

MATHEMATISCH CENTRUM

2e BOERHAAVESTRAAT 49

AMSTERDAM

STATISTISCHE AFDELING

Leiding: Prof. Dr D. van Dantzig

Chef van de Statistische Consultatie: Prof. Dr J. Hemelrijk

Rapport S 149

Nota voor de Delta-commissie

Samenvatting der uitkomsten van het ekonometrische decisieprobleem der dijkverhogingen

door

Prof. Dr D. van Dantzig

1954

Naar aanleiding van Uw in de vergadering der Δ -commissie van 29 Maart j.l. bij monde van Uw voorzitter aan het Mathematisch Centrum verstrekte opdracht, vóór einde Juli van dit jaar een statistisch en economisch althans voorlopig verantwoorde basis te verstrekken voor bepaling der verhoging, welke de dijken langs de Westerschelde en de Nieuwe Waterweg zullen moeten ondergaan, heb ik de eer U hierbij de tot dusverre bereikte resultaten mede te delen van het onderzoek, dat het Mathematisch Centrum naar dit probleem, het "ekonometrische decisieprobleem" genaamd, heeft ingesteld. De wijze waarop wij tot deze resultaten zijn gekomen, zal binnenkort in de vorm van een rapport te Uwer kennis worden gebracht.

Overeenkomstig Uw wens, die natuurlijkerwijze uit de adviserende taak van het Mathematisch Centrum voortvloeit, hebben wij ons beperkt tot het geven van een methode ter berekening der gewenste verhoging, zonder volledig op de afzonderlijke berekeningen zelf in te gaan. Wij stellen Uwe commissie daarom voor, de onderstaande formule (1) als basis voor de berekeningen te kiezen. Met "als basis" is bedoeld, dat het aan Uw commissie resp. andere ter zake deskundige ingenieurs blijft voorbehouden 1e een decisie te treffen omtrent de in de formule optredende veiligheids- en correctiefactoren, welke van grote invloed zijn op de einduitkomst, 2e de nodige correcties aan te brengen met het oog op plaatselijk variërende omstandigheden. Ondanks een zekere mate van willekeur, die daardoor in de uitkomst optreedt, heeft het gebruik van de formule (1) het voordeel, dat zij een systematische behandeling van de verschillende onderdelen van het project waarborgt, waarbij de verschillende economische en andere factoren steeds op dezelfde wijze in rekening worden gebracht. Onzerzijds moeten de voorbehouden worden gemaakt, die noodzakelijkerwijs voortvloeien uit het feit dat dit advies gegeven moest worden op een tijdstip dat het onderzoek nog niet volledig was afgesloten.

De bedoelde formule berust op de onderstelling, dat periodieke dijkverhoging zal plaats vinden en wel telkens nadat de kruin van de dijk 1 meter ten opzichte van de zeespiegel zal zijn gedaald. Zij is gebaseerd op het principe, de som van de in dijkverhoging te investeren gelden en de overblijvende schadeverwachting zo klein mogelijk te maken, zulks met inachtneming van de aan de bepaling van verschillende factoren inhaerente onzekerheden. Zij luidt:

$$(1) \quad X = a' \cdot {}^{10}\log \left\{ \frac{P_0 V_0 \alpha}{a' \delta' K} \cdot f_1 f_2 f_3 \right\}$$

Hierin hebben de letters de volgende betekenis.

X = verhoging in meters van de kritieke hoogte van de dijk boven de huidige kritieke hoogte ¹⁾.

a' = "kansdecimeringsverhoging" = verschil in hoogte tussen twee hoogwaterstanden welke frequenties zich als 1:10 verhouden. Volgens de beste thans bekende gegevens kan voor deze grootheid voor Hoek van Holland de waarde $a' = 0,75$ meter worden gekozen.

$\alpha = \frac{1}{a' \cdot {}^{10}\log e}$ waarin $e = 2,71828$ de basis der natuurlijke logarithmen is. Met bovengenoemde waarde $a' = 0,75$ wordt α ruim 3. Eenvoudigheidshalve kan $\alpha = 3$ worden gekozen.

P_0 = huidige overschrijdingskans van de kritieke hoogte.

V_0 = huidige waarde van het totale door de dijken beschermde gebied.

K = kosten van verhoging van de gezamenlijke het gebied beschermende dijken met 1 meter na aftrek van de initiale kosten, die in ieder geval moeten worden gemaakt als tot dijkverhoging wordt overgegaan. Voor zover deze kosten nog afhankelijk zijn van de dijkhoogten kan men hiervoor een gemiddelde nemen.

δ' = "gereduceerde rentefactor" = verschil van de werkelijke rentefactor δ (in % per jaar) en de waardevermeerdering γ van het door de dijken beschermde gebied (eveneens in % per jaar). Volgens gegevens van Prof. Tinbergen zou $\delta = 3,5$, $\gamma = 1,5$, dus $\delta' = 2$ of wellicht $\delta' = 1,5$ gekozen kunnen worden.

f_1 = factor voor bodemdaling (zie hieronder)

f_2 = veiligheidsfactor (" ")

f_3 = factor voor doorbraakvermijding (zie hieronder).

De factor f_1 voor bodemdaling kan worden berekend volgens de formule

1) Onder de "kritieke hoogte" zal hier worden verstaan de hoogte van de waterstand, welke tezamen met de van plaatselijke omstandigheden afhankelijke golfoploop onder ongunstige omstandigheden van wind- en stroomrichting e.d. tot dijkdoorbraak zou kunnen leiden. Zij moet dus met tenminste de te vrezen golfoploop worden vermeerderd om tot de kruinhoogte te leiden. Met "waterstand" is steeds het niveau van het water in de aan de dijk grenzende zee of rivier zonder golfoploop bedoeld.

$$(2) \quad f_1 = \frac{1 - e^{-\left(\frac{\delta'}{\eta} - \alpha\right)}}{1 - e^{-\frac{\delta'}{\eta}}} \cdot \frac{\delta'}{\delta' - \alpha \eta}$$

waarin e , α en δ' de boven aangegeven betekenis hebben, terwijl

η = daling in meters per eeuw van de kritieke hoogte t.o.v. de waterspiegel (dus de som van de absolute daling van de bodem, de rijzing van de zeespiegel en de inklinking).

Is b.v. $\delta' = 2$, $\eta = 0,5$, $\alpha = 3$, dan wordt

$$f_1 = \frac{1 - e^{-(4-3)}}{1 - e^{-4}} \cdot \frac{2}{0,5} = 2,5$$

(De term $e^{-4} \approx 0,018$ is t.o.v. 1 verwaarloosbaar; de term $e^{-1} = 0,368$ echter niet.) Is daarentegen $\gamma = 2,0$ in plaats van 1,5, dan is met dezelfde waarden voor δ , α en η $\delta' = 1,5$, waarbij dus $\delta' = \alpha \eta$ wordt. In dit geval worden teller en noemer van (2) nul, en moet het rechterlid worden vervangen door

$$(3) \quad f_1 = \frac{\frac{\delta'}{\eta}}{1 - e^{-\frac{\delta'}{\eta}}}$$

dus in casu

$$f_1 = \frac{3}{1 - e^{-3}} = 3,16$$

De bodemdalingsfactor moet dus 2,5 à 3 of zelfs iets meer bedragen. Deze is de enige der drie factoren, die (zij het slechts bij benadering) berekenbaar is.

De veiligheidsfactor f_2 moet worden aangebracht omdat de extrapolatie van de frequentielijn onzeker is. Ten aanzien van de grootte van deze factor is er een wezenlijk verschil tussen de statistische en de technische praktijk. Volgens de in de statistiek gebruikelijke methoden zou deze factor, uitgaande van de (niet geheel van twijfel ontblote) onderstelling van rechtlijnige extrapoleerbaarheid, slechts weinig groter dan 1 gekozen moeten worden (circa 1,3), terwijl men in de techniek gewend is een veiligheidsfactor 3 aan te brengen. Wij stellen voor, daar het hier om een technisch project gaat, de ingenieurspraktijk te volgen en

$$f_2 = 3$$

te nemen. Van het aanbrengen van een correctiefactor van de vóór de logaritmische staande decimeringsverhoging a' kan dan worden afgezien.

De factor f_3 moet worden aangebracht, omdat uitsluitend de

nominale waarde V_0 van het beschermde gebied in rekening is gebracht. In geval van een stormramp bestaat evenwel de werkelijke schade niet alleen uit de nominale waarde van het gebied (welker vermeerdering in de loop der tijden wèl in rekening is gebracht). Hieraan moet nog de indirecte schade ("consequential loss") worden toegevoegd, terwijl voorts op een of andere wijze met het verlies aan mensenlevens en ideële goederen rekening moet worden gehouden.

De indirecte schade bestaat o.a. uit: productiederving, migratiekosten, verlies aan goodwill, enz. enz. Een factor 1,2, die ons hiervoor genoemd werd, lijkt zeker niet aan de hoge kant. Het verdient aanbeveling de hiervoor benodigde vermenigvuldigingsfactor reeds direct bij de bepaling van V_0 aan te brengen. We zullen daarom aannemen, dat deze factor in V_0 is opgenomen (waar hij beter op zijn plaats is dan in f_3), en er in f_3 geen rekening meer mee houden.

De waarde van mensenlevens en ideële goederen laat zich niet wel in geldwaarde uitdrukken. Wèl echter is het mogelijk te onderzoeken, hoeveel het Rijk in andere gevallen uitgeeft om een statistisch ongeveer bepaald aantal mensenlevens te redden. Zoude men voor het in rekening brengen van mensenlevens de waarde van het gebied met een factor 2 vermenigvuldigen, zo zou dit betekenen, dat men een uitgave even groot als de tijdens de Februari-ramp geleden materiële schade (1,5 à 2 milliard) voor het behouden van de daarbij verloren gegane mensenlevens (ruim 1800), d.i. één miljoen per persoon, gerechtvaardigd zou achten. Dit bedrag overschrijdt vermoedelijk wel zéér ver het bedrag, dat het Rijk per persoon uitgeeft of doet uitgeven om verkeersongevallen (onbewaakte overwegen, ondertunneling van of klaverbladlussen bij gevaarlijke verkeersknooppunten) of fabrieksongevallen te voorkomen. Hierbij moet nog worden opgemerkt, dat bescherming van mensenlevens, behalve door dijkverhoging, vooral ook bereikt kan worden door:

- 1e een aanzienlijk uitbreiding van het waarschuwingssysteem,
- 2e een goed, vooraf georganiseerd, reddingssysteem (bootjes bij alle boerderijen, helicoptères, e.d.),
- 3e voortzetting en uitbreiding van het wetenschappelijke (waterstaatkundig, meteorologisch, oceanografisch, e.d.) onderzoek naar de eigenlijke oorzaken en de aard van stormrampen als die van 1 Februari 1953, en
- 4e zoveel mogelijk verdeling van het te beschermen gebied door middel van voldoende hoge binnendijken in een aantal niet te gro-

te "waterdichte compartimenten", teneinde, indien ondanks alles toch de primaire en eventueel secundaire dijken zouden breken, in ieder geval de omvang van de ramp te beperken en daardoor de reddingsmogelijkheden te vergroten, volgens het door Uwe Commissie in haar eerste interim-rapport met betrekking tot de Schouwense dijk gevolgde principe.

Behalve met verlies aan mensenlevens moet ook nog rekening worden gehouden met het feit, dat men een te lijden schade in het algemeen niet met een even grote uitgave mag gelijkstellen, maar dat men, als men daardoor met zekerheid een anders met zekerheid optredende zeer ernstige schade kan voorkomen, doorgaans gaarne bereid zal zijn, daarvoor een veelvoud van het schadebedrag uit te geven. In deze veelvoudsfactor wordt de door een plotseling optredende ramp veroorzaakte sociale "shock" dus de ontredde en desorganisatie verdisconteerd, algemeen gezegd: het verschil tussen een toestand, die men beheerst en een toestand, die men niet beheerst.

Het verdient aanbeveling, deze laatste factor zodanig te kiezen, dat daarin de vorige (verlies aan mensenlevens en cultuurgoederen) mede begrepen kan worden geacht, teneinde aan een afzonderlijke schatting daarvan te ontkomen. Het bepalen van deze laatste factor kan niet op mathematisch-statistische, economische of technische gronden geschieden, maar moet veeleer als een beleidshandeling worden beschouwd, die niet door het Mathematisch Centrum verricht kan worden, maar aan de verantwoordelijkheid der Δ -commissie zelve moet worden overgelaten. Wanneer in het volgende voor deze factor f_3 het getal 3 (en niet b.v. 2 of 10) gekozen is, zo is dit slechts als voorbeeld en als een mogelijke keuze bedoeld.

De basisformule (1) kan ook in de volgende vorm geschreven worden:

$$(4) \quad X = X_0 + X_1 + X_2 + X_3$$

waarin

$$(5) \quad X_0 = a' \cdot 10^{-\log \frac{p_0 V_0 \alpha}{0,01 \delta' K}}$$

het van de bestaande onveiligheid (a' , α en p_0), de waarde van het beschermde gebied (V_0), de van de dijk lengte afhankelijke verhogingskostenfactor (K) en de economische toestand (δ') afhankende systematische deel der dijkverhoging voorstelt, terwijl X_1 , X_2 en X_3 de bij de extra factoren f_1 , f_2 en f_3 behorende benodigde extra verhogingen voorstellen. En wel is

$$X_1 = a' \cdot {}^{10}\log f_1$$

$$X_2 = a' \cdot {}^{10}\log f_2$$

$$X_3 = a' \cdot {}^{10}\log f_3$$

Indien voor f_1 , f_2 en f_3 de bovengenoemde waarden 2,5, 3 en 3 aanvaard worden, vindt men, met $a' = 0,75$:

$$X_1 = 0,30 \quad X_2 = 0,36 \quad X_3 = 0,36$$

of te zamen ruim 1 meter. Bij deze keuze der factoren zou dus het systematisch bepaalde deel X_0 der dijkverhoging met 1 meter verhoogd moeten worden, waarvan, globaal gesproken, 1/3 deel noodzakelijk is tengevolge van de relatieve daling van de dijk-kruin, 1/3 deel, overeenkomende met de "technische veiligheidsfactor 3" voor het opvangen van de onzekerheid der statistische extrapolatie, en het resterende derde deel voor het voorkomen van verlies aan mensenlevens en cultuurgoederen, en het vervangen van niet te voorziene rampschaden door beheersbare uitgaven voor dijkbouw.

Indien Uwe commissie deze getallenwaarden zou aanvaarden, dan kan, voor zoverre voor de kansdecimeringsgrootheid a' de bij Hoek van Holland behorende waarden 0,75 (resp. $\alpha = 3$) gebruikt kan worden, en voor δ' de schatting $\delta' = 2$ (% per jaar) aanvaardbaar geacht wordt, al het voorgaande worden samengevat in de volgende uitdrukking voor de totale verhoging in meters van de kritieke hoogte:

(6)

$$X = 1 + 0,75 \cdot {}^{10}\log \frac{150 p_0 V_0}{K}$$

waarin dus p_0 de huidige overschrijdingskans van de (huidige) kritieke hoogte der dijken, V_0 de (met een factor, b.v. 1,2 voor indirecte schade vermenigvuldigde) totale waarde van het door de dijken beschermde gebied, en K de kosten van verhoging der het gebied beschermende dijken met 1 meter (afgezien van bij iedere verhoging optredende initiale kosten) voorstellen.

Ten slotte menen wij Uwe commissie een opmerking niet te mogen onthouden, die zich bij intensieve occupatie met het probleem telkens weer naar voren dringt.

Men krijgt bij numerieke bewerking van voorbeelden sterk de indruk, dat de mate van veiligheid, die door de economisch optimale oplossing geboden wordt, niet uitzonderlijk groot is en dat dit feit ten sterkste beheerst wordt door de hoge waarde (b.v. 3,5%) van de rentevoet, die tengevolge heeft, dat schaden, die b.v. over 20, 40, 80, 160 jaar optreden, slechts voor de helft,

resp. $1/4$, $1/8$ en $1/16$ van hun waarde in aanmerking worden genomen.

Hierdoor zal wellicht in Uwe commissie de vraag rijzen, welke betekenis aan de vorenstaande beschouwingen moet worden gehecht. Daarom menen wij enerzijds te mogen verklaren, dat deze naar ons beste weten met alle economische relevante en min of meer beheersbare factoren rekening houden, zo goed als de huidige stand der wiskundige economie dit bij een decisie, die voor zo uitzonderlijk lange termijnen moet gelden, toelaat. Echter moeten wij daaraan toevoegen dat onzerzijds niet kan worden overzien, in hoeverre het gewenst is, de onderhavige decisie zeer sterk afhankelijk te doen zijn van economische factoren, met name de rentevoet, terwijl in andere sectoren van regeringsbeleid (b.v. bescherming tegen verkeersongevallen; militaire defensie) economische overwegingen zij het veel grotere, zij het veel kleinere invloed op de uiteindelijke decisies kunnen hebben.

Ten aanzien van deze vragen van algemeen regeringsbeleid hebben wij gemeend de wetenschappelijke overwegingen niet te absoluut te moeten stellen, maar Uwe commissie door de vaststelling der veiligheidsfactoren f_2 en f_3 de nodige bewegingsvrijheid te moeten bieden om in haar advies aan de regering de economische factoren zwaarder of minder zwaar te doen wegen.