

Innovatieve bepaling sterkteparameters
SAS - Planuitwerkingsfase - ontwerploop 0

**STERKE
LEKDIJK**

Salmsteke - Schoonhoven




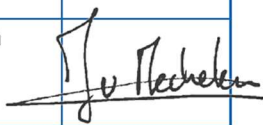


HOOGHEEMRAADSCHAP
**DE STICHTSE
RIJNLANDEN**

Colofon

Rapportgegevens	
Rapporttitel	Innovatieve bepaling sterkteparameters
Ondertitel	SAS - Planuitwerkingsfase - ontwerploop 0
DMS nummer:	
Versie:	2.0
Datum:	13 oktober 2023

Vrijgave:

Verantwoordelijkheid	Functie	Naam	Paraaf
Opsteller	Adviseur waterveiligheid	Stef Engels	
Verificateur	Senior adviseur waterveiligheid	Martin Arends	
Autorisatoren	Ontwerpleider innovaties	Yoeri Jongerius	
Vrijgever	Technisch manager	Jeroen van Mechelen	

Documenthistorie:

Versie	Datum	Toelichting
V0.1	23-05-2023	Concept voor klankbordgroep
V1.0	30-06-2023	Review verwerkt
V2.0	13-10-2023	Verslaglegging overleggen klankbordgroepen toegevoegd en toepassingsgebied STBI-2 verduidelijkt

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Poldermolen 2
030 634 57 00 **T**
sterkelekdijk@hdsr.nl **E**
hdsr.nl/sterkelekdijk **W**

STERKE LEKDIJK

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Doel van dit document	4
1.2	Innovatieproces	4
1.3	Leeswijzer	4
1.4	Plaats in het proces	4
2	Beoordeling labonderzoek	5
3	Uitwerking STBI-1	7
3.1	Uitwerking per proeftype	7
3.2	Uitwerking van sets van gelijke consolidatiespanning	11
3.3	Conclusie STBI-1	12
4	Uitwerking STBI-2	14
4.1	Uitwerking Su tabel bij 25% axiale rek (eindrek)	14
4.2	Uitwerking Su tabel bij 15% axiale rek	15
4.3	Toepassingsgebied Su tabel	17
4.4	Conclusie STBI-2	18
5	Effect van sterkte anisotropie	19
5.1	Sterkte anisotropie bij Klei Licht	19
5.2	Sterkte anisotropie bij Klei Zwaar	23
5.3	Conclusie sterkte anisotropie	24
6	Voorstel implementatie ontwerploop 0	25
6.1	Voorstel Klei Licht	25
6.2	Voorstel Klei Zwaar	26
6.3	Voorstel veen	26
6.4	Verschilanalyse methode gecombineerde set en zonering	27
7	Conclusies en aanbevelingen	30
7.1	Conclusies	30
7.2	Doorkijk naar overige deeltrajecten en vervolg	30
8	Referenties	31
Bijlage 1	Klankbordgroep en overleggen	
Bijlage 2	Voorbeeld spannings-rek verloop en spanningspaden bij beoordeling proeven	
Bijlage 3	Kwalitatieve beoordeling proeven	
Bijlage 4	Verslagen klankbordgroep overleggen	

1 Inleiding

1.1 Doel van dit document

Voor het Programma Sterke Lekdijk is innovatie een belangrijk middel om de programmadoelstellingen te realiseren. Binnen het programma zijn verschillende innovatieve rekenmethodieken benoemd in het Strategisch Ontwikkelplan Rekenmethodieken [Ref. 6] (hierna: SOR). Binnen het deelproject Salmsteke - Schoonhoven (hierna: SAS) worden enkele rekenmethodieken doorontwikkeld en waar mogelijk toegepast. De onderbouwing van de kansrijke rekenmethodieken voor SAS en de bijbehorende ontwikkelplannen zijn opgenomen in het document logboek innovatieve rekenmethodieken [Ref. 7].

Voorliggend rapport heeft betrekking op de onderstaande innovatieve rekenmethodieken, waarbij de codering is overgenomen uit het SOR [Ref. 6]:

- STBI 1 – Afleiden van sterkteparameters bij een lagere rek dan de eindrek
- STBI 2 – Toepassen van een Su tabel voor transitional soils

In [Ref. 7] is het ontwikkelplan voor bovenstaande rekenmethodieken uitgewerkt. Op basis hiervan is het ontwikkelbesluit genomen om deze ontwikkelingen uit te voeren. De resultaten van deze ontwikkelingen worden indien mogelijk toegepast bij de definitieve scopebepaling van deeltraject SAS (in ontwerploop 0).

1.2 Innovatieproces

In de eerste twee kwartaal van 2023 hebben in totaal vijf bijeenkomsten plaatsgevonden met een klankbordgroep om het proces ten aanzien van het ontwikkelen en toepassen van de rekeninnovaties te begeleiden. De samenstelling van de klankbordgroep en een overzicht van de bijeenkomsten is toegevoegd in Bijlage 1. De vastgestelde verslaglegging van de overleggen is toegevoegd in Bijlage 4. Dit rapport beschrijft de analyses en een advies ten behoeve van implementatie van de rekeninnovaties die zijn onderzocht in het kader van deeltraject SAS. Voor een uitgebreidere beschrijving van het innovatieproces wordt verwezen naar het ontwikkelplan [Ref. 7].

1.3 Leeswijzer

Allereerst in Hoofdstuk 2 een overzicht gegeven van het uitgevoerde labonderzoek en hoe de proeven individueel kwalitatief zijn beoordeeld. In Hoofdstuk 3 is de analyse en uitwerking van STBI-1 gepresenteerd. Hoofdstuk 4 bevat de analyse en uitwerking van STBI-2. In Hoofdstuk 5 is het effect van sterkte anisotropie beschouwd. Hoofdstuk 6 presenteert een voorstel tot implementatie van STBI-1 en STBI-2 binnen ontwerploop 0. Tot slot is in Hoofdstuk 7 de conclusie gepresenteerd.

1.4 Plaats in het proces

Dit document betreft een voorstel tot implementatie van een innovatieve rekenmethodiek binnen ontwerploop 0.

2 Beoordeling labonderzoek

Het totale labonderzoek bestaat uit onderzoek dat is gedaan in de verkenningsfase [Ref. 3] en aanvullend onderzoek dat is gedaan in de planuitwerkingsfase [Ref. 4]. In totaal zijn 187 sterkteproeven uitgevoerd bestaande uit:

- 68 OC Triaxiaalproeven;
- 34 NC Triaxiaalproeven;
- 55 OC DSS proeven;
- 12 NC DSS proeven;
- 18 Triaxiaal extensie proeven.

De proeven zijn allemaal uitgevoerd op klei zoals deze voorkomt binnen het deeltraject SAS. Er zijn twee soorten klei te onderscheiden:

- Klei Zwaar ($\gamma > 17,5 \text{ kN/m}^3$);
- Klei Licht ($\gamma < 17,5 \text{ kN/m}^3$).

Het onderscheid tussen Klei Zwaar en Klei Licht volgt uit de analyse van het grondonderzoek uit de verkenningsfase [Ref. 1]. Hierin is geconcludeerd dat de grondsoort Klei Licht over het algemeen voorkomt over de GLG van NAP -2,0 m.

Op voorhand zijn de uitgevoerde sterkteproeven beoordeeld op kwaliteit. Hierin is een onderverdeling gemaakt tussen goede, matige en slechte proeven. Een voorbeeld van een kwalitatief goede, matige en slechte proef is toegevoegd in Bijlage 2. Het oordeel per monster is toegevoegd in Bijlage 3.

Kwalitatief goede proeven

Het spannings-rekverloop klopt goed met wat op basis van theorie mag worden verwacht. De waterspanningen verlopen vloeiend en vertonen geen abrupte wijzigingen. De spanningspaden komen redelijk goed uit op de theoretische critical state line (s'-t grafiek buigt af naar oorsprong). Deze proeven hebben geen grote schuifvlakken en hebben tot de eindrek een betrouwbaar verloop. Deze kwalitatief goede proeven worden altijd meegenomen in de analyse.

Kwalitatief matige proeven

Het spannings-rekverloop verloopt tot een rekpercentage van circa 15% conform verwachting, maar kan daarna een licht afwijkend verloop vertonen. De proef wordt voorlopig meegenomen in de analyse. In de gepresenteerde grafieken zijn deze proeven gelabeld als matig. Indien de resultaten niet goed matchen met de goede proeven wordt overwogen om de proeven uit te sluiten van de verzameling.

Kwalitatief slechte proeven

Het spanningsverloop wijkt ernstig af van theoretisch verloop. Hetgeen veroorzaakt kan worden door:

- Zeer grote afschuifvlakken in combinatie met een vroegtijdige knikken in het spannings-rek verloop;
- Heterogeniteit van het monster;
- Grote vervormingen in de consolidatiefase en vroegtijdig bezwijken van de belastingfase van de proef.
- Invloed gemeten van de rotatie van de ringen bij DSS proeven

Voor de kwalitatief slechte proeven geldt dat ze niet worden meegenomen in de analyse.

Samenvatting:

Na beoordeling van de 102 beschikbare triaxiaal compressie proeven volgen de onderstaande aantallen:

- 45 kwalitatief goede triaxiaal compressie proeven
- 15 kwalitatief matige triaxiaal compressie proeven
- 42 kwalitatief slechte triaxiaal compressie proeven

Na beoordeling van de 67 beschikbare DSS proeven volgen de onderstaande aantallen:

- 55 kwalitatief goede DSS proeven
- 12 kwalitatief slechte DSS proeven

Na beoordeling van de 18 beschikbare triaxiaal extensie labonderzoek volgen de onderstaande aantallen:

- 8 kwalitatief goede triaxiaal extensie proeven
- 4 kwalitatief matige triaxiaal extensie proeven
- 6 kwalitatief slechte triaxiaal extensie proeven

3 Uitwerking STBI-1

Onderstaand is de uitwerking van STBI-1 gepresenteerd. Bij deze rekeninnovatie is onderzocht of de sterkte kan worden afgeleid bij een lager rekpercentage dan de gebruikelijke eindrek. Voor de uitwerking van STBI-1 is het spannings-rekverloop voor de verschillende typen proeven inzichtelijk gemaakt.

Voor elke grondsoort is de genormaliseerde schuifsterktemobilisatie (ratio tussen gemobiliseerde schuifspanning en consolidatiespanning) bepaald voor de triaxiaal compressie, DSS en triaxiaal extensie proeven. Om de triaxiaalproeven onderling te kunnen vergelijken met de DSS-proeven zijn de volgende bewerkingen uitgevoerd zoals beschreven in het ontwikkelplan [Ref. 2]):

- Correctie naar schuifspanning op afschuifvlak: $\tau_{tx} = t \cdot \cos(\varphi_{mob})$
- Correctie van triaxiaal naar plane strain condities:
 - $\tau_c = 9/8 \cdot \tau_{tx}$ voor triaxiaal compressive
 - $\tau_e = 1,22 \cdot \tau_{tx}$ voor triaxiaal extensie
- Omrekenen van axiale rekken naar schuifrekken: $\gamma = 1,5 \cdot \varepsilon_a$

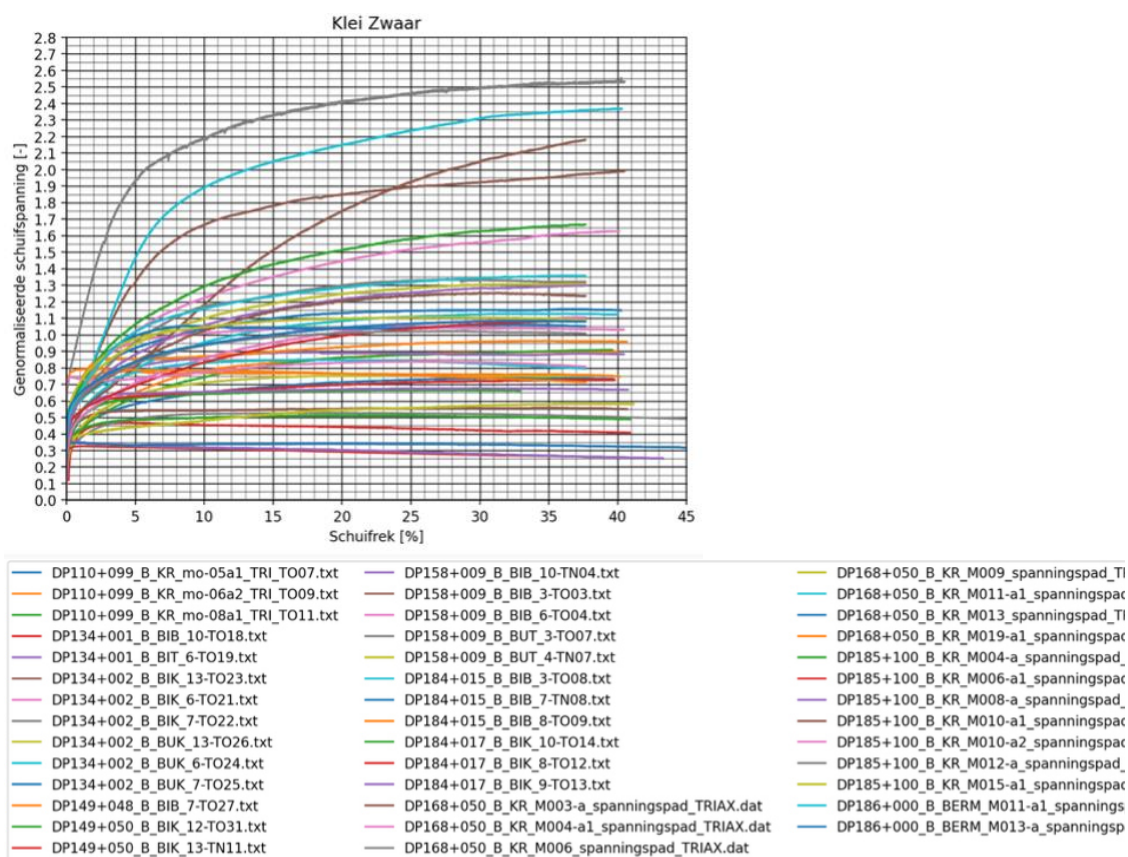
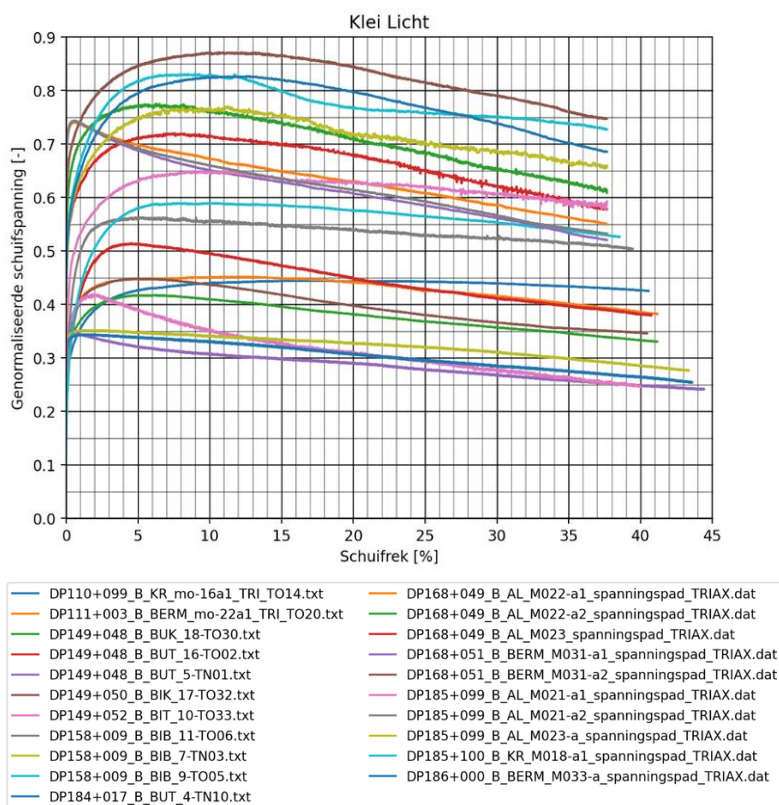
Vervolgens is de volgende procedure gevolgd:

1. Plots van alle kwalitatief goede en kwalitatief matige proeven per grondsoort per proeftype.
2. Plots van sets bij vergelijkbare consolidatiespanning per grondsoort.

3.1 Uitwerking per proeftype

Triaxiaal compressie proeven

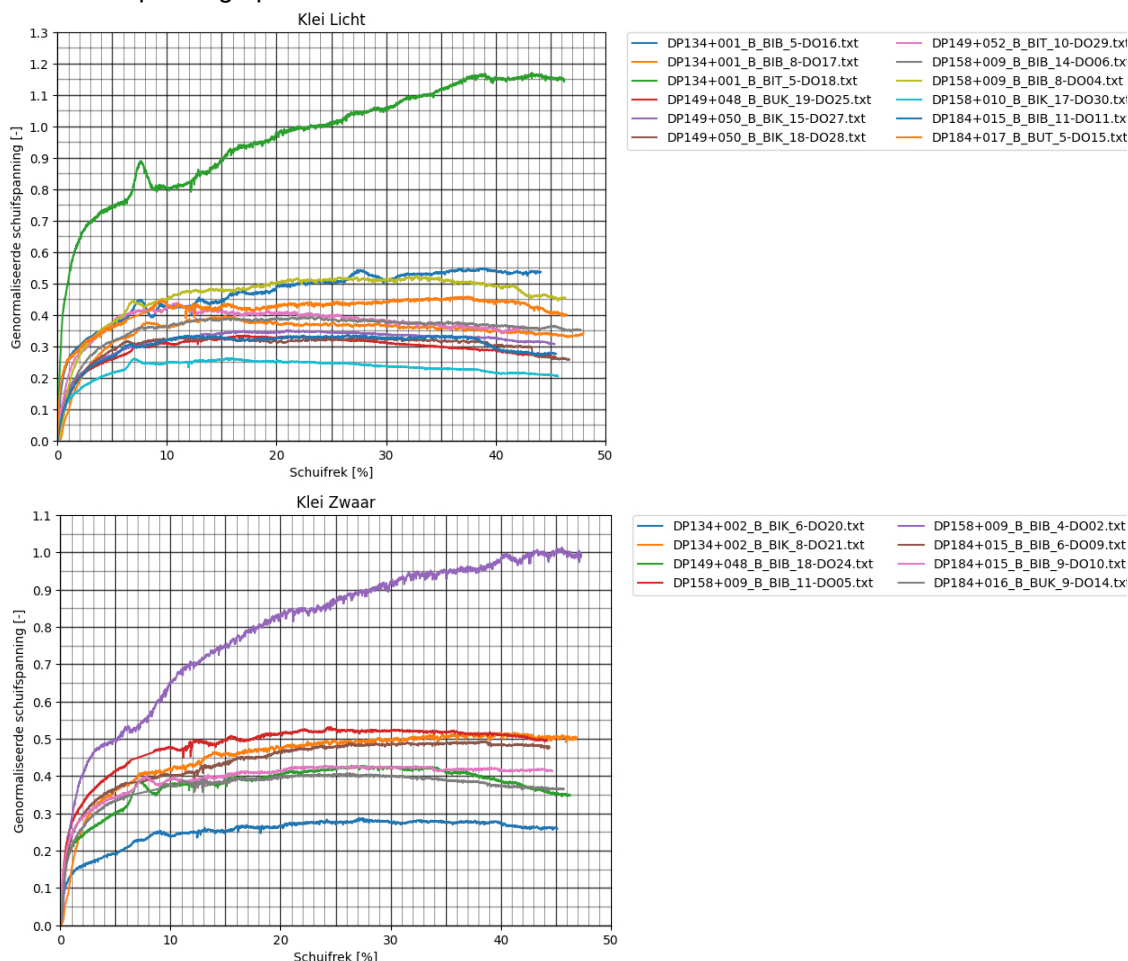
Het resultaat van de triaxiaal compressie resultaten voor zowel Klei Licht als Klei Zwaar is weergegeven in figuur 3-1. Het valt op dat de axiale rek waarbij de pieksterkte optreedt kan verschillen tussen circa 1,5% tot 10% schuifrek. De proeven die een pieksterkte bij een zeer lage rek bereiken zijn gecontroleerd op afwijkingen in volumegewicht. Tevens is gekeken of deze proeven op een specifieke plek in het dwarsprofiel zijn uitgevoerd (bijvoorbeeld alleen proeven in de binnenteen waar pre-shearing optreedt). Er is geconcludeerd dat de vroegoptredende pieksterkte niet gerelateerd is aan zowel het volumegewicht als de locatie in de dijk. Wel is het beeld dat de NC proeven de pieksterkte bereiken bij een laag rekpercentage. Hetgeen een logisch vervolg is door de hogere spanning die deze proeven tijdens de consolidatiefase hebben ervaren.



figuur 3-1: Triaxiaal compressie resultaten van Klei Licht en Klei zwaar

DSS proeven

Het resultaat van de DSS proeven van zowel Klei Licht als Klei zwaar zijn weergegeven in figuur 3-2. Voor beide grondsoorten geldt dat één proefresultaat een blijvende toenemende sterkte laat zien. Los van deze proeven is het beeld vrij consistent. Bij circa 15% schuifrek is gemobiliseerde sterkte min of meer constant. Twee proefresultaten laten een toenemende schuifsterkte mobilisatie zien dit zijn monsters met een hoge OCR waar mogelijk waterunderspanning optreedt.



figuur 3-2: DSS resultaten van Klei Licht en Klei zwaar

Triaxiaal extensie proeven

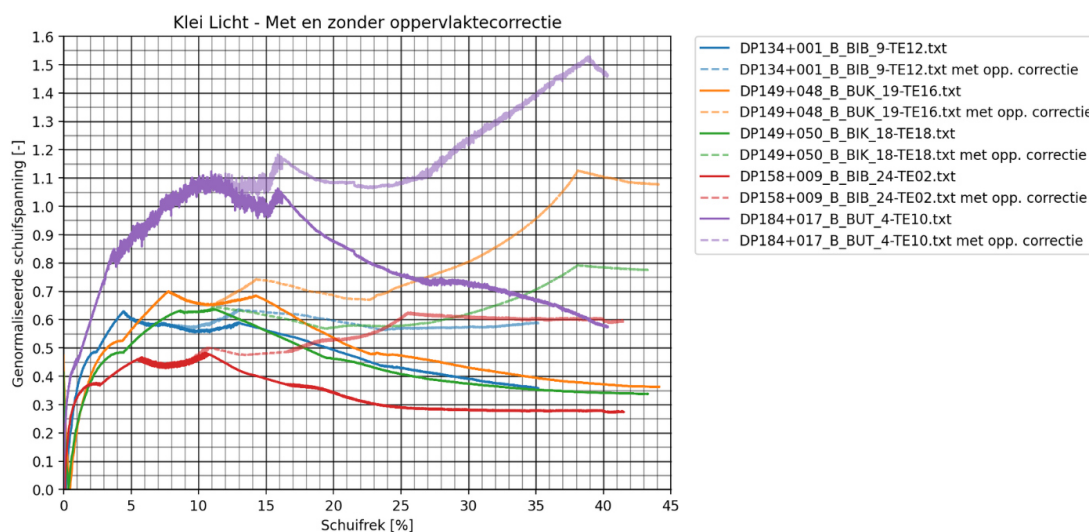
Het resultaat van de triaxiaal extensie proeven van zowel Klei Licht is weergegeven figuur 3-3. In deze figuur is per proef een resultaat te zien met en zonder oppervlakte-correctie. De triaxiaal extensie proeven laten een scherpe zandloper vorm zien bij de bezweken proeven (zie figuur 3-4), dit staat bekend als het necking effect. Om te corrigeren voor het necking effect bij triaxiaal extensie proeven is getracht om de gemobiliseerde schuifspanning te corrigeren voor het afnemende oppervlak tussen piek en eindsterkte. Omdat het afnemende oppervlak, ter plaatse van het necking effect, niet is gemeten is dit gedaan op basis van de foto's (indien beschikbaar) van de bezweken monsters. Deze methode kent hierdoor een grote onnauwkeurigheid. In de lijnen zijn tevens "deukjes" in het spannings-rekverloop op te merken. Dit is het gevolg van het maximaliseren van de gemobiliseerde wrijvingshoek tot 40 graden.

De proeven waarvoor een oppervlakte-correctie is toegepast (lichtere lijn die omhoog loopt in figuur 3-3) laten een ongeloofwaardige toenemende gemobiliseerde sterkte zien. Tot een schuifrek van circa 22,5% lijkt de oppervlakte-correctie wel geloofwaardig. De resultaten zonder

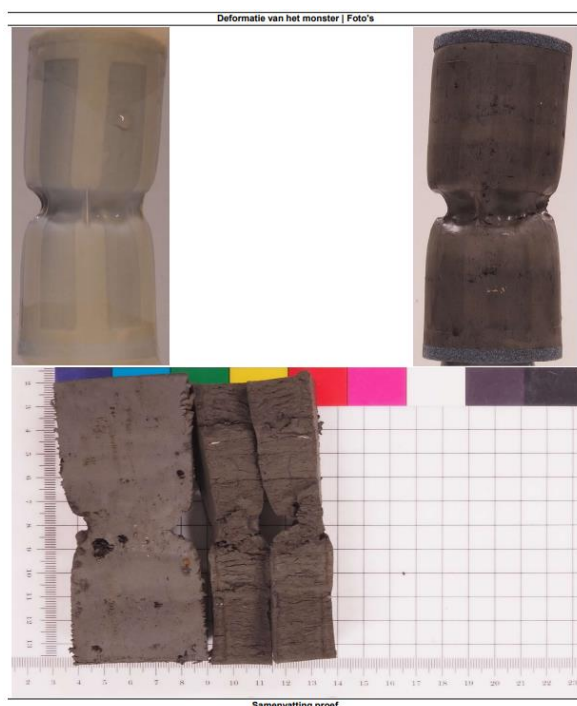
oppervlakte-correctie laten een zeer groot verschil zien tussen piek- en eindsterkte. Geen enkele correctie toepassen op het afnemende oppervlak bij het bezwijkvlak leidt hiermee ook tot ongeloofwaardige resultaten.

Op basis van de resultaten kan wel gesteld worden dat bij circa 20% schuifrek alle proeven over de pieksterkte heen zijn.

De proefresultaten zonder oppervlakte-correctie (maar met membraam en drainage strip correcties) zijn ook nog vergeleken met proefresultaten waarbij geen correcties voor membraam en drainage strips zijn toegepast. Het verschil tussen deze resultaten was nihil, waarmee geconcludeerd wordt dat de correctie voor membraam en drainagestrip een verwaarloosbare invloed hebben op het resultaat.

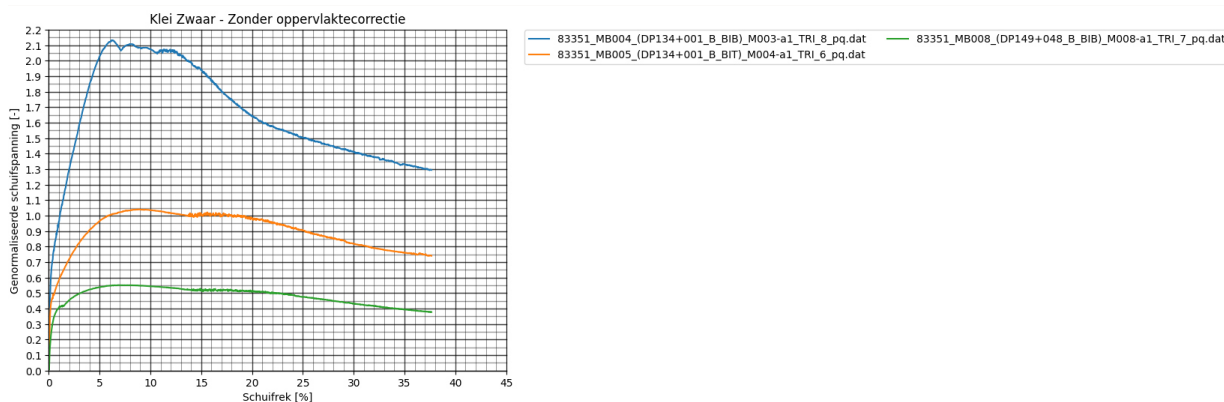


figuur 3-3: Triaxiaal extensie resultaten voor Klei Licht



figuur 3-4: Necking effect bij triaxiaal extensie proef

Het resultaat van de triaxiaal extensie proeven van zowel Klei Zwaar is weergegeven figuur 3-5. Door het ontbreken van de foto's is hier geen oppervlakte-correctie mogelijk. Het beeld komt verder overeen met de proeven van Klei Licht.



figuur 3-5: Triaxiaal extensie resultaten voor Klei Zwaar

3.2 Uitwerking van sets van gelijke consolidatiespanning

Vervolgens zijn sets van vergelijkbare consolidatiespanning geselecteerd om de gemobiliseerde schuifsterkte uit te zetten tegen de schuifrek voor de triaxiaal compressie, DSS en triaxiaal extensie situatie. De sets voor zowel Klei Licht als Klei Zwaar zijn gepresenteerd in tabel 3-1 en tabel 3-2. Door de beperkte hoeveelheid geschikte triaxiaal extensie proeven zijn enkele sets afkomstig uit andere bussen en locaties in de dijk met andere OCR waarden. Dit maakt het vergelijken extra lastig.

tabel 3-1: vergelijkbare sets TXC, DSS en TE proeven voor Klei Licht

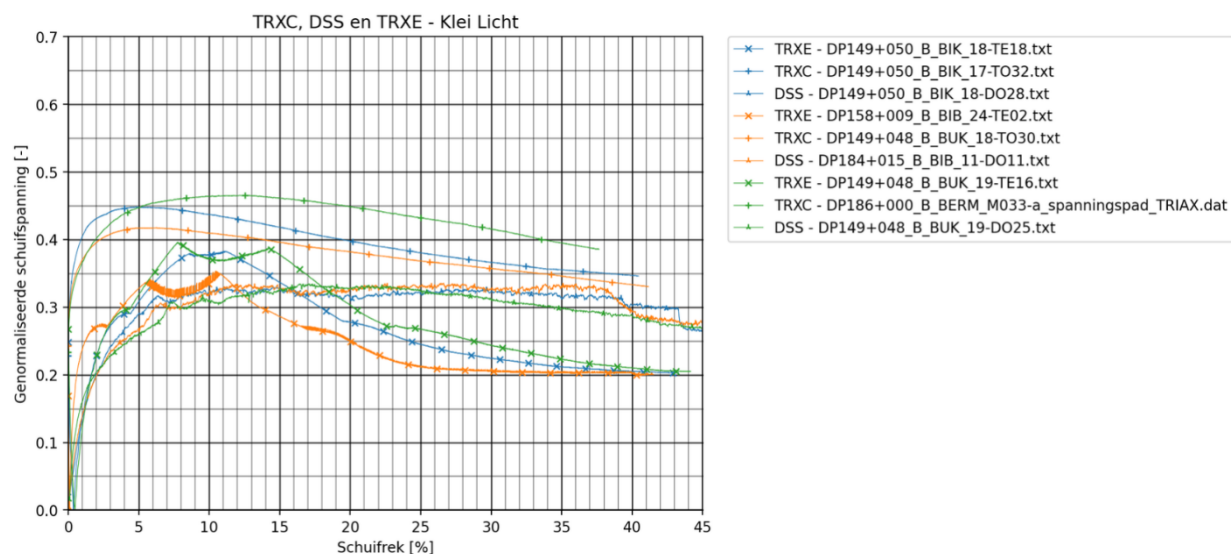
Triaxiaal compressie	DSS	Triaxiaal extensie
DP149+050_B_BIK_17-TO32 $\sigma'_{c,v} = 104,4$ kPa $\gamma_{nat} = 16,24$ kN/m ³	DP149+050_B_BIK_18_DO28 $\sigma'_{c,v} = 108,4$ kPa $\gamma_{nat} = 15,6$ kN/m ³	DP149+050_B_BIK_18_TE18 $\sigma'_{c,v} = 107,4$ kPa $\gamma_{nat} = 15,92$ kN/m ³
DP149+048_B_BUK_18-TO30 $\sigma'_{c,v} = 100,9$ kPa $\gamma_{nat} = 16,47$ kN/m ³	DP184+015_B_BIB_11_DO11 $\sigma'_{c,v} = 86,3$ kPa $\gamma_{nat} = 17,37$ kN/m ³	DP158+009_B_BIB_24_TE02 $\sigma'_{c,v} = 89,57$ kPa $\gamma_{nat} = 17,32$ kN/m ³
DP186+000+B+BERM_033a $\sigma'_{c,v} = 101,3$ kPa $\gamma_{nat} = 16,57$ kN/m ³	DP149+048_B_BUK_19-DO25 $\sigma'_{c,v} = 104,4$ kPa $\gamma_{nat} = 16,6$ kN/m ³	DP149+048_B_BUK_19_TE16 $\sigma'_{c,v} = 101,73$ kPa $\gamma_{nat} = 14,67$ kN/m ³

tabel 3-2: vergelijkbare sets TXC, DSS en TE proeven voor Klei Zwaar

Triaxiaal compressie	DSS	Triaxiaal extensie
DP134+001_B_BIB_10-TO18 $\sigma'_{c,v} = 44,4$ kPa $\gamma_{nat} = 17,97$ kN/m ³	DP134+002_B_BIK_6-DO20 $\sigma'_{c,v} = 49,7$ kPa $\gamma_{nat} = 18,86$ kN/m ³	MB_008_(DP149+048)_M008_a1_TRI $\sigma'_{c,v} = 41,8$ kPa $\gamma_{nat} = 17,72$ kN/m ³
DP158+009_B_BIB_3-TO03 $\sigma'_{c,v} = 21,2$ kPa $\gamma_{nat} = 19,02$ kN/m ³	DP158+009_B_BIB_4-DO02 $\sigma'_{c,v} = 38,5$ kPa $\gamma_{nat} = 18,91$ kN/m ³	MB005_(DP134+001_B_BIT)_M004-a1_TRI $\sigma'_{c,v} = 26,5$ kPa $\gamma_{nat} = 18,86$ kN/m ³

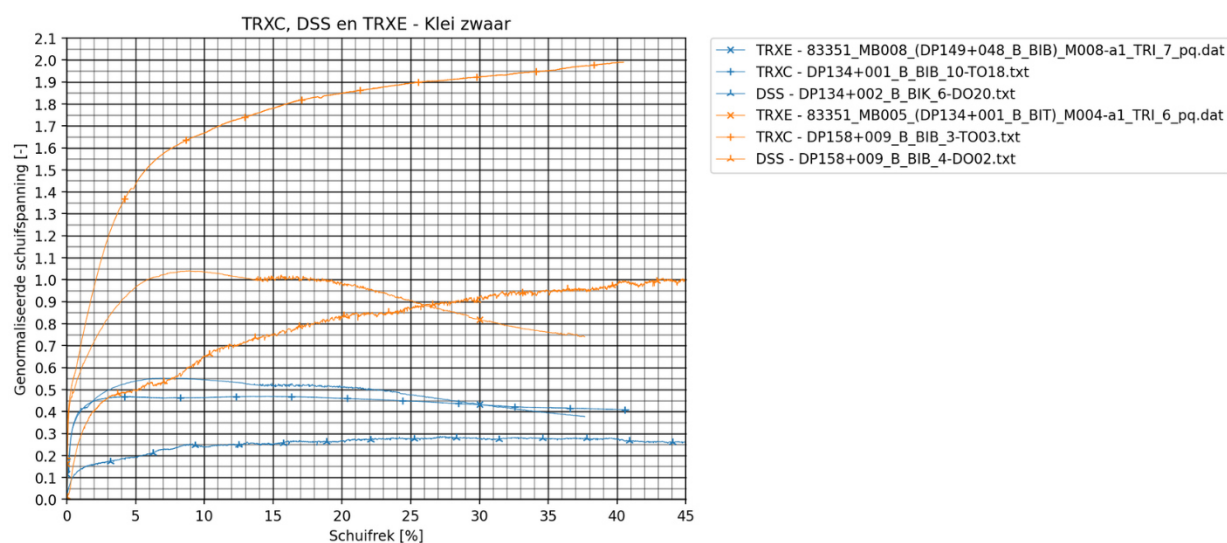
De plots voor de grondsoort Klei Licht zijn weergegeven in figuur 3-6. Op basis van de gecombineerde resultaten ontstaat het beeld dat er na 22,5% schuifrek alle type proeven ruim voorbij de pieksterkte zijn. De lijnen komen niet bij elkaar tot dezelfde eindsterkte. Dit is te

verklaren omdat de proeven een verschillende OCR hebben. Tevens zou sterkte anisotropie hier een rol kunnen spelen.



figuur 3-6: Plot setjes TXT, DSS en TE voor Klei Licht

De plots voor de grondsoort Klei Zwaar zijn weergegeven in figuur 3-7. Deze setjes geven weinig informatie omdat de proeven eigenlijk ongeschikt blijken om met elkaar te vergelijken.



figuur 3-7: Plot setjes TXT, DSS en TE voor Klei Zwaar

3.3 Conclusie STBI-1

Op basis van de resultaten van alle triaxiaal compressie, DSS en triaxiaal extensie proeven lijkt het goed verdedigbaar om de sterkte af te leiden bij een lager rekpercentage dan 25% axiale rek. Op basis van de plots is 15% axiale rek een geschikt rekpercentage, omdat alle proeven dan duidelijk over de pieksterkte heen zijn. De verschillende type proeven laten echter geen vergelijkbare sterkte zien bij 15% axiale rek, maar ook niet bij eindrek. De sterkte uit de triaxiaal compressie proeven kan daarom niet zondermeer gebruikt worden voor het gehele schuifvlak.

Dat de lijnen niet naar hetzelfde sterkte convergeren kan enerzijds te maken hebben met de verschillende OCR waarden van de monsters, maar mogelijk ook met sterkte anisotropie. Dit aspect is nader beschouwd in Hoofdstuk 5.

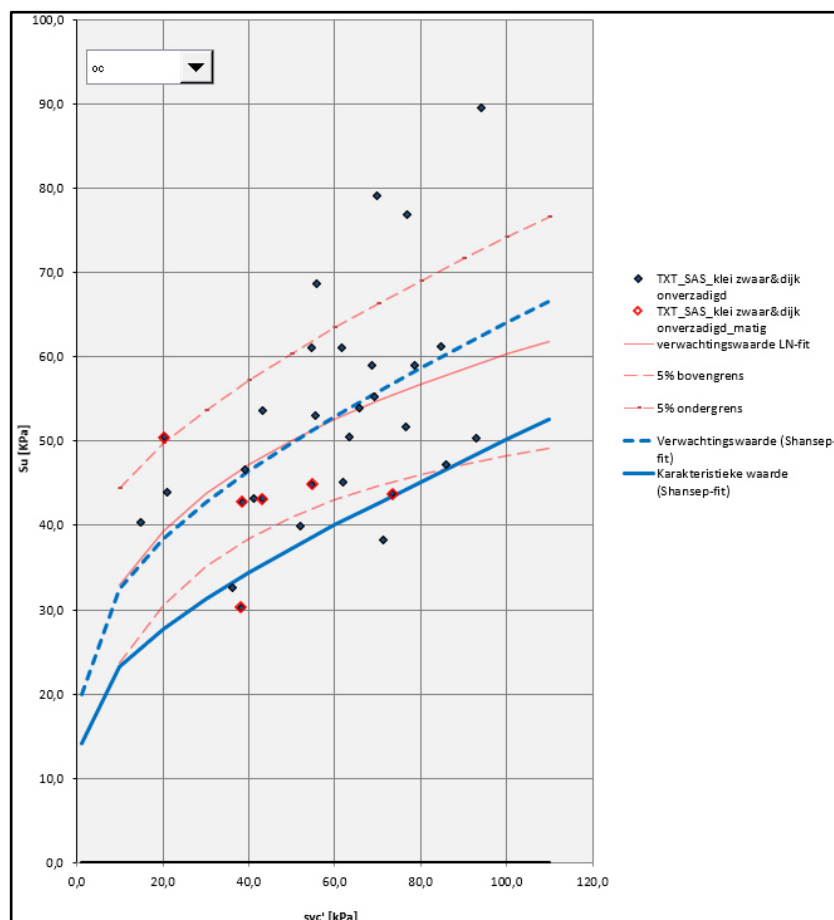
4 Uitwerking STBI-2

Onderstaand is de uitwerking van STBI-2 gepresenteerd. Bij deze rekeninnovatie is de sterkte van de grondsoort Klei Zwaar gepresenteerd als Su tabel. De Su tabel is voor zowel 25% als voor 15% procent axiale rek uitgewerkt.

De uitwerking van de Su tabel gebeurt op basis van enkel de OC triaxiaalproeven. De reden dat enkel de OC proeven zijn gebruikt is dat de consolidatiespanning bij de OC proeven overeenkomt met spanningsbereik langs het glijvlak. Tevens zijn er voldoende geschikte OC proeven beschikbaar om een goede statistische analyse mee uit te voeren.

4.1 Uitwerking Su tabel bij 25% axiale rek (eindrek)

De Su tabel bij eindrek is bepaald door, van de kwalitatief goede en kwalitatief matige proeven, de consolidatiespanning te plotten tegen de ongedraineerde schuifsterkte bij eindrek (zie figuur 4-1). In de figuur is te zien dat de kwalitatief matige proeven (rode wiebertjes) gemiddeld genomen een wat lagere sterkte laten zien, maar nog wel bij de resultaten van de kwalitatief goede proeven passen en dat er geen reden is deze uit te sluiten van de verzameling.



figuur 4-1: Resultaten OC proeven op Klei Zwaar bij eindrek

Voor de gepresenteerde SHANSEP fit zijn de parameters aangehouden conform figuur 4-1.

tabel 4-1: Parameters SHANSEP fit voor eindrek

SHANSEP parameter	Verwachtingswaarde	Karakteristieke waarde
S	0,22	0,22
m	0,80	0,80
POP	280 kPa	180 kPa

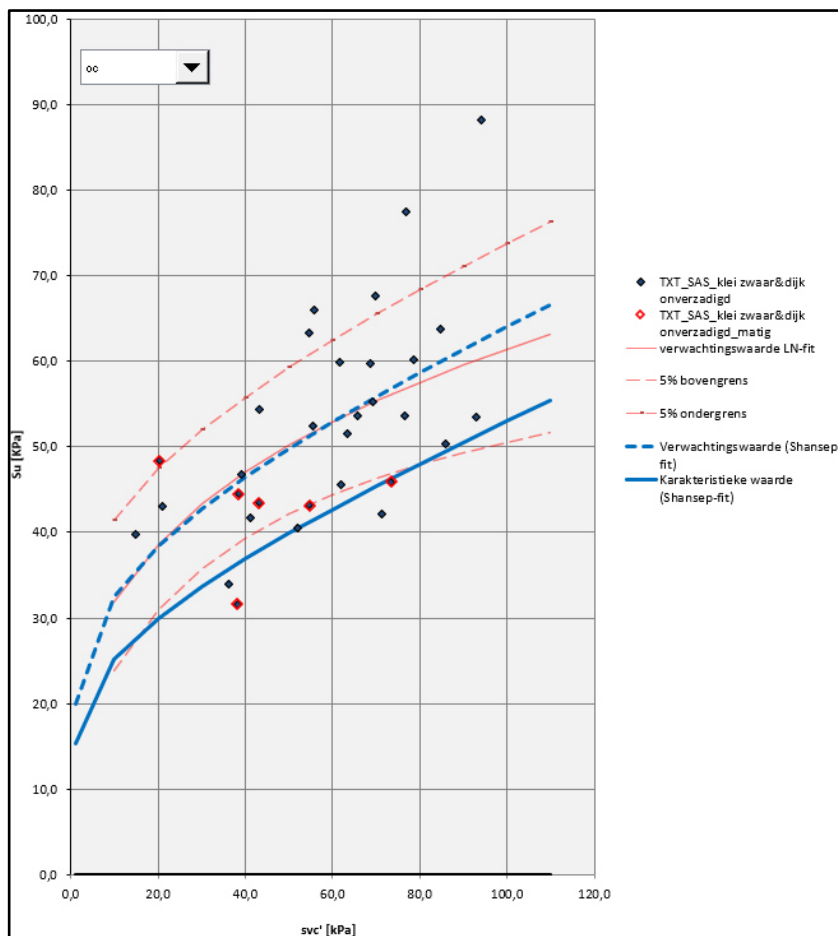
Het advies is om in plaats van de SHANSEP fit de S_u tabel direct af te leiden op basis van 5% ondergrens van de lognormale regressie met een veilig ingeschatte waarde voor m . Hetgeen leidt tot de S_u tabel gepresenteerd in de onderstaande tabel, gecombineerd met $m=0,7$.

tabel 4-2: S_u tabel Klei Zwaar bij eindrek

σ' [kPa]	S_u [kPa]
0	14
10	23,2
20	30,5
30	35,1
40	38,4
50	40,9
60	43,0
70	44,6
80	45,2
90	47,7
100	48,2
110	49,2

4.2 Uitwerking S_u tabel bij 15% axiale rek

De S_u tabel bij 15% axiale rek is bepaald door de van de kwalitatief goede en kwalitatief matige proeven de resultaten de consolidatiespanning te plotten tegen de ongedraineerde schuifsterkte bij eindrek (zie figuur 4-2). In de figuur is te zien dat de kwalitatief matige proeven bij de resultaten van de kwalitatief goede proeven passen en dat er geen reden is deze uit te sluiten van de verzameling. Hetgeen correspondeert met de verwachting omdat een de definitie van een kwalitatief matig proef tot circa 15% axiale rek een betrouwbaar verloop laat zien.



figuur 4-2: Resultaten OC proeven op Klei Zwaar bij 15% rek

Voor de gepresenteerde SHANSEP fit zijn de volgende parameters aangehouden conform de onderstaande tabel.

tabel 4-3: Parameters SHANSEP fit voor 15% rek

SHANSEP parameter	Verwachtingswaarde	Karakteristieke waarde
S	0,22	0,22
m	0,80	0,80
POP	280 kPa	200 kPa

Het advies is om in plaats van de SHANSEP fit de Su tabel direct af te leiden op basis van 5% ondergrens van de lognormale regressie met een veilig ingeschatte waarde voor m. Hetgeen leidt tot de Su tabel gepresenteerd in tabel 4-4, gecombineerd met m=0,7.

tabel 4-4: Su tabel Klei Zwaar voor 15% rek

σ' [kPa]	Su [kPa]
0	15
10	23,8
20	31,0
30	35,8
40	39,3
50	42,1
60	44,4
70	46,3
80	47,9
90	49,3
100	50,6
110	51,7

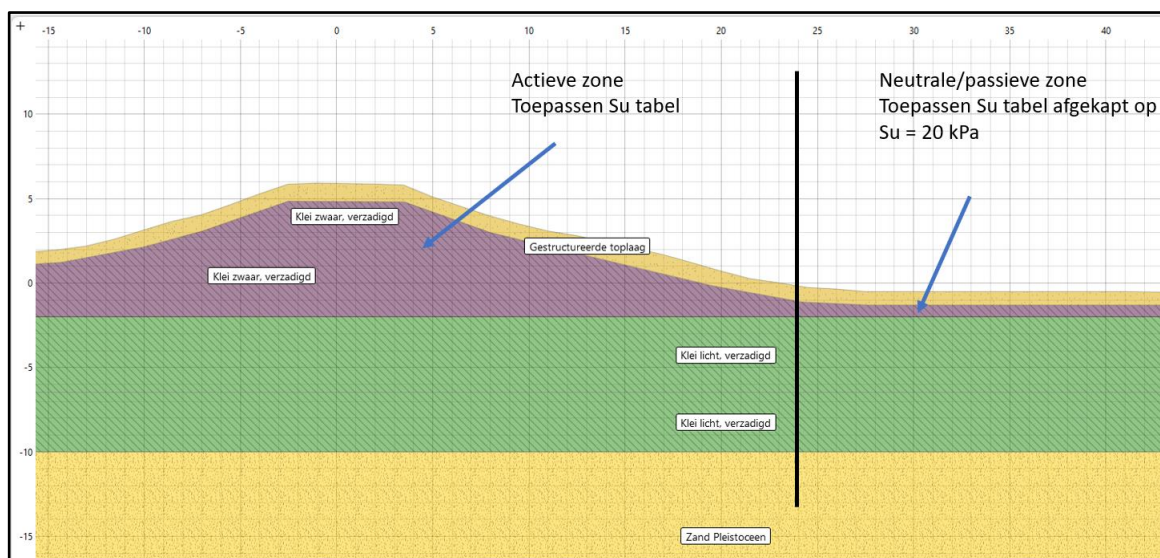
4.3 Toepassingsgebied Su tabel

Binnen het ontwerpproces van SAS is in de eerste meter van het dijksmateriaal altijd een gestructureerde toplaag geschematiseerd. Indien er geen zandscheg aanwezig is wordt Klei Zwaar (dijksmateriaal) onder deze zone geschematiseerd met de Su tabel. Het toepassingsgebied van de Su tabel is weergegeven in onderstaande figuur. Tijdens hoogwater is de veronderstelling dat de dijk een hoge verzadigingsgraad heeft. Op basis van het klankbordgroep overleg van 9 mei 2023 (zie Bijlage 4) is besloten dat een Su-tabel direct onder de gestructureerde toplaag kan worden toegepast indien de dijk uit klei bestaat en het grondonderzoek nauwkeurig is bestudeerd.

Het risico op een gemiste zandscheg wordt ondervangen met een extra scenario dat wordt meegenomen bij de afleiding van de schematiseringsfactor. Het volgende scenario wordt dan meegenomen (indien het dijkvak niet al voldoet bij de initieel veilige schematiseringsfactor):
Scenario met kans van 10%:

- Horizontale zandscheg van 0,5 m dikte over gehele breedte dijk op 1,5 m beneden kruinniveau.

Door het fenomeen van sterkte anisotropie bij zware klei wordt de sterkte in de neutrale en passieve zone afgekapt op 20 kPa. De onderbouwing voor de schematisering van deze zone is behandeld in Hoofdstuk 5.



figuur 4-3: Toepassingsgebied S_u tabel Klei Zwaar

4.4 Conclusie STBI-2

Voor de grondsoort Klei Zwaar is een S_u tabel afgeleid bij zowel 25% als 15% axiale rek. De S_u tabel is gebaseerd op OC triaxiaal compressie proeven en zijn uitgevoerd over het volledige spanningsbereik waar deze grondsoort binnen het dijktraject voorkomt. De S_u tabel bij 15% axiale rek geeft nauwelijks extra sterkte ten opzichte van de S_u tabel bij 25% axiale rek. Van zware klei is bekend dat sterkte anisotropie een rol speelt. Dit aspect is nader beschouwd in Hoofdstuk 5.

5 Effect van sterkte anisotropie

5.1 Sterkte anisotropie bij Klei Licht

Op basis van de beschikbare triaxiaal en DSS-proeven is voor 15% en 25% axiale rek onderzocht of sprake is van sterkte anisotropie. Dit is uitgewerkt in onderstaande subparagrafen. In de analyse zijn tevens SHANSEP fits op de resultaten gepresenteerd. De waarde van S (bij eindrek) en POP zijn hierbij met voorkennis ingeschat op basis van NC Triaxiaal proeven en CRS proeven. Deze methode is gehanteerd om tot een fit te komen waarbij deze parameters reëel zijn ingeschat. De analyse is gepresenteerd in Bijlage 4 van de Technische Nota van Uitgangspunten [Ref. 5]. De gemiddelde en karakteristieke waarden zijn hieronder samengevat.

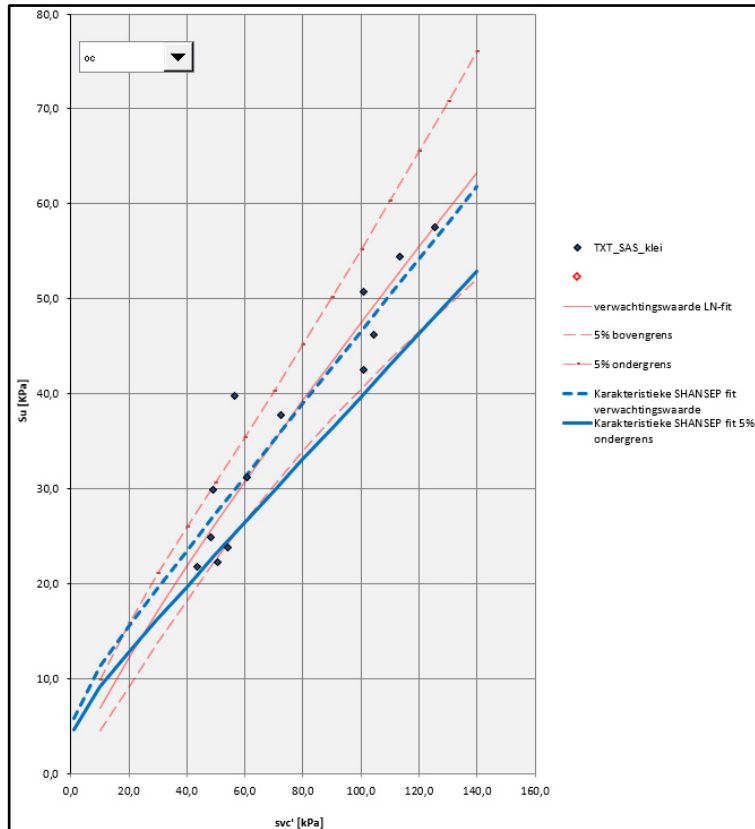
tabel 5-1: Waardes S bij eindrek en POP op basis van NC Triaxiaal proeven en CRS proeven

S bij eindrek [-]		POP [kPa]	
Gemiddeld	Karakteristiek	Gemiddeld	Karakteristiek
0,28	0,26	48	29

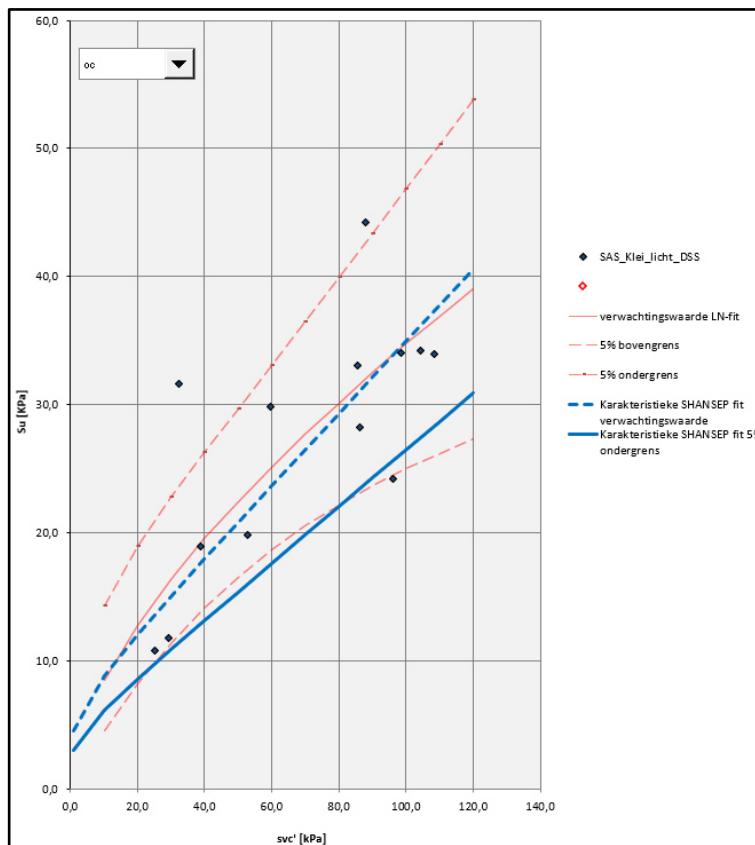
5.1.1 Sterkte anisotropie bij 15% axiale rek

Voordat er sterkte-parameters worden afgeleid bij 15% axiale rekken is eerst gecontroleerd of de sterkte die wordt verkregen uit de triaxiaal compressie proef ook representatief is voor het neutrale (DSS) zone en de passieve (triaxiaal extensie) zone. Om dit inzichtelijk te maken zijn de triaxiaal compressie en DSS resultaten bij 15% axiale rek in een apart figuur geplot voor Klei Licht (zie figuur 5-1 en figuur 5-2). Voor de DSS resultaten is hierbij niet gecorrigeerd voor plane strain naar triaxiaal compressie condities.

Op basis van de figuren is te zien dat de DSS resultaten bij 15% axiale rek (circa 20% schuifrek) niet in dezelfde verzameling passen als de triaxiaal compressie resultaten omdat de sterkte lager ligt. Om dit inzichtelijk te maken zijn de gemiddelde (blauw gestippelde lijn) en karakteristieke (blauw doorgetrokken lijn) SHANSEP fits van beide type proeven afgeleid en weergegeven in tabel 5-2. Wat tevens opvalt is dat de spreiding op de DSS resultaten groter is dan bij de triaxiaal compressie resultaten.



figuur 5-1: SHANSEP fit van Klei Licht op basis van triaxiaal compressie bij 15% axiale rek



figuur 5-2: SHANSEP fit van Klei Licht op basis van DSS bij 15% axiale rek

De parameters horend bij de karakteristieke SHANSEP fits zijn weergegeven in tabel 5-2. De lagere parameters voor Klei Licht in de DSS zone geven aan dat de sterkte in de DSS zone bij 15% axiale lager ligt dan in de triaxiaal compressie zone. De resultaten van de triaxiaal proeven zijn dus niet zonder meer door te vertalen naar de andere zones van het glijvlak door sterkte anisotropie.

tabel 5-2: Karakteristieke SHANSEP fit parameters horend bij figuur 5-1 en figuur 5-2

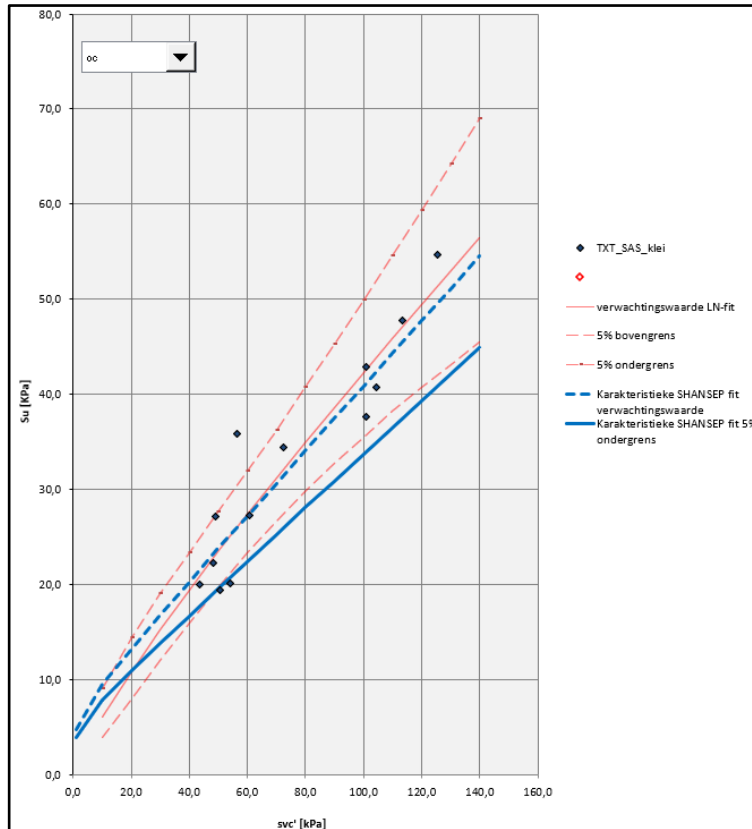
Parameters SHANSEP fit	Klei Licht TXC		Klei Licht DSS	
	Gemiddeld	Karakteristiek	Gemiddeld	Karakteristiek
S	0,38	0,33	0,28	0,22
m	0,8	0,8	0,8	0,8
POP	26	26	32	26

De lagere parameters voor Klei Licht in de DSS zone geven aan dat de sterkte in de DSS zone bij 15% axiale lager ligt dan in de triaxiaal compressie zone. De resultaten van de triaxiaal proeven zijn dus niet zonder meer door te vertalen naar de andere zones van het glijvlak door sterkte anisotropie.

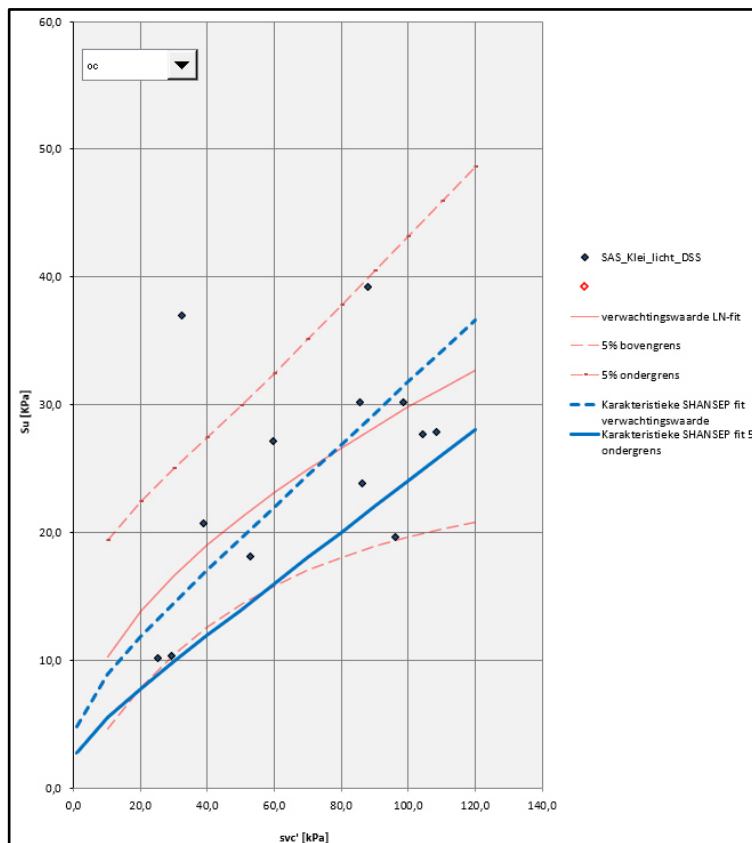
5.1.2 Sterkte anisotropie bij 25% axiale rek

Om te onderzoeken of sterkte anisotropie ook een rol speelt bij het afleiden van de sterkte bij 25% axiale rek zijn ook bij deze rekken de resultaten van de triaxiaal compressie proeven en DSS proeven met elkaar vergeleken in respectievelijk figuur 5-3 en figuur 5-4. Op basis van deze figuren is te zien dat de sterkte op basis van DSS proeven lager ligt ten opzichte van sterkte op basis triaxiaal compressie proeven.

Op basis van de figuren is te zien dat de DSS resultaten ook bij 25% axiale rek niet in dezelfde verzameling passen als de triaxiaal compressie resultaten omdat de sterkte lager ligt. Om dit inzichtelijk te maken zijn de gemiddelde (blauw gestippelde lijn) en karakteristieke (blauw doorgetrokken lijn) SHANSEP fits van beide type proeven afgeleid en weergegeven in tabel 5-3. Hierbij wordt opgemerkt dat de SHANSEP fit bij dit rekpercentage slechter is bij hogere spanningen door het sterk gekromde verloop van de 5% ondergrens.



figuur 5-3: SHANSEP fit van Klei Licht op basis van triaxiaal compressie bij 25% axiale rek



figuur 5-4: SHANSEP fit van Klei Licht op basis van DSS bij 25% axiale rek

tabel 5-3: Karakteristieke SHANSEP fit parameters horend bij figuur 5-3 en figuur 5-4

Parameters SHANSEP fit	Klei Licht TXC		Klei Licht DSS	
	Gemiddeld	Karakteristiek	Gemiddeld	Karakteristiek
S	0,34	0,28	0,24	0,20
m	0,8	0,8	0,8	0,8
POP	26	26	42	26

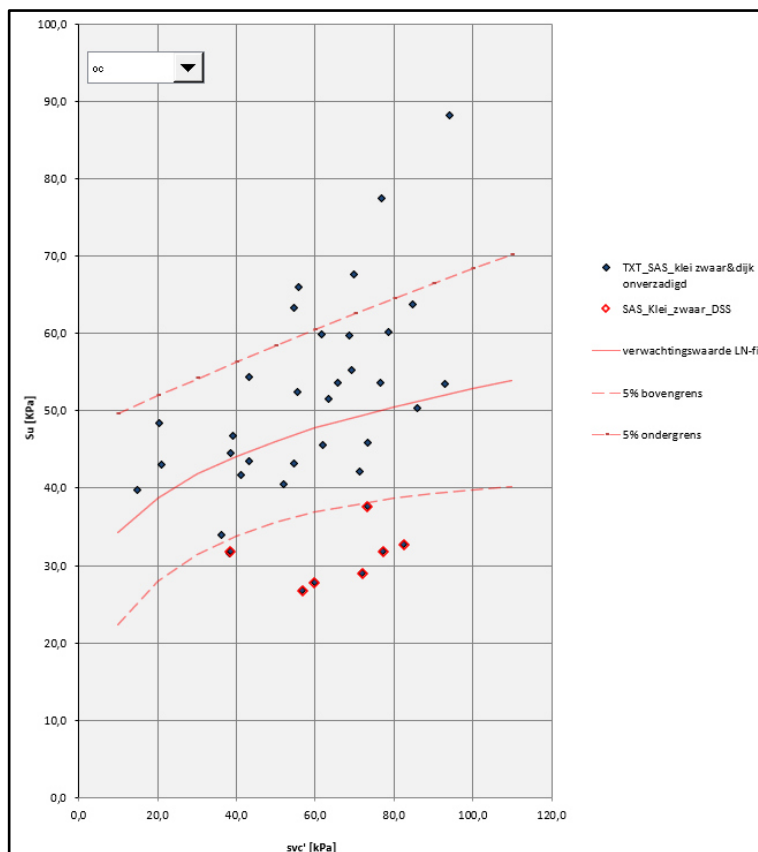
De lagere parameters voor Klei Licht in de DSS zone geven aan dat de sterkte in de DSS zone bij 25% axiale lager ligt dan in de triaxiaal compressie zone. De resultaten van de triaxiaal proeven zijn dus niet zonder meer door te vertalen naar de andere zones van het glijvlak door sterkte anisotropie.

5.1.3 Conclusie sterkte anisotropie klei licht

Zowel voor 15% als voor 25% axiale rek is sprake van een groot verschil in sterkte tussen de Triaxiaal en de DSS proeven. Toepassen van de sterkte uit enkel triaxiaalproeven voor het gehele glijvlak sluit daardoor niet goed aan bij de proefresultaten en geven een overschatting van de sterkte.

5.2 Sterkte anisotropie bij Klei Zwaar

Voor Klei Zwaar is tevens onderzocht hoe de triaxiaal compressie resultaten zich verhouden tot de DSS resultaten. Het resultaat voor een afleiding bij 15% axiale rek is weergegeven in figuur 5-5. Deze resultaten zijn ook representatief voor de afleiding bij 25% axiale rek omdat de sterkte afleiding nagenoeg gelijk is. Er is zeer duidelijk te zien dat de sterkte op basis van de DSS proeven lager uitvalt dan op basis van de triaxiaal compressie proeven. Hierbij valt wel op dat de sterkte van de DSS proeven nauwelijks spanningsafhankelijk lijkt. Op basis van de resultaten lijkt een minimale sterkte van 20 kPa voor deze zone veilig toepasbaar.



figuur 5-5: Triaxiaal compressie en DSS resultaten voor Klei Zwaar bij 15% axiale rek

De structureel lagere waarden voor S_u voor Klei Zwaar in de DSS zone geven aan dat de sterkte in de DSS zone bij 15% axiale lager ligt dan in de triaxiaal compressie zone. De resultaten van de triaxiaal proeven zijn dus niet zonder meer door te vertalen naar de andere zones van het glijvlak door sterkte anisotropie.

5.3 Conclusie sterkte anisotropie

Op basis van de beschikbare proeven en de uitgevoerde analyses is de conclusie dat de sterkte uit een triaxiaal compressie proef bij zowel 15% als 25% axiale rek niet representatief voor de sterkte in de passieve zone van het schuifvlak. Wat opvalt is dat bovenstaande conclusie geldt voor een afleiding bij zowel 15% als 25% axiale rek. Dit geldt zowel voor Klei Licht als voor Klei Zwaar. Het verschil in sterkte is dusdanig groot dat dit in het ontwerp niet genegeerd kan worden. In Hoofdstuk 6 is een voorstel opgenomen hoe hier in het ontwerp mee omgegaan kan worden.

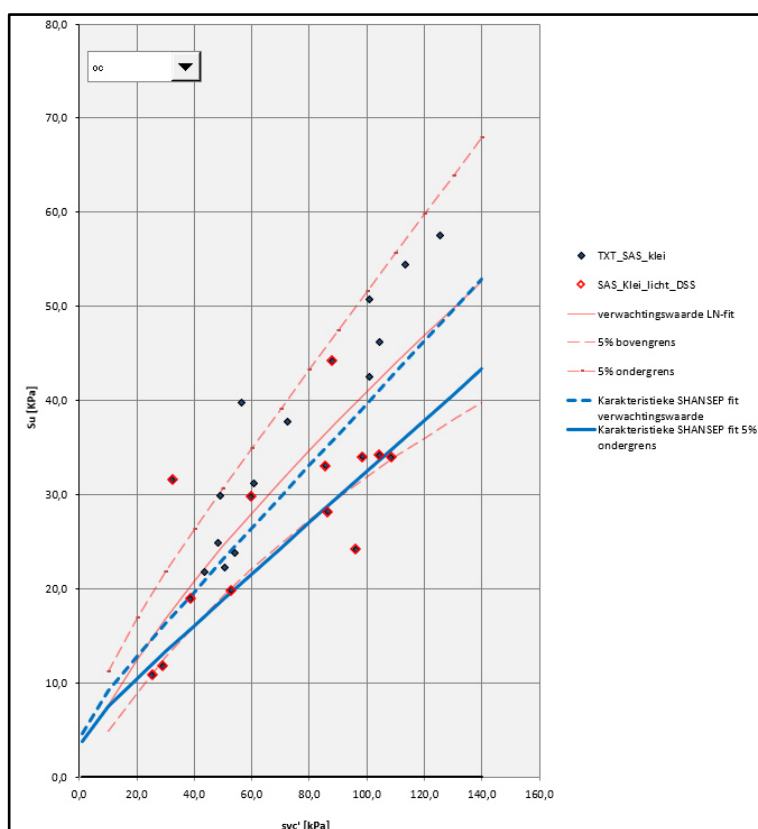
6 Voorstel implementatie ontwerploop 0

Op basis van het beschikbare onderzoek en de uitgevoerde analyses is de conclusie dat sprake is van sterkte anisotropie in zowel Klei Licht als Klei Zwaar. In dit hoofdstuk is voor beide klei soorten en voor veen een voorstel uitgewerkt waarmee praktisch gewerkt kan worden, maar die ook recht doet aan de aanwezige anisotropie.

6.1 Voorstel Klei Licht

Methodie gecombineerde parameterset

Om sterkte anisotropie in rekening te brengen is de voorkeur om voor de resultaten bij 15% axiale rek een karakteristieke ondergrens te hanteren waarin zowel de triaxiaal compressie als DSS resultaten zijn meegenomen. Deze methodiek heeft de voorkeur omdat het minder impact heeft op de huidige schematiseringswijze voor deeltraject SAS en omdat op voorhand niet meteen duidelijk is waar het actieve, neutrale en passieve gedeelte van het glijvlak liggen. Het resultaat van deze fit is weergegeven in figuur 6-1. De parameters horend bij de karakteristieke SHANSEP fits zijn weergegeven in tabel 6-1.



figuur 6-1: Triaxiaal compressie en DSS resultaten voor Klei Licht bij 15% axiale rek gecombineerd

tabel 6-1: Karakteristieke SHANSEP fit parameters horend bij figuur 6-1

Parameters Klei Licht	Gecombineerde set	
	Gemiddeld	Karakteristiek
S	0,33	0,27
m	0,8	0,8
POP	26	26

Methode zonering

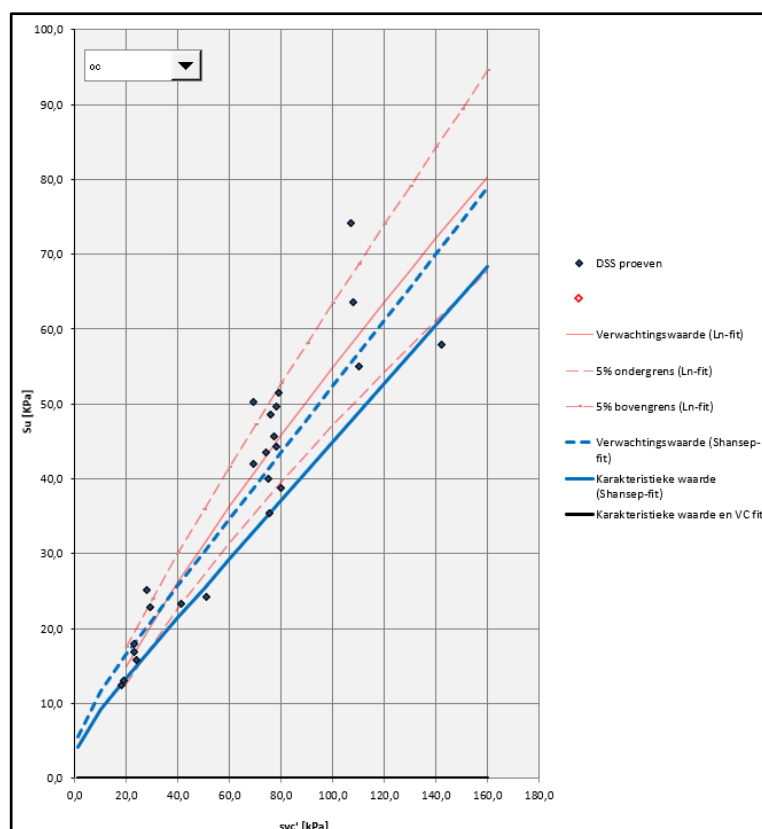
Een alternatief is om voor Klei Licht de afgeleide set sterkte parameters voor de compressie zone en de DSS zone van het glijvlak toe te passen (zie parameters uit tabel 5-2) voor de verschillende zones van het glijvlak.

6.2 Voorstel Klei Zwaar

Voor de grondsoort Klei Zwaar is het voorstel om een S_u tabel af te leiden op basis van de triaxiaal compressie proeven voor het actieve gedeelte van het glijvlak bij 15% axiale rek. Er zijn te weinig DSS proeven op Klei Zwaar om een losse parameterset af te leiden voor deze zone. Voor de neutrale en passieve zone is daarom het advies om de S_u tabel toe te passen waarbij de sterkte is afgekapt op 20 kPa. De uitwerking van de S_u tabel is gepresenteerd in tabel 4-4. Waarbij wordt opgemerkt dat de grondsoort Klei Zwaar in de neutrale en passieve zone weinig voorkomt.

6.3 Voorstel veen

Bij implementatie van STBI-1 is het ook noodzakelijk om de sterkteparameters van veen af te leiden bij een rekpercentage dat overeenkomt met 15% axiale rek. Derhalve is voor de grondsoort veen de sterkte afgeleid bij een rekpercentage van 20% schuifrek. Het resultaat is weergegeven in figuur 6-2. De parameters horend bij de karakteristieke SHANSEP fits zijn weergegeven in tabel 6-2.



figuur 6-2: DSS resultaten voor veen bij 20% schuifrek

tabel 6-2: Karakteristieke SHANSEP fit Veen

Parameters Veen	Afleiding bij 20% schuifrek	
	Gemiddeld	Karakteristiek
S	0,44	0,39
m	0,78	0,78
POP	25	20

6.4 Verschilanalyse methode gecombineerde set en zonering

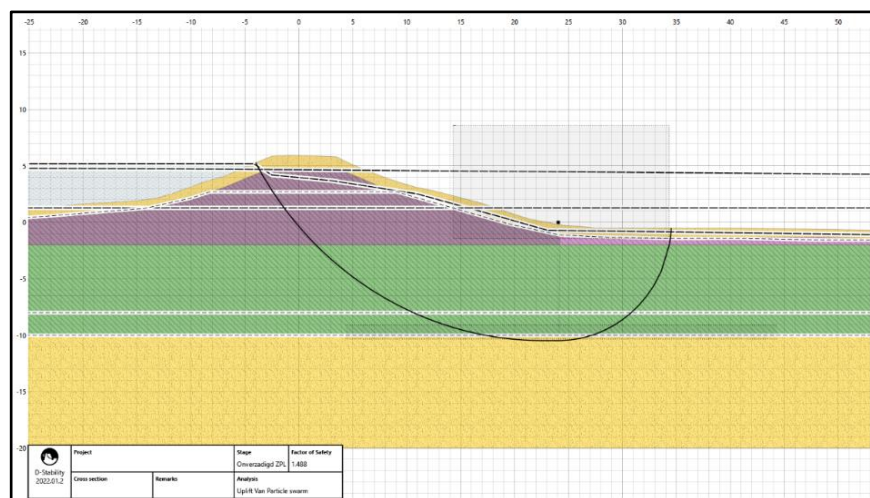
Voor een tweetal dijkvakken is de methodiek van een gecombineerde parameterset (voorgestelde werkwijze) vergeleken met het toepassen van verschillende sets op basis van de zonering (actief, neutraal passief) van het glijvlak.

Resultaat voor dijkvak 12a

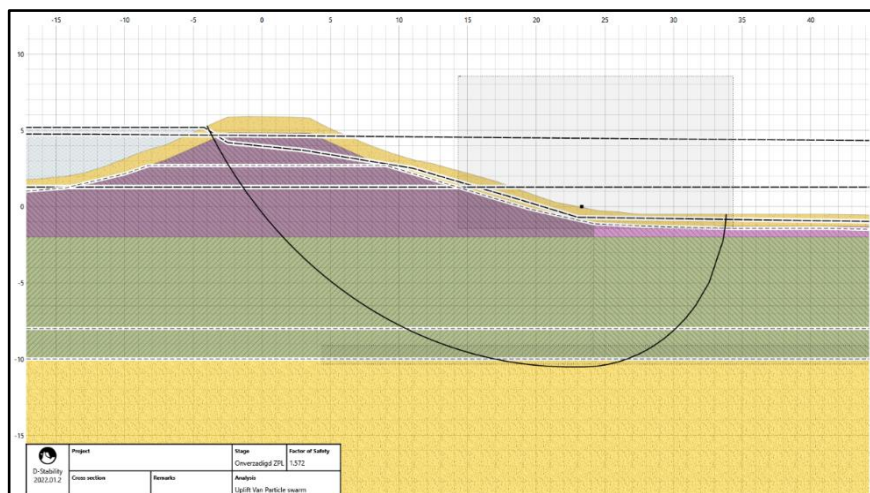
Het resultaat van de vergelijking van methodieken voor dijkvak 12 zijn weergegeven in figuur 6-3 en figuur 6-4. De berekende safety factors zijn:

- SF = 1,49 met methodiek gecombineerde parameterset
- SF = 1,57 met methodiek zonering

De berekende veiligheidsfactoren komen goed overeen, waarbij wordt opgemerkt dat de methodiek met de gecombineerde parameterset de conservatieve methode is. Indien een dijkvak niet voldoet met methodiek gecombineerde parameter set, wordt een analyse met methodiek zonering uitgevoerd.



figuur 6-3: Resultaat dijkvak 12a met gecombineerde set (SF = 1,49)



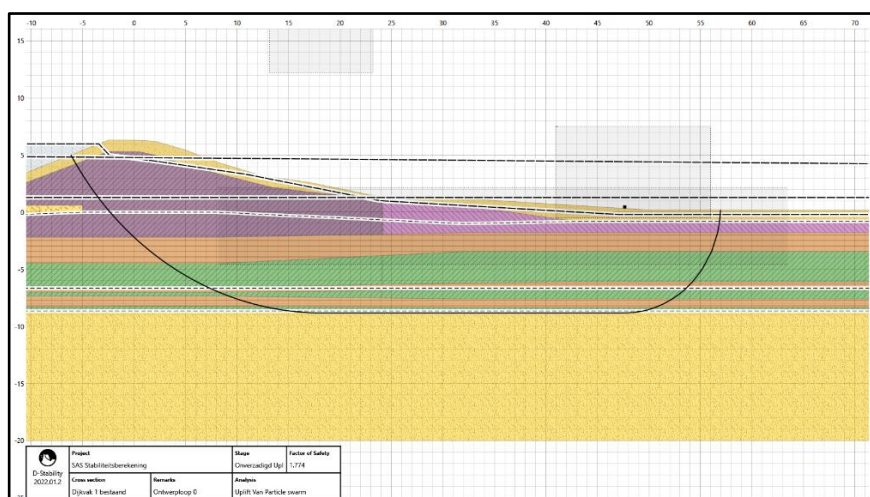
figuur 6-4: Resultaat dijkvak 12a met toepassing zonering (SF = 1,57)

Resultaat Dijkvak 1

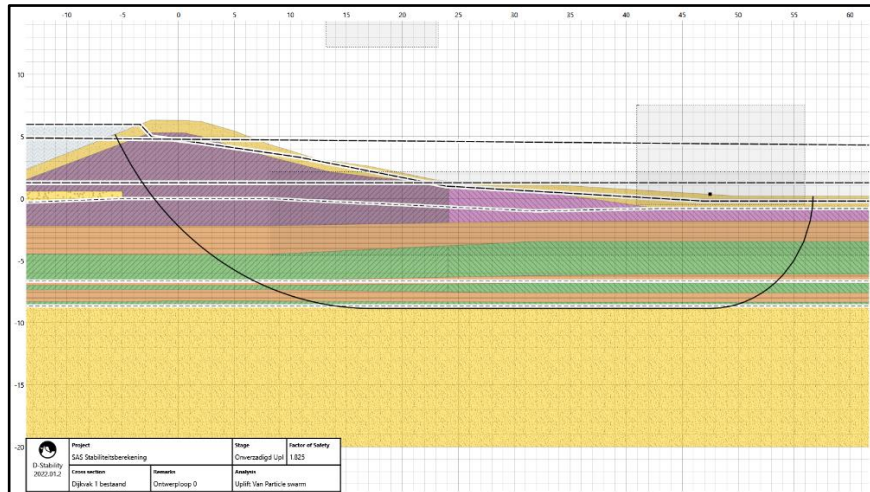
Het resultaat van de vergelijking van methodieken voor dijkvak 1 zijn weergegeven in figuur 6-5 en figuur 6-6. De berekende safety factors zijn:

- SF = 1,77 met methodiek gecombineerde parameterset
- SF = 1,83 met methodiek zonering

De berekende veiligheidsfactoren komen goed overeen, waarbij wordt opgemerkt dat de methodiek met de gecombineerde parameterset de conservatieve methode is. Indien een dijkvak niet voldoet met methodiek gecombineerde parameter set, wordt een analyse met methodiek zonering uitgevoerd.



figuur 6-5: Resultaat dijkvak 1 met gecombineerde set (SF = 1,77)



figuur 6-6: Resultaat dijkvak 1 met toepassing zonering (SF = 1,83)

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In dit rapport is de analyse gepresenteerd van rekeninnovaties STBI-1 (sterkte parameters afleiden bij lagere rek) en STBI-2 (zware klei modelleren via een Su tabel).

Bij de analyse van STBI-1 is geconcludeerd dat de sterkte afgeleid kan worden bij 15% axiale rek. Echter is er tevens een significante mate van sterkte anisotropie waargenomen tussen de afgeleide sterkte op basis van de triaxiaal compressie proeven en de DSS-proeven. Dit effect is te zien bij zowel 15% axiale rek als bij de reguliere afleiding bij 25% axiale rek. Tevens geldt dat dit verschil in sterkte zowel bij Klei licht als Klei Zwaar te zien is.

Bij de analyse van STBI-2 is geconcludeerd dat de sterkte veilig kan worden benaderd door het toepassen van een Su tabel. De spreiding op de resultaten is aanzienlijk maar deze wordt statistisch ondervangen door de Su tabel op de 95% logaritmische ondergrens af te leiden. Voor de grondsoort Klei Zwaar geldt dat het effect van sterkte anisotropie in de neutrale zone nog sterker aanwezig is. Waar zware klei voorkomt in deze zone dient de sterkte te worden gereduceerd.

Op basis van de analyse is verondersteld dat beide methodieken kunnen worden toegepast indien het effect van sterkte anisotropie over het optredend glijvlak correct in rekening wordt gebracht. Er is een voorkeursmethode gepresenteerd waarbij beide rekeninnovaties geïmplementeerd kunnen worden in ontwerploop 0 binnen deeltraject SAS. Binnen deze methode zijn de sterkteparameters afgeleid op de volgende manier:

- Klei Licht: afleiding bij 15% axiale rek
 - Eerste instantie: methode gecombineerde parameterset
 - Aanscherping: methode zonering
- Klei Zwaar: afleiding Su tabel bij 15% axiale rek. Afgekapt op 20 kPa voor neutrale zone
- Veen: afleiding bij 20% schuifrek (correspondeert met circa 15% axiale rek)

7.2 Doorkijk naar overige deeltrajecten en vervolg

Op basis van de analyse en conclusies gepresenteerd zijn de volgende stappen voorzien ten aanzien van de overige deeltrajecten binnen de Sterke Lekdijk:

- De aanbevelingen en geleerde lessen voor een succesvolle toepassing van STBI-1 en STBI-2 bij andere deeltrajecten van de Sterke Lekdijk worden verzameld en samengevat in een nog op te stellen memo;
- In overleg met het Technisch Team wordt afgestemd hoe de ontwikkelde kennis kan worden vertaald naar de Strategische Nota van Uitgangspunten.

8 Referenties

- [Ref. 1] Rapportage proevenverzameling, Dijkversterking Salmsteke – Schoonhoven, Sweco-Arcadis, 3 maart 2020
- [Ref. 2] Ongedraineerd gedrag van Echteld klei onder de loep, Geotechniek, augustus 2020
- [Ref. 3] Grondonderzoek Sterke Lekdijk deeltraject Salmsteke-Schoonhoven, opdracht 02P011039-04, 26 juni 2019
- [Ref. 4] Aanvullend grondonderzoek Planfase Salmsteke-Schoonhoven, opdracht 22ZP0416-07, 14 februari 2023
- [Ref. 5] Technische Nota van Uitgangspunten SAS Planuitwerkingsfase (ontwerploop 0) versie 1.1
- [Ref. 6] Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Strategisch Ontwikkelplan Rekenmethodieken, 1820650, versie 2.0, 21-12-2021.
- [Ref. 7] Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Logboek Innovatieve Rekenmethodieken, versie 2.1, 30-06-2023

Bijlage 1 Klankbordgroep en overleggen

Aan de start van het innovatietraject is een klankbordgroep samengesteld om inhoudelijke sturing te geven aan het proces. Deze klankbordgroep bestond uit de volgende personen:

- Alexander van Duinen (Deltares)
- Rens Servais (Heijmans)
- Martin Arends (Arcadis)
- Silvia Bersan (HDSR)
- Rutger Bolt (HDSR)

Binnen het innovatie traject zijn is de klankbordgroep vijf keer bij elkaar gekomen. De data van overleg en het doel per overleg zijn in de onderstaande tabel samengevat.

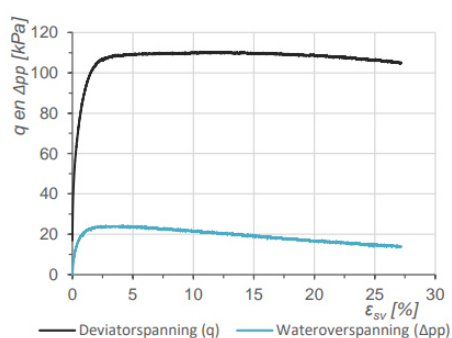
Meeting	Datum	Doel
Meeting 1	03-02-2023	Bespreken aanpak beschreven in ontwikkelplan
Meeting 2	31-03-2023	Bespreken analyse labonderzoek en eerste uitwerking STBI-2 bij eindrek
Meeting 3	09-05-2023	Bespreken concept uitwerking STBI-1 op basis van plots
Meeting 4 (teams)	23-05-2023	Bespreken eerste uitwerking rapportage
Meeting 5 (teams)	07-06-2023	Bespreken eindconclusie en implementatie

Bijlage 2 Voorbeeld spannings-rek verloop en spanningspaden bij beoordeling proeven

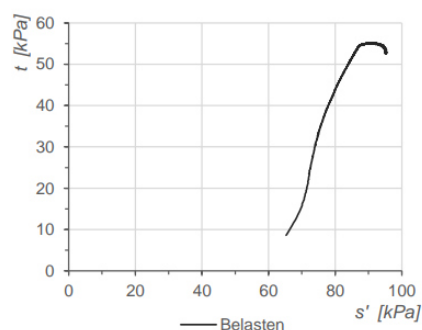
Kwalitatief goede proef

In de onderstaande afbeeldingen is een kwalitatief matige goede proef weergegeven. Het spannings-rekverloop is na circa 5% rek redelijk constant tot aan de eindrek. In de foto's van de monsters zijn geen extreme schuifvlakken en is geen duidelijk zichtbare heterogeniteit te zien.

Deviator- en wateroverspanning als functie van vert. schuifrek



Spanningspad



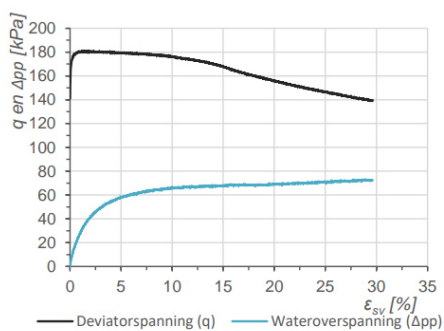
Deformatie van het monster



Kwalitatief matige proeven

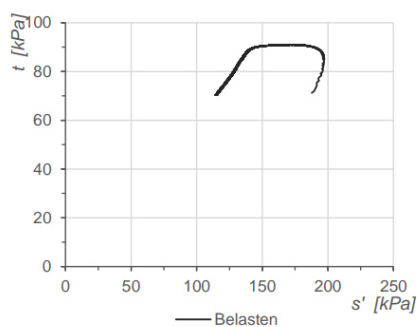
In de onderstaande afbeeldingen is een kwalitatief matige proef weergegeven. De proef is als matig beoordeeld omdat er bij circa 15% axiale rek een dalende knik voorkomt in het spannings-rekverloop wat duidt op vroegtijdig bezwijken. Het spanningspad vertoont een knikje en wijst niet helemaal richting de oorsprong. In de foto's van het monster lijkt het monster ook wat heterogeniteit te bevatten.

Deviator- en wateroverspanning als functie van vert. schuifrek



Stress ratio als functie van de verticale schuifrek

Spanningspad



E-modulus als functie van de verticale schuifrek

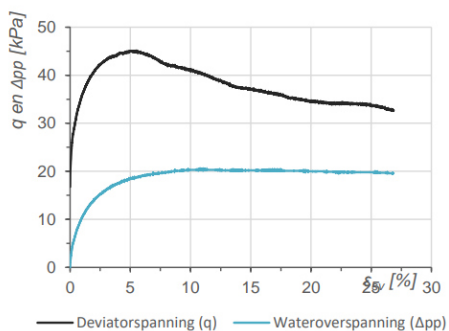
Deformatie van het monster



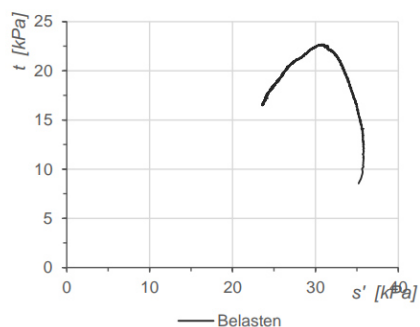
Kwalitatief slechte proef

In de onderstaande afbeeldingen is een kwalitatief slechte proef weergegeven. De proef is als slecht beoordeeld omdat er bij 7 a 8% axiale rek rare knikken voorkomen in het spannings-
rekverloop wat duidt op vroegtijdig bezwijken. In het spanningspad valt op dat bij grotere rekken het spanningspad van de critical state line afschiet (wijst niet meer naar de oorsprong). Bij de
deformatie van het monster zijn zeer grote schuifvlakken te zien wat wijst op invloed membraan en vroegtijdige bezwijking van het monster.

Deviator- en wateroverspanning als functie van vert. schuifrek



Spanningspad



Deformatie van het monster



Bijlage 3 Kwalitatieve beoordeling proeven

Triaxiaal compressie proeven Klei Licht

54_DP110+099_B_KR_16a1	TXT_SAS_klei	Goed
162_DP111+003_B_BERM_22a1	TXT_SAS_klei	Goed
367_DP168+049_B_AL_022-a	TXT_SAS_klei	Goed
368_DP168+049_B_AL_022-a	TXT_SAS_klei	Goed
369_DP168+049_B_AL_023-a	TXT_SAS_klei	Goed
413_DP168+051_B_BERM_031-a	TXT_SAS_klei	Goed
414_DP168+051_B_BERM_031-a	TXT_SAS_klei	Goed
511_DP185+099_B_AL_021-a	TXT_SAS_klei	Goed
512_DP185+099_B_AL_021-a	TXT_SAS_klei	Goed
514_DP185+099_B_AL_023-a	TXT_SAS_klei	Goed
554_DP186+000_B_BERM_033-a	TXT_SAS_klei	Goed
985_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_9	TXT_SAS_klei	Goed
987_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_11	TXT_SAS_klei	Goed
582_DP185+100_B_KR_018-a	TXT_SAS_klei_matig	Matig
965_DP149+048_B_BUK_DP149+048_B_BUK_18	TXT_SAS_klei_matig	Matig
968_DP149+048_B_BUT_DP149+048_B_BUT_5	TXT_SAS_klei_matig	Matig
969_DP149+048_B_BUT_DP149+048_B_BUT_16	TXT_SAS_klei_matig	Matig
975_DP149+050_B_BIK_DP149+050_B_BIK_17	TXT_SAS_klei_matig	Matig
983_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_7	TXT_SAS_klei_matig	Matig
1013_DP184+017_B_BUT_DP184+017_B_BUT_4	TXT_SAS_klei_matig	Matig
56_DP110+099_B_KR_18a1	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
78_DP111+000_B_BUT_09a1	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
93_DP111+000_B_BUT_20a1	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
148_DP111+003_B_BERM_11b1	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
163_DP111+003_B_BERM_23a1	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
431_DP168+050_B_KR_011-a	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
581_DP185+100_B_KR_018-a	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
953_DP134+001_B_BIT_DP134+001_B_BIT_9	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
963_DP149+048_B_BIB_DP149+048_B_BIB_16	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
967_DP149+048_B_BUT_DP149+048_B_BUT_4	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
978_DP149+052_B_BIT_DP149+052_B_BIT_11	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht
990_DP158+009_B_BIT_DP158+009_B_BIT_14	TXT_SAS_outlier_klei_licht	Slecht

Triaxiaal compressie proeven Klei Zwaar

39_DP110+099_B_KR_05a1	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
42_DP110+099_B_KR_06a2	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
45_DP110+099_B_KR_08a1	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
420_DP168+050_B_KR_003-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
422_DP168+050_B_KR_004-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
425_DP168+050_B_KR_006-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
428_DP168+050_B_KR_009-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
430_DP168+050_B_KR_011-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
434_DP168+050_B_KR_013-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
441_DP168+050_B_KR_019-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
442_DP168+050_B_KR_019-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
526_DP186+000_B_BERM_011-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
529_DP186+000_B_BERM_013-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
564_DP185+100_B_KR_004-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
569_DP185+100_B_KR_008-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
571_DP185+100_B_KR_010-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
572_DP185+100_B_KR_010-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
574_DP185+100_B_KR_012-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
577_DP185+100_B_KR_015-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
951_DP134+001_B_BIT_DP134+001_B_BIT_6	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
955_DP134+002_B_BIK_DP134+002_B_BIK_7	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
958_DP134+002_B_BUK_DP134+002_B_BUK_6	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
959_DP134+002_B_BUK_DP134+002_B_BUK_7	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
961_DP134+002_B_BUK_DP134+002_B_BUK_13	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
972_DP149+050_B_BIK_DP149+050_B_BIK_12	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
979_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_3	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
986_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_10	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
991_DP158+009_B_BUT_DP158+009_B_BUT_3	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
998_DP184+015_B_BIB_DP184+015_B_BIB_7	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
1008_DP184+017_B_BIK_DP184+017_B_BIK_8	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
1009_DP184+017_B_BIK_DP184+017_B_BIK_9	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
1010_DP184+017_B_BIK_DP184+017_B_BIK_10	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd	Goed
566_DP185+100_B_KR_006-a	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd_matig	Matig
957_DP134+002_B_BIK_DP134+002_B_BIK_13	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd_matig	Matig
962_DP149+048_B_BIB_DP149+048_B_BIB_7	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd_matig	Matig
973_DP149+050_B_BIK_DP149+050_B_BIK_13	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd_matig	Matig
982_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_6	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd_matig	Matig
992_DP158+009_B_BUT_DP158+009_B_BUT_4	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd_matig	Matig

995_DP184+015_B_BIB_DP184+015_B_BIB_3	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd_matig	Matig
999_DP184+015_B_BIB_DP184+015_B_BIB_8	TXT_SAS_klei zwaar&dijk onverzadigd_matig	Matig
40_DP110+099_B_KR_05b1	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
41_DP110+099_B_KR_06a1	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
43_DP110+099_B_KR_07a1	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
44_DP110+099_B_KR_07a2	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
48_DP110+099_B_KR_11a1	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
50_DP110+099_B_KR_13a1	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
51_DP110+099_B_KR_13a2	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
58_DP110+099_B_KR_19a2	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
79_DP111+000_B_BUT_09a2	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
111_DP111+003_B_AL_06a1	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
421_DP168+050_B_KR_003-c	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
423_DP168+050_B_KR_004-a	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
424_DP168+050_B_KR_005-b	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
426_DP168+050_B_KR_007-a	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
461_DP168+055_B_BUT_007-a	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
527_DP186+000_B_BERM_011-a	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
567_DP185+100_B_KR_006-a	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
578_DP185+100_B_KR_015-a	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
946_DP134+001_B_BIB_DP134+001_B_BIB_4	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
949_DP134+001_B_BIB_DP134+001_B_BIB_10	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
970_DP149+048_B_BUT_DP149+048_B_BUT_18	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
1001_DP184+015_B_BIB_DP184+015_B_BIB_10	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
1004_DP184+015_B_BIT_DP184+015_B_BIT_4a	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
1011_DP184+017_B_BIK_DP184+017_B_BIK_11	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht
1012_DP184+017_B_BUT_DP184+017_B_BUT_3	TXT_SAS_outlier_klei zwaar_onverzadigd	Slecht

DSS proeven Klei Licht

1015_DP168+050_B_KR_017-a	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1016_DP168+050_B_KR_017-a	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1017_DP134+001_B_BIB_DP134+001_B_BIB_5	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1018_DP134+001_B_BIB_DP134+001_B_BIB_8	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1019_DP134+001_B_BIT_DP134+001_B_BIT_5	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1025_DP149+048_B_BUK_DP149+048_B_BUK_19	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1027_DP149+050_B_BIK_DP149+050_B_BIK_15	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1028_DP149+050_B_BIK_DP149+050_B_BIK_18	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1029_DP149+052_B_BIT_DP149+052_B_BIT_10	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1032_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_8	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1034_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_14	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1036_DP158+010_B_BIK_DP158+010_B_BIK_17	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1040_DP184+015_B_BIB_DP184+015_B_BIB_11	SAS_Klei_licht_DSS	Goed
1044_DP184+017_B_BUT_DP184+017_B_BUT_5	SAS_Klei_licht_DSS	Goed

DSS proeven Klei Zwaar

1021_DP134+002_B_BIK_DP134+002_B_BIK_8	SAS_Klei_zwaar_DSS	Goed
1024_DP149+048_B_BIB_DP149+048_B_BIB_18	SAS_Klei_zwaar_DSS	Goed
1030_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_4	SAS_Klei_zwaar_DSS	Goed
1033_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_11	SAS_Klei_zwaar_DSS	Goed
1038_DP184+015_B_BIB_DP184+015_B_BIB_6	SAS_Klei_zwaar_DSS	Goed
1039_DP184+015_B_BIB_DP184+015_B_BIB_9	SAS_Klei_zwaar_DSS	Goed
1043_DP184+016_B_BUK_DP184+016_B_BUK_9	SAS_Klei_zwaar_DSS	Goed
1020_DP134+002_B_BIK_DP134+002_B_BIK_6	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht
1022_DP134+002_B_BUK_DP134+002_B_BUK_6	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht
1023_DP134+002_B_BUK_DP134+002_B_BUK_8	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht
1026_DP149+050_B_BIK_DP149+050_B_BIK_10	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht
1031_DP158+009_B_BIB_DP158+009_B_BIB_5	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht
1035_DP158+009_B_BUT_DP158+009_B_BUT_5	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht
1037_DP184+015_B_BIB_DP184+015_B_BIB_4	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht
1041_DP184+015_B_BIT_DP184+015_B_BIT_3	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht
1042_DP184+016_B_BUK_DP184+016_B_BUK_7	Outlier_SAS_Klei_zwaar_DSS	Slecht

Bijlage 4 Verslagen klankbordgroep overleggen

STERKE LEKDIJK

VERSLAG

Datum: 10-02-23

Kenmerk:

DM#

Aan: Aanwezigen

Van: Stef Engels, Yoeri Jongerius, Jan Willem Bardoel

Betreft : Verslag rekeninnovaties Sterkteparameters
klankbordgroep sessie 1

Inleiding

Binnen de Sterke Lekdijk is er een overkoepelende behoefte om tijdens het project de mogelijkheid te onderzoeken van het toepassen van innovaties om de veiligheidsscope aan te scherpen en om tot een doelmatig ontwerp te komen. Voor het deeltraject Salmsteke – Schoonhoven (SAS) zijn mogelijke rekeninnovaties beschreven in het ontwikkelplan. Hierin is een ontwikkelplan opgesteld voor de rekeninnovaties STBI-1,2 & 3 (nummering conform Strategisch Ontwikkelplan Rekenmethodieken (SOR)). Onderdeel van dit plan is het organiseren van klankbordgroep sessies om het ontwikkelplan en de uitwerking daarvan vast te leggen. Het onderstaande verslag betreft de notulen van de eerste klankbordgroep sessie.

Aanwezigen

Alexander van Duinen (Deltares)
Rens Servais (Heijmans / Lekensemble)
Martin Arends (Arcadis)
Rutger Bolt (HDSR)
Silvia Bersan (HDSR)
Jan-Willem Bardoel (ABT/Mourik)
Stefan Kamp (RPS/Mourik)
Yoeri Jongerius (RPS/Mourik)
Stef Engels (RPS/Mourik)

Doel

Het doel van het overleg is het bespreken van het opgestelde concept ontwikkelplan. Hierbij ligt de focus op de uitwerking van de volgende rekeninnovaties:

- STBI 1 – Afleiden van sterkteparameters bij lagere rek;
- STBI 2 – Toepassen van een su tabel voor transitional soils.

Tevens worden de mogelijkheden tot toepassing van STBI 3 – sterke in de onverzadigde zone besproken. Dit betreft enkel een verkenning tot mogelijke toepassingen binnen SAS en overige deeltrajecten.

STERKE LEKDIJK

VERSLAG

Overleg

Yoeri opent het overleg en geeft context van het project Sterke Lekdijk en deeltraject SAS. Na een korte voorstelronde begint het overleg.

STBI – 1 Sterkte parameters afleiden bij lagere rekpercentage

Yoeri en Stef dragen aan de hand van een powerpoint discussiepunten aan die zijn opgekomen bij het schrijven van het ontwikkelplan rekeninnovaties. De punten worden puntsgewijs besproken. De discussiepunten en bevindingen zijn hieronder samengevat.

Stef ligt toe dat in de hoofdlijnen voor STBI-1 de aanpak van GOWA wordt gehanteerd. De werkwijze is globaal beschreven in het ontwikkelplan. Hier zijn echter een aantal vragen naar voren gekomen die worden besproken in de klankbordgroep.

Correctie van Triaxiaal naar plane-strain condities

In de aanpak worden triaxiaal en DSS proeven met elkaar vergeleken door een correctie toe te passen op de rekken zodat deze zuiver met elkaar vergeleken kunnen worden. De vraag is of de correctie ook wordt toegepast op de uiteindelijke af te leiden sterkteparameter.

Alexander en Rens geven aan dat de veiligheidsfilosofie van dijken zodanig is afgeleid dat er geen correctie wordt toegepast op de sterkte om te corrigeren van triaxiaal naar plane strain condities. De correctie wordt dus enkel toegepast om het rekpercentage te bepalen waarbij de sterkte dient te worden afgeleid. De correctiefactor zit onder andere verwerkt in de modelfactor.

Worden de DSS en Triaxiaal extentie proeven ook gebruikt voor de uiteindelijke sterktebepaling

Om het juiste rekpercentage af te leiden via de methode “compatibility of strain” worden naast triaxiaal compressie ook DSS en Triaxiaal extentie proeven uitgevoerd. De vraag is of de verkregen sterkte uit deze proeven ook worden meegenomen in de uiteindelijke bepaling van de karakteristieke sterkte.

Rens en Alexander geven aan dat je deze proeven mag meenemen in de bepaling van de karakteristieke sterkte. De ervaring leert echter dat de triaxiaal extentieproef lastig te interpreteren is en dat de spreiding op het resultaat relatief groot is. Het ligt dus niet voor de hand deze proeven mee te nemen. Bij DSS proeven is dit echter wel goed mogelijk. Er is dus ruimte om de proeven (indien geslaagd) mee te nemen.

Dient het rekpercentage van veen ook te worden aangepast

STERKE LEKDIJK

VERSLAG

Iedereen geeft aan dat het nieuw afgeleide rekpercentage ook moet worden doorvertaald naar het rekpercentage waarbij de sterkte van veen wordt afgeleid. Hier zit een factor 1,5 tussen ten opzichte van de axiale rek bij triaxiaal compressie. Hetgeen betekent dat wanneer er een rekpercentage van 15% axiale rek wordt afgeleid, dat bij veen de sterkte dient te worden bepaald bij 22,5%.

Op welke materialen passen we STBI-1 toe

De vraag is of er ook voor zware kleien (transitional soils) de sterkte ook dient te worden afgeleid bij een lager rekpercentage.

De gehele groep geeft aan dat wanneer een nieuw rekpercentage is afgeleid waarbij de sterkte wordt afgeleid dat dit moet worden doorvertaald voor alle grondsoorten. Wanneer een transitional soil wordt gemodelleerd met een su tabel dient de sterkte dus ook te worden bepaald bij het nieuw vastgestelde rekpercentage. Hierbij dient aandacht te worden gegeven voor uitschieters van zware klei door zeer dilatant gedrag. Maak hier een veilige keuze in en beschouw de situatie van progressive failure (doorgaand bezwijken).

Welke proeven zijn het best bruikbaar voor de afleiding van een lager rekpercentage

In het labonderzoek zijn zowel NC als OC triaxiaal proeven uitgevoerd. De vraag aan de klankbordgroep of bepaalde proeven geschikter zijn voor bepaalde afleidingen.

Rens geeft aan dat NC proeven te maken hebben met een zeer grote vervorming in de consolidatiefase waardoor je vaak een ei vorm krijgt. Je diameter hoogte verhouding wordt hiermee serieus beïnvloed wat invloed heeft op de resultaten. Martin geeft aan dat je bij deze proeven in een spanningsregiem zit dat niet correspondeert met de spanningen in een glijvlak. OC proeven hebben om de bovenstaande reden de voorkeur om de fits te maken tussen effectieve spanning en ongedraineerde sterkte. Echter zijn de NC proeven wel geschikt voor het afleiden van de sterkteparameter S. Het advies is dan ook om de S te baseren op NC proeven en de overige parameters (m en POP) te fitten op basis van enkel de OC proeven.

De volgende overige punten zijn tevens besproken met betrekking tot STBI-1:

Rekpercentage in Plaxis beschouwen

Martin geeft aan dat het nuttig zou zijn om een Plaxis berekening te maken met het ADP model om de optredende rekken over het glijvlak te beschouwen. Dit geeft inzicht in het te hanteren rekpercentage en maakt het mogelijk eventueel pieksterkte in het actieve deel van het glijvlak te benutten. Alexander bevestigt dit en zegt dat er dan rekening gehouden dient te worden met een minimale sterkte mobilisatie in het passieve deel van het glijvlak. Rens geeft aan dat de vaste Plaxis verhoudingen van grondmodellen wellicht een obstakel kunnen vormen om je input vrij op te geven. Tevens geeft Rens aan dat het softening gedrag wat we

in proeven waarnemen niet in Plaxis te modelleren is. Er is dus een beperkte mogelijkheid om recht te doen aan het werkelijke grondgedrag.

Aandachtpunten bij proeven

Alexander en Rens geven aan dat er aandacht moet zijn voor de correctie van membraamsterkte en drainage strips die worden toegepast bij triaxiaal extensie proeven. Stef gaat dit meegeven aan het lab.

STBI – 2 Su tabel voor transitional soils

In welke zone passen we de Su tabel toe

In de huidige nota van uitgangspunten wordt er een Su tabel toegepast onder de dagelijkse grondwaterstand (initieel verzadigde zone). De vraag aan de klankbordgroep is of su tabel ook hoger zou kunnen worden toegepast.

Martin geeft aan dat de resultaten van een Su tabel over een grotere zone (dus boven dagelijkse grondwaterstand) goed te fitten zijn. Dit zou betekenen dat je de Su tabel tot de freatische lijn bij WBN kan toepassen.

Alexander geeft aan dat de mate van verzadiging van de dijk varieert over het stormseizoen. Er is echter een periode (rond februari/maart) dat vrijwel de gehele dijk verzadigd is waarmee een Su tabel een correcte modelleringswijze zou zijn voor die situatie. Dit is tevens veilig omdat er geen rekening wordt gehouden met eventueel aanwezige zuigspanning in een onverzadigde zone.

Echter wordt aangegeven dat dijken een sterk heterogene opbouw kunnen hebben waardoor het zeer belangrijk is om na te gaan of een ongedraineerd sterktemodel recht doet aan de werkelijkheid. Met die verstande dient te worden beoordeeld of een Su tabel toepasbaar is voor het gehele dijklichaam of dat er eventueel een gedraineerd sterktemodel moet worden toegepast voor een bepaalde zone.

Schalingsparameter m

Stef vraagt zich af of er een algemene opvatting is over het bepalen van schalingsparameter m die wordt toegepast in een Su tabel.

Martin geeft aan dat m vaak wordt gefit op de afgeleide lijn die volgt uit de Su tabel. Alexander geeft aan dat dit geen recht doet aan het ongedraineerde gedrag. De algemene consensus is dat m zou moeten liggen tussen een waarde van circa 0,5 tot 0,8. Het fitten op de Su tabel geeft een startpunt dat in ieder geval conservatief is. Het is echter het overwegen waard om m te verhogen naar een waarde van circa 0,8 mocht dit veel invloed hebben.

STERKE LEKDIJK

VERSLAG

Alexander geeft aan dat er in het verleden (bij SAFE) proeven zijn uitgevoerd op slurrie monsters van transitional soils. Wanneer deze worden beproefd wordt een m van circa 0,8 afgeleid wat goed correspondeert met de waarde die je op basis van literatuur kan verwachten. Dit kan een argument zijn om een m van circa 0,8 te hanteren.

Regressiemethode

Alexander geeft aan dat de 5% ondergrens kan worden bepaald op basis van een lognormale verdeling. Dit is de gangbare methodiek.

Huidige methodiek ontwerploep 0

Stef geeft aan dat in ontwerploep 0 is uitgegaan van een S_u tabel die is afgeleid bij het punt van maximale waterspanning. Dit komt neer op een rekpercentage van circa 1,5%.

Martin, Alexander en Rens geven aan dat dit fysisch geen recht doet met de werkelijkheid omdat de overige parameters bij CSSM rek zijn bepaald. Er wordt echter bevestigd dat dit een veilig vertrekpunt is waar voor nu mee kan worden gerekend. Het is echter wenselijk dit uitgangspunt aan te passen naar een rekpercentage dat overeen komt met STBI-1.

STBI 3 – Sterkte onverzadigde zone

De sterkte in de onverzadigde zone is besproken bij punt STBI-3. Er is besproken dat de impact voor SAS waarschijnlijk klein is.

De huidige modellering van sterkte in de onverzadigde zone uit de strategische nota van uitgangspunten wordt kort besproken. Dit betreft een modellering met een spanningsonafhankelijke schuifsterkte T_{min} .

Martin geeft aan dat de waardes van 5 kPa (toplaag) en 15 kPa (onverzadigde zone) laag zijn in vergelijking met wat in andere projecten is afgeleid. Hetgeen betekent dat ze in ieder geval veilig te gebruiken zijn. Hij merkt echter op dat er harde sprongen ontstaan in sterkte nabij de gekozen freatische lijn bij dagelijkse omstandigheden. Rens erkent dit.

Het is wenselijk om in het vervolgproces een spanningsafhankelijke sterkte af te leiden voor de initieel onverzadigde zone om abrupte sprongen in sterkte te voorkomen. Dit kan met de toepassing van een s_u tabel.

Sterkte in onverzadigde zone is sterk locatie afhankelijk en moeilijk door te vertalen naar trajectniveau. Echter kan specifiek onderzoek worden ingezet om op maatwerklocaties een aangescherpt oordeel te kunnen geven. Een goede eerste stap voor onderzoek zijn boringen met watergehalte bepalingen in de natste periode (februari maart). Wanneer er een duidelijke onverzadigde zone aanwezig is kan mogelijk extra sterkte worden benut.



STERKE LEKDIJK

VERSLAG

Alexander geeft aan dat er geen nieuwe inzichten zijn ten opzichte van het handelingsperspectief sterkte in de onverzadigde zone (van eind 2021).

Tot slot zijn de volgende data voor de volgende klankbordgroep sessies ingepland. De vervolg overleggen zijn gepland op:

Vrijdag 31 maart van 9:30 tot 13:00

Dinsdag 18 april 9:30 tot 13:00

STERKE LEKDIJK

VERSLAG

Datum: 31-03-2023

Kenmerk: DM#

Aan: Klankbordgroep Rekeninnovaties SAS

Van: Stef Engels, Jan-Willem Bardoel

Betreft : Verslaglegging klankbordgroep sessie 2

Aanwezig: Martin Arends, Alexander van Duinen, Rens Servais, Jan-Willem Bardoel, Silvia Bersan, Rutger Bolt, Stef Engels

Afwezig: Yoeri Jongerius

Inleiding

In de planuitwerkingsfase worden binnen het deeltraject SAS de toepassing van verschillende rekeninnovaties onderzocht ten behoeve van de definitieve scopebepaling en het vervolg van het ontwerp van SAS en verdere toepassing binnen Sterke Lekdijk en andere dijkversterkingen. De geselecteerde rekeninnovaties en het plan van aanpak per innovatie zijn vastgelegd in het Ontwikkelplan Rekenmethodieken SAS. Hierin is vastgelegd dat er een drietal sessies met een samengestelde klankbordgroep worden georganiseerd om de voortgang van de innovatie af te stemmen. Het onderliggende verslag betreft de verslaglegging van de tweede klankbordgroep sessie.

Bespreking opvallende proefresultaten

In de afgelopen periode is een groot onderdeel van het uitgevraagde geotechnische labonderzoek uitgevoerd. Er missen enkel nog enkele triaxiaal extensie proeven. De opvallende proefresultaten die Stef en Martin bij de eerste analyse zijn opgevallen zijn besproken:

Triaxiaal compressie proeven (OC en NC proeven beschikbaar)

Enkele proeven laten een extreem groot schuifvlak zien waardoor het monster ten tijden van de proef in het membraan is gaan hangen. De hypothese is dat deze proeven beter niet meegenomen kunnen worden. De gehele klankbordgroep ziet deze proef als niet representatief bij eindrek. In het voorbeeld uit de presentatie lijkt de sterkte tot 6 procent axiale rek bruikbaar en daarna al twijfelachtig. Er kan worden overwogen om het begin van de proef (bij lagere rekken) wel mee te nemen. Indien hiervoor gekozen wordt kunnen de resultaten beter eerst apart beschouwd worden, om deze te vergelijken met de kleinere afschuifvlakken. Om te controleren of de afschuifvlakken gebruikt kunnen worden dient de ongecorrigeerde (geen correctie voor membraan, drainage strips en oppervlaktecorrectie) afschuifgrafiek vergeleken te worden met de gecorrigeerde grafiek.

Voorlopig uitsluiten van verzameling

STERKE LEKDIJK

VERSLAG

Stef stelt de vraag of proeven waarbij een bepaald faalmechanisme optreedt (schuifvlak, tonrond of combinatie) bij voorbaat moeten worden uitgesloten. Het beeld van de klankbordgroep is dat dit in eerste instantie niet nodig is, maar dat het voor een vervolganalyse interessant kan zijn om het onderscheid te maken om te kijken of de spreiding op resultaten afneemt. Ook hier geldt dat het verstandig is om de ongecorrigeerde en gecorrigeerde resultaten met elkaar te vergelijken.

Geen onderscheid maken o.b.v. faalmechanisme

In een aardig aantal proeven zien we een blijvende afname van de deviatorspanning. Rens geeft aan dat dit ook veelvuldig is gezien bij GoWa. Het vermoeden is dat deze blijvende afnemende trend komt door de correcties (membraan, drainage strips en oppervlakte) die worden toegepast. Het kan interessant zijn om proeven te plotten zonder correcties om dit effect zichtbaar te maken. Indien de proeven geen exorbitant glijvlak laten zien en de proeven binnen de verzameling passen worden deze proeven op reguliere wijze meegenomen in de verzameling.

Blijvende afname deviatorspanning geen reden tot uitsluiting indien glijvlak niet exorbitant is

Enkele contractante proeven wijzen niet naar de oorsprong zoals op basis van CSSM theorie verondersteld wordt. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn vroegtijdig bezwijken van het monster (voor eindrek) en invloed van de correcties.

DSS proeven (OC proeven beschikbaar)

In de DSS resultaten zijn twee typen proeven te onderscheiden. Dit zijn proeven met een opgetreden schuifvlak diagonaal over het monster en proeven waarbij dit glijvlak niet is te zien. Beide typen komen ongeveer even vaak voor en zijn onafhankelijk van het volumegewicht van het monster. De klankbordgroep adviseert hierin om eerst beide typen schuifvlakken apart in een verzameling te nemen om de verschillen te bekijken. Als er geen duidelijk onderscheid is kunnen de proeven op één hoop.

In enkele proeven loopt de schuifspanning in de proef disproportioneel op (na circa 10 tot 15% schuifrek). Volgens het lab is dit te wijten aan extra weerstand die wordt gemeten als gevolg van de rotatie van de DSS ringen. De klankbordgroep is het er over eens dat de proef na dit percentage onbetrouwbare resultaten geeft.

Als extra controle dient er gekeken te worden of het disproportioneel oplopen van de schuifspanning afhankelijk is van de consolidatiespanning (of de DSS-proeven bij hogere consolidatiespanningen allemaal goed zijn gegaan en bij lagere spanningen niet goed).

Proeven uitsluiten die schuifspanning ontwikkelen als gevolg van rotatie DSS ringen

Triaxiaal extensie (OC proeven beschikbaar)

Het is opgevallend dat de beschikbare triaxiaal extensie proeven een zeer groot verschil (circa 50%) laten zien in pieksterkte en eindsterkte. Bij het tonen van de foto's van het monster na

STERKE LEKDIJK

VERSLAG

bezwijken is de hypothese van de klankbordgroep dat dit te wijten is aan de oppervlakte reductie bij het bezwijkvlak (nauwe doorsneden in de zandloper). In de triaxiaal extensie proeven wordt de deviatorspanning gecorrigeerd op dezelfde manier als bij een triaxiaal compressie proef, namelijk door een correctie toe te passen over de gehele hoogte van het monster. Gezien het zeer nauwe oppervlak dat ontstaat bij het glijvlak in triaxiaal extensie proef geeft dit geen benadering voor de optredende spanning op het bezwijkoppervlak. Er wordt voorgesteld om via de foto's zo goed mogelijk te corrigeren voor de afname in het oppervlak tijdens de proef. Dit wordt gedaan door een veronderstelling dat de oppervlakte lineair afneemt vanaf de pieksterkte.

Correctie toepassen na pieksterkte voor oppervlakte afname bezwijkvlak.

In sommige resultaten zijn meerdere bezwijkmomenten te zien. Er is consensus dat deze proeven niet gebruikt moeten worden voor de analyse. Mogelijk oorzaken kunnen liggen in de gehanteerde reksnelheid en bros gedrag door een hoge OCR.

Rens geeft aan dat om een zuivere vergelijking te maken je eigenlijk het spannings-rek verloop zou moeten plotten van NC proeven. De lijnen zouden dan uiteindelijk, bij het te kiezen rekpercentage, ongeveer door hetzelfde punt moeten lopen. Alexander geeft aan dat dit ook mogelijk is met OC proeven en dat er naar het verloop van de trends kan worden gekeken. Op basis van de plots kan worden beoordeeld bij welk rekpercentage de sterkte veilig kan worden afgeleid.

Er is algemene consensus dat er plotjes moeten worden gemaakt per grondsoort (klei zwaar onderscheiden van klei licht). Hierbij is het van belang dat bij het vergelijken van OC proeven de consolidatiespanning van de verschillende proeven ongeveer met elkaar overeenkomen. Tevens is het zinvol om de S_u gedeeld door de consolidatiespanning te plotten tegen de rek. Op deze manier wordt inzichtelijk of verschillende OCR leiden tot verschillen in gedrag en te hanteren rekpercentages. De plotjes moeten worden opgesteld met correcties en zonder correcties. Er dient gecontroleerd te worden of op basis van beide plotjes dezelfde conclusies worden getrokken.

Eerste analyse S_u -tabel

Er is een concept S_u -tabel afgeleid voor de grondsoort Klei zwaar ($\gamma > 17,5 \text{ kN/m}^3$). Dit is gedaan door de fit te maken tussen consolidatiespanning en ongedraineerde schuifsterkte op basis van de OC proeven. Stef geeft aan dat het opvalt dat de spreiding op de resultaten toeneemt naarmate het spanningsniveau toeneemt. Dit lijkt goed te passen met een lognormale regressie fit (karakteristieke ondergrens buigt dan naar beneden af bij toenemende spanning). Als de mate van spreiding onafhankelijk is van het spanningsniveau ligt het meer voor de hand een lineaire regressie toe te passen.

STERKE LEKDIJK

VERSLAG

Stef stelt voor om een m waarde van 0,7 toe te passen. Alexander bevestigt dat dit op basis van literatuur een conservatieve waarde is die kan worden toegepast. Methode Rivierenland waarbij m wordt gefit op de Su tabel doet geen recht aan het ongedraineerde gedrag. Silvia zou graag inzicht hebben in de gevoeligheid van parameter m . Stef en Jan-Willem geven aan dat we dit inzichtelijk kunnen maken met een gevoeligheidsanalyse voor enkele doorsnedes. Hierbij wordt een minimale m van 0,5 en een maximale m van 0,9 gehanteerd.

Memo STBI-3

Het voorstel voor het onderzoek omtrent STBI-3 is besproken.

Het doel van de pilot en het onderzoek is opnieuw besproken. Dit naar aanleiding van de reacties van Alexander en Silvia op het onderzoeksvoorstel.

Het doel is bepaald op het aantonen hoe groot de zone is in de kern van de dijk die ongedraineerd gedrag vertoont in het natte seizoen. Is deze zone groot dan kan in de kernzone een Su-tabel worden toegepast op basis van OC triaxiaalproeven. Is deze zone klein dan is een andere werkwijze benodigd die later nog vastgesteld moet worden.

In het voorstel is op aanraden van Martin ook het bepalen van Atterbergse grenzen opgenomen. De atterbergse grenzen kunnen worden gebruikt om de bevindingen van de onderzoekslocatie door te vertalen naar andere delen van het traject.

Martin stelt voor om op basis van B_q uit de sondering te bepalen of er sprake is van ongedraineerd gedrag. Alexander geeft aan dat de bruikbaarheid van B_q te wensen overlaat en dat we beter kunnen kijken naar gemeten watergehaltes. Tevens zou het een goede aanvulling zijn om elektrische geleidbaarheid in de sondering te meten om de meetpunten van watergehaltes door te kunnen vertalen over de sondeerdiepte. Het aantal mechanische boringen kan worden gereduceerd en de geplande sonderingen worden op basis van deze aanbeveling elektrische sonderingen.

Het volgende overleg is vastgesteld op dinsdag 9 mei van 14:00 tot 16:30.

Samenvatting

- Triaxiaal compressie proeven met een extreem glijvlak worden uitgesloten van de analyse
- Geen onderscheid in faalmechanisme voor alle proeven (schuifvlak tonrond of combinatie)
- DSS proeven met oplopende schuifspanning als gevolg van rotatie ringen worden uitgesloten
- Triaxiaal extensie proeven op de juiste wijze corrigeren voor het afnemende bezwijkoppervlak
- Plots voor OC proeven vergelijken bij vergelijkbare consolidatiespanning proef
- Voor STBI-2 wordt voor de parameter m uitgegaan van $m = 0,7$ (gevoeligheid wordt bepaald met $m=0,5$)
- Vergelijken van de resultaten met en zonder correcties om te controleren of dit dezelfde resultaten geeft

Datum: 09-05-2023

Kenmerk: DM#

Aan: Klankbordgroep Rekeninnovaties SAS

Van: Stef Engels, Yoeri Jongerius

Betreft : Verslaglegging klankbordgroep sessie 3

Aanwezig: Martin Arends, Alexander van Duinen, Rens Servais, Silvia Bersan, Rutger Bolt, Stef Engels, Yoeri Jongerius

Afwezig: Jan-Willem Bardeel

Inleiding

In de planuitwerkingsfase worden binnen het deeltraject SAS de toepassing van verschillende rekeninnovaties onderzocht ten behoeve van de definitieve scopebepaling en het vervolg van het ontwerp van SAS en verdere toepassing binnen Sterke Lekdijk en andere dijkversterkingen. De geselecteerde rekeninnovaties en het plan van aanpak per innovatie zijn vastgelegd in het Ontwikkelplan Rekenmethodieken SAS. Hierin is vastgelegd dat er een drietal sessies met een samengestelde klankbordgroep worden georganiseerd om de voortgang van de innovatie af te stemmen. Het voorliggende verslag betreft de verslaglegging van de derde klankbordgroep sessie.

STBI-1

Bespreking plots triaxiaal compressie proeven

Rens geeft aan dat de piek van Klei Licht verder weg licht voor sommige proeven. Dit is waarschijnlijk het resultaat van de OC proeven (circa 10% axiale rek). NC proeven vertonen bij lagere rekken de pieksterkte (circa 2% axiale rek). Martin geeft aan dat dit ook te maken heeft met de opgetreden vervorming in de consolidatiefase, deze constatering past ook bij de vorige opmerking. De verschillen kunnen ook komen van stijfheidsverschillen wat zou duiden op ander mechanisch gedrag. Omdat de grondsoorten in de sonderingen niet uit elkaar te houden zijn wordt hier voorlopig geen verder onderzoek naar gedaan. De resultaten plotten namelijk wel goed in de verzameling van ongedraineerde sterkte tegen consolidatiespanning.

Rens geeft aan dat vanuit de ervaring van GoWa ook het beeld is dat de lichtere kleien (12,5 kN/m³ tot 17,5 kN/m³) allemaal goed in dezelfde verzameling passen ten aanzien van de afgeleide sterkteparameters.

Stijfheidsverschillen kunnen belangrijk zijn bij het ontwerp van langsconstructies. Geadviseerd wordt om te kijken of er een onderscheid gemaakt op basis van volumegewicht tussen proeven met een vroege pieksterkte en latere pieksterkte. Het zou tevens interessant zijn om te kijken of het bezwijkgedrag (tonrond/schuifvlak) hierop van invloed is.



STERKE LEKDIJK

Rens merkt op de pieksterkte van de zware klei bij hogere rekken optreedt dan hij verwacht. Dit is waarschijnlijk het gevolg kunnen van het dilatante karakter van deze zware kleien dat bij een OC proef zeer dominant aanwezig is.

Bespreking plots DSS proeven

Er zijn geen specifieke opmerkingen ten aanzien van de DSS resultaten voor Klei Licht en Klei Zwaar.

Bespreking plots triaxiaal extensie proeven

Voor de triaxiaal extensie proeven valt op dat de proeven met een oppervlakte-correctie voor het “necking” effect een toenemende sterkte blijven ontwikkelen met toenemende rek. Zonder deze correctie treedt juist weer een grote softening op. De waarheid zal hier ergens tussenin liggen.

Martin vraagt hoe bij GoWa de correctie op het afnemende oppervlak is toegepast. Alexander geeft aan dat dit op dezelfde manier is gedaan dan hier is getracht. De algemene consensus is dat beide plotjes niet corresponderen met de waarheid. Rens geeft aan dat er niet te veel energie gestoken moet worden in de betrouwbaarheid van de extensie proeven bij grotere rekken omdat hier simpelweg te veel onzekerheden/kennisleemtes spelen.

Bespreking plots setjes proeven

Martin merkt op dat de proeven die worden vergeleken met gelijke consolidatiespanning vaak afkomstig zijn uit andere bussen en ook van andere locaties in de dijkdoorsnede. Dit is appels met peren vergelijken. Stef geeft aan dat dit de enige mogelijke combinaties waren met het uitgevoerde labonderzoek. Desalniettemin lijkt het voor Klei Licht verdedigbaar om op een rekpercentage van 15% axiale rek de sterkte af te leiden op basis van de combinaties.

Stef vraagt zich af of er nu voldoende argumentatie aanwezig is om te stellen dat de afgeleide sterktes o.b.v. triaxiaal compressie proeven ook representatief zijn voor de sterktes in DSS en extensie zone van het glijvlak.

Het advies is om de DSS resultaten gecorrigeerd voor plane-strain condities bij 15% rek te vergelijken in de plot waarin de sterkte wordt afgeleid (consolidatiespanning tegen ongedraineerde sterkte). Wanneer de DSS resultaten goed matchen met de triaxiaal compressie resultaten is een afleiding bij 15% axiale rek mogelijk. Ook is het mogelijk de karakteristieke ondergrens te hanteren van beide verzamelingen. Wanneer dit niet goed aansluit is het advies om terug te grijpen op 25% axiale rek.

Actie: DSS resultaten voor 15% rek vergelijken met Triaxiaal compressie resultaten

STERKE LEKDIJK

Alexander geeft ook aan dat het interessant is om de spanningspaden ($s' - t$ diagram) van de Triaxiaal extensie proeven met de triaxiaal compressie proeven te vergelijken. In de eerste plaats wordt gekeken of de verzameling past bij de sterkte parameters bij verschillende rekpercentages (bovenstaande actie).

STBI-2

Bespreking Su-tabellen

Er wordt opgemerkt dat de afgeleide Su-tabel voor zowel 15% axiale rek als 25% axiale rek zeer dicht bij elkaar liggen. De sterkte voor beide methodieken is nagenoeg gelijk.

Alexander merkt op dat de waardes voor sterkte uit de Su tabel hoog zijn ten opzichte van de gedraineerde sterkteparameter ϕ die je mag verwachten. Het is erg belangrijk dat de Su tabel enkel toegekend wordt aan de zware klei die ongedraineerd reageert. Hiervoor dient nauwkeurig het grondonderzoek te worden bestudeerd.

Alexander geeft tevens aan dat de laatste inzichten bij sonderingen zijn dat de waarde van het wrijvingsgetal betrouwbaar is bij circa 70 tot 80% verzadigingsgraad. Dit is dus op een hoger niveau dan de grondwaterstand.

Toepassingsgebied Su-tabel

De klankbordgroep is het er over eens dat de Su-tabel niet toegekend dient te worden aan de gestructureerde toplaag. Voor de schematisatie van deze laag wordt de Strategische Nota van Uitgangspunten aangehouden (dikte laag van 1,0 m met $c'=5$ kPa en $\phi=0$).

Omdat uit de Su-tabel hoge sterktes bij lage spanningen volgen is het advies om een scenario met een zandlaag in de dijk mee te nemen en te ondervangen in de schematiseringsfactor.

Vervolg

Stef pakt in samenwerking met Martin de besproken punten op en verwerkt deze in de eindanalyse. De resultaten worden vervolgens besproken met de klankbordgroep in een overleg op 23-05-2023. Hier wordt een definitief besluit genomen over de implementatie binnen ontwerploop 0 van SAS.

Datum: 24-05-2023

Kenmerk: DM#

Aan: Klankbordgroep Rekeninnovaties SAS

Van: Stef Engels, Yoeri Jongerius

Betreft : Verslaglegging klankbordgroep sessie 4 (MS Teams)

Aanwezig: Alexander van Duinen, Rens Servais, Silvia Bersan, Rutger Bolt, Stef Engels, Yoeri Jongerius

Afwezig: Jan-Willem Bardoel, Martin Arends

Inleiding

In de planuitwerkingsfase worden binnen het deeltraject SAS de toepassing van verschillende rekeninnovaties onderzocht ten behoeve van de definitieve scopebepaling en het vervolg van het ontwerp van SAS en verdere toepassing binnen Sterke Lekdijk en andere dijkversterkingen. De geselecteerde rekeninnovaties en het plan van aanpak per innovatie zijn vastgelegd in het Ontwikkelplan Rekenmethodieken SAS. Hierin is vastgelegd dat er een drietal sessies met een samengestelde klankbordgroep worden georganiseerd om de voortgang van de innovatie af te stemmen. Het voorliggende verslag betreft de verslaglegging van de vierde klankbordgroep sessie omtrent implementatie.

Memo: analyse Rekeninnovaties STBI-1 en STBI-2 SAS

Na aanleiding van de 3e klankbordgroepsessies heeft Stef de resultaten en analyse gepresenteerd in een concept memo. Het memo is gedeeld met de klankbordgroep en wordt in een MS Teams overleg besproken met de klankbordgroep. De opmerkingen ten aanzien van dit memo zijn hieronder vastgelegd. Op basis hiervan is een voorstel voor implementatie binnen SAS gedaan.

Algemeen

Rens geeft aan dat de herleidbaarheid ten aanzien van keuzes in grondsoorten (opsplitsing tussen Klei Licht en Klei Zwaar) beter kan worden opgeschreven zodat het memo leesbaarder wordt zonder kennis van het deeltraject SAS.

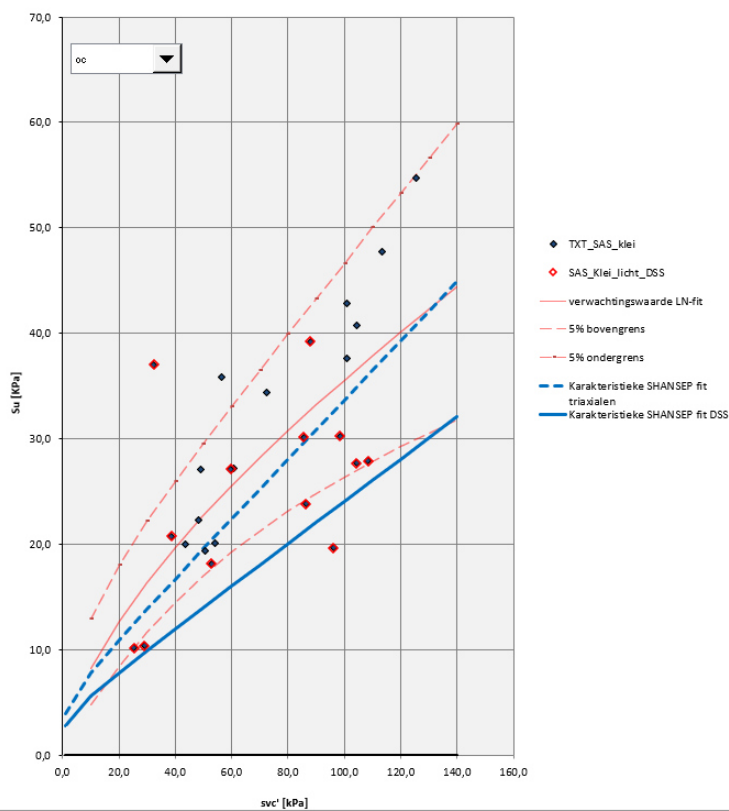
De herleidbaarheid van de kwalitatieve beoordeling van de proeven kan beter. Er wordt afgestemd dat er in de bijlage van de het memo een voorbeeld wordt toegevoegd van een kwalitatief goede, een kwalitatief matige, en een kwalitatief slecht beoordeelde proef.

Bij het onderscheid is het tevens een goede aanbeveling/ toevoeging om alle spanningspaden te plotten in een s' t figuur. Op deze manier kan er een onderscheid worden gemaakt op basis van de spanningspaden t.o.v. de critical state line.

Opmerkingen omtrent STBI-1

In Figuur 8 zijn zowel de resultaten van de triaxiaal compressie als DSS proeven bij 15% axiale rek gepresenteerd. Het valt meerdere mensen op dat de sterkte anisotropie aanzienlijk is (sterkte DSS lager dan triaxiaal compressie). Alexander geeft aan dat de volumegewichten van de grondsoort Klei Licht ook nog aanzienlijk hoog zijn, waardoor dit gedrag overeenkomt met zijn verwachting.

Figuur 8 zal worden aangevuld met een nieuw figuur waarbij zowel triaxiaal compressie resultaten en DSS resultaten met elkaar worden vergeleken bij 25% axiale rek. Het figuur is hieronder al toegevoegd. Ook hier is er sterkte anisotropie zichtbaar.



figuur 1: Triaxiaal compressie en DSS resultaten voor Klei Licht bij 25% axiale rek

Alexander geeft aan dat er wel iets met de conclusies omtrent sterkte-anisotropie moet gebeuren omdat anders de sterkte wordt overschat. Rens geeft aan dat de waarde van S



STERKE LEKDIJK



(0,28) bij axiale rek 25% wel ongeveer tussen de DSS en Triaxiaal compressie resultaten bij 15% axiale rek ligt (TXC: $S=0,33$ en DSS: $S=0,22$).

Stef geeft aan dat het erg onwenselijk is om de sterktemodellen voor verschillende zones in het ontwerp te implementeren. Rens beaamt dat dit erg arbeidsintensief is en afwijkt van alle andere deeltrajecten.

Opmerkingen omtrent STBI-2

Alexander geeft aan dat het door de hoog afgeleide sterkte bij lage spanning in combinatie met sterkte anisotropie het belangrijk is om duidelijk onderscheid te maken tussen de zones waar klei zwaar voorkomt zodat de sterkte niet wordt overschat. Stef geeft aan dat er nauwelijks zware Klei voorkomt in de DSS en passieve zone maar dat dit nu niet duidelijk in het memo naar voren komt.

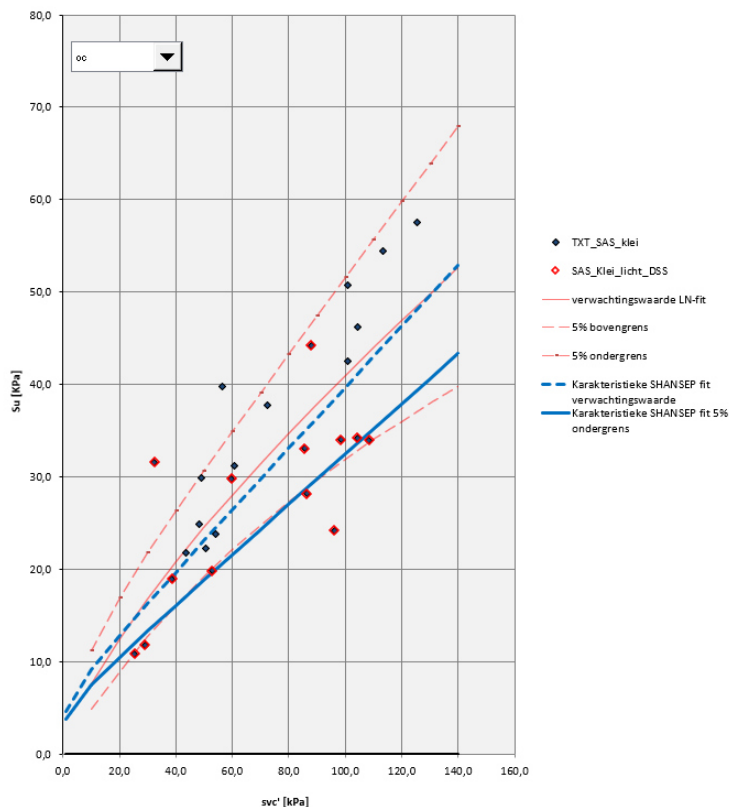
Er wordt een plaatje toegevoegd met toepassingsgebieden van de S_u tabel. Tevens wordt een voorstel gedaan voor de sterkte in de passieve zone op basis van de DSS proeven op de grondsoort Klei Zwaar.

Voorstel implementatie binnen SAS

De volgende werkwijze wordt voorgesteld door Stef:

Voorstel voor Klei Licht

Om sterkte anisotropie in rekening te brengen is het advies om voor de resultaten bij 15% axiale rek een karakteristieke ondergrens te hanteren waarin zowel de triaxiaal compressie als DSS resultaten zijn meegenomen. Het resultaat van deze fit is weergegeven in figuur 2. De parameters horend bij de karakteristieke SHANSEP fits zijn weergegeven in tabel 1.



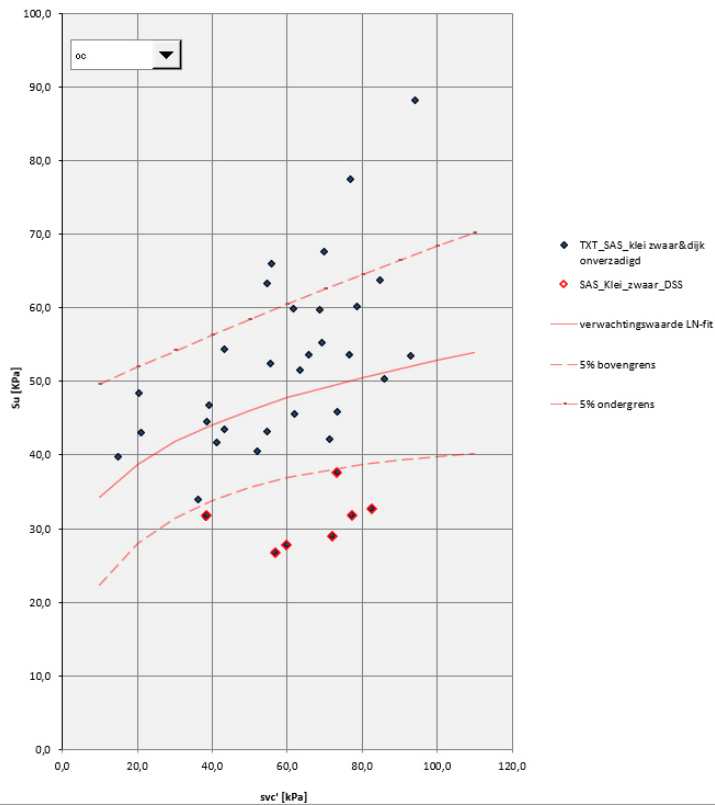
figuur 2: Triaxiaal compressie en DSS resultaten voor Klei Licht bij 15% axiale rek gecombineerd

tabel 1: Karakteristieke SHANSEP fit parameters horend bij figuur 2

Parameters SHANSEP fit	Klei Licht	
	Verwachtingswaarde	5% ondergrens
S	0,33	0,27
m	0,8	0,8
POP	26	26

Voorstel Klei zwaar

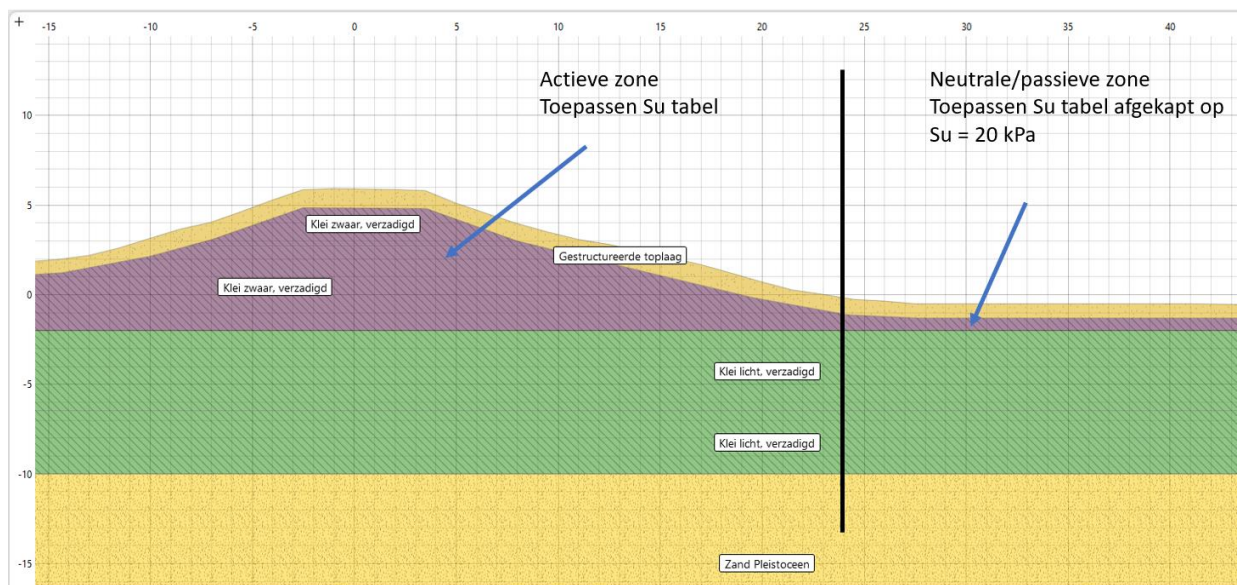
Voor Klei Zwaar is tevens onderzocht hoe de triaxiaal compressie resultaten zich verhouden tot de DSS resultaten. In overeenstemming met het advies van Klei Licht is dit gedaan voor de sterkte afleiding bij 15% axiale rek. Het resultaat is weergegeven in figuur 3. Er is zeer duidelijk te zien dat de sterkte op basis van de DSS proeven lager uitvalt dan op basis van de triaxiaal compressie proeven. Hierbij valt wel op dat de sterkte van de DSS proeven nauwelijks spanningsafhankelijk lijkt. Tevens komt de grondsoort Klei Zwaar weinig voor in de neutrale en passieve zone van het glijvlak.



figuur 3: Triaxiaal compressie en DSS resultaten voor Klei Zwaar bij 15% axiale rek

Het voorstel is om de afgeleide S_u tabel voor de actieve zone van het glijvlak af te leiden op basis van de triaxiaal compressie proeven. Voor het meenemen van sterkte anisotropie wordt voorgesteld om ongedraineerde schuifsterkte van 20 kPa in de neutrale en passieve zone van het glijvlak.

STERKE LEKDIJK



Verificatie methodiek

Voor een tweetal dijkvakken is de methodiek van een gecombineerde parameterset (voorgestelde werkwijze) vergeleken met het toepassen van verschillende sets op basis van de zonering (actief, neutraal passief) van het glijvlak.

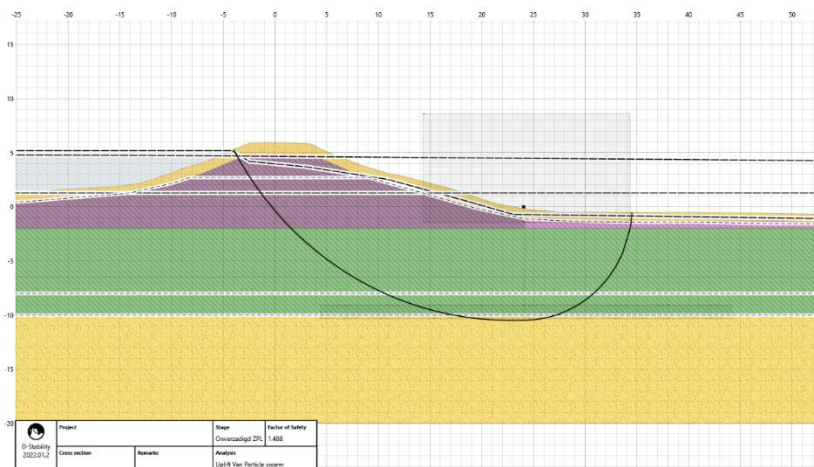
Resultaat voor dijkvak 12a

Het resultaat van de vergelijking van methodieken voor dijkvak 12 zijn weergegeven in figuur 4 en figuur 5. De berekende safety factors zijn:

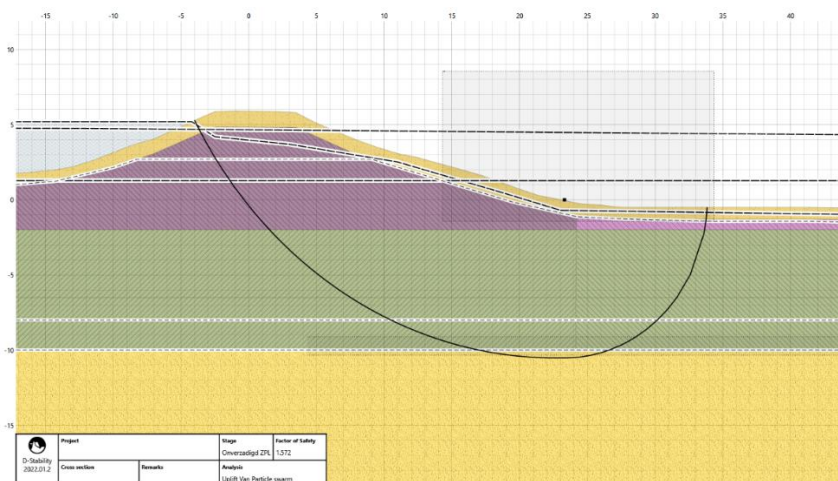
- $SF = 1,49$ met methodiek gecombineerde parameterset
- $SF = 1,57$ met methodiek zonering

De berekende veiligheidsfactoren komen goed overeen, waarbij wordt opgemerkt dat de methodiek met de gecombineerde parameterset (voorgestelde werkwijze) de conservatieve methode is.

STERKE LEKDIJK



figuur 4: Resultaat dijkvak 12a met gecombineerde set (SF = 1,49)



figuur 5: Resultaat dijkvak 12a met toepassing zonering (SF = 1,57)

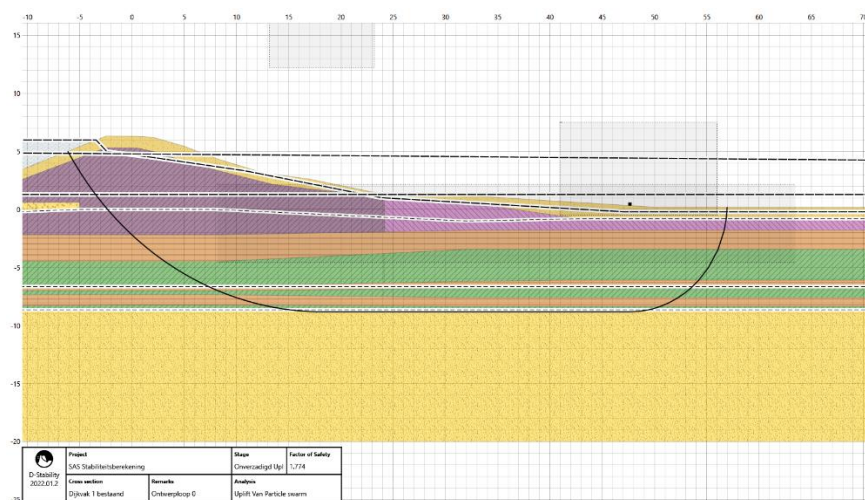
Resultaat Dijkvak 1

Het resultaat van de vergelijking van methodieken voor dijkvak 1 zijn weergegeven in figuur 6 en figuur 7. De berekende safety factors zijn:

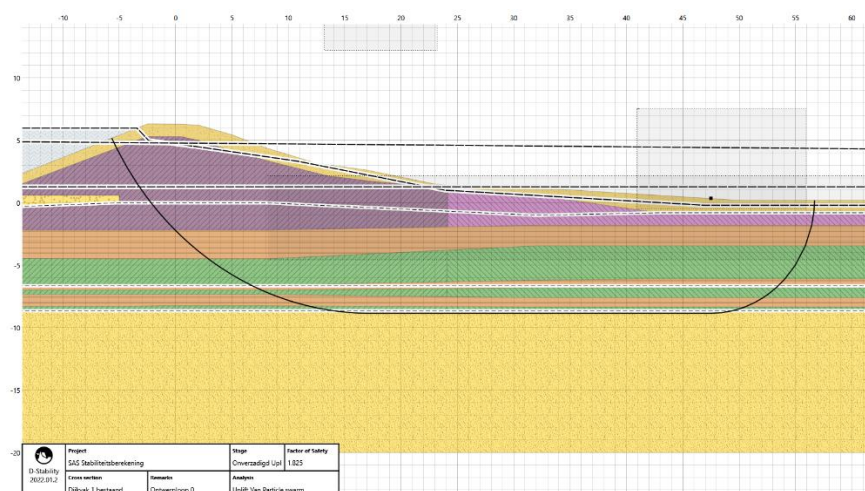
- SF = 1,77 met methodiek gecombineerde parameterset
- SF = 1,83 met methodiek zonering

STERKE LEKDIJK

De berekende veiligheidsfactoren komen goed overeen, waarbij wordt opgemerkt dat de methodiek met de gecombineerde parameterset (voorgestelde werkwijze) de conservatieve methode is.



figuur 6: Resultaat dijkvak 1 met gecombineerde set (SF = 1,77)



figuur 7: Resultaat dijkvak 1 met toepassing zonering (SF = 1,83)