

Memo

Aan
Henk van Hemert (Stowa)

| | | |
|----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Datum | Kenmerk | Aantal pagina's |
| 10 februari 2012 | 1205606-000-GEO-0003 | 8 |
| Van | Doorkiesnummer | E-mail |
| Alexander van Duinen | +31 (0)88 33 57 201 | alexander.vanduin@deltares.nl |

Onderwerp
Toelichting bij het protocol voor het uitvoeren van laboratoriumproeven

Stowa heeft in samenwerking met Deltares en in overleg met de Nederlandse geotechnische laboratoria en ingenieursbureaus een protocol opgesteld voor het uitvoeren van geotechnische laboratoriumproeven. Dit protocol is bedoeld om duidelijkheid te geven bij het uitvoeren van laboratoriumproeven in het kader van het beoordelen van de taludstabiliteit van dijken. Het protocol sluit aan op de nieuwe toetsmethode voor macrostabiliteit van dijken, die wordt ontwikkeld in het kader van het SBW project Macrostabiliteit. Waterschappen kunnen dit protocol gebruiken bij het laten uitvoeren van geotechnisch laboratoriumonderzoek.

In het protocol worden aanbevelingen gegeven voor het uitvoeren van samendrukkingsproeven, constant-rate-of-strain (CRS)-proeven, ongedraineerde anisotrope triaxiaalproeven (CAU), direct simple shear-proeven (DSS) en classificatieproeven. Voor de meest gangbare geotechnische laboratoriumproeven zijn in Nederland normen en richtlijnen beschikbaar. Deze bestaande normen en richtlijnen bevatten echter witte vlekken. Daarnaast zijn deze normen en richtlijnen niet altijd aangepast aan de actuele internationale geotechnische inzichten. Voor de CRS-proef en de direct simple shear-proef zijn geen Nederlandse normen of richtlijnen voorhanden. De aanbevelingen in dit protocol zijn een invulling van deze lacunes.

In de voorliggende memo worden enkele aspecten uit het protocol nader toegelicht en worden enkele achtergronden gegeven voor het uitwerken en toepassen van laboratoriumproeven. Deze memo gaat in op de volgende punten:

- Kwaliteit veld- en laboratoriumonderzoek;
- Diameter grondmonsters;
- Consolidatieduur;
- Toepassing anisotroop geconsolideerde triaxiaalproeven;
- Toepassing bestaande proeven volgens huidige praktijk;
- Samendrukkingsproeven;
- Uitwerking samendrukkingsproeven;
- Classificatie veen.

Kwaliteit veld- en laboratoriumonderzoek

De betrouwbaarheid van de stabiliteitsanalyses en andere geotechnische berekeningen waarmee het veiligheidsniveau van waterkeringen wordt aangetoond, wordt in grote mate bepaald door de kwaliteit van het veld- en laboratoriumonderzoek. Daarom moeten hoge kwaliteitseisen worden gesteld aan het uitvoeren van sonderingen, boringen en laboratoriumproeven. In de keten veldonderzoek, laboratoriumonderzoek, parameterbepaling,



Datum
10 februari 2012

Ons kenmerk
1205606-000-GEO-0003

Pagina
2/8

berekeningen dienen het veld- en laboratoriumonderzoek voldoende aandacht te krijgen, omdat hierdoor de betrouwbaarheid van de berekeningen wordt bepaald.

Wat de nauwkeurigheid van de sonderingen betreft, zijn er allerlei zaken die de nauwkeurigheid van de metingen beïnvloeden. Hierbij kan zowel aan de sondeerapparatuur als aan het personeel worden gedacht. Het personeel dat het veldonderzoek uitvoert dient voldoende gekwalificeerd te zijn en dient zich bewust te zijn van het feit dat een consciëntieuze uitvoering van het onderzoek van groot belang is voor de parameterbepaling.

De sondeerapparatuur dient nauwkeurig te kunnen meten in slappe klei- en veenlagen bij lage spanningen. Klasse 1 apparatuur is hiervoor vereist. Bij sonderingen met een standaard conus dient een conus met een oppervlakte van 10 cm² te worden toegepast. Om nauwkeuriger te kunnen meten in slappe lagen is de bal-sonde een goed alternatief. De sondeerapparatuur dient nauwkeurig geijkt te zijn. Het onderhoud van de conus is ook van belang. De sonde dient dezelfde temperatuur als de omringende grond te hebben. Wanneer er een te groot verschil is met de temperatuur van de ondergrond zijn de gemeten waarden niet correct. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot negatieve conusweerstand. De snelheid van het sonderen moet de voorgeschreven snelheid van 20 mm/s zijn. Afwijkingen in de snelheid leiden tot afwijkende meetwaarden. Bij sonderingen met waterspanningsmeting dient het poreuze waterspanningsfilter volledig verzadigd te zijn. Wanneer het filter niet verzadigd is, is een goede meting van de waterspanning niet mogelijk.

In het veld moet de boormethode ongestoorde grondmonsters opleveren. Ten aanzien van de boringen dienen mechanische boringen te worden toegepast en dienen de boringen hoge kwaliteit grondmonsters op te leveren in verband met de betrouwbaarheid van de laboratoriumproeven. Het is belangrijk dat met stalen monstersteekbussen wordt gewerkt en dat de monstersteekbussen niet roestig zijn, schoon zijn en onbeschadigde en scherpe steekranden hebben. Dit vermindert de monsterverstoring bij het steken van de monsters. Continue monsternamen heeft de voorkeur. Bij gebruik van het Ackerman-steekapparaat heeft drukken van het steekapparaat de voorkeur boven heien van het steekapparaat. Het is in Nederland gebruikelijk dat het steekapparaat door middel van heien op diepte wordt gebracht. Wegdrukken van het steekapparaat geeft echter minder monsterverstoring. Wanneer het Ackerman-steekapparaat op diepte wordt geheid, moet zorgvuldig worden gewerkt en moeten onnodige belastingen op het steekapparaat en op de grondmonsters worden voorkomen (bijvoorbeeld valhoogte bij het heien op het steekapparaat zoveel mogelijk beperken en het steekapparaat rustig naar boven halen). Het boren moet gericht zijn op de kwaliteit van de grondmonsters en niet in de eerste plaats op efficiëntie.

Ook bij het transport naar het laboratorium, in de opslag en bij de behandeling van de grondmonsters moet monsterverstoring worden voorkomen. De monsters moeten daarom worden bewaard bij een lage temperatuur en in een vochtige omgeving en schokken en andere belastingen moeten worden voorkomen. Grondmonsters mogen in het veld niet worden blootgesteld aan direct zonlicht om uitdroging te voorkomen. Ook het bevriezen van grondmonsters moet voorkomen worden. Grondmonsters dienen dagelijks vanuit het veld naar het laboratorium te worden gebracht. Ook hierbij moeten te hoge en te lage temperaturen en schokken worden voorkomen. Het verdient aanbeveling om grondmonsters naar het laboratorium te brengen met een voertuig waarin koeling aanwezig is.

Ook het laboratoriumonderzoek dat wordt uitgevoerd dient van goede kwaliteit te zijn. De monsterbehandeling in het laboratorium en het uitvoeren van de laboratoriumproeven dient

met grote zorgvuldigheid en nauwkeurigheid plaats te vinden. Een aandachtspunt is het uitdrukken van de grondmonsters uit de monstersteekbussen. Wanneer hiervoor grote drukken nodig zijn, kan er van uit worden gegaan dat het monster te veel verstoord is om een kwalitatief goede proef op dit grondmonster uit te voeren. Een dergelijk monster wordt bij voorkeur niet gebruikt voor een triaxiaalproef, direct simple shear-proef of samendrukkingsproef. Om de kwaliteit van een grondmonster objectief vast te stellen kan van alle grondmonsters de monsterverstoringsindex worden bepaald.

Belangrijk is ook dat de herkomst van de grondmonsters op enkele centimeters nauwkeurig bekend is. Bij de huidige werkwijze is vaak alleen bekend uit welke monstersteekbus een monster afkomstig is. De herkomst van een grondmonster is dus slechts op 0,4 m nauwkeurig bekend. In een afstand van 0,4 m kunnen al grote verschillen in de grond aanwezig zijn door de verschillende omstandigheden tijdens de sedimentatie en daarna.

Diameter grondmonsters

De diameter van een grondmonster is van belang bij het uitvoeren van laboratoriumproeven. De monsterdiameter heeft zowel invloed op de wrijvingsparameters als op de stijfheid van de grond. Hierbij spelen ook monsterverstoring en de structuur van de grond een rol.

Een groter grondmonster geeft een piekwaarde van de schuifsterkte die veelal hoger is dan bij een kleiner grondmonster. Bij een groter grondmonster is de invloed van monsterverstoring door het steken en de behandeling van het monster relatief kleiner dan bij een monster met een kleine diameter. Door de monsterverstoring van een klein grondmonster zijn de elasticiteitsmodulus en de piekwaarde van de schuifsterkte lager. De eindwaarde van de schuifsterkte (*critical state*) is juist lager bij een groter grondmonster. Bij de eindwaarde van de schuifsterkte is van belang of zich een schuifvlak in een grondmonster kan ontwikkelen. Dit gaat bij een groter grondmonster gemakkelijker dan bij een kleiner grondmonster. Daarom wordt bij een groter grondmonster een lagere eindwaarde van de schuifsterkte gevonden dan bij een kleiner grondmonster. Een klein grondmonster kan dus beperkend werken om een schuifvlak met een lage schuifsterkte te ontwikkelen. In het veld is een schuifvlak met een lage schuifsterkte altijd het meest kritisch, omdat de grond een 'oneindige' vrijheid heeft om het schuifvlak met de laagste schuifsterkte te vinden.

In SBW onderzoek is aangetoond dat deze verschillen in wrijvingsparameters als gevolg van de monsterdiameter zo groot kunnen zijn dat stabiliteitsanalyses totaal verschillende stabiliteitsfactoren geven. Een groter grondmonster heeft dus de voorkeur boven een kleiner grondmonster. In principe geldt: hoe groter het monster hoe beter. Alle Nederlandse geotechnische laboratoria zijn in staat triaxiaalproeven uit te voeren op grondmonsters met een diameter van 50 mm. Dit is daarom als minimale maat in het protocol voorgeschreven.

NB. Uiteraard moet hierbij worden opgemerkt dat een groter grondmonster alleen betrouwbaarder parameters oplevert, wanneer de grotere grondmonster zijn gestoken met een boorsysteem dat goede kwaliteit monsters geeft.

Consolidatieduur

De duur van de consolidatiefase van een triaxiaalproef en een direct simple shear-proef is één van de onderwerpen in het protocol. De consolidatiefase dient voldoende lang te worden doorgezet. In het protocol is daarvoor een richtlijn gegeven. Een niet afgeronde consolidatie van een grondmonster beïnvloedt het grondgedrag in de afschuiffase van de proef. Soms is dat te zien in het spanningspad van de afschuiffase: meteen bij het begin van de afschuiffase

laat het spanningspad een sprong naar links in de grafiek zien. Dat is een afname van de effectieve spanning als gevolg van wateroverspanning in het monster en dit duidt op een niet volledig geconsolideerd monster.

Een triaxiaalproef met anisotrope consolidatie, zoals het protocol voorschrijft, vraagt een langere consolidatieduur. In een anisotrope proef is de horizontale spanning lager dan de verticale spanning tijdens de consolidatiefase. Daarom is het van belang dat voorzichtig wordt geconsolideerd. Te snel consolideren kan leiden tot voortijdig bezwijken van het monster.

Bij het uitvoeren van triaxiaalproeven en direct simple shear-proeven moet in het belang van de kwaliteit van de proeven en de betrouwbaarheid van de parameters niet worden bezuinigd op de consolidatieduur. Opdrachtgevers doen er daarom goed aan de consolidatieduur van triaxiaalproeven en direct simple shear-proeven verrekenbaar te maken in contracten.

Toepassing anisotroop geconsolideerde triaxiaalproeven

Het protocol schrijft voor het bepalen van wrijvingseigenschappen van klei het uitvoeren van enkeltraps anisotroop geconsolideerde ongedraineerde compressie triaxiaalproeven voor. Voor de nieuwe rekenmethode voor het toetsen van macrostabiliteit van dijktaluds zijn wrijvingsparameters nodig die met dit type triaxiaalproeven worden bepaald.

Uit de enkeltraps anisotroop geconsolideerde ongedraineerde compressie triaxiaalproeven kunnen de volgende parameters worden afgeleid:

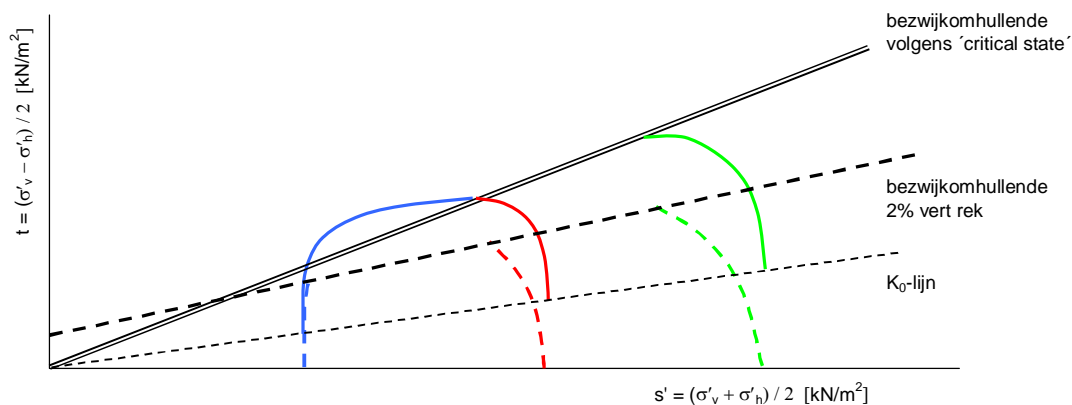
- Piekwaarde van de hoek van inwendige wrijving voor stabiliteitsanalyses bij gedraineerde condities (met aanname dat de cohesie nul is);
- Eindwaarde van de hoek van inwendige wrijving voor stabiliteitsanalyses bij gedraineerde condities. Dit is de *critical state* waarde van de hoek van inwendige wrijving, die wordt gebruikt in de nieuwe toetsmethode voor macrostabiliteit.
- Piekwaarde van de ongedraineerde schuifsterkte voor stabiliteitsanalyses bij ongedraineerde condities;
- Eindwaarde van de ongedraineerde schuifsterkte voor stabiliteitsanalyses bij ongedraineerde condities. Dit is de *critical state* waarde van de ongedraineerde schuifsterkte, die wordt gebruikt in de nieuwe toetsmethode voor macrostabiliteit.
- Elasticiteitsmodulus E_{50} voor eindige elementen analyses.

De triaxiaalproeven dienen enkeltraps te worden uitgevoerd, omdat de grondmonsters tot volledig bezwijken worden afgeschoven. Daarnaast heeft de enkeltraps procedure het voordeel dat monsterverstoring tijdens de proef wordt voorkomen. Met name grondmonsters met een lagere stijfheid (organische klei) zijn gevoelig voor monsterverstoring. Monsterverstoring zorgt er voor dat niet de werkelijke grondeigenschappen worden bepaald. Bij de gangbare meertraps triaxiaalproeven ontstaat monsterverstoring in de eerste en tweede belastingtrap. Dit verstoorte grondmonster wordt vervolgens wel verder beproefd in de volgende belastingtrappen. Bij de enkeltraps procedure is dit niet aan de orde.

De anisotrope consolidatie van de grondmonsters voor de triaxiaalproeven zorgt ervoor dat de spanningscondities van het monster in de proef zo goed mogelijk in overeenstemming zijn met de spanningscondities in het veld. In het veld zijn de verticale en de horizontale spanning nooit aan elkaar gelijk. In een laboratoriumproef dient dit dan ook niet het geval te zijn. In de huidige praktijk worden triaxiaalproeven isotroop geconsolideerd en zijn de verticale en de horizontale spanning wel aan elkaar gelijk. Anisotrope consolidatie resulteert vooral in een hogere

elasticiteitsmodulus E_{50} (hogere stijfheid van de grond). Ook de ongedraineerde schuifsterkte wordt beïnvloed door de wijze van consolideren. De mate waarin dit het geval is, is niet precies aan te geven. De hoek van inwendige wrijving wordt niet of nauwelijks beïnvloed door de wijze van consolideren van het grondmonster.

In de huidige adviespraktijk worden de wrijvingsparameters uit triaxiaalproeven (met isotrope consolidatie) afgeleid bij een verticale rek van 2 à 5%. Bij een anisotroop geconsolideerde proef volgens het protocol geeft 2 à 5% verticale rek een heel andere waarde van de schuifsterkte dan bij een conventionele isotroop geconsolideerde proef. Bij een anisotroop geconsolideerde proef begint de afschuiffase op de K_0 -lijn. De horizontale en verticale spanning op het monster zijn bij het begin van de afschuiffase van een anisotroop geconsolideerde proef niet aan elkaar gelijk. Bij een conventionele isotroop geconsolideerde triaxiaalproef zijn de horizontale en verticale spanning op het monster bij het begin van de afschuiffase van de proef wel aan elkaar gelijk. De begincondities van een isotroop geconsolideerde proef en een anisotroop geconsolideerde proef zijn dus anders (zie Figuur 1). Daardoor is de schuifsterkte bij 2 of 5% verticale rek in de proef bij een isotroop geconsolideerde proef en een anisotroop geconsolideerde proef niet gelijk. Dit betekent dat een anisotroop geconsolideerde triaxiaalproef niet kan worden toegepast voor het afleiden van wrijvingsparameters voor een stabiliteitsanalyse volgens de vigerende adviespraktijk. Het zal duidelijk zijn dat anisotroop geconsolideerde triaxiaalproeven en isotroop geconsolideerde triaxiaalproeven om deze reden niet kunnen worden gecombineerd in één proevenverzameling.



Figuur 1 Spanningspaden van triaxiaalproeven volgens de huidige praktijk (onderbroken lijnen) en van triaxiaalproeven volgens het protocol (doorgetrokken lijnen).

De triaxiaalproeven worden volgens het protocol geconsolideerd bij de in situ verticale effectieve spanning of bij een spanning gelijk aan of groter dan de grensspanning. Een triaxiaalproef die is geconsolideerd bij de in situ verticale effectieve spanning resulteert in een overgeconsolideerde waarde van de ongedraineerde schuifsterkte. Deze overgeconsolideerde waarde van de ongedraineerde schuifsterkte kan worden omgerekend naar een normaal geconsolideerde waarde van de ongedraineerde schuifsterkte via de overconsolidatieratio die wordt afgeleid uit samendrukkingsproeven. Een triaxiaalproef die is geconsolideerd bij een spanning gelijk aan of groter dan de grensspanning resulteert in een normaal geconsolideerde waarde van de ongedraineerde schuifsterkte. De grensspanning wordt afgeleid uit samendrukkingsproeven. Voor stabiliteitsberekeningen is een normaal geconsolideerde waarde van de ongedraineerde schuifsterkte nodig.

Toepassing bestaande proeven volgens huidige praktijk

Triaxiaalproeven die niet volgens het protocol zijn uitgevoerd, maar volgens de vigerende praktijk (isotroop geconsolideerd en vaak meertraps procedure), zouden in principe opnieuw geanalyseerd kunnen worden om parameters af te leiden die passen bij de nieuwe toetsmethode voor macrostabiliteit. Hiervoor moet aan drie voorwaarden worden voldaan: (1) de mate van monsterverstoring bij meertraps triaxiaalproeven dient minimaal te zijn, (2) de afschuifase van de proeven dient voldoende lang te zijn doorgezet, namelijk tot de *critical state* toestand, (3) de grensspanning op de locatie van de herkomst van het grondmonster dient bekend te zijn.

Bij de nieuwe toetsmethode voor macrostabiliteit wordt de schuifsterkte bij de critical state toestand in de stabiliteitsberekeningen toegepast. Bij meertraps triaxiaalproeven wordt alleen bij de derde belastingtrap de afschuifase doorgezet tot bezwijken van het monster. Alleen deze laatste trap van een meertraps triaxiaalproef is in principe bruikbaar om de schuifsterkte bij de *critical state* af te leiden. Bij de laatste belastingtrap van de meertraps proef wordt een grondmonster beproefd dat in meer of mindere mate verstoord is door de afschuifase van de eerste en de tweede belastingtrap. De kwaliteit van het grondmonster is dus in de derde belastingtrap minder dan bij de aanvang van de proef. Dit is met name van belang bij grond met lage stijfheid, organische klei. De mate van monsterverstoring die in een meertraps triaxiaalproef is opgetreden, is niet meer achteraf vast te stellen. Parameters die worden afgeleid uit de meertraps triaxiaalproeven moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden toegepast.

Om de normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio te kunnen afleiden uit proeven dient de grensspanning bekend te zijn. Wanneer bestaande triaxiaalproeven worden gebruikt om parameters af te leiden voor de nieuwe toetsmethode zal de grensspanning veelal niet bekend zijn. De grensspanning dient dan alsnog te worden bepaald. Hiervoor zijn boringen met monsternamen en het uitvoeren van samendrukkingsproeven nodig. Een alternatieve methode is om de grensspanning met correlaties af te leiden uit de sondeerweerstand.

Samendrukkingsproeven

In de nieuwe toetsmethode is bij het toepassen van ongedraineerde stabiliteitsanalyses ook het uitvoeren van samendrukkingsproeven van belang. Bij ongedraineerde stabiliteitsanalyses is de grensspanning een belangrijke parameter. De ongedraineerde schuifsterkte is niet alleen afhankelijk van de actuele verticale effectieve spanning, maar ook van de overconsolidatieratio. De overconsolidatieratio kan worden bepaald op basis van de grensspanning. De grensspanning kan worden afgeleid uit samendrukkingsproeven (of uit constant-rate-of-strain-proeven).

Wanneer de overconsolidatieratio niet in rekening wordt gebracht, wordt de ongedraineerde schuifsterkte (fors) onderschat. Met name bij een lage effectieve spanning is de bijdrage van de overconsolidatieratio aan de ongedraineerde schuifsterkte groot (orde 50% en meer). Het is dus van belang bij een grondmechanisch onderzoek voldoende samendrukkingsproeven uit te voeren, zodat er voldoende inzicht is in de grensspanning en de overconsolidatieratio.

Wanneer de grensspanning bekend is, kan de normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio uit een triaxiaalproef worden afgeleid. Wanneer de grensspanning niet bekend is, is de mate van overconsolidatie van de grond niet bekend en is de ongedraineerde schuifsterkte uit een triaxiaalproef niet goed toepasbaar. De mate van overconsolidatie is

overall in de grond nabij een dijk anders. De ongedraineerde schuifsterkte wordt sterk bepaald door de overconsolidatieratio. Zonder inzicht in de overconsolidatieratio geldt de ongedraineerde schuifsterkte uit een triaxiaalproef eigenlijk alleen voor de in situ spanningstoestand van het beproefde grondmonster.

Uitwerking samendrukkingsproeven

Het zogenaamde abc-isotachenmodel geeft een betere beschrijving van het zettingsproces dan het bekende Buisman-Koppejan model. Daarom wordt in het protocol de voorkeur gegeven aan het abc-isotachenmodel boven het traditionele Buisman-Koppejan model.

Het abc-isotachenmodel bevat enkele wezenlijke veranderingen ten opzichte van het Buisman-Koppejan model. Zo wordt de samendrukking in het isotachenmodel beschreven met natuurlijke rek. Dit maakt het mogelijk om de toename van de stijfheid bij grote samendrukking beter te beschrijven dan met conventionele modellen als Buisman-Koppejan, die uitgaan van lineaire rek. In slappe klei en veen zoals dat overal in Nederland wordt tegengekomen, zijn de samendrukkingslijnen soms krommer dan wenselijk is om deze met een constante helling te kunnen karakteriseren. Dan is toepassing van natuurlijke rek de oplossing. Ook om een andere reden is natuurlijke rek voor slappe grond een goede maat. Bekend is het probleem van het kiezen van de juiste referentiehoogte voor de lineaire rek. In slappe grond kan dit verschil significant zijn. Bij gebruik van natuurlijke rek vervalt dit probleem, omdat rekincrementen steeds ten opzichte van de huidige hoogte worden genomen, en desondanks opgeteld toch de totale natuurlijke rek blijven geven.

Verder wordt in het isotachenmodel de kruipsnelheid uniek, onafhankelijk van de voorgeschiedenis, bepaald door een combinatie van het specifieke volume en de grondspanning. Dit kan in een grafiek waarin het specifiek volume en de grondspanning logaritmisch zijn uitgezet, worden weergegeven met lijnen van gelijke kruipsnelheid (zogenaamde 'isotachen'). Met behulp van het abc-isotachenmodel wordt de kruip beter geformuleerd dan met het model Terzaghi-Buisman-Koppejan. Hierdoor kan een betere voorspelling worden gedaan van te verwachten restzettingen.

Keverling Buisman ging voor zijn zettingsmodel uit van het superpositiebeginsel. Dat leidt tot divergerende zettingsassymptoten voor de opeenvolgende belastingstappen in een samendrukkingsproef. Bij toepassing hiervan in zettingsberekeningen leidt dit tot een overschatting van de zetting van een grondlaag. Bij het isotachenmodel lopen de zettingsassymptoten van alle belastingstappen evenwijdig. Dit is in overeenstemming met internationale zettingsmodellen.

Het abc-isotachenmodel beschrijft het grondgedrag meer fundamenteel en is gemakkelijk te combineren met afstroming.

Classificatie veen

De schuifsterkte van veen wordt in grote mate bepaald door de vezels in het veen. De vezels in het veen zijn de restanten van verschillende plantensoorten die in meer of mindere mate zijn vergaan. Daarom wordt in het protocol voorgeschreven dat bij veenmonsters de aanwezigheid van vezels en de verweringsgraad van de vezels volgens Von Post moeten worden vastgesteld.

Levend veen bestaat altijd uit meerdere plantensoorten. De natuurlijke plantengroei in een veengebied wordt bepaald door een veelheid aan factoren. Deze factoren kunnen van plaats



tot plaats verschillen en kunnen ook in de loop van de tijd veranderen. Daardoor kunnen in een veenpakket zowel in verticale richting als in horizontale richting verschillende plantensoorten (of restanten ervan) worden aangetroffen.

De mate en snelheid waarin het verweringsproces van restanten van planten zich voltrekt in een veenpakket is niet gelijkmatig, doordat de weerstand tegen ontbinding afhankelijk is van het soort plant en verschillende delen van een plant meer of minder bestand zijn tegen ontbinding. In nauwelijks verweerde staat is er nagenoeg geen amorf materiaal in het veen aanwezig en bestaat het veen voornamelijk uit licht gekleurde vezels van bladeren, stengels en wortels. In volledig verweerde staat zijn nagenoeg geen vezels meer te herkennen in het veen en is het materiaal donker gekleurd en spons- en gelei-achtig.

Wanneer veen door schuifkrachten wordt belast, wordt het door wrijving tussen de vezels onderling en tussen de vezels en het amorfe materiaal mogelijk, dat de vezels krachten opnemen. De fysische en mechanische eigenschappen van veen hangen hierdoor nauw samen met de plantensoorten en de mate van vertering. Wanneer de belastingsrichting ten opzichte van de hoofdvezelrichting zo is, dat de vezels op trek worden belast, treedt er een wapeningseffect op. Via het wapeningsmechanisme kunnen aanzienlijke schuifkrachten worden opgenomen. In het wapeningsmechanisme spelen dus zowel de interactie tussen vezels en het amorfe vulmateriaal, de sterkte van de vezels en de ruimtelijke oriëntatie van de vezels een belangrijke rol. Voor de vezelsterkte is bovendien niet alleen de aard van de vezel van belang, maar ook de mate, waarin de vezel door vertering is aangetast.

Met de gegevens over de aanwezigheid van vezels en de verteringsgraad van de vezels kunnen veenmonsters worden geclassificeerd en kunnen resultaten van direct simple shearproeven en andere proeven worden ingedeeld in een proevenverzameling op grond van deze classificatie.