

Nogmaals over: Evenwicht van zandtaluds bij voorraadkanalen en bij spaarbekkens in het algemeen

Inleiding

Onder de bovengenoemde titel publiceerde ir. K. D. Venhuizen in nr. 13 van ons tijdschrift de Amsterdamse ervaringen op dit gebied en de inzichten die zich daarbij hebben ontwikkeld. Ik heb dit artikel met veel belangstelling en waardering gelezen en wil ir. Venhuizen gaarne mijn compliment maken voor de heldere wijze waarop hij dit moeilijke probleem heeft behandeld. Ten aanzien van enkele aspecten kan ik mij echter niet geheel met zijn opvattingen verenigen. Gezien het belang van dit onderwerp voor de lezers van ons tijdschrift wil ik de belangrijkste verschilpunten aan een nadere beschouwing onderwerpen. Zoveel mogelijk is hierbij het artikel van ir. Venhuizen op de voet gevolgd en is ook van dezelfde notaties gebruik gemaakt.

Verhang bij kanaaloever

Het verhang van de grondwaterspiegel bij de kanaaloever, $tg \beta$ in afb. 3, is op blz. 308 berekend met formule (10) als uitkomst. De gevolgde methode is echter nogal gecompliceerd en voor niet-ingewijde lezers moeilijk te volgen. Het kan echter ook veel eenvoudiger:

$$\text{Darcy} \quad q_0 = kH \cdot tg \beta \quad \text{met}$$

$$\text{volgens (3)} \quad q_0 = \frac{\mu \sqrt{\pi}}{2\alpha} \cdot \sqrt{\mu kH} \cdot \sqrt{t} \quad \text{en}$$

$$\text{volgens (1)} \quad s_0 = \alpha \cdot t$$

Eliminatie van q_0 en t uit deze drie vergelijkingen geeft

$$tg \beta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{\mu}{kH}} \cdot \sqrt{\alpha s_0} = 1,1284 \frac{\mu \sqrt{\alpha s_0}}{\sqrt{\mu kH}}$$

Evenwicht van zandtaluds

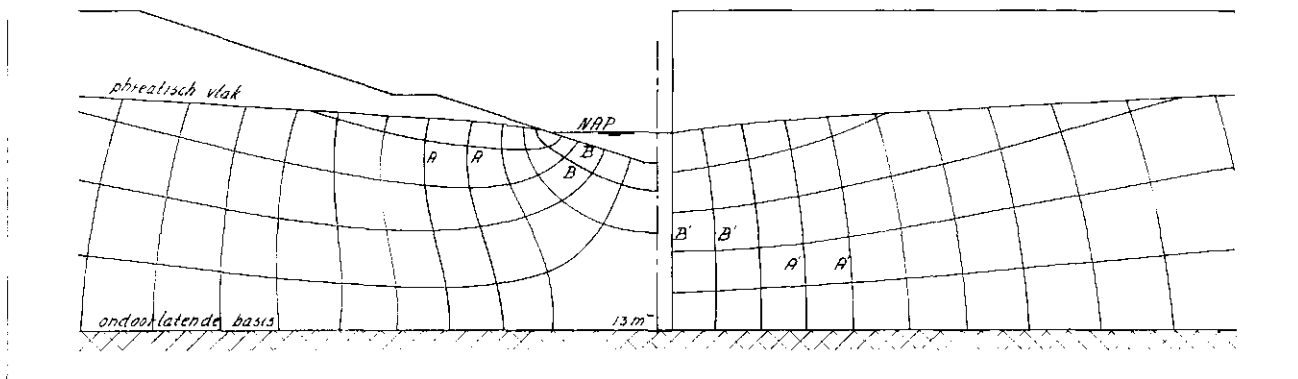
Het evenwicht van het in afb. 5 getekende zandtalud wordt door ir. Venhuizen berekend uitgaande van een

aantal — soms stilzwijgend gemaakte — onderstellingen. In het bijzonder heb ik bezwaar tegen de aannamen dat:

1. de uitstroming van grondwater gelijkmatig over de natte omtrek van het kanaal verdeeld is;
2. ter plaatse van de uitstroming in het kanaal het verhang gelijk is aan de waarde van $tg \beta$ volgens formule (10);
3. de stromingsdruk horizontaal is gericht.

Om deze onderstellingen te verifiëren is in bijgaande fig. 1 voor een isotrope ondergrond het vierkantennet van stroom- en equipotentiaallijnen op het einde van de periode van peilverlaging getekend en wel aan de rechterzijde voor een kanaal dat met verticale wand de volle hoogte van het watervoerende pakket doorsnijdt (vergelijk afb. 3, blz. 308) en aan de linkerzijde voor het kanaalprofiel dat in werkelijkheid in de Amsterdamse duinwaterwinplaats aanwezig is (vergelijk afb. 7, blz. 310). Voor het eerstgenoemde kanaal zijn alle bovengenoemde onderstellingen zeer goede benaderingen. Voor het werkelijke kanaalprofiel is dit echter in genen dele het geval. In een vierkantennet zijn verhang en stroomsnelheid omgekeerd evenredig met de lengten van de vierkantszijden en hiermede blijkt reeds direct uit fig. 1 dat nabij de waterspiegel de snelheid van uitstromen veel groter is dan nabij de kanaalbodem. Het verhang $tg \beta$ van formule (10) is omgekeerd evenredig met de lengte A—A, doch het verhang ter plaatse van de uitstroming in het kanaal is omgekeerd evenredig met de lengte B—B en dus aanzienlijk groter dan met de waarde van $tg \beta$ overeenkomt. De uitstroming van het grondwater tenslotte geschiedt loodrecht op het kanaaltalud als equipotentiaallijn. Ten aanzien van het laatste punt moet echter nog worden opgemerkt, dat dit alleen geldt voor de in fig 1 onderstelde isotrope ondergrond, terwijl ir. Venhuizen bovenaan de rechterkolom van blz. 309 een horizontale gelaagdheid onderstelt en zijn aanname omtrent een

Fig. 1 - Vierkantennet bij isotrope ondergrond.



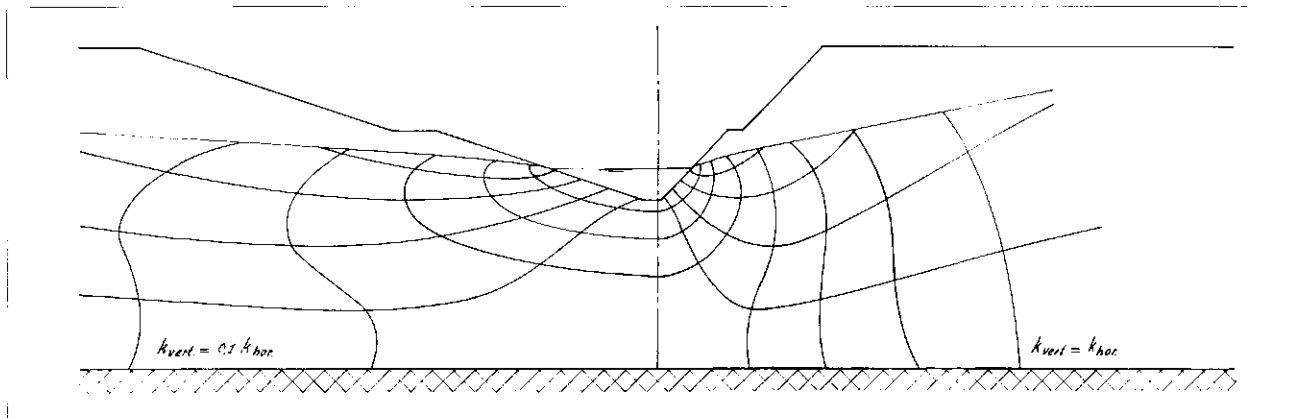


Fig. 2 - Vierkantennet bij anisotrope ondergrond.

horizontaal gerichte stromingsdruk voorts motiveert met verwijzing naar het niet-stationair karakter van de onderhavige stroming. Met het laatste argument ben ik het geheel niet eens, met het eerste niet geheel. Wanneer ir. Venhuizen met horizontale gelaagdheid bedoelt een homogeen doch anisotroop zandpakket, waarvan de doorlatendheid in verticale richting geringer is dan die in horizontale richting, dan kan ik in eerste aanleg een heel eind met hem meevoelen. Om dit facet nader te analyseren is op de linkerhelft van fig. 2 het stromingsnet getekend voor het geval dat de waarde van de verticale doorlatendheidscoëfficiënt slechts 10% van die der horizontale doorlatendheidscoëfficiënt bedraagt. Inderdaad verlopen de stroomlijnen nu veel flauwer. Vergelijking met fig. 1 doet echter eveneens zien, dat de verdeling van de uitstroming over de lengte van de natte kanaalomtrek sterk veranderd. Ook bij de kanaalbodem treden nu hoge uitstroomsnelheden op, terwijl bij de uitstroming in het talud de stroomlijnen nog verre van horizontaal verlopen.

In fig. 1 en 2 stroomt het grondwater in het tussen NAP en 13 m—NAP gelegen pakket. In de Amsterdamse duinwaterwinplaats bestaat dit pakket uit strandzand, dat in het holoceen onder invloed van zeestromingen en golven tot een strandwal is opgebouwd. Bij deze ontstaanswijze lijkt een betekend verschil tussen de doorlatendheden in horizontale en verticale richting weinig waarschijnlijk. Wordt voor alle richtingen een gelijke doorlatendheidscoëfficiënt k onderstelt, dan moeten de micro-evenwichtsbeschouwingen van ir. Venhuizen als volgt worden gewijzigd:

Op een elementair prisma met zijden dx , dz en een eenheid van lengte loodrecht op het blad van tekening werken volgens fig. 3 als krachten:

gewicht onder water $G = (\gamma_{ng} - \gamma_w) \cdot dx \cdot dz$

stromingsdruk $W = \gamma_w \cdot I \cdot dz \cdot dx$

wrijving F

waarin I het verhang ter plaatse van de uitstroming, volgens Darcy gelijk

$$I = \frac{v}{k}$$

Worden deze krachten ontbonden in een component Z loodrecht op het talud en een component X evenwijdig aan het talud

$$Z = G \cos \psi - W$$

$$X = F - G \sin \psi$$

dan geldt

$$F = Z \operatorname{tg} \Phi$$

en luidt de evenwichtsvoorwaarde

$X > 0$ of met de notatie van ir. Venhuizen

$A \cdot Z \operatorname{tg} \Phi = G \sin \psi$, waarin A de veiligheidscoëfficiënt tegen verstoring van het evenwicht < 1 . Na substitutie en omwerken volgt:

$$\frac{1}{A} = \frac{\operatorname{tg} \Phi}{\operatorname{tg} \psi} \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_{ng} - \gamma_w} \cdot \frac{1}{\cos \psi} \cdot \frac{v}{k} \right)$$

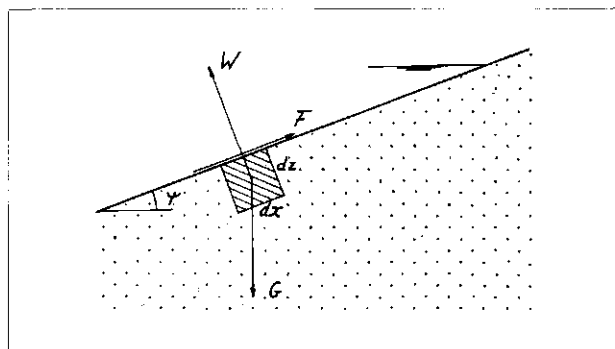
De waarde van A is groter en de veiligheid tegen evenwichtsverstoring geringer naarmate bij gegeven taludhelling ψ en gegeven ondergrond (Φ en k) de intredesnelheid v een hogere waarde aanneemt. De gemiddelde intredesnelheid bereikt de grootste waarde aan het einde van de periode van lineaire peildaling, wanneer enerzijds de toestroming van grondwater maximaal is, $q \text{ m}^3/\text{m}'/\text{dag}$ (van beide kanten) en anderzijds het kanaalprofiel minimaal met een natte omtrek gelijk $\Omega \text{ m}^2/\text{m}'$. Zoals reeds in het voorgaande opgemerkt, is de intredesnelheid niet gelijkmatig over de natte omtrek verdeeld. De in bovenstaande formule te substitueren waarde van v is dan ook gelijk

$$v = n \cdot \frac{q}{\Omega}$$

waarin $n > 1$ aan de hand van een vierkantennet moet worden geschat. Uitgaande van het in fig. 1 aan de linkerkant getekende stroomnet is in fig. 4 de frequentieverdeling van de uitstroomsnelheden getekend, waaruit voor n een maximum waarde van ongeveer 2,5 volgt. Bij het op blz. 310 gegeven voorbeeld wordt het minimum kanaalprofiel van afb. 7 na 10 dagen bereikt en geldt dus

$$v_{\max} = 2,5 \cdot \frac{17,8}{14,6} = 3,1 \text{ m/dag}$$

Fig. 3 - Micro-evenwicht van kanaaltalud.



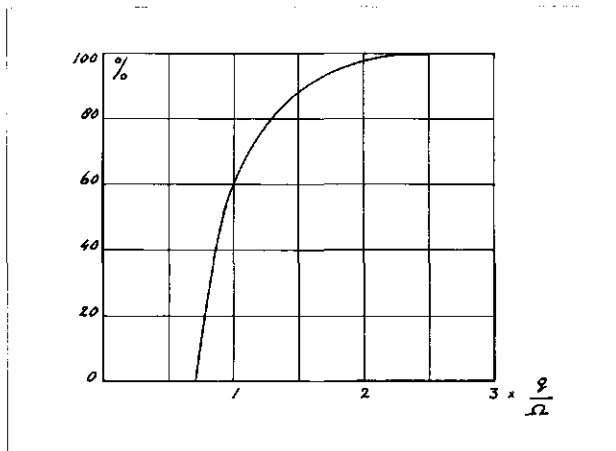


Fig. 4 - Frequentieverdeling van uitstroomsnelheden.

Met de overige gegevens van dit voorbeeld en aannemende $k = 10$ m/dag volgt nu

$$\frac{1}{A} = \frac{1/\sqrt{3}}{1/3} \left(1 - \frac{1}{2-1} \cdot \frac{1}{3/\sqrt{10}} \cdot \frac{3,1}{10} \right)$$

of $A = 0,86$

nogal ongunstiger dan de waarde van 0,75 door ir. Venhuizen als uitgangspunt gekozen.

De invloed van de wateronttrekking op het evenwicht van het talud kan intussen gemakkelijker worden overzien door in te voeren de hoek ψ' welke zonder onttrekking, $v = 0$, dezelfde veiligheid tegen evenwichtsverstoring geeft

$$\frac{1}{A} = \frac{\text{tg } \Phi}{\text{tg } \psi'}$$

Uit beide formules voor A volgt

$$\text{tg } \psi = \text{tg } \psi' \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_{ng} - \gamma_w} \cdot \frac{1}{\cos \psi} \cdot \frac{v}{k} \right)$$

met voor zand

$$\frac{\gamma_w}{\gamma_{ng} - \gamma_w} \approx 1 \text{ geeft dit}$$

$$\text{tg } \psi' = \frac{\sin \psi}{\cos \psi - \frac{v}{k}} \text{ of}$$

$$\sin (\psi' - \psi) = \frac{v}{k} \sin \psi'$$

Zelfs voor vrij grote hoeken is de sinus nagenoeg gelijk aan de hoek in radialen (bv. $\alpha = 30^\circ = 0,524$ radiaal, $\sin \alpha = 0,500$), waarmede bovenstaande formule verder kan worden vereenvoudigd tot

$$\psi' - \psi = \frac{v}{k} \psi' \text{ of } \psi = \left(1 - \frac{v}{k} \right) \cdot \psi'$$

Met bv. $\Phi = 30^\circ$ en $A = 0,75$ is zonder uitstroming een taludhoek ψ' vereist gegeven door

$$\frac{1}{0,75} = \frac{\text{tg } 30^\circ}{\text{tg } \psi'} \cdot \text{tg } \psi' = 0,75 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,433$$

of $\psi' = 23,4^\circ = 0,409$ rad

Met de bovenonderstelde waarden van v en k $v = 3,1$ m/dag, $k = 10$ m/dag moet de taludhoek worden verflauwd tot

$$\psi = \left(1 - \frac{3,1}{10} \right) \cdot 0,409 = 0,282 \text{ rad} = 16,2^\circ$$

d.w.z. een helling van 1 op 3,5 in plaats van 1 op 2,3.

Taludbescherming

De door ir. Venhuizen toegepaste en in het bovenstaande nagevolgde micro-evenwichtsbeschouwingen zijn voor een onbekleed talud misschien minder fraai dan een (micro-) glijdvlakberekening, onjuist zijn deze beschouwingen echter niet. Dit is echter wel het geval wanneer zoals in afb. 11 aangegeven een taludbekleding is aangebracht. De steenzetting en de grindlaag hebben nu immers bepaalde dikten, waardoor elke beschouwing omtrent het evenwicht van een volume-eenheid grond zinloos wordt. In vergelijking (20) wreekt zich dit in de omstandigheid dat de eerste term van het rechter lid de dimensie van een lengte heeft, terwijl zij ten rechte dimensieloos behoort te zijn. Aannemende dat ir. Venhuizen in een vervolgartikel nader op het evenwicht van beklede taluds bij waterwinkkanalen, spaarbekkens, e.d. zal ingaan, mogen nog een tweetal vragen worden gesteld:

1. moet voor de taludbekleding het volle gewicht in rekening worden gebracht (P in afb. 11 verticaal gericht) of kan met de componente loodrecht het talud worden volstaan, waarbij de componente evenwijdig aan het talud door een damwand, tussenberm e.d. (zoals in afb. 12 aangegeven) wordt opgenomen;
2. hoe moet de taludbekleding worden geconstrueerd opdat de weerstand tegen uitstroming van grondwater gering is. Ir. Venhuizen heeft deze weerstand bij zijn berekeningen verwaarloosd, doch wanneer de elementen van de steenzetting in afb. 11 afmetingen hebben van 20×20 cm² en van 1 cm brede voegen zijn voorzien, dan stijgt de hierboven genoemde uitstroomsnelheid van 3,1 m/dag tot

$$v = \frac{441}{41} \cdot 3,1 = 33 \text{ m/dag}$$

Zijn de voegen gevuld met duinzand met een doorlatendheidscoëfficiënt k gelijk 10 m/dag, dan treedt een verhang op gelijk

$$I = \frac{v'}{k} = \frac{33}{10} = 3,3$$

Met een soortelijk gewicht van steen onder water van slechts gelijk 1,65 t/m³, wordt de steenzetting zonder meer afgedrukt.

Slotopmerkingen

De recente ervaringen met vergiftiging van het Rijnwater door Endosulfan hebben wel geleerd, dat bij gebruik van rivierwater voor de openbare drinkwatervoorziening, voorraadvorming onmisbaar is. Of deze voorraad nu bestaat uit oppervlaktewater in open bekkens dan wel uit grondwater in goed doorlatende zandpakketten, in beide gevallen moet het mogelijk zijn haar zonder beperkingen te benutten. Een snelle waterstandsverlaging is daarbij onontkoombaar met het reële gevaar van een evenwichtsverstoring der taluds. In dit opzicht is het artikel van ir. Venhuizen wel bijzonder actueel. Het onderwerp is ook op zichzelf belangrijk en interessant en de schrijver van deze bijdrage wil daarom de hoop uitspreken dat door een verdere gedachtenwisseling, hopelijk ook met andere lezers van dit tijdschrift, een meer bevredigende oplossing van het door ir. Venhuizen gestelde probleem kan worden gevonden.