

Watercirculatie Laboratorium voor Vloeistofmechanica

Rapport Modelonderzoek

Aftappunt Ringleiding

1. Inleiding
 - 1.1. Aanleiding onderzoek
 - 1.2. Eisen
 - 1.3. Gegevens

2. Samenvatting resultaten

3. Modelonderzoek
 - 3.1. Model
 - 3.2. Wrijving
 - 3.3. Drukverhoging in doorgaande leiding en kracht op de aftap
 - 3.4. Energieverlies in hoofdleiding
 - 3.5. Aftappunt

4. Nabeschuwing
 - 4.1. Voeding aftap uit beide takken ringleiding
 - 4.2. Plaats afsluiter

Modelonderzoek aftappunt ringleiding

1. Inleiding

1.1. Aanleiding onderzoek

In de nieuwbouw van het laboratorium voor vloeistofmechanica (waterbouwkundig laboratorium) van de Technische Hogeschool, Delft, afdeling Weg- en Waterbouwkunde wordt een ringleidingstelsel aangebracht, waarbij op regelmatige afstanden aftappunten zijn geplaatst. Het onderzoek omvatte de vormgeving van de aftappunten en is verricht in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft.

1.2. Eisen

1. In verband met de aard van het werk in het laboratorium wordt geeist, dat een éénmaal ingesteld aftapdebiet geen grotere variatie mag vertonen dan 1 %. Bij een werkdruk van 5 m.w.k. betekent dit dus, dat de drukvariatie niet groter mag zijn dan 2 % (= 0,1 m).
2. Een aftappunt moet een zo hoog mogelijke afvoercoëfficiënt bezitten.

1.3. Gegevens

Het leidingstelsel in het nieuw te bouwen laboratorium bestaat uit 2 concentrische ringleidingen van $0,80 \times 1,30 \text{ m}^2$, (fig. 1). De buitenste ringleiding heeft een lange zijde van 100 m en een korte zijde van 20 m, ontrek 240 m. De maten voor de binnenste ringleiding zijn: lange zijde 90 m, korte zijde 16 m, dus ontrek 212 m. Tussen de ringleidingen worden de aftappunten $\varnothing 350 \text{ mm}$ onhoog gebracht. (fig. 1).

Het totale door de pompen te leveren debiet bedraagt 2000 l/sec. Dit debiet kan willekeurig over de beide ringleidingen worden verdeeld. Er wordt echter naar gestreefd om dit debiet gelijkelijk over de ringleidingen te verdelen.

Wat betreft het wrijvingsverlies zijn de leidingen berekend op 1000 l/sec., waarbij het verlies maximaal 5 cm bedraagt. Dit betekent, dat afgezien van drukvariaties door debietvariaties bij een werkdruk van 5 m. w.k. maximaal nog 5 cm beschikbaar is voor de drukvariatie in het aftappunt.

De drukhoogte in beide ringleidingen bedraagt ± 5 m. w.k. boven de modellenvloer. Deze druk zal in een bepaald punt in de leidingen door middel van een regelsysteem gehandhaafd worden. De plaats van dit punt is nog niet vastgesteld.

2. Samenvatting resultaten

Aan de hand van de metingen bleek, dat een vormgeving volgens fig. 2 geheel aan de bovengestelde eisen voldoet. Met behulp van fig. 8 is de variatie in een éénmaal ingesteld debiet te berekenen. Bij een ingesteld aftapdebiet $Q_a = 150$ l/sec bedraagt de variatie hierin als het totaal aangevoerde debiet varieert van 150 tot 500 l/sec nog geen 2 ‰. Als het totaal aangevoerde debiet kan variëren tot 800 l/sec (zeer extreem), dan treedt de grootste variatie op in een ingesteld debiet van 220 l/sec.

Deze variatie bedraagt dan nog geen 4 ‰ (er is steeds gerekend met een werkdruk van 5 m. w.k. boven de vloer).

Als in de berekening de wrijving betrokken wordt, zal afgezien van drukverandering door debietvariatie, deze variatie altijd binnen de 1 % blijven. Door oordeelkundige keuze van het punt, waar de druk geregeld wordt, is het mogelijk deze variatie nog te beperken.

Afronding van het intreegedeelte van het aftappunt kan de resultaten enigszins gunstig beïnvloeden. Dit is echter niet in model beproefd.

3. Modelonderzoek

3.1. Model

Om de te verwachten verschijnselen goed te kunnen reproduceren, werd als schaalfactor voor het model 5 gekozen. Aangezien het hier een systeem zonder een vrij oppervlak betreft, behoeft er slechts rekening te worden gehouden met het getal van Reynolds.

Een overzicht van het model geeft fig. 3. Aan de ene zijde van de leiding bevond zich een bak met een oppervlakte van 1 m^2 . In deze bak kon het waterpeil (dus de druk in de leiding) op verschillende waarden worden ingesteld.

Het leidinggedeelte bestond uit 2 secties van ondoorzichtig trovidur, ieder 2,5 m lang, waartussen een wegneembare sectie, waarin het aftappunt zich bevond, van doorzichtig trovidur. Deze sectie had een lengte van 0,20 m.

Aan het einde van de leiding en op het aftappunt waren schuiven geplaatst om de debieten te kunnen variëren.

De debieten werden gemeten met behulp van Rehbockmeetstuwjes.

Drukken in de leiding werden gemeten met behulp van 4 druk-aansluitingen (genummerd vanaf de bak met 1, 2, 3 en 4), symmetrisch gelegen t.o. v. het aftappunt op respectievelijk 0,20 m en 2,20 m hiervan af. De aflezingen van de waterkolommen in de manometerbuizen waren nauwkeurig tot op 1 mm.

3.2. Wrijving

Om de invloed van de wrijving op de waarnemingen te vereffenen, is eerst een proef uitgevoerd, waarbij de middensectie dezelfde vormgeving had als de buis zelf. Hierbij werd het verlies als functie van het debiet bepaald. De waarnemingen zijn verwerkt in het diagram van Moody, fig. 4, waarin

$D = 4 \times$ hydraulische straal

$k =$ wandruwheid

$Re =$ getal van Reynolds $= \frac{VD}{\nu}$

$v =$ snelheid in leiding

$\nu =$ kinematische viscositeit

λ (dimensieloos)₂ wordt gevonden uit de betrekking

$$z = \lambda \frac{L}{D} \frac{v}{2g}, \text{ waarin}$$

z = energieverlies in m. w.k. over pijplengte L .

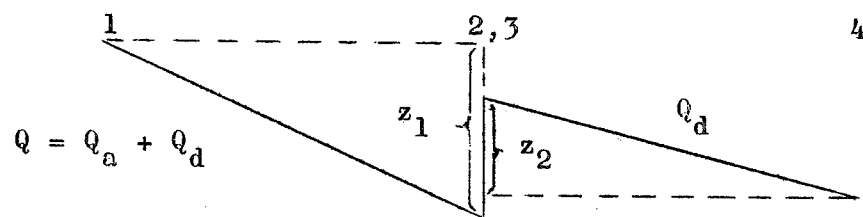
Aangehouden in het diagram werd de kromme voor $\frac{D}{k} = 500$. De waarnemingen vertonen rondom deze kromme een vrij grote spreiding; dit kan toegeschreven worden aan de vrij onnauwkeurige waarnemingen.

Uit $\frac{D}{k} = 500$ volgt, dat in het model

$$k = \frac{D}{500} = \frac{0,196}{500} \approx 0,0004 \text{ m} = 0,4 \text{ mm.}$$

Deze grote ruwheid voor een trovidur:pijp moet worden toegeschreven aan de plaatselijke vernauwingen in de pijp (om de 0,40 m) daar waar ter versteviging van de buis dwarsramen waren aangebracht. Door de druk in de pijp bleef zij op andere plaatsen niet geheel dezelfde vorm behouden. Aangezien steeds met ongeveer dezelfde druk is gewerkt, is de vorm van de buis en daardoor de ruwheid gedurende de proefnemingen niet veranderd.

Er is steeds uitgegaan van de waarnemingen van de druk-aansluitingen 1 en 4. Deze zijn met behulp van de wrijving zo gecorrigeerd, dat het drukverschil wordt geacht op te treden bij het hart van het aftappunt.



$Q = Q$ - aangevoerd

$Q_a = Q$ - afgetapt

$Q_d = Q$ - doorgaand

z_1 = wrijvingsverlies voor aftappunt

z_2 = wrijvingsverlies na aftappunt

Aan de ene zijde van de hartlijn van het aftappunt wordt dus verkregen:

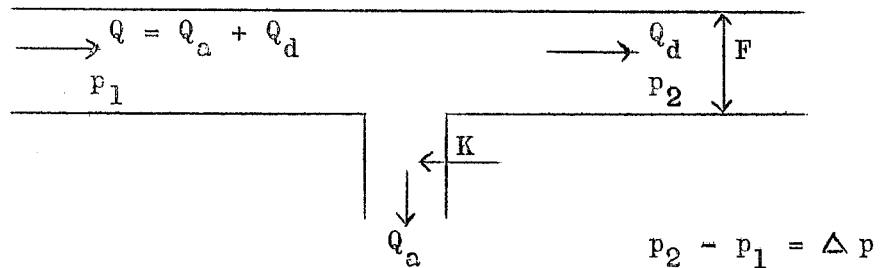
waarneming in 1 - z_1

en aan de andere zijde:

waarneming in 4 + z_2

Ter controle werd beschikt over de waarnemingen in de punten 2 en 3. Bij deze berekeningen werd gebruik gemaakt van een hulpgrafiek, fig. 5, welke uit het diagram van Moody werd afgeleid. Deze hulpgrafiek geeft het verlies in de leiding van het model als functie van het debiet.

3.3. Drukverhoging in de doorgaande leiding en kracht op het aftappunt



Voer de kracht uitgeoefend door de aftap in als K .

De impulsstelling toegepast op de doorgaande leiding, geeft:

$$(-\Delta p F - K) dt = -\rho \frac{Q^2}{F} dt + \rho \frac{Q_d^2}{F} dt$$

$$\Delta p + \frac{K}{F} = \frac{\rho}{F^2} (Q^2 - Q_d^2)$$

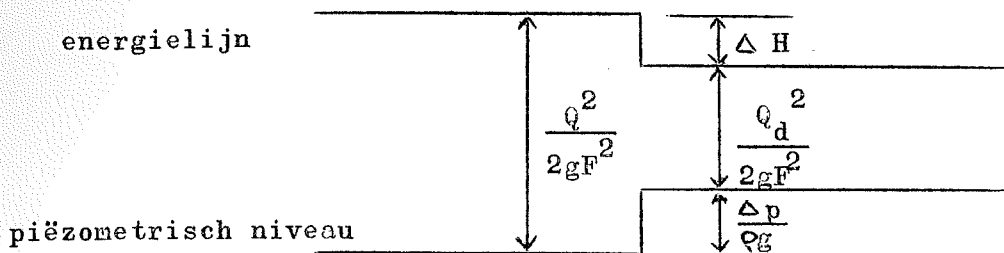
Stel
$$\Delta p^* = \frac{\rho}{F^2} (Q^2 - Q_d^2)$$

dan

$$\boxed{\frac{\Delta p}{\Delta p^*} + \frac{K}{F \Delta p^*} = 1}$$

Waargenomen zijn Q , Q_d en Δp , zodat K hieruit te berekenen is. Dit verloop van K en Δp is uitgezet in fig. 6, waarin zowel $\frac{\Delta p}{\Delta p^*}$ als $\frac{K}{\Delta p^* F}$ als functie van $\frac{Q_d}{Q}$ is aangegeven.

3.4. Energieverlies in hoofdleiding



Energieverlies
$$H = \frac{Q^2}{2gF^2} - \frac{Q_d^2}{2gF^2} - \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$$= \frac{1}{2gF^2} (Q^2 - Q_d^2) - \frac{\Delta p}{\rho g}$$

Stel $\frac{\Delta p}{\Delta p^*} = \beta$, terwijl $\Delta p^* = \frac{\rho}{F^2} (Q^2 - Q_d^2)$

$$\Delta H = \frac{\Delta p^*}{2\rho g} - \alpha \frac{\Delta p^*}{\rho g}$$

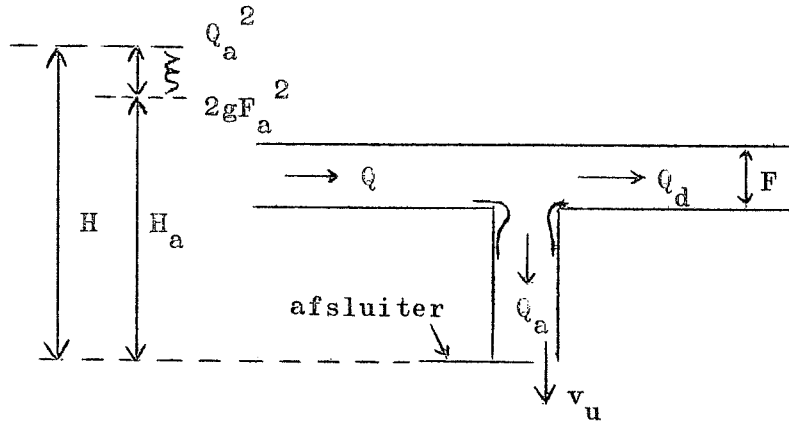
$$\Delta H = \frac{\Delta p^*}{\rho g} \left(\frac{1}{2} - \beta \right)$$

Zie voor $\beta = \frac{\Delta p}{\Delta p^*}$ fig. 6. Het blijkt, dat $\beta > \frac{1}{2}$ kan worden voor waarden van $\frac{Q_d}{Q} > \frac{2}{3}$. ΔH wordt dan negatief, zodat er schijnbaar energiewinst is. Dit is niet mogelijk. Voor een juiste energievergelijking moet met de α -coëfficiënten (correctiecoëfficiënt > 1 voor de snelheidshoogte) rekening worden gehouden. Teneer, daar vooral voor kleine verschillen tussen Q en Q_d dit verschijnsel optreedt. Vóór het aftappunt moet dan echter een hogere α -waarde optreden dan er na, hoewel de stroning vertraagd wordt. De literatuur geeft aan, dat bij grote $\frac{Q_d}{Q}$ de grenslaag door het aftappunt afgezogen wordt, zodat lagen met hogere energie in de hoofdleiding achterblijven hetgeen een verklaring voor het verschijnsel zou kunnen zijn. (Zie o.a. Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München, Hefte 1, 2, 3 und 4).

3.5. Het aftappunt

De vormgeving van het aftappunt is aangegeven in fig. 2. met behulp van het conische verloop is getracht ondanks loslaatverschijnselen toch weinig vertragsingsverliezen te krijgen.

De afvoer door het aftappunt (afgesloten met een afsluiter) wordt op de volgende manier bepaald.



H = energieniveau in hoofdleiding voor de aftap t.o.v. de uittree.

H_a = energieniveau in de aftap na vertraging.

v_u = uittreesnelheid.

F_a = oppervlakaftap.

F_u = oppervlak doorsnede uittredende straal.

Tussen H , H_a en v_u bestaat de volgende betrekking:

$$H_a = H - \zeta \frac{Q_a^2}{2gF_a^2} = \frac{p_u}{\rho g} + \frac{v_u^2}{2g}$$

Aangezien $p_u = \text{atmosferische druk} = 0$, wordt v_u

$$\frac{v_u^2}{2g} = H - \zeta \frac{Q_a^2}{2gF_a^2} = p_n + \frac{Q^2}{2gF^2} = \zeta \frac{Q_a^2}{2gF_a^2}$$

$$\frac{Q_a^2}{2gF_u^2} + \zeta \frac{Q_a^2}{2gF_a^2} = p_n + \frac{Q^2}{2gF^2}$$

$$\frac{Q_a^2}{2gF_u^2} \left(1 + \zeta \frac{F_u^2}{F_a^2} \right) = p_n + \frac{Q^2}{2gF^2}$$

Aangezien $\xi \frac{F_u^2}{F_a^2}$ klein is ten opzichte van 1, kan deze vorm ook

geschreven worden als:

$$\frac{v_u^2}{2g} = \left(pn + \frac{Q^2}{2gF^2} \right) \left(1 - \xi \frac{F_u^2}{F_a^2} \right)$$

$$\frac{v_u^2}{2g} = pn + \frac{Q^2}{2gF^2} - \xi pn \frac{F_u^2}{F_a^2} - \xi \frac{Q^2}{2gF^2} \frac{F_u^2}{F_a^2}$$

In deze vorm is de term $\xi \frac{Q^2}{2gF^2} \frac{F_u^2}{F_a^2}$ zeer klein t.o.v. de rest der termen, immers $\frac{Q^2}{2gF^2} < 0,05$ en $\xi \frac{F_u^2}{F_a^2} < 0,08$ en $pn = 5,0$.

In de extreme gevallen is deze term dus hoogstens een correctie. Bij verwaarlozing ervan krijgen we:

$$\frac{v_u^2}{2g} = pn + \frac{Q^2}{2gF^2} - \xi pn \frac{F_u^2}{F_a^2}$$

Wij zijn geïnteresseerd in de variatie van v_u (bij constante F_u) of wel in de variatie van $\frac{v_u^2}{2g}$ aangeduid met $\Delta \frac{v_u^2}{2g}$.

Als vergelijking is genomen het debiet, waarbij geen doorgaand debiet optreedt ($Q_d = 0$). Dit debiet wordt aangegeven met Q_0 en de bijbehorende ξ -waarde met ξ_0 .

$$\Delta \frac{v_u^2}{2g} = pn + \frac{Q^2}{2gF^2} - \xi \frac{F_u^2}{F_a^2} pn - pn - \frac{Q_0^2}{2gF^2} + \xi_0 \frac{F_u^2}{F_a^2} pn$$

$$\text{of } \Delta \frac{v_u^2}{2g} = -pn \frac{F_u^2}{F_a^2} (\xi - \xi_0) + \frac{1}{2gF^2} (Q^2 - Q_0^2)$$

Hier is het $pn =$ piëzometrisch niveau in de hoofdleiding constant, terwijl ξ een functie is van Q en Q_d (Q_a)

$$\xi = \xi \left(\frac{Q_a}{Q} \right)$$

De functie $\xi = \xi \left(\frac{Q_a}{Q} \right)$ is bepaald bij de toestand, waarbij

$$v_u = v_a.$$

$$\text{Dus } \frac{v_a^2}{2g} = H - \xi \frac{v_a^2}{2g}$$

$$v_a = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \sqrt{2gH} = m \sqrt{2gH}$$

$$\text{met } \xi = \frac{1}{m^2} - 1$$

Gevonden werd bij $Q_d = 0$ $m = 0,97$. Het theoretisch maximum wordt dus dicht benaderd.

Het verloop van de ξ is weer gegeven in fig. 7.

Met behulp van de ξ -waarde en de prototype gegevens

$$F_a = \pi \cdot 0,175^2 = 0,096 \text{ m}^2$$

$$F = 1,02 \text{ m}^2$$

$$pn = 5,00 \text{ m}$$

is het nu mogelijk voor elk willekeurig geval de variatie in

$\frac{v_u^2}{2g} \left(\Delta \frac{v_u^2}{2g} \right)$ te berekenen. Er is van uit gegaan, dat het afgetapt debiet niet dermate aan verandering onderhevig is, dat hier rekening mee moet worden gehouden voor de ξ -waarden. Het resultaat van de berekening is weergegeven in fig. 8. In de figuur geven de getrokken lijnen de $\Delta \frac{v_u^2}{2g}$ weer als functie van Q_a/Q_0 .

De bijgeschreven getallen geven de debieten Q_0 aan.

Doordat het debiet door één tak van een ringleiding is beperkt, kan het verloop van $\Delta \frac{v_u^2}{2g}$ begrensd worden door lijnen van gelijke Q .

In de grafiek is dit aangegeven met de gestippelde lijnen. De bijgeschreven getallen geven de grootte van Q aan. Hieronder volgt een voorbeeld van de berekening van $\Delta \frac{v_u^2}{2g}$ voor een $Q_0 = 250$ l/sec.

Eerst F_u berekenen. F_u volgt uit (zie blz. 8).

$$\frac{Q_0^2}{2gF_u^2} = pn + \frac{Q_0^2}{2gF^2} - \xi \frac{Q_0^2}{2gF_a^2}$$

$$\frac{6,25 \cdot 10^{-2}}{19,62 \cdot F_u^2} = 5,0 + \frac{6,25 \cdot 10^{-2}}{19,62 \cdot 1,02^2} - 0,062 \frac{6,25 \cdot 10^{-2}}{19,62 \cdot 0,096^2}$$

$$\text{of } F_u = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2.$$

Hiermee wordt de formule voor $\Delta \frac{v_u^2}{2g}$:

$$\Delta \frac{v_u^2}{2g} = - 5,0 \frac{6,25-10^{-4}}{0,096^2} (\xi - 0,062) + \frac{Q^2 - 0,0625}{19,62 \cdot 1,02^2}$$

$$\Delta \frac{v_u^2}{2g} = - 0,339 (\xi - 0,062) + \frac{1}{20} (Q^2 - 0,0625)$$

$$\Delta \frac{v_u^2}{2g} = - \quad \quad \quad \text{I} \quad \quad \quad + \quad \quad \quad \text{II}$$

| Qa/Q | Q | -0,062 | I | Q ² | Q ² -0,0625 | II | II-I |
|------|-----------------------|--------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| | (m ³ /sec) | | (n) | (m ⁶ /sec ²) | (m ⁶ /sec ²) | (n) | (n) |
| 1 | 0,250 | 0,000 | 0,000 | 0,0625 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0,9 | 0,278 | 0,000 | 0,000 | 0,077 | 0,015 | 0,001 | +0,001 |
| 0,8 | 0,313 | 0,002 | 0,001 | 0,098 | 0,036 | 0,002 | +0,001 |
| 0,7 | 0,357 | 0,008 | 0,003 | 0,128 | 0,066 | 0,003 | 0,000 |
| 0,6 | 0,417 | 0,020 | 0,007 | 0,174 | 0,112 | 0,006 | -0,001 |
| 0,5 | 0,500 | 0,032 | 0,011 | 0,250 | 0,188 | 0,009 | -0,002 |
| 0,4 | 0,625 | 0,096 | 0,033 | 0,312 | 0,250 | 0,012 | -0,021 |
| 0,3 | 0,834 | 0,218 | 0,074 | 0,695 | 0,633 | 0,032 | -0,042 |
| 0,2 | 1,250 | 0,46 | 0,156 | 1,562 | 1,500 | 0,075 | -0,081 |

Zoals blijkt kan $\Delta \frac{v_u^2}{2g}$ ook positieve waarden aannemen.

Bij toename van Q wordt namelijk de energiehogte in de hoofdleiding groter, terwijl de verliezen in de aftap nog geen belangrijke rol spelen. De formule kan men zich dan ook als volgt opgebouwd denken.

$$\Delta \frac{v_u^2}{2g} = - \text{aftapverliezen} + \text{verhoging snelheidshogte.}$$

In de meeste gevallen is het mogelijk de formule voor

$\Delta \frac{v_u^2}{2g}$ een andere vorm te geven als in de formule

$$\frac{v_u^2}{2g} = pn + \frac{Q^2}{2gF^2} - \xi \frac{Q_a^2}{2gF_a^2}$$

de term $\xi \frac{Q_a^2}{2gF_a^2}$ klein is ten opzichte van $\frac{v_u^2}{2g}$ en dus $Q_a \approx Q_0$.

$$\text{Dan } \Delta \frac{v_u^2}{2g} = - \frac{Q_0^2}{2gF_a^2} (\xi - \xi_0) + \frac{Q^2 - Q_0^2}{2gF^2}$$

Het is duidelijk, dat $\Delta \frac{v_u^2}{2g}$ nu niet meer afhankelijk is van pn .

De verkregen grafiek is dus ook geldig voor andere drukken in de hoofdleiding, indien $\xi \frac{Q_0^2}{2gF_a^2}$ klein blijft ten opzichte van

deze werkdruk.

Uit figuur 8 blijkt, dat $\Delta \frac{v_u^2}{2g}$ bij een maximaal aangevoerd debiet van $Q = 500$ l/sec maximaal bedraagt 0,016 m voor $Q_a = 150$ l/sec. Bij een maximaal aangevoerd debiet van $Q = 800$ l/sec wordt dit maximaal 0,039 m bij $Q_a = 220$ l/sec. Het maximale wrijvingsverlies bedroeg 0,05 m, zodat het duidelijk is, dat afgezien van drukvariatie door debietverandering bij een werkdruk van 5 m w.k. de schommeling in debiet ruimschoots binnen de vereiste 1 % blijft.

4. Nabeschouwing

4.1. Voeding aftappunt uit beide takken ringleiding

Om het onderzoek te vervolnaken had tevens onderzocht moeten worden hoe groot de schommeling in een eenmaal vastgesteld debiet zou zijn als aan weerszijden van het aftappunt water uit de ringleiding naar het aftappunt zou worden gevoerd. Als er geen doorgaand debiet was, werd gevonden $\xi = 0,062$. Verwacht wordt, dat, indien toestroning van beide zijden plaats vindt, deze coëfficiënt nog kleiner zal worden. Dit betekent, dat alleen de zeer grote debieten enige schommeling kunnen vertonen.

Hierbij is het echter onwaarschijnlijk, dat sterke variaties zullen optreden in de debieten in de takken van de ringleiding ter weerszijden van het aftappunt. De conclusie is dan ook, dat de schommeling in de debieten in ieder geval beneden de gevonden waarden van figuur 8 blijft.

Voorbeeld

Twee aftappunten naast elkaar, ieder afvoerende 500 l/sec. Dit betekent voor ieder van de aftappunten $Q_d = 0$, dus $\xi = 0,062$. Nu wordt één van de aftappen gesloten. Het debiet van 500 l/sec wordt nu door beide takken van de ringleiding aangevoerd, door iedere tak 250 l/sec.

Bij constante werkdruk wordt verkregen:

$$\Delta \frac{v_u^2}{2g} = \frac{1}{2gF^2} (Q^2 - Q_0^2) + \frac{Q_0^2}{2gF_a^2} (\xi_0 - \xi)$$

Stel, dat ξ in de tweede situatie $\xi = 0,032$ ($\eta = 0,985$).

Dan

$$\Delta \frac{v_u^2}{2g} = \frac{1}{19,62 \cdot 1,02^2} (0,25^2 - 0,5^2) + \frac{0,5^2}{19,62 \cdot 0,096^2} (0,062 - 0,032)$$

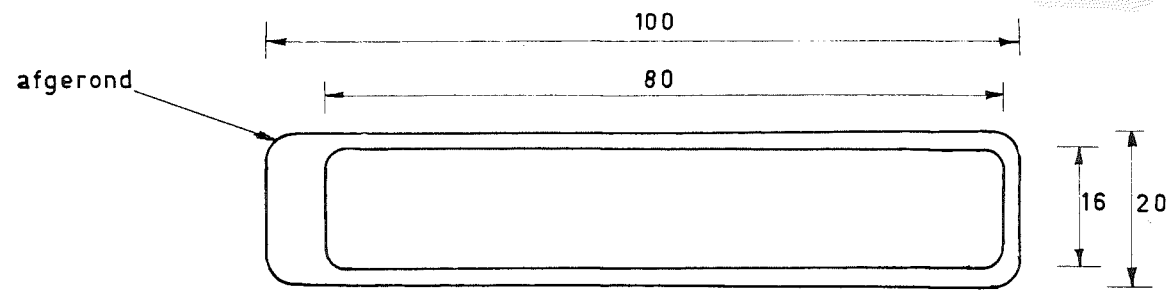
$$\Delta \frac{v_u^2}{2g} = - 0,01 + 0,04 = + 0,03 \text{ m.}$$

Aangezien dit als één van de meest extreme situaties is te beschouwen, blijven de debiet schommelingen in dergelijke gevallen ook binnen de $\frac{1}{2}$ %, met de wrijving meegerekend binnen de 1 %.

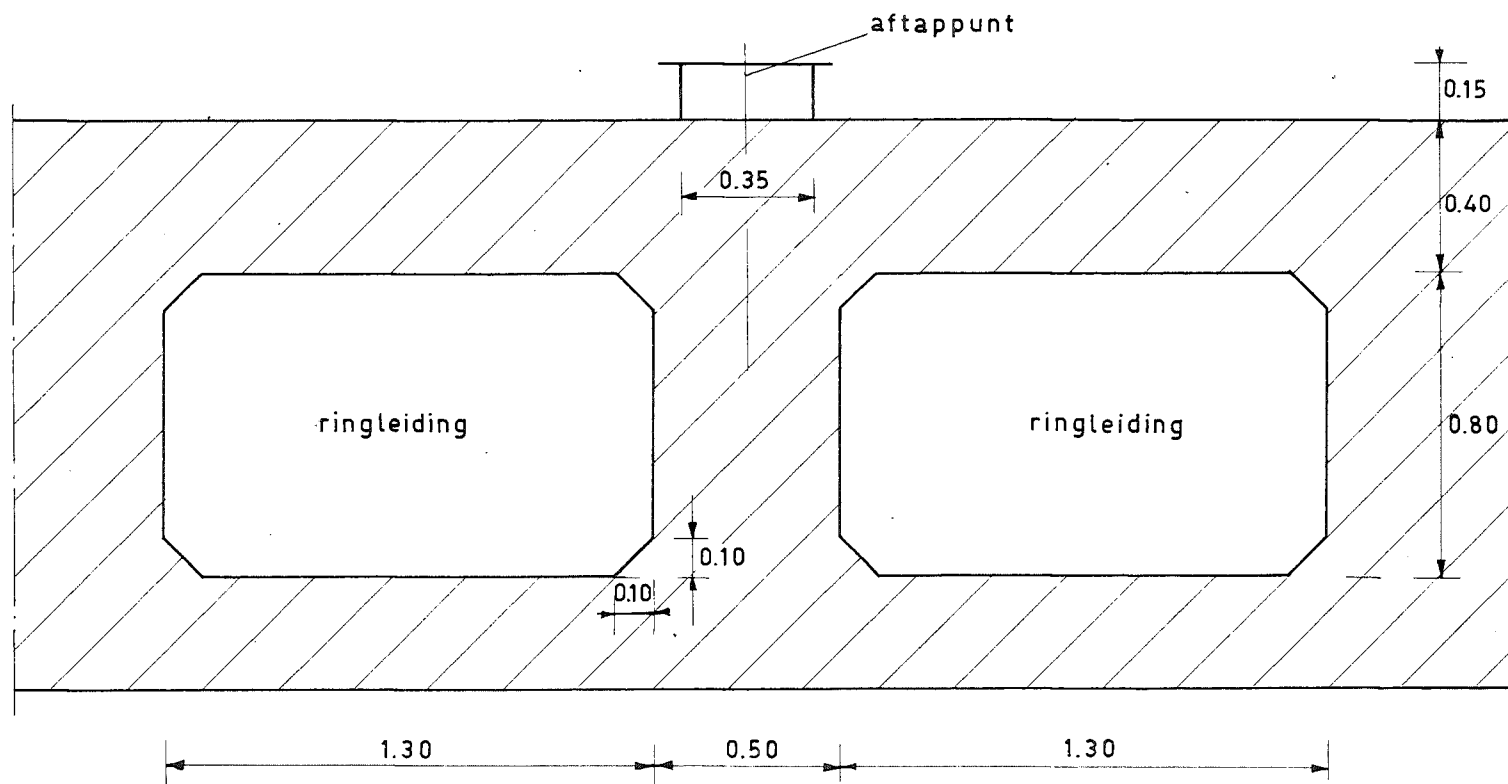
4.2. Plaats afsluiter

In model is de plaats van de afsluiter in radiale zin niet veranderd. Eventuele invloed hiervan is dan ook niet onderzocht. Verwacht wordt, dat deze invloed niet groot zal zijn.

mei 1964

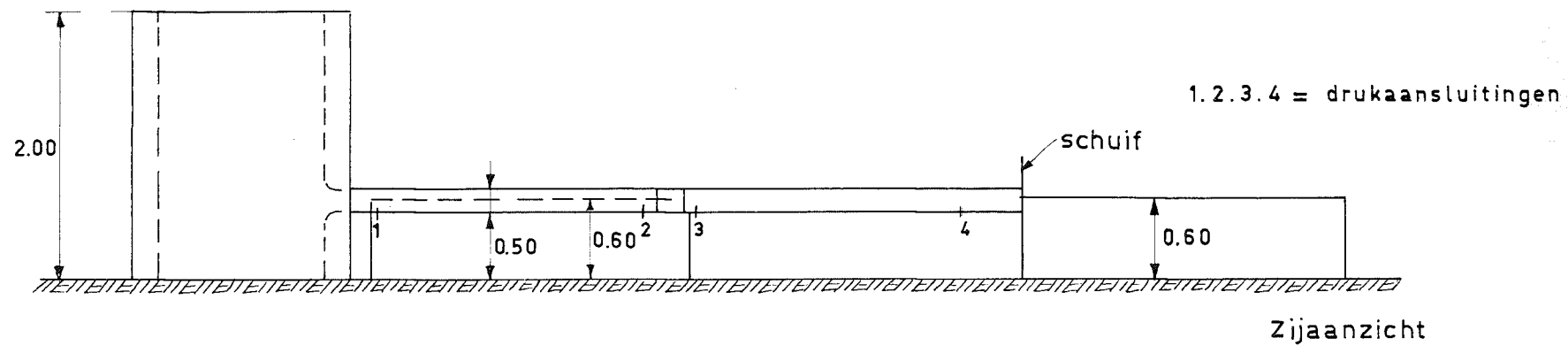
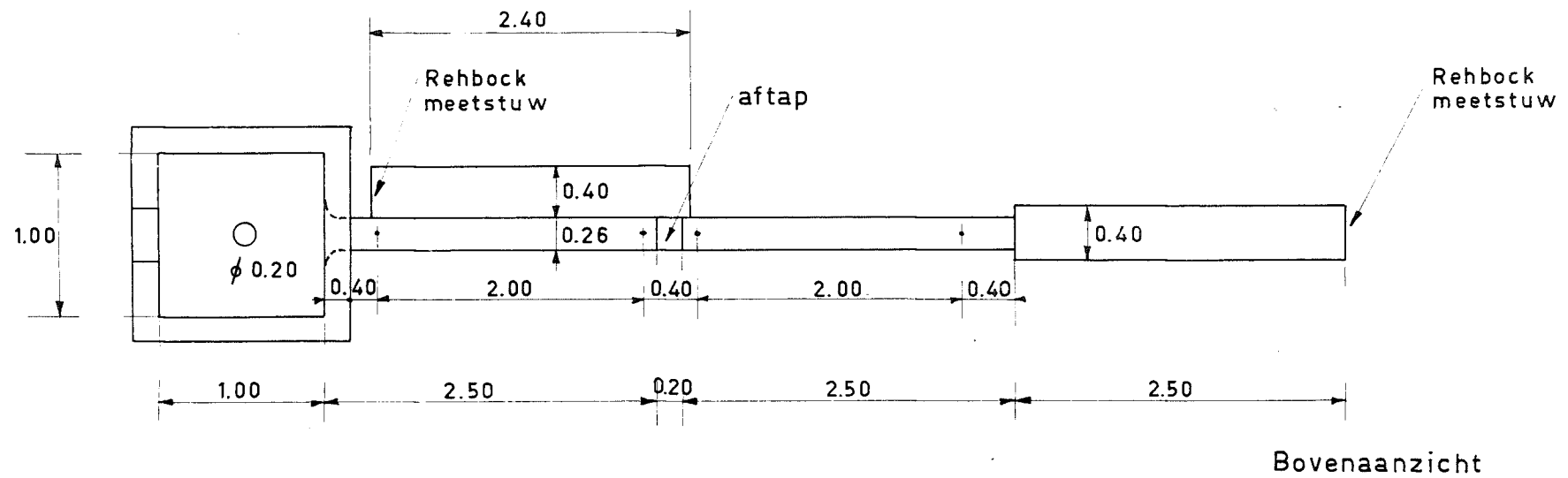


Plattegrond leidingstelsel (schaal 1:1000)

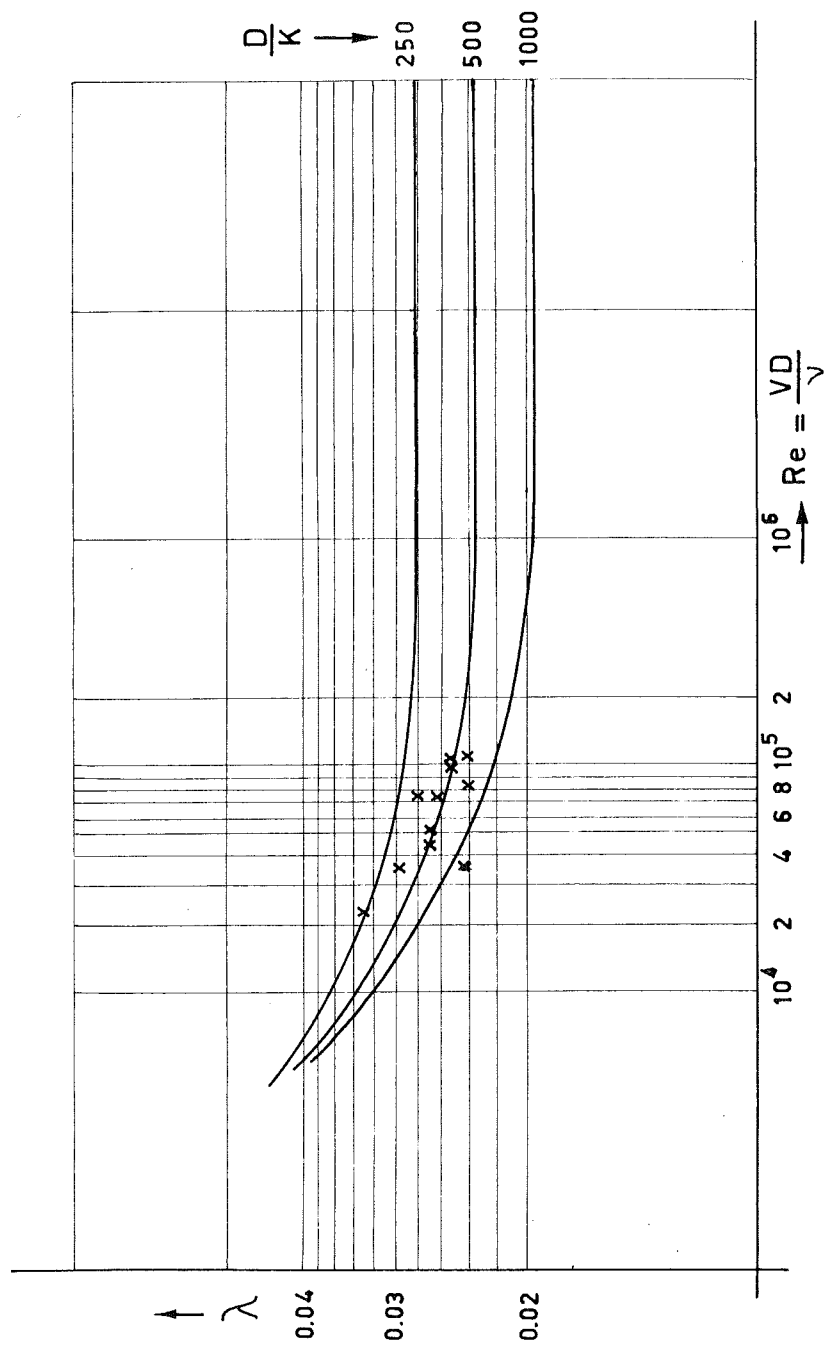


Doorsnede

FIGUUR 1
Ringleiding en plaats aftappunt schaal 1:20

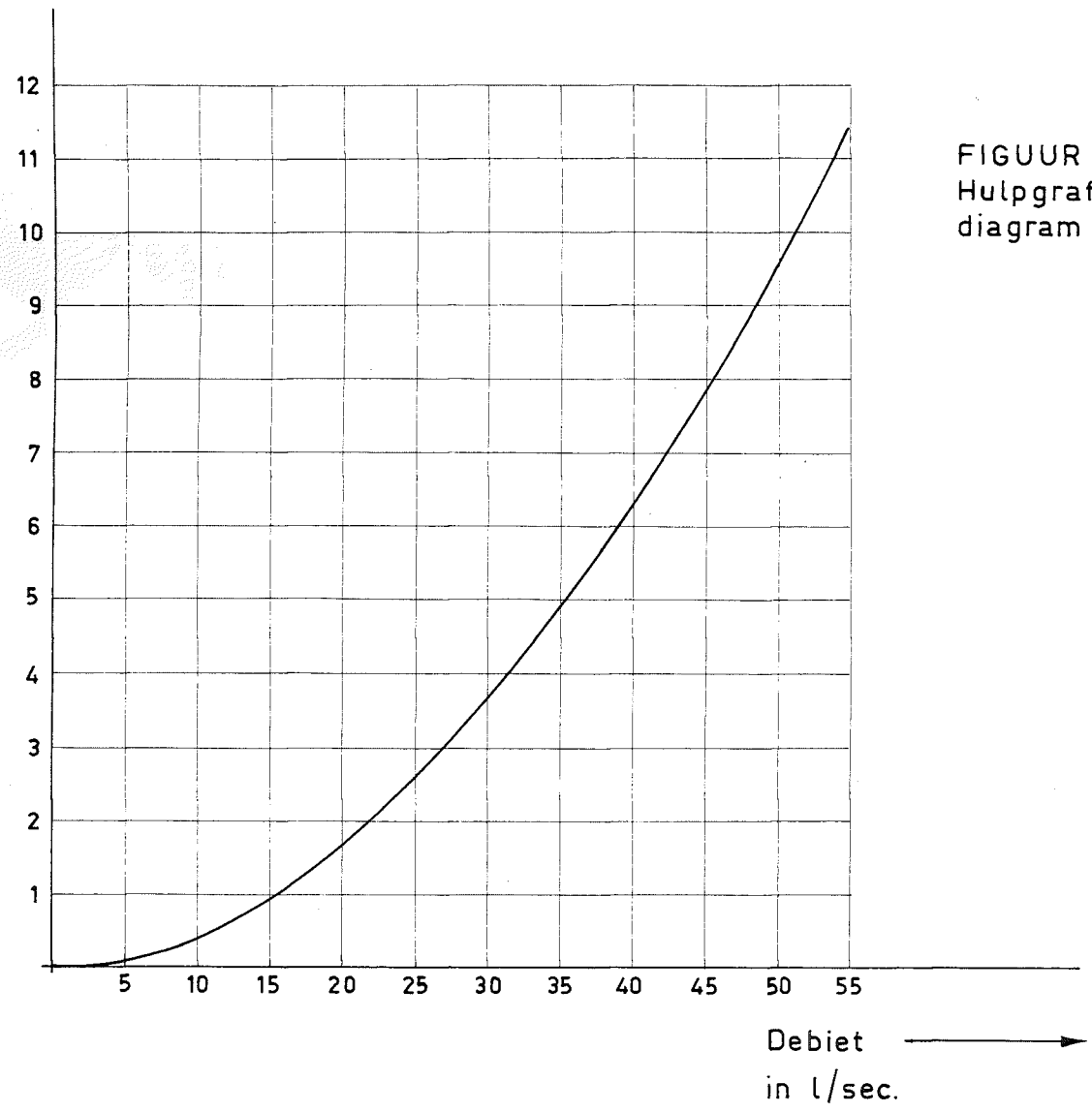


FIGUUR 3
 Model schaal 1:50

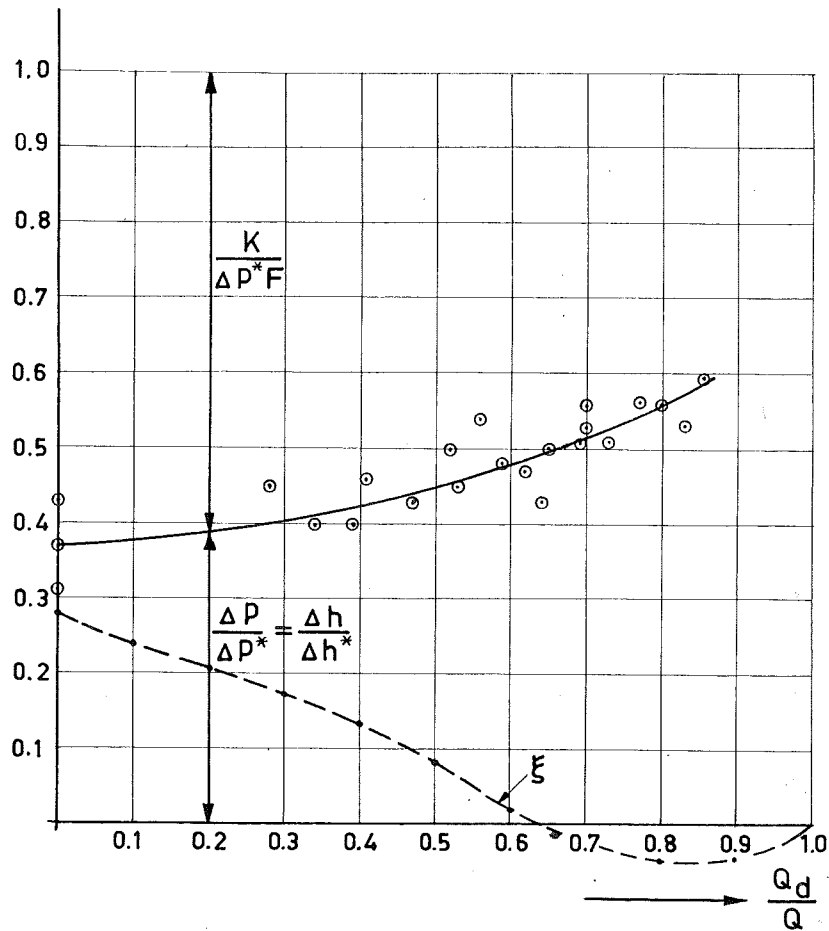


FIGUUR 4 Weerstandsdigram van Moody

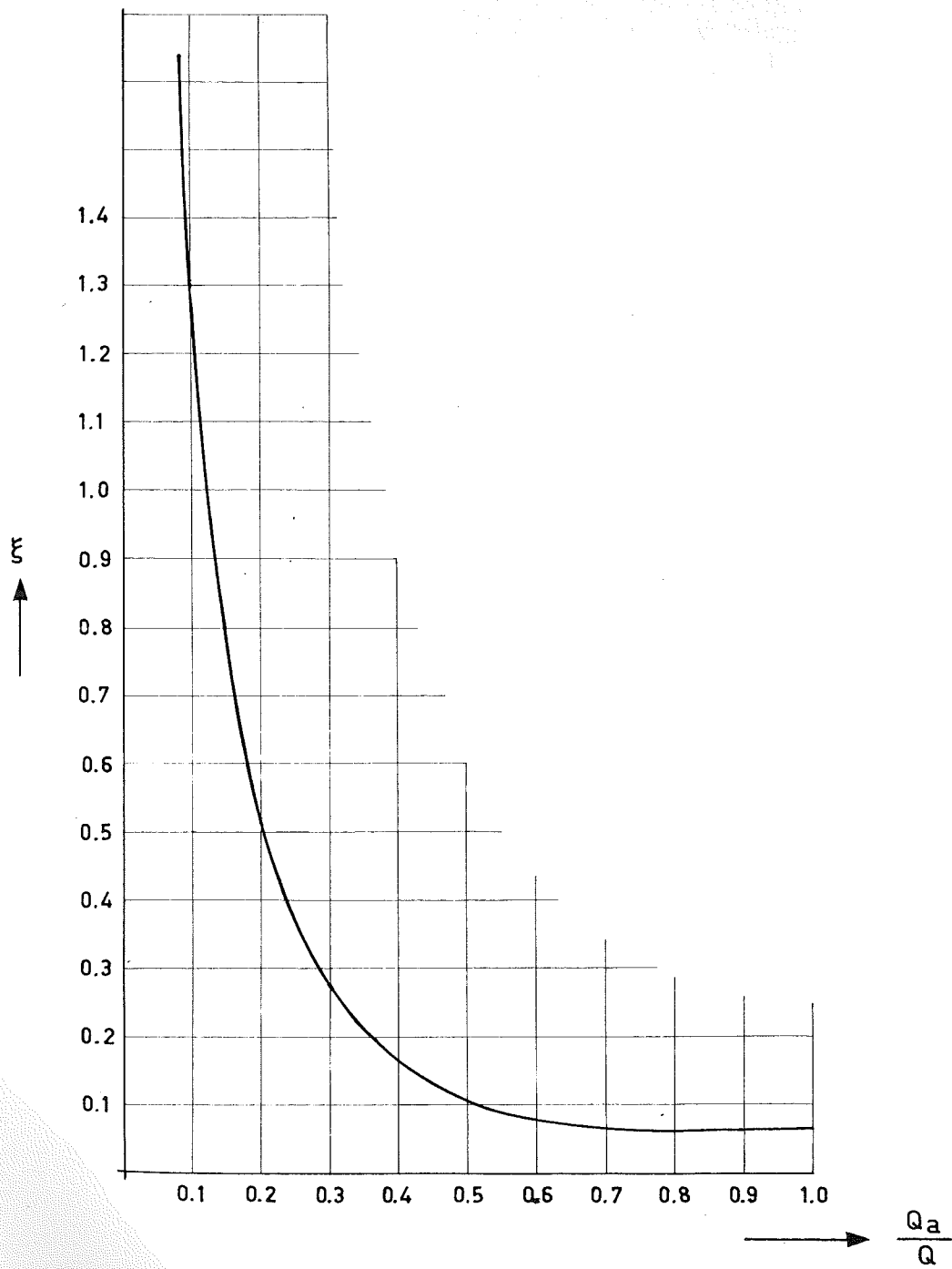
Verlies per
meter leiding
in mm



FIGUUR 5
Hulpgrafiek uit
diagram van Moody

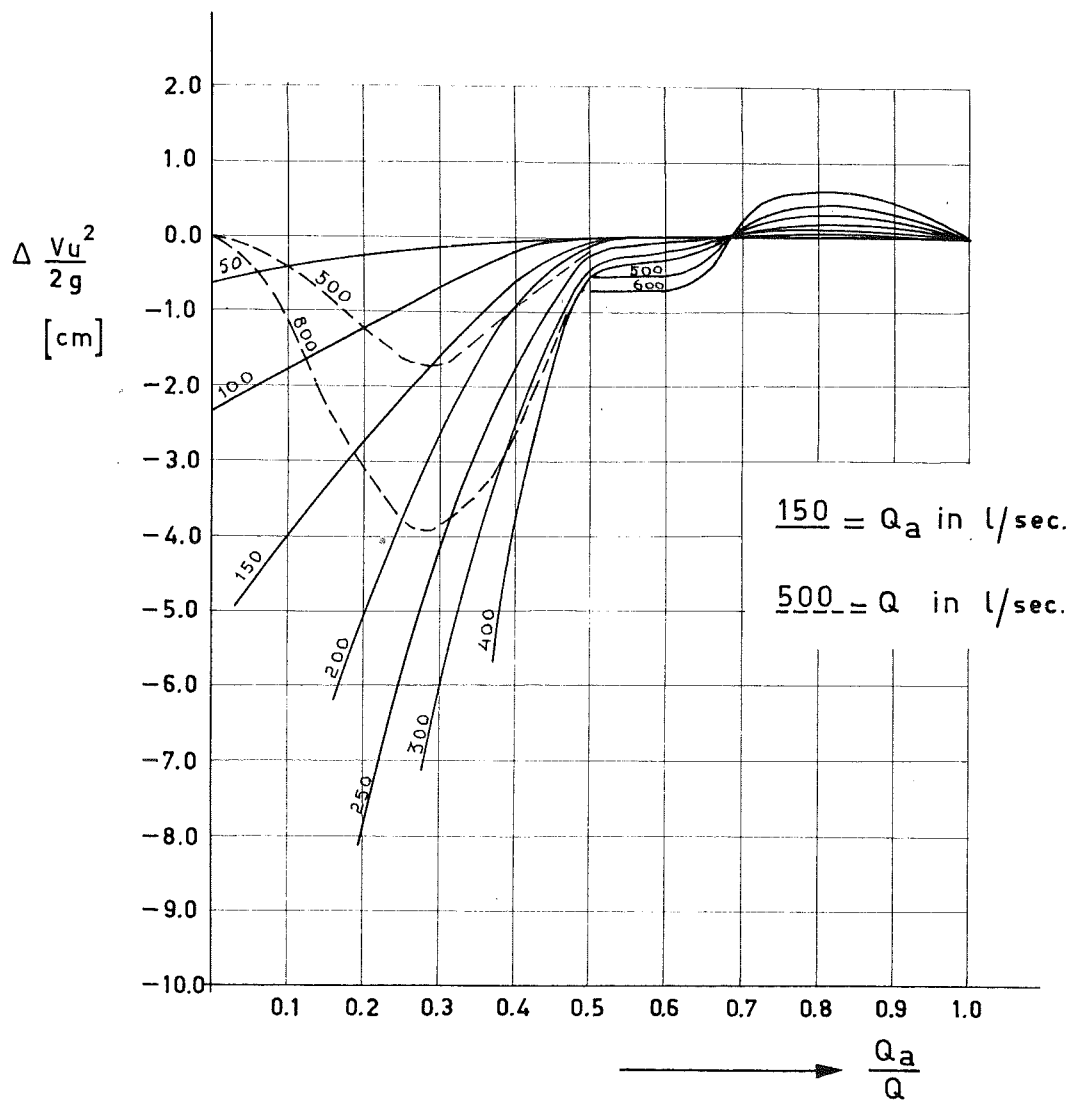


FIGUUR 6
 Kracht op de aftap
 Drukverhoging in ringleiding
 Energieverlies in ..



FIGUUR 7

Verloop van ξ als functie van $\frac{Q_a}{Q}$



FIGUUR 8

$\Delta \frac{V_u^2}{2g}$ als functie van Q_a en Q .