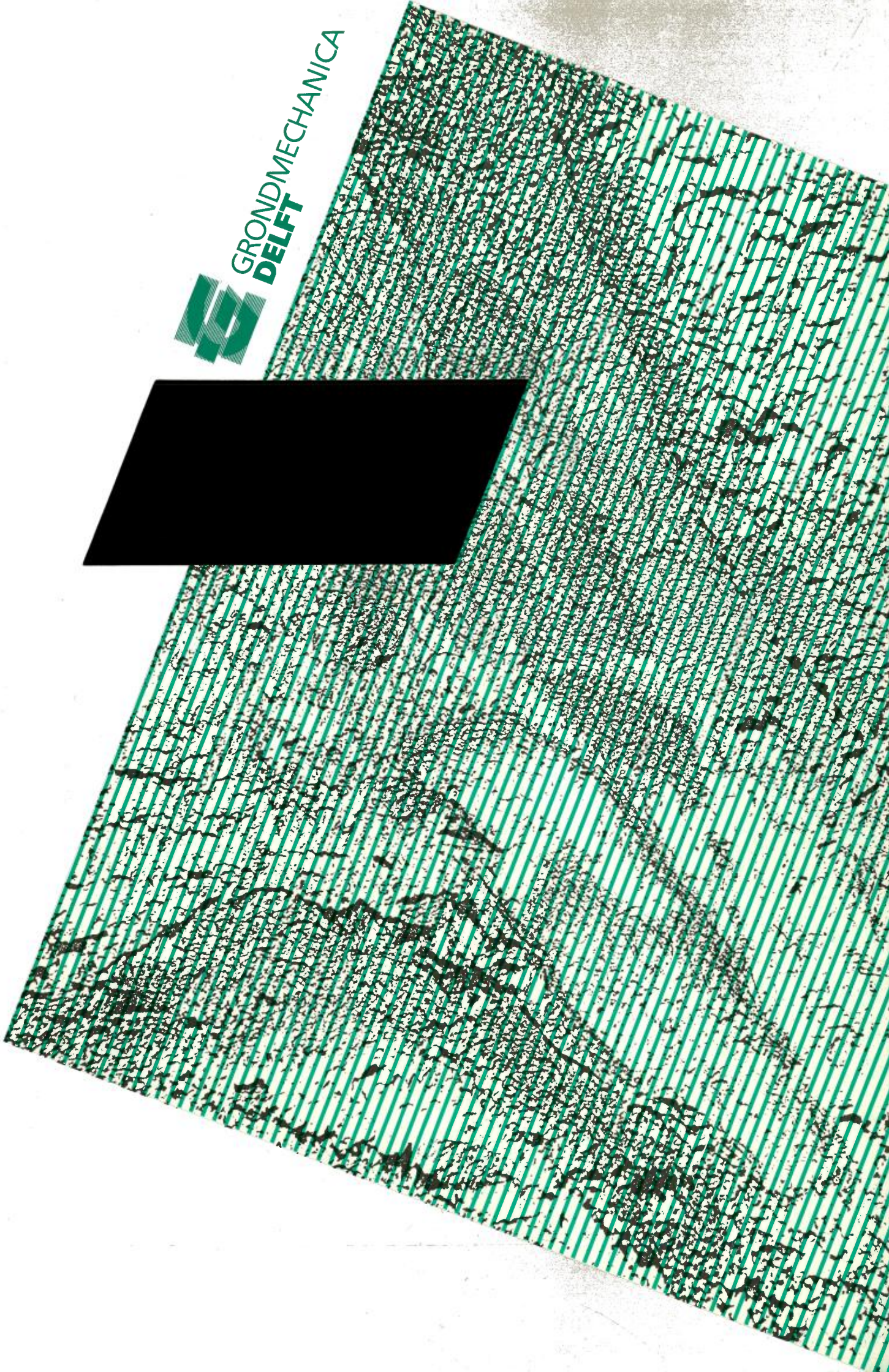




GRONDMECHANICA
DELFT



ONDERZOEKEN NAAR DE EFFECTEN
VAN EXTREME NEERSLAG OP
WATERSPANNINGEN IN EEN DIJK

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon 015-693500
Telex 38234 soil nl
Telefax 015-610821

Postgiro 234342
Bank Mees en Hope NV
Reknr. 25.92.35.911
K.v.K. S 145040 Delft



**GRONDMECHANICA
DELFT**

**ONDERZOEK NAAR DE EFFECTEN
VAN EXTREME NEERSLAG OP
WATERSPANNINGEN IN EEN DIJK**

**CO-280000/25
maart 1990
Swt/GP/13/dijk**

**Opgesteld in opdracht van:
Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard
en de Vijfheerenlanden**

**AFDELING GRONDCONSTRUCTIES
projectleider: ir. C.J. Swart
projectbegeleider: ing. J. Dekker
afdelingshoofd: ir. J.W. Sip**

INHOUD:	blz.:
1. INLEIDING	1
2. EERDER VERRICHT ONDERZOEK	2
2.1 Waterspanningsmeting onderzoek	2
2.1.1 Beschrijving onderzoek	2
2.1.2 Resultaten	4
2.2. Modelonderzoek	4
2.2.1 Beschrijving onderzoek	4
2.2.2 Resultaten	8
3. NADERE BESCHOUWING ONDERZOEKSRÉSULTATEN	10
4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	12

LITERATUUR

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-280000/25
datum : maart 1990



GRONDMECHANICA
DELFT

BIJLAGEN:

1. Dwarsprofiel hm 187 + 175 m
2. Relatie neerslag - neerslagduur
3. Neerslaggegevens KNMI

APPENDIX.

- A. Opmerkingen over onverzadigde stroming

1. INLEIDING

In opdracht van het Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden is onderzoek verricht naar de effecten van extreme neerslag in een dijk.

Het waterkerend vermogen van een dijk wordt onder andere bepaald door de stabiliteit. De dijken in het benedenriviereengebied worden ten aanzien van de stabiliteit op twee afzonderlijk optredende extreme situaties onderzocht:

- a. een belasting door hoogwaterstanden
- b. een belasting door extreme neerslag.

ad.a

In [3] wordt aangegeven op welke wijze deze extreme situatie kan worden onderzocht.

ad.b

Onder normale dagelijks voorkomende getij-omstandigheden kan ten gevolge van extreme neerslag het freatisch vlak zowel in als achter de dijk stijgen. Uit in het verleden uitgevoerde berekeningen is gebleken dat deze situatie een ongunstiger evenwichtsfactor (verlaging circa 0,05) kan opleveren dan berekend bij een belasting door hoogwaterstanden (met cirkelvormige glijvlakken).

Vooraf de laatste jaren is meer inzicht verkregen in stabiliteitsbeschouwingen waarbij de maximaal mobiliseerbare schuifweerstand in het grensgebied holoceen/pleistoceen sterk afneemt (het zogenoemde opdrijven met rechte glijvlakken). Dit resulteert veelal in aanmerkelijk lagere evenwichtsfactoren dan gevonden met cirkelvormige glijvlakken en ook lager dan bij een extreme neerslagsituatie. Welke situatie maatgevend is zal van geval tot geval moeten worden nagegaan.

In [3] wordt globaal aangegeven met welke effecten er bij de evenwichtsbeschouwing voor een extreme neerslagsituatie rekening gehouden moet worden. Er wordt tevens van uitgegaan dat het optreden van hoogwaterstanden en het tijdstip van extreme neerslag niet samenvallen.

De invloed van neerslag op de ligging van het freatisch vlak is door middel van waterspanningsmetingen onderzocht. In hoofdstuk 2.1 wordt hier nader op ingegaan.

Los van het onderhavige onderzoek is in opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, een studie verricht naar de diepte van invloed van veranderingen in atmosferische omstandigheden op watergehalte en waterspanning van een kleilaag op een dijk.

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-280000/25
datum : maart 1990



GRONDMECHANICA
DELFT

In deze studie wordt met behulp van een eindige-differenties rekenmodel de invloed van extreme neerslag op verzadigingsgraad en zuigspanning onderzocht. De resultaten hiervan worden in hoofdstuk 2.2. beschreven.

In hoofdstuk 3 wordt een nadere beschouwing van de onderzoeksresultaten gegeven.

In hoofdstuk 4 worden conclusies en aanbevelingen beschreven.

2. EERDER VERRICHT ONDERZOEK

2.1 Waterspanningsmeting onderzoek

2.1.1 Beschrijving onderzoek

Ten behoeve van de dimensionering van de dijkversterkingen zijn en worden in de ontwerpfase in een aantal dwarsprofielen waterspanningsmeters geplaatst. In bijlage 1 is als voorbeeld voor dp 187 + 75 m, dijkvak Nieuw Lekkerland-Oost de plaats van de meters aangegeven. Aan de hand van een aantal 13-uursmetingen is en wordt nagegaan welke meters, die het dichtst onder het freatisch vlak liggen, gedurende deze meting ongevoelig zijn voor de dagelijkse getijbewegingen. Vervolgens zijn en worden de waterspanningen bij deze meters gedurende een lange periode periodiek gemeten. Hieruit blijkt dat er (gebaseerd op neerslagloze perioden) per dwarsprofiel een relatie is tussen de gemiddelde buitenwaterstand over een voorafgaande periode van 7 dagen en de stand van het freatisch vlak ter hoogte van de binnenkruinlijn. Door middel van deze relatie is voor elke periode van 7 dagen het aandeel van de neerslag op de verhoging van het freatisch vlak berekend. Deze verhoging van het freatisch vlak is uitgezet tegen de neerslag. Door vervolgens een lineair verband aan te nemen tussen beide parameters is voor elke gekozen neerslag de verhoging van het freatisch vlak ter hoogte van de binnenkruinlijn te bepalen.

Voor in totaal 7 dwarsprofielen in de dijkvakken:

Nieuw Lekkerland Oost: dp 181 + 0 m, dp 182 + 174 m, dp 187 + 75 m
Streefkerk West : dp 194 + 58 m, dp 202 + 20 m, dp 202 + 142 m
Streefkerk midden : dp 206 + 8 m

zijn de metingen uit de jaren 1977 en 1978 uitgewerkt en grafisch uitgezet in figuur 2.1. De relaties welke de laagste en hoogste verhoging van het freatisch vlak geven zijn eveneens in de figuur getekend.

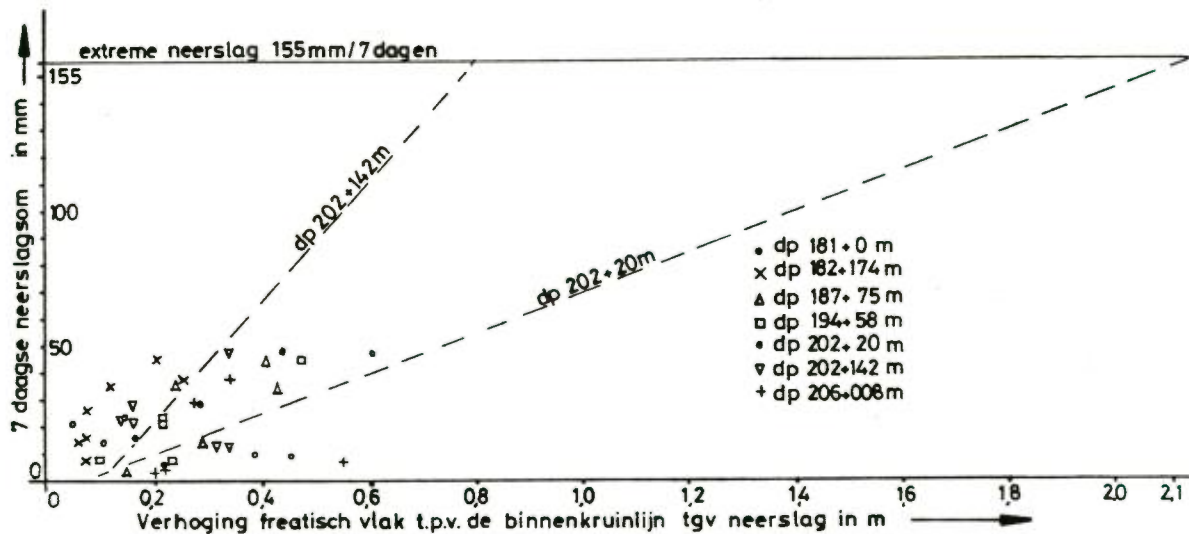
Bij deze methode wordt, wegens gebrek aan informatie, geen rekening gehouden met:

- verschillen in de verzadigingsgraad van de grond boven het freatisch vlak, noch tussen de meetopstellingen onderling noch bij aanvang van de verschillende metingen
- een verandering van de bovengrondse afstroming van een gedeelte van de neerslag.

De grootte van de extreme neerslag, welke als uitgangspunt voor de stabiliteitsbeschouwing dient, is afgeleid van de overschrijdingsfrequentie van het stormvloedpeil in het benedenrivierengebied, namelijk een 7 daagse bui die eens in de 4000 jaar voorkomt.

In [4] is een neerslagformule uitgewerkt voor Nederlandse omstandigheden, waarbij de neerslag is uitgezet tegen de duur bij een gegeven kans van voorkomen (zie bijlage 2).

Hieruit volgt voor de 7-daagse bui die eens in de 4000 jaar voorkomt een neerslaghoeveelheid van 155 mm per 7 dagen.



Figuur 2.1 Relatie neerslag-verhoging freatisch vlak ter plaatse van binnenkruinlijn voor 7 dwarsprofielen

2.1.2 Resultaten

Toegepast op de gevonden relatie tussen neerslag en verhoging freatisch vlak in binnenkruinlijn wordt met de hiervoor genoemde aannames voor de onderzochte dwarsprofielen een verhoging gevonden welke ligt tussen 0,8 m en 2,1 m. Ter plaatse van dp 202 + 142 m wordt door middel van lineaire extrapolatie de minimum verhoging gevonden; ter plaatse van dp 202 + 20 m de maximum verhoging.

Voor de verhoging van het freatisch vlak bij de binnenteen is ook een relatie gelegd met de neerslag. Hieruit volgt voor de onderzochte dwarsprofielen een verhoging bij extreme neerslag welke ligt tussen 1,0 m en 2,8 m.

2.2 Modelonderzoek

2.2.1 Beschrijving onderzoek

In dit onderzoek is, naast onderzoek naar de bodemstructuur onder verandering van de atmosferische omstandigheden, nagegaan wat de effecten zijn van een extreme regenbui op een talud, dat reeds in een evenwichtstoestand verkeert onder invloed van langdurige regenval.

Vanwege de sterke niet-lineaire aspecten van stroming in de onverzadigde zone (zie appendix A) is gekozen voor een eindige-differenties berekening.

Voor deze berekening is een 2-dim. eindige-differenties rekenmodel gekozen (2- dim. berekeningen met computerprogramma SWANFLO) vanwege:

- de helling van het talud en daarmee van de doorlatendheidsopbouw (zie figuur 2.2)
- ligging van het grondwaterniveau.

Voor de invoergegevens van de 2-dim. berekening is uitgegaan van een, relatief geringe, afname van de verzadigde doorlatendheid met de diepte.

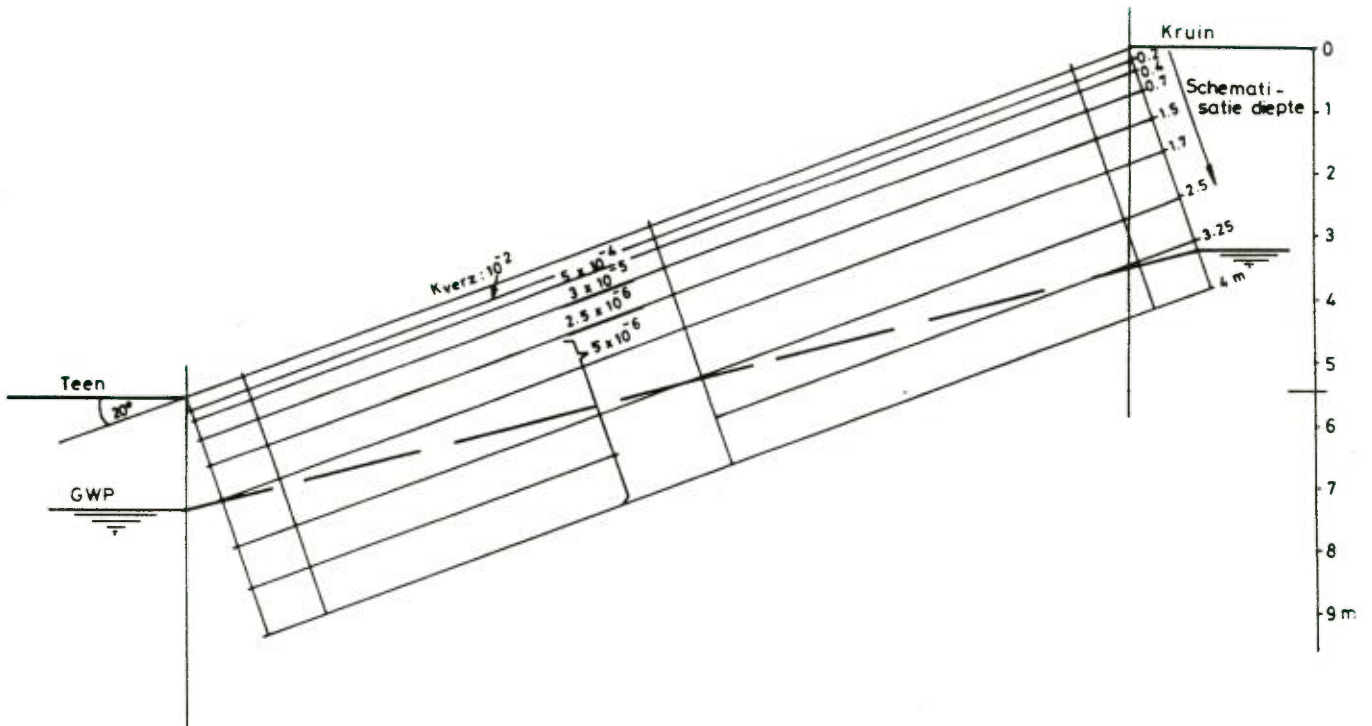
Voor de berekeningen zijn de zogenaamde vocht karakteristieken van de grond nodig. Dit betreft met name het waterhoudend vermogen van de grond die met zuigspanningscurves wordt aangeduid en de onverzadigde doorlatendheid die afhankelijk is van het watergehalte, aangegeven in curves die de k - θ - relatie aangegeven.

De gebruikte zuigspanningscurve voor de berekeningen is vastgesteld aan de hand van onderzoek [5]. Daarbij is gekozen voor de zuigspanningscurve van kleigrond van een kleibekleding waarvan de samenstelling representatief geacht kan worden voor Nederlandse omstandigheden.

De onverzadigde doorlatendheidskarakteristiek, k - θ - relatie, is gekozen uit literatuurgegevens. Voor de berekening is gekozen voor een k - θ - relatie die is geselecteerd op grond van de vorm van de zuigspanningscurve.

De geometrie van de dijk en de ligging van het grondwaterniveau zijn gebaseerd op een enigszins vereenvoudigd profiel van een bestaande dijk, zie figuur 2.2. (Alblasserwaard, situatie bij Streefkerk-West, dp 194 + 58 m). De genoemde verandering van doorlatendheid met de diepte is in deze schematisatie ingebracht.

De ligging van het grondwaterniveau is voor de berekening gesimuleerd door de betreffende stijghoogte aan de basis van het rekenraster aan te nemen; alsof daar een doorlatende laag aanwezig is waarin die druk bestaat.



Figuur 2.2: De schematisatie van het dijktalud dat in de simulaties is gebruikt. Het talud maakt een helling van 20° (= 1: 2.7) met de horizontaal.

K_{verz} is de doorlatendheid van het materiaal in verzadigde toestand van de verschillende lagen in m/s;
GWP = grondwaterpeil.

Uit de gegevens over extreme neerslag in Nederland die het KNMI op verzoek verstrekte (zie bijlage 3), blijkt dat 16 mm neerslag binnen een periode van een uur kan vallen tijdens intense buien. Uit andere bronnen [4] kan worden afgeleid dat een neerslag van gemiddeld 1 mm/uur gedurende langere tijd (meer dan 1 tot 2 weken) extreem is. De effecten van deze beide gegevens over extreme neerslag zijn daarom met de berekeningen nagegaan.

SWANFLOW (Simultaneous Water Air and Non-aquous plane FLOW) is een rekenprogramma dat in een 3-dimensionaal bodemsysteem de stroming simuleert van water (bodemvocht) en eventueel een niet met water mengbare fase (hier korthedshalve olie genoemd). Het bodemsysteem kan daarbij slechts gedeeltelijk verzadigd zijn.

De belangrijkste uitgangspunten van het programma zijn:

- luchtdruk in de poriën is constant en gelijk aan atmosferische druk
- viscositeit van olie en water is onafhankelijk van de druk
- dichtheid van olie en water is onafhankelijk van de druk
- relatieve doorlatendheid van water is een functie van de waterverzadigingsgraad
- relatieve doorlatendheid van olie is een functie van lucht- en waterverzadigingsgraad
- capillaire druk is een functie van waterverzadigingsgraad
- luchtverzadigingsgraad is een functie van oliedruk
- porositeit is een lineaire functie van druk
- stroming vindt plaats in een poreus medium
- Darcy stroming voor meerdere fasen is geldig
- intrinsieke doorlatendheid is een functie van de ruimte
- er is geen overdracht van massa tussen fase, de olie kan bijvoorbeeld niet in water oplossen of verdampen.

De fysische invoergegevens zijn:

- dichtheid van water (kg/m³)
- dichtheid van olie (kg/m³)
- dynamische viscositeit van water (kg/m³)
- dynamische viscositeit van olie (kg/m/s)

Gegevens die locatie-afhankelijk zijn, betreffen:

- doorlatendheid x-richting (m²)
- doorlatendheid y-richting (m²)
- doorlatendheid z-richting (m²)
- systeem compressibiliteit (ms²/kg)
- referentiedruk voor porositeit (Pa)
- referentieporositeit (-)
- initiële oliedruk (Pa)



- initiële waterverzadigingsgraad (-)
- bron/put sterkte (kg/s)
- relatie tussen capillaire druk en verzadigingsgraad
- relatie tussen relatieve doorlatendheid en verzadigingsgraad.

Bij de berekening is (wegens de toenemende gecompliceerdheid bij andere randvoorwaarden) ervan uitgegaan dat de zijranden van het model ondoorlatend zijn.

De uitgevoerde berekeningen welke de extreme neerslag simuleren zijn:

1. aanpassen van de waterspanning en verzadigingsgraad van veldcapaciteittoestand tot er onder invloed van neerslag van 1 mm/uur een stationaire toestand ontstaat (debiet onderzijde is gelijk debiet bovenzijde en er treden geen noemenswaardige veranderingen in waterspanning meer op)
2. neerslag van 16 mm binnen een periode van 1 uur (extreme bui), aansluitend aan 1
3. aanpassen van de waterspanning en verzadigingsgraad aan het oppervlak tot er onder invloed van neerslag van 1 mm/uur een stationaire toestand ontstaat, aansluitend aan 2.

Daarnaast zijn er nog enkele vervolgberekeningen gemaakt, waarmee de effecten op de bodemstructuur zijn onderzocht.

2.2.2 Resultaten

Intense neerslag kan het freatisch vlak in de dijk beïnvloeden. Door een geringe afname van de doorlatendheid in de toplaag van het talud kan zich water bij de teen van de dijk verzamelen. In de simulatie van een extreme bui (1 mm/uur gedurende meer dan 2 weken aaneen) stijgt het grondwater aanmerkelijk. De resultaten van de simulatie geven een stijging van meer dan 1 meter te zien, hetgeen echter mede het gevolg is van een als ondoorlatend gemodelleerde zijrand van het rekenmodel. Bovendien is de gesimuleerde neerslag hoger dan in werkelijkheid in Nederland ooit verwacht kan worden. Bij een doorlatende zijrand wordt geschat dat de verhoging onder dezelfde belastingsituaties circa 0,5 m bij de teen van de dijk zal zijn. Afstromen van neerslagwater over het oppervlak zou in de simulatie slechts voorkomen bij de teen als er nog een hogere neerslaghoeveelheid zou vallen. Bij de simulatie van zo'n hoge neerslag, 16 mm, gedurende een uur aansluitend op de twee weken neerslag van 1 mm/uur kwam het freatisch vlak enkele uren tot aan het maaiveld bij de teen.

Indien vervolgens weer aansluitend een constante neerslag van 1 mm/uur wordt gesimuleerd, is de grondwaterstand bij de teen binnen 1 dag weer op het niveau voorafgaand aan de simulatie van 16 mm gedurende 1 uur.

bladnummer : - 9 -
ons kenmerk: CO-280000/25
datum : maart 1990

Het freatisch vlak in de kruin blijkt niet toe te nemen bij de gesimuleerde neerslag van 1 mm/uur gedurende twee weken.
In de kruin neemt, bij de 16 mm neerslag simulatie gedurende een uur, het vochtgehalte in de onverzadigde zone met circa 2% toe tot 77%. Een deel van het vocht stroomt door de onverzadigde zone in het talud omhoog. Hierdoor neemt de grondwaterstand in de kruin bij deze extreme neerslag niet toe.

3. NADERE BESCHOUWING ONDERZOEKSRESULTATEN

Extreme neerslag

Uit het modelonderzoek blijkt dat na twee weken een evenwichtsituatie ten aanzien van de helling van het freatische vlak is bereikt bij een continue bui van 1 mm/uur; dit is 336 mm/2 weken. Bij deze door het KNMI gegeven neerslag is geen kans van voorkomen te koppelen. Door deze hoeveelheid te vergelijken met de via [4] verkregen hoeveelheid neerslag is enigszins een kans van voorkomen voor de 336 mm/2 weken te schatten. In het waterspanningsmeting onderzoek is gekozen voor een extreme neerslag van 155 mm/week (310 mm/2 weken) bij een kans van voorkomen van gemiddeld een keer per 4000 jaar. Hieruit kan globaal de conclusie worden getrokken dat de in beide onderzoeken gebruikte extreme neerslag dezelfde kans van voorkomen zou kunnen hebben.

Waterspanningsmeting onderzoek

Door de hoogte van het freatisch vlak onder de kruin alleen afhankelijk te stellen van de gemiddelde buitenwaterstand over een voorafgaande periode van 7 dagen, worden andere invloeden buiten beschouwing gelaten. Uit het modelonderzoek [2] is gebleken dat de hoogte van het freatisch vlak door een veelheid van factoren wordt bepaald. Dit betekent dat bij de bepaling van het aandeel van de neerslag op de verhoging van het freatisch vlak rekening met deze factoren zal moeten worden gehouden.

De aanname dat er een lineair verband zou bestaan tussen de neerslag en de verhoging van het freatisch vlak wordt in [1] al aanvechtbaar genoemd.

Wegens het beperkte aantal metingen was een betere benadering echter niet mogelijk.

Uit het modelonderzoek [2] blijkt dat de stijging van het freatisch vlak voor een groot deel wordt bepaald door de mate van afstroming van het grondwater in het talud. Dit betekent dat de lineaire extrapolatie zeer waarschijnlijk de werkelijkheid niet zal benaderen.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat het door extrapolatie van waterspanningsmetingen bepalen van de verhoging van het freatisch vlak bij extreme neerslag, zonder de processen in de onverzadigde zone in beschouwing te nemen, niet goed mogelijk is.

Modelonderzoek

Met de toegepaste schematisatie van het dijkprofiel met ondoorlatende zijranden is berekend dat zich grondwater bij extreme neerslag vooral in de teen van de dijk verzameld.

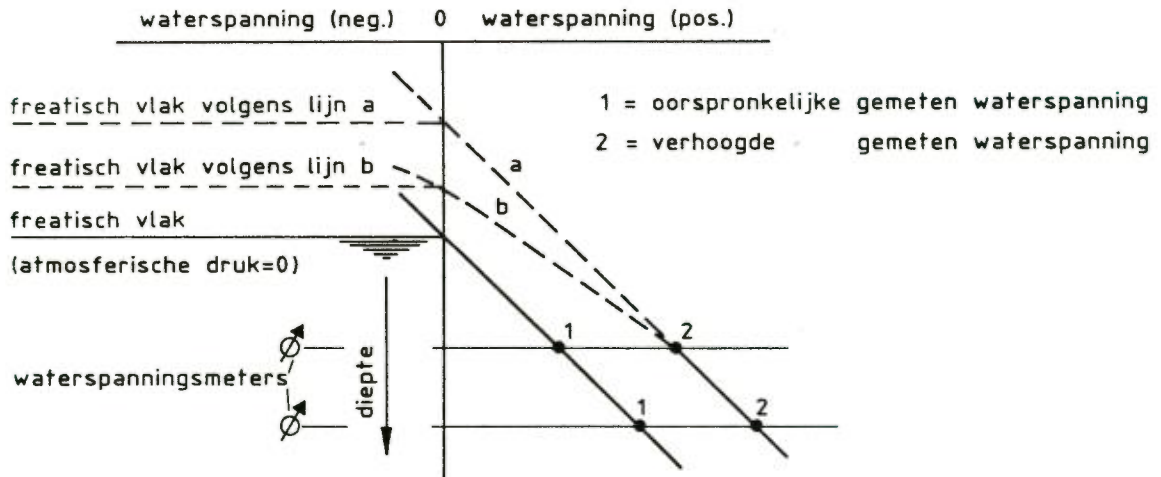
Het blijkt tevens met deze schematisatie dat in de kruin geen verhogingen van het freatisch vlak optreden. Wel neemt het vochtgehalte in

de onverzadigde zone toe met 2% tot 77%. De resultaten van het modelonderzoek geven enig inzicht in de berging en stroming door de onverzadigde zone bij extreme neerslag.

Dat geen verhogingen zijn berekend lijkt in tegenspraak met de meetresultaten van het waterspanningsmeting onderzoek, waar in de kruin aanzienlijke drukverhogingen in de bovenste waterspanningsmeters zijn vastgesteld.

Deze drukverhogingen zijn via lineaire extrapolatie vertaald naar verhogingen van het freatisch vlak (zie lijn a in figuur 3.1). Indien echter rondom het freatisch vlak ten gevolge van omhooggericht vochttransport er nog geen evenwicht is, kan het drukverloop volgens lijn b verlopen.

Uitgangspunt hierbij zijn de gemeten waterspanningsverhogingen uit het waterspanningsmeting onderzoek; in het modelonderzoek is de beïnvloeding van het grondwater door de neerslag niet gedetailleerd aan de orde gekomen.



Figuur 3.1. Waterdrukken rondom freatisch vlak

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De resultaten van beide onderzoeken sluiten niet op elkaar aan. Een aantal redenen hiervoor kunnen zijn:

- bij de lineaire extrapolatie in het waterspanningsmeting onderzoek wordt geen rekening gehouden met de berging en stroming in de onverzadigde zone en stroming in de verzadigde zone
- de nauwkeurigheid van het meetsysteem (Bourdonmeters) is te klein om een redelijk betrouwbare relatie te leggen tussen de gemiddelde buitenwaterstand over een voorafgaande neerslagloze periode van 7 dagen en de stand van het freatisch vlak ter hoogte van de binnenkruinlijn. Met andere woorden: de nultoestand voorafgaand aan de bewerking van de neerslaginvloed kan onvoldoende nauwkeurig worden vastgelegd. Dit kan betekenen dat de gemeten verhoging van het freatisch vlak ten gevolge van de neerslag te groot wordt ingeschat
- bij het vastleggen van de nultoestand wordt geen rekening gehouden met capillaire opstijging en verdamping in de beschouwde neerslagloze periode van 7 dagen
- de aannames in het modelonderzoek komen niet geheel overeen met de in situ aanwezige variabelen.

In het modelonderzoek zijn een aantal aannames gedaan zoals:

- vochtkarakteristieken van de klei zijn gekozen
- de kleilaag reikt tot in het grondwater
- snelheid van verandering van zuigspanningen is opgelegd
- intensiteit van neerslag is gekozen
- geometrie van het gemodelleerde dijktalud.

Teneinde het inzicht in de gevoeligheid voor de genoemde variabelen te verbeteren, is het aan te bevelen de gevoeligheid van de gesimuleerde invloeden voor veranderingen van de variabelen na te gaan.

Omdat in de stabiliteitsberekeningen primair de invloed van de korrelspanningsafname ten gevolge van de waterspanningstoename van belang is, is het aan te bevelen na te gaan welke processen de drukveranderingen beneden het freatisch vlak beïnvloeden.

Hierbij wordt gedacht aan de processen die zich afspelen in de onverzadigde zone, de capillaire (verzadigde) zone en de zone beneden het freatisch vlak. In een eerste fase kunnen in een geconditioneerde omgeving (laboratoriumonderzoek) waterspanningsmetingen worden uitgevoerd. Met het programma SWANFLO kunnen deze gemeten processen worden gesimuleerd en geïkt, zodat in combinatie met het gevoeligheidsonderzoek een theoretisch betrouwbare voorspelling naar de effecten van extreme neerslag in een dijk is te maken.

Vervolgens kunnen in een tweede fase nauwkeurige waterspanningsmetingen boven en onder het freatisch vlak in de dijk worden uitgevoerd.

bladnummer : - 13 -
ons kenmerk: CO-280000/25
datum : maart 1990



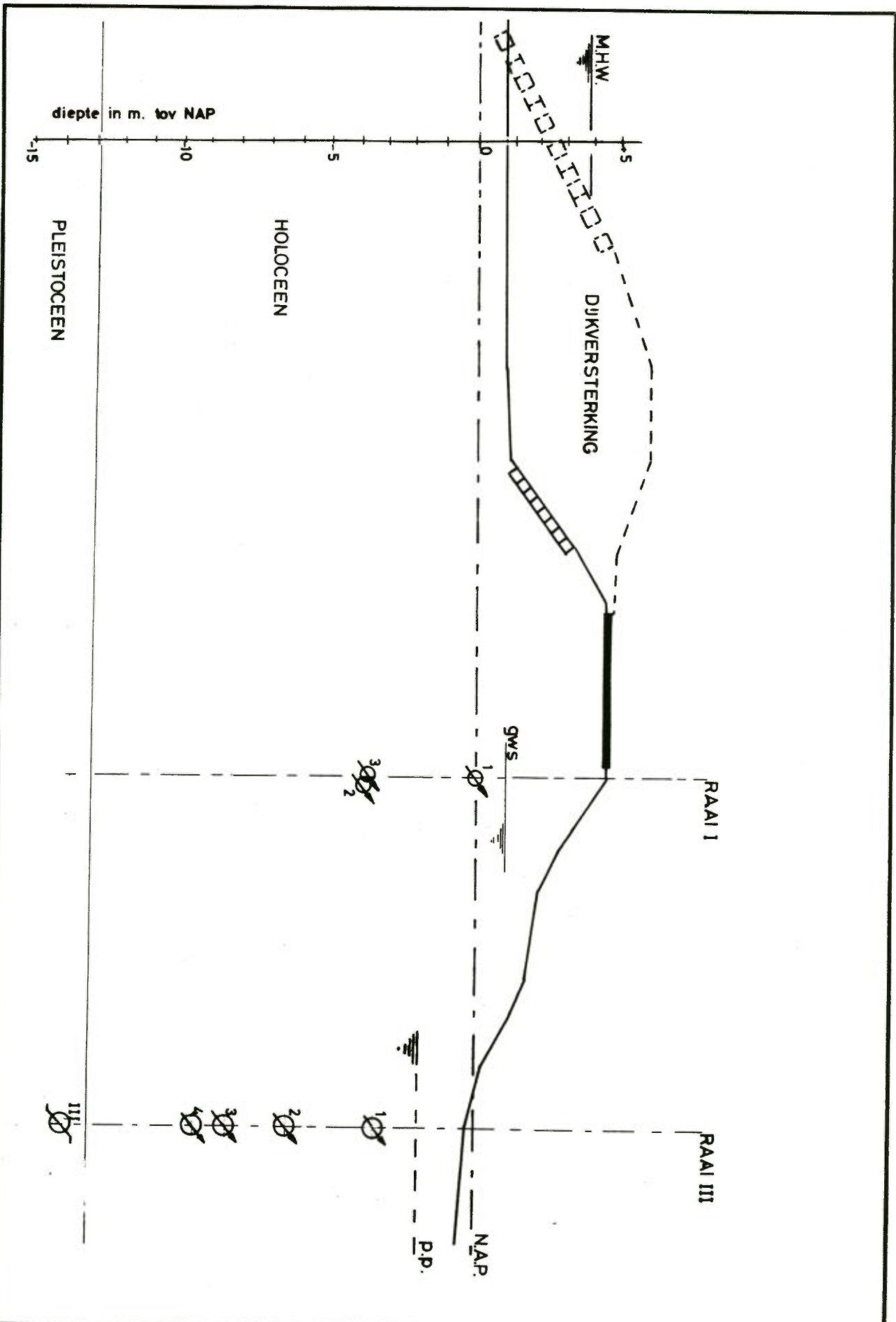
GRONDMECHANICA
DELFT

Vooruitlopende op de resultaten van het in dit rapport beschreven waterspanningsmetingonderzoek is reeds in 1975 besloten voor de extreme neerslagsituatie een verhoging van het freatisch vlak onder de kruin van 0,8 m aan te houden. In [3] worden verhogingen tussen 0,5 en 1,0 m genoemd.

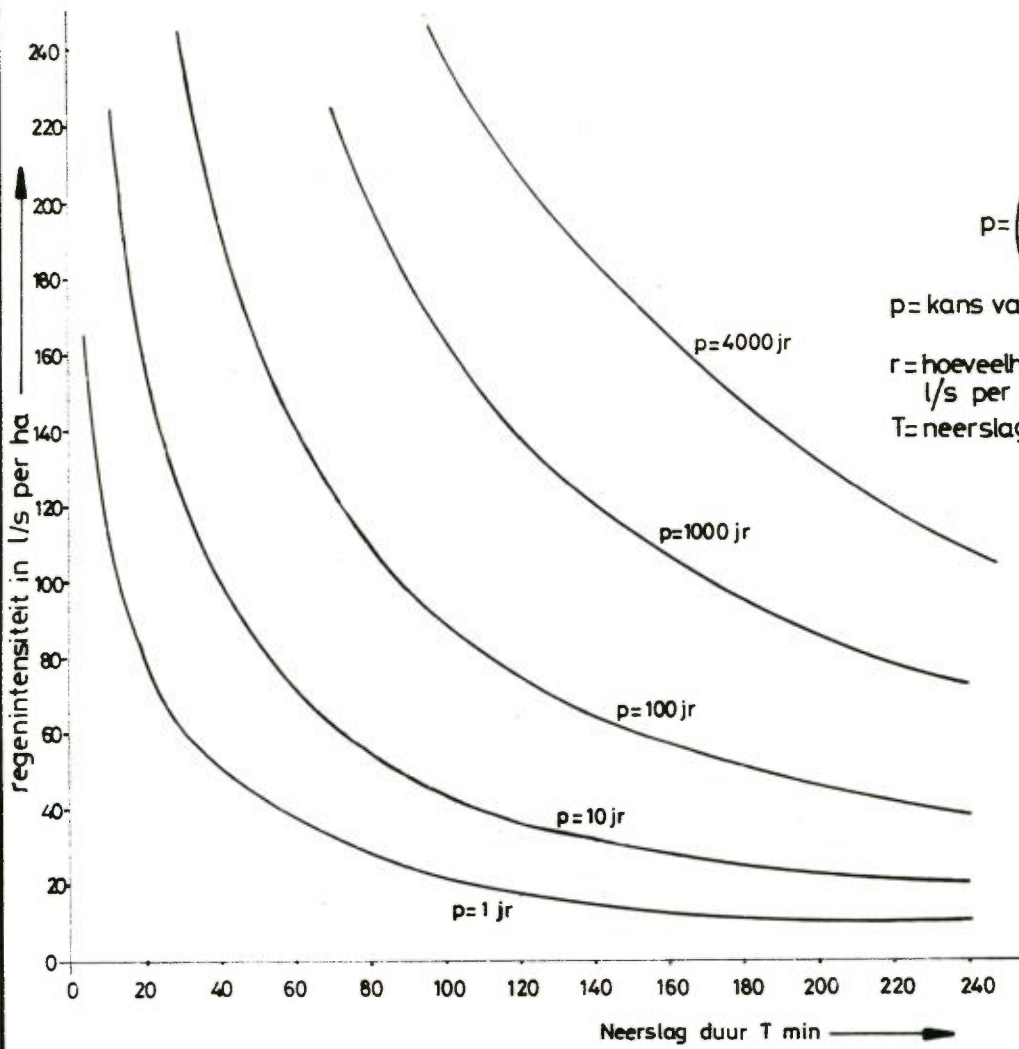
LITERATUUR

1. GD 1980: onderzoek naar de invloed van neerslag op de freatische lijn in de dijk van de Alblasserwaard. Rapport CF-4654, Grondmechanica Delft, Delft, 20pp
2. GD 1989: simulatie van watergehalteveranderingen en structuurvorming in een kleilaag op een dijk onder invloed van het weer. Rapport CO-275927, Grondmechanica Delft, Delft, 50pp.
3. TAW 1989: leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenriviereengebied, 126pp.
4. Oostwoud Wijdenes, J.M.J.W. 1941: de specifieke neerslagintensiteit voor Nederland. Publieke Werken Amsterdam, pp 145.
5. GD 1987. Onderzoek van kleibekledingen van dijken aan zout en brak water in Friesland, Zuid-Holland en Zeeland, voor het ontwikkelen van keuringseisen voor klei. Rapport CO-275923/29, Grondmechanica Delft, Delft, 79pp.

**Bijlagen
1 , 2 en 3**



 GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	d.d.	get.	
			ONDERZOEK NEERSLAG FREATISCH VLAK PLAATS WATERSPANNINGSMETERS		gez.
			CO- 280000	form	
Dp 187 +75m	BIJL. 1	A4			



Appendix A

APPENDIX A

Opmerkingen over onverzadigde stroming

In onverzadigde grond is het watergehalte afhankelijk van de heersende waterspanning en van de mogelijkheden van aan- en afvoer van water. De aan- en afvoer van water in onverzadigde grond kan plaatsvinden door respectievelijk:

- verzadigde stroming door verzadigde porieruimte, onder andere in een waterfilm langs het vaste stofoppervlak
- diffusietransport langs het vaste stofoppervlak
- diffusie van water (moleculen) door met gas gevulde porieruimte.

Watertransport in grond zal plaatsvinden indien er verschillen in potentiële energie optreden. De potentiële energie van water in grond is opgebouwd uit:

- zwaartekracht
- externe belasting die middels korrels op het water wordt uitgeoefend
- interactie tussen stofoppervlak en oppervlaktespanning van het water in de grond (capillaire potentiaal)
- aantrekken van water door erin opgeloste stoffen (osmotische potentiaal)
- aantrekken of afstoten van water door het vaste stofoppervlak (vergelijk osmotische potentiaal)
- activiteit van water (temperatuur, zowel van de vloeibare fase als van de gasfase).

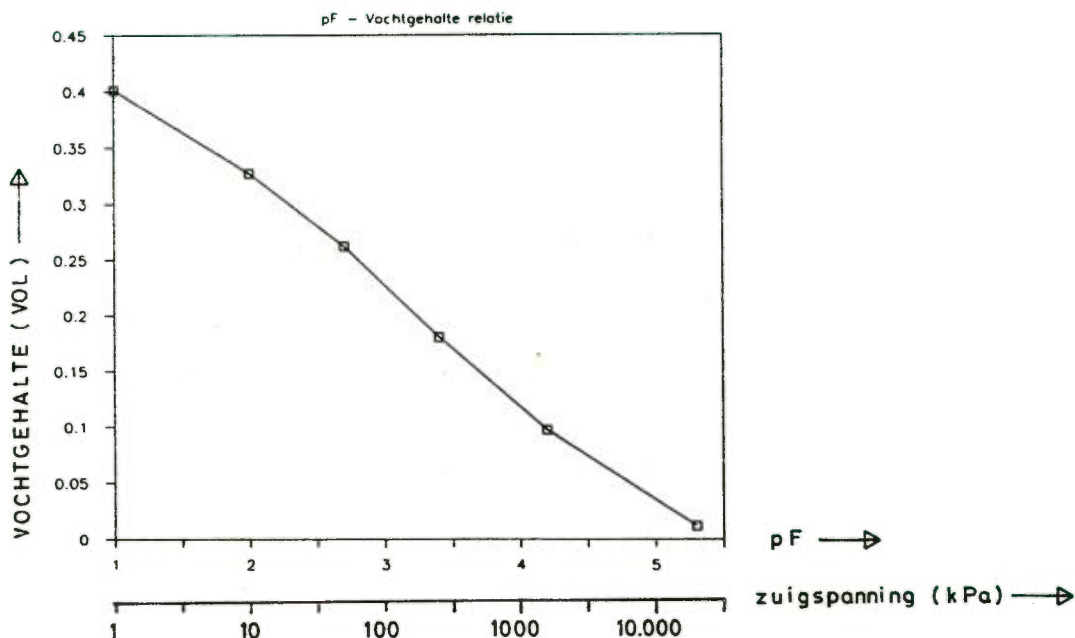
Verzadigde stroming in de grond zal veelal onder invloed van zwaartekracht en door capillaire werking plaatsvinden.

Diffusietransport zal het gevolg zijn van verschillen in osmotische waarde door bijvoorbeeld verschillen in zoutgehalte, verschillen in adsorptie van water aan de vaste stof door temperatuursverschillen in de grond. In deze gevallen zal water van grond met lagere naar grond met hogere zoutconcentraties gaan en van grond met hogere temperatuur naar grond met lagere temperatuur.

Externe factoren kunnen verschillen in potentialen veroorzaken en beïnvloeden de beschikbaarheid van water. Zo beïnvloedt de relatieve luchtvochtigheid boven de grond het watergehalte van de grond. Evenzo verhoogt een regenbui de beschikbaarheid van water in de grotere porieruimten en verhoogt de potentiële energie ervan. En zo kan er door verwarming van de bovengrond transport van water naar dieper gelegen, koudere lagen optreden.

In grond speelt de aantrekkende en afstotende werking tussen respectievelijk water, de daarin opgeloste stoffen en de vaste stoffen een belangrijke rol. Het watergehalte van een bepaald volume grond bij een bepaalde potentiaal hangt af van de complexe interactie tussen deze verschillende factoren. Evenzo hangt het watergehalte af van de mogelijkheden van watertransport door de grond die mede afhankelijk zijn van de opbouw van de grond.

In de praktijk van onderzoek naar watergehalte van in onverzadigde grond wordt gebruik gemaakt van zogenaamde pF- curves of zuigspanningscurves. In dergelijke curves wordt het watergehalte van een grondmonster bij een bepaalde opgelegde negatieve waterspanning, zuigspanning, uitgezet tegen die waterspanning. De zuigspanning wordt in die grafieken als de logaritme van de spanning in centimeters waterkolom uitgezet als de zogenaamde pF-waarde. Met de pF- curve van een bepaalde grond kan de zuigspanning die op een locatie onder gegeven omstandigheden (seizoen, diepteligging en dergelijke) optreedt nagegaan worden. De zuigspanning wordt dan afgeleid door het watergehalte van de grond te meten en met de pF- curve de daarmee overeenkomende zuigspanning van die grond te bepalen.



De doorlatendheid in onverzadigde toestand is sterk afhankelijk van het watergehalte en de verzadigingsgraad van de grond. De relatie tussen watergehalte (θ) en onverzadigde doorlatendheid (k) wordt bepaald door materiaalkarakteristieken zoals porievorm- en poriegrootteverdeling, grootte van het vaste stofoppervlak van de grond en adsorptie-eigenschappen van het vaste stofoppervlak voor water. Deze relatie wordt eveneens veelal in de vorm van k - θ curves gepresenteerd.

De bepaling van de onverzadigde doorlatendheid is een tijdrovende en complexe aangelegenheid. Meestal wordt de doorlatendheid afgeleid uit infiltratie- of evaporatiekarakteristieken van grond; bijvoorbeeld door herhaaldelijk watergehalte- en zuigspanningsprofielen te bepalen tijdens een infiltratie- of evaporatieproef (in situ, of van monsters). Vanwege deze beperkende omstandigheden die de bepaling met zich meebrengt wordt vaak gebruik gemaakt van een verzameling van k - θ -relaties die voor een groot aantal Nederlandse gronden zijn bepaald. In het modelonderzoek (hoofdstuk 2.2) is van deze gepubliceerde relaties gebruik gemaakt.

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon 015-693500
Telex 38234 soil nl
Telefax 015-610821

