

Interne notitie
Vergelijking grondwaterstromings-
modellen t.b.v. S-80.055

A.M. Cappendijk-de Bok
Juli 1983

Bijlagenlijst S-80.055

Bijlage nr.	Onderwerp	form./tek.nr.
1	Potentiaalverloop onder dijk en kleilaag volgens de verschillende berekenings- en meetmethoden.	A3/83.059
2A	Invloed dichte zandpakket op potentiaalverloop onder dijk en kleilaag volgens de analytische oplossingsmethode.	A3/83.060
2B	Invloed dichte zandpakket op potentiaalverloop onder dijk en kleilaag volgens programma MOTGRO 10.	A3/83.061
2C	Invloed dikte zandpakket op potentiaalverloop onder dijk en kleilaag volgens programma MOTGRO 11.	A3/83.062
3A	Invloed verhouding doorlatendheid van zand en klei op potentiaalverloop onder dijk en kleilaag volgens de analytische oplossingsmethode.	A3/83.063
3B	Invloed verhouding doorlatendheid van zand en klei op potentiaalverloop onder dijk en kleilaag volgens Teledeltos-meting.	A3/83.064
4	Relatie: ϕ -lengte kleilaag voorland voor de analytische oplossingsmethode.	A3/83.065
5	Overzicht diverse invoergegevens.	A3/83.066

<u>Inhoud</u>	<u>Blz.</u>
I. Inleiding	1
II. Probleemstelling	2
III. Potentiaalverloop onder een dijk met een afdekkende kleilaag buitendijks.	4
III.1.1. Schematisering van het dijkprofiel	4
III.1.2. Basisgegevens	4
III.1.3. Randvoorwaarden	4
III.2.1. Computerprogramma's MOTGRO 10, MOTGRO 11	5
III.2.2. Computerprogramma SOFIA 102	5
III.2.3. ELNAG-meting	7
III.2.4. Analytische oplossing	7
IV. Berekeningsresultaten en conclusies	10
V. Parameteronderzoek	12
VI. De invloed van de lengte van de kleilaag in het voorland op de potentiaal onder dijk en kleilaag volgens de analytische oplossingsmethode.	13

I. Inleiding

In deze notitie worden de resultaten van een aantal grondwaterstromingsberekeningen en -metingen onderling vergeleken.

Er zijn berekeningen uitgevoerd met behulp van de computerprogramma's SOFIA*, MOTGRO 10 en MOTGRO 11. Er zijn berekeningen gemaakt met behulp van een analytische oplossingsmethode.

Hiervoor is een rekenprogramma beschikbaar op de HP 67/97. Er is een meting verricht met "de ELNAG", het elektrisch netwerkanalogon van de Deltadienst. Verder zijn de resultaten van een reeds eerder uitgevoerde meting met behulp van het Teledeltos-model in de vergelijking meegenomen (zie rapport S-75.072).

* In deze notitie wordt met SOFIA bedoeld SOFIA 102.

II. Probleemstelling

De berekeningen en metingen zijn uitgevoerd naar aanleiding van de vraag vanuit werkgroep 9b "Rivierdijkontwerpen", of er een eenvoudige methode is om het potentiaalverloop onder een dijk en binnenberm te bepalen bij een afdekkende kleilaag binnen- en buitendijks.

Voor de oplossing van dit probleem is uitgegaan van een geschematiseerd dijkprofiel zoals weergegeven in fig. 1.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat ervan is uitgegaan dat dijk en binnenberm geheel ondoorlatend zijn en dat binnendijks de zgn. grenspotentiaal heerst (d.w.z. dat de afdekkende laag drijft, m.a.w. dat de waterdruk tegen de onderzijde van de laag gelijk is aan het gewicht van de afdekkende laag).

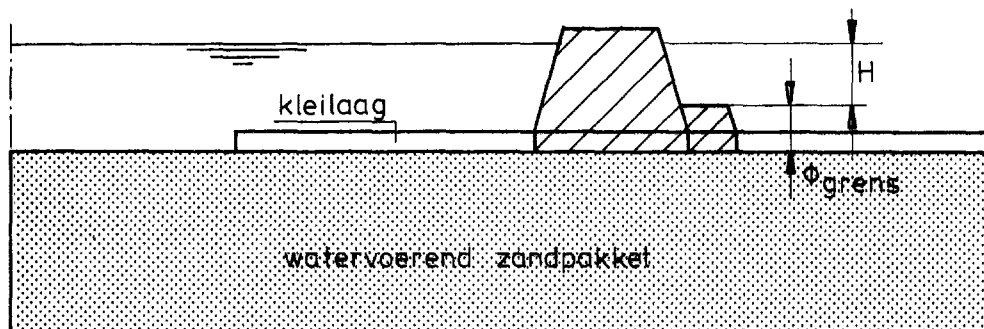


fig. 1 geschematiseerd dijkprofiel

In de berekeningen en metingen is dit als volgt verwerkt. Binnendijks is een potentiaal opgelegd gelijk aan maaiveldhoogte en buitendijks is een potentiaal gelijk aan het verschil tussen rivierstand en grenspotentiaal opgelegd, zie fig. 2.

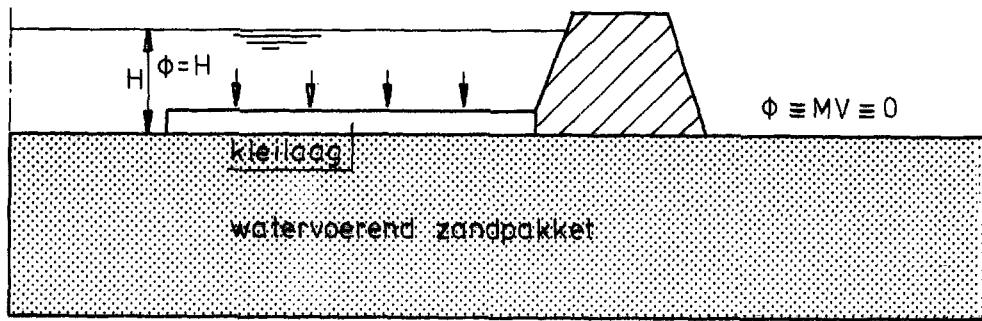


fig. 2 geschematiseerd model voor berekeningen en metingen.

Het probleem is zo teruggebracht tot de vraag hoe het potentiaalverloop onder een ondoorlatende dijk is met een afdekkende kleilaag buitendijks.

III. Potentiaalverloop onder een dijk met een afdekkende kleilaag buitendijks

III.1.1. Schematisering van het dijkprofiel

Voor de berekeningen van het potentiaalbeeld onder de dijk en de kleilaag is uitgegaan van een configuratie zoals in fig. 3 is weergegeven met uitzondering voor het programma SOFIA.

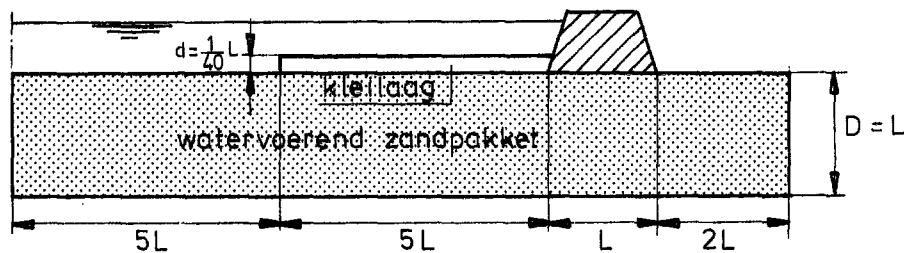


fig. 3 configuratie van het invoermodel.

Voor het programma SOFIA is de lengte van het totale voorland gelijk aan $7\frac{1}{2}L$ waarvan $5L$ kleilaag. Het achterland heeft een lengte van $2\frac{1}{2}L$.

III.1.2. Basisgegevens

De dijk en onderzijde van het watervoerend pakket zijn ondoorlatend. Het watervoerend pakket is homogeen en isotroop verondersteld. De doorlatendheid van de klei is 10^{-3} maal de doorlatendheid van het zand. Verder zijn de aannamen gedaan dat er horizontale stroming is in het zandpakket en verticale stroming in de kleilaag.

III.1.3. Randvoorwaarden

Buitendijks is een constante waterhoogte verondersteld gelijk aan H . H is het verschil waterstand buiten en maaiveldhoogte binnendijks. Binnendijks is een constante waterhoogte gelijk aan maaiveldhoogte verondersteld.

III.2.1. Computerprogramma's MOTGRO 10, MOTGRO 11

Voor de programma's MOTGRO 10 en 11 is het dijkprofiel geschematiseerd tot 1 gebied, zie fig. 4.

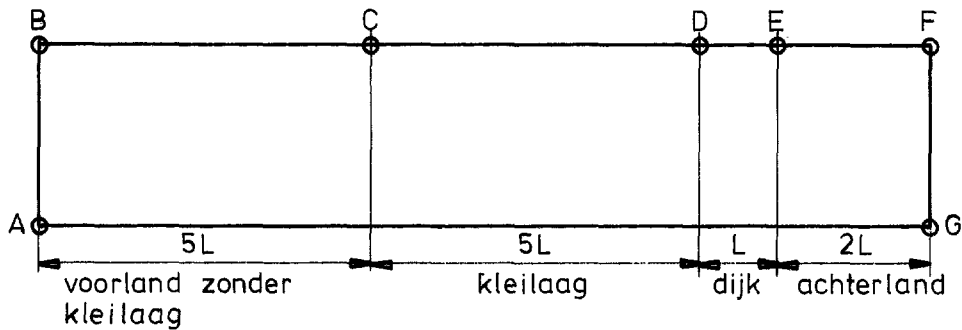


fig. 4 invoerconfiguratie voor MOTGRO.

Voor de randen zijn de volgende gegevens ingevoerd:

- AB, BC potentiaallijn met opgelegde stijghoogte ϕ_1
- CO (kleilaag) potentiaallijn met opgelegde stijghoogte ϕ_1
en weerstand d/k_{klei} .
- DE stroomlijn.
- EF, FG potentiaallijn met opgelegde stijghoogte ϕ_2 .
- AG stroomlijn.

Verder is $\phi_1 = 20$ en $\phi_2 = 10$ gekozen. Voor de doorlatendheid van het zand is 10^{-3} m/s (86,4 m/etm.) genomen. De weerstand d/k_{klei} van de kleilaag is diensgevolge 11,57 dagen bij de keuze voor $L = 40$ m.

III.2.2. Computerprogramma SOFIA

Voor het programma SOFIA is een afwijkend model ingevoerd zoals reeds in III.1.1. vermeld is.

De ingevoerde basisgegevens en randvoorwaarden zijn echter gelijk aan die van de andere programma's.

Het model dat ingevoerd is, is gegeven in fig. 5a.

Voor de invoer van een programma is een netwerk van drie hoeken vereist. Hiertoe is het zandpakket verdeeld in 4 blokken zoals gegeven in fig. 5b. In ieder blok is volgens hetzelfde principe een netwerkverdeling aangebracht. Het principe van die verdeling is in fig. 5c in beeld gebracht. Voor de kleilaag is een ander netwerk gebruikt, zie fig. 5d.

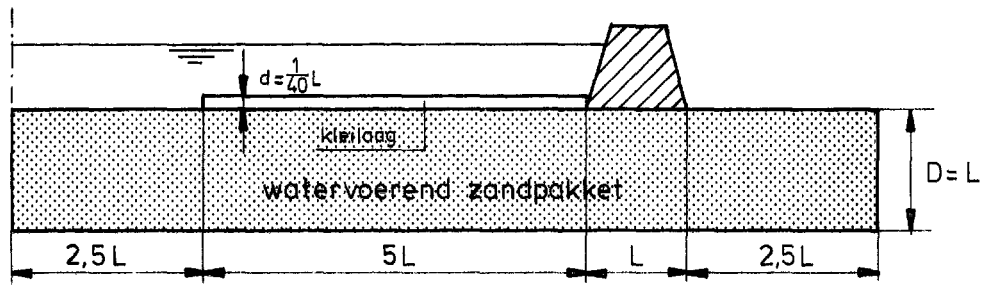


fig. 5a configuratie van het invoermodel voor SOFIA.

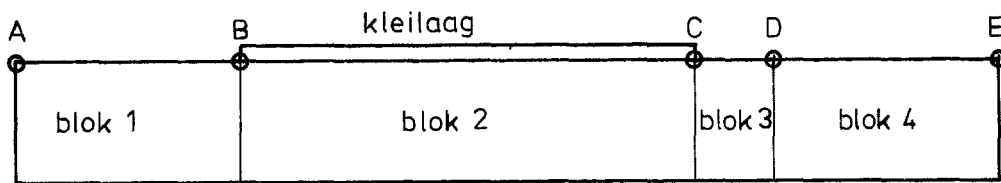


fig. 5b verdeling in blokken.

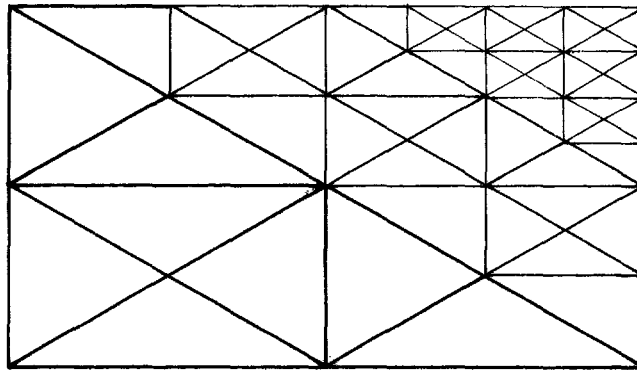


fig. 5c netwerkverdeling in een blok; voorbeeld van twee verfijningen.

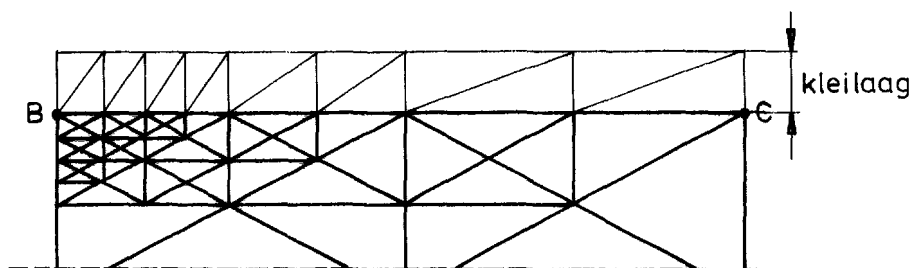


fig. 5d netwerkverdeling kleilaag.

Voor blok 1 en 3 is een verfijning naar de rechterbovenhoek aangebracht en voor blok 2 en 4 naar de linkerbovenhoek. Door de manier van driehoekverdeling zijn de afmetingen van de driehoeken nogal verschillend voor de blokken afzonderlijk.

III.2.3. ELNAG-meting

Voor de meting met ELNAG is het dijkprofiel verdeeld in 59 vakken in horizontale richting van het model en in 11 vakken, resp. in 12 vakken ter plaatse van de kleilaag in verticale richting van het model. Bij de overgang in het voorland van zandpakket naar kleilaag, van kleilaag naar dijk en van dijk naar achterland is in de vakverdeling in horizontale richting een verfijning aangebracht. Afhankelijk van de doorlatendheid van zand en klei en afhankelijk van de afmetingen van de rechthoek zijn de horizontale en verticale weerstanden berekend. Ook hier zijn de statische randvoorwaarden ϕ_1 en ϕ_2 buiten- en binnendijs opgelegd.

III.2.4. Analytische oplossing

Er is een analytische oplossing gevonden voor de bepaling van de potentiaal onder kleilaag en dijk. Hiertoe is de dijk met voorland geschematiseerd tot een model zoals gegeven in fig. 6.

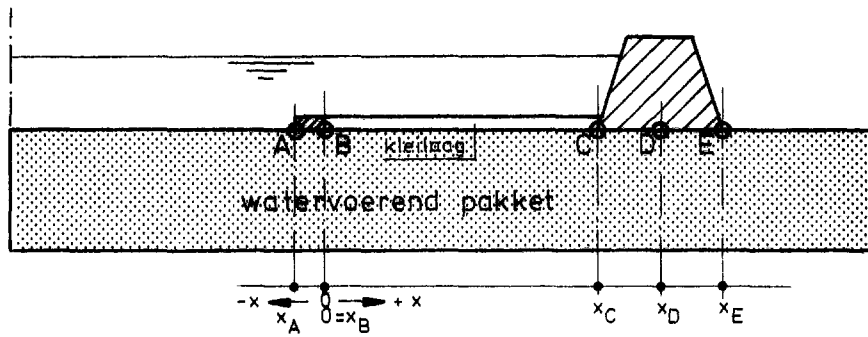


fig. 6 model voor de analytische oplossing.

AE is verdeeld in vieren, AB, BC, CD en DE met $AB = 0,1 \cdot AC$, $CD = DE = \frac{1}{2}$ dijkbasis. Voor ieder gedeelte afzonderlijk is een analytische oplossing bekend. Er gelden de volgende randvoorwaarden: $\phi(x_A) = \phi_1$; $\phi(x_E) = \phi_2$. Uit deze twee randvoorwaarden en uit de eis dat $\phi(x)$ continu is in $x = x_B$, in $x = x_C$ en in $x = x_D$ volgens de ϕ -waarden ϕ_B , ϕ_C en ϕ_D uit de afzonderlijke oplossingen $\phi(x)$.

Om intreeverlies te simuleren is aangenomen dat de kleilaag over het gedeelte AB ondoorlatend is.

Voor AB en DE wordt de potentiaal gegeven naar analogie van de oplossing:

$$\phi(x) = \phi_0 \left\{ \frac{\operatorname{arcch} \left[\exp \frac{\pi x}{2D} \right]}{\operatorname{arcch} \left[\exp \frac{\pi l}{2D} \right]} \right\} \quad \text{van Verruijt. Voor}$$

$$\text{AB geldt dan } \phi(x) = \phi_1 - (\phi_1 - \phi_B) \left\{ \frac{\operatorname{arcch} \left[\exp \frac{\pi(x-x_A)}{2D} \right]}{\operatorname{arcch} \left[\exp \frac{\pi(x_B-x_A)}{2D} \right]} \right\} \quad \text{en voor}$$

$$\text{DE geldt } \phi(x) = \phi_D \left\{ \frac{\operatorname{arcch} \left[\exp \frac{\pi(x_E-x)}{2D} \right]}{\operatorname{arcch} \left[\exp \frac{\pi(x_E-x_D)}{2D} \right]} \right\}$$

Voor het gedeelte BC wordt $\phi(x)$ gegeven door de oplossing van de differentiaalvergelijking $\lambda^2 \frac{d^2 \phi}{dx^2} - (\phi_C - \phi_B) = 0$ met

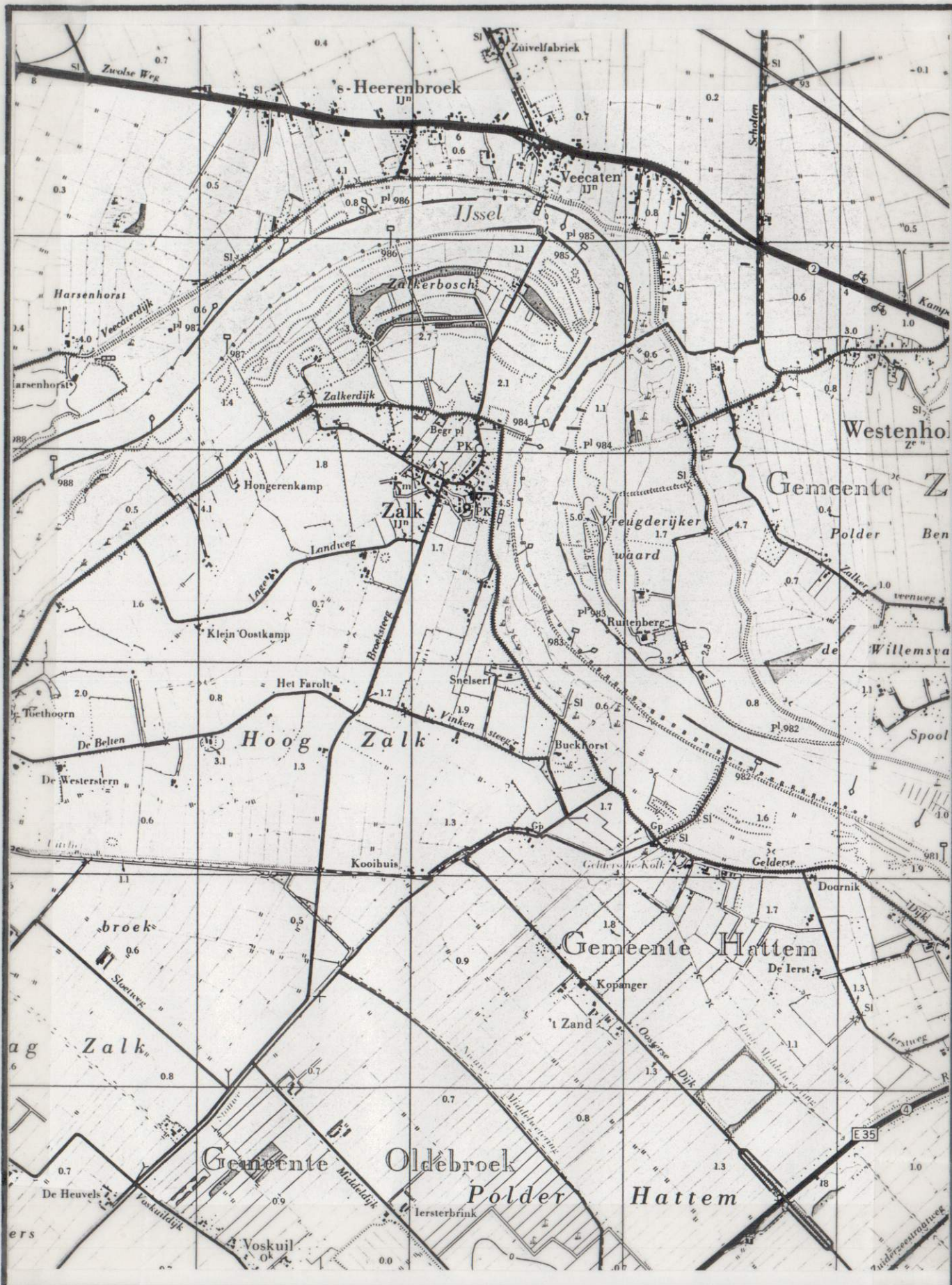
$\lambda = \sqrt{k \cdot D \cdot c}$.

Voor BC geldt aldus $\phi(x) = \phi_B - (\phi_C - \phi_B) \cdot \left\{ \frac{\sinh x/\lambda}{\sinh x_C/\lambda} \right\}$.

Verder is aangenomen dat het potentiaalverloop onder de dijk ter plaatse van CD lineair is. Daar geldt dus

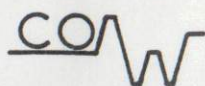
$$\phi(x) = \phi_C - \left(\frac{\phi_C - \phi_D}{x_C - x_D} \right) \cdot (x_C - x).$$

Voor deze berekeningsmethode is een programma beschikbaar op de HP 97/HP 67.



huidige situatie (1974)

Zalk



Centrum voor Onderzoek Waterkeringen

get	gew	gez
<i>val</i>		

Schaal 1:25.000

Bijlage 3

werknr S-80.056

tek nr A4-81.018

vergelijkingsmateriaal aanwezig zijn om de resultaten van deze berekeningen te kunnen toetsen.

De resultaten van berekeningen volgens de analytische oplossingsmethode zijn éénduidig. Er is duidelijkheid over de invoer.

V. Parameteronderzoek

Er is enig onderzoek gedaan naar het potentiaalgedrag onder dijk en kleilaag bij verandering van enige invoerparameters.

De dikte van het watervoerend zandpakket is gevarieerd van 0,5 L tot 1,5 L. Op bijlage 2A t/m 2C worden de resultaten gegeven volgens de verschillende oplossingsmethoden.

De invloed van verandering in de doorlatendheidsverhouding van klei en zand op de potentiaal is gegeven op bijlage 3A en 3B. De doorlatendheidsverhouding is gevarieerd van 10^{-2} tot 10^{-4} .

VI. De invloed van de lengte van de kleilaag in het voorland op de potentiaal onder dijk en kleilaag volgens de analytische oplossingsmethode

In de grafiek op bijlage 4 wordt een beeld gegeven van de relatie tussen de lengte van de kleilaag en de potentiaal op drie plaatsen onder dijk en kleilaag:

$\phi_0 = \phi$ ter plaatse van 0,9 nL uit de teen van de dijk;

$\phi_1 = \phi$ ter plaatse van de buitenteen.

$\phi_2 = \phi$ onder het midden van de dijk.

Ter vergelijking zijn de overeenkomstige ϕ 's uit de teledeltosmeting ook hierin aangegeven.

De analytische oplossing is geldig voor $0 < n \leq 50$.

Voor $n=0$ geldt de oplossing van Verruijt. De waarde $n=50$ is een "praktijkwaarde" (een $n = 50$ geeft n.l. voor $L = 40$ m een kleilaag ter lengte van 2 km).

Uit de grafiek blijkt dat voor $n > 12$ de waarden van ϕ_1 en ϕ_2 nauwelijks meer veranderen.

In vergelijking met de resultaten van de teledeltosmeting is het intreeverlies volgens de analytische oplossing geringer voor kleine n . Voor $n=0$ moet echter gelden $\phi_0 = 10$ waaruit geconcludeerd kan worden dat de teledeltosmeting voor kleine n een te lage ϕ_0 geeft.

Voor $n \rightarrow 0$ geldt volgens de analytische oplossing dat $\phi_2 \rightarrow 6,17$. Er zou echter moeten gelden dat $\phi_2 \rightarrow 5$ (Verruijt).

Voor kleine n geeft de analytische oplossing dus te hoge (?) ϕ -waarden in het gebied middendijk tot binnenteen.