



Memo

Aan
Harm Rinkel

| | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Datum | Ons kenmerk | Aantal pagina's |
| 14 december 2018 | 11202225-005-GEO-0010 | 17 |
| Contactpersoon | Doorkiesnummer | E-mail |
| Mark van der Krogt | +31(0)88 335 7268 | Mark.vanderKrogt@deltares.nl |

Onderwerp
Consistentie Tool

| Versie | Datum | Auteur | Paraaf | Review | Paraaf | Goedkeuring | Paraaf |
|--------|--------------|------------------------|--------|--------------------|--------|--------------|--------|
| 1 | 12 dec. 2018 | ir. M.G. van der Krogt | | ing. A. van Duinen | | ir. L. Voogt | |

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Op 1 januari 2017 is het Wettelijk Beoordeling Instrumentarium (WBI 2017) in werking getreden. Voor het faalmechanisme macrostabiliteit betekent dit de overstap naar het toepassen van het SHANSEP model voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterke van de slecht doorlatende grondlagen. In het SHANSEP model wordt de ongedraineerde schuifsterkte berekend op basis van de effectieve spanning, de ongedraineerde schuifsterkte ratio S en sterkte-toename exponent m . Daarnaast wordt de maat van spanningsgeschiedenis van de grond (door voorbelasting of kruip en rijping) meegenomen door middel van OCR/grensspanning/POP.

De parameters S , m en de maat van voorbelasting kan worden afgeleid van laboratorium proeven. Voor het opstellen van proevenverzamelingen zijn sinds een aantal jaren spreadsheets in gebruik bij Deltares en waterschappen. De spreadsheets zijn verkrijgbaar via de Helpdesk Water. De memo "1220132-003-GEO-0002-m-def-Bepaling karakteristieke waarden schuifsterkte parameters" (Calle & van Duinen, 2016) geeft een beschrijving van de achtergronden en uitleg over de toegepaste regressieanalyse.

Naast de SHANSEP parameters, wordt in WBI ook gebruikt gemaakt van sonderingen om de ongedraineerde sterkte af te leiden. Dit gebeurt door middel van een project-specifiek afgeleide relatie (Nkt factor) tussen genormaliseerde conusweerstand (uit sonderingen) en ongedraineerde schuifsterkte (uit overgeconsolideerde laboratorium proeven). Om dit werkproces te ondersteunen zijn in 2017 door Deltares tools ontwikkeld voor het afleiden van de correlatiefactor (Nkt Tool, versie 1.0) en voor de afleiding van de ongedraineerde schuifsterkte uit sonderingen (CPT Tool, versie 1.1). Zie Van der Krogt & Teixeira (2018) voor meer achtergrond over de beschikbare tools.

Het is van belang dat de berekende ongedraineerde schuifsterkte van beide manieren ((1) berekend volgens SHANSEP en (2) via de relatie met sonderingen) consistent met elkaar zijn. Vaak vereist dit een aantal iteratieve stappen om te komen tot een consistente set van (karakteristieke waarden van) parameters. Om het proces van consistent maken te

ondersteunen is een nieuwe tool ontwikkeld, welke de resultaten van laboratorium proeven en meerdere geanalyseerde sonderingen van een project gezamenlijk toont. Ook de functionaliteit van de Nkt tool is hierin geïntegreerd, waardoor de Nkt tool op termijn kan vervallen.

Dit memo beschrijft de functionaliteit en achtergrond van de analyses welke in de Consistentie Tool worden gemaakt. De tool is projectsoftware en heeft geen officiële status. De tool is op dit moment nog niet officieel getest met benchmarks, zoals de hierboven genoemde spreadsheets. Dit wordt echter wel aanbevolen. Daarmee is het gebruik van de software en de verkregen gegevens middels deze tools voor risico van de gebruiker. De gebruiker heeft geen recht op garantie, onderhoud en ondersteuning bij het gebruik maken van deze tools.

1.2 Leeswijzer

In dit memo wordt eerst ingegaan op de installatie, vervolgens volgt een algemene functionaliteitsbeschrijving en worden de functies van de afzonderlijke knoppen toegelicht. Hierna wordt een toelichting gegeven op de workflow van het werkproces en de beperkingen van de huidige functionaliteit.

Voor de theorie (bijvoorbeeld m.b.t. het gedrag, regressie en statistische methoden) wordt verwezen naar de relevante achtergronddocumentatie, zoals de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016).

2 Installatie

De Consistentie tool is een aanvulling op de reeds bestaande CPT en Nkt tools. De Consistentie Tool maakt alleen gebruik van met de CPT Tool geanalyseerde bestanden, waardoor ook installatie van de CPT Tool benodigd is. De Consistentie Tool is ontwikkeld in dezelfde programmeeromgeving en maakt dus gebruik van dezelfde achtergrondbestanden als de CPT Tool en Nkt Tool. De installatie van de Consistentie Tool is gelijk aan de installatie van de CPT Tool; hiervoor wordt verwezen naar de handleiding van de CPT en Nkt tools (Van der Krogt & Teixeira, 2018)

3 Functionaliteitsbeschrijving

3.1 Overzicht user interface

De user interface van de Consistentie Tool bestaat uit één venster, zie Figuur 3.1. Met kleuren is aangegeven welke functies bepaalde onderdelen in het venster hebben.

Invoer:

- Selectie invoermap met CPT Tool bestanden (*.ctp).
- Selectie van materiaal.

Geïmporteerde data:

- Tabel 1: su metingen (lab) uit *.ctp files¹.
- Tabel 2: grensspanning metingen (lab) uit *.ctp files.
- Tabel 3: CPT metingen (gemiddeld over laagdikte) uit *.ctp files.

Uitvoergrafieken:

- Linksboven: Effectieve spanning σ'_v versus ongedraineerde schuifsterkte s_u .
- Rechtsboven: Genormaliseerde conusweerstand q_{net} versus ongedraineerde schuifsterkte s_u .
- Linksonder: OCR versus ongedraineerde schuifsterkte genormaliseerd voor effectieve spanning s_u/σ'_{vc} .

Materiaalparameters:

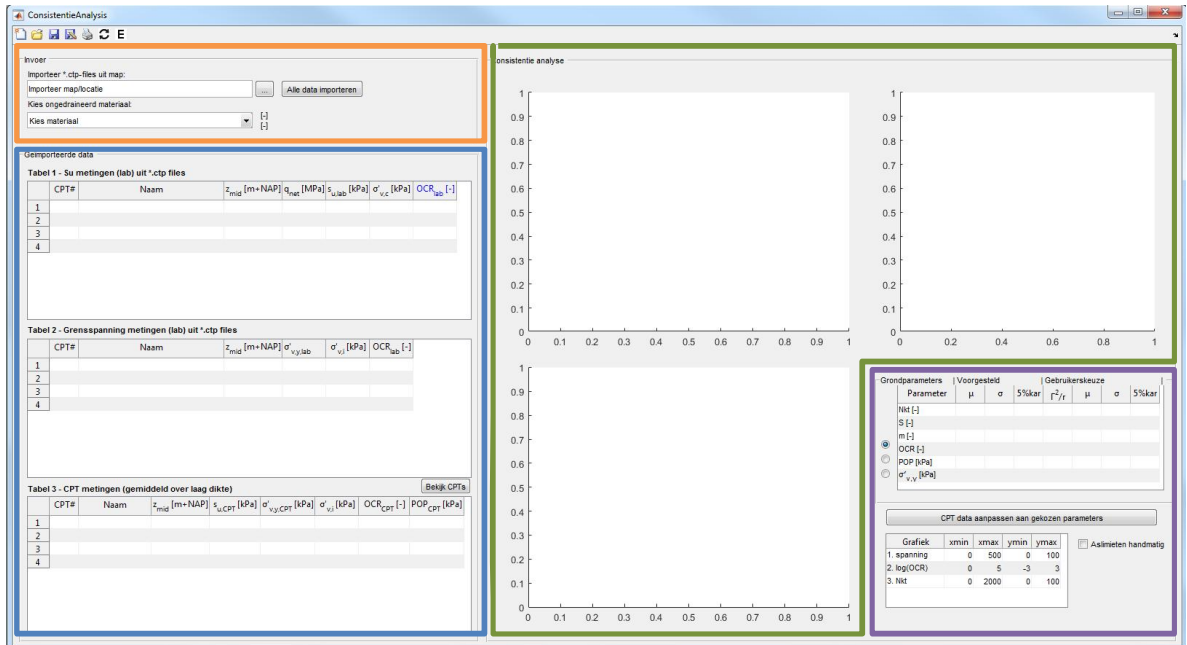
De consistentietool doet op basis van analyse van de ingevoerde data een aantal voorstellen voor parameters:

- Voorstel Nkt op basis van sonderingen en laboratorium resultaten.
- Voorstel S en m op basis van laboratoriumproeven NC en OC.
- Voorstel OCR/POP/grensspanning op basis van OCR_{lab} data.

Daarnaast is er de mogelijkheid om:

- Nkt, S, m waarde in *.ctp files aan te passen en opnieuw te berekenen, zie paragraaf 3.6.3.
- De aslimieten van de grafieken handmatig in te stellen.








¹ De laatste kolom (OCR_{lab}) is leeg en moet door de gebruiker worden ingevuld/aangevuld, zie paragraaf 0.




Figuur 3.1 Overzicht User interface Consistentie Tool

3.2 Taakbalk:

De taakbalk van de Consistentie Tool bevat de volgende functionaliteiten:

-  Reset alle gebruikers invoer in het huidige project.
-  Open een bestaand Consistentie Analyse Project bestand (*.cap).
-  Sla een bestaand Consistentie Analyse Project bestand op (*.cap).
-  Opslaan als Consistentie Analyse Project bestand (*.cap).
-  Maak een afdruk van het huidige venster naar pdf.
-  Update de grafieken handmatig.
-  Exporteer alle gegevens uit Tabellen 1, 2 en 3 naar een Excel spreadsheet (*.xls).

Nadere toelichting:

 Reset alle gebruikers invoer in het huidige project.


- Reset de door alle waarden in kolom OCR_{lab} in Tabel 1.
- Reset de Gebruikerskeuze voor Γ^2 , r , μ , σ voor Nkt, S, m, OCR, POP en grensspanning.

 Open een bestaand Consistentie Analyse Project bestand (*.cap):

- Open een bestand met opgeslagen gegevens van Tabellen 1, 2 en 3 en de gebruikerskeuze van parameters.

 *Sla een bestaand Consistentie Analyse Project bestand op (*.cap):*

- Sla het huidige project op met gegevens van Tabellen 1, 2 en 3 en de gebruikerskeuze van parameters.

 *Opslaan als Consistentie Analyse Project bestand (*.cap):*

- Sla het huidige project op onder een nieuwe naam.

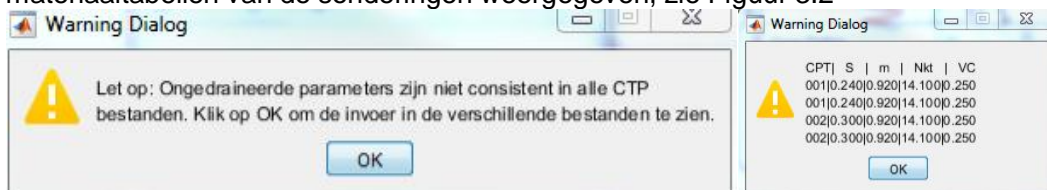
 *Maak een afdruk van het huidige venster naar pdf:*

- Opent een nieuw venster voor de opslag locatie en slaat het figuur op als pdf bestand.

3.3 Invoer gegevens (Figuur 3.3)

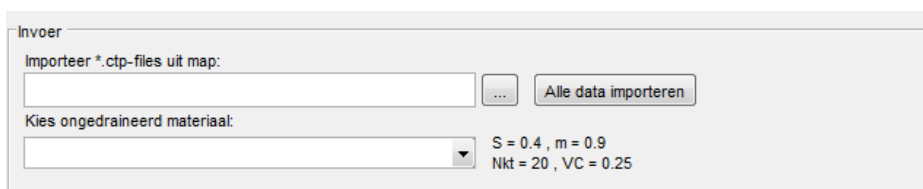
De functie “Alle data importeren” importeert alle CPT Tool bestanden (*.ctp) uit de vooraf aangegeven map. Alle geanalyseerde sonderingen worden ingelezen, inclusief laagscheidingen en materiaaltabellen. Daarnaast worden de opgeslagen laboratorium resultaten (su metingen en grensspanningsmetingen) geïmporteerd vanuit de *.ctp bestanden. De resultaten voor alle grondsoorten worden weergegeven in de Tabellen 1, 2 en 3.

Opmerking: Wanneer de materiaalparameters in de afzonderlijke geanalyseerde sonderingen (*.ctp bestanden) niet consistent zijn, wordt een melding gegeven en worden de materiaaltabellen van de sonderingen weergegeven, zie Figuur 3.2



Figuur 3.2 Melding bij inconsistente materiaalparameters

Met het drop-down menu “Kies ongedraineerd materiaal” kan een selectie van een bepaald materiaal gemaakt worden (Figuur 3.3). Wanneer een materiaal gekozen is, worden ook de gebruikte materiaalparameters S, m, N_{kt} en VC_{su} uit de CPT Tool bestanden getoond.



Figuur 3.3 Overzicht deelscherm “Invoer”

3.4 Geïmporteerde data

De geïmporteerde data wordt weergegeven in de Tabellen 1, 2 en 3. In onderstaande paragrafen wordt uitgelegd welke gegevens worden getoond

| Kolom | Symbool | Parameter | Eenheid |
|-------|-----------------|--|---------|
| 1 | CPT# | Volgnummer *.ctp file | - |
| 2 | Naam | Naam van de su meting: | - |
| 3 | z_{mid} | z-coördinaat van het midden van het monster | m+NAP |
| 4 | q_{net} | Genormaliseerde conusweerstand op het z-coördinaat, gemiddeld over de dikte van het proefstuk (afhankelijk van DSS of TXC test) | MPa |
| 5 | $s_{u,lab}$ | Ongedraineerde schuifsterkte uit laboratorium proef (DSS of TXC) | kPa |
| 6 | $\sigma'_{v,c}$ | Consolidatiespanning bij afschuifproef | kPa |
| 7 | OCR_{lab} | Handmatige invoer voor de OCR bij overgeconsolideerde monsters. De OCR kan worden gematcht aan gegevens uit kolom 5 van Tabel 2. Voor NC monsters, wordt automatisch de waarde 1 voor de OCR ingevuld. | - |

Tabel 1: su metingen (lab) uit *.ctp files

De naam van de su meting is als volgt opgebouwd op basis van de **ingegeven informatie uit de *.ctp-file**: <Monsternaam>_<Materiaalnaam>_<Soort proef>_<NC of OC>.

Let op dat q_{net} in MPa wordt gebruikt en s_u en grensspanning in kPa.

3.4.1

| Kolom | Symbool | Parameter | Eenheid |
|-------|---------------------|--|---------|
| 1 | CPT# | Volgnummer *.ctp file | - |
| 2 | Naam | Naam van de grensspanning meting: | - |
| 3 | z_{mid} | z-coördinaat van het midden van het monster | m+NAP |
| 4 | $\sigma'_{v,y,lab}$ | Grensspanning uit laboratoriumproeven | kPa |
| 5 | $\sigma'_{v,i}$ | Inschatting effectieve spanning uit laboratoriumproeven | kPa |
| 6 | OCR_{lab} | OCR afgeleid van uit grensspanning en effectieve spanning uit laboratoriumproeven: $OCR_{lab} = \sigma'_{v,y,lab} / \sigma'_{v,i}$ | - |

Tabel 2: grensspanning metingen (lab) uit *.ctp files

De naam van de grensspanning meting is als volgt opgebouwd op basis van de **ingegeven informatie uit de *.ctp-file**: <Monsternaam>_<Materiaalnaam>_<Soort proef>

3.4.2

| Kolom | Symbool | Parameter | Eenheid |
|-------|---------------------|--|---------|
| 1 | CPT# | Volgnummer *.ctp file | - |
| 2 | Naam | Naam van de CPT meting: | - |
| 3 | z_{mid} | z-coördinaat van het midden van de grondlaag | m+NAP |
| 4 | $s_{u,CPT}$ | Ongedraineerde schuifsterkte uit sondering: $s_{u,CPT} = q_{net}/N_{kt}$ | kPa |
| 5 | $\sigma'_{v,y,CPT}$ | Grensspanning teruggerekend uit sondering op basis van de SHANSEP formulering: $s_u = \sigma'_{v,i} \cdot S \cdot (\sigma'_{v,y}/\sigma'_{v,i})^m$ | kPa |
| 6 | $\sigma'_{v,i,CPT}$ | Geschematiseerde effectieve spanning in de CPT Tool | kPa |
| 7 | OCR_{CPT} | OCR teruggerekend uit sondering op basis van de SHANSEP formulering: $s_u = \sigma'_{v,i} \cdot S \cdot (OCR)^m$ | - |
| 8 | POP_{CPT} | POP teruggerekend uit sondering op basis van de SHANSEP formulering: $s_u = \sigma'_{v,i} \cdot S \cdot ((\sigma'_{v,i} + POP)/\sigma'_{v,i})^m$ | kPa |

Tabel 3: CPT metingen (gemiddeld over laagdikte) uit *.ctp files

De naam van de sondering is als volgt opgebouwd op basis van de **ingegeven informatie uit de *.ctp-file**: CPT_<Materiaalnaam>_<Sondering naam>

Opmerking: de waarden in kolommen 4 t/m 8 zijn allen gemiddelde waarden over de laagdikte. Dit betekent dat de uitmiddeling van verticale variatie al is verdisconteerd in de in de tabel genoemde waarden. Dat betekent dat de waarden uit Tabel 3 niet zomaar vergeleken kunnen worden met de waarden van de corresponderende parameters uit Tabel 1 en Tabel 2, welke puntmetingen betreffen.

Opmerking: de waarden voor effectieve spanning bij een laboratoriummonster kan anders zijn dan de geschematiseerde effectieve spanning in een sondering. De gebruiker dient zelf te oordelen of de mogelijke verschillen acceptabel zijn. De tool geeft hier momenteel geen ondersteuning in.

3.5 Beschrijving grafieken

Deze sectie beschrijft welke gegevens geplot worden in de grafieken in de Consistentie Tool

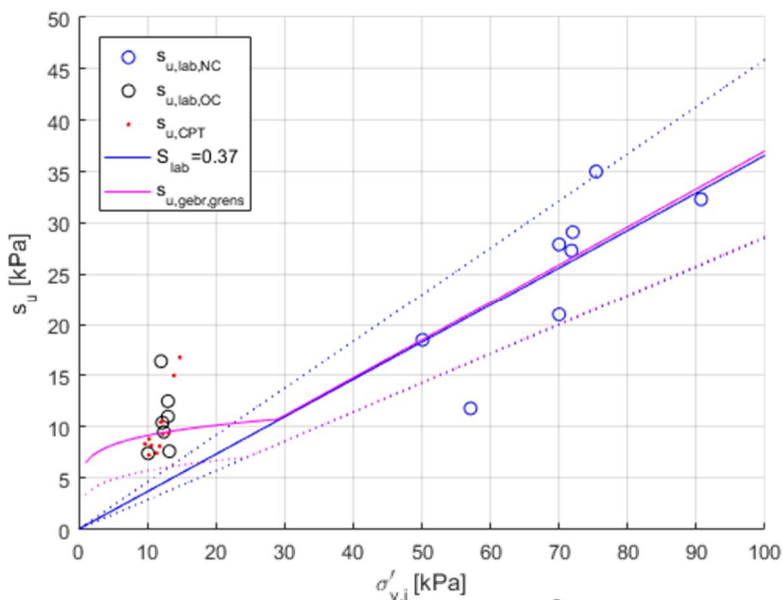
3.5.1 Spanning versus schuifsterkte (Figuur 3.4)

In de grafiek linksboven, worden voor het geselecteerde materiaal de su metingen geplot tegen de effectieve spanning. Er worden drie metingen verschillende metingen geplot:

- Schuifsterkte van overgeconsolideerde (OC) laboratorium proeven. Deze worden geplot tegen de in het laboratorium opgelegde consolidatiespanning (verticale effectieve spanning) . (kolommen 5 en 6 in Tabel 1).
- Schuifsterkte van normaal geconsolideerde (NC) laboratorium proeven. Deze worden geplot tegen de in het laboratorium opgelegde consolidatiespanning (verticale effectieve spanning). (kolommen 5 en 6 in Tabel 1).
- Schuifsterkte van de in situ (overgeconsolideerde) schuifsterkte vanuit sonderingen. Deze worden geplot tegen de in de CPT tool geschematiseerde in situ verticale effectieve spanning. (kolommen 4 en 6 in Tabel 3).

Opmerkingen:

- Als er grote verschillen in horizontale afstand tussen de rode en zwarte punten zit, duidt dit op een groot verschil in de effectieve spanning in de sondeanalyse en de laboratoriumproeven (consolidatiespanning).
- De schuifsterkte uit sonderingen betreffen het gemiddelden over de laagdikte, terwijl de laboratorium resultaten puntmetingen binnen de laag betreffen. Hierdoor zijn beide waarden niet eenduidig met elkaar te vergelijken.
- De schuifsterkte uit sonderingen betreffen een beste schatting op basis van de sondeerrelatie met correlatiefactor N_{kt} . Hier is de transformatie onzekerheid (onzekerheid in N_{kt}) nog niet in verdisconteerd.



Figuur 3.4 Grafiek spanning tegen schuifsterkte

De lijnen in de grafiek hebben de volgende betekenis:

- NC-lijn (normaal geconsolideerd): $s_u = \sigma'_{v,i} \cdot S$, waarbij S het numeriek gemiddelde is van alle NC monsters: $(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_u / \sigma'_{v,c})$ voor ieder NC monster).
- SHANSEP lijn $s_u = \sigma'_{v,i} \cdot S \cdot OCR^m$, waarbij voor S en m de door de gebruiker ingevulde waarden zijn gebruikt (Tabel materiaalparameters). Afhankelijk van de gebruikerskeuze wordt in de lijn een constante OCR, POP of grensspanning gebruikt. Dit veroorzaakt andere verlopen van de schuifspanning afhankelijk van de effectieve spanning. Hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 3.6.2 en Figuur 3.9.

Met stippellijnen zijn de NC en SHANSEP lijn met 5% karakteristieke boven- en ondergrenswaarden getekend. Voor de berekening van deze karakteristieke waarden wordt verwezen naar paragraaf 3.6.1.

3.5.2 Genormaliseerde conusweerstand versus schuifsterkte (Figuur 3.5)

In de grafiek rechtsboven, worden voor het geselecteerde materiaal de overgeconsolideerde s_u metingen uit het laboratorium geplotted tegen de lokale genormaliseerde conusweerstand van de sondering. (kolommen 5 en 4 in Tabel 1). Omdat de koppeling s_u meting met sondering al

Datum
12 december 2018

Ons kenmerk
11202225-005-GEO-0010

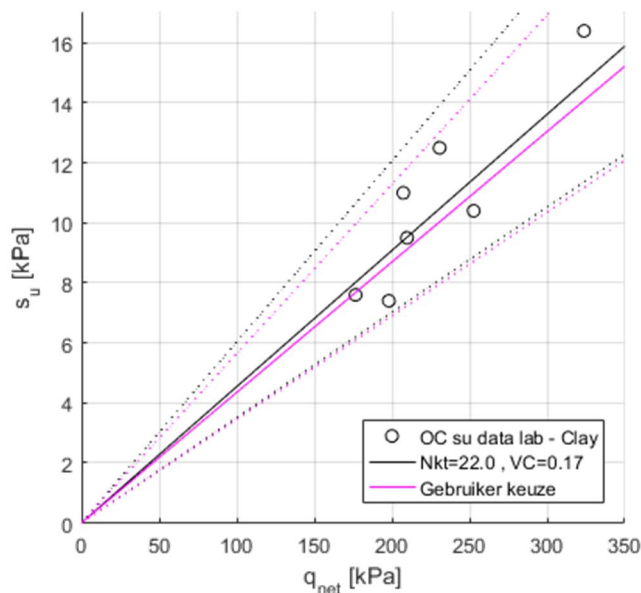
Pagina
9 van 17

gemaakt is in de CPT Tool, kunnen meerdere dataparen eenvoudig worden geplot. Omdat we dezelfde schuifsterkte proeven als in de eerste grafiek gebruiken (paragraaf 3.5.1), wordt ook hetzelfde symbool gebruikt: ○.

De lijnen in de grafiek hebben de volgende betekenis:

- Relatie $s_u = q_{net}/N_{kt}$ waarbij de N_{kt} is afgeleid op basis van de punten in de grafiek. De waarde van N_{kt} is hier het gemiddelde van de lognormale verdeling van s_u , welke gefit is op de individuele meetpunten: $N_{kt,i} = q_{net,i}/s_u$.
- Relatie $s_u = q_{net}/N_{kt}$ voor de gebruikerskeuze voor N_{kt} .

Met stippellijnen zijn de lijnen voor het 90% betrouwbaarheidsinterval (5% hoog en 5% laag karakteristieke waarden) getekend. Voor de berekening van deze karakteristieke waarden wordt verwezen naar paragraaf 3.6.1.



Figuur 3.5 Grafiek genormaliseerde conusweerstand tegen schuifsterkte

3.5.3 OCR versus schuifsterkte, genormaliseerd met de effectieve spanning (Figuur 3.6)

In de grafiek linksonder, wordt de schuifsterkte (genormaliseerd met de effectieve spanning $s_{u,lab}/\sigma'_{vc}$) geplot tegen de OCR. Omdat dezelfde schuifsterkte proeven gebruikt worden als in de eerste grafiek (paragraaf 3.5.1) worden dezelfde symbolen gebruikt: ○, ○ en • :

- De door de gebruiker ingevoerde OCR uit Tabel 1 tegen de schuifsterkte van overgeconsolideerde (OC) laboratorium proeven gedeeld door de in het laboratorium opgelegde consolidatiespanning (kolom 7 versus kolom 5 gedeeld door kolom 6 in Tabel 1).
- De door de gebruiker ingevoerde OCR (= 1,0) uit Tabel 1 tegen de schuifsterkte van normaal-geconsolideerde (NC) laboratorium proeven gedeeld door de in het laboratorium opgelegde consolidatiespanning (kolom 7 versus kolom 5 gedeeld door kolom 6 in Tabel 1).
- De uit de sondering teruggerekende OCR (volgens de SHANSEP relatie) tegen de in situ schuifsterkte van de sondering gedeeld door de in situ verticale effectieve

Datum
12 december 2018

Ons kenmerk
11202225-005-GEO-0010

Pagina
10 van 17

spanning, gemiddeld over de laag (kolom 7 versus kolom 5 gedeeld door kolom 6 in Tabel 1).

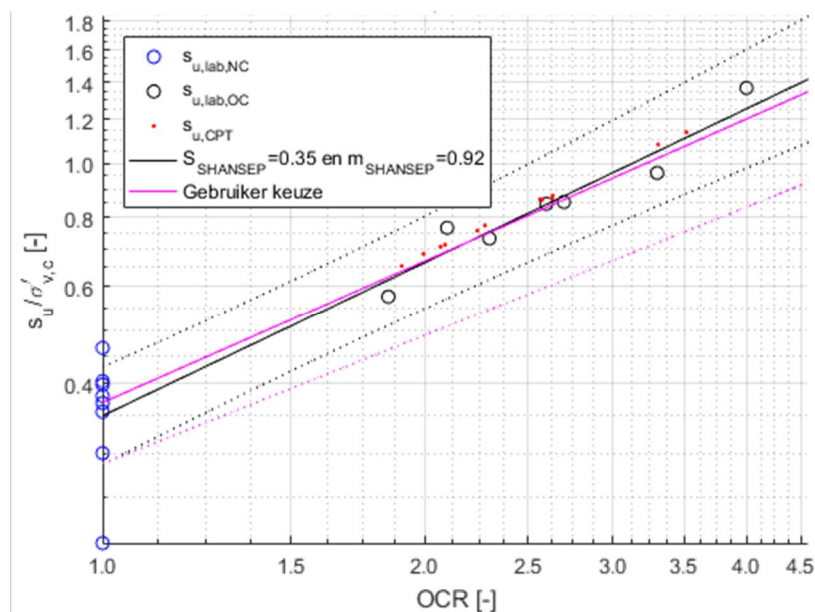
De waarden worden op logaritmische schaal geplott, omdat de SHANSEP relatie lineair is op een logaritmische schaal, zie onderstaand:

$$\begin{aligned}\frac{s_u}{\sigma_v'} &= S \cdot OCR^m \\ \log\left(\frac{s_u}{\sigma_v'}\right) &= \log(S \cdot OCR^m) \\ \log\left(\frac{s_u}{\sigma_v'}\right) &= \log(S) + \log(OCR^m) \\ \log\left(\frac{s_u}{\sigma_v'}\right) &= \log(S) + m \cdot \log(OCR)\end{aligned}$$

Op basis van de blauwe en zwarte punten, wordt de S en m parameter en de bijbehorende onzekerheid door de Consistentie Tool afgeleid. Hiervoor wordt lineaire regressie conform het memo "1220132-003-GEO-0002-m-def-Bepaling karakteristieke waarden schuifsterkte parameters" (Calle & van Duinen, 2016) toegepast. Deze combinatie van S en m wordt weergegeven met een zwarte lijn.

De gestippelde lijnen geven hier het 90% betrouwbaarheidsinterval aan (5% hoge en 5% lage karakteristieke waarde).

De roze lijn geeft de SHANSEP relatie tussen OCR en genormaliseerde schuifspanning aan voor de door de gebruiker ingevulde waarde in de tabel met materiaalparameters.



Figuur 3.6 Grafiek OCR versus genormaliseerde schuifsterkte

Opmerking: De OCR van sonderingen wordt teruggerekend uit de ongedraineerde schuifsterkte van sonderingen. Deze terugrekening gebeurt op basis van S en m , waardoor de rode punten nagenoeg op een rechte lijn liggen, wanneer dezelfde waarden voor S en m

gebruikt worden. In paragraaf 3.6.3 wordt verder ingegaan op de mogelijkheid om de waarden van Nkt, S en m in de afzonderlijke sonderingen aan te passen.

3.5.4 Asbereik aanpassen

Met het vinkje “Aslimieten handmatig”, zie Figuur 3.7, kunnen de asbereiken van de drie grafieken worden vastgezet, om bijvoorbeeld op een bepaald bereik te focussen. Hiervoor kan de tabel als invoerveld gebruikt worden. Als het vinkje uit staat, worden de aslimieten automatisch bepaald.

| Grafiek | xmin | xmax | ymin | ymax |
|-------------|------|------|--------|--------|
| 1. spanning | 0 | 100 | 5 | 35 |
| 2. log(OCR) | 1 | 4 | 0.2067 | 1.3667 |
| 3. Nkt | 150 | 350 | 0 | 17 |

☐ Aslimieten handmatig

Figuur 3.7 Aslimieten handmatig of automatisch instellen.

3.6 Beschrijving berekeningen materiaalparameters

In de bovenstaande grafieken is al een beschrijving gegeven van de door de Consistentie Tool voorgestelde parameters en de gebruikerskeuze voor de parameters. In deze paragraaf gaan we iets dieper in op de precieze berekening van de waarden die in de tabel met materiaalparameters worden weergegeven (Figuur 3.8).

| Grondparameters | | Voorgesteld | | | Gebruikerskeuze | | | |
|---|--|-------------|----------|-------|-----------------|-------|----------|-------|
| Parameter | | μ | σ | 5%kar | Γ^2/r | μ | σ | 5%kar |
| Nkt [-] | | 22.03 | 3.65 | 17.24 | 0.75 | | | |
| S [-] | | 0.37 | 0.11 | 0.29 | 0.25 | | | |
| m [-] | | 0.85 | 0.13 | 0.75 | 0.25 | | | |
| <input checked="" type="radio"/> OCR [-] | | 2.84 | 1.28 | 1.92 | 0.25 | | | |
| <input type="radio"/> POP [kPa] | | 20.15 | 11.64 | 12.15 | 0.25 | | | |
| <input type="radio"/> $\sigma'_{v,y}$ [kPa] | | 29.99 | 7.97 | 23.92 | 0.25 | | | |

CPT data aanpassen aan gekozen parameters

Figuur 3.8 Tabel met materiaalparameters.

3.6.1 Voorgestelde parameters

In kolommen 2 en 3 worden door het programma voorstellen gedaan voor de gemiddelde waarde (μ) en standaardafwijking (σ) van de grondparameter, zie Figuur 3.8. Het betreffen hier de parameters voor de lognormale verdeling. Om te verdisconteren voor een (beperkt) aantal samples kan de Student-T verdeling gebruikt worden. In de huidige tool wordt een pragmatische oplossing gebruikt, waarbij het gemiddelde en de standaardafwijking van de lognormale verdeling zo worden afgeregeld dat de gemiddelde waarde en karakteristieke waarden van de lognormale verdeling gelijk zijn aan die van de Student-T verdeling (Schweckendiek et al, 2017). Zie Van der Meer (2018) voor een gedetailleerde beschrijving van de berekening van deze ‘equivalente standaardafwijking’.

Hieronder wordt beschreven welke gegevens worden gebruikt door de Consistentie Tool voor het voorstel voor de grondparameters. De berekening van de gemiddelde en standaardafwijking in N_{kt} , S , en m komt overeen met de in het “Voorbeeld Schuifsterkteschematisering” beschreven werkwijze (Van der Meer, 2018).

- N_{kt} : lognormale verdeling bepaald op basis van puntwaarden. Dat betekent dat voor ieder datapaar de waarde voor N_{kt} wordt berekend ($q_{net}/s_{u,lab,OC}$) en dat op deze puntwaarden een lognormale verdeling wordt gefit. Dit betreft de werkwijze volgens methode 2 in Bijlage B in Van der Meer, 2018.
- S : lognormale verdeling bepaald op basis van puntwaarden. Dat betekent dat voor ieder datapunt de waarde voor S wordt berekend ($s_{u,lab,NC}/\sigma'_{v,c}$) en dat op deze puntwaarden een lognormale verdeling wordt gefit. Dit betreft de werkwijze volgens Bijlage A in Van der Meer, 2018.
- m : lineaire regressie. Dat betekent dat conform het memo “1220132-003-GEO-0002-m-def-Bepaling karakteristieke waarden schuifsterkte parameters” (Calle & van Duinen, 2016) de m wordt afgeleid van regressie op de datapunten van de OC en NC laboratorium proeven in figuur log(OCR) vs. log(su/σ'_v). Dit betreft de werkwijze volgens Bijlage C in Van der Meer, 2018.
- OCR : lognormale verdeling bepaald op basis van puntwaarden voor OCR uit laboratoriumproeven van de grensspanning: OCR_{lab} . Dit betreft de werkwijze volgens Bijlage A in Van der Meer, 2018.
- POP : lognormale verdeling bepaald op basis van puntwaarden voor POP uit de laboratoriumproeven van de grensspanning: POP_{lab} . Dit betreft de werkwijze volgens Bijlage A in Van der Meer, 2018.
- $\sigma'_{v,y}$: lognormale verdeling bepaald op basis van puntwaarden voor grensspanning uit de laboratoriumproeven van de grensspanning: $\sigma'_{v,y,lab}$. Dit betreft de werkwijze volgens Bijlage A in Van der Meer, 2018.

Bepaling karakteristieke waarden

De 5%-karakteristieke waarde van de parameters wordt berekend volgens formule I.4 uit de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016), zie Vgl. (1.1). De factoren t_{n-1} en $1/n$ zijn in de Consistentie Tool al verwerkt in de standaardafwijking σ_x welke in de Tabel met materiaalparameters genoemd is.

Om rekening te houden met uitmiddeling van ruimtelijke variaties in de diepte, wordt de variantie reductie factor ($\Gamma^2 = 1 - \alpha$) toegepast. De voorgestelde parameters voor S , m , OCR , POP en grensspanning zijn afgeleid van puntmetingen, terwijl we voor stabiliteitsanalyses geïnteresseerd zijn in het ruimtelijk gemiddelde over een laagdikte. In de berekening van de karakteristieke waarde houden we hier rekening mee door default waarde voor de variantie reductie factor aan te houden: $\Gamma^2 = 1 - 0.75 = 0.25$, conform TRWG (TAW, 2001).

Voor N_{kt} geldt een soortgelijke aanpak. Hier gaat het echter om het aandeel willekeurige onzekerheid dat uitmiddelt, en het systematische deel van de onzekerheid welke overblijft. In dit geval is de Γ^2 vervangen door r_{sys} en wordt de default waarde van 0.75 gebruikt, zie vergelijking I.4 in de Schematiseringshandleiding (Rijkswaterstaat, 2016).

$$X_{gem, kar} = \exp\left(\mu_M - t_{n-1} \cdot \sigma_M \cdot \sqrt{\Gamma^2 + 1/n}\right) \quad (1.1)$$

$$\sigma_M^2 = \ln\left(1 + \left(\frac{\sigma_X}{\mu_X}\right)^2\right) \quad (1.2)$$

$$\mu_M = \ln(\mu_X) - \frac{1}{2}\sigma_M^2$$

$$\mu_X = \sum_{i=1}^{i=n} X_i \quad (1.3)$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \mu_X)^2}$$

Opmerkingen:

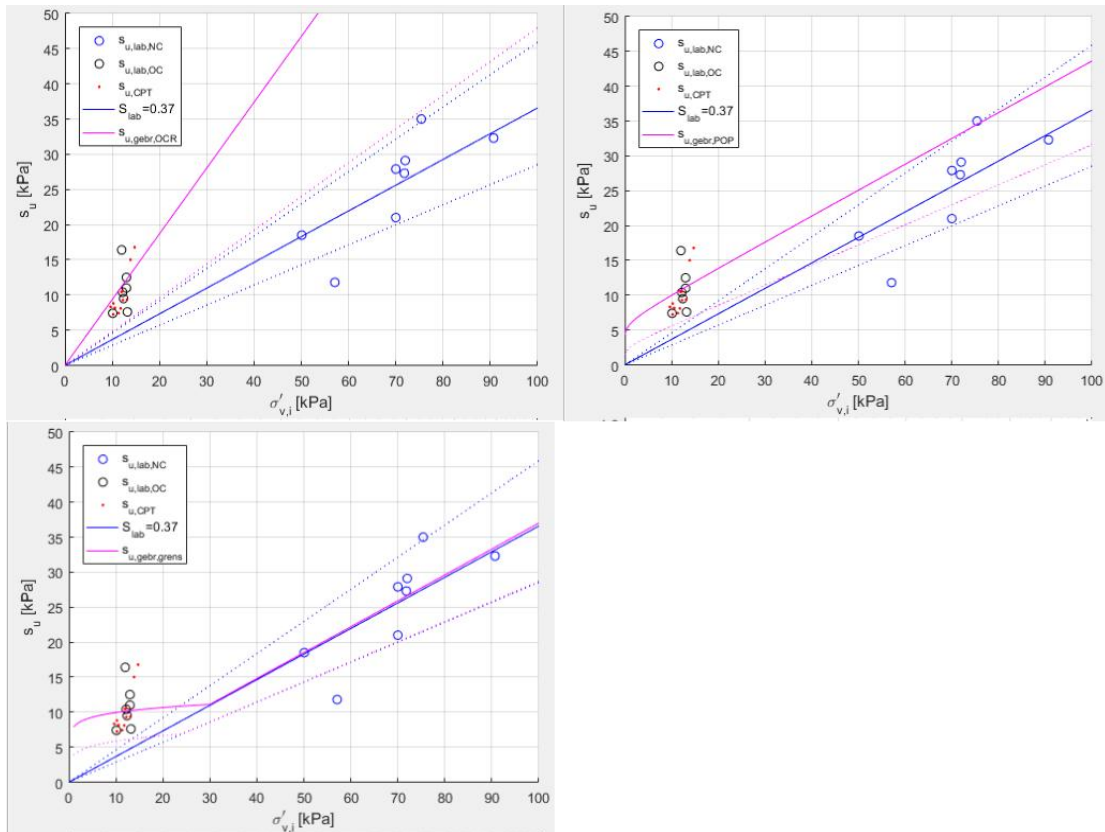
Bij het gebruik van een lokale waarde voor de grensspanning/OCR/POP, welke is teruggerekend van uit de schuifsterkte afgeleid uit sonderingen, wordt er al gerekend met een gemiddelde over de laagdikte en is variantie reductie niet meer van toepassing. Wel moet dan nog de transformatie onzekerheid verdisconteerd worden. De tool ondersteunt nog niet in het afleiden van de onzekerheden op basis van teruggerekende parameters uit sonderingen, omdat hier een diepere analyse van de relevante onzekerheden nodig is en waar ook de verschillen in uitmiddeling tussen laboratorium proeven en de laaggemiddelde waarde uit sonderingen worden meegenomen, zie hoofdstuk 6.

3.6.2 Gebruikerskeuze parameters

In het tweede deel van de tabel materiaalparameters (kolommen 5 tot en met 8) kunnen gebruikerskeuzes voor de verdelingsparameters worden ingevoerd. De karakteristieke waarde wordt op basis van de gekozen waarden berekend als aangegeven in vergelijking (1.1).

Naast de keuze voor een N_{kt} , S en m , kan ook gekozen worden tussen een constante OCR, POP of grensspanning. Dit kan worden aangeklikt met het keuzerondje voor de betreffende parameter. De keuze voor een constante OCR, POP of grensspanning beïnvloedt hoe de schuifsterkte verloopt afhankelijk van de effectieve spanning. Dit kan verschillend zijn per project en doel van de proevenverzameling.

Bijvoorbeeld, wanneer de proevenverzameling alleen lokale data bevat en we de sterktoename als gevolg van spanningstoename willen beschrijven (bijvoorbeeld bij een dijkverhoging) is een constante grensspanning logischer dan een constante POP of OCR. Terwijl wanneer we een proevenverzameling aanleggen met data over een groot gebied en een grote variatie in effectieve spanning (bijvoorbeeld voor een dijkbeoordeling), kan het logischer zijn om een POP of OCR te zoeken die over een bepaalde range van spanningen constant is. In de onderstaande figuren, is het verschil tussen een constante OCR, POP of grensspanning weergegeven, zie Figuur 3.9. De 5%-karakteristieke ondergrens van de schuifspanning is weergegeven met een gestippelde lijn.



Figuur 3.9 Verloop schuifspanning afhankelijk van effectieve spanning, bij modellering van een constante OCR (linksboven), POP (rechtsboven) of grensspanning (onder).

3.6.3 Aanpassen sondeanalyse

Via de knop “CPT data aanpassen aan gekozen parameters” kunnen de gemiddelde waarden voor N_{kt} , S en m worden weggeschreven naar de materiaaltabel in de individuele geanalyseerde sonderingen (*.ctp-bestanden). Vervolgens worden de CPT analyses op de achtergrond opnieuw gerund in de CPT Tool, waardoor nieuwe waarden voor de ongedraineerde schuifsterkte, OCR, grensspanning en POP worden berekend. Deze waarden worden opnieuw ingelezen in de Consistentie Tool en de geüpdatete punten worden geplott in de figuren. Het is dus niet nodig om handmatig de sonderingen aan te passen.

De ingeladen *.ctp bestanden worden overschreven, zonder dat eerst een waarschuwing wordt gegeven. Het wordt dus aanbevolen om de sonderingen naar een aparte werkmap alleen voor de Consistentie Tool te kopiëren.

4 Workflow

Dit hoofdstuk beschrijft de gewenste workflow voor het gebruik van de Consistentie Tool.

Vorbereiding:

- 1 Sondering inlezen in de CPT Tool en analyseren: (laagscheidingen, materialen met volumegewichten, waterspanningen, voorlopige parameters N_{kt} , S , m).
- 2 Toevoegen van laboratorium resultaten voor schuifsterkte en grensspanning per sondering in de CPT Tool.
- 3 Sonderingen (*.ctp bestanden) van een project opslaan in één map. Aanbevolen wordt om een kopie naar een werkmap te maken, zodat de originele bestanden niet overschreven worden door de Consistentietool.

Analyse Consistentie Tool

- 1 Inladen alle geanalyseerde sonderingen uit stap 3 in de Consistentie Tool.
- 2 Per materiaalselectie: controleren of de gegevens compleet en realistisch zijn: eventueel kunnen NaN waarden of extreem hoge of lage waarden zijn ingelezen. In dat geval is het goed om eerst terug te gaan naar de desbetreffende sondering in de CPT tool en de data aan te passen.
- 3 Handmatig matchen van **OCR waarden** (blauwe kolom in Tabel 1) op basis van grensspanningsmetingen uit Tabel 2.
- 4 Controleren voorstel voor N_{kt} , $S(NC)$ en $m(SHANSEP)$.
- 5 Indien gewenst Gebruikerskeuze voor N_{kt} , S en m invoeren in de materiaaltabel van de Consistentie Tool.
- 6 CPT analyses updaten met de gebruikerskeuze voor N_{kt} , S en m .

Hierna kan de consistentie van parameters gecontroleerd worden:

- Controleren in hoeverre de berekende schuifsterkte uit (meerdere) sonderingen overeenkomt met de schuifsterkte van overconsolideerde proeven. (grafiek linksboven):
 - De puntenwolken van schuifsterkte s_u uit sonderingen en schuifsterkte s_u uit laboratoriumproeven zouden op elkaar moeten liggen. Als er een (systematische) afwijking tussen de proeven en sonderingen is, zou een aanpassing in N_{kt} ertoe kunnen leiden dat de gegevens meer op elkaar zouden komen te liggen. Niet-systematische afwijkingen kunnen het gevolg zijn van schematiseringskeuzes in de CPT Tool, zoals laagdiktes, volumegewichten en verloop van de waterspanningen.
 - De spreiding in datapunten van schuifsterkte s_u uit sonderingen kan niet één op één worden vergeleken met de spreiding van s_u in lab resultaten, omdat de datapunten van sonderingen al uitgemiddeld zijn over de laagdikte, terwijl de datapunten van lab resultaten puntwaarden betreffen. Daarnaast zijn de datapunten verkregen via sonderingen ook nog onzeker, vanwege de transformatiefout in N_{kt} . Deze onzekerheid is op dit moment niet meegenomen in de Consistentie-Tool.

- Controleren in hoeverre de grensspanning/OCR/POP uit sonderingen overeenkomt met de OC lab resultaten. (grafiek linksonder).
 - Het is logisch dat de sonderingen hier op één lijn liggen, en ook gelijk aan de roze gebruikerskeuze lijn. Dit komt doordat de OCR is teruggerekend op basis van de gekozen S en m . De range van OCR waarden uit sonderingen en uit lab testen zou wel vergelijkbaar moeten zijn.
- Keuze maken wat het beste bij de data en het doel van proevenverzameling hoort: een constante grensspanning, OCR of POP.
 - Controleren of de geschematiseerde karakteristieke ondergrens past bij de resultaten uit sonderingen en labresultaten, rekening houdend met de grootte van de steekproef. Dit moet gelden voor alle grafieken.

5 Limitaties

- In de Consistentie tool kunnen lab gegevens (schuifsterkte, materiaalsoort) niet veranderd worden, dat moet gebeuren in de CPT Tool. Dit geldt ook voor het matchen van s_u lab resultaten aan een sondering in de CPT Tool. Bijvoorbeeld wanneer de sondering een lokale piek vertoont op de diepte waar het monster is genomen, kan dit een vreemd resultaat voor N_{kt} geven. De tool ondersteunt hier alleen in door dit inzichtelijk te maken in de grafiek (rechtsboven). De gebruiker zal een verantwoorde keuze moeten maken hoe om te gaan met dit datapunt, bijvoorbeeld door het datapunt niet te beschouwen of aan te passen. Dit moet handmatig in de CPT Tool gebeuren. In de tool is het ook niet mogelijk om proeven toe te wijzen aan andere materialen, bijvoorbeeld om op te splitsen in meerdere materialen per grondsoort, bijv. op basis van volumiek gewicht.
- Sterkte exponent m kan niet worden afgeleid van grensspanningsmetingen (omdat de a , b en c parameter niet zijn opgeslagen).
- De Consistentie Tool maakt nu alleen onderscheid op basis van het materiaal. De gebruiker is verantwoordelijk dat bij een analyse niet twee verschillen afschuifproeven (bijvoorbeeld Triaxiaal en DSS) of samendrukkingsproeven (Oedometer of (K0)-CRS) in een dataset door elkaar heen worden gebruikt bij de bepaling van bijvoorbeeld N_{kt} of S .
- Eenzelfde advies geldt voor de grensspanningsmetingen: hierbij is de gebruiker verantwoordelijk dat verschillende grensspanning bepalingsmethode (bijv. NEN, isotachen, punt B) door elkaar heen worden gebruikt in de analyse.
- De Consistentie Tool voorziet alleen in het consistent maken van parameters N_{kt} , S , m en grensspanning/OCR/POP voor een heel project. Voor lokale analyses zijn individuele sonderingen nodig.
- Het is wenselijk om de schuifsterkte uit sonderingen mee te nemen bij de keuze voor een POP, OCR of grensspanning per project, omdat vaak meer sonderingen beschikbaar zijn dan laboratoriumresultaten. Dit vergt echter ook een integrale beschouwing van de onzekerheden in de schuifsterkte uit sonderingen, waarbij ook de transformatiefout meegenomen wordt. Hierin de Consistentie Tool nog niet compleet.

6 Aanbevelingen

In de huidige versie van de Consistentie Tool is de basis gelegd voor het in samenhang bekijken van zowel NC, als OC lab resultaten evenals afgeleide parameters uit sonderingen.

Het wordt aanbevolen om de geïmplementeerde statistische methoden te verifiëren met bestaande data en spreadsheets. Het wordt aanbevolen om hiervoor een 'benchmark' te maken.

Daarnaast wordt aanbevolen om gebruikers deze versie te laten testen en de ervaringen mee te nemen bij de toekomstige ontwikkeling van deze of soortgelijke tools.

Om voor een proevenverzameling tot een goed gefundeerde parameter keuze komen, zullen de resultaten van zowel laboratorium proeven als sonderingen gebruikt moeten worden. Naast de implementatie hiervan in de tool, vergt dit ook een diepere analyse van de onzekerheden en uitmiddeling hiervan: ruimtelijke variatie, meetonzekerheden, transformatieonzekerheid. Deze analyse vormt een belangrijke basis voor het kwantificeren van de onzekerheden in de parameters en moet voorkomen dat onzekerheden dubbel geteld worden, wat kan leiden tot te conservatieve karakteristieke waarden.

7 Referenties

Calle, E.O.F. & van Duinen, T.A. (2016) Bepaling karakteristieke waarden schuifsterkte parameters. Deltares memo 1220132-003-GEO-0002.

Rijkswaterstaat (2016) Schematiseringshandleiding macrostabiliteit WBI 2017, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 1 december 2016.

Schweckendiek, T., Van der Krogt, M. Rijnveld, B. Teixeira, A. (2017) Handreiking faalkansanalyses macrostabiliteit. Deltares rapport 11200575-016.

TAW (2001). Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (TRWG), Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW)

Van der Krogt, M.G. & Teixeira, A. (2018) CPT en Nkt tools. Deltares rapport 11202225-005-GEO-0002.

Van der Meer, A. (2018). POVM Actuele Sterkte. Activiteit 9 – Voorbeeld Schuifsterkteschematisering. Concept, versie 1.0, oktober 2018.