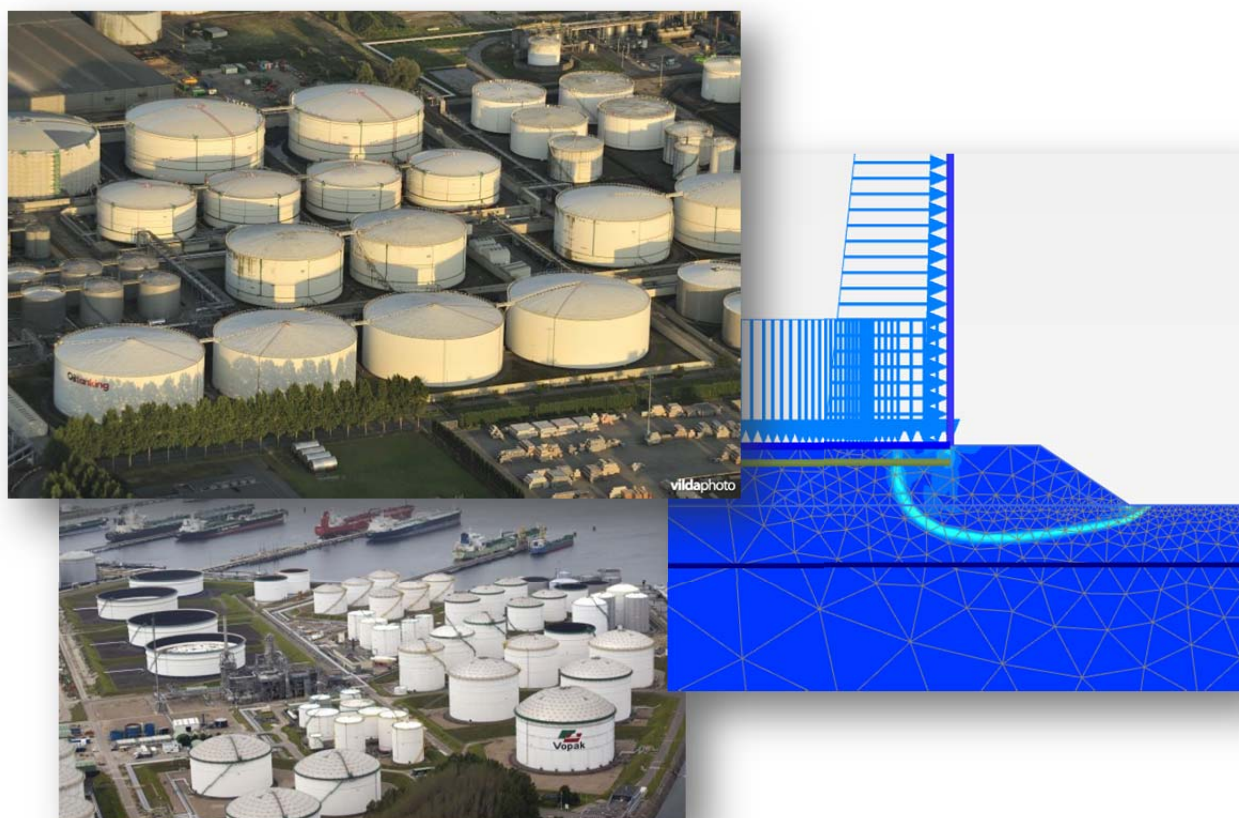


Terpfundering voor opslagtanks

“Voor opslagtanks tot en hoger dan 20 meter”

Afstudeerrapport
Rapportnummer IGOAFS1DT_SVD_R01



Hogeschool Rotterdam

Sanne van Dorp
Studentnummer 0853935
Civiele techniek

Gegevens

Hogeschool Rotterdam

Instituut voor de gebouwde omgeving
Civiele Techniek Deeltijd

Student/Afstudeerder

Sanne van Dorp
Prins Hendriklaan 47
2264 SR Leidschendam
Privé: 06 50404686
Werk: 070 3111271
Privé: 0853935@hr.nl en sannevdorp@hotmail.com
Werk: s.dorp@fugro.nl
Studentnummer: 0853935

Afstudeerbedrijf

Fugro GeoServices B.V.
Veurse Achterweg 10
2264 SG Leidschendam

Postbus 63
2260 AB Leidschendam
www.fugro.nl

Begeleiding Fugro GeoServices B.V.

1ste begeleidster
Mevrouw ir. P.R.M. Ammerlaan – Groepshoofd Geotechniek
070 3111480
p.ammerlaan@fugro.nl

2de begeleider
De heer ir. A.J. van Seters - Afdelingshoofd Geotechniek
070 3111137
a.vseters@fugro.nl

Hogeschool Rotterdam

G.J. de Jonghweg 4-6
3015 GG Rotterdam

www.hogeschoolrotterdam.nl

Begeleiding Hogeschool Rotterdam

De heer ir. N.Q. Nguyen
06 29269488
Nq.nguyen@baminfraconsult.nl

Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van het afstudeeronderzoek “Voor opslagtanks tot en hoger dan 20 meter” in het kader van de opleiding Civiele Techniek – Deeltijd aan de hogeschool Rotterdam. Het afstudeeronderzoek is in samenwerking met Fugro GeoServices B.V. in Leidschendam uitgevoerd.

Terugkijkend ben ik tevreden over het eindresultaat en hoop ik dat Fugro GeoServices en de richtlijnen, voor de terpfundering van bovengrondse opslagtanks, wat met de resultaten kunnen doen. Het was toch een complex onderzoek, omdat niet bekend was hoe de huidige afmetingen zijn bepaald. Voor mij was het een grote uitdaging om dit te onderzoeken en nieuwe afmetingen te bepalen voor hogere tanks.

Mijn dank gaat uit naar mijn afstudeerbegeleidster van Fugro mevrouw P.R.M. Ammerlaan en mijn afstudeerbegeleider van school de heer N.Q. Nguyen. Daarnaast gaat mijn dank tevens uit naar alle medewerkers van Fugro voor de bereidheid van het stellen van vragen.

Verder wil ik mijn familie, vrienden en collega's bedanken voor hun steun tijdens de studie en afstuderen.

Leidschendam, 11 juni 2015

Sanne van Dorp

Samenvatting

In Nederland, onder andere in de regio Rotterdam (Maasvlakte, Europoort en Botlek) en Amsterdam, staan grote opslagtanks. Hier worden verschillende vloeistoffen opgeslagen en verder getransporteerd naar raffinaderijen in Nederland of naar het buitenland. De grootte van de tanks in Nederland is in de loop van de tijd gegroeid om meer opslagcapaciteit te krijgen. De tanks in Nederland variëren in diameter van 8 m tot ca. 100 m en in hoogte van 15 m tot ca. 30 m.

Voor de tankfundering zijn in de richtlijnen PGS 29 (Nederlandse richtlijn) en de EEMUA 183 (Europese richtlijn) aanbevelingen opgenomen. In deze richtlijnen staan minimale en maximale afmetingen voor tankterpen voor tanks tot 10 en 20 m hoog gegeven, om te voldoen aan de geotechnische draagkracht. Tegenwoordig worden tanks met een hoogte tot ca. 30 m gebouwd. Voor tanks hoger dan 20 meter staan in de richtlijnen echter geen afmetingen voor de tankterp vastgelegd. Daarnaast komen in de verschillende richtlijnen genoemde afmetingen voor de tankterpen (funderingen) van de tanks niet met elkaar overeen.

Voor dit onderzoek is de volgende hoofdvraag opgesteld:

“Welke aanpassingen zijn nodig in de huidige richtlijn PGS 29 om opslagtanks hoger dan 20 m te funderen en welke aanpassingen zijn nodig om tanks niet alleen op een ondergrond bestaande uit zand, maar ook op een bodem bestaande uit zand & klei te funderen?”

Er zijn gevoeligheidsanalysen uitgevoerd met DGeoStability en PLAXIS voor de verschillende tankhoogtes en diverse terpafmetingen. De analyses zijn uitgevoerd voor een tank in veiligheidsklasse RC3. De analyses zijn gemaakt voor een ondergrond volledig bestaande uit zand en met een aanwezige kleilaag. Ook is de grondwaterstand gevarieerd.

Belangrijk is dat de afmetingen die in de tabel zijn gegeven te allen tijde nagerekend dienen te worden. De draagkracht dient altijd getoetst te worden. De terpafmetingen die in de richtlijnen staan dienen dus als basisafmetingen.

In de PGS29 en EEMUA183 kunnen de volgende richtwaarden voor de afmetingen van de tankterp worden aangehouden:

Tabel 0-1: Tabel met vereiste terpafmetingen

Tankhoogte (m)	S minimaal (m)	T maximaal (m)
10	1,0	1,5
20	1,5	1,0
30	3,0*	0,75*
35	-	-

* In geval van een zand ondergrond ($\varphi' = 30^\circ$).

Uit de resultaten van de berekeningen zijn diverse bevindingen gekomen. De conclusies zijn daarom ook in tweeën verdeeld:

- conclusies voor de afmetingen van de terp;
- conclusies betreffende de rekenmodellen.

Conclusies voor de terpaftmetingen:

- 1) De stabiliteit van de terp is afhankelijk van de volgende factoren, zoals aangetoond in de berekeningen:
 - Hoogte van de tank: hoe hoger de tank, des te instabieler wordt de terp.
 - Aanwezigheid van slappe lagen: De dikte van de slappe laag heeft een negatieve invloed op de stabiliteit. De diepteligging van de slappe lagen: in het algemeen (enkele berekeningen geven een ander beeld) geldt dat een grotere diepte ligging resulteert in een stabielere tankterp.
 - Grondwaterstand: hoe lager de grondwaterstand, des te stabiel wordt de tankterp.
 - Breedte van de schouder: een bredere schouder leidt tot een grotere stabiliteit.
 - Hoogte van de tankterp: een lagere terp maakt de terp stabiel.
- 2) Voor tanks groter dan 20 m dient de tankterp aangepast te worden. De waarden van tabel 0-1 voldoen dan waarschijnlijk niet meer. Een andere funderingsoptie zal dan moeten worden toegepast, bijvoorbeeld door middel van grondverbetering, palen, geotextielen.

Conclusies betreffende de rekenmodellen:

- Uit de DGeoStability berekeningen blijkt dat als de diameter groter wordt, de veiligheidsfactor groter wordt. Dit geldt bij de verschillende varianten die zijn berekend met DGeoStability. De toename in veiligheid met een grotere diameter is niet volgens de verwachting. Het bezwijken van een tankterp met een hoogte van 1,0 m á 1,5 m geschiedt door middel van een oppervlakkig schuifvlak. Dit schuifvlak zal nauwelijks veranderen als de tank diameter groter wordt dan 10 m. Daarom was verwacht, dat de veiligheidsfactor min of meer onafhankelijk is van de diameter.
- Uit de berekeningen bleek echter toch een afhankelijkheid van de tankdiameter. Deze afhankelijkheid wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de geometrische spreiding in de belasting in DGeoStability. Wordt namelijk de belastingspreiding uitgeschakeld, dan resulteert eenzelfde veiligheid voor alle tankdiameters. Ook PLAXIS geeft veiligheidsfactoren, die min of meer onafhankelijk zijn van de tankdiameter. De veiligheid berekend volgens DGeoStability voor de tankdiameters groter dan 10 m is dus aan de optimistische kant.
- De resultaten van PLAXIS zijn lager dan de DGeoStability resultaten. Dit wordt veroorzaakt doordat theoretisch DGeoStability een bovengrens oplossing geeft en PLAXIS een ondergrens. Glijvlak berekeningen zijn in principe niet geheel juist. Het totaal evenwicht van de lamellen is een benadering.
- Uit de resultaten en de grafieken is niet duidelijk te zien waarom er een scheiding van de terpaftmetingen is, bij een diameter van 15 m in de EEMUA 183. De PLAXIS resultaten zijn namelijk constant voor de verschillende diameters en in geval van de DGeoStability berekeningen neemt de veiligheidsfactor toe bij een grotere diameter.

Aanbevelingen

Aan de hand van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Bij tanks tot 30 m en 35 m hoog wordt geadviseerd om ten opzichte van de richtlijnen, aanpassingen te doen aan de terpaftmetingen of een andere fundering toe te passen.
- Geadviseerd wordt de afmetingen die in de richtlijnen staan altijd na te rekenen.
- Een correcte keuze is erg belangrijk betreffende de veiligheidsklasse, parameterwaarden, bovenbelasting en grid in de rekenprogramma's.
- Terpaftmetingen in de richtlijnen dienen in geval van de stabiliteit gegeven te worden als een minimale schouderbreedte en een maximale terphoogte. Dit is in tegenstelling met de huidige richtlijnen.
- Verder onderzoek naar de invloed van de tankdiameter is belangrijk voor de extrapolatie naar hogere tanks.

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting	ii
H 1. Inleiding	1
1.1 Achtergrond informatie	1
1.1.1 Hoofdvraag	1
1.1.2 Deelvragen	2
1.2 Doelstelling	2
1.3 Werkwijze	2
1.4 Leeswijzer	2
H 2. Achtergrond tankfundaties	3
2.1 Algemeen	3
2.2 Functionele eisen opslagtank en tankterp	3
2.2.1 Functionele eisen voor een opslagtank	3
2.2.2 Tankterp functionele eisen	5
2.3 Opslagtanks en hun funderingen	9
2.3.1 Algemeen	9
2.3.2 Opslagtanks	9
2.3.3 Funderingsconstructies opslagtanks	11
2.3.4 Watertest	16
H 3. Richtlijnen en rekenmethoden	18
3.1 Verschil richtlijnen	18
3.1.1 PGS 29	18
3.1.2 EEMUA 183	19
3.2 Tabellen in de richtlijnen	20
3.2.1 Opmerkingen en verschillen tabellen algemeen	20
3.2.2 Opmerkingen en verschillen tabellen zonder steenslag ring	20
3.2.3 Opmerkingen en verschillen tabellen met steenslag ring	21
3.3 Rekenmethoden	22
H 4. Aanpak werkzaamheden	24
4.1 Uitgangspunten voor berekeningen	24
4.2 Bodemopbouw voor berekeningen	26
H 5. Resultaten berekeningen	28
5.1 Inleiding	28
5.2 Opslagtank tot 10 m en 20 m hoog - zandprofiel	28
5.3 Opslagtank tot 30 m en 35 m hoog - zandprofiel	30
5.4 Tanks met kleilagen in de ondergrond	32
H 6. Analyse resultaten berekeningen	34
6.1 Toelichting resultaten	34
6.1.1 Algemene opmerkingen	34
6.1.2 Tankhoogtes tot 10 m en 20 m	34
6.1.3 Tankhoogtes 30 m en 35 m	36
6.2 Aanpassing / toelichting richtlijn	36
H 7. Conclusies en aanbevelingen	37
7.1 Conclusies	37
7.2 Aanbevelingen	38
Begrippenlijst	iii
Referentielijst	iv

Bijlagen	Nr.
- Tabellen uit de richtlijnen PGS 29 en EEMUA 183	1
- DGeoStability → Ondergrond volledig zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)	2
- PLAXIS 2D → H 10 m – Ondergrond volledig zand (GWS MV -1,0 m)	3
- DGeoStability → Ondergrond volledig zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)	4
- DGeoStability → H 10 m en 20 m – Ondergrond zand (0,5 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)	5
- DGeoStability → H 10 m en 20 m – Ondergrond zand (1,0 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)	6
- DGeoStability → H 10 m en 20 m – Ondergrond zand (2,0 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)	7
- DGeoStability → H 30 m en 35 m – Ondergrond zand (0,5 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 m)	8
- DGeoStability → H 30 m en 35 m – Ondergrond zand (1,0 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 m)	9
- DGeoStability → H 30 m en 35 m – Ondergrond zand (2,0 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 m)	10
- PLAXIS 2D → H 10 m – Ondergrond zand (0,5 m) – klei (1,0 m) – zand (GWS MV -0,5 m)	11
- PLAXIS 2D → H 10 m – Ondergrond zand (1,0 m) – klei (1,0 m) – zand (GWS MV -0,5 m)	12
- PLAXIS 2D → H 10 m – Ondergrond zand (2,0 m) – klei (1,0 m) – zand (GWS MV -0,5 m)	13
- Glijcirkels tankhoogte 10 m → DGeoStability & Plaxis	14
- Glijcirkels tankhoogte 20 m → DGeoStability	15
- Glijcirkels tankhoogte 30 m → DGeoStability	16
- Glijcirkels tankhoogte 35 m → DGeoStability	17
- Beoordeling bedrijf (Fugro)	18
- Toestemmingsformulier	19
- Plan van Aanpak afstuderen	20

H 1. Inleiding

1.1 Achtergrond informatie

In Nederland, onder andere in de regio Rotterdam (Maasvlakte, Europoort en Botlek) en Amsterdam, staan grote opslagtanks (verder te noemen: 'tank(s)'). Vanuit hier worden verschillende vloeistoffen verder getransporteerd naar raffinaderijen in Nederland of naar het buitenland.

De tanks in Nederland variëren in diameter en hoogte. De grootte van de tanks is in de loop van de tijd gegroeid om meer opslagcapaciteit te krijgen. De tanks in Nederland hebben een variërende diameter van 8 m tot ca. 100 m en een hoogte van 15 m tot ca. 30 m.

Fugro GeoServices B.V. heeft veel ervaring betreffende het uitvoeren van grondonderzoek in het algemeen, maar ook voor tanks in het bijzonder. Voor de nieuw te bouwen tanks wordt grondonderzoek uitgevoerd, een funderingsadvies opgesteld en wordt, indien de tank op een tankterp wordt gefundeerd, de stabiliteit van de tankterp berekend. De afmetingen en de inhoud van de tank worden door de klant opgegeven.

Voor tanks zijn diverse normen en richtlijnen geschreven. De tanks worden ontworpen conform de normen EN 14015 of de API 650. In de richtlijnen PGS 29 en EEMUA 183 wordt onder andere de fundering van de tank toegelicht. Vaak worden deze tanks gefundeerd op een tankterp (fundering) van zand, met een gebroken steenslagring.

In deze richtlijnen (PGS 29 en EEMUA 183) staan minimale en maximale afmetingen voor de tankterpen voor tankhoogten tot 10 m en 20 m. Tegenwoordig worden tanks tot een hoogte van ca. 30 m gebouwd. Voor een tank hoger dan 20 m staan in de richtlijnen geen minimale of maximale afmetingen. Daarnaast komen in de richtlijnen genoemde afmetingen voor de tankterpen (funderingen) van de tanks niet met elkaar overeen.

De vraag is dan ook: "Kan een tankterp worden toegepast bij een tankhoogte hoger dan 20 m of moet er een ander type fundering worden toegepast." Als een tankterp wel kan worden toegepast, welke afmetingen moet de tankterp hebben? En hoe zit het met de functionaliteit van de tankterp als een tank van 30 m of zelfs 35 m hoog wordt gebouwd. Heeft dit invloed op onder andere de ondergrond?

De trend van de afgelopen jaren geeft namelijk aan dat de tanks steeds hoger worden. De verwachting is dat tanks binnen 10 à 15 jaar zo'n 40 m tot 50 m hoog worden. De hoge tanks hebben wel een beperkte diameter, omdat de maximale wanddikte vast staat. Aan de hand van de wanddikte en de gewenste tankhoogte kan de diameter van de tank worden berekend.

In voorliggend rapport is onderzoek gedaan naar de maximale hoogte van de tanks en naar de bijbehorende fundering. Daarnaast is onderzocht hoe de afmetingen van de tankterp zijn bepaald volgens de richtlijnen voor de tanks tot 10 m en 20 m hoog.

Deze afmetingen, die in de richtlijnen PGS 29 en EEMUA 183 in tabelvorm zijn weergegeven in bijlage 1, hebben betrekking op een tankterp met zand en een gebroken steenslagring. De tabellen worden mogelijk nog aangepast aangevuld voor de verschillende tankhoogtes.

1.1.1 Hoofdvraag

De hoofdvraag die aan het eind van het afstuderen beantwoord dient te worden is:

"Welke aanpassingen zijn nodig in de huidige richtlijn PGS 29 om opslagtanks hoger dan 20 m te funderen en welke aanpassingen zijn nodig om tanks niet alleen op een ondergrond bestaande uit zand, maar ook op een bodem bestaande uit zand & klei te funderen?"

1.1.2 Deelvragen

De deelvragen die gesteld zijn om tot het beantwoorden te komen van de hoofdvraag zijn:

- Wat zijn de functionele eisen van een opslagtank en tankterp?
- Waar zijn tanks hoger dan 20 m gebouwd en hoe is daarbij de fundering ontworpen en uitgevoerd?
- Wat zijn de huidige toepassingsgebieden van de richtlijnen en waarom? Welke theorieën liggen ten grondslag aan deze richtlijnen?
- Wat is het verschil van de tankterpafmetingen tussen de richtlijnen PGS 29 en de EEMUA 183?
- Welke funderingsconstructies voor opslagtanks zijn aanwezig en waarom juist die?
- Wat voor rol speelt de ondergrond in de afmetingen van de tankfundering?
- Hoe zijn de afmetingen in de huidige richtlijnen bepaald voor tanks van 10 m en 20 m hoog?
- Hoe kan een tank van 30 m en 35 m hoog op een tankterp worden gefundeerd?
- Wat moet er worden aangepast in de richtlijn om opslagtanks hoger dan 20 meter te funderen op zand en zand & klei?

1.2 Doelstelling

Het doel van het afstudeeronderzoek is om een aanvulling op de richtlijn PGS 29 te maken voor tanks hoger dan 20 meter en de huidige afmetingen van de terp in de richtlijnen (PGS 29 en EEMUA 183) te verifiëren. De resultaten kunnen intern (en extern) gebruikt worden.

1.3 Werkwijze

Om tot het eindresultaat te komen is eerst een literatuurstudie uitgevoerd naar de verschillende normen/richtlijnen, wat voor soorten funderingen aanwezig zijn voor tanks en waar hoge tanks zijn gebouwd. Daarna is onderzocht wat de verschillen zijn van de afmetingen van de tanks tot 10 m en 20 m hoog die in de richtlijnen PGS 29 en EEMUA 183 staan. Ook zijn de afmetingen die in de richtlijnen staan voor tanks tot 10 m en 20 m hoog herleid/geverifieerd. De berekeningen zijn uitgevoerd met DGeoStability en in een later stadium PLAXIS.

Daarnaast zijn tankconstructeurs benaderd met onder andere de vragen hoe hoog de tanks op dit moment worden berekend, waar de hogere tanks zijn gebouwd en of daar maatregelen zijn getroffen, welk type fundering + afmetingen zijn toegepast en of er nog bijzonderheden zijn. Tevens is gekeken in het Fugro archief van uitgevoerde projecten.

Voor de tanks zijn berekeningen uitgevoerd met DGeoStability en PLAXIS om de afmetingen van de funderingen te bepalen. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor een vereenvoudigd bodemprofiel met zand, maar er is ook gevarieerd met de dikte en diepte van de kleilaag en grondwaterstand. Hieruit kunnen oplossingen worden afgeleid voor de fundering van een tank tot 10 m, 20 m, 30 m en 35 m. Deze resultaten kunnen mogelijk worden opgenomen in de richtlijn(en).

1.4 Leeswijzer

Dit rapport bevat de volgende onderdelen:

- Achtergrond tankfundaties (hoofdstuk 2);
- Richtlijnen en rekenmethoden (hoofdstuk 3)
- Aanpak werkzaamheden (hoofdstuk 4);
- Resultaten berekeningen (hoofdstuk 5);
- Analyse resultaten berekeningen (hoofdstuk 6);
- Conclusie en aanbeveling (hoofdstuk 7).

H 2. Achtergrond tankfundaties

2.1 Algemeen

De informatie in dit hoofdstuk is gebaseerd op:

- Eurocode (7 Geotechniek: NEN9997-1);
- NEN EN 14015 (tank ontwerp – Europese norm);
- API 650 (tank ontwerp – Amerikaanse norm);
- PGS 29 (tank ontwerp – Nederlandse richtlijn);
- EEMUA 183 (tank ontwerp – Europese richtlijn);
- Kennis Inventarisatie Document “Vloeibare bulk op- en overslag in tanks”.

Als een nieuwe tank wordt gebouwd, dient de nieuwe tank te voldoen aan een bestaande internationale tankbouw norm/richtlijn. Deze tanks worden ontworpen conform de norm EN 14015 of API 650. In de richtlijnen PGS 29 en EEMUA 183 wordt informatie gegeven met betrekking tot de fundering van de tanks.

Als een norm/richtlijn is gekozen voor het bouwen voor een tank, dient deze norm/richtlijn consequent gehanteerd te worden. Voor het realiseren van de tank mag geen gebruik worden gemaakt van een combinatie van de verschillende normen/richtlijnen, om te voorkomen dat de gunstigste voorschriften worden gekozen.

2.2 Functionele eisen opslagtank en tankterp

Voor een tank, maar ook voor een tankterp worden functionele eisen opgesteld. Een functionele eis geeft een beschrijving waar een product of dienst aan moet voldoen tijdens het uitvoeren van de functie(s).

Voor de tank en de tankterp zijn de functionele eisen nader onderzocht en in de navolgende paragrafen nader toegelicht. Op de functionele eisen van de tank zal niet heel diep worden ingegaan, omdat voornamelijk wordt gekeken naar de tankterp.

2.2.1 Functionele eisen voor een opslagtank

De tanks zijn gerealiseerd op locaties die langs het water liggen. De tanks liggen meestal vlakbij raffinaderijen en/of bij havens. De schepen kunnen makkelijk afmeren waardoor de tijd zo kort mogelijk is om de aan- en afvoer van de producten te beperken.

De tankbodem rust op een fundering. De fundering kan een tankterp zijn, maar bijvoorbeeld ook een fundering op palen. De funderingskeuze wordt bepaald door de aanwezige ondergrond. Bij een slechte ondergrond (veel slappe grondlagen zoals veen en klei en weinig zand) dienen de zettingen te worden beperkt en zal eerder een fundering op palen worden gekozen. Indien in de ondergrond weinig tot nauwelijks zettingen zullen optreden, zal een tankterp worden gekozen.

Om niet alleen een beeld te krijgen van de tankterp zelf, is ook globaal gekeken naar de tank zelf. Voor het bouwen van een tank wordt voornamelijk staal toegepast, omdat de tanks flexibel zijn en dezelfde vervormingen kunnen ondergaan als de ondergrond. Wel dienen de vervormingen beperkt te blijven en dient een grens worden opgesteld voor de (toegestane) vervormingen.

De tank heeft de functie om tijdelijk een product (vloeistof) op te slaan. In de tank kunnen verschillende producten worden opgeslagen onder andere:

- Ruwe aardolie
- Vliegtuigbrandstof
- Nafta
- Benzine
- Diesel

Een tank bestaat uit de volgende onderdelen:

1. *Bodem*;
De bodem van de tank bestaat uit bodemplaten, waardoor de vloeistofdruk direct overbrengen op de fundering. De vloeistofdichtheid is van belang voor het type bodemplaten.
2. *Mantel / wand*;
De tankwand bestaat uit een aantal ringen die op elkaar worden gestapeld. De hoogte van de ringen varieert van 1,5 tot 2,0 m. De dikte van de wand neemt langzaam af met de hoogte van de tank. In verband met de afnemende horizontale vloeistofbelasting. De maximale dikte van de wand aan de onderkant van de tank is 40 mm.
3. *Dak*.
Een tank heeft altijd een dak, maar het type dak kan verschillen. Voor tanks bestaan twee soorten daken:
 - o Drijvend dak
 - o Vast dak

Bij het toepassen van een drijvend dak (floating roof), drijft het dak op bijvoorbeeld ruwe aardolie en gaat mee omhoog of omlaag als het oliepeil stijgt of daalt. Tanks met een drijvend dak hebben een maximale hoogte van 20 m à 22 m. Nadeel van een drijvend dak is, dat de tank een ronde vorm moet hebben. Zodra er echter een verschilzetting in de tankfundering ontstaat, is de tank niet egaal rond meer. Hierdoor kan het dak vast komen te zitten.

Bij een tank met een vast dak moet rekening worden gehouden met onder- en overdruk die kan ontstaan door het vullen of legen van de tank. Door het toepassen van een druk-/vacuümklep kan de onder- en overdruk worden geregeld. Wel dient rekening gehouden te worden dat klep geen regenwater doorlaat en niet kan vastvriezen.

In figuur 2-1 zijn verschillende soorten tanks weergegeven met een plat (drijvend) dak en een tank met een koepel dak (dome). In figuur 2-2 is te zien dat er verschillende type tanks worden gebruikt (vast of drijvend dak) en dat er een verschil is in diameter. In figuur 2-3 is een tank op een terp te zien. De afmetingen van de tank en de terp zijn niet bekend.



Figuur 2-1: Links een tank met een drijvend dak, rechts een tank met vast dak in Botlek Rotterdam. (Bron: Google Earth)



Figuur 2-2: Verschillende type tanks in Botlek Rotterdam. (Bron: Google Earth)

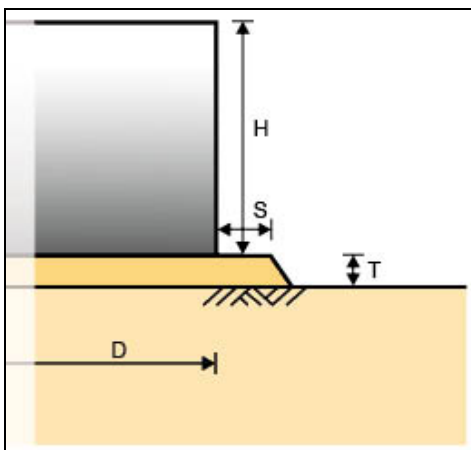


Figuur 2-3: Voorbeeld van een opslagtank. (Bron: www.team-terminal.nl)

2.2.2 Tankterp functionele eisen

De tankterp wordt ook wel tankfundatie genoemd (zie figuur 2-4). Een tankterp wordt vanuit geotechnisch oogpunt toegepast om de hoge belastingdrukken onder de tankrand te spreiden in de ondergrond.

In figuur 2-4 is een schematische weergave gegeven van een tankterp. Hierin zijn de benamingen en de coderingen in aangegeven.



Figuur 2-4: Tankterp met codering.

H = tankwand hoogte (m)

S = schouderbreedte gemeten vanaf de tankwand / bodem verbinding (m)

T = terphoogte boven het maaiveld (m)

D = diameter tank

Door een materiaal met een hoge hoek van inwendige wrijving ϕ' te gebruiken in een terp, kan er meer spanning worden opgenomen en wordt de belasting beter gespreid naar de ondergrond. Belangrijk voor de stabiliteit en de sterkte van de terp zijn de cohesie c' en de hoek van inwendige wrijving ϕ' van de grondslag.

Als de terp (talud) gaat afschuiven, dan is de schuifweerstand (en daarmee de sterkte) van de grond niet voldoende om de aandrijvende kracht door het tankgewicht te weerstaan. Hoe lager de waarde van c' en ϕ' , hoe lager de schuifweerstand van de ondergrond is en hoe groter de kans op bezwijken van de tankfundatie.

Een andere factor die invloed heeft op de draagkracht en de stabiliteit van de tank, is de grondwaterstand. Hoe hoger de grondwaterstand, des te groter is de kans op bezwijken van de fundatie.

De functies van een tankterp (schouder en terphoogte) zijn:

- het verspreiden van de hoge belasting vanuit de tank naar de ondergrond. Door middel van de schouder van de tankterp zal de belasting worden gespreid. De differentiële zettingen blijven hierdoor binnen de grenzen;
- het voorkomen van capillair water ter plaatse van de onderzijde van de tank, waardoor corrosie van de tank kan optreden. Door het grove materiaal van de tankterp wordt capillair water voorkomen;
- de terp kan zorgen voor de mogelijkheid dat de tank thermisch kan uitzetten en kan krimpen;
- bescherming bieden voor de aanwezigheid van leidingwerk;
- Snel afvoeren van eventueel (na een regenbui) aanwezig water van de tankwanden naar de bodem van de tankput;
- de NPSH (netto positieve zuighoogte) voor pompen verbeteren. De drainleiding ligt bij een cone-up aan de rand van de tankvloer en bij een cone-down in het midden van de tankvloer (zie *figuur 2-6*).

De eisen van de tankterp volgens PGS 29 en EEMUA 183 zijn:

- De terp dient te beschikken over een glad oppervlak met aanwezigheid van voldoende draagkracht voor het bouwen van de tank.
- De schouder dient aan de tankterp zijdelingse steun te verlenen onder alle omstandigheden. De schouder dient weerstand te kunnen bieden tegen eventuele beschadigingen die kunnen ontstaan tijdens verschillende activiteiten zoals bouwen, opereren en onderhouden van tanks.
- Het voorkomen van wegspoelen van de tankfundatie door bijvoorbeeld bodemlekkage of eventuele indringing van regenwater.
- Het voorkomen van zetting onder de tankwand/bodem.

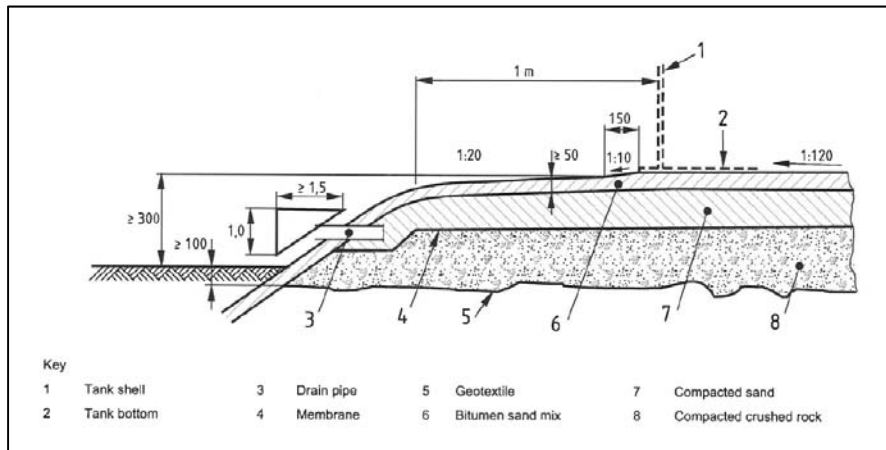
Voor het toepassen van een terp zijn een aantal basisvoorwaarden opgesteld:

- De ondergrond moet worden verkend. Wat voor grondsoorten zijn aanwezig op de locatie. Dit kan door het maken van sonderingen en/of boringen.
- De toplaag en de diepere lagen (de ondergrond) dienen stabiel en voldoende draagkracht te hebben.
- Indien de toplaag/ondergrond niet voldoende draagkracht bezit, kan een grondverbetering worden toegepast.

Als aan de voorwaarden van de terp kan worden voldaan, zijn een aantal eisen waaraan moet worden voldaan tijdens het aanleggen/bouwen van de terp:

- Gradatie en drukvastheid van het zand en gebroken steenmateriaal.
- Grondwaterstand dient ca. MV -0,5 m te zijn tijdens het aanleggen van de terp. Indien de grondwaterstand hoger staat, kan het zand van de terp niet worden verdicht. De draagkracht zal dan niet voldoende zijn.
- Zand in lagen van ca. 0,3 à 0,4 m aanbrengen en daarna verdichten. Verdichting controleren met een handsondeerapparaat (min. 5 MPa) waarbij een verdichtingsgraad van 98% proctorwaardegehaald dient te worden.

De opbouw van een tankterp met zand is schematisch weergegeven in figuur 2-5. Hierin is te zien dat de schouder van de tankterp op afschot ligt. Het eerste gedeelte van de schouder (ca. 15 cm), direct vanaf de tankwand/bodemverbinding, heeft een helling van 1:10 [v:h]. Het gedeelte na de ca. 15 cm tot aan de rand van de schouder (gedeelte S) heeft een helling van 1:20 [v:h]. Buiten de schouderbreedte (S) mag de helling niet steiler zijn dan 1:1,5 [v:h].



Figuur 2-5: Typische zandfundering voor een opslagtank. (Bron: EEMUA 183).

De bovenste laag van de fundering moet worden voorzien van een bitumen/zand mix (zand/olie mix voor tank die opereren boven de 70°C). De dikte van de bovenste laag (toplaag) dient minimaal 0,05 m te zijn. Het aanbrengen van de toplaag heeft het doel:

- te dienen als beschermingslaag om corrosie tegen te gaan, die kan worden veroorzaakt door water en chemicaliën aanwezig in de fundering;
- de belastingen gelijkmatig door te geven van de tankbodem naar de fundering;
- tijdens de bouw van de tank de fundering beschermen;
- de thermische uitzetting van de tankbodem mogelijk te maken.

De toplaag van de fundering zal minimaal 0,15 m buiten de tankbodem moeten doorlopen.

De nieuw te ontwerpen tankfundatie moet als een flexibele fundatie worden ontworpen welke sterk genoeg is om te garanderen dat de fundering:

- de vervormingen van de ondergrond kan opnemen;
- eventuele ongelijkmatige fundatiedrukken te verdelen.

Bij het uitvoeren van een stabiliteitsanalyse van de tankfundatie dient onder andere rekening gehouden te worden met:

- de initiële hoogte boven het omliggende grondniveau;
- het hoogst mogelijke grondwaterpeil;
- de hellingshoek tot de schouder;
- de geotechnische eigenschappen van het materiaal van de tankfundatie en de ondergrond;
- de belasting van de tank;
- het mogelijke effect van wind en aardbevingen op de tank.
- de tankinhoud;
- de bedrijfs- en onderhoudseisen.

Het materiaal van de tankfundering dient te voldoen aan:

- niet verpletterbaar
- hoge wrijvingseigenschappen ($\phi > 35^\circ$)
- lage compressiemogelijkheid ($C_{10}^4 > 500$)
- laag slibgehalte ($\leq 10\%$ m/m)
- drainage mogelijkheden ($k \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s)

- ongevoelig voor:
 - o weersinvloeden
 - o oxidatie
 - o chemische verandering
 - o verandering in mechanische eigenschappen
- gemakkelijk te verdichten
- niet gevoelig voor liquefactie (vooral in aardbevingsgebieden)

Bij een terp met een ring van gebroken steenslag werd in het verleden grind toegepast. Nadeel hiervan is dat grind rond is en makkelijk kan afschuiven. Later is gekozen voor hoekiger gebroken materiaal.

Tegenwoordig wordt voor de gebroken steenslag zandsteen gebruikt. Zandsteen komt uit het noorden van Europa. Zandsteen is echter poreus en neemt meer vloeistof op. Hierdoor wordt de terp minder stabiel.

Terp schouder (S)

Eerder was aangegeven dat de schouder op afschot moet worden aangelegd om te voorkomen dat (regen)water of een verontreiniging kan doordringen onder de tankbodem.

De schouderbreedte dient zo gekozen te worden dat de stabiliteit van de fundering, de schouder van de tankterp en de ondergrond verzekerd zijn. De minimale breedte van de schouder is afhankelijk van verschillende omstandigheden:

- de hoogte van de tank (H);
- de dichtheid van het product ook wel de inhoud van de tank (voor olieproducten is vullen met water de richtlijn);
- type van de tankfundatie (wel of geen ring van gebroken steenslag of heeft de tank een onderheide fundatie);
- de hoogte van de tankterp (T);
- de helling van de schouder is 1:10 [v:h]. De helling tot de schouder mag niet meer bedragen dan 1:1,5 [v:h].

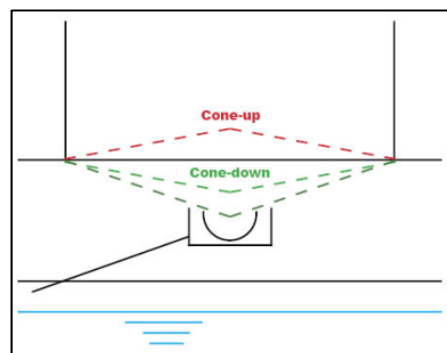
Terphoogte (T)

De hoogte van de tankterp dient minimaal 0,6 m boven het maaiveld van de tankput zijn bij nieuwe tanks. Tevens dient de te verwachten – lange termijn – zetting hierbij te zijn opgeteld.

De hoogte van een tankterp is afhankelijk van:

- de tankhoogte;
- de tankdiameter;
- pipeline in de terp;
- de verwachte zettingen;
- cone-down gebied;
- zakkingen meer dan cone-down;
- bak van de afvoer;
- de grondwaterstand.

Bij de dikte van de terp dient rekening gehouden te worden met de zettingen die kunnen optreden. Vaak worden tanks volgens het cone-up dan wel het cone-down principe gebouwd. Hierbij moet rekening worden gehouden met zettingen, zodat een cone-up niet verandert in een cone-down constructie of omgekeerd. Het principe is weergegeven in *figuur 2-6*.



Figuur 2-6: Principe Cone-up en cone-down.

2.3 Opslagtanks en hun funderingen

2.3.1 Algemeen

Als de locatie voor een nieuw te bouwen tank bekend is, wordt een ontwerp gemaakt van de tank en de fundering. Tijdens het ontwerpen van de tank wordt rekening gehouden met praktische mogelijkheden voor de fundatie. Om te voorkomen dat een duur fundatiesysteem toegepast moet worden (bijv. diepe boorpalen) kan het rendabel zijn om de tankhoogte te beperken en/of een grote diameter toe te passen.

Het ontwerp van de tank is afhankelijk van de wensen van de klant, het type product, de benodigde inhoud en de beschikbare ruimte. Daarnaast heeft de dikte van de wand invloed op de hoogte en de diameter van de tank.

Nadat het ontwerp gereed is, dient eerst grondonderzoek uitgevoerd te worden ter plaatse van de nieuw te bouwen tank. Het grondonderzoek van een tank moet voldoende informatie bevatten over de bodemopbouw (grondsoorten, doorlatendheid van de grondsoorten). De EEMUA 183 en de PGS 29 hebben in de richtlijn aangegeven hoeveel sonderingen uitgevoerd moeten worden (als richtlijn) voor een tank met een bepaalde diameter. In tabel 2-1 is het aantal uit te voeren sonderingen in verhouding tot de tank diameter aangegeven.

Tabel 2-1: Diameter tanks met aantal te maken sonderingen.

Diameter tank	Aantal sonderingen (richtlijn)
< 25 m	5
25 m > < 50 m	9
50 m > < 70 m	13
> 70 m	17

Tevens moet ook rekening worden gehouden met de variatie in de bodemopbouw (op grond van archief gegevens). Als een inschatting kan worden gemaakt aan de hand van de beschikbare gegevens in het gebied, kan worden overwogen om meer of minder sonderingen uit te voeren. Bij grote kans in variatie in de bodemopbouw is het verstandig om meer sonderingen uit te voeren dan in de richtlijn zijn voorgeschreven.

Nadat het grondonderzoek is uitgevoerd, wordt het advies opgesteld voor de fundering van de tank.

2.3.2 Opslagtanks

Over de hele wereld worden tanks gebouwd. In Nederland staan tanks onder andere in:

- Rotterdam → Europoort / Botlek / Maasvlakte
- Amsterdam → Ruigoord / Westpoort
- Moerdijk
- Nijmegen
- Terneuzen
- Vlissingen

De grootste tanks die in Nederland staan, staan in de regio Rotterdam en Amsterdam. Vanuit hier kunnen de vloeistoffen worden getransporteerd naar raffinaderijen in het binnen- en buitenland. Daarnaast staan er een aantal tanks in Moerdijk, Nijmegen, Terneuzen en in Vlissingen. De hoeveelheid en grootte van de tanks die hier staan is beperkt.

De afgelopen jaren zijn nieuwe tanks gebouwd. Deze tanks zijn hoger dan in de richtlijnen staat aangegeven, namelijk tot ca. 30 m hoog. Een aantal gebouwde tanks in Nederland zijn:

- De grootste tanks in Nederland staan in Rotterdam, Maasvlakte. De tanks hebben een inhoud van 114.000 m³. Een aantal van deze tanks hebben een diameter van ca. 85 meter en een hoogte van 22 meter. Verder komen in Nederland tanks voor met een diameter van maximaal ca. 100 meter met een variërende hoogte. Schouderbreedte van 1,0 m à 1,5 m en een terphoogte van 1,0 m (waarbij een talud helling van 1:2 is

- aangehouden). (Bron: Auteur niet bekend (2013). *Onze Business*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://mot.nl/onze-business/>) en de heer A. Tuk van MOT.
- Op het terrein van Maasvlakte Olie Terminal staat een tank van ca. 90 m in diameter van ca. 20 m hoog. De schouderbreedte is 1,5 m en de terphoogte 1,2 m. (Bron: Verwater tankbouw (2009), *Tankfoundation Ø 90.3m Tank 1, 6 & 7 before and after watertest Maasvlakte Crude Oil*. Geraadpleegd op 27 maart 2015. Digitale tekeningen.
 - In de Botlek Tank Terminal staat een tank van 30 meter hoog. De diameter en type fundering zijn niet bekend. (Bron: Auteur niet bekend (2011). *Hoogste punt Botlek Tank Terminal*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://www.portofrotterdam.com/nl/actueel/pers-en-nieuwsberichten/Pages/hoogste-punt-botlek-tank-terminal.aspx>)
 - Vopak heeft 15 nieuwe tanks gebouwd in de Botlek Rotterdam. Dit zijn 9 kleine tanks met een diameter van ca. 12,5 m en een hoogte van 26 meter. En 6 grote tanks met een diameter van ca. 17,5 m en een hoogte van 26 meter. Totaal hebben deze tanks een gezamenlijke inhoud van 66.000 m³. Type fundering is niet bekend. (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Extreem korte aanlevertijd voor 15 Vopak opslagtanks*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://opslagtanks.mercon.com/reference/the-second-reference/?lang=nl>)
 - In Terminal Rotterdam Botlek zijn 5 nieuwe tanks gebouwd met diameters van 26 m tot 46 m en hoogtes van 26 m en 32 m. De opslagcapaciteit van deze 5 tanks samen is 175.000 m³. Type fundering is niet bekend. (Bron: Auteur niet bekend (maart 2012). *Verwarmde olieopslag terminal Rotterdam Botlek, Megatanks in 18.000 m² Techniroll 30. Isolatie op locatie*, pagina 52 en 53.)
 - In Amsterdam, in het Westelijk havengebied, zijn 11 tanks gebouwd. De hoogte van de tanks is niet bekend, maar wel de fundering van de tanks. De tanks zijn gefundeerd op prefab palen en HSP-palen. De lengte van de palen varieert van 14 tot 23 m. (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Hydrocarbon Hotel plant en L-steiger*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://www.voorbijfunderingstechniek.nl/projecten/94/hydrocarbon-hotel-plant-en-l-steiger.html>)
 - Op de Maasvlakte in Rotterdam staan 3 betonnen tanks van 52 meter hoog voor de opslag van aardgas (LNG). De tanks hebben een inwendige diameter van 86 m. De tanks hebben ieder een opslagcapaciteit van 180.000 m³ gas. Type fundering is niet bekend, maar de verwachting is dat de tanks op palen staan gefundeerd. (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *LNG opslagtanks Gate terminal te Rotterdam*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://www.cfe.nl/nl/project/lng-opslagtanks-gate-terminal-te-rotterdam>)
 - In Vlaardingen staan tanks met een diameter van ca. 11,5 m à 13 m en een tankhoogte variërend van 25 tot 28 m. Type fundering is niet bekend. De tanks hebben een opslagcapaciteit variërend van 2.500 m³ tot 4.000 m³. (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Vopak Vlaardingen*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://www.wagenborg.com/nl/onze-projecten/vopak-vlaardingen>)

De verwachting is dat de tanks die in de Botlek te Rotterdam staan, op een terp gefundeerd zijn. Dit is op basis van de archiefgegevens van Fugro en naar aanleiding van een gesprek met een tankconstructeur die veel in het gebied heeft gewerkt.

De tankconstructeur heeft aangegeven dat een aantal tanks die langs de A15 staan (ter hoogte van Pernis) wat ongelijkmatig zijn gezakt. De oorzaak hiervan kan zijn de aanwezigheid van slappe lagen welke niet goed zijn voorbelast of het feit dat tijdens het ontwerp van de tank geen rekening is gehouden met zettingen.

Fugro heeft in onder andere Rotterdam en Amsterdam op diverse locaties grondonderzoek uitgevoerd en diverse adviezen uitgebracht voor tanks. Voor de tank(s) is onder andere de fundering berekend. Zowel de stabiliteit van de terpfundering als een paalfundering is berekend. De geplande/gebouwde tanks zijn:

- Op het terrein van Terminal Europoort West te Rotterdam is men van plan de volgende tanks te bouwen op een terpfundering:
 - o Diameter tank 40 m – tankhoogte 28 m; (maatgevend)
 - Schouder 1,5 m
 - Terphoogte 1,0 m
 - o Diameter tank 64 m – tankhoogte 25 m;
 - o Diameter tank 81,5 m – tankhoogte 24 m.

De tanks zijn ontworpen met een drijvend dak met een koepel.
- Op het terrein van Shell te Pernis, Rotterdam, zijn tanks ontworpen met een diameter van 22 m en 32,5 m en een tankhoogte van 22 m. Type dak is niet bekend. Voor de tanks is een terpfundering met gebroken steenslagring berekend.
 - o Schouder 1,5 m
 - o Terphoogte 1,5 m, waarvan 0,5 m onder maaiveld is aangelegd.
- Op het terrein van Dalia Tank Terminal te Rotterdam zijn verschillende tanks ontworpen. Voor de fundering was een terpfundering met gebroken steenslagring het uitgangspunt voor Fugro om de zettingen te berekenen. De terphoogte was 2 m, waarvan 1,5 m boven het maaiveld stond. De schouderbreedte is niet bekend. Het gaat om tanks met afmetingen:
 - o Diameter tank 20 m – tankhoogte 27,35 m;
 - o Diameter tank 23 m – tankhoogte 35,35 m;
 - o Diameter tank 10 m – tankhoogte 19,75 m.

Door Mos Grondmechanica zijn paalfunderingen (vibropalen) geadviseerd voor andere tanks op het terrein. De paalpuntniveau's zijn geadviseerd op ca. NAP -22 m à NAP -26 m. Hierbij gaat het om tanks:

 - o Diameter tank 18 m – tankhoogte 22 m;
 - o Diameter tank 12 m – tankhoogte 16 m à 22 m;
 - o Diameter tank 7 m – tankhoogte 14 m;
 - o Diameter tank 4,5 m – tankhoogte 5,77 m.
- Op het terrein van Euro Tank Terminal staan onder andere tanks met een hoogte van ca. 22 m en een diameter van 35 m à 60 m. Voor een aantal tanks is geadviseerd een terphoogte van 2 m toe te passen. De schouderbreedte is niet bekend.
- Op het terrein van Shell in Rotterdam zijn tanks ontworpen met diameters van 14,5 m en 19 m en met een tankhoogte van 16 m. De tanks zijn ontworpen met een vast dak. De ontworpen afmetingen van de tankterp zijn:
 - o schouder 1,5 m
 - o terphoogte 0,9 m
- In Amsterdam zijn berekeningen uitgevoerd voor tanks met een diameter van 39 m en een tankhoogte van 18,5 m. De tanks zijn ontworpen op een tankterp met grondverbetering. De schouderbreedte is 1,5 m en de terphoogte 2 m.
- In Amsterdam zijn tanks ontworpen met een diameter van 48 m en een tankhoogte van ca. 20 m. In verband met de aanwezigheid van kleilagen zijn de tanks ontworpen op palen. De ontworpen funderingspalen waren fundexpalen met een paallengte van ca. 21 m. De tanks zijn ontworpen met een koepel dak.

Opmerking: In geval van de geplande tanks is niet bekend of deze ook werkelijk zijn gebouwd.

2.3.3 Funderingsconstructies opslag tanks

De tankbodem van de tank rust op een fundering. De fundering kan een tankterp zijn, maar ook onder andere een fundering op palen. De funderingskeuze wordt bepaald onder ander aan de hand van de bodemopbouw en type tank.

Bij een slechte ondergrond (veel slappe grondlagen zoals veen en klei en weinig zand) dienen de zettingen te worden beperkt en zal een fundering op palen de voorkeur hebben.

Indien in de ondergrond weinig tot nauwelijks zettingen zullen optreden zal een terpfundering worden gekozen.

Daarnaast is het type tank van belang. Tanks met een drijvend dak zijn gevoeliger voor zettingsverschillen. Als de verwachte zettingsverschillen te groot zijn, zal een andere fundering worden toegepast dan een terpfundering.

Hoge smalle tanks worden eerder op palen gefundeerd, omdat deze door windbelasting onstabiel zijn en een (dikke) funderingsplaat nodig is of een fundering met trekpalen.

Om een tank te funderen staan in de EEMUA 183 vijf verschillende type funderingen, namelijk:

1) Terp volledig van zand (traditioneel).

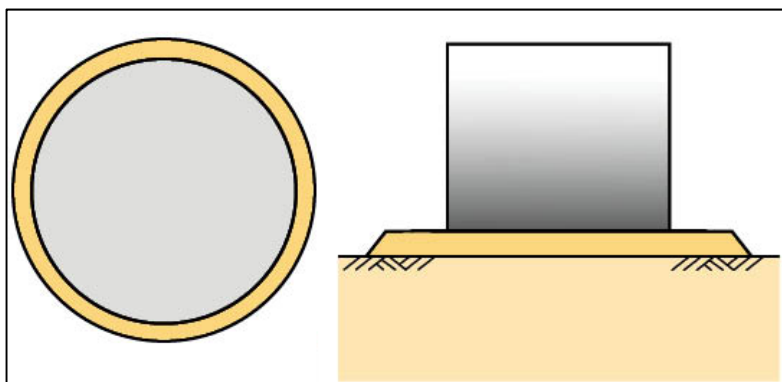
De tankfundering (tankterp of terp) is volledig van zand. Op het maaiveld zal een laag zand worden neergelegd (terp). De hoogte van de terp is berekend in het ontwerp traject. De belastingen van de tank worden via de fundering verspreid overgedragen aan de ondergrond.

Het zand dient goed verdicht en van goede kwaliteit te zijn om de belasting van de tank goed te spreiden in de ondergrond. De afmetingen van de tankterp zijn afhankelijk van de tankhoogte, de diameter en de inhoud.

Een tankterp volledig van zand wordt de laatste jaren minder toegepast, omdat het zand de belasting minder goed kan spreiden dan een gebroken steenslagring (aan de buitenkant). Zand heeft een lagere ϕ' waarde dan de gebroken steenslag. In figuur 2-7 is een schematische weergave te zien van de tankterp met zand.

Nadeel is echter wel dat het niet overal toegepast kan worden. In gebieden waar een (grote) klei-/veenlaag en weinig zand aanwezig is, is de kans op zettingen zeer groot. Het is niet gewenst dat er zettingen ontstaan onder de tank. Een goede zandlaag onder de tankterp is gewenst.

Bij afwezigheid van de zandlaag kan een grondverbetering worden toegepast. De grondverbetering dient goed verdicht te zijn. In de richtlijnen (PGS 29 en de EEMUA 183) is aangegeven waar de grondverbetering aan moet voldoen.



Figuur 2-7: Tankfundering volledig met zand.

2) Zand met buitenring van gebroken steenslag.

De tankfundering (tankterp of terp) heeft een buitenring van gebroken steenslag en daarbinnen is de tankterp gevuld met goed vast gepakt zand. De belastingen van de tank worden via de fundering verspreid overgedragen aan de ondergrond.

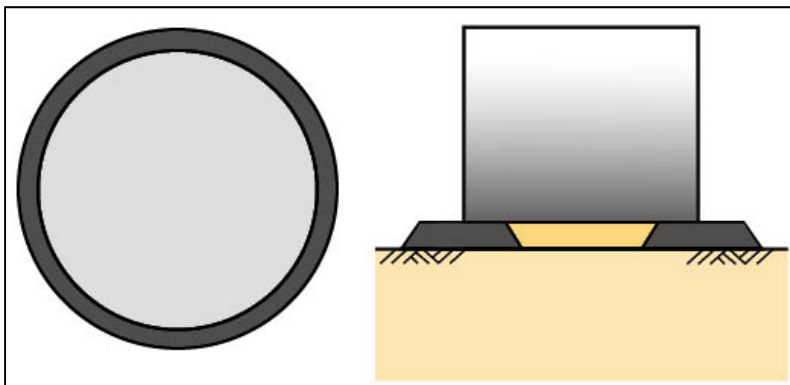
Deze fundering wordt tegenwoordig steeds vaker toegepast. Deze fundering is een goedkoper type om toe te passen en is een flexibelere fundering dan bijvoorbeeld een fundering op palen of een betonplaat.

Daarnaast is gebroken steenslag een sterker materiaal dan zand, geeft een betere weerstand tegen zetting van de tankrand en is beter bestand tegen de belastingen die ontstaan tijdens de bouw. In figuur 2-8 is een schematische weergave te zien van de tankterp met zand en een ring van gebroken steenslag.

Nadeel is echter wel dat deze constructie niet overal toegepast kan worden. In gebieden waar een (grote) klei-/veenlaag en weinig zand aanwezig is, is de kans op zettingen zeer groot. Het is niet gewenst dat er zettingen ontstaan onder de tank. Een goede zandlaag onder de tankterp is gewenst.

Het nadeel ten opzichte van een terp volledig van zand, is de hogere prijs van gebroken steen. Tevens moet de gebroken steenslagring goed worden aangelegd en de verdichting van de gebroken steenslag is lastiger te controleren dan zand.

Bij afwezigheid van de zandlaag kan een grondverbetering worden toegepast. De grondverbetering dient goed verdicht te zijn. In de richtlijnen (PGS 29 en de EEMUA 183) is aangegeven waar de grondverbetering aan moet voldoen.



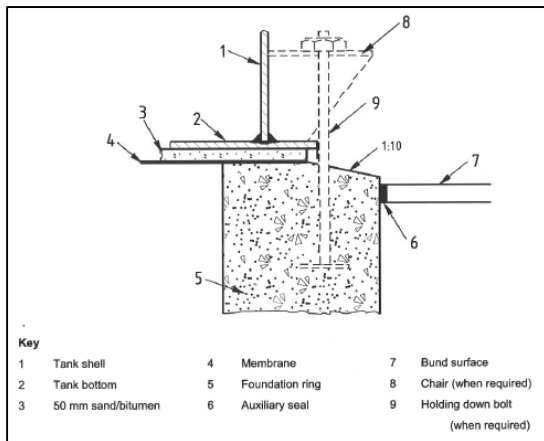
Figuur 2-8: Tankfundering met zand en een gebroken steenslag ring.

3) Betonnen ring.

Voor de fundering van een tank kan ook worden gekozen om een betonnen ring onder de tank(wand) te realiseren. Deze variant wordt in de praktijk niet veel toegepast in Nederland, maar wel in het buitenland. In het buitenland wordt deze variant voornamelijk toegepast waar de ondergrond volledig uit zand bestaat.

Als de tank verankerd moet worden in verband met het opvangen van inwendige (hoge) druk of voor het opvangen van het kantelmoment door windbelasting, zal een betonnen ring mogelijk worden toegepast.

Binnen de betonnen ring wordt zand gebruikt. De betonnen ring zal voornamelijk worden toegepast bij slanke tanks. In figuur 2-9 is een schematische weergave te zien van de betonnen ring als fundering voor een tank.

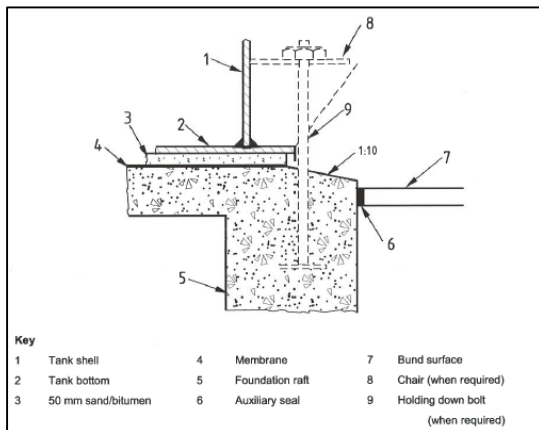


Figuur 2-9: Tankfundering met een betonnen ring (Bron: EN 14015:2004).

4) Betonplaat op staal onder de hele tank.

Op locaties waar de goede bodemgesteldheid niet aanwezig is (zand), maar waar de ondergrond voornamelijk bestaat uit slappe lagen, kan worden overwogen een betonplaat toe te passen. De betonplaat wordt vooral toegepast bij smalle (hoge) tanks en als een aantal smalle tanks direct naast elkaar gebouwd worden.

Echter is deze funderingsoplossing duurder dan de toepassing van een tankterp. In figuur 2-10 is een schematische weergave te zien van de betonplaat fundering.



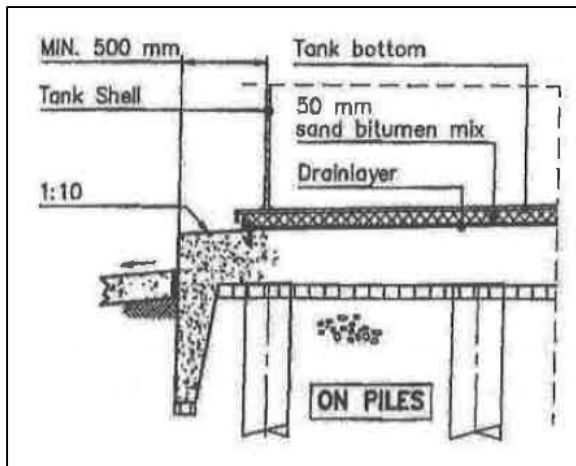
Figuur 2-10: Tankfundering met een betonplaat onder de hele tank (Bron: EN 14015:2004).

5) Onderheide betonplaat.

Op locaties waar de goede bodemgesteldheid niet aanwezig is (zand), maar waar de ondergrond voornamelijk bestaat uit slappe lagen, kan worden overwogen een betonplaat met palen toe te passen.

De betonplaat wordt vooral toegepast bij smalle (hoge) tanks en als een aantal smalle tanks direct naast elkaar gebouwd worden. Als de kans op zettingen groot is, kunnen palen worden toegepast.

Echter is deze funderingsoplossing duurder dan de toepassing van een tankterp. In figuur 2-11 is een schematische weergave te zien van de betonplaat fundering.



Figuur 2-11: Tankfundering met een onderheide betonplaat (Bron: EEMUA 183).

Het idee achter een tankterp is het beter verspreiden van de hoge belastingen in de ondergrond. En dit gaat minder goed bij een betonplaat of ring.

Een flexibele fundering moet worden gebruikt om de eventuele vervormingen op te kunnen nemen, dit door te geven aan de ondergrond en de verdeling te kunnen maken van eventuele ongelijkmatige funderingsdrukken.

Een stijve fundering moet worden vermeden. Onder een stijve fundering wordt verstaan een betonnen plaatfundering en/of stijve elementen in, naast en onder de tank. Een stijve fundering kan de vervormingen minder goed opnemen en overgeven aan de ondergrond.

In bepaalde omstandigheden zal een grondverbetering toegepast moeten worden. Als bijvoorbeeld de bovenste 3 m uit klei bestaat en onder de klei is zand aanwezig, kan worden overwogen om een grondverbetering toe te passen om:

- een fundering te creëren met voldoende sterkte;
- grote verwachte verschilzettingen langs de omtrek van de tank en tussen de tankwand en het midden van de tankbodem te verminderen.

Indien een grondverbetering zal worden toegepast dient dit boven het grondwaterniveau aangelegd te worden. Bij het toepassen van een grondverbetering onder de grondwaterstand is verdichting onmogelijk. De draagkracht zal niet voldoen.

Van de 5 type tankfunderingen zijn de voor- en nadelen samengevat in tabel 2-2.

2.3.4 Watertest

Als de tank gebouwd is op de fundering (bijvoorbeeld terp of palen), zal eerst een watertest worden uitgevoerd. Bij een watertest wordt de tank gevuld met water door middel van een schema, voordat in de tank het uiteindelijke product zal worden opgeslagen.

De hoeveelheden water waar de tank mee wordt gevuld en de dagen tussen het vullen verschilt per tank en per locatie. Hier wordt een schema voor gemaakt tijdens het ontwerp van de fundering. Het vullen van de tank duurt net zolang totdat de tank geheel gevuld is met water.

Tijdens de watertest worden de zettingen die ontstaan tijdens het vullen gemonitord. Er zal worden gemonitord of de zettingen van de tankwand binnen de verwachtingen/eisen blijven en of de tank waterdicht is. Als tijdens de watertest blijkt dat er bijvoorbeeld te veel zettingen ontstaan, kan er worden ingegrepen. De tank mag weer verder worden gevuld bij bepaalde eisen die vooraf zijn vastgelegd. Het vulschema kan dan eventueel worden aangepast aan de gemeten zettingen.

In de berekeningen in voorliggend rapport is uitgegaan dat de tank volledig gevuld is met water. De reden hiervoor is, dat een met water gevulde tank zwaarder is dan een tank gevuld met een olieproduct. Dit is dus een conservatieve aanname.

Tabel 2-2: Voor- en nadelen tankfundering

Type tankfundering	Voordeel	Nadeel
Terp volledig zand	- Goedkoop. - Snelle manier van aanleggen. - Goedkopere manier dan een terp met zand en een gebroken steenslagring. - Flexibele fundering. Kan eventuele vervormingen (matige) opnemen.	- Kan niet overal worden toegepast (i.v.m. bodemopbouw). - Verschil zetting kan ontstaan bij slechte verdichting / bodemopbouw. - Afmetingen terp afhankelijk van o.a. tankhoogte en diameter. - Kan minder belasting worden opgenomen door de lagere ϕ van zand.
Terp zand en een gebroken steenslagring	- Goedkoop - Snelle manier van aanleggen - Kan meer spanning worden opgenomen door een hogere ϕ van de gebroken steenslag dan zand. - Flexibele fundering. Kan eventuele vervormingen (matige) opnemen.	- Kan niet overal worden toegepast (i.v.m. bodemopbouw). - Verschil zetting kan ontstaan bij slechte verdichting / bodemopbouw. - Afmetingen terp afhankelijk van o.a. tankhoogte en diameter. - Zullen meer kosten aan verbonden zijn dan een terp volledig van zand.
Betonnen ring	- Bij verankering kan een betonnen ring worden toegepast. Verankering wordt aan de betonnen ring gemaakt.	- Aanleg kosten hoog vergeleken terp. - Wordt in NL niet veel /nauwelijks toegepast. - Ondergrond moet uit zand bestaan (is niet in de gebieden in NL waar tanks staan). - Kwaliteit van beton dient hoog te zijn, mogen geen scheuren in ontstaan. - Kan vervormingen minder opnemen.
Betonplaat	- Bij aanleg van meerdere (smalle) tanks naast elkaar.	- Aanleg kosten hoog vergeleken terp. - Kans op verschilzetting. - Wordt voornamelijk toegepast bij smalle hoge tanks. - Kwaliteit van beton dient hoog te zijn, mogen geen scheuren in ontstaan. - Kan vervormingen minder opnemen.
Betonplaat onderheid	- Bij kans op grote zettingen kan een onderheide betonplaat worden toegepast.	- Aanleg kosten hoog vergeleken terp en beton ring en plaat. - Bij trillingsgevoelige bouwwerken is dit groot risico. - Wordt voornamelijk toegepast bij smalle hoge tanks. Kwaliteit van beton dient hoog te zijn, mogen geen scheuren in ontstaan. - Kan vervormingen minder opnemen.

H 3. Richtlijnen en rekenmethoden

Voor het ontwerpen en bouwen van een tank gelden verschillende regels. Het bouwen van een tank dient te voldoen aan een norm/richtlijn. Als een nieuwe tank wordt gebouwd, moet vanaf het ontwerp één norm of richtlijn worden gekozen en deze dient consequent aangehouden te worden.

Verskillende normen of richtlijnen mogen niet worden gebruikt voor een tank. Het is niet toegestaan om de meest gunstige artikelen uit verschillende voorschriften voor de tank te combineren.

Voor het realiseren van een tank bestaan verschillende richtlijnen en normen.

Realiseren van een tank:

- EN 14015 (tank ontwerp – Europese norm)
- API 650 (tank ontwerp – Amerikaanse norm)

Voor de fundering van de tank:

- PGS 29 (tank ontwerp – Nederlandse richtlijn)
- EEMUA 183 (tank ontwerp – Europese richtlijn)

3.1 Verschil richtlijnen

Voor het onderzoek naar de terpafmetingen worden de richtlijnen PGS 29 en EEMUA 183 gebruikt. Deze richtlijnen worden toegepast bij het realiseren van tanks in Nederland. In beide richtlijnen staan tabellen met basisafmetingen voor de tankterp. Deze zijn weergegeven als tabel 3-1 t/m tabel 3-4. Echter de afmetingen van de tankterp verschillen in de richtlijnen. Daarnaast staat in beide richtlijnen geen bron vermeld betreffende de opgenomen afmetingen.

In de richtlijnen wordt geen onderscheid gemaakt in ondergrond. Het is onder andere niet bekend welke veiligheidsklasse, grondwaterstand, belasting en bodemopbouw is aangehouden (laagdikte etc.). De afmetingen geven een richtlijn voor de tankterp en wordt vanuit geotechnisch oogpunt toegepast om de hoge belastingdrukken te spreiden in de ondergrond. De draagkracht en de zettingen dienen te allen tijde getoetst te worden.

Bij navraag bleek dat MOS Grondmechanica onderzoek heeft gedaan naar bron van de tankterp afmetingen. Het rapport was echter niet beschikbaar, maar wel was een PowerPoint presentatie beschikbaar gesteld (door MOS Grondmechanica) waarin de rekenparameters zijn aangegeven voor de berekeningen. In de presentatie zijn echter laagdiktes, rekenmodel, belasting en grondwaterstand niet bekend. In de presentatie is wel aangegeven welke afmetingen zijn berekend voor de terphoogte en de schouderbreedte.

De parameters zijn voor een deel overgenomen van de presentatie. Ze zijn echter wel aangepast naar de parameters die in tabel 2.b van de NEN 9997-1:2011 staan. In de volgende paragrafen worden tabel 3-1 t/m tabel 3-4 zonder en met steenslagring nader toegelicht.

3.1.1 PGS 29

Toepassingsgebied

De richtlijn PGS 29 is een Nederlandse richtlijn voor een tank ontwerp. Het doel van de richtlijn is om de veiligheidsrisico's te verkleinen. Een andere functie is dat er bijgedragen wordt aan de zorg om dingen op elkaar af te stemmen voor veiligheidseisen van verschillende vergunningverlenende instanties van verschillende bedrijven.

De vergunningverlenende instanties en het bedrijfsleven zullen de richtlijn gebruiken in de praktijk. De in de richtlijn voorgeschreven voorschriften, zijn pas van toepassing als en voor zover de voorschriften zijn opgenomen in milieubeheervergunningen.

De richtlijn PGS 29 (2008, pag. 8) zegt het volgende over het toepassingsgebied van de richtlijn:

De PGS 29 is van toepassing op inrichting met tenminste één verticale cilindrische bovengrondse tank, waarvan de bodem op een fundering rust en waarin opslag plaatsvindt onder atmosferische druk van brandbare vloeistoffen van de klasse 1, 2 en 3 en voor stoffen van klasse 4 die verwarmt worden opgeslagen.

De richtlijn PGS 29 is ook van toepassing op Brandbare vloeistoffen die tot een andere gevarencategorie behoren. Hiervoor zijn aanvullende eisen gesteld in de richtlijn.

Fundering

In de richtlijn PGS 29 is een bijlage opgenomen over tankfunderingen. Bij het toepassen van een terp zijn de schouderbreedte (S) en de terphoogte (T) van belang. De basisafmetingen voor de terp die in de PGS 29 staan, zijn in tabel 3-1 en tabel 3-2 gegeven.

Tabel 3-1: zonder steenslag ring

H (m)	S minimaal (m)	T minimaal (m)
10	1,0	1,2
20	1,5	1,0

Tabel 3-2: met steenslag ring

H (m)	S minimaal (m)	T minimaal (m)
10	1,0	1,5
20	1,5	1,0

3.1.2 EEMUA 183

Toepassingsgebied

De richtlijn EEMUA 183 is een Europese richtlijn voor een tank ontwerp. De richtlijn EEMUA 183 (2011, pag. ii) geeft aan dat de doelstellingen van de richtlijn zijn:

De vereniging EEMUA heeft het doel om de veiligheid, het milieu en de operationele prestaties van industriële installaties op de meest kosteneffectieve manier te verbeteren, het nastreven en het bevorderen van leiderschap in industriële vermogensbeheer door het delen van technische ervaringen en expertise, en door de actieve, verlichte promotie van de verschillende belangen van de gebruikers van technische producten.

Deze publicatie geeft een toelichting op de verschillende onderwerpen die van invloed zijn voor de tankbodem, onder andere (EEMUA 183, (2011) pag. 3):

- Typen tankfunderingen (inclusief het vereiste grondonderzoek, ontwerp en installatie van de tankfundering en specificaties van geschikte materialen) en tankbodems (enkel en dubbel) - selectie, voordelen en nadelen.
- De belangrijkste oorzaken van lekkage van de bodem – zettingen en corrosie.
- Controle van de technieken.
- Bescherming tegen corrosie - coating, voeringen en kathodische bescherming.
- Reparatiemethoden.
- Lekdetectiesystemen.
- Membranen als bodemobstakels.

Fundering

In de richtlijn EEMUA 183 is een hoofdstuk opgenomen over tankfunderingen. Bij het toepassen van een terp zijn de schouderbreedte (S) en de terphoogte (T) van belang. De basisafmetingen voor de terp die in de EEMUA 183 staan, zijn in tabel 3-3 en tabel 3-4 gegeven.

Tabel 3-3: zonder steenslag ring

H (m)	D (m)	S minimum (m)	T maximum (m)
10	< 15	1,0	1,0
10	> 15	1,5	0,9
20	< 15	1,5	0,9
20	> 15	1,5	0,9

Tabel 3-4: met steenslag ring

H (m)	D (m)	S minimum (m)	T maximum (m)
10	< 15	1,0	1,2
10	> 15	1,5	1,0
20	< 15	1,5	1,0
20	> 15	1,5	1,0

3.2 Tabellen in de richtlijnen

In de richtlijnen PGS 29 en de EEMUA 183 staan tabellen met afmetingen voor de tankterp. In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op de verschillen en dingen (bijv. afmetingen) die opvallen nader toegelicht.

3.2.1 Opmerkingen en verschillen tabellen algemeen

- De diameter is niet opgenomen in de tabel van PGS 29. De EEMUA 183 heeft de diameter wel opgenomen in de tabel.
- PGS 29 heeft het over **T minimaal** en EEMUA 183 heeft het over **T maximaal**.
- Bij PGS 29 niet bekend van welke diameter wordt uitgegaan.
- De PGS 29 heeft gemiddeld grotere waarden voor de schouderbreedte en terphoogte dan de EEMUA 183 voor de tankterp.
- Hoe groter de diameter H, hoe kleiner T en hoe groter S wordt. Hoe hoger de belasting, hoe meer belasting moet worden verspreid. Door een bredere schouder wordt er meer tegen druk gegeven.

3.2.2 Opmerkingen en verschillen tabellen zonder steenslag ring

Om een beter inzicht te verkrijgen wat het verschil en de overeenkomst is tussen beide tabellen (een terpfundering zonder steenslag ring) zijn de tabellen tabel 3-5 en tabel 3-6 hieronder naast elkaar weergegeven. Dit geeft een beter overzicht.

Tabel 3-5: zonder steenslag ring (PGS 29)

H (m)	S minimaal (m)	T minimaal (m)
10	1,0	1,2
20	1,5	1,0

Tabel 3-6: zonder steenslag ring (EEMUA 183)

H (m)	D (m)	S minimum (m)	T maximum (m)
10	< 15	1,0	1,0
10	> 15	1,5	0,9
20	< 15	1,5	0,9
20	> 15	1,5	0,9

Hier zijn de volgende opmerkingen en verschillen uit opgemaakt:

- Bij een tankhoogte van 10 meter is de afmeting bij **S minimaal** gelijk bij beide richtlijnen bij een tankdiameter < 15 meter. Bij een tankdiameter > 15 meter wordt de

S minimaal 1,5 keer groter bij de EEMUA 183. Bij PGS 29 is **S minimaal** 1,0 m en bij EEMUA 183 is **S minimaal** 1,5 m.

- De **S minimaal** bij een tankhoogte van 20 meter is bij PGS 29 en EEMUA 183 gelijk (diameter maakt geen verschil).
- Bij een tankhoogte van 10 meter is de afmeting bij **T minimaal / maximaal** niet gelijk bij beide richtlijnen. PGS 29 geeft een **T minimaal** van 1,2 m terwijl EEMUA 183 een **T maximaal** geeft bij een tankhoogte < 15 meter van 1,0 m en bij een tankhoogte van > 15 meter van 0,9 m.
- Bij een tankhoogte van 20 meter is de afmeting bij **T minimaal / maximaal** tevens niet gelijk bij beide richtlijnen. PGS 29 geeft een **T minimaal** van 1,0 m terwijl EEMUA 183 een **T maximaal** geeft bij een tankhoogte < 15 meter en > 15 meter van 0,9 m.

3.2.3 Opmerkingen en verschillen tabellen met steenslag ring

Om een beter inzicht te verkrijgen wat het verschil en overeenkomst is tussen beide tabellen (een terpfundering met steenslag ring) zijn de tabellen tabel 3-7 en tabel 3-8 hieronder naast elkaar weergegeven. Dit geeft een beter overzicht.

Tabel 3-7: met steenslag ring (PGS 29)

H (m)	S minimaal (m)	T minimaal (m)
10	1,0	1,5
20	1,5	1,0

Tabel 3-8: met steenslag ring (EEMUA 183)

H (m)	D (m)	S minimum (m)	T maximum (m)
10	< 15	1,0	1,2
10	> 15	1,5	1,0
20	< 15	1,5	1,0
20	> 15	1,5	1,0

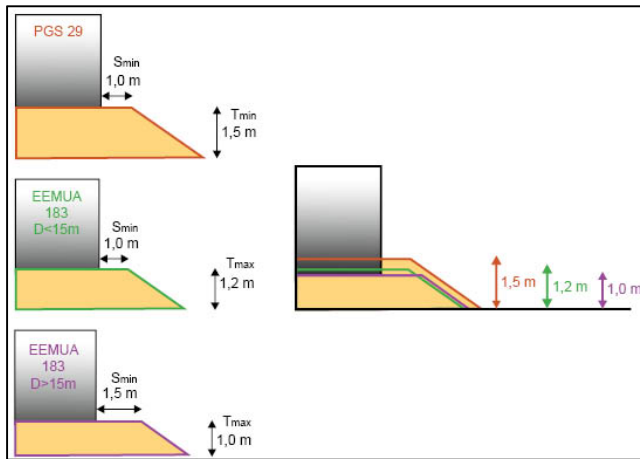
Hier zijn de volgende opmerkingen en verschillen uit opgemaakt:

- Bij een tankhoogte van 10 meter is de afmeting bij **S minimaal** gelijk bij beide richtlijnen bij een tankdiameter < 15 meter. Bij een tankdiameter > 15 meter wordt de **S minimaal** 1,5 keer groter. Bij PGS 29 is **S minimaal** 1,0 m en bij EEMUA 183 is **S minimaal** 1,5 m.
- De **S minimaal** bij een tankhoogte van 20 meter is bij PGS 29 en EEMUA 183 gelijk (diameter maakt geen verschil).
- Bij een tankhoogte van 10 meter is de afmeting bij **T minimaal / maximaal** niet gelijk bij beide richtlijnen. PGS 29 geeft een **T minimaal** van 1,5 m terwijl EEMUA 183 een **T maximaal** geeft bij een tankhoogte < 15 meter van 1,2 m en bij een tankhoogte van > 15 meter van 1,0 m.
- Bij een tankhoogte van 20 meter is de afmeting bij **T minimaal / maximaal** gelijk bij beide richtlijnen. De diameter maakt geen verschil.

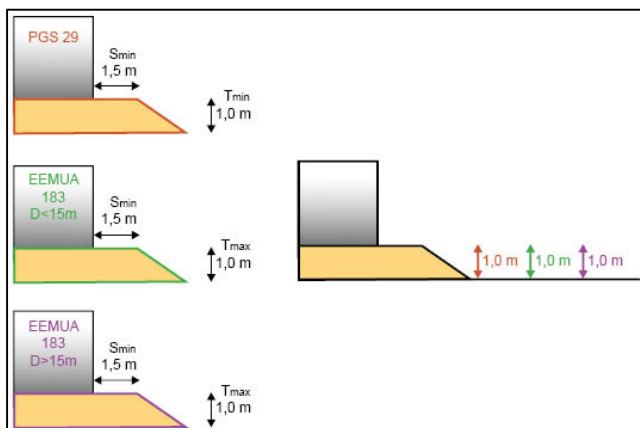
Om een beter beeld te krijgen hoe de afmetingen zijn van een tankterp die in de 2 richtlijnen staan, zijn de afmetingen geschematiseerd. De afmetingen voor een tank van 10 m hoog zijn weergegeven in figuur 3-1 en voor een tank van 20 m hoog zijn de afmetingen in figuur 3-2 weergegeven.

In de figuren zijn de verschillen van de terpaafmetingen aangegeven bij een tankhoogte van 10 m. De PGS 29 heeft grotere afmetingen voor de tankterp als richtlijn aangegeven dan de EEMUA 183. In de EEMUA 183 heeft de tankterp bij een diameter < 15 m en > 15 m, kleinere afmetingen.

In figuur 3-1 is te zien dat er verschillen aanwezig zijn. Voor de terphoogte geeft PGS 29 minimale afmeting aan en EEMUA 183 geeft maximale afmetingen. Volgens PGS 29 moet de terphoogte een minimale afmeting van 1,5 m hebben. De EEMUA 183 geeft een maximale afmeting van 1,0 m à 1,2 m. Oftewel de terphoogte mag niet hoger zijn dan 1,0 m à 1,2 m volgens de EEMUA 183. De richtlijnen spreken elkaar tegen. Het verschil tussen de minimale en maximale afmeting varieert 0,3 tot 0,5 m.



Figuur 3-1: Afmetingen tankterp geschematiseerd voor een tankhoogte van 10 m.



Figuur 3-2: Afmetingen tankterp geschematiseerd voor een tankhoogte van 20 m.

3.3 Rekenmethoden

In een eerder afstudeeronderzoek¹ zijn voor tankterpen 5 verschillende rekenmethoden geanalyseerd, namelijk:

- Analytische methode Fugro;
- Analytische methode NEN;
- DGeoStability;
- Limit State Geo;
- PLAXIS 2D.

Analytische methode Fugro

Bij de analytische methode van Fugro wordt een fundering op staal beschouwd met de terp als stijf funderingselement. Als volgens deze methode wordt gerekend wordt een verkeerde aanname gehanteerd en worden de effecten verwaarloosd van de geometrie van de ring.

¹ Afstudeeropdracht "Ontwerp Tankterp", 11 juni 2012. (de heer A. Cherkaoui) Onderzoek bij Fugro uitgevoerd.

Analytische methode NEN

Bij de analytische methode volgens NEN wordt ook een fundering op staal beschouwd, maar dan met een hellend maaiveld en zonder gronddekking. Deze methode is te conservatief. Deze methode kent geen spanningsafhankelijke invoer van c' en ϕ' .

DGeoStability

Bij DGeoStability worden de lagen apart gedefinieerd, ook de terp. De stabiliteit van de terp is geanalyseerd door het uitvoeren van glijvlakberekeningen volgens de vereenvoudigde methode Bishop. Hierbij wordt de veiligheidsfactor van een grondmoot langs een cirkelvormig glijvlak berekend. Dit programma geeft over het algemeen een betrouwbare veiligheidsfactor weer.

Limit State Geo

Bij Limit State Geo wordt de terp als een grondlaag geschematiseerd. In het programma wordt een kritisch glijvlak opgezocht. Bij dit programma wordt de veiligheid overschat, omdat de dilatantiehoek ψ gelijk wordt gesteld aan de hoek van inwendige wrijving ϕ' .

Plaxis 2D

In het programma Plaxis worden de lagen toegekend. In het programma wordt de geometrie opgedeeld in driehoekige elementen. Hierin zijn knopen gedefinieerd, als de knopen verplaatsen ontstaan spanningen. Met dit programma is het grondgedrag nauwkeurig te bepalen.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de rekenprogramma's DGeoStability en PLAXIS de beste resultaten geven. De andere rekenprogramma's zijn te conservatief. Ook worden hier verkeerde aannamen gedaan. Aan de hand van dat onderzoek is gekozen om in voorliggend onderzoek DGeoStability en PLAXIS 2D te gebruiken.

H 4. Aanpak werkzaamheden

4.1 Uitgangspunten voor berekeningen

Om de afmetingen voor tankterpen voor tanks tot 20 m en hoger dan 20 m te bepalen, dient eerst achterhaald te worden hoe de huidige afmetingen zijn bepaald. In de (verificatie) berekeningen zijn de afmetingen van de tankterp, de grondwaterstand en de bodemopbouw gevarieerd.

Het maakt het echter lastig om de afmetingen te herleiden, omdat niet bekend is hoe de afmetingen zijn bepaald. De volgende punten zijn niet bekend:

- grondwaterstand;
- veiligheidsklasse met bijbehorende veiligheidsfactoren;
- in het geval van de PGS 29 welke diameter van de tank is toegepast;
- in het geval van de EEMUA 183, waarom de scheiding van de terpafmetingen bij een diameter van 15 m ligt;
- welke bovenbelasting op de terp is gebruikt;
- welke ondergrond is toegepast (dikte lagen van de ondergrond).

Algemeen

Tegenwoordig worden de tanks voornamelijk op een terpfundering met zand en een ring van gebroken steenslag gebouwd, omdat de gebroken steenslag de belasting beter spreidt in de ondergrond. Om de afmetingen te verifiëren en afmetingen te bepalen voor tanks, tot 20 m en hoger dan 20 m, zijn de volgende uitgangspunten opgesteld:

- opslagtank is van staal;
- cilindrische bovengrondse opslagtank;
- voor de bodemopbouw zal gebruik worden gemaakt van 2 profielen:
 - o volledig zand
 - o zand met een kleilaag
- alleen stabiliteit is beschouwd: de zetting is niet meegenomen voor het funderingsontwerp;
- berekeningen worden uitgevoerd met DGeoStability en PLAXIS 2D;
- stabiliteitsfactor bij de berekening van een tankterp moet minimaal 1,0 zijn in de UGT (rekenwaarden voor belasting en materiaaleigenschappen);
- variërende grondwaterstand → MV -0,5, MV -1,0 en MV -2,0 m;
- de volgende tankhoogten worden onderzocht: 10, 20, 30 en 35 m.
- tank is volledig gevuld met water;
- terp bestaat uit zand met een ring van gebroken steenslag;
- helling van de terp 1:1,5;
- de berekeningen met klei zijn gedraineerd uitgevoerd. Hierbij is geen rekening gehouden met wateroverspanning. Voor de afmetingen is gekeken naar de eindsituatie.
- afmetingen terphoogte (T): 0,5 – 0,75 – 1,0 – 1,5 – 2,0 m;
- afmetingen schouderbreedte (S): 0,5 – 0,75 – 1,0 – 1,5 – 2,0 m;
- de tank(terp) valt in veiligheidsklasse RC3.

Parameterwaarden

Voor het uitvoeren van de berekeningen zijn grondsoorten met de daarbij bijbehorende parameterwaarden weergegeven in tabel 4-1. Deze waarden zijn toegepast in de berekeningen. Per rekenprogramma is aangegeven welke parameters zijn toegepast.

Tabel 4-1: Grondsoorten met bijbehorende parameterwaarden.

Grondsoort	Klei	Zand (bodem)	Zand (terp)	Gebroken steenslag	DStab	Plaxis
Model in Plaxis	HS	HS	HS	MC		x
Drained	Drained	Drained	Drained	Drained		x
$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	15,0 / 15,0	18,0 / 20,0	18,0 / 20,0	18,0 / 20,0	x	x
E_{50}^{ref} [kPa]	2 500	20 000	45 000	40 000 ¹⁾		x
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [kPa]	2 000	20 000	45 000	-		x
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [kPa]	5 400	60 000	135 000	-		x
m	1,0	0,5	0,5	-		x
c' [kPa]	3,0	0,0	0,0	5,0 ¹⁾	x	x
ϕ' [°]	22,5	30,0	32,5	40,0 ¹⁾	x	x
ψ' [°]	0,0	0,0	2,5	10,0		x

Opmerkingen:

DStab = DGeoStability

HS = Hardening Soil

MC = Mohr Coulomb

¹⁾ = De parameters voor de gebroken steenslag zijn gebaseerd op de ervaring van Fugro voor het toepassen van gebroken steenslag.

Veiligheidsfactoren

De berekeningen worden uitgevoerd in de UGT hierdoor zullen partiële veiligheidsfactoren worden toegepast voor de te gebruiken parameterwaarden. Volgens de norm NEN 9997-1:2011 bestaan er 3 veiligheidsklassen: RC1, RC2 en RC3. De veiligheidsklasse heeft te maken met het risico (economisch en mensenlevens) van het bezwijken van een bouwwerk.

Voor het bepalen van de veiligheidsfactoren is de tank geplaatst in veiligheidsklasse RC3. Indien een tank bezwijkt, heeft dit grote gevolgen qua kosten en mensenlevens.

Volgens tabel A.4a in de NEN 9997-1:2011 zijn de volgende veiligheidsfactoren aangehouden voor de materiaaleigenschappen:

$$\gamma = 1,0$$

$$c' = 1,3$$

$$\phi' = 1,6$$

De veiligheidsfactor voor de belasting wordt bepaald volgens tabel A.3 – Partiële factoren voor belastingen of belastingeffecten in de NEN 997-1:2011. Voor een tank in veiligheidsklasse RC3 geldt een veiligheidsfactor op de permanente belasting door een vloeistof van 1,32 (1,1 x 1,2). De waarde 1,1 geldt voor RC3 en de waarde van 1,2 is van toepassing, omdat de vloeistofdruk gelimiteerd is bij een tank.

Belastingen

Voor water is een volumiek gewicht γ van 10 kN/m³ aangehouden.

De tank belasting wordt als volgt berekend: γ_{water} (kN/m³) * tankhoogte (m) * 1,32 in kPa.

10 m hoog → 132 kPa

30 m hoog → 396 kPa

20 m hoog → 264 kPa

35 m hoog → 462 kPa

Software

De software die wordt gebruikt om de berekeningen uit te voeren:

- DGeoStability versie 14.1;
- PLAXIS 2D.

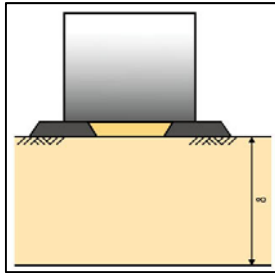
4.2 Bodemopbouw voor berekeningen

Voor het berekenen van de terp afmetingen zullen 4 varianten worden berekend. De 4 varianten variëren in ondergrond en zijn hieronder nader toegelicht.

Bij DGeoStability is de grondwaterstand gevarieerd. In PLAXIS is één grondwaterstand en één kleilaagdikte aangehouden.

Variant 1

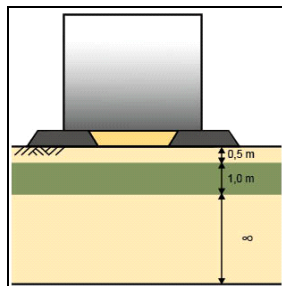
Een terpfundering met zand en steenslag ring. Onder de terpfundering bestaat de ondergrond volledig uit zand.



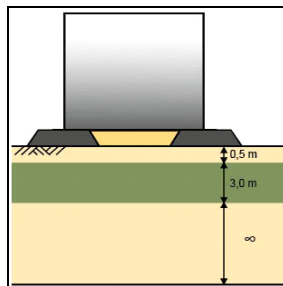
Variant 2

Een terpfundering met zand en steenslag ring. Onder de terpfundering bestaat de ondergrond uit:

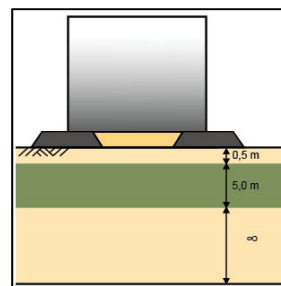
- 0,5 m zand;
- 1 m, 3 m, 5 m en 10 m klei;
- Zand (oneindig).



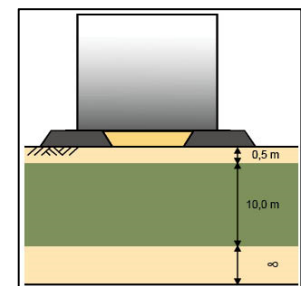
Dikte kleilaag 1 m



Dikte kleilaag 3 m



Dikte kleilaag 5 m

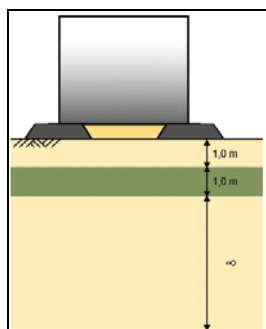


Dikte kleilaag 10 m

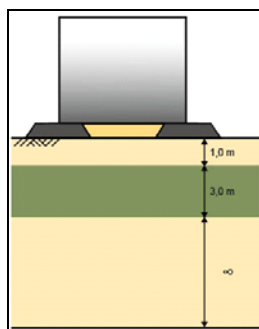
Variant 3

Een terpfundering met zand en steenslag ring. Onder de terpfundering bestaat de bodemopbouw uit:

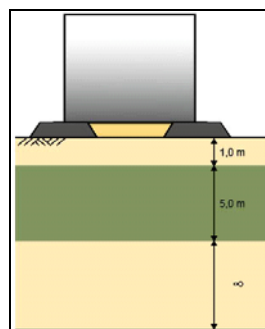
- 1,0 m zand;
- 1 m, 3 m, 5 m en 10 m klei;
- Zand (oneindig).



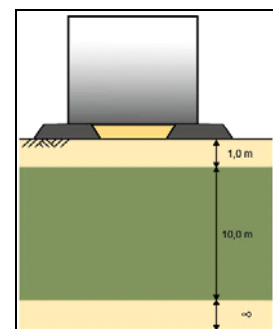
Dikte kleilaag 1 m



Dikte kleilaag 3 m



Dikte kleilaag 5 m

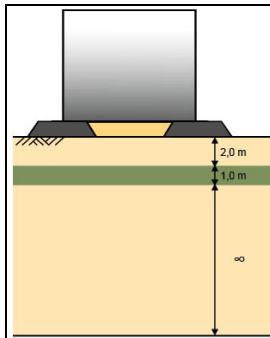


Dikte kleilaag 10 m

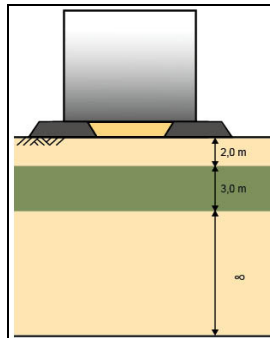
Variant 4

Een terpfundering met zand en steenslag ring. Onder de terpfundering bestaat de bodemopbouw uit:

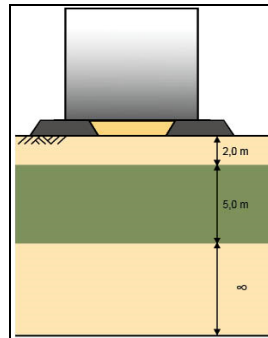
- 2,0 m zand;
- 1 m, 3 m, 5 m en 10 m klei;
- Zand (oneindig).



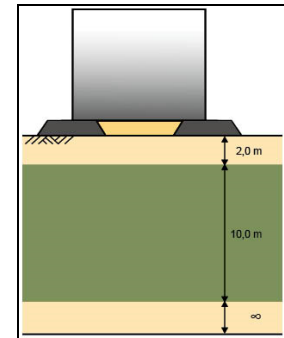
Dikte kleilaag 1 m



Dikte kleilaag 3 m



Dikte kleilaag 5 m



Dikte kleilaag 10 m

H 5. Resultaten berekeningen

5.1 Inleiding

Voor verschillende tankhoogtes en diverse terpafmetingen (schouderbreedte en terphoogte) zijn berekeningen uitgevoerd in DGeoStability en in PLAXIS. De berekening met DGeoStability geeft een snelle manier om een eerste indruk te krijgen van de veiligheidsfactoren.

Om de variatie in veiligheid te analyseren zijn in de berekeningen verschillende diameters toegepast: klein (10 m), middelmatig (30 m) en groot (80 m).

Uit de berekeningen resulteert een veiligheidsfactor SF, die aangeeft of de tankterp stabiel ($SF > 1$) of instabiel ($SF < 1$) is. De veiligheidsfactoren zijn bepaald met DGeoStability en in PLAXIS met een ϕ -c reductie:

$$SF = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{reductie}} = \frac{c_{input}}{c_{reductie}}$$

Voor de ϕ -c reductie wordt gerefereerd naar de PLAXIS Manual. De berekeningen zijn uitgevoerd met rekenwaarde van de parameters en van de bovenbelasting.

De resultaten uit PLAXIS worden als meest betrouwbaar aangehouden. Bij de resultaten uit andere rekenprogramma's, wordt ervan uitgegaan dat een lagere veiligheidsfactor SF dan PLAXIS een conservatieve benadering is. Bij een SF-waarde hoger dan PLAXIS wordt als een optimistische benadering beschouwd.

Er is een uitvoerige PLAXIS analyse uitgevoerd voor de verschillende tankhoogtes en diverse terpafmetingen. Uit de PLAXIS resultaten is gebleken dat de resultaten niet maatgevend waren voor de conclusies van voorliggend rapport. Deze resultaten weken zelfs wat af van de verwachtingswaarde en de uitkomsten van DGeoStability. Derhalve zijn de PLAXIS resultaten niet gepresenteerd voor tanks van 20 m, 30 m en 35 m hoog.

DGeoStability

Bij DGeoStability is bij alle varianten de grondwaterstand gevarieerd, op MV -0,5 m, MV -1,0 m en MV -2,0 m. Dit is uitgevoerd voor een tankhoogte van 10 m en 20 m hoog.

Voor een tankhoogte van 30 en 35 m is de grondwaterstand gevarieerd bij een ondergrond bestaande uit zand. Bij de varianten met klei in de ondergrond, is de grondwaterstand alleen op MV -0,5 m aangehouden. Dit bleek bij de berekeningen voor tanks tot 10 m en 20 m hoog de maatgevende grondwaterstand.

Plaxis 2D

Aan de hand van de resultaten van DGeoStability zijn voor de PLAXIS berekeningen de meest interessante afmetingen en bodemprofielen uitgekozen.

Bij een ondergrond volledig van zand is een grondwaterstand van MV -1,0 m aangehouden. Een grondwaterstand MV -0,5 m aangehouden voor de berekeningen met een kleilaag in de ondergrond.

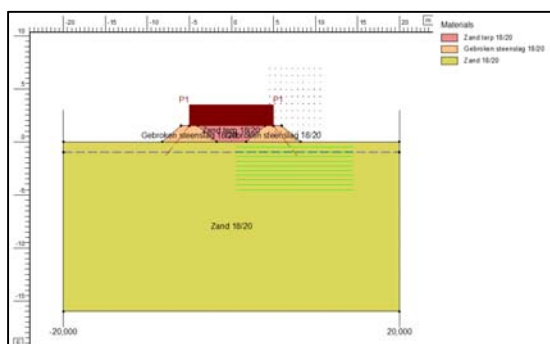
5.2 Opslagtank tot 10 m en 20 m hoog - zandprofiel

Voor tanks tot 10 m en 20 m hoog staan afmetingen voor de tankterp in de richtlijnen (PGS 29 en EEMUA 183) vermeld. De afmetingen van de richtlijnen verschillen van elkaar. Om de afmetingen te herleiden voor tanks tot 10 m en 20 m hoog, is gekeken naar verschillende afmetingen van de terp (Schouder/Terphoogte), grondwaterstanden en diameters.

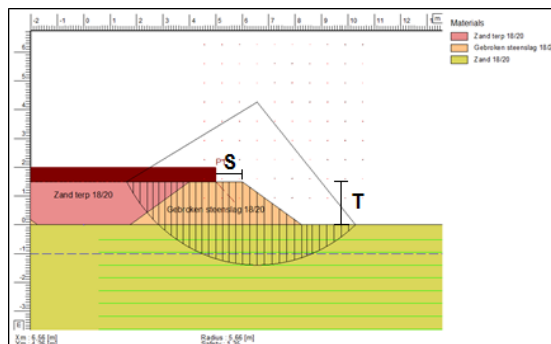
Voor tanks tot 10 m en 20 m hoog is uitgegaan van de volgende afmetingen voor de berekeningen met DGeoStability:

- Afmetingen terhoogte (T): 0,5 – 0,75 – 1,0 – 1,5 – 2,0 m;
- Afmetingen schouderbreedte (S): 0,5 – 0,75 – 1,0 – 1,5 – 2,0 m.

In figuur 5-1 is de schematische weergave te zien wat is gebruikt in de berekeningen. In figuur 5-2 is een kritieke glijcirkel van een terp weergegeven.



Figuur 5-1: Rekenmodel DGeoStability.



Figuur 5-2: kritieke glijcirkel talud.

Uit de resultaten is gebleken dat de afmetingen volgens de richtlijnen voldoen bij een ondergrond volledig van zand (SF > 1,0). In grafiek 5-1 en grafiek 5-2 is de grenswaarde van 1,0 aangegeven en zijn de resultaten uit DGeoStability en PLAXIS gegeven.

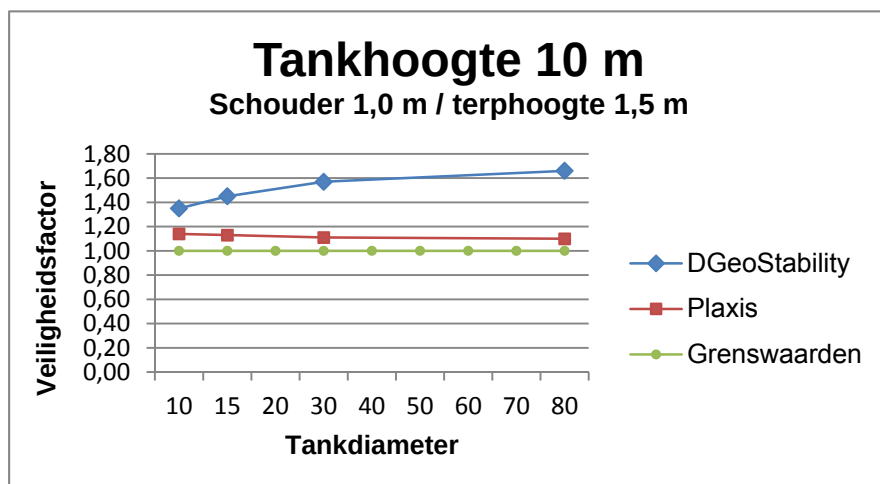
In de grafieken is te zien dat de veiligheidsfactor uit DGeoStability hoger wordt naarmate de diameter groter wordt. Bij PLAXIS is de veiligheidsfactor constant bij de verschillende diameters.

Tank 10 m hoog

In tabel 5-1 en grafiek 5-1 zijn de resultaten te zien bij afmetingen (S 1,0 m / T 1,5 m) en een GWS MV -1,0 m die in de richtlijnen staan voor een tank tot 10 m hoog.

Tabel 5-1: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 10 m – volledige zand ondergrond.

Tankdiameter (m)	Veiligheidsfactor	
	DGeoStability	Plaxis 2D
10	1,35	1,14
15	1,45	1,13
30	1,57	1,11
80	1,66	1,10



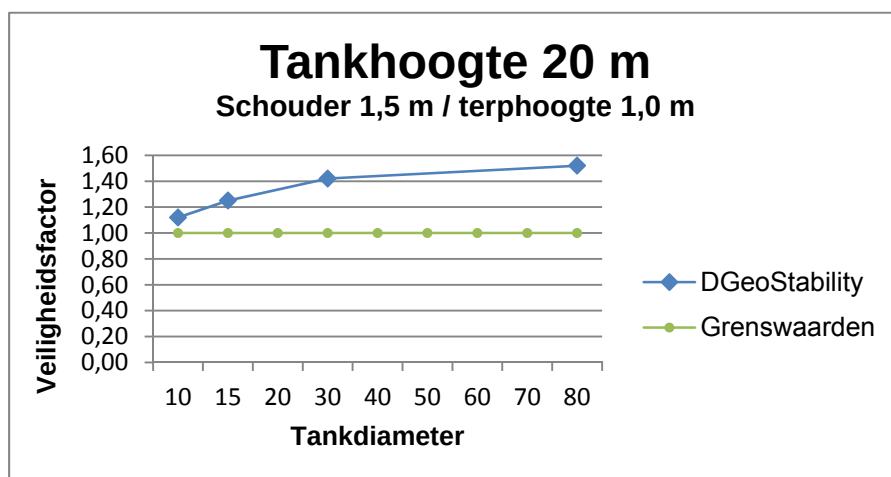
Grafiek 5-1: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 10 m – volledige zand ondergrond.

Tank 20 m hoog

Voor een tank van 20 m hoog is in tabel 5-2 en grafiek 5-2 te zien dat een tank van 20 m hoog met afmetingen voor de tankterp (S 1,5 m / T 1,0 m) en een GWS MV -1,0 m uit richtlijnen voldoet.

Tabel 5-2: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 20 m – volledige zand ondergrond.

Tankdiameter (m)	Veiligheidsfactor DGeoStability
10	1,12
15	1,25
30	1,42
80	1,52



Grafiek 5-2: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 20 m – volledige zand ondergrond.

Voor de tanks tot 10 en 20 m hoog zijn de resultaten van de berekeningen (UGT) weergegeven in de volgende bijlagen:

Bijlage 2: DGeoStability → Ondergrond volledig zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)

Bijlage 3: Plaxis 2D → Ondergrond volledig zand (GWS MV -1,0 m) – alleen 10 m hoog

Bijlage 14: Glijcirkels tankhoogte 10 m

Bijlage 15: Glijcirkels tankhoogte 20 m

5.3 Opslagtank tot 30 m en 35 m hoog - zandprofiel

Voor tanks tot 30 en 35 m hoog is uitgegaan van de volgende afmetingen voor de berekeningen met DGeoStability:

- Afmetingen terphoogte (T): 0,5 – 0,75 – 1,0 – 1,5 – 2,0 m;
- Afmetingen schouderbreedte (S): 0,5 – 0,75 – 1,0 – 1,5 – 2,0 m.

Tevens zijn de grondwaterstand en de diameter gevarieerd.

In grafiek 5-3 en grafiek 5-4 zijn de grenswaarde van 1,0 aangegeven en zijn de resultaten uit DGeoStability gegeven.

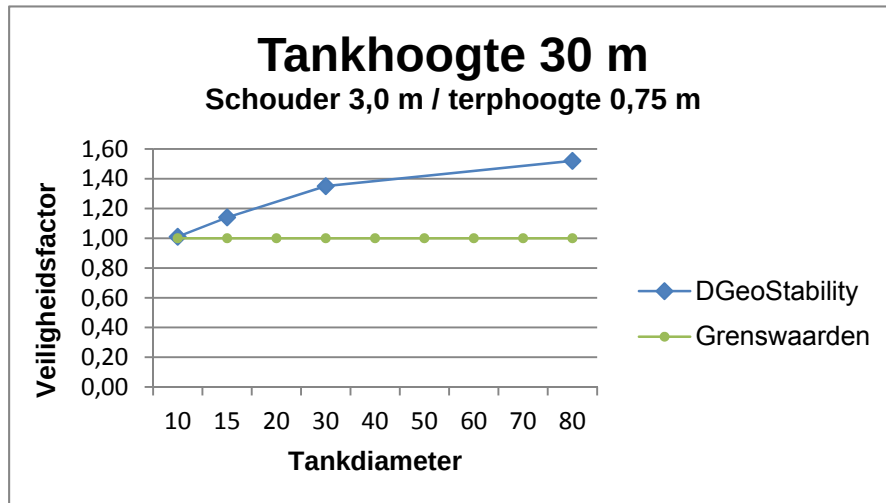
In de grafieken is te zien dat de veiligheidsfactor uit DGeoStability hoger wordt naarmate de diameter groter wordt. Daarnaast is te zien dat de afmetingen in DGeoStability voldoen aan het veiligheids criterium.

Tank 30 m hoog

In tabel 5-3 en grafiek 5-3 zijn de resultaten te zien bij afmetingen S 3,0 m / T 0,75 m en een GWS MV -1,0 m voor een tankhoogte tot 30 m weergegeven.

Tabel 5-3: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 30 m – volledige zand ondergrond.

Tankdiameter (m)	Veiligheidsfactor DGeoStability
10	1,01
15	1,14
30	1,35
80	1,52



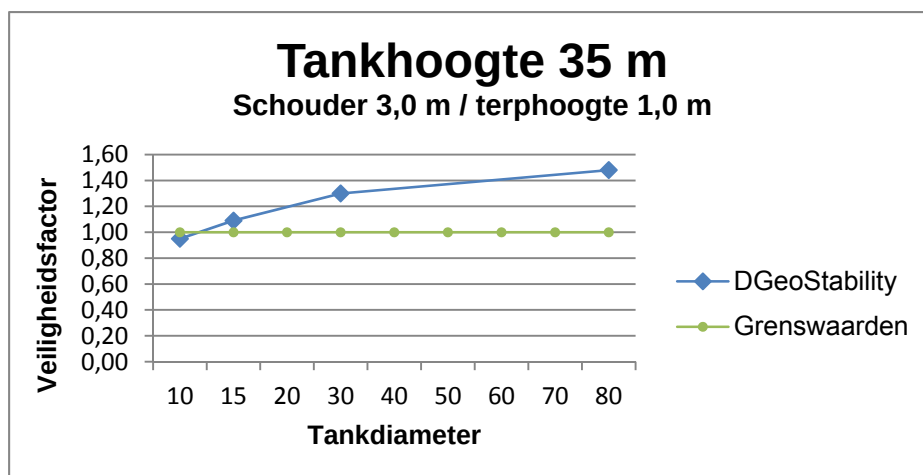
Grafiek 5-3: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 30 m – volledige zand ondergrond.

Tank 35 m hoog

In tabel 5-4 en grafiek 5-4 zijn de resultaten te zien bij afmetingen S 3,0 m / T 1,0 m en een GWS MV -1,0 m voor een tankhoogte tot 35 m weergegeven. De afmetingen voldoen bij een diameter groter dan 10 m in DGeoStability.

Tabel 5-4: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 35 m – volledige zand ondergrond.

Tankdiameter (m)	Veiligheidsfactor DGeoStability
10	0,95
15	1,09
30	1,30
80	1,48



Grafiek 5-4: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 35 m – volledige zand ondergrond.

Voor de tanks tot 30 en 35 m hoog zijn de resultaten van de berekeningen (UGT) weergegeven in de volgende bijlagen:

Bijlage 4: DGeoStability → Ondergrond volledig zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)

Bijlage 16: Glijcirkels tankhoogte 30 m

Bijlage 17: Glijcirkels tankhoogte 35 m

5.4 Tanks met kleilagen in de ondergrond

Voor de verschillende tankhoogtes is ook gekeken naar een ondergrond met een kleilaag. Dit is uitgevoerd in DGeoStability en in PLAXIS 2D (alleen 10 m hoge tank).

In de ondergrond met klei en zand zijn de volgende variaties toegepast in DGeoStability:

- Een zandlaag van maaiveld tot de kleilaag → dikte zandlaag 0,5 m / 1,0 m / 2,0 m.
- Dikte kleilaag → 1 m, 3 m, 5 m en 10 m.
- Grondwaterstand → MV -0,5 m, MV -1,0 m, MV -2,0 m.
- Tankhoogte → 10 m, 20 m, 30 m en 35 m.

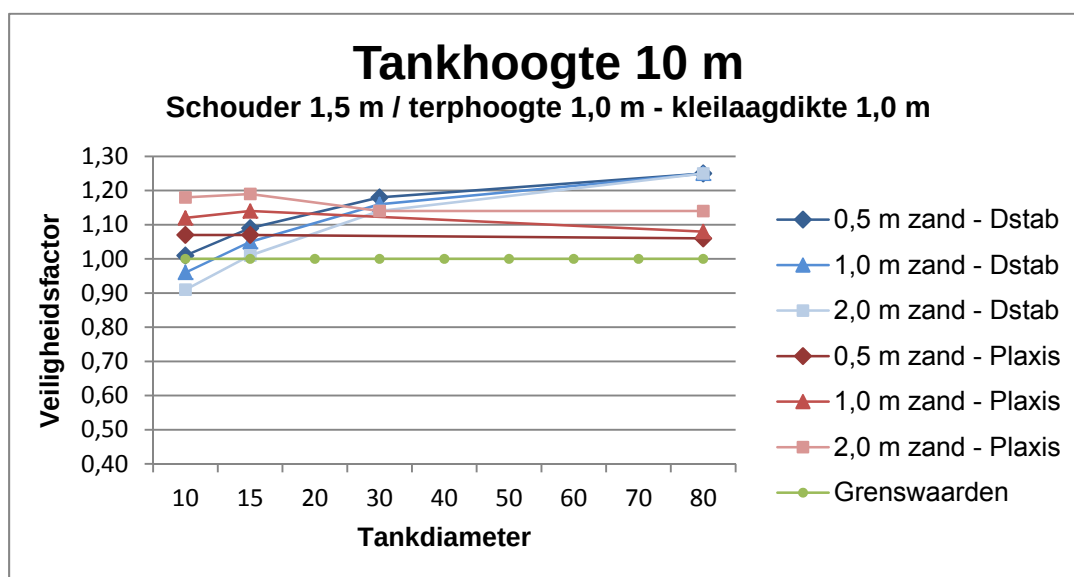
Voor tanks tot 10 m en 20 m hoog is gekeken naar een kleilaagdikte van 1 m, 3 m, 5 m en 10 m. Aan de hand van deze resultaten is besloten voor tanks tot 30 m en 35 m hoog berekeningen te maken met een kleilaag dikte van 1 m, 3 m en 5 m.

Bij Plaxis zijn de volgende variaties toegepast:

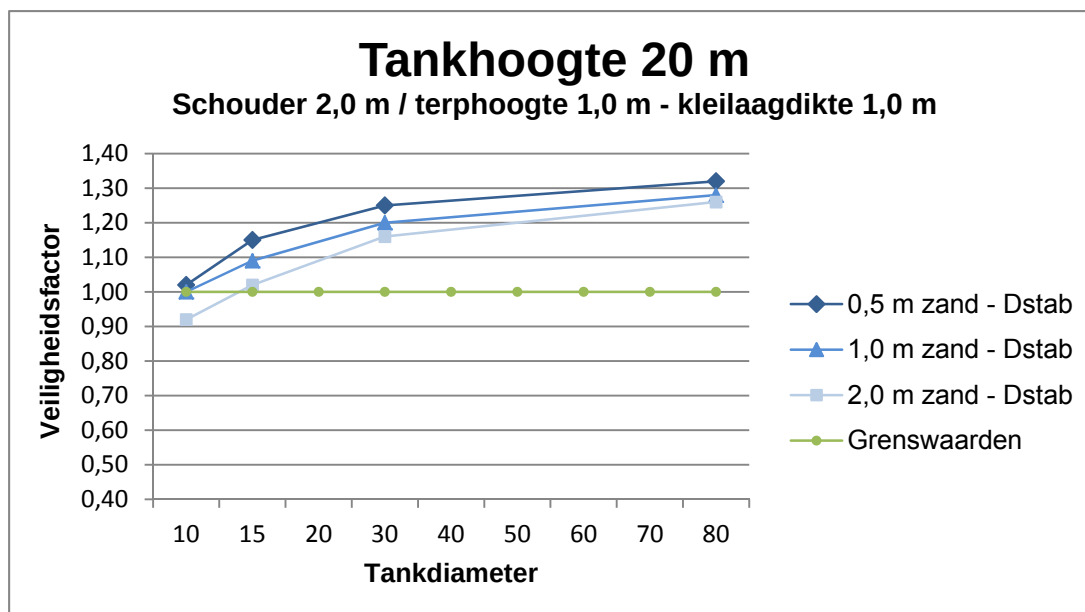
- Een zandlaag van maaiveld tot de kleilaag → dikte zandlaag 0,5 m / 1,0 m / 2,0 m.
- Dikte kleilaag → 1 m.
- Grondwaterstand → MV -0,5 m (ondergrond klei en zand)
- Tankhoogte → 10 m.

De variaties voor PLAXIS zijn bepaald aan de hand van de resultaten van de DGeoStability en de eerste PLAXIS resultaten van tanks van 10 m hoog. De meest interessante afmetingen zijn hiervoor bepaald.

In grafiek 5-5 en grafiek 5-6 zijn de resultaten te zien van de DGeoStability en PLAXIS berekeningen met een zand en klei ondergrond. Hierbij is de bovenzijde van de kleilaag gevarieerd. In de grafieken is te zien dat de merendeel van de DGeoStability berekeningen voldoen en de PLAXIS berekeningen niet. Een kleilaag zorgt dat de tankterp instabiel wordt.



Grafiek 5-5: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 10 m – zand + kleilaag 1 m – GWS MV -0,5 m.



Grafiek 5-6: Resultaten berekeningen voor een tankhoogte van 20 m – zand + kleilaag 1 m – GWS MV -0,5 m.

Voor de tanks van 10, 20, 30 en 35 m hoog zijn de resultaten van de berekeningen (UGT) met kleilaag, weergegeven in de volgende bijlagen:

- Bijlage 5:** *DGeoStability* → H 10 m en 20 m – Ondergrond zand (0,5 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)
- Bijlage 6:** *DGeoStability* → H 10 m en 20 m – Ondergrond zand (1,0 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)
- Bijlage 7:** *DGeoStability* → H 10 m en 20 m – Ondergrond zand (2,0 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 / -1,0 / -2,0 m)
- Bijlage 8:** *DGeoStability* → H 30 m en 35 m – Ondergrond zand (0,5 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 m)
- Bijlage 9:** *DGeoStability* → H 30 m en 35 m – Ondergrond zand (1,0 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 m)
- Bijlage 10:** *DGeoStability* → H 30 m en 35 m – Ondergrond zand (2,0 m) – klei – zand (GWS MV -0,5 m)
- Bijlage 11:** *PLAXIS 2D* → H 10 m – Ondergrond zand (0,5 m) – klei (1,0 m) – zand (GWS MV -0,5 m)
- Bijlage 12:** *PLAXIS 2D* → H 10 m – Ondergrond zand (1,0 m) – klei (1,0 m) – zand (GWS MV -0,5 m)
- Bijlage 13:** *PLAXIS 2D* → H 10 m – Ondergrond zand (2,0 m) – klei (1,0 m) – zand (GWS MV -0,5 m)

H 6. Analyse resultaten berekeningen

6.1 Toelichting resultaten

6.1.1 Algemene opmerkingen

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de uitgevoerde berekeningen nader geanalyseerd. In het onderzoek is gekeken naar de bestaande afmetingen in de huidige richtlijnen (PGS 29 en EEMUA 183) en naar nieuwe afmetingen voor tanks hoger dan 20 m.

Tijdens het onderzoek zijn berekeningen gemaakt met verschillende grondwaterstanden, ondergronden en tankhoogtes.

Uit de berekeningen die zijn uitgevoerd is het volgende gebleken:

- Uit de DGeoStability berekeningen blijkt dat hoe groter de diameter van een tank wordt, hoe hoger de veiligheidsfactor wordt. De kleinste diameter (10 m) heeft de laagste veiligheidsfactor en lijkt maatgevend te zijn voor de afmetingen in de richtlijnen. Een diepere grondwaterstand heeft meer invloed bij een kleinere diameter dan een grotere diameter tank.
- Bij PLAXIS 2D blijven de veiligheidsfactoren redelijk constant bij variërende diameter.
- Als de schouder (S) breder wordt, is de terp veiliger.
- De veiligheidsfactor is groter als de terphoogte (T) minder hoog is.
- De veiligheidsfactoren die uit DGeoStability en PLAXIS komen, komen niet met elkaar overeen. De veiligheidsfactoren berekend met PLAXIS zijn lager dan de DGeoStability resultaten.

Van te voren verwachte en uitgekomen bevindingen:

- Hoe lager de grondwaterstand, hoe *hoger* de veiligheidsfactor.
- Hoe dieper de bovenkant van de kleilaag, hoe *hoger* de veiligheidsfactor bij een kleilaag dikte van 1 m.
- Hoe dikker de kleilaag hoe groter de kans op bezwijken van de terp. De veiligheidsfactor wordt lager naarmate de kleilaag dikker wordt.
- Een bredere schouder S geeft inderdaad een hogere stabiliteit
- Een lagere terphoogte T bevordert de stabiliteit.

Er is een uitvoerige PLAXIS analyse uitgevoerd voor de verschillende tankhoogtes en diverse terpafmetingen. Uit de PLAXIS resultaten is gebleken dat de resultaten niet maatgevend waren voor de conclusies van voorliggend rapport. Deze resultaten weken zelfs wat af van de verwachtingswaarde en de uitkomsten van DGeoStability. Derhalve zijn de PLAXIS resultaten niet gepresenteerd van tanks van 20 m, 30 m en 35 m hoog.

Voor het bepalen van de afmetingen is gekeken naar de rekenresultaten waar terpafmetingen bij de verschillende diameters en grondwaterstanden voldoen.

6.1.2 Tankhoogtes tot 10 m en 20 m

Voor tanks tot 10 m en 20 m hoog zijn diverse berekeningen uitgevoerd. Uit de berekeningen is het volgende gebleken:

Algemeen DGeoStability

- De afmetingen die in de richtlijnen staan, voldoen aan de richtlijn, gezien de resultaten van de berekeningen uit DGeoStability (dit geldt voor een volledige ondergrond van zand).
- De veiligheid op grond van DGeoStability is groter dan 1,0 bij een kleilaag van ca. 1 m dikte. Een dikkere kleilaag voldoet niet met de terpafmeting uit de richtlijn.
- De invloed van een variërende grondwaterstand op de veiligheid is niet erg groot.

Tankhoogte tot 10 m

Op grond van DGeoStability en PLAXIS-berekeningen kan het volgende worden geconcludeerd:

- Veiligheidsfactoren liggen boven de 1,0 bij een volledige ondergrond van zand en als een kleilaag van 1,0 m dik aanwezig is. Dit is onafhankelijk van de schouderbreedte en de terphoogte.
- Een schouderbreedte van S van 1,0 m voldoet ook. Dat wil zeggen, dat de schouderbreedte lager kan zijn dan de minimaal vereiste maat van 1,5 m van EEMUA183. (Dit geldt voor een ondergrond volledig van zand en een ondergrond van zand met een kleilaag van ca. 1,0 m).
- Een terphoogte van 1,0 m voldoet zeker. Een lagere terphoogte werkt immers positief op de stabiliteit. De terphoogte mag vanuit stabiliteit opzicht dan ook kleiner zijn dan de PGS-eis van 1,5 m. Vanwege stabiliteit blijkt dat de terphoogte van 1,0 m uit de EEMUA 183 niet relevant is. De terphoogte geeft een stabiele oplossing voor waarden tot 1,5 m. (Dit geldt voor een ondergrond volledig van zand en een ondergrond van zand met een kleilaag van 1,0 m).

De voorgeschreven minimale en maximale waarden voor de terpafmetingen kunnen worden voorgeschreven als minimale waarde voor de schouderbreedte en een maximale waarde voor de hoogte van de tankterp in beide richtlijnen.

Daarnaast is uit de resultaten en de grafieken niet duidelijk te zien waarom er een scheiding van afmetingen is, bij een diameter van 15 m in de EEMUA 183. De PLAXIS resultaten zijn namelijk constant voor de verschillende diameters en in geval van de DGeoStability berekeningen neemt de veiligheidsfactor toe bij een grotere diameter.

De afmetingen die in de richtlijnen staan zouden aangepast kunnen worden. In tabel 6-1 zijn de huidige afmetingen gegeven die in de richtlijnen staan en in tabel 6-2 staan de nieuwe afmetingen.

Tabel 6-1: Huidige afmetingen in de richtlijnen voor een terp met een gebroken steenslagring.

H (m)	PGS 29		EEMUA 183		
	S minimaal (m)	T minimaal (m)	D (m)	S minimaal (m)	T maximum (m)
10	1,0	1,5	< 15	1,0	1,2
			> 15	1,5	1,0

Tabel 6-2: Nieuwe afmetingen voor in de richtlijnen voor een terp met gebroken steenslagring.- Hoogte 10 m

H (m)	S minimaal (m)	T maximaal (m)
10	1,0	1,5

Tankhoogte tot 20 m

DGeoStability

- Veiligheidsfactoren liggen voor een groot gedeelte boven 1,0, maar bij de kleinste diameter (10 m) zijn een aantal veiligheidsfactoren net boven de 1,0 bij of voldoen niet.
- Een kleilaag van ca. 1,0 m die vrij diep ligt zou kunnen voldoen bij een grotere diameter ($D > 15$ m à 30 m). Bij een dikkere kleilaag wordt bovendien de kans groter dat de terp niet voldoet en zal bezwijken.
- In dit geval kan minimale schouderbreedte S_{min} gehandhaafd blijven als de minimale waarde van 1,5 m in de richtlijnen.
- Een terphoogte van 1,0 m voldoet vrijwel altijd. Een lagere terphoogte werkt positief op de stabiliteit. De terphoogte mag vanuit stabiliteit opzicht dan ook kleiner zijn dan de maximum PGS-eis van 1,0 m. (Dit geldt voor een ondergrond volledig van zand en een ondergrond van zand met een kleilaag van 1,0 m).

De voorgeschreven minimale en maximale waarden voor de terpafmetingen kunnen worden voorgeschreven als minimale waarde voor de schouder en maximale hoogte voor de tankterp in beide richtlijnen. In tabel 6-3 zijn de huidige afmetingen gegeven die in de richtlijnen staan. In tabel 6-4 zijn de nieuwe afmetingen voor de tankterp gegeven.

Tabel 6-3: Huidige afmetingen in de richtlijnen voor een terp met een gebroken steenslagring.

H (m)	PGS 29		EEMUA 183		
	S minimaal (m)	T minimaal (m)	D (m)	S minimaal (m)	T maximum (m)
20	1,5	1,0	< 15	1,5	1,0
			> 15	1,5	1,0

Tabel 6-4: Nieuwe afmetingen voor in de richtlijnen voor een terp met gebroken steenslagring.- Hoogte 20 m

H (m)	S minimaal (m)	T maximaal (m)
20	1,5	1,0

6.1.3 Tankhoogtes 30 m en 35 m

Voor tanks tot 30 en 35 m hoog zijn diverse berekeningen uitgevoerd. Uit de berekeningen is het volgende gebleken:

Algemeen DGeoStability

- De kleinste diameter 10 m heeft de kleinste veiligheidsfactoren. Bij 15 m diameter neemt de veiligheid aanmerkelijk toe. Dit effect heeft te maken met de spanningsspreiding in de ondergrond en met de modellering in DGeoStability
- Bij deze tankhoogtes is het niet mogelijk om minimale en maximale afmetingen voor de tankterp op te stellen. De spreiding in resultaten is groot, bij variatie van kleidikte, bovenkant kleilaag en niveau van de grondwaterstand
- Een kleilaag zou met DGeoStability niet voldoen bij een diameter van 10 m, maar bij grotere diameters zou de kleilaag wel voldoen.
- Bij een tankhoogte tot 30 m en 35 m met een kleilaag van 1 m zijn beperkte afmetingen die voldoen.
- Verschil in hoogte veiligheidsfactor met een variërende GWS is niet heel groot.
- Wanneer de tanks met 10 m diameter als maatgevend worden beschouwd (worst case) blijkt, dat met een ondergrond van zand een minimale schouderbreedte van 3,0 m en een maximale terphoogte van 0,75 m vereist is. Voor andere variaties is dit minder duidelijk vast te stellen. Elk geval moet dan als op zich staand worden berekend.

6.2 Aanpassing / toelichting richtlijn

In de richtlijnen kunnen aanpassingen en aanvullingen worden uitgevoerd. Indien de ondergrond volledig uit zand bestaat of een kleilaag van ca. 1,0 m aanwezig is, kunnen de terpafmetingen die in tabel 6-5 staan als basisafmetingen worden aangehouden. Hierbij is uitgegaan van zand met een ϕ' van 30° en klei met een ϕ' van $22,5^\circ$ en een c' van 3,0 kPa. Indien de ϕ' en c' een lagere waarde hebben, kan het voorkomen dat de afmetingen niet voldoen. Bij een hogere ϕ' en c' kunnen kleinere afmetingen worden gekozen voor de terp.

Tabel 6-5: Tabel met vereiste terpafmetingen

Tankhoogte (m)	S minimaal (m)	T maximaal (m)
10	1,0	1,5
20	1,5	1,0
30	3,0*	0,75*
35	-	-

* in geval van een zand ondergrond ($\phi' = 30^\circ$).

De afmetingen die zijn gegeven dienen te allen tijde nagerekend te worden. De draagkracht en de zettingen dienen te allen tijde getoetst te worden.

H 7. Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Fugro GeoServices B.V. heeft veel ervaring met opslagtanks. Voor het uitvoeren van grondonderzoek, maar ook voor het adviseren van een fundering voor een tank. In de huidige richtlijnen staan afmetingen voor tanks tot 10 m en 20 m hoog. Tegenwoordig worden tanks ca. 30 m hoog gebouwd.

Om de afmetingen voor tanks hoger dan 20 m te bepalen zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor de afmetingen die in de richtlijnen staan (verificatie) en voor afmetingen voor hogere tanks (30 m en 35 m).

In dit onderzoek is uitgegaan van de zwaarste veiligheidsklasse en redelijk standaard parameterwaarden. Er zijn veel variabelen die net het verschil kunnen maken of de stabiliteit van de terp voldoet of niet. De variatie zit in:

- Veiligheidsklasse (RC1, RC2 of RC3). Elke veiligheidsklasse heeft eigen factoren.
- Parameterwaarden
 - o volume gewicht ($\gamma_{\text{nat}} / \gamma_{\text{dr}}$)
 - o cohesie (c')
 - o hoek van inwendige wrijving (φ')
- bovenbelasting
- aangegeven reken grid in DGeoStability en PLAXIS
- helling van het talud

Aan de hand van de resultaten die zijn voortgekomen uit DGeoStability, voor de verschillende tankhoogtes, zijn de meest relevante afmetingen en bodemprofielen uitgekozen voor de PLAXIS berekeningen.

Uit de resultaten van de berekeningen zijn diverse bevindingen gekomen. De conclusies zijn daarom ook in tweeën verdeeld (conclusies voor de afmetingen van de terp en conclusies betreffende de rekenmodellen):

1) **Conclusies voor de terpaafmetingen:**

- a) De stabiliteit van de terp is afhankelijk van de volgende factoren, zoals aangetoond in de berekeningen:
 - Hoogte van de tank: hoe hoger de tank, des te instabieler wordt de terp.
 - Aanwezigheid van slappe lagen: De dikte van de slappe laag heeft een negatieve invloed op de stabiliteit. De diepteligging van de slappe lagen: in het algemeen (enkele berekeningen geven een ander beeld) geldt dat een grotere diepte ligging resulteert in een stabielere tankterp.
 - Grondwaterstand: hoe lager de grondwaterstand, des te stabielier wordt de tankterp.
 - Breedte van de schouder: een bredere schouder leidt tot een grotere stabiliteit.
 - Hoogte van de tankterp: een lagere terp maakt de terp stabielier.
- b) In de PGS29 en EEMUA183 kunnen de volgende richtwaarden voor de afmetingen van de tankterp worden aangehouden:

Tabel 7-1: Tabel met vereiste terpafmetingen

Tankhoogte (m)	S minimaal (m)	T maximaal (m)
10	1,0	1,5
20	1,5	1,0
30	3,0*	0,75*
35	-	-

* in geval van een zand ondergrond ($\varphi' = 30^\circ$).

Uit de berekeningen blijkt een redelijke spreiding in resultaten. De afmetingen van de terp dienen daarom met berekeningen te worden onderbouwd. De gegeven waarden in de tabel zijn ter indicatie.

- c) Voor tanks hoger dan 20 m dient de tankterp te worden aangepast. De waarden van tabel 7-1 voldoen dan waarschijnlijk niet meer. Een andere funderingsoptie zal dan moeten worden toegepast, bijvoorbeeld door middel van grondverbetering, palen, geotextielen.

2) Conclusies betreffende de rekenmodellen:

- Uit de DGeoStability berekeningen blijkt dat als de diameter groter wordt, de veiligheidsfactor groter wordt. Dit geldt bij de verschillende varianten die zijn berekend met DGeoStability. De toename in veiligheid met een grotere diameter is niet volgens de verwachting. Het bezwijken van een tankterp met een hoogte van 1,0 m á 1,5 m geschiedt door middel van een oppervlakkig schuifvlak. Dit schuifvlak zal nauwelijks veranderen als de tank diameter groter wordt dan 10 m. Daarom was verwacht, dat de veiligheidsfactor min of meer onafhankelijk is van de diameter.
- Uit de berekeningen bleek echter toch een afhankelijkheid van de tankdiameter. Deze afhankelijkheid wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de geometrische spreiding in de belasting in DGeoStability. Wordt namelijk de belastingspreiding uitgeschakeld, dan resulteert eenzelfde veiligheid voor alle tankdiameters. Ook PLAXIS geeft veiligheidsfactoren, die min of meer onafhankelijk zijn van de tankdiameter. De veiligheid berekend volgens DGeoStability voor de tankdiameters groter dan 10 m is dus aan de optimistische kant.
- De resultaten van PLAXIS zijn lager dan de DGeoStability resultaten. Dit wordt veroorzaakt doordat theoretisch DGeoStability een bovengrens oplossing geeft en PLAXIS een ondergrens. Glijvlak berekeningen zijn in principe niet geheel juist. Het totaal evenwicht van de lamellen is een benadering.
- Uit de resultaten en de grafieken is niet duidelijk te zien waarom er een scheiding van de terpafmetingen is, bij een diameter van 15 m in de EEMUA 183. De PLAXIS resultaten zijn namelijk constant voor de verschillende diameters en in geval van de DGeoStability berekeningen neemt de veiligheidsfactor toe bij een grotere diameter.

7.2 Aanbevelingen

Aan de hand van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Bij tanks tot 30 m en 35 m hoog wordt geadviseerd om ten opzichte van de richtlijnen, aanpassingen te doen aan de terpafmetingen of een andere fundering toe te passen.
- Geadviseerd wordt de afmetingen die in de richtlijnen staan altijd na te rekenen.
- Een correcte keuze is erg belangrijk betreffende de veiligheidsklasse, parameterwaarden, bovenbelasting en grid in de rekenprogramma's.
- Terpafmetingen in de richtlijnen dienen in geval van de stabiliteit gegeven te worden als een minimale schouderbreedte en een maximale terphoogte. Dit is in tegenstelling met de huidige richtlijnen.
- Verder onderzoek naar de invloed van de tankdiameter is belangrijk voor de extrapolatie naar hogere tanks.

Begrippenlijst

B

Bitumen = bitumen is een onderdeel van aardolie.

Boren = een grondmonster uit de bodem halen door middel van een buis.

Bouwbesluit = norm waarin bouw gerelateerde technische specificaties in staan waaraan een bouwwerk aan moet voldoen.

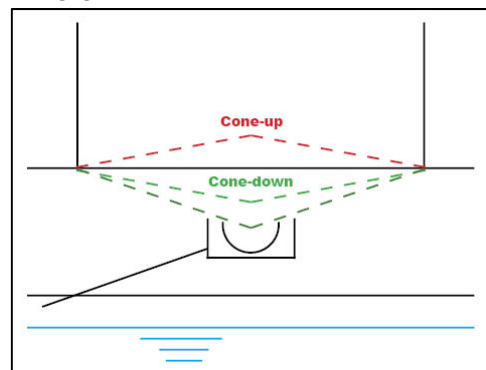
Brandbare (vloeistof) = een vloeistof die zelf brandbaar is of waaruit onder voorzienbare bedrijfsomstandigheden een brandbaar gas, brandbare damp of brandbare nevel kan ontstaan. (EN-IEC 60079-10, elektrisch materieel voor plaatsen waar gasexplosiegevaar kan heersen, 2003).

C

Capillair water = bestaat uit hele kleinen waterdruppels die vastgehouden worden als gevolg van de eigenschappen van capillariteit en oppervlaktespanning gedurende periodes zonder regen.

Cone-down = bodem van de tank staat naar beneden. De bodem van de tank zakt naar beneden in de vorm van een punt.

Cone-up = bodem van de tank staat naar boven. De verwachte zettingen zijn tijdens het ontwerp verwerkt waarbij de bodem in een punt omhoog staat.



D

Differentiële zettingen = zijn ongelijke zettingen en ontstaan bij zettingsverschillen. De zettingen kunnen constructief gevaarlijk zijn.

Dilatantie = volumevergroting ten gevolge van afschuiving.

D-Serie = rekenprogramma's ontwikkeld door Deltares, om o.a. de stabiliteit van taluds te berekenen of een fundering.

E

EEMUA = Europese richtlijn voor bovengrondse opslagtanks. Opgesteld door EEMUA Publication 183, d.d. 2011.

Exploitant = iemand die de inrichting verzorgt of degene die aansprakelijk is voor de inrichting. In de meeste gevallen is dit iemand die de houder is van de milieubeheervergunningen.

F

Fundering = ondergrond waarop het bouwwerk (tank) rust. Bijv. een tankterp.

G

Grondonderzoek = inzicht krijgen van de bodemopbouw door middel van een sondering en/of boring.

H

Handsondeerapparaat = apparaat om een sondering uit te voeren met de hand.

HSP palen = HSP staat voor Hoge Snelheids Paal. Dit is een grondverdringend paalsysteem. HSP is ontwikkeld door Voorbij Funderingstechnieken. Op een dag kunnen ca. 200 palen worden geproduceerd (afhankelijk van de omstandigheden). Tevens is het een trillings- en geluidsarme installatie.

K

Klasse = in de richtlijn PGS29 wordt gesproken over klasse 0, klasse 1, klasse 2, klasse 3 en klasse 4. De klasse indeling is weergegeven in tabel 0-2.

Tabel 0-2: Klasse-indeling naar brandpuntgevaar (Bron: PGS 29, d.d. oktober 2008)

Klasse	Vlampuntgrenzen	Voorbeelden
Klasse 0	Vlampunt (VP) < 0 °C, kookpunt < 35 °C	Stoffen van klasse 0 worden niet onder atmosferische omstandigheden opgeslagen
Klasse 1	(VP) < 21 °C, doch niet vallend in klasse 0	Benzine, benzeen, tolueen, petroleumether
Klasse 2	21 °C ≤ VP ≤ 55 °C	Kerosine, terpentine, solvent nafta
Klasse 3	55 °C < VP < 100 °C	Dieselolie, HBO I, HBO II
Klasse 4	VP ≥ 100 °C	Stookolie, smeerolie

L

Liquefactie = vloeibaarheid.

LNG = LNG staat voor Liquefied natural gas. Dit is vloeibaar aardgas.

M

Maximaal = grootst mogelijk / niet meer dan.

Minimaal = zo klein mogelijk / minstens.

O

Opslagtank = bovengrondse verticale cilindrische (rond) houder, waarop de tankbodem op een fundering rust.

Opslagcapaciteit = hoeveelheid op te slaan materiaal.

P

PGS 29 = Publicatie Gevaarlijke Stoffen. Richtlijn voor bovengrondse opslag van brandbare vloeistoffen in verticale cilindrische tanks.

Opgesteld door Publicatie Gevaarlijke Stoffen 29, d.d. 7 oktober 2008.

Pipeline = leiding waar de vloeistof door heen stroomt.

Plaxis = 2D / 3D model eindige-elementenprogramma om betere berekeningen te maken betreffende de grondverplaatsing, spanningen en krachtsverdeling.

Prefab palen = een betonnen vierkante paal met wapening in de paal. Prefab palen is de meest toegepaste type fundering in Nederland.

R

Raffinaderij = bedrijf dat ruwe grondstof bewerkt. Bijvoorbeeld ruwe olie bewerken tot benzine.

Richtlijn = voorschrift hoe de werkzaamheden (bijv. berekening) uitgevoerd moeten worden.

Ruwe olie = vloeistof wat nog niet bewerkt is. De vloeistof is nog onbewerkt en komt zo uit de grond.

S

Sondering = bij het maken van een sondering wordt een conusvormige sonde verticaal met een vaste snelheid de grond in gedrukt. Tijdens het drukken worden de eigenschappen van de grond gemeten. Door middel van een grafiek kan worden bekeken wat de bodemopbouw is.

Stabiliteit = evenwicht van de grondlichamen.

Steenslagring = voor het realiseren van de tankterp, wordt een steenslagring gebruikt. Steenslag is gebroken steen.

T

Tank = zie opslagtank.

Tankterp = de fundering van een opslagtank.

Terp = de fundering van een opslagtank.

V

Verticale cilindrische tank = verticale buisvormige tank waarvan de tankbodem op de fundering rust.

W

Watertest = nadat de tankconstructie is gebouwd, wordt de tank gevuld met water om de zettingen van de tank te controleren en nagaan op lekkages.

Z

Zetting = zetting is een proces wat door een bovenbelasting in gang wordt gezet. De grond wordt samengedrukt, waardoor het maaiveld zal gaan zakken.

Referentielijst

Andere bronnen

- Fugro GeoServices;
- Fugro GeoServices collega's;
- Fugro GeoServices archief;
- Tankconstructeur;
- PLAXIS Manual 2D – *essential for geotechnical professionals* 2014.

Richtlijnen Geotechniek

- NEN-EN 1997-1:2005 (NEN-EN 1997-1/NB+ NEN9097-1);

Normen & richtlijnen opslagtanks

- British standard BS2654:1989 Manufacture of vertical steel welded non-refrigerated storage tanks with butt-welded shells for the petroleum industry;
- Richtlijn voor bovengrondse opslag van brandbare vloeistoffen in verticale cilindrische tanks, Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 29, 7 oktober 2008;
- EEMUA "Prevention of bottom leakage. A guide for the design and repair of foundations and bottoms of vertical, cylindrical, steel storage tanks.", publication 183: edition 2, 2011;
- Kennisdocument Vloeibare bulk op- en overslag in tanks, nr.278;
- 'Welded Tanks for Oil Storage' API Standard 650, may 1 2010;
- NEN-EN 14015:2004/Ontw. A1:2005 en Specificatie voor het ontwerpen en de fabricage van ter plekke gebouwde, verticale, cilindrische, bovengrondse, gelaste stalen tanks met vlakke bodem voor de opslag van vloeistoffen bij omgevingstemperatuur en hoger.

Gebruikte software

- Word 2010
- Excel 2010
- DGeoStability
- PLAXIS 2D

Websites

- (Bron: Auteur niet bekend (2013). *Onze Business*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://mot.nl/onze-business/>)
- (Bron: Auteur niet bekend (2011). *Hoogste punt Botlek Tank Terminal*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://www.portofrotterdam.com/nl/actueel/pers-en-nieuwsberichten/Pages/hoogste-punt-botlek-tank-terminal.aspx>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Extreem korte aanlevertijd voor 15 Vopak opslagtanks*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://opslagtanks.mercon.com/reference/the-second-reference/?lang=nl>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Hydrocarbon Hotel plant en L-steiger*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://www.voorbijfunderingstechniek.nl/projecten/94/hydrocarbon-hotel-plant-en-l-steiger.html>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *LNG opslagtanks Gate terminal te Rotterdam*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://www.cfe.nl/nl/project/lng-opslagtanks-gate-terminal-te-rotterdam>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Vopak Vlaardingen*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, <http://www.wagenborg.com/nl/onze-projecten/vopak-vlaardingen>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *LNG opslagtanks Gate Terminal te Rotterdam*. Geraadpleegd op 14 februari 2015, <http://www.cfe.nl/nl/project/lng-opslagtanks-gate-terminal-te-rotterdam>)

- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Extreem korte aanlevertijd voor 15 Vopak opslag tanks*. Geraadpleegd op 14 februari 2015, <http://opslag tanks.mercon.com/reference/the-second-reference/?lang=nl>)
- (Bron: Nieuwsblad Transport (29-4-2011). *Vopak krijgt er 500.000 m3 tankcapaciteit bij*. Geraadpleegd op 14 februari 2015, <http://www.portofrotterdam.com/nl/actueel/pers-en-nieuwsberichten/Pages/vopak-krijgt-er-500000-m3-tankcapaciteit-bij.aspx>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Vopak Vlaardingen*. Geraadpleegd op 14 februari 2015, <http://www.wagenborg.com/nl/onze-projecten/vopak-vlaardingen>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Team Terminal BV*. Geraadpleegd op 14 februari 2015, <http://www.team-terminal.nl/>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *MOT Maasvlakte Olie Terminal. Eén van de grootste olieterminals ter wereld*. Geraadpleegd op 14 februari 2015, <http://mot.nl/mot/>)
- (Bron: Auteur niet bekend (2-2-2011). *Hoogste punt Botlek Tank Terminal*. Geraadpleegd op 15 februari 2015, <http://www.portofrotterdam.com/nl/actueel/pers-en-nieuwsberichten/Pages/hoogste-punt-botlek-tank-terminal.aspx>)
- (Bron: Auteur niet bekend (z.d.). *Vopak*. Geraadpleegd op 15 februari 2015, <http://www.vopak.nl/nederland/>)

Bijlage 1

Tabellen uit de richtlijnen

PGS 29



- het type tankfundering (gehele zandterp of annular ring van gebroken steenslag etc);
- de helling van de schouder;
- de hoogte van de terp.

Tenzij de omstandigheden dit belemmeren, moeten de schouders van terpfunderingen uitgevoerd worden volgens onderstaande tabellen, waarbij in beide tabellen de parameters zijn:

H = tankwand hoogte [m];

S = breedte van de schouder gemeten vanuit de tankwand/bodem verbinding [m];

T = terphoogte voor de watertest [m].

Tabel A.1: Terpfunderingen zonder annular sectie van gebroken steenslag

H [m]	S minimaal [m]	T minimaal [m]
10	1,00	1,20
20	1,50	1,00

Tabel A.2 Terpfunderingen met annular sectie van gebroken steenslag

H [m]	S minimaal [m]	T minimaal [m]
10	1,00	1,50
20	1,50	1,00

De helling van de schouder mag niet boven de gradiëntwaarde van 1 : 1,5 gekozen worden, binnen de maat van S. Daarbuiten mag deze helling een gradiënt van 1: 10 bedragen.

Het lichaam van de tankfundering moet opgebouwd worden van schoon korrelig materiaal dat bij voorkeur voldoet aan de volgende eisen:

- niet verpletterbaar;
- hoge wrijvingseigenschappen: $\varphi' > 35^\circ$; $c' > 0$;
- lage compressiemogelijkheid: $C^4_{10} > 500$;
- laag zoutgehalte: $\leq 10\% m/m$;
- drainage mogelijkheid: $k \geq 1 \times 10^{-4} m/s$;
- weerstand biedt tegen:
 - o inwatering;
 - o oxidatie;
 - o chemische veranderingen;
 - o veranderingen in mechanische eigenschappen.
- gemakkelijk compacteerbaar.

Toelichting:

Goed gecompacteerd zand voldoet ruimschoots aan deze voorwaarden mits de chemische en mechanische stabiliteit van de daarin voorkomende mineralen voldoen aan de bovenstaande eisen.

Om capillaire opstuwung van het grondwater te voorkomen dient de bovenste 200 mm laag van de terpfundering te bestaan uit grof zand.

Een funderingring voor de terpschouder en het gedeelte van de fundering onder de wand-/bodemverbinding van de tank die bestaat uit gebroken steenslag is te prefereren boven een terpfundering die geheel uit zand is opgebouwd. Dit materiaal is

EEMUA 183

The liquefaction potential of the sub-soil due to earthquake or other dynamic load source should be investigated.

2.7.3.2 Foundation Shoulder

The foundation width should be selected so that the stability of the foundation, shoulder and sub-soil should be ensured. The minimum width of the foundation shoulder (S) depends on several aspects:

- Height of the tank (H).
- Diameter of the tank (D).
- Density of the product stored in the tank (for oil products, water filling in hydrostatic test is normative).
- The type of foundation (no crushed stone ring, crushed stone ring or piled etc.).
- Slope of the shoulder edge.
- Height of tank foundation above grade (T).

The following limiting values for the shoulder width and height should be adopted for tanks with various heights:

A) Tank foundations without an annular ring of coarse material (see Table 2).

Table 2 Dimensions of tank with respect to width of shoulder and height of tank foundation (without annular ring)

H[m]	D[m]	S _{Minimum} [m]	T _{Maximum} [m]
10	<15	1.0	1.0
10	>15	1.5	0.9
20	<15	1.5	0.9
20	>15	1.5	0.9

B) Tank foundation with an annular ring of coarse material (see Table 3).

Table 3 Dimensions of tank with respect to width of shoulder and height of tank foundation (with annular ring)

H[m]	D[m]	S _{Minimum} [m]	T _{Maximum} [m]
10	<15	1.0	1.2
10	>15	1.5	1.0
20	<15	1.5	1.0
20	>15	1.5	1.0

The shoulder should have a gradient of 1:20 over the dimension S. Beyond this dimension the slope should not exceed a gradient of 1:1.5 (see also Figure 3).

To properly compact a foundation comprising entirely of sand for a tank with a diameter (D), the width of the foundation during initial construction of the tank and the foundation should be larger than the final dimensions. The minimum dimension during compaction should be: $D + 6 \cdot S$. The tank foundation can be trimmed back to the correct size on completion of the construction of the tank.

Bijlage 2

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond volledig van zand

DGeoStability

Bijlage 2

Bodemopbouw - zand

Tank 10 m hoog
GWS -0,5 m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,40	1,36	1,33	1,26	1,23
0,75		1,40	1,36	1,34	1,28	1,24
1,00		1,43	1,37	1,36	1,29	1,25
1,50		1,47	1,42	1,39	1,33	1,30
2,00		1,50	1,45	1,42	1,37	1,33

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,48	1,45	1,42	1,36	1,33
0,75		1,48	1,45	1,43	1,38	1,34
1,00		1,52	1,47	1,45	1,40	1,35
1,50		1,56	1,51	1,48	1,43	1,41
2,00		1,59	1,55	1,52	1,48	1,43

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,54	1,56	1,53	1,48	1,47
0,75		1,57	1,55	1,54	1,51	1,48
1,00		1,63	1,58	1,56	1,52	1,48
1,50		1,65	1,63	1,59	1,56	1,54
2,00		1,71	1,68	1,65	1,62	1,57

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,58	1,61	1,60	1,57	1,56
0,75		1,63	1,62	1,61	1,61	1,58
1,00		1,69	1,66	1,64	1,62	1,59
1,50		1,72	1,70	1,68	1,67	1,65
2,00		1,79	1,76	1,75	1,72	1,69

Tank 10 m hoog
GWS -1,0 m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,42	1,40	1,37	1,30	1,27
0,75		1,45	1,42	1,39	1,33	1,29
1,00		1,49	1,44	1,42	1,35	1,30
1,50		1,54	1,48	1,45	1,39	1,35
2,00		1,56	1,52	1,49	1,43	1,39

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,48	1,48	1,46	1,40	1,38
0,75		1,53	1,51	1,47	1,42	1,39
1,00		1,57	1,53	1,51	1,45	1,40
1,50		1,62	1,57	1,54	1,49	1,46
2,00		1,66	1,62	1,59	1,54	1,49

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,54	1,55	1,53	1,51	1,51
0,75		1,62	1,59	1,58	1,54	1,48
1,00		1,67	1,63	1,61	1,57	1,53
1,50		1,71	1,69	1,65	1,62	1,59
2,00		1,77	1,74	1,72	1,67	1,63

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,58	1,61	1,61	1,60	1,62
0,75		1,67	1,65	1,65	1,63	1,63
1,00		1,73	1,70	1,68	1,66	1,64
1,50		1,77	1,77	1,74	1,72	1,69
2,00		1,85	1,83	1,81	1,77	1,74

Tank 10 m hoog
GWS -2,0 m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,42	1,41	1,37	1,31	1,28
0,75		1,45	1,42	1,38	1,34	1,30
1,00		1,50	1,46	1,41	1,37	1,32
1,50		1,53	1,50	1,46	1,42	1,39
2,00		1,61	1,58	1,55	1,48	1,43

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,48	1,48	1,46	1,40	1,38
0,75		1,52	1,50	1,47	1,44	1,39
1,00		1,58	1,54	1,50	1,46	1,42
1,50		1,61	1,58	1,55	1,52	1,49
2,00		1,70	1,68	1,64	1,58	1,53

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,54	1,55	1,55	1,52	1,50
0,75		1,61	1,59	1,57	1,56	1,52
1,00		1,67	1,63	1,60	1,58	1,55
1,50		1,70	1,68	1,65	1,64	1,62
2,00		1,81	1,78	1,75	1,70	1,66

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,58	1,60	1,61	1,60	1,59
0,75		1,67	1,65	1,65	1,65	1,61
1,00		1,74	1,70	1,68	1,66	1,65
1,50		1,76	1,74	1,73	1,73	1,72
2,00		1,88	1,86	1,83	1,81	1,76

Tank 20 m hoog
GWS -0,5 m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,12	1,10	1,07	1,03	0,99
0,75		1,13	1,10	1,08	1,03	0,99
1,00		1,13	1,10	1,08	1,03	1,00
1,50		1,13	1,10	1,08	1,04	1,01
2,00		1,13	1,11	1,09	1,05	1,03

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,26	1,23	1,20	1,16	1,12
0,75		1,26	1,23	1,21	1,16	1,12
1,00		1,26	1,24	1,21	1,16	1,13
1,50		1,26	1,23	1,21	1,17	1,14
2,00		1,27	1,24	1,22	1,18	1,15

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,40	1,39	1,37	1,34	1,30
0,75		1,41	1,38	1,37	1,33	1,30
1,00		1,41	1,39	1,37	1,34	1,32
1,50		1,43	1,41	1,39	1,35	1,33
2,00		1,44	1,41	1,40	1,35	1,34

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,49	1,48	1,49	1,47	1,45
0,75		1,49	1,48	1,49	1,46	1,46
1,00		1,51	1,49	1,50	1,47	1,47
1,50		1,53	1,52	1,50	1,48	1,49
2,00		1,54	1,53	1,52	1,51	1,51

Tank 20 m hoog
GWS -1,0 m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,16	1,13	1,10	1,06	1,02
0,75		1,17	1,13	1,10	1,06	1,02
1,00		1,16	1,14	1,11	1,06	1,03
1,50		1,16	1,14	1,12	1,07	1,04
2,00		1,17	1,14	1,12	1,08	1,06

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,29	1,26	1,23	1,18	1,15
0,75		1,29	1,26	1,23	1,19	1,15
1,00		1,29	1,27	1,24	1,19	1,16
1,50		1,30	1,27	1,25	1,20	1,17
2,00		1,30	1,28	1,25	1,21	1,18

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,43	1,42	1,40	1,36	1,33
0,75		1,44	1,41	1,40	1,36	1,32
1,00		1,45	1,42	1,41	1,37	1,35
1,50		1,46	1,44	1,42	1,37	1,35
2,00		1,47	1,44	1,43	1,38	1,37

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,50	1,51	1,52	1,49	1,47
0,75		1,51	1,50	1,51	1,49	1,48
1,00		1,54	1,51	1,52	1,50	1,49
1,50		1,56	1,54	1,52	1,51	1,51
2,00		1,57	1,56	1,54	1,53	1,53

Tank 20 m hoog
GWS -2,0 m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,22	1,19	1,16	1,11	1,06
0,75		1,22	1,19	1,17	1,11	1,07
1,00		1,23	1,20	1,16	1,11	1,07
1,50		1,23	1,20	1,17	1,12	1,09
2,00		1,23	1,20	1,19	1,13	1,11

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,33	1,30	1,28	1,23	1,19
0,75		1,34	1,30	1,28	1,24	1,20
1,00		1,34	1,31	1,29	1,24	1,20
1,50		1,35	1,32	1,30	1,25	1,22
2,00		1,36	1,33	1,31	1,26	1,23

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,45	1,43	1,43	1,38	1,35
0,75		1,44	1,43	1,43	1,39	1,36
1,00		1,47	1,43	1,44	1,40	1,38
1,50		1,48	1,46	1,44	1,42	1,39
2,00		1,50	1,49	1,47	1,44	1,41

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50		1,50	1,52	1,52	1,49	1,49
0,75		1,51	1,51	1,52	1,51	1,50
1,00		1,55	1,53	1,53	1,52	1,50
1,50		1,55	1,55	1,54	1,54	1,54
2,00		1,59	1,59	1,59	1,57	1,56

Legenda:

- Afmetingen die in de EEMUA 183 staan aangegeven voor tanks van 10 m hoog.
- Afmetingen die in de PGS 29 staan aangegeven voor tanks van 10 m hoog.
- Afmetingen die in de EEMUA 183 en de PGS 29 staan aangegeven voor tanks van 20 m hoog.

Bijlage 3

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond volledig van zand

Tankhoogte 10 m

Plaxis 2D

Bijlage 3

Bodemopbouw - zand

Tank 10 m hoog

GWS -1,0 m

Diameter 10 m

T	1,00	1,50
S		
1,00	1,08	1,14
1,50	1,23	1,23
2,00	1,33	1,30

Diameter 15 m

T	1,00	1,50
S		
1,00	1,11	1,13
1,50	1,23	1,21
2,00	1,29	1,21

Diameter 30 m

T	1,00	1,50
S		
1,00	1,11	1,11
1,50	1,11	1,20
2,00	1,27	1,27

Diameter 80 m

T	1,00	1,50
S		
1,00	1,01	1,10
1,50	1,21	1,19
2,00	1,27	1,28

Bijlage 4

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond volledig van zand

DGeoStability

Bijlage 4

Bodemopbouw - zand

Tank 30 m hoog
GWS -0,5m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	0,99	0,97	0,95	0,93	0,89	
0,75	0,99	0,97	0,95	0,92	0,90	
1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	
1,50	0,99	0,98	0,98	0,94	0,91	
2,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,92	
2,50	1,00	0,98	0,97	0,94	0,93	
3,00	1,01	0,98	0,97	0,96	0,93	

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	
0,75	1,14	1,12	1,10	1,06	1,04	
1,00	1,13	1,12	1,09	1,06	1,03	
1,50	1,14	1,12	1,09	1,07	1,04	
2,00	1,13	1,11	1,10	1,07	1,05	
2,50	1,14	1,12	1,11	1,08	1,05	
3,00	1,15	1,13	1,11	1,08	1,06	

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,34	1,32	1,30	1,27	1,23	
0,75	1,34	1,32	1,30	1,27	1,24	
1,00	1,34	1,32	1,30	1,27	1,24	
1,50	1,35	1,32	1,30	1,27	1,25	
2,00	1,34	1,32	1,31	1,28	1,25	
2,50	1,35	1,33	1,31	1,29	1,26	
3,00	1,35	1,33	1,32	1,28	1,26	

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,45	1,44	1,45	1,44	1,41	
0,75	1,46	1,44	1,44	1,42	1,41	
1,00	1,46	1,45	1,44	1,43	1,43	
1,50	1,48	1,47	1,46	1,44	1,43	
2,00	1,48	1,47	1,46	1,44	1,45	
2,50	1,49	1,48	1,48	1,45	1,46	
3,00	1,50	1,49	1,48	1,46	1,48	

Tank 30 m hoog
GWS -1,0m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,01	1,00	0,98	0,94	0,91	
0,75	1,01	1,00	0,98	0,94	0,92	
1,00	1,02	0,99	0,98	0,95	0,93	
1,50	1,01	1,01	0,99	0,95	0,93	
2,00	1,02	1,01	0,99	0,96	0,94	
2,50	1,02	1,00	0,99	0,96	0,95	
3,00	1,04	1,01	1,00	0,98	0,95	

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,16	1,14	1,12	1,08	1,05	
0,75	1,16	1,14	1,12	1,08	1,05	
1,00	1,16	1,14	1,12	1,08	1,06	
1,50	1,15	1,14	1,13	1,09	1,06	
2,00	1,16	1,14	1,13	1,09	1,07	
2,50	1,17	1,15	1,13	1,10	1,07	
3,00	1,18	1,14	1,13	1,11	1,08	

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,36	1,34	1,32	1,28	1,26	
0,75	1,37	1,35	1,32	1,29	1,26	
1,00	1,36	1,35	1,33	1,29	1,27	
1,50	1,37	1,35	1,33	1,29	1,26	
2,00	1,37	1,35	1,33	1,30	1,28	
2,50	1,37	1,35	1,34	1,30	1,27	
3,00	1,38	1,35	1,34	1,31	1,29	

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,47	1,47	1,47	1,44	1,43	
0,75	1,48	1,46	1,46	1,44	1,42	
1,00	1,49	1,46	1,47	1,45	1,45	
1,50	1,50	1,49	1,47	1,45	1,45	
2,00	1,50	1,49	1,48	1,46	1,46	
2,50	1,52	1,51	1,50	1,47	1,47	
3,00	1,52	1,52	1,50	1,48	1,50	

Tank 30 m hoog
GWS -2,0m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,06	1,04	1,02	0,98	0,96	
0,75	1,06	1,04	1,03	0,99	0,96	
1,00	1,06	1,04	1,03	0,99	0,96	
1,50	1,06	1,05	1,03	1,00	0,97	
2,00	1,07	1,05	1,04	1,01	0,98	
2,50	1,06	1,05	1,04	1,01	0,99	
3,00	1,08	1,05	1,04	1,02	0,99	

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,21	1,18	1,16	1,12	1,09	
0,75	1,20	1,18	1,17	1,13	1,09	
1,00	1,20	1,18	1,17	1,12	1,09	
1,50	1,21	1,18	1,17	1,13	1,11	
2,00	1,21	1,19	1,17	1,14	1,11	
2,50	1,21	1,19	1,17	1,14	1,11	
3,00	1,22	1,19	1,18	1,15	1,12	

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,39	1,38	1,36	1,33	1,29	
0,75	1,40	1,37	1,36	1,33	1,29	
1,00	1,40	1,38	1,36	1,33	1,30	
1,50	1,41	1,38	1,37	1,33	1,30	
2,00	1,41	1,39	1,38	1,33	1,31	
2,50	1,41	1,40	1,38	1,35	1,32	
3,00	1,42	1,40	1,39	1,35	1,32	

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,47	1,47	1,48	1,46	1,44	
0,75	1,47	1,47	1,49	1,46	1,45	
1,00	1,50	1,48	1,49	1,47	1,46	
1,50	1,50	1,50	1,49	1,48	1,48	
2,00	1,53	1,52	1,51	1,50	1,49	
2,50	1,54	1,54	1,52	1,51	1,51	
3,00	1,56	1,55	1,54	1,52	1,52	

Tank 35 m hoog
GWS -0,5m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	0,94	0,92	0,91	0,88	0,86	
0,75	0,94	0,93	0,91	0,88	0,87	
1,00	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	
1,50	0,94	0,93	0,92	0,89	0,87	
2,00	0,94	0,93	0,93	0,89	0,88	
2,50	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	
3,00	0,97	0,93	0,92	0,92	0,88	

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,08	1,07	1,05	1,03	1,00	
0,75	1,07	1,07	1,06	1,03	1,00	
1,00	1,09	1,07	1,06	1,03	1,00	
1,50	1,09	1,07	1,06	1,04	1,01	
2,00	1,09	1,07	1,07	1,04	1,01	
2,50	1,10	1,08	1,07	1,04	1,02	
3,00	1,11	1,08	1,07	1,05	1,03	

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,30	1,29	1,27	1,24	1,21	
0,75	1,31	1,29	1,27	1,24	1,22	
1,00	1,30	1,29	1,27	1,24	1,22	
1,50	1,31	1,29	1,27	1,25	1,22	
2,00	1,30	1,29	1,27	1,25	1,22	
2,50	1,30	1,29	1,28	1,25	1,23	
3,00	1,31	1,29	1,28	1,25	1,23	

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,43	1,43	1,43	1,42	1,40	
0,75	1,44	1,43	1,43	1,41	1,40	
1,00	1,44	1,43	1,42	1,42	1,41	
1,50	1,46	1,45	1,44	1,42	1,42	
2,00	1,46	1,45	1,45	1,42	1,43	
2,50	1,48	1,46	1,46	1,43	1,44	
3,00	1,47	1,47	1,46	1,44	1,43	

Tank 35 m hoog
GWS -1,0m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	0,96	0,94	0,93	0,90	0,88	
0,75	0,96	0,95	0,93	0,91	0,88	
1,00	0,96	0,95	0,94	0,91	0,89	
1,50	0,96	0,95	0,93	0,92	0,89	
2,00	0,97	0,95	0,95	0,92	0,90	
2,50	0,97	0,95	0,94	0,92	0,90	
3,00	0,97	0,95	0,95	0,92	0,90	

Diameter 15 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,11	1,09	1,08	1,05	1,02	
0,75	1,11	1,09	1,08	1,05	1,01	
1,00	1,11	1,09	1,08	1,04	1,03	
1,50	1,11	1,11	1,08	1,05	1,02	
2,00	1,11	1,10	1,08	1,05	1,04	
2,50	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	
3,00	1,12	1,10	1,09	1,07	1,05	

Diameter 30 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,32	1,31	1,29	1,25	1,23	
0,75	1,32	1,31	1,29	1,26	1,23	
1,00	1,33	1,31	1,29	1,26	1,23	
1,50	1,32	1,31	1,30	1,26	1,23	
2,00	1,33	1,31	1,30	1,26	1,24	
2,50	1,34	1,31	1,30	1,26	1,24	
3,00	1,34	1,31	1,30	1,27	1,25	

Diameter 80 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,45	1,45	1,45	1,42	1,42	
0,75	1,46	1,45	1,44	1,42	1,41	
1,00	1,47	1,45	1,45	1,43	1,43	
1,50	1,47	1,47	1,45	1,43	1,43	
2,00	1,48	1,47	1,46	1,44	1,44	
2,50	1,49	1,48	1,48	1,45	1,44	
3,00	1,49	1,49	1,48	1,46	1,45	

Tank 35 m hoog
GWS -2,0m
Diameter 10 m

	T	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
S						
0,50	1,00	0,99	0,97	0,94	0,92	
0,75	1,00	0,99	0,98	0,94	0,92	
1,00	1,00	0,99	0,98	0,95	0,92	
1,50	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	
2,00	1,01	0,99	0,99	0,95	0,93	
2,50	1,01	1,00	0,99	0,96	0,95	
3,00	1,03	0,99	0,99	0,98	0,94	

Bijlage 5

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 0,5 m

Tankhoogte 10 en 20 m

DGeoStability

Bijlage 5

Bodemopbouw - zand & klei Toplaag 0,5 m zand

Tank 10 m hoog

GWS -0,5 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,12
	1,50	1,18	1,17

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,20
	1,50	1,25	1,25

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,30	1,29
	1,50	1,34	1,35

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,36	1,37
	1,50	1,40	1,42

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,93	0,89
	1,50	0,93	0,90

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,01	0,98
	1,50	1,02	0,99

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,17
	1,50	1,22	1,19

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,29	1,26
	1,50	1,31	1,28

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,93	0,88
	1,50	0,93	0,90

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,01	0,98
	1,50	1,02	0,99

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,17
	1,50	1,22	1,18

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1	1,5
	1,00	1,29	1,26
	1,50	1,31	1,28

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,93	0,88
	1,50	0,93	0,90

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,01	0,98
	1,50	1,02	0,99

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,17
	1,50	1,22	1,18

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,29	1,26
	1,50	1,31	1,28

Tank 20 m hoog

GWS -0,5 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,98	0,96
	1,50	1,01	0,98
	2,00	1,02	0,99

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,06	1,05
	1,50	1,09	1,09
	2,00	1,15	1,11

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,15	1,17
	1,50	1,18	1,21
	2,00	1,25	1,24

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,22	1,25
	1,50	1,25	1,30
	2,00	1,32	1,33

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,78	0,75
	1,50	0,79	0,76
	2,00	0,80	0,77

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,88	0,85
	1,50	0,88	0,86
	2,00	0,89	0,86

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,01	0,99
	1,50	1,01	1,00
	2,00	1,02	0,99

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,11	1,10
	1,50	1,12	1,12
	2,00	1,13	1,11

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,72	0,71
	1,50	0,72	0,71
	2,00	0,73	0,71

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,82	0,81
	1,50	0,82	0,81
	2,00	0,84	0,81

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,97	0,96
	1,50	0,97	0,96
	2,00	0,98	0,96

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,11	1,09
	1,50	1,11	1,10
	2,00	1,12	1,11

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,71	0,71
	1,50	0,71	0,69
	2,00	0,71	0,70

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,81	0,81
	1,50	0,80	0,80
	2,00	0,82	0,81

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,97	0,96
	1,50	0,97	0,96
	2,00	0,98	0,96

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,11	1,09
	1,50	1,11	1,10
	2,00	1,12	1,11

Bijlage 5

Bodemopbouw - zand & klei
Toplaag 0,5 m zand

Tank 10 m hoog
GWS -1,0 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,17	1,14
	1,50	1,24	1,20

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,24	1,22
	1,50	1,31	1,28

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,33	1,32
	1,50	1,40	1,38

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,39
	1,50	1,46	1,45

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,98	0,94
	1,50	0,99	0,95

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,07	1,02
	1,50	1,07	1,04

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,27	1,22
	1,50	1,28	1,24

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,35	1,31
	1,50	1,37	1,34

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,98	0,94
	1,50	0,99	0,95

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,07	1,02
	1,50	1,07	1,04

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,27	1,22
	1,50	1,28	1,24

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,35	1,31
	1,50	1,37	1,34

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,98	0,94
	1,50	0,99	0,95

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,07	1,02
	1,50	1,07	1,04

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,27	1,22
	1,50	1,28	1,24

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,35	1,31
	1,50	1,37	1,34

Tank 20 m hoog
GWS -1,0 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,99	0,97
	1,50	1,04	1,00
	2,00	1,06	1,02

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,07	1,06
	1,50	1,12	1,09
	2,00	1,16	1,14

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,16	1,17
	1,50	1,22	1,20
	2,00	1,26	1,25

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,23	1,25
	1,50	1,29	1,28
	2,00	1,33	1,34

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,81	0,78
	1,50	0,81	0,79
	2,00	0,83	0,79

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,91	0,88
	1,50	0,91	0,88
	2,00	0,92	0,89

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,03	1,01
	1,50	1,04	1,02
	2,00	1,05	1,02

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,13
	1,50	1,15	1,13
	2,00	1,16	1,14

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,75	0,73
	1,50	0,76	0,74
	2,00	0,77	0,75

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,85	0,83
	1,50	0,86	0,84
	2,00	0,86	0,84

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,01	0,98
	1,50	1,01	0,99
	2,00	1,01	0,99

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,12
	1,50	1,15	1,12
	2,00	1,15	1,13

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,74	0,73
	1,50	0,74	0,72
	2,00	0,77	0,73

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,85	0,81
	1,50	0,83	0,84
	2,00	0,85	0,84

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,00	0,97
	1,50	1,00	0,99
	2,00	1,01	0,98

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,12
	1,50	1,15	1,12
	2,00	1,15	1,13

Bijlage 5

Bodemopbouw - zand & klei Toplaag 0,5 m zand

Tank 10 m hoog GWS -2,0 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,17	1,15
	1,50	1,22	1,20

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,25	1,23
	1,50	1,29	1,28

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,33	1,32
	1,50	1,37	1,38

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,40
	1,50	1,44	1,45

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,16	1,11
	1,50	1,19	1,14

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,24	1,19
	1,50	1,27	1,22

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,33	1,29
	1,50	1,36	1,33

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,38
	1,50	1,43	1,41

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,16	1,11
	1,50	1,19	1,14

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,24	1,19
	1,50	1,27	1,22

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,33	1,29
	1,50	1,36	1,33

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,38
	1,50	1,43	1,41

Diameter 10 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,16	1,11
	1,50	1,19	1,14

Diameter 15 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,24	1,19
	1,50	1,27	1,22

Diameter 30 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,33	1,29
	1,50	1,36	1,33

Diameter 80 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,38
	1,50	1,43	1,41

Tank 20 m hoog GWS -2,0 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,99	0,98
	1,50	1,03	1,01
	2,00	1,08	1,05

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,07	1,07
	1,50	1,10	1,11
	2,00	1,16	1,14

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,16	1,18
	1,50	1,20	1,22
	2,00	1,26	1,25

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,23	1,26
	1,50	1,26	1,31
	2,00	1,33	1,34

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,85	0,82
	1,50	0,86	0,83
	2,00	0,88	0,84

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,95	0,92
	1,50	0,96	0,93
	2,00	0,97	0,94

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,08	1,06
	1,50	1,09	1,06
	2,00	1,10	1,07

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,19	1,18
	1,50	1,19	1,18
	2,00	1,21	1,19

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,81	0,79
	1,50	0,82	0,80
	2,00	0,83	0,80

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,91	0,88
	1,50	0,92	0,90
	2,00	0,92	0,89

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,06	1,03
	1,50	1,07	1,04
	2,00	1,07	1,05

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,19	1,17
	1,50	1,19	1,18
	2,00	1,21	1,18

Diameter 10 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,80	0,78
	1,50	0,80	0,79
	2,00	0,83	0,79

Diameter 15 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,90	0,87
	1,50	0,89	0,90
	2,00	0,91	0,89

Diameter 30 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,06	1,03
	1,50	1,05	1,04
	2,00	1,07	1,04

Diameter 80 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,19	1,17
	1,50	1,19	1,18
	2,00	1,21	1,18

Bijlage 6

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 1,0 m

Tankhoogte 10 en 20 m

DGeoStability

Bijlage 6

Bodemopbouw - zand & klei

Toplaag 1,0 m zand

Tank 10 m hoog

GWS -0,5 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,10
	1,50	1,17	1,13

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,22	1,18
	1,50	1,25	1,21

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,32	1,29
	1,50	1,34	1,32

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,37
	1,50	1,42	1,40

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,95	0,91
	1,50	0,97	0,93

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,05	1,00
	1,50	1,06	1,01

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,21
	1,50	1,27	1,23

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,35	1,31
	1,50	1,36	1,32

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,95	0,91
	1,50	0,97	0,93

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,05	1,00
	1,50	1,06	1,01

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,21
	1,50	1,27	1,23

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,35	1,31
	1,50	1,36	1,32

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,95	0,91
	1,50	0,97	0,93

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,05	1,00
	1,50	1,06	1,01

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,21
	1,50	1,27	1,23

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,35	1,31
	1,50	1,36	1,32

Tank 20 m hoog

GWS -0,5 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,96	0,91
	1,50	0,96	0,93
	2,00	1,00	0,96

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,04	1,01
	1,50	1,05	1,03
	2,00	1,09	1,05

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,16	1,14
	1,50	1,16	1,16
	2,00	1,20	1,17

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,24	1,24
	1,50	1,25	1,25
	2,00	1,28	1,27

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,79	0,76
	1,50	0,79	0,76
	2,00	0,80	0,77

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,89	0,85
	1,50	0,89	0,86
	2,00	0,90	0,87

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,02	1,00
	1,50	1,03	1,00
	2,00	1,04	1,01

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,13
	1,50	1,15	1,13
	2,00	1,16	1,14

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,74	0,82
	1,50	0,75	0,73
	2,00	0,76	0,74

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,84	0,82
	1,50	0,85	0,83
	2,00	0,86	0,83

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,00	0,97
	1,50	1,00	0,98
	2,00	1,01	0,98

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,12
	1,50	1,14	1,12
	2,00	1,15	1,13

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,73	0,71
	1,50	0,73	0,71
	2,00	0,73	0,72

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,84	0,80
	1,50	0,82	0,83
	2,00	0,84	0,83

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,99	0,96
	1,50	0,99	0,98
	2,00	1,01	0,97

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,12
	1,50	1,14	1,12
	2,00	1,15	1,13

Bijlage 6

Bodemopbouw - zand & klei
Toplaag 1,0 m zand

Tank 10 m hoog
GWS -1,0 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,18	1,13
	1,50	1,21	1,17
<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,22
	1,50	1,29	1,25
<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,36	1,33
	1,50	1,39	1,36
<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,43	1,40
	1,50	1,46	1,44

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,00	0,96
	1,50	1,01	0,97

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,09	1,05
	1,50	1,10	1,06

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,31	1,26
	1,50	1,33	1,27

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,40	1,35
	1,50	1,43	1,37

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,00	0,96
	1,50	1,01	0,97

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,09	1,05
	1,50	1,10	1,06

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,31	1,26
	1,50	1,33	1,27

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,40	1,35
	1,50	1,43	1,37

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,00	0,96
	1,50	1,01	0,97

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,09	1,05
	1,50	1,10	1,06

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,31	1,26
	1,50	1,33	1,27

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,40	1,35
	1,50	1,43	1,37

Tank 20 m hoog
GWS -1,0 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,97	0,93
	1,50	0,98	0,95
	2,00	1,01	0,97

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,06	1,03
	1,50	1,07	1,05
	2,00	1,10	1,07

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,17	1,15
	1,50	1,18	1,17
	2,00	1,22	1,19

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,25
	1,50	1,26	1,27
	2,00	1,30	1,29

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,81	0,78
	1,50	0,82	0,79
	2,00	0,82	0,79

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,91	0,88
	1,50	0,92	0,89
	2,00	0,92	0,89

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,05	1,02
	1,50	1,05	1,03
	2,00	1,06	1,03

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,17	1,15
	1,50	1,17	1,15
	2,00	1,18	1,16

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,77	0,75
	1,50	0,78	0,76
	2,00	0,79	0,76

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,87	0,84
	1,50	0,88	0,85
	2,00	0,88	0,85

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,02	0,99
	1,50	1,03	1,00
	2,00	1,03	1,01

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,16	1,14
	1,50	1,17	1,14
	2,00	1,17	1,15

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,75	0,74
	1,50	0,76	0,74
	2,00	0,79	0,74

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,86	0,82
	1,50	0,85	0,85
	2,00	0,86	0,85

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,01	0,98
	1,50	1,01	1,00
	2,00	1,03	0,99

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,16	1,14
	1,50	1,17	1,14
	2,00	1,17	1,15

Bijlage 6

Bodemopbouw - zand & klei Toplaag 1,0 m zand

Tank 10 m hoog GWS -2,0 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,16
	1,50	1,25	1,20

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,29	1,25
	1,50	1,33	1,28

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,36
	1,50	1,43	1,39

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,47	1,44
	1,50	1,50	1,47

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,20	1,15
	1,50	1,23	1,17

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,28	1,23
	1,50	1,31	1,25

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,34
	1,50	1,42	1,37

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,47	1,43
	1,50	1,49	1,46

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,20	1,15
	1,50	1,23	1,17

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,28	1,23
	1,50	1,31	1,25

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,34
	1,50	1,42	1,37

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,47	1,43
	1,50	1,49	1,46

Diameter 10 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,20	1,15
	1,50	1,23	1,17

Diameter 15 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,28	1,23
	1,50	1,31	1,25

Diameter 30 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,34
	1,50	1,42	1,37

Diameter 80 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,47	1,43
	1,50	1,49	1,46

Tank 20 m hoog GWS -2,0 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,99	0,94
	1,50	1,00	0,96
	2,00	1,03	0,99

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,08	1,04
	1,50	1,08	1,06
	2,00	1,12	1,08

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,19	1,17
	1,50	1,20	1,19
	2,00	1,23	1,21

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,27	1,26
	1,50	1,28	1,29
	2,00	1,31	1,30

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,86	0,83
	1,50	0,87	0,83
	2,00	0,88	0,84

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,95	0,93
	1,50	0,97	0,93
	2,00	0,97	0,94

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,09	1,07
	1,50	1,10	1,07
	2,00	1,11	1,08

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,20
	1,50	1,22	1,20
	2,00	1,23	1,21

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,83	0,80
	1,50	0,84	0,84
	2,00	0,84	0,81

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,93	0,90
	1,50	0,93	0,91
	2,00	0,94	0,91

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,08	1,05
	1,50	1,08	1,06
	2,00	1,09	1,06

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,20
	1,50	1,22	1,20
	2,00	1,23	1,21

Diameter 10 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,81	0,80
	1,50	0,84	0,80
	2,00	0,84	0,80

Diameter 15 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,91	0,88
	1,50	0,91	0,91
	2,00	0,92	0,90

Diameter 30 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,07	1,04
	1,50	1,07	1,06
	2,00	1,09	1,05

Diameter 80 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,20
	1,50	1,22	1,20
	2,00	1,23	1,21

Bijlage 7

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 2,0 m

Tankhoogte 10 en 20 m

DGeoStability

Bijlage 7

Bodemopbouw - zand & klei Toplaag 2,0 m zand

Tank 10 m hoog

GWS -0,5 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,17	1,13
	1,50	1,19	1,14

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,22
	1,50	1,28	1,23

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,34
	1,50	1,39	1,34

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,49	1,44
	1,50	1,49	1,45

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,09
	1,50	1,15	1,10

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,24	1,18
	1,50	1,24	1,19

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,36	1,31
	1,50	1,38	1,32

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,46	1,42
	1,50	1,48	1,43

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,09
	1,50	1,15	1,10

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,24	1,18
	1,50	1,24	1,19

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,36	1,31
	1,50	1,38	1,32

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,46	1,42
	1,50	1,48	1,43

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,09
	1,50	1,15	1,10

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,24	1,18
	1,50	1,24	1,19

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,36	1,31
	1,50	1,38	1,32

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,46	1,42
	1,50	1,48	1,43

Tank 20 m hoog

GWS -0,5 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,90	0,88
	1,50	0,91	0,88
	2,00	0,92	0,90

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,00	0,98
	1,50	1,01	0,98
	2,00	1,02	1,00

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,14	1,12
	1,50	1,14	1,12
	2,00	1,16	1,14

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,24
	1,50	1,25	1,24
	2,00	1,26	1,26

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,80	0,77
	1,50	0,80	0,78
	2,00	0,81	0,79

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,90	0,87
	1,50	0,91	0,88
	2,00	0,91	0,89

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,06	1,03
	1,50	1,06	1,03
	2,00	1,06	1,04

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,20	1,17
	1,50	1,20	1,18
	2,00	1,20	1,19

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,77	0,75
	1,50	0,78	0,76
	2,00	0,78	0,76

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,88	0,85
	1,50	0,88	0,86
	2,00	0,88	0,86

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,04	1,01
	1,50	1,04	1,03
	2,00	1,04	1,02

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,19	1,17
	1,50	1,19	1,18
	2,00	1,20	1,18

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,77	0,75
	1,50	0,77	0,75
	2,00	0,77	0,76

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,87	0,83
	1,50	0,86	0,86
	2,00	0,88	0,86

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,03	1,00
	1,50	1,03	1,03
	2,00	1,04	1,01

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,19	1,17
	1,50	1,19	1,18
	2,00	1,20	1,18

Bijlage 7

Bodemopbouw - zand & klei
Toplaag 2,0 m zand

Tank 10 m hoog
GWS -1,0 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,23	1,18
	1,50	1,25	1,19

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,32	1,27
	1,50	1,34	1,28

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,44	1,39
	1,50	1,45	1,40

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,54	1,48
	1,50	1,55	1,50

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,20	1,15
	1,50	1,21	1,16

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,30	1,24
	1,50	1,30	1,25

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,42	1,36
	1,50	1,44	1,37

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,52	1,47
	1,50	1,54	1,48

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,20	1,15
	1,50	1,21	1,16

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,30	1,24
	1,50	1,30	1,25

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,42	1,36
	1,50	1,44	1,37

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,52	1,47
	1,50	1,54	1,48

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,20	1,15
	1,50	1,21	1,16

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,30	1,24
	1,50	1,30	1,25

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,42	1,36
	1,50	1,44	1,37

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,52	1,47
	1,50	1,54	1,48

Tank 20 m hoog
GWS -1,0 m

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,93	0,90
	1,50	0,94	0,90
	2,00	0,94	0,92

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,03	1,00
	1,50	1,04	1,00
	2,00	1,05	1,03

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,17	1,14
	1,50	1,17	1,15
	2,00	1,18	1,17

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,28	1,26
	1,50	1,28	1,26
	2,00	1,29	1,28

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,83	0,80
	1,50	0,83	0,80
	2,00	0,83	0,82

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,93	0,90
	1,50	0,93	0,91
	2,00	0,94	0,91

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,08	1,05
	1,50	1,09	1,06
	2,00	1,09	1,07

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,22	1,20
	1,50	1,23	1,20
	2,00	1,23	1,21

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,80	0,78
	1,50	0,80	0,78
	2,00	0,81	0,79

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,91	0,88
	1,50	0,90	0,88
	2,00	0,91	0,89

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,06	1,03
	1,50	1,06	1,06
	2,00	1,06	1,05

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,22	1,19
	1,50	1,22	1,20
	2,00	1,23	1,20

<i>Diameter 10 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,80	0,77
	1,50	0,80	0,78
	2,00	0,80	0,78

<i>Diameter 15 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,90	0,86
	1,50	0,88	0,88
	2,00	0,91	0,89

<i>Diameter 30 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,06	1,03
	1,50	1,05	1,06
	2,00	1,06	1,03

<i>Diameter 80 m</i> kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,22	1,19
	1,50	1,22	1,20
	2,00	1,23	1,20

Bijlage 7

Bodemopbouw - zand & klei Toplaag 2,0 m zand

Tank 10 m hoog GWS -2,0 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,31	1,25
	1,50	1,33	1,26

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,41	1,34
	1,50	1,42	1,35

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,53	1,46
	1,50	1,54	1,47

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,63	1,56
	1,50	1,63	1,57

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,30	1,23
	1,50	1,31	1,25

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,32
	1,50	1,40	1,34

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,51	1,44
	1,50	1,53	1,46

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,61	1,56
	1,50	1,63	1,57

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,30	1,23
	1,50	1,31	1,25

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,32
	1,50	1,40	1,34

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,51	1,44
	1,50	1,53	1,46

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,61	1,56
	1,50	1,63	1,57

Diameter 10 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,30	1,23
	1,50	1,31	1,25

Diameter 15 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,39	1,32
	1,50	1,40	1,34

Diameter 30 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,51	1,44
	1,50	1,53	1,46

Diameter 80 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,61	1,56
	1,50	1,63	1,57

Tank 20 m hoog GWS -2,0 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,96	0,93
	1,50	0,97	0,94
	2,00	0,98	0,96

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,07	1,03
	1,50	1,07	1,04
	2,00	1,08	1,06

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,21	1,18
	1,50	1,21	1,18
	2,00	1,22	1,20

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,31	1,29
	1,50	1,31	1,30
	2,00	1,32	1,32

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,87	0,84
	1,50	0,88	0,85
	2,00	0,88	0,86

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,98	0,94
	1,50	0,98	0,95
	2,00	0,98	0,95

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,13	1,09
	1,50	1,13	1,10
	2,00	1,13	1,11

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,24
	1,50	1,27	1,24
	2,00	1,27	1,25

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,85	0,82
	1,50	0,85	0,83
	2,00	0,85	0,83

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,95	0,92
	1,50	0,95	0,93
	2,00	0,95	0,93

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,11	1,08
	1,50	1,11	1,10
	2,00	1,11	1,09

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,24
	1,50	1,27	1,24
	2,00	1,27	1,25

Diameter 10 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,84	0,82
	1,50	0,84	0,83
	2,00	0,85	0,83

Diameter 15 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	0,94	0,91
	1,50	0,93	0,93
	2,00	0,95	0,93

Diameter 30 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,11	1,07
	1,50	1,10	1,10
	2,00	1,11	1,08

Diameter 80 m kleilaag 10m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,26	1,24
	1,50	1,27	1,24
	2,00	1,27	1,25

Bijlage 8

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 0,5 m

Tankhoogte 30 en 35 m

DGeoStability

Bijlage 8

Bodemopbouw - zand & klei Toplaag 0,5 m zand

Tank 30 m hoog GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,92	0,89
	1,50	0,93	0,92	0,89
	2,00	0,94	0,92	0,90
	2,50	0,94	0,93	0,90
	3,00	0,94	0,93	0,91

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,02	1,02
	1,50	1,07	1,05	1,02
	2,00	1,08	1,06	1,03
	2,50	1,07	1,06	1,03
	3,00	1,08	1,06	1,04

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,12	1,14
	1,50	1,16	1,15	1,17
	2,00	1,19	1,21	1,20
	2,50	1,25	1,26	1,23
	3,00	1,27	1,27	1,24

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,19	1,22
	1,50	1,22	1,22	1,26
	2,00	1,26	1,28	1,28
	2,50	1,33	1,33	1,34
	3,00	1,36	1,37	1,35

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,73	0,70
	1,50	0,75	0,73	0,71
	2,00	0,74	0,74	0,71
	2,50	0,76	0,75	0,72
	3,00	0,76	0,74	0,73

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,83	0,80
	1,50	0,84	0,83	0,81
	2,00	0,84	0,84	0,81
	2,50	0,85	0,85	0,82
	3,00	0,85	0,84	0,83

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,96	0,94
	1,50	0,98	0,96	0,95
	2,00	0,97	0,97	0,95
	2,50	0,98	0,98	0,96
	3,00	0,99	0,97	0,97

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,07	1,07
	1,50	1,09	1,07	1,08
	2,00	1,08	1,08	1,07
	2,50	1,09	1,09	1,08
	3,00	1,10	1,08	1,09

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,65	0,64
	1,50	0,67	0,65	0,64
	2,00	0,66	0,66	0,64
	2,50	0,66	0,66	0,65
	3,00	0,67	0,66	0,66

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,75	0,74
	1,50	0,77	0,75	0,74
	2,00	0,77	0,76	0,74
	2,50	0,77	0,76	0,74
	3,00	0,77	0,76	0,76

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,91	0,89
	1,50	0,93	0,91	0,90
	2,00	0,92	0,92	0,90
	2,50	0,92	0,92	0,90
	3,00	0,93	0,92	0,91

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,05	1,04
	1,50	1,06	1,05	1,08
	2,00	1,07	1,06	1,05
	2,50	1,06	1,06	1,06
	3,00	1,07	1,06	1,06

Tank 35 m hoog GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,88	0,86
	1,50	0,89	0,89	0,86
	2,00	0,89	0,89	0,86
	2,50	0,89	0,88	0,86
	3,00	0,90	0,88	0,88

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,01	0,99
	1,50	1,04	1,01	0,99
	2,00	1,04	1,02	1,00
	2,50	1,04	1,02	0,99
	3,00	1,04	1,02	1,01

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,11	1,13
	1,50	1,15	1,14	1,16
	2,00	1,18	1,19	1,19
	2,50	1,23	1,23	1,20
	3,00	1,25	1,24	1,21

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,18	1,22
	1,50	1,21	1,21	1,25
	2,00	1,25	1,27	1,27
	2,50	1,32	1,32	1,33
	3,00	1,35	1,35	1,35

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,71	0,69
	1,50	0,73	0,71	0,69
	2,00	0,73	0,72	0,69
	2,50	0,74	0,73	0,70
	3,00	0,74	0,72	0,71

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,81	0,79
	1,50	0,83	0,81	0,80
	2,00	0,82	0,82	0,79
	2,50	0,84	0,83	0,80
	3,00	0,84	0,82	0,82

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,95	0,93
	1,50	0,96	0,95	0,94
	2,00	0,95	0,96	0,93
	2,50	0,97	0,97	0,94
	3,00	0,97	0,96	0,96

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,06	1,05
	1,50	1,07	1,06	1,07
	2,00	1,06	1,07	1,05
	2,50	1,08	1,08	1,06
	3,00	1,08	1,07	1,08

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,63	0,62
	1,50	0,64	0,63	0,61
	2,00	0,64	0,63	0,62
	2,50	0,64	0,63	0,62
	3,00	0,65	0,64	0,64

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,73	0,72
	1,50	0,75	0,73	0,72
	2,00	0,74	0,74	0,72
	2,50	0,74	0,74	0,72
	3,00	0,75	0,74	0,74

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,89	0,87
	1,50	0,91	0,89	0,88
	2,00	0,90	0,90	0,88
	2,50	0,90	0,90	0,88
	3,00	0,91	0,89	0,89

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,03	1,03
	1,50	1,04	1,03	1,03
	2,00	1,05	1,04	1,03
	2,50	1,04	1,04	1,04
	3,00	1,05	1,04	1,04

Bijlage 9

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 1,0 m

Tankhoogte 30 en 35 m

DGeoStability

Bijlage 9

Bodemopbouw - zand & klei Toplaag 1,0 m zand

Tank 30 m hoog GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,91	0,87
	1,50	0,93	0,92	0,88
	2,00	0,94	0,93	0,90
	2,50	0,94	0,93	0,91
	3,00	0,94	0,93	0,91

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,01	0,97
	1,50	1,01	1,01	0,98
	2,00	1,03	1,03	1,00
	2,50	1,05	1,06	1,03
	3,00	1,07	1,06	1,04

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,12	1,10
	1,50	1,12	1,12	1,12
	2,00	1,14	1,15	1,13
	2,50	1,16	1,18	1,15
	3,00	1,20	1,19	1,18

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,21	1,20
	1,50	1,19	1,21	1,22
	2,00	1,22	1,24	1,23
	2,50	1,24	1,26	1,25
	3,00	1,26	1,27	1,30

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,72	0,69
	1,50	0,73	0,72	0,70
	2,00	0,74	0,73	0,70
	2,50	0,74	0,74	0,71
	3,00	0,75	0,74	0,72

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,82	0,80
	1,50	0,84	0,83	0,80
	2,00	0,84	0,83	0,81
	2,50	0,84	0,84	0,81
	3,00	0,85	0,84	0,82

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,97	0,95
	1,50	0,98	0,97	0,95
	2,00	0,98	0,98	0,96
	2,50	0,98	0,99	0,96
	3,00	0,99	0,99	0,97

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,09	1,08
	1,50	1,10	1,10	1,08
	2,00	1,10	1,10	1,08
	2,50	1,10	1,11	1,09
	3,00	1,10	1,11	1,09

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,67	0,65
	1,50	0,68	0,68	0,65
	2,00	0,68	0,68	0,66
	2,50	0,68	0,68	0,66
	3,00	0,69	0,68	0,67

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,77	0,75
	1,50	0,79	0,78	0,76
	2,00	0,78	0,78	0,75
	2,50	0,78	0,78	0,76
	3,00	0,78	0,78	0,77

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,93	0,91
	1,50	0,94	0,93	0,92
	2,00	0,94	0,94	0,91
	2,50	0,94	0,94	0,91
	3,00	0,94	0,94	0,93

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,08	1,06
	1,50	1,08	1,08	1,06
	2,00	1,08	1,08	1,07
	2,50	1,08	1,08	1,06
	3,00	1,08	1,08	1,08

Tank 35 m hoog GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,88	0,86
	1,50	0,89	0,88	0,86
	2,00	0,89	0,89	0,86
	2,50	0,90	0,89	0,86
	3,00	0,90	0,89	0,88

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,99	0,96
	1,50	1,00	0,99	0,97
	2,00	1,02	1,02	0,99
	2,50	1,04	1,03	1,00
	3,00	1,04	1,03	1,01

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,11	1,09
	1,50	1,10	1,11	1,10
	2,00	1,12	1,13	1,12
	2,50	1,15	1,16	1,14
	3,00	1,19	1,18	1,16

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,20	1,19
	1,50	1,18	1,20	1,21
	2,00	1,20	1,22	1,22
	2,50	1,23	1,25	1,24
	3,00	1,25	1,25	1,29

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,70	0,68
	1,50	0,72	0,70	0,68
	2,00	0,72	0,71	0,69
	2,50	0,72	0,72	0,69
	3,00	0,73	0,72	0,70

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,81	0,78
	1,50	0,82	0,81	0,79
	2,00	0,82	0,81	0,79
	2,50	0,82	0,82	0,79
	3,00	0,83	0,83	0,80

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,95	0,93
	1,50	0,96	0,95	0,93
	2,00	0,96	0,94	0,94
	2,50	0,96	0,97	0,94
	3,00	0,96	0,97	0,95

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,07	1,06
	1,50	1,08	1,08	1,06
	2,00	1,08	1,09	1,07
	2,50	1,08	1,09	1,08
	3,00	1,08	1,09	1,08

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,64	0,62
	1,50	0,66	0,65	0,63
	2,00	0,66	0,65	0,63
	2,50	0,66	0,65	0,64
	3,00	0,66	0,65	0,65

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,75	0,72
	1,50	0,76	0,75	0,74
	2,00	0,76	0,76	0,73
	2,50	0,76	0,76	0,74
	3,00	0,76	0,76	0,75

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,91	0,89
	1,50	0,92	0,91	0,90
	2,00	0,91	0,96	0,89
	2,50	0,92	0,92	0,89
	3,00	0,92	0,91	0,91

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,06	1,04
	1,50	1,06	1,06	1,04
	2,00	1,06	1,06	1,05
	2,50	1,06	1,06	1,04
	3,00	1,06	1,06	1,06

Bijlage 10

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 2,0 m

Tankhoogte 30 en 35 m

DGeoStability

Bijlage 10

Bodemopbouw - zand & klei

Toplaag 2,0 m zand

Tank 30 m hoog

GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,84	0,82
	1,50	0,86	0,84	0,82
	2,00	0,87	0,85	0,84
	2,50	0,88	0,87	0,84
	3,00	0,88	0,87	0,85

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,95	0,92
	1,50	0,96	0,95	0,92
	2,00	0,97	0,96	0,94
	2,50	0,98	0,97	0,95
	3,00	0,98	0,98	0,96

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,09	1,07
	1,50	1,09	1,09	1,07
	2,00	1,10	1,10	1,09
	2,50	1,12	1,11	1,09
	3,00	1,12	1,12	1,11

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,20	1,19
	1,50	1,20	1,20	1,19
	2,00	1,21	1,20	1,21
	2,50	1,22	1,21	1,22
	3,00	1,22	1,22	1,23

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,71	0,69
	1,50	0,73	0,72	0,70
	2,00	0,74	0,72	0,71
	2,50	0,74	0,72	0,72
	3,00	0,75	0,73	0,72

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,82	0,80
	1,50	0,84	0,82	0,80
	2,00	0,84	0,83	0,81
	2,50	0,85	0,83	0,81
	3,00	0,85	0,83	0,82

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,98	0,96
	1,50	1,00	0,98	0,96
	2,00	0,99	0,98	0,97
	2,50	1,00	0,98	0,97
	3,00	1,01	0,99	0,98

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,13	1,11
	1,50	1,14	1,13	1,11
	2,00	1,13	1,13	1,12
	2,50	1,14	1,13	1,12
	3,00	1,15	1,14	1,13

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,68	0,66
	1,50	0,69	0,68	0,66
	2,00	0,69	0,68	0,67
	2,50	0,69	0,68	0,67
	3,00	0,69	0,68	0,67

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,78	0,76
	1,50	0,80	0,78	0,77
	2,00	0,80	0,78	0,77
	2,50	0,80	0,80	0,77
	3,00	0,80	0,79	0,78

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,95	0,93
	1,50	0,96	0,95	0,93
	2,00	0,96	0,95	0,94
	2,50	0,96	0,95	0,93
	3,00	0,96	0,95	0,94

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,11	1,09
	1,50	1,12	1,11	1,10
	2,00	1,12	1,13	1,10
	2,50	1,12	1,13	1,10
	3,00	1,12	1,11	1,11

Tank 35 m hoog

GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,82	0,80
	1,50	0,84	0,82	0,80
	2,00	0,85	0,83	0,81
	2,50	0,86	0,84	0,82
	3,00	0,86	0,85	0,82

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,93	0,91
	1,50	0,94	0,93	0,91
	2,00	0,95	0,94	0,92
	2,50	0,96	0,95	0,93
	3,00	0,96	0,96	0,94

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,07	1,05
	1,50	1,07	1,07	1,05
	2,00	1,08	1,08	1,07
	2,50	1,10	1,09	1,07
	3,00	1,10	1,10	1,09

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,19	1,18
	1,50	1,18	1,18	1,18
	2,00	1,19	1,19	1,19
	2,50	1,21	1,21	1,20
	3,00	1,20	1,21	1,21

Diameter 10 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,69	0,67
	1,50	0,71	0,69	0,67
	2,00	0,71	0,69	0,68
	2,50	0,72	0,69	0,69
	3,00	0,72	0,70	0,69

Diameter 15 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,80	0,78
	1,50	0,82	0,80	0,78
	2,00	0,81	0,80	0,79
	2,50	0,82	0,80	0,79
	3,00	0,83	0,81	0,80

Diameter 30 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,96	0,94
	1,50	0,97	0,96	0,94
	2,00	0,97	0,96	0,95
	2,50	0,98	0,96	0,95
	3,00	0,99	0,97	0,96

Diameter 80 m kleilaag 3m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,11	1,09
	1,50	1,11	1,10	1,09
	2,00	1,11	1,10	1,10
	2,50	1,12	1,10	1,10
	3,00	1,13	1,11	1,11

Diameter 10 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,65	0,63
	1,50	0,66	0,65	0,64
	2,00	0,66	0,65	0,64
	2,50	0,66	0,65	0,64
	3,00	0,66	0,65	0,64

Diameter 15 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,76	0,73
	1,50	0,77	0,75	0,74
	2,00	0,77	0,76	0,74
	2,50	0,77	0,77	0,74
	3,00	0,77	0,76	0,75

Diameter 30 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	0,92	0,90
	1,50	0,93	0,92	0,91
	2,00	0,94	0,92	0,91
	2,50	0,93	0,93	0,90
	3,00	0,93	0,92	0,91

Diameter 80 m kleilaag 5m	S \ T	0,75	1,00	1,50
	1,00	-	1,08	1,07
	1,50	1,09	1,08	1,07
	2,00	1,09	1,10	1,08
	2,50	1,09	1,09	1,07
	3,00	1,09	1,08	1,08

Bijlage 11

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 0,5 m

Tankhoogte 10 m

Plaxis 2D

Bijlage 11

Bodemopbouw - zand & klei

Toplaag 0,5 m zand

Tank 10 m hoog

GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,02	-
	1,50	1,07	1,,06

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	-	-
	1,50	1,07	1,06

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	-	-
	1,50	-	-

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	-	-
	1,50	1,06	-

Bijlage 12

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 1,0 m

Tankhoogte 10 m

Plaxis 2D

Bijlage 12

Bodemopbouw - zand & klei

Toplaag 1,0 m zand

Tank 10 m hoog

GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,04	1,04
	1,50	1,12	1,11

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,04	1,04
	1,50	1,14	1,11

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	-	-
	1,50	-	-

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	-	-
	1,50	1,08	1,07

Bijlage 13

Resultaten berekeningen terpstabiliteit

Ondergrond met zand en klei

Dikte bovenste zandlaag 1,0 m

Tankhoogte 10 m

Plaxis 2D

Bijlage 13

Bodemopbouw - zand & klei

Toplaag 2,0 m zand

Tank 10 m hoog

GWS -0,5 m

Diameter 10 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,12	1,12
	1,50	1,18	1,15

Diameter 15 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,10	1,11
	1,50	1,19	1,17

Diameter 30 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,08	-
	1,50	1,14	1,14

Diameter 80 m kleilaag 1m	S \ T	1,00	1,50
	1,00	1,05	-
	1,50	1,14	1,12

Bijlage 14

Glijcirkels tankhoogte 10 m

DGeoStability & Plaxis 2D

Tankhoogte 10 meter

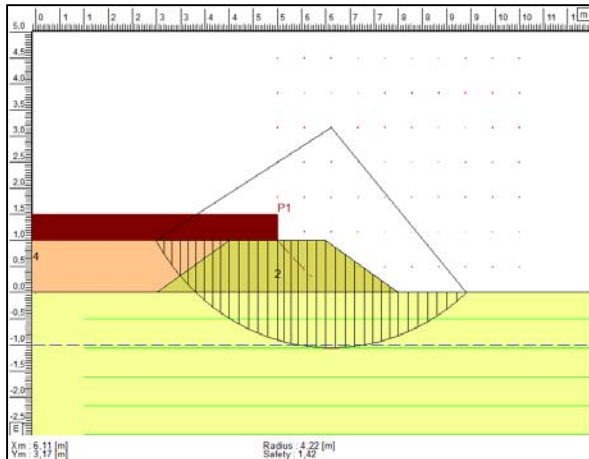
DGeoStability

Ondergrond volledig van zand

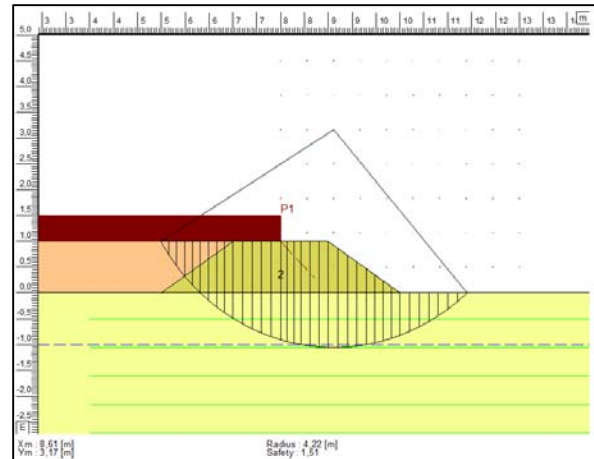
Grondwaterstand MV -1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,0 m

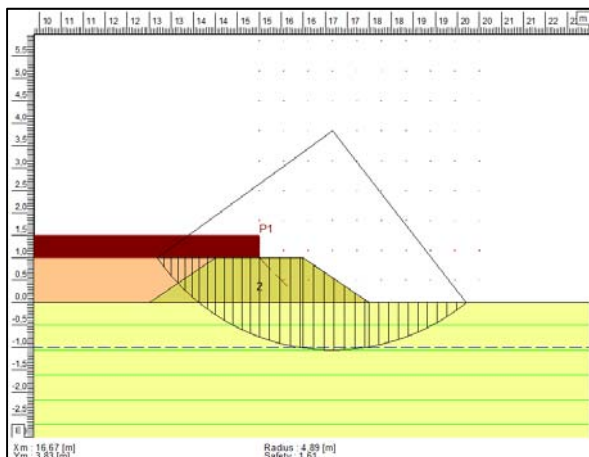
Terphoogte 1,0 m



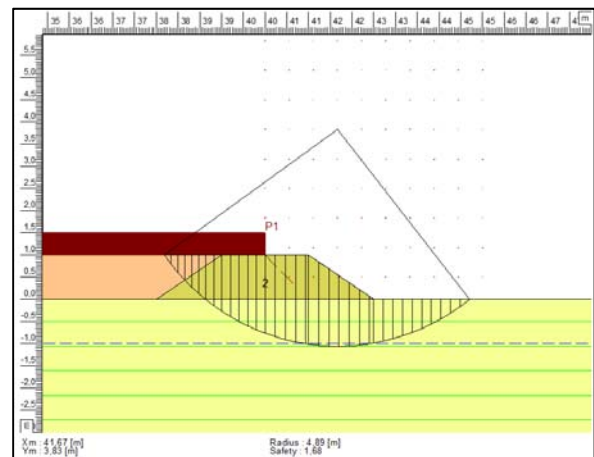
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 4. Zand terp 18/20
- 3. Gebroken steenslag 18/20
- 2. Gebroken steenslag 18/20
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 10 meter

DGeoStability

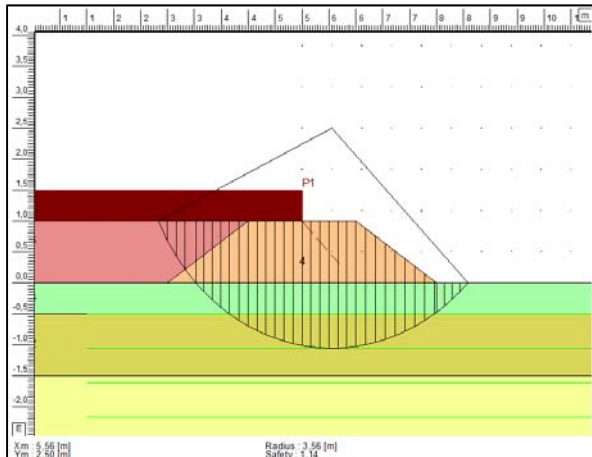
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

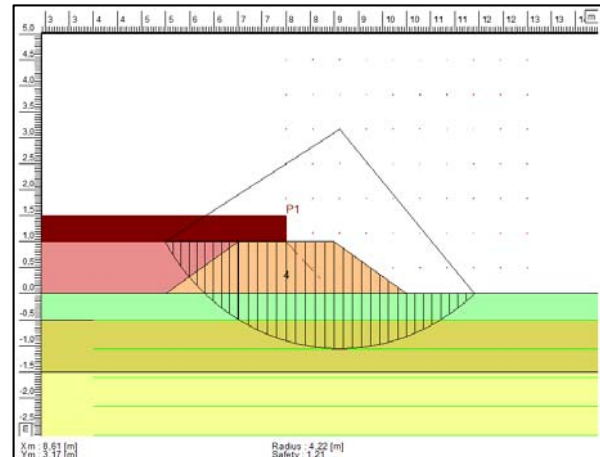
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,0 m
Terphoogte 1,0 m

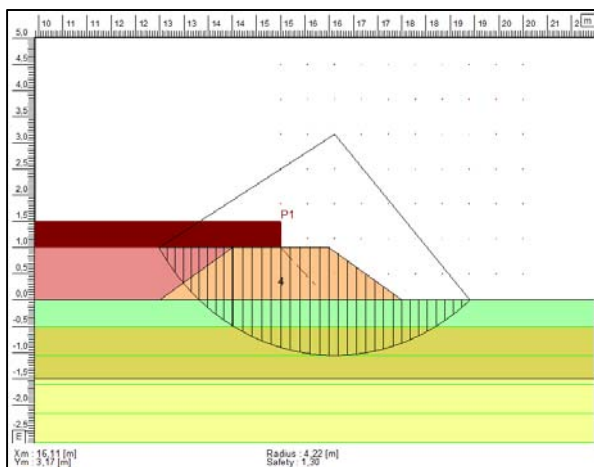
Dikte zandlaag 0,5 m



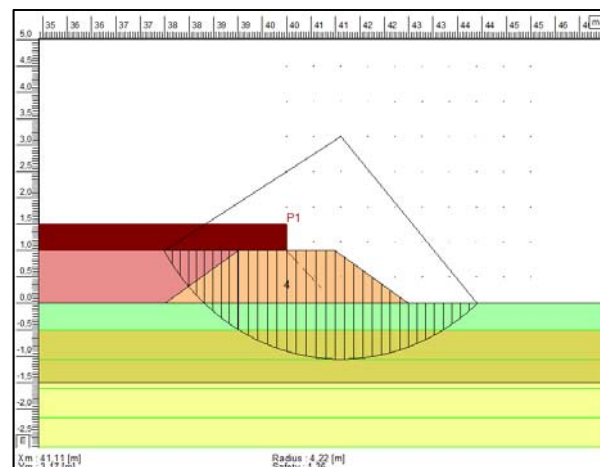
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 10 meter

DGeoStability

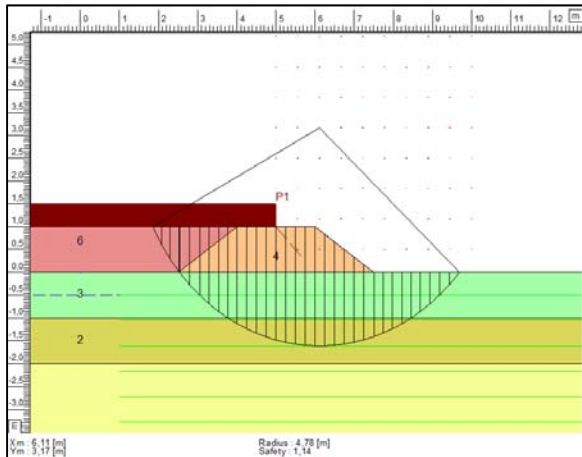
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

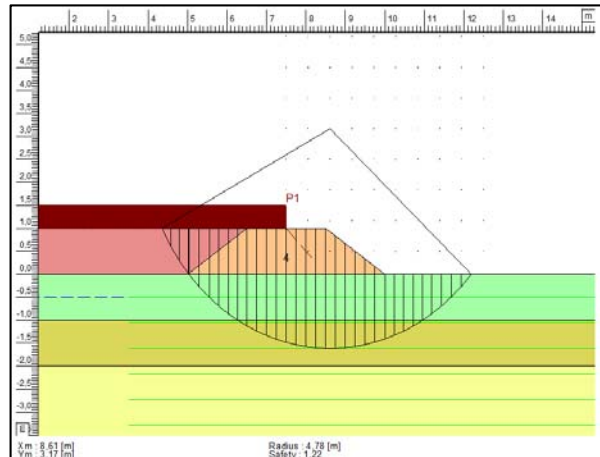
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,0 m
Terphoogte 1,0 m

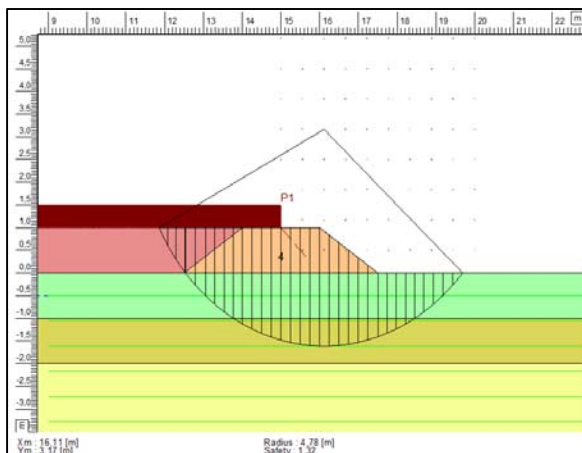
Dikte zandlaag 1,0 m



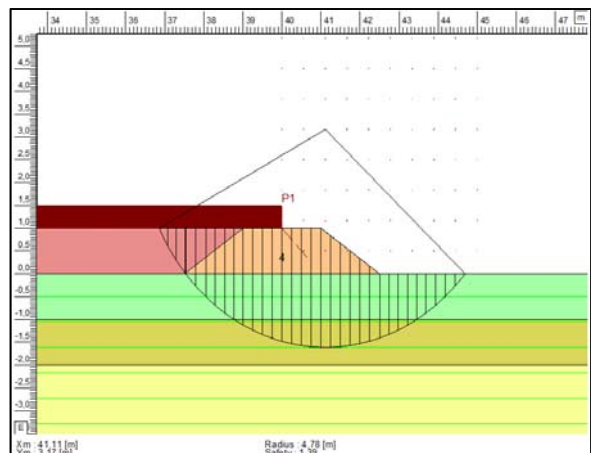
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 10 meter

DGeoStability

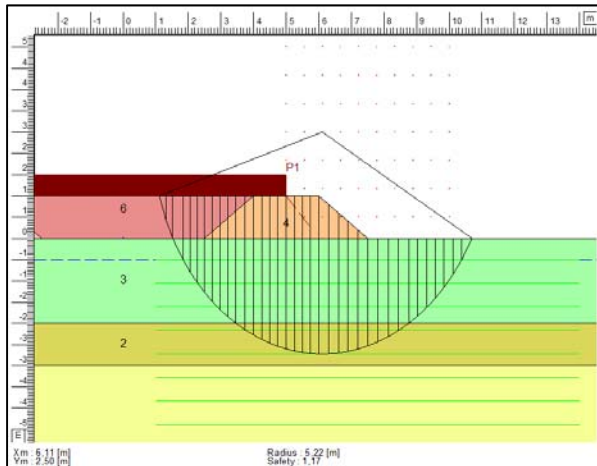
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

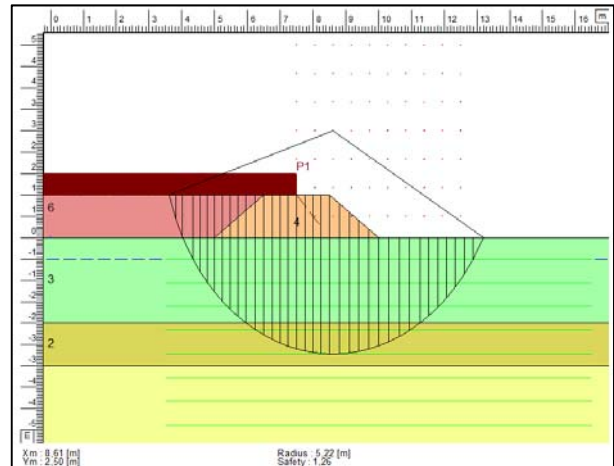
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,0 m
Terphoogte 1,0 m

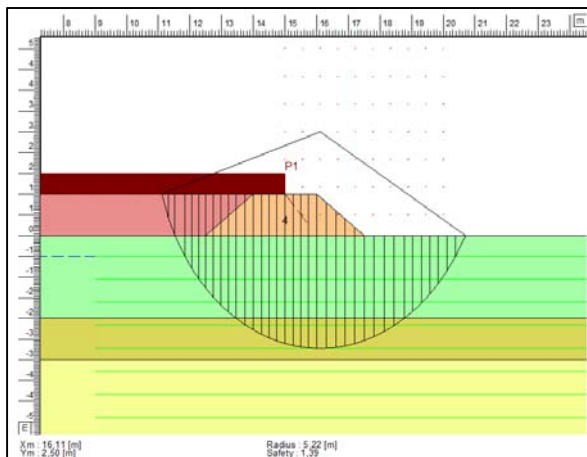
Dikte zandlaag 2,0 m



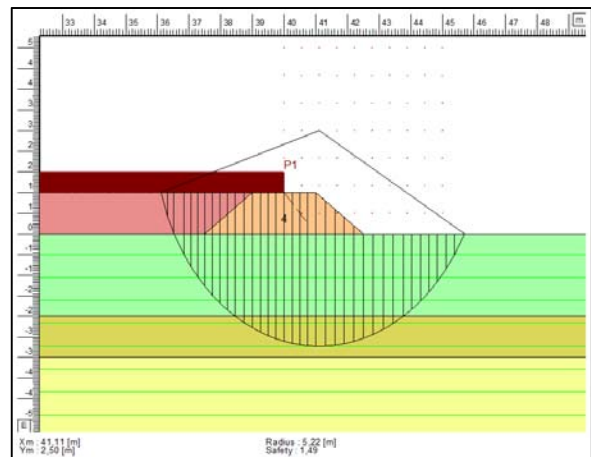
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand en terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 10 meter

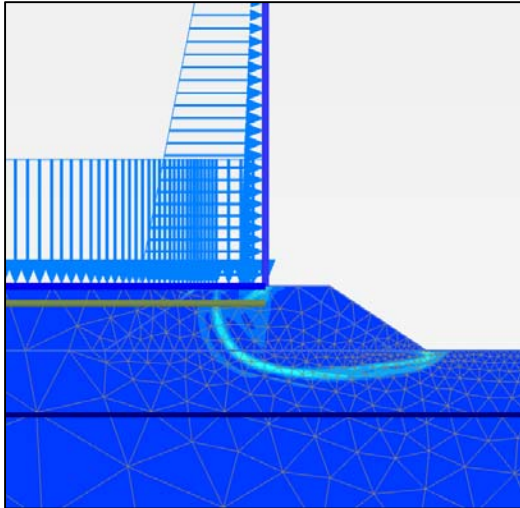
Plaxis 2D

Ondergrond volledig van zand

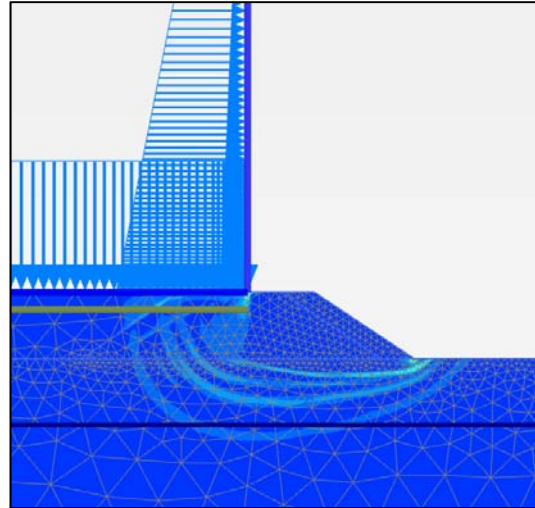
Grondwaterstand MV -1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,0 m

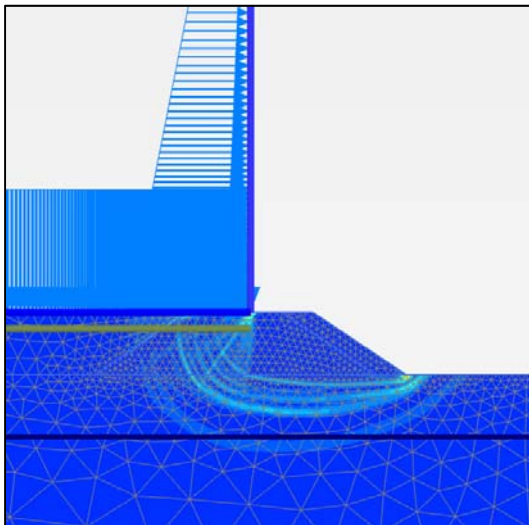
Terphoogte 1,0 m



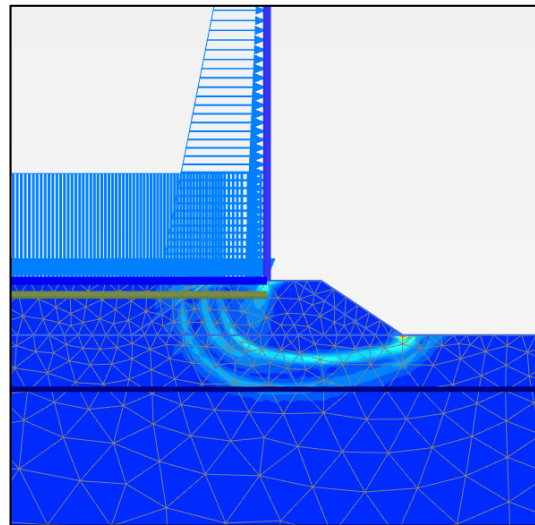
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Tankhoogte 10 meter

Plaxis 2D

Ondergrond zand en klei

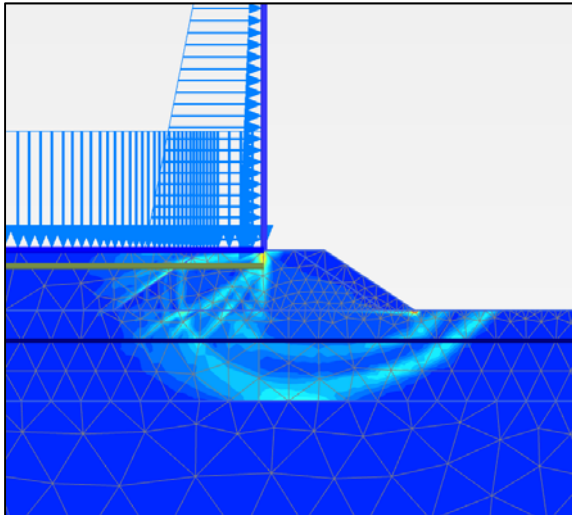
Grondwaterstand MV -0,5 m

Dikte kleilaag 1,0 m

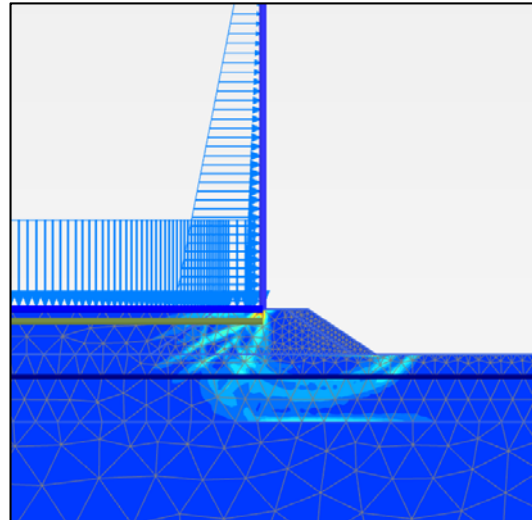
Afmetingen: Schouder 1,0 m

Terphoogte 1,0 m

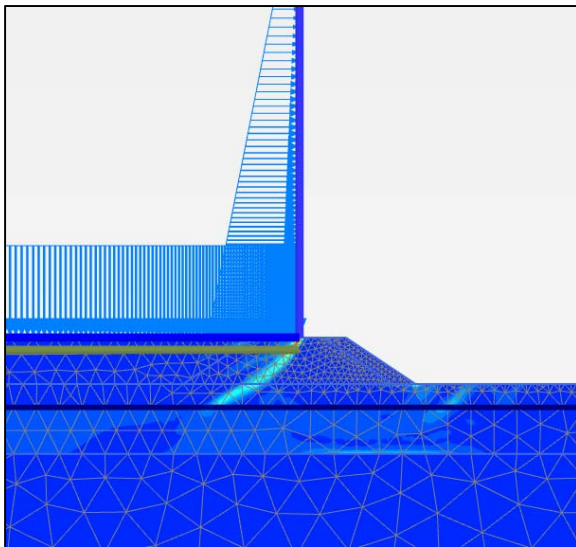
Dikte zandlaag 0,5 m



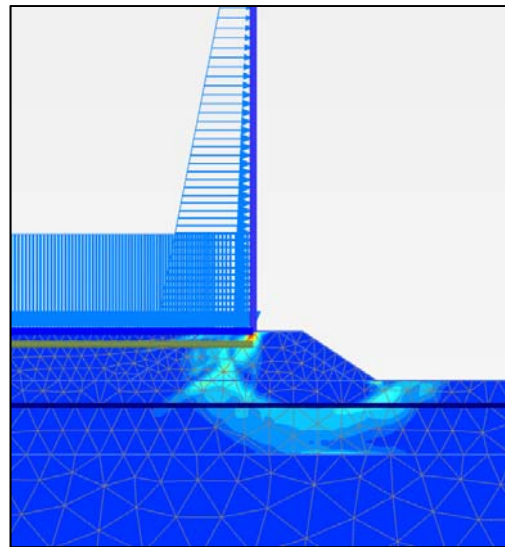
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Tankhoogte 10 meter

Plaxis 2D

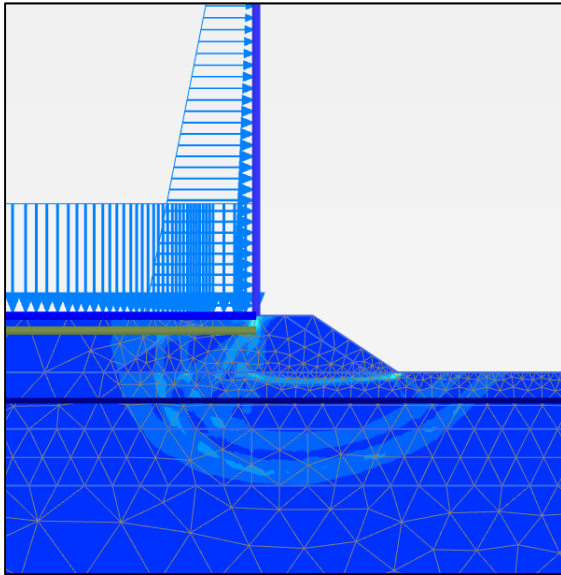
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

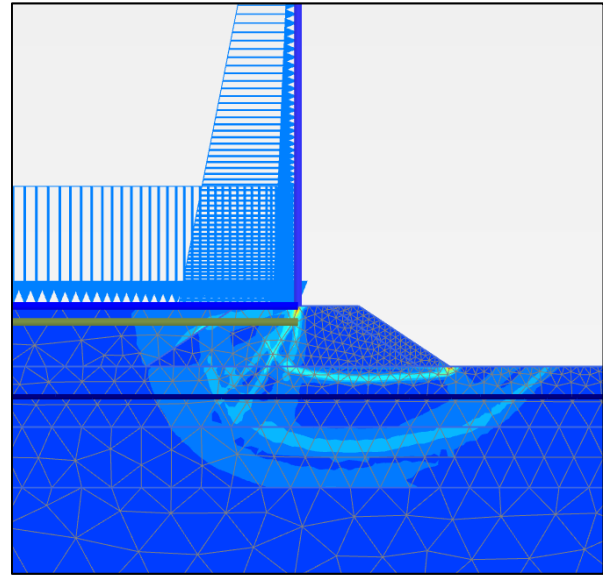
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,0 m
Terphoogte 1,0 m

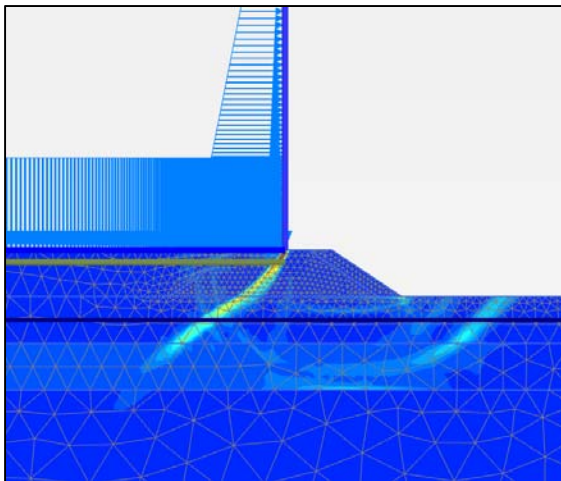
Dikte zandlaag 1,0 m



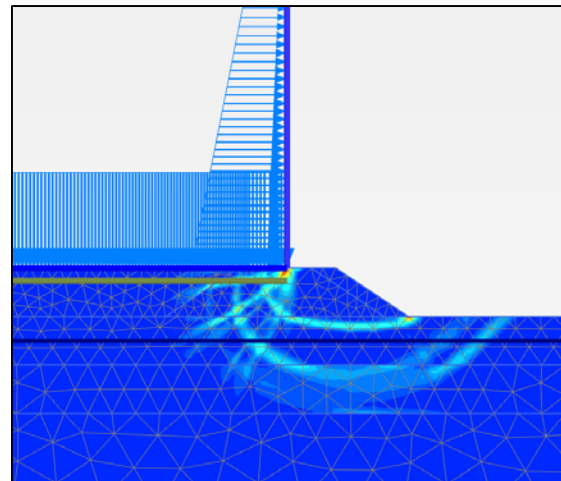
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Tankhoogte 10 meter

Plaxis 2D

Ondergrond zand en klei

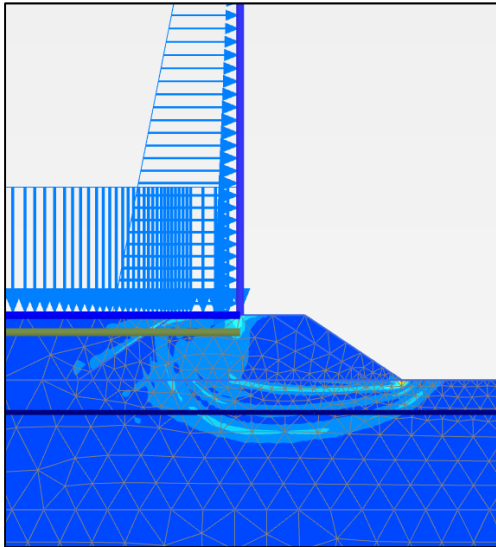
Grondwaterstand MV -0,5 m

Dikte kleilaag 1,0 m

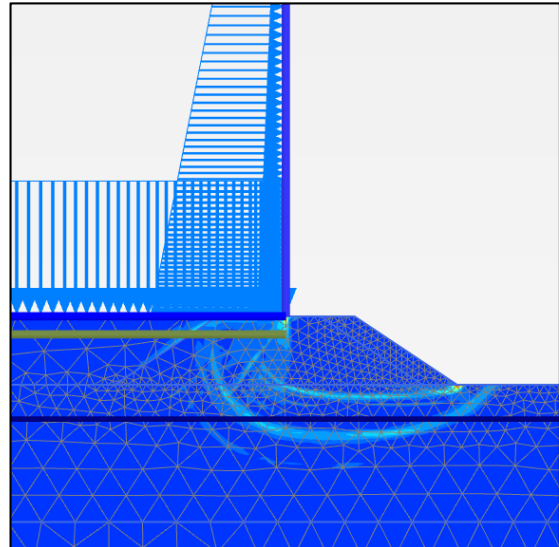
Afmetingen: Schouder 1,0 m

Terphoogte 1,0 m

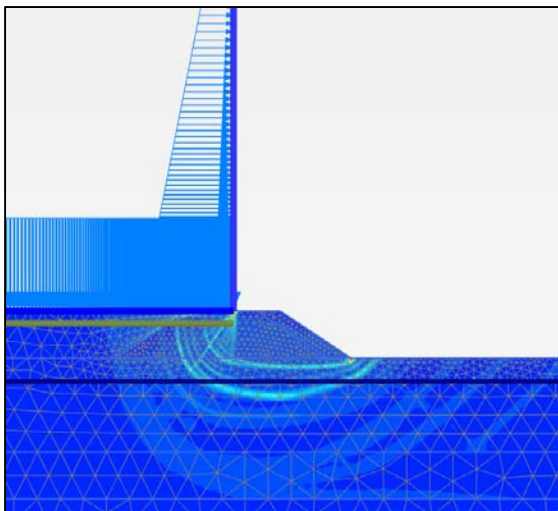
Dikte zandlaag 2,0 m



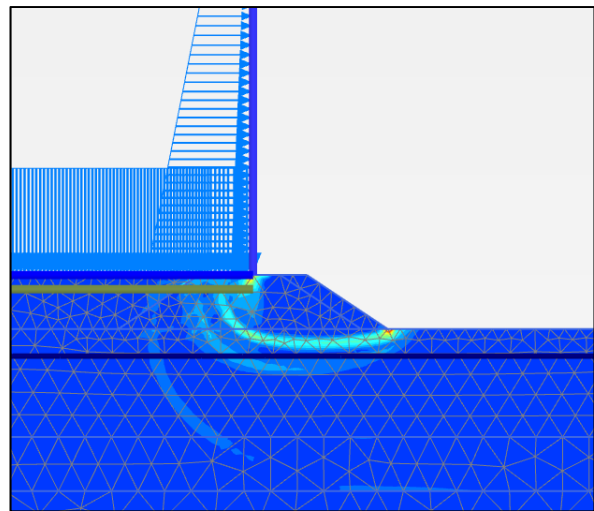
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Bijlage 15

Glijcirkels tankhoogte 20 m

DGeoStability

Tankhoogte 20 meter

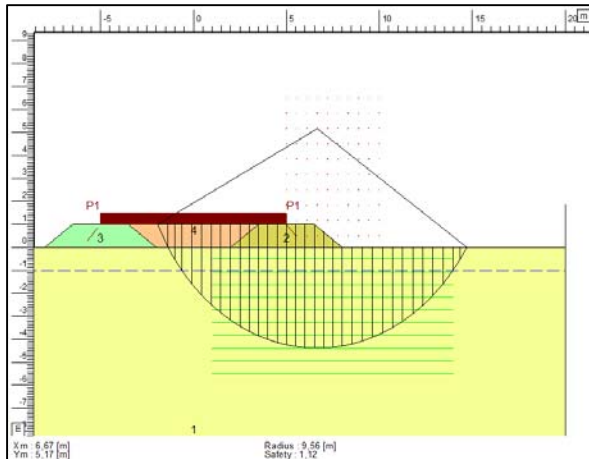
DGeoStability

Ondergrond volledig van zand

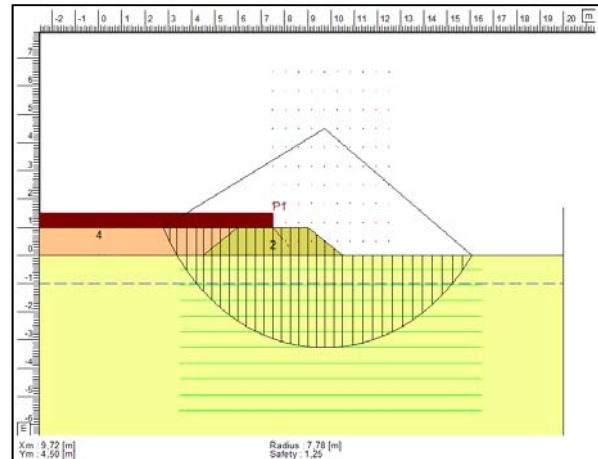
Grondwaterstand MV -1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,5 m

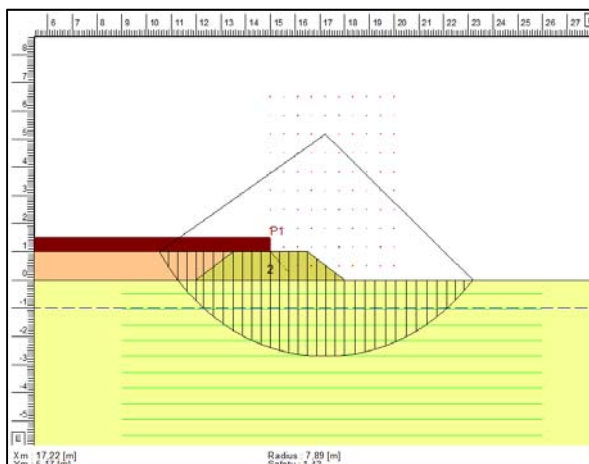
Terphoogte 1,0 m



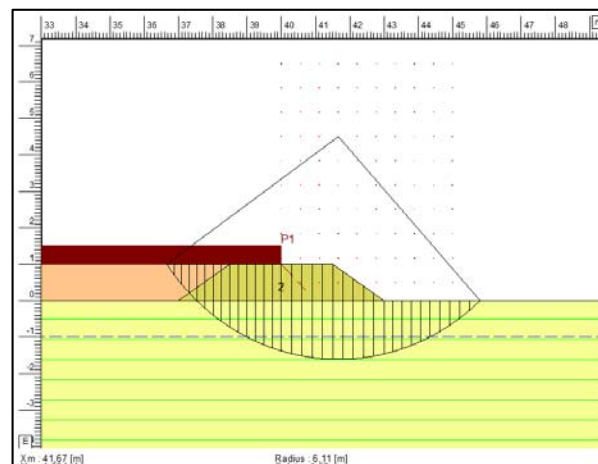
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 4. Zand terp 18/20
- 3. Gebroken steenslag 18/20
- 2. Gebroken steenslag 18/20
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 20 meter

DGeoStability

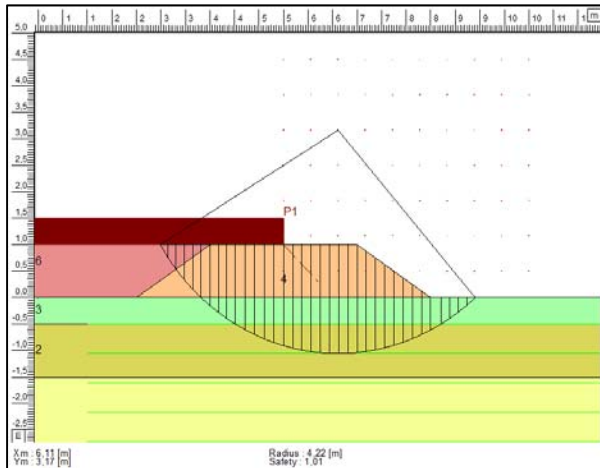
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

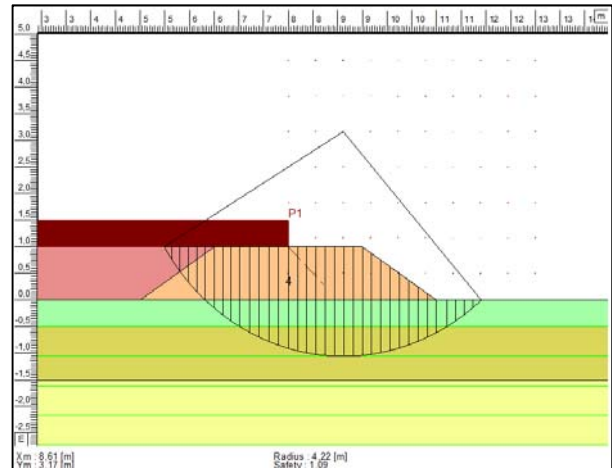
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,5 m
Terphoogte 1,0 m

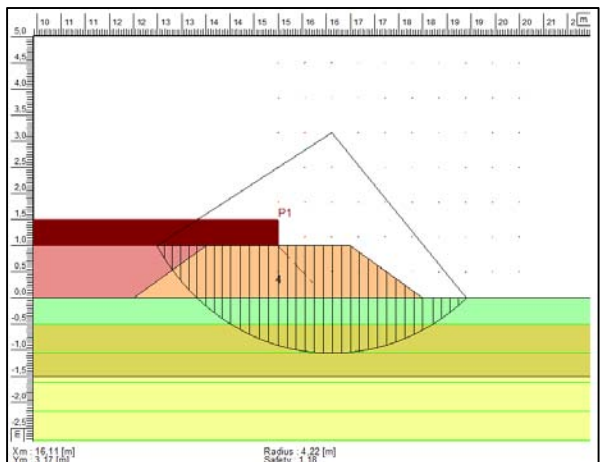
Dikte zandlaag 0,5 m



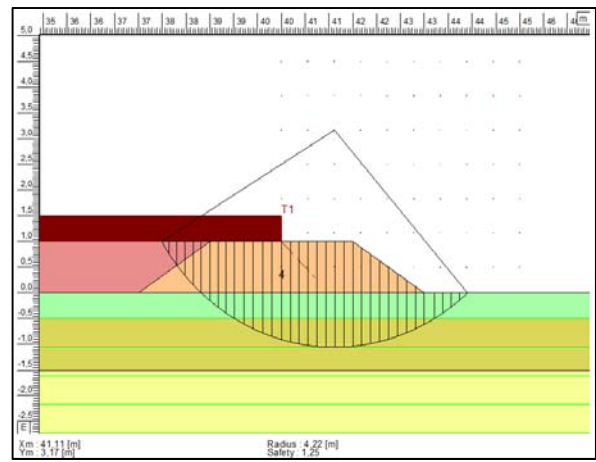
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 20 meter

DGeoStability

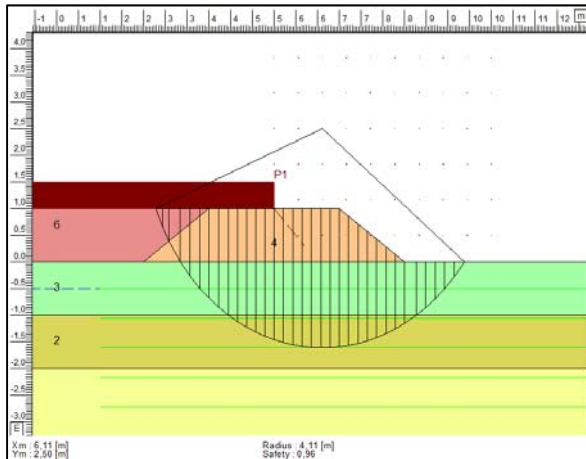
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

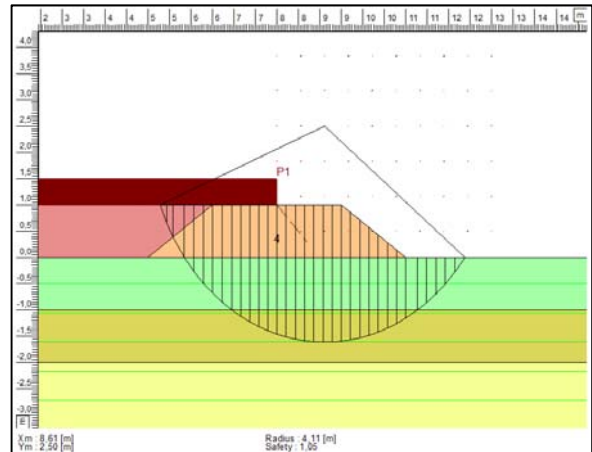
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,5 m
Terphoogte 1,0 m

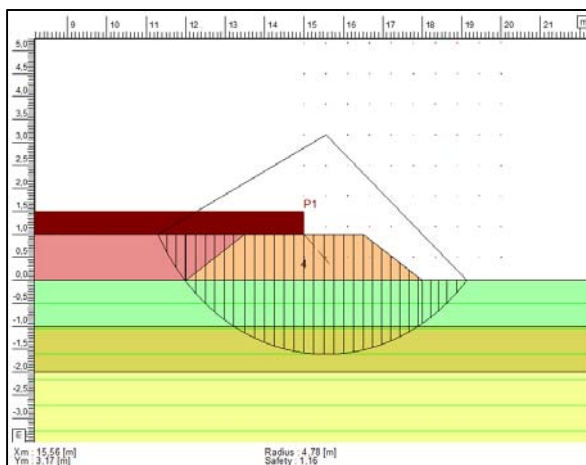
Dikte zandlaag 1,0 m



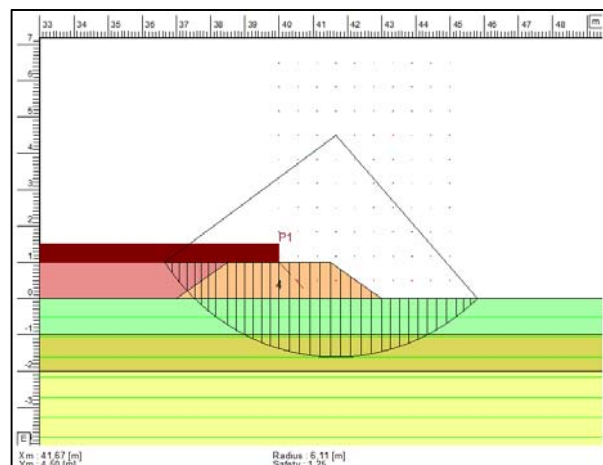
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand and terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 20 meter

DGeoStability

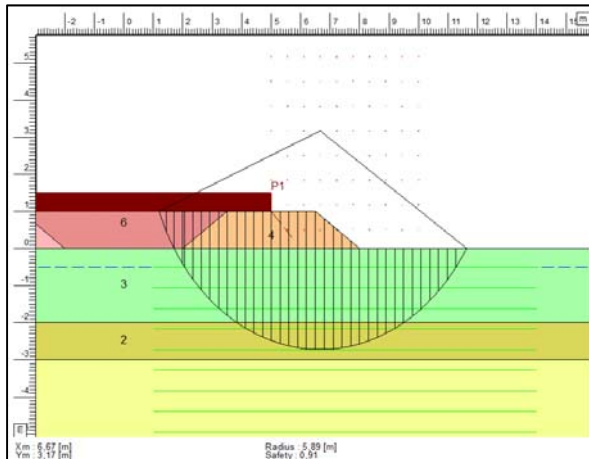
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

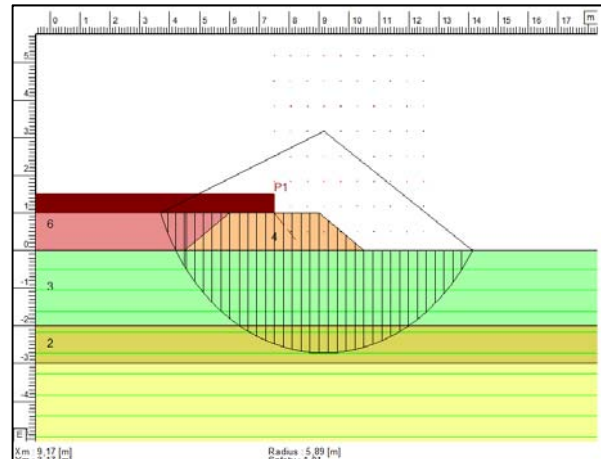
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 1,5 m
Terphoogte 1,0 m

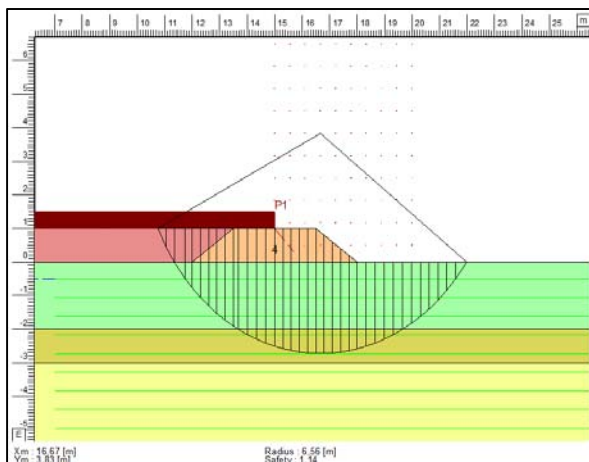
Dikte zandlaag 2,0 m



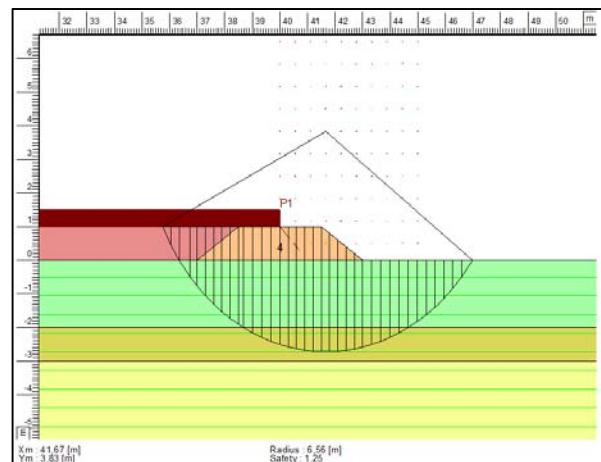
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Bijlage 16

Glijcirkels tankhoogte 30 m

DGeoStability

Tankhoogte 30 meter

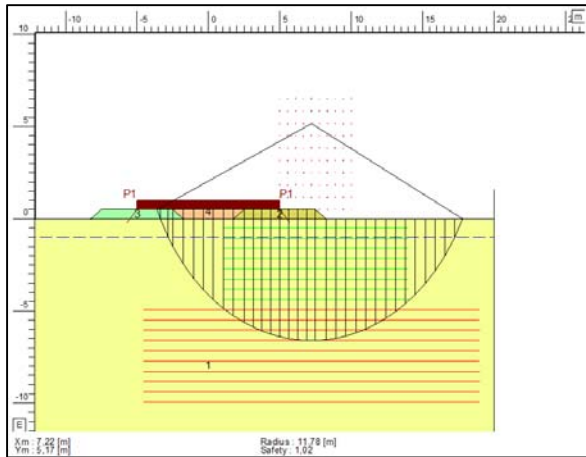
DGeoStability

Ondergrond volledig van zand

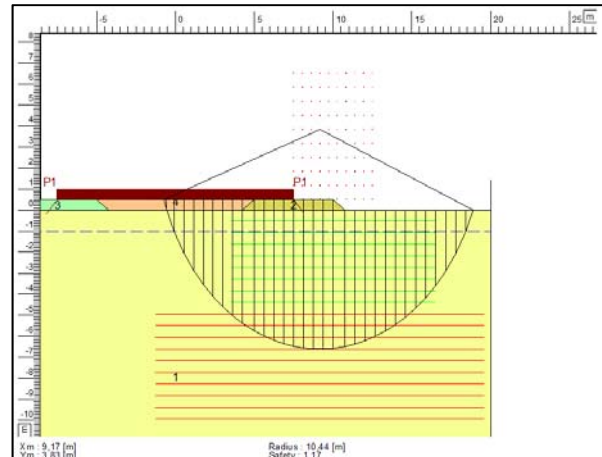
Grondwaterstand MV -1,0 m

Afmetingen: Schouder 2,5 m

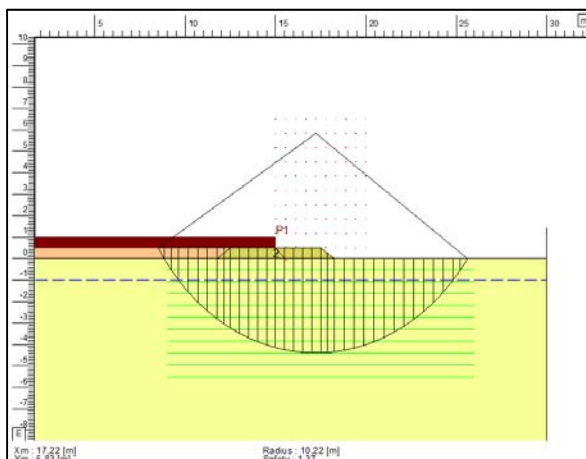
Terphoogte 0,5 m



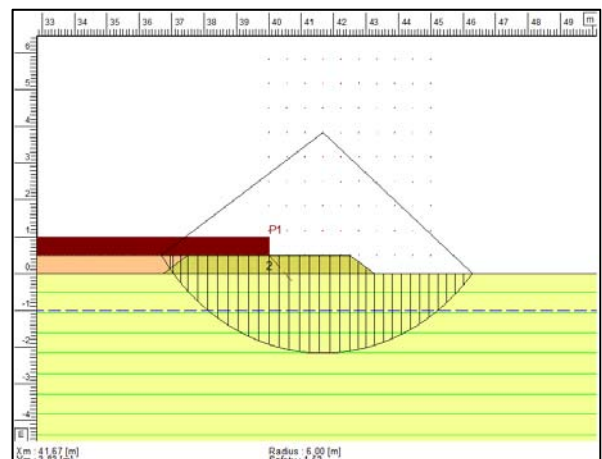
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 4. Zand terp 18/20
- 3. Gebroken steenslag 18/20
- 2. Gebroken steenslag 18/20
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 30 meter

DGeoStability

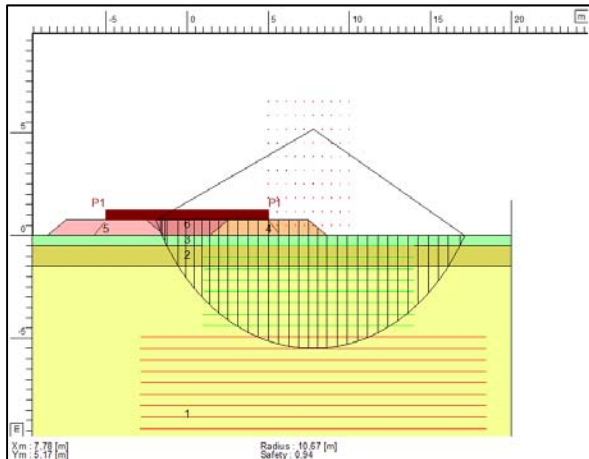
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

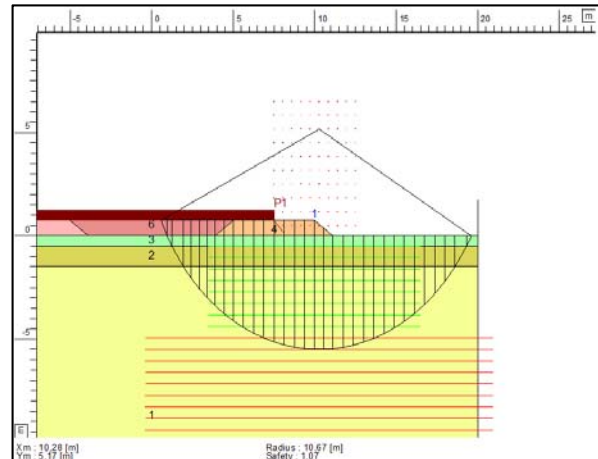
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 2,5 m
Terphoogte 0,75 m

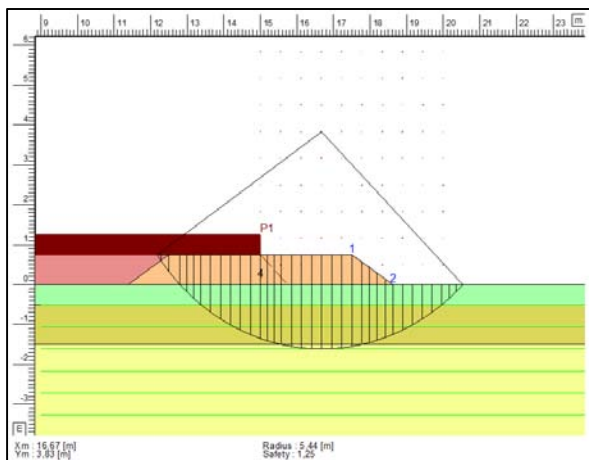
Dikte zandlaag 0,5 m



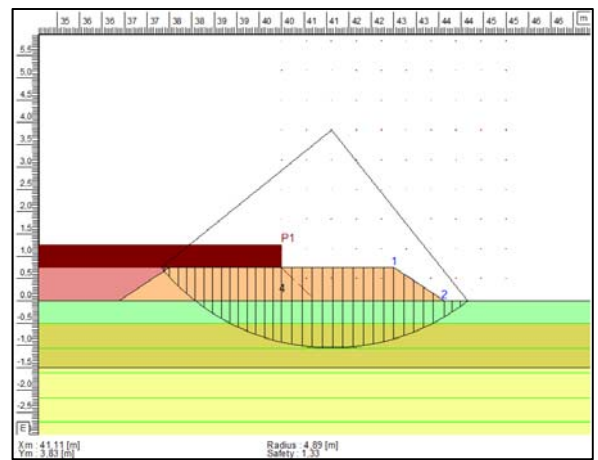
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 30 meter

DGeoStability

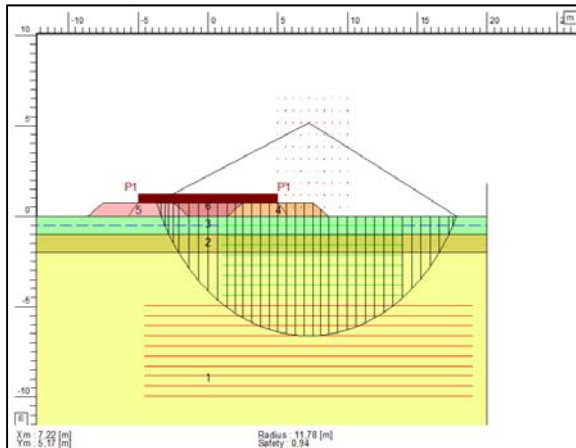
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

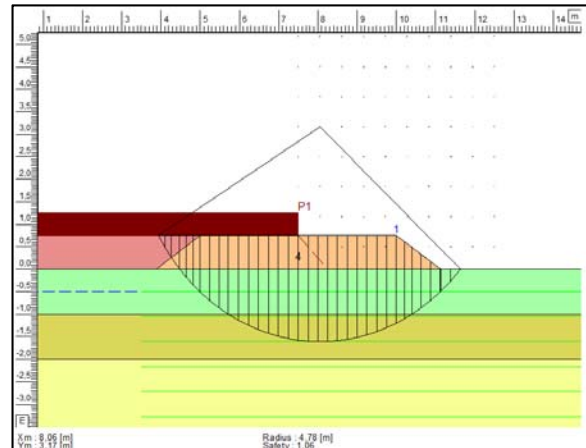
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 2,5 m
Terphoogte 0,75 m

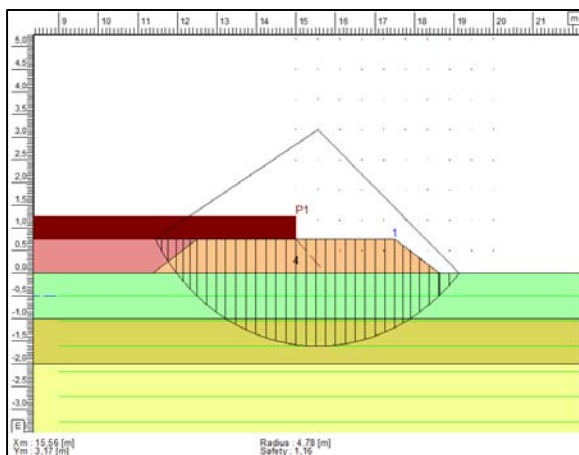
Dikte zandlaag 1,0 m



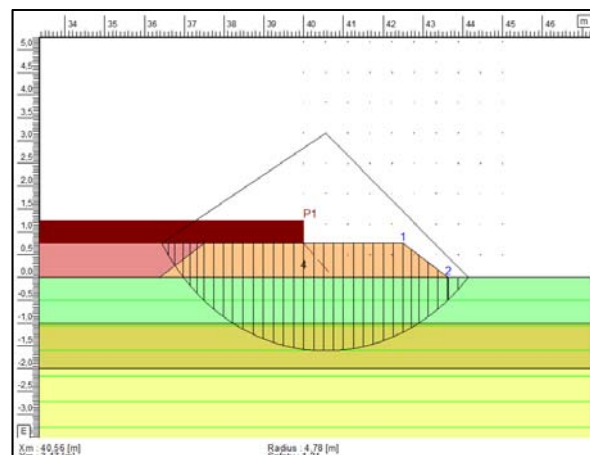
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 30 meter

DGeoStability

Ondergrond zand en klei

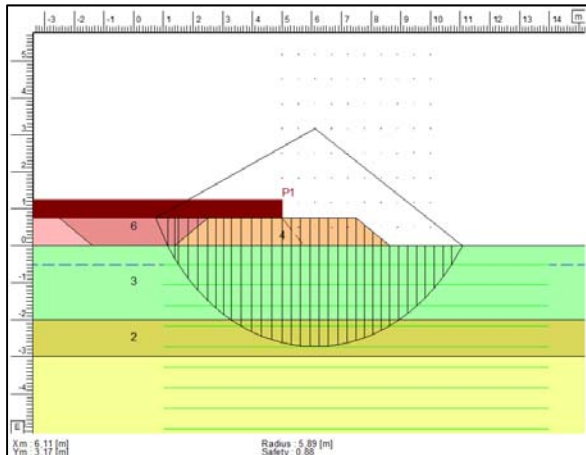
Grondwaterstand MV -0,5 m

Dikte kleilaag 1,0 m

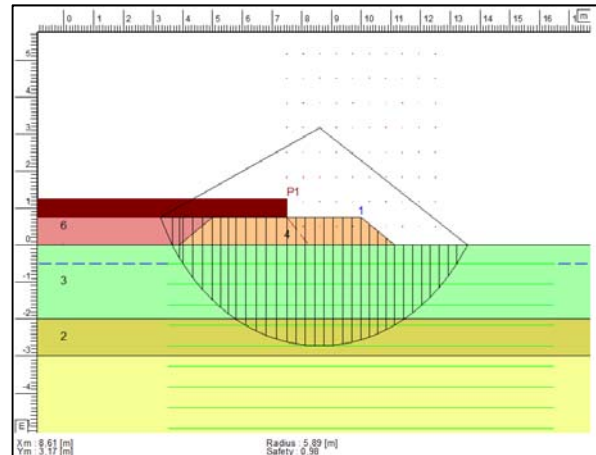
Afmetingen: Schouder 2,5 m

Terphoogte 0,75 m

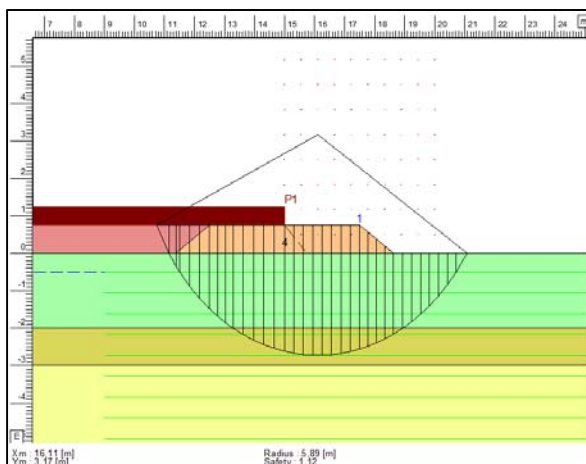
Dikte zandlaag 2,0 m



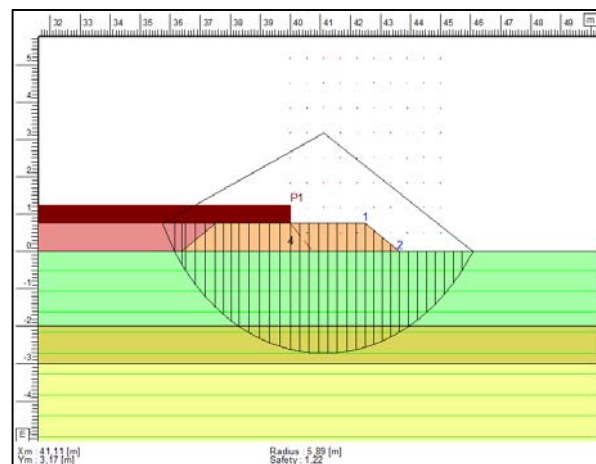
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Bijlage 17

Glijcirkels tankhoogte 35 m

DGeoStability

Tankhoogte 35 meter

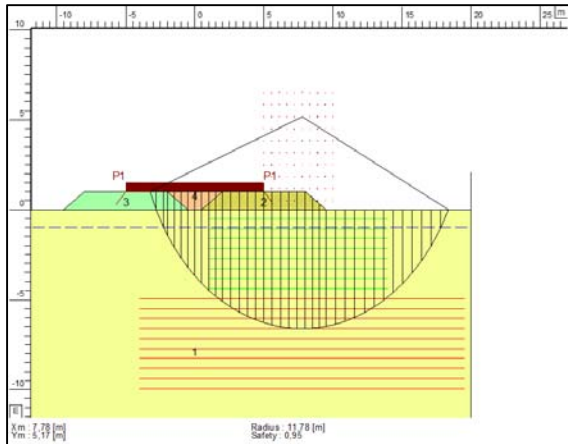
DGeoStability

Ondergrond volledig van zand

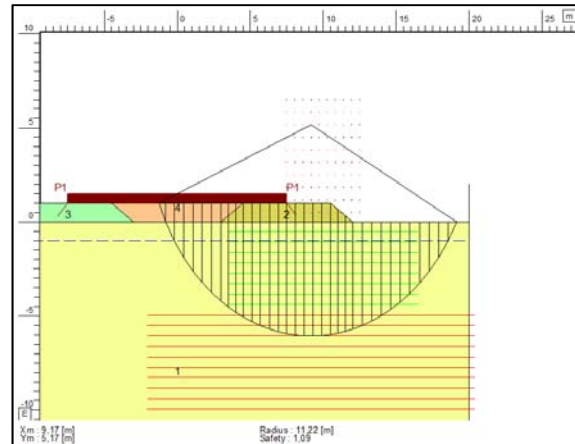
Grondwaterstand MV -1,0 m

Afmetingen: Schouder 3,0 m

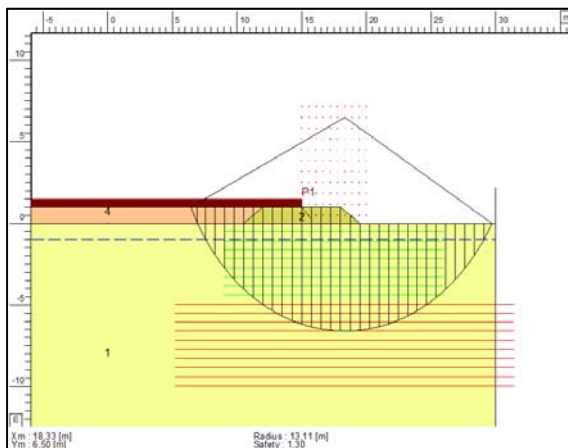
Terphoogte 1,0 m



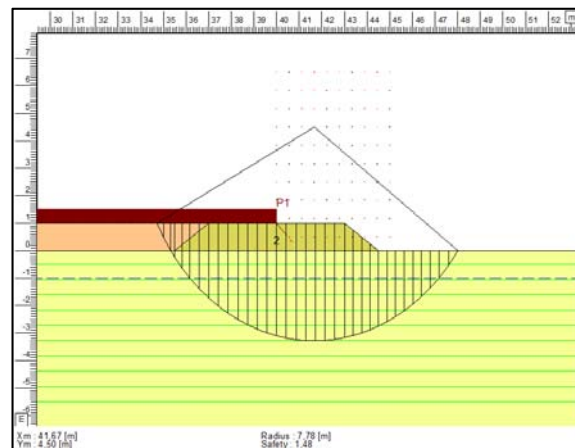
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 4. Zand terp 18/20
- 3. Gebroken steenslag 18/20
- 2. Gebroken steenslag 18/20
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 35 meter

DGeoStability

Ondergrond zand en klei

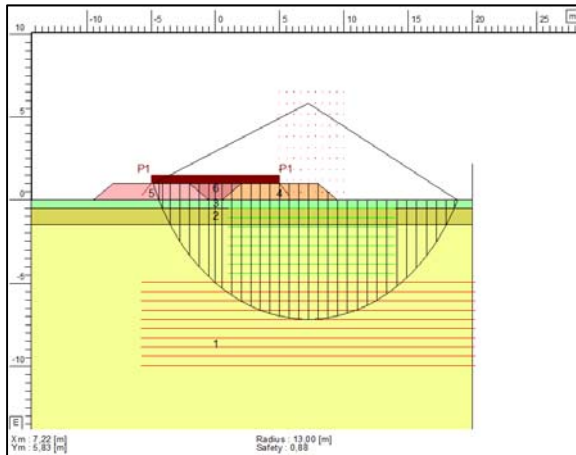
Grondwaterstand MV -0,5 m

Dikte kleilaag 1,0 m

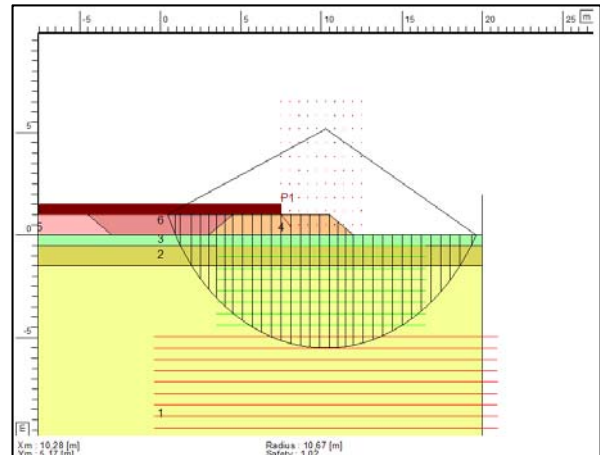
Afmetingen: Schouder 3,0 m

Terphoogte 1,0 m

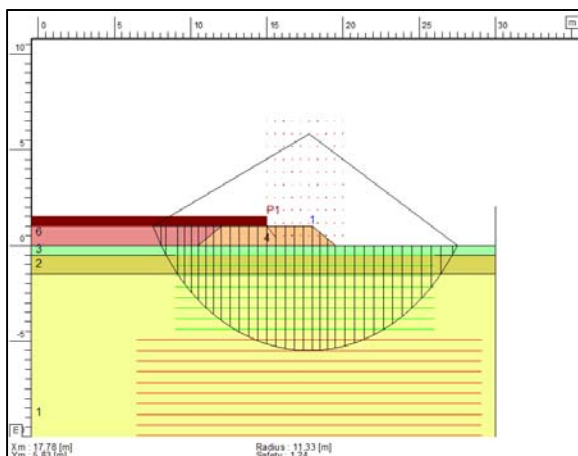
Dikte zandlaag 0,5 m



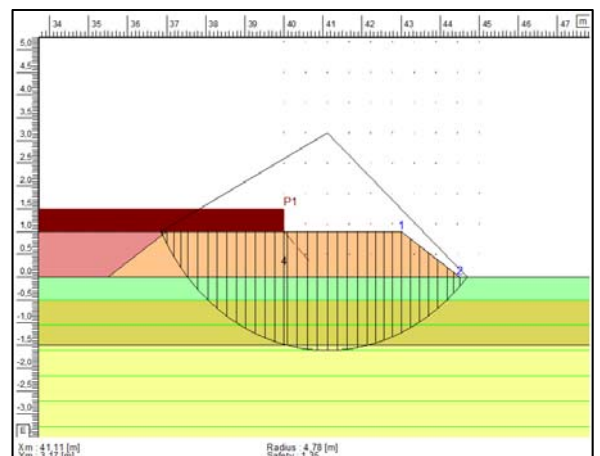
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 35 meter

DGeoStability

Ondergrond zand en klei

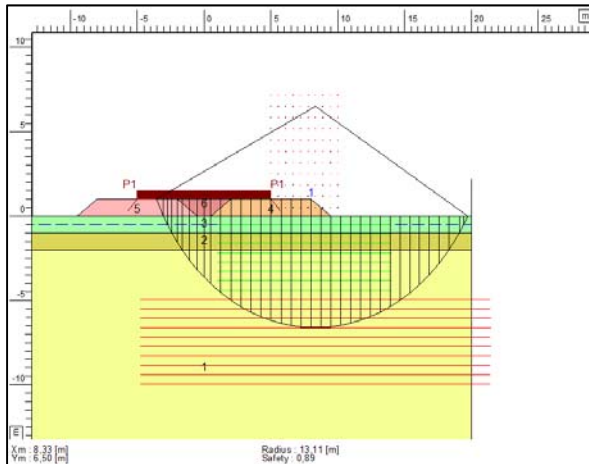
Grondwaterstand MV -0,5 m

Dikte kleilaag 1,0 m

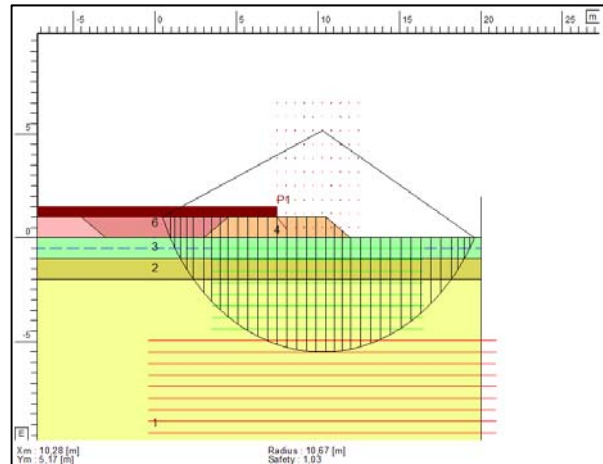
Afmetingen: Schouder 3,0 m

Terphoogte 1,0 m

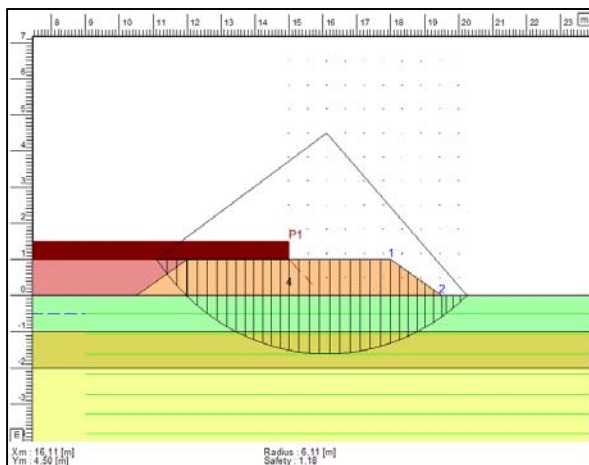
Dikte zandlaag 1,0 m



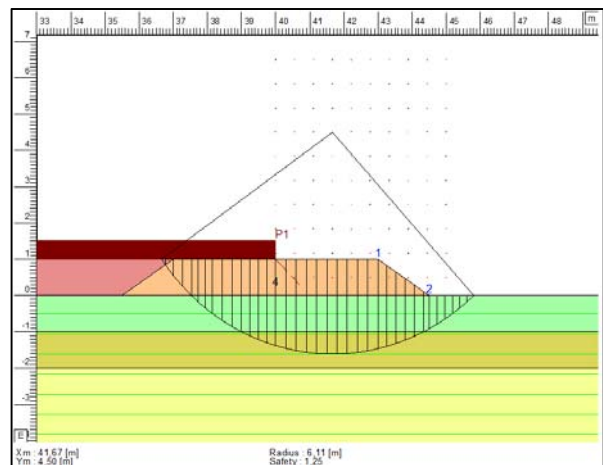
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Tankhoogte 35 meter

DGeoStability

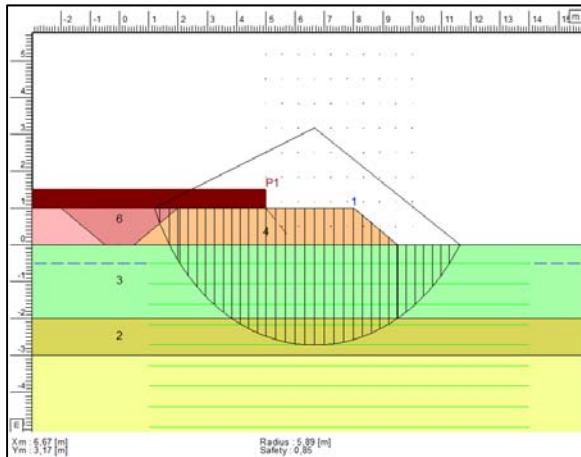
Ondergrond zand en klei

Grondwaterstand MV -0,5 m

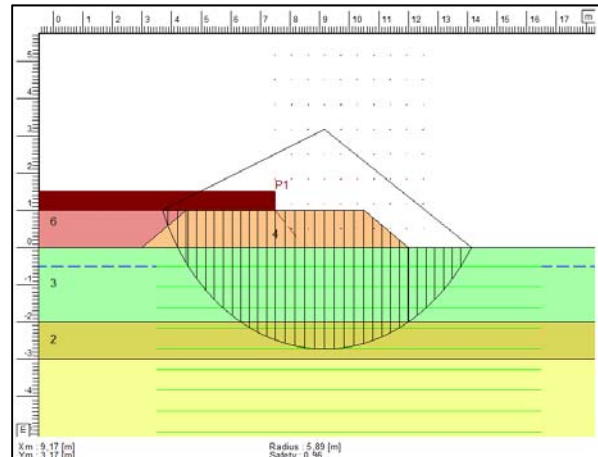
Dikte kleilaag 1,0 m

Afmetingen: Schouder 3,0 m
Terphoogte 1,0 m

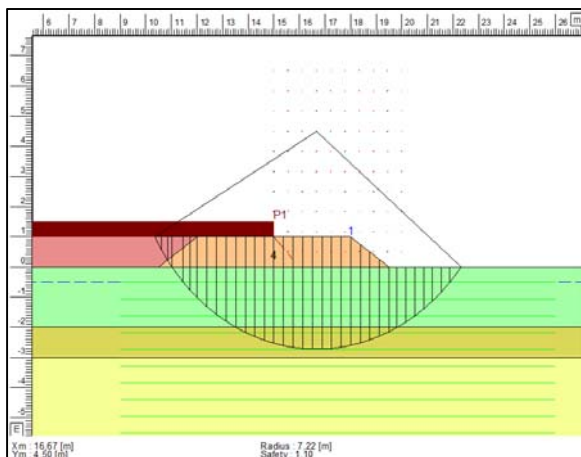
Dikte zandlaag 2,0 m



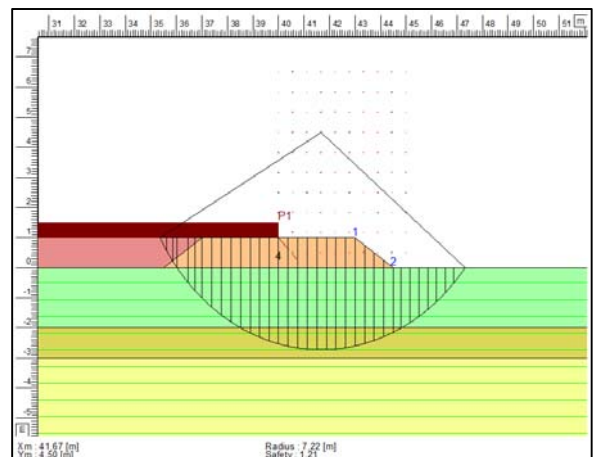
Tankdiameter 10 m



Tankdiameter 15 m



Tankdiameter 30 m



Tankdiameter 80 m

Legenda:

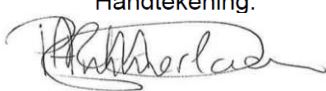
- 6. Zand terp 18/20
- 5. Gebroken steenslag 18/20
- 4. Gebroken steenslag 18/20
- 3. Zand 18/20
- 2. Klei 15/15
- 1. Zand 18/20

Bijlage 18

Beoordeling bedrijf (Fugro)

HOGESCHOOL ROTTERDAM
Instituut voor de Gebouwde Omgeving
G.J. de Jonghweg 4-6
3015 GG Rotterdam

BEOORDELING BEDRIJF
AFSTUDEREN BOUWKUNDE EN CIVIELE
TECHNIEK (DEELTIJD)
(in te vullen door de bedrijfsbegeleider)

Naam student	Sanne van Dorp	
Studentnummer	0853935	
Opleiding	Civiele Techniek	
Wat vindt u van de snelheid waarmee de student wegwijs is geworden in het bedrijf en het afstudeeronderwerp?		
Goed; Sanne was al goed wegwijs in het bedrijf en heeft zich goed verdiept in het onderwerp, wat voor haar relatief nieuw was, door achtergronddocumentatie die beschikbaar was binnen het bedrijf te lezen en door vragen te stellen aan collega's.		
In welke mate heeft de student in het bedrijf aandacht weten te verkrijgen en te behouden voor het afstudeeronderwerp bij alle (direct en indirect) betrokkenen?		
Sanne heeft directe collega's en de begeleider om tips en hulp gevraagd en ze houdt ook nog Een presentatie over haar afstuderen voor de collega's.		
Wat vindt u van de aanpak die de student heeft gekozen? Was er aandacht voor de bedrijfscontext, een passende theoretische onderbouwing, een goede balans tussen hoofdlijnen en details?		
De aanpak was prima. Achteraf gezien heeft ze wel teveel tijd besteed aan de analyses met DGeoStability, waardoor er eigenlijk te weinig tijd over was om de vergelijking met Plaxis goed Te doen, wat wel jammer is.		
Heeft de student meerdere realistische oplossingen ontwikkeld en de betrokkenen overtuigd van de kwaliteit en de haalbaarheid van de oplossingen?		
Ja, ze heeft veel verschillende scenario's nagerekend en daaruit de realistische oplossingen Gefilterd. De kwaliteit en haalbaarheid was nog wat overtuigender geweest als de vergelijking met Plaxis meer af was.		
Wat is uw oordeel over de zelfstandigheid, professionaliteit en beroepshouding van de student?		
Sanne heeft erg zelfstandig gewerkt en haar opdracht serieus genomen.		
Bent u tevreden met het eindresultaat van de afstudeeropdracht? In hoeverre is het verrassend/vernieuwend? Welke elementen zijn of worden geïmplementeerd in uw bedrijf?		
Er zijn een paar verrassende conclusies uit het onderzoek gekomen, die bruikbaar zijn voor de Adviezen die binnen ons bedrijf gemaakt worden. Verder is het jammer dat de vergelijking Tussen Plaxis en DGeoStability niet helemaal af is door tijdgebrek.		
Naam:	Bedrijf:	Handtekening:
Patricia Ammerlaan	Fugro GeoServices B.V.	
Datum:		
10-06-2015		

Bijlage 19

Toestemmingsformulier



Toestemmingsformulier januari 2009 (in te vullen door de student)

Toestemmingsformulier tot opname en beschikbaarstelling afstudeerscriptie in een digitale kennisbank

Datum	11 juni 2015
Naam student	Sanne van Dorp
Studentnummer	0853935
Naam instituut	TGO
Opleiding	Civiele Techniek Deeltijd
Afstudeerrichting	Bachelor / master / overig
Titel	Ingenieur
Toestemming	Ja / nee
Emailadres	sannevandorp@hotmail.com

Digitale kennisbank

De Hogeschool Rotterdam heeft een digitale kennisbank opgezet waarin de Hogeschool scripties die door studenten in het kader van hun studie aan de Hogeschool hebben geschreven, toegankelijk worden gemaakt voor derden. Hierdoor wordt het proces van creatie, verwerving en deling van kennis binnen het onderwijs mogelijk gemaakt en ondersteund.

De in de kennisbank opgenomen scripties worden toegankelijk gemaakt voor potentiële gebruikers binnen en buiten de Hogeschool. Om opname en beschikbaarstelling mogelijk te maken dient dit toestemmingsformulier.

Bij opname en beschikbaarstelling in de digitale kennisbank behoudt de student zijn of haar auteursrecht. Daarom kan hij of zij de toestemming tot het beschikbaarstellen van haar / zijn afstudeerscriptie intrekken.

Rechten en plichten student

De student verleent aan de Hogeschool kosteloos de niet exclusieve toestemming om zijn afstudeerscriptie op te nemen in de digitale kennisbank en om deze beschikbaar te stellen aan gebruikers binnen en buiten de Hogeschool. Hierdoor mogen gebruikers de afstudeerscriptie geheel of gedeeltelijk kopiëren en bewerken. Gebruikers mogen dit alleen doen en de resultaten publiceren indien dit gebeurt voor eigen studie en/of onderwijs- en onderzoeksdoeleinden en onder de vermelding van de naam van de student en de vindplaats van de afstudeerscriptie.

De student geeft de Hogeschool het recht de toegankelijkheid van de afstudeerscriptie te wijzigen en te beperken indien daar zwaarwegende redenen voor bestaan.

De student verklaart dat de stagebiedende organisatie dan wel de opdrachtgever van de afstudeerscriptie geen bezwaar heeft tegen opname en beschikbaarstelling van de afstudeerscriptie in de digitale kennisbank.

Paraaf: 



Toestemmingsformulier januari 2009 (in te vullen door de student)

Verder verklaart de student dat hij of zij toestemming heeft van de rechthebbende van materiaal dat de student niet zelf gemaakt heeft om dit materiaal als onderdeel van de afstudeerscriptie op te nemen in de digitale kennisbank en aan derden binnen en buiten de Hogeschool beschikbaar te stellen.

Rechten en plichten Hogeschool

De door de student verleende niet-exclusieve toestemming geeft de Hogeschool het recht de afstudeerscriptie aan gebruikers binnen en buiten de Hogeschool beschikbaar te stellen.

De Hogeschool mag verder de afstudeerscriptie voor gebruikers binnen en buiten de Hogeschool vrij toegankelijk maken voor een gebruiker van de digitale kennisbank en mag deze gebruiker toestemming geven om de afstudeerscriptie te kopiëren en te bewerken. Gebruikers mogen dit alleen doen en de resultaten publiceren indien dit gebeurt voor eigen studie- en/of onderwijs- en onderzoeksdoeleinden en onder de vermelding van de naam van de student en de vindplaats van de afstudeerscriptie.

De Hogeschool zal ervoor zorgen dat vermeld wordt wie de schrijver(s) is/zijn van de afstudeerscriptie waarbij zij tevens aangeeft dat bij gebruik van de afstudeerscriptie de herkomst hiervan duidelijk vermeld moet worden. De Hogeschool zal duidelijk maken dat voor ieder commercieel gebruik van de afstudeerscriptie toestemming van de student nodig is.

De Hogeschool heeft het recht de toegankelijkheid van de afstudeerscriptie te wijzigen en te beperken indien daar zwaarwegende redenen voor bestaan.

Rechten en plichten gebruiker

Door dit Toestemmingsformulier mag een gebruiker van de digitale kennisbank de afstudeerscriptie geheel of gedeeltelijk kopiëren en/of geheel of gedeeltelijk bewerken. Gebruikers mogen dit alleen doen en de resultaten publiceren indien dit gebeurt voor eigen studie- en/of onderwijs- en onderzoeksdoeleinden en onder de vermelding van de naam van de student en de vindplaats van de afstudeerscriptie.

Naam: <u>Sanne van Dorp</u>	Handtekening:  Datum: <u>11-06-2015</u>
-----------------------------	---

Bijlage 20

Plan van Aanpak afstuderen

Plan van Aanpak

Terpfundering voor opslagtanks

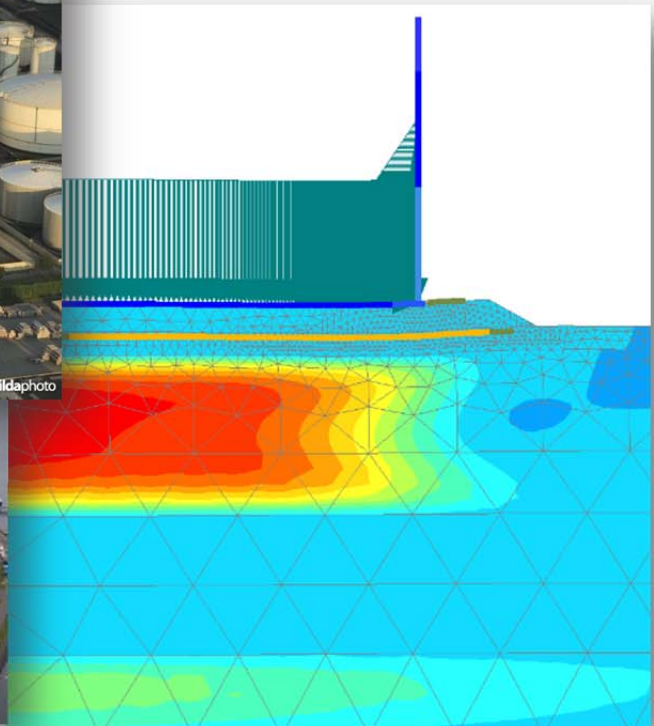
“Voor opslagtanks hoger dan 20 meter”

Sanne van Dorp

Studentnummer 0853935

Civiele Techniek deeltijd

3-2-2015



Gegevens

Hogeschool Rotterdam

Instituut voor de gebouwde omgeving
Civiele Techniek Deeltijd

Student/Afstudeerder

Sanne van Dorp
Prins Hendriklaan 47
2264 SR Leidschendam
Privé: 0650404686
Werk: 070 3111271
Privé: 0853935@hr.nl en sannevdorp@hotmail.com
Werk: s.dorp@fugro.nl
Studentnummer: 0853935

Fugro GeoServices B.V.

Afdeling Geotechniek
Veurse Achterweg 10
2264 SG Leidschendam

Postbus 63
2260 AB Leidschendam
www.fugro.nl

Begeleiding Fugro GeoServices B.V.

1ste begeleidster

Mevrouw ir. P.R.M. Ammerlaan – Groepshoofd Geotechniek
070 3111480
p.ammerlaan@fugro.nl

2de begeleider

De heer ir. A.J. van Seters - Afdelingshoofd Geotechniek
070 3111137
a.vseters@fugro.nl

Hogeschool Rotterdam

G.J. de Jonghweg 4-6
3015 GG Rotterdam

www.hogeschoolrotterdam.nl

Begeleiding Hogeschool Rotterdam

De heer ir. N.Q. Nguyen
06 29269488
Nq.nguyen@baminfraconsult.nl

Inhoudsopgave

blz.

Inleiding	1
H 1. Achtergrond	2
1.1 Fugro GeoServices B.V.	2
1.2 Projectorganisatie	2
H 2. Probleemstelling en Doelstellingen	3
2.1 Probleemomschrijving	3
2.2 Doelstelling	3
2.3 Hoofdvraag	4
2.4 Deelvragen	4
H 3. Projectgrenzen	5
3.1 Projectafbakening	5
3.2 Randvoorwaarden	5
H 4. Product	6
4.1 Beschrijving eindproduct.....	6
4.2 Inhoud eindrapport.....	6
H 5. Kwaliteit	8
5.1 Beheersing resultaten en kwaliteit	8
5.2 Onderzoeksmethode en technieken onderzoek	8
H 6. Risicoanalyse	9
H 7. Aanpak afstuderen	10
7.1 Aanpak project in hoofdlijnen.....	10
7.2 Fase verloop en besluitmomenten van het project	10
7.3 Activiteiten en tijdsplanning	10
7.4 Persoonlijke leerdoelen	10
Bronnen en begrippen.....	11

Bijlage

nr.

- Planning werkzaamheden

1

Inleiding

In Nederland, in de regio Rotterdam (Maasvlakte en Botlek) en Amsterdam, staan grote opslagtanks. Vanuit hier worden verschillende vloeistoffen verder getransporteerd naar raffinaderijen in de buurt of naar het buitenland.

De opslagtanks variëren in diameter en hoogte. De grootte van de opslagtanks is gegroeid in de loop van de tijd, om meer opslagcapaciteit te krijgen. De opslagtanks in Nederland hebben een diameter variërend van ca. 8 m tot ca. 100 m en een hoogte van 22 tot 24 m.

Fugro GeoServices B.V. heeft redelijk veel ervaring betreffende het uitvoeren van grondonderzoek in het algemeen, maar ook voor opslagtanks. Voor die opslagtanks wordt een funderingsadvies opgesteld. Zelf heeft Fugro te maken met het gewicht op de fundering en niet zo zeer de afmetingen van de tanks.

Voor opslagtanks zijn richtlijnen geschreven voor onder andere de tankterpafmetingen. In de richtlijnen staan de afmetingen voor tanks van 10 en 20 m hoog. Tegenwoordig worden de opslagtanks tot ca. 30 m hoog gebouwd. De afmetingen voor tanks hoger dan 20 m staan niet in de richtlijnen.

De vraag is dan ook kan een tankterp worden toegepast bij een tankhoogte hoger dan 20 meter of moet er een ander type fundering worden toegepast. Als een terp wel kan worden toegepast, welke afmetingen moet de terp hebben? Heeft een hogere tank ook invloed op de fundering, ondergrond etc. De trend van de afgelopen jaren geeft namelijk aan dat de tanks steeds hoger worden.

Tijdens het afstuderen zal onderzoek worden gedaan naar hoe de afmetingen van de tankterp zijn ontstaan die in de richtlijnen staan voor tanks van 10 en 20 m hoog. Daarnaast zal worden bekeken hoe hoog tanks tegenwoordig worden gebouwd en hoe de tanks dan zijn gefundeerd en of daar problemen zijn ontstaan. De tabel met terpafmetingen zal worden aangevuld indien dit kan worden toegepast bij tanks hoger dan 20 meter.

Dit zal nader worden onderzocht tijdens het afstuderen in de periode van januari tot eind juni 2015.

Plan van aanpak bestaat uit:

- Achtergrond (hoofdstuk 1);
- Probleemanalyse en probleemstelling (hoofdstuk 2);
- Projectgrenzen (hoofdstuk 3);
- Product (hoofdstuk 4);
- Kwaliteit (hoofdstuk 5);
- Risicoanalyse (hoofdstuk 6);
- Aanpak afstuderen (hoofdstuk 7).

H 1. Achtergrond

1.1 Fugro GeoServices B.V.

Van eind januari/ begin februari tot eind juni 2015 van het 4^{de} schooljaar zal worden afgestudeerd. Het afstuderen zal plaatsvinden bij het bedrijf waar ik op dit moment werk "Fugro GeoServices B.V."

Met de gegevens van het grond- (sonderingen en boringen) en laboratoriumonderzoek worden diverse adviezen opgesteld. Onder andere maakt Fugro funderings-, ophoog-, damwand- en bemalingsadviezen, zettingsberekeningen en trillingsrisicoanalyses.

Bij Fugro GeoServices werk ik op een afdeling met ca. 30 collega's. Deze afdeling bestaat weer uit de afdelingen Geotechniek en Hydrologie. Binnen de afdeling (en het bedrijf) heb ik de functie Adviseur Geotechniek. In deze functie maak ik offertes, berekeningen en schrijf ik adviezen.

1.2 Projectorganisatie

De personen die betrokken zijn bij de praktijkopdracht zijn:

Naam	: Sanne van Dorp
Telefoonnummer privé	: 06 50404686
Telefoonnummer werk	: 070 3111271
Functie binnen het bedrijf	: Adviseur Geotechniek/student

Naam	: Mevrouw ir. P.R.M. Ammerlaan
Telefoonnummer	: 070 3111480
Functie binnen het bedrijf	: Groepshoofd Geotechniek

Naam	: De heer ir. N.Q. Nguyen
Telefoonnummer	: 06 29269488
Functie binnen de school	: Begeleider afstuderen / docent

H 2. Probleemstelling en Doelstellingen

2.1 Probleemomschrijving

Op industriegebieden in Nederland zijn grote opslagtanks te vinden. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 2-1. Deze tanks worden ontworpen conform de norm EN14015 of de API650. Richtlijnen voor de fundering van de opslagtanks zijn te vinden in onder andere de PGS 29 en EEMUA 183. Vaak worden deze tanks gefundeerd op een tankterp (fundering) van zand, met een steenslagring.

In deze richtlijnen staan minimum/maximum afmetingen voor de tankterpen voor tankhoogten van 10 en 20 meter gegeven. De afmetingen zijn gebaseerd op een volledige zandopbouw (bodem) en is een leidraad voor de afmetingen. Tegenwoordig worden echter nog hogere tanks gebouwd. Hierbij kan worden gedacht aan tanks die 25 of zelfs 30 meter hoog zijn.

Voor een tank hoger dan 20 meter staan in de richtlijnen geen minimum of maximum afmetingen voor de terp. Daarnaast komen de in de verschillende richtlijnen genoemde afmetingen voor de terpen (funderingen) van de tanks niet met elkaar overeen. Het gevaar hierdoor is dat het niet bekend is of de tanks die hoger dan 20 meter zijn, nu goed worden gefundeerd.

Doordat de afmetingen voor de hogere tanks niet bekend zijn in de richtlijnen, is niet bekend welke fundering nodig en mogelijk is. Ook is niet bekend wat de benodigde afmetingen van een terp zijn voor diverse typen ondergrond voor een tank. En bij diverse type ondergronden kan worden gedacht aan zand en klei. Onderzocht zal gaan worden wat de mogelijkheden zijn hoe tanks hoger dan 20 meter gefundeerd kunnen worden, wat voor invloed heeft de hogere tank op de fundering en hoe zit het met de fundering als er in de bodemopbouw niet alleen zand aanwezig is maar ook klei.



Figuur 2-1: Voorbeeld van tanks in een industriegebied.

2.2 Doelstelling

Het doel van het afstudeeronderzoek is om een aanvulling op de richtlijn PGS 29 te maken voor tanks hoger dan 20 meter en tanks gefundeerd op een gedeeltelijke slappe bodem.

De resultaten kunnen intern (en extern) gebruikt worden.

2.3 Hoofdvraag

De hoofdvraag die aan het eind van het afstuderen beantwoord dient te worden is:

“Welke aanpassingen in de huidige norm PGS29 zijn nodig om opslagtanks hoger dan 20 m te funderen en welke aanpassingen zijn nodig om tanks niet alleen op zand, maar ook op een bodem bestaande uit zand & klei te funderen?”

2.4 Deelvragen

De deelvragen die gesteld zijn om tot het beantwoorden te komen van de hoofdvraag zijn:

- Wat zijn de functionele eisen van een opslagtank en tankterp?
- Waar zijn tanks hoger dan 20 m gebouwd en hoe is daarbij de fundering ontworpen en uitgevoerd?
- Wat zijn de huidige toepassingsgebieden van de norm en waarom? Welke theorieën liggen ten grondslag aan deze normen?
- Wat is het verschil van de terpafmetingen tussen de richtlijnen PGS 29 en de EEMUA?
- Welke funderingsconstructies voor opslagtanks zijn aanwezig en waarom juist die?
- Wat voor rol speelt de ondergrond in de afmetingen van de tankfundering?
- Hoe kan een tank van 25, 30 en 35 m hoog op een terp worden gefundeerd?
- Wat moet er worden aangepast in de richtlijn om opslagtanks hoger dan 20 meter te funderen op zand en zand & klei?

H 3. Projectgrenzen

3.1 Projectafbakening

Het ontwerp dat in voorliggend document wordt behandeld is vrij breed. Om dit te beperken is een projectafbakening gedaan.

Onderstaande punten geven aan waar naar gekeken zal worden:

- Type opslagtank → staal
- Hoogte opslagtanks welke worden onderzocht 25, 30 en 35 m.
- Type vloeistof in de tank → olie
- Type opslagtank: verticale bovengrondse opslagtank
- Tankfundering wordt bekeken en niet de opslagtank zelf.
- Variërende grondwaterstand → MV -0,5 tot MV -2 m
- Voor de bodemopbouw zal gebruik worden gemaakt van zand en klei.
- De kleilaag wordt in de bodemopbouw aangegeven in verschillende diktes.
- De (verschil) zetting is niet maatgevend voor het funderingsontwerp.
- Berekeningen worden uitgevoerd met de D-serie en PLAXIS.
- Richtlijnen PGS 29 en EEMUA 183 zullen worden bekeken.
- Stabiliteitsfactor bij de berekening van een tankterp moet minimaal 1,0 zijn in de UGT.
- Oplevering onderzoek met resultaten eind juni / begin juli 2015.

3.2 Randvoorwaarden

Om tot een eindresultaat te komen aan het eind van het afstuderen, zijn de volgende punten benodigd:

- Werkplek bij Fugro om de werkzaamheden uit te voeren;
- De rekenprogramma('s) van de D-serie (Deltares);
- Plaxis (2D/3D model rekenprogramma);
- Literatuur.
 - o Eurocode (7 Geotechniek: NEN9997-1);
 - o NEN-normen;
 - o PGS 29 (tank ontwerp – Nederlandse richtlijn);
 - o EEMUA 183 (tank ontwerp – Europese richtlijn);
 - o EN 14015 (tank ontwerp – Europese norm);
 - o API 650 (tank ontwerp – Amerikaanse norm);
- Kennis Fugro collega's;
- Grondparameters;
- Tijd: half jaar (januari t/m juni/juli 2015).

H 4. Product

4.1 Beschrijving eindproduct

Het uiteindelijke resultaat is om de richtlijn aan te vullen waarin wordt aangegeven hoe opslagtanks op een bodem met kleilagen en opslagtanks hoger dan 20 m gefundeerd moeten worden.

De resultaten zullen worden verzameld en in een rapportage wat kan worden verstrekt aan de opdrachtgever (Fugro) en de organisatie van de richtlijn(en). Voor intern gebruik bij Fugro zal een infoblad worden gemaakt.

Om tot een eindresultaat te komen wordt er samengewerkt met:

- Fugro als bedrijf;
- Fugro collega's op de afdeling;
- Bedrijven die hoger opslagtanks bouwen en in bezit hebben;
- Commissie van de richtlijn

De volgende eindproducten worden ingeleverd:

- Startdocument;
- Plan van Aanpak;
- Tussenrapport;
- Berekeningen;
- Aanvullen/aanpassen tabel in de norm;
- Eindrapportage ca. 40 pagina's;
- USB of Cd-rom met het eindrapport;
- Presentatie van het eindproduct.

Bij de producten die geleverd worden aan het eind van het afstuderen zullen richtlijnen worden onderzocht en worden berekeningen gemaakt betreffende de fundering voor de tank door middel van de D-serie en Plaxis. Met de gegevens die uit het onderzoek volgen zal een aanvulling worden gemaakt voor de funderingskeuze voor de hogere tanks en tanks gefundeerd op een bodem met kleilagen voor in de richtlijn.

4.2 Inhoud eindrapport

Het eindrapport zal (globaal) als volgt eruit zien:

	Voorblad		Titel algemene gegevens		
	Voorwoord				
	Samenvatting		Ca. 2 A4-tjes		
	Inhoudsopgave				
1	Inleiding	1.1	<i>Algemeen</i>		
		1.2	<i>Leeswijzer</i>		
2	Vooronderzoek		<i>Literatuuronderzoek: opslagtanks en hun funderingen</i>		
		2.1	<i>funderingen</i>		
		2.2	<i>Richtlijnen</i>		
		2.3	<i>Verschil richtlijnen</i>		
		2.4	<i>Afmetingen herleiden</i>		
3	Opdracht	3.1	<i>Probleemstelling</i>		
		3.2	<i>Doelstelling</i>		
	Aanpak				
4	Werkzaamheden	4.1	<i>Inleiding</i>		
		4.2	<i>Uitgangspunten</i>		
		4.3	<i>Functionele eisen opslagtank en tankterp</i>		
		4.4	<i>Bodemopbouw voor berekeningen</i>		
5	Resultaten	5.1	<i>Inleiding</i>		
		5.2	<i>Opslagtank 10 en 20 m</i>		
		5.3	<i>Opslagtank 25 m</i>		
		5.4	<i>Opslagtank 30 m</i>		
		5.5	<i>Opslagtank 35 m</i>		
		5.6	<i>Tanks op bodem met kleilagen</i>		
6	Analyse	6.1	<i>Inleiding</i>		
		6.2	<i>Toelichting resultaten</i>		
		6.3	<i>Aanpassing / toevoeging richtlijn?</i>		
7	Conclusie				
8	Aanbeveling				
	Bronnenlijst / literatuurlijst				
	Referentielijst				
	Bijlagen				

H 5. Kwaliteit

5.1 Beheersing resultaten en kwaliteit

De kwaliteit van het project wordt door iedereen bewaakt. Op ieder document en berekening zal door een collega een controle worden uitgevoerd van wat er is gedaan en opgeschreven. Hierdoor wordt de kwaliteit van het eindproduct hoog gehouden.

Tevens wordt gebruik gemaakt van de kennis van collega's die te maken hebben met tankfundaties en rekenprogramma's.

Het eindrapport wat wordt geleverd dient zonder schrijffouten te worden opgeleverd. Tevens dienen de tabellen en afbeeldingen te worden voorzien van een goede verwijzing in de tekst en bronvermelding.

5.2 Onderzoeksmethode en technieken onderzoek

Om het onderzoek uit te voeren zal een bureau onderzoek worden uitgevoerd en zullen ontwerp tankconstructeurs worden benaderd. Bij het bureau onderzoek zal een analyse worden gemaakt voor het vaststellen van bandbreedtes, gekozen parameterwaarden voor de berekeningen en de typen funderingen die onderzocht gaan worden. Bij het benaderen van tank constructeurs zal worden nagevraagd waar de hogere tanks zijn gebouwd, of daar maatregelen zijn getroffen, hoe de tank is gefundeerd en of er problemen zijn ontstaan.

Hieruit zullen eerst de afmetingen die in de richtlijn staan voor tanks met een hoogte van 10 en 20 m worden herleid. Daarna zullen ontwerpberekeningen worden gemaakt (in stappen van 5) voor tanks tot een hoogte van 35 m. De resultaten zullen worden gebruikt om een funderingstabel te maken voor de opslagtanks, welke kan worden toegevoegd in de richtlijn.

Tijdens de periode van het afstuderen zal aan de volgende competenties worden gewerkt:

- initiëren
- ontwerpen
- specificeren
- analyseren
- onderzoeken

H 6. Risicoanalyse

De risico's die kunnen ontstaan tijdens het afstuderen van dit onderwerp zijn:

- Teveel onderdelen om te onderzoeken;
- Oplevering eind juni / begin juli 2015 kan niet worden gehaald.

Als de risico's zich voordoen, dient een extra overleg te worden ingepland met de bedrijfsbegeleider en de schoolbegeleider. Tijdens het overleg dient te worden nagegaan of de risico's geen risico's meer hoeven te zijn en dat de doelen worden gehaald.

Met de bedrijfsbegeleider zal elke week de voortgang worden besproken. Met de afstudeerbegeleider zal elke 2 of 3 weken een afspraak worden gepland om de voortgang te bespreken en de documenten te bekijken.

H 7. Aanpak afstuderen

7.1 Aanpak project in hoofdlijnen

Om de afstudeeropdracht goed te laten verlopen en op tijd af te krijgen, is een planning gemaakt van de taken die gedaan worden. Daarbij is gekeken hoeveel tijd dit in beslag gaat nemen en wat de volgorde is van de taken. De planning is weergegeven in bijlage 1.

Eerst zal een literatuurstudie worden uitgevoerd naar de verschillende richtlijnen/normen en wat voor soorten funderingen aanwezig zijn voor een opslagtank. Daarna zal worden onderzocht hoe het komt dat de afmetingen van de tanks tot 20 m hoog verschillen in de richtlijnen PGS 29 en EEMUA. En zullen de afmetingen die in de richtlijn staan voor opslagtanks van 10 en 20 meter hoog worden herleid.

Tevens zullen tankconstructeurs worden benaderd met de vraag hoe hoog de tanks op dit moment worden berekend. En waar de hogere tanks zijn gebouwd, of daar maatregelen zijn getroffen en welk type fundering + afmetingen zijn toegepast.

Daarna zullen berekeningen worden gemaakt met DGeoStability en Plaxis om de afmetingen van de funderingen te bepalen voor de hogere tanks. Dit voor een vereenvoudigd bodemprofiel met zand, maar ook gevarieerd met de dikte en diepte van de kleilaag en grondwaterstand. Dit zal worden uitgewerkt en daaruit kunnen oplossingen ontstaan hoe de fundering van een opslagtank hoger dan 20 meter gefundeerd dient te worden. De resultaten hiervan (wat gecontroleerd wordt) kunnen worden opgenomen in de richtlijn(en).

Nadat de onderzoeken uitgevoerd zijn zal een rapportage worden opgesteld met de resultaten en zal een aanbeveling/conclusie worden geschreven.

7.2 Fase verloop en besluitmomenten van het project

Voor de fasen die aanwezig zijn bij het project wordt de planning aangehouden. Verder worden de besluitmomenten door het bedrijf genomen wanneer dat nodig is.

De volgende fasen zijn:

- Literatuurstudie (Richtlijnen/Normen);
- Berekenmodellen opstellen;
- Afmetingen in de richtlijn herleiden voor 10 en 20 m hoog;
- Ontwerp berekeningen maken hogere tanks;
- Aanvulling richtlijn opstellen;
- Rapportage opstellen;
- Aanbeveling / conclusie opstellen.

7.3 Activiteiten en tijdsplanning

De planning die voor deze opdracht is gemaakt. Hierin is weergegeven wanneer welk deel af moet zijn en hoeveel tijd er voor elke taak nodig is. De planning is weergegeven in bijlage 1.

7.4 Persoonlijke leerdoelen

Voor dat er wordt begonnen met het afstuderen zijn een aantal persoonlijke leerdoelen opgesteld waaraan wordt gewerkt tijdens het afstuderen.

- Leren toepassen van verschillende rekenprogramma's
- Leren hoe een goed en duidelijk rapport kan worden opgesteld

Bronnen en begrippen

Bronnen

De bronnen die worden gebruikt zijn:

- Eurocode (7 Geotechniek: NEN9997-1);
- NEN-normen;
- PGS 29 (tank ontwerp – Nederlandse richtlijn);
- EEMUA 183 (tank ontwerp – Europese richtlijn);
- EN 14015 (tank ontwerp – Europese norm);
- API 650 (tank ontwerp – Amerikaanse norm);
- Fugro archief;
- Fugro collega's.

De lijst met bronnen wordt tijdens het afstuderen aangevuld.

Begrippen

Richtlijn = voorschrift hoe de werkzaamheden (bijv. berekening) uitgevoerd moeten worden.

PGS 29 = Publicatie Gevaarlijke Stoffen. Richtlijn voor bovengrondse opslag van brandbare vloeistoffen in verticale cilindrische tanks.

Opgesteld door Publicatie Gevaarlijke Stoffen 29, d.d. 7 oktober 2008.

EEMUA = Europese richtlijn voor bovengrondse opslagtanks.

Opgesteld door EEMUA Publication 183, d.d. 2011.

Opslagtank = bovengrondse verticale cilindrische houder, waarop de tankbodem op een fundering rust.

Tankterp = de fundering van een opslagtank

Fundering = ondergrond waarop het bouwwerk (tank) rust.

Sondering = bij het maken van een sondering wordt een conusvormige sonde verticaal met een vaste snelheid de grond in gedrukt. Tijdens het drukken worden de eigenschappen van de grond gemeten. Door middel van een grafiek kan worden bekeken wat de bodemopbouw is.

Steenlagring = voor het realiseren van de tankterp, wordt een steenlagring gebruikt. Steenlag is gebroken steen.

Stabiliteit = Evenwicht van de grondlichamen.

D-Serie = rekenprogramma's ontwikkeld door Deltares, om o.a. de stabiliteit van taluds te berekenen of een fundering.

Plaxis = 2D / 3D model eindige-elementenprogramma om betere berekeningen te maken betreffende de grondverplaatsing, spanningen en krachtsverdeling.

De lijst met begrippen wordt tijdens het afstuderen aangevuld.

Bijlage 1
Planning

Tijdsbeslag (in weken)	29 dec. t/m 4 jan	5 jan t/m 11 jan	12 jan t/m 18 jan	19 jan t/m 25 jan	26 jan t/m 1 feb	2 feb t/m 8 feb	9 feb t/m 15 feb	16 feb t/m 22 feb	23 feb t/m 1 mrt	2 mrt t/m 8 mrt	9 mrt t/m 15 mrt	16 mrt t/m 22 mrt	23 mrt t/m 29 mrt	30 mrt t/m 5 apr	6 apr t/m 12 apr	13 apr t/m 19 apr	20 apr t/m 26 apr	27 apr t/m 3 mei	4 mei t/m 10 mei	11 mei t/m 17 mei	18 mei t/m 24 mei	25 mei t/m 31 mei	1 juni t/m 7 juni	8 juni t/m 14 juni	15 juni t/m 21 juni	22 juni t/m 28 juni	29 juni t/m 5 juli
Kalenderweken	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Lesweken (school)																											
Taken																											
Oriëntatiefase																											
Startdocument																											
Plan van Aanpak																											
Goedkeuring Plan van Aanpak																											
Starten afstuderen																											
Analysefase																											
Literatuurstudie*																											
Richtlijnen bekijken																											
Afmetingen herleiden tank 10 en 20 m hoog																											
(Concept) rapportage opstellen																											
Bodemprofielen maken 10 en 20 m hoog																											
Berekeningen maken 10 en 20 m hoog																											
Tussentijds verslag																											
Oplossingsfase																											
Uitgangspunten																											
Bodemprofielen voor 25,30 en 35 m																											
Berekeningen uitvoeren Plaxis en Dstab																											
Implementatiefase																											
Implementatie uitvoeren berekeningen																											
Oplossingen uitwerken																											
Concept eindverslag																											
Afrondingsfase																											
Goedkeuring (groen licht)																											
Eindrapport																											
Eindpresentatie																											
CD-rom / USB																											
Overleg momenten																											
Overleg afstudeerbegeleider																											
Overleg bedrijfsbegeleider																											

= mee bezig zijn

= klaar

* = tijdschriften, bladen, websites tankconstructeurs, richtlijnen bekijken etc.

Nader te bepalen met afstudeerbegeleider