

la Nijl. C.O.
Dh

NIJVERHEIDSORGANISATIE T. N. O.

DE NATUURLIJKE CIRCULATIE GETOETST IN
EEN ENKELVOUDIG WARMWATERCIRCUIT

DOOR

Ir L. L. MULDER

VERSLAG No. 20

BIBLIOTHEEK
19 AUG 1952
ORGANISATIE T. N. O.
AMSTERDAM

INSTITUUT VOOR WARMTE-ECONOMIE
JULIANALAAN 134 - DELFT - TELEFOON 2323



Figuur 1 vermeldt de overige temperaturen, eveneens op de plaats waar ze werden waargenomen. In de 2" bochtstukken waren insteekbuisjes gelast; in de twee bovenste meetpunten werd de temperatuur met een thermo-electrische tastthermometer bepaald.

In werkelijkheid verliep de gehele proef met een langzame, doch bekende verandering in de warmteproductie van de gasbrander, zodat de proef met natuurlijke circulatie, is ingesloten tussen twee proeven met pompbedrijf en watermeter.

De circulatie-druk.

In fig. 3 is het verloop van het soortelijk gewicht van het water globaal grafisch weergegeven langs het pijpschema. Het veld, ingesloten door het linkerbeen en de gewichtslijn is afgetrokken van het naar links overgebrachte veld van het rechterbeen. De inhoud van de gearceerde figuur geeft dan op een zekere schaal weer de grootte van de beschikbare circulatiedruk. Deze circulatiedruk is het resultaat van het gewichtsverschil van de rechter met de linker zuil. Daar het soortelijk gewicht met de hoogte varieert moet men deze gewichten als een integraal uitrekenen, aldus:

$$p = \int_0^H \gamma_r dh - \int_0^H \gamma_l dh$$

ofwel als men in één richting, bijv. met de stroomrichting mede, de gehele kring doorloopt:

$$p = \int_0^H \gamma_r dh + \int_H^0 \gamma_l dh = \oint \gamma dh$$

Het laatste lid van deze gelijkheden is niet anders dan een verkorte schrijfwijze. Grote geesten hebben aangetoond, dat $\oint \gamma dh = \oint h d\gamma$.

Tabel I

Leiding stuk	h gemid.	t _u	t _i	γ _u	γ _i	γ _u - γ _i	Δ p
AP	0,24	73,5	58,8	975,77	983,85	-8,08	-1,93
PB'	0,65	88,2	73,5	966,55	975,77	-9,22	-6,00
BC	2,02	87,4	88,2	967,08	966,55	0,53	1,07
CD	3,10	85,0	87,4	968,65	967,08	1,57	4,85
DE	3,10	82,9	85,0	970,00	968,65	1,35	4,18
EFG	1,87	81,8	82,9	970,70	970,00	0,70	1,31
GH	0,40	58,8	81,8	983,85	970,70	13,15	5,28
							16,69-7,93 = 8,76

De laatste vorm is bij het uitcijferen in een beperkt aantal pijpstukken gemakkelijker dan de eerste om-

dat dγ hoogstens 3 cijfers omvat en γ zelf 5; dh en h omvatten hoogstens 3 cijfers.

De bewerking is in tabelvorm uitgevoerd (tabel I) en leverde een beschikbare circulatiedruk van 8,76 mm op.

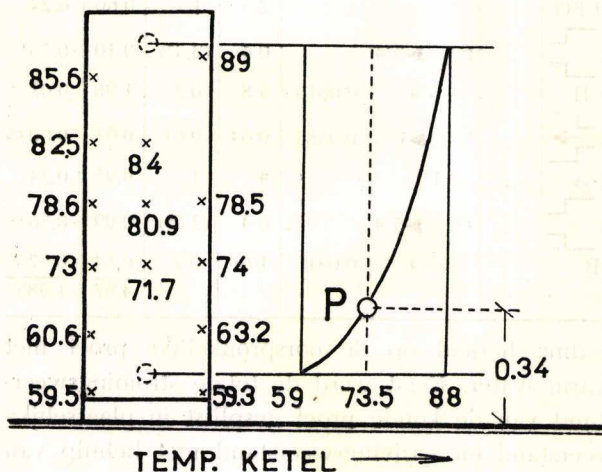


FIG. 2

De stromingsweerstand.

De beschikbare circulatiedruk moet nu gesteld worden naast de som van alle stromingsweerstand, ontstaan bij de uit de proef geheel bekende snelheden. Voor verschillende onderdelen is de weerstandsfactor aan de literatuur ontleend. Er is echter een uitzondering gemaakt voor de ketel en de radiator, wat de plaatselijke weerstand betreft en voor de 1½" hoofdpijpen, wat de wrijvingsweerstand betreft. Deze weerstanden werden bepaald met een opstelling, analoog aan die, waarmee destijds *) is bepaald de weerstand en de karakteristiek van radiatorcransen. Dit geschiedde bij de lage stroomsnelheden, welke in dit stelsel voorkomen (< 10 cm/sec.).

De netto weerstandsfactor van de radiator met 5/4" aansluitingsleiding bedroeg blijkens deze proef 5,8, die van de ketel 1,6.

Voor de weerstandsproef van de leiding was de 1½" leiding helaas niet meer beschikbaar, doch wel een van 5/4". Beiden waren van nieuw materiaal vervaardigd. Met behulp van de uitdrukking voor de pijpwrijving:

$$P_w = \psi (Re) \frac{l}{d} \times \frac{1}{2} m v^2$$

werden de gegevens, verkregen met de koude 5/4"

*) L. L. Mulder, Warmte Techniek 8, 81 (1940).

Tabel II

Pijp- stuk	kg/h	diam. in	sneth. m/sec.	ζ	$\Delta \zeta$	Z	ΔZ
B	291	5/4 → 1 1/2	0,0685	0,04	0,01	0,01	0,0025
B-C	..	1 1/2	..	3	1	0,72	0,24
DEFG	2,5	1	0,60	0,24
G	..	1 1/2 → 5/4	..	0,4	(2,3 ⁵)	0,10	0,56
G-H	..	5/4	0,0815	5,8	0,2	1,96	0,07
H	..	5/4 → 1 1/2	0,0685	0,04	0,01	0,01	0,0025
H-A	..	1 1/2	..	4	1	0,95	0,24
A	..	1 1/2 → 5/4	..	0,4	(2,3 ⁵)	0,09	0,56
AB	..	5/4	0,0815	1,6	0,2	0,54	0,07
						4,97	1,985

leiding herleid op de oorspronkelijke proef met warm water. Eerst werd de totale stromingsweerstand van de koude proef gesplitst in plaatselijke weerstand en wrijvingsweerstand met behulp van de gangbare waarden van de weerstandsfactor van bochten e.d. en wel bij die stroomsnelheid, waarvoor de waarde van Re overeenkwam met die in de warme 1 1/2" leiding. Voor ψ (Re) werd daarmede gevonden: 0,037 en voor de totale wrijvingsweerstand van de warme leiding: 2,73 mm.

De plaatselijke weerstand is voor de proef met warm water berekend in tabel II.

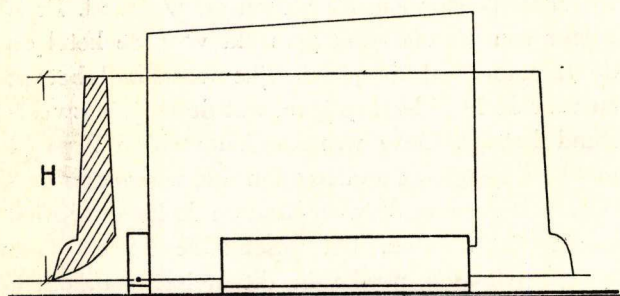


FIG. 3

Hierbij zijn zonder meer alle ζ waarden gebruikt volgens de bekende gegevens van Rietschel. Voor zover de tabellen, geldig voor water, niet toereikend waren is de tabel voor ventilatiekanalen geraadpleegd. Alle stappen zijn zoveel mogelijk afzonderlijk gehouden o.a. de wijidte-veranderingen. De wisselwerking van kort op elkaar volgende hinderissen is niet in rekening gebracht, omdat het gehele thermosyphon stelsel in één vlak is opgesteld. Als som van de plaatselijke weerstanden is dus 4,97 mm gevonden. Dit, vermeerderd met de post wrijvingsweerstand à 2,73 mm, is 7,70 mm. Er is

Pijp- stuk	Specificatie ζ	Hulpberekeningen en opmerkingen
B		$\left\{ \left(\frac{0,0387}{0,0358} \right)^2 - 1 \right\}^2 = 0,04$
B-C	1 + 1 + 1	
DEFG	1 + 1/2 + 1	
G	—	$\left\{ \left(\frac{0,0387}{0,0355} \right)^4 - 1 \right\} = 0,4$ zonder contractie
G-H	proef	2,75 met contractie
H	—	
H-A	1 + 1 + 1 + 1	2" bocht + thermom. buisje
A	—	als boven bij G
AB	proef	

dus nog een verschil van 1,06 mm met de beschikbare druk.

Gaat men achtereenvolgens na waar de schatting van ζ het minst zeker is, dan is dit bij de punten A en G, omdat daar bij een scherpe rand straalcontractie is te verwachten en de schatting van ζ volgens de nominale wijidte van het nauwe deel een te lage waarde oplevert. Neemt men een straalcontractie tot 0,65 van de oorspronkelijke doorsnede aan, dan wordt ζ in plaats van 0,4 : 2,75. Dit komt tweemaal voor dus de eenmalige weerstand zou

$$\text{dan belopen } 4,97 + 2 \times (2,75 - 0,4) \frac{\gamma}{2g} v^2 = 4,97$$

+ 1,12 = 6,09 en de totale weerstand 8,82 mm. Dit zou beter kloppen met de beschikbare druk dan men, gezien de overige onzekerheden in de berekening van Z, mag verwachten. Als men de marge van elke post afzonderlijk beschouwt (zie kolom $\Delta \zeta$ en ΔZ) dan blijken de marges ΔZ van BC, D-G en H-A allen in dezelfde richting te moeten vallen om een vergelijkbare invloed te hebben als de straalcontractie in G en A. De laatste verklaring is dus wel zeer aannemelijk te achten. Volgens een zeer globaal toegepaste waarschijnlijkheidsbeschouwing is de te verwachten marge te stellen op

$$\frac{1,985}{\sqrt{9}} = 0,66 \text{ mm.}$$

De verificatie van de berekende weerstand door de experimenteel vastgestelde laat zien, dat de afwij-

$$\text{king in de praktijk } \frac{0,66}{8,76} \times 100 = 7\frac{1}{2} \% \text{ kan be-}$$

dragen. Dit zal men niet bij elk niet warmte-technisch ontwerp weten te bereiken.