

3. URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE.

Pomiary doświadczalne, wykonywane w tunelach aerodynamicznych, wymagają stosowania różnych prędkości wiatru. Tem samym jest rzeczą konieczną posługiwanie się takimi urządzeniami elektrycznymi, któreby pozwalały na dokładną regulację obrotów wentylatora od najmniejszych do największych. Wyszczególnienie zastosowanych urządzeń podajemy poniżej.

Urządzenia elektryczne do tunelu o średnicy 1,0 m.

Do napędu wentylatora użyto jako źródła energii prądu zmiennego o napięciu 220 Voltów, dostarczanego przez elektrownię warszawską.

Prąd dostarczony zostaje doprowadzony do przetwornicy systemu Ward-Leonarda, która składa się z silnika prądu trójfazowego, uruchamiającego prądnicę prądu stałego oraz wzbudnicę. Dla umożliwienia dostatecznie ciągłej regulacji obrotów zastosowano oporniki o wielu drobnych sekcjach.

Dane charakterystyczne maszyn elektrycznych są następujące:

1. Silnik na prąd trójfazowy o mocy 46,3 kW przy 220 Voltach, 1460 obr/min. i częstotliwości 50 okresów na sekundę.
2. Prądnica prądu stałego, jako źródło prądu dla silnika sprzęgniętego z wentylatorem, o mocy od 0 do 42 kW, pracująca przy napięciu 0 do 230 Voltach.
3. Wzbudnica na prąd stały, jako źródło prądu do wzbudzania pola prądnicy prądu stałego oraz silnika. Moc 2,5 kW przy 230 Voltach.
4. Silnik prądu stałego, sprzęgnięty z wentylatorem o mocy 50 KM przy 220 Voltach, i 1200 obr/min.

Silnik do tunelu o średnicy 1,1 m.

Do napędu wentylatora użyto bezpośrednio prądu zmiennego trójfazowego o napięciu 220 Voltów, który zostaje doprowadzony do silnika pierścieniowego o mocy 26 kW przy 1450 obr/min i częstotliwości 50 okresów na sekundę.

W związku ze specjalnymi warunkami pracy silnika i odmiennym niż zwykle rodzajem jego umocowania, różni się on pod względem budowy od silników normalnie używanych. Silnik ten nie posiada łożysk, a na korpusie jego wykonano dwa, współśrodkowe z osią wału, pierścienie, służące do zawieszenia silnika na specjalnych bandażach żelaznych. Wolny koniec wałka został zatoczony stożkowo i nagwintowany, celem umożliwienia osadzenia piasty wentylatora. Silnik ten jest umieszczony wewnątrz tunelu i znajduje się w drewnianej odpowiednio ukształtowanej osłonie. Położenie jego w tunelu ustalają osiem prętów żelaznych, zapomocą których jest on przymocowany do ścian tegoż tunelu.

Regulację obrotów do 75% wdół umożliwia dziesięcio-kontaktowy opornik regulacyjny, przyczem obciążenie silnika zmienia się proporcjonalnie do sześciu liczby obrotów.

Ciągłość regulacji obrotów pomiędzy poszczególnymi sekcjami opornika zapewnia dławik o zmiennym współczynniku samoindukcji, który jest włączony w obwód statora silnika napędzającego wentylator tunelu.

Urządzenie elektryczne do tunelu o średnicy 2,5 m.

Do napędu wentylatora użyto jako źródła energii prądu zmiennego o napięciu 5000 Voltów. Prąd ten zostaje przetworzony na prąd stały zapomocą przetwornicy systemu Ward-Leonarda, podobnie jak przy tunelu o średnicy 1 m.

Dane charakterystyczne zespołu maszyn elektrycznych są następujące:

1. Silnik na prąd trójfazowy o mocy 440 kW przy 5000 Voltach, 985 obr/min. i częstotliwości 50 okresów na sekundę.
2. Prądnica prądu stałego o mocy 410 kW przy 520 Voltach.
3. Wzbudnica prądu stałego na 7,5 kW przy 115 Voltach.
4. Silnik prądu stałego sprzęgnięty z wentylatorem o mocy 366 kW przy 500 Voltach i 575 obr/min.

Przetwornice do tunelów o średnicach 1,0 i 2,5 m, jak to widać na tablicy umieszczonej w końcu niniejszego wydawnictwa, ustawione są między lejem odpływowym i bocznymi kanałami obiegowymi dużego tunelu, silniki zaś umieszczone są nazewnątrz tunelów po stronie lejów dopływowych. Zarówno przetwornice jak i silniki zmontowane są na fundamentach niezależnych od całości gmachu.

4. WAGI AERODYNAMICZNE.

Określenie kierunku i wielkości siły wypadkowej, jaką wywiera strumień wiatru na umieszczone w nim ciało, w najogólniejszym przypadku wymaga wykonania sześciu niezależnych pomiarów, wyznaczających wartości składowych siły i składowych momentu pary względem trzech osi prostokątnego układu współrzędnych związanego z ciałem badanym. Wobec tego jednak, że modele ciał badanych w laboratorium aerodynamicznym przeważnie posiadają płaszczyznę symetrii, którą można umieścić w położeniu równoległym do kierunku prędkości wiatru, wyznaczenie kierunku i wielkości siły wypadkowej znajdującej się, jak wiadomo, w tym przypadku w płaszczyźnie symetrii modelu, jest rzeczą mniej skomplikowaną i wymaga wykonania trzech tylko pomiarów.

Pomiary wykonywane w laboratorium aerodynamicznym zapomocą urządzeń wagowych, t. zw. wag aerodynamicznych, przeważnie mają na celu zmierzenie siły nośnej i oporu czołowego badanego modelu oraz określenie momentu siły wypadkowej, działającej na ten model względem pewnej określonej prostej prostopadłej do jego płaszczyzny symetrii.

Wagi aerodynamiczne Instytutu, przystosowane do tego rodzaju pomiarów, stanowią konstrukcję zupełnie odrębną od tego rodzaju przyrządów pomiarowych, używanych do doświadczeń w innych laboratorjach. System ten pozwala na wykonanie całego szeregu różnorodnych doświadczeń bez stosowania dodatkowych urządzeń pomocniczych, przytem obsługa wagi jest bardzo prosta i nie wymaga od personelu wykonywującego normalne pomiary specjalnych kwalifikacyj. Pomiar wykonywa jedna osoba, notując wskazania poszczególnych przyrządów pomiarowych, dogodnie rozmieszczenie których pozwala na szybkie wykonanie odczytów. Do pomocy obserwatorowi dodana jest siła pomocnicza, czynności której polegają na przygotowaniu pomiaru, t. zn. umocowaniu modelu na wadze oraz regulowaniu podczas pomiaru prędkości powietrza w przestrzeni pomiarowej i ustalaniu położenia modelu względem kierunku prędkości strumienia. Wszystkie wagi aerodynamiczne, stosowane w Instytucie, wykonano całkowicie w kraju.

Waga do tunelu o średnicy 1,0 m.

Urządzenie wagowe do tego tunelu przedstawione jest schematycznie na rys. 17. Jak widać, model, którego właściwości aerodynamiczne mają być określone, umieszczony jest w przestrzeni pomiarowej tunelu pomiędzy jego lejami i zawieszony na czterech drutach stalowych.

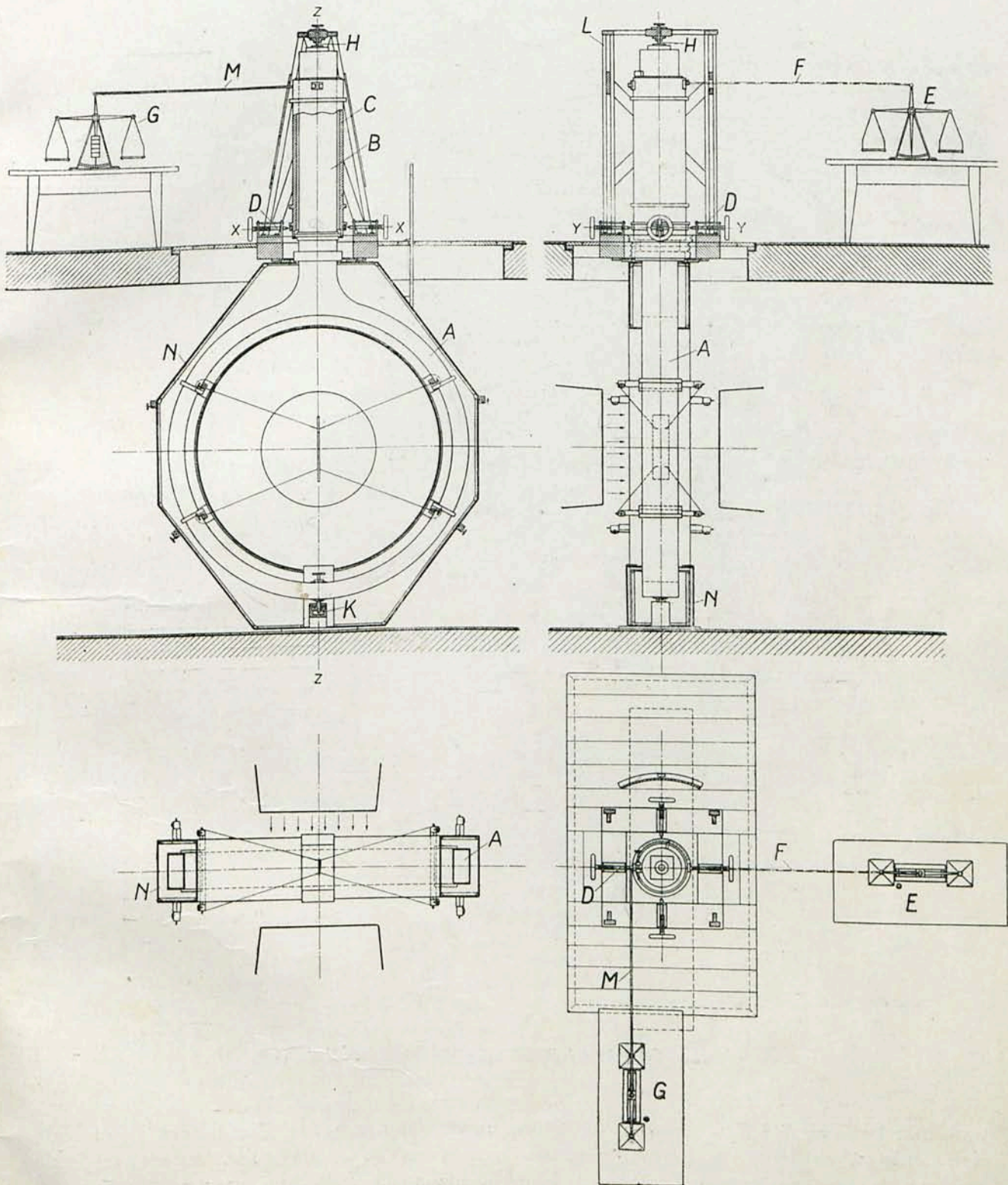
Druty te są mocno naciągnięte zapomocą naprężaczy osadzonych na końcach drewnianych poprzeczek przymocowanych do ramy pierścieniowej *A*. Rama ta o przekroju prostokątnym posiada w górnej części rozszerzenie zakończone kołnierzem i połączona jest zapomocą śrub z rurą *B*, umieszczoną wewnątrz cylindrycznej tulei *C*. Rama pierścieniowa wraz z rurą i tuleją wykonane są z drzewa i pokryte sklejką.

Rurę *B* zabezpieczają przed wysunięciem się z tulei dwa współśrodkowe stalowe pierścienie; jeden z nich przymocowany jest do tulei i służy zarazem jako oparcie oraz prowadzenie dla pierścienia drugiego, przykręconego śrubami do zewnętrznej powierzchni rury.

W dolnej części tulei, na obwodzie przymocowanego do niej stalowego pierścienia, rozmieszczone są symetrycznie cztery gniazda, w których umocowane są łożyska kulkowe. Osie łożysk leżą we wspólnej płaszczyźnie poziomej prostopadłej do osi podłużnej tulei.

Naprzeciwko każdego gniazda łożyskowego przymocowane są do podstawy wagi łożyska, w których osadzone są stalowe trzpienie *D* ze stożkowymi zakończeniami. Trzpienie te mogą być przesuwane wzdłuż osi łożysk nieruchomych i wprowadzane do właściwych gniazd łożyskowych. Dzięki temu, wprowadzając do tych gniazd jedną lub drugą parę

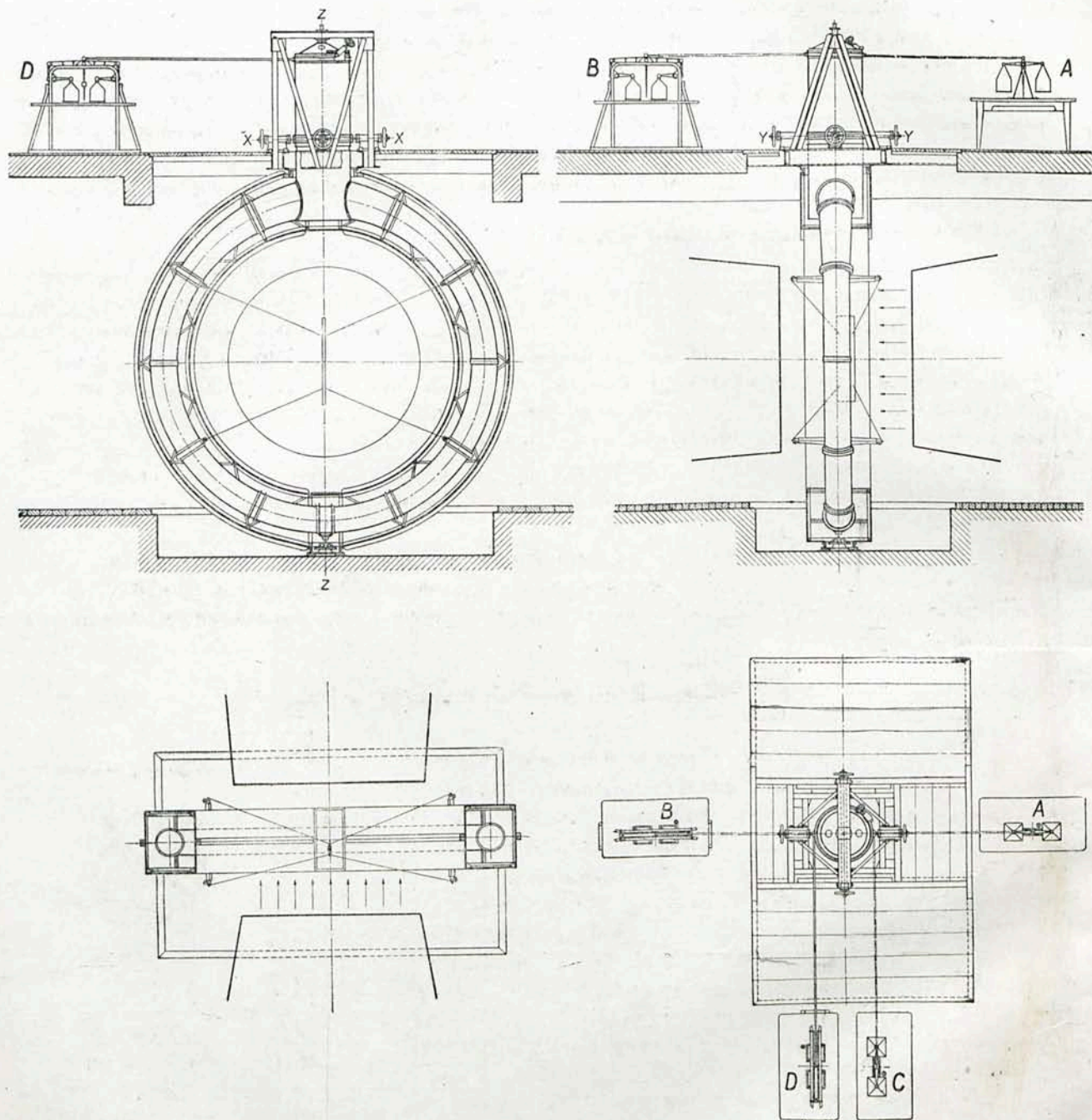
przeciwnych trzpieni, możemy zawiesić wahadłowo ramę pierścieniową wraz z rurą i tuleją na osi $x-x$ celem pomiaru oporu czołowego, albo na osi do niej prostopadłej $y-y$ celem pomiaru siły nośnej. W pierwszym przypadku, moment oporu czołowego względem osi $x-x$ równoważymy na wadze szalkowej E połączonej z tuleją C drążkiem F ; w wypadku drugim moment siły nośnej względem osi $y-y$ możemy zrównoważyć w sposób podobny na wadze G .



Rys. 17. Waga aerodynamiczna do tunelu o średnicy 1,0 m.

Płaszczyznę symetrii modelu umieszcza się przeważnie w takiej odległości od poziomych osi wahania wagi $x-x$ i $y-y$, żeby całkowita przekładnia urządzenia wagowego była 1:1.

Poza dwiema wymienionymi osiami $x-x$ i $y-y$, układ sztywny złożony z ramy, rury i tulei ma jeszcze możliwość obrotu dookoła pionowej osi $z-z$, prostopadłej do dwóch osi poprzednich. Celem umożliwienia obrotu tej części wagi dookoła osi $z-z$, należy, po wpro-



Rys. 18. Waga aerodynamiczna do tunelu o średnicy 2,5 m.

wadzeniu trzpieni H i K w gniazda łożyskowe, umocowane w górnej części rury i pod ramą pierścieniową, wykręcić z łożysk, rozmieszczonych na obwodzie tulei, cztery trzpienie poziome. Uchwyty górnego i dolnego trzpieni osadzone są w koźle L oraz w dolnej części ramy wagi.

Moment siły wypadkowej, działającej na model, względem osi $z-z$ jest równoważony na tej samej wadze szalkowej G , którą posługujemy się do mierzenia siły nośnej. Ze względu na wykonywanie tego dodatkowego pomiaru, drążek M jest umocowany mimośrodowo na tulei C —w przeciwieństwie do drążka F .

Położenie modelu względem kierunku prędkości strumienia, w przypadku zaś modelu płata — kąt natarcia tego płata, można zmieniać, obracając o kąt żądany względem tulei wagi rurę wraz z ramą pierścieniową i zawieszonym na niej modelem.

Waga aerodynamiczna posiada jeszcze dodatkowe urządzenie, a mianowicie osłonę N , która zabezpiecza ramę pierścieniową od działania na nią wprowadzonego w ruch przez strumień roboczy otaczającego powietrza. Oprócz tego osłona może być wykorzystana jako urządzenie pomocnicze przy wykonywaniu pomiarów specjalnych (patrz pomiar płata z lotką str. 28). Osłona, podobnie jak i rama pierścieniowa, może być obracana względem osi $z-z$.

Waga do tunelu o średnicy 2,5 m.

Waga do tego tunelu (rys. 18) pod względem ogólnego układu różni się od wyżej omówionego urządzenia pomiarowego tylko tem, że zamiast dwóch posiada cztery wagi szalkowe. Moment oporu czołowego względem osi $x-x$ może być zatem równoważony na wagach szalkowych A albo B , moment zaś siły nośnej na wagach C lub D . Długości ramion dwóch dodatkowych wag szalkowych tak są dobrane, żeby przy zwykłym zawieszeniu modelu na wadze, całkowita przekładnia urządzenia wagowego była 1:10. W przypadku, gdy posługujemy się dwiema wagami mniejszymi A i C , przekładnia jest 1:1.

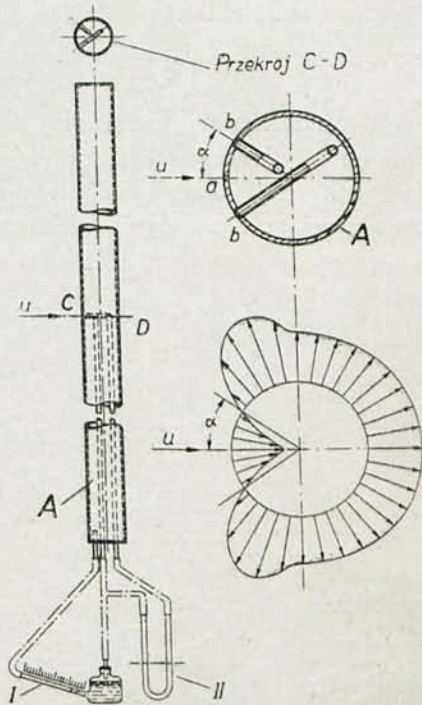
Moment siły wypadkowej, działającej na model względem osi $z-z$, podobnie jak i w wadze poprzedniej, równoważymy na tych samych wagach szalkowych, które służą do pomiaru siły nośnej.

Ramę pierścieniową wraz z jej przedłużeniem rurowym i tuleją wykonano z blachy aluminiowej o grubości 3 mm, pozostałe zaś części jak koziół wagi, jej podstawę oraz wagi szalkowe—ze stali i kształtowników żelaznych. Osłonę ramy pierścieniowej wykonano z drzewa.

5. PRZYRZĄDY POMOCNICZE

Przyrząd do pomiaru prędkości powietrza.

Prędkość przepływu powietrza mierzymy za pomocą rurki pomiarowej A (rys. 19) o przekroju kołowym, którą w tym celu wprowadzamy do wnętrza strumienia i ustawiamy w ten sposób, żeby jej oś podłużna była prostopadła do kierunku prędkości powietrza. W ścianie rurki w przekroju prostopadłym do jej osi podłużnej znajdują się trzy otworki, średnice których wynoszą 0,5 mm. Dwa skrajne otworki b, b umieszczone są symetrycznie względem otworka środkowego a w miejscach, gdzie panuje ciśnienie statyczne, przyczem odległości ich od tego ostatniego ustala się na podstawie wyników pomiarów rozkładu ciśnień na profilu kołowym, posiadającym taką samą średnicę jak i rurka pomiarowa. Oba końce rurki zakryte są denkami, przyczem w jednym z nich przewiercone są otworki, przez które przechodzą trzy cienkie mosiężne rureczki. Jak widać z rysunku, końce dwóch dłuższych rureczek przylutowane są do ścianki rurki w miejscach, gdzie znajdują się otworki b, b , trzecia zaś rureczka przymocowana jest do denka. Wystające na zewnątrz rurki pomiarowej wolne końce rureczek łączy się z kolanami manometrów I i II w sposób



Rys. 19.

podany na rysunku. Na tymże rysunku uwidoczniono również ustawienie otworków b , b oraz położenie jakie zajmuje rurka podczas pomiaru względem kierunku prędkości powietrza. Odpowiednie nastawienie otworków względem przepływającego powietrza uzyskuje się, obracając rurkę pomiarową dookoła jej osi do chwili, aż nastąpi wyrównanie poziomów cieczy w kolanach manometru II.

Prędkość przepływu powietrza u w danym miejscu strumienia określa się drogą pomiaru różnicy ciśnień pomiędzy ciśnieniami jakie panują na powierzchni rurki pomiarowej w miejscach gdzie znajdują się otworek środkowy a (suma ciśnienia statycznego i ciśnienia prędkości) i jeden z otworków skrajnych b (ciśnienie statyczne). Różnica tych ciśnień, mierzona zapomocą manometru I określa, jak wynika z powyższego, ciśnienie prędkości powietrza w danym punkcie przepływającego strumienia.

W przypadkach kiedy chodzi o określenie kierunku prędkości powietrza, posługujemy się również rurką pomiarową A , zaopatrzoną w tym celu we wskazówkę, która wyznacza na skali kąt, jaki tworzy kierunek prędkości z obranym kierunkiem odniesienia.

Przyrząd do pomiaru rozkładu prędkości w strumieniu.

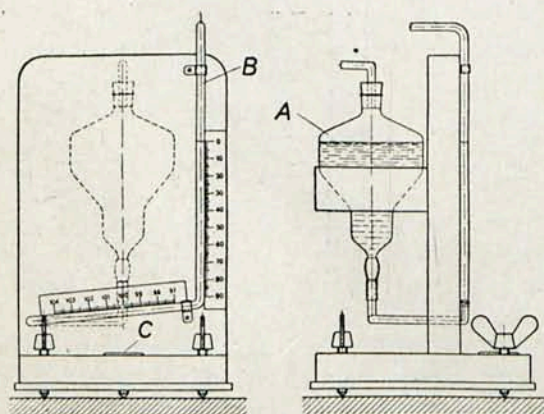
W związku z pomiarami mającymi na celu zbadanie przepływu powietrza w pewnej przestrzeni, zachodzi częstokroć potrzeba określenia, jaki jest rozkład prędkości w przekroju prostopadłym do przepływającego przez tę przestrzeń swobodnego strumienia. Pomiary prędkości w przypadku rozważanym wykonywane są zapomocą rurki, przedstawionej na rys. 20. Jak widać z rysunku, w ścianie rurki przewiercone są otwarki, średnice których



Rys. 20.

wynoszą 0,5 mm; otwarki rozmieszczone są symetrycznie względem płaszczyzny środkowej, prostopadłej do osi podłużnej rurki i leżą wszystkie na jednej z jej tworzących. Wewnątrz rurki pomiarowej przylutowane są do jej ścianki w miejscach, gdzie znajdują się wspomniane otwarki, cienkie mosiężne rureczki, wolne końce których łączy się z manometrami. Podczas pomiaru osie otworków są równoległe, zaś oś podłużna rurki jest prostopadła do kierunku prędkości powietrza.

Jak wynika z powyższego, prędkości przepływu powietrza w poszczególnych miejscach strumienia określa się drogą pomiaru różnic ciśnień pomiędzy ciśnieniami panującymi na powierzchni rurki pomiarowej w miejscach gdzie znajdują się otwarki (suma ciśnienia prędkości i ciśnienia statycznego) i ciśnieniem statycznym w przestrzeni otaczającej przepływający strumień powietrza.

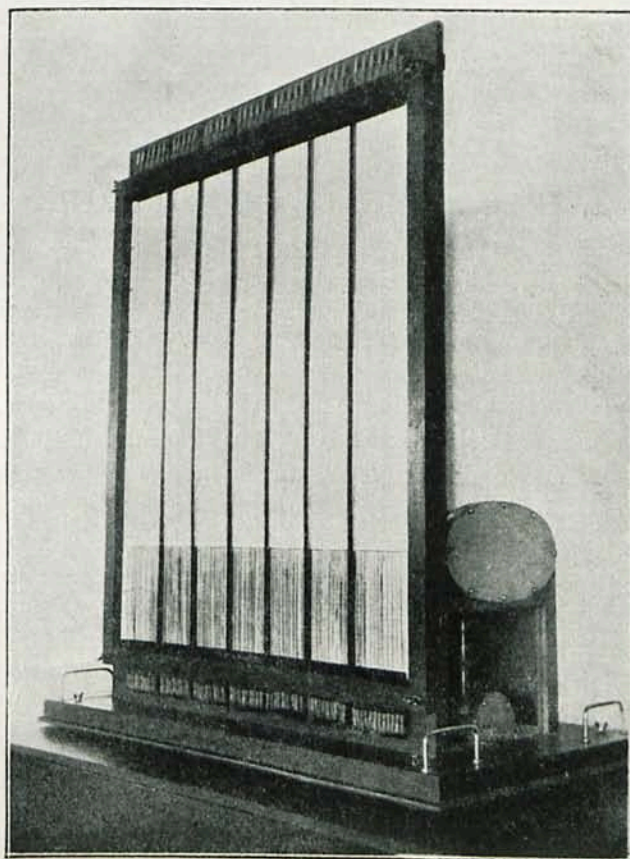


Rys. 21.

Manometry.

Pomiary sił aerodynamicznych, działających na model umieszczony w strumieniu powietrza, wykonywamy przy takiej prędkości przepływu strumienia w przestrzeni pomiarowej tunelu, przy której ciśnienie prędkości q wynosi około 100 kg/m^2 . Ciśnienie prędkości w tych przypadkach mierzymy zapomocą wodnego manometru naczynkowego przedstawionego na rys. 21. Manometr ten składa się z naczynka A , połączonego z odpowiednio wygiętą rurką B , obok której do podstawy manometru przymocowane są dwie skale (pionowa i pochylą).

Obie skale posiadają podziałkę milimetrową, przyczem 1 mm na skali pionowej odpowiada ciśnienie 1 kg/m², 1 mm zaś na skali pochyłej — 0,1 kg/m². W dolnej części podstawy osadzona jest poziomnica C, która umożliwia dokładne ustawienie manometru. Ze względu na to, że wahania ciśnienia w tunelu podczas pomiarów są niewielkie, położenie menisku w rurce może być określone z dokładnością do 1 mm. Poza manometrami, jak wyżej opisany, używamy do pomiarów ciśnienia również naczynkowych manometrów pionowych oraz mikromanometrów pochyłych.



Rys. 22.

W przypadkach, gdy chodzi o określenie rozkładu prędkości w przepływającym strumieniu, ciśnienia prędkości, odpowiadające prędkościom przepływu powietrza w poszczególnych miejscach strumienia, mierzymy zapomocą zespołu manometrów, t. zw. baterji manometrów, która jest przedstawiona na rys. 22. Baterją tą posługujemy się również do pomiarów rozkładu ciśnień na płatach, sterowcach i t. p. innych modelach.