DTU Bibliotek

Denne fil er downloadet fra

Danmarks Tekniske Kulturarv

www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på *www.tekniskkulturarv.dk/about*

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

536,2
9i

TEKNISK BIBLIOTEK
Danmarks tekniske Højskole

NOGLE

VARMETRANSMISSIONS-FORSØG

AF

G. A. HAGEMANN.

TEKNISK BIBLIOTEK
Danmarks tekniske Højskole

KJØBENHAVN.

FORLAGT AF UNIVERSITETSBOGHANDLER G. E. C. GAD.

TRYKT HOS NIELSEN & LYDICHE.

1883.

5362
2f

Den Opgave at construere et Apparat, der, med Damp som Varmegiver, i en given Tid er istand til at opvarme en bestemt Mængde Vædske til en given Temperatur, uden at Dampen direkte kommer i Berøring med Vædsken, stilles meget hyppigt i den mechaniske saavelsom i den chemiske Technik. Construction af Overfladecondensatorer i Skibsdampmaskiner er saaledes et Exempel paa denne Opgave, der er af stor Betydning, men intetsteds møder man maaske Opgaven hyppigere og under saa mange forskjellige Former som ved de i Sukkertechniken anvendte Apparater. Det er da ogsaa de forskjellige Constructioner, der i den nævnte Retning have været mig betroede, der have foranlediget de Forsøg, hvorover jeg i det følgende skal aflægge Beretning.

Til Løsning af den fremsatte Opgave har man hidindtil manglet saavel theoretisk som praktisk Grundlag. Erfaringen havde ganske vist givet Constructører og Ingeniører en Løsningsmaade ihænde, men om denne var den rigtigste og fordelagtigste, og efter hvilke Love Løsningen burde ske, kjendte man intet til. Man saa da ogsaa almindelig den ene Ingeniør laane af den andens Constructioner i det Haab, at den anden muligen kjendte Sagen bedre, end han selv gjorde det. Og i theoretisk Henseende stod Sagen ikke stort bedre. Den newtonske Lov, at „Varmeafgivelsen er proportional med Temperaturdifferentsen“, fik i 1818 ved Dulong og Petits berømte Arbejder et stærkt Stød, idet disse Videnskabsmænd i en Række omfattende Forsøg over Afkjølingen, saavel i lufttomt som i luftfyldt Rum, godtgjorde, at Afkjølingen foregik hurtigere ved større Temperaturdifferentser end ved lavere. Senere har Narr og andre kritiseret Dulong og Petits Arbejder og fundet Afvigelserne fra den newtonske Lov mindre end disse Lærde, og endelig har Colding i en Afhandling 1864 søgt at bevise den newtonske Lovs uforandrede Rigtighed. Hvad der nu

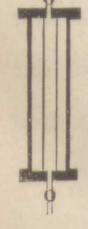
end kan anføres for eller imod disse Arbejder, saa er der en Fejl, der er fælles for dem alle, den nemlig, at de have udtalt en altfor almengyldig Lov efter alt for specielle Forsøg, thi en Mængde Faktorer, der utvivlsomt have stor Indflydelse paa Afkjølingen, have ikke været tagne med i Betragtning. Endskjøndt nu en Kritik af de nævnte Arbejder ligger udenfor den Opgave, som jeg har stillet mig, kommer jeg dog lejlighedsvis til at omtale nogle af dem senere, hvorfor jeg ikke her skal opholde mig videre derved.

Muligen fristet af de i al Almindelighed udtalte Love, eller muligen af Mangel paa andre og bedre Holdepunkter, have nu Ingeniører og Constructører overført dem paa den her foreliggende Opgave, og man finder dem saaledes i alle Lærebøger anvendte som Grundlag for Tabeller og Constructioner. Som alt anført har man imidlertid sjelden havt Fornøjelse af de derpaa grundede Constructioner, og Resultatet er derfor bleven en Mistillid til alt andet end det, den rene Erfaring har givet.

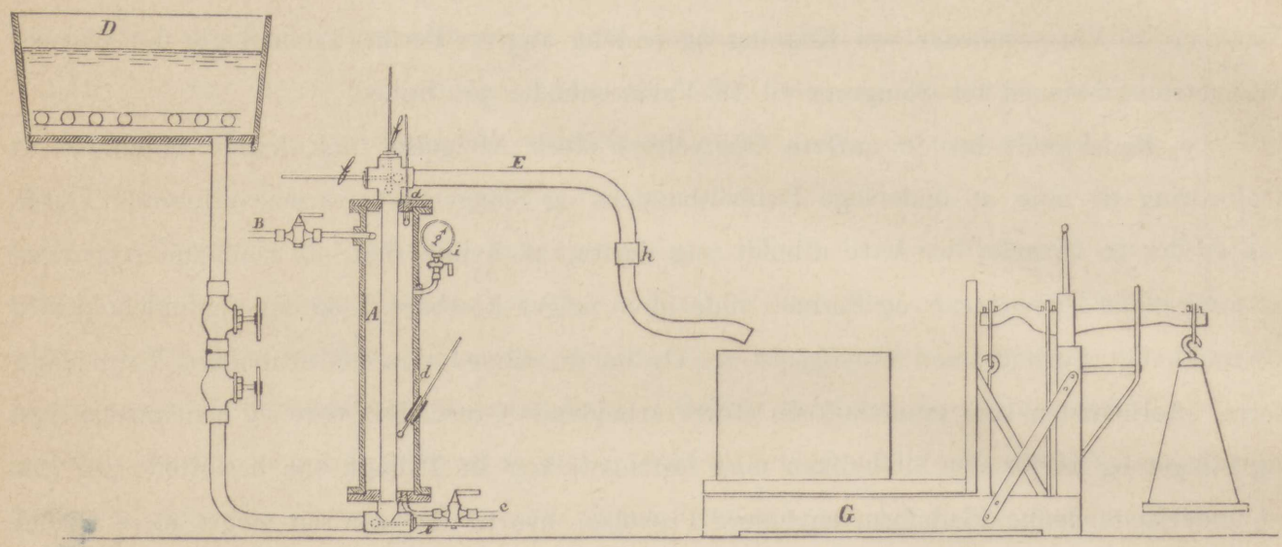
Efter Omstændighederne kan man vælge en Dobbeltbund, Slangerør eller Multitubularformen til varmeoverførende, arbejdende Flade. Disse Fladers varmeoverførende Værdi er forskjellig, men om dem alle ansees den Sætning, at „Varmeoverførselen er proportional med Temperaturdifferentsen“, for fastslaaet. Særlig arbejder Dobbeltbundsfladen meget langsomt, hvilket tilskrives Vanskeligheden ved at uddrive al Luft af det nødvendigvis temmelig store Damprum, medens det sikkert væsentligst maa søges i andre Retninger, hvorom senere. Den anvendes ikke meget mere. Om Slangerør foreligger der endel Opgivelser, der alle stemme overens i, at Slangerørenes Diameter og Længde maa staa i et passende Forhold til hinanden for at give Maximum af Virkning. Schintz angiver i sin „Wärmemesskunst“ Varmetransmissionen for Slangerør af 1“—$1^{3}/_{8}$“ Diameter og 60—100 Fods Længde til 72 Kilogr. Grader pr. 1^{0} Diff., 1 □ Meter. 1 Minut. Peclet (traité de la chaleur) angiver Condensationen til 5—7 Kilogr. Vand c. 100^{0} pr. 1^{0} Diff., 1 □ Meter, 1 Time, hvis det er Slangerør, hvoraf Luften fuldstændig kan uddrives, men kun til 1—3 Kilogr. Vand, hvis det er et Apparat, hvoraf Luften kun vanskeligt kan uddrives (Dobbeltbund, Slanger med stor Diameter). 6 Kilogr. pr. Time svarer omtrent til 53 Kilogr. Grader pr. 1^{0} Diff., 1 □ Meter, 1 Minut. Ved Forsøg i en Sukkerfabriks Saturationskjedler har han kun fundet 2,7 Kilogr. Vand condenseret pr. Time, hvilket svarer til 26 Kilogr. Grader pr. 1^{0} Diff., 1 □ Meter, 1 Minut. Et andet

Sted angiver han Overførelsen svarende til $12^1/_2$ C. (Calorier) naar Diff. er 28^0, og til 26 C., naar Diff. er 83^0. Clement Desormes angiver, at Damp til 100^0 opvarmer Vand gjennem en Kobberdobbeltbund med en Hastighed af 12,5 Varmeenheder (Kilogr. Grader) pr. 1^0 Diff., 1 □ Meter, 1 Minut. Ved Slangerør af 0,034 Meter Diameter og 42 Meter lange fandt Thomas & Laurens 21 Varmeenheders Overførsel, naar Varmen tjente til Opvarmning af Vand og 78 Varmeenheder, naar Varmen benyttedes til Kogning af Vand, begge pr. 1^0 Diff., 1 □ Meter, 1 Minut. Walkhoff angiver under de samme Omstændigheder en Overførsel af 27 Varmeenheder. Havrez opgiver en Overførsel af 21,4 Varmeenheder ved Opvarmning af Vand og 16 Varmeenheder ved Kogning og endelig angiver Ferini (Technologie der Wärme) Varmetransmissionen for Slangerør til 18 Varmeenheder pr. Enhed.

Endskjøndt nu de anførte Opgivelsers store Afvigelser nok kunde indeholde en Opfordring til nøje at undersøge Dobbeltbundens og Slangerørets varmeoverførende Værdi, saa er der to Grunde, der have afholdt mig derfra, af hvilke den, at saadanne Apparater af forskjellige Dimensioner og Former vilde blive meget kostbare, i og for sig indeholder et tilstrækkeligt Forbud imod Forsøgslyster. Og da nu tilmed den multitubulære Varmefladeform, efterhaanden som man ønskede større arbejdende Overflader, viste sig hensigtsmæssigst og billigst og derfor den til hvilken man fortrinsvis tog sin Tilflugt, saa besluttede jeg kun at underkaste denne Fladeform en nøjere Prøvelse, hvortil der var saa meget mere Grund, som der kun forelaa meget sparsomme Angivelser derom. Foruden rent praktiske Regler fra Sødampmaskinecondensatoren har jeg overhovedet kun fundet de af Ferini omtalte Forsøg af Easton & Amos i London over denne Varmefladeform. Experimentatorernes Forsøgsapparat bestod af et lodret Jernrør $1,5^{mm.}$ tykt og $38^{mm.}$ Diameter, der indesluttedes i et større Rør ($77,0^{mm.}$), hvori der var Vand. Gjennem et Damprør lededes tør Damp af en kjendt Temperatur ind i det inderste Rør og Mængden af de fortættede Dampe samt Vandets Temperaturtilvæxt maaltes. Paa denne Maade fandt de (ved en Temperaturdifferents af $69,5^0$) en Varmeoverførsel af 15,3 Varmeenheder pr. Enhed. — Det stod mig imidlertid klart, at man med et Apparat som dette ikke kunde komme til noget tilfredsstillende Resultat, og at man navnlig ikke experimenterede under de samme Forhold, under hvilke man vilde benytte Apparatet i Praxis. Ved Herrer Burmeister & Wain's velvillige Assistence fik jeg derfor et Forsøgsapparat



bygget paa følgende Maade: I Midten af et stærkt Støbejernsrør *A*, omtrent 6″ i indvendig Diameter, anbragtes et Messingrør af en i Praxis hyppigt anvendt Dimension nemlig $2^{mm.}$ Metaltykkelse og 0,941 Metre Længde (3′) indenfor Endebundene ved hvilke det var damptæt anbragt i det støbte Rør. Metalrørets nederste Ende stod ved et Rør, hvorpaa der var anbragt to Ventiler, i Forbindelse med et Trækar D, hvori der var anbragt en Dampslange af Kobber, ved hvilken det var muligt at give det i Karret værende Vand, hvilken som helst Varmegrad, man kunde ønske. Foroven forlængede Messingrøret sig



gjennem et Rør *E*, der ved *h* kunde dreje sig let om en lodret Axe, saaledes at man uden synderlig Tidsspilde kunde lade det fra Karret *D* kommende Vand løbe bort eller opsamle det i en paa Vægten *G* anbragt Beholder. Ved *e* og *f f* var der anbragt fintmærkende justerede Thermometre. Jernrøret *A* kunde fyldes med Damp gjennem Røret *B*, der var forsynet med en Hane og med sidestillede Udstrømningsaabninger, og havde ved *c* et med Hane forsynet Udløbsrør. Thermometrene *d* og *d* angave Temperaturen i Røret og denne controlleredes tillige med et almindeligt Manometer *i*.

Betegner T Dampens Temperatur, t_1 og t_2 henholdsvis Temperaturen af den ind- og udtrædende Vandstrøm saa er

$T \div \frac{t_2 + t_1}{2}$ Temperaturdifferentsen. Er Vandvægten i Kilgr. A og Tiden θ i Minutter, saa er

$\frac{A\ (t_2 \div t_1)}{\theta}$ = Antal af Varmeenheder (Kilgr. Grader) pr. Minut. Og $\frac{2\ A\ (t_2 \div t_1)}{\theta\ (2\ T \div t_2 \div t_1)}$ = Antal af Varmeenheder overførte for 1° Diff. og 1 Minut. Er endelig den indvendige Varmeflade = O □ Metre, faaes

$C = \frac{2\ A\ (t_2 \div t_1)}{\theta\ O\ (2\ T \div t_2 \div t_1)}$ = Antal af Varmeenheder overførte pr. 1° Diff., 1 □ Metre, 1 Minut, hvilket vi for Kortheds Skyld i det Følgende vilde kalde *Enhed.*

Med det saaledes construerede Apparat, der saa vidt muligt lignede de i Praxis anvendte, begyndte jeg de Forsøg, hvis Resultater findes i Liste 1 og ere grafisk fremstillede i Pl. II Curve A.

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calorier	Temp.	Cal.	Vand	
	Pd. Spænd.	Temp.	ind	ud i Samle-karret	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff. tilsyne-ladende	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast. Metre	1.
1	0	100°	5,7	46,7	41,0	21,0	3	—	287	86,5°	25,0	0,06	*A.*
2	8 ℔	115,1°	5,3	36,7	31,4	47,3	3	—	494	96,7	29,2	0,17	
3	27 ℔	133,0°	5,3	46,1	40,8	45,5	3	—	615	110,0	36,8	0,15	

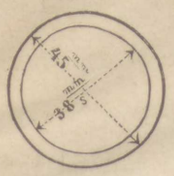
Temperaturdifferentsen er afsat som Abscisse, Antal af transmitterede Kilogramgrader som Ordinat. Dampspændingen og dermed Temperaturen er gjort vexlende, stigende, medens det indstrømmende Vands Temperatur er holdt constant. Den fundne Linie er temmelig continuerlig, synes i Begyndelsen at holde sig nær til den newtonske Lov, men derefter at følge Dulong & Petits eller snarere Narrs Lov, idet Transmissionen stiger i et noget stærkere Forhold end Temperaturdifferentsen. Strax fra Forsøgenes Begyndelse var jeg imidlertid opmærksom paa et Forhold, der influerer stærkt paa den fundne Linie, nemlig at Thermometret *f* ikke viste nogen constant Temperatur, og, selv ved at tage Middeltal af mange Observationer, ikke viste samme Temperatur som Vandet i Samlekarret paa Vægten, men derimod en langt lavere Temperatur. Førte jeg Thermometret fra sin centrale Stilling ud mod Rørets Periferi, viste det sig, at Vandet gjennemstrømmede Røret i Striber og at den varmeste Stribe fandtes ved Rørets Sider. Under disse Forhold var $\frac{t_1 + t_2}{2}$, saaledes som jeg maalte den i Samlekarret, imidlertid ikke Middeltemperaturen af det Vandlag, som berørte den arbejdende Flades indvendige Side, men en lavere Temperatur og $T \div \frac{t_1 + t_2}{2}$ ikke Differentsen mellem Temperaturerne paa de to Sider af den arbejdende Flade, men et større Tal.

At de fundne Værdier for C dermed ere gale og Curven urigtig, behøver jeg næppe at nævne.

Grunden til at jeg har ofret saa mange Ord paa at vise denne Fejl er den, at den samme Fejl er begaaet saavel af Dulong & Petit som af Colding og i Praxis er den en staaende Regel. Naar Dulong & Petit nedsænker en stærk opvarmet stor Thermometerkugle i en, i et Kar med koldt Vand, anbragt Kobberkugle, da frembringer den Strømninger i Luften i Kuglen, og den Luftpartikel, der ved sin første Berøring med Kuglens laveste Punkt muligen havde samme Temperatur som Vandet, nemlig t, vil ved at stige op langs Kuglens Sider antage stadig stigende Temperaturer t_1, t_2, t_3, og det er det rette Middeltal af disse t_c, der trukken fra T giver Temperaturdifferentsen og ikke T ÷ t. Jeg er noget betænkelig ved at udøve denne Kritik mod Dulong & Petits Forsøg, fordi Narr ikke har fundet Anledning til at fremføre den, Narr, der just paaviser den ligesaa tydelige Fejl af samme Natur, der maa fremkomme derved, at Vandet udenom Kobberkuglen kommer i Strømning ved at blive opvarmet fra Thermometerkuglen saaledes, at t ikke er den sande Størrelse for hele Kobberkuglen, og saa, for at undgaa denne Fejl, indfører at afkjøle Kobberkuglen med Is. Imidlertid troer jeg, at min Indvending er berettiget, og jeg er ganske vis paa, at den er det ligeover for Coldings Forsøg. Colding anbringer et 5" Støbejernsrør paa Bukke i ikke ret stor Afstand fra Jorden, sender en Strøm af varmt Vand gjennem Røret og maaler Afkjølingen af Vandet ved Thermometre nedstukne i Røret. Er Temperaturen i Røret T og Luftens Temperatur t, er T ÷ t Temperaturdifferentsen. Men at dette ikke kan være saa, er indlysende. Colding gjør selv opmærksom paa, at T ikke er den sande Temperatur af Vandet i Røret, men at Varmegraden stiger fra Bunden af Røret til Toppen efter et parabolsk Forhold, men er det rigtigt for det mindre bevægelige Vand, som tilmed har en strømmende Bevægelse i Retning af Røret, hvormeget mere maa det ikke være Tilfældet for det letbevægelige Luftlag uden omkring Røret. Temperaturdifferentsen er utvivlsomt en hel anden Størrelse, end den Colding fører i Regning.

For at skaffe saa simple og rene Forhold tilveje som muligt, indsatte jeg et i begge Ender med en Metalplade lukket Rør, concentrisk i det ved Damp opvarmede Rør. Da

dettes indvendige Diameter er 45$^{mm.}$ og det indsattes udvendige Diameter var 38,5$^{mm.}$, opstod der en Ring paa 3,25$^{mm.}$ Tykkelse, der indskrænkede det gjennemstrømmende Vandlags Tykkelse. Forelobige Forsøg viste nu, at Thermometrene *f* holdt en meget constant Temperatur og navnlig, at denne var den samme som den, Vandet i Samlekarret udviste.



Med det forandrede Apparat foretog jeg en Række Forsøg for at finde den Indflydelse, som forskjellige Hastigheder af det gjennemstrømmende Vand udøver paa Transmissionen, naar Temperaturdifferentsen holdes constant og Dampen vedligeholdes ved en Temperatur af 100°. Resultaterne findes i Liste 2 og ere grafisk fremstillede i Curve A Plan I, hvor Vandhastigheden i Metre pr. Sekund er afsat som Abscisse og den tilsvarende Varmeoverførsel som Ordinat. De med smaa Cirkler angivne Punkter ere bestemte ved Maalinger; de med store Cirkler markerede Punkter ere laante fra de ved andre Forsøg fundne Linier. Istedetfor at en Hastighed af 0 skulde give ingen eller meget ringe Overførsel af Varme, giver den en meget kjendelig Mængde, hvilket har sin Grund deri, at der opstaar Strømninger i Vandet — Strømninger, der jo navnlig ere Aarsagen til, at man ved at anbringe en Varmegiver under en Vandbeholder er istand til at opvarme Vandet, den slette Varmeleder, forholdsvis hurtigt. Ved en Temperaturdifferents af 51° har en ganske ringe Hastighed ikke megen Indflydelse, men naar Hastigheden bliver større end den, der frivillig opstaaer paa Grund af Opvarmningen, da udøver den en stor Indflydelse. *Varmeoverførselen tiltager stærkt, men dog ikke ganske proportionalt med Hastigheden,* et Resultat, der er saare rimeligt og bekræftes af vore daglige Erfaringer.

Af tidligere Experimentatorer er der kun Colding, der har forsøgt at finde Hastighedens Indflydelse paa Afkjølingen. Han gik frem paa den Maade, at han med det ovenfor kortelig omtalte Forsøgsapparat anstillede Forsøg i fri Luft under forskjellige Vejr- og Vindforhold, og de Uoverensstemmelser, som han finder mellem Forsøgene, tilskriver han Vindens Virkning. Han prøver da en *antaget* Formel i hvilken de *jugerede* Vindhastigheder indgaa, finder at denne bringer Forsøgene i Overensstemmelse og mener dermed at have fundet Loven for Strømningens Indflydelse. Føjer jeg nu til, hvad ovenfor er sagt om Temperaturdifferentsen, den Bemærkning, at Vinden, jugeret efter Skorstensrøgs eller Vindmøllers Bevægelse, ikke med nogen Rimelighed kan antages at have været den samme som berørte

Rørene, der vare anbragte mellem store Bygninger og nær Jorden, at Vinden den ene Gang gik langs Rørene, den anden tværs over dem, samt endelig, at der er god Grund til at tvivle paa Rigtigheden af den Antagelse, som danner Fundamentet for hele Forsøgsrækken, at den fra Kjedlen kommende varme Vandstrøm bevæger sig regelmæssigt frem gjennem Røret, idet Coldings egen Beretning om Varmens Fordeling i Røret modbeviser den, saa troer jeg, at man kun kan betragte det for Hastigheden indførte Udtryk som et almindeligt Udtryk for Summen af de begaaede Fejl.

Efter at Hastighedens Indflydelse for Temperaturdifferentsen 51^0 var fundet, foretog jeg en Række Maalinger bestemte til at udfinde den Indflydelse, som Temperaturdifferentsen udøvede naar Hastigheden holdtes constant. Listerne 3, 4, 5 og 6 give Resultatet af Maalingerne, der i Plan II Curverne B, C, D, E ere grafisk fremstillede.

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calor	Temp.	Cal.	Vand	
	Spænd.	Temp.	ind	ud	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff.	1^0 Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast. Metre	
4	0	100	26,1	70,6	44,5	11,5	5	—	102,4	51,7	14,85	0,092	2. A.
5	0	100	25,8	70,7	44,9	11,5	5	—	103,2	51,8			
6	0	100	32,2	63,7	31,5	17,7	5	—	113,7	52,2	16,05	0,14	
7	0	100	32,2	63,4	31,2	17,5	5	—	109,2	52,2			
8	0	100	37,0	58,8	21,8	35,2	5	—	153,4	52,1	21,50	0,272	
9	0	100	36,8	58,7	21,9	32,8	5	—	143,6	52,1			
10	0	100	41,3	56,0	14,7	40,2	2	—	295,4	51,4	42,75	0,792	
11	0	100	41,2	56,0	14,8	39,4	2	—	292,0	51,4			
11a	0	100	41,3	52,9	11,6	46,0	1	30	343,8	52,9	48,8	1,238	
11b	0	100	42,8	51,4	8,6	43,4	1	—	374,7	52,7	53,4	1,703	
11c	0	100	41,2	50,5	9,3	51,5	1	10	410,4	54,2	56,9	1,726	
11d	0	100	50,7	58	7,3	45,2	1	—	331,0	45,7	54,4	1,808	

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calor	Temp.	Calor	Vand	
	Spænd.	Temp.	ind	ud	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff.	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast. Metre	
12	0	100	88,9	93,6	4,7	38,8	5	—	36,4	8,8	31,0	0,310	3. B.
13	0	100	86,4	92,0	5,6	38,8	5	—	43,4	10,8	30,1	0,310	
14	0	100	73,4	83,9	10,5	39,2	5	—	83,2	21,3	29,25	0,314	
15	0	100	56,8	72,7	15,9	39,2	5	—	124,8	35,3	26,5	0,314	
16	0	100½	47,8	66,9	19,1	39,7	5	—	151,5	42,7	26,6	0,318	
17	0	100½	40,0	61,4	21,4	31,7	4	—	166,9	49,3	25,35	0,312	
18	0	100½	35,5	57,3	21,8	39,2	5	—	171,1	53,6	23,9	0,314	
19	0	100½	28,9	51,7	22,8	38,7	5	—	176,7	59,7	22,2	0,310	
20	0	100½	15,9	41,7	25,8	39,7	5	—	205,1	72,2	21,3	0,318	
21	0	100	88,5	92,1	3,6	34,0	2	—	61,2	9,7	47,2	0,68	4. C.
22	0	100	88,0	91,7	3,7	33,4	2	—	61,7	10,2	45,4	0,668	
23	0	100	86,0	90,4	4,4	31,9	2	—	70,1	11,8	44,6	0,638	
24	0	100	70,5	79,8	9,3	31,9	2	—	148,2	24,9	44,6	0,632	
25	0	100	70,3	79,3	9,0	31,7	2	—	142,6	25,2	42,4	0,634	
26	0	100	55,1	67,8	12,7	31,7	2	—	201,2	38,6	39,88	0,634	
27	0	100	40,5	56,0	15,5	31,9	2	—	247,2	51,8	35,6	0,638	
28	0	100	30,7	46,2	15,7	32,0	2	—	251,2	61,7	30,4	0,640	
29	0	100	47,4	28,6	18,8	31,7	2	—	297,9	80,8	27,6	0,634	
30	0	100	90,8	93,0	2,2	25,7	1	—	56,5	8,1	49,5	1,024	5. D.
31	0	100	90,8	92,8	2,0	25,5	1	—	51,0	8,2			
32	0	100	85,4	89,2	3,8	29,5	1	10	96,1	12,7	56,6	1,012	
33	0	100	60,5	70,0	9,5	26,1	1	—	247,9	34,8	53,25	1,044	
34	0	100	43,5	56,5	13,0	25,9	1	—	336,7	50,0	50,5	1,036	
35	0	100	9,5	25,3	15,8	25,7	1	—	406,0	82,6	36,8	1,026	

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calor	Temp.	Calor	Vand	
	Spænd.	Temp.	ind	ud	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff.	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast Metre	
36	0	100	89,7	91,4	1,7	41,0	1	—	72,2	9,5	57,0	1,640	6. E.
37	0	100	72,0	78,2	6,2	41,5	1	—	257,3	24,9	77,6	1,660	
38	0	100	52,8	61,6	8,8	48,7	1	10	366,9	37,8	72,8	1,668	
39	0	100	9,6	22,2	12,6	41,0	1	—	516,6	84,1	46,5	1,640	
40	0	100	9,6	21,5	11,9	35,0	0	50	500,0	78,9	47,2	1,680	

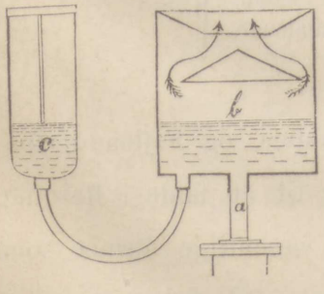
Paa Plan II ere Temperaturdifferentserne afsatte som Abscisser, Overførselen som Ordinater og ved hver Bestemmelse er der som Index tilføjet Hastigheden af Vandet, angivet i Metre pr. Sekund.

Det vil strax være iøjnefaldende, at der for Curverne aldeles mangler Bestemmelser paa Curvens første Afsnit. At 0° Temperaturdifferents maa give 0 Kilgr.-Grader Overførsel, er indlysende nok. Derefter mangler imidlertid Bestemmelser indtil ved omtrent $8{,}8^{\circ}$, hvilket ligger deri, at det ikke var mig muligt at skaffe de nødvendige Forhold til disse Bestemmelser tilveje. Thi kom Vandet fra Trækarret ind i Rørets nederste Ende med $88{,}9^{\circ}$, og Kobberdampslangen formaaede ikke at holde en højere Temperatur vedlige i Trækarret, løb det ud med $93{,}6^{\circ}$, og gav saaledes $8{,}8^{\circ}$ Differents med Dampene a 100°. For større Hastigheder opnaaede jeg, ved at sætte en Straale fri Damp ind i Vandrøret, en Bestemmelse for noget lavere Temperaturdifferents. Tiltrods for de manglende Punkter, troer jeg dog ogsaa den første Del af Curven at være nogenlunde rigtig i det mindste i Hovedformen, thi Muligheden for, at den kunde være anderledes, er stærkt indskrænket gjennem de temmelig talrige Bestemmelser ved forskjellige Vandhastigheder, og Retningen bestyrkes endelig af de ved højere Hastigheder og ved Koge- eller Fordampningscurven F udførte Bestemmelser. Varmetransmissionen naaer, som Curven viser, sit Maximum allerede ved en lav Temperaturdifferents, hvilket er Grunden til, at det ikke er lykkedes mig at bestemme dette Maximum nøjagtigere, hvad der dog utvivlsomt vilde have været af stor Intereese. At Maximumspunktet ser forskjelligt ud ved de to nederste Curver fra det ved de to øverste Curver, skal jeg senere komme tilbage til. Jeg maa antage, at Maximumspunktet er naaet, naar

den Varmemængde, der bortføres af Vandstrømmen er lig den Varmemængde, som den ledende Flade under de givne Forhold ifølge sin Varmeledningsevne kan befordre. Med ledende, arbejdende Flade maa der i dette Tilfælde da forstaaes Metalrøret tilligemed den paa Dampsiden værende Vandhinde, der evindelig løber ned ad Røret, men strax igjen dannes. Transmissionscurven gaaer fra Maximumspunctet jevnt tilbage proportionalt med Temperaturdifferentsen. Det skal indrømmes, at de talrige Bestemmelser, især for Curven B, ikke nøjagtig følge Curven, som den er tegnet, men erindrer man den store Vanskelighed disse Bestemmelser frembyde, maa man vist slaa sig tiltaals med, at Bestemmelserne utvivlsomt angive Curvens Retning.

Det maa nu med de tegnede Curver vel erindres, at den Forudsætning, at $\frac{t_1 + t_2}{2}$ er den sande Middeltemperatur for Vandet i dets Løb gjennem Varmerøret, ikke overalt har bekræftet sig, og at den navnlig aldeles ikke holder Stik i Nærheden af og umiddelbart i Maximumspunkterne. Idet man nærmer sig til Maximum finder man $\frac{t_1 + t_2}{2}$ for lav, Temperaturdifferentsen altsaa for høj, og Resultatet for lavt, og et aldeles lignende Forhold finder Sted paa den anden Side af Maximumspunktet. At dette er Grunden til, at Formen for Curverne D og E, for hvilke der foreligger nogle Bestemmelser nær Maximumspunktet, er anderledes end den for B og C, hvor Maximum kun er fundet derved, at det ikke godt kan ligge anderledes, er rimeligt.

For om muligt at føre et indirekte Bevis for hvilken Form af Curve, der rimeligst kan antages for den rigtige, udførte jeg en Række Bestemmelser over Fordampningsevnen af Røret. I dette Øjemed forsynedes dettes øverste Ende med det i Skitzen antydede Apparat. *a* er Røret, der foroven udvider sig til en Beholder *b*, der er lukket med to Skjærme saaledes som vist i Skitzen for at forhindre Oversprøjtning under Kogningen. Fra *b* fører et Gummirør til en mindre Glasbeholder *c*, hvori Vandhøjden maales ved en fast Glasstift. Saasnart Kogningen var sat igang, steg Vandet i *c* (for at give Plads til Dampen i Røret), og naar Vandstanden ved Fordampning havde naaet Glasstiften, noteredes Tiden; en à to Litre Vand heldtes successive til, og Tiden, da Vandspejlet igjen berørte Glasstiftens Spids, noteredes. Dermed var Varmemængde og Tid bestemte. Da Vandet kogte ved konstant



Temperatur, 100°, var der ikke Spørgsmaal om Middeltemperatur, og Temperaturdifferentsen fremkom ligefrem ved fra Dampens Varmegrad at trække 100°. Liste 7 og Curven F viser de fundne Resultater.

Løbe Nr.	Damp		Fordampet Vand		Tid		Temp.	Calor	
	Tryk	Temp.	Gram	Temp.	Min.	Sek.	Diff.	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	
41	0	106	500	33	7	30	6	50,6	7. F.
42	0	106	500	30	7	23			
43	1	108	500	26	4	12	8	69,7	
44	1	107¾	500	24	4	10			
45	1	108	500	25	4	—			
46	6	111	500	25	2	35	11	84,0	
47	6	110¼	1000	25	5	—			
48	7	112	1000	25	4	37			
49	8	115	1000	24	3	23	15	88,0	
50	18	126	1000	24	2	43	26	65,6	
51	18	126	1000	22	2	43			
52	27	133½	1000	19	2	50	34,2	48,8	
53	30	135	1000	19	2	51			
54	50	150	1000	19	3	17	50,2	28,8	
55	50	151	1000	19	3	3	Koger stødende.		

Ved meget lave Temperaturdifferentser er Kogningen let stødvis, og Fejlen derfor, ligesom ogsaa paa Grund af den lange Tid Forsøget tager, tilbøjelig til at falde i Retning af en for lav Overførsel. Kogecurverne viser et Maximumspunkt væsentligt formet som Curverne B og C og derefter en stærkt faldende Linie. Med Hensyn til denne kan det siges, at de store Temperaturdifferentser fremkaldte en stødende Kogning, rimeligvis fordi Dampene ikke kunde komme ud af Røret saa hurtigt som de dannedes, et Forhold der sikkert har influeret paa Curvens Retning.

Støttet af disse sidste Forsøg antager jeg, at Curverne D og E burde have en Form der mere ligner B og C, hvilket tillige vil give en Lovformighed for Maximumspunkternes Beliggenhed, som man med Grund kunde vente maa existere. Imidlertid anseer jeg ingenlunde det anførte for tilstrækkeligt Bevis for denne Antagelse, især da navnlig ét Observationspunkt bestemt taler derimod.

Jeg har i det foregaaende kun betragtet de Temperaturdifferentser, der fremkom mellem Damp til 100° og Vand af højere eller lavere Varmegrad; kun i Kogningsforsøgene benyttede jeg mig af Damp af højere Spænding og Temperatur. Imidlertid kan Temperaturdifferentsen jo ogsaa fremkomme mellem Vand af constant Varmegrad og Damp af vexlende Spænding og Temperatur, og endelig kan den constante Vandtemperatur vælges højere eller lavere. Der foreligger altsaa her igjen en rig Mark for Forsøg, om hvis Resultater man ikke med Rimelighed kan danne sig nogen Mening af de alt refererede Experimenter.

Vandhastighedens Betydning for Varmeoverførselen er her atter det første Punkt af Betydning at faa undersøgt, og Resultatet af de i dette Øjemed udførte Maalinger forefindes i Listerne 8, 9, 10, 11 og de med Bogstaverne G. H. I. J. betegnede Curver.

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calor	Temp.	Calor	Vand	
	Spænd.	Temp.	ind	ud	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast Metre	
56	0	104,4	5,5	30,8	25,3	45	3	2	375	86,2	32,6	0,594	
57	9	115,0	5,7	36,5	30,8	45	3	9	440	93,9	35,13	0,572	8.
58	18	124,0	5,6	40,2	34,6	45	3	11	486	101,2	36,0	0,562	G.
59	37	138,2	5,6	47,2	41,6	45	3	9	594	111,3	40,0	0,572	
60	0	100,4	5,8	29,2	23,4	45	2	46	383	82,9	34,5	0,658	
61	0	100,5	5,8	29,8	24,0	45	2	46	392	82,7	35,2	0,658	
62	7	112,8	6,0	35,4	29,4	45	2	47	481	92,1	39,0	0,658	9.
63	13	119,8	6,0	38,0	32,0	45	2	45	523	97,8	40,1	0,658	H.
64	15	122,5	6,0	39,0	33,0	45	2	45	540	100,0	40,5	0,658	
65	29	133,2	6,0	44,2	38,2	45	2	45	625	108,1	43,5	0,658	

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calor	Temp.	Calor	Vand	
	Spænd.	Temp.	ind	ud	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff.	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast Metre	
66	0	100,5	6,0	26,2	20,2	45	2	—	455	84,5	40,5	0,90	
67	0	107,0	6,0	28,6	22,6	45	2	—	508	89,7	42,9	0,90	
68	10	116,0	6,0	31,0	25,0	45	2	—	562	97,5	43,1	0,90	10.
69	13	119,4	6,0	32,4	26,4	45	2	—	594	100,2	44,2	0,90	I.
70	26	131,5	6,0	35,8	29,8	45	2	—	670	110,6	45,3	0,90	
71	26	131,0	6,0	35,6	29,8	45	2	—	670	110,3	45,3	0,90	
72	0	100	6,4	20,8	14,4	35	—	59	504	86,4	43,5	1,40	.
73	0	100	6,5	20,8									
74	0	105,0	6,8	22,2	15,4	35	—	59	539	90,5	44,6	1,40	
75	8	113,2	6,8	23,6	15,8	35	—	59	588	98,0	45,0	1,40	11.
76	20	126,0	6,5	26,6	20,0	35	—	59	700	109,1	48,3	1,40	J.
77	20	125,0	6,4	26,2									
78	25	130,5	6,3	26,6	20,3	35	1	—	710	113,6	46,3	1,40	
79	25	129,4	6,3	26,6									

Det er en Selvfølge af den hele Forsøgsmaade, at den bestemte Del af Transmissionscurven ikke er meget stor og først begynder temmelig højt oppe, men det tidligere fundne Hovedresultat, at Varmeovergangen stiger med Hastigheden, bekræfter sig her igjen. For imidlertid ogsaa at faa nogle Bestemmelser ved lavere Temperaturdifferentser lod jeg en Luftpompe sætte i Forbindelse med Damprummet, for gjennem delvis Vacuum at faa Maalinger ogsaa ved lavere Damptemperaturer. Forsøget lykkedes kun tildels, fordi Pompe og Condensator vare for smaa, men det fundne Resultat i Liste 12 Curve K bekræfter de foregaaende Forsøgs Rigtighed.

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calor	Temp.	Calor	Vand	
	Spænd.	Temp.	ind	ud	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff.	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast Metre	
80	20	127,0	6,4	40,6	34,2	35	2	15	532	103,5	38,6	0,622	12. K.
81	17	123,6	6,5	39,4	32,9	35	2	15	512	100,7	37,8	0,622	
82	14	120,0	6,5	37,5	31,0	35	2	15	482	98,0	36,7	0,622	
83	5	113,2	6,5	34,8	28,3	35	2	15	440	92,6	35,6	0,622	
84	1	105,0	6,3	31,0	24,7	35	2	15	384	86,4	32,3	0,622	
85	0	100	6,5	28,2	21,7	35	2	12	345	82,7	31,1	0,634	
86	0	97	6,5	26,8	20,3	35	2	14	314	80,3	29,3	0,624	
87	0	95,5	6,5	26,6	20,1	40	2	32	317	79,0	30,0	0,622	
88	0	88	6,5	23,8	17,3	35	2	15	269	72,9	27,5	0,622	

Man kan imidlertid ikke undlade at lægge Mærke til, at Mængden af Varmeoverførsel ikke i denne Forsøgsrække stiger saa stærkt med Hastigheden som i den første Række. Jeg kan ikke forklare mig Grunden hertil, men vil dog ikke undlade at bemærke, at en Del af Grunden maa tilskrives en Forsøgsfejl, som jeg først for sent lagde Mærke til nemlig, at en svag, næsten usynlig Stenafsætning paa Rørets indvendige Flade, der fremkom i Løbet af Forsøgene, hemmede Varmeoverførselen. Ved Forsøg bestemte jeg Indflydelsen af denne Afsætning, idet jeg gjentog Maalingerne med Hastigheden 0,9 og derved fandt for Hastigheden 0,914 Liste 16 og Curve O. Det er mig imidlertid ikke muligt at betegne denne Fejls kvantitative Indflydelse paa hver af de udførte Bestemmelser, det maa være mig nok at antyde, at den har været tilstede.

Ved samme Hastighed kan en vexlende Temperaturdifferents ogsaa fremkomme ved at lade det indløbende Vands Temperatur stige samtidig med at Damptemperaturen efterhaanden stiger. Liste 13 Curve L. vise saaledes, sammenlignet med Liste 8 Curve G., hvorledes en højere Temperatur af det indstrømmende Vand ved samme Damptemperatur forøger Varmeoverførselen.

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calor	Temp.	Calor	Vand	
	Spænd.	Temp.	ind	ud	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff.	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast Metre	
89	0	106,1	14,6	39,6	25,0	45	3	7	360	79,0	34,2	0,592	
90	10	115,5	14,8	44,8	30,0	45	3	15	415	85,7	36,4	0,554	13.
91	18	124,6	13,6	47,4	33,8	45	3	15	468	94,1	37,3	0,554	L.
92	37	138,4	12,6	54,4	41,8	45	3	14	578	104,9	41,4	0,554	
93	5	109,6	60,0	70,2	10,2	45	1	52	250	44,5	42,0	0,974	
94	5	109,8	59,4	69,8	10,4	45	1	52	250	45,2	41,6	0,974	
95	16	122,5	59,5	74,0	14,5	45	1	53	343	55,7	46,1	0,974	
96	16	122,3	59,4	74,2	14,8	45	1	53	350	55,8	46,4	0,974	14. M.
97	28	133,2	59,0	77,0	18,0	45	1	51	438	65,2	50,2	0,974	
98	33	135,0	58,8	77,6	18,8	45	1	51	457	66,8	50,5	0,974	
99	33	136,0	58,8	78,0	19,2	45	1	51	467	67,6	51,4	0,974	
100	33	136,2	80,2	98,2	18,0	45	2	13	368	47,0	56,2	0,818	
101	—	136,6	82,0	100,0	18,0	45	2	16	357	45,6	58,5	0,80	
102	—	136,6	75,0	94,0	19,0	45	2	13	388	52,1	55,9	0,818	
103	—	135,8	60,0	80,2	20,2	45	2	8	427	65,7	48,0	0,840	
104	—	136,4	58,5	79,6	21,1	45	2	7	452	67,4	50,2	0,844	
105	—	136,3	52,0	74,0	22,0	45	2	7	471	73,2	48,4	0,844	15a
106	—	135,5	48,6	71,0	22,4	45	2	6	480	75,7	47,6	0,848	NN
107	—	136,2	45,2	68,4	23,2	45	2	7	497	79,4	46,9	0,844	N.
108	—	136,0	39,4	64,0	24,6	45	2	7	527	84,3	46,9	0,844	
109	—	136,6	36,5	62,0	25,5	45	2	7	568	87,4	48,7	0,844	
110	—	136,8	31,6	58,0	26,4	45	2	7	565	92,0	46,1	0,844	
111	—	136,8	15,3	43,6	28,3	45	2	8	598	106,4	42,0	0,840	
112	—	136,4	6,0	36,8	30,8	45	2	8	650	115,0	42,4	0,840	

Løbe Nr.	Damp		Vand			Vand	Tid		Calor	Temp.	Calor	Vand	
	Spænd.	Temp.	ind	ud	Diff.	Kilogr.	Min.	Sek.	pr. Minut	Diff.	1° Diff. 1 Minut 1 □ Metre	Hast Metre	
	4	109,4	7,6	28,8	21,2	45	2	1	472	91,2	38,6	0,888	
	—	110,0	7,0	28,0	21,0	45	2	2	465	92,5	37,8	0,880	
	—	110,0	34,4	50,8	16,4	45	—	—	363	67,4	40,1	0,880	
	—	110,0	31,8	49,2	17,4	45	2	4	378	69,5	40,5	0,880	15b n. n.
	—	110,4	38,5	54,8	16,3	45	—	—	354	63,8	41,6	0,880	
	—	110,4	43,0	58,2	15,2	45	2	3	333	59,8	42,0	0,880	
	—	110,0	45,2	60,0	14,8	45	2	3	325	57,4	42,4	0,880	
	—	110,0	59,3	70,0	10,7	45	1	54	257	45,4	42,4	0,97	
113	0	100	6,6	24,0	17,4	35	1	30	408	84,7	36,1	0,932	
114	—	100	6,6	24,2	17,6	35	1	30					
115	10	116	6,7	28,8	22,3	35	1	32	510	98,5	38,8	0,914	
116	—	116,5	6,6	29,0									
117	15	121,8	6,5	30,4	24,1	35	1	31	555	103,5	40,2	0,920	16. O.
118	—	122,2	6,5	30,8									
119	20	127,0	6,5	32,2	25,7	35	1	31	595	107,7	41,4	0,920	
120	—	127,0	6,5	32,2									
121	30	134,0	6,5	34,0	27,5	35	1	31	631	114,0	41,5	0,920	
122	—	134,5	6,5	34,0									

Liste 14 Curve M giver en Del af en Curve, der svarer til en Temperatur af indstrømmende Vand ca. 59° og vexlende Dampspænding, og Listerne 15a. og 15b., Curverne N og n endelig angive ved Curve N_1 og n_1 Loven for denne Stigning af Overførselen med Vandtemperaturen i Lighed med Curverne B. C. D. E. N_1 og n_1 ligge højere end de nævnte Linier fordi de ere frembragt ved en Damptemperatur af 110° og 136°, medens disse stamme fra Damptemperaturen 100°. Ved en Temperaturdifferents af 36° maa N_1 falde sammen med Kogecurven F. Da dette ikke ganske slaaer til, er det nok muligt, at Kogecurven F., saaledes som tidligere antydet, bør tegnes højere efter den punkterede Linie.

Jeg har hermed givet Resultaterne af de Forsøg, som jeg har udført over nogle af de Forhold, som influere paa en arbejdende Flades varmeoverførende Evne, og jeg skal ikke forsøge at fremstille de fundne Resultater i mathematisk Form, da mine Forgængere paa dette Omraade have givet mig saa afskrækkende Exempler ved fra deres ganske specielle Forsøg at aflede almindeligt gjældende Love. Thi ved blot at kaste et løst Blik over de fundne Linier kan man se, at Factorer, som jeg ikke har taget i Betragtning, udøve en lige saa stor Indflydelse paa den arbejdende Flades Virksomhed som Hastigheden og Temperaturdifferentsen og blandt disse maa først og fremmest nævnes den arbejdende Flades Varmeledningsevne, Varmeledningsevnen samt Varmefylden af den Vædske (eller Luftart), der modtager Varmen, af hvilke to Faktorer utvivlsomt Maximumspunktets Beliggenhed og Form afhænger. Rimeligvis udøver ogsaa den varmeoverførende Flades Form en Indflydelse, og maaske komme endnu andre Faktorer til at influere paa en almengyldig Lov for Afkjølingen eller Varmeoverførselen. Det vil imidlertid let ses, at Undersøgelsen over disse Momenter vil føre meget vidt og fordre et langt og omhyggeligt Studium, der ligger uden for den Opgave, som jeg har stillet mig. Idet jeg imidlertid saaledes maa give Afkald paa et mere exakt Udtryk for mine Resultater end den grafiske Fremstilling, troer jeg dog med Berettigelse at kunne sige, at denne giver en langt fyldigere Fremstilling af hele Gangen af Afkjølingen end de tidligere Undersøgeres, hvilket jeg udelukkende tilskriver det Faktum, at jeg har opereret med langt større Varmemængder end disse.

Medens saaledes det theoretiske Resultat af de udførte Maalinger lader meget tilbage at ønske, saa bringe disse Overensstemmelse tilveje imellem de mange tilsyneladende modsigende Angivelser og give Praktikeren en fortrinlig Hjælp til Løsningen af en Mængde Opgaver.

Som Exempel paa saadanne Løsninger skal jeg nævne:

I. Man ønsker ved Hjælp af en overflødig Mængde Spildedamp, c. 100^0, at opvarme 3600 Kilogr. Vand fra 9^0 til 100^0 i en Time, og man er istand til at give Vandet en Hastighed af 1 Meter pr. Sekund. — Med en Meter Hastighed pr. Sekund fordres der et Gjennemstrømningsareal af 10 □ cm., der findes i 12,7 Rør c. 1 cm. Diameter. Dermed ere Rørenes Antal bestemte; det staar altsaa tilbage at finde deres Længde. Ser man nu hen til Pl. II Curve D. — den Curve, der omtrent svarer til en Meters Hastighed, da ses Opvarmningen fra 7^0 til 100 ɔ: mellem Temperaturdifferentserne 93 og 0 at falde i tre Afsnit,

indenfor hvilke en Proportionalitet mellem Temperaturdifferents og Overførsel kan siges praktisk at være tilstede, nemlig fra 7^0 til 80^0, fra 80^0 til 90^0 og fra 90^0 til 100^0 med de dertil svarende Temperaturdifferentser 93^0 til 20^0, 20^0 til 10^0 og 10^0 til 0^0. Undersøgelsen falder derfor i tre Afsnit.

1. Opvarmningen fra 7^0 til 80^0. Dertil medgaaer pr. Minut $60 \times 73 = 4380$ Varmeenheder. Middeltemperaturdifferentsen er $\frac{93 + 20}{2} = 56{,}5^0$, hvortil der ifølge Tabellen svarer en Overførsel af 45 Kilogr. Grader pr. Minut pr. 1^0 Diff. 1 □ Meter. For $56{,}5^0$ Differents overføres $56{,}5^0 + 45 = 2542$ og Varmefladen findes at være $\frac{4380}{2542} = 1{,}72$ □ Meter.

2. Opvarmningen fra 80^0 til 90^0. Dertil medgaaer $10 \times 60 = 600$ Varmeenheder. Middeltransmissionen mellem Temperaturdifferentserne 20^0 og 10^0 ɔ: 15^0 angiver Tavlen at være omtrent 56 Kilogr. Grader pr. 1^0 Diff., for 1 □ Meter, altsaa ialt $15 \times 56 = 840$ C. Til Opvarmningen behøves der $\frac{600}{840} = 0{,}7$ □ Meter.

3. Opvarmningen sker fra 90^0 til 100^0. Dertil medgaaer 600 Varmeenheder og Transmissionen for 5^0 Diff. er 30 C. Ialt altsaa $5 \times 30 = 150$ C., og Fladen findes at være $\frac{600}{150} = 4$ □ Meter.

Forlangte man altsaa kun en Opvarmning til 80^0, kunde man nøjes med $1{,}72$ □ Meter Varmeflade, vil man have 90^0, fordres der $1{,}72 + 0{,}71 = 2{,}43$ □ Meter, og vil man opnaa 100^0, fordres der $1{,}72 + 0{,}72 + 4 = 6{,}43$ □ Meter. Da Rørene have $1^{cm.}$ Diameter altsaa $3{,}14^{cm.}$ Omkreds, bliver denne for alle 13 Rør tilsammen $40{,}8^{cm.}$, hvorefter Rørenes Længde beregnes til $\frac{6 \times 4300^{cm.}}{40{,}8^{cm.}} = 15{,}7$ Meter.

Er det nu praktisk muligt at gjøre Rørene 2 Meter lange, saa sees Apparatet at maatte faae $8 \times 13 = 104$ Rør, $1^{cm.}$ Diameter, 2 Meter lange, og Rørene maa arrangeres saaledes, at Vandet kun kan passere 13 Rør ad Gangen ɔ: det maa gaa 8 Gange frem og tilbage i Apparatet.

II. Er Opgaven den at construere en Overfladecondensator, i hvilken man med Kjølevand, der flyder ind med 10^0 og ud med 40^0 vil fortætte en Dampmængde fra 40,000 Varmeenheder (80,000 Pd. Grader) i Minutten og dermed opnaa et Vacuum svarende til 50^0, da qenytter man sig af de røde Linier paa Tavle II. Kjølevandets Middeltemperatur er $\frac{10 + 40}{2} = 25^0$ og Temperaturdifferentsen $50^0 - 25^0 = 25^0$. Kan man nu regne 0,9 Meter Hastighed af Kjølevandet, saa giver Curve I for 25 en Overførsel af 12 Kilogr. Grader

eller i alt 12 × 25 = 300 C., og Condensationsfladen maa være $\frac{40,000}{300}$ = 133 □ Meter. Til Condensation medgaaer $\frac{40,000}{300}$ = 1300 Kilogr. Vand i Minutten. Gjøres Rørene $2^{cm.}$ i Diameter, er deres Areal 3,14 □ cm., og et enkelt Rør giver med Vandhastigheden 0,9 Meter. $282,6^{c\,cm.}$ Vand i Sek. ɔ: $16956^{c\,cm.}$ i Minutten og der fordres derfor til 1300 Litre Vand $\frac{1,300,000}{16956}$ = 77 Rør.

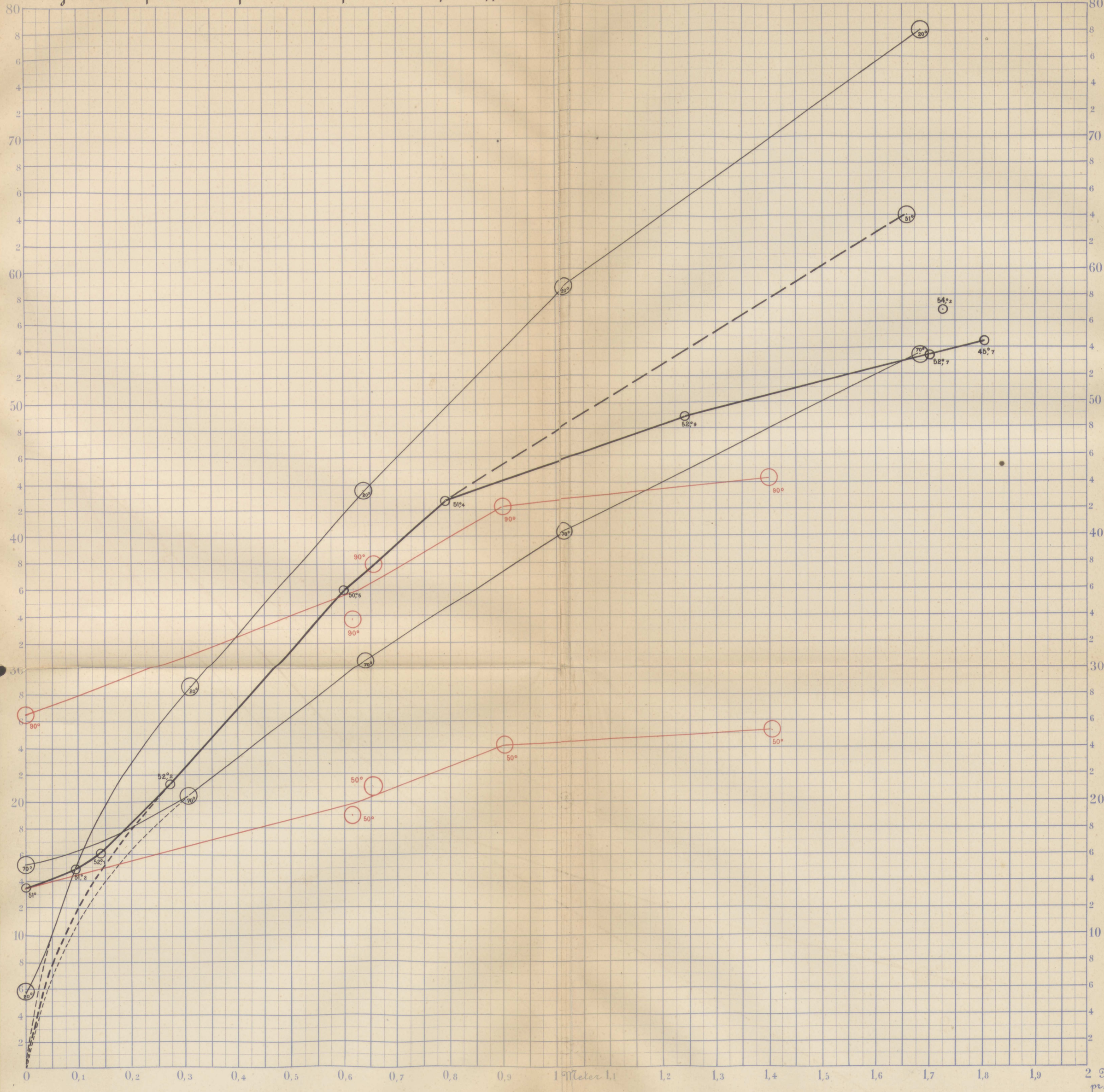
Hvert Rør har en Omkreds af $6,28^{cm.}$, altsaa tilsammen 77 × 6,28 = $483^{cm.}$ eller 4,83 Meter Rørlængden bliver altsaa $\frac{133}{4,83}$ = ca. 27 Meter. Kan hvert Rør gjøres 3 Meter langt, maa man altsaa have 9 × 77 Rør, som arrangeres med 9 Gjennemstrømninger frem og tilbage for at tilfredsstille de Betingelser, der danne Grundlaget for den fundne Løsning.

Det er forøvrigt vel ufornødent at bemærke, at den i de anførte Exempler fundne Løsning byder adskillige Vanskeligheder, og at navnlig en saa hyppig Omskiften af Retningen af det gjennem Rørene strømmende Vand frembyder praktiske Vanskeligheder, som formentlig dog ikke ere uoverkommelige. Man er, saavidt mig bekjendt, hidtil kun gaaet til en Firdeling af Overfladecondensatoren. Vil man nøjes dermed, bliver Strømningshastigheden af Vandet mindre og selvfølgelig Varmefladen større, men det er unødvendigt at gjennemgaa Udregningen for et saadant Exempel, da den er ganske overensstemmende med den forrige.

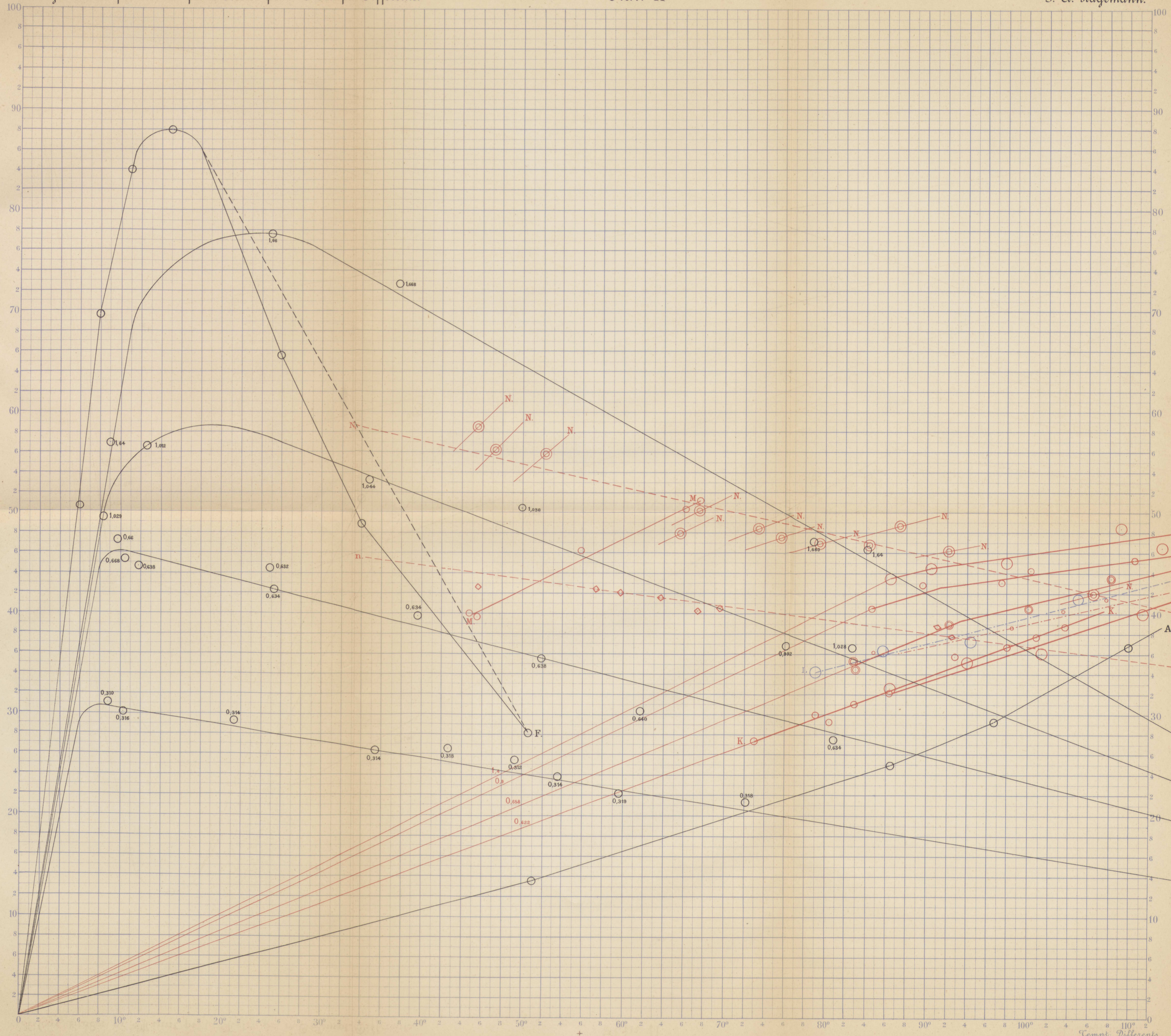
Plan I

G. A. Hagemann.

Kilogr. Grader pr. Minut pr. □ Meter pr. 1° C Tempt. Differents.



Kilogr. Grader pr. Minut pr. □ Meter pr. 1° C Tempt. Differents.

Plan II

G. A. Hagemann.