

## CZĘŚĆ DRUGA.

# BADANIA POMOCNICZE PRZY KONTROLI GOSPODARKI CIEPLNEJ.

### I. Oznaczanie mocy silników i maszyn tłokowych przy pomocy indykatora.

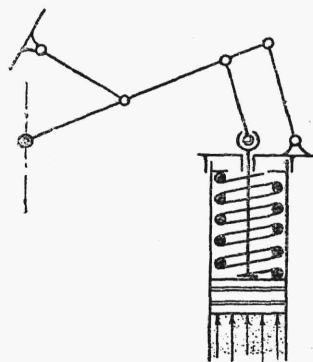
#### 1. Uwagi ogólne.

Potrzeba kontroli procesów, odbywających się w cylindrze silnika tłokowego, jest równie potrzebną przy jego budowie, użytkowaniu i nie-domaganiach. Przyrządem, który najlepiej temu celowi odpowiada jest tak zwany *i n d y k a t o r* czyli przyrząd, pozwalający rejestrować zmiany ciśnień, zachodzące w cylindrze w zależności od czasu lub od drogi tłoka czy korby, a więc oznaczać pracę wykonywaną przez tłok silnika albo dostarczaną do cylindra maszyny biernej (pompy, sprężarki). Oprócz jednak tej oceny ilościowej indykator pozwala, z nakreślonego przez siebie wykresu, osądzić, czy wytwarzanie pracy w badanej maszynie odbywa się w warunkach właściwych, a więc pozwala także na ocenę jakościową.

Działanie indykatora, który jest właściwie rejestrującym manometrem polega na tem, że czynnik, wypełniający cylinder roboczy maszyny, działa na mały tłoczek, który się znajduje pod działaniem sprężyny. Im ciśnienie pod tłoczkiem jest większe, tem, przy danej sprężynie, o dłuższą drogę przesunie się tłoczek, zaopatrzony na swym końcu w rysik. Aby uniknąć wpływu działania mas tłoczka indykatora na odkształcenia jego sprężyny, wprowadza się między ruch tłoczka i ruch rysika przekładnię dźwigniową o stosunku  $1/4 - 1/6$ , dzięki czemu można zmniejszyć długość drogi tłoczka indykatora, zachowując dostatecznie duże odchylenia rysika.

Przesunięcia rysika muszą być prostolinjowe i proporcjonalne do drogi tłoczka, więc jako przekładnie stosowanych jest kilka rodzajów t. zw. *prostowodów*, które muszą być pozatem lekkie i dostatecznie sztywne (Evans, Crosby, Thompson i t. p.).

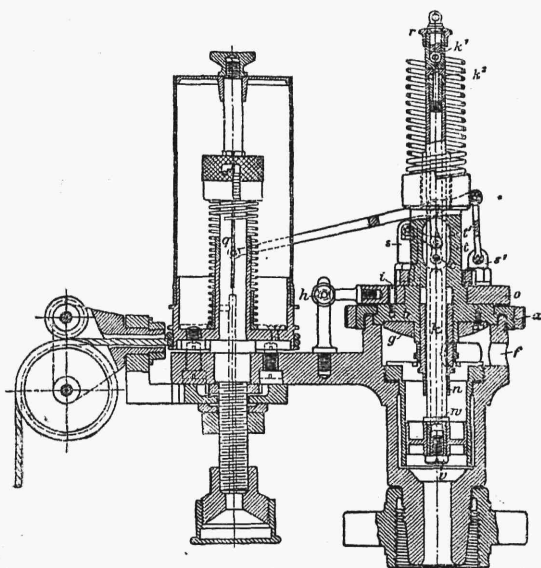
Schematyczny układ indykatora przedstawia rys. 48, skąd widać, że indykator składa się z cylinderka z tłoczkiem i sprężyną oraz z przyrządu piszącego, który utworzony jest przez układ dźwigni, odpowiadających zasadzie prostowodności i proporcjonalności. Cylinderk metalowy zakończony jest t. zw. *śrubunkiem* do połączenia go przy pomocy kurka z cylindrem silnika. Po otwarciu kurka przenoszą się na tłoczek zmienne ciśnienia, panujące w cylindrze silnika, i wywołują ruch rysika w skali kilkakrotnie powiększonej.



Rys. 48.

Obecnie coraz częściej indykator stosuje się do badania silników, pracujących bądź parą przegrzaną, bądź gazami o wysokiej temperaturze;

w tych warunkach sprężyna nagrzewa się i daje inne odkształcenia, niż w stanie zimnym. Aby tego uniknąć używa się teraz coraz powszechniej sprężyn, umieszczonych nazewnątrz indykatora, dzięki czemu nie podlegają one wpływom temperatury, panującej pod tłoczkiem. Poza tem sprężyny wykonywane są dziś jako dwuzwojowe, aby uzyskać przez to symetryczny, osiowy nacisk na tłoczek indykatora oraz stosuje się takie konstrukcje, by sprężyny pracowały na rozciąganie w celu uzyskania większej proporcjonalności odkształceń.



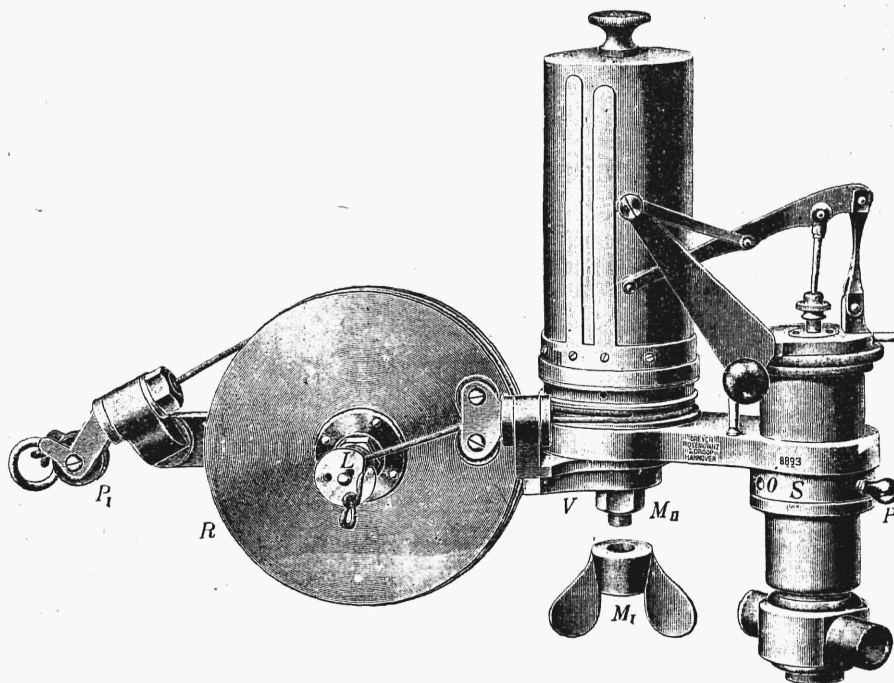
Rys. 49.

Jako przykład takiego indykatora służy rys. 49.

Wobec tego, że sprężyny, aby zachować dokładność odkształceń i czułość, nie mogą być zbyt grube, wyrabiane są tylko do pewnych ciśnień 12 — 16 at, w tych więc wypadkach, gdy mamy do czynienia z wyższymi prężnościami gazów i par, jak na przykład w silnikach Diesela, sprężarkach

do bezwodnika węglowego i t. p., stosuje się do indykatorów tłoczki o mniejszym przekroju, więc  $1/2$ ,  $1/5$  i  $1/10$ , dzięki czemu odkształcenia tych samych sprężyn będą 2, 5 czy 10 razy mniejsze, jak przy tłoczku normalnym, a więc ten sam indykator z tą samą sprężyną będzie mógł być zastosowany do dwu, pięć lub dziesięć razy większych ciśnień.

Przy indykowaniu pomp powietrznych i dmuchaw, gdzie ciśnienia są



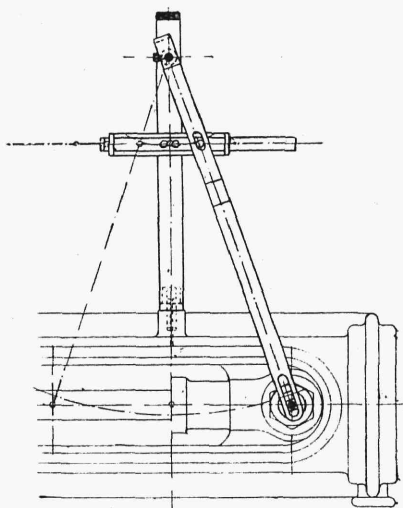
Rys. 50.

małe, można powiększyć wskazania indykatora przez wstawienie tłoczka o większej średnicy.

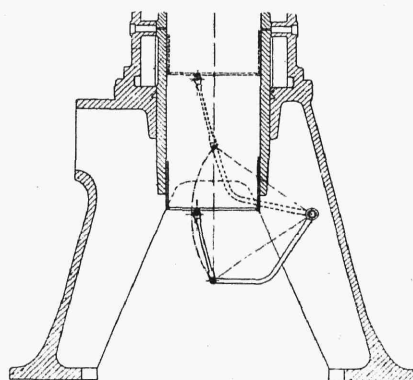
Do indykowania sprężarek amonjakalnych stosuje się indykatory wykonane całkowicie ze stali, a to w tym celu, aby uniknąć nagryzania przez ten czynnik części indykatora, które normalnie są wykonywane z brązu.

Druga rzędna wykresu indykatora, przedstawiająca przyrosty objętości za tłokiem cylindra, wobec stałego jego przekroju, powinna odpowiadać jego przesunięciom w danej chwili z martwego położenia. Rysik zatem indykatora mógł by kreślić krzywe zmian ciśnienia jako funkcje drogi tłoka na papierze, naciągniętym na bębenku, który obracałby się tam i z powrotem proporcjonalnie do ruchu tłoka badanej maszyny. Ponieważ ze względu na działanie poruszających się mas bębna posiadać on musi niewielki obwód, a drogi tłoka (skoki) współczesnych maszyn dochodzą do 2000 mm, wprowadza się tutaj pomiędzy ruch bębna i ruch tłoka przekładnię przy pomocy t. zw. reduktorów skoku, które jednak muszą dawać zupełną proporcjonalność tych dwóch ruchów: bębna i tłoka maszyny.

Reduktory mogą być dwóch typów, t. zw. krążkowe, polegające na tem, że na wspólnej osi osadzone są dwa krążki  $R$  i  $L$  (rys. 50) o różnych

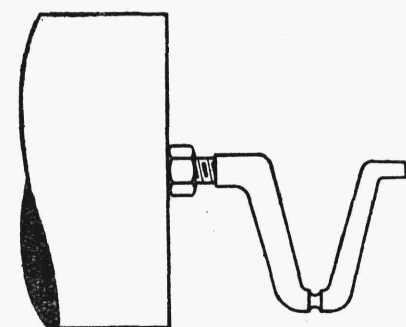


Rys. 51.



Rys. 52.

średnicach, przyczem na krążku większym nawija się sznurek, którego koniec połączony jest z tłoczyskiem lub wodzikiem maszyny, na mniejszy krążek zaś — sznurek łączący się z bębniem indykatora. Dzięki takiemu



Rys. 53.

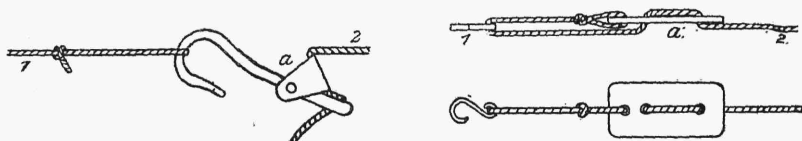
układowi, przy ruchu maszyny następuje również ruch bębna w sposób proporcjonalny, jednak drogi różnić się będą od siebie tak, jak promienie krążków  $R$  i  $L$ . Reduktory te mogą być przymocowywane do jakiejś wystającej części maszyny (nakrętki) albo przykręcane są bezpośrednio do indykatora przy pomocy nakrętki skrzydełkowej  $M$  (rys. 50) i stosowane być mogą do każdego typu silnika, a przy zmianie krążków dla dowolnych długości skoku.

Rysunek 50 przedstawia taki reduktor krążkowy i sposób uruchomienia indykatora, w tym wypadku ze sprężyną wewnętrzną. W punkcie  $L$  zaczepiony jest nawijający się na mały krążek sznurek indykatora, w punkcie  $P_1$  odwija się jednocześnie sznurek do krzyżulca silnika.

Inny typ reduktorów stanowią t. zw. reduktory dźwigniowe, budowane specjalnie do danego urządzenia silnikowego i nie dające się uniwersalnie stosować, a używane wtedy, gdy ma miejsce częstsze indyko-

wanie pewnej maszyny lub gdy mechanizm korbowy jest bez wodzika i t. p. Przy takich reduktorach należy sprawdzać proporcjonalność przeniesienia ruchu z tłoka na bębenek indykatora. Typowe rozwiązania takich reduktorów przedstawia rys. 51 i 52.

Przy małych silnikach, gdy koniec wału korbowego od strony indykatorów wystaje, można uruchomić bębenek przez wkręcenie do wału korbki o potrzebnym promieniu (rys. 53), tylko należy ją ustalić dobrze, by nie

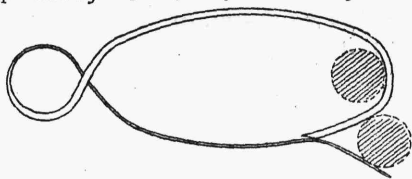


Rys. 54.

odkręcała się podczas ruchu i uzgodnić dokładnie jej skrajne położenia z martwymi położeniami tłoka.

Do połączenia indykatora z reduktorem, a reduktora z mechanizmem korbowym używa się specjalnych, natłuszczonych sznurków plecionych, które podczas ruchu nie wydłużają się, co miałooby wpływ na otrzymywane wykresy.

Napięcie sznurków, łączenie dwóch kawałków 1 i 2 oraz nadawanie im właściwej długości, odbywa się przy pomocy specjalnych haczyków lub małych deseczek o trzech dziurkach (rys. 54), a przez to unika się niedogodnego w tym wypadku wiązania węzłów. Przy zastosowaniu tych pomocniczych urządzeń można dokładnie i łatwo regulować długości i połączenia sznurka.



Rys. 55.

Połączenie sznurka z krzyżulcem odbywa się przy pomocy oczka wygiętego z drutu sztywnego, zaopatrzonego sprężynką, którą łatwo zaczepić podczas ruchu o przytwierdzony na na okres indykowania do krzyżulca lub tłoczyska sztywny, niedrgający pręt żelazny (rys. 55 i rys. 59).

## 2. Wzorcowanie indykatora.

Najlepszy indykator przy ciągłym, niezawsze starannym użyciu, przestaje z czasem wskazywać dokładnie, stąd należy indykatory co pewien czas, a specjalnie przed wykonaniem ważniejszych badań, wzorcować.

Wzorcowanie indykatora polega na następujących sprawdzaniach.

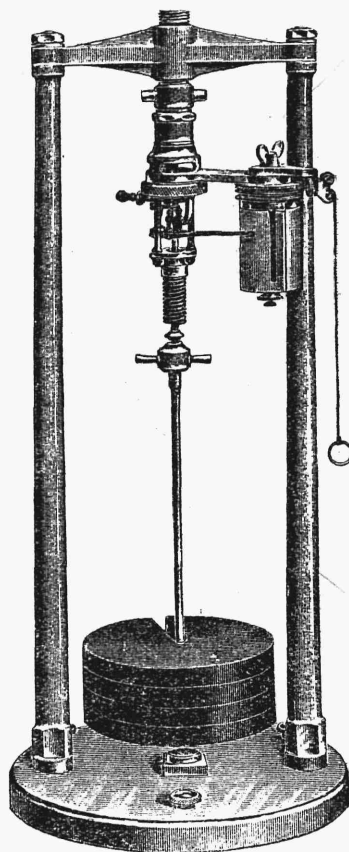
a) Sprawdzanie prostowodności przyrządu piszącego. Robi się to w ten sposób, że na bębenek indykatora, pozbawionego sprężyny i umieszczonego na statywie, nakłada się papier, wyprowadza bębenek,

przez naciągnięcie sznurka z położenia skrajnego i, utrzymując go nieruchomo w tem położeniu, kreśli się rysikiem indykatora linię pionową. Linja ta w granicach stosowanych wychyleń rysika powinna być prostą, co się sprawdza przez przyłożenie linji.

b) Szczelność tłoczka sprawdza się w ten sposób, że otwór dolny indykatora w śrubunku zamyka się korkiem, a następnie, po usunięciu sprężyny, staramy się przesunąć tłoczek z położenia środkowego w jednym i drugim kierunku przez chwilowy nacisk ręką na wystający jego trzonek; przy szczelnym tłoczku rysik wraca do swego pierwotnego położenia. Przed wykonaniem tej czynności należy posmarować tłoczek oliwą. Podczas tej próby stwierdzić także można zacinaanie się tłoczka, o ile ono ma miejsce.

c) Oznaczanie podziałki sprężyny indykatora odbywa się zawsze łącznie z prostowodem i to w sposób dwojaki, zależnie od tego czy sprężyna jest zewnętrzna czy też wewnętrzna w zastosowaniu do wysokich temperatur.

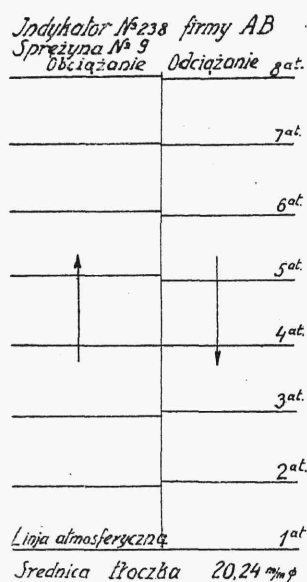
Sprężyny wewnętrzne, które pracują „na gorąco” czyli stosowane są do silników wybuchowych lub parowych, poddaje się, po założeniu do indykatora, ciśnieniu pary wytwarzanej w małym stołowym kociołku miedzianym i ogrzewanym gazem. Gdy przez otwarty kurek indykator ogrzeje się, a jednocześnie ciśnienie w kociołku ustali się, przytyka się rysik do papieru na bębnie i pociąga za sznurek, kreśląc linię poziomą. Ciśnienie, odpowiadające tej linii a panujące w kociołku, odczytuje się przy pomocy manometru rtęciowego lub termometru (para nasycona) i notuje się. Następnie przez dalsze ogrzewanie podnosi się ciśnienie wyżej, poczem podobnie kreśli się linię poziomą, odpowiadającą temu nowemu ciśnieniu i t. d. aż do uzyskania najmniej pięciu stopni obciążenia. Po zamknięciu kurka i połączeniu, przez trzeci w nim przewód, przestrzeni pod tłoczkiem z atmosferą, kreśli się nową linię t. zw. atmosferyczną, służącą przy wszelkich pomiarach indykatorem za poziom porównawczy. Sposób użytkowania takiego wykresu (rys. 57) podany jest niżej.



Rys. 56.

Sprężyny zewnętrzne wzorcuje się na zimno przez obciążanie ciężarkami. W tym celu przykręca się indykator do wysokiego statywu (rys. 56), wykreśla się na założonym na bębenek papierze linię atmosferyczną, po czym obciąża się sprężynę indykatora osiowo, w sposób zależny od konstrukcji indykatora, ciężarkami, zazwyczaj krążkami żelaznymi o znanym ciężarze. Po dodaniu każdego krążka kreśli się linię poziomą, przez przytknięcie rysika do bębna, przed wykonaniem czego należy pokonać opory tarcia tłoczka przez wywarcie ręką chwilowego nacisku dodatkowego na zawieszone obciążenie. Dzielać wagę każdego ciężarka, obciążającego podczas badania indykator, przez powierzchnię tłoczka, którego średnicę mierzymy mikrometrem, otrzymujemy nacisk jednostkowy w  $\text{kg/cm}^2$ , odpowiadający każdej poziomej linii wykresu.

Ponieważ w łożyskach przyrządu piszącego jest pewna gra, która się powiększa w miarę zużywania się indykatora, między wskazaniem in-



Rys. 57.

dykatora przy jego obciążaniu i odciażaniu jest pewna różnica. Dlatego wzorcuje się indykator podwójnie, przez kreślenie linii poziomych przy obciążaniu ciężarkami i przy kolejnym ich zdejmowaniu. Lepsze porównanie otrzymuje się, gdy wszystkie te linie wykreślone są na tym samym papierku, dlatego dzieli się go linią pionową na dwie części, na jednej kreśli się linie odpowiadające wzrastającemu, na drugiej — malejącemu obciążeniu.

Například, przy odpowiednio do średnicy tłoczka dobranych ciężarkach, dających obciążenie w atmosferach, otrzymuje się wykres jak na rys. 57.

Odległość od siebie otrzymanych na tym wykresie linii odczytuje się przy pomocy specjalnego przyrządu (Gerlach—Warszawa, rys. 58). Składa się on ze

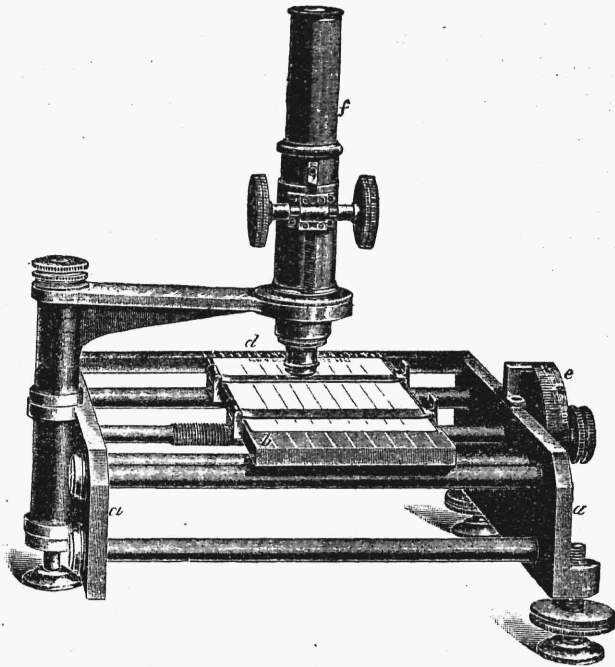
stoliczka osadzonego na śrubie mikrometrycznej, nad którym osadzony jest mikroskop z t. zw. siatką czyli linią w polu widzenia. Otrzymany wykres przytwierdza się sprężynkami do tego stolika, nastawia siatkę mikroskopu na jedną ze skrajnych linii i, pokręcając śrubą, przesuwają się stolik, aż następna linia wykresu stanie pod siatką. Długość tego przesuwu można odczytać na kółku podziałowym śruby mikrometrycznej z dokładnością do  $1/100 \text{ mm}$ . Mając te odstępki i odpowiadające im przyrosty ciśnienia, oblicza się średnią podziałkę sprężyny przez podzielenie tych dwóch wielkości przez siebie.

*Przykład.*

Po otrzymaniu dodatnich wyników sprawdzania indykatora syst. Maihaka Nr. 8271 na szczelność tłoczka i przewodność przyrządu piszącego, zmierzona została średnica tłoczka, która wynosi 2,024 cm, czemu odpowiada przekrój 3,23 cm.<sup>2</sup>

Następnie po umieszczeniu indykatora ze sprężyną nr. 1782 na statywie obciąża się krążkami żelaznymi, które po zważeniu mają po 3,22 kg, więc odpowiadają obciążeniu 1 at, bo  $3,22 : 3,23 \cong 0,999$ .

Po nałożeniu papieru na bębenek i wykreśleniu linii atmosferycznej, (przy nieobciążonej sprężynie) zawiesza się kolejno ciężarki i dla każdego dodanego ciężarka wykreśla się linię stałego ciśnienia. Po obciążeniu sprężyny do żądanej granicy zdejmuje się stopniowo ciężarki kreśląc również linie poziome dla tych, coraz mniejszych, obciążeń, w wyniku czego otrzymamy wykres jak na rys. 57. Wykres ten, położony na stolik pod mikroskop, wykazuje następujące odległości między liniami:



Rys. 58.

kg/cm <sup>2</sup>	obciążenie		odciążenie	
	h mm	różnica	h mm	różnica
0	45,300	—	45,300	5,200
1	40,530	4,770	40,100	5,114
2	35,269	5,261	34,986	4,993
3	29,910	5,359	29,993	4,687
4	24,712	5,198	25,306	5,104
5	19,878	4,834	20,202	5,225
6	14,759	5,119	14,987	—
średnio		5,090	—	5,063

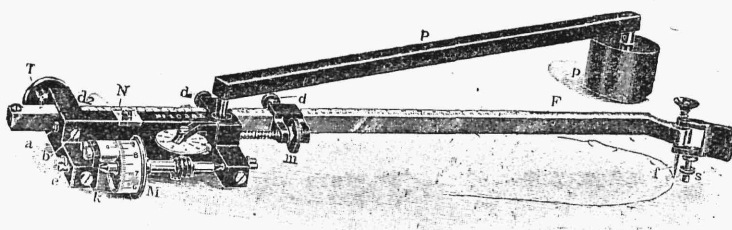




miejsce przy uruchomieniu indykatorów od krzyżulca, próbuje się czy bębni obracają się swobodnie, czy nie uderzają i czy napięcie sznurka jest właściwe.

Przed włożeniem tłoczka do cylinderek indykatora należy podczas ruchu maszyny otworzyć kurki, by para lub gazy przedmuchały kanaliki, poczem, posmarowawszy tłoczki smarem cylindrowym, wkręca się je do indykatorów i nakłada papier na bębni. Wobec tego, że przy dużych prędkościach grafitowe rysiki łamią się, do szybkobieżnych maszyn stosuje się rysiki metalowe, a więc i papier kredowany.

W chwili, gdy mają być zdjęte wykresy, łączy się sznurek przy pomocy haczyka z przewidzianą do tego częścią mechanizmu korbowego i przez przyłożenie rysika kreśli się na papierkach t. zw. linje atmosferyczne, powstające wtedy, gdy bębenek się porusza a na tłoczek działa ciśnienie atmosfery przez boczny kanał kurka. Pod okonaniu tego, otwiera się jednocześnie kurki indykatorów przy wszystkich cylindrach badanej maszyny, przyczem jedna osoba może obsłużyć dwa indykatory, i kreśli



Rys. 60.

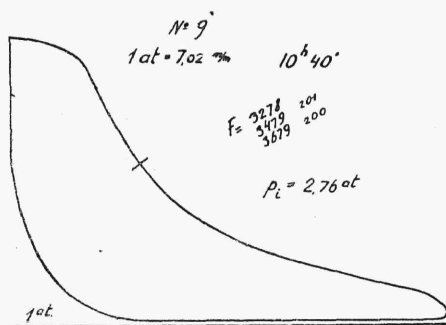
się przez przytknięcie rysików wykresy, a następnie odchyła się rysiki, zamyka kurki i ostrożnie rozłącza sznurek przez zdjęcie haczyka.

Ile razy ma rysik oprowadzić pole wykresu? Zależy to od zmienności obciążenia i przeznaczenia wykresu. Jeżeli silnik pracuje przy zmiennem obciążeniu, kilka wykresów narysowanych na sobie ujawnią tę zmienność obciążenia i łatwiej pozwolą ją ocenić; tam natomiast, gdzie silnik pracuje równomiernie, wystarcza dwukrotne oprowadzenie, podobnie jak w tych wypadkach, gdy chodzi o otrzymanie do dalszego badania dokładnego obrazu linii rozprężania, gdyż przy wielokrotnem oprowadzaniu kontur wykresu się rozmazuje i ztraca swój charakter.

Po wyłączeniu ruchu indykatorów zdejmują się z bębenków papierki i oznaczają na nich: Nr. porządkowy, godzinę, o której wykres został zdjęty, cylinder i jego stronę, do której się wykres odnosi (np. niskoprężny od strony kukorbowej, w skróceniu *NK* lub wysokoprężny od strony odkorbowej *WD*) i podziałkę sprężyny. Pozatem pożądanym jest umieszczenie na wykresie nazwy maszyny i daty dnia, kiedy pomiar został zrobiony. Te

wszystkie liczby i wyrazy powinny być napisane ołówkiem choć wyraźnie, lecz drobno, by zostało wolne miejsce na papierze do zastosowania metod wykreślnych przy badaniu charakteru linii.

Tak otrzymane wykresy planimetruje się, to znaczy szuka się pola, zamkniętego krzywą wykresu, a odbywa się to przy pomocy t. zw. planimetrow biegunowych czyli przyrządów (rys. 60), składających się z dwóch przegubowo w punkcie  $d$  połączonych dźwigni; koniec jednej z nich  $P$  lekko się wpina w rysownicę, na której umieszczony jest wykres, końcem drugiej  $F$  obwodzi się [dokoła wykres; różnica wskazań na liczydło  $u$  jest proporcjonalna do pola wykresu. Przed użyciem planimetru należy sprawdzić jego stałą, oprowadzając pole o znanej powierzchni albo używając do tego celu specjalnej linijki, pozwalającej zatoczyć po papierze końcem planimetru koło o znanej powierzchni lub o znanym promieniu. Orowadza-



Rys. 61.

nie wykresu odbywać się powinno dwukrotnie i to w tym samym kierunku od znaku, zrobionego ołówkiem w dowolnym miejscu na linii wykresu (patrz rys. 61), przyczem, o ile otrzymane różnice odczytów na liczydło planimetru zbyt się różnią, należy oprowadzić wykres poraz trzeci. Mnożąc otrzymaną cyfrę przez stałą planimetru i dzieląc przez podziałkę sprężyny indykatora oraz przez podstawę wykresu, mierzoną na linii atmosferycznej między sty-

czniami do niego a prostopadłami do tej linii, otrzymamy t. zw. średnie ciśnienie.

Więc np. odczyt początkowy na liczydłku wynosi 3278, po oprowadzeniu 3479, po ponownym 3679 (patrz rys. 61); zatem pierwsza różnica stanowi 201, druga 200, średnia więc 200,5, a że stała planimetru jest np. 10, więc pole wyraża się powierzchnią 2005 mm<sup>2</sup>; podzieliwszy tę liczbę przez podstawę wykresu, mierzoną między stycznymi, 106 mm i przez podziałkę indykatora 1 kg/cm<sup>2</sup> = 7 mm, otrzymuje się średnie ciśnienie tego wykresu, jako  $p_i = 2,76 \text{ kg/cm}^2$ .

Podobnie oblicza się średnie ciśnienie dla poszczególnych stron tłoka wszystkich cylindrów i ostatecznie otrzymuje się moc indykowaną np. dla maszyny parowej dwucylindrowej, jeżeli czynna powierzchnia tłoka jest  $F \text{ cm}^2$ , zaś skok cylindra  $s \text{ m}$ , a liczba obrotów wynosi  $n$ , jako:

$$N_i = \frac{(F_{WK} \cdot p_{iWK} + F_{WD} \cdot p_{iWD} + F_{NK} \cdot p_{iNK} + F_{ND} \cdot p_{iND}) s \cdot n}{60 \cdot 75} MK_i.$$

Odpowiednio dla jednocylinrowego silnika spalinowego czterosuwowego o jednostronnem działaniu:

$$N_i = \frac{F \cdot p_i \cdot s \cdot n}{2 \cdot 60 \cdot 75} \text{ KM}_i$$

Zaraz po użyciu powinno się tłoczki z indykatorów wyjąć, dokładnie wszystkie części wytrzeć, wysuszyć i zabezpieczyć od rdzy przez natłuszczenie. Jedno zaniedbanie lub niewłaściwe użycie indykatora może odebrać mu potrzebną dokładność wskazań.

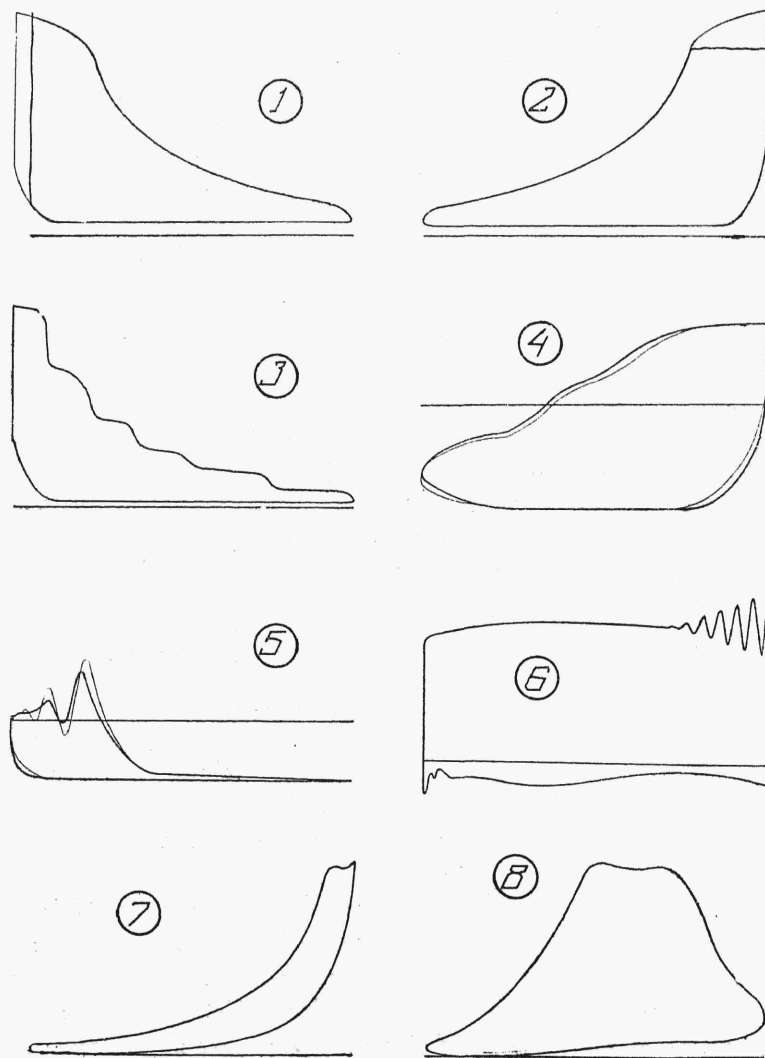
Ponieważ w pobliżu martwego położenia ruch tłoka silników, a więc i ruch bębena indykatora jest bardzo powolny, charakterystyczne a szybkie przemiany, zachodzące zazwyczaj w tem właśnie miejscu (zapłon, wlot przedzwrotowy pary i t.p.), niedość są wyraźnie przedstawiane, wskutek tego do oceny sposobu pracy silnika, lecz nie do oznaczania jego mocy, stosuje się t. zw. wykresy przesunięte. Wykresy te otrzymuje się przez uruchomienie indykatora przy pomocy reduktora skoku, wyprzedzającego tłok silnika o dziewięćdziesiąt stopni czyli, że w położeniu martwym tłoka ma bębenek prędkość największą, a w środkowym osiąga prędkość zero. Na rys. 62/7 i 62/8 przedstawiony jest normalny wykres silnika Diesela i ten sam wykres przesunięty, z którego można doskonale obserwować linję spalania się paliwa w silniku.

#### 4. Błędy wskazań indykatora.

Po za błędami we wskazaniach indykatora jakie pochodzą wskutek wadliwego narysowania wykresu lub złego stanu sprężyny czy indykatora, otrzymuje się częstokroć wykresy, nieodpowiadające istotnemu przebiegowi ciśnień i zmian objętości w silniku także wskutek nieodpowiedniego zmontowania indykatora lub reduktora przy cylindrze maszyny lub wskutek oddziaływania ich ruchomych mas.

Wskutek złego napięcia lub doboru długości sznurka, łączącego bębenek indykatora z reduktorem, może ten ostatni być w ruchu, choć bębenek już doszedł do swego krańcowego położenia, wskutek czego otrzymuje się wykresy obcięte po jednej lub drugiej stronie, więc o mniejszej powierzchni. (Patrz rys. 62/1). O ile sprężyna jest zbyt słaba, to tłoczek natrafia na ograniczenie swego ruchu i wykres zostaje skrócony w kierunku pionowym (rys. 62/2). Gdy przez zbyt silne przyciskanie rysika do papieru sprężyna nie może się swobodnie odkształcać, otrzymuje się podobny, lecz nieco zmieniony wykres (rys. 62/4) (linje grube na rysunku oznaczają wykres nakreślony, linje cienkie — taki, jaki być powinien). O ile tłoczek zacina się indykator daje wykres o linjach schodkowanych

jak na rys. 62/3. Wskutek działania mas ruchomych sprężyny i przyrządu piszącego występują na wykresie indykatora, przy nagłych zmianach ciśnień w cylindrze, falowania linii i to tem większe, im liczba obrotów maszyny jest większa, im większe masy ruchome indykatora i im słabsza



Rys 62.

jest jego sprężyna w stosunku do ciśnień w cylindrze. Rys. 62/6 przedstawia wykres pompy tłokowej, na którym wyraźnie występuje to zjawisko drgania. Aby falowanie linii zmniejszyć należy w danych warunkach użyć sprężyny silniejszej albo, co pociąga za sobą pewne błędy na wykre-

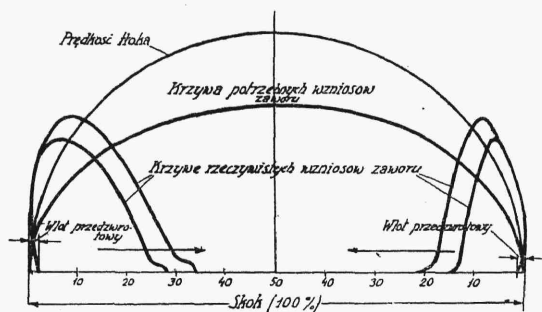
się, przymknąć nieco kurek podczas indykowania lub silniej nacisnąć rysik, wywołując tarcie, zmniejszające jego wychylenia podczas drgań. Rys. 62/5 przedstawia wykres pompy powietrznej, linia cienka odpowiada zdjęciu przy otwartym kurku, linia gruba — nieco przymkniętemu kurkowi.

Indykator może być użyty również do zbadania warunków ruchu zaworów stawidła np. na maszynie parowej lub pompie. W tym celu drążek tłoczka lub sam tłoczek indykatora łączy się sztywno z wrzecionem zaworu w sposób najdogodniejszy przy danej konstrukcji stawidła, a bębnekowi indykatora nadaje się ruch od wału sterowego lub głównego. Przy ruchu silnika rysik kreśli krzywą wzniosów zaworu jako funkcję drogi tłoka, przyczem skoki zaworu są powiększane przy pomocy przyrządu piszącego indykatora zazwyczaj w stosunku 1 : 5.

Otrzymany wykres służyć może do oceny pracy stawidła, czego miarą jest szybkie otwieranie się i zamykanie zaworu i unikanie przez to dławienia przy dopływie do cylindra, a jednocześnie spokojny ruch zaworu bez uderzeń o siedzenie nawet przy większej ilości obrotów.

Szybkość tłoka przy nieskończonej długości korbowodu i przy stałej prędkości obrotowej jest zmienna, a zmienność ta na wykresie przedstawi się jako elipsa. W związku ze zmianą tej prędkości tłoka prędkość podnoszenia się zaworu np. w maszynie parowej również powinna być zmienną, aby otrzymać jednakową prędkość przepływu pary przez zawór. W idealnym organie rozrządczym jego otwarcie powinno być proporcjonalne do szybkości tłoka czyli wykres jego wzniosów powinien być również elipsą.

Zamykanie się zaworu powinno być momentalne czyli odbywać się powinno z nieskończone wielką prędkością opadania, gdyż tylko wówczas możnaby uniknąć dławienia pary. Na wykresie ruchów zaworu przedstawiliby się to jako linia pionowa, prostopadła do linii drogi tłoka. Względny konstrukcyjne nie pozwalają na takie wykonanie stawideł, gdyż przyspieszenia mas w tych warunkach byłyby szkodliwe dla całości zaworów.

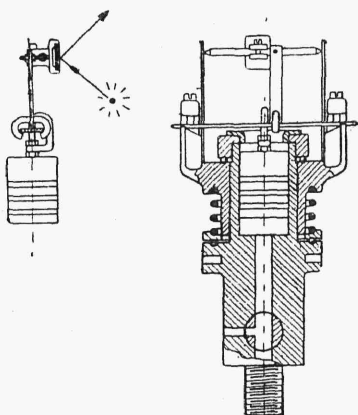


Rys. 63.

Rys. 63 przedstawia wykres ruchu zaworów dolotowych maszyny parowej, zdjętych przy pomocy indykatora oraz elipsę prędkości tłoka, a więc i teoretycznych

wzniosów zaworu. Widać z tego wykresu, że w okresie przemykania dopływu pary przekrój przepływu jest mniejszy od potrzebnego i dzięki

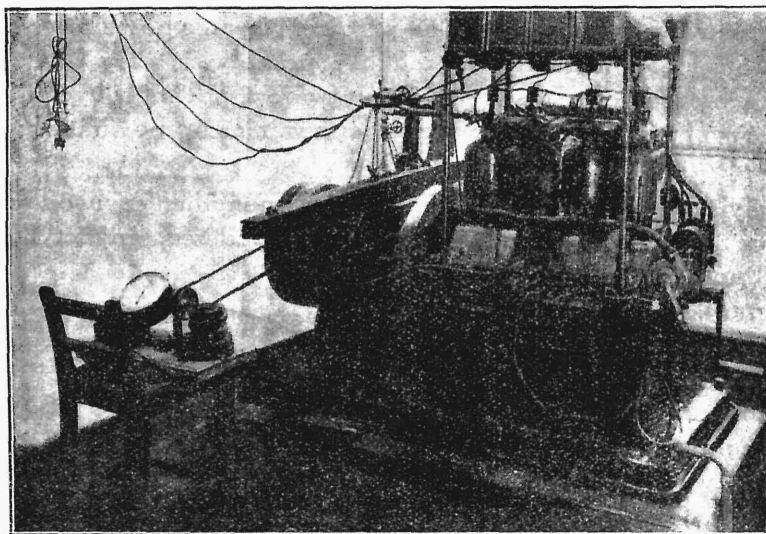
temu następuje dławienie pary. Wykres po lewej stronie odnosi się do stawidła przymusowo sterowanego, po prawej — do wychwytowego (Sulzer).



Rys. 64.

Wobec wzrostu w ostatnich czasach liczby obrotów silników spaliniowych znacznie ponad  $n = 1000$ , działanie mas indykatora staje się w tych wypadkach tak silne, że nawet specjalnie budowany indykator, o przyrządzie mechanicznie kreszącym ciśnienia, przy liczbie obrotów ponad  $n = 1200$  nie daje się stosować, zastępuje się go indykato-rem lusterkowym, w których

bardzo małe odkształcenia sprężyny powiększane są wielokrotnie przy pomocy lusterka i promienia światła, ale dzięki temu wykres otrzymuje się na matówce ciemni fotograficz-



Rys. 65.

nej albo na czułym papierze po wywołaniu go w odpowiedniej kąpeli. Dokładność wskazań takich indykatorów, ze względu na mniejszą proporcjonalność odkształceń ich nader silnych sprężyn, przekładnię ruchu

z silnika na indykator i t. p., jest względna, stąd doskonale one nadają się do jakościowej, a znacznie mniej do ilościowej oceny sposobu pracy badanych silników.

Jako przykład indykatora lusterkowego służyć może konstrukcja Hopkinsona, podana na rys. 64, który, jak i inne indykatory tego typu, jest umieszczony w ciemni fotograficznej. Sprężynę reprezentuje w tym indykatorze stalowa sztabka, dająca większą proporcjonalność odkształceń od przepony, stosowanej w innych konstrukcjach. Ciśnienia na tę sprężynę przenoszą się z cylindra silnika kanałem, zamykanym przy pomocy kurka, poczem działają na tłoczek, dokładnie wtarty w cylinderek indykatora, i na sprężynę. Ruch tej sprężystej sztabki i tłoczka zamienia się, przy pomocy nader lekkiego mechanizmu korbowego, na wahliwie-zwrotny — lusterka, osadzonego ekscentrycznie na wałku ponad sprężyną. Kąt obrotu lusterka odpowiada, w pewnym stosunku przekładni, ruchowi tłoczka, względnie odkształceniu sprężyny. W miarę jak ciśnienia pod tłoczkiem się zmieniają, lusterko waha się o pewien kąt, a promień światła na lusterko rzucony z małej lampki elektrycznej zostaje również odbity od niego o kąt, proporcjonalny do ciśnienia wywartego na tłoczek i sprężynę. Ruchy tłoka silnika przenoszone są przy pomocy odpowiedniej przekładni z wału wykorbionego na oprawę indykatora, która umieszczona na łożyskach kulkowych może się poruszać ruchem zwrotnym.

Rys. 65 przedstawia zmontowane na szybkobieżnym silniku benzynowym cztery indykatory lusterkowe, skąd wyraźnie widać matówki oraz cztery lampki rzucające promień światła na lusterka.

## II. Badanie paliwa stałego.

### 1. Branie próbki.

Wobec tego, że badamy paliwo tylko w postaci próbki i z własności tej drobnej ilości paliwa sądzimy o wielkich, wielotonowych transportach, sposób wzięcia próbki, przy tak niejednorodnym materiale, jakim jest materiał opałowy stały, ma ogromny wpływ na późniejsze oznaczenia. Aby pod tym względem uniknąć większych błędów i wpływów subiektywnych, branie próbek odbywa się według pewnych norm. Mianowicie z paliwa dostarczanego do palenisk czy też w wagonów na skład, z każdego wózka, taczki czy czerpaka odrzuca się taką samą ilość np. jedną łopatę. Tak otrzymane paliwo układa się na kamiennej, zamiecionej i suchej podłodze w prostokąt; o ile opał jest w większych bryłach tłucze się go, poczem materiał opałowy z dwóch trójkątów przeciwległych np. 1 i 2 (patrz rys. 66), utworzonych przez przekątnie, układa się w nowy prostokąt, znów