

NN31545.0830

NOTA 830 ↓

augustus 1974

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

BEREKENINGSVOORBEELD VAN EEN GEDEELTE VAN  
HET LEIDINGSYSTEEM VAN EEN AFVALWATERZUIVERINGSINSTALLATIE

ing. J.G.S. de Wilde

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

ISSN = 198786-01

## I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. KORTE OMSCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE	1
3. THEORETISCHE BENADERING	3
4. PRAKTISCHE BENADERINGSWIJZE	7
5. BEREKENING NAAR ENERGIEVERLIES	9
5.1. Weerstand door wrijving	10
5.2. Weerstand door vertraging	10
5.3. Eindberekening	11
6. GRAFISCHE METHODE	12
7. CONCLUSIE	13
LITERATUUR	13

## 1. INLEIDING

De behoefte bestaat om op diverse plaatsen in Nederland, zo dicht mogelijk bij de vervuilingsbron, kleine efficiënte afvalwaterzuiveringsinstallaties te plaatsen. Gezocht wordt daarom naar een zo universeel mogelijke installatie, waarvan de aanlegkosten, mede door de eenvoud van constructie en beperking van verpompde installaties, laag zijn.

Met de ontwikkeling van een dergelijke afvalzuiveringsinstallatie houdt zich o.a. de Rijks Agrarische Afvalwaterdienst te Arnhem bezig. Voor de bepaling en controle van de afmetingen van het leidingstelsel dat voor de afvoer moet zorgdragen heeft deze Dienst contact opgenomen met het ICW.

In deze nota worden nu een aantal methoden voor de bepaling van de buisdiameters van de leidingen besproken, waarbij wordt uitgegaan van een constante leidinglengte.

## 2. KORTE OMSCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE

De afvalwaterzuiveringsinstallatie bestaat in principe uit 3 naast elkaar geplaatste bassins, het effluent-, beluchtings- en slibbassin (fig. 1). Deze 3 bassins zijn verbonden door middel van een leidingstelsel. De aanvoer van het te zuiveren afvalwater vindt plaats in het beluchtingsbassin na het passeren van een vervang. Met behulp van een tweetal drijvende beluchters wordt gedurende een zekere tijd zuurstof in het afvalwater gebracht waardoor oxydatie plaats heeft. Bij een maximale waterstand van 4,70 m in het bassin wordt de beluchting gestopt. Het water komt tot rust en slib zet zich af op de bodem van het beluchtingsbassin. Als de bezinkingstijd voor de slibvorming

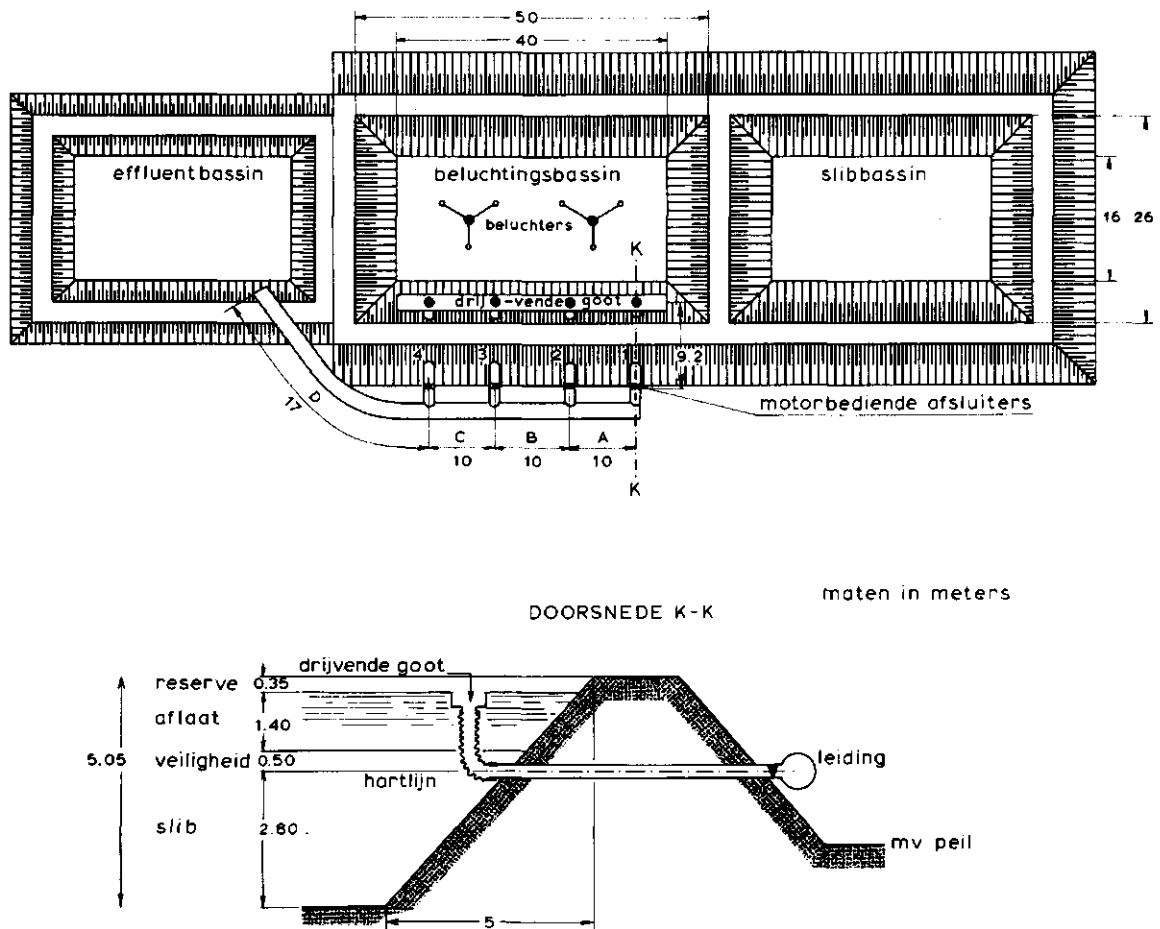


Fig. 1. Principeschets afvalwaterzuiveringsinstallatie (met gedeeltelijke doorsnede)

verstreken is wordt de bovenste laag water tot een hoogte van 3,30 m boven de bodem van het bassin afgevoerd naar het effluent bassin via een goot, een viertal leidingen (1, 2, 3 en 4), motorbediende afsluiters en de leidingen A, B, C en D. In de principeschets (fig. 1) worden deze leidingen en afmetingen van het beluchtingsbassin gegeven.

De afvoer uit het beluchtingsbassin komt overeen met  $1500 \text{ m}^3$  per 2 uur. Uit het effluentbassin vindt vervolgens een continue afvoer van het gezuiverde afvalwater plaats.

Na afvoer van de bovenste laag vloeistof uit het beluchtingsbassin wordt een gedeelte van de zich gevormde slib naar het slibbassin gepompt waarna verdere verwerking plaats heeft. Het proces herhaalt zich nadat opnieuw toevoer van afvalwater naar het beluchtingsbassin heeft plaatsgevonden.

### 3. THEORETISCHE BENADERING

De afvoer van het effluent uit het beluchtingsbassin van een afvalwaterzuiveringsinstallatie (INSTITUUT VOOR LANDBOUWBEDRIJFSGEBOUWEN, 1974) komt in principe overeen met het leegstromen van een bak met water, zoals eenvoudig wordt voorgesteld in fig. 2.

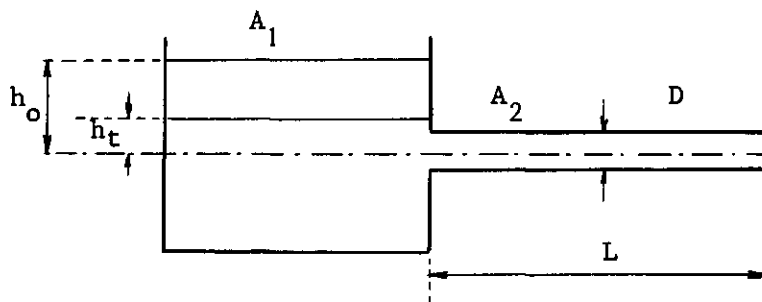


Fig. 2. Schematische voorstelling van de afvoer uit het beluchtingsbassin

Voor de bak geldt dat de hoeveelheid water  $Q$  die per tijdsinterval  $dt$  uitstroomt gelijk is aan het produkt van de afname  $dh$  van de hoogte van de waterstand in de bak in dat tijdsinterval en de oppervlakte  $A_1$ , of

$$-A_1 dh = Q dt \quad (1)$$

Door het verder uitwerken van deze vergelijking willen we proberen een formule af te leiden waarmee het mogelijk is om de diameter van de afvoerleiding te berekenen indien het gemiddelde debiet  $Q$  bekend is. Deze diameter zal mede afhangen van de in de leiding optredende wrijvings- c.q. vertragsingsverliezen. Het doet aan het principe niets af of we het bassin legen door middel van 1 of meerdere leidingen. Voor de berekening gaan we er hier echter van uit dat 1 enkele leiding zorg draagt voor de afvoer uit het beluchtingsbassin. De leidingen 1, 2, 3, 4 en A, B, C en D moeten we ons dus vervangen denken door 1 leiding welke op de goot wordt aangesloten midden tussen leiding 2 en 3 (zie fig. 1). De lengte van deze leiding is  $L = 9,2 + \frac{1}{2} \times 10 + 10 + 17 \text{ m} = 41,2 \text{ m}$ . De berekende diameter komt overeen met de diameter van leiding D uit fig. 1.

Voor het invoeren van de wrijvingsverliezen in de vergelijking (1) maken we gebruik van de formule van Chézy

$$Q = A_2 C \sqrt{RS}$$

waarin:  $C$  = de wrijvingscoëfficiënt van Chézy

$R$  = de hydraulische straal in m

$S$  = het leidingverhang in m/m

$A_2$  = de doorsnede van de leiding in  $\text{m}^2$

$Q$  = het debiet in  $\text{m}^3/\text{sec}$

Substitutie hiervan in (1) geeft

$$-A_1 dh = A_2 C \sqrt{RS} dt \quad (2)$$

Aangezien  $R = D/4$ ;  $A_2 = \pi/4 D^2$  en  $S = h/L$  vinden we

$$-A_1 dh = \frac{\pi}{4} D^2 C \sqrt{\frac{D}{4} \cdot \frac{h}{L}} dt = 0,3927 D^2 C \sqrt{D \cdot \frac{h}{L}} dt \quad \text{of}$$

$$\frac{dh}{\sqrt{h}} = - \frac{0,3927 D^2 C}{A_1} \sqrt{\frac{D}{L}} dt \quad (3)$$

Door  $\frac{0,3927 D^2 C \sqrt{D}}{A_1} = C_1$  te stellen gaat (3) over in

$$\frac{dh}{\sqrt{h}} = -C_1 dt \quad (4)$$

Na integratie ontstaat:

$$2\sqrt{h} = -C_1 \cdot t + C_2 \quad (5)$$

De integratieconstante  $C_2$  valt te berekenen doordat bij  $t = 0$  (begintoestand) de 1ste term van het 2de lid wegvalt en hierdoor

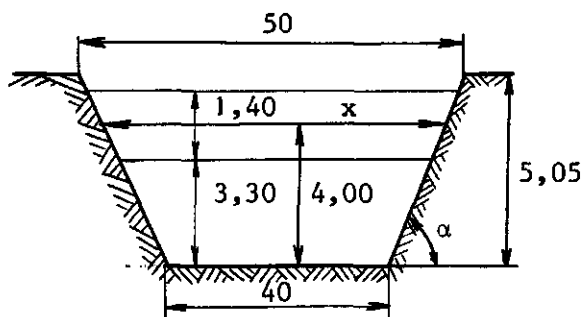
$C_2 = 2\sqrt{h_0}$  wordt. Na  $t$  sec (eindtoestand) geldt dus  $2\sqrt{h_t} = -C_1 \cdot t + 2\sqrt{h_0}$  of  $C_1 \cdot t = 2\sqrt{h_0} - 2\sqrt{h_t}$ . Waaruit volgt:

$t = \frac{2\sqrt{h_0} - 2\sqrt{h_t}}{C_1}$  hetgeen na substitutie van  $C_1$  geeft:

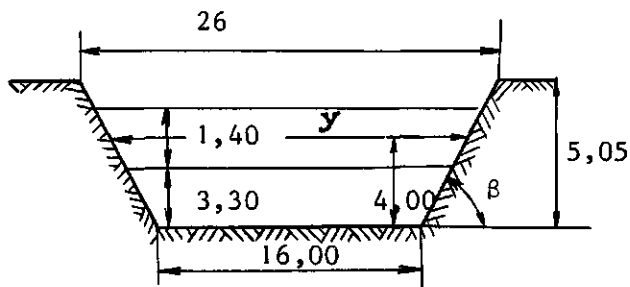
$$t = \frac{5,0929(\sqrt{h_0} - \sqrt{h_t}) \cdot A_1 \cdot \sqrt{L}}{C \cdot D^2 \sqrt{D}} \quad (6)$$

Met behulp van deze vergelijking valt nu de buisdiameter  $D$  te bepalen indien de overige factoren bekend zijn. Bij de door ons genoemde afvalwaterzuiveringsinstallatie zijn de volgende factoren gegeven:  $L = 41,20$  m;  $h_0 = 1,9$  m;  $h_t = 0,5$  m en  $t = 7200$  sec en kunnen de factoren  $C$  en  $A_1$  berekend worden. De constante van Chézy  $C$  kan berekend worden uit  $C = 18 \log \frac{12R}{k}$  welke voor buizen is  $C = 18 \log \frac{12D}{4k} = 18 \log \frac{3D}{k}$ , waarin  $k$  is de bedrijfswandruwheid in m, welke hier overeenkomt met  $k = 0,0004$  m (ETERNIT, 1969).

De oppervlakte  $A_1$  kan berekend worden na bepaling van de gemiddelde lengte  $x$  en de gemiddelde breedte  $y$  van de af te voeren vloeistofhoeveelheid uit het beluchtingsbassin.



$$x = 40 + 2 \times 4 \cotg \alpha = 47,92 \text{ m}$$



$$y = 16 + 2 \times 4 \cotg \beta = 23,92 \text{ m}$$

$$A_1 = x \cdot y = 1146,25 \text{ m}^2$$

Na substitutie van deze factor en de eerder genoemde gaat (6) over in:

$$t = \frac{1397,449}{D^2 \sqrt{D} \log 7500 D} \quad (7)$$

waarbij we de relatie gevonden hebben tussen de diameter D van de afvoerleiding en de tijd t waarin de hoeveelheid afvalwater moet worden afgevoerd.

Indien we nu met behulp van (7) voor een aantal waarden van D de bijbehorende waarden voor t berekenen en deze waarden tegen elkaar uitzetten, dan vinden we de grafische voorstelling voor de relatie tussen D en t. De berekende waarden voor t worden met de bijbehorende diameters dan:

D (m)	t (sec)	t (u)
0,70	916	0,254
0,60	1 372	0,381
0,50	2 212	0,614
0,40	3 971	1,103
0,30	8 456	2,349
0,20	24 596	6,832
0,10	153 705	42,696

De grafische voorstelling voor de relatie tussen D en t wordt in fig. 3 gegeven. Met behulp van deze figuur bepalen we nu bij de voor ons vereiste tijd van 2 u = 7200 sec een buisdiameter D = 31,5 cm.

Door de invoering van de bedrijfswandruwheid  $k = 0,0004 \text{ m}$  voor de berekening van de constante C van Chézy werd reeds rekening gehou-



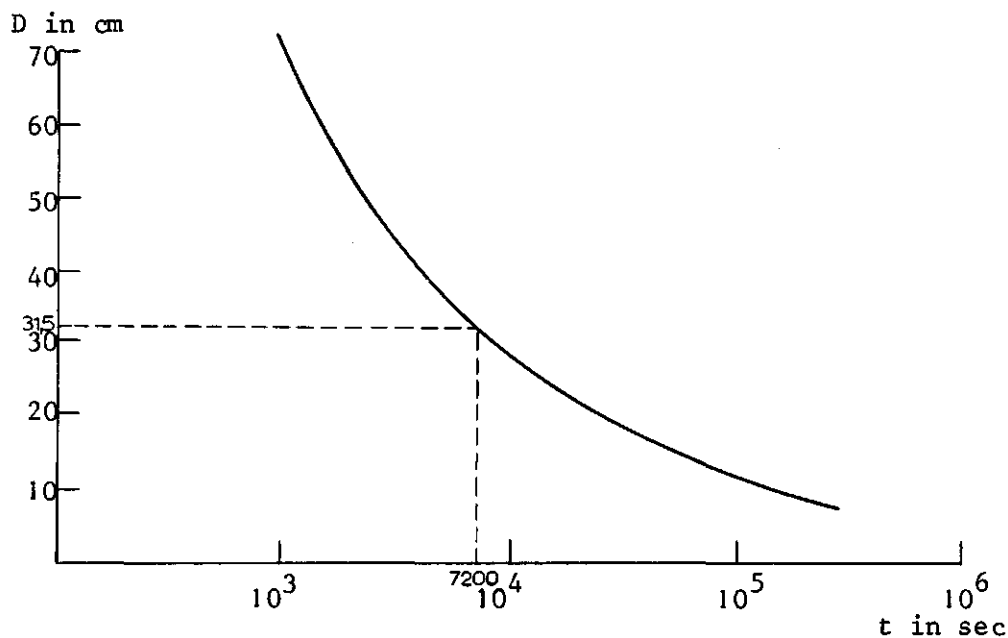


Fig. 3. Relatie tussen de leidingdiameter en de afvoertijd

den met vertragingverliezen ontstaan door intrede, knooppunten, bochten en eventuele afsluiters (ETERNIT, 1969).

Bij een inwendige buisdiameter (theoretisch) van 31,5 cm zal de vloeistofstroom een gemiddelde snelheid hebben van

$$\bar{v} = \frac{1500}{2 \times 3600 \times \frac{\pi}{4} \times 0,315^2} = 2,67 \text{ m/sec}$$

#### 4. PRAKTISCHE BENADERINGSWIJZE

Bij deze praktische benaderingswijze wordt uitgegaan van de formules van Darcy - Weisbach en Colebrook, waarna een formule wordt afgeleid voor het debiet (ETERNIT, 1969). Deze formule luidt:

$$Q = -\frac{\pi D^2}{2} \log \left[ \frac{2,51 \nu}{D \sqrt{2g \cdot S \cdot D}} + \frac{k}{3,71 D} \right] \times \sqrt{2g \cdot S \cdot D} \quad (8)$$

waarin:  $Q$  = het debiet in  $\text{m}^3/\text{sec}$

$D$  = de inwendige buisdiameter in m

$\nu$  = kinematische viscositeit in  $\text{m}^2/\text{sec}$

S = verhang in m/m

k = bedrijfswandruwheid in m

g = zwaartekrachtsversnelling in m/sec<sup>2</sup>

Met behulp van deze formule kunnen we voor een aantal waarden van D het debiet Q berekenen om vervolgens grafisch de relatie tussen D en Q weer te geven. De waarden voor g en k werden reeds in hoofdstuk 3 gegeven. Als waarde voor de kinematische viscositeit voor afvalwater wordt  $\nu = 1,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$  aangehouden (ETERNIT, 1969). Het gemiddelde verhang is:

$$S = \frac{h_o + ht}{2L} = \frac{1,9 + 0,5}{2.41,20} = 0,029 \text{ m/m}$$

In onderstaande tabel worden voor een aantal waarden van D de bijbehorende berekende waarden voor Q gegeven.

D in m	Q	
	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /h
0,70	1,874	6745
0,60	1,256	4521
0,50	0,776	2794
0,40	0,432	1555
0,30	0,203	730
0,20	0,070	251
0,10	0,011	40

De grafische voorstelling voor deze relatie tussen D en Q wordt gegeven in fig. 4.

Volgens genoemde relatie is voor een afvoer van 750 m<sup>3</sup>/h een buisdiameter D = 30,5 cm vereist. De gemiddelde snelheid van de vloeistofstroom bedraagt dan:

$$\bar{v} = \frac{750}{3600 \times \frac{\pi}{4} \times 0,305^2} = 2,85 \text{ m/sec}$$

Alhoewel in de bedrijfswandruwheid k = 0,4 mm reeds rekening is gehouden met sommige vertragingsverliezen zoals die globaal voorkomen in leidingsystemen dient voor een nauwkeurige berekening elk vertragend element apart ingevoerd te moeten worden. Deze nauwkeurige invoering zal in hoofdstuk 5 nader worden bekeken.

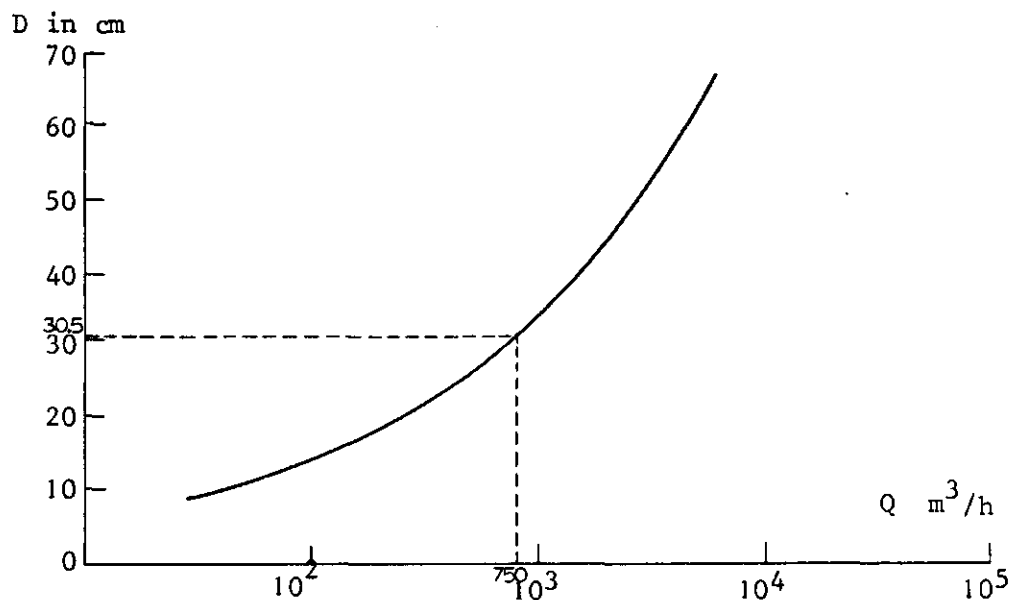


Fig. 4. Relatie tussen de leidingdiameter en het debiet

#### 5. BEREKENING NAAR ENERGIEVERLIES

Voor het vaststellen van de afzonderlijke vertragende elementen dienen we het gehele leidingstelsel zoals dat in de praktijk wordt uitgevoerd te bekijken. Een overzicht van het leidingstelsel wordt gegeven in fig. 1. De leidingen 1, 2, 3 en 4 monden via een motorbediende afsluiter uit in respectievelijk de leidingen A, B, C en D. De aansluitingen van de leidingen A, B, C en D met de leidingen 2, 3 en 4 vindt plaats door middel van een T-stuk en met leiding 1 door middel van een 90° bocht. We stellen dat de leidingen 1, 2, 3 en 4 evenveel afvoeren. De leidingdiameters kiezen we zo dat de snelheid in ieder leidingdeel gelijk is.

Voor het geheel geldt:

$$H_e = H_b - H_{ww} + H_{wv} \quad (9)$$

waarin:  $H_b$  = de statische drukhoogte bij het begin in mwk  
 $H_e$  = de statische drukhoogte bij uitrede in mwk  
 $H_{ww}$  = de weerstand veroorzaakt door wrijving in de leiding in mwk

$H_{ww}$  = de weerstand veroorzaakt door vertraging door de appen-  
dages in mwk

### 5.1. Weerstand door wrijving

Met behulp van de praktische formule  $\lambda = 0,02 + \frac{0,0018}{\sqrt{vD}}$  (BIANCHI-BUSTRAAN, 1953) kunnen we het weerstandsgetal  $\zeta = \frac{\lambda l}{D}$  per lei-  
ding bepalen. Stellen we de diameter van de eindleiding  $D_D = 40$  cm dan moeten, indien we een gelijke snelheid beogen, de overige diame-  
ters bedragen:  $D_C = \sqrt{3/4} D_D = \frac{1}{2} D_D \sqrt{3} = 34,6$  cm;  $D_B = \frac{1}{2} D_D \sqrt{2} = 28,3$  cm;  $D_{1,2,3,4} = D_A = \frac{1}{2} D_D = 20$  cm.

De gemiddelde snelheid van de vloeistof is nu:

$$\bar{v} = \frac{750}{\frac{\pi}{4} \times 0,4^2 \times 3600} = 1,75 \text{ m/sec}$$

In tabelvorm geven we nu hieronder de afmetingen van de diverse leidingen met de berekende weerstandsgetallen en weerstandscoefficient  $\lambda$ .

Leiding	Buisdiam. m	Lengte m	$\lambda$	$\zeta$
A	0,20	10	0,0230	1,152
B	0,283	10	0,0226	0,797
C	0,346	10	0,0223	0,645
D	0,40	17	0,0221	0,941
1,2,3,4	0,20	9,2	0,0230	1,060

$$\zeta_{ww} = 7,775 \quad H_{ww} = \zeta_{ww} \times \frac{\bar{v}^2}{2g} = 7,775 \times \frac{1,75^2}{2 \times 9,81} = 1,21 \text{ mwk}$$

### 5.2. Weerstand door vertraging

$\zeta$  bocht = 0,1 (BIANCHI-BUSTRAAN, 1953) (NORTIER-V.D.VELDE, 1968)

$\zeta$  intree = 0,5 ( " ) ( " )  
(BEGEMANN)

$\zeta$  bocht  $90^\circ = 0,3$  (NORTIER-V.D.VELDE, 1968) (BEGEMANN)

Voor de weerstandsgetallen van de T-stukken dienen we rekening

te houden met de hoeveelheid vloeistof welke door de aftakking stroomt. We geven de waarden in tabelvorm.

T-stuk	Tussenleiding	$Q_{\text{toevoer}}/Q_{\text{afvoer}}$	$\zeta$ (NORTIER-V.D.VELDE, 1968)
K	A-B	0,5	0,52
	2-B	0,5	0,45
L	B-C	0,67	0,39
	3-C	0,33	0,05
M	C-D	0,75	0,34
	4-D	0,25	0,15

$\zeta$  T-stuk totaal = 1,9

De weerstandgetallen voor de afsluiters vinden we in de gegevens die verstrekt worden door de fabrikanten. Volgens Eurostop vlinderkleppen:

klep geheel geopend  $\alpha = 0^\circ$ , aansluiting op een buis met een inwendige diameter van  $D = 20$  cm is het weerstandsgetal  $\zeta = 1$

$$H_{\text{wv, klep}} = 1 \times \frac{\bar{v}^2}{2g} = 1 \times \frac{1,75^2}{2 \times 9,81} = 0,16 \text{ mwk.}$$

Volgens Econ-vlinderkleppen:

geheel geopend  $\alpha = 90^\circ$   $\bar{v} = 1,75$  m/sec

$$H_{\text{wv, klep}} = 0,04 \text{ mwk}$$

Indien we rekenen met het ongunstigste geval hetgeen inhoudt dat voor de afsluiter  $\zeta = 1$  dan komen we aan een

$$\zeta_{\text{wv}} \text{ totaal} = 4 \times 0,5 + 4 \times 0,1 + 0,3 + 1,9 + 4 \times 1 = 8,6$$

$$H_{\text{wv}} \text{ totaal} = \zeta_{\text{wv}} \text{ totaal} \times \frac{\bar{v}^2}{2g} = 8,6 \times \frac{1,75^2}{2 \times 9,81} = 1,34 \text{ mwk}$$

### 5.3. E i n d b e r e k e n i n g

$H_b = 4 \times \left( \frac{h_o + h_t}{2} \right) = 4 \times 1,2 = 4,8$  mwk. Volgens (9) is nu  $H_e = 2,25$  mwk. Dit zou inhouden dat we ook de berekening nog kunnen uitvoeren voor een buisdiameter welke 1 maat ligt onder de  $D_D = 40$  cm. We kunnen echter ook de  $H_e = 2,25$  mwk beschouwen als reserve (voor een eventuele slibafzetting in de buis en de daardoor veroorzaakte doorsnedevermindering). We voeren eerst de berekening uit, uitgaande van

$$D_D = 35 \text{ cm. } \bar{v} = \frac{750}{\frac{\pi}{4} \times 0,35^2 \times 3600} = 2,165 \text{ m/sec.}$$

De afmetingen, weerstandsggetallen en weerstandscoefficiënten van de leidingen wordt dan:

Leiding	Buisdiameter m	Lengte m	$\lambda$	$\zeta$
A	0,175	10	0,0229	1,310
B	0,247	10	0,0225	0,909
C	0,303	10	0,0222	0,733
D	0,35	17	0,0221	1,072
1,2,3,4	0,175	9,2	0,0229	1,205

Nu is  $\zeta_{ww} = 8,925$  en  $H_{ww} = 2,132$  mwk

klepweerstandsggetal  $\zeta = 1$  ( $\phi$  20 cm is handelsmaat)

$\zeta_{wv} = 4 \times 0,5 + 4 \times 0,1 + 0,3 + 1,9 + 4 \times 1 = 8,6$  en  $H_{wv} = 2,055$  mwk

volgens (9) is nu  $H_e = 0,613$  mwk.

Dus ook deze combinatie van leidingdiameters zou volgens deze wijze van berekening nog een overschot aan statische drukhoogte opleveren bij uittrede uit de laatste leiding. De reserve voor slibvorming in het buizenstelsel zou echter minimaal zijn.

## 6. GRAFISCHE METHODE

Een vierde rekenmethode voor de berekening van de diameters van een buizenstelsel zouden we de grafische methode kunnen noemen. De methode wordt in de literatuur omschreven (NORTIER-VAN DER VELDE, 1968; VAN ROSSUM-DE VRIES, 1967). De methode berust op de formule van Chézy ( $Q = AL\sqrt{RS}$ ) en is uitgewerkt voor rioolbuizen welke geheel gevuld zijn. Passen we deze methode op ons afvoerstelsel toe, waarbij dus geldt dat  $Q = 750 \text{ m}^3/\text{h} = 208,3 \text{ l/sec}$  en  $S = 0,29 \text{ m/m}$ , hetgeen overeenkomt met een verhang van 1 : 34,5, dan vinden we een buisdiameter  $D = 32 \text{ cm}$  (NORTIER-VAN DER VELDE, 1968). Deze buisdiameter geldt, evenals in hoofdstuk 3 wordt omschreven, indien 1 enkele leiding gebruikt wordt voor de afvoer.

De naast grotere buisdiameter volgens handelsafmetingen zou voor ons geval  $D = 35 \text{ cm}$  worden.

## 7. CONCLUSIE

Bij de in voorgaande hoofdstukken behandelde berekeningsmethoden kwam duidelijk naar voren dat, indien 1 enkele leiding voor de afvoer van het water uit het beluchtingsbassin zorg draagt, de diameter van deze leiding moet liggen tussen de 30,5 en 35 cm.

Aangezien bij de berekening naar het energieverlies, veroorzaakt door wrijving en vertraging in de leiding, de diverse weerstandsfactoren het nauwkeurigste werden bekeken en ingevoerd, zouden we aan deze methode de meeste waarde willen toekennen. Dit houdt in dat indien we enige reserve willen houden de volgende buisdiameters in handelsafmeting voor de betreffende leidingen aanbevelen. De optredende gemiddelde vloeistofsnelheden zijn vermeld achter de diameters.

Leiding	Buisdiameter (cm)	$\bar{v}$ (m/sec)
A	20	1,69
B	30	1,50
C	35	1,65
D	40	1,7
1,2,3,4	20	1,69

## LITERATUUR

BEGEMANN, E.H. Rekenschild voor de berekening van leidingweerstand.

NV Koninklijke Nederlandse Machinefabriek, Helmond.

BIANCHI, L.W.P. en P. BUSTRAAN. 1953. Pompen. Techn.Uitg. H.Stam NV.

ETERNIT. 1969. Rioolbuizen. Brochure met technische gegevens van Eternit rioolbuizen en algemene berekeningsgrondslagen voor buisleidingen. NV Eternit, Amsterdam.

INSTITUUT VOOR LANDBOUWBEDRIJFSGEBOUWEN. 1974. Afvalwaterzuiveringsinstallatie, tekening 6477 (juni).

NORTIER, I.W. en H. VAN DER VELDE. 1968. Hydraulica voor waterbouwkundigen. Techn. Uitg. H. Stam NV.

ROSSUM, H. VAN en Tj. DE VRIES. 1967. Waterkering - waterhuishouding.