

Funderingsadvies

Nieuwbouw tankstation aan de Bijlweg
te Lelystad

VN-80474-1 | versie 3 | 3 mei 2022



Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS

Raadgevend Ingenieursbureau
Wiertsema & Partners B.V.
Feithspark 6, 9356 BZ Tolbert
Postbus 27, 9356 ZG Tolbert
Tel.: 0594 51 68 64
Fax: 0594 51 64 79
E-mail: info@wieritsema.nl
Internet: www.wiertsema.nl

Onderwerp: Nieuwbouw tankstation aan de Bijlweg te Lelystad

Projectnummer: VN-80474-1

Opdrachtgever: ContrAll Projektrealisatie B.V.
Postbus 525
7316 MX Apeldoorn

Versie	Datum	Omschrijving wijziging
1	17 januari 2022	Eerste uitgave
2	27 januari 2022	Variant 7 toegevoegd
3	3 mei 2022	Variant met verticale drainage toegevoegd

Opgesteld door:	
Handtekening:	
Documentnummer:	R83190
Status:	definitief
Vrijgegeven door:	



Inhoudsopgave

blad

1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding en doel	4
1.2	Referenties	4
1.3	Normen & richtlijnen.....	4
1.4	Kwaliteitswaarborging	4
2	Project.....	5
3	Bodemopbouw.....	6
3.1	Beschikbaar grondonderzoek	6
3.2	Bodembeschrijving	6
3.3	Grondwaterstand.....	7
4	Uitgangspunten.....	8
4.1	Geometrie	8
4.2	Grondparameters	8
4.3	Grondwaterstand.....	9
4.4	Verticale drainage.....	9
4.5	Berekeningsmethode	9
4.6	Eisen en randvoorwaarden	9
5	Ingraafadvies	10
5.1	Opdrijven.....	10
5.2	Zettingen	11
5.3	Uitvoering ontgraving.....	15
5.4	Bemaling	15
6	Funderingsadvies vloeistofdichte vloer en luifel.....	17
6.1	Zettingen	17
6.2	Beddingsconstante	17
6.3	Fundering van de luifel	17
7	Conclusies en aanbevelingen.....	19
7.1	Conclusies	19
7.2	Grondverbetering	20
7.3	Aanbeveling	20

Bijlagen:

- 1 Detailberekening paal draagkracht
- 2 Richtlijnen toepassen grondverbetering



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

In opdracht van ContrAll Projektrealisatie B.V. gevestigd te Apeldoorn heeft Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V. een geotechnisch advies uitgebracht ten behoeve van de nieuwbouw van een tankstation van Fieten Olie aan de Bijlweg te Lelystad.

In dit rapport wordt ten behoeve van de ontwerpfase, inzicht gegeven in de toelaatbare draagkracht op funderingsniveau en het bijbehorend zettingsgedrag. Wij benadrukken dat voorliggend advies niet voorziet in gedetailleerde engineering/uitwerking van de uitvoeringswijze. Deze zijn ter keuze aannemer en maken derhalve geen onderdeel uit van het advies.

1.2 Referenties

- [1]. Geotechnisch bodemonderzoek 'Lelystad, Fietsen Olie Nieuwbouw tankstation', opdracht nr. 61212590, d.d. 3 november 2021, IJB Groep;
- [2]. Tekening CTP-553798_20211004-DO-B101b Nieuwbouw Fieten Olie tankstation N307 Houribweg | Bijlweg Lelystad, Nieuwe situatie, wijziging B d.d. 03-12-2021, ContrAll;
- [3]. Tekening CTP-553798_20211004-DO-B201b Nieuwbouw Fieten Olie tankstation N307 Houribweg | Bijlweg Lelystad, Gevelaanzichten, wijziging B d.d. 03-12-2021, ContrAll;
- [4]. Tekening CTP-553798_20211004-DO-B301b Nieuwbouw Fieten Olie tankstation N307 Houribweg | Bijlweg Lelystad, Details, wijziging B d.d. 03-12-2021, ContrAll;
- [5]. Schets principe tankgat, ontvangen 10-01-2022, ContrAll;

1.3 Normen & richtlijnen

De volgende Normen en richtlijnen zijn van toepassing voor de berekening:

- [6]. NEN 9997-1+C2:2017 Geotechnisch ontwerp van Constructies – Deel 1: Algemene regels, november 2017;
- [7]. BRL-K903/08 Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa procescertificaat voor de Regeling Erkenning Installateurs Tankinstallaties (REIT), 8^e versie, d.d. 2011-02-01

1.4 Kwaliteitswaarborging

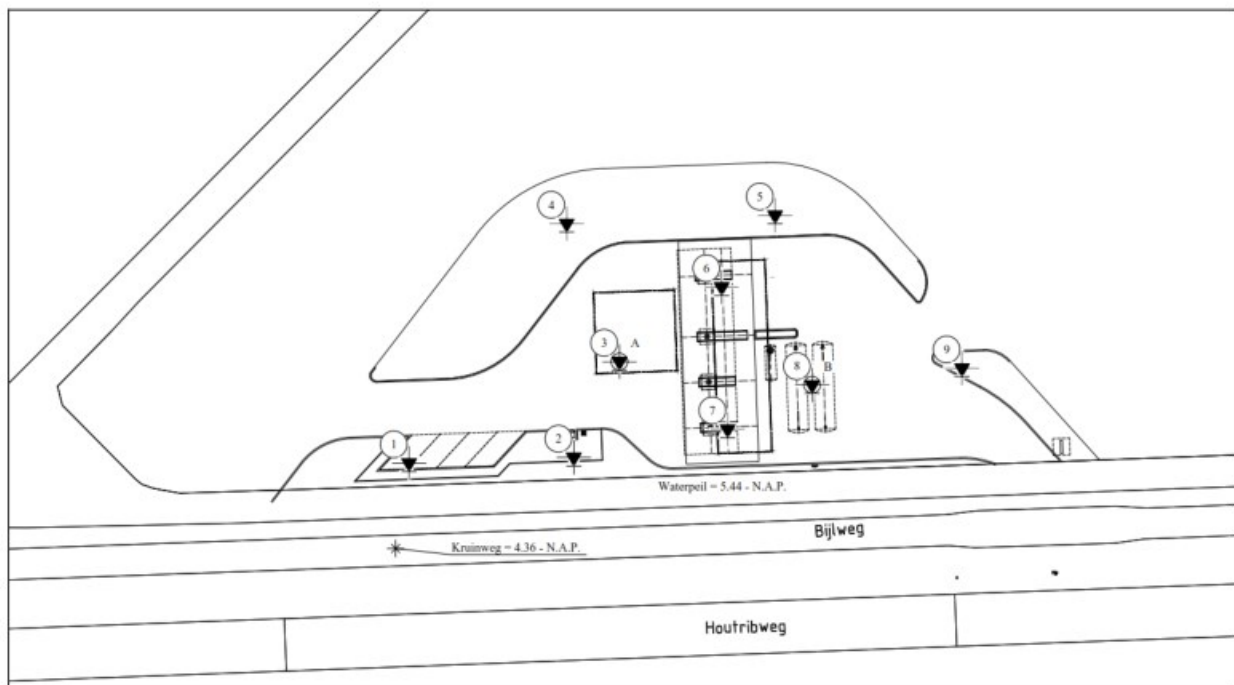
Het funderingsadvies is opgesteld onder ons kwaliteitssysteem NEN-EN-ISO-9001 en ons milieumanagementsysteem NEN-EN-ISO-14001. Wiertsema & Partners B.V. is in het bezit van een V&G-beheersysteem VCA**.

2 Project

Aan de Bijlweg te Lelystad wordt een nieuw tankstation gebouwd. Dit tankstation zal bestaan uit vier afleverzuilen en er worden drie ondergrondse tank met een inhoud van 90 m³, 90 m³ en 10 m³ gerealiseerd. Ook wordt er een vloeistofdichte vloer gerealiseerd met een oppervlakte van circa 363 m² (B x L = 10,8 x 33,6 m).

Op het moment van schrijven betreft de projectlocatie een braakliggend terrein en zijn op een afstand van circa 25,0 m belendingen aanwezig.

In figuur 2.1 is een bovenaanzicht van de projectlocatie weergegeven inclusief de locaties van de uitgevoerde sonderingen



Figuur 2.1 - Bovenaanzicht projectlocatie inclusief uitgevoerd grondonderzoek (zie [1])

3 Bodemopbouw

3.1 Beschikbaar grondonderzoek

Het uitgevoerde grondonderzoek is gerapporteerd in [1]. Het grondonderzoek heeft bestaan uit het verrichten van:

- 9 continue sonderingen (sondering 1 t/m sondering 9) met elektronische conus en met elektronische registratie volgens NEN-EN-ISO 22476-1 klasse 3 tot circa 15,0 m- maaiveld;
- 2 boringen (boring A en boring B) volgens de NEN-5104 tot een diepte van circa 5,0 m- maaiveld.

De resultaten van het grondonderzoek zijn vastgelegd ten opzichte van N.A.P. Tevens is de kruin van de weg ingemeten op een niveau van N.A.P. -4,36 m.

3.2 Bodembeschrijving

De ingemeten maaiveldhoogte ter plaatse van de onderzoekspunten varieerde ten tijde van het grondonderzoek van N.A.P. -4,38 m tot -4,50 m. De gerapporteerde hoogtes zijn niet geschikt voor andere doeleinden dan dit onderzoek. Op basis van het uitgevoerde grondonderzoek is de bodemopbouw op de projectlocatie te schematiseren als gegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 - Schematische bodemopbouw projectlocatie

Diepte [m N.A.P.]			Bodembeschrijving
maaiveld	tot	-5,5 à -5,6	Antropogene zand en/of kleitoplaag
-5,5 à -5,6	tot	-6,4 à -6,8	Zwak zandig silt
-6,4 à -6,8	tot	-10,1 à -10,3	Veen, slap
-10,1 à -10,3	tot	-21,0*	Zand, matig vast

* Maximaal verkende diepte

3.3 Grondwaterstand

De grondwaterstand werd op 1 november 2021 ter plaatse van boringen (HBS001 en HBS002) vastgesteld op een niveau van circa 4,1 à 4,5 m- maaiveld, dit komt ongeveer overeen met een niveau van N.A.P. -8,6 à -8,9 m. Deze waarneming betreft een momentopname en zegt niets over het verloop van de grondwaterstand over een langere periode.

De vastgestelde grondwaterstand kan zijn verstoord door de uitgevoerde boorwerkzaamheden. Door onder andere weersgesteldheid en het heersende seizoen kan de grondwaterstand tevens fluctueren. De ingemeten grondwaterstand betreft derhalve een indicatie die zonder aanvullend onderzoek niet geschikt is voor welke conclusie dan ook.

Tevens is het naastgelegen waterpeil ingemeten op een niveau van N.A.P. -5,44 m.

4 Uitgangspunten

4.1 Geometrie

Het tankstation zal bestaan uit een vloeistofdichte vloer en heeft drie ondergrondse tanks met een inhoud van 90 m³, 90 m³ en 10 m³. Het huidige maaiveldniveau van de projectlocatie bedraagt circa N.A.P. -4,4 m en de as van de weg is ingemeten op een niveau van N.A.P. -4,36 m. In overleg met de opdrachtgever is besloten om een aanlegniveau van de vloeistofdichte vloer en de luifel aan te nemen op een niveau van N.A.P. -3,60 m. Dit betreft een verhoging van het maaiveld van circa 0,8 m.

De ondergrondse tanks worden opgelegd op 0,30 m à 0,50 m Kiwa zand (BRL-K903/08) met daar onder óf een grondverbetering óf alleen een drukverdelend doek. In tabel 4.1 zijn de afmetingen van de tanks weergegeven.

Tabel 4.1 – Afmetingen ondergrondse tanks

tank	inhoud [m ³]	lengte [m]	diameter [m]	gewicht (leeg) [ton]
1	90	13,45	3,0	11,7
2	90	13,45	3,0	11,7
3	10	5,30	1,6	1,4

4.2 Grondparameters

De van toepassing zijnde grondparameters zijn vastgesteld aan de hand van de sonderingen en tabel 2.b van NEN 9997-1 en gelden voor ongestoorde grond. In tabel 4.2 is het gehanteerde bodemprofiel met bijbehorende representatieve grondparameters beschreven.

Tabel 4.2 - Gehanteerd bodemprofiel en representatieve samendrukkingsparameters

Grondsoort	b.k. laag m+ N.A.P.	$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	C_v [m ² /s]	RR [-]	CR [-]	C_α [-]	POP/OCR [kPa] / [-]
Klei toplaag	maaiveld	18 / 18	1,0 E-8	0,0383	0,1150	0,0046	5,0 / -
Zand (siltig) toplaag	-4,9	18 / 20	Drained	0,0017	0,0051	0,0	10,0 / -
Zwak zandig silt	-5,5	19 / 19	1,0 E-5	0,0307	0,0920	0,0037	- / 1,5
Veen, slap	-6,4	11 / 11	1,0 E-8	0,3067	0,1022	0,0153	- / 1,5
Zand, matig vast	-10,1	18 / 20	Drained	0,0013	0,0038	0,0	- / 2,0

Hierin is:

- C_v Verticale consolidatiecoëfficiënt;
- RR Waarde van de primaire zwellingsindex;
- CR Waarde van de primaire samendrukkingsindex;
- C_α Waarde van de secundaire samendrukkingsindex;
- POP/OCR Pre Overburden Pressure / Over Consolidation Ratio.

De POP betreft de grensspanning – actuele korrelspanning ($\text{POP} = p_g - \sigma'_v$).

De OCR betreft de grensspanning / actuele korrelspanning ($\text{OCR} = p_g / \sigma'_v$).



4.3 Grondwaterstand

De grondwaterstand is volgens rapport [1] ingemeten op een niveau van N.A.P. -8,6 à -8,9 m. Het naastgelegen waterpeil is ingemeten op een niveau van N.A.P. -5,44 m.

Op basis van peilbuismetingen uit Dino-loket (peilbuisnummer B20G0205-001) kan worden geconcludeerd dat de grondwaterstand op de projectlocatie circa 0,5 m à 1,0 m- maaiveld aangetroffen wordt. In voorliggende rapportage is een grondwaterstand aangehouden van N.A.P. -5,0 m.

4.4 Verticale drainage

In dit advies wordt uitgegaan van een verticale drainage (VD) bestaande uit stripdrains in een driehoeksnet. Voor de h.o.h.-afstand van de strips wordt in eerste instantie uitgegaan van een h.o.h. van 1,5 m. Om de stripdrains aan te brengen dient eerst 0,50 à 1,0 m zand aangebracht te worden op het maaiveld of het ontgraven cunet. Daarna worden de stripdrains aangebracht. De zandlaag heeft een tweeledige functie, namelijk als werkterrein voor de draineermachine (schone en draagkrachtige laag). Daarnaast heeft deze zandlaag de functie om het consolidatiewater uit de VD af te voeren. Gezien de functie van afvoer van consolidatiewater dient deze zandlaag te bestaan uit grof goed doorlatend zand.

De verticale drainage aanbrengen tot 0,5 à 1,0 m boven de watervoerende zandlagen. In dit advies wordt uitgegaan van een diepte van N.A.P. -9,5 m. Het is van essentieel belang dat de VD geen contact maakt met de diepere zandlagen.

4.5 Berekeningsmethode

De berekeningen van de zettingen zijn verricht met D-Settlement versie 21.2 met de rekenmethode van NEN-Bjerrum en het consolidatiemodel van Terzaghi.

4.6 Eisen en randvoorwaarden

Uit de BRL [7] volgen de volgende eisen en randvoorwaarden:

1. De bodemzetting van de tankput na plaatsing mag 1 cm per jaar bedragen met een maximum van 5 cm over een periode van 15 jaar.
2. Er moet een gelijkmatige zetting over het gehele tanklichaam en appendages binnen de tankput plaatsvinden.
3. Zettingsverschillen met andere objecten zoals leidingen, vloeren, afleverzuilen en vulpunten moeten meegenomen zijn in de overwegingen.

5 Ingraafadvies

Met betrekking tot het te hanteren aanlegniveau van de tank zijn er twee maatgevende situaties waarin het aanlegniveau van de tank dient te voldoen. De tank dient op een voldoende draagkrachtige (zand)laag te worden opgelegd en het aanlegniveau dient dusdanig diep te zijn dat het opdrijven van de tank ten allen tijde wordt voorkomen.

5.1 Opdrijven

Het opdrijven van de tank doet zich voor indien de neerwaartse belasting lager is dan de opwaartse waterdruk tegen de onderzijde van de tank. Het al dan niet opdrijven is afhankelijk van de actuele grondwaterstand en de massa c.q. neerwaartse belasting van de (lege) tanks en het bovenliggend grondmassief (gronddekking).

De gehanteerde grondwaterstand is gebaseerd op basis van een peilbuis uit DINOloket, met peilbuisnummer B20G0205-001. Deze peilbuis bevindt zich op een afstand van 150 m van de projectlocatie. In deze peilbuis is een hoogst gemeten grondwaterstand ingemeten op een niveau van 0,5 à 1,0 m- maaiveld (N.A.P. -5,0 m à -5,5 m). Indien het terrein wordt afgewerkt op een niveau van N.A.P. -3,6 m, kan er een grondwaterstand worden aangetroffen tussen 1,4 m- maaiveld en 1,9 m- maaiveld.

In tabel 5.1 is een overzicht gegeven van de opwaartse en neerwaartse krachten die op de tank werkzaam zijn. De berekening is geldig voor een situatie waarbij de tank leeg is. De neerwaartse kracht is gebaseerd op een aanvulling met alleen zand.

Tabel 5.1 - Evenwichtsbeschouwing tank met gemeten grondwaterstand

Tank	Tankdiameter [m]	Grondwaterstand [m- mv]	Gronddekking [m]	F _{opwaarts} [kN]	F _{neerwaarts} [kN]	Veiligheid
1	3,0	1,4	1,5	900,0	1287,0	1,43
		1,9		828,7	1400,8	1,69
2	3,0	1,4	1,5	900,0	1287,0	1,43
		1,9		828,7	1400,8	1,69
3	1,6	1,4	1,5	100,0	248,4	2,48
		1,9		80,4	267,8	3,33

In overleg met de opdrachtgever is besloten een gronddekking van 1,5 m toe te passen. Uit tabel 5.1 blijkt dat bij een gronddekking van 1,5 m en de maximale grondwaterstand van 1,4 m- maaiveld, geen aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn om te voldoen aan een minimale veiligheid van 1,1 tegen opdrijven.



5.2 Zettingen

De tanks hebben een diameter van 3,0 m, 3,0 m en 1,6 m. Om de gronddekking van 1,5 m te verkrijgen, zal de ondergrondse tank moeten worden aangelegd op een niveau van 4,5 m en 3,1 m- maaiveld.

Met het aanlegniveau van het tankstation op circa N.A.P. -3,60 m en met een grondverbetering van 0,30 m Kiwa zand resulteert dit in een aanlegniveau van de tanks van 90 m³ op N.A.P. -8,4 m, de tank met een inhoud van 10 m³ dient aangelegd te worden op een niveau van N.A.P. -7,0 m.

Het grondonderzoek toont de aanwezigheid van veen van een niveau van N.A.P. -6,5 m tot een niveau van N.A.P. -10,2 m. Dit houdt in dat de tanks in het zettingsgevoelige veen worden aangebracht. Bij de ontgraving tot bovengenoemd niveau zal worden ontgraven in deze samendrukbare lagen. Zonder het toepassen van maatregelen (zoals het aanbrengen van een voorbelasting of het toepassen van verticale drainage voor een bepaalde tijd) is het niet mogelijk om te voldoen aan de gestelde zettingseisen.

Door het aanbrengen van een belasting op het veenpakket ontstaat er een toename in de wateroverspanning met een omvang die gelijk is aan de aangebrachte belasting. De zettingssnelheid hangt af van de doorlatendheid van de laag en hoe snel de wateroverspanning kan afstromen. Door het verschil in waterdruk zal het water in de slecht doorlatende laag willen gaan afstromen naar een omgeving met een lagere waterdruk, totdat de waterdruk weer het oorspronkelijke waterspanningsniveau ($T=0$) heeft bereikt. De periode tussen het aanbrengen van de voorbelasting en het bereiken van het oorspronkelijke waterspanningsniveau wordt de hydrodynamische periode genoemd (T_{hydro}). De duur van de hydrodynamische periode is afhankelijk van een aantal factoren:

- de doorlatendheid van het materiaal;
- de dikte van de laag;
- de mogelijkheid van afstromen, eenzijdig of tweezijdig

Door het aanbrengen van een voorbelasting en/of verticale drainage kan de voorbelastingstijd worden verkort.

Op basis van bovenstaande is in overleg met de opdrachtgever besloten om een voorbelasting toe te passen voor verschillende voorbelastingsperiodes, dit betreft circa 3, 6 en 9 maanden voorbelastingstijd. Tevens is een variant toegevoegd waarbij van verticale drainage wordt toegepast met een voorbelastingstijd van 6 maanden.

In dit advies zijn meerdere faseringen toegepast om inzicht te geven in de te verwachten zettingen en restzettingen bij verschillende maatregelen. Er worden zeven varianten beschouwd voor de 1 lengteprofiel, dit betreffen:

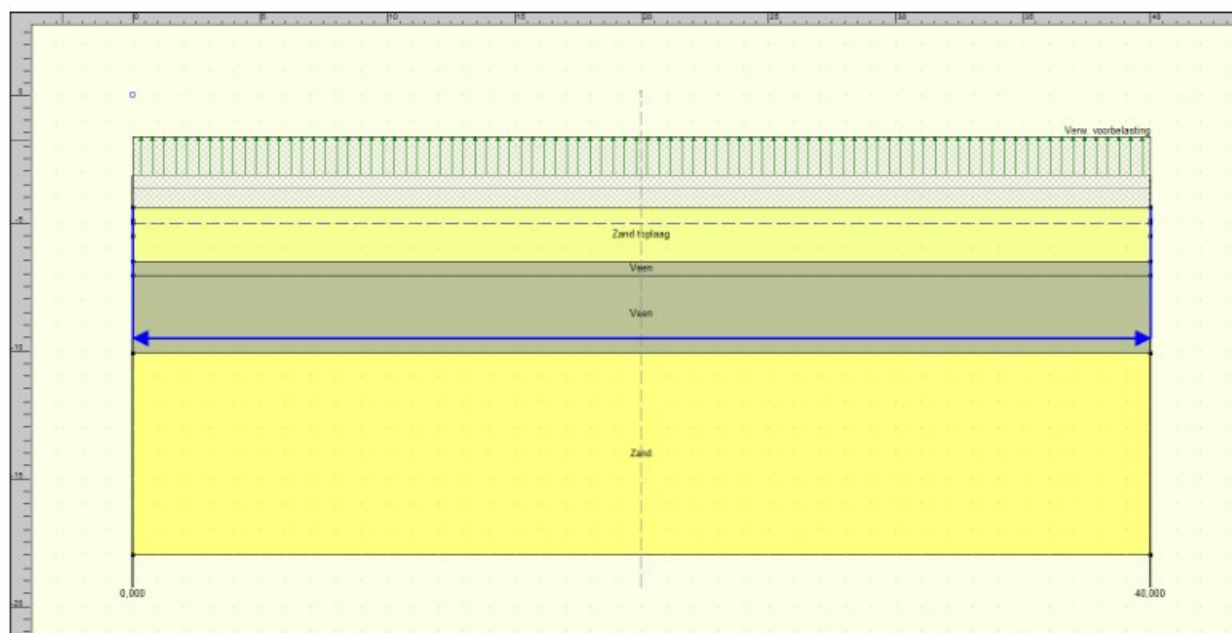
1. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, vervolgens 1,5 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 90 dagen;
2. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, vervolgens 1,5 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 180 dagen;

3. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, vervolgens 1,5 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 270 dagen;
4. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, vervolgens 2,0 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 90 dagen;
5. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, vervolgens 2,0 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 180 dagen;
6. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, vervolgens 2,0 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 270 dagen;
7. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, vervolgens 3,0 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 180 dagen;
8. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, het aanbrengen van verticale drainage na de eerste ophoogslag en vervolgens tot 2,0 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 180 dagen;
9. Ophogen terrein tot N.A.P. -3,6 m, het aanbrengen van verticale drainage na de eerste ophoogslag en vervolgens tot 1,5 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 180 dagen;

Opgemerkt dient te worden dat de bovenstaande faseringen gelden ten plaatse van de vloeistofdichte vloer en de traditionele bestrating. Voor de tanks wordt bij elke fasering na de voorbelastingsperiode ontgraven tot de onderkant van de tanks en vervolgens aangevuld met (kiwa) zand tot het nieuwe maaiveldniveau van N.A.P. -3,6 m.

Als start van de ligtijd wordt het einde van het aanbrengen van voorbelasting aangemerkt. De opdrachtgever dient er rekening mee te houden dat de totale bouwtijd bestaat uit het uitvoeren van de voorbereidende werkzaamheden, het aanbrengen van de voorbelasting, de ligtijd, het verwijderen van de voorbelasting en het definitief inrichten van het terrein.

In figuur 5.1 is de geometrie van de zettingsberekening weergegeven.



Figuur 5.1 – Geometrie (indicatieve) zettingsberekening, variant 2,0 m voorbelastingsperiode 180 dagen + VD

In tabel 5.2 zijn de opgetreden zettingen op het aangegeven tijdstip van het profiel weergegeven samen met de maximale eindzetting (na 30 jaar) en de restzetting. De restzetting betreft de zetting van de ondergrond die nog optreedt na in gebruik name. Restzetting = eindzetting – zetting.

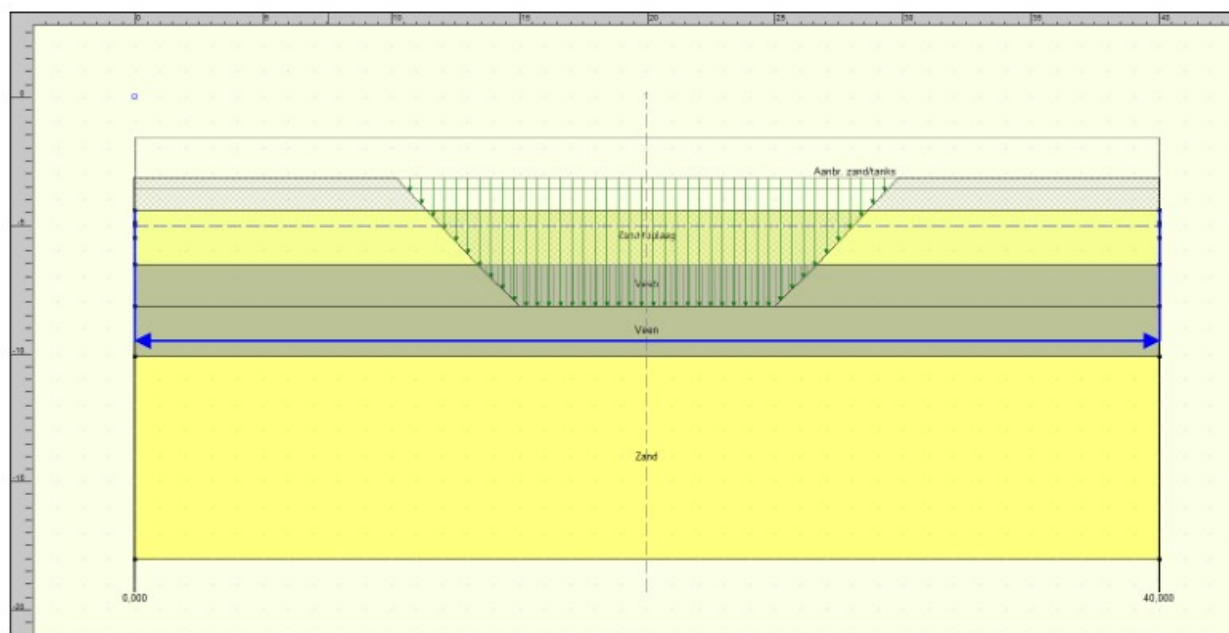
Tabel 5.2 – Overzicht berekeningsresultaten alle varianten (vloeistofdichte vloer en traditionele bestrating)

Variant	Profiel	Zetting na ligtijd [m]	Restzetting [m]	Eindzetting[m]
1	VB 1,5 m + 90 dagen	0,24	0,13	0,37
2	VB 1,5 m + 180 dagen	0,33	0,05	0,39
3	VB 1,5 m + 270 dagen	0,39	0,01	0,40
4	VB 2,0 m + 90 dagen	0,27	0,13	0,40
5	VB 2,0 m + 180 dagen	0,38	0,05	0,43
6	VB 2,0 m + 270 dagen	0,44	0,00	0,44
8	VD + VB 2,0 m + 180 dagen	0,47	0,00	0,47
9	VD + VB 1,5 m + 180 dagen	0,42	0,00	0,42

De in tabel weergegeven zettingen en restzettingen gelden voor een situatie waarbij de vloeistofdichte vloer en de traditionele bestrating aangebracht worden na het verwijderen van de voorbelasting.

Voor het berekenen van de zettingen van de tanks is nog een fase toegevoegd, dit betreft het ontgraven van de tanks en het aanbrengen van een grondverbetering met (kiwa) zand. In figuur 5.2 is de geometrie van de zettingsberekening van de tanks weergegeven.





Figuur 5.2 – Geometrie zettingsberekening tanks, variant 2,0 m voorbelastingsperiode 180 dagen + VD

Indien onder de tank 0,3 m Kiwa zand wordt toegepast samen met een drukverdelend doek, zijn de onderstaande zettingen te verwachten.

In overleg met de opdrachtgever is besloten om een extra voorbelasting ter plaatse van de tanks aan te brengen met een ligtijd van 180 dagen, dit betreft variant 7. Verder is de toepassing van een verticale drainage als optie uitgewerkt (variant 8 + variant 9).

Tabel 5.3 – Overzicht berekeningsresultaten na de aanleg van de tanks voor alle varianten

Variant	Profiel	Zetting 1 ^e jaar na oplevering [m]	Restzetting 15 jaar [m]	Eindzetting in 15 jaar [m]	Voldoet
1	VB 1,5 m + 90 dagen	0,111	0,031	0,142	Nee
2	VB 1,5 m + 180 dagen	0,050	0,022	0,072	Nee
3	VB 1,5 m + 270 dagen	0,014	0,017	0,031	Ja
4	VB 2,0 m + 90 dagen	0,075	0,020	0,095	Nee
5	VB 2,0 m + 180 dagen	0,046	0,012	0,058	Nee
6	VB 2,0 m + 270 dagen	0,006	0,006	0,012	Ja
7	VB 3,0 m + 180 dagen	0,012	0,001	0,013	Ja
8	VD + VB 2,0 m + 180 dagen	0,001	0,014	0,015	Ja
9	VD + VB 1,5 m + 180 dagen	0,012	0,025	0,037	Ja

Op basis van bovenstaande berekeningen kan geconcludeerd worden dat de tanks niet voldoen indien een voorbelasting wordt toegepast van 90 dagen. Om te voldoen aan de gestelde eisen van 1 cm per jaar en in totaal 5 cm in 15 jaar, wordt geadviseerd een voorbelasting van 3,0 m

met een ligtijd van 180 dagen aan te brengen of om verticale drainage toe te passen met een voorbelasting van 1,5 m à 2,0 m voor een periode van 180 dagen.

De nauwkeurigheid van de berekende restzettingen, die zijn gebaseerd op een inschatting van de samendrukkingsparameters van de veenlaag, is +/- 50 %. De nauwkeurigheid van de berekening zou kunnen worden vergroot door het nemen van grondmonsters en het bepalen van volumegewichten en/of het uitvoeren van samendrukkingsproeven.

Door het aanbrengen van een ophoging op de slappe ondergrond is er risico op squeezing richting nabijgelegen sloten of zwakke plekken in het maaiveld. Squeezen is het wegpersen van de samendrukbare lagen onder de ophoging in de richting van de aanwezige sloten of zwakke plekken in het maaiveld. Hierdoor komt de bodem van de sloot omhoog, waardoor de sloten worden dichtgedrukt. Door het verkorten van de hydrodynamische periode, door de toepassing van bijvoorbeeld verticale drainage, kan het risico op het ontstaan van squeeze worden gereduceerd.

Door het plaatsen en goed monitoren van (automatische) zakbaken, kunnen de benodigde ligtijd en voorbelasting tijdig worden bijgestuurd. Ook kunnen daarmee de te verwachten restzettingen met een grotere nauwkeurigheid worden bepaald.

Bij toepassing van alleen een drukverdelend doek is het nagenoeg onmogelijk om het kiwa zand onder de tanks voldoende te verdichten, waardoor klink van het materiaal kan ontstaan. Bij de berekende zettingen is deze klink nog niet meegenomen.

Het toepassen van een grondverbetering (in plaats van een grondverdelend doek) zal leiden tot belastingtoename op de ondergrond en daarmee niet leiden tot afname van de berekende zettingen.

5.3 Uitvoering ontgraving

Bij een juiste ontwatering van het bodemprofiel, een snelle uitvoering en voldoende ruimte zal de tankput met open taluds kunnen worden uitgevoerd. De definitieve vaststelling van de taludhelling kan slechts ten tijde van de uitvoering worden aangegeven en is afhankelijk van onder andere de periode van uitvoering (weersgesteldheid), het effect van de bemalingsinstallatie (voldoende ontwatering), nauwkeurigheid van uitvoering etc.

5.4 Bemaling

Om de ontgravingswerkzaamheden in een voldoende droge tankput uit te kunnen voeren, dient de grondwaterstand tijdelijk te worden verlaagd.

Indien de tankput wordt ontgraven tot onderzijde van het Kiwa zand moet rekening worden gehouden met het eventueel toepassen van een bemaling in het onderliggende watervoerende (zand)pakket. Controle van het opbarsten van de tankputbodem valt buiten de scope van dit project.

Op basis van bovenstaande adviseren wij om een bemalingsadvies uit te laten voeren, waarin de benodigde bemalingsmethode, de hoeveelheid uitkomend water en de effecten van de bemaling op de omgeving worden beschouwd. Indien gewenst kan door ons bureau een dergelijk bemalingsadvies worden opgesteld.

6 Funderingsadvies vloeistofdichte vloer en luifel

6.1 Zettingen

Om de vloeistofdichte vloer zonder significante zettingsverschillen te kunnen funderen, adviseren wij om de weinig draagkrachtige kleitoplaag te verwijderen tot een niveau van circa N.A.P. -5,0 m zodat onder de vloer de aanwezige siltige zandtoplaag aangetroffen wordt. Onder dit ontgravingsniveau is siltig zand en silt aangetroffen, onder deze siltlaag wordt weinig draagkrachtig veen aangetroffen. Deze verhardingsopbouw resulteert in een ontgraving van circa 0,5 m, waarna onder de gehele vloer een uniforme bodemopbouw ontstaat.

Uitgaande van een gewapende betonvloer van circa 0,30 m (25 kN/m^3), wordt in overleg met de opdrachtgever besloten om een verhardingsopbouw toe te passen van 0,25 m menggranulaat (18 kN/m^3) en een ophoging + grondverbetering van circa 1,1 m (18 kN/m^3). Dit betreft 0,60 m schoon zand conform opgave opdrachtgever (ophoging) en circa 0,5 m grondverbetering.

Het verwijderen van een kleilaag met een soortelijk gewicht van $\gamma_{\text{dr}} / \gamma_{\text{sat}} = 18 / 18 \text{ kN/m}^3$ en het aanbrengen van een zandlaag met een soortelijk gewicht van $\gamma_{\text{dr}} / \gamma_{\text{sat}} = 18 / 20 \text{ kN/m}^3$ vindt er geen belastingtoename plaats. Het maaiveld zal wel worden verhoogd met circa 0,9 m, dit betreft een belastingtoename van $0,8 \times 18,0 = 14,4 \text{ kN/m}^3$. Deze belastingtoename zal door middel van een voorbelasting worden gereduceerd.

De te ontstane zettingen onder de vloeistofdichte vloer zijn afhankelijk van de gekozen zetting versnellende maatregelen die genomen dienen te worden. Zie voor de te verwachten zettingen, behoudens het optreden van uitvoeringszettingen, tabel 5.2.

6.2 Beddingsconstante

Van een traditionele verhardingsopbouw bestaande uit 0,25 m menggranulaat en 1,1 m zand (grondverbetering), op 1,5 m siltig zand met daaronder een veenlaag van 2,15 m, bedraagt de gemiddelde elasticiteitsmodulus van de ondergrond:

$$E_g \leq (0,25 \cdot 400 \text{ MPa} + 1,1 \cdot 100 \text{ MPa} + 1,5 \cdot 80 + 2,15 \cdot 10 \text{ MPa}) / 5,0 \text{ m} = 70 \text{ MPa}.$$

Uitgaande van een vloeroppervlakte van $10,8 \times 33,6 \text{ m}$ kan de beddingsconstante onder de vloeistofdichte vloer op de volgende wijze worden bepaald:

$$k_{\text{vloer}} = E_g / (2 \cdot \sqrt{B}) = 70 / (2 \cdot \sqrt{10,8}) \rightarrow 7,5 \text{ à } 12,5 \text{ MN/m}^3.$$

6.3 Fundering van de luifel

Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid wordt voor de luifel een fundering op palen geadviseerd. In dit rapport is in eerste instantie de toepassing van een fundering op stalen buispalen (geheide variant) als uitgangspunt gehanteerd.

Gehanteerde uitgangspunten

Bij de berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. het project valt in de geotechnische categorie 2;
2. de constructie is beschouwd als zijnde een niet-stijf bouwwerk;
3. het optreden van negatieve kleeft is in rekening gebracht tot een niveau van N.A.P. -10,0 m. Dit in verband met de aanwezigheid van samendrukbare lagen tot voorgenoemd niveau;
4. in de berekening wordt positieve kleeft ontleend aan de onderliggende (zand)lagen vanaf een niveau van circa N.A.P. -10,0 m;
5. Een extra bovenbelasting, als gevolg van een terreinophoging tot N.A.P. -3,6 m, is in rekening gebracht;
6. toetsing volgens uiterste grenstoestand houdt in dat voldaan moet worden aan: $F_{c;d} \leq R_{c;netto;d}$ voor drukpalen. Met betrekking tot de vervorming zal in de regel de bruikbaarheidsgrenstoestand volgens NEN 9997-1+C2 bepalend zijn. Deze vervormingen zijn, gezien de zeer geringe vervorming van de palen niet maatgevend;
7. bij de berekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden:

Paaltype	Installatiemethode	α_p	$\alpha_{s,zand}$	$\alpha_{s,leem}$	α_t	β
Stalen buispalen	geheid	0,70	0,010*	0,020	0,007	0,89 à 0,90

* Voetplaat mag niet meer dan 10 mm uitsteken ten opzichte van de paaldiameter

correlatiefactoren ξ_3 en $\xi_4 = 1,39$ en partiële factor $\gamma_b = 1,20$ en $\gamma_s = 1,20$;

Geotechnisch draagvermogen

In de volgende tabel staat per sondeerpunt, paal(schacht)afmeting en paalpuntniveau de maximale rekenwaarde van de grondmechanische draagkracht aangegeven.

OVERZICHT NETTO DRAAGVERMOGEN STALEN BUISPAAL (GEHEID)					
Netto paal draagvermogen(s) zijn naar beneden toe afgerond op: 1.0 kN nauwkeurig					
Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.					
sondering	niveau	maaiveld paalpunt	$R_{c;netto;d}$	[kN]	
		niveau	$\phi 219$	$\phi 273$	
3	-4.44	-11.25	37	61	
		-11.50	64	98	
		-11.75	92	121	
		-12.00	95	128	
6	-4.45	-11.25	32	54	
		-11.50	58	88	
		-11.75	73	107	
		-12.00	97	142	
7	-4.45	-11.25	34	56	
		-11.50	48	73	
		-11.75	60	84	
		-12.00	69	99	
8	-4.48	-11.25	26	43	
		-11.50	43	66	
		-11.75	55	80	
		-12.00	66	95	

De in de tabellen genoemde rekenwaarden zijn opgebouwd uit de punt- en schachtweerstand en verminderd met de negatieve kleeftbelasting. De berekeningen zijn uitgevoerd conform Eurocode 7 (NEN 9997-1+C2). De genoemde draagkrachten (druk) gelden voor verticaal en centrisk op druk belaste palen. In bijlage 1 is een detailberekening van de draagkracht (druk) weergegeven, inclusief het last-zakkingsgedrag.

Opgemerkt dient te worden dat de palen niet zijn gecontroleerd op de slankheid en de maximale (beton)spanning in de paalschacht.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De tank kan aangelegd worden met een gronddekking van circa 1,5 m waarbij rekening is gehouden met de hoogste grondwaterstand van circa 1,4 m- maaiveld.

Voor het zettingsarm maken van de ondergrond wordt de volgende procedure voorgesteld:

1. het ontgraven van de toplaag, het aanbrengen van een terreinophoging tot N.A.P. -3,60 m;
2. 3,0 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode van 180 dagen óf het aanbrengen van verticale drainage (h.o.h. 1,5 m) met 1,5 m voorbelasting met een voorbelastingsperiode 180 dagen;
3. Na het verwijderen van de voorbelasting kan het tankgat worden aangevuld met zand.

Met deze werkwijze worden zettingen berekend van 1,0 cm in het eerste jaar tot maximaal 1,5 cm in 15 jaar. Op basis van de berekeningsresultaten kan geconcludeerd worden dat er wordt voldaan aan de zettingseis van 1,0 cm / jaar en ruimschoots wordt voldaan aan de zettingseis van maximaal 5 cm in 15 jaar.

Bij een juiste ontwatering van het bodemprofiel, een snelle uitvoering en voldoende ruimte zal de bouwput met open taluds kunnen worden uitgevoerd. De definitieve vaststelling van de taludhelling kan slechts ten tijde van de uitvoering worden aangegeven en is afhankelijk van onder andere de periode van uitvoering (weersgesteldheid), het effect van de bemalingsinstallatie (voldoende ontwatering), nauwkeurigheid van uitvoering etc.

Om de ontgravingswerkzaamheden in een voldoende droge tankput uit te kunnen voeren, dient de grondwaterstand tijdelijk te worden verlaagd. Omdat daarvoor een bemaling moet worden aangebracht in het onderliggende zandpakket (om opbarsten van de tankputbodem te voorkomen), adviseren wij om daarvoor een bemalingsadvies uit te laten voeren, waarin wordt gekeken naar de benodigde bemalingsmethode, de hoeveelheid uitkomend water en naar de effecten van de bemaling op de omgeving. Indien gewenst kunnen wij een dergelijk bemalingsadvies voor u uitvoeren.

Om de vloeistofdichte vloer zonder significante zettingsverschillen te kunne funderen, adviseren wij de weinig draagkrachtige kleitoplaag te verwijderen tot een niveau van circa 0,5 m-maaiveld. Onder dit ontgravingsniveau wordt een meer draagkrachtige siltige zandlaag aangetroffen.

Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid wordt voor de luifel een fundering op stalen buispalen geadviseerd.

7.2 Grondverbetering

Het zandbed onder de vloer en de tanks zal moeten worden uitgevoerd met goed gegradeerd zand met een vochtpercentage van circa 10%, aan te leggen in lagen van maximaal 0,3 m dikte. Elke laag, als mede het ontgravingsvlak, dient in tenminste vier gangen, kruiselings en overlappend, te worden verdicht met behulp van een trilplaat met een gewicht van circa 300 à 400 kg.

De grondwaterstand dient zich tijdens de funderingswerkzaamheden te allen tijde tenminste 0,5 m beneden het ontgravingsniveau te bevinden. Voor de tankputten adviseren wij om een verticale filterbemaling aan te brengen tot circa 0,5 m minus het ontgravingsniveau. Zie ook bijlage 2 voor de te hanteren richtlijnen voor het uitvoeren van grondverbeteringen.

7.3 Aanbeveling

De nauwkeurigheid van de berekende zettingen, die zijn gebaseerd op een grove inschatting van het volumegewicht van de kleitoplaag en de samendrukkingsparameters, is +/- 50 %. De nauwkeurigheid van de berekening zou kunnen worden vergroot door het nemen van grondmonsters en het meten van volumegewichten en/of het uitvoeren van samendrukkingsproeven.

Door het plaatsen en goed monitoren van zakbaken, kunnen de benodigde ligtijd en voorbelasting tijdig worden bijgestuurd. Ook kunnen daarmee de te verwachten restzettingen met een grotere nauwkeurigheid worden bepaald.

Indien in de loop van het project veranderingen optreden in het beschreven bouwplan of in de in dit advies gehanteerde uitgangspunten verzoeken wij u contact met ons bureau op te nemen, zodat wij ons rapport hierop kunnen toetsen.

Bijlage 1

DETAIL BER. DRAAGVERMOGEN Ø273; 3; N.A.P.-11.75

Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : 3
- gehanteerde paal : Ø273/283
- paalpuntniveau : N.A.P.-11.75 m
- traject positieve kleef : N.A.P.-10.20 m
tot: N.A.P.-11.75 m

Maximale draagkracht van de paalpunt

De maximale puntweerstand volgens art. 7.6.2.3 (e) bedraagt :

$$q_{b,max} = 0.5 * \alpha_p * \beta * s * ((q_{c,I,gem} + q_{c,II,gem})/2 + q_{c,III,gem})$$
$$= 5.443 \text{ MPa}$$

waarin : in dit geval :

$q_{c,I,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I	= 14.89 MPa
$q_{c,II,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject II	= 10.28 MPa
$q_{c,III,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject III	= 4.77 MPa
α_p	= paalklassefactor	= 0.70 -
β	= factor voor de paalvoetvorm	= 0.90 -
φ	= hoek van de inwendige wrijving	= 30.0 -
r	= verhouding b/a	= 1.00 -
s	= factor voor de vorm van de voet	= 1.00 -

Voor een uitgebreide beschrijving van het bepalen van de gemiddelde conusweerstand in de gebieden I, II en III wordt verwezen naar art. 7.6.2.3 (e) in de norm.

De maximale draagkracht van de paalpunt volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$$R_{b,cal,max;i} = A_b * q_{b,max;i}$$
$$= 342 \text{ kN}$$

waarin : in dit geval :
 A_b = oppervlak van de paalvoet = 0.0629 m²

Maximale paalschachtwrijving

De maximale paalschachtwrijving volgens art. 7.6.2.3 (i) bedraagt:

$$q_{s,max;z} = \alpha_s * q_{c,z;a}$$

De maximale schachtwrijvingskracht volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$$R_{s,cal,max;i} = O_{s,ΔI,gem} * \sum q_{s,max;z;i} * d_z$$
$$= 95 \text{ kN}$$

Per laag

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Nr Laag		Nivo [m]	$O_{s,gem}$ [m ¹]	α_s	Perc. [%]	$q_{c,z;a}$ [MPa]	$q_{s,max}$ [MPa]	d_z [m]	$R_{c,cal}$ [kN]
--	----	-10.20	--	--	--	--	--	--	--
1	Zand - Schoon - Los	-11.74	0.86	0.0100	100	7.10	0.071	1.54	93.7
2	Zand - Schoon - Los	-11.75	0.89	0.0100	100	12.79	0.128	0.01	1.1
totaal			0.86	0.0100		7.13	0.071	1.55	94.8

Maximale draagkracht

De maximale draagkracht van de paal volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$$R_{c,cal;i} = R_{b,cal,max;i} + R_{s,cal,max;i}$$

$$= 437 \text{ kN} (= 342 + 95)$$

De karakteristieke waarde van de maximale draagkracht van de paal volgens art. 7.6.2.3 (b) bedraagt:

$$R_{c;k} = R_{c,cal} / \xi_3 \quad (n=1)$$

$$= 315 \text{ kN}$$

waarin : in dit geval :

$$\xi_3 \quad (n=1) = \text{factor volgens art. A.3.3.3 bij 1 sondering} = 1.39 \quad -$$

Voor de rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal kan volgens art. 2.4.7.3.3 worden aangehouden :

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R$$

$$= 175 \text{ kN}$$

waarin : in dit geval :

$$\gamma_R = \text{partiële weerstandsfactor volgens art. A.3.3.2}$$

$$\text{tabel A.6, A.7 of A.8} = 1.80 \quad -$$

DETAIL BER. NEGATIEVE KLEEF ø273; 3; N.A.P.-11.75

Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : 3
- gehanteerde paal : ø273/283
- paalpuntniveau : N.A.P.-11.75 m
- paalkopniveau : N.A.P. -4.50 m
- traject negatieve kleef : N.A.P. -4.44 m
- tot : N.A.P.-10.20 m
- $p_{sur;k}$: 21.08 kN/m²

Berekening negatieve kleef

De karakteristieke waarde van de maximale negatieve kleefbelasting v.e. alleenstaande paal volgens art. 7.3.2.2 (d) bedraagt:

$$F_{nk;k} = O_{s;gem} * \sum d_j * K_{0;j;k} * \tan \delta_{j;k} * (\sigma'_{v;j-1;k} + \sigma'_{v;j;k}) / 2.0$$
$$= -53.5 \text{ kN}$$

waarin :

- $O_{s;gem}$ = omtrek van de dwarsdoorsnede van de paalschacht
- d_j = de dikte van de grondlaag i
- $K_{0;j;k}$ = de karakteristieke waarde van de neutrale gronddrukfactor in laag i
- $\delta_{j;k}$ = de karakteristieke waarde van de wrijvingshoek
- $\sigma'_{v;j;k}$ = de karakteristieke waarde van de effectieve verticale spanning onder in laag j

Per laag

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Nr Laag	Nivo [m]	Hoogte [m]	$O_{s;gem}$ [m ²]	$K_{0;j} * \tan(\delta_i)$	$\sigma'_{v;j;k}$ [kN/m ²]
--	----	-4.50	--	--	21.08
1 Zand - Schoon - Los	-5.00	0.50	0.86	0.25	30.08
2 Zand - Schoon - Los	-6.50	1.50	0.86	0.25	45.08
3 Veen - Niet voorbelast - Slap	-10.20	3.70	0.86	0.25	52.48

Rekenwaarde

De rekenwaarde van de maximale negatieve kleefbelasting van een alleenstaande paal bedraagt :

$$F_{nk;d} = F_{nk;k} * \gamma_{f,nk} = -53.5 \text{ kN}$$

waarin :

in dit geval :

$$\gamma_{f,nk} = \text{belastingfactor voor de negatieve kleef} \\ (\text{art. 7.3.2.2 (b)}) \quad 1.0 -$$

LAST_ZAKKINGSDIAGRAM ø273

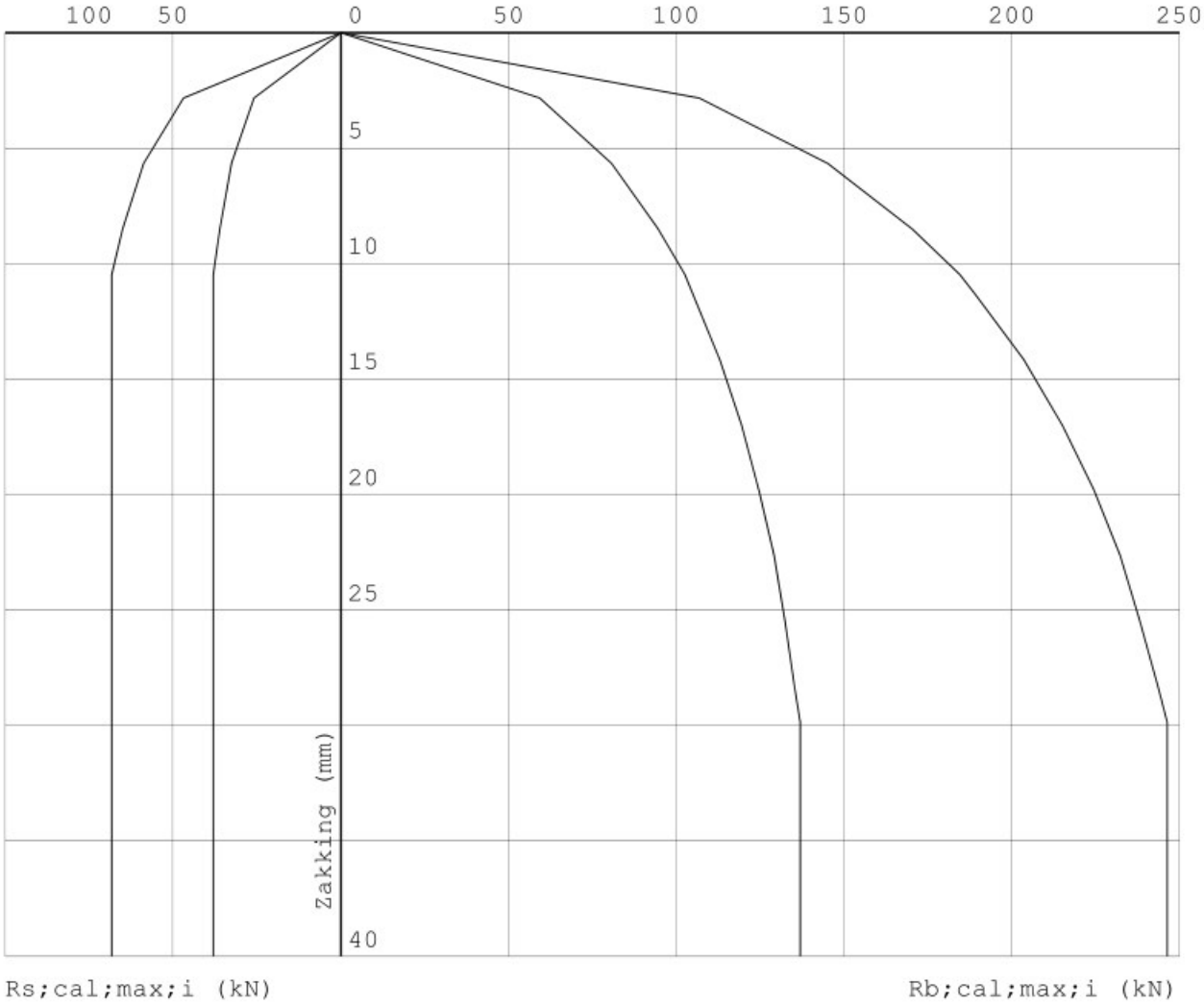
Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : 3
- gehanteerde paal : ø273/283
- paalpuntniveau : N.A.P.-11.75 m

Last-zakkingsgedrag paal

paalzakking (mm)					draagvermogen 1B (kN)					paalzakking (mm)					draagvermogen 2 (kN)				
voet	kop	punt	wrijving	totaal	voet	kop	punt	wrijving	totaal	voet	kop	punt	wrijving	totaal	voet	kop	punt	wrijving	totaal
0.0	0.0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0
2.8	3.3	59	26	85	2.8	3.8	107	47	154	2.8	3.8	107	47	154	2.8	3.8	107	47	154
5.7	6.3	81	33	113	5.7	6.9	145	59	204	5.7	6.9	145	59	204	5.7	6.9	145	59	204
8.5	9.3	95	36	131	8.5	9.9	170	65	235	8.5	9.9	170	65	235	8.5	9.9	170	65	235
10.5	11.3	102	38	140	10.5	12.0	184	68	253	10.5	12.0	184	68	253	10.5	12.0	184	68	253
11.3	12.2	105	38	143	11.3	12.9	189	68	257	11.3	12.9	189	68	257	11.3	12.9	189	68	257
14.1	15.1	113	38	151	14.1	15.8	203	68	272	14.1	15.8	203	68	272	14.1	15.8	203	68	272
17.0	17.9	119	38	157	17.0	18.7	215	68	283	17.0	18.7	215	68	283	17.0	18.7	215	68	283
19.8	20.8	125	38	163	19.8	21.6	224	68	293	19.8	21.6	224	68	293	19.8	21.6	224	68	293
22.6	23.6	129	38	167	22.6	24.5	232	68	300	22.6	24.5	232	68	300	22.6	24.5	232	68	300
25.5	26.5	132	38	170	25.5	27.3	238	68	306	25.5	27.3	238	68	306	25.5	27.3	238	68	306
28.3	29.3	135	38	173	28.3	30.2	243	68	312	28.3	30.2	243	68	312	28.3	30.2	243	68	312
29.9	30.9	137	38	175	29.9	31.8	246	68	315	29.9	31.8	246	68	315	29.9	31.8	246	68	315
283.0	284.1	137	38	175	283.0	284.9	246	68	315	283.0	284.9	246	68	315	283.0	284.9	246	68	315

Last-zakkingsdiagram grenstoestand 1B en 2



Bijlage 2

RICHTLIJNEN VOOR HET UITVOEREN VAN GRONDVERBETERINGEN

De grondverbetering moet bestaan uit schoon, goed gegradeerd zand. De korrelvorm speelt hierbij een belangrijke rol met betrekking tot de verdichtbaarheid en de hiervoor benodigde energie.

Voor de uitvoering van de grondverbetering zal, afhankelijk van de hieraan te stellen eisen, het te gebruiken zand moeten worden onderzocht voor wat betreft korrelverdeling, korrelvorm en verdichtbaarheid. Dit geldt zowel voor het van nature aanwezige zand als voor eventueel aan te voeren zand. Het onderzoek kan respectievelijk geschieden door middel van een zeefanalyse, een microscopisch onderzoek en een Proctor-proef of verzwaarde Proctor-proef.

Onderstaand zijn de eisen omschreven waaraan het zand moet voldoen dat wordt gebruikt voor de toepassing van een grondverbetering.

- De korrelfractie kleiner dan 63 μm zal in het algemeen niet meer mogen bedragen dan 5%. Indien minder strenge eisen worden gesteld aan de grondverbetering is een gewichtspercentage van 10% < 63 μm toelaatbaar.

- De uniformiteitscoëfficiënt = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ dient voor Nederlandse zanden minimaal 2,0 te bedragen.

Hierin zijn:

D_{10} = korreldiameter met een zeefdoorval van 10 gewichtsprocenten.

D_{60} = korreldiameter met een zeefdoorval van 60 gewichtsprocenten.

- De korrelvorm dient bij voorkeur hoekig te zijn.
- De curve watergehalte - droge dichtheid dient rond de maximum dichtheid een flauw verloop te bezitten, dit betekent dat een goede verdichting kan worden verkregen bij verschillende watergehalten.

Verdichting

- De grondverbetering dient in lagen te worden opgebouwd en te worden verdicht met trilplaat of trilwals.
- De toe te passen laagdikte is hoofdzakelijk afhankelijk van de aan te wenden verdichtingsapparatuur. Globaal is in de onderstaande tabel een indicatie gegeven van de toe te passen laagdikte en apparatuur.

Gewicht trilplaat [kN]	Laagdikte [m]
1 - 2	0,2
4 - 6	0,3
10 - 20	0,4
30 - 40	0,5 à 0,6

- Bij het toepassen van zware trilapparatuur dient het funderingsniveau nagetrild te worden met een lichte trilplaat, omdat een zware trilplaat de bovenste laag van circa 150 mm losschudt. Wij merken hierbij nog wel op dat voor bepaalde apparatuur de volgens fabrieksspecificatie opgegeven dieptewerking geen maatstaf is voor de toe te passen laagdikte daar de effectiviteit met de diepte snel afneemt en onderhoud en slijtage belangrijke gegevens zijn bij het optimaal functioneren.
- De verdichting dient per laag te worden uitgevoerd in minimaal 4 gangen, kruislings en overlappend.
- Verder zal alvorens de eerste laag aan te brengen het ontgravingsniveau moeten worden afgetrild op de bovengenoemde wijze.
- Tijdens de verdichting zal de grondwaterstand, indien deze zich niet voldoende diep onder het ontgravingsniveau bevindt, moeten worden verlaagd. Indien dit niet gebeurt zal afhankelijk van de doorlatendheid van het gebruikte c.q. aanwezige zand, de grondwaterstand en de toe te passen trilapparatuur "liquefaction" (drijfzand conditie) kunnen optreden. Globaal dient de grondwaterstand tot circa 0,5 meter beneden het ontgravingsniveau te worden verlaagd.
- De aanlegbreedte van de grondverbetering zal zodanig moeten zijn, dat een spreiding van de funderingsdrukken mogelijk is onder een hoek van 45° met de verticaal vanaf de rand van stroken en/of poeren.
- Het watergehalte van het zand dient tijdens het verdichten bij voorkeur 8 tot 15% te bedragen. Eén en ander is af te leiden uit de eventueel uitgevoerde Proctor-proef waarbij het optimale watergehalte wordt bepaald in relatie tot de hoogst verkregen dichtheid bij een constante hoeveelheid energie.
- De kwaliteit van de grondverbetering dient zodanig te zijn, dat minstens een hoek van inwendige wrijving wordt bereikt die als uitgangspunt voor de berekening is gehanteerd. De waarden liggen in de regel tussen 32,5° en 35,0°.

Controle

De controle op de kwaliteit van de uitgevoerde grondverbetering kan geschieden op de onderstaande wijze:

a. Controlesonderingen.

Hierbij kan een volledig pakket grondverbeteringen worden gecontroleerd. De gemeten conusweerstand dienen hierbij als controlemiddel.

b. Handsonderingen.

De mogelijkheden hiermee zijn beperkt, zowel voor wat betreft te meten conusweerstand als diepte. Gesteld kan worden dat een verdichte zandlaag van circa 0,5 meter hiermee te controleren is, eventueel met behulp van handboor.

c. In-situ-dichtheidsbepalingen met behulp van volumesteeeringen.

De beperkingen van dit systeem zijn als onder b.

De beoordeling van de gemeten dichtheid moet worden gerelateerd met de uit de Proctor-proeven verkregen maximale dichtheid. In het algemeen dient de gemeten dichtheid minimaal 95 tot 98% van de standaard Proctor-dichtheid te bedragen; waarbij:

- 95% lage eis;
- 98% normale eis; minimum voor funderingsgrondslagen met $\varphi = 32,5^\circ$ en voor de bovenlaag van aardebanen.