

Samenvatting

Bij ingrepen in het hydrologisch systeem is geohydrologisch en geotechnisch onderzoek veelal onontbeerlijk om de effecten van deze ingrepen op de omgeving vast te stellen. Hiertoe is het noodzakelijk om kennis te verzamelen over de opbouw, ruimtelijke verbreiding en geotechnische eigenschappen van de diverse grondlagen in de ondergrond. Tegen geringe kosten kan deze kennis worden verkregen door gebruik te maken van het zogenaamde waterspanningssondeerapparaat. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de

behoefte ontstaan aan een methode om op eenvoudige wijze gedetailleerde informatie over opbouw, samenstelling en weerstandswaarde van deze pakketten te verkrijgen. De bestaande methoden zoals pompproef-, waterbalans-, boorgatonderzoek en laboratoriumproeven bleken voor gedetailleerde kennis over deze pakketten hoge kosten met zich mee te brengen. Om die reden is in de jaren 1983 tot 1986 door Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland in samenwerking met IWACO BV, Adviesbureau voor Water en Milieu te Rotterdam, onderzoek verricht naar de toepassingsmogelijkheden van het waterspanningssondeerapparaat. Het onderzoek is speciaal gericht op snelle, eenvoudige in situ bepalingen van de doorlatendheidswaarden van de te onderscheiden klei- en veenlagen. Tezamen met door de RGD opgestelde lithologische basiskaarten kan gedetailleerde informatie over de verticale stromingsweerstanden van afdekkende pakketten worden verkregen. Het waterspanningssondeerapparaat geeft, naast de gebruikelijke sondeergegevens (mantelwrijving, conusweerstand) een continue reeks waarden van de waterspanning in de nabijheid van de conus. Bij het continueren wordt de schakering van goed en minder goed doorlatende lagen op zeer kleine schaal waargenomen. Tezamen met de andere sondeergegevens wordt op deze wijze voldoende detailkennis over de opbouw van

de ondergrond verkregen. Door op verschillende plaatsen binnen het onderzoeksgebied sonderingen uit te voeren wordt bovendien de verbreiding van de diverse lagen bepaald. De wateroverspanning wordt veroorzaakt door het samenpersen van grond en water rondom de conuspunt. Wordt de conus stilgezet, dan zal de gegenereerde wateroverspanning afnemen door het wegstromen van water. Dit zogeheten dissipatieproces is in feite een consolidatieproces. De snelheid waarmee de wateroverspanning afneemt (de dissipatiesnelheid) is een karakteristieke eigenschap van de grond ter plaatse van de conus. Diverse onderzoeken [Torstensson, 1978; Robertson en Campanella, 1983] hebben een relatie aangetoond tussen deze dissipatiesnelheid en de waarde van de consolidatiecoëfficiënt. Deze laatste is via een eenvoudige relatie en gebruikmakend van een schatting van de samendrukbaarheid van de grond, gerelateerd aan de doorlatendheid van de grond. De waterspanningssonderingen en dissipatieproeven zijn uitgevoerd door BV Adviesbureau voor Grondmechanica J. Mos te Rhon, met begeleiding van IWACO en Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland.



I.R. J. H. G. VAN OMMEN
(IWACO BV)



I.R. W. J. DE LANGE
(DBW/RIZA, voorheen
PWS Zuid-Holland)

mogelijkheid van dit apparaat om het verloop van de waterspanning in de directe omgeving van de conus continu te meten. Door het indrukken van de conus in de verzadigde grond ontstaat een overspanning in het water rondom de conus. Na het stoppen van de conus loopt deze wateroverspanning terug. De snelheid van dit teruglopen geeft, samen met gemeten conusweerstand en mantelwrijving, belangrijke informatie om geotechnische en geohydrologische parameters als samendrukkingsconstante, consolidatiecoëfficiënt en doorlatendheid op laboratoriumschaal in situ te bepalen. De proefnemingen in situ zijn in dit onderzoek vergeleken met laboratoriumproeven op grondmonsters. De conclusies lijken een belofte voor het waterspanningssondeerapparaat in te houden. Het waterspanningssondeerapparaat kan in de toekomst worden toegepast bij zowel lokaal als regionaal geohydrologisch en geotechnisch onderzoek zoals: geohydrologisch onderzoek en milieu-effectrapportage ten behoeve van geohydrologische ingrepen, onderzoek naar de gevolgen van polderpeilverlagingen en bij onderzoek naar de verspreiding van bodem- en grondwaterverontreinigingen.

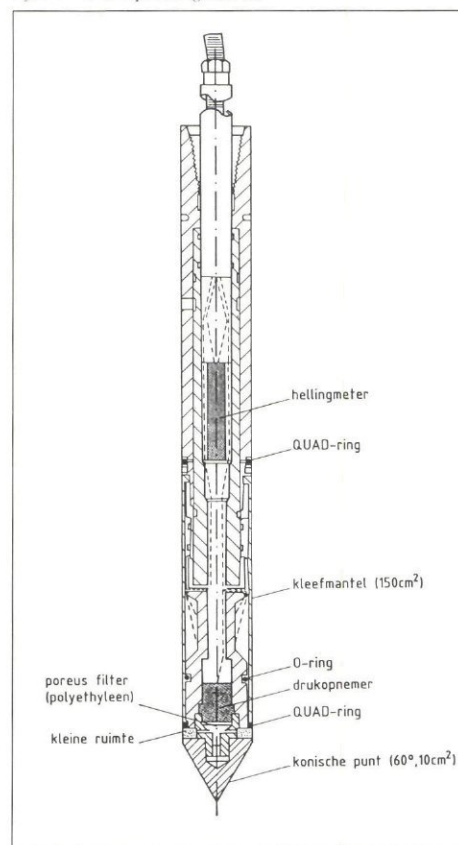
1. Inleiding

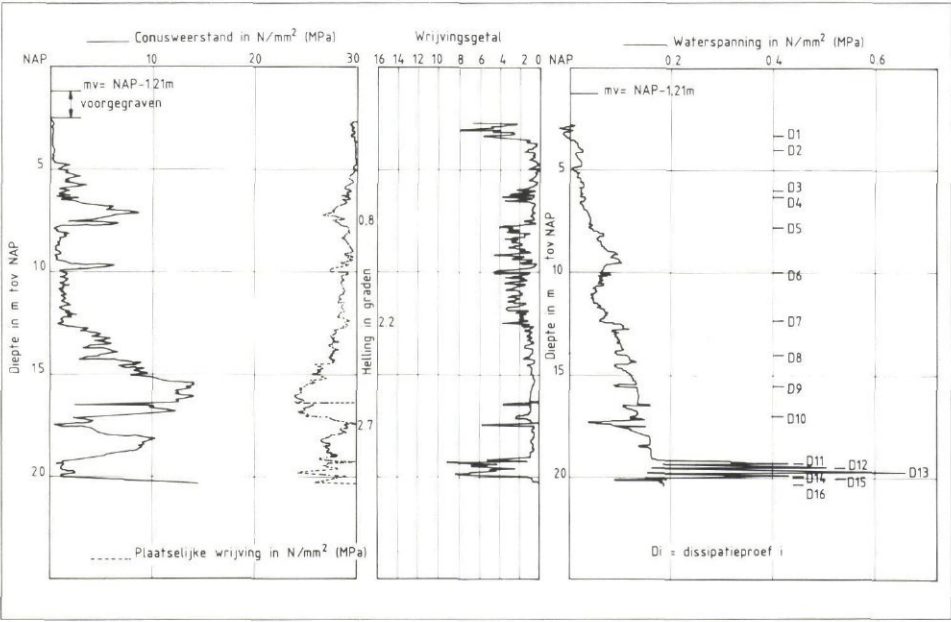
In het kader van het onderzoek naar de verdeling van de verticale stromingsweerstand van holocene, afdekkende klei- en veenpakketten in Zuid-Holland is bij de Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland de

2. Meetapparatuur en uitvoering van sonderingen

De waterspanningssonderingen en dissipatieproeven zijn uitgevoerd met de standaard elektrische waterspanningsconus van de Goudse Machinefabriek (GMF-CFIP). Met deze conus kan simultaan de conusweerstand, plaatselijke wrijving, hellingshoek en waterspanning worden gemeten. Afb. 1 geeft een doorsnede van de conus en enkele specificaties. Voor elke waterspanningssondering wordt de conus volledig gereinigd, ontvet en ondergedompeld in ontlucht water gemonteerd. Het ontluchten van de conuspunt is van essentieel belang voor goede testresultaten. Aanwezigheid van lucht in de conus beïnvloedt in zeer sterke mate de waargenomen water(over)spanning. Op de locatie wordt een gat voorgeboord tot onder de grondwaterspiegel. Nadat de geprepareerde conuspunt aan de sonderstang is bevestigd, wordt deze in het voorgeboorde gat tot onder het grondwaterniveau naar beneden verplaatst. De nulstanden (heersende waterspanning, diepte) worden ingelezen, waarna de normale procedure van sonderen volgt. De conus wordt, met behulp van een zware sonderwagen en hydraulische apparatuur, de grond ingedrukt met een standaard-snelheid van 2 cm/sec. De elektrische signalen van de conus worden geanalyseerd, verwerkt, opgeslagen en weergegeven met verwerkings/randapparatuur. Afb. 2 geeft een voorbeeld van een waterspanningssondeerdiagram.

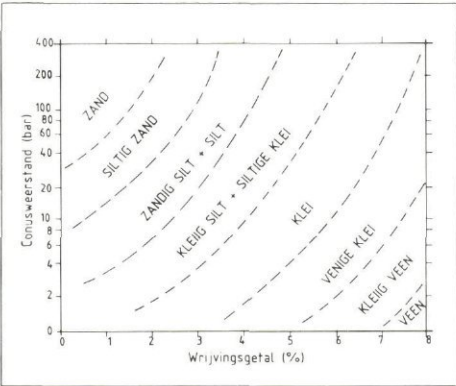
Afb. 1 - Waterspanningsconus.





Afb. 2 - Waterspanningssondeerdiagram.

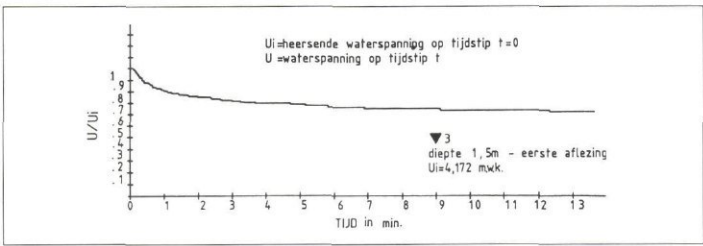
In afb. 2 valt duidelijk af te lezen dat de waterspanning sterk reageert op verschillen in doorlatendheid en dat ook dunne laagjes (en dus de schakering van de laagjes) worden geregistreerd. Met behulp van wrijvingsgetal en conusweerstand kunnen de bijbehorende grondsoorten bepaald worden volgens de in afb. 3 gegeven relaties [Robertson en Campanella, 1983].



Afb. 3 - Grondsoortenclassificatie.

Op deze wijze is de opbouw van de ondergrond voldoende nauwkeurig vast te stellen. Aangekomen op de diepte waar de dissipatieproef wordt uitgevoerd, wordt de sondeerconus stilgezet. Met behulp van de verwerkingsapparatuur kan het lineaire verloop van de afname van de wateroverspanning (U) in de tijd worden weergegeven. Afb. 4 geeft hiervan een voorbeeld. De dissipatieproef wordt afgebroken op het moment dat de vereiste procentuele wateroverspanningsafname (U_1) is bereikt. Deze dient minimaal 50% te zijn. Hiervoor is een juiste schatting van de

Afb. 4 - Verloop van de waterspanning lineair tegen de tijd.



evenwichtswaterspanning (U_0) van essentieel belang. Deze kan worden geschat uit de hoogte van het freatisch vlak (c.q. polderpeil) en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Zijn deze gegevens niet bekend dan verdient het aanbeveling om regelmatig over het bodemprofiel dissipatieproeven uit te voeren waarbij de evenwichtswaterspanning wordt bepaald.

3. **Uitwerking van de dissipatieproeven**
Het inbrengen van de conus in de grond brengt veranderingen teweeg in de 3-dimensionale ruimte rondom de conus. Bij de beschrijving van het consolidatieproces wordt uitgegaan van de relatie voor 1-dimensionale consolidatie [Verruyt, 1981]:

$$c = \frac{k/\gamma_w}{m + \eta\beta_1}$$

 c = consolidatiecoëfficiënt (m²/sec)
 k = doorlatendheid (m/sec)
 γ_w = volumiek gewicht van water (N/m³)
 m = samendrukbaarheidscoëfficiënt van grond (m²/N)
 η = poriëvolume (-)
 β_1 = samendrukbaarheidscoëfficiënt van water (m²/N)

In de praktijk is de term $\eta\beta_1$ verwaarloosbaar ten opzichte van m , zodat geldt:

$k = c * m * \gamma_w$.
Hoewel deze relatie in slechts één richting geldig is, mag volgens Battaglio et al. [1981] het proces rondom de conus worden geschreven volgens:

$$\vec{k} = \vec{c} * m * \gamma_w$$

Hierin zijn $\vec{k}$ en $\vec{c}$ resulterende waarden van de doorlatendheid en consolidatiecoëfficiënt. Uit de dissipatieproef volgt dus niet direct de verticale doorlatendheid die voor berekening van de verticale hydraulische weerstand nodig is.

Voor een schatting van de samendrukbaarheidscoëfficiënt (= m) kan worden uitgegaan van de volgende empirische relatie [Sanglerat, 1965; Robertson en Campanella, 1983]:

$$m = \frac{1}{\alpha q_c}$$

 m = samendrukbaarheidscoëfficiënt (m²/N)
 q_c = conusweerstand (N/m²)
 α = constante (-)

De constante 'α' is een grondsoortafhankelijke parameter welke afhankelijk is van de conusweerstand en de plasticiteit van de grond. Tabel I geeft, op basis van literatuurgegevens [Sanglerat, 1965; Robertson en Campanella, 1983], een overzicht.

TABEL I – Overzicht constante 'α'.

Grondsoort	Plasticiteit	Conusweerstand [kN/m²]	α
Zand	Laag	> 10.000	1,50
	Laag	10.000 - 5.000	1,75
	Laag	< 5.000	2,00
Siltig zand	Laag	> 5.000	1,50
	Laag	< 5.000	2,00
Silt/	Laag/middel	> 2.000	1,25 - 2,50
	Zandige silt	< 2.000	2,25 - 5,50
Klei	Middel/laag	> 2.000	1,00 - 3,00
	Middel/laag	< 2.000	2,00 - 7,00
Klei	Middel	> 2.000	1,00 - 3,00
	Middel	700 - 2.000	2,00 - 5,00
	Middel	< 700	2,00 - 7,00
Venige klei		> 1.200	2,00 - 4,00
Kleiig veen		< 1.200	1,50
Veen		< 1.200	0,60 - 1,20

Met behulp van de samendrukbaarheidscoëfficiënt kunnen ook de samendrukkingsconstante (= C) en de samendrukkingsmodulus (= M) worden bepaald [IWACO, 1984, 1985, 1986]. De resulterende consolidatiecoëfficiënt kan worden bepaald uit de tijd nodig voor 50% consolidatie volgens [Torstensson, 1978]:

$\bar{c} = \frac{\beta r_o^2}{t_{50}}$, waarin:
 $\bar{c}$ = resulterende consolidatiecoëfficiënt (m²/sec.);
 r_o = straal van de sonde = $1,78 \cdot 10^{-2}$ (m);
 t_{50} = tijd voor 50% consolidatie (sec.);
 β = constante (-).

De constante β is een functie van de consolidatietijd, vorm van de beïnvloede ruimte (= expansieruimte) en de bodemstijfheidsverhouding (n). De bodemstijfheidsverhouding (n) is gedefinieerd als [Torstensson, 1978]:

$n = \frac{E_u}{\tau_f}$, waarin:

E_u = Young's modulus of Elasticiteitsmodulus (N/m²);
 τ_f = ongedraineerde schuifweerstand (N/m²).

Voor de bepaling van de bodemstijfheidsverhouding kan worden uitgegaan van de relatie:

$n = \frac{(A/C) \cdot M}{\tau_f}$ [IWACO, 1985]

of van

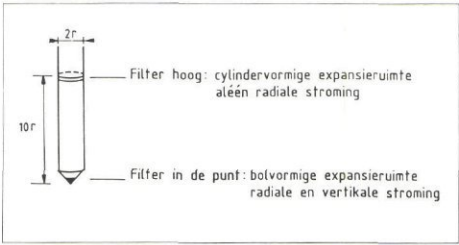
$n = \frac{900}{F_r}$ [Baldi e.a., 1982], waarin:

- A = ontlastingsconstante (-);
- C = samendrukkingsconstante (-);
- M = samendrukkingsmodulus (N/m²);
- τ_f = ongedraineerde schuifweerstand (N/m²);
- F_r = wrijvingsgetal (-).

Tabel II geeft een overzicht van de op verschillende wijzen bepaalde gemiddelde bodemstijfheidsverhoudingen per onderscheiden grondsoort.

TABEL II – Bodemstijfheidsverhouding (n) per grondsoort.		
Grondsoort	Baldi e.a.	IWACO
Zand	1.565	1.855
Siltig zand	915	660
Silt	610	355
Kleiige silt	370	250
Klei	195	215
Venige klei	145	135
Kleilig veen	120	50
Veen	90	40

De in tabel II bepaalde bodemstijfheidsverhoudingen liggen redelijk in elkaars ordegrootte en komen overeen met uit de praktijk bekende waarden [IWACO, 1985]. Het blijkt dat de oplossing van de consolidatievergelijking voor een cilindervormige expansieruimte voldoet en goed overeenkomt met de meetresultaten als het poreus filter 'ruim' boven de conuspunt zit (zie afb. 5); minimaal op een afstand van 10 r,



Afb. 5 - Plaats van het poreus filter.

waarbij r de straal van de conus is [Torstensson, 1978; Gillespie en Campanella, 1981]. Op dit niveau treedt alleen radiale stroming op en wordt dus alleen de horizontale consolidatiecoëfficiënt bepaald, en geldt:

$\bar{c} = c_h = \frac{\beta_h r_o^2}{t_{50}}$

De oplossing van de consolidatievergelijking voor bolvormige ruimte is van toepassing en komt goed overeen met de meetresultaten als het poreus filter in de conuspunt zit (zie afb. 5). In dit geval geldt:

$\bar{c} = c_b = \frac{\beta_b r_o^2}{t_{50}}$, waarbij:

$c_v < c_b < c_h$

Het moge duidelijk zijn dat c_b een resulterende consolidatiecoëfficiënt is, waarin zowel c_v als c_h zitten. Uitgaande van bolvormige, alzijdige afstroming kan, in analogie met soortgelijke grondwaterstromingsproblemen [Olsthoorn, 1982], gesteld worden dat:

$c_b = \sqrt[3]{c_h^2 \cdot c_v}$

Bij de uitgevoerde onderzoeken is gebruik gemaakt van een standaard GMF-CFIP-conus (zie afb. 1). Het poreus filter bevindt zich net achter de conuspunt. De dan berekende resulterende consolidatiecoëfficiënt bevindt zich tussen c_h en c_b . Als benadering wordt bij dit type conus uitgegaan van het gemiddelde:

$\bar{c} = \frac{c_h + c_b}{2} = \frac{c_h + \sqrt[3]{c_h^2 \cdot c_v}}{2}$
 $c_h \frac{(1 + \sqrt[3]{\zeta})}{2} = c_v \frac{(1 + \sqrt[3]{\zeta})}{2\zeta}$

waarbij $\zeta = c_v / c_h$ = anisotropiefactor.

Tabel III geeft een overzicht voor de waarden van de constante β voor 50% consolidatie bij gebruik van de standaardconus.

TABEL III – Overzicht constante β .					
n	100	200	300	400	500
β	0,85	1,25	1,75	2,20	2,60

Voor een bekende anisotropiefactor is de resulterende consolidatiecoëfficiënt ($\bar{c}$) en daarmee ook de resulterende doorlatendheid ($\bar{k}$) direct om te zetten tot de 1-dimensionale

verticale of horizontale consolidatiecoëfficiënt respectievelijk doorlatendheid. Op basis van literatuurgegevens [Wesseling, 1979; Robertson en Campanella, 1983] en uitgevoerde verticale en horizontale doorlatendheidsproeven [IWACO, 1986] is voor de te onderscheiden lithologische eenheden de anisotropiefactor vastgesteld, ervan uitgaande dat de anisotropiefactor op deze laboratoriumschaal niet veel verschilt van die op de schaal van het beschouwde hydrologisch regiem. Tabel IV geeft hiervan een overzicht.

TABEL IV – Anisotropiefactoren.	
Lithologische eenheid	Anisotropiefactor ()
Holle Mare:	
– Basale leem	0,10
– Basisveen	0,20
– Oud-holocene klei	0,30
– Holocene zand	1,00
– Hollandveen	0,10
– Jonge zeeklei	0,10
Hollandse IJssel:	
– Gorkum klei	0,20
– Hollandveen	0,10

4. Onderzoekslocaties

In de periode 1983-1986 zijn de experimenten uitgevoerd in holocene afzettingen van West-Nederland, te weten in de polder 'Holle Mare' op Voorne Putten en langs de Hollandsche IJssel ten zuiden van Gouderak/Moordrecht.

Het onderzoeksgebied 'Holle Mare' behoort tot het lagunaire en getijdegebied van West-Nederland. Het holocene afdekkend pakket aldaar kan worden onderverdeeld in de volgende relevante lithologische eenheden [RGD, 1983]:

- basale leemlaag;
- basisveen;
- oud-holocene klei (afz. van Calais);
- holocene zand (afz. van Calais);
- Hollandveen;
- jonge zeeklei (afz. van Duinkerke).

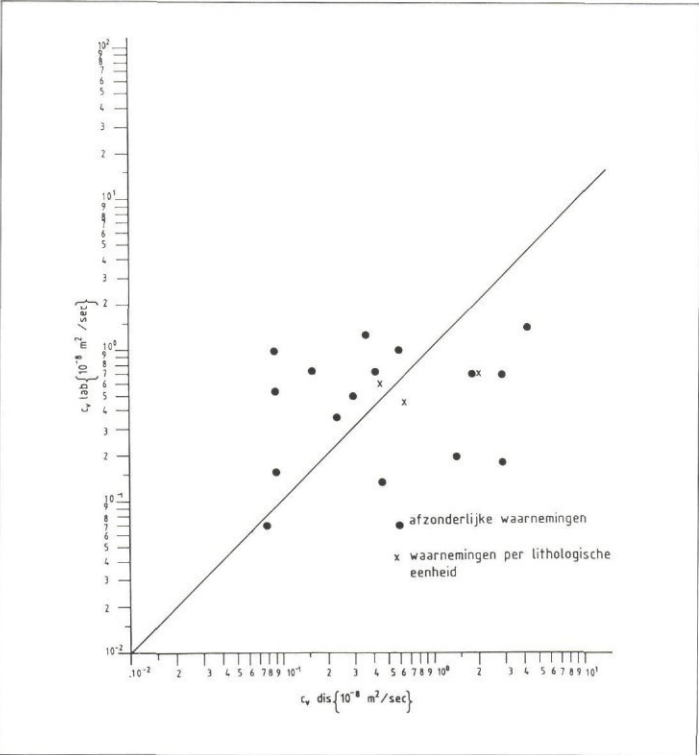
Van deze lithologische eenheden zijn dikte en verbreiding bekend dankzij de door de Rijks Geologische Dienst vervaardigde lithologische basiskaarten [RGD, 1983].

In tegenstelling tot de 'Holle Mare' behoort het onderzoeksgebied langs de Hollandsche IJssel tot het peri-mariene gebied.

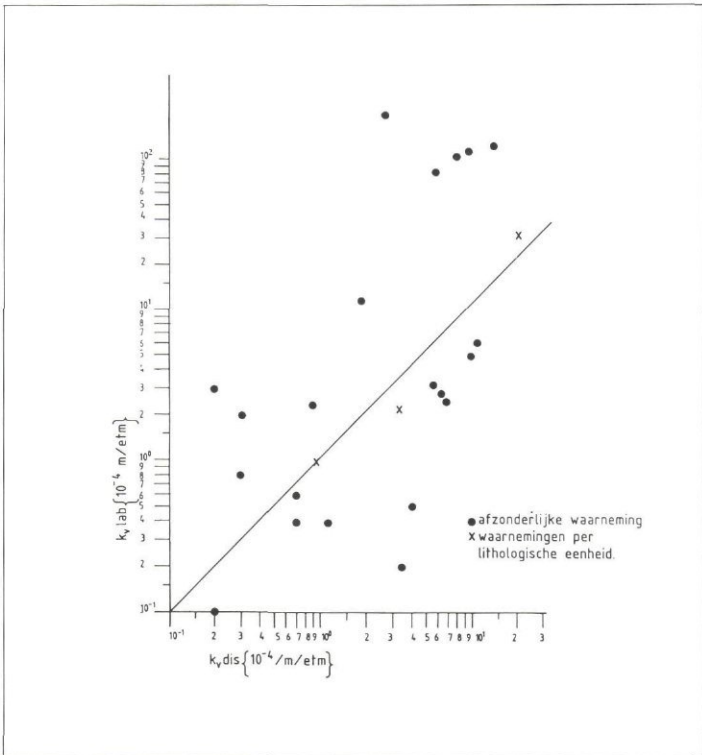
Het holocene afdekkend pakket langs de Hollandsche IJssel bestaat, indien volledig ontwikkeld, uit:

- basale leem;
- basisveen;
- afzettingen van Gorkum;
- Hollandveen;
- afzettingen van Duinkerke.

De ondergrond kan plaatselijk verstoord zijn door de aanwezigheid van zandgeulen. Dit zijn fossiele rivierlopen opgevuld met zandgeulen. Van dit gebied zijn geen lithologische basiskaarten beschikbaar.



Afb. 6 - Consolidatiecoëfficiënten 'Holle Mare'.



Afb. 7 - Verticale doorlatendheden 'Holle Mare'.

TABEL V – Samendrukbaarheid

Grondsoort	Samendrukbaarheidscoëfficiënt, m _v (10 ⁻⁶ m ² /kN)		Samendrukkingsconstante, C (-)		
	Sondering	PBNA (1983)	Sondering	PBNA (1983)	Langejan (1972)
a. Zand	70	10 - 100	140	50 - 500	50 - 500
b. Siltig zand	175		55		
c. Silt	280	100 - 400	50	25 - 50	25 - 50
d. Kleiige silt	500		40		
e. Klei	450	200 - 1000	35	10 - 25	10 - 50
f. Venige klei	930	300 - 1500	25	5 - 15	
g. Kleiig veen	2500	300 - 1500	13	5 - 15	
h. Veen	4000	500 - 2500	10	2 - 10	2 - 20

TABEL VI – Verticale consolidatiecoëfficiënt, c_v (10⁻⁸ m²/sec.)

	Bepaald uit dissipatieproeven	PBNA (1983)	Bepaald uit laboratoriumproeven
Zand	240.000	10 ⁶ - 10 ⁷	—
Siltig zand	56.000		—
Silt	4.900	10 ² - 10 ⁴	63
Kleiig silt	350		65
Klei	54	1 - 5	55
Venige klei	38	3 - 8	—
Kleiig veen	2	3 - 8	—
Veen	44	5 - 10	35

TABEL VII – Verticale doorlatendheid per grondsoort ('Holle Mare').

Grondsoort	Verticale doorlatendheid (m/etm)	
	Bepaald uit dissipatieproeven	Bepaald uit laboratoriumproeven
Zand	0.14161	—
Siltig zand	0.07207	—
Silt	0.01569	0.01250
Kleiig silt	0.00156	0.00160
Klei	0.00032	0.00005
Venige klei	0.00065	—
Kleiig veen	0.00005	0.00001
Veen	0.00126	0.00200

5. Resultaten

5.1. Resultaten Holle Mare

In het onderzoeksgebied de 'Holle Mare' zijn in totaal 104 dissipatieproeven uitgevoerd, verdeeld over de verschillende lithologische eenheden en grondsoorten. Daarnaast zijn, ter vergelijking van de resultaten, 30 ongeroerde monsters gestoken met behulp van een Ackerman steekapparaat. Op deze ongeroerde monsters zijn schuifproeven, consolidatieproeven en verticale en horizontale doorlatendheidsproeven uitgevoerd. Tabel V geeft een overzicht van de samendrukkingsparameters zoals die uit de sonderingsgegevens zijn afgeleid. De grootte van deze parameters komt goed overeen met de uit de literatuur bekende waarden. Overeenkomstig de methodiek zoals die in hoofdstuk 3 is beschreven zijn voor het proefgebied de 'Holle Mare' de verticale consolidatiecoëfficiënten bepaald voor zowel te onderscheiden grondsoorten als lithologische eenheden. Tabel VI geeft een overzicht van de gemiddelde waarden per grondsoort. Tevens zijn in deze tabel uit de literatuur bekende waarden en de waarden die volgen uit de laboratoriumproeven opgenomen.

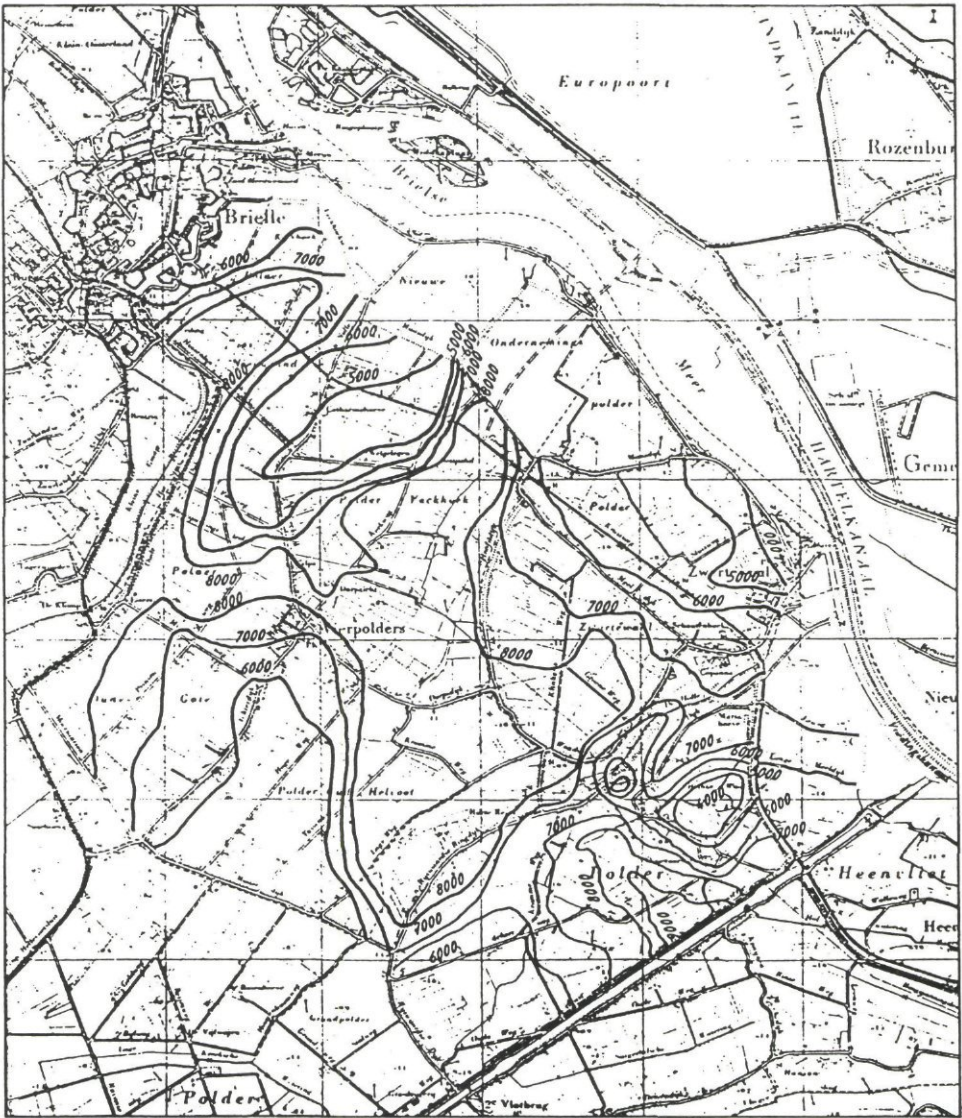
De afwijkingen tussen enerzijds de dissipatie- en laboratoriumwaarden en anderzijds de literatuurwaarden wordt waarschijnlijk veroorzaakt door zandbijmenging. Om na te gaan hoe bij de dissipatieproeven bepaalde verticale consolidatiecoëfficiënten

zich verhouden tot de in het laboratorium bepaalde verticale consolidatiecoëfficiënten zijn de overeenkomstige waarden tegen elkaar uitgezet in afb. 6.

Uit afb. 6 mag geconcludeerd worden dat, ondanks de grote spreiding, de waarnemingen redelijk verdeeld zijn rond de lijn door de oorsprong. De spreiding in de uitkomsten van de dissipatieproeven ligt in dezelfde orde van grootte als de spreiding bij laboratoriumproeven in het algemeen. Met behulp van de berekende verticale consolidatiecoëfficiënt, de samendrukbaarheidscoëfficiënt en het volumiek gewicht van water wordt de verticale doorlatendheid bepaald. Tabel VII geeft een overzicht van de verticale doorlatendheden per grondsoort. Ook hier zijn, voor zover deze bekend zijn, literatuur en laboratoriumwaarden opgenomen.

Om uiteindelijk tot een weerstandswaardekaart van het holocene afdekkend pakket te komen zijn ook de verticale doorlatendheden per onderscheiden lithologische eenheid vastgesteld. Tabel VIII geeft hiervan een overzicht. Voor een vergelijking tussen de verticale doorlatendheid bepaald uit dissipatieproeven respectievelijk laboratoriumproeven zijn deze in afb. 7 tegen elkaar uitgezet.

De waarnemingen uit afb. 7 zijn redelijk normaal verdeeld rond de lijn door de oorsprong. De spreiding in uitkomsten van de dissipatieproeven ligt in dezelfde orde-grootte als de spreiding bij laboratoriumproeven in het algemeen. Bij zowel de verticale consolidatiecoëfficiënt als bij de verticale doorlatendheid is de spreiding in de uitkomsten per onderscheiden eenheid (lithologie c.q. grondsoort) groot. Dit houdt in dat per eenheid een voldoende aantal waarnemingen moet worden verricht om een betrouwbaar gemiddelde vast te stellen. Een aantal van 16 proeven per eenheid voor een redelijk homogeen proefgebied lijkt hierbij, mede in relatie tot de doelstelling van het onderzoek, een vereiste [IWACO, 1985]. De juistheid van de berekende verticale doorlatendheden (per lithologische eenheid) volgt uit toetsing van de berekende verticale hydraulische weerstandswaarde van het afdekkend pakket aan de waterbalans. De in tabel VIII weergegeven verticale doorlatendheden resulteren in een 'overall' c-waarde van circa 6.800 etm. en een gemiddelde kwelstroom van 6,9 mm/maand. Dit is in overeenstemming met de water-balansgegevens [IWACO, 1985]. Afb. 8 geeft een overzicht van de verticale hydraulische weerstand (c-waarde) van het afdekkend pakket in de 'Holle Mare'.



Afb. 8 - Verticale hydraulische weerstand van het afdekkend pakket in de 'Holle Mare'.

TABEL VIII – Verticale doorlatendheden per lithologische eenheid 'Holle Mare'.

Lithologische eenheid	Verticale doorlatendheid (m/etm)		
	Bepaald uit dissipatieproeven	Bepaald uit laboratoriumproeven	L.G.M. 1982
Pleistoecen zand	0,06200	—	—
Basale leem	0,00345	—	—
Basisveen	0,00046	—	—
Oud holocene klei	0,00044	0,0001	0,0007
Holocene zand	0,09200	—	0,0004
Hollandveen	0,00120	0,0020	0,0350
Jonge zeeklei	0,00089	0,0004	0,0007

TABEL IX – Geotechnische parameters Hollandsche IJssel.

Grondsoort	m_v (10^{-6} m ² /kN)	C (—)	c_v (10^{-6} m ² /sec.)	k_v (m/etm.)
Zand	125	115	—	—
Siltig zand	1460	10	—	—
Silt	860	25	90	0,00050
Kleiige silt	1600	43	55	0,00080
Klei	785	70	12	0,00007
Venige klei	1560	33	11	0,00015
Kleiig veen	3400	12	95	0,00312
Veen	8300	7	61	0,00482

5.2. Resultaten Hollandsche IJssel

Ter verificatie van de dissipatiemethode zijn in het onderzoeksgebied langs de Hollandsche IJssel ten zuiden van Gouderak/Moordrecht 29 dissipatieproeven uitgevoerd op 4 locaties. Van het onderzoeksgebied zijn geen lithologische basiskaarten beschikbaar zodat geen c-waardekaart van het afdekkend pakket kan worden geproduceerd. Volstaan zal hier worden met de resultaten van de diverse parameters per grondsoort. Tabel IX geeft hiervan een overzicht. Voor de vergelijking met literatuurwaarden wordt verwezen naar voorgaande tabellen.

6. Conclusies

Aan de hand van het uitgevoerde onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van het waterspanningssondeerapparaat zijn de volgende conclusies te trekken:

- uit elektrische (waterspannings)-sonderingen is een goede detailkennis te verkrijgen van samenstelling en opbouw van de ondergrond;
- lithologische basiskaarten, zoals samengesteld door de RGD, zijn belangrijk voor de voorbereiding van de waterspanningssonderingen en voor de extrapolatie van resultaten over een groot gebied;
- met waterspanningssonderingen kan de waarde van samendrukbaarheidscoëfficiënt, samendrukkingsconstante en bodemstijfheidsverhouding op detailschaal bepaald worden;
- er bestaat een theoretisch/empirisch verband tussen dissipatiesnelheid en de waarde van de verticale doorlatendheid c.q. verticale consolidatiecoëfficiënt mits de anisotropiefactor bekend is;
- de spreiding in de resultaten uit de dissipatieproeven is niet groter dan de spreiding in resultaten uit laboratoriumproeven in het algemeen. Dit houdt ook voor de dissipatieproeven in dat per onderscheiden eenheid een voldoende aantal waarnemingen moet worden verricht om een betrouwbaar gemiddelde te krijgen;
- geohydrologisch en geotechnisch onderzoek met behulp van waterspanningssonderingen en dissipatieproeven is ongeveer tweemaal zo goedkoop als vergelijkbaar onderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van pulsboringen en laboratoriumproeven op ongeroerde monsters. Bovendien wordt de bodemopbouw nauwkeurig en ongeroerd gemeten;
- waterspanningssonderingen en dissipatieproeven kunnen goed toegepast worden bij zowel lokaal als regionaal geohydrologisch en geotechnisch onderzoek, zoals bij milieueffectrapportage van (geo)hydrologische ingrepen en saneringsonderzoeken in het kader van bodem- en grondwaterverontreiniging;
- tot slot zijn waterspanningssonderingen

toepasbaar bij lokaal onderzoek ter onderbouwing van de beoordeling van schade aan gebouwen ten gevolge van ongelijke zettingen.

Literatuur

- Baldi, G., Bellotti, R., Chionna, V. and Jamiolkowski, M. (1982). *Design parameters for sand from CPT*. ESOPT II.
- Battaglio, Mauro e.a. (1981). *Piezometer probe test in cohesive deposits*.
- Gillespie, D. and Campanella, R. G. (1981). *Consolidation characteristics from pore pressure dissipation after piezometer cone penetration*.
- IWACO BV (1984). *Onderzoek naar de toepassing van het waterspanningssondeerapparaat ten behoeve van c-waarde bepaling van het holocene afdekkend pakket*. Rapport 865.
- IWACO BV (1985). *Voortgezet onderzoek naar de toepassing van het waterspanningssondeerapparaat*. Rapport 965.
- IWACO BV (1986). *Afrondend onderzoek naar de toepassing van het waterspanningssondeerapparaat*. Rapport 1128.
- Langejan, A. (1972). *Grondmechanica, deel I*. Dictaat TH-Delft.
- LGM (1982). *Invloed aanleg Markerwaard*. Resultaten laboratoriumonderzoek: CO.242060/295.
- Olsthoorn, T. N. (1982). *Anisotropie, een verwaarloosd verschijnsel bij grondwateraangestoken*. H₂O (15) 1982, nr. 11.
- PBNA (1983). *Polytechnisch zakboekje*.
- RGD (1983). *Lithologische kaarten afdekkend Voorne*. Rapportnr. 10449.
- Robertson, P. K. and Campanella, R. G. (1983). *Interpretation of cone penetration tests: Part I, II*. Can. Geotechn. J. Vol. 20.
- Sanglerat, G. (1965). *Le pénétromètre et la reconnaissance des sols*.
- Torstensson, B. A. (1978). *Het waterspanningssondeerapparaat*. PT-b 33, nr. 10.
- Verruyt, A. (1981). *Collegedictaat*. TH-Delft.
- Wesseling, J. (editor) (1979). *Proceedings of the international drainage workshop*. ILRI-publikatie 25.



CUWVO-rapport 'De waterkwaliteit van Nederland 1985' verschenen

De minister van Verkeer en Waterstaat heeft in september 1973 de Coördinatie Commissie Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren ingesteld. De CUWVO heeft tot taak het bevorderen van de eenheid van beleid ten aanzien van aspecten die bij de uitvoering van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) aan de orde komen.

In de CUWVO zijn vertegenwoordigd alle instanties die zijn betrokken bij de uitvoering van de WVO.

In september 1985 heeft de CUWVO besloten tot een landelijke rapportage waterkwaliteit, welke nauw aansluit bij de wijze waarop tot dusver in het IMP-Water over de waterkwaliteit werd gerapporteerd. De rapportage is opgesteld door de Dienst Binnenwateren/RIZA in overleg met alle waterkwaliteitsbeheerders.

In deze rapportage, die in het vervolg jaarlijks zal verschijnen, wordt een globaal overzicht gegeven van de kwaliteit van het Nederlandse oppervlaktewater in 1985.

Voor de rapportage zijn ongeveer 260 locaties geselecteerd in de meest belangrijke rijks- en niet-rijkswateren. De benodigde meetgegevens zijn verstrekt door de verschillende waterkwaliteitsbeherende instanties en ingewonnen door middel van een 'CUWVO-enquête waterkwaliteit 1985'. Vervolgens is getoetst aan de getalswaarden van de basis-kwaliteit zoals omschreven in het IMP-Water 1985-1989. De resultaten van deze toetsing zijn in het rapport verwerkt.

De rapportage bestaat uit een aantal korte beschrijvende teksten waarin onder meer wordt ingegaan op knelpunten en ontwikkelingen. Verder bestaat de rapportage uit een set kleurenkaarten die betrekking hebben op de volgende waterkwaliteitsaspecten:

- zuurstofgehalte
- eutrofiëring
- verontreiniging met zware metalen
- verontreiniging met een aantal organische microverontreinigingen.

Van deze rapportage zijn, in beperkte mate, extra exemplaren te verkrijgen bij DBW/RIZA, afd. documentatie, tel. 03200 - 7 07 76/7 05 13.