

100g x 28

TEMPERATUURMETINGEN IN EEN DIESELMOTOR

TEMPERATUURMETINGEN IN EEN DIESELMOTOR

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN
GRAAD VAN DOCTOR IN DE TECHNISCHE
WETENSCHAP AAN DE TECHNISCHE HOOG-
SCHOOL TE DELFT, OP GEZAG VANDEN RECTOR-
MAGNIFICUS W. K. BEHRENS, C. I., HOOG-
LEERAAR IN DE AFDEELING DER WEG- EN
WATERBOUWKUNDE, VOOR EEN COMMISSIE
UIT DEN SENAAT TE VERDEDIGEN OP VRIJDAG
5 JUNI 1914, DES NAMIDDAGS TEN 3 URE, DOOR

EMILE BENJAMIN WOLFF,

WERKTUIGKUNDIG INGENIEUR,
GEBOREN TE 'S-GRAVENHAGE.



A. H. KRUYT
AMSTERDAM

1914

N 37

AAN MIJN VROUW

Het is mij een aangename plicht, bij het verschijnen van dit proefschrift, een woord van dank te kunnen richten tot allen, die mij het schrijven ervan mogelijk hebben gemaakt.

In de eerste plaats wel aan U, Directie van de Nederlandsche Fabriek van Werktuigen en Spoorwegmaterieel, die mij in de gelegenheid stelt, de in dit boekje beschreven onderzoekingen uit te voeren in een te mijner beschikking gestelden motor, en die mij toestond de verkregen resultaten te publiceeren.

Evenzoo dank ik U, hooggeleerde Prof. WERTHEIM SALOMONSON voor de buitengewoon vriendelijke wijze, waarop Ge steeds bereid waart, mij met Uwe raadgevingen te steunen. Ook voor de zeker meer dan gewone hulpvaardigheid, waarmee Gij de voor dit onderzoek onmisbare apparaten te mijner beschikking hebt gesteld.

Zonder Uwe hulp zou het mij onmogelijk geweest zijn, deze onderzoekingen uit te voeren.

U, hooggeachte promotor, Prof. MEIJER, ben ik zeer erkentelijk voor Uwe bereidwilligheid en voor de raadgevingen die ik bij het opstellen van dit proefschrift van U heb mogen ontvangen.

Ook U, Hoogleeraren der Werktuigkundige Faculteit, geldt mijn dank voor alles, waarmee Gij tot mijn vorming hebt bijgedragen.

De nagedachtenis van prof. H. BEHRENS gedenk ik met dankbaarheid.

Het is mij aangenaam, tevens in de gelegenheid te zijn, mijn hartelijken dank te betuigen aan die beambten der Nederlandsche Fabriek, die, hetzij door hun gesprekken, hetzij door hun hulp in de werkplaats ertoe bijdroegen, mijn proeven te doen slagen.

INHOUD

	Blz.
TEMPERATUURMETINGEN IN EEN DIESELMOTOR	1
VOORLOOPIGE PROEVEN	20
IJKING DER ELEMENTEN EN BESPREKING DER ELECTRISCHE OPSTELLING	22
BESPREKING DER VERSCHILLENDE DIAGRAMMEN	26
CONCLUSIE	42

TEMPERATUURMETINGEN IN EEN DIESELMOTOR

Bij elken explosie- of verbrandingsmotor heeft men in een cilinder een gasmengsel, dat bij zijne uitzetting den zuiger beweegt. Het bestudeeren van den toestand, waarin dit gasmengsel en waarin elk onderdeel van den cilinder zich op elk oogenblik bevindt, is noodzakelijk om ons een oordeel te vormen over hetgeen er gebeurt en daaruit conclusies te trekken over de verbeteringen, die aan te brengen zijn.

Bepalen wij ons voorloopig tot den inhoud van den cilinder, het gasmengsel, dan komt dit neer op het bepalen van de samenstelling, het volume, den druk en de temperatuur der gassen op elk oogenblik.

Waar men voornamelijk te doen heeft met een machine, die regelmatig beweegt, waarbij dus het in den cilinder voorkomende arbeids-proces zich periodiek herhaalt, is het gewoonlijk voldoende zich te bepalen tot één dergelijke periode; men kan dan aannemen, dat de andere aan deze gelijk zullen zijn.

Zooals uit het volgende zal blijken, kan echter het bestudeeren van de gassen in den tijd, dat de machine niet regelmatig loopt, zooals bij het aanzetten en stoppen, ook zeer belangrijke resultaten opleveren.

Van de boven aangeduide factoren is het volume meest het gemakkelijkst te berekenen: heeft men eenmaal den cilinder-inhoud, die overblijft, als de zuiger in den bovensten stand is, bepaald, dan behoeft men slechts den zuigerstand op elk oogenblik te weten om daaruit het totale volume af te leiden.

Voor het meten van den druk wordt algemeen gebruik gemaakt van den indicator, een toestel dat in de laatste jaren een

dusdanige volmaaktheid heeft bereikt, dat men, bij oordeelkundig gebruik, den druk op elk oogenblik met groote nauwkeurigheid kan meten.

De samenstelling der gassen is een factor, die niet gemakkelijk te bepalen is. Bij den explosie-motor, waar een gasmengsel wordt ingezogen en dit na de compressie explodeert, heeft men wel gedurende het geheele proces eenzelfde gasmengsel en kan men, als men de samenstelling ervan bij het begin van den slag heeft bepaald, uit de chemische formules voor de verbranding, de samenstelling bij den uitlaat afleiden.

Hierbij zijn echter nog verschillende deelen van het proces onzeker: zoo b.v. het bepalen van de hoeveelheid verbrandingsproducten, die in de compressieruimte na iederen slag overblijft; de snelheid, waarmee de chemische reactie, de verbranding, plaats grijpt en daarmee samengaan de verhouding tusschen de hoeveelheden onverbrand gas en verbrandingsproducten op ieder oogenblik; de invloed van de zeer hooge temperatuur in verband met dissociatie-verschijnselen enz.

Bij een verbrandingsmotor is het bepalen der samenstelling der gassen nog moeilijker; behalve de bovengenoemde factoren komen er hier nog een reeks andere bij.

De luchthoeveelheid, die per slag ingezogen wordt, zou wel te meten zijn, hoewel ook hier niet bekend is de samenstelling en hoeveelheid der in de compressieruimte overgebleven gassen; waar echter de compressie bij deze motoren zooveel hooger is dan bij de explosie-motoren, is deze ruimte kleiner dan bij de explosie-motoren.

Na de compressie wordt nu echter de brandstof, meestal met behulp van nieuwe lucht ingeblazen en verbrandt meer of minder snel. De hoeveelheid der lucht, die bij dit inblazen in den cilinder komt, is niet gemakkelijk te bepalen en hangt geheel af van den overdruk en de afmetingen van de brandstofklep en hefboom van den gebruikten motor.

De snelheid, waarmee de brandstof verbrandt, en de

samenstelling der gassen in elk deel van den cilinder, hangen weder van een reeks factoren af, die voor elke machine anders kunnen zijn.

Met zekerheid is dus over de samenstelling der gassen bij deze motoren niet veel te zeggen.

Met den laatsten factor, de temperatuur, is het evenzoo gesteld.

Waar het directe meten met zeer groote moeilijkheden gepaard ging en slechts in zeer enkele gevallen, waarover later, uitgevoerd is, was men genoodzaakt zijn toevlucht te nemen tot het berekenen uit de andere factoren. Hierbij moesten dan een aantal vereenvoudigende onderstellingen worden aangenomen.

Zoo werd o.a. bij den explosiemotor aangenomen, dat de gassen bij de explosie plotseling volledig verbrandden en de verbrandingsgassen gelijkmatig overal dezelfde samenstelling hadden.

Bij den verbrandingsmotor werd de verbrandingstijd verschillend aangenomen, terwijl ook hier de verbrandingsgassen als homogeen van samenstelling werden verondersteld.

Dan kon bij benadering uit de formule $p v = R T$, waarin p = druk en v = volume bekend verondersteld werden, T de temperatuur berekend worden op elk oogenblik, indien tenminste de factor R bekend was.

Meestal werd de temperatuur op één plaats van het diagram aangenomen en hieruit de temperaturen op andere plaatsen afgeleid. Voor de aangenomen temperatuur werd gewoonlijk genomen, die, aan het eind van den zuigslag, bij het begin der compressie.

Dat deze berekeningen niet erg nauwkeurig konden zijn, behoeft wel niet nader toegelicht.

Bij de explosiemotoren, waar het geheele proces, comprimeeren, explosie en expandeeren in een gesloten cilinder plaats vindt, is deze wijze van berekenen beter uitvoerbaar dan bij de verbrandingsmotoren, waar tijdens het proces

brandstof en lucht wordt ingeblazen, zoodat hier de R uit de formule geheel onzeker wordt.

Verder wordt zooals hiervoor reeds gezegd, bij al deze temperatuurberekeningen aangenomen, dat de temperatuur der gasen op elk oogenblik in elk deel van den cilinder gelijk is, hetgeen geheel onjuist is, er wordt in het geheel geen rekening gehouden met den invloed van den zuiger en de wanden van den cilinder.

Bij al deze onzekerheid werd de behoefte gevoeld naar een methode om, evenals dit met den druk geschiedt, de temperatuur direct te meten.

De moeilijkheden, die men hiervoor overwinnen moet, zijn in hoofdzaak de volgende:

Het arbeidsproces in een motor veroorzaakt uiterst snelle veranderingen in den toestand der gasen. Een denkbeeld hiervan moge diagram No. 1 geven; dit is een druk-tijddiagram

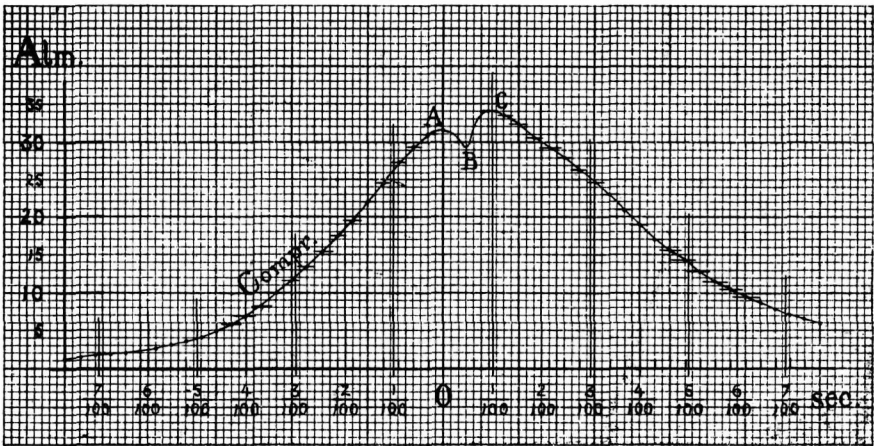


FIG. 1.

van den gebruikten Dieselmotor en geeft alleen dat deel van het proces, waarbij de lucht gecomprimeerd, de brandstof ingespoten wordt en de gasen daarna expandeeren.

Men ziet hieruit dat in $\frac{1}{100}$ sec. groote drukveranderingen

opgeteekend worden. Dit diagram werd verkregen uit de combinatie van een gewoon en een verschoven diagram (opgenomen met een normalen Maihak-indicateur) en geeft natuurlijk alleen de opgeteekende drukveranderingen weer. Waarschijnlijk zullen de werkelijke nog sneller zijn, terwijl de snelheid van de temperatuurveranderingen van gelijke orde zal zijn.

Onze temperatuurmeetinrichting moet dus uiterst snel aanwijzen.

De tweede moeilijkheid ligt in de zeer hoge temperatuur, die in de motoren bij de explosie en verbranding optreedt. Uit explosieproeven en metingen in vlammen is bekend, dat de hoogste temperatuur, die daarbij optreedt boven 2000°C . ligt.

Als derde moeilijkheid heeft men dan nog de snelle luchtstroom, die bij het openen der kleppen in een motor plaats vinden; het zoo gevoelige instrumentje mag hierdoor niet beschadigd worden.

De eerste, die directe temperatuurmetingen in een motor uitgevoerd heeft, was H. F. W. BURSTALL (*The measurement of cyclically-varying temperature*, *Philosophical Magazine* XL 1895, 282).

Hij deed deze metingen in een Ottogasmachine en gebruikte als meetinstrument een klein platina draadje, dat bevestigd aan geïsoleerde toeleidingsdraden, in den cilinder was gebracht en dus door de gassen afwisselend werd verwarmd en afgekoeld.

Dit draadje was in een der armen van een Wheatstonesche brug geschakeld. Door zoodanige regeling van den brugweerstand, dat de galvanometer geen uitslag gaf, kon de weerstand van het meetdraadje bepaald worden.

Daar het platinadraadje zeer kort was ($\frac{3}{4}$ inch = 19 m.M.) en dus de afkoeling door de verbinding aan de dikkere toeleidingsdraden in rekening gebracht moest worden, werd gebruik gemaakt van de zoogenaamde compensatiedraden door CALLENDAR het eerst gebruikt. Dit zijn twee extra-draden, volkomen gelijk aan de toeleidingsdraden naar het meetdraadje

in den motor. Deze zijn aan het eind, dus in den motor, verbonden door een kort stukje draad van dezelfde dikte als het meetdraadje.

Deze compensatiedraden worden zoodanig in de brug geschakeld, dat zij aan de andere zijde aan het punt, waar de galvanometer aan den meetweerstand in den motor geschakeld is, verbonden zijn.

Hierdoor bereikt men, dat alleen de weerstandsverandering van het verschil in lengte van den meetdraad en den compensatiedraad invloed op den galvanometer hebben kan.

Daar de temperatuur ieder oogenblik verandert, was een speciale verstelbare contact-inrichting aangebracht, waardoor verkregen werd, dat de meetdraad alleen op een vooruit te bepalen oogenblik van elken slag met den galvanometer in verbinding was. Hierna werd dan de weerstand in de brug zoolang veranderd, tot de uitslag van den galvanometer zoo klein mogelijk was. Daar het niet mogelijk bleek den galvanometer op nul te krijgen, werden een aantal positieve en negatieve uitslagen achter elkaar opgeteekend en hiervan het gemiddelde bepaald.

Met zeer veel zorg werden de gebruikte draden gecali-breerd, door bepaling van den weerstand bij 0° , 100° en bij vergelijking met een standaard Callendar platina thermometer bij hooge temperatuur.

De motor liep met zeer weinig explosies; elke explosie werd gevolgd door ongeveer 20 slagen zonder ontbranding. Verschillende temperaturen werden bepaald doch het bleek dat, zoodra een iets zwaardere explosie plaats had dan gewoonlijk, (b.v. doordat het gasmengsel, waarmee de motor gedreven werd, rijker aan gas was), de draad vernield was. De hoogste temperatuur, die aangegeven werd, is 1245° .

De volgende temperatuurmetingen werden verricht door B. HOPKINSON (On the measurement of gas-engine temperatures, *Phil. Mag.* 1907, 84).

Deze zeer interessante metingen geschieden evenals de vorige met een platina weerstand in een Wheatstonesche brug

geschakeld. De motor verrichtte echter geen arbeid, maar werd door een riem bewogen, zoodat in den cilinder alleen lucht werd samengeperst, die daarna weder uitzette.

De gebruikte platina weerstandsdraad was $\frac{4}{1000}$ inch = 0.1 m.M. in diameter en 290 m.M. lang.

Daar bij dezen grooten diameter de draad de snelle temperatuurveranderingen niet volgen kon, werd een correctie aangebracht.

Ook hier werd door een verplaatsbaar contact aan den motor op het oogenblik van den slag de meetdraad met de meetbrug verbonden.

Uit deze proeven volgde dat, hoewel bij deze manier van meten waarden verkregen werden, die vrij goed overeenkwamen met de uit het drukdiagram berekende, de dikte van den gebruikten draad hier reeds tot onnauwkeurigheden aanleiding gaf en het dus wenschelijk was, indien mogelijk dunneren draad te gebruiken.

Bij de pogingen om ook metingen te doen met den motor in werking, bleek dat altijd zelfs deze dikke draad smolt, vóórdát metingen konden worden verricht. Aan het slot wijst hij er op, dat dank zij de zeer snelle gasstroomingen in een motor de warmte-overbrenging op den draad zeer veel grooter is dan in het geval van stilstaande gassen. De convectie coëfficiënt is hier veel grooter.

CALLENDAR en DALBY (On the measurement of temperatures in the cylinder of a gas-engine, *Proc. Royal Society A* LXXX 1908, 57) trachtten het bezwaar, dat de draad, indien deze dun genoeg was om de snelle temperatuurveranderingen aan te geven, altijd smolt voordat metingen gedaan konden worden, te ontgaan, door het meet-element in den motor verschuifbaar te maken. Tijdens de explosie werd dit automatisch teruggetrokken, even later weder door eene door de machine bewogen onronde schijf in den cilinder teruggebracht.

Zij brachten hunnen weerstandsdraad door den steel van de zuigklep naar binnen; de draad had een dikte van 0.001

inch = 0.025 m.M. en eene lengte van 1 inch = 25.4 m.M. terwijl de draad van den compensator $\frac{3}{8}$ inch = 9.6 m.M. lang en van dezelfde dikte was.

Evenals bij de hiervoor genoemde onderzoeken werd gebruik gemaakt van verplaatsbare contactstukken om op het juiste oogenblik de verbinding tot stand te brengen.

De gebruikte motor was een 10 P.K. Crossley gasmotor; bij sommige proeven werd met 102 omw./min., bij andere met 130 omw./min. geloopt.

Eerst werden ook weder proeven genomen, waarbij de motor door een riem werd bewogen en dus alleen lucht comprimeerde en liet expandeeren, ter bepaling van de meerdere of mindere traagheid van dezen meetdraad en galvanometer. Het bleek, dat reeds bij 100 omw./min. een achterblijven van de opgenomen temperaturen bij de uit het drukdiagram berekende kon gevonden worden.

Daarna werd de temperatuur aan het begin der compressie-periode bij het gewoon belast loopen van den motor bepaald, waarbij deze bleek te wisselen tusschen 95° C. bij lichte belasting en 125° C. bij maximum belasting.

Verder zijn zeer belangrijk de „Reports to the Gas engine Research Committee, of the Institution of mechanical engineers.”

In het 2e rapport (Proc. Inst. Mech. Eng. 1901, 1031) geeft de rapporteur, Prof. BURSTALL, nog eens een beschrijving van zijne temperatuurmetingen, beschreven in de Philosophical Magazine, 1895 (zie boven). Hij voegt daaraan toe bij de discussie:

„The variability of the temperature throughout „the cylinder took him with entire surprise. He had „hitherto looked upon it as an absolute impossibility „to consider that the temperature throughout the „cylinder was not uniform, owing to the enormous „velocity of flame propagation which took place when „the charge was ignited. However all his experimental „results had tended in the same direction.”

Van de verdere discussie over dit rapport is vooral de bijdrage van Prof. CALLENDAR belangrijk om de duidelijke uiteenzetting van eenige der moeilijkheden, die voor een nauwkeurige temperatuurmeting, overwonnen zouden moeten worden.

Hij wijst eerst op de noodzakelijkheid om zeer dunne draad te nemen, daar de gevoeligheid in hoofdzaak evenredig is met de doorsnede.

Waar echter Prof. HOPKINSON bewezen heeft, dat de warmte-afgifte aan den draad bij de snelle gasstroomingen in den motor veel grooter is, dan in niet in beweging zijnde gassen en dus voor deze metingen dikkere draden kunnen gebruikt worden dan vroeger gedacht werd, (zie ook PETERSEN) is deze opmerking niet van zoo groot belang.

Anders is het met de volgende opmerkingen die hieronder overgenomen zijn:

„Another important point, was the question
 „whether the wire ever reached the actual temperature
 „of the exploding gas owing to the *error of radiation*.
 „That was a most important error. The wire was
 „being heated by the gas, but all the time it was
 „losing heat by radiation to the sides, so that quite
 „apart from all question of quickness a wire would
 „probably never reach the actual temperature of the
 „gas; it must be much cooler than the gas. It was a
 „very important question as to how great that radiation
 „error was — how much hotter was the gas than
 „the wire on account of the loss of heat by radiation.
 „The wire would reach a stationary temperature, when
 „the loss of heat by radiation was equal to the gain
 „of heat by conduction and convection; the conduction
 „gain must balance the radiation loss. He used
 „the word „conduction” but of course convection also
 „played a part. That might be roughly put in symbols

„in the following way. Supposing there was a coefficient of conduction C , that the heat gained by conduction was proportional to the difference of temperature between the wire and the gas; let Θ_1 be the temperature of the gas or the flame, and Θ the temperature of the wire; then the heat gained by conduction $C (\Theta_1 - \Theta)$ must be equal to the heat lost by radiation. It was known that in the case of a bright platinum wire, the rate of loss of heat by radiation varied very nearly as the fifth power of the absolute temperature; that had been established in experiments by PETAVAL and PASCHEN and a number of observers who all obtained fairly consistent results, so that on the other side of the equation could be written the heat losses by radiation proportional to the difference between the fifth powers of the absolute temperatures of the wire and the sides of the cylinder. If Θ represented the temperature of the wire on the absolute scale, and Θ_0 that of the walls, the radiation loss could be represented by the expression $H (\Theta^5 - \Theta_0^5)$ and the equation would be

$$C (\Theta_1 - \Theta) = H (\Theta^5 - \Theta_0^5)$$

„ H was a constant coefficient which did not depend on the temperature. C on the other hand was a coefficient which depended on the temperature and pressure in a manner which was not accurately known. Having that equation it would be seen that it was extremely important, working at high temperatures in gas engines, to make sure that the radiation loss was not too large compared with the conduction coefficient. It was necessary to make the radiation losses as small as possible compared with the gain of heat by conduction, so that the difference of temperature between the wire and the gas might be as small as

„possible. It would be seen how extremely important
 „that became at high temperature, when it was realised
 „that the radiation losses varied as the fifth power
 „of the temperature.”

en verder:

„It might not be within the knowledge of all the
 „members that it was possible to fuse fine platinum
 „wire in almost any gas flame quite easily, provided
 „that the wire was fine enough. In an ordinary gas
 „flame a wire of about $\frac{2}{1000}$ of an inch (0.051 m./m.)
 „in diameter could be fused fairly easily. A wire
 „ $\frac{1}{1000}$ of an inch (0.025 m./m.) in diameter would fuse
 „almost instantly, proving conclusively that the flame
 „was really above the melting point of platinum.”

en verder:

„Very fine wire could not be used in these ex-
 „periments on account of their liability to fuse but it
 „was still possible to measure the temperature of the
 „flame by means of wires which were too thick to fuse,
 „which did not fuse because radiation kept them below
 „the temperature of the flame. By the formula he had
 „given, it was possible to calculate how much they were
 „kept below the temperature of the flame by using
 „two wires of different sizes, —, knowing the way in
 „which the coefficient C varied with the size of the wire.
 „It was found by experiment and also theoretically
 „that the ratio $\frac{C}{H}$ for very fine wires varied nearly
 „inversely as the diameter of the wire. Knowing that,
 „it was obviously possible to calculate the temperature
 „by means of the formula, even if the temperature
 „was above the fusing point of the wire.”

Kort geleden werd mij nog gewezen op een kort verslag
 van een voordracht in de *Inst. of Civ. Eng.* opgenomen in

The Electrician van 19 December 1913 getiteld: „Cyclical changes of temperature in a gas engine cylinder” door COKER en SCOBLE.

Deze deden proeven in een 12 P. K. gasmachine bij 240 omwentelingen en gebruikten een thermo-element.

Bij al deze proeven werden gewone snelaanwijzende galvanometers gebruikt.

In het *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure* van 5 Juli 1913 komt een korte mededeeling voor van Prof. NÄGEL te Dresden, waarin deze proeven beschrijft, waarbij temperatuurmetingen in een stoommachine werden gedaan. Hierin werd voor het eerst het gebruik der snaargalvanometer beschreven en de eerste doorlopende krommen van het temperatuurverloop in een machine gepubliceerd. Daar ik mijne voorloopige proeven met den snaargalvanometer toen reeds gedaan had, heb ik dit Prof. NÄGEL meegedeeld en hem van mijn voornemen dezer metingen in een Dieselmotor te doen, in kennis gesteld. De uitvoeriger publicatie dier proeven is nog niet verschenen.

Daarna kwam de publicatie van PETERSEN in de *Mitteilungen über Forschungsarbeiten*. Heft 143. „Verfahren zur Messung schnell wechselnder Temperaturen.” De hierbij gebruikte motor was een 6 P. K. Daimlermotor (diam. cyl. 80 m.M., slag 120 m.M., 900 omw./min.) De motor was bij de proeven slechts met 2.35 P. K. belast en liep met 600 omw./min.

De hoogste temperatuur, die gemeten werd was 1810°, de laagste bij het begin der compressie daarbij behoorend 137°. Daar bij deze opnamen geen zuigerwegaanwijzing gegeven is, is er niet veel uit te concluderen. Alleen blijkt ook uit deze proeven dat, zooals reeds Prof. HOPKINSON vond, de warmteafgifte aan een draad in een warm gas veel sneller plaats vindt als dit gas zich snel langs den draad beweegt, dan als het in rust is, zoodat men bij deze metingen dikkere meetdraden kan gebruiken, dan bij metingen in niet-bewegende gassen.

Daar dus alle vorige proeven met kleinere motoren of met motoren, die slechts zeer weinig belast waren, genomen waren,

was het mijne bedoeling dergelijke metingen aan een gewone in bedrijf zijnde, volbelaste Dieselmotor van 40 P.K. te doen.

Mijne eerste proeven in deze richting werden gedaan in opdracht van den heer C. KLOOS, technisch directeur der Nederlandsche Fabriek van Werktuigen en Spoorwegmaterieel (Werkspoor) te Amsterdam in een 40 P.K. Dieselmotor, die speciaal voor het doen van proeven van allerlei aard bestemd is, in Januari 1913.

Een thermo-element (Pt — Pt Rh) werd daartoe door het indicateurgat van den motor naar binnen gebracht en de koude uiteinden verbonden aan een millivoltmeter, die tevens voorzien was van een temperatuurschaal.

Hoewel hiermede wel aanwijzingen verkregen werden, waren deze door de traagheid van het element en van den meter zeer onvolkomen: alleen een gemiddelde temperatuur werd verkregen.

Met verschillende soorten gasolie en teerolie bleek deze gemiddelde temperatuur bij eenzelfde belasting niet te verschillen.

In plaats van de zeer langzaam aanwijzende millivoltmeter (oud model voor temperatuurmeting) werd nu een moderne sneller aanwijzende genomen.

Tegelijk werd het thermo-element, waarvan de draden electrisch aan elkaar gesmolten waren, in een kleine handwals uitgewalst, daarna puntig bijgeknipt en uitgegloeid. De dikte van de soldeerplaats was nu 0.03 m.M. geworden. Het gelukte heen en weergaande schommelingen van het meetinstrument te verkrijgen, doch het bleek al dadelijk dat ook deze aanwijzingen nog lang niet snel genoeg de werkelijke schommelingen volgden.

Bij eene bespreking hierover, werd ik opmerkzaam gemaakt op den snaargalvanometer, en wendde mij tot het verkrijgen van nadere gegevens tot Prof. WERTHEIM SALOMONSON, die dit instrument geregeld voor physiologische onderzoekingen gebruikt. Deze was zoo vriendelijk mij uitvoerige inlichtingen

te geven, zoowel over het instrument als over de beste manier dit voor dergelijke metingen te gebruiken (Maart 1913).

Nadat verschillende besprekingen hadden plaats gehad werden in het laboratorium van Prof. WERTHEIM SALOMONSON eenige voorloopige proeven genomen om met de instrumenten te oefenen (Juli 1913).

Daarna werden de instrumenten naar de fabriek overgebracht. Doordat echter de te gebruiken motor verplaatst moest worden, konden de eerste proeven pas 20 Sept. 1913 gedaan worden.

Daar in de onmiddellijke nabijheid van den motor geen trillings-vrije opstelling van het instrument verkregen kon worden, werd besloten de instrumenten op te stellen in het zich op de tweede étage van het kantoorgebouw bevindende laboratorium, en deze door middel van 2 dubbele geïsoleerde koperdraden van voldoende dikte, die op korten afstand naast elkaar gespannen waren, met den motor te verbinden.

Motor. De gebruikte motor was een normaal gebouwde 40 P.K. 4 takt verticale motor, (diam. zuiger 320 m.M., slag 480 m.M., 190 omw./min.)

Door de veer van den reguleur meer of minder te spannen, kon men het aantal omwentelingen wijzigen van 150 omw./min. tot 210 omw./min.

Het vliegwiel was lichter dan gewoonlijk met deze motoren wordt meegeleverd, zoodat de graad van oneenparigheid grooter is dan normaal.

De reguleur werkt, zooals altijd, op de zuigklep der brandstofpomp. Deze heeft als kleppen stalen kogels, een constructie die sedert eenigen tijd weer verlaten is, daar de gewone klepjes veel zekerder in het gebruik zijn dan deze kogels.

Het indicateurgat bevindt zich in de bovenflens van den cilinder, zoodat het hart van het gat 27 m.M. onder den onderkant van het deksel ligt (zie fig. 3).

Het bevindt zich aan den kant van de uitlaatklep en de hartlijn van het gat maakt een hoek van 50° met de lijn door de middens van zuig- en uitlaatklep.

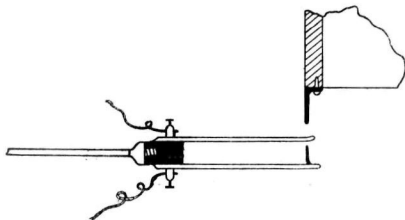


FIG. 2

Onder aan den zuiger werd een pen bevestigd, die in den ondersten stand een veerend electrisch contact dichtdrukte (fig. 2).

De motor werd belast door een rem; deze bestond uit een met water gekoelde, onmiddellijk naast het vliegwiel op de as bevestigde, remschijf, waaromheen eenige windingen van een touw gelegd waren. Dit touw werd aan een uiteinde belast met gewichten, terwijl een veerbalans aan de andere zijde de daar aanwezige spanning in het touw aanwees.

Het touw werd met olie gesmeerd zoodat de gewichten volkomen stil hingen. De *uitlaatklep* opent 29.5 m.M. van den zuigerweg vóór het onderste en sluit 4.5 m.M. na het bovenste doode punt.

De zuigklep opent in het bovenste en sluit 21.5 m.M. na het onderste doode punt.

De brandstofinspuiting werd verschillend gesteld.

De opname-elementen werden door het indicateurgat naar binnen gebracht.

Opname apparaten. Deze bestonden uit een klein model snaargalvanometer met permanent magneet (fabrikaat EDELMANN) en twee mikroskopen (A in bijgevoegde opname en schema, fig. 8A en B plaat I).

De snaargalvanometer is een door prof. EINTHOVEN geconstrueerd instrument, dat zeer gevoelig is en tevens buitengewoon snel aanwijst. Dit wordt bereikt door de massa, die in beweging gebracht moet worden, zeer klein te nemen, terwijl de kracht, die de beweging veroorzaakt, zeer groot is.

Het toestel bestaat uit een stel sterke magneten (bij het door mij gebruikte kleine toestel permanent-magneten, bij de grootere soorten electro-magneten), die voorzien zijn van poolschoenen, waarvan de uiteinden op zeer korten afstand van elkaar worden gehouden. Tusschen deze magneten, op de plaats waar door den vorm der poolschoenen een zeer sterk magnetisch veld wordt veroorzaakt, is een uiterst dunne draad gespannen. Deze draad, die bij mijne proeven van platina was, kan ook zijn van goud, zilver of verzilverd kwarts. Naarmate de dikte en de massa kleiner zijn, is het toestel gevoeliger.

De snaar is geleidend verbonden aan twee stroomtoevoerklemmen. Zoodra nu een stroom door de snaar wordt geleid, zal deze uitwijken, daar hij zich in een magnetisch veld bevindt, en wel zooveel, tot de door deze uitwijking veroorzaakte spanning in de snaar evenwicht maakt met de richtende kracht.

De grootte der uitwijking hangt dus af van de spanning der snaar bij het begin. Om deze spanning te regelen, is de snaar bevestigd aan een pennetje, dat door middel van een nauwkeurig werkende schroef op en neer bewogen kan worden.

Om nu den uitslag van de snaar te meten zijn de poolschoenen doorboord en kan men de snaar waarnemen door een daarvoor geplaatst mikroskoop, terwijl een tweede aan de andere zijde geplaatst mikroskoop het licht van een booglamp op de snaar projecteert (zie schema 8B en fig. 8A plaat I).

Zet men nu op eenigen afstand voor het eerste mikroskoop een scherm, dan kan men daarop een scherpe schaduw van de snaar krijgen.

Waar het noodig was, bij de snelle veranderingen der te meten temperaturen, de uitslag van de snaar op elk oogenblik op te teekenen, werd op de plaats van het scherm een registreertoestel geplaatst, dat evenals de verdere instrumenten door Prof. WERTHEIM SALOMONSON welwillend te mijner beschikking was gesteld.

Dit toestel (B in figuur 8A), dat naar aanwijzing van Prof. WERTHEIM door de firma ESVELD, instrumentmakers,

Singel 325, Amsterdam, was gemaakt, bestaat uit een op stelschroeven rustende verticale metaalplaat, waarin op halve hoogte een stelsel van twee horizontale verstelbare spleten achter elkaar, gescheiden door een lens van de lengte der spleet, aangebracht was. Achter langs deze spleet kon men een photographisch chassis laten vallen, dat opgehangen was aan een over eenige schijven geslagen koord.

Het chassis was bezwaard door een looden gewicht, terwijl het koord bevestigd was aan een plunjer, die zich in een naast het apparaat bevestigden cilinder, kon bewegen. Deze cilinder was gevuld met glycerine en voorzien van een omloopinrichting, die door een nauwkeurig stelbare mikrometerschroef kon geregeld worden (No 1 in fig. 8A).

Door het stellen dezer schroef kon men de plaat een bepaalde valsnelheid geven; deze snelheid was constant over de geheele lengte der plaat.

Daar door de spleet en de lens een horizontaal lijnvormig deel der normale 9×18 c.M. plaat belicht werd en de schaduw van den galvanometerdraad een donkere punt teekende op deze lijn, is gemakkelijk te begrijpen dat bij beweging van den galvanometerdraad en tegelijkertijd vallen der plaat, men een kromme lijn op de plaat krijgt, door de opeenvolging der schaduwpunten.

Verder was in de lens voor de spleet een milimeterdeeling aangebracht, zoodat deze ook op de plaat werd overgebracht en dus op deze de uitslag van den galvanometerdraad in m.M. direct af te lezen is.

Tusschen den galvanometer en de lichtbron (C) werd verder een zgn. tijdrad (D) aangebracht, bestaande uit een rad met 20 tanden, die nauwkeurig op gelijke afstanden op den omtrek aangebracht waren. Dit rad was gemonteerd op een uurwerk, dat nauwkeurig afgesteld was op 150 omwentelingen per minuut. Door nu dit rad zoo te stellen, dat elke tand een scherpe schaduw gaf op de spleet, werd verkregen, dat $150 \times 20 = 3000$ keer per minuut het licht een

oogenblik onderschept werd, zoodat op de plaat lijnen ontstonden rechthoekig op de valrichting op een afstand van $\frac{1}{50}$ sec. ieder.

Doordat elke vijfde tand van het rad iets breeder is dan de andere, wordt het aflezen vergemakkelijkt.

Verder was nog voor de spleet opgesteld een klein electromagneetje (E) waarbij een zeer dun uitgewalst staafje aan het anker was bevestigd.

Dit werd zoo gesteld, dat de dunne punt een schaduw gaf op de spleet. Werd nu een stroom door dit electromagneetje geleid en het staafje aangetrokken, dan verplaatste zich deze schaduw, hetgeen op de plaat aangeteekend werd. Door dit magneetje te verbinden met het bovenbeschreven contact aan den zuiger werd op de plaat geregistreerd het tijdstip, dat de zuiger in den ondersten stand was. Hieruit konden alle andere belangrijke punten afgeleid worden.

Beschrijving der temperatuurmeetapparaten. Deze, die onmiddellijk in den motor werden geplaatst, hebben, zooals te begrijpen is, de meeste moeilijkheden gegeven.

Zooals reeds boven beschreven is werden de eerste opnamen gedaan met een thermo-element, waarvan de soldeerplaats tot op 0.03 m.M. was uitgewalst en zoo klein mogelijk bijgeknipt was.

De opnamen, waarvan één hierbij gevoegd is, (B 4 plaat II) vertoonen wel regelmatige schommelingen, doch blijkt uit vergelijking van de hoogste punten met de aanwijzing van het tijdstip, dat de zuiger in den ondersten stand is, dat het element zeer veel achterblijft bij de werkelijkheid. De mogelijkheid een sneller thermo-element te gebruiken is vrijwel uitgesloten, zooals bij de bespreking der resultaten zal worden aangetoond. Daarna werden proeven genomen met verschillende vormen van dunne platinadraadweerstand, waarbij echter bleek, dat alle reeds bij de eerste verbranding vernietigd werden.

De proeven werden nu voortgezet met dun platinaband,

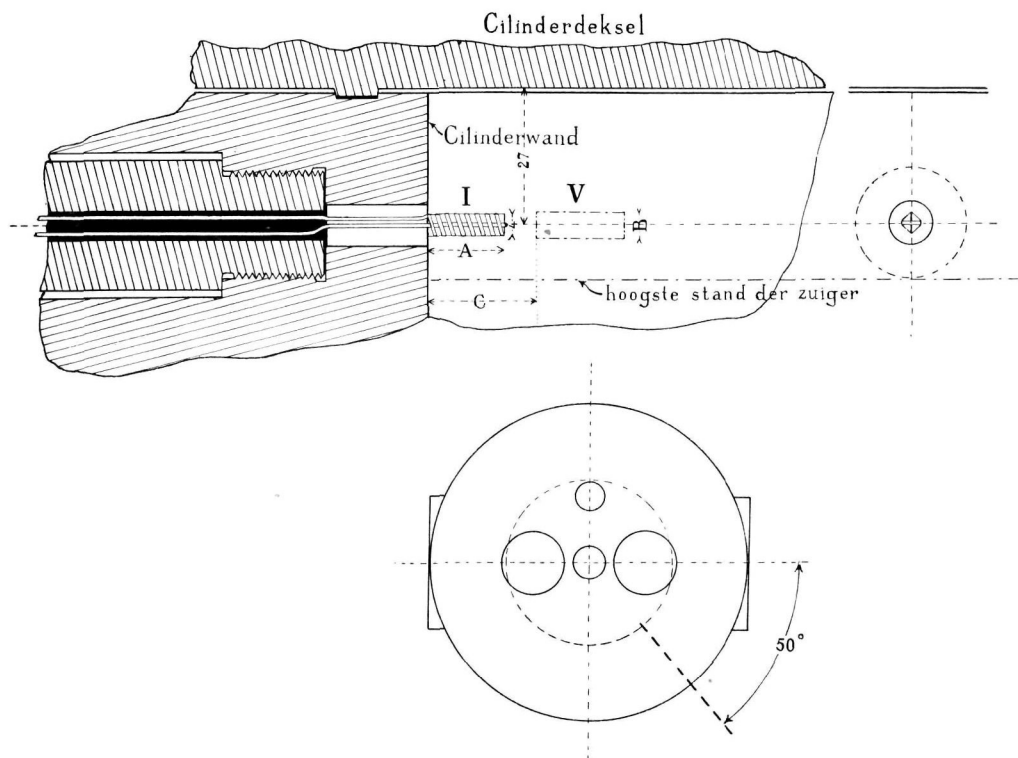


FIG. 3

TABEL VII

PLAATS VAN HET MEETELEMENT IN DEN MOTOR.

De draden waren in de, in den motorwand geschroefde, indicateurstop geïsoleerd door asbestwikkeling, terwijl het gat verder met gips was opgevuld.

ELEMENT No	LENGTE A M.M.	DIAMETER B M.M.	AFSTAND V. D. WAND C M.M.	AANTAL GANGEN	AFMETING BAND IN M.M.
I	15	4	0	11	0.035×0.5
II	15	4	4	15	0.02×0.3
V	18	6	40	12	0.028×0.5

dat geleverd werd door de firma HEREAUS te Hanau. Hiermee werden verschillende elementen vervaardigd alle van denzelfden vorm, afwijkend door dikte en afmeting van het band en door de plaats waarop het element zich in den motor bevond.

Om den invloed, die de afkoeling der einden van het band bij de verbindingen aan de dikkere platina toeleidingsdraden op de meting zou hebben, zooveel mogelijk te verminderen, werden vrij lange stukken band gebruikt, die spiraalvormig opgewonden werden om een kruis van dunne micaplaatjes (dikte 0.1 m.M. ong.) dat bevestigd was aan de toeleidingsdraden.

Het lasschen van het band aan de toeleidingsdraden mislukte, doordat bij de zeer kleine afmetingen van het band, dit veel eerder smolt dan de toeleidingsdraden.

Het bleek dat het voldoende was, de uiteinden van het band om de spits gesneden en dun uitgewalste einden van de toeleidingsdraden te wikkelen en deze einden daarna weder om dit band dubbel te slaan en stevig vast te knippen. Weerstandsvananderingen na gebruik in den motor konden, indien de verbinding goed was uitgevoerd, niet gevonden worden.

De afmetingen der drie elementen, waarmee de hierna besproken opnamen gebeurden, zijn hiernaast te vinden (fig. 3 en tabel VII).

VOORLOOPIGE PROEVEN

Reeds bij de eerste proeven bleek, dat er groote verschillen bestaan in een motor tusschen de temperatuur op verschillende plaatsen, zoodat het onmogelijk is, te spreken van de temperatuur van de gassen op een zeker oogenblik. Men heeft steeds een groot aantal lagen, die alle van temperatuur verschillen.

Hoewel het oorspronkelijk mijne bedoeling was te trachten nauwkeurige temperatuurwaarden te verkrijgen, bleek het met het oog op het bovenstaande noodzakelijk eerst op eenige plaatsen in den motor meer globale metingen te doen, om een denkbeeld te krijgen van de grootte der verschillen in temperatuur op verschillende plaatsen op hetzelfde oogenblik en om uit de bij het aanzetten en stoppen van den motor verkregen diagrammen, verdere conclusies over de warmtebewegingen in den motor te verkrijgen. Tevens moest de beste vorm van de weerstandelementen gezocht worden.

Daar het in de eerste plaats mijne bedoeling was deze metingen in een gewone normaal werkende, volbelaste machine te verrichten, was een eerste vereischte, dat ze zouden kunnen geschieden zonder veranderingen aan den motor aan te brengen.

Hiervoor ben ik, nadat de proeven met het thermo-element niet tot een gunstig resultaat geleid hadden en ik een weerstandselement moest gebruiken, voortgegaan met het element door het indicateurgat naar binnen te brengen, hoewel dit met het oog op de kleine opening in den motorwand eenige bezwaren gaf en verschillende elementjes reeds bij het inbrengen door stooten tegen den wand van het gat braken of in elkaar gedrukt werden. Het gelukte mij echter, nadat het gat van 8 m.M.

op 10 m.M. opgeboord was en de elementjes beter bevestigd waren, eenzelfde element een groot aantal malen te gebruiken.

Daar het, zonder den motor te beschadigen, mogelijk is verschillende dergelijke indicateurgaten in den omtrek van den cilinder aan te brengen en het element zonder gevaar van beschadiging van het eene in het andere kan gebracht worden, zal het met deze methode mogelijk zijn een groot deel van den cilinder-inhoud vergelijkend met eenzelfde element op temperatuur te onderzoeken terwijl dan tegelijkertijd drukdiagrammen kunnen genomen worden.

De toevoerdraden van het element werden met asbest geïsoleerd en met gips bevestigd in de ijzeren indicateurstop, zooals op de teekening en foto te zien is (fig. 3 pag. 19 en plaat II.)

Hoewel eenmaal een element, waarvan de gipsvulling niet voldoende gelijkmatig was, door den motordruk weggeslingerd werd, was het zeer gemakkelijk door goed toezien, dat het geheele gat met gips opgevuld werd, dit in het vervolg te voorkomen.

IJKING DER ELEMENTEN EN BESPREKING DER ELEKTRISCHE OPSTELLING

Daar, zooals hierboven gezegd, uit de voorloopige proeven bleek, dat van een temperatuur op een bepaald tijdstip niet gesproken kan worden, daar steeds een groot aantal temperaturen tegelijk waar te nemen zijn, en de bedoeling voorloopig was zooveel mogelijk een algemeen overzicht der temperaturen op eenige plaatsen in den cilinder te krijgen, zoodat een zeer groot temperatuurinterval doorloopen moest worden bij elken slag van den motor, was het niet noodig de elementen met de grootste nauwkeurigheid te ijken.

Daar voor de weerstanden zuiver platinaband gebruikt werd, en voor dit metaal de weerstandsveranderingen zeer nauwkeurig bekend zijn, werd volstaan met de bepaling van den weerstand bij verschillende temperaturen tot ongeveer 300°.

Dit werd gedaan door de weerstanden in een oliebad te plaatsen, waarin zich een door de P. T. R. geijkte thermometer bevond, en dat door roeren op een gelijkmatige temperatuur werd gehouden.

Uit de hierdoor verkregen lijn kon dan de weerstand bij hoogere temperatuur bij benadering verkregen worden door de formule $R_t = R_0 (1 + a t - b t^2)$. ¹⁾

Daar de coëfficiënt b zeer kleine waarde bleek te hebben, werd deze term uit de vergelijking weggelaten.

De op deze manier berekende temperaturen zijn tot 320° en dicht daar boven juist, terwijl de bij hoogere temperaturen

¹⁾ BURGESS-LE CHATELIER, Messung hoher Temperaturen 1913, blz. 185.

ontstane fouten voor de vergelijking van de verschillende krommen geen invloed hebben.

De hoogere temperaturen maken ook geen aanspraak op groote nauwkeurigheid, daar het bij deze temperaturen zeer moeilijk is om met zekerheid te zeggen, dat de draad dezelfde temperatuur als het omringende gas heeft, daar dan de invloed van de warmtestraling groot is (zie de vroeger aangehaalde beschouwing van Prof. CALLENDAR).

De hoogere deelen der krommen zijn dus alleen te gebruiken voor onderlinge vergelijking.

In de fig. 5 en 6 (Plaat IX) en tabel I en II zijn de ijkings-resultaten en de weerstand-temperatuurlijnen der gebruikte draad-elementen aangegeven. Element II was vernietigd vóórdat de weerstand bepaald was. Bij alle metingen werd gebruik gemaakt van de Wheatstonesche brug waarbij twee weerstanden gelijk waren ($10\ \Omega$), de derde arm door een regelbare stopweer-

stand gevormd werd (R_1), terwijl de vierde het element met de toeleidingsdraden bevatte (zie fig. 4).

De stroom werd gegeven door een kleinen accumulator en ging daarna door een stroomafsluiter en een regelbaren weerstand (R_2).

De snaargalvanometer (S) was op de gewone manier in de brug geschakeld en de regelweerstand zóó ingesteld, dat bij het begin, bij kouden motor, deze galvanometer bij het sluiten van den stroom geen uitslag gaf.

Hoewel zoowel de weerstandsdraad als de bevestigingsdraden van platina waren, bleek het, dat bij verwarming van het element, ook al was de stroomloop

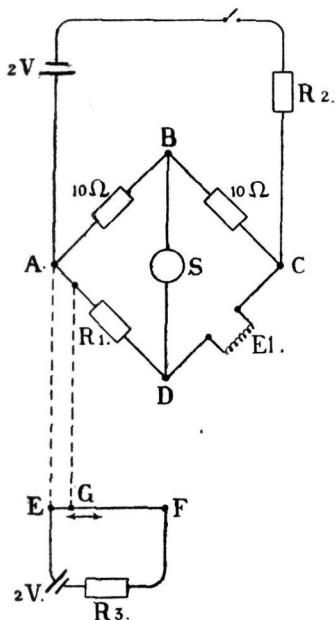


FIG. 4

van den accumulator open, de galvanometer een uitslag gaf, veroorzaakt dus door een thermostroom, die van het meetelement uitging. Om den invloed van dezen stroom te meten, werden ook diagrammen geregistreerd van de uitslagen zonder accumulatorstroom en deze bij de uitwerking in rekening gebracht.

Om na te gaan met welke uitslagen van den galvanometer bepaalde weerstandsveranderingen overeen kwamen werden ijk-krommen bepaald, waarbij in den eenen brugarm een weerstand werd geplaatst gelijk aan dien van het element, terwijl dan in den anderen door een regelbare weerstandsbank verschillende bepaalde weerstandsveranderingen werden gedaan en de overeenkomstige uitslag van den galvanometer werd genoteerd (tabel I en II pag. 47 en 48).

Om ook den invloed der thermostroomen na te gaan werd door een regelbare shunt op een tweede stroomgeleiding (EFR_3) een elektromotorische kracht in den veranderlijken brugarm gebracht, zoodanig dat zonder hoofdstroom de uitslag van den galvanometer gelijk was aan den geregistreerden en daarna werd weder de kromme bepaald.

Deze ijkingskrommen vindt men in de fig. 5 en 6 (Plaat IX).

Daar bij een snaargalvanometer de grootte van den uitslag bij een bepaalde stroomsterkte afhangt van de sterkte van het magnetisch veld en de spanning van den snaar, moeten deze gecontroleerd worden. Daar bij den door mij gebruikten galvanometer de magneten permanent waren, was alleen de snaarspanning veranderlijk.

Voor en na elke opnamereeks en ijking werd deze spanning gecontroleerd, door den galvanometer te verbinden aan een bepaald spanningsafval, dat door een millivoltmeter gemeten werd.

De spanning werd zoo geregeld, dat 20 m.M. uitslag overeenkwam met 4 m. V.

Het bleek, dat de spanning langen tijd hetzelfde bleef, zoodat in alle gevallen aan het eind der opnamereeks de spanning constant gebleven was.

Gevoeligheid van den galvanometer en der elementen.

De gevoeligheid van den galvanometer, die zoodanig gesteld was, door de snaar sterk te spannen, dat de maximum snelheid van instellen haast bereikt was, blijkt uit eenige diagrammen, waar de geregistreerde temperatuurwisselingen zoo snel waren, dat ze op de photographische plaat slechts even teruggevonden konden worden. Tevens blijkt daaruit, dat de elementen, hoewel uit niet te dun band gemaakt, voldoende snel deze wisselingen aannemen bij de groote en snelle verplaatsingen der gasstroomen.

Zooals reeds boven opgemerkt, is het echter zeer waarschijnlijk, dat bij de hoogere temperaturen het band niet geheel de temperatuur der gassen aanneemt. Voor vergelijking zijn de uitkomsten echter voldoende nauwkeurig.

Ook bij hoogere temperatuur vindt men een verandering als het openen eener klep, duidelijk en onmiddellijk terug op het diagram.

BESPREKING DER VERSCHILLENDE DIAGRAMMEN

De hierachter gedrukte diagrammen zijn alle temperatuur-tijd-diagrammen, waarbij de tijdverdeelingen (verticale lijnen), daar de plaat met eenparige snelheid viel, op gelijken afstand zijn ($\frac{1}{50}$ sec.). Naarmate de plaat sneller voorbij de spleet viel, liggen deze verdeelingen verder uit elkaar. De ordinaten worden gevormd door de uitslagen van den galvanometer, die blijkens de ijkkrummen niet evenredig met de temperatuur zijn.

Op elk diagram zijn daarom behalve de millimeter-aanwijzing van den uitslag, eenige temperaturen aangegeven, zooals deze uit de ijkkrummen, waarvan het volgnummer op het diagram aangegeven is, af te leiden zijn.

Verder is op elk diagram aangegeven met welk der drie elementen het opgenomen is, waaruit dus de juiste plaats in den motor kan worden afgeleid.

De lijn, boven aan elk diagram, werd geschreven door het electromagnetisch signaal, dat in verbinding stond met het contactstuk onder aan den zuiger (fig. 2). Elken keer, dat de zuiger in den ondersten stand was, werd dit contact gesloten, het electromagneetje aangetrokken, dus de daaraan bevestigde wijzer verplaatst. De door den wijzer op de plaat, bij het vallen van dezen, beschreven lijn vertoont dus op deze oogenblikken uitspringende punten, waaruit men den stand van den zuiger op elk oogenblik kan afleiden.

Aanzetten. Het aanzetten van den motor geschiedt met druklucht door een afzonderlijke aanzetklep. Deze opent in

het bovenste doode punt en sluit ongeveer 40 % van den zuigerweg daarna.

Daarna expandeert de lucht, tot aan het eind van den slag de uitlaatklep op de gewone manier opent en de gecompriëerde gassen gelegenheid geeft te ontsnappen. Bij het opgaan van den zuiger wordt de lucht uitgedreven, waarna nabij het bovenste doode punt de zuigklep opent en de uitlaatklep sluit, zoodat bij het neergaan van den zuiger lucht ingezogen wordt. Deze wordt daarna weer gecompriëerd, waarna in het bovenste doode punt de aanzetklep weer open gaat om nieuwe lading druklucht te laten toevoelen.

Zoodra de motor voldoende gang heeft, wordt de aanzetklep buiten werking — en de brandstofklep in werking gesteld. Daar de reguleur bij het langzame loopen bij het aanzetten in den uitersten stand staat en de brandstofpomp ingezet is, wordt bij elken slag, dien de machine maakt, een maximale hoeveelheid brandstof in het brandstofklephuis gepompt, zoodat daar een overvloed brandstof verzameld is. Gaat dus de brandstofnaald open, dan wordt deze overmaat brandstof plotseling in den cylinder gespoten, waar zij aanleiding geeft tot explosieve verbrandingen.

Zoodra de motor door deze explosies voldoende gang heeft gekregen, sluit de reguleur den brandstoftoevoer meer of minder af, zoodat de machine haar normale snelheid krijgt. Meestal gaat dit gepaard met eenige malen op en neer gaan van den reguleur, die eerst te spoedig de brandstof afsluit om daarna, als de motor zijn snelheid verminderd heeft, pas weer brandstof toe te laten als de pomp weer een overmaat kan geven.

Op diagram A₁₂ (Plaat II) zien wij, dat de temperatuur vanaf punt A door de compressie der lucht stijgt tot B, daarna bij het openen der aanzetklep door de toevoeging der koude expandeerende druklucht daalt, tot bij C deze klep sluit en de lucht verder expandeert tot D, waar, door het openen der

uitlaatklep, de temperatuur, die even na C onder 0° is gedaald, plotseling daalt tot verder onder 0° (E). Bij het teruggaan van den zuiger onttrekt deze koude lucht warmte aan de wanden en stijgt de temperatuur, tot bij G de zuiger weer teruggaat en nu door de zuigklep buitenlucht wordt ingezogen, die de temperatuur weer tot gewone temperatuur doet terugkeeren. Vanaf F comprimeert de zuiger weer en herhaalt zich hetzelfde.

Dat H hooger ligt dan C is te verklaren door het feit, dat de aanzetlucht nu lager in spanning is geworden en de wanden door de compressies meer verwarmd worden dan ze door de afkoelingen bij D en I afkoelen. Daardoor ligt ook N hooger dan E en wordt ook de compressie-temperatuur voortdurend hooger.

Dat B later ligt dan het midden van de twee laagste zuigerstanden (A en D), moet verklaard worden, doordat bij de geringe snelheid van den motor de compressieslag langer duurt dan de expansieslag. Bij P en M komt het hoogste punt der kromme beter overeen met het midden.

Op diagram A_{10} (Plaat II), waar de photographische plaat langzamer liep, dus de tijdsdeelen dichter bij elkaar liggen, ziet men geheel denzelfden vorm van de kromme; de letters geven de overeenkomstige punten aan. In L is nu het handel omgezet, zoodat bij M geen aanzetlucht meer binnenkomt. Toch heeft nog geen verbranding plaats. De gecomprimeerde lucht zet uit en ontwijkt bij O met veel geringere expansie, daar de einddruk nu bij de atmospherische ligt. De temperatuur daalt dus ook niet zoo laag als bij de vorige slagen. De volgende compressie wordt nu gevolgd door de eerste verbranding, die de temperatuur tot T plotseling doet stijgen. Bij de expansie daalt deze, tot bij U bij het opengaan der uitlaatklep, de gassen plotseling expandeeren, hetgeen een plotselinge temperatuu-
daling tengevolge heeft, waarna bij het uitdrijven der gassen tot V en het daaropvolgende inzuigen der verse lucht tot W, de temperatuur sterk daalt. De daaropvolgende compressie

heeft eerst eenige schommelingen tengevolge, waarna de temperatuur snel stijgt, om bij de daaropvolgende verbranding verder te stijgen.

Na den tweeden verbrandingsslag zien wij bij het opengaan der uitlaatklep de temperatuur in plaats van dalen snel stijgen. Dit is een verschijnsel, dat bij haast alle opnamen met dit element en met element II waar te nemen is. De verklaring er voor is, dat, daar dit element het dichtst bij den wand van den cylinder ligt, (midden van element 7.5 m.M. vanaf wand) het de temperatuur aanwijst van een deel der gassen, dat veel kouder is, dan dat, wat zich in het midden van den cylinder en boven den zuiger bevindt. Gaat nu de uitlaatklep open dan ontstaat een plotselinge sterke strooming, waarbij de heetere gassen uit het middendeel langs het element gaan en het daarbij weer verwarmen. *Hieruit blijkt, dat de gassen uit het middendeel van den cilinder, zelfs na de expansie bij het openen der uitlaatklep, nog een hoogere temperatuur hebben dan de gassen, dicht bij den wand gelegen, vóór deze expansie.* Na den derden slag met verbranding schijnt de reguleur den brandstoftoevoer afgesloten te hebben, zoodat nu drie slagen volgen, waarin alleen lucht gecomprimeerd wordt, en in top inblaaslucht door de brandstofklep binnenkomt.

Opvallend is hier dadelijk, dat de compressie-temperatuur nu 140° hooger is, dan eerst bij het aanzetten hetgeen verklaard moet worden, door de hoogere temperatuur der wanden, van den zuiger en het deksel ($D_1 F_1 H_1 = 450^\circ$; $B P M = 310^\circ$). Opvallend is ook dat de temperatuur van de lucht bij het begin der compressie al zoo hoog is. Dit moet veroorzaakt zijn, door de hooge temperatuur van het deel verbrandingsgassen in de compressie-ruimte en door de teruggave der in den zuiger en de wanden opgestapelde warmte ($W = 170^\circ$; $A_1 C_1 E_1 G_1 = \pm 150^\circ$).

Diagram A_{11} (Plaat III) vertoont weder dezelfde eigenaardigheden op een andere schaal en kan dus zonder verdere bespreking voorbij gegaan worden.

B₁₄ (Plaat III) geeft nog een interessant beeld van het aanzetten.

De twee eerste compressies waren met het handelen in de aanzetstelling, daarna werd het omgezet. Daar de verbranding niet volgde, werd het handelen na twee compressies weer teruggezet, zoodat weer opnieuw aanzetlucht binnenkwam.

B₁₉ (Plaat III) geeft weder de laatste compressie en de eerste ontbrandingen op een andere schaal. Bij deze foto zijn de twee laatste ontbrandingen waarschijnlijk niet op dezelfde schaal als de eerste en als de compressieslag. Waar de thermostroom bij dit element vrij grooten invloed op den uitslag heeft, zoodra de toeleidingsdraden warm worden, is het noodig deze, zooals in de latere opnamen gedaan werd, in rekening te brengen. Bij de eerste ontbranding zijn echter de draden nog koud, zoodat dan deze stroom geen invloed kan hebben.

Deze foto werd opgenomen met het element, dat verder van den wand verwijderd was (midden element 30 m.M. van wand), dus geeft het de temperatuur van de zich meer in het midden van den cylinder bevindende gassen weer. (Zie ook A₂₁ (Plaat III) met hetzelfde element op andere schaal, daar de stroomsterkte anders was.) Het blijkt, dat de compressie-temperatuur daar 350°—355° is tegen 270°—320° dicht bij den wand gevonden; veel grooter verschil is er tusschen de hoogste temperatuur bij de eerste ontbranding, waarvoor dicht bij den wand 1050°, op deze plaats 1580° gevonden werd. Ook blijkt de invloed van den wand duidelijk uit de maxima der volgende ontbrandingen. Dicht bij den wand zijn de tweede en derde ontbranding veel lager dan de eerste (A₁₀), terwijl bij B₁₉, verder van den wand, elke volgende verbranding een hooger maximum temperatuur heeft. Het hevige karakter der eerste ontbranding is duidelijker waar te nemen op A₁₀ dan op B₁₉. Een normale verbranding toch, heeft een maximum temperatuur die dicht bij den wand veel lager is dan verder naar binnen, bij een abnormale moet dit verschil veel kleiner zijn.

Uit de bijgevoegde indicateur-drukdiagrammen (plaat VIII)

blijkt, dat de maximum druk bij het aanzetten vóór de eerste ontbranding dus bij kouden motor 27 Atm. is (compressie bij loopenden motor 34 Atm.). De grootste druk bij de eerste ontbranding is zeer hoog, meestal boven 50 Atm., terwijl de uitlaat-druk van deze verbranding natuurlijk ook hooger ligt dan van de gewone slagen.

Interessant is nog het aanzetdiagram M_{12} (Plaat III), dat opgenomen werd toen de motor, na $\frac{3}{4}$ uur gestopt geweest te zijn, weder aangezet werd.

De lijn heeft geheel denzelfden vorm als de andere, maar is in zijn geheel naar boven verschoven, doordat de motor nog warm was. De laagste punten der kromme blijven ondanks de afkoeling bij de plotselinge expansie nog boven het nulpunt, terwijl de compressietemperatuur hooger is, hetgeen geheel overeenkomt met de ervaring, dat aanzetten met een warmen motor veel gemakkelijker is, dan met een kouden.

Stoppen van den motor. Bij het stoppen van den motor wordt eenvoudig de zuigklep der brandstofpomp opengehouden, zoodat geen brandstof meer in den cilinder komt. Bij het openen der brandstofnaald kan dus alleen inblaaslucht ingeblazen worden. De motor vertraagt langzamerhand en koelt af. Het verschil tusschen de compressie-temperaturen nu en die bij het aanzetten is, dat nu de geheele motor warm is.

L_{10} en M_{10} (Plaat IV), direct na elkaar genomen, behoeven geen nadere toelichting. Bij deze opnamen werd de brandstofnaald dicht gehouden, zoodat geen inblaaslucht binnen kwam en dus de zuiger alleen comprimeerde en expandeerde. Na het stoppen was de uitslag 12 m.M.

Q_{11} en R_{11} (Plaat IV) zijn ook na elkaar genomen. Waar de vorm dezer beide diagrammen volkomen gelijk is, terwijl de motor bij Q_{11} in het begin nog 175 omw./min. maakte ($\frac{1}{150}$ sec. per omwenteling) en bij R_{11} op het eind slechts 97 omw./min. maakte, blijkt, dat deze elementen voldoende snel de temperatuurwisselingen kunnen volgen (bij beide op-

namen viel de photographische plaat even snel, zoodat ze direct vergelijkbaar zijn).

Aan het eind van I_{14} (Plaat IV) liep de motor nog langzamer (60 omw./min.). Het diagram K_{14} (Plaat IV), onmiddellijk nadat de motor stil stond genomen met en zonder stroom door de Wheatstonesche brug, toont aan, dat de temperatuur der lucht na het stoppen dezelfde is als die bij het begin der compressie, even voordat de motor gestopt was. Waren deze diagrammen alle met die elementen opgenomen, die dicht bij den cilinderwand waren, de opnamen met het verder van den wand verwijderde element geven geheel andere beelden.

Z_{19} (Plaat V) geeft een diagram onmiddellijk opgenomen na het afzetten der pomp. De motor was nu nog zeer warm. Hoewel eerst gedacht werd, dat het element vernield was, bleek dit niet het geval te zijn, daar na korten tijd de diagrammen weer een normalen vorm kregen (zie verder).

De verklaring kan deze zijn, dat waar de zuiger nog zeer warm is, evenals de wanden en het deksel, het ophouden van het brandstof inspuiten en het voortdurende inzuigen der koude lucht, stroomingen in den cilinder veroorzaken, die geheel verschillend van temperatuur zijn.

Zoo zal, nadat de gassen bij A gecomprimeerd waren (zie diagram Z_{19}), wanneer de uitlaatklep na de expansie opengaat, dat deel der gassen dat met het zeer warme zuigeroppervlak in aanraking is geweest, plotseling langs het element schieten en de temperatuurverhooging B veroorzaken. Evenzoo zal de stroom koude lucht, die bij het openstaan der zuigklep langs den zuiger strijkt en bij het stoppen van den zuiger in den ondersten stand zijne beweging aan den anderen kant van den cilinder (dus aan den kant, waar het opname-element geplaatst is) naar boven vervolgt, daar weder eene verwarming veroorzaken C.

Het is mij niet mogelijk geweest alle afwijkingen van den gewonen vorm voldoende te verklaren. Daar echter na korten tijd elken keer de diagrammen den normalen vorm weer

aannamen en na het stoppen steeds bleek, dat het element niet beschadigd was, moet geconcludeerd worden dat op deze oogenblikken abnormale stroomingen optreden.

De plotselinge temperatuurveranderingen waren op sommige oogenblikken zoo groot en zoo snel, dat de lijn geen zichtbaren indruk meer op de photographische plaat maakte, wel een goed bewijs voor de groote gevoeligheid, zoowel van het element als van den galvanometer.

U_{21} en V_{21} (Plaat V) geven ditzelfde nog beter aan. Op de eerste ziet men eerst de drie laatste arbeidsslagen bij onbelasten motor. Daarna wordt de pomp afgezet, alle temperaturen dalen en kort daarna neemt het diagram denzelfden grilligen vorm aan als op Z_{19} . Op sommige gedeelten is ook hier de beweging zoo snel geweest, dat deze niet geregistreerd is.

Even later (nadat het chassis gewisseld was, na ongeveer 1 minuut) werd V_{21} opgenomen.

Is in het begin nog iets van den grilligen vorm te zien, aan het eind is de lijn volkomen normaal geworden. Waarschijnlijk zal bij deze diagrammen ook nog de aanwezigheid van onverbrande smeerolieresten invloed uitgeoefend hebben. (De motor rookt na het afzetten der pomp vrij sterk.) Na het stoppen was de uitslag 9.5 m.M.

Compressie-diagrammen. Direct te vergelijken met de eerste diagrammen na het stoppen zijn de compressie-diagrammen, die verkregen werden, door tijdens het normale loopen van den motor even de brandstofpomp af te zetten en het brandstofventiel dicht te houden. De motor comprimeert dan en expandeert zonder verbranding.

Op I_{10} (Plaat V), met het element dicht bij den cylinderwand gelegen, opgenomen, ziet men na een arbeidsslag A, drie slagen waarin alleen gecomprimeerd wordt. Daar zoo dicht bij den wand de invloed van de verbrandingen niet groot is, is het grootste verschil tusschen deze beide soorten krommen gelegen in de uitlaattertemperatuur. Bij de verbrandingsslagen

blijft de temperatuur tijdens den uitlaat vrijwel constant of zakt weinig, bij den enkelen compressieslag valt de temperatuurlijn na het openen der uitlaatklep snel naar beneden.

Duidelijk ziet men dat bij den eersten compressieslag B deze val veel minder snel is dan bij den derden D, het gevolg van het dan kouder zijn van wanden en zuiger.

Bij E zijn pomp en brandstofklep weder in werking gesteld. Op E₁₁ (Plaat V) ziet men hetzelfde nog duidelijker. Na den verbrandingsslag A, heeft men 5 slagen zonder verbranding om daarna weder bij G den eersten verbrandingsslag te krijgen.

Op G₉ (Plaat V) ziet men hetzelfde met dit verschil, dat het afzetten der brandstof nu door den reguleur geschiedde en de motor (zuiger) warmer was dan gewoonlijk. Even te voren werd de reguleur neergedrukt zoodat de maximum hoeveelheid brandstof werd ingespoten en de motor sneller ging loopen. Bij het loslaten van den reguleur stelde deze dadelijk den geheelen brandstoftoevoer af, hetgeen door het diagram wordt aangetoond.

De hoogste temperatuur der compressie is nu veel hooger dan in de andere diagrammen, doordat de motorwanden en de zuiger door de buitengewoon heftige ontbrandingen ervoor, hooger verwarmd waren.

Uit de bijgevoegde indicateur drukdiagrammen is de hoogte der normale compressie 34 Atm., af te lezen.

Deze diagrammen geven het drukverloop te zien bij den 2en en 4en slag nadat de brandstofpomp en de brandstofklep zijn afgezet.

Normale diagrammen tijdens het loopen van den motor. Deze diagrammen zijn verschillend van vorm, zoowel als van hoogte van de erop aangegeven temperatuur, afhankelijk van de plaats van het element in den motor.

A₉ (Plaat VI) geeft een normaal beeld voor de diagrammen verkregen met element I (het dichtst bij den wand).

De motor loopt met 140 omw./min.

In A (onderste doode punt) begint de compressie, die een stijgen der temperatuur ten gevolge heeft. Bij B, het daaropvolgende bovenste doode punt, is deze stijging nog niet geëindigd. Even later wordt het maximum C bereikt, waarna door de expansie een snel dalen der temperatuur volgt. Even vóór het onderste doode punt gaat de uitlaatklep open, waardoor de gassen, die dan nog ruim 2 atm. spanning hebben, plotseling kunnen expandeeren tot op atmospherischen druk. In plaats dat deze expansie een dalen der temperatuur tot gevolg heeft, stijgt deze plotseling. Dit is, zooals reeds vroeger gezegd is, alleen te verklaren door de aanname, dat de gassen in het midden (warmste deel) van den cilinder na de plotselinge expansie bij het openen der klep, een nog hoogere temperatuur hebben, dan de gassen in de nabijheid van den wand, vóór deze plotselinge uitzetting hadden.

Waar de temperatuur in D 420° en in het daaropvolgende hoogere punt 450° is, kan met deze temperatuur als uitgangspunt een denkbeeld gevormd worden van de temperatuur der uitlaatgassen in het warmste deel van den cilinder, juist vóórdat de uitlaatklep opengaat. Stelt men zich voor dat de expansie bij het openen der uitlaatklep adiabatisch plaats vindt en de druk daarbij van 2 atmosferen op 1 atmosfeer valt, dan moet de temperatuur vóór het openen der klep zijn geweest $(450 + 273) \times 2 - 273 = 723 \times 2 - 273 = 1446 - 273 = 1173^{\circ}$.

Bij het uitdrijven der gassen daalt nu de temperatuur, terwijl het schommelen dezer lijn wijst op de verschillende warmtestroomen, die het element voorbijgaan. Bij het daaropvolgende naar beneden gaan van den zuiger, wordt nieuwe lucht ingezogen, die een sterke daling der temperatuur veroorzaakt. De temperatuur op het laagste punt in F is echter nog altijd 300° , hetgeen waarschijnlijk gedeeltelijk veroorzaakt wordt, doordat de warme wanden hunne warmte weder aan de gassen in de buurt van het element afgeven. Dat deze temperatuur werkelijk juist opgeteekend is, blijkt uit het feit, dat na het stoppen de uitslag dezelfde is, als die op het

laagste punt der diagrammen tijdens het stoppen genomen.

Het even later opgenomen diagram B₉ (Plaat VI), waarbij de photographische plaat sneller viel, is geheel gelijk aan het vorige. De verschillende verschijnselen zijn hier nog duidelijker te zien.

In enkele diagrammen op dezelfde plaats in den motor, doch met Element II waarvan het band dunner was dan van Element I, opgenomen, is een snellere temperatuursverhooging, vanaf het punt waarop de brandstof er in komt, waar te nemen.

Zoo ziet men in diagram C₁₂ (Plaat VI) in de punten A en B dat de compressielijn na de stijle stijging even flauwer stijgt om dan bij het inbrengen der brandstof weer stijl naar boven te gaan. Verder is het diagram geheel hetzelfde als de vorige. Het versnellen van den motor op 195 omw./min. heeft weinig invloed op den vorm van het diagram, zooals blijkt uit I₉. Alleen de uitlaattemperaturen zijn iets hooger gekomen.

De diagrammen met Element V opgenomen, dat verder in den motorcilinder uitstak, geven een ander beeld.

Uit Diagram C₂₁ (Plaat VI) ziet men dat de compressielijn op het punt, dat de brandstof ingespoten wordt, een duidelijke richtingsverandering vertoont (in B, I en P). Bij het openen der uitlaatklep is nu geen verhooging der temperatuur te zien. Waar echter ook niet de temperatuurverlaging als gevolg der adiabatiscbe expansie waar te nemen is en alleen bij enkele krommen een flauwe richtingsverandering is te zien, moeten wij aannemen, dat de gassen op de plaats, waar dit element zich bevindt, nog niet zoo warm zijn als die, in het midden van den cilinder, doch dat het temperatuurverschil niet meer groot is.

Dat de adiabatiscbe val niet te zien is, komt dan, omdat deze opgeheven wordt door de stijging bij het passeeren der nog warmere gassen.

De daling der temperatuur bij het inzuigen der koude lucht is niet zoo sterk, als in de diagrammen dichter bij den wand opgenomen. Daar de elementen aan den kant van de

uitlaatklep zijn ingebracht en de zuigklep, waardoor de lucht ingezogen wordt, aan den anderen kant van den cilinder is, zal dus waarschijnlijk de nieuw ingezogen lucht zich niet volkomen mengen met het overblijfsel in de compressieruimte. Hierdoor is dan ook verklaard hoe het komt, dat de temperatuur bij het begin der compressie eerst daalt in plaats van stijgt. In het tijdsverloop van F tot G en verder nog tijdens het horizontale stuk, zullen de gassen zich verder mengen en tegelijk gecompriëerd worden.

Ook hier zien wij dus weer dat alleen door het aannemen eener groote inhomogeniteit van het gasmengsel, wat temperatuur betreft deze verschijnselen te verklaren zijn.

Was op dit diagram de motor slechts zwak belast, op diagram Q₂₁ (Plaat VI), dat met dezelfde snelheid 47 minuten later opgenomen is, is de motor volbelast. Alle temperaturen zijn nu hooger gekomen. Terwijl echter de maximale temperatuur van 1030° tot 1320°, de temperatuur bij de uitlaat van 730° op 1040° en de laagste temperatuur van 250°—370° gestegen is, is de temperatuur op het punt, waar de verbranding invloed krijgt, slechts gestegen van 540°—570°.

De gemiddelde compressietemperatuur over den geheelen cilinder, genomen bij volbelasting, zal dus waarschijnlijk hier dicht bij liggen.

Dat de invloed der verbranding niet in het bovenste doode punt direct begint, moet verklaard worden uit het feit, dat de brandstof, hoewel het ventiel reeds vóór top opent, tijd noodig heeft om door den verstuiver in den motor te komen. Dit wordt versterkt, omdat de naald niet dadelijk vol opent en dus de weerstand, die de insputting ondervindt, in het eerste oogenblik van het lichten der naald, nog groot is. Het indicateurdruk-diagram geeft ook duidelijk een oploopen van den druk na een korte daling, even ná het doode punt aan, zooals vooral uit diagrammen met verplaatsten zuigerweg te zien is (zie het bijgevoegde druk-tijddiagram fig. 1).

Bij opnamen met langzamer vallende fotografische

Brandvering, 91

plaat gemaakt, ziet men dat de maximum temperaturen, zooals te verwachten was, niet bij elken slag hetzelfde zijn. Dit kan echter bij den gebruikten motor nog het gevolg zijn van het schommelen van den reguleur als gevolg van het niet volkomen constant zijn der rembelasting in verband met het te lichte vliegwiel. Bij B_{21} (Plaat VI), is de motor weer zwak belast, bij R_{21} (Plaat VII) volbelast. In deze laatste afbeelding wijzen de trillende expansielijnen bij sommige slagen weder op onvoldoende menging der warmere en koudere gasstroomen.

De hoogste temperatuur op photo R_{21} is 1570° .

Op de plaats in den motor, waar element V aangebracht is, is dus juist zoowat de grens bij deze dikte van draad, tot waar men met platina als opnamemateriaal kan gaan. Bij het laatste gebruik van dit element werd dit dan ook, waarschijnlijk door een abnormaal hoge temperatuur, vernietigd.

Hierbij dient ook nog iets gezegd over het veranderen der elementen. Zooals bekend is, wordt de weerstand van een platinadraad, die aan zeer hoge temperatuur is blootgesteld geweest, grooter, zoodat voor het temperatuurmeteren met deze draden correcties moeten aangebracht worden. Waar in dit geval het gebruikte band niet die kleine afmetingen had, was het gevaar voor groote veranderingen niet zoo groot. Toch werd na elke opnamereeks de weerstand van het elementje gecontroleerd. Het bleek dat de weerstandsverandering bij de elementen I en II na dagenlang gebruik in den motor slechts 0.1Ω was, terwijl dit voor element V, na 3 uur in den volbelasten motor te zijn geweest 0.1Ω bedroeg.

Dat dergelijke kleine verschillen geen nadeeligen invloed kunnen hebben gehad op de krommen blijkt uit nevenstaande ijkings tabel.

Bij een weerstandsverandering van het element van 0.3Ω , die grooter is dan na eenige opnamereeks geconstateerd werd, zijn de verschillen nog slechts eenige $\frac{1}{10}$ m.M.

De invloed van snelleren gang van den motor op de temperaturen ziet men uit de diagrammen P_{19} en Q_{19} (Plaat VII),

VERMEERDERING WEERSTAND	UITSLAG GALVANOMETER ALS WEERSTANDELEMENT 10.7 Ω is.	UITSLAG GALVANOMETER ALS WEERSTANDELEMENT 11 Ω GEWORDEN IS.
1 Ω	5.- m.M.	5.- m.M.
2 "	9.9 "	9.8 "
3 "	14.1 "	14.- "
4 "	18.3 "	18.- "
5 "	22.- "	21.8 "
10 "	36.- "	35.4 "
15 "	44.5 "	44.- "
20 "	50.- "	49.7 "
30 "	57.- "	56.3 "

die met 15 minuten tusschenruimte opgenomen zijn. Bij P loopt de motor met 150 omw./min., bij Q met 188 omw./min.

Het geheele diagram is naar boven verschoven, de vorm is echter gelijk gebleven. (Bij de photo's der serie 19 is de uitslag kleiner dan bij die van serie 21, doordat de stroomsterkte in den hoofdstroom kleiner was.)

Op de temperaturen dicht bij den wand heeft het dien invloed niet, zooals blijkt uit H_9 en I_9 (Plaat VII), die met 25 minuten tusschenruimte opgenomen zijn. Bij H liep de motor 146 omw./min. Bij I 195 omw./min. De maximum hoogte is bij de maximum snelheid nog iets lager dan bij den langzamer loopenden motor, daarentegen is de uitlaat bij I hooger dan bij H, de minimum temperatuur ongeveer bij beide gelijk.

Het schijnt dus, alsof tijdens de compressie de gaslaag bij de wanden in rust is en dus een plotselinge temperatuursverhooging van het middendeel alleen doordringt als er voldoende tijd daarvoor aanwezig is. Bij den uitlaat wordt echter de geheele gasmassa daar in beweging gezet.

Verschillende brandstoffen. Daar het van groot belang is te weten wat voor invloed verschillende brandstoffen op

het verbrandingsproces hebben, werden ook diagrammen genomen met teerolie (leverancier Deutsche Teerprodukten Verein) en met een zeer zware Californische ruwe olie, door een der petroleummaatschappijen ter beproefing gezonden.

De teerolie werd zonder gebruik maken van „Zündöl," op de gewone manier in den motor gebracht.

Bij D₉ (Plaat VII) (10 minuten na de ook afgedrukte A₉ genomen) liep de motor op gasolie, bij E₉ (Plaat VII) (20 minuten later opgenomen) op teerolie. Zooals men ziet is hier geen verschil van eenige beteekenis op te merken. Daar dit alleen voor de temperaturen dicht bij den wand geldt is het zeer wel mogelijk, dat dieper in den cilinder verschillen zullen voorkomen. De gelegenheid ontbrak voorloopig om dit na te gaan.

Ook met de zware olie kon geen verschil van beteekenis op die plaats worden geconstateerd.

Maximale temperaturen. Om na te gaan wat er gebeurt, als grootere hoeveelheden brandstof dan noodig voor den normalen gang, worden ingespoten, werden diagrammen genomen, terwijl de reguleur in den stand van maximale brandstof-toevoer gehouden werd. K₇ (Plaat VII) geeft hiervan een beeld. Het eerst ziet men de verandering aan de uitlaattemperaturen; deze stijgen tot op gelijke hoogte met de maximum temperatuur. Deze maximum temperaturen stijgen langzamer. Alleen bij de laatste slag met brandstof schijnt de verbrandingskegel meer in de nabijheid van het element gekomen te zijn, waardoor het diagram gelijkt op de dieper in den cilinder opgenomen normaal-diagrammen. Daarna werd de reguleur losgelaten, die nu den olietoevoer onmiddellijk geheel afsloot, zoodat wij de diagrammen als bij het stoppen van den motor terug krijgen.

Bijgevoegde indicateur-diagrammen (Plaat VIII). Uit het bijgevoegde aanzet-diagram ziet men dat de compressie vóór de verbranding slechts 27 atm. bedraagt (bij warmen motor

34 atm.) terwijl de druk bij de eerste verbrandingen explosief stijgt tot meer dan 50 atm. (maximum gevonden druk 57 atm.).

De uitlaat bij dezen verbrandingsslag heeft plaats als de gassen nog 3.5—4 atm. spanning hebben, terwijl de uitlaat bij het aanzetten bij ongeveer 2-2.5 atm. plaats heeft, hetgeen voldoende de sterke daling der temperatuur op dit punt verklaart.

Een diagram van den verbrandingsslag, nadat de motor eenige slagen zonder brandstoftoevoer heeft geloopt en dus vertraagd is, eenige diagrammen met dichte brandstofklep en bij het stoppen, kunnen in verband gebracht worden met de overeenkomstige temperatuur-diagrammen.

CONCLUSIE

Deze studie wil geen afgesloten geheel vormen, maar moet dienen als eerste begin van de systematische proef-ondervindelijke temperatuurstudie der verbrandingsmotoren.

Als voornaamste resultaat mag in de eerste plaats genoemd worden, dat bewezen is, dat het mogelijk is in een volbelasten normalen Dieselmotor, die met een snelheid van 200 omw./min. loopt, doorlopende temperatuur-diagrammen op verschillende plaatsen te verkrijgen.

De snaargalvanometer is gebleken een instrument te zijn dat gevoelig genoeg is, om de snelle temperatuurwisselingen in een motor te volgen, terwijl het mogelijk bleek weerstandselementen te construeeren, die zonder dat iets aan den motor veranderd behoefde te worden, aangebracht konden worden en sterk genoeg waren om op de onderzochte plaatsen aan de mechanische krachten en hoge temperaturen weerstand te bieden. Dank zij de snelle en hevige gasstroomingen bleken deze weerstandjes gevoelig genoeg om de temperatuurveranderingen in hoofdzaak te kunnen volgen. Natuurlijk zal het nu mogelijk zijn het temperatuurverloop nog nauwkeuriger op te teekenen door de methode van CALLENDAR & DALBY, het terugtrekken van den weerstand tijdens de te hoge temperatuur, toe te passen. Het zou dan voldoende zijn, het weerstandje tot dicht bij den wand terug te trekken, zoodat op die manier, bij het gebruik van dunner band, nauwkeurig het temperatuurverloop tijdens expansie, uitlaat, zuig- en compressieslag zou kunnen worden bepaald, zoowel in het middendeel van den cilinder, als op verschillende plaatsen dichter bij den wand. De temperaturen in het middendeel bij

de verbranding zouden dan door dikkere weerstanden kunnen worden opgenomen, met inachtneming van hetgeen door CALLENDAR hierover gezegd werd. Ik hoop gelegenheid te hebben de proeven in deze richting voort te zetten.

Als tweede resultaat mag genoemd worden het bewijs van de onderstelling, reeds door anderen uitgesproken, dat in elken motor de temperatuur van de gaspen op hetzelfde oogenblik op verschillende plaatsen, verschillend is, zoodat niet gesproken kan worden van de temperatuur der gaspen op een zeker oogenblik.

In dit opzicht is de Dieselmotor in nog veel ongunstiger conditie dan de explosiemotoren. Al zal toch bij een gasmotor, waar de explosie van een punt of een bepaald cilinderdeel uitgaat, ook eenigen tijd noodig zijn, vóórdát deze explosie zich voortgeplant heeft door de geheele cilinderruimte, bij een verbrandingsmotor, waar de brandstof vanuit één of meer punten in den cilinder wordt gespoten, is dit nog veel sterker het geval.

Het is dan ook een eerste opgave voor den constructeur het onderdeel, waardoor de brandstof wordt ingespoten, zóó te maken, dat deze zooveel mogelijk gelijkmatig over de beschikbare luchtruimte verdeeld wordt, hetgeen met het oog op den platten, breeden vorm der ruimte, waarin de brandstof gespoten wordt, niet gemakkelijk is. Het zal echter niet licht mogelijk zijn dezen vorm te veranderen.

Waar nu dus blijkt, dat groote temperatuurverschillen bestaan, mag bij de theoretische beschouwing van de lucht-overmaat ook niet op de gewone manier te werk worden gegaan, daar een deel der lucht niet aan de verbranding deel kan nemen, wegens gebrek aan tijd om zich met de lucht op gunstiger gelegen plaatsen te vermengen. De lucht-overmaat, die werkelijk ter beschikking is, wordt dus minder, hetgeen verklaart waarom zoo dikwijls een motor rookt bij een belasting, minder dan volgens de berekende zuurstof-overmaat toegelaten zou kunnen worden.

De temperaturen bij het begin der compressie werden veel hoger gevonden dan gewoonlijk aangenomen wordt. Waar de compressie bij dezen motor in warmen toestand 34 Atmosferen is, komt deze hooge begintemperatuur niet uit met de eindtemperatuur der compressie. Dit is echter evenzoo te verklaren uit de aanname, dat de temperatuur aan den anderen kant van den cilinder (den zuigklepkant) veel lager is, dan aan den kant, waar deze metingen geschiedden en dat de nieuw ingezogen lucht zich niet of weinig vermengt met de in de compressieruimte overgebleven gasmassa. Hierdoor wordt dan ook verklaard, waarom bij den compressieslag de met element V opgenomen krommen eerst lager werden, daarna horizontaal werden, om pas later omhoog te gaan.

Evenzoo zal de lucht, die in aanraking is met het ongekoelede zuigeroppervlak (dat in abnormale gevallen een temperatuur van 600° C kan hebben, zooals uit metingen, die in denzelfden motor door mij verricht werden, bleek) van dit, een deel der warmte overnemen, zoodat wij ons moeten voorstellen dat de cilinder bij het begin der compressie gevuld is met een gasmengsel, dat boven bij het deksel aan den kant van de uitlaatklep een temperatuur heeft van 400° , dat onder in den cilinder een dergelijke hooge temperatuur heeft, terwijl daar tusschen, alle overgangs-temperaturen aan te toonen zullen zijn.

Dit mengsel wordt nu gecomprimeerd en daarna wordt de brandstof ingespoten, die niet alleen nog grootere temperatuurverschillen veroorzaakt, maar tevens groote verschillen in samenstelling der gassen te weeg brengt, daar in het middendeel de zuurstof grootendeels verbruikt zal worden, terwijl de gassen dichter bij den wand weinig van hunne zuurstof zullen afstaan.

Zoo bleek het mij, dat een gewone vloeijzeren plaat op den zuiger bevestigd, ondanks de hooge temperatuur, waaraan deze bij het volbelastwerken van den motor was blootgesteld, na maanden nog absoluut niet geoxydeerd was,

maar nog even blank als in het begin, een bewijs dat boven den zuiger geen zuurstof meer over is.

De maximum temperaturen, die in een Dieselmotor voorkomen, liggen, zooals reeds eerder gezegd, waarschijnlijk ver boven 2000° , daar door het element V, dat nog lang niet op de warmste plaats was aangebracht, reeds temperaturen van bijna 1600° werden gemeten.

De uitlaat-temperaturen van den Dieselmotor na opening der uitlaatklep liggen zeer hoog (in de nabijheid en boven 1000°). De op de gewone manier met een thermometer in de uitlaat-pijp gemeten temperatuur ligt natuurlijk veel lager (bij den gebruikten motor bij volle belasting ongeveer 410° C). De uitlaatgassen bestaan ook uit een mengsel van gassen van verschillende temperatuur en samenstelling.

Nog een enkel woord dient hier gezegd over het materiaal waarvan de weerstands-elementen gemaakt kunnen worden en de mogelijkheid voor deze metingen thermo-elementen te gebruiken. Door de hooge temperatuur in verband met de snelle wisselingen zullen alleen die metalen in aanmerking komen, die naast een hoog smeltpunt voldoende rekbaar zijn, om de fabricatie van uiterst dunne draden of dun band toe te laten en bij die hooge temperatuur zich niet chemisch met de gassen of met zuurstof verbinden. Voorloopig is men daarom aangewezen op zeer weinige metalen of legeringen, waarvan het smeltpunt onder of weinig boven de hoogste te meten temperatuur ligt.

Uit verschillende in den lateren tijd gedane proeven is het nu echter bekend dat alle metalen in de nabijheid van hun smeltpunt sterk zgn. „interkristallijn bros” zijn, d.w.z. dat dan bij zeer geringe spanning de samenhang der kristallieten, waaruit het metaal opgebouwd is, opgeheven wordt.

De weerstandjes of thermo-elementen moeten dus zoo geconstrueerd zijn dat de trekspanningen in den meetdraad, die door de mechanische botsing der snelstroomende gasdeeltjes veroorzaakt worden, zoo klein mogelijk blijven. Dit vereischt korte ongesteunde lengten en kleine totaal diameter

van het element, hetgeen door mij met succes toegepast werd.

Bij een thermo-element zal altijd de soldeerplaats, dikker zijn dan de toevoerdraden. Maakt men de toevoerdraden zoo dik, dat ze ongesteund de mechanische krachten kunnen weerstaan, dan wordt de massa van de soldeerplaats zóó groot, dat deze niet vlug genoeg de temperatuurveranderingen meer volgt.

Verder kan nog een bron van onnauwkeurigheden zijn de electromotorische krachten, die optreden bij ongelijke verwarming van verschillende deelen van den meetdraad en bij ongelijk rekken van den draad. Door, zooals bij de hier besproken proeven werd gedaan, ook diagrammen op te nemen zonder uitwendigen stroomtoevoer, waarbij men dus de uitslagen registreert door al deze bijkomende factoren veroorzaakt, kunnen deze in rekening worden gebracht.

Uit de hiervoor besproken proeven blijkt dus hoe gecompliceerd het arbeidsproces in een Dieselmotor verloopt.

Ter nadere bestudeering van dit probleem zullen dus moeten gedaan worden verdere proeven, als voortzetting en tot aanvulling van de verkregen resultaten, met de bedoeling om een algemeen overzicht te krijgen van den gang van zaken in den motor. Dit zou kunnen geschieden zooals hiervoor aangeduid werd. Deze zouden moeten aangevuld worden door gelijktijdige drukmetingen op verschillende plaatsen en, indien mogelijk, door analyse van het gasmengsel op verschillende plaatsen.

Verder moeten de onderdeelen van het proces nauwkeuriger bestudeerd worden buiten den motor, in eenvoudige toestellen, voorzien van de gevoeligste instrumenten.

TABEL I

BEPALING VAN DEN GALVANOMETERUITSLAG VAN ELEMENT I

WEERSTANDS- VERMEERDERING VAN HET ELEMENT IN Ω	TOTALE WEERSTAND IN Ω	UITSLAG GALVANO- METER IN MM. KROMME I FIG. 5 (PL. IX)	THERMOSTROOM ERBIJ GEEFT UITSLAG IN M.M.	TOTALE UITSLAG GAL- VANOMETER IN MM. KROMME II FIG. 5 (PL. IX)
0	6.7	0	— 3.3	— 3.3
0.1	6.8	2.4		—
0.2	6.9	4.9		+ 1.5
0.3	7.—	7.5		+ 4.—
0.4	7.1	10.—		—
0.5	7.2	12.5		—
0.6	7.3	15.—		—
0.7	7.4	17.2		+ 1.5
0.8	7.5	19.5		+ 16
0.9	7.6	21.4		—
1.—	7.7	23.4		+ 20
1.1	7.8	25.5		+ 22
1.2	7.9	27.3		+ 24
1.3	8.—	29.—		+ 26
1.5	8.2	32.6		
1.7	8.4	35.8		
2.7	9.4	47.4		
4.7	11.4	60.5		

TABEL II

BEPALING VAN DEN GALVANOMETERUITSLAG VOOR ELEMENT V.

WEERSTANDS- VERMEERDE- RING VAN HET ELEMENT IN Ω	TOTALE WEER- STAND IN Ω	UITSLAG GALVANOMETER IN M.M. KROMME III FIG. 6 (PL. IX)	TOTALE UITSLAG GALV. MET THERMOSTROOM + 8.5 M.M. IN M.M. KROMME IV FIG. 6 (PL. IX)	TOTALE UITSLAG GALV. MET THERMOSTROOM + 12 M.M. IN M.M. KROMME V FIG. 6 (PL. IX)
0	7.1	0	10.7	14.—
0.5	7.6	5	—	—
1.—	8.1	9	18.6	21.—
1.5	8.6	13	—	—
2.—	9.1	17	25.—	27.8
2.5	9.6	20.5	—	—
3.—	10.1	24.—	30.5	33.—
3.5	10.6	27.—	—	—
4.—	11.1	30.—	35.3	37.5
4.5	11.6	32.5	—	—
5.—	12.1	34.8	40.—	41.5
6.—	13.1	38.—	—	—
7.—	14.1	42.—	46.—	47.8
8.—	15.1	44.5	—	—
9.—	16.1	47.—	—	—
10.—	17.1	49.3	52.8	53.5
12.—	19.1	53.5	56.—	56.5
15.—	22.1	59.4	—	—
17.—	24.1	59.8	61.2	61.2

		KROMME VI FIG. 6 (PL. IX)
0	7.—	0
1.—	8.—	4.8
2.—	9.—	9.—
3.—	10.—	13.—
4.—	11.—	16.5
5.—	12.—	20.—
7.—	14.—	26.—
10.—	17.—	33.—
12.—	19.—	36.6

Bij deze Serie was de
hoofdstroom zwakker dan
bij de bovenstaande.

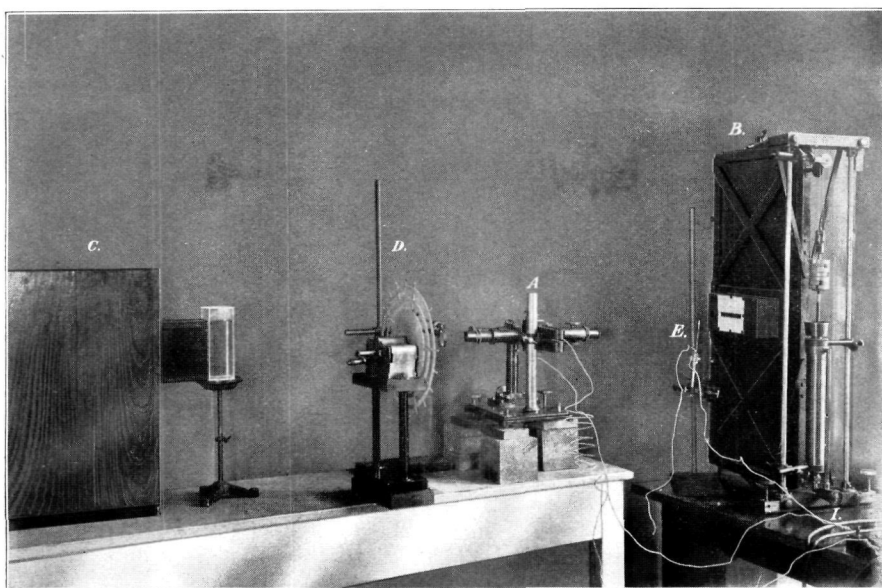


FIG. 8 A

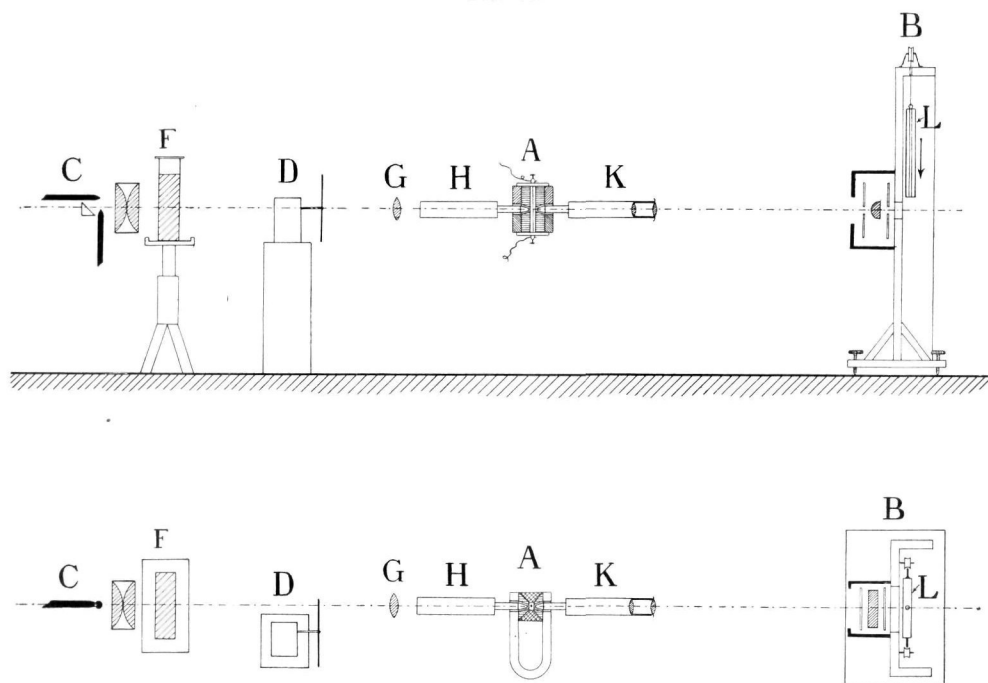


FIG. 8 B

A = Snaargalvanometer

B = Registreertoestel

C = Booglamp

D = Tijdraad

E = Zuigeraanwijzer (fig. 8A)

F = Waterkoeling

G = Verzamellensje

K en H = Mikroskopen

L = Fotografisch chassis

I = Knop voor de regelbare valsnelheid v/h chassis (fig. 8A)

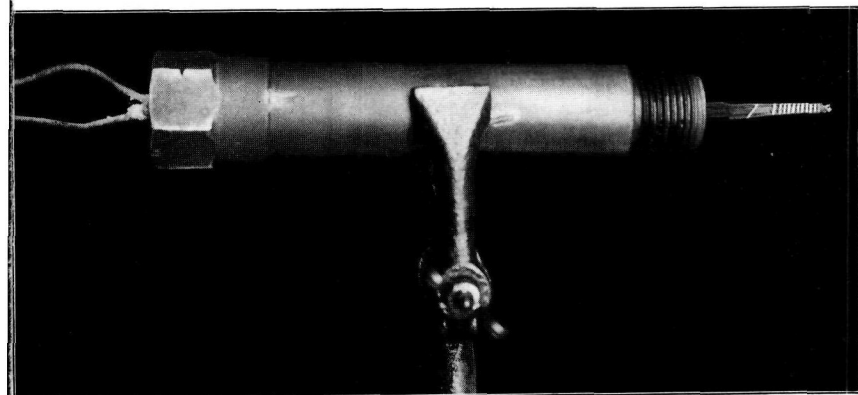
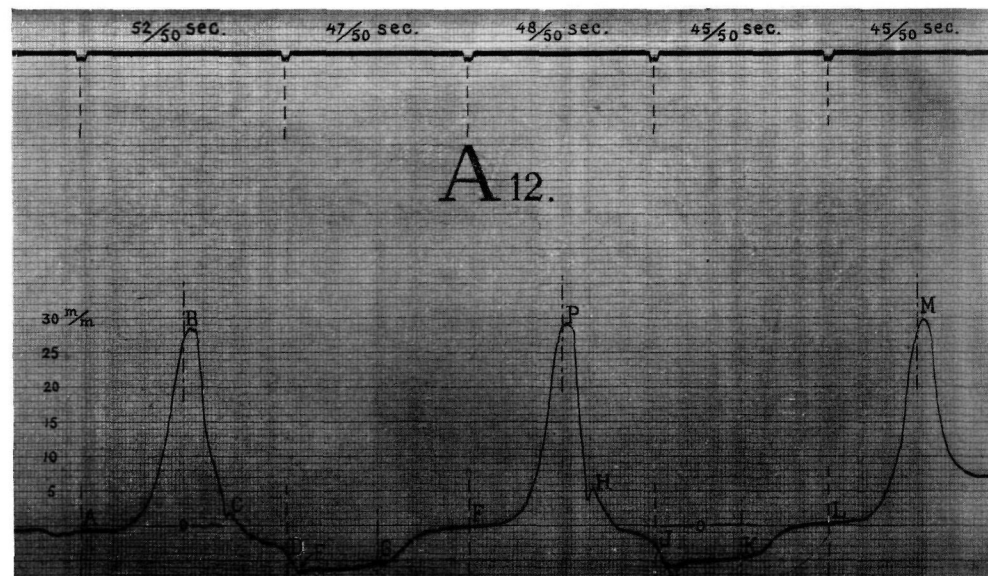
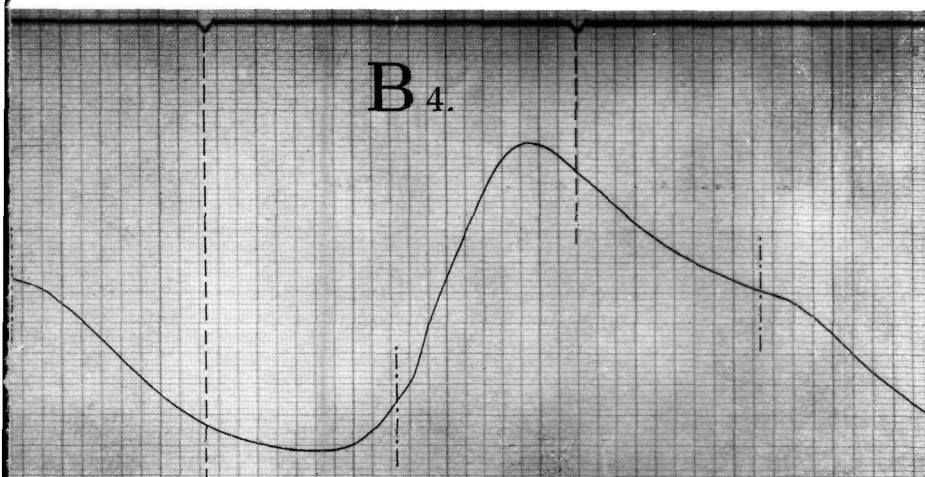


FIG. 7

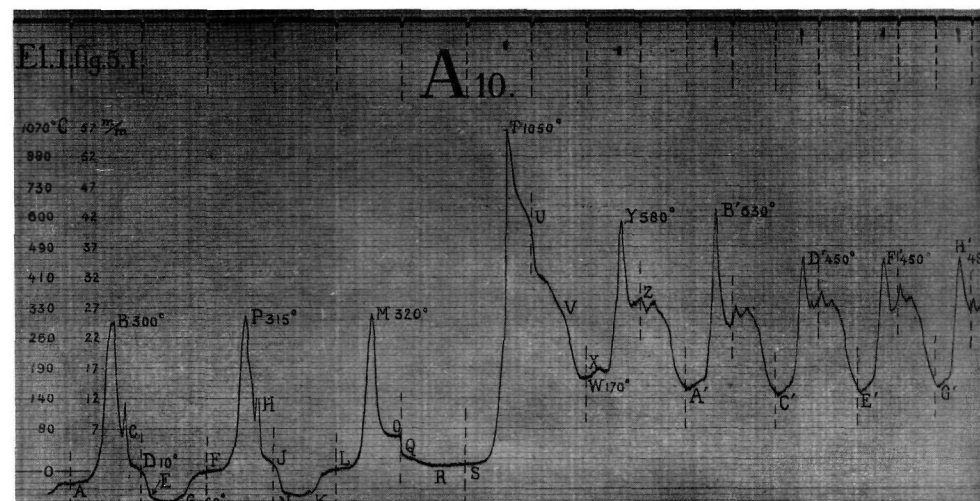
Weerstandelement bevestigd in de indicateurstop
Deze werd in de opening van den motorwand geschroefd.



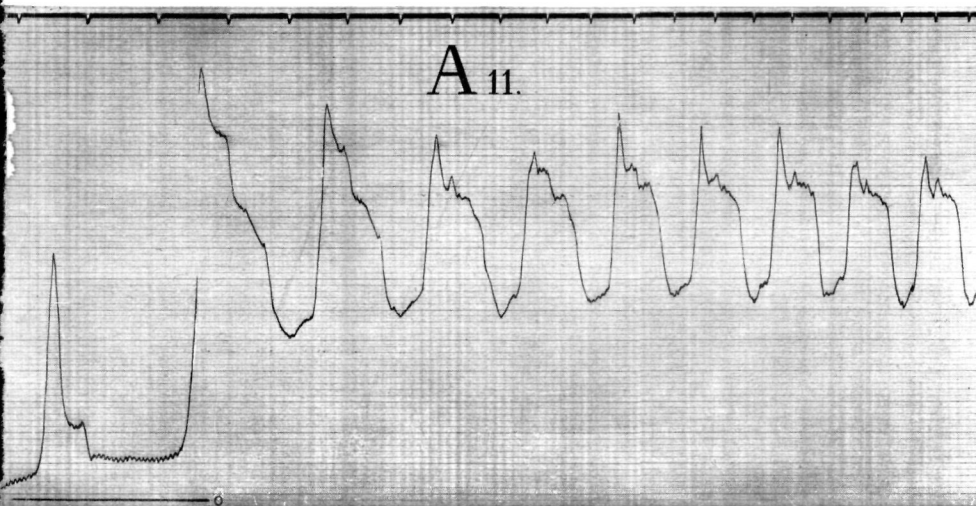
Aanzetten van den motor



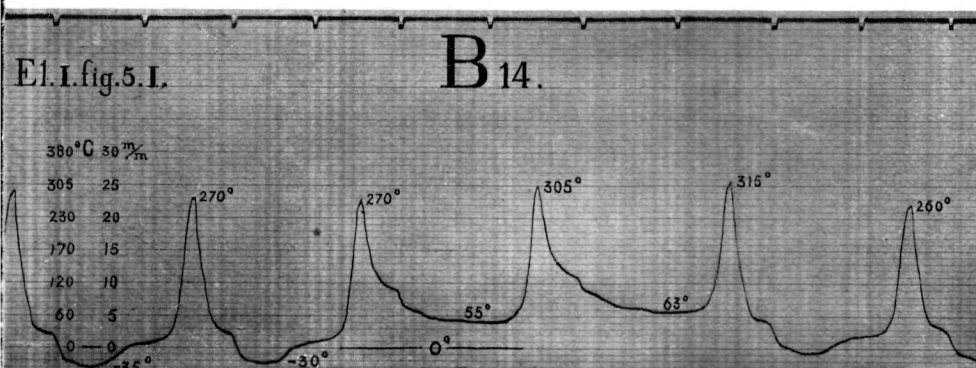
Opgenomen met het thermo-element



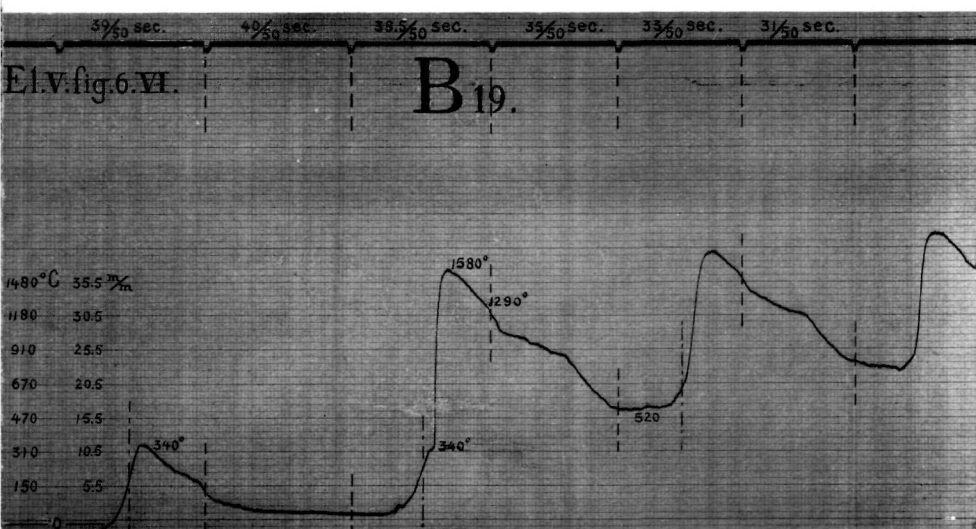
Aanzetten van den Motor



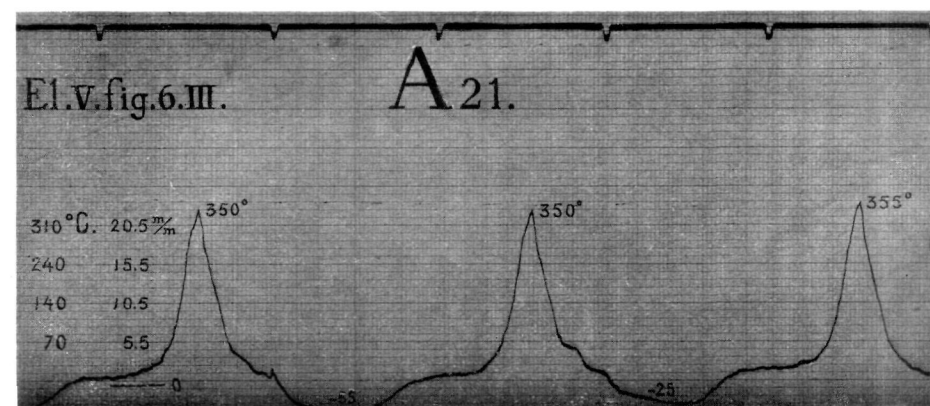
Aanzetten van den motor



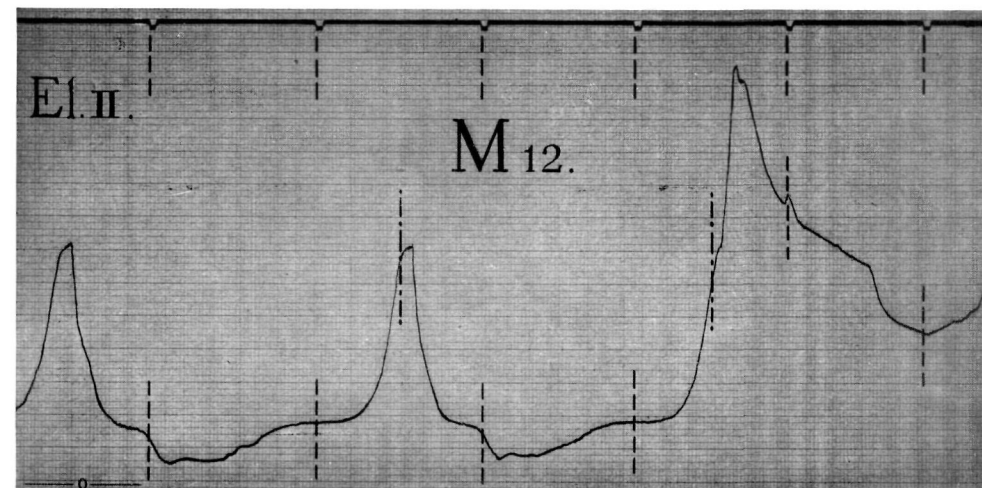
Mislukt aanzetten van den motor



Aanzetten van den motor

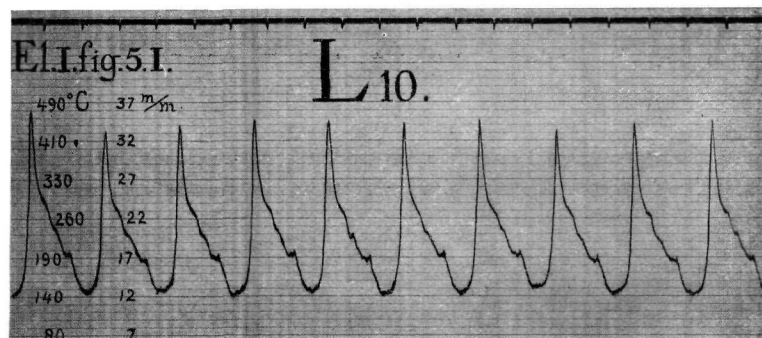


Aanzetten van den motor

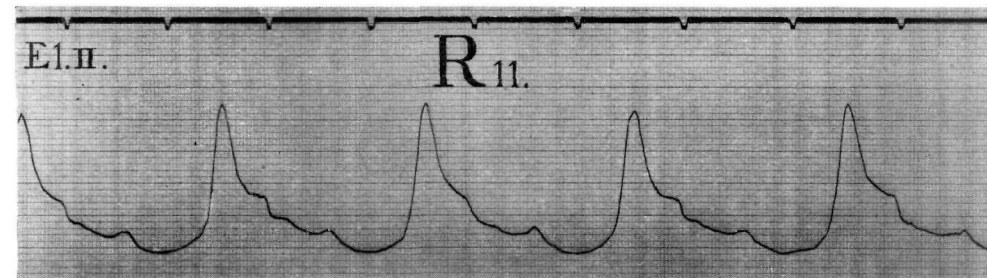


Aanzetten bij warmen motor

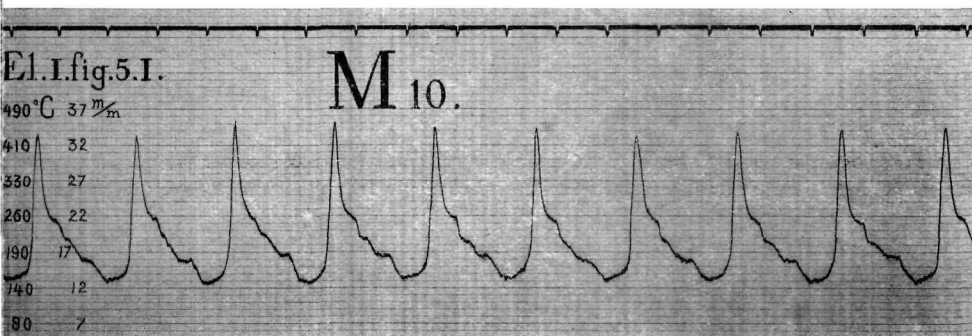
(De stippellijnen moeten $\frac{1}{100}$ sec. naar rechts verschoven gedacht worden.)



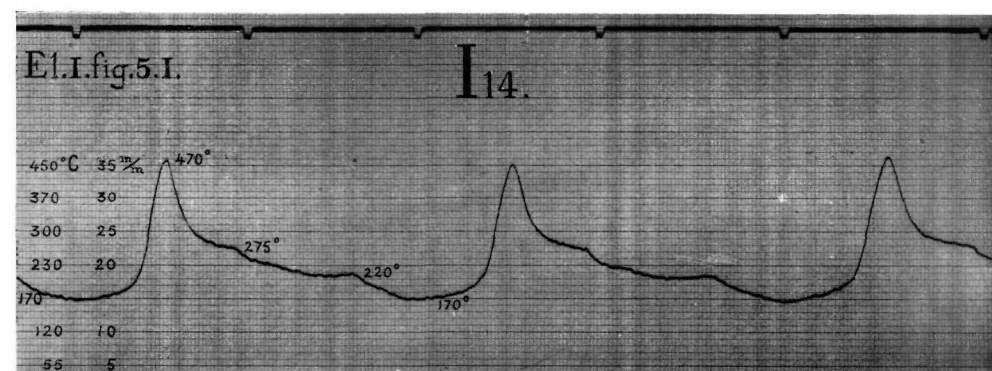
Stoppen van den motor



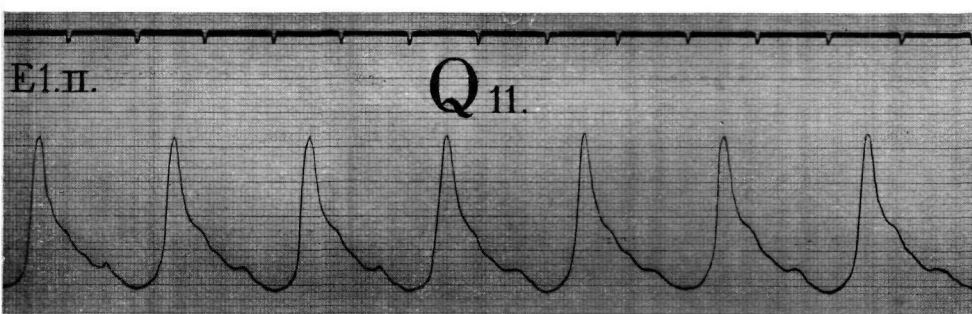
Stoppen van den motor



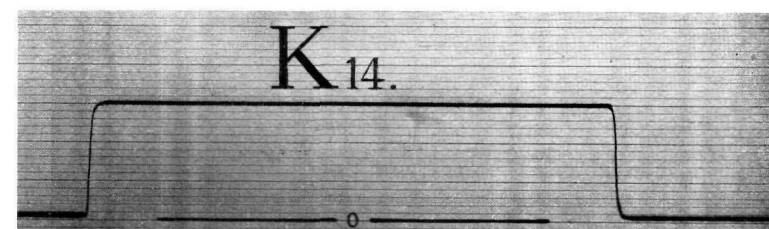
Stoppen van den motor



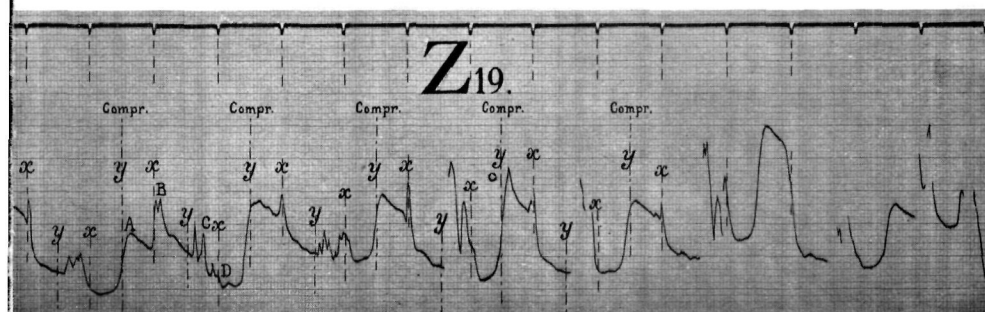
Stoppen van den motor



Stoppen van den motor

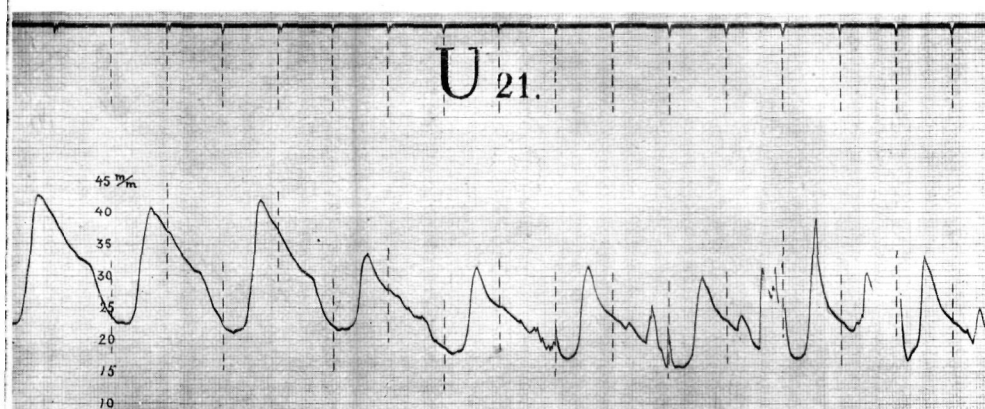


(met stroom) (zonder stroom)
Na het stoppen

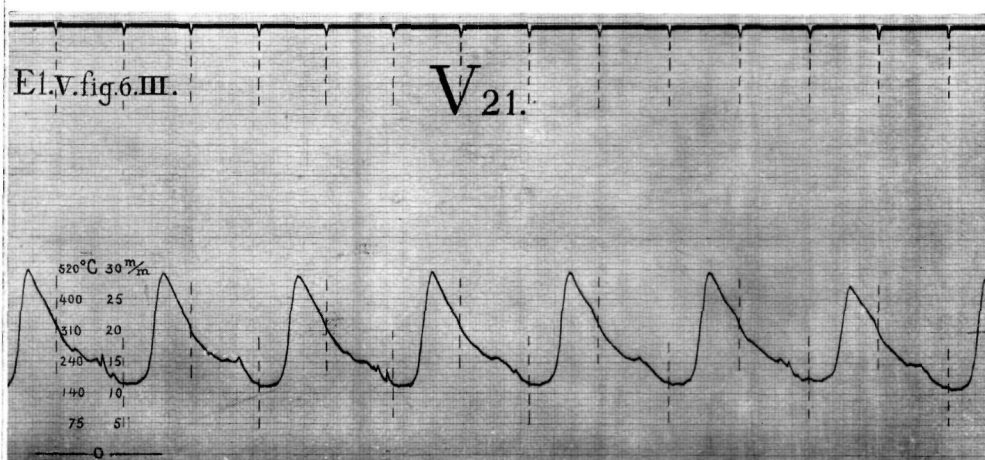


Compr. = einde compressieslag
 x = onderste doode punt
 y = bovenste doode punt

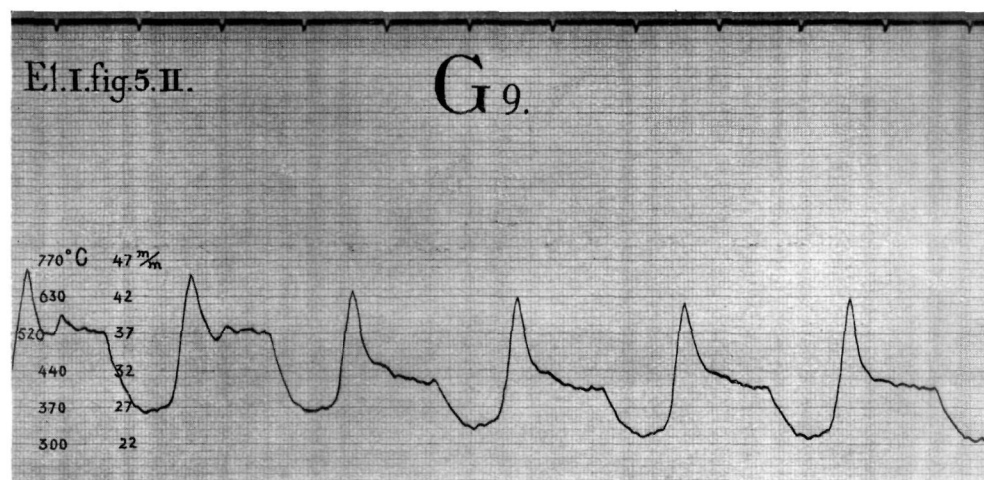
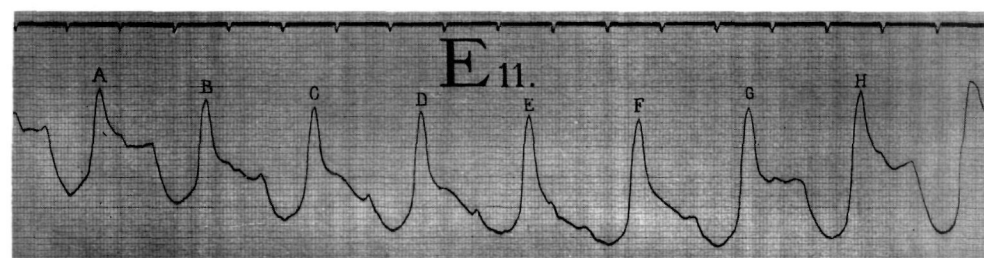
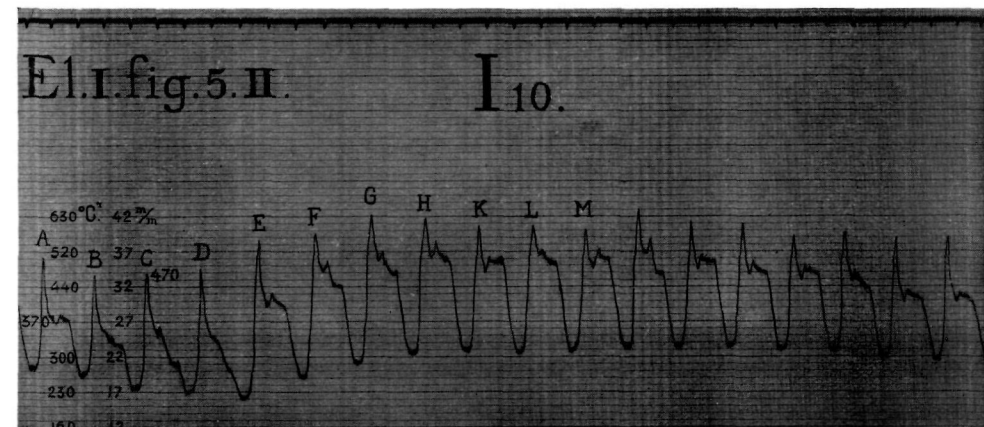
Stoppen van den motor
 Element V

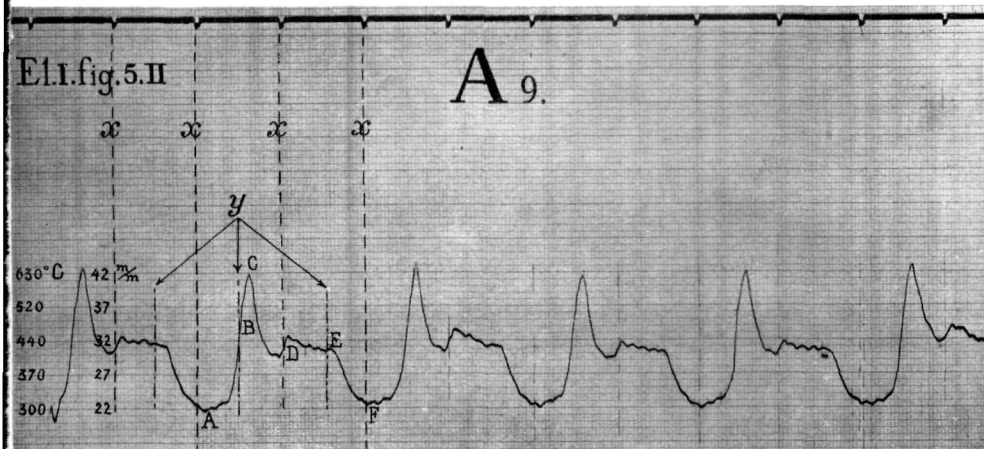


Stoppen van den motor

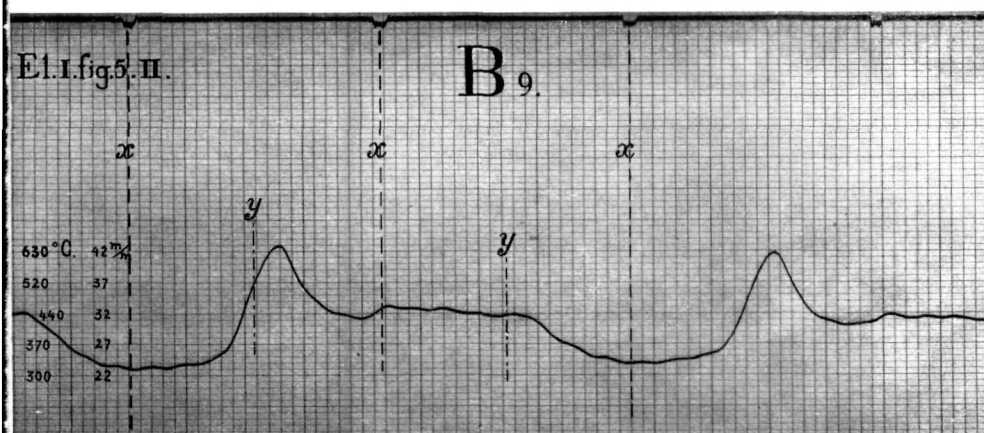


Stoppen van den motor

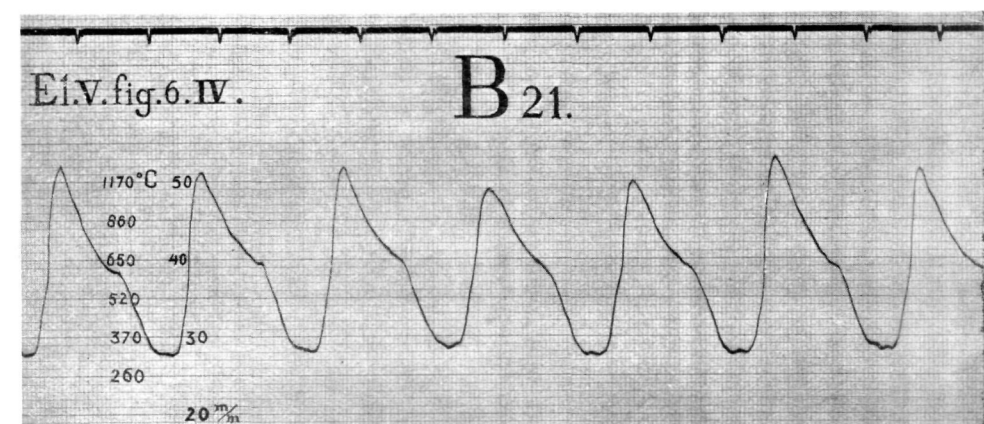
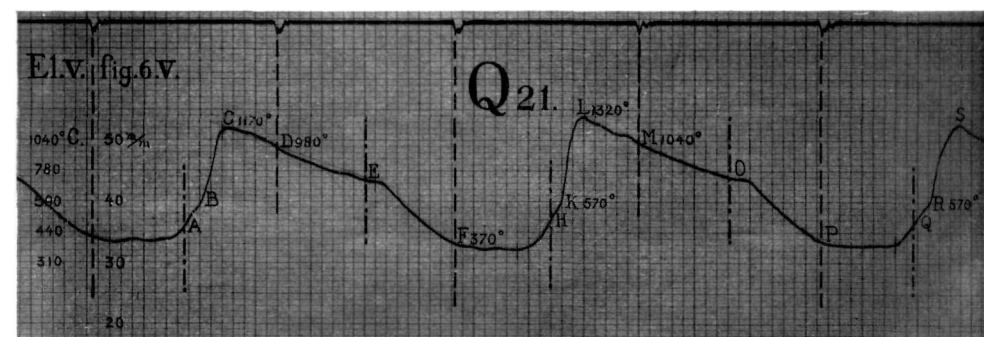
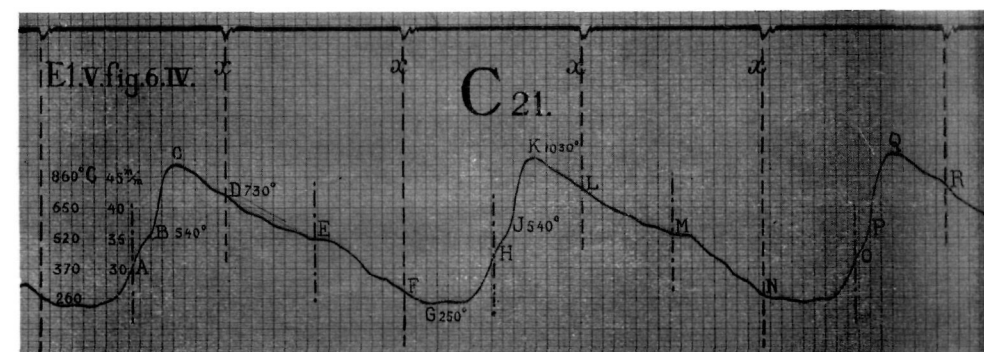
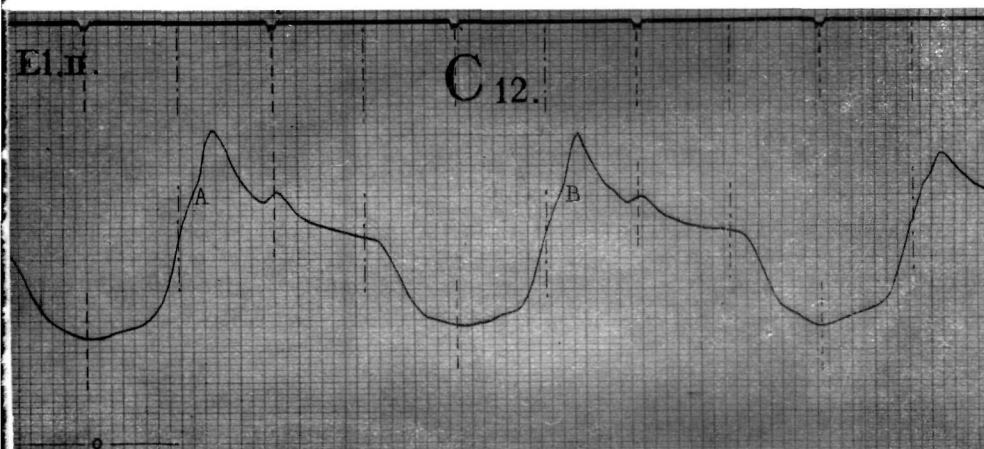


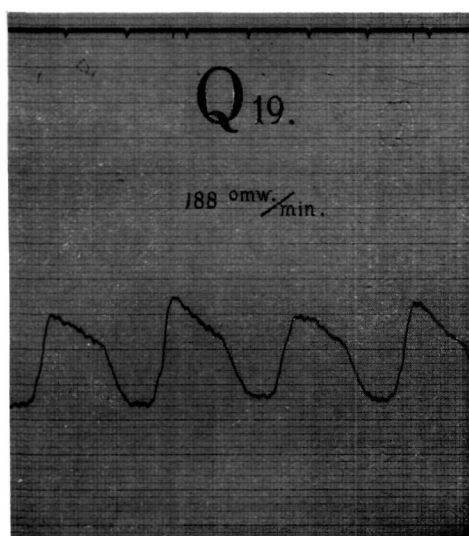
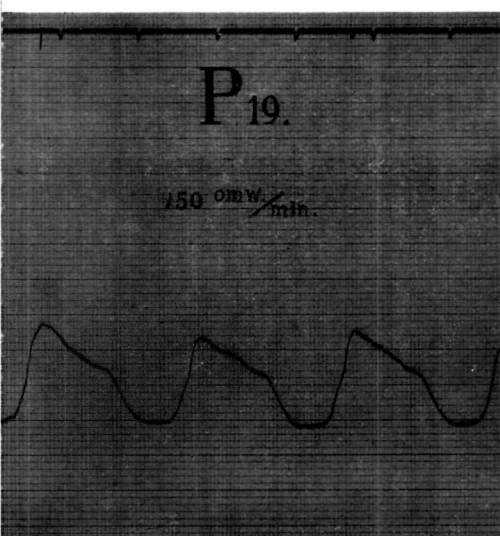
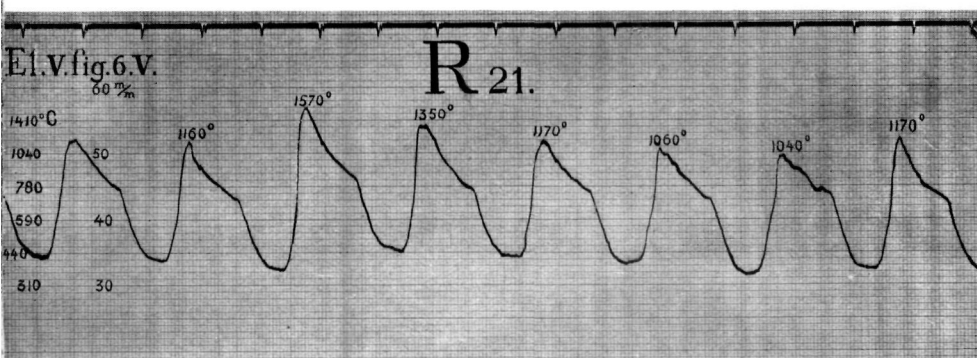


x = zuiger in onderste doode punt
y = zuiger in bovenste doode punt

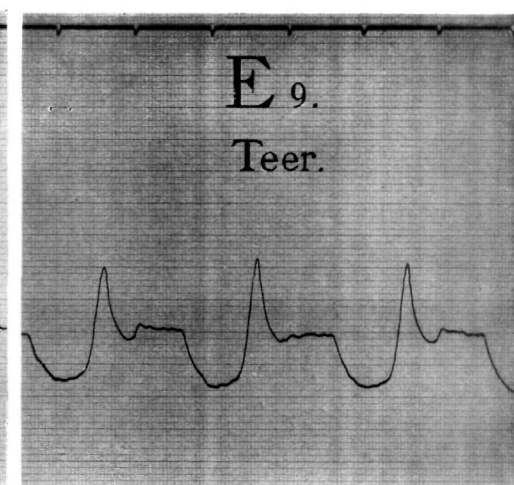
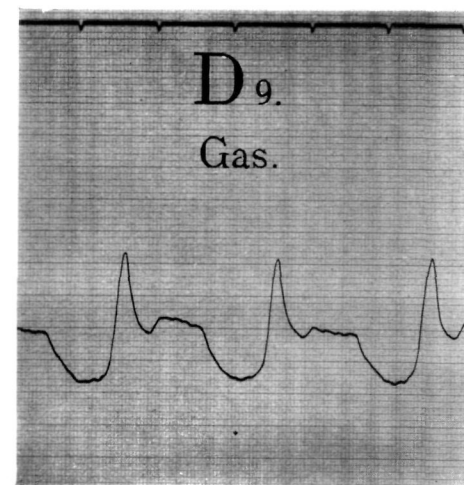
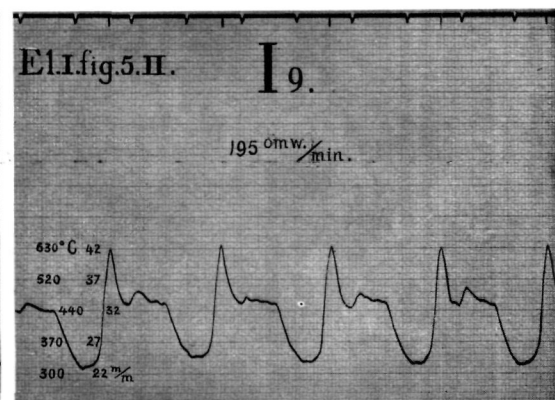
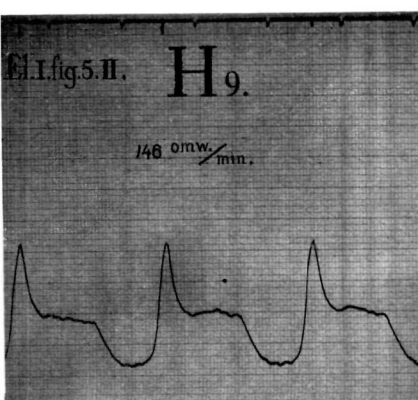


x = zuiger in onderste doode punt
y = zuiger in bovenste doode punt

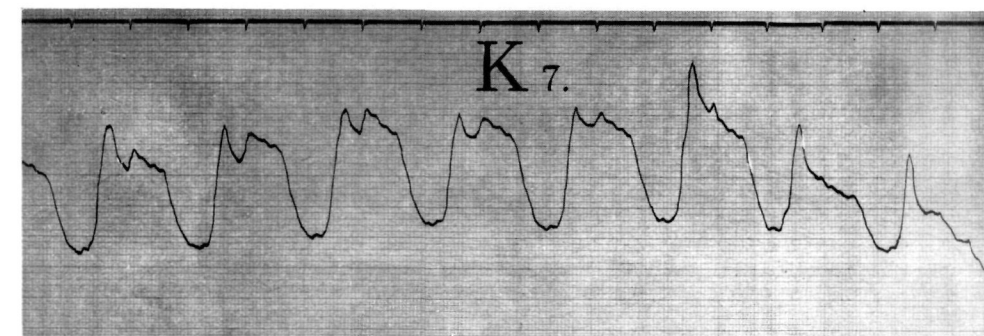




Opgenomen met element V

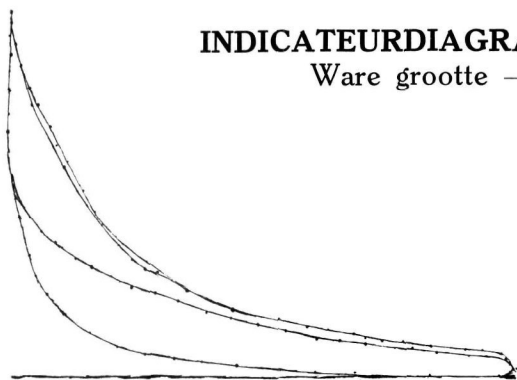


Opgenomen met Element I

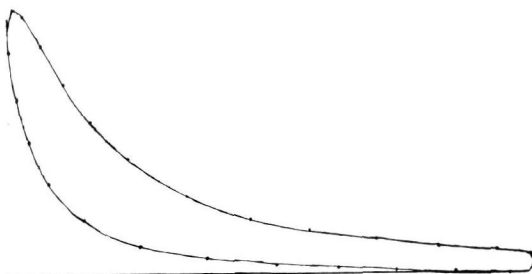


INDICATEURDIAGRAMMEN (druk-zuigerweg)

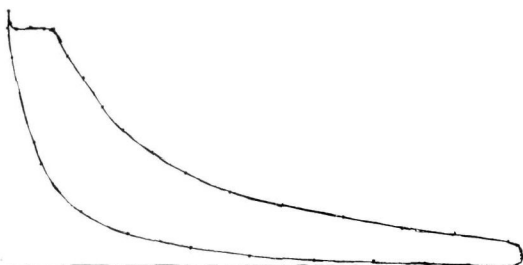
Ware grootte — 1 Atm. = 1 m.M.



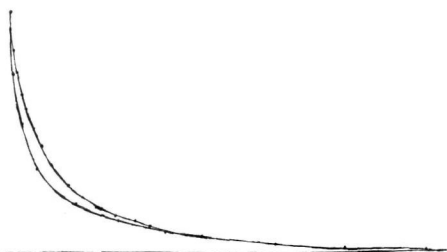
A. Diagram bij het aanzetten genomen. Laatste compressieslag vóór de verbranding en twee eerste verbrandingen.



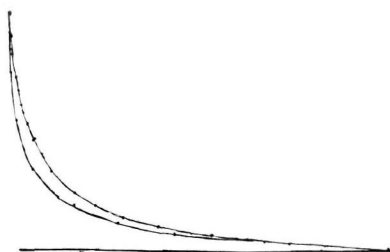
B. Normaal volbelast diagram.
Uitlaattemperatuur met thermometer in uitlaatpijp
 408° .
190 omw./min.



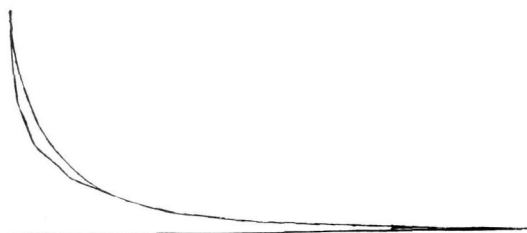
C. Eerste verbrandingslag nadat de motor 4 slagen gedaan heeft met gesloten brandstofklep.



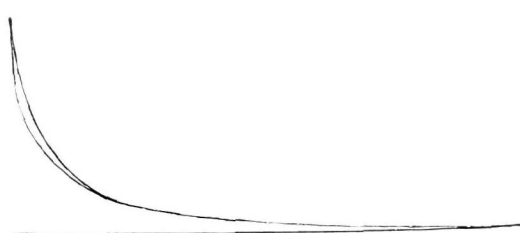
D. 2e slag met dichte brandstofklep.
(Motor warm)



E. 4e slag met dichte brandstofklep.
(Motor warm)

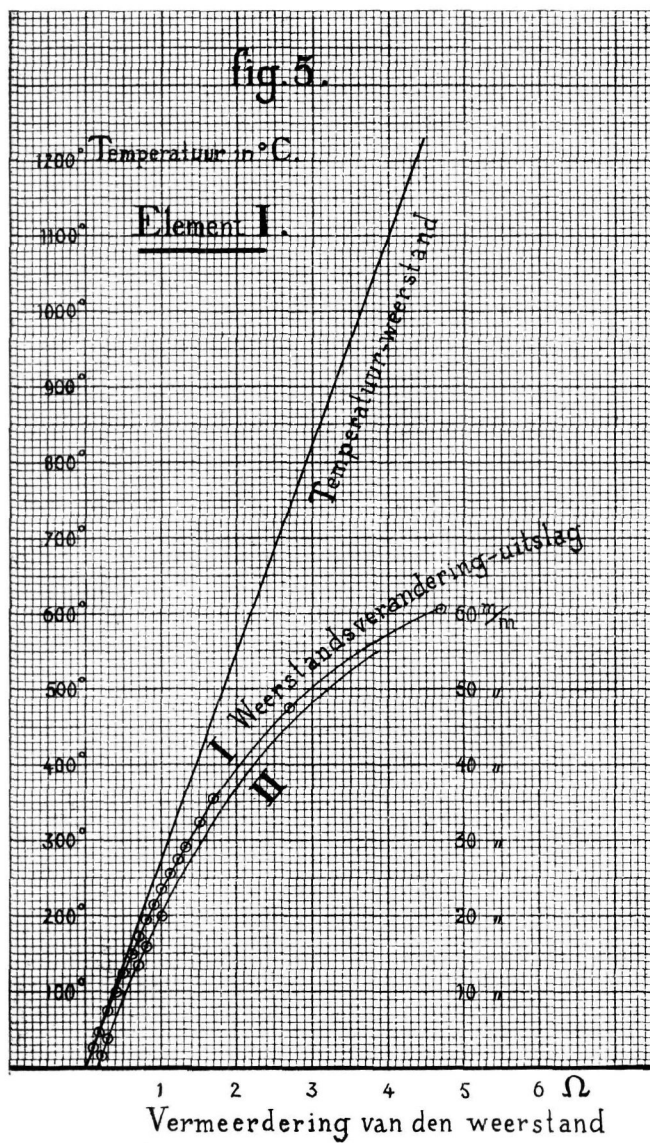


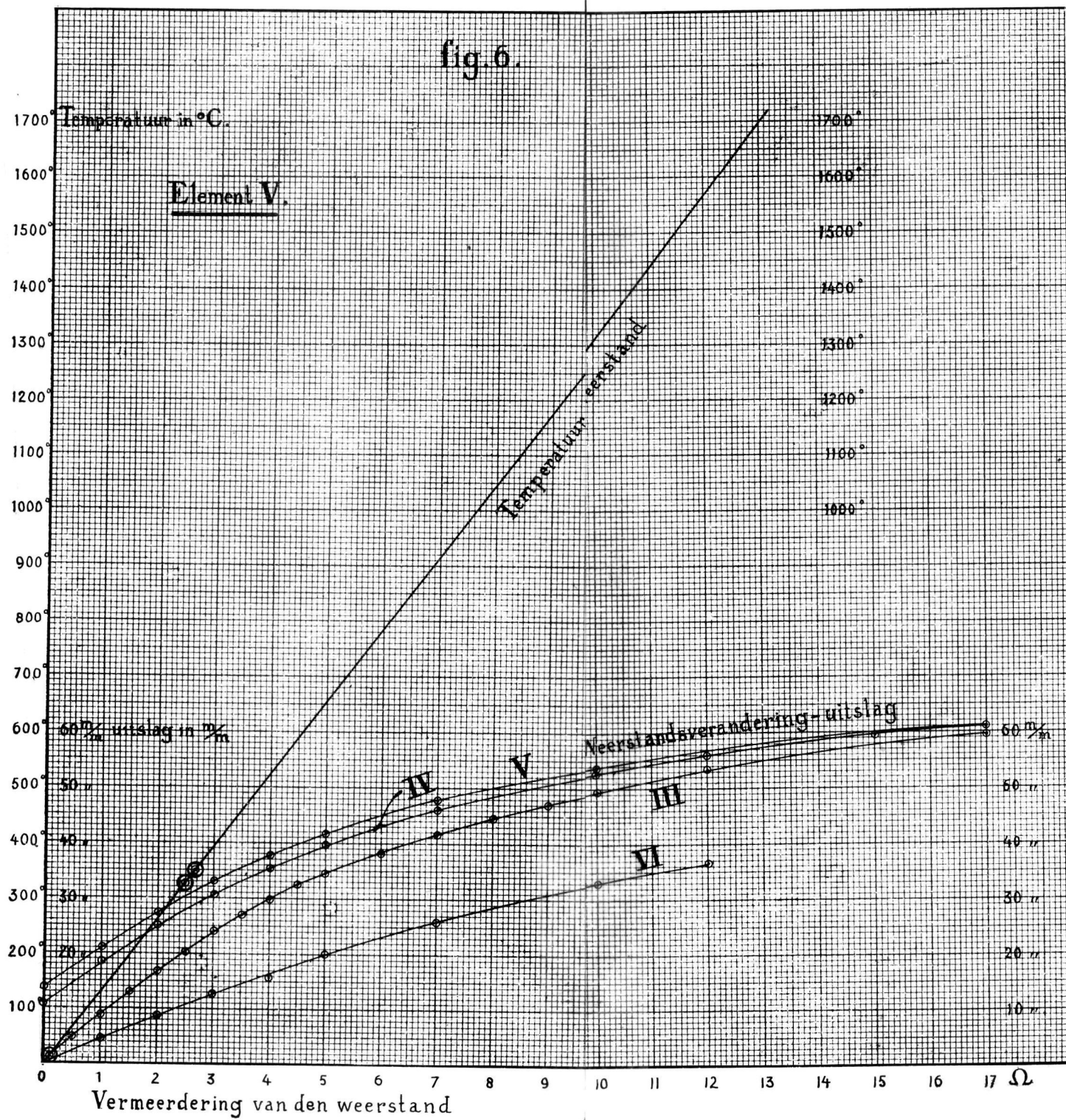
F. Tijdens stoppen; brandstoftoevoer juist afgezet.



G. Tijdens stoppen. Even later dan F opgenomen.

fig. 5.





STELLINGEN

STELLINGEN

- I Waar tusschen de temperatuur van de gassen op verschillende plaatsen in den cilinder van een Dieselmotor op hetzelfde oogenblik groote verschillen kunnen bestaan, mag alleen bij groote benadering gesproken worden van de temperatuur der gassen op een bepaald oogenblik.
- II De chemische samenstelling der gassen in den cilinder van een Dieselmotor is op een bepaald oogenblik op verschillende plaatsen niet dezelfde.
- III Het is niet mogelijk bij een Dieselmotor uit het druk-zuigerwegdiagram met eenige nauwkeurigheid de gemiddelde temperatuur van de gassen in den cilinder af te leiden.
- IV De zuiger en de aard van het zuigeroppervlak zijn meestal van grooten invloed op het verbrandingsproces in een Dieselmotor.
- V Het normale slijten van cilinders van stoommachines en motoren staat in geen direct verband met de hardheid van het gietijzer, waaruit zij vervaardigd zijn.
- VI Het beoordeelen van de geschiktheid voor het gebruik van gegoten voorwerpen uit de eigenschappen van bij- of aangegoten proefstaven, is niet mogelijk.

- VII Proefstaven ter beoordeeling van gegoten metalen zullen alleen dan vergelijkbare waarden geven, indien zij in aparte vormen van nauwkeurig voorgeschreven afmetingen gegoten worden, terwijl zorg gedragen wordt, dat de afkoeling steeds even snel geschiedt.
- VIII Bij het beoordeelen van metallographische afwijkingen in metalen, behoort eerst uitgemaakt te worden, welke afwijkingen in de zich in geregeld gebruik bevindende metalen voorkomen, in welke gevallen deze afwijkingen invloed kunnen hebben en welke afwijkingen in de met de tegenwoordige fabrikatiemethoden verkregen producten voorkomen.
- IX De door verschillende onderzoekers nagevolgde methode van KEEP ter bepaling van het krimpen van metalen bij het stollen geeft een zeer onvolledig beeld van dit proces.
- X Het bestaan van de door Prof. E. COHEN beschreven forceerziekte der metalen, is niet voldoende aangetoond.
- XI Bij het beoordeelen van de praktische waarde van structuurveranderingen in den vasten toestand bij metalen, is de tijdfactor van het grootste belang.
- XII Naast de chemische samenstelling is de viscositeit de voornaamste factor bij de beoordeeling van smeerolie voor motorcilinders.
-