

8

Archifexemplaar

A F S T U D E E R V E R S L A G

van

P.W.PFEIFFER.

Laboratorium voor
PHYSISCHE TECHNOLOGIE
der Technische Hogeschool
Pr. Bernhardlaan 6 - DELFT

Laboratorium voor
PHYSISCHE TECHNOLOGIE
der Technische Hogeschool
Pr. Bernhardlaan 6 - DELFT

8
NIPRAAT

PLAATS

VAK No.

FIRMA

JAARGANG

EXPERIMENTEEL ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN
DE VISCOSITEIT OP DE EFFICIENCY VAN SCHOTELS
IN DESTILLATIE KOLOMMEN ONDER STRIP CONDITIES.

door

P.W. PFEIFFER

Junij 1951

Samenvatting.

De invloed van de viscositeit op de efficiency van schotels van destillatie kolommen onder strip condities werd onderzocht voor viscositeiten tussen 12 en 22 c.s. Het gekozen systeem glycerine-water is niet ideaal, doch in de gegeven omstandigheden het meest aangewezen.

Van de verschillende methoden voor de berekening van de efficiency van een kolom voldoen de definities volgens Kremser en Tiller, voor een strip factor groter resp. kleiner dan één, zeer goed. Beide efficiencies werden uit de waarnemingen berekend. Een uitgesproken afname van de efficiency bij toenemende viscositeit werd niet gevonden.

Uit enkele globale berekeningen bleek dat zowel de weerstand tegen warmte overdracht in de gasphase en de weerstand tegen stof-overdracht in de vloeistofphase het overdrachts proces kunnen beheersen.

In de discussie werd aangetoond dat, de stof overdracht door toenemende viscositeit in ongunstige zin beïnvloed wordt.

In een bijlage is een verzameling van de fysische constanten van het glycerine-water mengsel gegeven.

INHOUD:

- I. Inleiding.
- II. Beschrijving van de apparatuur.
 - A De kolom op semi-technische schaal.
 - B De laboratorium opstelling.
- III. Keuze van het systeem.
- IV. Definitie van de efficiency.
- V. Verrichte waarnemingen
 - A Proeven verricht met de kolom op semi-technische schaal.
 - B Metingen aan de laboratorium opstelling van de strip-kolom.
- VI. Nadere beschouwing van het overdrachts mechanisme.
- VII. Discussie der resultaten.
- VIII. Conclusie's
- Bijlage.

I. INLEIDING

Een correlatie tussen de efficiency van schotels van destillatie kolommen en de viscositeit werd voor een aantal koolwaterstoffen beschreven door Driekamer en Bradford (1). De viscositeit der onderzochte mengsels was niet groter dan 1,4 c.s. terwijl de relatieve vluchtigheid ongeveer dezelfde was. O'Connell (2) voerde voor systemen met verschillende vluchtigheid het product relatieve vluchtigheid-viscositeit in. Door Williams, Stigger en Nichols (3) werd deze correlatie methode getoetst in een destillatie kolom voor verschillende systemen. Bij lage reflux verhoudingen werd een redelijke overeenstemming gevonden. Voor grote reflux verhoudingen en voor de "Stripper section", het gedeelte van de kolom onder de voedingsschotel, ontbrak iedere overeenstemming.

Door Geddes werd getracht de efficiency te voorspellen uit de grootte van de dampbellen welke aan een "bubble cap" gevormd worden, en de contact-tijd met de vloeistof. Hierin werd verondersteld dat de weerstand tegen materiaal overdracht in gasphase het proces beheerst. Bij systemen met hoge viscositeit zal de weerstand in de vloeistof het proces van stofoverdracht beheersen. In dit geval zal de verstoven vloeistof boven de schotel meer bijdragen tot de efficiency dan de dampbellen. Hierover is nog zeer weinig bekend.

Het doel van het experimentele onderzoek is nu om een beter inzicht te krijgen in de factoren, welke de efficiency van destillatie kolommen voor visceuze vloeistoffen onder strip condities, beïnvloeden. Hierbij zal in het bijzonder aandacht besteed worden aan de stofoverdracht in de verstoven vloeistof.

II. BESCHRIJVING VAN DE APPARATUUR.

Voor het onderzoek staat een stripkolom op semi-technische schaal en een kleine laboratorium opstelling ter beschikking.

A. De kolom op semi-technische schaal. fig.: 1.

De kolom heeft een doorsnede van 40 cm en bevat zes schotels ieder met twee klokjes, diameter 135 mm. De afstand der schotels bedraagt 50 cm. Iedere schotel is voorzien van een thermometer, en een aftap voor het nemen van vloeistof monsters. Op de voet van de kolom is een ventilator aangesloten welke aangedreven wordt door een 12 P.K. motor, $n = 2860$. De aanzuig capaciteit is regelbaar en bedraagt max. $1000 \text{ m}^3/\text{hr}$ bij een tegendruk van 50 cm waterkolom, bij normale bedrijf omstandigheden ca $300 \text{ m}^3/\text{hr}$ bij 80 cm water. Door de compressie wordt de lucht opgewarmd tot $38 - 40^\circ \text{ C}$. De hoeveelheid lucht wordt gemeten met behulp van een meetflens welke in de 10'' verbindingsleiding tussen ventilator en kolom, is aangebracht.

De voet van de kolom dient tevens als voorraad tank voor de vloeistof. Een pomp met maximale capaciteit van $2,5 \text{ m}^3/\text{hr}$ (0.75 P.K.) zorgt voor de vloeistof voeding boven in de kolom. In de zuigleiding van de pomp is een Siemens olie meter aangebracht voor meting van het doorgestroomde volume. Met behulp van een warmte wisselaar welke tussen de pomp en voedings-schotel geplaatst is, kan de vloeistof op de gewenste temperatuur gebracht worden.

Boven de voedingsschotel zijn nog twee secties geplaatst voor het opvangen van vloeistof welke eventueel door de luchtstroom meegesleurd wordt. De bovenzijde van de kolom is open en de lucht treedt in de laboratorium ruimte. De hoeveelheid van de vluchtige component welke verdampt, kan dus niet teruggewonnen worden.

B. De laboratorium opstelling. fig.: 2.

In het laboratorium is een kleine kolom, diam. 6,5 cm, met twee schotels, opgesteld. De afstand der schotels bedraagt 20 cm. Deze schotels zijn door het laboratorium van de Koninklijke Shell-groep te Amsterdam, ter beschikking gesteld.

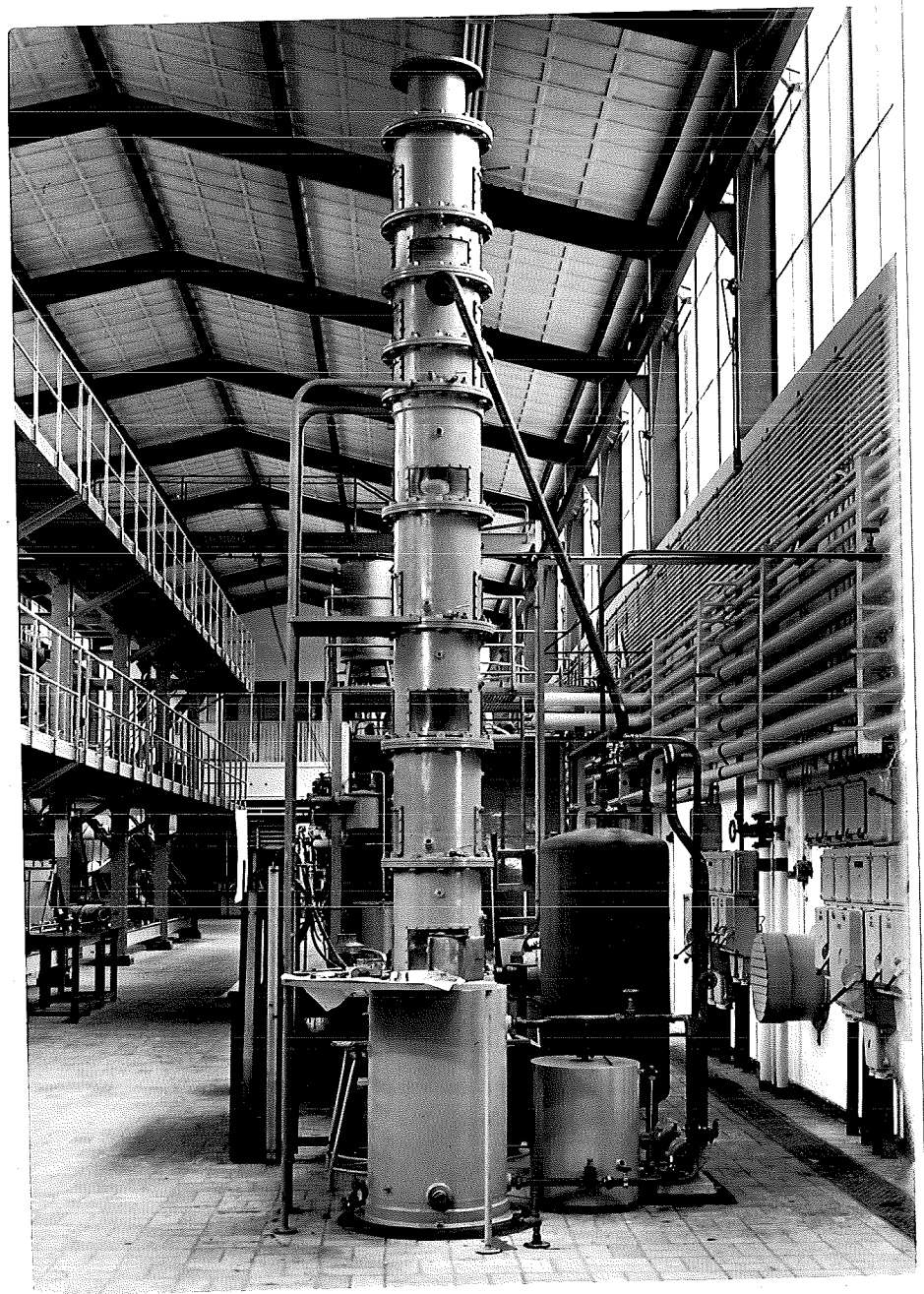


fig. 1

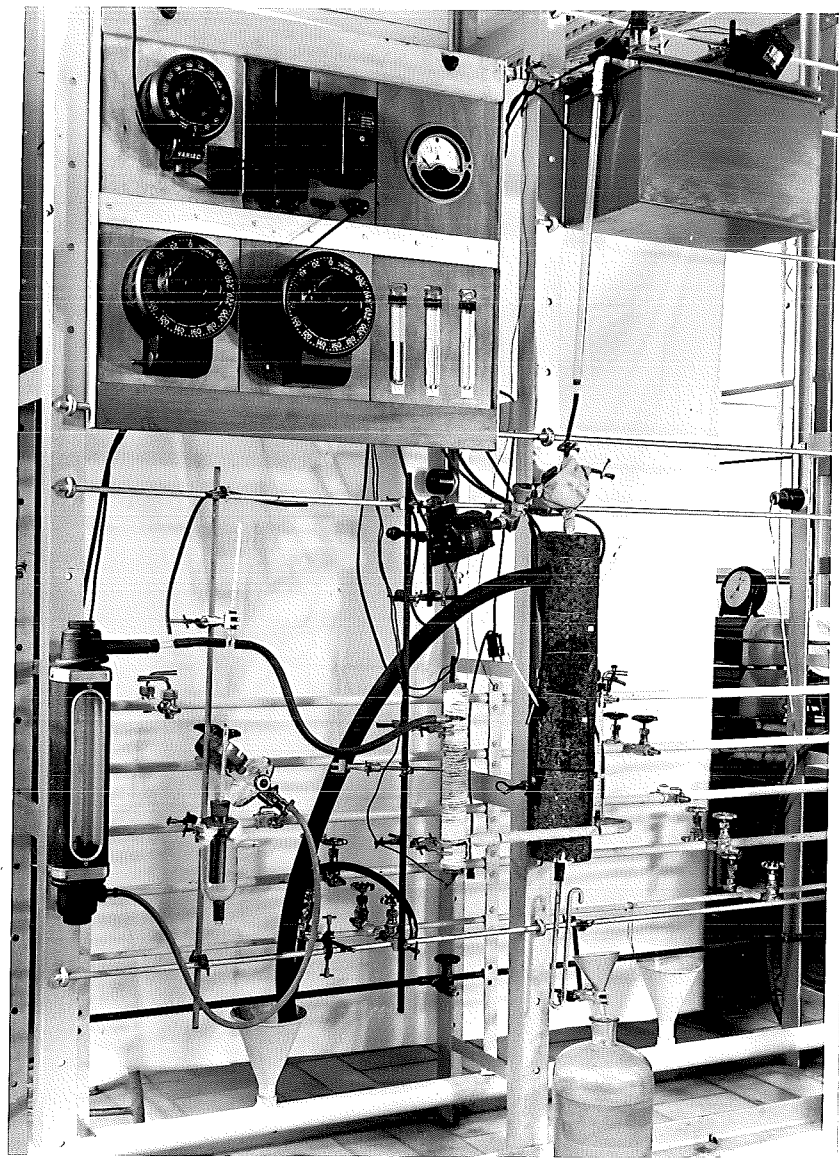
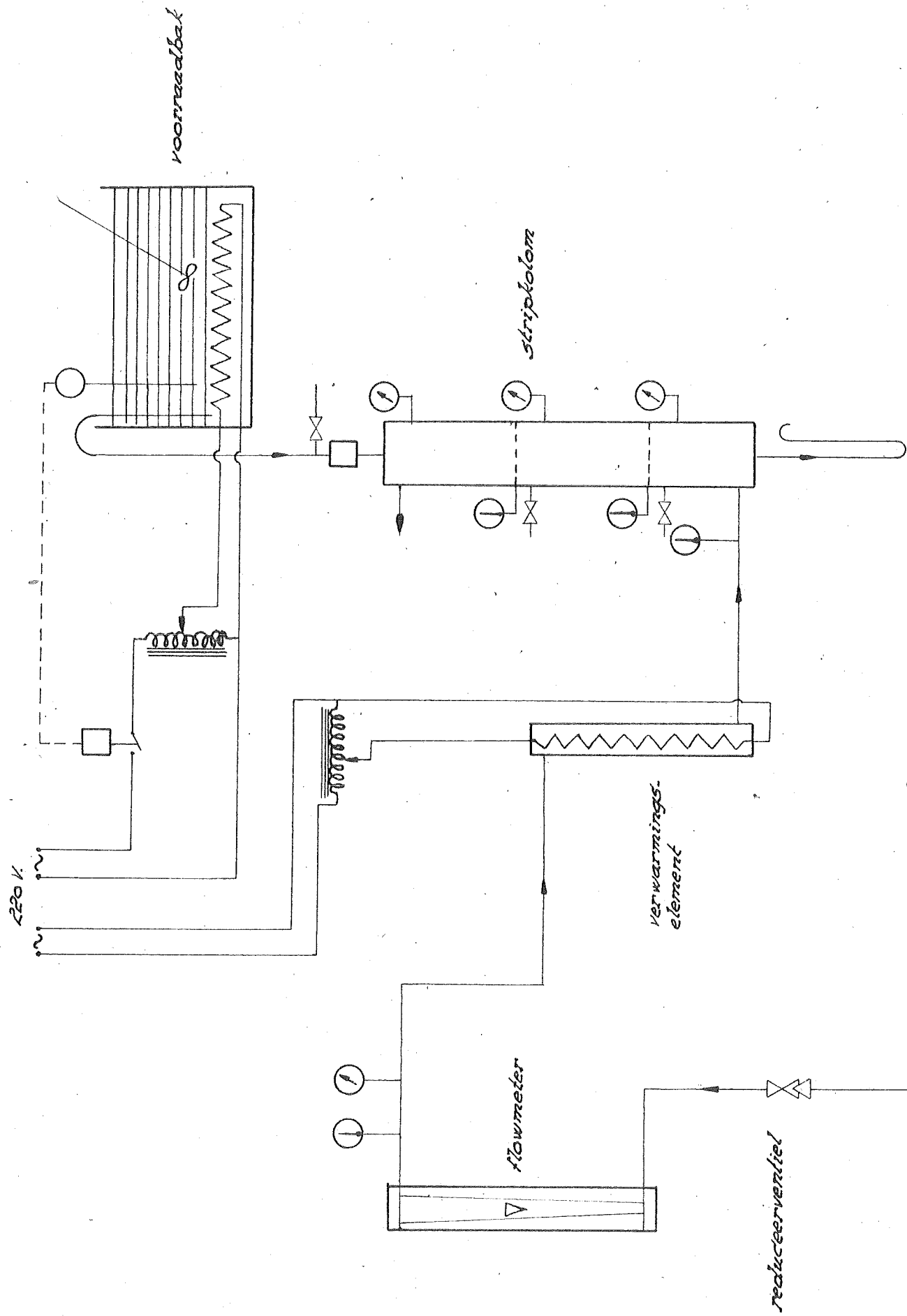


fig. 2



persuachleiding

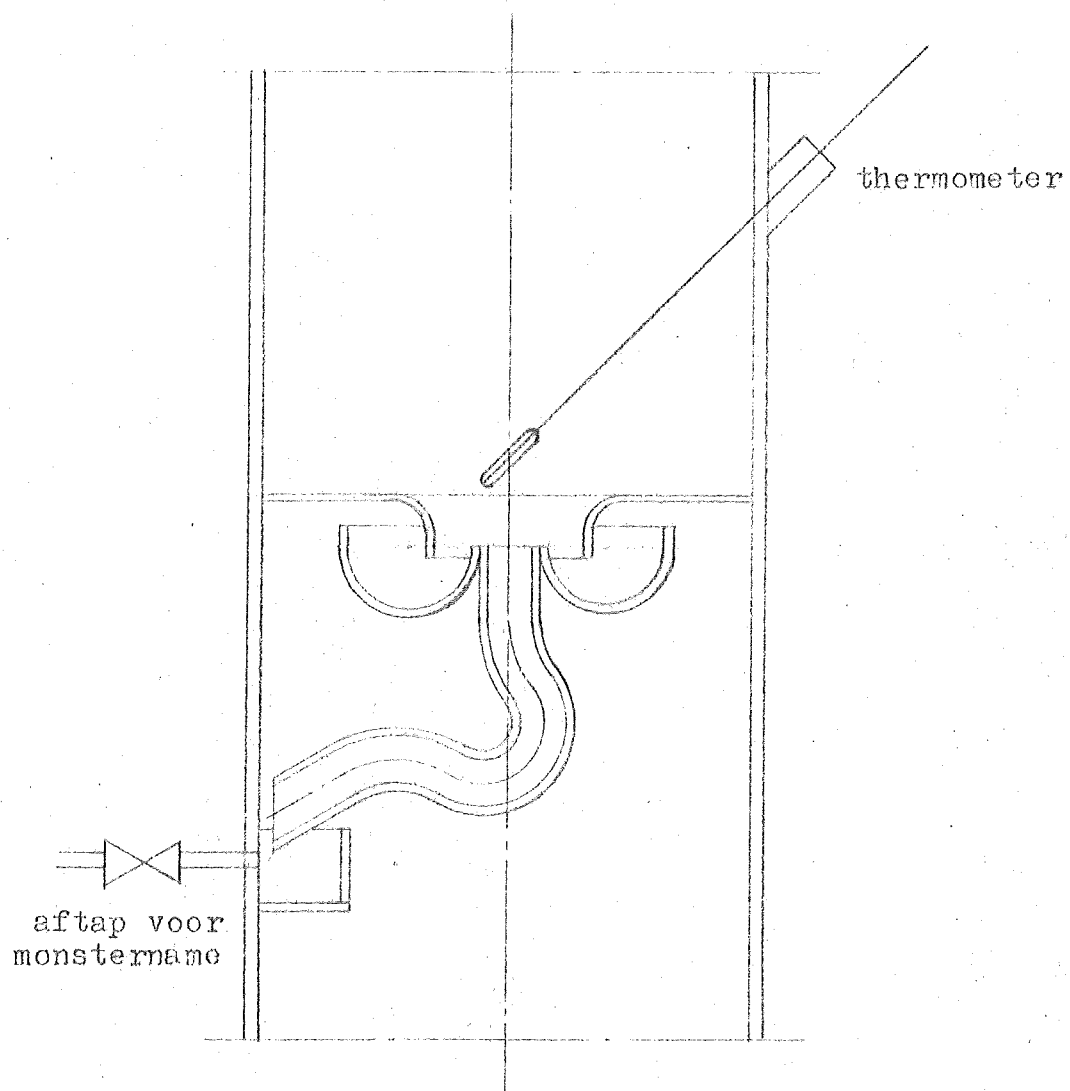


fig. 3.

schotels
Deze zijn speciaal voor het gebruik van visceuze vloeistoffen ontworpen, uitgaande van de volgende overwegingen: (10)

- 1) "hold-up" per theoretische schotel moet zo klein mogelijk zijn.
- 2) voor niet visceuze vloeistoffen voldoen kolommen met vullichamen.
- 3) voor visceuze vloeistoffen wordt de "hold-up" groot en de weerstand tegen stof overdracht in de vloeistof neemt toe door toename van de film dikte en afname van de diffusie coëfficiënt.
- 4) daar waar de weerstand in de vloeistoffilm het proces beheerst geeft verstuiving van de vloeistof in de kolom beter resultaat dan kolommen met vul lichamen.

Uit deze overwegingen is de zgn. "inverted cap" ontstaan. fig.: 3.
Beide schotels zijn voorzien van een aftap voor het nemen van vloeistofmonsters, terwijl een thermometer zodanig geplaatst is dat deze de temperatuur in de vloeistofbui zal aanwijzen.

De luchtstroom wordt via een zuurstof reduceerventiel aan de perslucht leiding onttrokken. Het dauwpunt van deze lucht ligt bij -10 tot -4°C ., de waterdampspanning varieert van 2.0 tot 3.5 mm Hg. De lucht hoeveelheid kan gemeten worden met een rotameter, waarbij correctie voor temperatuur en druk aangebracht moeten worden. In een verwarmings element kan de lucht voorverwarmd worden tot ca 100°C .; met deze temperatuur treedt de lucht onder in de kolom.

De vloeistof wordt met behulp van een tandrad pompje boven in de kolom gevoerd met een temperatuur van $50 - 60^{\circ}\text{C}$. Op de schotels stelt zich een temperatuur in van 50°C . De extra warmte in de luchtstroom levert de verdampingswarmte en compenseert de warmte afgifte aan de omgeving. De vloeistof verlaat de kolom via een vloeistof slot.

III. KEUZE VAN HET SYSTEEM.

De keuze van het systeem, vluchtige en niet-vluchtige component is sterk beperkt door de opstelling van de grote kolom. Voor het uitdrijven van de vluchtige component is alleen lucht beschikbaar; uitdrijven met stoom of door her-verdampen kan niet toegepast worden zonder ingrijpende wijzing van de opstelling.

De keuze van de vluchtige component wordt beperkt doordat het onmogelijk is om de verdampte hoeveelheid, ca 20 L/hr, terug te winnen. Het gebruik van lichte koolwaterstoffen zou uittermate kostbaar worden. Alleen water komt dus in aanmerking als vluchtige component. Hierdoor is de keuze van de andere component sterk beperkt. Alleen geconcentreerde suiker of glycerine oplossingen komen in aanmerking.

Een suiker oplossing volgt tot aan de verzadiging vrijwel de wet van Raoult. Nu is door het hoge moleculair gewicht van suiker (saccharose M 342) de dampspannings verlaging van het water gering. Bijvoorbeeld: oplossing met 45 gew. % suiker $\approx$ 4 mol % suiker, heeft bij 40° C een waterdampspanning van 52.5 mm Hg; zuiver water heeft een dampspanning van 55 mm Hg; viscositeit is ca 5 c.p. Een eenvoudige berekening toont aan dat door de zeer hoge verdampingswarmte van water, 2250 kJ/kg, het proces beheerst wordt door de warmte overdracht. De proeven zouden zeer sterk gelijken op adiabatische bevochtiging van lucht. zie o.a. Mc. Adams e.a. [5].

Als enige mogelijkheid blijft een geconcentreerde glycerine oplossing. Deze oplossingen hebben een lage waterdampspanning en hoge viscositeit; door toename van het watergehalte en door verhoging van de temperatuur neemt de waterdampspanning toe en de viscositeit af. Voor de proeven zijn oplossingen gekozen met 80-90 gew.% $C_3H_8O_3$; bij een temperatuur van 50° C hebben deze een viscositeit van 10 - 30 c.s. en een waterdampspanning van 25 tot 45 mm Hg. De partiele dampspanning van de glycerine bereikt voor 90% oplossing eerst bij 93° C de waarde van 0,1 mm Hg. Deze is dus in het gekozen gebied te verwaarlozen. De hoeveelheid water welke per kg vloeistof verdampt, is klein gehouden om het warmte effect zo veel mogelijk uit te schakelen, terwijl het concentratie verschil toch merkbaar blijft.

De analyse van het glycerine water mengsel is uitgevoerd door bepaling van de brekings index. Enkele cm³ vloeistof zijn voldoende waardoor de stationaire toestand in de kolom niet noemenswaardig verstoord wordt. Een nauwkeurigheid van 1% is op deze wijze te bereiken.

Voor een overzicht van de fysische constanten van het systeem glycerine water zij verwezen naar de bijlage.

IV. DEFINITIES VAN DE EFFICIENCY.

Uit de verschillende wijzen waarop de berekening van een absorptie of strip-kolom aangevat wordt, volgen verschillende definities voor de efficiency.

Met behulp van de grafische methode van Mc. Cobe en Thiele (6) kan het aantal theoretische schotels gevonden worden dat de kolom vertegenwoordigt. De efficiency kan nu gedefinieerd worden door:

$$E = \frac{\text{aantal theoretische schotels}}{\text{aantal praktische schotels}}$$

Vergelijken we nu één theoretische- met een praktische schotel dan kan de zgn. "Murphree plate" efficiency gebruikt worden.

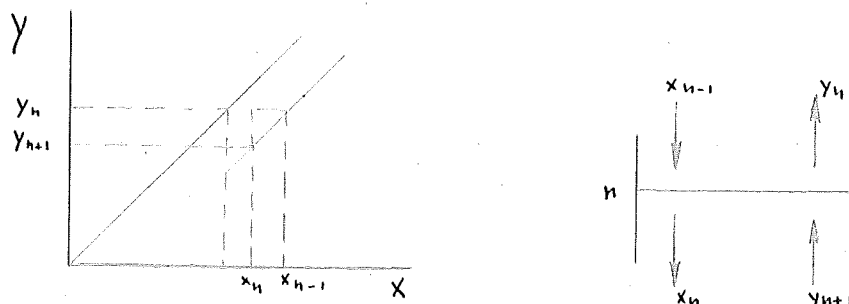


fig.: 4

Voor de n° praktische schotel is deze gedefinieerd door

$$E = \frac{x_{n-1} - x_n}{x_{n-1} - Y_{n/H}}$$

Deze is ook direct uit het Mc.Cobe en Thiele diagram af te lezen. Deze efficiency is per definitie gelijk één voor een theoretische schotel. In de praktijk zal de efficiency in het algemeen kleiner dan één zijn doch kan ook in byzondere gevallen groter dan één worden. De zgn. "Murphree point" efficiency daarentegen kan nooit groter dan één worden daar zij voorstelt in hoeverre de evenwichts condities bereikt worden in een bepaald punt waar vloeistof en gas met elkaar in contact zijn. Deze efficiency onttrekt zich echter aan onze meting.

Beide aldus gedefinieerde efficiëncies zijn afhankelijk van de helling van de werklijn t.o.v. de helling ~~van de werklijn~~ van de evenwichtslijn.

De algebraïsche methoden voor de berekening van een absorptie kolom is oorspronkelijk opgesteld door Kremser (7) en later verder uitgewerkt (8). Deze methode kan direct toegepast worden op een strip-kolom wanneer:

de absorptie factor $A = \frac{L}{GH}$ vervangen wordt door de strip factor $S = \frac{GH}{L}$; de damp samenstelling y door de vloeistof samenstelling x , en de nummering der schotels omgekeerd wordt.

De efficiency door Kremser gedefinieerd is

$$E_K = \frac{\overset{y_0}{x_e} - x_N}{x_e - x_{N+1}} = \frac{S^{N+1} - S}{S^{N+1} - 1}$$

waarin $x_{N+1} = \overset{y_0}{y_0/H}$ zie fig.: 5. Deze efficiency stelt dus voor de vergelijking van een kolom met N theoretische schotels met een kolom met oneindig veel theoretische schotels, welke werkt onder dezelfde condities dus dezelfde strip factor heeft.

Door Tiller is nu gesteld dat voor $S < 1$ de waarde y_0/H , ook bij oneindig veel theoretische schotels niet bereikt zal worden omdat er te weinig gas aanwezig is om de vereiste hoeveelheid vluchtige component op te nemen. Er zal een uiterste waarde $x_1 = G/L y_0 + (1 - S)x_e$ bereikt kunnen worden, zie fig.: 6. De efficiency kan nu gedefinieerd worden door:

$$E_T = \frac{x_e - x_N}{x_e - x_1} = \frac{1 - S^N}{1 - S^{N+1}}$$

Voor $S > 1$ is de definitie voor de efficiency van Kremser gelijk aan die van Tiller terwijl voor $S < 1$ $E_K = S \cdot E_T$

Uit het bovenstaande volgt dat de efficiency volgens de definitie van Kremser onafhankelijk zal zijn van de strip-factor, voor $S > 1$ terwijl deze voor $S < 1$ evenredig met de strip-factor zal zijn. De efficiency volgens de definitie van Tiller zal in dit laatste geval onafhankelijk van de strip-factor zijn.

Bij de uitwerking der waarnemingen zullen uitsluitend de efficiencies volgens de definities van Kremser en Tiller beschouwd worden.

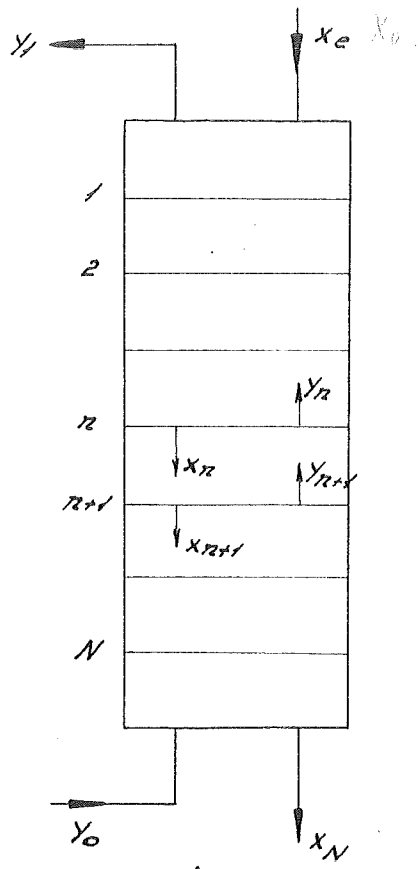


Fig. 5

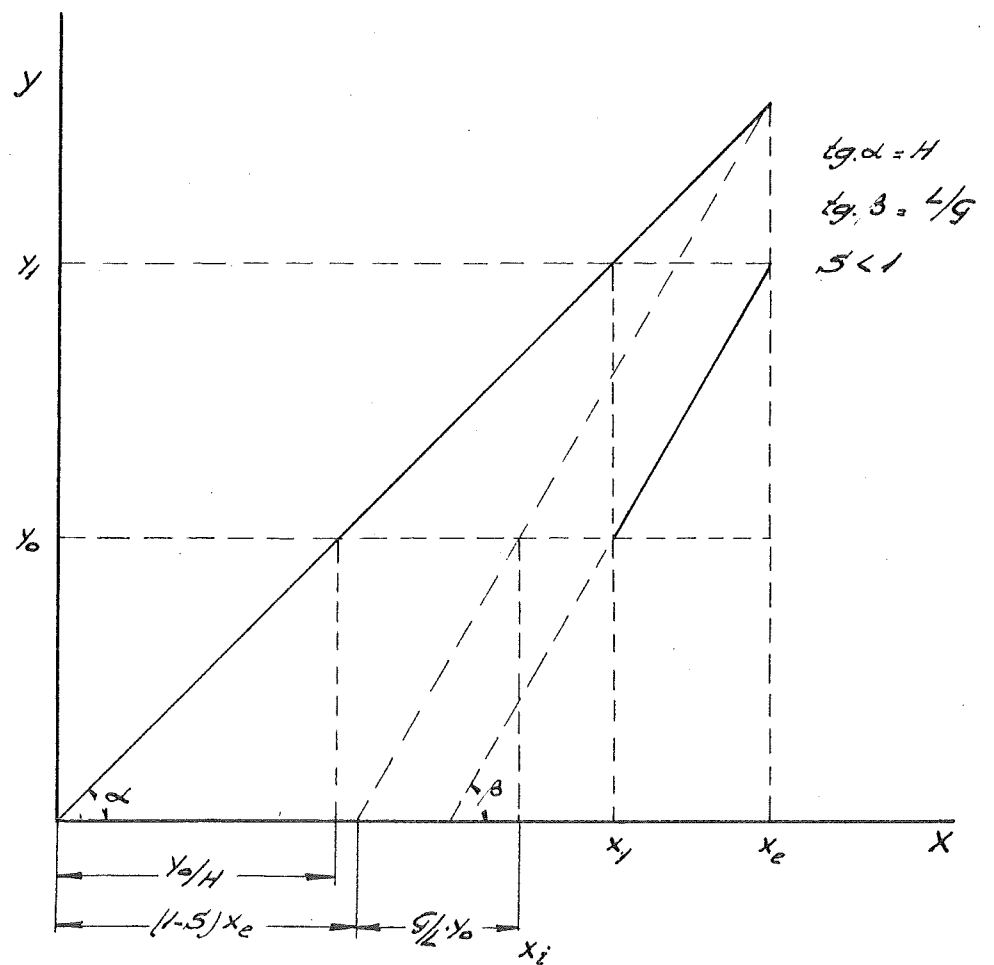


Fig. 6

V. VERRICHTE WAARNEMINGEN.

A. Proeven verricht met de kolom op semi-technische schaal.

Aan de grote kolom werden metingen verricht met het doel de warmte-overdracht tussen visceuze olie en lucht te bestuderen. Daarna zouden verschillende metingen verricht worden bij het strippen van een glycerine-water mengsel met dezelfde viscositeit om tot een vergelijking der bereikte efficiency te komen.

Hier zullen uitsluitend de metingen van de warmte overdracht besproken worden. Er werden een tweetal series metingen verricht met een smeerolie, Carnea 21, als vloeistof.

1. eerste serie:

voeding van de kolom met olie met een temperatuur $60-70^{\circ}$ C, viscositeit 6-9 c.s. en lucht van $38-40^{\circ}$ C.

Deze werkwijze stelt voor het strippen van warmte uit de olie. De warmte afgifte naar de omgeving was echter van dezelfde orde van grootte als de warmte overgedragen aan de lucht. Interpretatie der resultaten werd hierdoor onmogelijk.

2. tweede serie:

voeding van de kolom met koude olie van $14-16^{\circ}$ C, viscositeit 75 c.s. en lucht van $38-40^{\circ}$ C.

Dit proces stelt dus voor de absorptie van warmte uit de lucht. Daar de gemiddelde temperatuur van de kolom slechts weinig verschilde van de omgevings temperatuur was de warmte afgifte of opname van weinig belang.

De efficiency werd berekend als of we met een absorptie proces te maken hadden waarin de evenwichts constante H steeds gelijk één was.

Voor evenwicht geldt steeds $T_{\text{olie}} = T_{\text{gas}}$.

$L = \text{hoeveelheid olie} \times \text{soortelijke warmte} = \rho_m \times c$

$G = \text{hoeveelheid lucht} \times c_p \text{ soortelijke warmte} = \rho_m \times c_p$

De absorptie factor $A = \frac{L}{G}$, was steeds groter dan één. De efficiency werd berekend volgens de definitie van Kremser.

$$E_K = \frac{T_o - T_N}{T_o - T_o'}$$

waarin T_o en T_N de temperaturen van het gas onder- en boven aan de kolom voorstellen en T_o' de temperatuur van de intredende olie aangeeft. Uit de gevonden waarden voor E_K werd met behulp van de formule:

$$E_K = \frac{\frac{A^{N+1} - A}{A^{N+1} - 1}}{\frac{A^{N+1} - A}{A^{N+1} - 1}} \quad \text{berekend hoeveel theoretische schotels de kolom vertegenwoordigt.}$$

Tabel 1.

L/G	E_K	N	ν G.S.	
2.42	0.92	2.5	62	Waarnemingen verricht door
2.43	0.90	2.2	57	Ringens.
2.49	0.93	2.5	57	
2.52	0.92	2.3	48	
4.06	0.94	1.9	62	
4.32	0.94	1.8	62	
5.94	0.94	1.5	72	

*mog. dit was 20 weening
schotel. toff van 2
worden*

Uit de tabel blijkt dat E_K in eerste aanleg onafhankelijk te zijn van absorptie factor, terwijl het aantal theoretische schotels dat de kolom vertegenwoordigt afneemt bij toenemende waarden L/G .

B. Metingen aan de laboratorium opstelling van de strip kolom.

Bij de verschillende series waarnemingen aan de laboratorium opstelling zijn steeds de volgende waarnemingen voor de berekening gebruikt. zie fig.: 7.

1) samenstelling van de vloeistof:

- welke in de kolom treedt x_e
- welke in de bovenste schotel afloopt x_1
- welke van de onderste schotel afloopt x_N

2) temperatuur in de vloeistof bui boven iedere schotel, ca 50°C .

3) hoeveelheid vloeistof welke door de kolom stroomt L_{tot} , hieruit is met behulp van de samenstelling x in $\text{kg C}_3\text{H}_8\text{O}_3/\text{hr}$ berekend.

4) vochtigheid van lucht door dauwpunts meting, y_0 .

5) temperatuur van de lucht welke in de kolom treedt, ca 100°C .

6) hoeveelheid lucht welke door de kolom stroomt in kg droge lucht/hr.

7) het druk verval over iedere schotel; 10-12 mm paraffine olie per schotel.

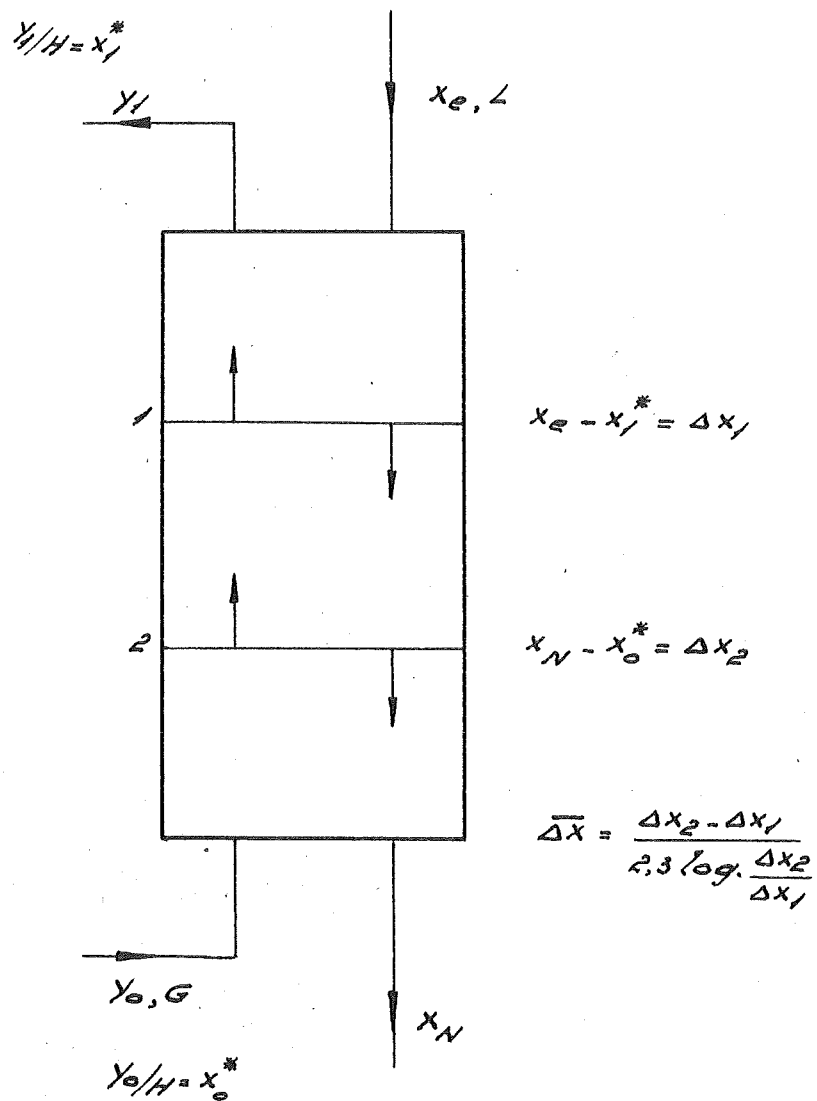


fig. 1

TABEL: 2.

Serie	N ^o	G	L	x_e	x_N	S	E_K	E_T	V_{es}	$\overline{\Delta x}$	$\frac{(x_e - x_N) L}{V_{L_{tot}}}$	$\frac{(x_e - x_N) L}{V_{L_{tot}} \cdot \overline{\Delta x}}$
a	1	6.03	2.13	0.215	0.176	0.45	0.190	0.42	14.5	0.146	0.053	0.36
	2	6.09	2.67	0.215	0.182	0.34	0.161	0.47	15.0	0.144	0.050	0.34
	3	6.09	3.50	0.224	0.191	0.30	0.154	0.52	13.3	0.153	0.057	0.37
	4	6.09	5.19	0.206	0.186	0.23	0.102	0.45	12.5	0.153	0.042	0.33
	5	6.06	4.78	0.229	0.203	0.22	0.119	0.55	12.5	0.158	0.051	0.34
	6	6.03	2.12	0.179	0.140	0.64	0.226	0.36	14.5	0.123	0.053	0.43
	7	6.02	2.05	0.212	0.178	0.46	0.168	0.37	15.4	0.173	0.045	0.26
b	8	6.08	3.73	0.179	0.159	0.28	0.116	0.42	17.5	0.118	0.035	0.30
	9	6.04	4.46	0.158	0.140	0.25	0.120	0.48	20.0	0.106	0.036	0.34
	10	6.08	3.35	0.223	0.192	0.27	0.144	0.53	15.8	0.144	0.051	0.39
	11	6.08	2.95	0.196	0.167	0.33	0.157	0.47	17.0	0.126	0.046	0.37
	12	6.02	2.24	0.206	0.169	0.39	0.192	0.49	18.3	0.120	0.051	0.42
c	13	5.93	6.98	0.143	0.130	0.17	0.095	0.55	20.6	0.094	0.032	0.34
	14	5.99	5.36	0.135	0.123	0.21	0.093	0.44	22.4	0.098	0.026	0.27
	15	6.01	4.44	0.137	0.123	0.24	0.107	0.44	23.1	0.098	0.026	0.26
	16	6.01	8.90	0.137	0.130	0.13	0.052	0.39	21.5	0.100	0.020	0.20
	17	6.02	4.18	0.168	0.152	0.24	0.100	0.40	18.4	0.123	0.030	0.27
	18	6.18	8.03	0.206	0.195	0.13	0.054	0.43	15.8	0.163	0.027	0.16

Grafiek:

fig: 8 fig: 9

fig. 11

fig. 12

- a waarnemingen Nieuwenhuis.
- b „ Pfeiffer.
- c „ Mudde

De waarden in tabel.: 2 weergegeven zijn steeds het gemiddelde van een serie van zes waarnemingen.

De evenwichts constante H is betrokken op de gemiddelde temperatuur der beide schotels en op de samenstelling van de vloeistof welke afloopt van de bovenste schotel. Daar de evenwichts constante varieert tussen de waarden 0.15-0.20, is S steeds kleiner dan één. De viscositeit is betrokken op dezelfde omstandigheden als de evenwichts constante.

De efficiencies volgens de definitie van Kremser E_K en volgens die van Tiller E_T zijn eveneens in de tabel weergegeven. Daar $S < 1$ is E_K een functie van S hetgeen duidelijk in fig.: 8 tot uitdrukking komt. De efficiency volgens Tiller moet nu onafhankelijk van S zijn en slechts een functie van de viscositeit geven. In fig; 9 is E_T uitgezet tegen η ; de spreiding der waarden is echter zo groot dat het niet mogelijk is om van een afname der efficiency bij toenemende viscositeit te spreken.

De waarnemingen der serie's 6, 16 en 18 verdienen enige nadere beschouwing. Bij de serie 6 is de temperatuur op de beide schotels 55°C geweest inplaats van 50°C ; dit geeft een grotere evenwichts constante en daar door een hoge strip-factor. In de serie's 16 en 18 zijn zeer hoge vloeistof snelheden toegepast waardoor de strip-factor zeer klein is. In de grafieken zijn deze punten met het nummer aangegeven.

De nauwkeurigheid waarmee de vloeistof samenstelling bepaald zijn bedraagt ± 0.001 . De mogelijke fout in E_K bedraagt hierdoor $\pm 5\%$. De evenwichts constante is moeilijk nauwkeurig te bepalen; hierdoor wordt nog mogelijk een fout van $\pm 5\%$ geïntroduceerd. De totale fout in E_T bedraagt dus $\pm 10\%$.

VI. Nadere beschouwing van het overdrachts mechanisme.

In principe gaat transport van materie van de ene fase naar de andere steeds met warmte effecten gepaard. Bij absorptie of strippen van koolwaterstoffen zullen deze van weinig invloed zijn doch de hoge verdampingswarmte van water maakt het noodzakelijk het warmte effect in de beschouwing te betrekken.

Globale warmte balans:

gemiddelde omstandigheden van serie 2 en 3.

temp. lucht in 100°C .

Temp. lucht uit 50°C .

$G = 6.09 \text{ kg/hr}$, $c_p = 1.05 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$.

warmte afgifte door de lucht is 320 kJ/hr

temperatuur van de vloeistof in en uit 50°C ; $L = 3 \text{ kg/hr}$; hoeveelheid water welke verdampt is $L (x_e - x_N) = 0.099 \text{ kg/hr}$ hiervoor is nodig 225 kJ/hr .

Voor warmte afgifte aan de omgeving blijft dus 95 kJ/hr .

De extra warmte inhoud van de lucht is dus ruim voldoende om de verdampings warmte te leveren. De warmte afgifte van de kolom is door het ontbreken van een schutmantel van dezelfde orde van grootte. Hierdoor is het onmogelijk uit de verrichte temperatuurs metingen iets over de warmte effecten te weten te komen.

Voor de verdere beschouwingen zullen we ons beperken tot een druppeltje vloeistof in de luchtstroom. De omstandigheden zijn gelijk genomen aan de gemiddelde omstandigheden der serie's 2 en 3. De diameter van het druppeltje is gesteld op 1 mm . Voor verdere gegevens zij verwezen naar fig: 10.

De hoeveelheid water welke uit het druppeltje verdampt is $15.6 \times 10^{-9} \text{ kg}$; hiervoor is nodig $Q = 35.2 \times 10^{-3} \text{ J}$ aan verdampings warmte. De warmte inhoud van het druppeltje is $1.84 \times 10^{-3} \text{ J/}^\circ\text{C}$ en is dus niet voldoende om zonder belangrijke temperatuursdaling (19°C) de benodigde verdampingswarmte te leveren. In het grensvlak vloeistof-lucht treedt nu een temperatuur daling op, welke het stof-overdracht proces door een daling van de evenwichts dampspanning in ongunstige zin beïnvloedt. Daarnaast ontstaat er een warmte stroom uit de lucht naar het druppeltje. Er zal zich een evenwicht instellen tussen de stof stroom naar de lucht en ^{een} warmte stroom naar het druppeltje.

Dit evenwicht ^{kan} weergegeven worden door de vergelijking:

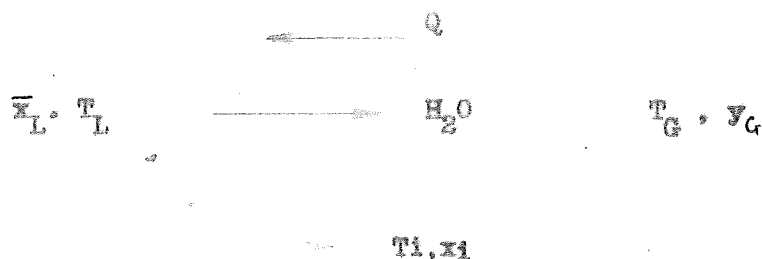
$$\phi_m'' = k (\bar{x}_L - x_G^*) = \alpha/r (T_G - T_L)$$

Voor het bepalen van de orde van grootte van de partiële weerstanden tegen stof en warmte overdracht in de gas en vloeistof-phase zijn nu enkele berekeningen opgezet.

1. Bepaling van de partiële warmte overdrachts coefficient aan de gas-zijde.

We veronderstellen dat de snelheid van het druppeltje t.o.v. het gas gelijk is aan de vrije valsnelheid van het druppeltje.

fig.: 10



Begin toestand: $T_G = T_L$, $y = H x^*$, $x_L > x^*$

Gegevens: druppeltje

lucht

$$D = 10^{-3} \text{ m}$$

$$T_g = 50^\circ \text{ C.}$$

$$V = 0.524 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$p = 760 \text{ mm Hg}$$

$$Q = 3.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\rho = 1.09 \text{ kg/m}^3$$

$$x_0 = 0.220 \text{ kg H}_2\text{O/kg C}_3\text{H}_8\text{O}_3$$

$$\eta = 1.96 \times 10^{-5} \text{ N sec/m}^2$$

$$x_H = 0.187$$

$$c_p = 1.05 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C.}$$

$$\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda = 0.0277 \text{ J/m } ^\circ\text{C. sec}$$

$$h_{H_2O} = 2250 \text{ kJ/kg}$$

$$g = 9.81 \text{ m/sec}^2$$

$$c = 2.92 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C.}$$

$$y_0 = 0.003 \quad x_0^* = 0.014$$

$$\lambda = 0.323 \text{ J/m sec. } ^\circ\text{C.}$$

$$y_1 = 0.020 \quad x_1^* = 0.140$$

$$\text{bij } 46.6^\circ \text{ C.}$$

$$D_{H_2O} = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{sec.}$$

$$x^* = 0.077$$

$$D_{H_2O} = 2.95 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec.}$$

$$\text{bij } 50^\circ \text{ C}$$

$$\Delta x_1 = 0.220 - 0.140 = 0.080$$

$$\Delta x_2 = 0.187 - 0.014 = 0.173$$

$$4x = \ln \text{ gem. } 4x = 0.120$$

Nu is:

$$C Re^2 = \frac{4 \cdot \rho_a \cdot g (\rho_L - \rho_a) D^3}{3 \eta^2}$$

$$C Re^2 = 45 \times 10^3$$

$$Re = 250$$

$$\bar{v} = 4.5 \text{ m/sec}$$

Uit de relatie van Nusselt voor bollen:

$$Nu = 2 + 0.552 (Re)^{\frac{1}{2}} \cdot (Pr)^{\frac{1}{3}}$$

vinden we $Nu = 9.9$ en voor $\alpha = 273.5 \text{ J/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C sec.}$

De tijd τ welke het druppeltje in de kolom verblijft is te berekenen uit de "hold up", h , en de vloeistof snelheid. Voor de "hold up" is 10 cm^3 genomen (10): voor $L = 3 \text{ kg C}_3\text{H}_8\text{O}_3/\text{hr}$; $L_{\text{tot.}} = 3.66 \text{ kg/hr}$. De gemiddelde verblijftijd τ is dus 12 sec.

De totale hoeveelheid warmte nodig voor de verdamping van het water bedraagt:

$$Q = 35.2 \times 10^{-3} \text{ J}; \dot{Q}_w = \frac{dQ}{dt} = 2.93 \times 10^{-3} \text{ J/sec}$$

$$= 273.5 \times 3.14 \times 10^{-6} \times \Delta T$$

$$\Delta T = 3.4^\circ \text{C.}$$

Aan het grensvlak van het druppeltje zal dus een temperatuur daling optreden van 3.4°C . De zgn. natte bol temperatuur zal dan bij een ware lucht temperatuur van 50°C , 46.6°C bedragen. De thermometer welke in de verstoven vloeistof gestoken was, zal deze temperatuur aangewezen hebben. *Zie onder.*

2. Warmte geleiding door het druppeltje.

Stelt de temperatuur daling in het grensvlak zich ogenblikkelijk in, dan ontstaat er een temperatuurs verschil tussen de buitenwand en het midden van het druppeltje $\Delta T_0 = 3.4^\circ \text{C}$. Na een tijd t zal dit temperatuurverschil afgenomen zijn, bijv. $\Delta T_m = 3.4 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$. Met behulp van $\frac{\Delta T_m}{\Delta T_0}$ als functie van de kengrootheid van Fourier, $F_0 = 0.77$, vinden we $t = 2 \text{ sec}$. Een temperatuur verschil tussen wand en het midden van het druppeltje zal dus zeer snel verdwijnen. De gemeten vloeistof temperatuur zal dus overeen komen met de temperatuur van het grensvlak.

Bij een temperatuurs daling van 3.4°C van het gehele druppeltje wordt 18% van de verdampingswarmte geleverd.

3. Berekening van de stof overdrachts coefficient in de gasphase.

Uit de analogie van Lewis volgt: $\frac{\alpha}{k \cdot c_p \cdot \Delta x} = (Le)^{2/3} = 0.877$

$$K = 0.26 \text{ kg/m}^2 \text{ sec.}$$

$$\phi_m = \frac{15.6 \times 10^{-9}}{12} \text{ kg/sec} = 0.26 \times 3.14 \times 10^{-6} \times (x_1 - x_g)$$

$$(x_1 - x_g) = 1.5 \times 10^{-3}.$$

Het concentratie verschil tussen het grensvlak vloeistof-gas en de turbulente gasmassa is dus 1% van het totale concentratie verschil tussen de fasen. ($\Delta \bar{x} = 0.120$).

4. Diffusie van het water door het druppeltje.

Voor diffusie in een bol welke ongeveer is door een medium waarin geen concentratie verandering optreedt is

$$\frac{\Delta x}{\Delta x_0} = \int \left(\frac{2t}{(D/2)^2} \right)$$

waarin $\Delta x = x_N - x_1$ en $\Delta x_0 = x_e - x_1$ voorstelt. De waarde x_1 is gelijk gesteld aan de gemiddelde concentratie in de gasphase $\bar{x} = 0.077$. De turbulentie in het druppeltje is buiten beschouwing gelaten. De diffusie coefficient voor water in glycerine is op $10^{-9} \text{ m}^2/\text{sec}$. gesteld.

Uit deze waarden vinden we voor $x_N = 0.134$, na een verblijftijd $\tau = 12 \text{ sec}$, $F_0' = 0.048$. We zien dus dat de berekende grenswaarde slechts weinig kleiner is dan de bereikte samenstelling $x_N = 0.187$.

De diffusie snelheid in het druppeltje zal dus het overdrachts proces kunnen beheersen.

Resumerende kunnen we dus zeggen dat de weerstand tegen warmte overdracht in de gasphase en de weerstand tegen stof overdracht in de vloeistof-phase, tezamen of ieder afzonderlijk, het proces zullen beheersen. De weerstand tegen stof overdracht in de gasphase is te verwaarlozen terwijl de temperatuur van het grensvlak gelijk zal zijn aan de gemiddelde vloeistof temperatuur.

VII. Discussie der resultaten.

Uit de proeven verricht door het Koninklijke Shell Laboratorium te Amsterdam is gebleken dat de "hold up" van de kolom een functie is van $(G)^2 \cdot (L_{\text{tot}})^{\frac{1}{2}} \cdot (\nu)^{1/3}$. De factor $(\nu)^{1/3}$ zal nu niet in de berekening betrokken worden om te vermijden dat er een resultaat gevonden wordt het welk ^{er} van te voren in gebracht is. De hoeveelheid lucht is bij de verrichte proeven constant gehouden. Er blijft dus $h = f(L_{\text{tot}})$; de verblijftijd is dan evenredig met $L_{\text{tot}}^{-\frac{1}{2}}$.

Door Geddes (4) is afgeleid dat $\ln(1 - E) = -k a \tau$. In een grafiek zijn nu de verschillende waarden voor $\ln(1 - E) \cdot L^{\frac{1}{2}}$ uitgezet tegen ν . De ligging der punten was geheel willekeurig.

De hoeveelheid water welke per uur verdampt is $(x_e - x_N) L$; de hoeveelheid water welke in de verblijftijd verdampt is $(x_e - x_N) L \tau \approx$

$$\frac{(x_e - x_N) L}{(L_{\text{tot}})^{\frac{1}{2}}}$$

Hiermede is dus ^{de} invloed van L ~~op de verblijftijd~~ geëlimineerd. Deze grootte is een functie van de begin concentratie en de evenwichts constante; immers hoe groter de begin concentratie en de evenwichts constante zijn, des te meer water zal er kunnen verdampen. In de verschillende serie's waarnemingen varieert de evenwichts constante slechts weinig; serie 6 heeft een relatief grote constante. Serie 18 valt buiten de grafiek vermoedelijk door extreme waarden van L_{tot} . ^z fig: 11

De verandering van de viscositeit is uitsluitend het gevolg van wijziging van de begin concentratie. Beide hebben invloed op de resultaten, voor verwarring moet dus gewaakt worden.

De stof overdracht kan voorgesteld worden door de vergelijking:

$$L (x_e - x_N) = k_L \cdot 0 \cdot (\overline{x_L - x^*}) = k_L \cdot 0 \cdot \Delta \overline{x}$$

de warmte overdracht door:

$$L (x_e - x_N) = \frac{\alpha \cdot 0}{F} \cdot (\overline{T_G - T_L}) = \frac{\alpha \cdot 0}{F} \cdot \Delta \overline{T}$$

Eliminatie van $L(x_e - x_N)$ leidt tot een verband tussen k_L , α , en $\Delta \overline{x}$, $\Delta \overline{T}$

$$\text{nl.} \quad k \cdot \Delta \overline{x} = \frac{\alpha \cdot \Delta \overline{T}}{F}$$

$\Delta \overline{x}$ is berekend uit de materiaal balans: $L(x_e - x_N) = G(y_1 - y_0)$; $\Delta \overline{T}$ kan berekend worden uit de totale hoeveelheid overgedragen warmte dus eveneens uit $L(x_e - x_N)$.

Hieruit volgt dat we, zonder nauwkeurige temperatuurs metingen, met deze relatie niets meer over x en k_L te weten kunnen komen.

De vergelijking:

$$L (x_0 - x_N) = k_L \cdot 0 \cdot \Delta \bar{x} \text{ blijft dus het uitgangspunt.}$$

$$\text{Nu is } 0 = m \cdot \pi D^2 \text{ en } h = m \cdot \frac{\pi}{6} D^3 \text{ of } 0 = \frac{6h}{D^3}$$

$$\text{Nu is } h \approx (G)^2 \cdot (L_{\text{tot}})^{\frac{1}{2}} \cdot (\nu)^{\frac{1}{3}} \text{ en } D = f(\nu) \text{ dus voor constante } G \text{ is}$$

$$0 \approx L^{\frac{1}{2}} \cdot f(\nu) \text{ of}$$

$$\frac{L (x_0 - x_N)}{\Delta \bar{x} \cdot L^{\frac{1}{2}}} = f(\nu).$$

Door het invoeren van $\Delta \bar{x}$, de drijvende kracht voor het stof transport, is tevens de invloed van de begin concentratie geëlimineerd. Deze grootheid is in fig; 12 uitgeset tegen ν . Hoewel de spreiding der waarden groot is kan toch een daling met toenemende viscositeit geconstateerd worden.

In deze functie zijn dus verdisconteerd:

- a) de verandering van de stof overdrachts coëfficiënt met de viscositeit.
- b) de verandering van de druppel grootte met de viscositeit.
- c) de verandering van de hold up met de viscositeit.

Was de factor $(\nu)^{\frac{1}{3}}$ in rekening gebracht dan zou deze in de noemer gestaan hebben; de afname van deze grootheid met toenemende viscositeit zou sterker tot uitdrukking gekomen zijn.

oooooooooooooooooooo

fig. 11

$$\frac{(x_e - x_N)L}{\sqrt{L_{tot}}}$$

0.08

0.07

0.06

0.05

0.04

0.03

0.02

0.01

x_e

0.10

0.15

0.20

0.25

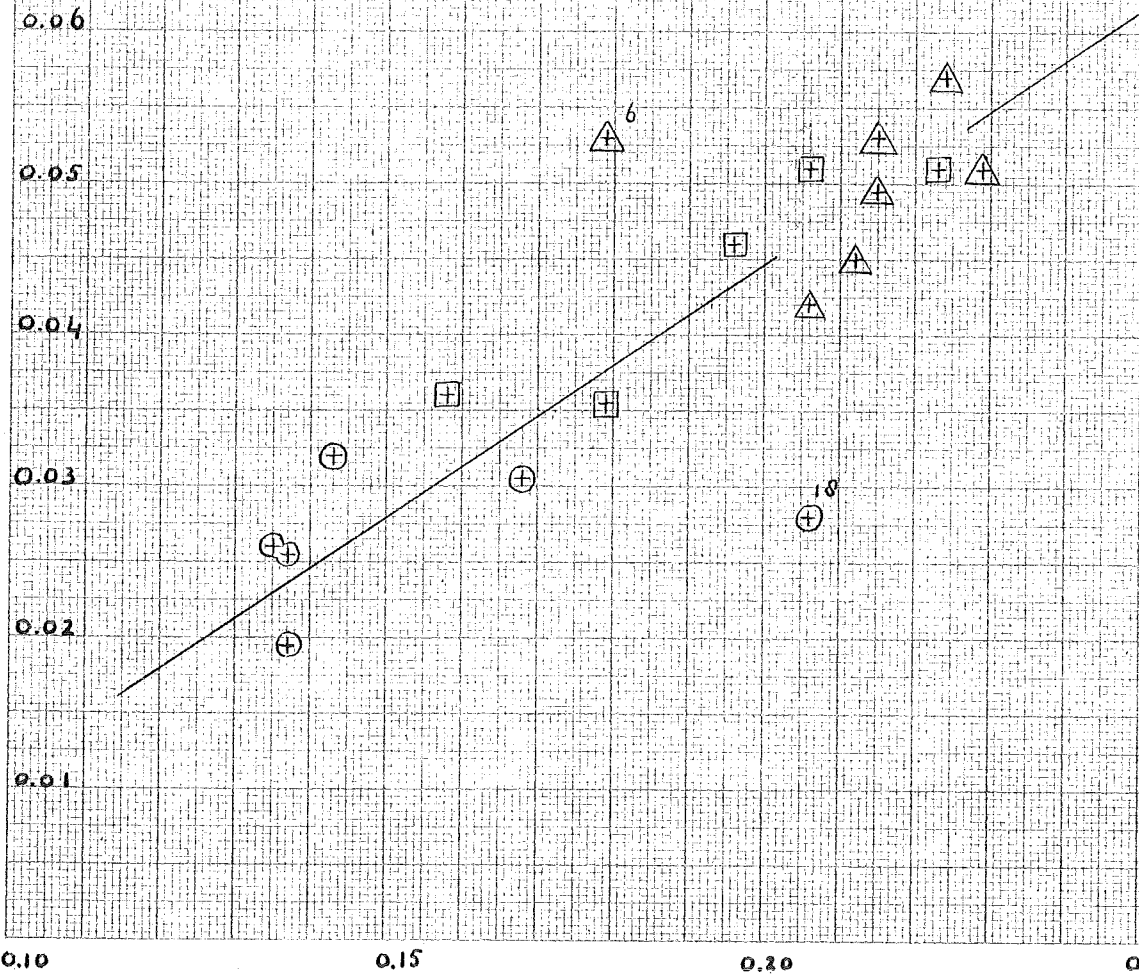
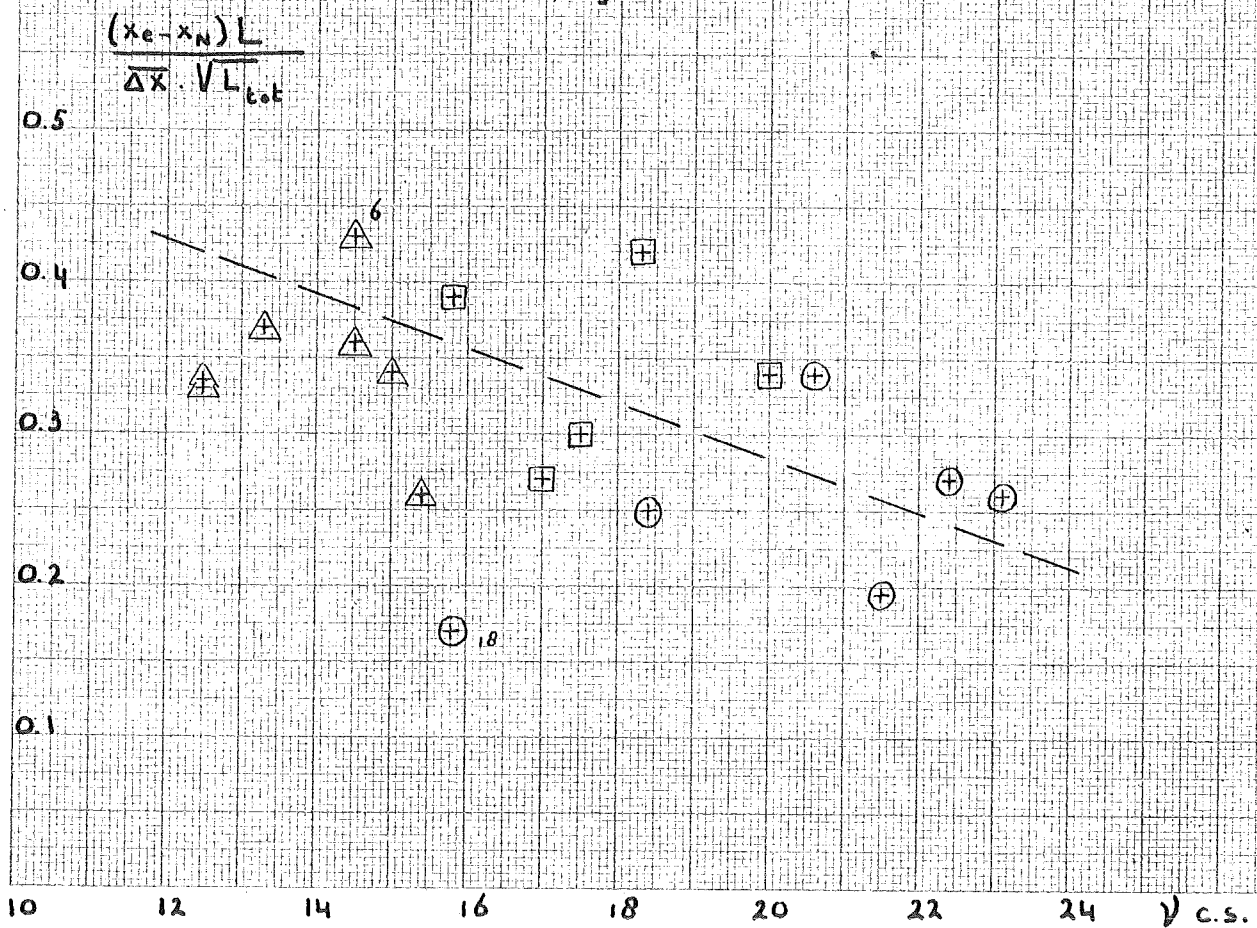


fig. 12



VIII. Conclusie's

1. Het systeem glycerine-water is verre van ideaal; de hoge verdampingswarmte van water maakt het noodzakelijk de warmte effecten in rekening te brengen.
2. De efficiencies volgens de definities van Kremser en Tiller geven waarden welke onafhankelijk van de strip factor zijn wanneer deze laatste groter resp. kleiner dan één is.
3. Daar bij de verrichte proeven de temperatuur constant gehouden is, zijn de invloeden van viscositeit en begin concentratie op de stof overdracht moeilijk te scheiden.
4. De snelheid van het stof overdrachts proces neemt af bij toenemende viscositeit. De spreiding der gevonden waarden en het kleine viscositeits gebied, dat onderzocht werd, maken het trekken van meer conclusie's onmogelijk.

LITERATUUR:

1. Drickamer, R.O. and Bradford, J.R.
Trans. Am. Inst. Chem. Eng. 39 319 1943
2. O'Connell, H.E.
Trans. Am. Inst. Chem. Eng. 42 741 1946
3. Williams, G.C; Stigger, E.K. and Nichols, J.H.
Chem. Eng. Progren 46 7 1950
4. Geddes, R.L.
Trans. Am. Inst. Chem. Eng. 42 79 1946
5. Mc Adams, W.H; Poklenz, J.B. and St John, R.C.
Chem. Eng. Progren. 45 241 1947
6. McCabe and Thiele.
Ind. Eng. Chem. 17 605 1925
7. Kremser, A.
Nat. Petroleum News. 22 N^o 21 42 1930
8. Sherwood, T.K. Absorption and Extraction.
Mc.Graw-Hill Book Company Inc. 1937
9. Tiller, F.M.
Chem. Eng. Progren 45 391 1949.
10. Rapport Koninklijke Shell Laboratorium, Amsterdam.

Lijst van symbolen.

A	absorptie factor L/GH
a	constante
C	weerstand coefficient
c, c_p	soortelijke warmte $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$.
D	diameter m.
$\mathcal{D}$	diffusie coefficient m^2/sec .
E	efficiency
F_o	kengrootheid van Fourier
G	hoeveelheid inert gas kg droge lucht/hr
g	versnelling van de zwaartekracht 9.81 m/sec^2
H	evenwichts constante y Hx
h	"hold up"
k	stof overdrachts coefficient $\text{kg/m}^2 \text{ sec}$.
L	hoeveelheid inerte vloeistof $\text{kg C}_3\text{H}_8\text{O}_3/\text{hr}$ of kg/sec .
L_{tot}	hoeveelheid vloeistof kg/hr of kg/sec .
Le	kengrootheid van Lewis
m	aantal druppeltjes.
N	totale aantal theoretische schotels.
n	nummer van de schotel.
O	oppervlak m^2
Pr	kengrootheid van Prandtl
Q	hoeveelheid warmte J/sec .
r	verdampingswarmte kJ/kg
Re	kengrootheid van Reynolds
S	strip factor GH/L
T	temperatuur $^\circ\text{C}$.
t	tijd sec.
V	volume m^3
v	snelheid m/sec .
x	vloeistof samenstelling $\text{kg H}_2\text{O/kg C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
y	gas samenstelling $\text{kg H}_2\text{O/kg droge lucht}$
α	warmte overdrachts coefficient $\text{J/m}^2 \text{ sec. } ^\circ\text{C}$.
η	dynamische viscositeit N sec/m
λ	warmte geleidingsvermogen $\text{J/m sec. } ^\circ\text{C}$
ν	kinematische viscositeit m^2/sec .
ρ	dichtheid kg/m^3
τ	verblijftijd sec.
ϕ_m	massa stroom kg/sec .
ϕ_w	warmte stroom J/sec .

Enkele opmerkingen over de voortzetting van het onderzoek naar de invloed van de viscositeit op de efficiency van schotels in destillatie kolommen onder strip condities.

A. Voortzetting der proeven aan de laboratorium opstelling.

- 1). Uitsluiten van de invloed van de begin concentratie op de efficiency door het verrichten van metingen waarbij de begin concentratie constant gehouden wordt en de verandering in de viscositeit uitsluitend het gevolg is van de verandering van de gemiddelde temperatuur.
- 2). De temperatuur kan gevarieerd worden van 40° C tot 90° C; beneden de 40° C is de waterdamp-spanning te gering en boven de 90° C is de partiële dampspanning van de glycerine hoger dan 0.1 mm Hg dus niet meer te verwaarlozen.
- 3). Het opvoeren van de temperatuur maakt het aanbrengen van een schudmantel ter compensatie van de warmte afgifte aan de omgeving noodzakelijk.
- 4). Door het vervangen van de thermometers door thermokoppels en het uitbreiden van het aantal meetpunten kan een nauwkeurige warmte balans opgesteld worden.
- 5). Mogelijk kan uit een nauwkeurige warmte balans meer omtrent de invloed van de verdampingswarmte berekend worden.
- 6). De invloed van het warmte effect op de stof overdracht kan nauwkeurig bestudeerd worden door de strip kolom te vervangen door een natte wand kolom. Het oppervlak is dan bekend; de warmte toevoer kan door de vloeistof geschieden.
- 7). Voorbereidende proeven voor absorptie van waterdamp uit vochtige lucht met koude geconcentreerde glycerine oplossingen.

B. Voortzetting van het werk aan de kolom op semi technische schaal.

- 1). Uit de proeven van Ringens en v.d.Schraaf is wel gebleken dat bij temperaturen van 40° C tot 80° C, de warmte afgifte aan de omgeving de resultaten sterk beïnvloed. Deze metingen kunnen niet verder geïnterpreteerd worden.

- 2). Het strippen van een glycerine-water mengsel bij kamertemperatuur is niet mogelijk daar de waterdampspanning te laag is. Het is echter wel mogelijk vochtige lucht te drogen door absorptie van waterdamp met koude geconcentreerde glycerine oplossingen.
De viscositeit der oplossingen is bij 20° C echter zeer hoog.
- 3). De lucht kan bevochtigd worden door stoom injectie in de ventilator.
Er dient voor gewaakt te worden dat het drogen van de lucht geschiedt door absorptie en niet door koeling en condensatie.
- 4). De warmte wisselaar kan ook gebruikt worden voor het koelen van de glycerine.
- 5). Een nauwkeurige en eenvoudige methode voor het meten van de vochtigheid van de lucht zal uitgewerkt moeten worden.

BIJLAGE.

Fysische gegevens van het systeem glycerine-water.

A. Dampspanning.

De metingen van Gerlach (1) en van Perman en Price (2) zijn niet betrouwbaar. De gevonden waarden zijn te hoog. Door Dornte (3) zijn geen waarnemingen verricht doch het werk is gebaseerd op de metingen van Perman en Price. Evert (4) heeft zijn werk gebaseerd op de metingen van Gerlach en Perman Price. Door Darke en Lewis (5) zijn de kookpunten van glycerine oplossingen bij verschillende drukken gemeten. (zie grafiek N^o 1). De gepubliceerde waarden welke door Darke en Lewis toegeschreven worden aan Kirkham, Hulett en Chandler zijn m.i. afkomstig van Carr, Townsend en Badger (6). Zie o.m. drukfout in (5); 305 mm moet zijn 355.10 mm.

De extrapolatie met behulp van de regel van Duhring welke uitgevoerd werd door Grover en Nicol (7) leidde tot onjuiste resultaten. De grafiek voor brekings index als functie van de samenstelling is eveneens onbetrouwbaar.

Door Perry en Duus (8) zijn verschillende nomogrammen voor de waterdamp spanningen van droogmiddelen o.a. van geconcentreerde glycerol oplossingen, gepubliceerd. Dit nomogram is ook opgenomen door Davis (9) (zie grafiek N^o 1). *was constructed from the data of Darke and Lewis and Steadman*

De dampspanningen en verdunnings warmten bij 0° en 15° C zijn gemeten door Fricke (10) (zie grafiek N^o 1). Door Stedman (11) is de dampspanning van zuivere glycerine en de samenstelling van de damp van geconcentreerde glycerine oplossingen bepaald. Hieraan is de stippellijn in grafiek N^o 1 ontleend. De door Stedman opgegeven waarden van de brekingsindex als functie van de samenstelling zijn niet juist. De publicatie van Landsberg (12) werd niet geraadpleegd.

In grafiek N^o 2 is de samenstelling van geconcentreerde glycerine oplossingen uitgedrukt in gew. % uitgezet tegen de samenstelling uitgedrukt in $\text{kgH}_2\text{O/kg C}_3\text{H}_8\text{O}_3$. Met behulp van deze grafiek en grafiek N^o 1 is nu grafiek N^o 3 geconstrueerd.

B. Dichtheid en brekingsindex.

Een zeer nauwkeurige tabel voor de analyse van glycerine-water

met behulp van de dichtheid is gegeven door Bosart en Snoddy (13). (zie fotocopie). Deze tabel is een correctie op de tabel gepubliceerd in de International Critical Tabbs. Door Gerlach (1) en Herz en Wegner (14) zijn gegevens gepubliceerd over de dichtheid bij verschillende temperaturen en samenstellingen. Deze waarden zijn weergegeven in grafiek N^o 4.

Door Hoyt (15) zijn nauwkeurige metingen van de brekingsindex van glycerine oplossingen bij 20° C gepubliceerd. Deze waarden werden gecontroleerd met behulp van de tabellen van Bosart en Snoddy. De gemeten punten in grafiek N^o 5 weergegeven en stemmen geheel overeen met de waarden opgegeven door Hoyt.

C. Viscositeit.

Een overzicht van de viscositeit van glycerine oplossingen bij verschillende temperaturen is gegeven door Cocks (16). Deze waarden zijn weergegeven in grafiek N^o 6. Nauwkeurige metingen bij temperaturen van 20° - 30° C zijn gegeven door Sheely (17); stippellijn in grafiek N^o 6. De viscositeit van zeer geconcentreerde oplossingen zijn gepubliceerd door Fordham (18) (in grafiek N^o 6 (Θ)) en Vand (19). Viscositeiten bij zeer lage temperaturen - 5° tot - 40° C zijn gepubliceerd door Green en Park (20).

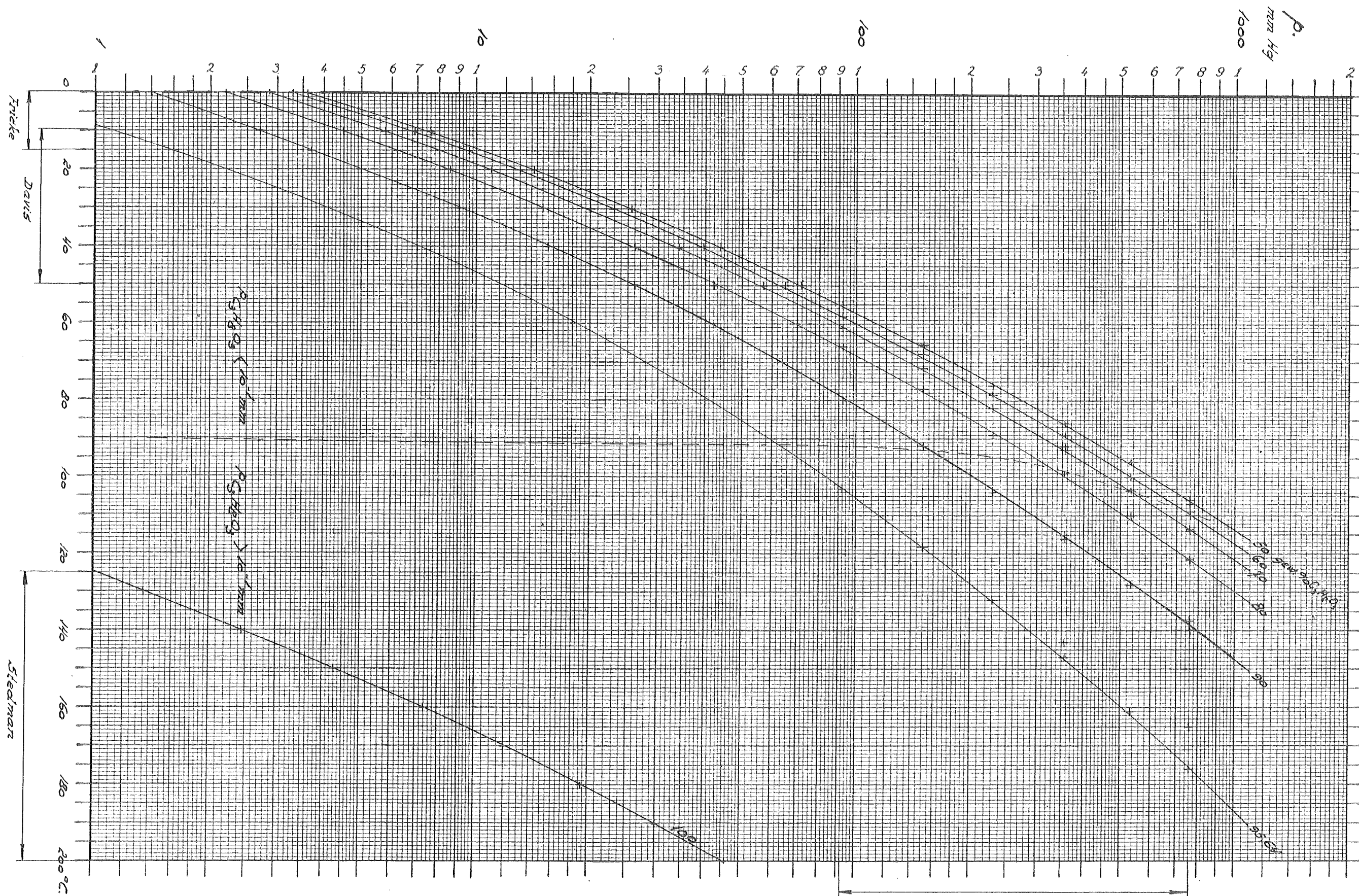
D. Oppervlakte spanning van warmte geleidings vermogen.

Door Bigelow en Washburn (21) zijn enkele gegevens over de oppervlakte spanning van glycerine oplossingen gepubliceerd. In Chemical Engineering Nomographs is ook een nomogram voor het warmtegeleidings vermogen van glycerine oplossingen bij verschillende temperaturen en concentraties te vinden.

X *Chemie Ing Techniek*

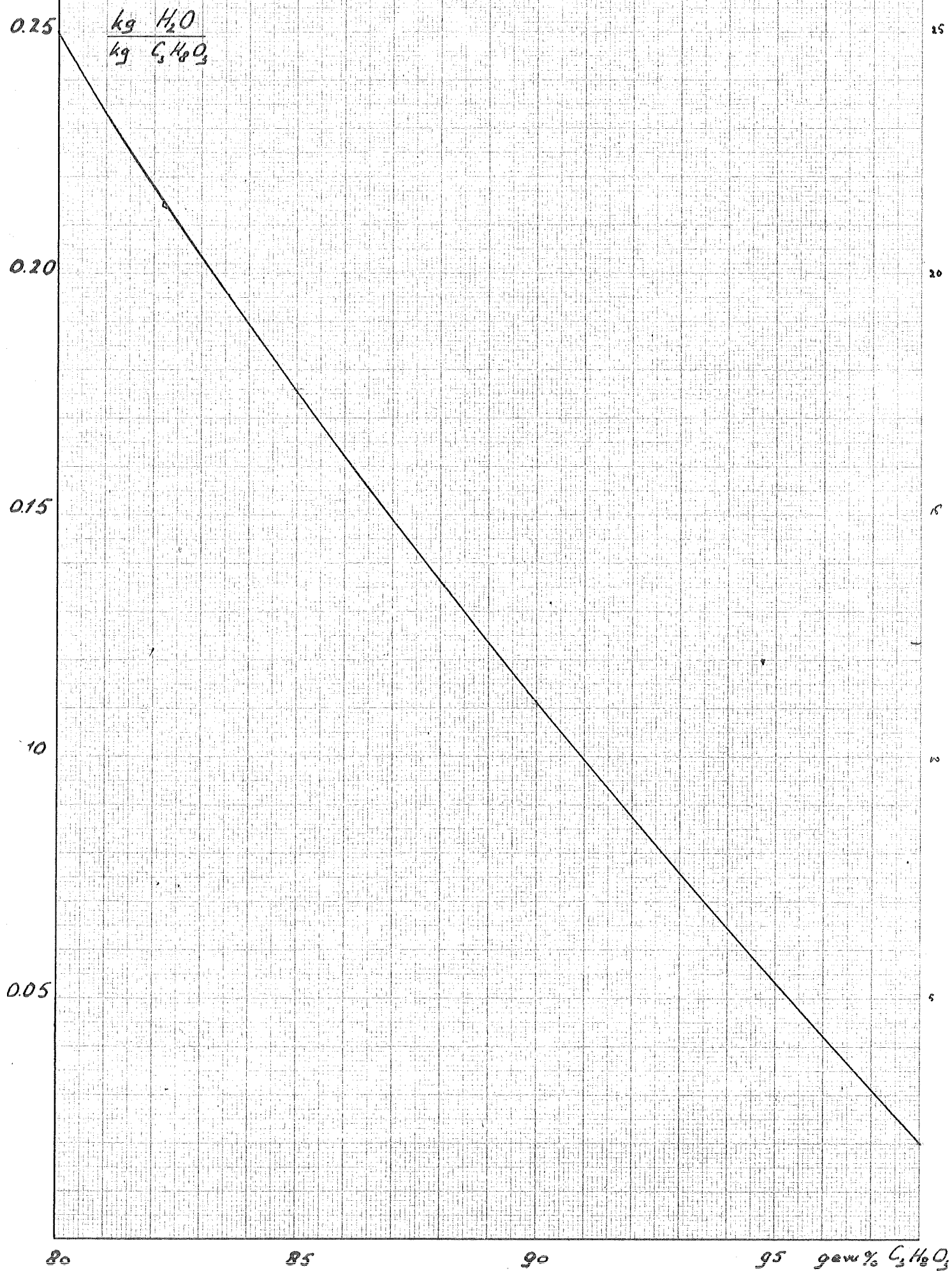
Systeem: glycerol-water

No 1



System: glycerol-water

Nº 2



System: glycerol - water

Nº 3

P_{H_2O}
mm Hg

250

200

150

100

50

0

90%

80%

70%

60%

50%

40%

30%

0

0.05
95.64

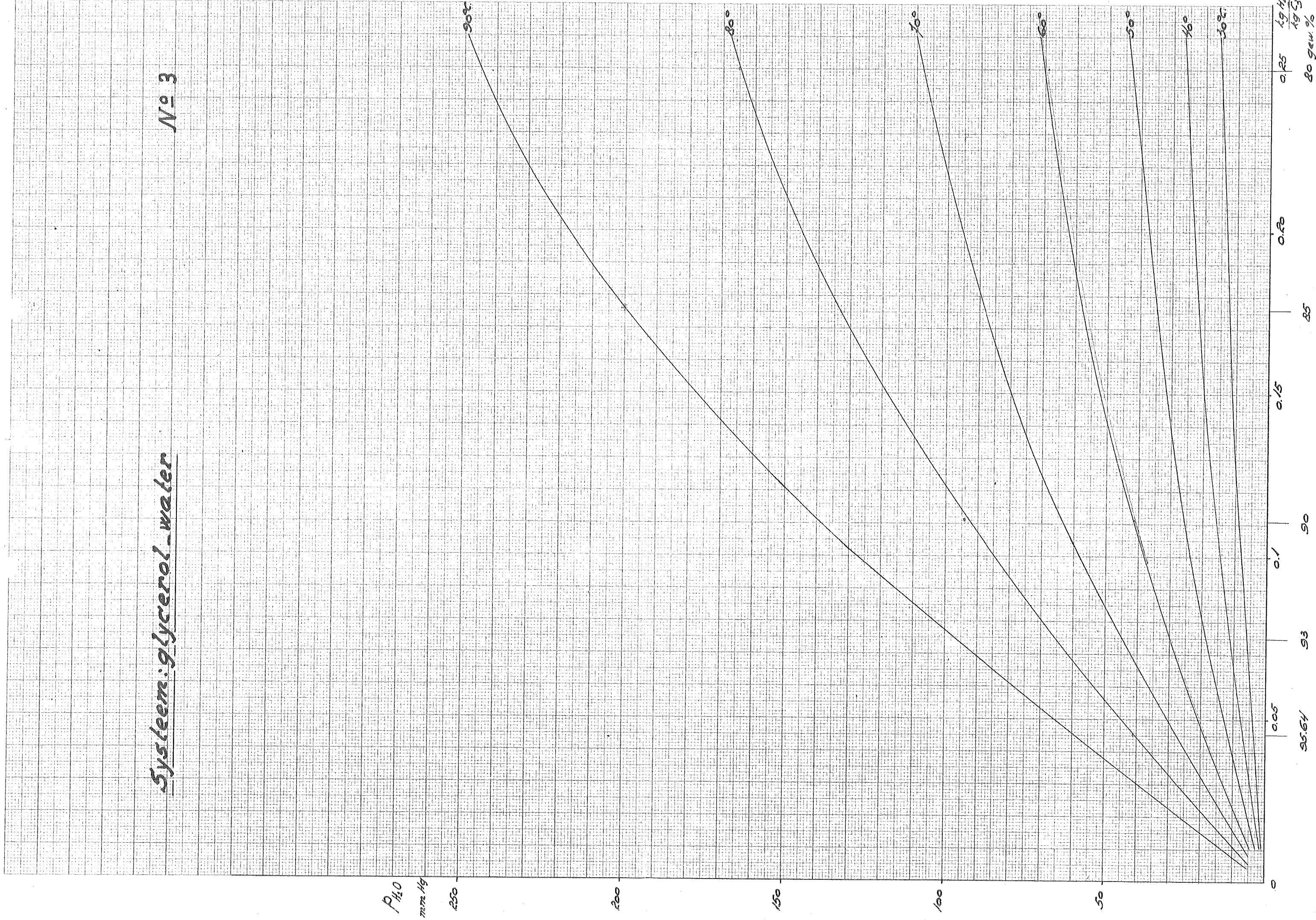
0.1
93

0.15
90

0.20
85

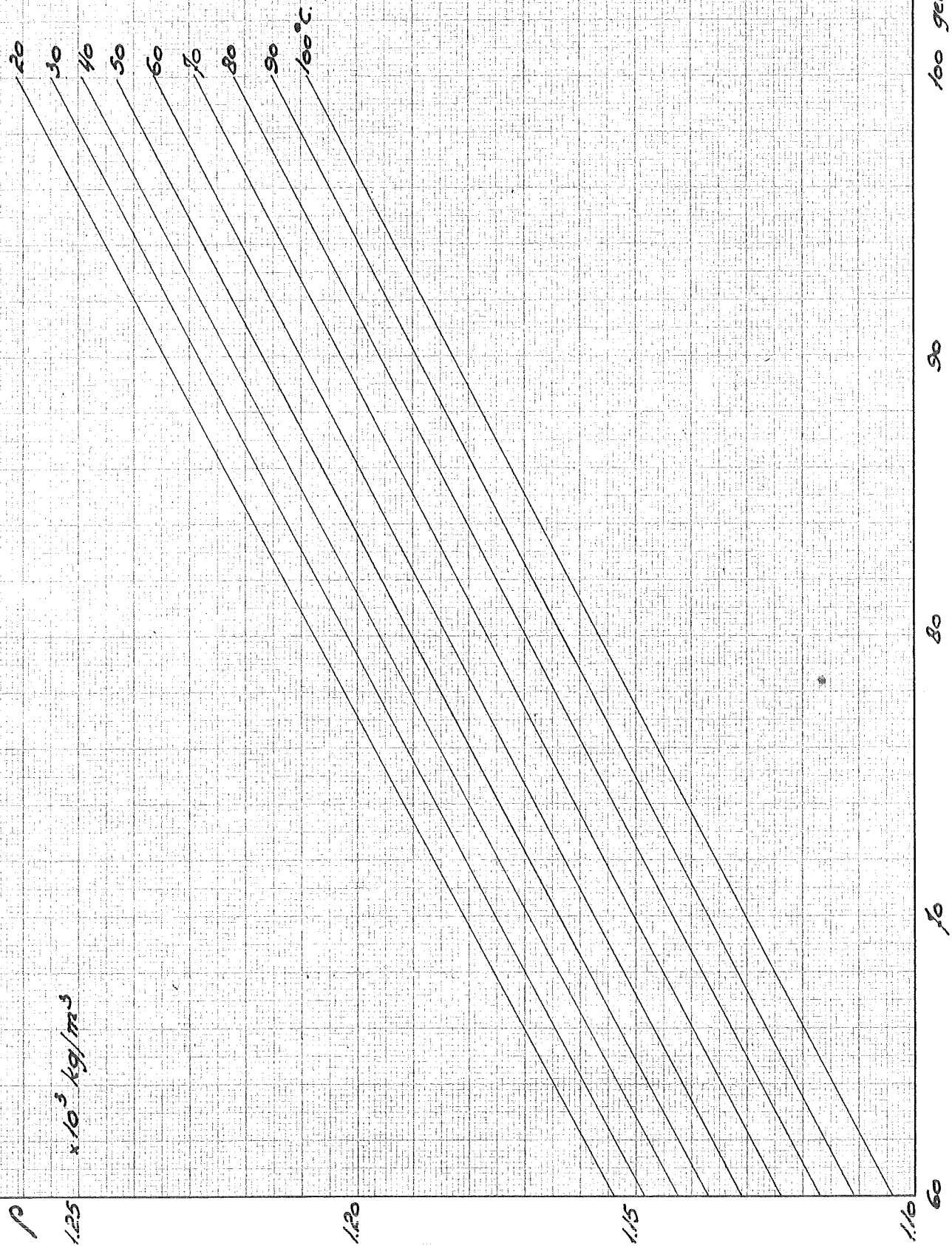
0.25
80

0.35
70
19 H₂O
19 C₂H₆O₃
80 gwt %



Systeem: glycerol-water

Nº 4



System: glycerol-water

Nº 5

n_D^{20}

1465

1460

1455

1450

1445

1440

0.05

0.1

0.15

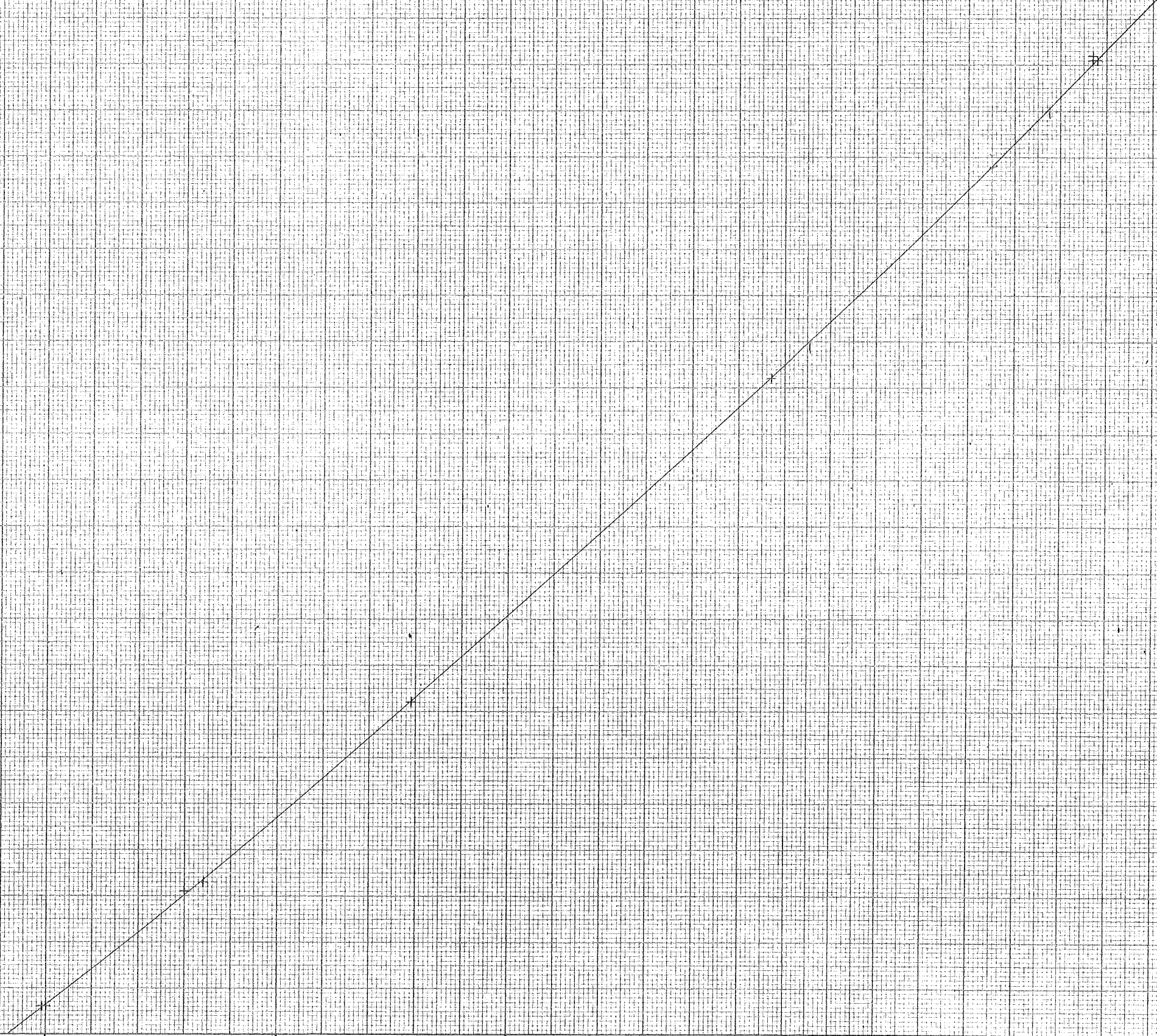
0.20

0.25

0.30

kg H₂O

kg C₃H₈O₃

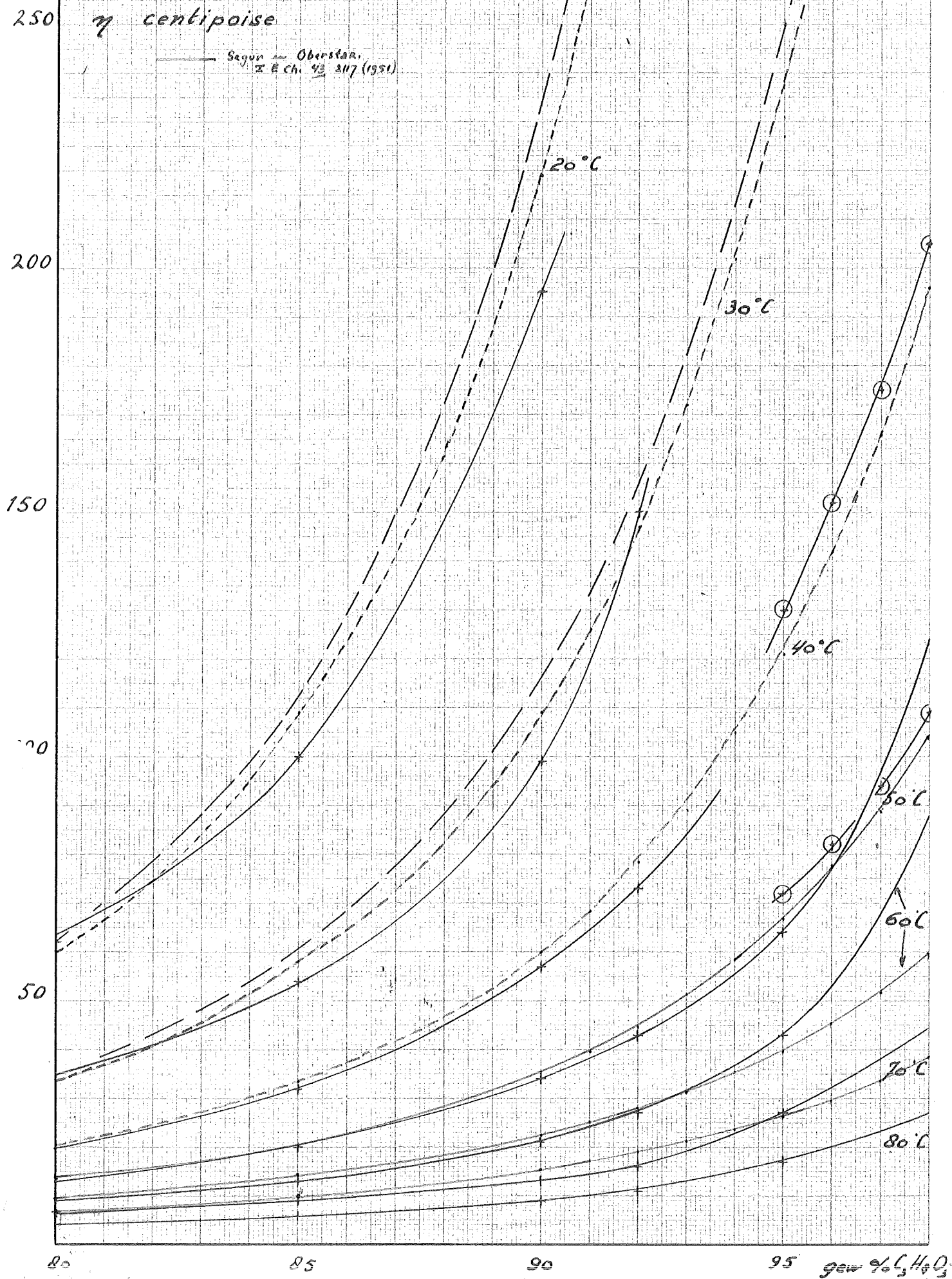


System: glycerol-water

Nº 6

η centipoise

Sagun am Oberstar.
Z E Ch. 43 3117 (1951)



LITERATUURLIJST.

1. Gerlach, Dr G.Th.
 a) Die Chemische Industrie 7 , 277 1884
 b) Z.Anal.Chemie 24 , 110 1885
2. Perman E.P. and Price.
 Trans. Far. Soc. 8 68 1912
3. Dornte, R.W.
 J. Phys. Chem. 33 1309 1929
4. Evert, M.
 Thèse Bruxelles 1935
 Bull. Soc. Chim. Belg. 45 , 493 1936
5. Darke W.F. and Lewis, E.
 Chem. and Ind. 47 1073 1928
6. Carr, A.R. Townsend R.E. and Badger, W.I.
 Ind. Eng. Chem. 17 643 1925
7. Grover, D.W. and Nicol, J.M.
 J. Soc. Chem. Ind. Trans. 59 175 1940
8. Perry, J.H. and Duns, H.C.
 Chem. Met. Eng. 41 74 1934
9. Davis, D.S.
 Chem. Eng. Nomographs
 Mc.Graw Hill Book Company 1944.
10. Fricke, R.
 Z. Elektrochem. 35 631 1929
11. Stedman, D.F.
 Trans, Faraday Soc. 24 289 1928
12. Landsberg, V. de
 Bull. Soc. Chim. Belg. 49 21-60 1940
13. Bosart, L.W. and Snoddy, A.O.
 Ind. Eng. Chem. 20 1377 1928
14. Herz und Wegner.
 Z. Deut. Oil und Fett Ind. 45 53 en 401 1925
15. Hoyt, L.F.
 Ind. Eng. Chem. 26 329 1934
16. Cocks, L.V.
 J. Soc. Chem. Ind. Transactions. 48 279 1929
17. Sheely, L.M.
 Ind. Eng. Chem. 24 1060 1932
18. Fordham, S.
 London Research Suppl. 1 336 1948
19. Vand, V.
 London Research Suppl. 1 44 1947
20. Green, E. and Parke, J.P.
 J. Soc. Chem. Ind. London. 58 319 1938
21. Bigelow, L. and Washburn, R.
 J. Phys. Chem. 32 321 1928