ROYAL Eijkelkamp
Meet the difference

Technische tip:
Kiezen van de juiste sondeerconus



Technische tip: Kiezen van de juiste sondeerconus

Inleiding

Bij het selecteren van apparatuur voor een sondering of CPT project is het type conus vaak niet de eerste prioriteit. De conus wordt eerder geselecteerd op basis van wat er in de werkplaats staat en wat er in de schappen van de leverancier ligt. Hoewel dit beide van belang is, is het belangrijker om rekening te houden met het bodemtype dat u aantreft, evenals met de onderzoeksdoelen van het project.

De gebruikte sondeerconus kan enorme gevolgen hebben voor de resulterende kwaliteit en toepasbaarheid van de gegevens, de keuze moet daarom zorgvuldig worden overwogen. Dit artikel zal de verschillende onderdelen van de conus uitlichten en bespreken hoe deze de resulterende gegevens kunnen beïnvloeden. Er wordt alleen rekening gehouden met elektrische CPT.

Het is nog wel goed om te noemen dat, hoewel mechanisch sonderen gegevens verschaft over de puntweerstand en mantelwrijving, de resulterende data niet kan worden vergeleken met die van elektrische CPT. Daardoor kan mechanische sondeerdata niet worden gebruikt met de correlaties die zijn ontwikkeld voor de elektrische conus.



Figuur 1: Een reeks sondeerconus penetrometers

Digitaal versus analoog

Hoewel mechanische sondeerdata niet direct kan worden vergeleken met die van elektrische sonderingen, zijn alle elektrische conussen, digitaal of analoog, in wezen hetzelfde en zijn de gegevens direct vergelijkbaar. Alle elektrische sondeergegevens beginnen hun leven als analoge metingen, dat wil zeggen millivolt-metingen die het resultaat zijn van de rekstrookjes en sensoren die zich in het conuslichaam bevinden. In een analoog systeem worden deze analoge metingen naar het oppervlak gestuurd waar ze vervolgens worden omgezet in digitale eenheden. In een digitaal systeem vindt deze conversie van analoge naar digitale gegevens plaats in de conus en worden digitale gegevens naar het oppervlak verzonden.

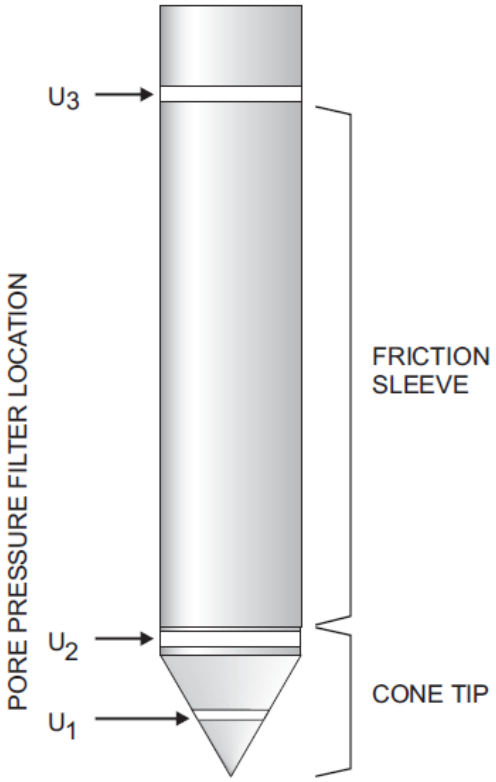
Er zijn verschillende operationele voordelen van het gebruik van het digitale systeem, bijvoorbeeld de universele kabels. In tegenstelling tot analoog sonderen, waar elke meetparameter zijn eigen kern in de kabel nodig heeft (dus een 10-pins kabel wordt gebruikt voor sondeergegevens, terwijl een 16-pins kabel wordt gebruikt voor seismische sonderingen), kunnen bij digitale systemen universele kabels worden gebruikt, ongeacht de datastromen die worden gegenereerd door extra modules die achter de conus zijn gemonteerd. Het digitale systeem kan ook kalibratiegegevens intern in de conus opslaan, waardoor het niet meer nodig is om het nieuwste kalibratiebestand handmatig toe te voegen aan de acquisitiesoftware - een foutgevoelige handeling. Digitaal sonderen is daarom de meer toekomstbestendige optie en, zonder duidelijke nadelen, de verstandige aanpak voor iedereen die aan de slag gaat met sonderen.

Piëzo of niet?

Sinds de introductie in de jaren 80 zijn piëzoconussen, sondeerconussen die ook de dynamische waterspanning kunnen meten, min of meer de standaard CPT conus geworden. Het meten van de waterspanning samen met de puntweerstand en mantelwrijving heeft een aantal voordelen, waaronder: eenvoudigere identificatie, afbakening en karakterisering van grondlagen (omdat de extra parameter betere correlaties mogelijk maakt), evaluatie van de stromings- en consolidatiekenmerken door middel van dissipatietesten en, belangrijker nog, de mogelijkheid om sondeergegevens te corrigeren voor waterspanningseffecten die de sondeergegevens zullen beïnvloeden, ongeacht of deze gemeten zijn of niet. Alleen al om die laatste reden is het gebruik van piëzoconussen de verstandige aanpak voor elke sondeerklus.

Het moet wel vermeld worden dat een piëzosondeertest, of CPTu zoals het oorspronkelijk werd aangeduid, meer voorbereiding vereist dan een test zonder waterspanningsmetingen. Het poreuze filterelement moet namelijk volledig worden verzadigd voorafgaand aan de test. Zo verzekert u dat er geen lucht meer aanwezig is in het filter, wat bijzonder negatieve effecten kan hebben op de datakwaliteit. Voor testen waar de hoogste kwaliteit data vereist is, zoals Application Class 1 testen, moet de volledig gemonteerde conus ook worden ontlucht om te zorgen dat het gehele systeem vrij van lucht is. Ondanks de extra voorbereiding die deze methode vergt, wegen de voordelen van het verkrijgen van waterspanningsgegevens (en het nut van deze data om de sondeergegevens te corrigeren) zeker op tegen de nadelen.

Piëzoconussen zijn verkrijgbaar met het poreuze filterelement in drie verschillende locaties: u_1 op het puntoppervlak, u_2 op de schouder en u_3 achter de wrijvingsmantel. Het merendeel van de piëzoconus testen worden uitgevoerd met u_2 conussen en deze worden meestal als de standaard aangeboden. Testen met de u_1 positie hebben als voordeel dat er het minste kans is op negatieve waterspanningen in uitzettende grondsoorten. De u_3 filter positie wordt het minste gebruikt, maar is wel geschikt voor het corrigeren van de mantelwrijving of waterspanningseffecten en wordt normaal gesproken alleen toegepast in onderzoeksprojecten. Het omzetten van een u_2 conus naar een u_1 conus is zeer eenvoudig omdat u alleen de conuspunt hoeft te vervangen. Een u_3 conus daarentegen vereist een andere opstelling van het binnenwerk van de conus. Daarom kunt u niet heel eenvoudig een u_2 cone veranderen naar een u3.



Figuur 2: Filter locaties
Afbeeldingsbron: ASTM D5778

Poreuze filters kunnen worden gemaakt van kunststof, zoals HDPE, of van metaal; het meest gangbare is koper of brons, maar staal is ook mogelijk. Kunststof filters zijn voor éénmalig gebruik, terwijl u de metalen filters, mits onbeschadigd, kunt reinigen, opnieuw verzadigen en hergebruiken.

In plaats van poreuze filters zijn er ook conussen verkrijgbaar met sleuffilters. Het sleuffilter heeft een interne holte die is gevuld met een dik vet. Wanneer de conus volledig is gemonteerd, is er een smalle opening of sleuf, zodat de waterspanning via het vet naar de druksensor kan worden overgebracht. Sleuffilterelementen reageren minder dynamisch dan poreuze filterelementen, maar hebben wel het voordeel dat ze minder snel uitdrogen in droge of uitzettende gronden door het dikke vet dat wordt gebruikt. In de meeste situaties weegt dit voordeel echter niet op tegen de minder dynamische respons (wat resulteert in minder representatieve verkregen gegevens) en daarom zijn poreuze filterelementen veel gebruikelijker in gebruik dan sleuffilters.



Figuur 3: Verschillende filterelementen

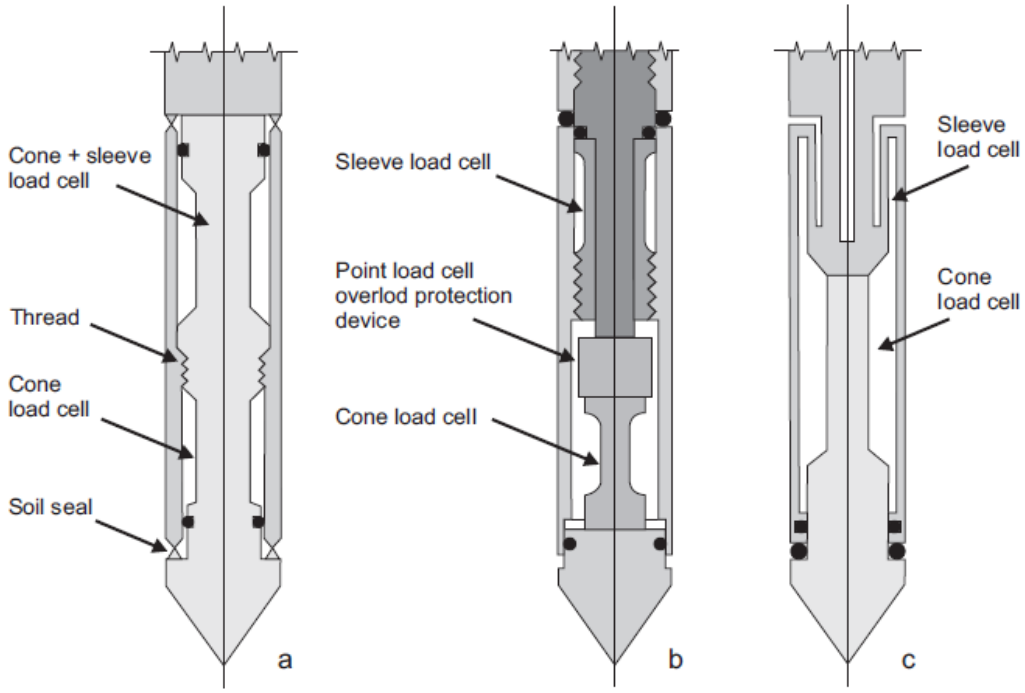
Opstelling van de krachtopnemers

Conussen zijn ruwweg verkrijgbaar met twee types krachtopnemeropstellingen: aftrek of compressie. Een aftrekconus bevat één massieve krachtopnemer met twee rekstrookjes: de onderste rekstrook meet alleen de puntweerstand en de bovenste meet zowel de puntweerstand als de mantelwrijving. Om de mantelwrijving te bepalen moet u de metingen van de onderste rekstrook dus van die van het bovenste rekstrookje aftrekken.

Een compressieconus verschilt in dat het twee separate krachtopnemers bevat: een grote, massieve, interne krachtopnemer voor het meten van de puntweerstand, en een dunwandige, holle krachtopnemer voor het meten van de mantelwrijving. De krachtopnemer die de mantelwrijving meet is dus kleiner, en is gevoeliger voor kleine vervormingen. Een compressieconus heet zo omdat de krachtopnemers worden samengedrukt tijdens de sondering. Dit in tegenstelling tot een spanningsconus, het derde type, waarbij de plaatsing van de krachtopnemers voor het meten van mantelwrijving zorgt voor spanning tijdens het sonderen. Spanningsconussen worden tegenwoordig nog maar zelden gebruikt.

Welke moet u kiezen? De mantelwrijving is vaak veel kleiner dan de puntweerstand, aangezien het wrijvingsgetal normaalgesproken tussen de 10 en 0,1 procent ligt. Het meten van mantelwrijving met een gevoelige krachtopnemer resulteert vanzelfsprekend in een nauwkeuriger meting van de mantelwrijving. De foutmarge van een krachtopnemer is zo'n 0,5% van het volledige meetbereik, en vandaar dat krachtopnemers met een groter meetbereik minder nauwkeurig zijn. Daarom zal het meten van de mantelwrijving met een krachtopnemer met een groot meetbereik (zodanig dat de puntweerstand binnen dat bereik valt) al snel resulteren in een situatie, waarbij de meting dichtbij ligt of zelfs kleiner is dan de inherente fout in de meting.

Compressieconussen worden daarom aanbevolen voor projecten waar nauwkeurige mantelwrijving metingen, vooral in heel zachte materialen, nodig zijn. Of projecten waar Application Class 1 data vereist is. Let wel dat de mantelwrijving krachtopnemer zo delicaat is, dat de compressieconus snel overbelast raakt, of het punt bereikt dat herkalibratie nodig is. Dus bij projecten in stijve gronden, of waar de productie belangrijker is dan gevoeligheid, wordt over het algemeen de aftrekconus gekozen. Echter, met zorgvuldig onderhoud en de juiste bediening kunnen de meest gangbare compressieconus overbelastingen worden voorkomen.



Figuur 4: Plaatsing van de krachtopnemers in een sondeerconus
a) Aftrek b) Compressie c) Spanning
Afbeeldingsbron: ASTM D5778

Bereik van de krachtopnemer

Normaal gesproken zijn sondeerconussen ontworpen voor het gebruik in een verscheidenheid aan grondsoorten, tot en met zeer stijve grond waar u tot wel 50 MPa (522 tsf) aan puntweerstand kunt tegenkomen. Deze conussen kunnen dus 75 Mpa (783 tsf) of zelfs 100 MPa (1044 tsf) meten zonder te overbelasten. Wanneer u echter in voornamelijk zachte grond meet met een dergelijke conus gebruikt u slechts de laagste <10% van de capaciteit. Het is dus niet altijd nodig om met zo'n krachtig gereedschap te werken. Conussen met kleinere krachtopnemers zijn gevoeliger voor kleine vervormingen en dus nauwkeuriger in zeer zachte grond.

Hoewel niet aangeboden als standaard, zijn conussen met een kleiner meetbereik wel degelijk beschikbaar. Het is een waardevol instrument voor het verkrijgen van de meest nauwkeurige en gevoelige data mogelijk bij het werken met lage spanningen, zoals die worden aangetroffen in zeer zachte, gevoelige bodems als mariene afzettingen.

Conus afmetingen

Sondeerconussen worden verkocht in verschillende maten, maar de overgrote meerderheid is 10 cm^2 or 15 cm^2 waarbij de eerste volgens ISO en ASTM als standaard wordt beschouwd. De laatste wordt daarentegen het meeste gebruikt. Het is belangrijk te vermelden dat de maat refereert aan de dwarsdoorsnede van de conuspunt, niet het oppervlak.

Een 15 cm^2 conus kunt u oversized noemen aangezien de diameter van 44 mm groter is dan zowel de meest gebruikte sondeerbuizen van 36 mm en de 10 cm^2 conus, die ook 36 mm in diameter meet. De grotere diameter is een voordeel aangezien het effectief de wrijving langs de buizenstreng vermindert en dus ook, in vergelijking met een 10 cm^2 conus,

een lagere duwkracht vereist om tot een bepaalde diepte te komen – zelfs wanneer u met de kleinere conus een kleefbreker gebruikt. Een tweede voordeel van de 15 cm^2 conus is dat het grotere formaat eenvoudiger door zeer grof materiaal te duwen is, zoals grind, dan een kleinere conus.

Een nadeel van de grotere conus is het grotere invloedgebied in de bodem, vergeleken met een kleinere conus. Aangezien de gemeten puntweerstand wordt beïnvloed door de grond die zich direct boven en onder de conuspunt bevindt (waarbij de dikte een functie is van de conusdiameter), is het met een kleiner invloedgebied in de bodem beter mogelijk om smalle grondlagen te duiden. Voor de meeste toepassingen is een 15 cm^2 conus daarentegen nog steeds een adequaat middel om de bodemstratigrafie te bepalen.

Zoals eerder aangegeven zijn conussen met kleine krachtopnemers gevoeliger voor kleine vervormingen. Hoewel het misschien indruist tegen het gevoel, biedt een grotere conus ook een grotere gevoeligheid voor kleine vervormingen. Een groter oppervlak zorgt vergroot ook de kracht die de grond uitoefent op de conuspunt. Dit verhoogt de kans dat er een meetbare kracht wordt waargenomen in de zachtste bodems. Om deze reden werd bijvoorbeeld een 40 cm^2 conus ingezet in offshore gebieden, waar bijzonder zachte mariene afzettingen geanalyseerd moeten worden. Maar tegenwoordig is de moderne 10 of 15 cm^2 conus zelfs in staat om veranderingen in de bodemeigenschappen waar te nemen in de meest zachte grond, vooral wanneer er een conus met een kleiner krachtopnemerbereik wordt gebruikt.

Er zijn ook mini conussen beschikbaar, die doorgaans 5 cm^2 en 2 cm^2 meten. Deze mini conussen worden vaak ingezet bij lichtgewicht zeebodem sondeersystemen, aangezien ze met dunnere sondeerbuizen geduwd kunnen worden, die op een spoel te wikkelen zijn en minder reactiekracht vereisen om in de grond geduwd te worden. Dat maakt ze perfect voor een lichtgewicht systeem. Mini conussen worden ook gebruikt in laboratoriumopstellingen en kalibratiekamers.



Figuur 5: Sondeerconussen, in maten van 15 cm^2 tot 2 cm^2

Sondeermodules

Modules zijn een kosten- en tijdbesparende manier om de data die u verkrijgt tijdens een sondering uit te breiden. De modules zijn achter een conus te bevestigen om een aanvullende dataset te verkrijgen, zonder dat het de kwaliteit van de standaard sondeerdata beïnvloed. Dergelijke data vergroot de mogelijke toepassingen van de sondeertechniek, bijvoorbeeld voor milieu en hydrogeologie in aanvulling op de bestaande geotechnische toepassingen. In dit document gaan we niet dieper op de modules in, behalve de introductie van het concept en benoemen van de beschikbare modules. Meer informatie over de modules is te lezen op onze website.

- Seismisch: voor het bepalen van het afschuif- en drukgolfsnelheidsprofiel als functie van de diepte, waardoor een gedetailleerde analyse van de kleine rek-afschuif- en elastische moduli en het bodemvervloeiingspotentieel mogelijk is
- Magnetometer: voor het detecteren van begraven metalen objecten, zoals UXO of paalbodems
- Videoconus: voor visuele analyse van bodem en identificatie van verontreinigingen
- Gamma module: voor de beoordeling van de radioactieve signatuur van de bodem



Figuur 6: Verschillende sondeermodules

Samenvatting

Sondeerconussen zijn er in verschillende types en configuraties. De keuze voor een conus kan een significante invloed hebben op de kwaliteit en toepasbaarheid van de verkregen data. Bij Royal Eijkelkamp is ons doel om klanten te voorzien van niet alleen betrouwbare instrumenten, maar ook alle juiste gereedschappen voor uw project. Als u meer informatie zoekt over de onderwerpen die we in dit document hebben aangestipt, neem dan contact op met onze sondeerspecialisten via CPT@eijkelkamp.com.

Royal Eijkelkamp is leverancier voor het gehele assortiment aan sondeerinstrumenten: mechanisch, elektrisch en sonisch sonderen. Wilt u meer informatie over deze producten? Bezoek onze website.