CG-93-49

t.b.v. STUDIEGROEP PIJPLEIDINGEN en TAW

KRUISING NOORDEINDSEWEG

Rivierwatertransportleiding
Bergambacht-Wassenaar

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon 015-69 35 00
Telefax 015-610821

Postgiro 234342
Bank Mees en Hope NV
Reknr. 25.92.35.911
K.v.K. S 146461 Delft

GRONDMECHANICA DELFT

KRUISING NOORDEINDSEWEG

Routekaart 27

Rivierwatertransportleiding
Bergambacht-Wassenaar
BA 17b2

CO-327170/110
Juli 1993

Opgesteld in opdracht van:

NV Duinwaterbedrijf Zuid-Holland
Postbus 2
2750 AA Moerkapelle

Versie	Datum	Geschreven:		Projectbegeleider:	
01	1993-08-06	ir. R.P. Boeije		b.a. ir. J.C. Landwehr controle: dr. ir. J.B. Sellmeijer	

Op alle aanbiedingen en op alle te sluiten overeenkomsten alsmede de daaruit voortvloeiende leveringen van diensten en produkten en de daaruit voortvloeiende uitvoeringen van werkzaamheden, zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan de Stichting Grondmechanica Delft, welke zijn gedeponeerd ter Griffie van de Arrondissementsrechtbank te 's-Gravenhage en bij de Kamers van Koophandel en Fabrieken.

GRONDMECHANICA DELFT

INHOUD

LIJST VAN SYMBOLEN 1

1. INLEIDING 2

2. SAMENVATTING EN CONCLUSIES 2
2.1 Algemeen 2
2.2 Sluipend lek 3
2.3 Gapend lek 3
2.4 Reductie veiligheid door lekkage 4
2.5 Kwel langs leiding 5
2.6 Leidingparameters en bemalingsadvies 5

3. GRONDPARAMETERS 6

4. STABILITEIT BIJ SLUIPEND LEK 8
4.1 Waterspanning 8
4.1.1 Grootte wateroverspanning 8
4.1.2 Bepaling invloedsstraal 8
4.2 Stabiliteit 9
4.2.1 Algemeen 9
4.2.2 Winddaassloot 10
4.2.3 Noordeindseweg 11
4.2.4 Opbarsten; Winddaassloot en Noordeindseweg 12

5. STABILITEIT BIJ GAPEND LEK 14
5.1 Algemeen 14
5.2 Voorgeschreven druk, analytische afleiding druk tegen holoceen 14
5.3 Drukverloop in pleistoceen door gapend lek 16
5.3.1 Grondparameters 16
5.3.2 Opgelegde druk aan lek 18
5.3.3 Verloop waterdruk tegen holoceen 19
5.4 Bepaling stabiliteit grondmassief 20
5.4.1 Stabiliteitsberekeningen 20
5.4.2 Leidingdruk op grondmassief 20

GRONDMECHANICA DELFT

5.4.3 Druk tegen holoceen 20
5.5 Afschuiven na welvorming 21
5.6 Opmerkingen 23

6. TOTALE FAALKANS 24
6.1 Winddaassloot 24
6.2 Noordeindseweg 24
6.3 Toelaatbare faalkans 25

7. KWEL LANGS LEIDING 25

8. LEIDINGPARAMETERS EN BEMALINGSADVIES 26

9. REFERENTIES 27

10. LIJST VAN BIJLAGEN 27

GRONDMECHANICA DELFT

LIJST VAN SYMBOLEN

dekking	a	[m]
consolidatiecoëfficiënt	c	[m^2/s]
cohesie	c'	[kPa]
grondweerstand	C	[m^2/s]
integratieconstanten	C_1	[m^2/s]
	C_2	[m^2/s]
dikte pleistocene zand	D	[m]
dikte afsluitende laag	d	[m]
elasticiteitsmodulus	E	[kPa]
veiligheid talud	F	[-]
glijdingsmodulus	G	[kPa]
potentiaal verschil	ΔH	[m]
doorlatendheidscoëfficiënt pleistoceen	k	[m/s]
doorlatendheidscoëfficiënt afsluitende laag	k'	[m/s]
kompressiemodulus	K	[kPa]
samendrukbaarheidscoëfficiënt	m_v	[m^2/kN]
porositeit	n	[-]
faalkans	P	[jr^{-1}]
debiet	Q	[m^3/h]
straal leiding	R	[m]
invloedsstraal	R	[m]
afstand tot hart leiding/bol	r	[m]
Laplace parameter	s	[s^{-1}]
tijd	t	[s]
potentiaal	ϕ	[m]
dwarscontractiecoëfficiënt	ν	[-]
hoek van inwendige wrijving	φ	[°]
volumegewicht nat	γ_{sat}	[kN/m^3]
volumegewicht droog	γ	[kN/m^3]
volumegewicht poriënwater	γ_w	[kN/m^3]
integratievariabele	τ	[-]
dilatantiehoek	ψ	[°]

GRONDMECHANICA DELFT

1. INLEIDING

In dit rapport wordt de kruising van de rivierwatertransportleiding tussen Bergambacht en Wassenaar met de Noordeindseweg beschreven (verder genoemd Bergambachtleiding). Voor dit gedeelte van het tracé zal gebruik worden gemaakt van een boortechniek om de leiding met een inwendige diameter van 1600 mm aan te leggen. Deze boring zal reiken tot in de pleistocene zandlaag waardoor het hart van de leiding op ca. NAP -19 m komt te liggen. Belangrijke bestaande elementen die worden gekruist zijn de Winddaassloot en de Noordeindseweg zelf.

In opdracht van de NV Duinwaterbedrijf Zuid-Holland heeft Grondmechanica Delft de grondparameters bepaald en onderzocht wat de invloed van de leiding is op de bestaande situatie. Deze invloed spitst zich toe op twee mogelijke problemen. Ten eerste kan de leiding een lek vertonen waardoor mogelijk de waterkerende functie van de aanwezige keringen verloren gaat. Ook is het mogelijk dat kwel optreedt langs de leiding.

In dit rapport worden alle geotechnische elementen genoemd welke van belang zijn voor de bovengenoemde boring. Voor de grondmechanische parameters en het bemalingsadvies wordt verwezen naar een ander Grondmechanica Delft rapport [ref. 2].

2. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

2.1 Algemeen

In dit rapport is ter plaatse van de kruising van de Bergambachtleiding met de Winddaassloot en ter plaatse van de kruising met de Noordeindsevaart/weg bekeken wat de gevolgen zijn voor de waterkeringen bij het optreden van een lekkage van de Bergambachtleiding.

Bij de beschouwde kruisingen is sprake van een goed doorlatende pleistocene zandlaag op een diepte van ca. NAP -15,3 m. Direct boven deze laag bevindt zich een dunne afsluitende veenlaag. Het overige holocene pakket bestaat uit matig doorlatende lagen. De leiding bevindt zich in de doorlatende pleistocene laag met een zekere afstand tussen de bovenrand van de buis en de onderzijde van de holocene laag (a = dekking).

GRONDMECHANICA DELFT

De gebruikte laagindeling met grondparameters en stijghoogten is gegeven in hoofdstuk 3.

De lekkage is te splitsen in twee gevallen:
- Sluipend lek: de detectiegrens voor een lekkage is 120 m^3/uur. Voor een dergelijk lek moet dit debiet gedurende een onbeperkte tijd kunnen worden weerstaan
- Gapend lek: bij een lekkage groter dan het bovenstaande sluipende lek zullen de pompen worden uitgeschakeld. De drukafbouw in de leiding ter plaatse van dit lek is bepaald door de DZH [ref. 4]. De maximale overdruk ter plaatse is 4,0 bar.

2.2 Sluipend lek

Om de stabiliteit bij een sluipend lek te controleren zijn twee bezwijkmechanismen bekeken:
- afschuiven van de kade
- opbarsten van de grond en vervolgens afschuiven van de kade.

Voor het vaststellen van de veiligheid tegen afschuiven van de kade zijn MSTAB berekeningen gemaakt. Er is aangenomen dat de wateroverspanning naar boven toe reduceert naar rato van de doorlatendheid en de dikte van de verschillende lagen. Voor het bepalen van de faalkansen is voor de kruising met de Winddaassloot aangehouden:
- op 15 m loodrecht uit de beschoeiing van de Winddaassloot een afstand van bovenkant leiding tot onderzijde holoceen van 3 m aanwezig is (≈ 20 m langs leiding gemeten)
- op 25 m loodrecht uit de beschoeiing van de Winddaassloot mag deze dekking tot 1 m gereduceerd zijn (≈ 32 m langs leiding gemeten).

Ter plaatse van de Noordeindseweg:
- dient op 20 m uit de zijkant van de vaart een dekking van minimaal 3 m aanwezig te zijn.

2.3 Gapend lek

Bij de bepaling van de veiligheid bij het optreden van een gapend lek is de waarde van de overdruk als randvoorwaarde gebruikt. Het blijkt dat ook bij de goede doorlatendheid van de pleistocene zandlaag het maximale debiet niet zal weglekken. Bij de

berekening is het lek gesimuleerd als een bolvormige voorgeschreven overdruk.

Er is gekeken naar het eventueel opbarsten van het maaiveld voor twee bezijkmechanismen:

a alleen een druk tegen een bol met straal van 0,8 m. Met een PLAXIS berekening is aangetoond dat het grondmassief niet bezwijkt bij de optredende maximale overdruk van 4 bar

b het laten consolideren van de waterdruk zoals bepaald door DZH [ref. 4], op een bol met straal van 0,8 m. Vervolgens wordt de gevonden extreme waterdruk ter plaatse van de (afsluitende) holocene laag ingevoerd als externe belasting in een rotatiesymmetrische PLUTO berekening. Bij een dekking van 3 m heeft er geen opbarsten van het maaiveld plaats.

ad a De druk benodigd om een dergelijke bol te laten opbarsten is ca. 20 bar. Het verschil met de werkelijk optredende druk is zo groot dat dit bezwijkmechanisme verder als niet reëel wordt beschouwd.

ad b Voor dit bezwijkmechanisme blijkt er nog enige reserve m.b.t. opbarsten te zijn. Opbarsten naast de kade zal maatgevend zijn.

Als het lek volgens mechanisme b een wel veroorzaakt is er nog geen sprake van het bezwijken van de kade. Wel is het mogelijk dat de stabiliteit van de kade reduceert. Dit is mogelijk als de wel zand uit de ondergrond transporteert naar het maaiveld. In de berekeningen is dit vertaald in een zakking van het maaiveld naast de kade met één meter. De faalkans voor het mechanisme van een gapend lek is nu het produkt van de kans dat er een lek ontstaat, de kans dat er opbarsten zal optreden en de kans dat vervolgens de kade afschuift.

2.4 Reductie veiligheid door lekkage

In tabel 2.1 is de faalkans samengevat voor de beide kruisingen. Om deze faalkansen niet te overschrijden is het nodig dat:

- de leiding wordt aangelegd met een lekdetectiesysteem volgens [ref. 4]
- de dekking minimaal gelijk is aan de in 2.2 gehanteerde waarden.

GRONDMECHANICA DELFT

	Situatie	Faalkans [jr^{-1}]
Winddaassloot	zonder leiding	$2{,}3.10^{-17}$
	met leiding	$2{,}7.10^{-11}$
Noordeindseweg	zonder leiding	$6{,}1.10^{-24}$
	met leiding	$2{,}4.10^{-11}$

Tabel 2.1 Faalkans kaden

Een faalkans van 6.10^{-6} jr^{-1} wordt acceptabel geacht voor dit type kruising. Aan deze eis wordt ruimschoots voldaan.

2.5 Kwel langs leiding

Het is niet te verwachten dat kwel langs de leiding op zal treden. Om geen enkel risico te lopen is desondanks besloten om bij de aanleg op twee plaatsen de leiding rondom met grout te injecteren. Het grouten zal gebeuren voor de doorgang door de holocene laag. Het meeste profijt geeft grouten in de holocene laag op een zo hoog en een zo laag mogelijk niveau, dus nabij de overgang van holoceen naar pleistoceen en nabij de pers-/ontvangstkuip.

2.6 Leidingparameters en bemalingsadvies

De leidingparameters en het bemalingsadvies zijn gegeven in [ref. 2].

GRONDMECHANICA DELFT

3. GRONDPARAMETERS

Ter plaatse van de kruising met de Winddaassloot blijken uit [ref. 1] twee onderzoekspunten met ieder een sondering en boring aanwezig te zijn: A27-6 en A27-7. Ter plaatse van de kruising met de Noordeindseweg is sondering A27-5 uitgevoerd. De grond in dit deel van het tracé blijkt redelijk homogeen te zijn zodat er kan worden volstaan met één set grondparameters. Gekozen is voor het relatief eenvoudige grondprofiel van tabel 3.1 voor de sterkte berekeningen. De parameters geven de waarde die naar onze mening het beste overeen komen met de werkelijke situatie (verwachtingswaarden).

grond-soort	ligging [m NAP]	γ_{sat} [kN/m^3]	γ [kN/m^3]	E [kPa]	ψ [°]	φ [°]	c' [kPa]	k [m/s]
zand	m.v./-3,5	20	16	-	-	25	0	-
veen	-3,5/-4,8	11	10	-	-	15	3	-
klei	-4,8/-11,2	14	13	3000	0	22.5	5	5.10^{-8}
klei/silt	-11,2/-14,6	17	-	6000	0	27.5	2	5.10^{-8}
veen	-14,6/-15,3	12	-	3000	0	25	5	5.10^{-9}
zand	-15,3/dieper	20	-	30000	5	35	0	4.10^{-4}

Tabel 3.1 Grondgegevens

Op ca. NAP -13 m is een zandlaag aanwezig. Om rekentechnische redenen is deze laag samengevoegd met de klei/silt laag. De veenlaag is in werkelijkheid dunner, voor sterkte berekeningen is de laagdikte uit tabel 3.1 gebruikt. Voor deze berekeningen is dat een conservatieve aanname en worden numerieke problemen vermeden. Voor de waterstromingsberekening is wel gebruik gemaakt van de werkelijke laagdikte van 0,24 m.

De eerste twee lagen uit tabel 3.1 zijn alleen aanwezig ter plaatse van de kaden. Voor de opbouw van de kade is gebruik gemaakt van het geotechnisch profiel uit [ref. 1]. De daar aangegeven ligging van de scheiding tussen zand en veen bij de kaden van de Winddaassloot op NAP -3,5 m is onzeker. De veronderstelling is geuit dat het mogelijk is dat de gehele kade uit veen of klei bestaat. De invloed van de kade opbouw komt alleen tot uitdrukking in de berekening van de veiligheid tegen afschuiven. Om deze reden is bijlage 2e toegevoegd waarin een berekening is gemaakt met een kade die

volledig uit veen is opgebouwd. Het blijkt dat een dergelijke kade een grotere stabiliteit heeft ten opzichte van een kade welke deels uit zand bestaat. Het profiel uit tabel 3.1 is dan ook een veilige benadering.

Voor de grondwaterstand is het conservatieve NAP -5,0 m aangehouden. Voor de Winddaassloot en de Noordeindsevaart is een waterpeil van NAP -2,5 m aangehouden.

Ter plaatse van de perskuip (oost) en de ontvangstkuip (west) kan kwel een rol spelen. Op deze lokaties is tabel 3.2 van toepassing [ref. 7]:

	water	potentiaalhoogte [m]
perskuip (oost) km 27;180	freatisch	-6,30
	pleistoceen	-5,35
ontvangstkuip (west) km 27;640	freatisch	-5,20
	pleistoceen	-5,20

Tabel 3.2 Potentiaalhoogten

GRONDMECHANICA DELFT

4. STABILITEIT BIJ SLUIPEND LEK

4.1 Waterspanning

4.1.1 Grootte wateroverspanning

Bij een sluipend lek is het maximale debiet 120 m^3/uur. In [bijlage 9] is voor een continu debiet de grootte van de waterdruk tegen de onderzijde van het holocene pakket bepaald. De parameters die in bijlage 9 zijn gebruikt wijken af van de waarden die in dit rapport zijn toegepast. Voor dit rapport is alleen de theoretische afleiding en het op basis van deze afleiding geschreven computerprogramma van belang.
In de afleiding is het probleem van het sluipende lek opgelost met de driedimensionale stationaire stromingsvergelijking. De (beperkte) doorlatendheid van het holocene pakket en het pakket aan de onderzijde van het pleistoceen is gesimuleerd door het invoeren van een leklengte R met een voorgeschreven potentiaal 0. Hierdoor is het mogelijk deze afsluitende lagen is het vervolg van de berekening als ondoorlatend te beschouwen. Dit is te verwezenlijken door het aanbrengen van spiegelbronnen.
Het grafische resultaat van deze berekening is toegevoegd in bijlage 1 in de vorm van een grafiek waarbij de grootte van de waterdruk tegen het holocene pakket is uitgezet tegen de afstand tot het lek (gemeten langs onderzijde holoceen vanaf punt loodrecht boven lek).

Voor deze berekening zijn als parameters gebruikt:

dekking a [m]	=	1, 3 en 5
doorlatendheid k [m/h]	=	1,5 (=4.10^{-4} m/s)
dikte pleistoceen D [m]	=	25
debiet Q [m^3/h]	=	120
invloedsstraal R [m]	=	1590

4.1.2 Bepaling invloedsstraal

Bij de berekening in 4.1.1 is gebruik gemaakt van een invloedsstraal R. Deze straal geeft aan dat buiten dit gebied de potentiaal nul is. Deze randvoorwaarde is noodzakelijk omdat anders bij een dergelijke continue bron de potentiaal oneindig groot wordt. Een goede benadering voor de waarde van R is de leklengte:

GRONDMECHANICA DELFT

$$R = \sqrt{\frac{k.d.D}{k'}} \qquad [4.1]$$

Hierin heeft k.D betrekking op de pleistocene laag en geeft d/k' de weerstand van de afsluitende lagen weer. In [ref. 3] is voor de dikte van het pleistocene pakket 25 m te vinden. Voor de waarde k.D is 900 m^2/dag gegeven. De k waarde is dan 900/(25*24) = 1.5 m/h = 4.10^{-4} m/s.

Voor de afsluitende onderlaag zijn geen gegevens beschikbaar, een conservatieve benadering is om afstroming in deze richting te verwaarlozen. Aan de bovenzijde is eerst sprake van een 0,24 m dikke veenlaag (k = 5.10^{-9} m/s) waarboven een beter doorlatende siltige kleilaag aanwezig is van 3,86 m dikte (k = 5.10^{-8}). De toplaag is een 6,4 m dikke kleilaag (k=5.10^{-8}). Als deze drie lagen in serie worden gezet geeft dat d/k' = $2,5.10^{8}$ s. Voor de invloedsstraal R wordt nu gevonden R = 1590 m.
Hiervoor is verondersteld dat in de afsluitende lagen alleen een verticale grondwaterstroming ontstaat. In werkelijkheid zal er ook een horizontale stroming ontstaan waardoor de extreme wateroverspanningen reduceren. Vooral als er een beter doorlatende tussenlaag aanwezig is zal dit effect significant zijn (hier is de tussenzandlaag op ca. NAP -13 m verwaarloosd). Het verwaarlozen van de horizontale afstroming in de slecht doorlatende lagen levert een conservatieve benadering.

Met het bovenstaande grondprofiel wordt gevonden dat de grootte van de wateroverspanning ter plaatse van het grensvlak tussen veen en klei/silt laag (ca. NAP -14,6 m) gelijk is aan 81 % van de waarde ter plaatse van de onderkant veenlaag (NAP -15,3 m en dieper). Ter plaatse van het grensvlak klei/silt met klei (ca. NAP -11,2 m) is de wateroverspanning gereduceerd tot 51% van die ter plaatse van de onderzijde veenlaag. Aan de bovenzijde van de kleilaag is de wateroverspanning nihil. Aangenomen is dat de wateroverspanning in de lagen zelf lineair verloopt.

4.2 Stabiliteit

4.2.1 Algemeen

Om de stabiliteit van de kaden te onderzoeken is gebruik gemaakt van MSTAB. MSTAB is een door Grondmechanica Delft ontwikkeld programma dat de stabiliteit

van cirkelvormige glijvlakken bepaald. De grootte van de stabiliteit is evenredig met de verhouding tussen het weerstandbiedende moment en het aandrijvende moment. Deze verhouding wordt aangeduid met de veiligheid F.

In het onderhavige geval is er sprake van wateroverspanningen. De invloed van deze wateroverspanningen is verwerkt door het toepassen van aparte potentiaal lijnen voor de verschillende grondlagen.
Met MSTAB is het mogelijk om een tweedimensionale doorsnede te modelleren. Noodgedwongen moet daarom van de driedimensionale wateroverspanning de extreme twee dimensionale doorsnede worden gekozen (zie de potentiaal stippellijn in bijlage 2b). Dit komt overeen met een wateroverspanning over de volle lengte van de kade hetgeen veel ongunstiger is dan de lokaal optredende wateroverspanning zoals bij een lek in werkelijkheid ontstaat.

Door de grotere waterspanningen zullen de korrelspanningen afnemen, het gevolg is dat het weerstandbiedende moment afneemt. De beschrijving staat in paragraaf 4.2.2 en 4.2.3. Een ander bezwijkmechanisme is het opbarsten van het holocene pakket en vervolgens afschuiven van de kade. Het resultaat van deze analyse staat in paragraaf 4.2.4.

Voor het omrekenen van de veiligheid F van een talud naar een faalkans is uitgegaan van [ref. 5]. Een conservatieve benadering voor de daarin gehanteerde tabel wordt gevonden met de onderstaande formule:

$$P\{\text{afschuif}\} \approx 4.10^{-10*(F-1)} \qquad [4.2]$$

Voor de kans dat de betonnen leiding met stalen kern een lek vertoont is aangehouden: $P\{\text{lek in leiding}\} = 8.10^{-6}$ [$jr^{-1}.m^{-1}$]. Omdat een klein lek niet wordt gedetecteerd is verondersteld dat een dergelijk lek vanzelf aangroeit tot detectie waarde van 120 m^3/h. Veiligheidshalve is dus gesteld: $P\{\text{lek}>=120\ m^3/h \mid \text{lek}\} = 1$.

4.2.2 Winddaassloot

In bijlage 2 is het resultaat van MSTAB berekeningen voor een doorsnede over de Winddaassloot gegeven. Het blijkt dat de huidige veiligheid van de kaden tegen afschuiven 2,72 is (bijlage 2a). Een sluipend lek in een leiding met een dekking van

3 m op de meest ongunstige plaats reduceert deze veiligheid tot 1,90 (bijlage 2b). Op 25 m loodrecht uit de beschoeiing van de Winddaassloot wordt begonnen met het opbuigen van de leiding. Om de invloed van een gereduceerde dekking na te gaan is een MSTAB berekening gemaakt waarbij de dekking op deze lokatie slechts 1 m is. Het resultaat is weergegeven in bijlage 2c. De veiligheid is voor dit geval 2,13.

Een bovengrens voor de faalkans bij een sluipend lek wordt gevonden door aan te nemen dat ieder lek een sluipend lek is, dus P{lek=120 m^3/h | lek} = 1. Het vloeiend verloop van de dekking wordt hier sprongvormig gemodelleerd:
tot 25 m uit beschoeiing vaart: dekking = 3 m
daarbuiten: dekking = 1 m
De werkelijke dekking is altijd groter. Het leidingdeel met een dekking van 3 m is minimaal 76 m lang (hoek leiding met vaart = 52°; (25+25+10)/cos(38°)=76). Voor het deel met dekking van 1 m wordt de rest van de invloedsstraal gekozen:
lengte = 2*1590-76 = 3100 m. De faalkans is nu:

$$P\{\text{afschuif}\} = P\{\text{afschuif} \mid \text{lek=sluipend} \mid \text{lek}\}. P\{\text{lek=sluipend} \mid \text{lek}\}.P\{\text{lek}\} = 4.10^{-9,01}*1*76.8.10^{-6} + 4.10^{-11,29}*1*3100.8.10^{-6} = 2,9.10^{-12}\ jr^{-1} \quad [4.3]$$

Een schatting voor de faalkans indien er geen leiding aanwezig is, is gemaakt onder de veronderstelling dat:
- er geen belastingsgeschiedenis is
- de variantie van de belasting nul is
- alle gehanteerde parameters verwachtingswaarden zijn

Er wordt gevonden:

$$P\{\text{afschuif}\} = 4.10^{-17,24} = 2,3.10^{-17}\ jr^{-1} \quad [4.4]$$

4.2.3 Noordeindseweg

De Noordeindseweg is door een damwand gescheiden van de Noordeindsevaart. In bijlage 3 is het resultaat van de MSTAB berekeningen voor deze doorsnede gegeven. In bijlage 3a blijkt de veiligheid voor de situatie zonder lekkage: F=3,38. Uit bijlage 3b en 3c blijkt de minimale veiligheid in het geval er een sluipend lek is gelijk aan 2,49 te zijn. Gemakshalve is voor de dekking over de gehele kruising de waarde van één meter aangehouden. De faalkans met een leiding is nu:

GRONDMECHANICA DELFT

$$P\{\text{afschuif}\} = P\{\text{afschuif} \mid \text{lek=sluipend} \mid \text{lek}\}. P\{\text{lek=sluipend} \mid \text{lek}\}.P\{\text{lek}\} < 4.10^{-14,87} * 1 * 3180.8.10^{-6} = 1,4.10^{-16}\ \text{jr}^{-1} \quad [4.5]$$

Onder dezelfde voorwaarden als voor formule [4.4] wordt voor de faalkans indien er geen leiding is gevonden:

$$P\{\text{afschuif}\} = 4.10^{-23,82} = 6,1.10^{-24}\ \text{jr}^{-1} \quad [4.6]$$

4.2.4 Opbarsten; Winddaassloot en Noordeindseweg

Indien naast de kade opbarsten van de grond optreedt moet er ook rekening worden gehouden met een reductie van de veiligheid tegen afschuiven door welvorming. Om de weerstand tegen opbarsten na te gaan is gebruik gemaakt van het Eindige Elementen Methode (EEM) pakket PLUTO, dit is een bij Grondmechanica Delft ontwikkeld computerprogramma. Voor de berekening is gebruik gemaakt van een axiaalsymmetrische benadering.

In de berekeningen is een horizontaal maaiveld achter de kade gemodelleerd. Het maaiveldniveau is NAP -4,8 m. Ter plaatse van de kade bevindt het maaiveld zich op een hoger niveau zodat NAP -4,8 m een veilige ondergrens is.

Het resultaat van deze berekening is gegeven in bijlage 7. Daar staat uit de verplaatsing van een punt op het maaiveld tegen de grootte van de belasting. Na 1 stap is het eigen gewicht van de ondergrond aangebracht. 100 stappen later (rekenstap 101) staat de volledige voorspelde druk na breuk tegen het holoceen. Hierna wordt de druk in het verdere rekenproces opgevoerd tot de dubbele waarde. Bij een verplaatsing van 0,05 m op het maaiveld wordt het grondmassief als bezweken verondersteld. Uit de plasticiteitsgrafieken blijkt dat bij een dergelijke verplaatsing het plastische gebied het maaiveld nagenoeg heeft bereikt. Uit bijlage 7a blijkt bij een dekking van 3 m deze verplaatsing na 181 rekenstappen op te treden. De veiligheid F is dus (181-1)/100=1,80.

Voor de bepaling van de faalkans wordt verondersteld dat ook voor opbarsten formule [4.2] kan worden toegepast. Verder wordt aangenomen dat ieder lek een sluipend lek is. Als laatste wordt de zeer ongunstige veronderstelling gemaakt dat opbarsten altijd het afschuiven van de kade tot gevolg heeft, voordat de wel wordt opgemerkt.
Afschuiven van de kade zal alleen kunnen plaatshebben als in de directe omgeving van

GRONDMECHANICA DELFT

de kade een wel ontstaat. Om deze reden is alleen het gebied met een dekking van 3 m relevant.
Voor beide vaarten wordt een kritiek gebied aangehouden groot:
tot 25 m uit beschoeiing vaart: dekking = 3 m, lengte = 76 m

Met deze veronderstellingen wordt voor de faalkans gevonden:

$$P\{\text{opbarsten}\} = P\{\text{opbarsten} \mid \text{lek=sluipend} \mid \text{lek}\}. P\{\text{lek=sluipend} \mid \text{lek}\}.P\{\text{lek}\} \quad [4.7]$$
$$4.10^{-8,0} * 1 * 76.8.10^{-6} = 2,4.10^{-11}\ \text{jr}^{-1}$$

Indien de leiding wordt opgebogen blijkt er nog een vrij grote veiligheid met betrekking tot opbarsten te zijn. Het is dus niet zo dat de druk altijd kan ontsnappen door welvorming.

GRONDMECHANICA DELFT

5. STABILITEIT BIJ GAPEND LEK

5.1 Algemeen

Indien er een lekkage groter dan 120 m^3/uur ontstaat wordt dit gedetecteerd. Een zogenaamd gapend lek heeft direct een verlaging van de druk in de leiding tot gevolg. Door de loopsnelheid van de druk in de leiding duurt het ca. 4 s voordat de pompen uitvallen. Het verloop van de druk in de leiding bij het gapende lek ter plaatse van de Noordeindseweg is bepaald in [ref. 4]. Er is ook gekeken naar een alternatief waarbij detectie pas na 31s plaatsvindt.

Doordat de leiding lek is heeft de druk in de leiding een waterdrukopbouw in de ondergrond tot gevolg. Voor de bepaling van het verloop van deze druk in de tijd is gebruik gemaakt van een analytische oplossing van de consolidatievergelijking.

Voor de stabiliteit is bekeken of het grondmassief de druk nabij het lek kan weerstaan en ook of het grondmassief de opwaartse druk tegen de holocene laag kan weerstaan.

5.2 Voorgeschreven druk, analytische afleiding druk tegen holoceen

De maximale druk in de leiding volgt uit [ref. 4]. We veronderstellen dat complete breuk van de leiding zich vertaalt in een bol met straal van 0,8 m (=straal leiding) waarin de wateroverspanning is voorgeschreven. We gaan uit van een bolsymmetrische benadering. De differentiaalvergelijking voor consolidatie is dan:

$$\frac{\partial^2(r.\phi)}{\partial r^2} = \frac{1}{c}\frac{\partial(r.\phi)}{\partial t} \qquad [5.1]$$

Met als voorwaarden:

Randvoorwaarden:

voor $r=R$, $\phi=\phi_{buis}$ $\forall\, t$

voor $r=\infty$, $\phi=0$ $\forall\, t$ [5.2]

beginvoorwaarde:

voor $t=0$, $\phi=0$ $\forall\, r$

GRONDMECHANICA DELFT

We maken een Laplace transformatie naar de tijd met als definitie:

$$\overline{\phi} = \int_0^\infty \phi e^{-st} dt \qquad [5.3]$$

Hierin is s de Laplace parameter.
Toepassen op formule [5.1] geeft:

$$\frac{\partial^2(r\overline{\phi})}{\partial r^2} = \frac{s(r\overline{\phi})}{c} \qquad [5.4]$$

Met als randvoorwaarden:
voor $r=R$, $\overline{\phi}=\phi_{buis}/s$
voor $r=\infty$, $\overline{\phi}=0$

Oplossen van deze vergelijking geeft:

$$r\overline{\phi} = C_1 e^{-r\sqrt{\frac{s}{c}}} + C_2 e^{r\sqrt{\frac{s}{c}}} \qquad [5.5]$$

In verband met de randvoorwaarde voor $r=\infty$ moet gelden $C_2=0$.
Uit de andere randvoorwaarde volgt de waarde voor C_1:

$$\frac{R\phi_{buis}}{s} = C_1 e^{-R\sqrt{\frac{s}{c}}}$$

dus: [5.6]

$$C_1 = \frac{R.\phi_{buis}}{s} e^{R\sqrt{\frac{s}{c}}}$$

De totale oplossing is nu:

$$\overline{\phi} = \frac{R.\phi_{buis}}{r.s} . e^{(R-r)\sqrt{\frac{s}{c}}} \qquad [5.7]$$

Terugtransformatie gaat volgens Abramowitch (29.3.83):
Met gebruik van deze standaard transformatie wordt de oplossing in de tijd gevonden:

GRONDMECHANICA DELFT

$$\frac{1}{s}e^{-k\sqrt{s}} = L\left[\operatorname{erfc}\left(\frac{k}{2\sqrt{t}}\right)\right] \qquad [5.8]$$

$$\phi = \frac{R.\phi_{buis}}{r}\operatorname{erfc}\left(\frac{r-R}{2\sqrt{ct}}\right) \qquad [5.9]$$

In ons geval is er geen sprake van een voorgeschreven continue leidingdruk, maar van een druk die varieert in de tijd. Omdat de differentiaalvergelijking lineair is kan hiervoor gebruik worden gemaakt van de convolutie-integraal:

$$\phi(r,t) = \frac{R}{r}\int_0^t \phi_{buis}(\tau).\left[\frac{\partial}{\partial\vartheta}\operatorname{erfc}\left(\frac{r-R}{2\sqrt{c\vartheta}}\right)\right]_{\vartheta=t-\tau} d\tau \qquad [5.10]$$

Voor het meer eenvoudige geval met sprongvormige veranderingen in de druk kan gebruik worden gemaakt van de superpositie van oplossingen met een tijdstranslatie. Voor de hier gepresenteerde berekeningen is deze oplossing gekozen. De berekeningen zijn gemaakt met een spreadsheet programma.

5.3 Drukverloop in pleistoceen door gapend lek

5.3.1 Grondparameters

Om te voldoen aan de randvoorwaarde dat er geen water afstroomt naar het holocene pakket is opnieuw een spiegelbron toegepast. De invloed van de afsluitende laag aan de onderzijde van het pleistoceen is niet meegenomen. In 5.5 wordt aangetoond dat dit inderdaad is toegestaan, omdat verderweggelegen spiegelbronnen nog geen invloed hebben. Voor de parameters is aangehouden:

GRONDMECHANICA DELFT

$c = k/(\gamma_w.m_v) = 1{,}62\ m^2/s \approx 1{,}5\ m^2/s$

als: $m_v = 1/(4/3\ G + K) = 1 / \{4E/6(1+\nu) + E/3(1-2\nu)\}$

$k = 4.10^{-4}$ m/s

$E = 30000$ kPa

$\nu = 0{,}3$

$\gamma_w = 10\ kN/m^3$

a = 3 m

R = 0,8 m

Voor de bepaling van het drukverloop in de leiding nadat een lek is opgetreden zijn berekeningen gemaakt in [ref. 4]. Om deze berekeningen te kunnen maken was het nodig dat een relatie tussen de druk ter plaatse van het lek en het uitstromende debiet wordt gelegd. Als relatie is gehanteerd:

$$Q = C.\Delta H \qquad [5.11]$$

De waarde van C is bepaald voor een in de tijd constante randvoorwaarde φ_{buis}. In tabel 5.1 is het resultaat van dergelijke berekeningen voor een stationaire toestand weergegeven. Het blijkt dat de grootte van de dekking slechts een beperkte invloed heeft op de grootte van de waarde C, waarin C de weerstand van de grond tegen het uitstromen van water is.
In tabel 5.2 is het gedrag voor een niet stationaire situatie gegeven. Alhoewel voor t=0 het debiet oneindig groot is zal de hoeveelheid uitstromend water een grens hebben.

Dekking a [m]	ΔH [m]	Q [m^3/h]	C=Q/ΔH [m^2/h]
2	70	900	12,86
2	45	577	12,82
5	70	952	13,60
5	45	620	13,80

Tabel 5.1 Waarde C met geometrie

Voor het verloop van de waarde in de tijd is de volgende tabel bepaald:

GRONDMECHANICA DELFT

t [s]	C(t=0) / C(t=∞) [-]
0 1 10 100	∞ 1,5 1,2 1

Tabel 5.2 Waarde C in de tijd

Op basis van de bovenstaande gegevens is gekozen voor de waarde C=15 m^2/h. Deze waarde is ook doorgegeven aan de DZH op basis waarvan zij [ref. 4] hebben gemaakt.

5.3.2 Opgelegde druk aan lek

Uit [ref. 4] volgt de grootte van de druk ter plaatse van het lek. Ten behoeve van de berekeningen is dit verloop tot een blokvorm geschematiseerd. Indien het lek na 4 s wordt gedetecteerd is het verloop:

tijd t [s]	waterdruk t.p.v. lek φ [m]
0 < t < 4 4 < t < 36 36 < t < 110 110 < t < 170 179 < t	40 36 0 27 0

Tabel 5.3 Verloop waterdruk lekdetectie 4 s

Indien het lek pas na 31 s wordt gedetecteerd is het verloop:

GRONDMECHANICA DELFT

tijd t [s]	waterdruk t.p.v. lek φ [m]
0 < t < 4	40
4 < t < 46	36
46 < t < 61	38
61 < t	0

Tabel 5.4 Verloop waterdruk lekdetectie 31 s

Uit de berekeningen met de waarden van tabel 5.3 bleek dat na het wegvallen van de waterdruk een periode van één minuut voldoende is om de spanningen tot onder de 1 kPa te laten terugvallen. Om deze reden is besloten om bij een lekdetectie na 31 s alleen de eerste, grootste drukgolf mee te nemen. De tweede golf komt na 139 s aan, op dat moment is het effect van de eerste golf nagenoeg verdwenen.

5.3.3 Verloop waterdruk tegen holoceen

Op basis van de bovenstaande gegevens kan de grootte van de waterdruk tegen de onderzijde van het holoceen worden bepaald. In bijlage 4 is dit verloop weergegeven voor het geval met lekdetectie na 4 s. In bijlage 5 is hetzelfde gedaan voor een lekdetectie na 31 s.

Uit de resultaten is te zien dat de waterdruk tegen het holoceen snel reageert op veranderingen in de leidingdruk. Het gevolg is dat een sterke terugval in de leidingdruk nagenoeg instantaan een reductie van de druk tegen het holocene pakket tot gevolg heeft. Gedurende de eerste seconden is de terugval scherp, daarna volgt nog een langdurige geleidelijke terugval. Globaal kan gesteld worden dat de eerste 80% terugval in 10 s is bereikt, de verdere terugval verloopt traag. Het proces in omgekeerde volgorde (drukopbouw) heeft een identiek verloop.

GRONDMECHANICA DELFT

5.4 Bepaling stabiliteit grondmassief

5.4.1 Stabiliteitsberekeningen

Om te bekijken of het grondmassief stabiel is zijn twee typen berekeningen gemaakt. Een eerste berekeningstype is gemaakt door na te gaan of het grondmassief stabiel is als de leidingdruk wordt ingevoerd als randvoorwaarde.
Een tweede berekeningstype is gemaakt om na te gaan of het grondmassief stabiel is als de waterdruk op de onderzijde van het holoceen wordt ingevoerd als externe belasting.

Indien het grondmassief niet stabiel is zal er een wel ontstaan. In een dergelijk geval is er nog geen sprake van het bezwijken van de kade. Hiervoor is het nodig dat een afschuiving van de kade zal optreden. In 5.5 is daarvoor een schatting gemaakt.

5.4.2 Leidingdruk op grondmassief

Er wordt verondersteld dat de leiding volledig afbreekt. Direct na de breuk kan de belasting dan worden gemodelleerd als een naar buiten gerichte belasting ter grootte van de leidingdruk op een bolvorm met straal van 0,8 m.
Om de stabiliteit na te gaan is een axiaalsymmetrische PLAXIS berekening gemaakt. PLAXIS is een door de Technische Universiteit Delft ontwikkeld Eindige Elementen Methode pakket. Uit de berekeningen blijkt dat bij bezwijken van het grondmassief de druk ca. 2000 kPa is, dus aanzienlijk hoger dan de werkelijk optredende extreme druk van 400 kPa. In bijlage 6 is het last-verplaatsingsdiagram van deze berekening weergegeven. De reserve in de draagkracht is zo groot dat dit als een niet reëel bezwijkmechanisme wordt gezien. Voor de faalkans wordt dit mechanisme niet in rekening gebracht.

5.4.3 Druk tegen holoceen

Na verloop van tijd breidt de druk zich uit in het pleistocene pakket. De grootste belasting ten gevolge van het water staat dan tegen de onderzijde van het holoceen. In het geval van lekdetectie na 4 s wordt na 36 s het extreme drukverloop gevonden. Op dat moment staat direct boven de leiding een druk tegen het holocene pakket van

11,74 m waterkolom.

Om de stabiliteit na te gaan tegen opbarsten is gebruik gemaakt van het Eindige Elementen Methode (EEM) pakket PLUTO. Voor deze berekening kan PLAXIS niet worden toegepast omdat het daarmee niet mogelijk is om een belasting aan te brengen in het grondpakket zelf.

Het resultaat van deze berekening is gegeven in bijlage 8. Daar staat uit de verplaatsing van een punt ter plaatse van het maaiveld tegen de belasting. Na 101 rekenstappen staat de volledige voorspelde druk na breuk tegen het holoceen. Hierna wordt de druk in het verdere rekenproces opgevoerd tot de dubbele waarde. Bij een keuze van 0,05 m verplaatsing op het maaiveld wordt het grondmassief als bezweken verondersteld. Uit de plasticiteits grafieken blijkt dat bij een dergelijke verplaatsing het plastische gebied het maaiveld nagenoeg heeft bereikt. Deze verplaatsing treedt op na 126 rekenstappen, ofwel bij een belasting van 125%. Dit wordt beschouwd als een veiligheid tegen opbarsten: F = 1,25.

Voor het geval van een lekdetectie na 31 s neemt de extreme druk tegen het holoceen toe tot 13,06 m waterkolom. Een schatting voor de maximale belasting geeft dan 125% * 11,74/13,06 = 112%. Dit wordt beschouwd als een veiligheid tegen opbarsten: F = 1,12.

5.5 Afschuiven na welvorming

Als het opbarsten volgens 5.4 optreedt zal vervolgens de kade moeten afschuiven. Het is mogelijk dat door het optreden van de wel enig zand naar het maaiveld wordt meegevoerd. In de volgende berekening wordt verondersteld dat dit zand verdwijnt en geen enkele bijdrage meer levert aan de stabiliteit. Hierdoor zal de veiligheid tegen afschuiven gedurende langere tijd reduceren.

De maximale hoeveelheid water welke uit een sluipend lek kan ontsnappen blijkt volgens [ref. 4] 30 m^3 te zijn bij detectie na 31 s. Uit zandtransportleidingen is bekend dat de volume verhouding zand water in een leiding maximaal ca. 30:70 is. De genoemde 30 m^3 water kan dan ook maximaal 15 m^3 verzadigd zand (n=40%) transporteren. We veronderstellen dat een bolvorm van 15 m^3 zand verdwijnt. Dit komt overeen met een straal van 1,53 m en daarmee een maximale doorsnede van 7,4 m^2. Als deze

GRONDMECHANICA DELFT

grond op 5 m onder het maaiveld verdwijnt is volgens [ref. 6] een maximale zakking van het maaiveld van 0,92 m te verwachten. Voor de stabiliteit is deze zakking vertaald in een verlaging van het maaiveld naast de kade met 1 m. In bijlage 2d is te zien dat de veiligheid bij een dergelijke maaiveldzakking reduceert tot 2,53 bij de Winddaas-sloot.
Analoog aan het sluipende lek is hier aangenomen dat ieder lek een gapend lek is, dus: P{lek=gapend | lek} = 1. Als opnieuw een gebied tot 25 m uit de beschoeiing wordt gekozen, dus 76 m langs de leiding gemeten wordt voor de faalkans gevonden:

Detectie t=4 s
P{afschuiven} = P{afschuiven | opbarsten | lek=gapend | lek}.
P{opbarsten | lek=gapend | lek}.P{lek=gapend | lek}.P{lek} =
$4.10^{-15,26} * 4.10^{-2,5} * 1 * 76.8.10^{-6} = 1,7.10^{-20}$ jr^{-1}

[5.12]

Detectie t=31 s
P{afschuiven} = P{afschuiven | opbarsten | lek=gapend | lek} .
P{opbarsten | lek=gapend | lek}.P{lek=gapend | lek}.P{lek} =
$4.10^{-15,26} * 4.10^{-1,2} * 1 * 76.8.10^{-6} = 3,4.10^{-19}$ jr^{-1}

Ook ter plaatse van de Noordeindseweg wordt de dekking op 3 m gesteld. Uit bijlage 3a t/m 3d blijkt dat de glijcirkel tot ca. 17 m vanaf de damwand loopt. Voor het kritieke gebied is hier aan weerszijden van de vaart 20 m gekozen vermeerderd met de breedte van de vaart zelf zijnde 10 m. Uit bijlage 3d blijkt voor de Noordeindseweg de veiligheid te reduceren tot 2,80.
Voor de faalkans wordt gevonden:

Detectie t=4 s
P{afschuiven} = P{afschuiven | opbarsten | lek=gapend | lek}.
P{opbarsten | lek=gapend | lek}.P{lek=gapend | lek}.P{lek} =
$4.10^{-18,0} * 4.10^{-2,5} * 1 * 50.8.10^{-6} = 2,0.10^{-23}$ jr^{-1}

[5.13]

Detectie t=31 s
P{afschuiven} = P{afschuiven | opbarsten | lek=gapend | lek} .
P{opbarsten | lek=gapend | lek}.P{lek=gapend | lek}.P{lek} =
$4.10^{-18,0} * 4.10^{-1,2} * 1 * 50.8.10^{-6} = 4,0.10^{-22}$ jr^{-1}

GRONDMECHANICA DELFT

5.6 Opmerkingen

Voor het ondoorlatend zijn van de onderzijde van het holoceen is gebruik gemaakt van een spiegelbron, waarbij de lek door het holoceen wordt verwaarloosd. De druk door beide bronnen wordt gesuperponeerd. Doordat beide bronnen in elkaars invloedsgebied liggen is het mogelijk dat de berekende druk groter is dan de voorgeschreven druk. Voor een stationaire toestand is het mogelijk om de voorgeschreven druk te verlagen en op deze wijze te corrigeren voor dit effect. Probleem in het voorgaande is dat er geen sprake is van een stationaire situatie, in de initiële fase zal de onderlinge invloed nihil zijn, terwijl gebleken is dat voor een stationaire toestand de reductie van de druk ca. 10% mag zijn. Er is voor gekozen om geen reductie van de druk toe te passen zodat de gevonden waterdrukken een hoge en dus conservatieve schatting zullen geven.

Ook aan de onderzijde wordt het pleistocene pakket afgesloten door een ondoorlatende laag. Men kan zich afvragen of het nodig is om ook voor deze laag een spiegelbron toe te passen. De afstand van deze spiegelbron tot het hart van de leiding zou ca. 40 m moeten zijn (2*afstand hart leiding tot onderzijde $\approx$ 2*20 = 40 m). Uit de oplossing van de differentiaalvergelijking [5.9] kan de tijd worden bepaald welke verstrijkt voordat de invloed van de spiegelbron merkbaar is ter plaatse van het holoceen. De af te leggen afstand is ca. 40 m. Voor de errorfunctie geldt: erfc(1) = 0,034 $\approx$ 0. Voor de tijd is dus te vinden:
$(r-R)/2\sqrt{(ct)} = 1$, dus $t = (40-0,8)^2/(4*1,5) = 256$ s.
De maxima werden hiervoor op een veel eerder tijdstip gevonden, in dit geval is het dan ook toegestaan om de spiegelbron aan de onderzijde te verwaarlozen.

Door de korte duur van de extreme waterdruk (orde 60 s) in de ondergrond zal de stabiliteit van de kaden door wateroverspanningen uit plastische vervormingen niet verminderen. Bij een dergelijke kortdurende belasting kan er gebruik worden gemaakt van de ongedraineerde grondparameters welke altijd een sterker en stijver gedrag geven. De optredende wateroverspanningen geven geen reductie van het weerstandbiedend moment omdat de ongedraineerde φ waarde gelijk aan nul is.

GRONDMECHANICA DELFT

6. TOTALE FAALKANS

6.1 Winddaassloot

Indien er geen leiding aanwezig is, is de faalkans voor de Winddaassloot:
$P\{afschuif\} = 2{,}3.10^{-17}$ jr^{-1} [4.4].

Indien ieder lek een sluipend lek is wordt deze faalkans voor afschuiven:
$P\{afschuif\} = P\{afschuif \mid lek=sluipend \mid lek\}.P\{lek=sluipend \mid lek\}.P\{lek\} = 2{,}9.10^{-12}$ jr^{-1} [4.3].
Deze kans moet worden vermeerderd met de kans dat opbarsten en vervolgens afschuiven zal optreden:
$P\{afschuif\} = P\{afschuif \mid opbarsten \mid lek=sluipend \mid lek\}.$
$P\{opbarsten \mid lek=sluipend \mid lek\}.P\{lek=sluipend \mid lek\}.P\{lek\} = 2{,}4.10^{-11}$ jr^{-1} [4.7]
De totale faalkans bij een sluipend lek is dus voor de Winddaassloot:
$P\{afschuif\} = 2{,}7.10^{-11}$ jr^{-1} [5.14]

Voor een gapend lek is gevonden [5.12]:
$P\{afschuif\} = P\{afschuif \mid opbarsten \mid lek=gapend \mid lek\}.$
$P\{opbarsten \mid lek=gapend \mid lek\}.P\{lek=gapend \mid lek\}.P\{lek\} = 3{,}4.10^{-19}$ jr^{-1} [5.12]

Voor de hierboven gegeven faalkansen ([4.3] en [4.7]) is het niet duidelijk in hoeverre er sprake is van een additionele of een totale faalkans. Afhankelijk van de correlatie tussen het faalmechanisme zonder en met leiding is er sprake van een totale, additionale of tussenvorm faalkans. Veiligheidshalve is hier verondersteld dat er geen correlatie is zodat de faalkansen worden erondersteld additionele faalkansen te zijn.
Indien er een lek ontstaat zal dit een sluipend of een gapend lek moeten zijn. De toename van de faalkans indien er een leiding wordt geplaatst is dus gelijk aan de grootste faalkans van [5.12] en [5.14] vermeerderd met faalkans [4.3]:
$P\{afschuif \text{ met leiding}\} = 2{,}7.10^{-11}$ jr^{-1} [5.15]

6.2 Noordeindseweg

Indien er geen leiding aanwezig is, is de faalkans voor de Noordeindseweg:
$P\{afschuif\} = 6{,}1.10^{-24}$ jr^{-1} [4.6].

Indien ieder lek een sluipend lek is wordt deze faalkans voor afschuiven:
P{afschuif} = P{afschuif | lek=sluipend | lek}.P{lek=sluipend | lek}.P{lek} = $1{,}4.10^{-16}$ jr^{-1} [4.5].
Deze kans moet worden vermeerderd met de kans dat opbarsten en vervolgens afschuiven zal optreden:
P{afschuif} = P{afschuif | opbarsten | lek=sluipend | lek}.
P{opbarsten | lek=sluipend | lek}.P{lek=sluipend | lek}.P{lek} = $2{,}4.10^{-11}$ jr^{-1} [4.7]
De totale faalkans bij een sluipend lek is dus voor de Noordeindseweg:
P{afschuif} = $2{,}4.10^{-11}$ jr^{-1} [5.16]

Voor een gapend lek is gevonden:
P{afschuif} = P{afschuif | opbarsten | lek=gapend | lek}.
P{opbarsten | lek=gapend | lek}.P{lek=gapend | lek}.P{lek} = $4{,}0.10^{-22}$ jr^{-1} [5.13]

De faalkans indien er een leiding wordt geplaatst is dus gelijk aan:
P{afschuif met leiding} = $2{,}4.10^{-11}$ jr^{-1} [5.17]

6.3 Toelaatbare faalkans

Voor een kruising van een leiding met dit type waterkering wordt een faalkans van 6.10^{-6} jr^{-1} voldoende geacht. Zowel voor de Winddaassloot als voor de Noordeindsevaart wordt ruimschoots aan dit criterium voldaan.

7. KWEL LANGS LEIDING

Aan het begin en het einde van de boring moet de leiding door het holocene pakket. Omdat er overspannen water aanwezig is in het diepe zandpakket is het niet onmogelijk dat kwelwater langs de leiding lekt.
Ter plaatse van de doorgang door het holocene pakket wordt een potentiaalverschil ΔH = 0,95 m voor de perskuip en ΔH = 0,0 m voor de ontvangstkuip gevonden (tabel 3.2).

Bij een goed uitgevoerde boring is de hoeveelheid afgevoerde grond in de orde van 1% meer dan de theoretische hoeveelheid. Bij een goed uitgevoerde boring zal de grond de leiding dan ook nauw omsluiten. Bovendien levert de boorvloeistof (bentoniet) een

extra slecht doorlatende laag rond de leiding. Het valt dan ook niet te verwachten dat er extra kwel zal optreden.
Uit [ref. 8] blijkt dat er door het kruipgedrag van slappe grond op lange termijn geen kwel is te verwachten.
Mits de leiding een helling flauwer dan 1:3 heeft, geeft dit voloende zekerheid dat er geen kwel optreedt (slappe grond, weegfactor = 1/3).

Om ieder risico uit te sluiten is gekozen om de bij de doorgang door het holoceen op twee plaatsen te injecteren met grout. Gezien de mogelijke aanwezigheid van een goed doorlatende tussenzandlaag verdient het aanbeveling om te zorgen dat die (eventuele) laag wordt ingesloten. Dit is te bereiken door op zo kort mogelijke afstand van het in- en uittreepunt te injecteren en tevens op korte afstand van de onderzijde holoceen.

Kwel kan verder optreden uit de boezem, langs de leiding naar de teen van de kade. De nieuwe situatie is niet maatgevend als de totaal af te leggen gewogen afstand groter is dan de afstand in de uitgangssituatie. De natuurlijke kwelweg is horizontaal door de kade. Deze lengte is maximaal 18 m (afstand teen kade tot beschoeiing):
$2 * (15,3-4,8) > 1/3 * 18$ [7.1]
Dit is inderdaad het geval, er zal geen alternatieve kwelweg langs het boorgat ontstaan.
Bij de Noordeindseweg is sprake van damwanden, de af te leggen weg langs de damwand is 5 m (Noordeindsevaart NAP -4 m, teen damwand NAP -9,0 m). Dit geeft:

$2 * (15,3-4,8) > 1/3 * 20 + 2*5$ [7.2]
Ook aan dit criterium wordt voldaan.

8. LEIDINGPARAMETERS EN BEMALINGSADVIES

Deze parameters en dit advies zijn gegeven in [ref. 2].

GRONDMECHANICA DELFT

9. REFERENTIES

[1] Rapport Grondmechanica Delft, CO-327170/59.

[2] RWT Bergambacht-Wassenaar, traject BA17B, Rapport Grondmechanica Delft, CO-327170/113, 16 augustus 1993.

[3] Grondwaterkaart van Nederland, dienst grondwaterverkenning TNO, 's-Gravenhage Utrecht.

[4] Gedrag van druk en debiet als gevolg van leidingbreuk in de tweede BAL t.p.v. kruising Katwijkerlaan/Noordeindseweg, rapport DZH, juli 1993.

[5] Pijpleidingcode, studiegroep pijpleidingen, provincie Zuid-Holland, revisie 6, mei 1990.

[6] Attewell P.B. e.a., Soil Movements induced by Tunneling and their Effects on Pipelines and Structures, New York, 1986.

[7] Aanvullend bemalingsadvies rivierwatertransportleiding, deeltraject BA17, CO-329500/38, maart 1993.

[8] Aanvullende eisen voor stalen transportleidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken, ontwerp NEN norm, NEN 3651, november 1992.

10. LIJST VAN BIJLAGEN

[1] Druk tegen holoceen door sluipend lek.

[2] Kritieke glijcirkel bij sluipend lek t.p.v. Winddaassloot
- a geen lekkage
- b 120 m^3/h lek; dekking 3 m;
- c 120 m^3/h lek; dekking 1 m;
- d gapend lek; erosie
- e geen lek; veiligheid bij een kade die volledig uit veen bestaat.

[3] Kritieke glijcirkel bij sluipend lek t.p.v. Noordeindseweg
- a geen lekkage
- b 120 m^3/h lek; dekking 1 m; lek onder damwand
- c 120 m^3/h lek; dekking 1 m; lek onder glijcirkel
- d gapend lek; erosie

[4] Druk tegen holoceen door gapend lek; lekdetectie 4s
- a van t=0s t/m t=60s
- b van t=70s t/m t=140s.

[5] Druk tegen holoceen door gapend lek; lekdetectie 31s
- a van t=0s t/m t=60s

GRONDMECHANICA DELFT

b van t=61s t/m t=130s.

[6] Last verplaatsingsdiagram bij druk op bol.

[7] Last verplaatsingsdiagram bij sluipend lek; druk tegen holoceen.

a dekking 1 m

b dekking 3 m.

[8] Last verplaatsingsdiagram bij gapend lek; druk tegen holoceen; lekdetectie na 4s.

[9] Afleiding druk tegen holoceen bij sluipend lek.

BIJLAGEN

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

Lekkage Bergambacht leiding; Noordeindseweg Druk tegen holoceen door sluipend lek Sluipend lek 120 m^3/h	datum 09-08-93	get. Boey
	CO-327170	gez.
	BIJL. 1	form. A 4

Lekkage Bergambacht leiding; Winddaassloot

Kritieke glijcirkel

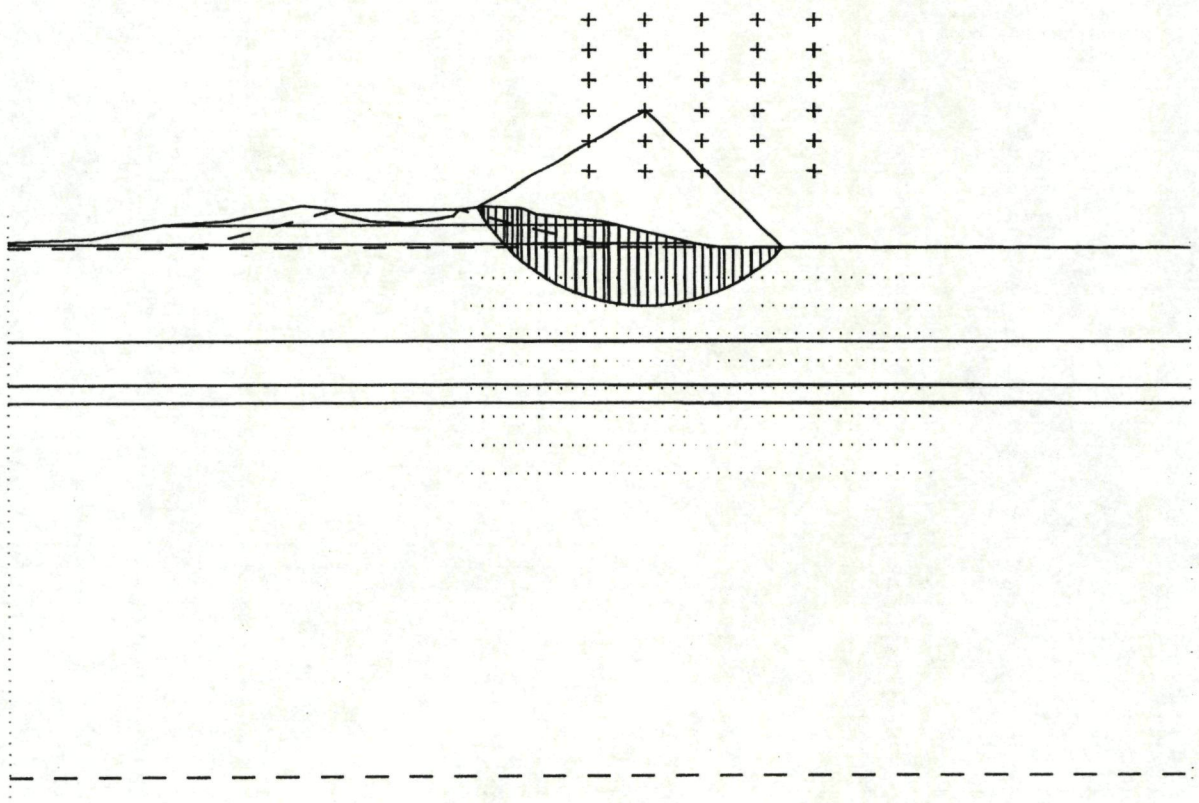
Geen lek

GRONDMECHANICA DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

C R I T I C A L S L I P C I R C L E : Bishop method



DELFT GEOTECHNICS	CO-327170	
Lic:INTERN Cop:N1	Geen lek	
MSTAB [4.0]	Xm = 63.75 m	Radius = 12.86 m
File : STB	Ym = 4.00 m	Fmin = 2.724

BIJL. 2a	CO-327170	09-08-93	datum
A4 form.	gez.	Boey	get.

Lekkage Bergambacht leiding; Winddaassloot

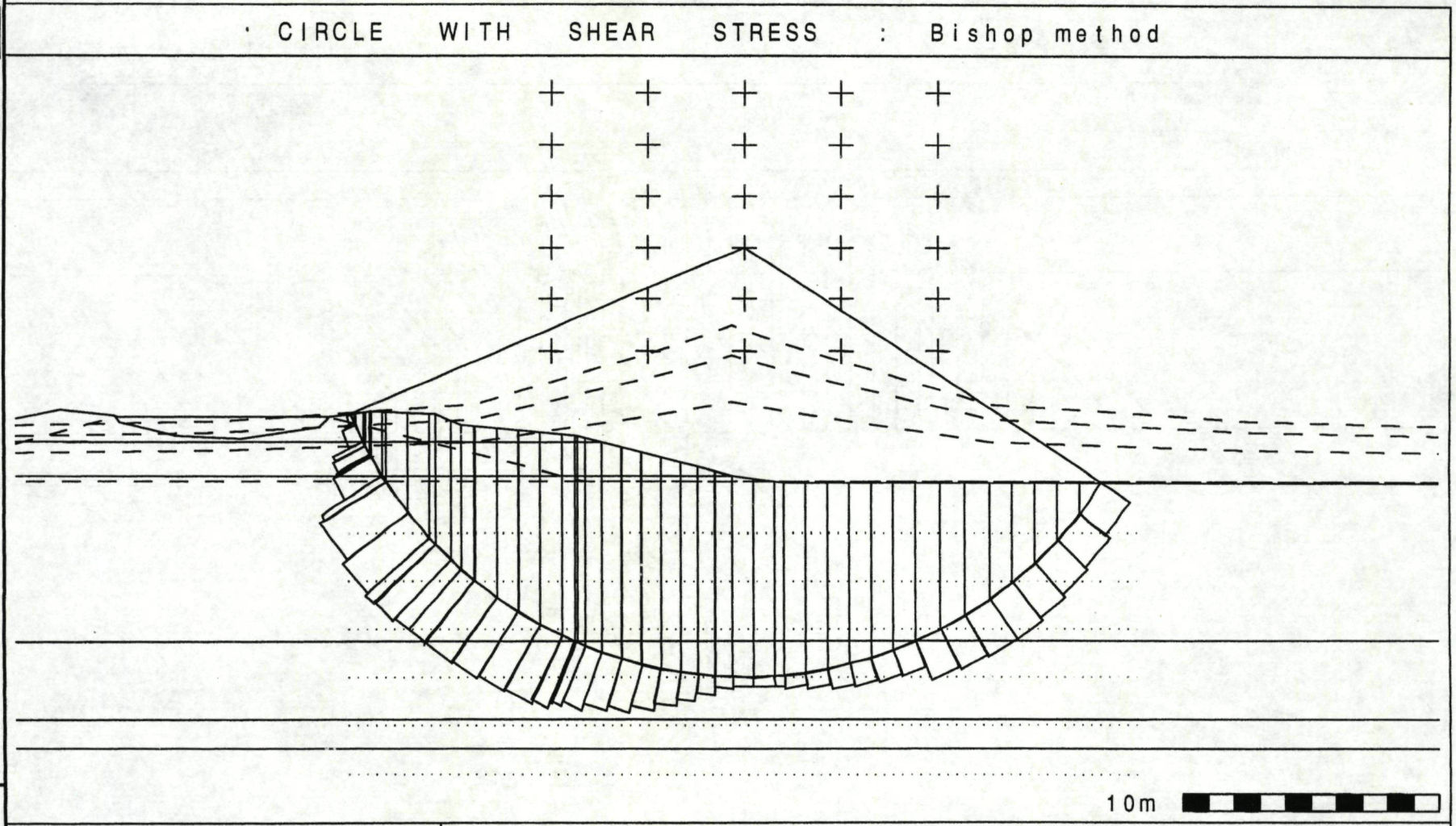
Kritieke glijcirkel

Lek 120 m^3/h; dekking 3 m

GRONDMECHANICA DELFT

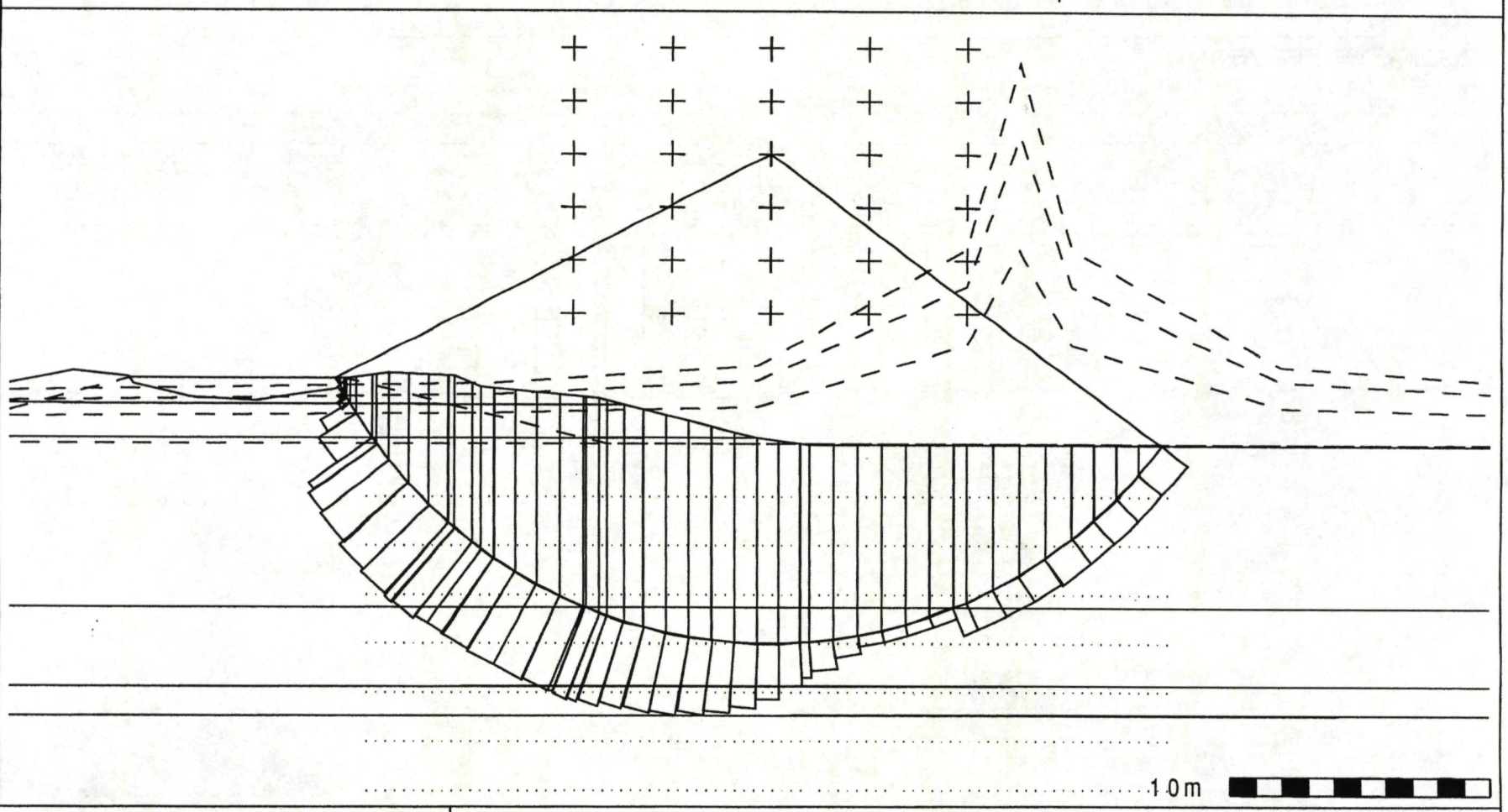
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl



DELFT GEOTECHNICS	CO-327170; geen tussenzandlaag			
Lic:INTERN Cop:N1	Sluipend lek 3,0 m diep 120 [m^3/h]			
MSTAB [4.0]	Xm = 67.50 m	Radius = 16.57 m	Smax = 8.66 kN/m2	
File : STB10_1A	Ym = 4.00 m	Fmin = 1.901	Smin = 0.48 kN/m2	

BIJL. 2b	CO-327170	datum 09-08-93	
form. A/4	gez.	gst. Boey	



Lekkage Bergambacht leiding; Winddaassloot
Kritieke glijcirkel
Lek 120 m^3/h; dekking 1 m

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

BIJL. 2c	CO-327170	09-08-93
A4 form.	gez.	get. Boey

datum

DELFT GEOTECHNICS
Lic:INTERN Cop:N1

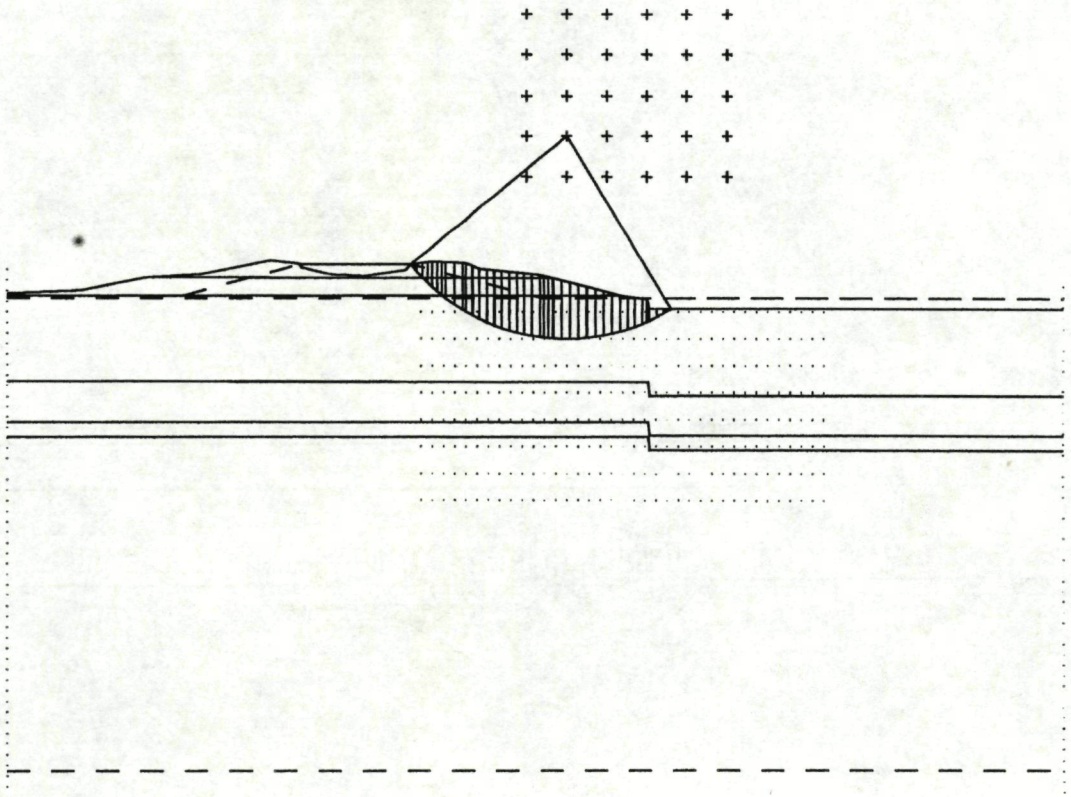
CO-327170; geen tussenzandlaag; 10 m
Sluipend lek 1,0 m diep 120 [m^3/h]

MSTAB [4.0]	Xm = 67.50 m	Radius = 18.57 m	Smax = 8.62 kN/m2
File : STB10_3A	Ym = 6.00 m	Fmin = 2.129	Smin = 0.00 kN/m2

Lekkage Bergambacht leiding; Windaassloot
Kritieke glijcirkel
Gapend lek; Erosie

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

C R.I T I C A L S L I P C I R C L E : Bishop method



20m

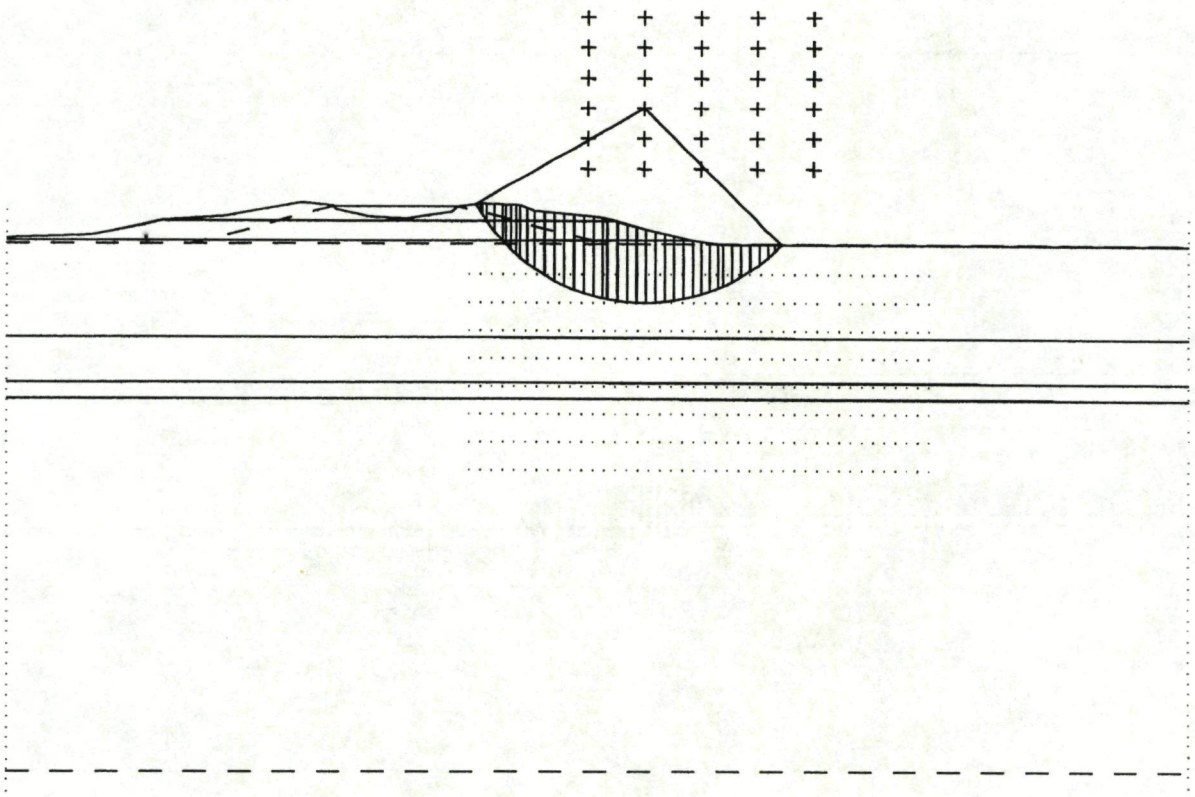
DELFT GEOTECHNICS	CO-327170		
Lic:INTERN Cop:N1	Krater; willekeurig glijvlak		
MSTAB [4.0]	Xm = 63.00 m	Radius = 15.00 m	
File : KRATER3	Ym = 7.00 m	Fmin = 2.526	

BIJL. 2d	CO-327170	datum 09-08-93	
form. A/4	gez.	get. Boey	

Lekkage Bergambacht leiding; Winddaassloot
Kritieke glijcirkel
Geen lek; kade van veen

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

C R I T I C A L S L I P C I R C L E : Bishop method



20m

DELFT GEOTECHNICS	CO-327170 veen bij winddaassloot		
Lic:INTERN Cop:N1	Geen lek		
MSTAB [4.0]	Xm = 63.75 m	Radius = 12.86 m	
File : STB2	Ym = 4.00 m	Fmin = 3.219	

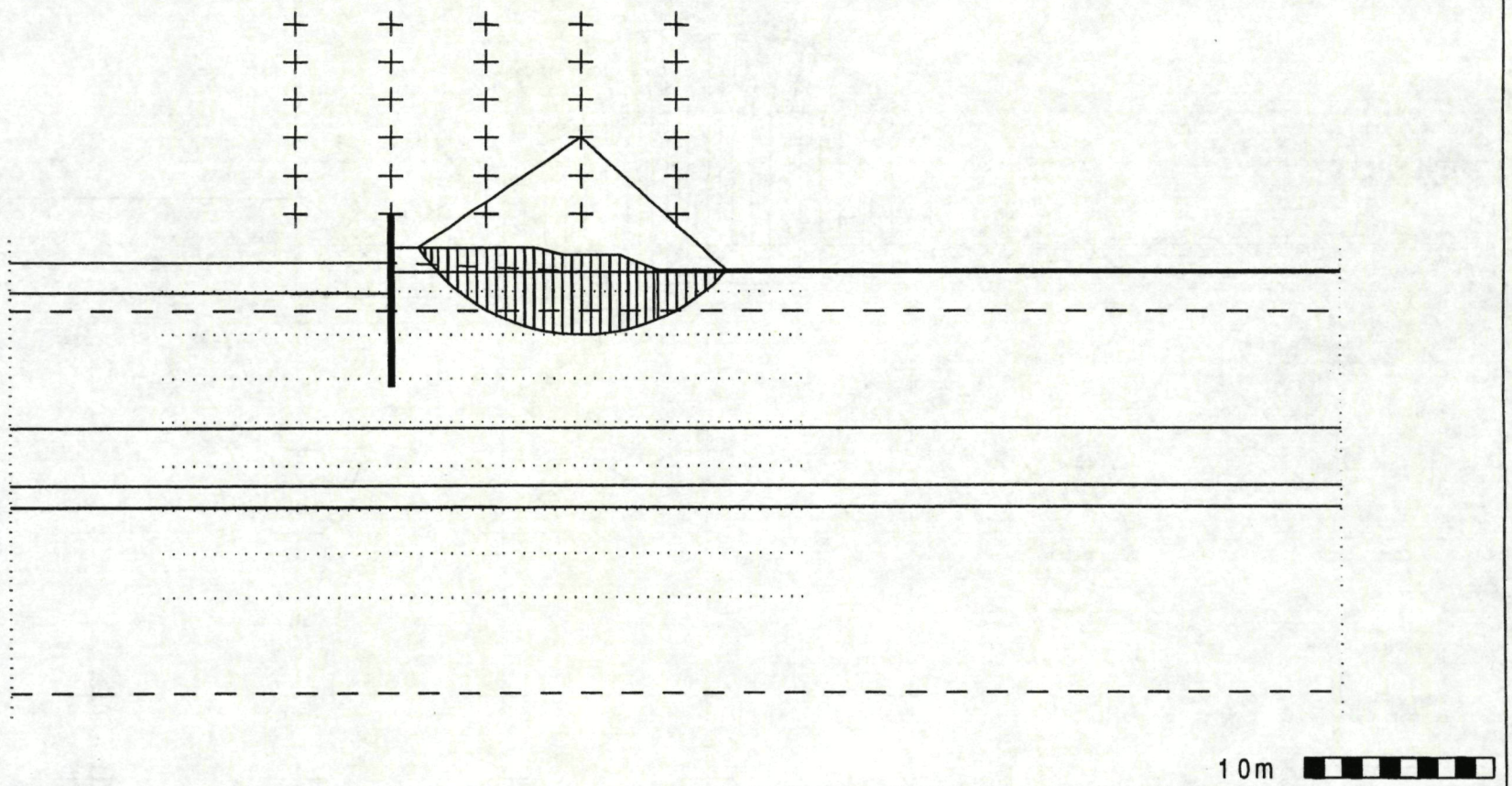
BIJL. 2e	CO-327170	10-08-93	datum
form. A/4	gez.	Boey	get.

Lekkage Bergambacht leiding; Noordeindseweg
Kritieke glijcirkel
Geen lek

GROND MECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

BIJL. 3a | CO-327170 | datum 09-08-93 | gel. Boey | gez. | form. A/4

C R I T I C A L S L I P C I R C L E : Bishop method



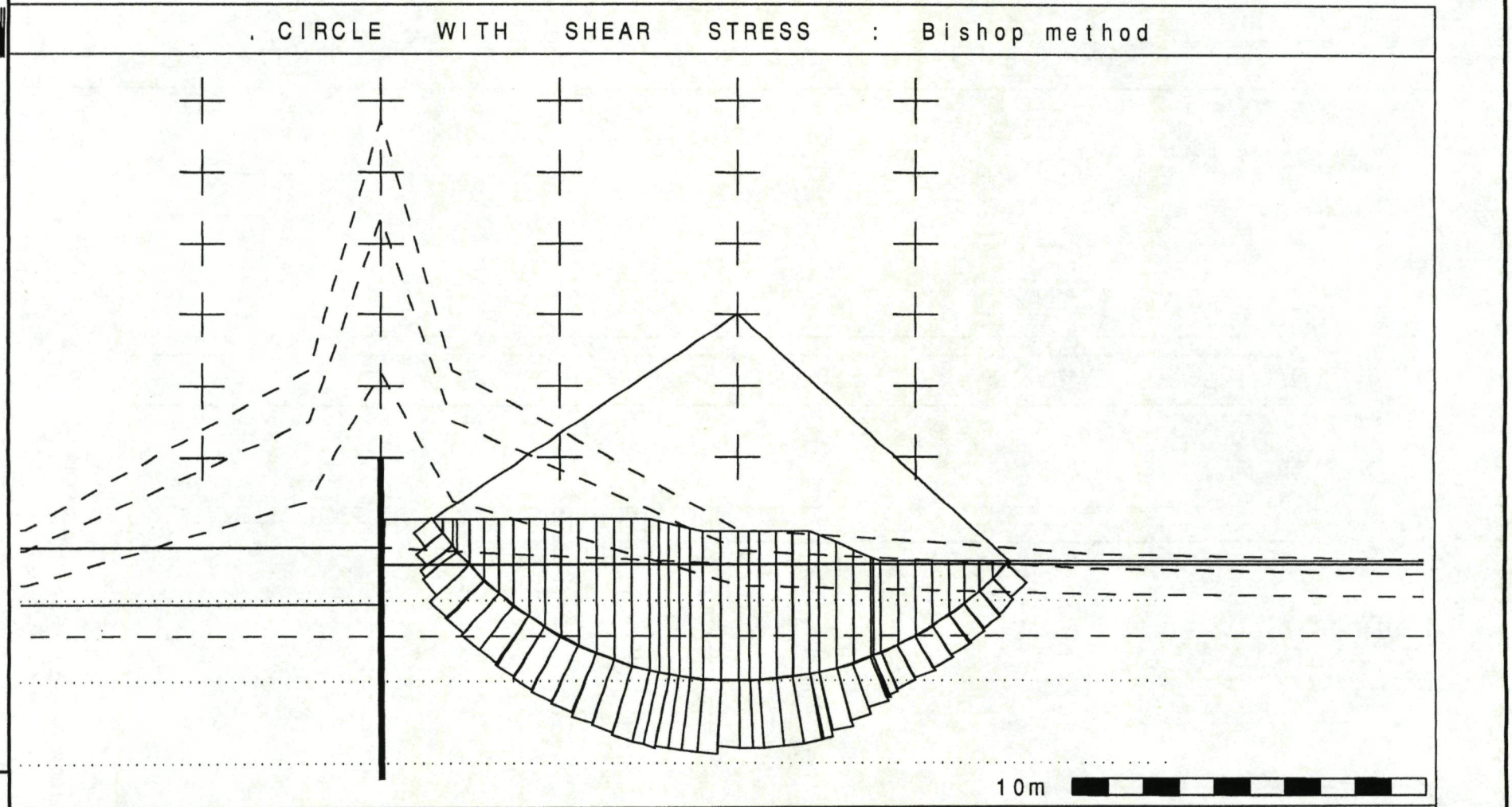
DELFT GEOTECHNICS
Lic:INTERN Cop:N1

CO-327170 Noordeindseweg
Geen lek

MSTAB [4.0]
File : NEWEG10

Xm = 30.00 m
Ym = 4.00 m

Radius = 10.29 m
Fmin = 3.382



GRONDMECHANICA DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

Lekkage Bergambacht leiding; Noordeindseweg
Kritieke glijcirkel
Lek 120 m^3/h; dekking 1 m

BIJL. 3b	CO-327170	09-08-93	datum
A/4 form.	gez.	Boey	get.

DELFT GEOTECHNICS
Lic:INTERN Cop:N1

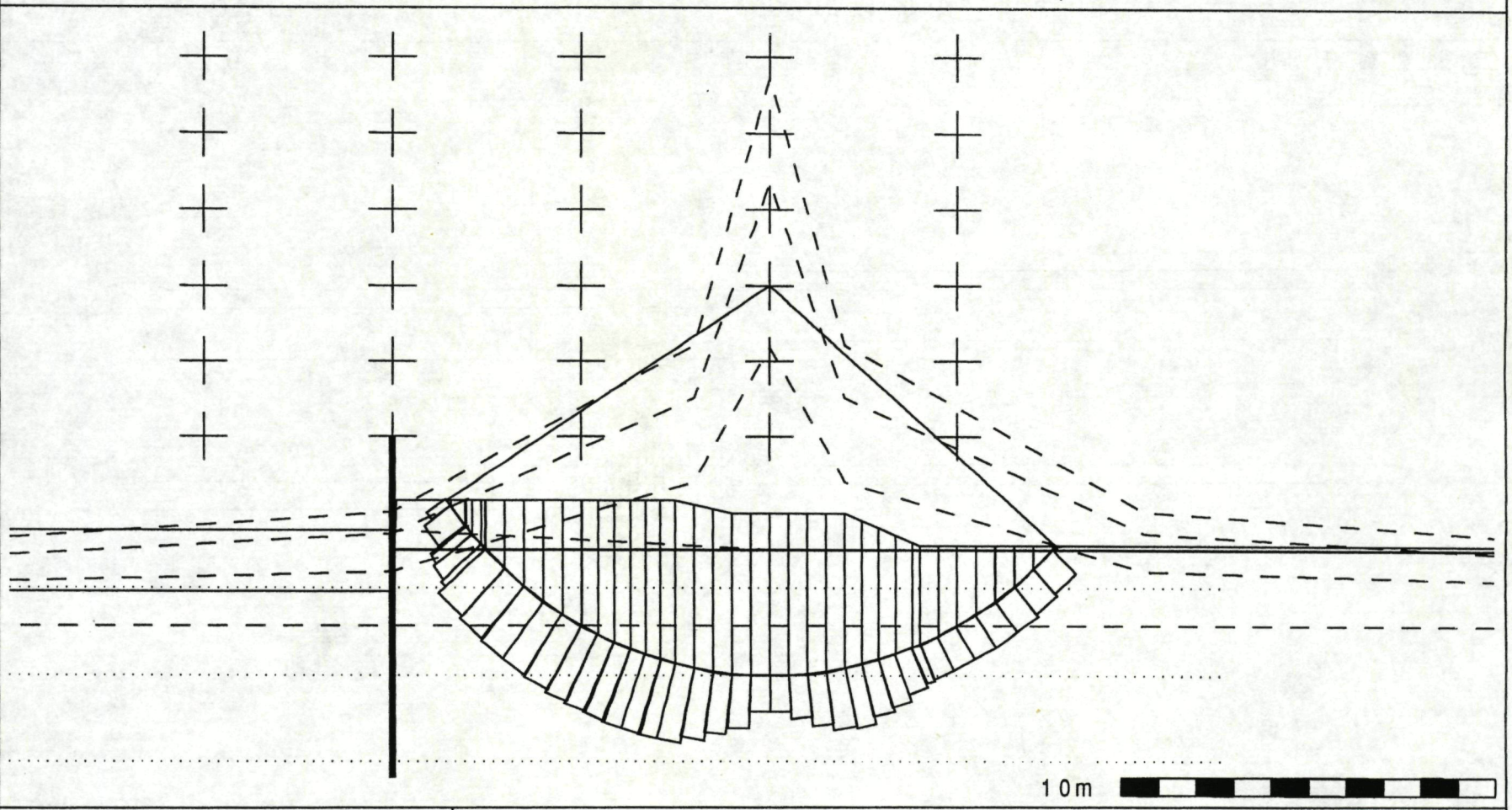
CO-327170 Noordeindseweg lek onder d.w.
Sluipend lek 1,0 m diep 120 [m^3/h]

MSTAB [4.0]	Xm = 30.00 m	Radius = 10.29 m	Smax = 6.26 kN/m2
File : NEWEG10	Ym = 4.00 m	Fmin = 2.982	Smin = 0.16 kN/m2

Lekkage Bergambacht leiding; Noordeindseweg
Kritieke glijcirkel
Lek 120 m^3/h; dekking 1 m

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

CIRCLE WITH SHEAR STRESS : Bishop method



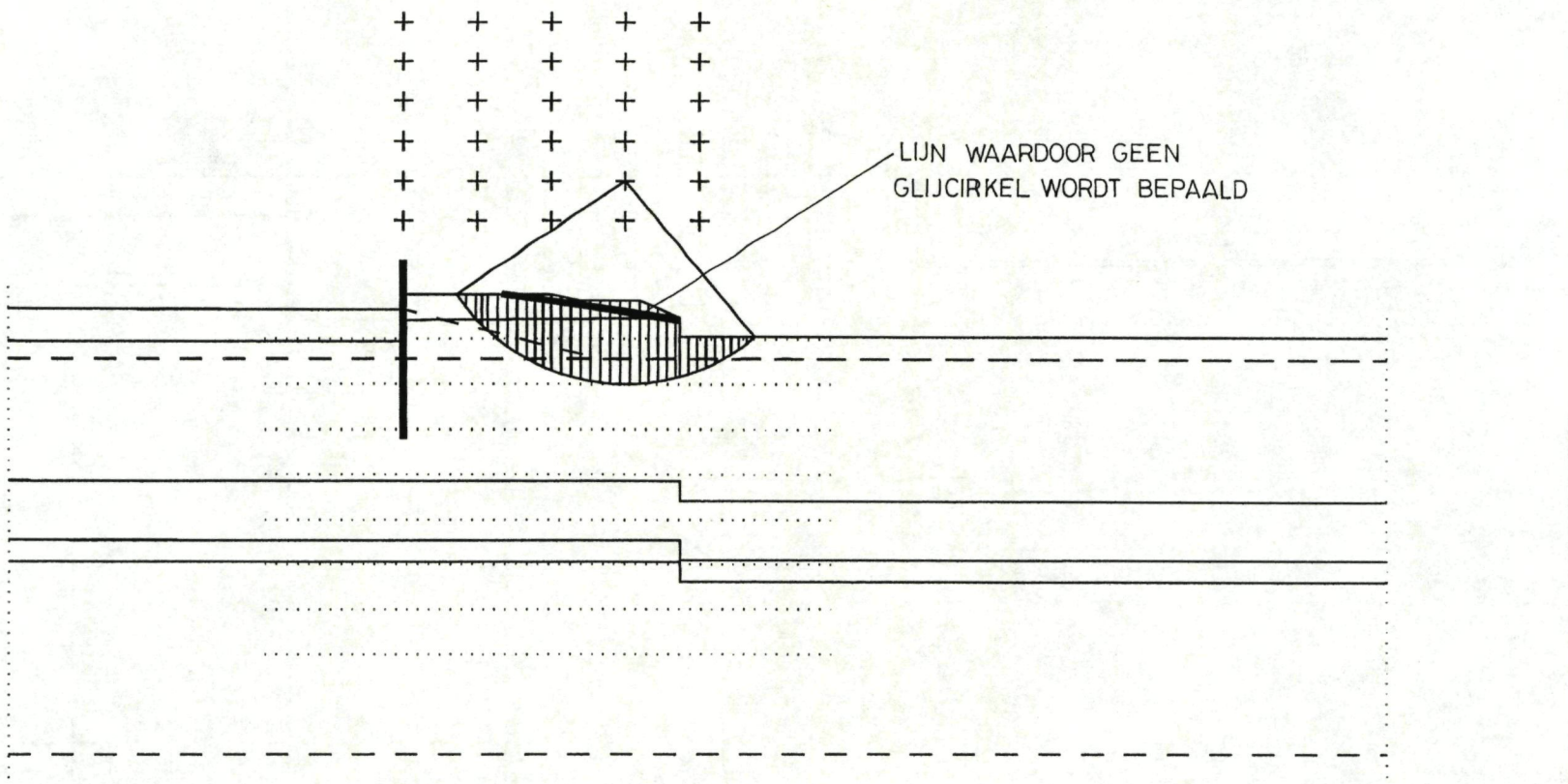
DELFT GEOTECHNICS	CO-327170 Noordeindseweg lek			
Lic:INTERN Cop:N1	Sluipend lek 1,0 m diep 120 [m^3/h]			
MSTAB [4.0]	Xm = 30.00 m	Radius = 10.29 m	Smax = 6.60 kN/m2	
File : NEWG10_2	Ym = 4.00 m	Fmin = 2.487	Smin = 0.23 kN/m2	

BIJL. 3c	CO-327170	datum 09-08-93
form. A/4	gez.	get. Boey

Lekkage Bergambacht leiding; Noordeindseweg
Kritieke glijcirkel
Gapend lek

GROND MECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

C R·I T I C A L S L I P C I R C L E : Bishop method



DELFT GEOTECHNICS	CO-327170 Noordeindseweg		
Lic:INTERN Cop:N1	Gapend lek		
MSTAB [4.0]	Xm = 31.25 m	Radius = 10.29 m	
File : NEWG10_3	Ym = 4.00 m	Fmin = 2.800	

BIJL. 3d | CO-327170 | datum 09-08-93
A4 form. | gez. | get. Boey

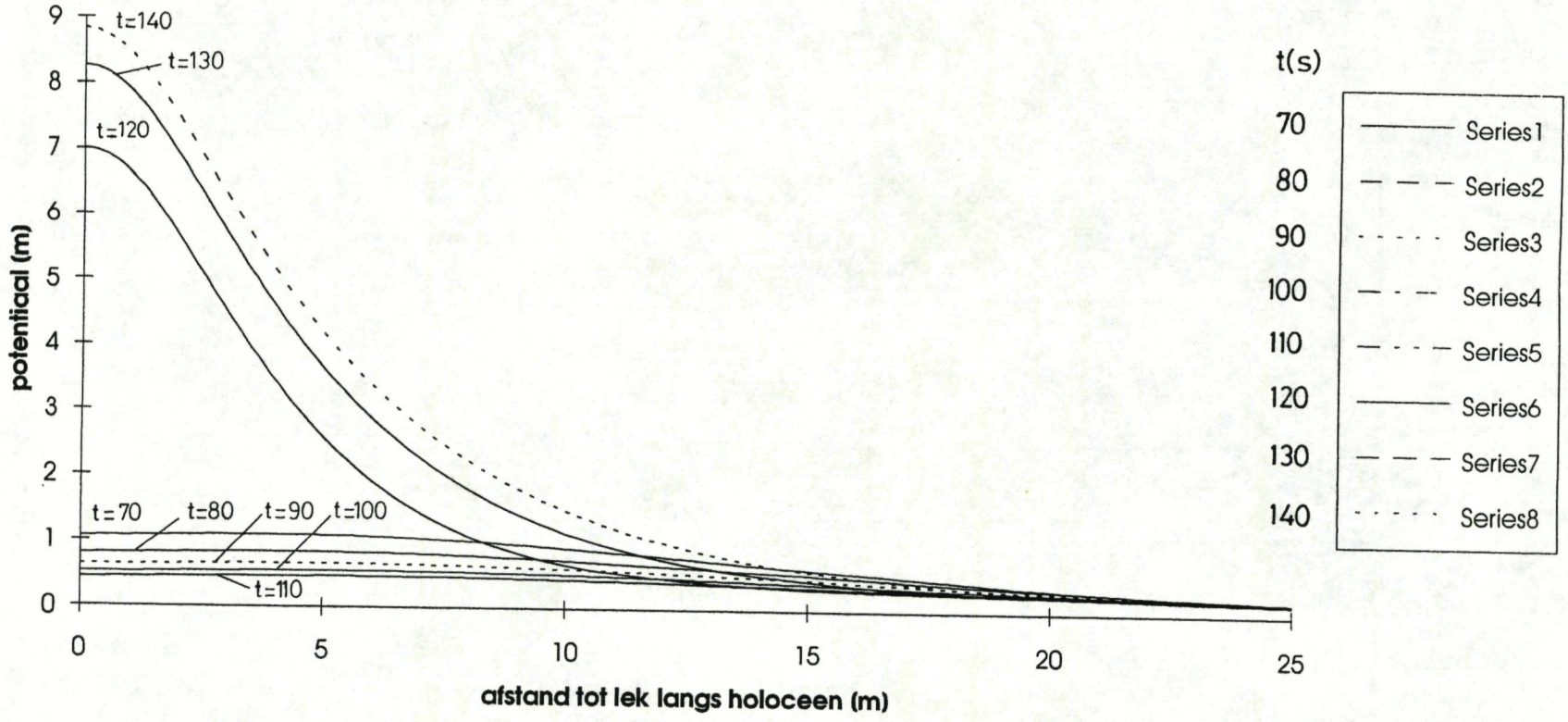
GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

	datum 15-07-93	get. Boey
Lekkage Bergambachtleiding Gapend lek lekdetectie na 4s; t<60s	CO-327170	gez.
	BIJL. 4a	form. A/4

Lekkage Bergambachtleiding
Gapend lek lekdetectie na 4s; 60s<t<140s

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

BIJL. 4b	CO-327170	15-07-93	Boey
A4 form	gez.	datum	get.



GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

Lekkage Bergambachtleiding
Gapend lek lekdetectie na 31s; t<60s

Waterslag t<60;

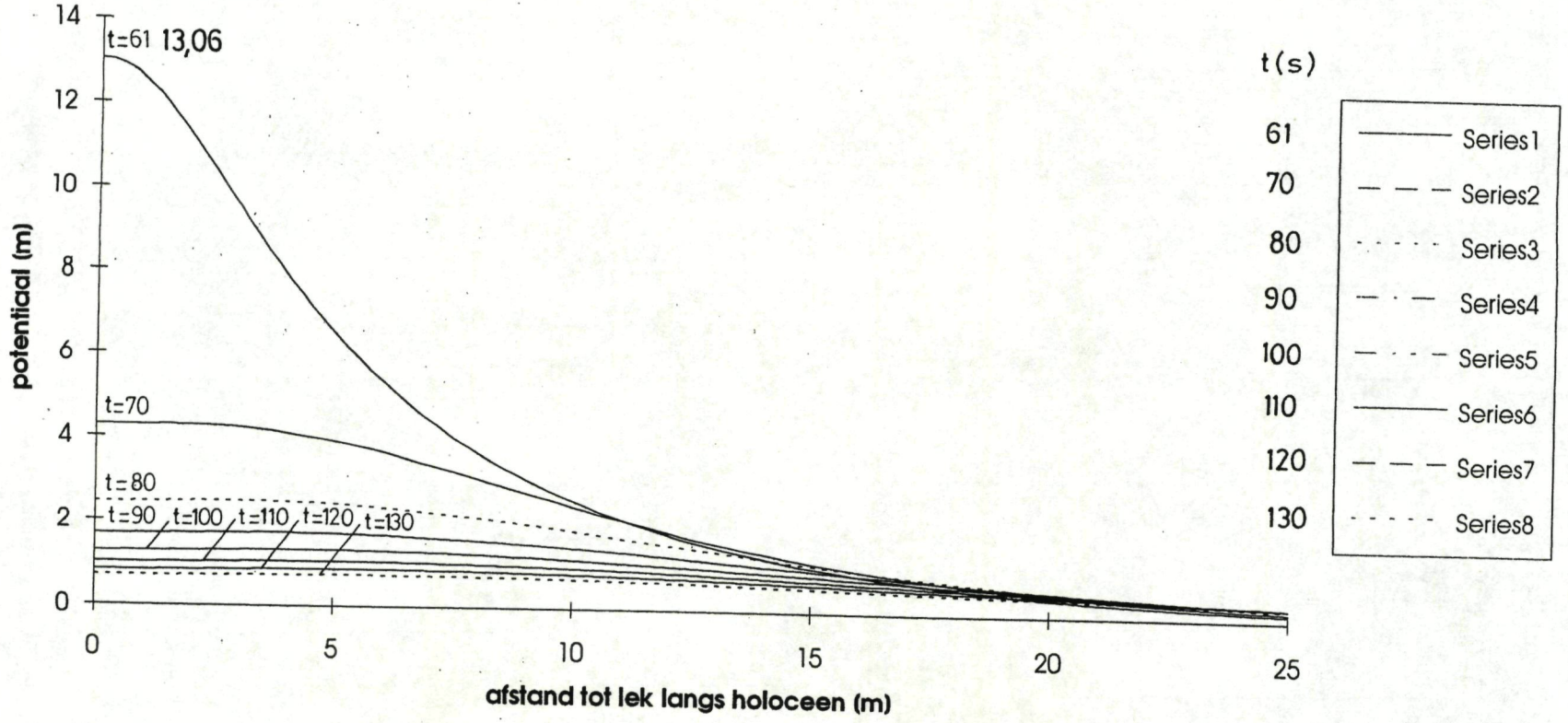
BIJL. 5a	CO-327170	15-07-93	get. Boey
form A/4			gez.

Lekkage Bergambachtleiding
Gapend lek lekdetectie na 31s; 60s<t<130s

GROND MECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum	get.
15-07-93	Boey

BIJL. 5b	CO-327170
form. A/4	gez.

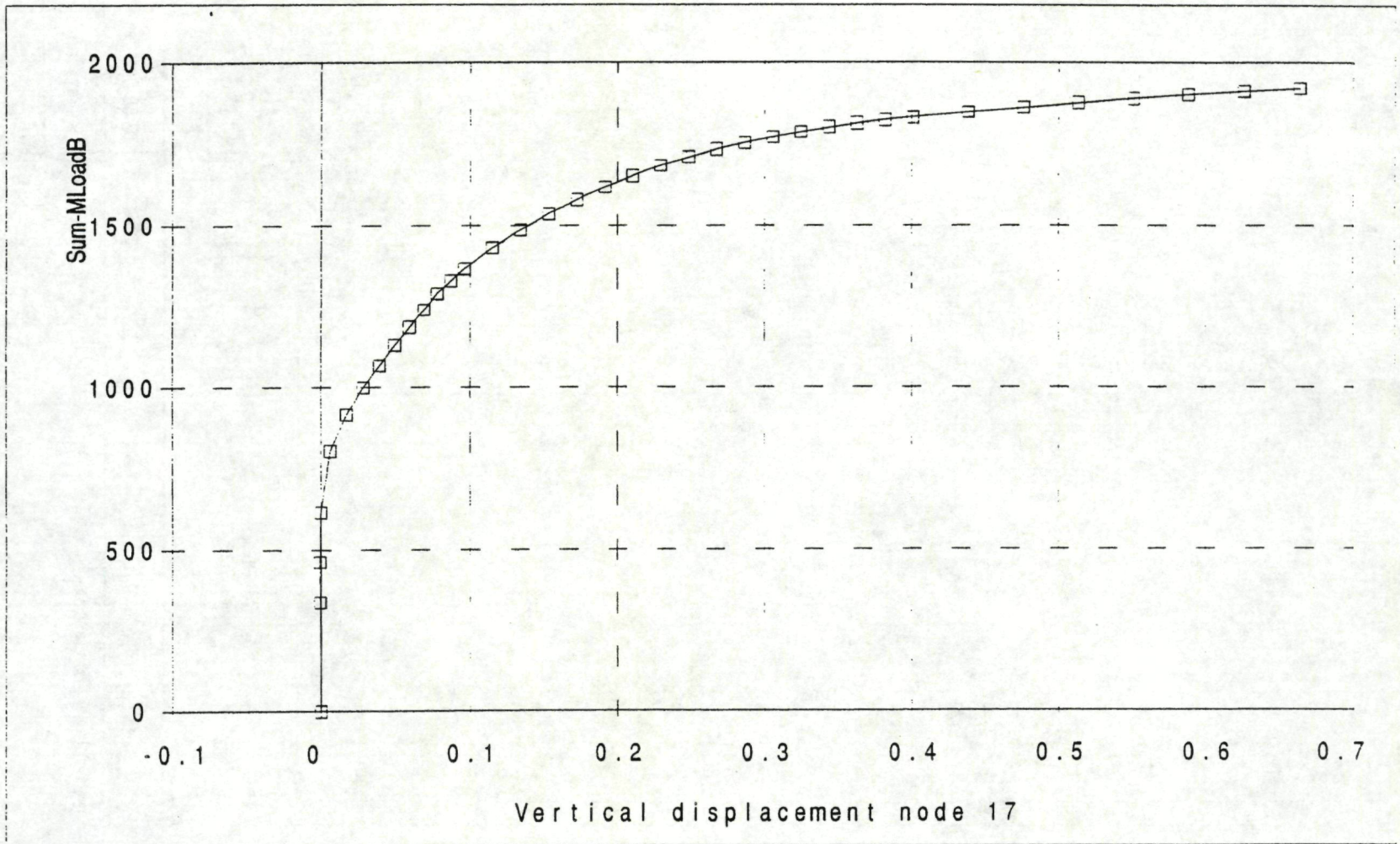


Lekkage Bergambacht leiding
Last verplaatsingsdiagram PLAXIS
knoop op symmetrie-as, druk op bol met R=1 m

GROUNDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

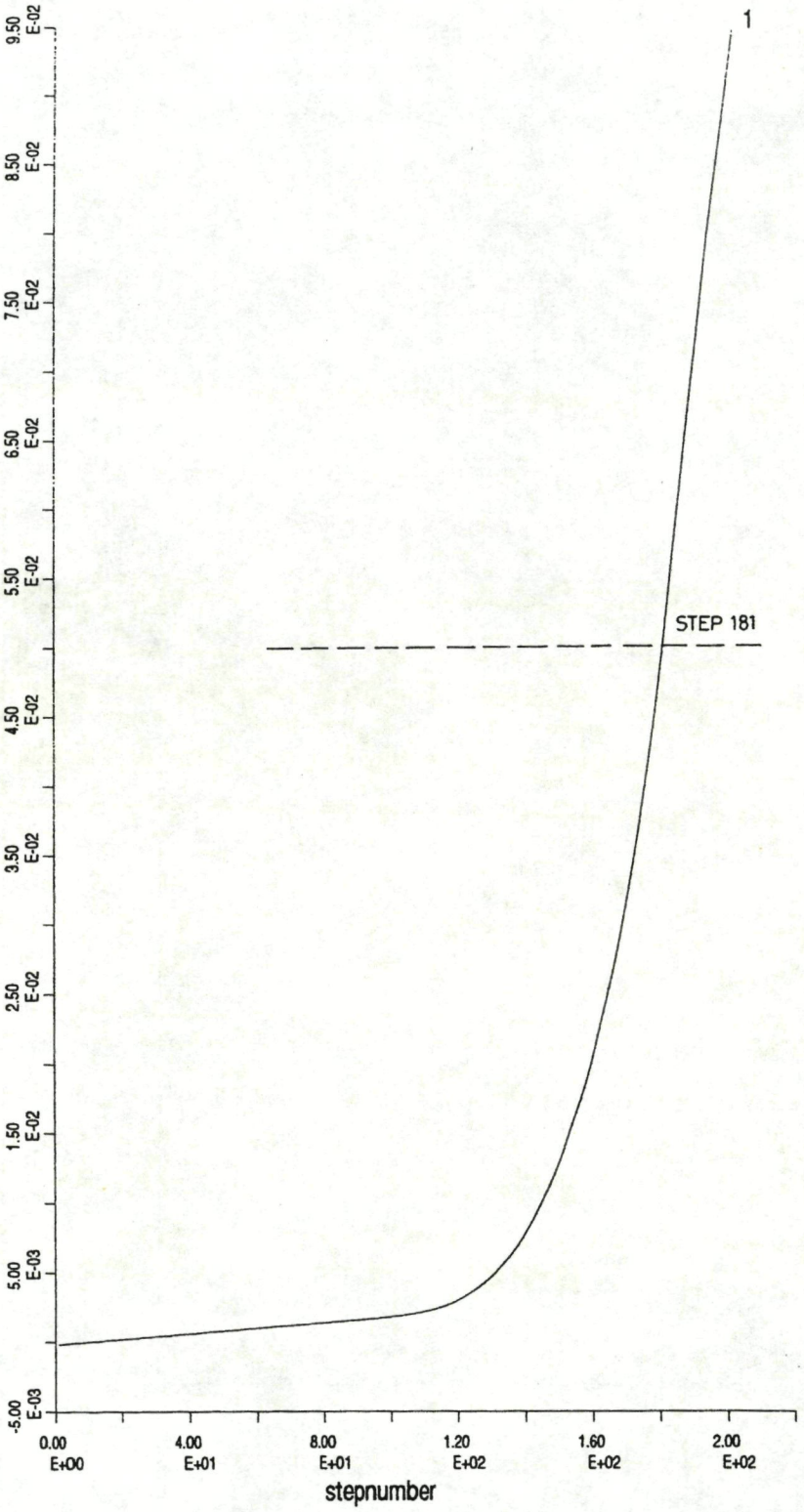
datum	get.
02-07-93	Boey

CO-327170	gez.
BIJL. 6	form. A4



PLAXIS gapend lek; dekking 2m: bolvorm

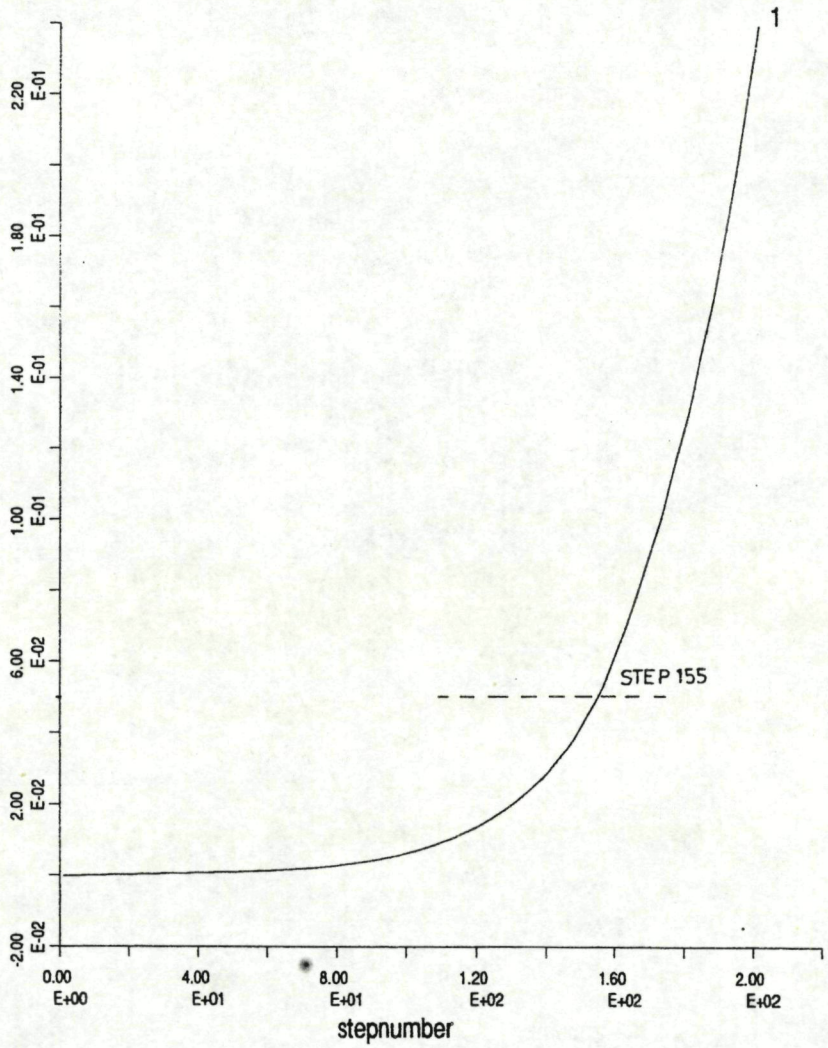
Version 4.10 PIJPAXI 25-6-93 Grondmechanica Delft



N 17 2;

DELFT GEOTECHNICS	P.O.BOX 69, 2600 AB DELFT TELEPHONE (015) 69 35 00	TELEFAX (015) 61 08 21 TELEX 38234 SOIL NL	93-08-06	
Sluipend lek 120 [m^3/h] Bergambacht dekking 3 m verw.w. history plot			CO-327170	boe
			ANNEX 1	

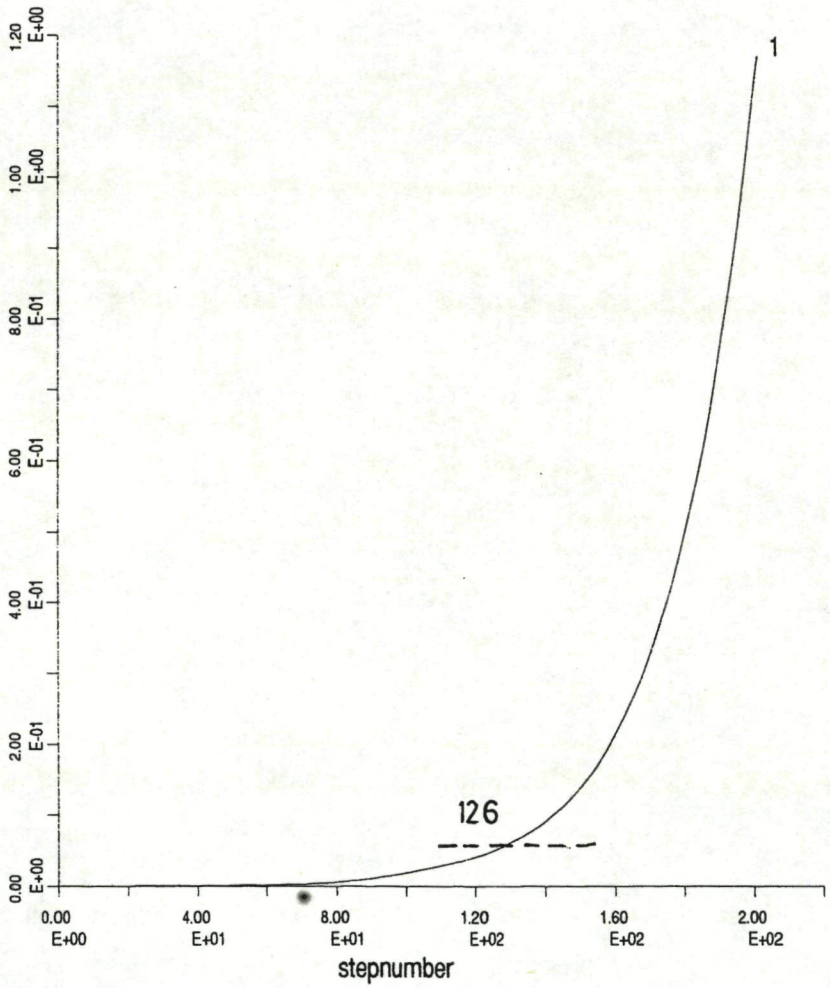
GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	datum 09-08-93	get. Boey
Lekkage Bergambachtleiding Last verplaatsingsdiagram PLUTO; knoop op symmetrie-as Sluipend lek Q = 120 m^3/h; a=3 m			CO-327170 BIJL. 7a	gez. form. A 4



N 17 2;

DELFT GEOTECHNICS	P.O.BOX 69, 2600 AB DELFT TELEPHONE (015) 69 35 00	TELEFAX (015) 61 08 21 TELEX 38234 SOIL NL	93-08-06	
Sluipend lek 120 [m^3/h] Bergambacht dekking 1 m verw.w.			CO-327170	boe
history plot			ANNEX 1	

GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	datum 09-08-93	get Boey
Lekkage Bergambachtleiding Last verplaatsingsdiagram PLUTO; knoop op symmetrie-as			CO-327170	gez.
Sluipend lek Q = 120 m^3/h; a=1 m			BIJL. 7b	form. A 4



N 17 2;

DELFT GEOTECHNICS	P.O BOX 69, 2600 AB DELFT TELEPHONE (015) 69 35 00	TELEFAX (015) 61 08 21 TELEX 38234 SOIL NL	93-07-14	
Gapend lek Bergambacht dekking 3 m verw.w.			CO-327170	boe
history plot			ANNEX 1	

GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	datum 15-07-93	get. Boey
Lekkage Bergambacht leiding Last verplaatsingsdiagram PLUTO; knoop op symmetrie-as			CO-327170	gez.
gapend lek lekdetectie 4s			BIJL. 8	form. A 4

Sluipend Lek in DZH-Leiding

invloed op waterkeringen

Dr. Ir. J.B. Sellmeijer

CO-327130/2

juli, 1993

INHOUD

Symbolenlijst IV

1 Inleiding 1

2 Stijghoogten in Pleistoceen t.g.v. Sluipend Lek 2

3 Samenvatting en Conclusies 9

Referenties 12

Symbolenlijst

a	[m]	:	afstand sluipend lek onder bovenkant pleistoceen;
k	[m/s]	:	doorlatendheidscoëfficiënt;
m	[-]	:	aantal lagen, waarin spiegelputten worden geïntegreerd;
r	[m]	:	radiale richting;
z	[m]	:	verticale richting;
D	[m]	:	dikte pleistoceen;
N	[-]	:	aantal lagen, waarin spiegelputten worden gesommeerd;
Q	[m^3/s]	:	grootte van de lek;
R	[m]	:	invloedsgebied van de lek;
φ	[m]	:	stijghoogtetoename in pleistoceen.

1 Inleiding

In het tracé van de rivierwatertransportleiding tussen Bergambacht en Wassenaar, bevindt zich een aantal kruisingen met waterkeringen. Van deze waterkeringen zijn vooral de boezemkaden van een relatief geringe omvang, terwijl deze kaden permanent een waterkerende functie hebben. Teneinde de invloed van de aanleg en de aanwezigheid van de waterleiding met een inwendige diameter van 1600 mm tot een minimum te beperken, wordt overwogen de leiding binnen de veiligheidszone van de waterkering door middel van een boormethode in het pleistocene zand aan te leggen.

In opdracht van het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland is door Grondmechanica Delft een onderzoek verricht naar de invloed van een lek in de waterleiding op de stabiliteit van een boezemkade. Bij dit onderzoek is uitgegaan van de situatie zoals wordt aangetroffen ter plaatse van de kruising met de Ringvaart van de Zuidplaspolder. Dit boezemwater is gelegen op korte afstand ten noordwesten van de Hollandsche IJssel.

Het karakter van een lek kan tweeledig zijn. Enerzijds moet rekening gehouden worden met een brute breuk van de leiding. Dit wordt door het grote debiet dat weglekt onmiddellijk gedetecteerd en maatregelen worden terstond genomen. Zo'n lek wordt aangeduid met 'gapend lek'. Voor dit probleem moet een tijdsafhankelijke oplossing gezocht worden. Een goede practische benadering hiervoor is zeker uitvoerbaar en levert ondanks de gecompliceerdheid van het probleem een zeer goed en makkelijk te hanteren criterium.

Anderzijds is het mogelijk dat er een klein lek ontstaat, dat niet gedetecteerd wordt. daarom wordt zo'n lek wel 'sluipend lek' genoemd. In dit rapport komt dit probleem aan de orde. De hierna beschreven onderzoeksresultaten hebben betrekking op een lek met een debiet beneden de detectiegrens van 70 m^3/uur.

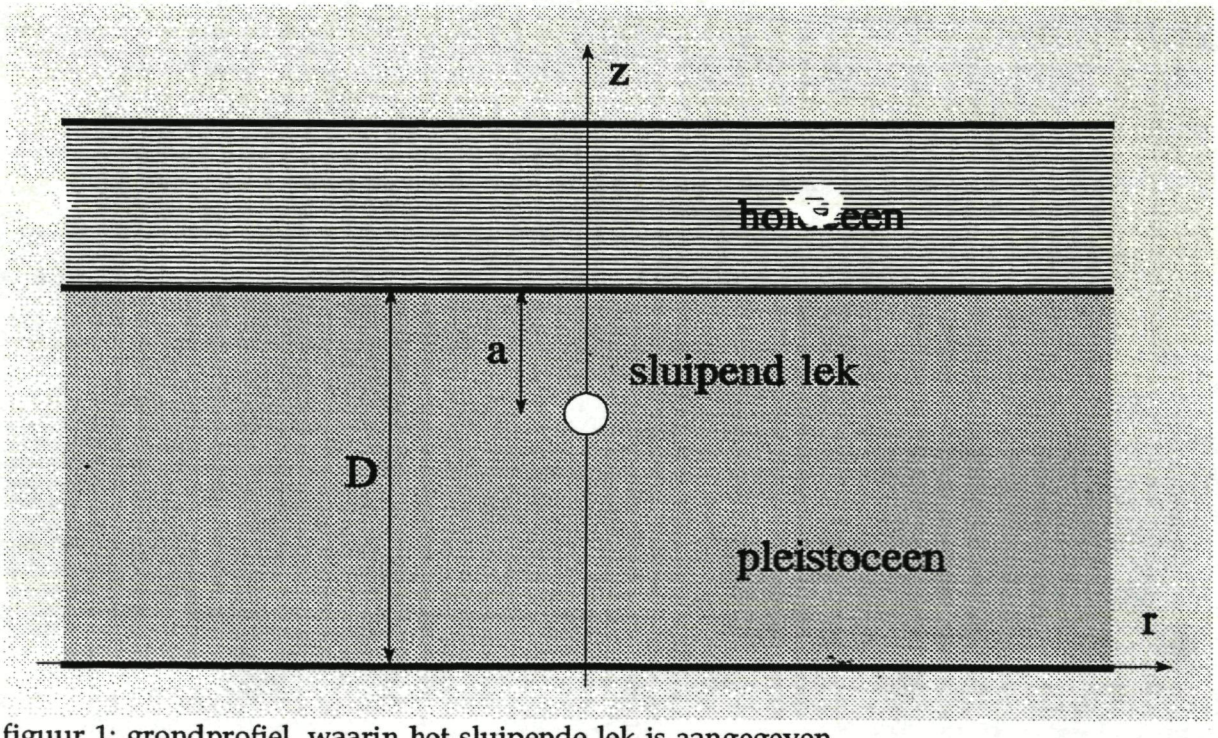
2 Stijghoogten in Pleistoceen t.g.v. Sluipend Lek

Zoals in de inleiding is aangestipt wordt er een buis van grote diameter gelegd in een pleistocene zandlaag onder de Hollandse IJssel. Deze laag is aan de onderzijde afgesloten door een slecht doorlatende kleilaag. Aan de bovenzijde ligt klei- en veenachtig holoceen. De vraag is opgeworpen hoe sterk een sluipend lek in de buis de stijghoogten in het pleistoceen en holoceen kan verhogen. Dit weer heeft invloed op de stabiliteit van de waterkeringen en deze mag niet in gevaar gebracht worden.

Het bepalen van de wateroverdrukken ten gevolge van een lek is niet eenvoudig. Er moet een cilinder-symmetrische oplossing bepaald worden, die voldoet aan de vergelijking voor stationaire stroming,

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\,r\frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \qquad (2.1)$$

De geometrische randvoorwaarden zijn geschetst in figuur 1. Het lek wordt geschematiseerd tot een klein bolletje. Het pleistoceen heeft een constante dikte en is naar alle kanten oneindig

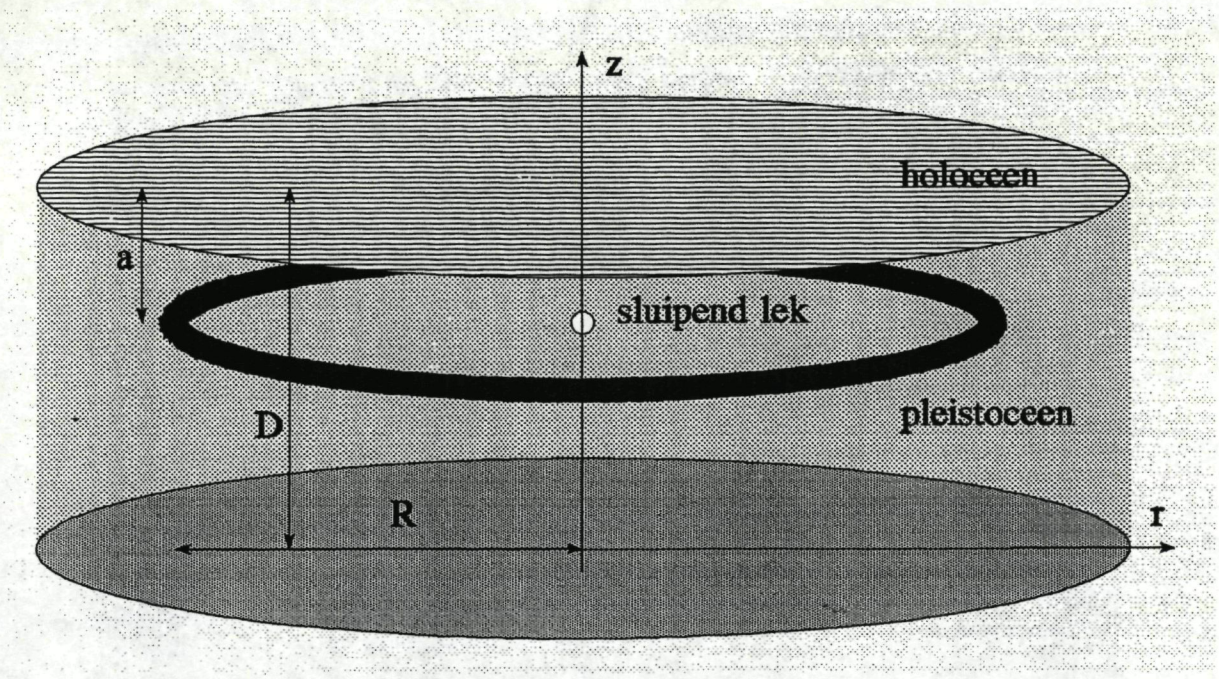


figuur 1: grondprofiel, waarin het sluipende lek is aangegeven

uitgestrekt. Naar de boven- en onderrand lekt water weg, afhankelijk van de potentiaalverhoging in het pleistoceen. Dit water wordt geleverd door het lek in de buis. Deze buis beïnvloedt natuurlijk de stroming door zijn fysieke aanwezigheid. Het effect is echter zeer plaatselijk en wordt eenvoudshalve niet in beschouwing genomen.

Het is mogelijk een oplossing voor vergelijking (2.1) te forceren voor de geschetste randvoorwaarden. Echter, hier is een onevenredig grote inspanning voor vereist. Het is beter om een algemeen geaccepteerde benadering toe te passen, waarmee een vergelijkbare, maar veel eenvoudiger oplossing wordt verkregen. Deze betreft het concentreren van de lek naar boven en beneden in een ring op een bepaalde afstand uit het middelpunt van de stroming. Hieraan ligt de overweging ten grondslag dat de lek op enige afstand uitdooft, zodat ook de wateroverspanningen sterk afvlakken. De keuze van genoemde afstand wordt bepaald door daar ter plaatse de wateroverspanningen te laten verdwijnen.

In figuur 2 is een ruimtelijke voorstelling gegeven van dit idee. De ring vangt een even groot debiet af als het lek levert. Door aldus te werk te gaan hoeft er geen nieuwe oplossing bedacht te worden, maar kan een bestaande oplossing worden samengesteld: die voor een puntbron. Het lek zelf is één enkele puntbron, de ring een integratie ervan langs zijn rand. Door de combinatie van deze twee delen te sommeren in verticale richting kunnen de randen



figuur 2: schematisatie van de lek naar een ring ver weg

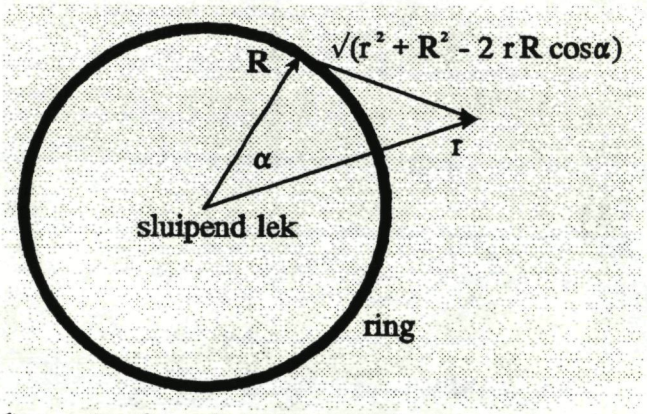
ondoorlatend gemaakt worden. Dit is nodig, omdat anders een veel te snelle stroming naar boven en onder ontstaat, die volstrekt onrealistisch zou zijn. Als de randen ondoorlatend zijn kan er veel beter gestuurd worden met de afstand R.

De formule voor een puntbron is algemeen bekend en luidt,

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi k} \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}} \qquad (2.2)$$

De potentiaal φ voldoet aan vergelijking (2.1). Q is het debiet; k de doorlatendheids-coëfficiënt; r en z de radiale en verticale richting. Deze oplossing wordt op de plaats van het lek aangebracht. Dan is voldaan aan de randvoorwaarde bij het lek. Echter aan alle andere randvoorwaarden is bij lange na nog niet voldaan. De volgende stap is dan ook het componeren van een stroming naar een ring met een totaal debiet, dat gelijk is een dat van het lek. Dit gaat door (2.2) te integreren langs de ring.

In figuur 3 is dit principe geïllustreerd. Er wordt een vaste vector r gekozen. De afstand van een willekeurig punt tot de ring wordt bepaald met de 'cosinus'-regel. Deze afstand wordt als radiale ordinaat ingevuld in (2.2) en vervolgens wordt het resultaat met een debiet $(Q/2\pi)\,d\alpha$ langs de hele ring geïntegreerd. Aldus wordt een cirkelsymmetrische oplossing gevonden met een totaal debiet Q over de hele ring. De oriëntatie van de gekozen vector r speelt geen rol.



figuur 3: afstand van een veldpunt tot ring

De bijdrage aan de potentiaal van de ring zal worden aangegeven met een subscript $_r$. In formulevorm luidt deze,

$$\varphi_r = \frac{-Q}{4\pi k} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{\sqrt{r^2 + R^2 - 2rR\cos\alpha + z^2}} \qquad (2.3)$$

Een min-teken is toegevoegd, omdat het water er uitgetrokken wordt. Interessant is vast te stellen dat deze oplossing weer de vorm van een puntbron aanneemt voor $r = 0$.

De volgende stap is het toevoegen van de puntbron voor het lek zelf en het resultaat in een regelmatig patroon te sommeren in verticale richting om te zorgen voor ondoorlatende boven- en onderranden. Het mooiste is de lekterm en de ringterm apart te behandelen. Voor de eerste wordt de discrete sommatie toegepast; voor de laatste mag echter ook een uniforme verdeling in de verticaal aangebracht worden, waardoor de afhankelijkheid van de z-richting verdwijnt en er automatisch geen verticale bijdrage aan het debiet is.

Er blijkt zich dan echter de moeilijkheid voor te doen dat de bijdragen apart dreigen te ontploffen. Immers, oneindig veel positieve brontermen leveren uiteindelijk ook een oneindige stijghoogte. Maar er is een truc om hieraan te ontkomen. We sommeren eerst N maal, waardoor alles nog net eindig blijft, tellen daarna de aparte oplossingen op en laten vervolgens de waarde van N oneindig groot worden.

Daartoe maken we van de ring een bus. Het debiet wordt gemiddeld over de hoogte van het pleistoceen en uitgeïntegreerd in de z-richting. En wel over N lagen naar boven en beneden. Aldus wordt vergelijking (2.3) omgewerkt tot,

$$\varphi_r = \frac{-Q}{4\pi kD}\,\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} d\alpha \int_{-ND}^{ND} \frac{d\zeta}{\sqrt{r^2 + R^2 - 2rR\cos\alpha + (z-\zeta)^2}} \qquad (2.4)$$

De integraal in verticale richting is een bekende, zie Abramowitz & Stegun (1968), 4.6.37. Er volgt,

$$\varphi_r = \frac{-Q}{4\pi kD}\,\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \operatorname{arcsinh}\left(\frac{\zeta - z}{\sqrt{r^2 + R^2 - 2rR\cos\alpha}}\right)\Bigg|_{-ND}^{ND} d\alpha \qquad (2.5)$$

Nu nemen we vast een voorschot op het feit dat straks de waarde van N oneindig groot genomen gaat worden. De z-ordinaat, die tussen 0 en D ligt, speelt dan geen enkele rol meer en de arcsinh gedraagt zich als een logaritme, zie Abramowitz & Stegun (1968), 4.6.20. We mogen dan ook schrijven,

$$\varphi_r = \frac{-Q}{4\pi kD}\,\frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} \ln\left(\frac{2ND}{\sqrt{r^2 + R^2 - 2rR\cos\alpha}}\right) d\alpha \qquad (2.6)$$

Merk op dat de onder- en bovengrens een gelijke bijdrage leveren. Nu blijkt plotseling het bijzondere karakter van de oplossing. De overblijvende integraal is oplosbaar met behulp van Gröbner & Hofreiter (1975), II 338 13b. Er moeten dan wel twee gebieden onderscheiden worden,

$$\varphi_r = \frac{-Q}{2\pi kD} \ln\left(\frac{2ND}{r}\right) \qquad r > R$$

$$= \frac{-Q}{2\pi kD} \ln\left(\frac{2ND}{R}\right) \qquad r < R \qquad (2.7)$$

Het blijkt dat binnen de bus de potentiaal constant is. In principe hadden we dat van te voren kunnen weten. Immers, tot nu toe wordt alleen de bus beschouwd. Deze is afgesloten en er is dus geen toevoer van binnen uit mogelijk. Het wekt toch altijd weer de grootste verbazing dat de wiskunde ons op dit soort bevindingen wijst en de juiste oplossing aanreikt.

We zijn nu klaar om het echte lek toe te voegen. Er worden twee systemen gehanteerd. Het werkelijke lek en zijn spiegelvorm. Beide systemen worden elke dubbele laagdikte herhaald. De bijdrage van de bus wordt bij het resultaat opgeteld,

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi k} \sum_{n=-\frac{1}{2}N}^{\frac{1}{2}N-1} \left[\frac{1}{\sqrt{r^2 + (z+2nD+D-a)^2}} + \frac{1}{\sqrt{r^2 + (z+2nD+D+a)^2}}\right] - \frac{Q}{2\pi kD} \ln\left(\frac{2ND}{R}\right) \qquad (2.8)$$

Eenvoudshalve wordt geëist dat N even is. Wederom gaan we er gebruik van maken dat N een grote waarde heeft. Een deel van de som (voor de grotere absolute waarden van n) kan dan door een integraal vervangen worden. De scheidslijn wordt gelegd bij een nog te kiezen waarde van m. Oplossing (2.8) wordt opgesplitst in,

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi k} \int_{m-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}N-\frac{1}{2}} \left[\frac{dn}{\sqrt{r^2 + (z+2nD+D-a)^2}} + \frac{dn}{\sqrt{r^2 + (z+2nD+D+a)^2}}\right] +$$

$$+ \frac{Q}{4\pi k} \sum_{n=-m}^{m-1} \left[\frac{1}{\sqrt{r^2 + (z+2nD+D-a)^2}} + \frac{1}{\sqrt{r^2 + (z+2nD+D+a)^2}}\right] + \qquad (2.9)$$

$$+ \frac{Q}{4\pi k} \int_{-\frac{1}{2}N-\frac{1}{2}}^{-m-\frac{1}{2}} \left[\frac{dn}{\sqrt{r^2 + (z+2nD+D-a)^2}} + \frac{dn}{\sqrt{r^2 + (z+2nD+D+a)^2}}\right] - \frac{Q}{2\pi kD} \ln\left(\frac{2ND}{R}\right)$$

Het lijkt erop dat we het nu een stuk moeilijker gemaakt hebben, maar dat is schijn. De integralen zijn weer standaard, zie Abramowitz & Stegun (1968), 4.6.37, en kunnen worden uitgeschreven. Omdat de waarde van N groot verondersteld is, vallen alle termen, die N bevatten, tegen elkaar weg. De nauwkeurigheid van de uitkomst wordt bepaald door de nog te kiezen waarde van m. Hoe groter deze genomen wordt, hoe preciezer het resultaat. Er volgt,

$$\varphi = \frac{Q}{8\pi kD}\left[\operatorname{arcsinh}\left(\frac{z+2nD+D-a}{r}\right) + \operatorname{arcsinh}\left(\frac{z+2nD+D+a}{r}\right)\right]_{m-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}N-\frac{1}{2}} +$$

$$+ \frac{Q}{8\pi kD}\left[\operatorname{arcsinh}\left(\frac{z+2nD+D-a}{r}\right) + \operatorname{arcsinh}\left(\frac{z+2nD+D+a}{r}\right)\right]_{-\frac{1}{2}N-\frac{1}{2}}^{-m-\frac{1}{2}} + \qquad (2.10)$$

$$+ \frac{Q}{4\pi k}\sum_{n=-m}^{m-1}\left[\frac{1}{\sqrt{r^2+(z+2nD+D-a)^2}} + \frac{1}{\sqrt{r^2+(z+2nD+D+a)^2}}\right] - \frac{Q}{2\pi kD}\ln\left(\frac{2ND}{R}\right)$$

Nu is het tijd voor de limiet $N\to\infty$. De grenzen, die N bevatten worden ingevuld en vormen een groot argument onder de functies arcsinh. Deze functies gedragen zich dan als logaritmen, zie Abramowitz & Stegun (1968), 4.6.20. De verschuivingstermen z en a hebben hierin nauwelijks invloed. Aldus kan deze bijdrage samengetrokken worden met de laatste logaritmische term van (2.10). De andere grenzen worden gewoon ingevuld,

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi k}\sum_{n=-m}^{m-1}\left[\frac{1}{\sqrt{r^2+(z+2nD+D-a)^2}} + \frac{1}{\sqrt{r^2+(z+2nD+D+a)^2}}\right] +$$

$$- \frac{Q}{8\pi kD}\left[\operatorname{arcsinh}\left(\frac{z+2mD-a}{r}\right) + \operatorname{arcsinh}\left(\frac{z+2mD+a}{r}\right)\right] + \qquad (2.11)$$

$$+ \frac{Q}{8\pi kD}\left[\operatorname{arcsinh}\left(\frac{z-2mD-a}{r}\right) + \operatorname{arcsinh}\left(\frac{z-2mD+a}{r}\right)\right] + \frac{Q}{2\pi kD}\ln\left(\frac{R}{r}\right)$$

Aldus is er een zeer bruikbare oplossing gecomponeerd. Voor m=0 wordt de twee-dimensionale variant verkregen, zoals die door De Kock (1993) is gehanteerd. Deze bestaat alleen uit de laatste term van (2.11),

$$\varphi = \frac{Q}{2\pi kD}\ln\left(\frac{R}{r}\right) \qquad (2.12)$$

Deze oplossing voldoet weliswaar aan de stromingsvergelijking, maar doet geen recht aan de juiste randvoorwaarden rond het sluipende lek. Voor grote waarden van r voldoet deze formule weer uitstekend, zoals uit (2.11) blijkt.

De nauwkeurigheid van de oplossing neemt snel toe met toenemende waarden van m. Welke m optimaal is blijkt het makkelijkst uit enkele vergelijkende berekeningen. Het lijkt

erop dat r=0 een singulier karakter heeft, maar dat is maar schijn. Als voor de arcsinh de representatie in Abramowitz & Stegun (1968), 4.6.20 gehanteerd wordt, valt deze schijn-singulariteit uit de oplossing weg. Een rekenprogramma dient hier ook rekening mee te houden.

Interessant is dat voor de wat grotere waarden van m oplossing (2.11) weer omgewerkt kan worden tot de vorm (2.8). Deze relatie kan dus ook als basis dienen voor een rekenprogramma, alleen dient er dan stevig doorgeteld te worden; (2.11) heeft al betekenis voor kleinere waarden van m. Via (2.11) is de stijghoogte van het grondwater in het pleistoceen dan ook voldoende nauwkeurig bepaald.

3 Samenvatting en Conclusies

In dit rapport is een oplossing geformuleerd voor de stroming van het grondwater ten gevolge van een lek in een rivierwatertransportleiding. De verhoging van de waterspanningen hierdoor is uitgewerkt. Het probleem dat zich hierbij voordoet is het voldoende nauwkeurig vast leggen van het karakter van het lek.

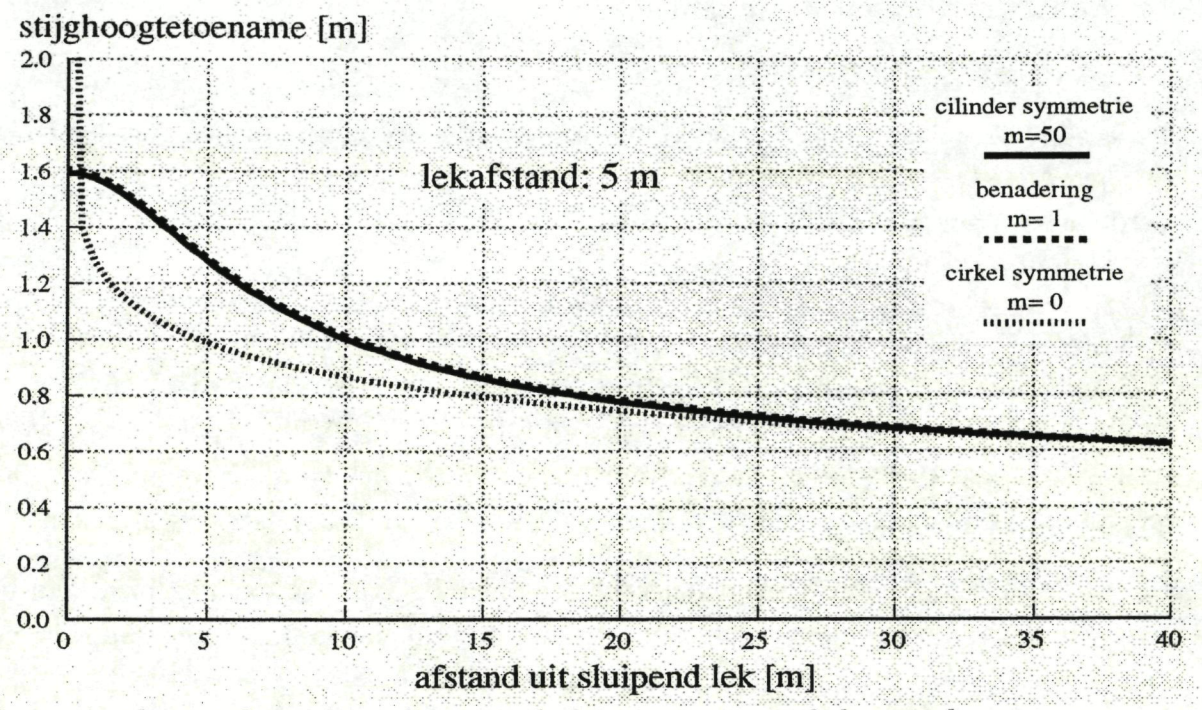
Er is gezocht naar een oplossing, waarbij de lek naar de boven- en onderrand van de watervoerende laag verwerkt is in een zogenaamde leklengte. De oplossing bevat een sommatiegebied, dat is gekarakteriseerd door de parameter m. Als deze nul gekozen wordt, ontstaat de beschrijving voor cirkelsymmetrie en wordt het karakter van de puntbron opgerekt tot een volkomen cilinder over de volle hoogte van het watervoerend pakket.

Een exacte oplossing wordt verkregen voor een oneindig groot sommatiegebied. Om wat gevoel te krijgen voor de invloed van de grootte van m is een standaardgeometrie doorgerekend, vastgelegd door de volgende parameters:

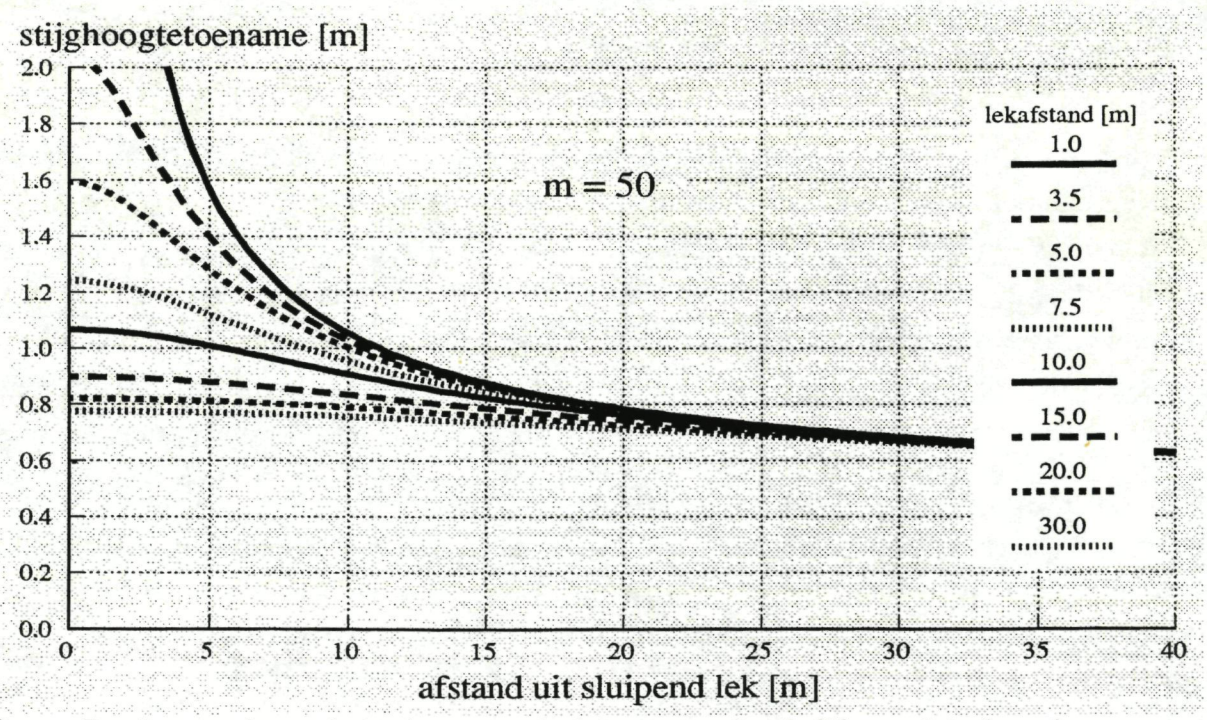
a =	5.0	m	(afstand sluipend lek onder bovenkant pleistoceen);
k =	2.1	m/h	(doorlatendheidscoëfficiënt);
D =	30.0	m	(dikte pleistoceen);
Q =	70.0	m^3/h	(grootte van de lek);
R =	1350.	m	(invloedsgebied van de lek);

In figuur 4 is de invloed van m in kaart gebracht door drie resultaten; voor $m = 50$, wat vrijwel cilinder symmetrie voorstelt; voor $m = 1$, wat een eerste benadering is; en voor $m = 0$, wat gelijk is aan het cirkel symmetrische geval. Het blijkt dat alle oplossingen op een afstand groter dan de pakketdikte nagenoeg samenvallen. In het binnengebied gaat de cirkel symmetrische oplossing duidelijk afwijken, zeker voor afstanden kleiner dan de halve pakketdikte. Heel dicht op de vertikale as door het lek heeft de cirkel symmetrische oplossing geen betekenis meer. De eenvoudige benadering voor $m = 1$ blijft het overal schitterend doen.

De afstand van het lek onder het holoceen speelt een sturende rol. Dit is zichtbaar gemaakt in figuur 5. Dicht op het lek lopen de wateroverdrukken snel op. De onderhavige afstand kan zodanig gekozen worden dat aan een stabiliteitseis eventueel kan worden voldaan. Het rekenprogramma, waarmee de gepresenteerde verbanden bepaald zijn, kan hiervoor worden gebruikt.



figuur 4: rekenresultaten langs bovenrand pleistoceen voor enkele waarden van m



figuur 5: rekenresultaten langs bovenrand pleistoceen afhankelijk van lekafstand

De conclusie kan worden getrokken dat de in dit rapport gepresenteerde oplossing voor een sluipend lek in een transportleiding een bruikbaar gereedschap is om de verandering in de waterspanningen van het watervoerend pakket te bepalen. Deze blijken binnen een gebied ter grootte van de pakketdikte een geheel eigen karakter te hebben. Er is een computerprogramma geschreven om de grootte van de wateroverspanningen uit te rekenen. De resultaten hiervan kunnen dienen als invoer voor een stabiliteitsanalyse.

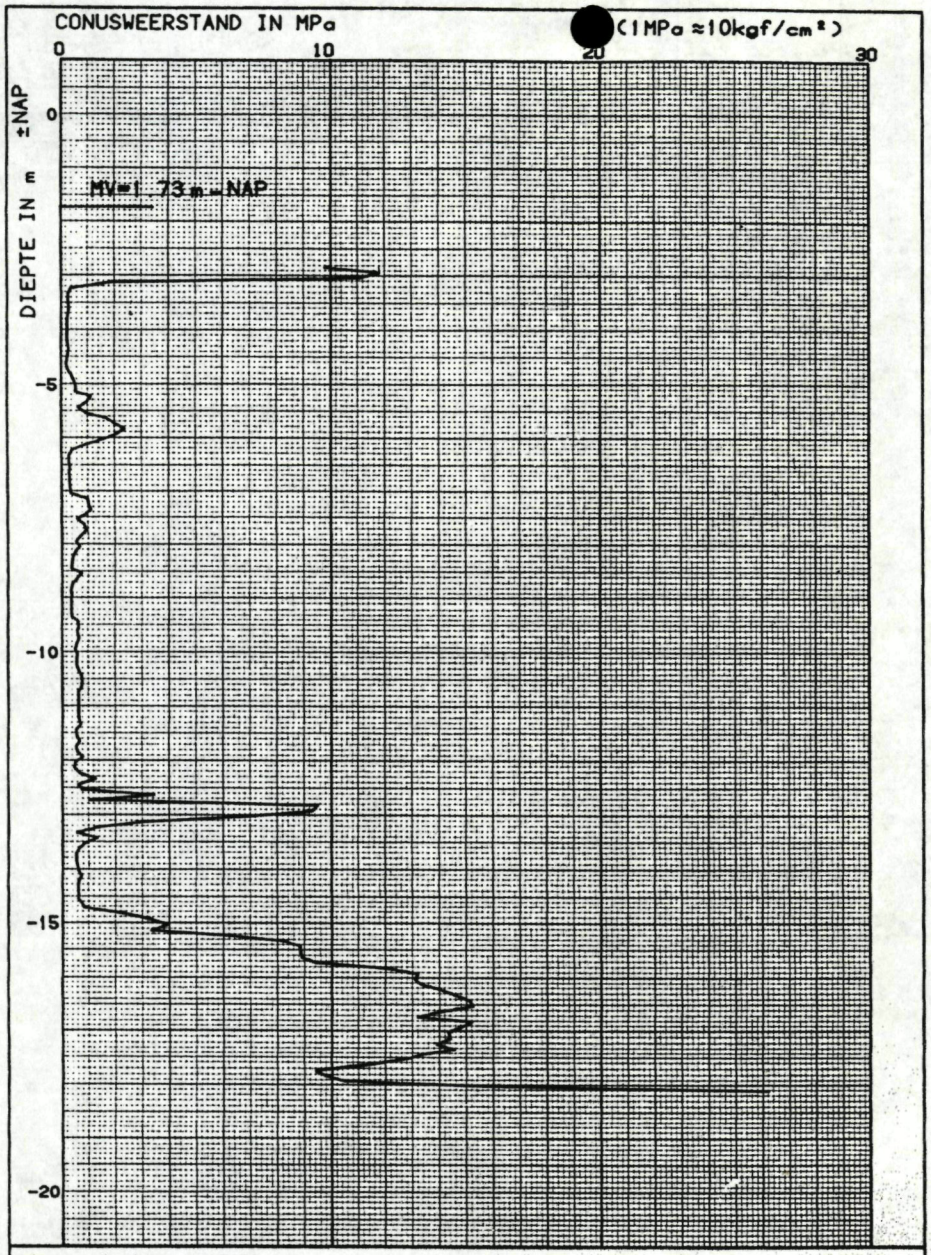
Referenties

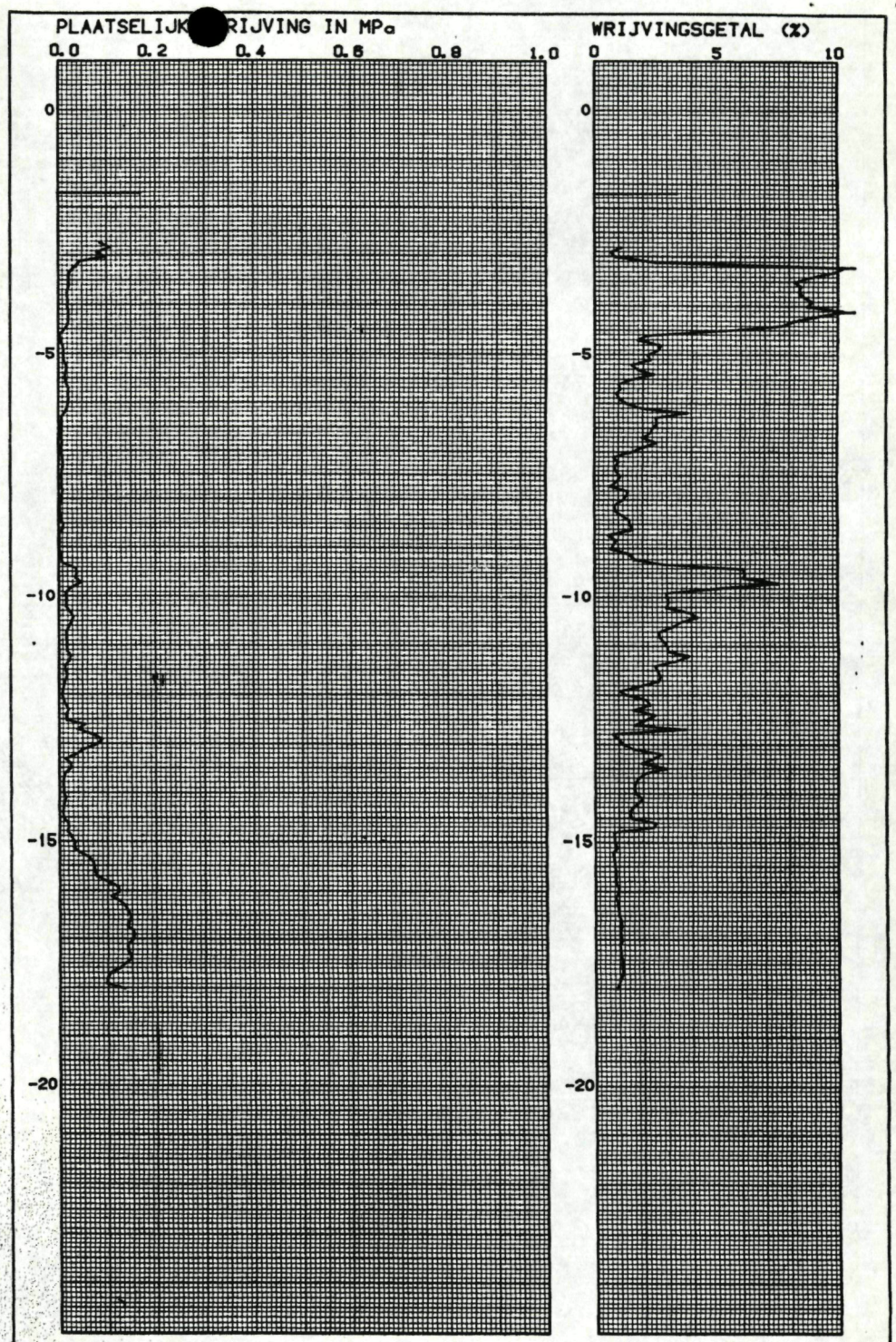
(1968) Abramowitz, M. and Stegun, I.A., 'Handbook of Mathematical Functions', Dover Publications, Inc., New York.

(1975) Gröbner, W. and Hofreiter, N., 'Integraltafel Teil I und II', Springer-Verlag, Wien, New York.

(1993) Kock de, R.A.J., 'Commentaar op twee rapporten van de Heidemij' Notitie van Provincie Zuid-Holland.

A27-5





uitgevoerd volgens nen 3680

meetbereik
conusweerstand 100 MPa
plaatselijke wrijving 1.0 MPa

mechansch discontinu:
mantelconus
kleefmantelconus

* electrisch continu:
conus
* kleefmantelconus
ingesnoerd
* cylindrisch

n.b. * is van toepassing

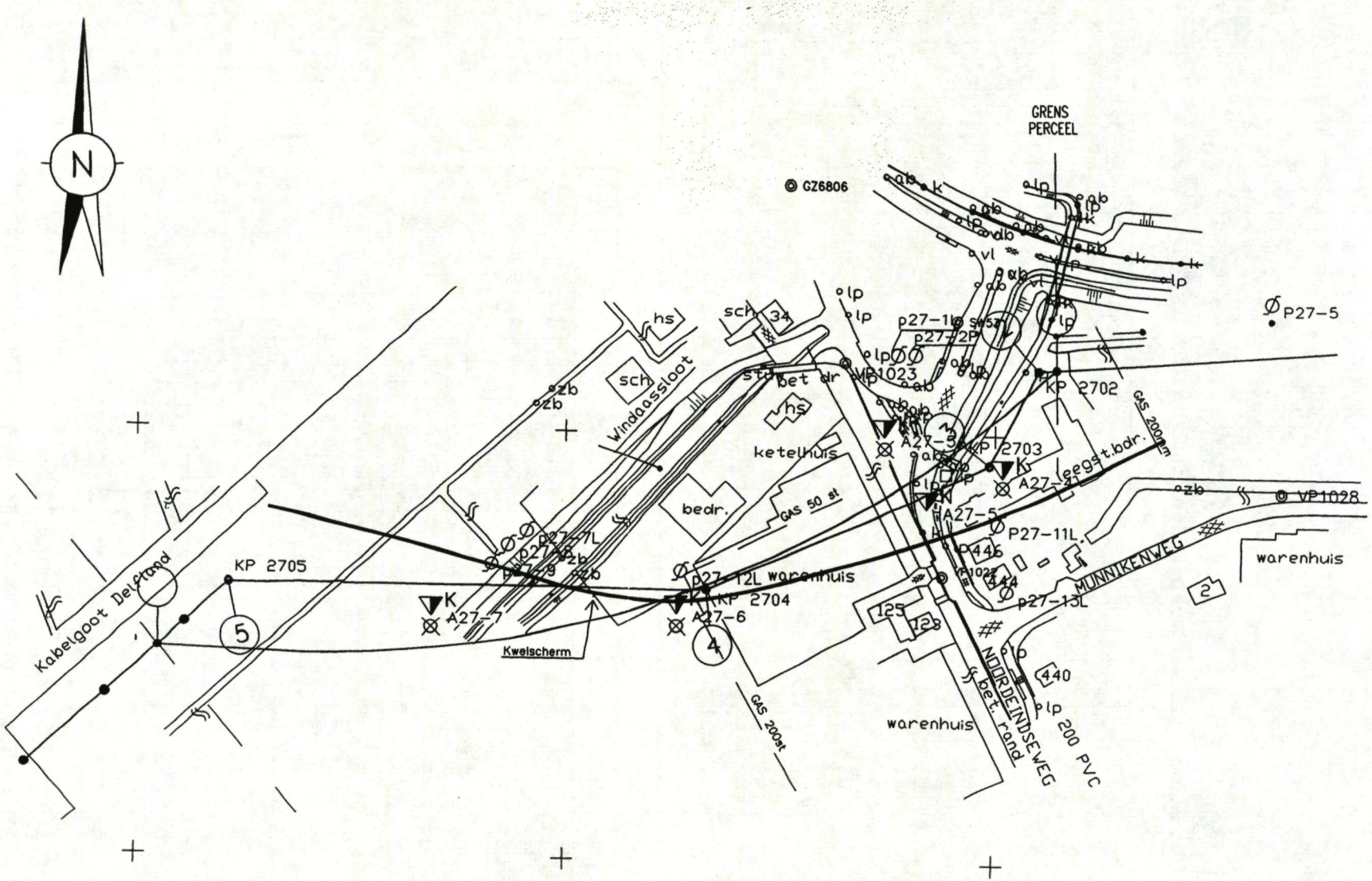
GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

uitgevoerd d.d. 92-10-21	get. EW
CO-327170	gez.
BIJL. 10B	form. A3

RWT BERGAMBACHT - WASSENAAR

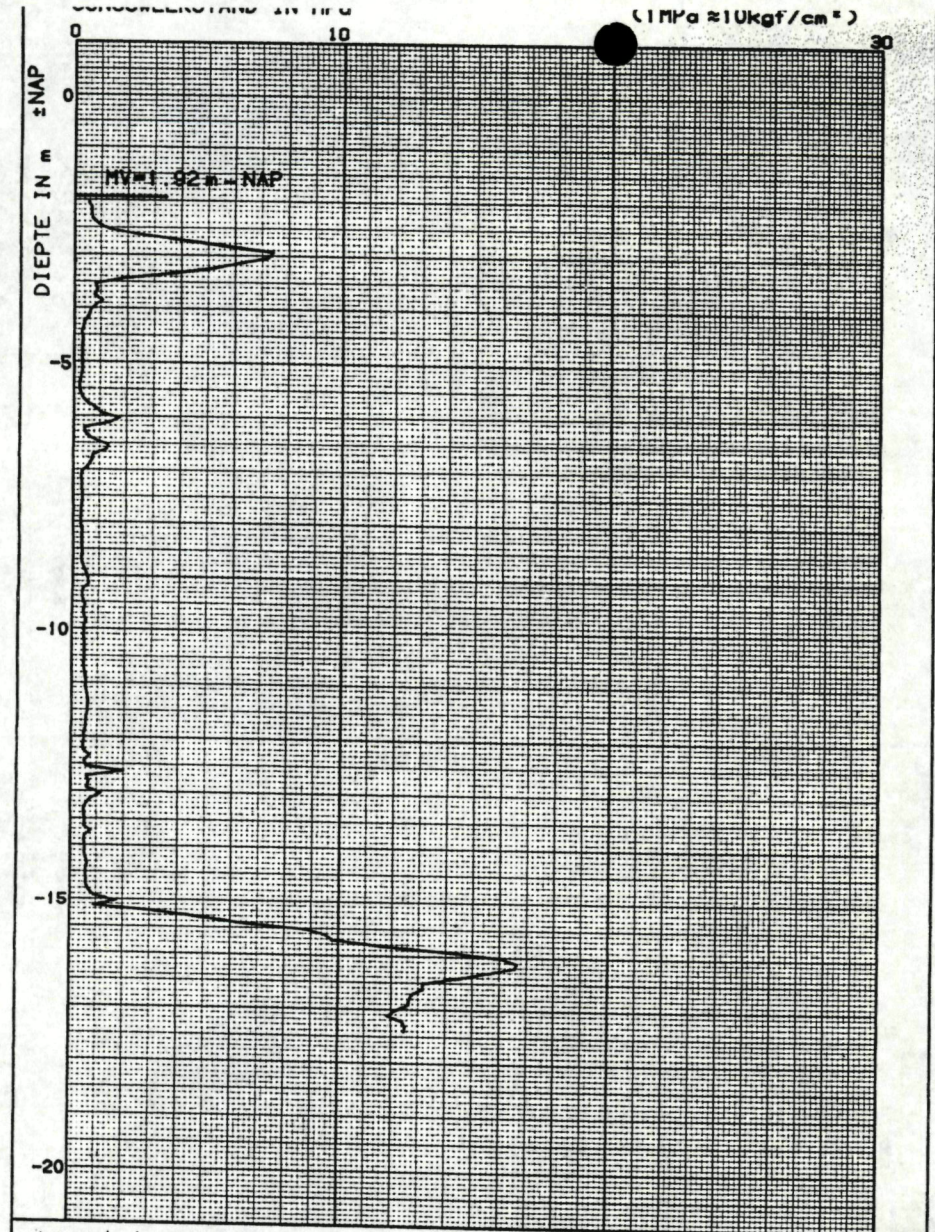
SONDERING A27-5 (A23-5)

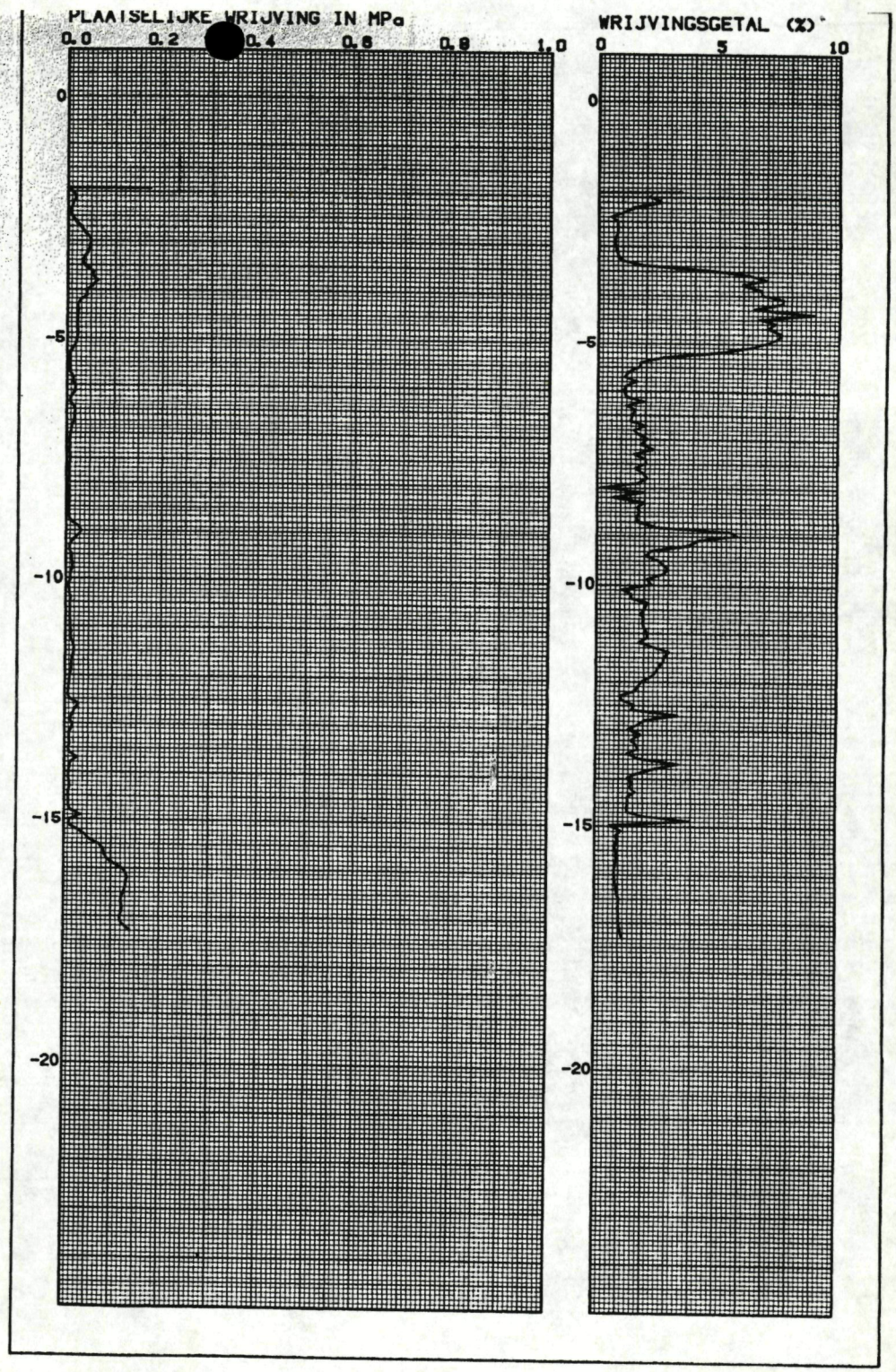
X= , km
Y= , km



LEGENDA ZIE BIJL.A

GRONDMECHANICA DELFT — Postbus 69, 2600 AB Delft; Telefoon (015) 69 35 00; Telefax (015) 61 08 21; Telex 38234 soil nl	d.d. '93-08-18	get. KWT
R.W.T. BERGAMBACHT – WASSENAAR KRUISING NOORDEINDSEWEG	CO- 327170	gez. BOEY
SITUATIE SCHAAL 1;2000	BIJL. 10A	form. A/3





uitgevoerd volgens nen 3680

meetbereik:
conusweerstand 100 MPa
plaatselijke wrijving 1.0 MPa

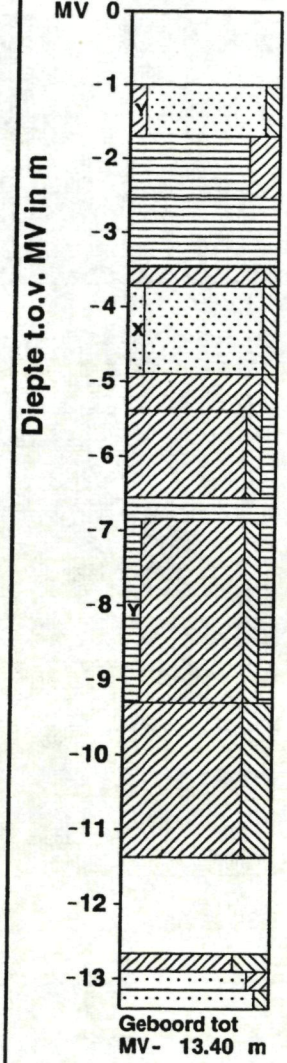
mechanisch discontinu.
mantelconus
kleefmantelconus

* electrisch continu
conus
* kleefmantelconus
* ingesnoerd cylindrisch

n.b. * is van toepassing

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

RWT BERGAMBACHT - WASSENAAR	uitgevoerd d d 92-10-22	get EW
	CO-327170	gez ✓
SONDERING A27-5A (A23-5A) X= , km Y= , km	BIJL. 10C	form A3



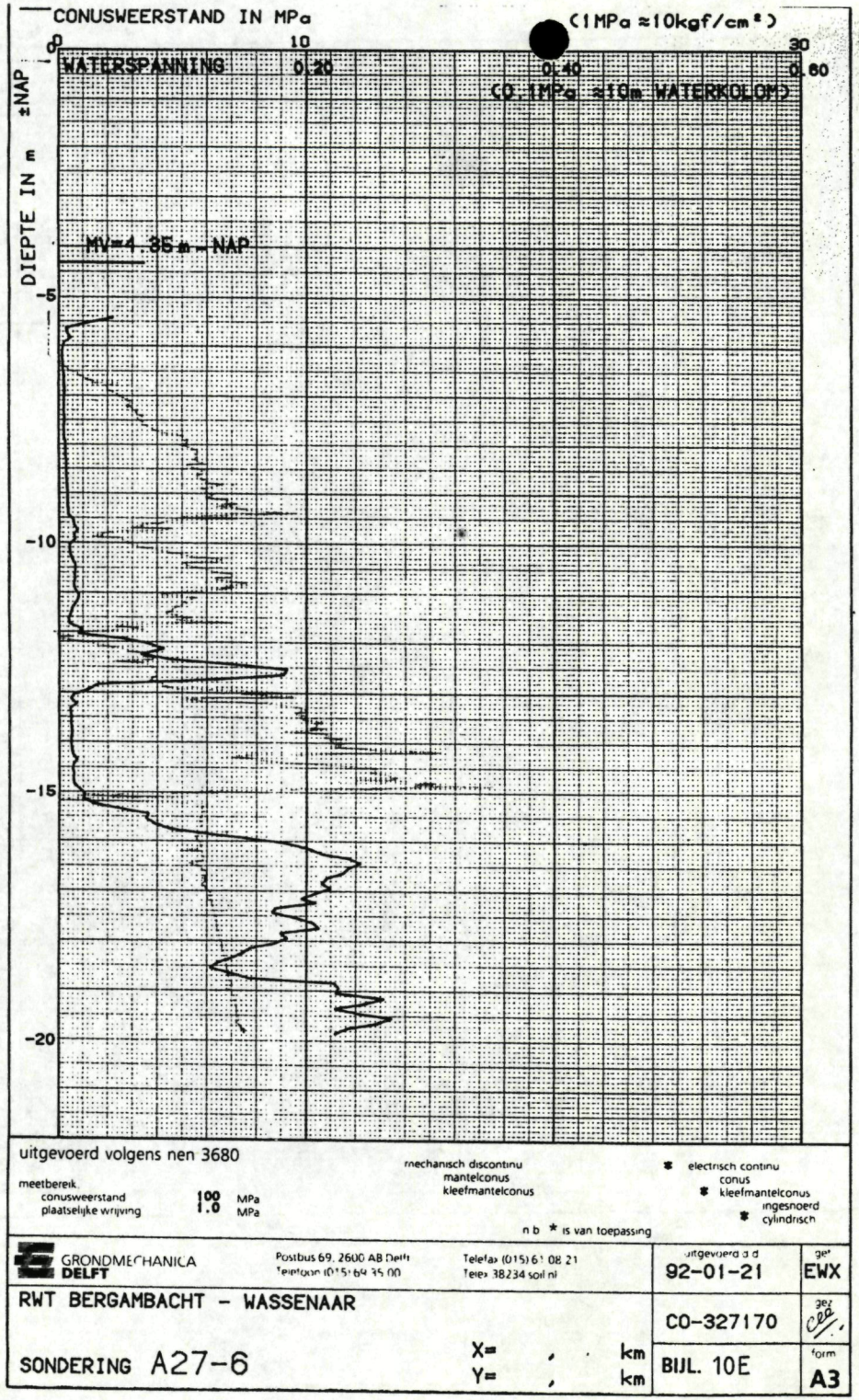
	LAAG	DIEPTE MV-[m] VAN	TOT	BESCHRIJVING
	1	-1.00	-1.70	ZAND, zwak siltig met kleistukjes met schelpgruis
1	2	-1.70	-2.55	VEEN, sterk kleiig
2	3	-2.55	-3.46	VEEN, mineraalarm
	4	-3.46	-3.72	KLEI, zwak siltig met plantenresten
3	5	-3.72	-4.90	ZAND, zwak siltig
4				enkele veensporen
	6	-4.90	-5.40	KLEI, zwak siltig
5	7	-5.40	-6.56	KLEI, zwak siltig, zwak humeus enkele zandlaagjes
6				en plantenresten
	8	-6.56	-6.85	VEEN, mineraalarm
7	9	-6.85	-9.30	KLEI, zwak siltig, zwak humeus met veenstukjes
8	10	-9.30	-11.37	KLEI, sterk siltig met enkele zandlaagjes
	11	-11.37	-12.66	LEEG
9	12	-12.66	-12.90	KLEI, zeer sterk siltig veen, sterk zandig laagje 12.76 - 12.90 m - MV
	13	-12.90	-13.15	ZAND, kleiig
	14	-13.15	-13.40	ZAND, zwak siltig M = 125 um
10				. .
				EINDE BORING
11				
12				
13				
14				

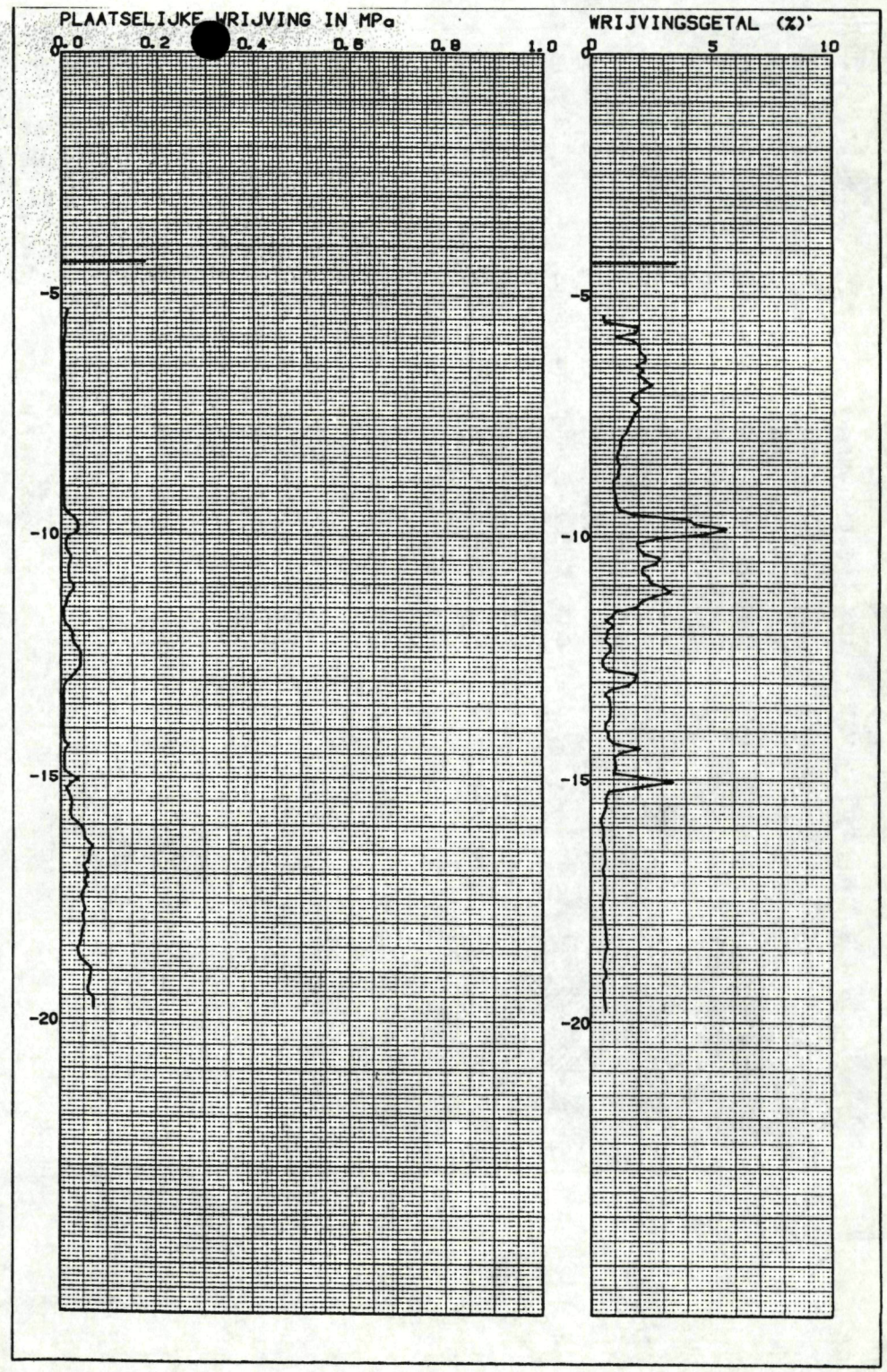
Voor legenda zie bijlage E

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon(015)69 35 00
Telefax(015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

RWT BERGAMBACHT - WASSENAAR	d.d. 92-10-22	get.
.	CO-327170	gez. KUY
Begemannboring 29 mm **A27-5A**	BIJL. 10D	form. A4

A27-6





uitgevoerd volgens nen 3680

meetbereik
conusweerstand 100 MPa
plaatselijke wrijving 1.0 MPa

mechanisch discontinu
mantelconus
kleefmantelconus

* electrisch continu
conus
* kleefmantelconus
ingesnoerd
* cylindrisch

n.b. * is van toepassing

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

uitgevoerd d.d. 92-01-21

ger. EWX

RWT BERGAMBACHT - WASSENAAR

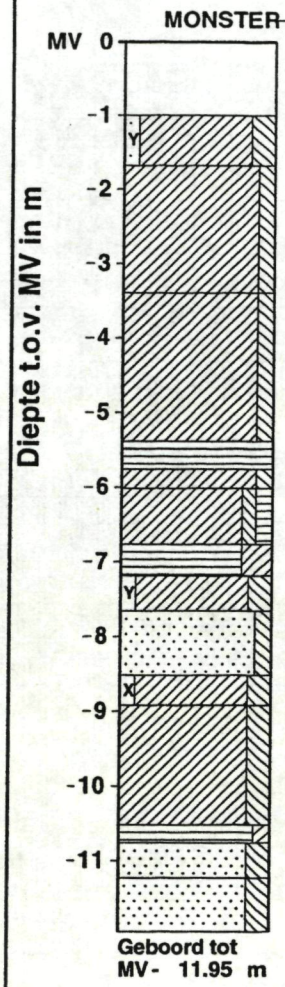
CO-327170

SONDERING A27-6

X= , km
Y= , km

BIJL. 10E

form A3



LAAG		DIEPTE MV-[m] VAN	TOT	BESCHRIJVING
	1	-1.00	-1.68	KLEI, matig siltig met zandstukjes
1	2	-1.68	-3.40	KLEI, zwak siltig met plantenresten
	3	-3.40	-5.39	KLEI, zwak siltig
2				schelpstuk 3.57 - 3.58 m - MV veenlaagjes 5.24 - 5.39 m - MV
	4	-5.39	-5.76	VEEN, mineraalarm
	5	-5.76	-6.02	KLEI, zwak siltig
	6	-6.02	-6.77	KLEI, zwak siltig, zwak humeus
3				met plantenresten
	7	-6.77	-7.19	VEEN, sterk kleiig
	8	-7.19	-7.66	KLEI, matig siltig
4				met zandstukjes
5	9	-7.66	-8.52	ZAND, zwak siltig
6				weinig veenstukjes M = 250 um
7				
	10	-8.52	-8.92	KLEI, matig siltig
8				met zandlaagjes
9	11	-8.92	-10.52	KLEI, matig siltig
	12	-10.52	-10.76	VEEN, zwak kleiig
10	13	-10.76	-11.23	ZAND, matig siltig enkel humuslaagje M = 90 um
11				
	14	-11.23	-11.95	ZAND, matig siltig M = 150 um
12				.
13				kalkrijk 1.00 - 5.24, 7.19 - 10.61,
14				11.30 - 11.95 m - MV kalkloos 5.24 - 7.19, 10.61 - 11.30 m - MV
				.
				EINDE BORING

Voor legenda zie bijlage E

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon(015)69 35 00
Telefax(015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

d.d. 93-01-21 | get.

RWT BERGAMBACHT - WASSENAAR

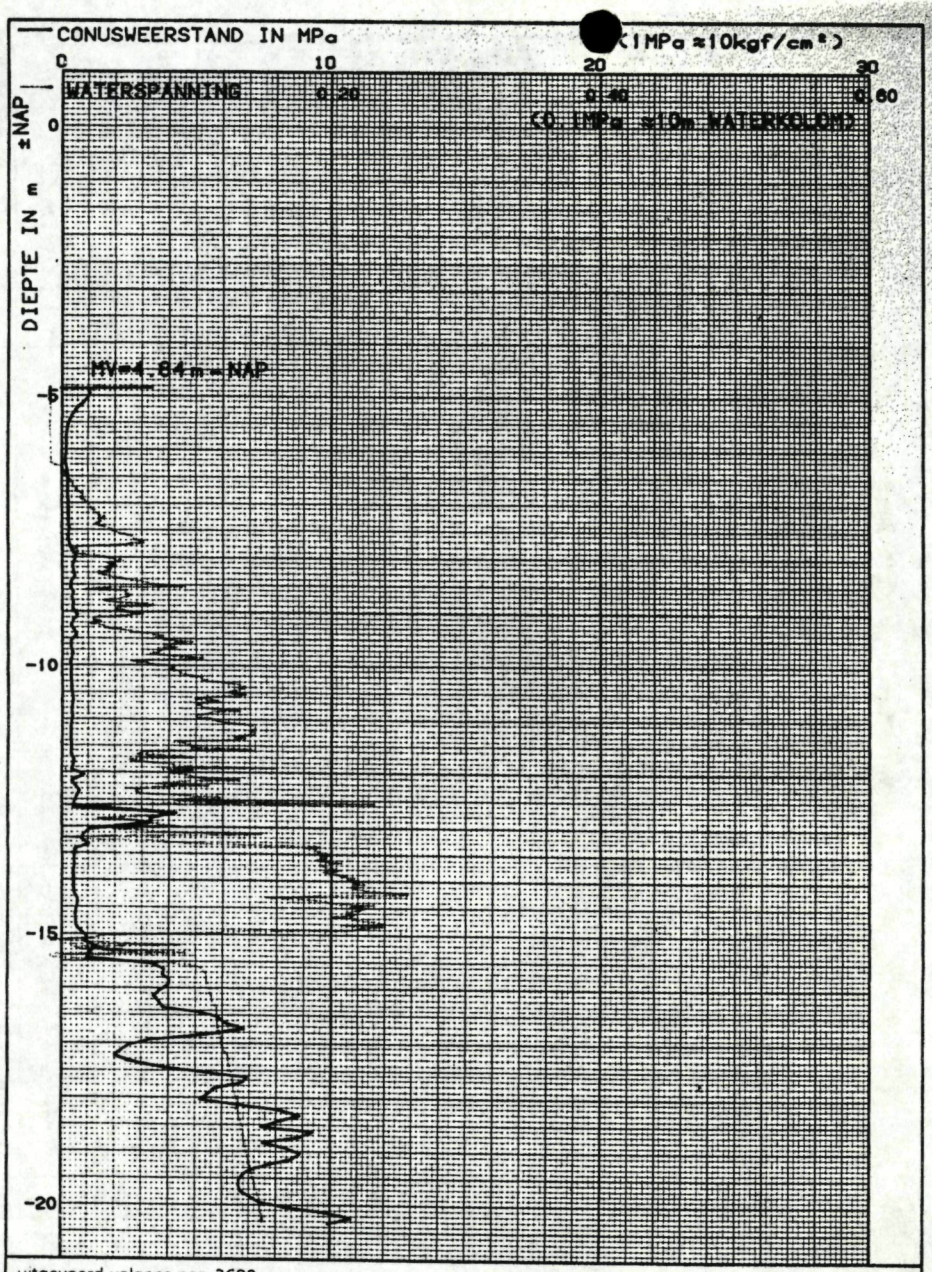
.

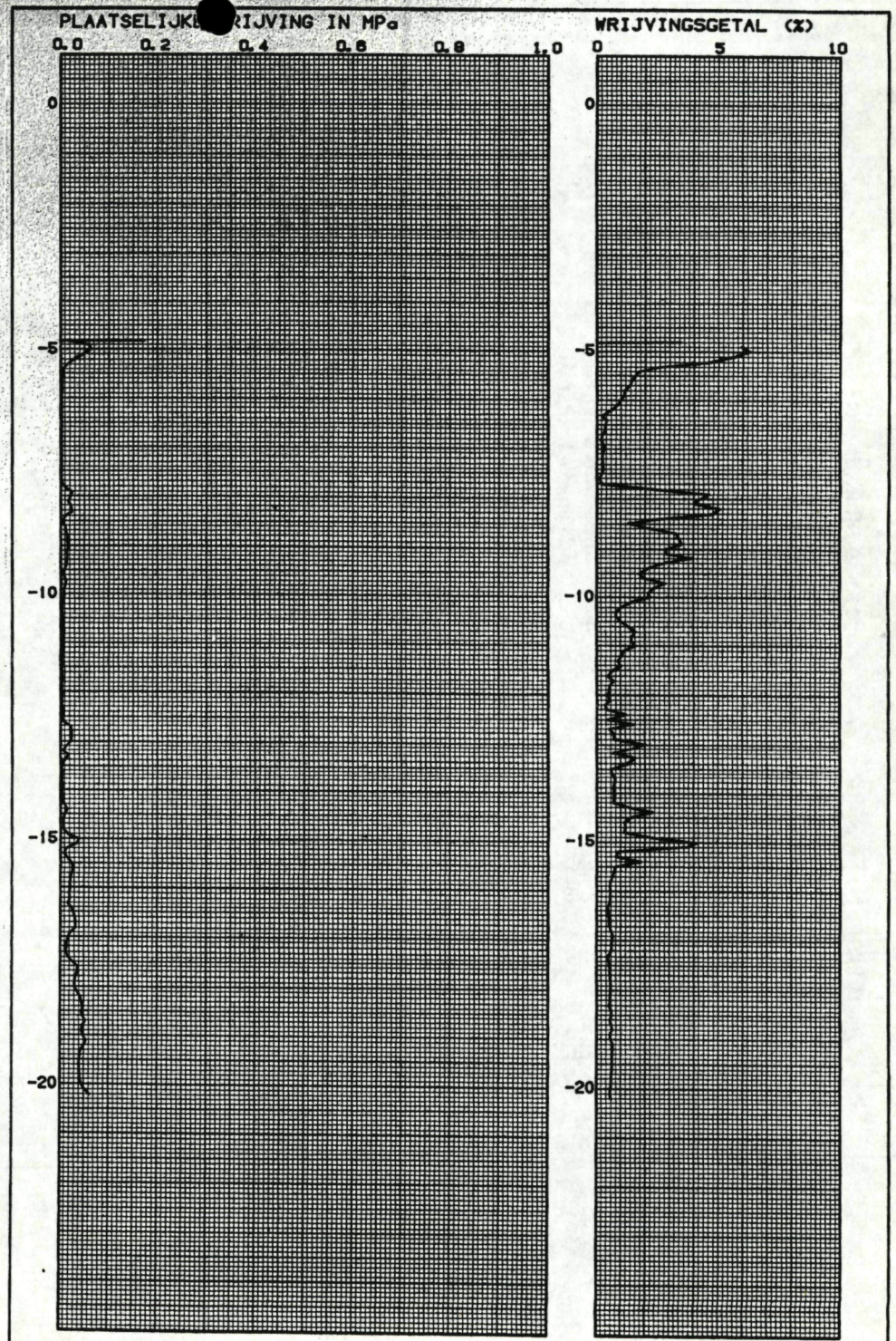
CO-327170 | gez. DOOR

Begemannboring 29 mm **A27-6**

BIJL. 10F | form. A4

A27-7





uitgevoerd volgens nen 3680

meetbereik
conusweerstand 100 MPa
plaatselijke wrijving 1.0 MPa

mechanisch discontinu
mantelconus
kleefmantelconus

* electrisch continu
conus
* kleefmantelconus
* ingesnoerd cylindrisch

n.b. * is van toepassing

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

uitgevoerd d.d. 92-10-22
get EWX
gez ✓
form A3

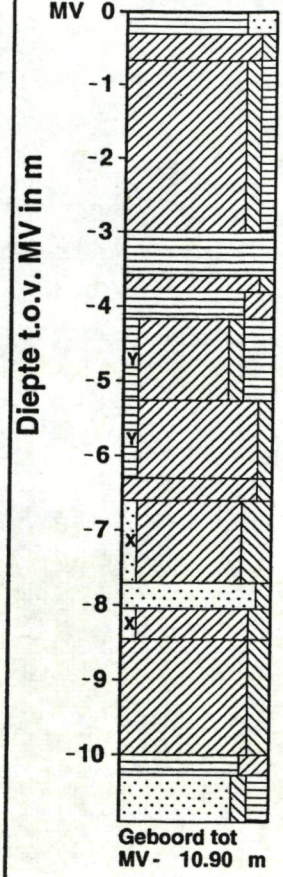
RWT BERGAMBACHT - WASSENAAR

CO-327170

SONDERING A27-7 (A23-7)

X= , km
Y= , km

BIJL. 10G



	LAAG	DIEPTE MV-[m] VAN	TOT	BESCHRIJVING
1				
2	1	0.00	-0.30	VEEN, sterk zandig
	2	-0.30	-0.67	KLEI, zwak siltig met plantenresten
3	3	-0.67	-3.00	KLEI, zwak siltig, zwak humeus met plantenresten
	4	-3.00	-3.58	VEEN, mineraalarm
	5	-3.58	-3.80	KLEI, zwak siltig
4	6	-3.80	-4.17	VEEN, sterk kleiig
5	7	-4.17	-5.26	KLEI, zwak siltig, sterk humeus
6				met enkele houtstukjes
	8	-5.26	-6.30	KLEI, zwak siltig
7				met houtstukjes
	9	-6.30	-6.60	KLEI, zwak siltig
8				met enkele plantenresten
	10	-6.60	-7.70	KLEI, sterk siltig
9				met zandlaagjes
	11	-7.70	-8.05	ZAND, zwak siltig
10				M = 175 um
	12	-8.05	-8.46	KLEI, matig siltig
11	13	-8.46	-10.00	KLEI, matig siltig
12	14	-10.00	-10.27	VEEN, sterk kleiig
	15	-10.27	-10.90	ZAND, zwak siltig, humeus
13				M = 150 um
				.
14				.
15				EINDE BORING

Voor legenda zie bijlage E

GRONDMECHANICA DELFT
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon(015)69 35 00
Telefax(015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

RWT BERGAMBACHT - WASSENAAR	d.d. 92-10-22	get.
.	CO-327170	gez. KUY
Begemannboring 29 mm **A27-7**	BIJL. 10H	form. A4