepassen van een voorbelasting is dat de geprognoseerde zakking van de stortzool acceptabel is.

6.2 Specificatie voorbelasting

De voorbelasting van 3 m hoogte dient gefaseerd te worden aangebracht in drie ophoogslagen van elke 1 m. Voor de taludhelling dient te worden uitgegaan van 1:2 (verticaal:horizontaal). Het materiaal bestaat uit droog menggranulaat. Tussen de ophoogslagen dient 1 week te worden aangehouden voor het meten van de zettingen met zakbaken, in combinatie met LPMH-metingen door Inventec, zie volgende paragraaf.

Een principe van de voorbelasting is weergegeven in Figuur 6-1.



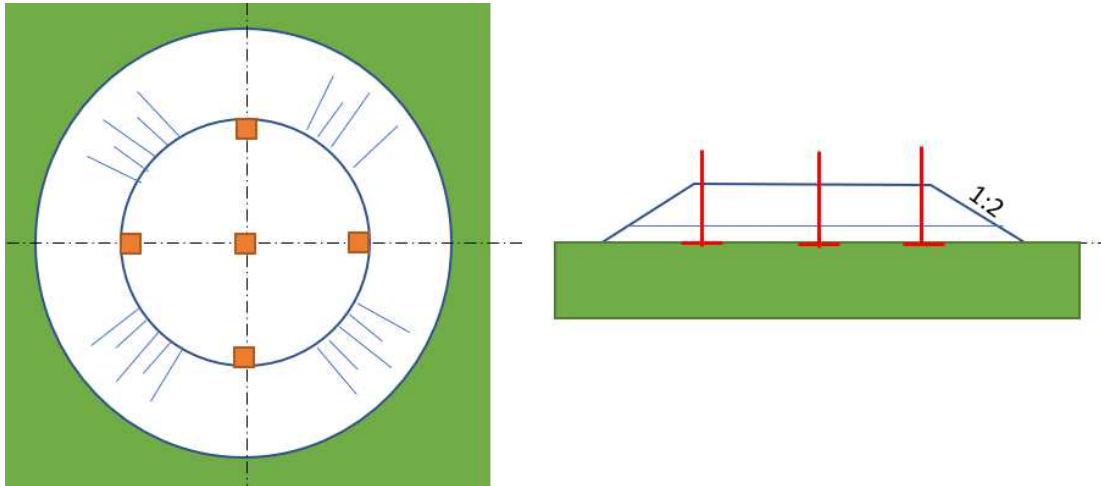
Figuur 6-1: afmetingen voorbelasting

Van het ophoogmateriaal dient van minimaal vier monsters het volumieke gewicht te worden bepaald in het veld of in het laboratorium.

6.3 Specificatie monitoring

Meten zakkings met zakkbaken

Voorafgaand aan het ophogen dienen zakkbaken te worden geplaatst. De zakkbaken moeten geplaatst worden op bovenkant stortlichaam, of bij voorkeur ingegraven op 1 m diepte. De locatie van de zakkbaken is aangegeven in Figuur 6-2



Figuur 6-2: positie zakkbaken

De zakkbaken dienen voorafgaand en na de uitvoering van elke ophoogslag te worden gemeten. Op deze wijze is het mogelijk om de gemeten zettingen te vergelijken met de voorspelde zettingen.

Direct na het plaatsen van de zakkbaken (nulmeting) en tijdens vervolgmetingen moeten de volgende gegevens geregistreerd worden:

- Nummer van het meetpunt;
- Datum en tijd van de meting;
- De hoogte van het maaiveld rondom de zakbaak t.o.v. NAP;
- De hoogte van de bovenkant buis t.o.v. NAP;
- De coördinaten (X,Y,Z) van de bovenzijde van de buis t.o.v. het Rijksdriehoek (RD) stelsel;
- Aantal, lengte en datum van aangebrachte oplengstukken;
- Het niveau van de voetplaat t.o.v. NAP (eenmalig bij plaatsing van de zakkbaken);
- Verstoringen in de omgeving (tijdelijke opslag van materiaal/materieel, verstoring van het meetpunt, abnormale scheefstand.

De volgende meetfrequentie dient worden gehanteerd:

- Nulmeting na plaatsing;
- Meting voorafgaande aan het aanbrengen van elke ophoogslag (per m);
- Meting direct na het aanbrengen van elke ophoogslag;
- Herhalingsmetingen met een frequentie van 2 keer per week;
- Na 1 maand na het aanbrengen van de laatste ophoogslag kan de frequentie worden teruggebracht naar 1 keer per week. Het moment van beëindigen van de meting is afhankelijk van het zettingsverloop en dient in overleg met de geotechnisch specialist te worden bepaald.

Meting zakking stortzool

Voor de percolaatleidingen 1013, 1014 en 1015 dient met het LPMH-meetsysteem van Inventec de hoogteligging te worden ingemeten voor het aanbrengen van de voorbelasting, 1 week na het aanbrengen van de voorbelasting en mogelijk nog één herhalingsmeting (moment te bepalen in overleg met de geotechnisch specialist). Het lengte-meetinterval tussen de opeenvolgende metingen dient 5 m te bedragen. Resultaten dienen grafisch te worden weergegeven ten opzichte van NAP. Ook dienen de hoogtemetingen in Excel te worden aangeleverd, zodat het verschil kan worden berekend.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In het kader van een haalbaarheidsonderzoek naar de plaatsing van een derde windturbine op de deponie te Alkmaar is onderzocht wat het effect is van een voorbelasting op de hoogteligging van de stortzool. De stortzool mag geen noemenswaardige zakking ondergaan om schade aan de afdichting en percolaatleidingen te voorkomen.

Het huidige niveau van de stortzool is op basis van hoogtemetingen van de onderliggende percolaatleidingen vastgesteld op NAP -1,4 à -1,6 m (percolaatleidingen liggen 0,5 m dieper op NAP -1,9 à -2,1 m).

Met behulp van het geavanceerde eindige elementen programma Plaxis2D zijn berekeningen uitgevoerd. Uit de berekeningen blijkt het volgende:

- Vanaf de aanleg van de stortzool in 1997 tot aan de huidige situatie is de stortzool met ongeveer 0,29 m gezakt. Deze zakking is het gevolg van de samendrukking van de ondergrond.
- In de periode 2021-2022 is op de deponie tijdelijk en plaatselijk een overhoogte aangebracht tot ongeveer NAP +29 m, ongeveer 2 m hoger dan het huidige peil van NAP +27 m. In feite is het stortlichaam ter plaatse van de windturbine hiermee al voorbelast met stortmateriaal.
- Bij een voorbelasting op het stortlichaam van 3 m menggranulaat wordt een zakking van de stortzool verwacht van 2 cm in het hart van de voorbelasting/windturbine. Door spreiding van de belasting in het stortlichaam is deze zetting ongeveer 0,01 m op 25 m afstand en nihil op 50 m afstand.
- De zakking van het stortlichaam als gevolg van 3 m voorbelasting is bepaald op:
 - 0,09 m op het niveau NAP +27 m (bovenkant stortlichaam)
 - 0,07 m op het niveau NAP +23,2 m (onderkant windturbinefundering)

De zetting treedt naar verwachting vrijwel direct op. Dit is het gevolg van het elastisch en gedraineerd gedrag van het stortmateriaal.

De verwachte zakking van de stortzool blijft beperkt tot ongeveer 0,02 m. Of de leidingen en de afdichtingslagen deze geringe vervorming kan ondergaan zonder schade, hangt af van de huidige conditie van de leidingen, ofwel de al eerder ondergane scheefstand en relatieve rotatie als gevolg van eerdere zetting in de ondergrond. Gezien de zeer geringe toename van 0,02 m en het flauwe verloop van de zettingen is de verwachting dat de zetting opneembaar is. Sortiva zal hiervoor goedkeuring nodig hebben van het bevoegd gezag en de ontwerpende partij.

7.2 Aanbevelingen

Ondanks dat een voorbelasting door de al eerdere aanwezige storthoogte van ongeveer NAP +29 m weinig effectief is, bestaat onzekerheid over de locatie van de eerdere voorbelasting. Waarschijnlijk is het stortlichaam niet overal gelijkmatig voorbelast.

Aanbevolen wordt om de locatie van de windturbine voor te belasten met 3 m menggranulaat. Om te komen tot een veilige uitvoering, ter verificatie van onderhavige modelberekeningen en om beter inzicht te krijgen in het werkelijke zettingsverloop wordt het volgende aanbevolen:

- Voorbelasting aanbrengen in drie ophoogslagen van 1 m met een tussenperiode van 1 week.
- Voorbelasting uitvoeren met droog en verdicht menggranulaat;
- Diameter voorbelasting: 21 m op kruinniveau ter plaatse van de windturbine;
- Taludhelling: 1:2;
- Monitoring zettingen met behulp van vijf zakbaken;
- Monitoring stortzool door hoogtemeting in percolaatleidingen 1013, 1014 en 1015 met het LPMH-meetsysteem.