II. Technika doświadczalna

Przed przystąpieniem do wykonywania prac doświadczalnych w tunelu, przeprowadza się szereg pomiarów wstępnych, mających na celu zbadanie przepływu powietrza w przestrzeni pomiarowej oraz sprawdzenie działania przyrządów pomiarowych i urządzeń elektrycznych. W związku z powyższem, zachodzi częstokroć potrzeba wyregulowania tych przyrządów, jak również poczynienia zmian w ukształtowaniu tunelu, celem ujednostajnienia rozkładu prędkości w części użytkowej strumienia oraz zmniejszenia drgań przepływającego w tunelu powietrza. Dalsze pomiary polegają na zmierzeniu średniego kierunku strumienia w przestrzeni pomiarowej oraz określeniu sił wywieranych przez strumień na druty, utrzymujące model. Te ostatnie pomiary wykonywa się celem określenia poprawek, które uwzględnia się następnie przy obliczaniu wyników pomiarów, dotyczących badanych modelów.

Pomiar rozkładu prędkości w strumieniu powietrza.

W związku z badaniami przepływu powietrza w przestrzeni pomiarowej tunelu, przeprowadzane są pomiary rozkładu ciśnień prędkości w kilku przekrojach, przepływającego przez tę przestrzeń strumienia. Zależnie od wymiarów przestrzeni pomiarowej, mierzymy ciśnienia w czterech lub więcej przekrojach, prostopadłych do kierunku ruchu strumienia, w każdym zaś przekroju wzdłuż kilku prostych, przecinających podłużną oś tunelu. Pomiary te wykonywamy zapomocą specjalnej rurki (rys. 20), którą wprowadza się w strumień i ustawia w ten sposób, żeby jej tworząca była prostopadła do kierunku średniej prędkości strumienia, otworek zaś środkowy, wywiercony w ściance rurki, znajdował się na osi podłużnej tunelu. Wystające z rurki pomiarowej końce cienkich rureczek łączymy z odpowiednią liczbą manometrów (baterja manometrów), wskazania których są fotografowane. Opisy obu wymienionych przyrządów pomocniczych podane są w rozdziale poprzednim na str. 20. Przyrządy te umożliwiają wykonanie jednoczesnego pomiaru ciśnień w kilkudziesięciu punktach przekroju strumienia. Celem ułatwienia porównywania wyników pomiarów, wykonanych przy tych samych średnich ciśnieniach prędkości, zdjęcia fotograficzne wykonywane są w chwili, kiedy menisk cieczy w manometrze, zapomocą którego mierzymy ciśnienie w środku strumienia, zajmuje to samo położenie w rurce, jak podczas doświadczeń poprzednich.

Pomiar ciśnienia prędkości w przestrzeni pomiarowej.

Zależnie od rodzaju doświadczeń wykonywanych w tunelach, wymagane bywa możliwie dokładne zachowanie podczas pomiaru:

a) albo określonego zgóry ciśnienia prędkości $q = \frac{\sigma u^2}{2}$

b) albo określonej prędkości powietrza u.

Srednie ciśnienie prędkości powietrza w części użytkowej strumienia, przepływającego przez przestrzeń pomiarową, określamy pośrednio, mianowicie drogą pomiaru ciśnienia statycznego H_s w obranym punkcie wewnątrz tunelu. Między temi ciśnieniami istnieje doświadczalnie stwierdzony związek:

$$q_s = a H_s$$

gdzie a jest spółczynnikiem doświadczalnym.

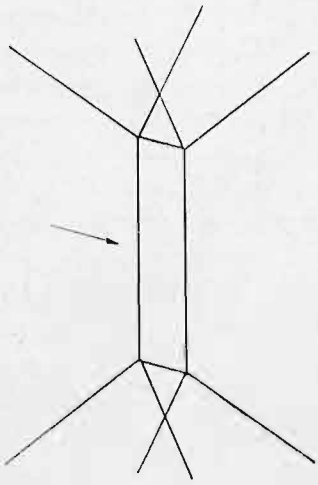
Wobec tego, że większość doświadczeń wykonywamy przy ciśnieniu prędkości $q_s = 100$ kg/m², do pomiaru ciśnienia H_s posługujemy się manometrem podanym na rys. 21. Celem wyeliminowania dodatkowych obliczeń dla określenia ciśnienia q_s, pochyła skala milimetrowa na tym manometrze jest odpowiednio przesunięta, dzięki czemu możemy na niej odczytać bezpośrednio ciśnienie prędkości powietrza w przestrzeni pomiarowej tunelu. Błąd, wynikający z przesunięcia skali, jest rzędu niższego aniżeli dokładność odczytu i dlatego może być pominięty.

Pomiar siły wywieranej przez strumień na druty.

Ponieważ model w czasie pomiaru jest zawieszony na wadze zapomocą drutów, które w znacznej swej części znajdują się w prądzie powietrza, więc wynik każdego pomiaru odnosi się nie do samego modelu, lecz do układu złożonego z modelu i drutów. Wobec tego należy uwzględnić odnośne poprawki, a więc n. p., od całkowitego zmierzonego oporu potrącić opór przypadający na druty. Ze względu na konstrukcję wagi odpowiednie poprawki uwzględnia się również przy obliczeniach dotyczących tak siły nośnej jak i momentu.

Wielkość siły jaką wywiera strumień wyłącznie na druty, utrzymujące model, określamy na podstawie pomiarów dodatkowych. Celem utrzymania drutów dokładnie w takiem samem położeniu, jakie one zajmowały względem ramy wagi podczas pomiaru z modelem, łączymy je dodatkowym drutem w sposób podany na rys. 23.

Opór zastępczego drutu określa się na drodze rachunkowej, korzystając ze znanych spółczynników oporu, i uwzględnia się przy obliczaniu wyżej wspomnianych poprawek.



Rys. 23.

Pomiar kierunku strumienia.

Średni kierunek strumienia w przestrzeni pomiarowej zostaje określony dopiero po zmontowaniu wagi aerodynamicznej drogą pomiaru przy różnych kątach natarcia siły nośnej i oporu czołowego płaskiego płata*) prostokątnego o profilu symetrycznym. Ze względu na możliwą niedokładność w wykonaniu modelu, analogiczne pomiary wykonywuje się po obróceniu płata o kąt 180° dookoła osi, zawierającej cięciwę jego profilu środkowego.

W wyniku odnośnych pomiarów wykonanych w tunelu o średnicy 1,0 m ustalono, że kąt jaki tworzy średni kierunek strumienia z pionową płaszczyzną, zawierającą jedną z poziomych osi wahania wagi y—y (płaszczyzna ta zawiera również oś podłużną tunelu) wynosi 0,5°. Na skutek odchylenia strumienia o kąt ε mierzymy na wadze aerodynamicznej zamiast siły nośnej modelu P_y i jego oporu czołowego P_x w pierwszym przypadku siłę:

$$P'_y = \frac{P_y - P'_x \sin\varepsilon}{\cos\varepsilon}$$

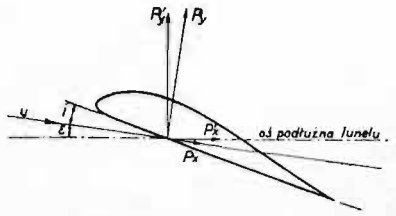
w drugim zaś:

$$P'_x = \frac{P_x + P'_y \sin\varepsilon}{\cos\varepsilon}$$

(patrz rys. 24).

*) Płatem płaskim nazywamy płat o geometrycznie podobnych profilach wzdłuż jego rozpiętości, przyczem wszystkie cięciwy profilów tego płata leżą w jednej płaszczyźnie.

Zakładając w tych równaniach cos $\varepsilon = 1$ ($\varepsilon = 0{,}5^0$), po przekształceniu otrzymamy:



Rys. 24.

$$P_y = P'_y + P'_x \sin \varepsilon$$
$$P_x = P'_x - P'_y \sin \varepsilon.$$

Poprawki, wynikające z powyższych wzorów, stosuje się stale przy obliczaniu wyników pomiarów. Poprawka na siłę nośną jest tak drobna, że może być w wielu przypadkach pomijana.

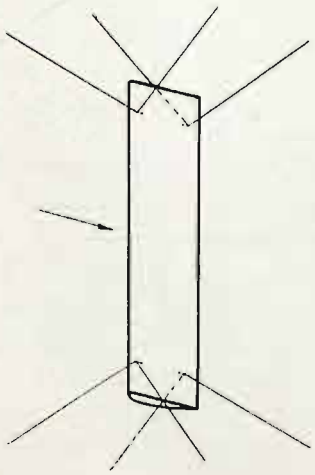
Modele, ich wymiary i wykonanie.

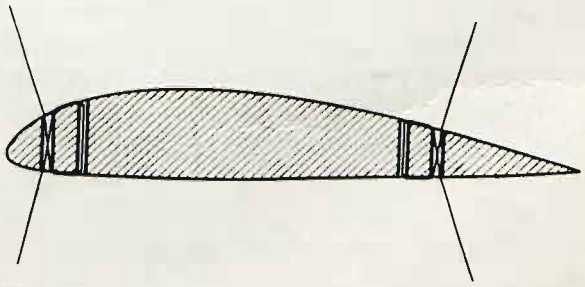
Pomiary sił aerodynamicznych, wywieranych przez strumień powietrza na umieszczone w nim modele, dotyczą najczęściej modelów płatów, płatowców oraz ciał, mających oś lub też płaszczyznę symetrji (sterowce, kadłuby i t. p.). Ze względu na dokładność wyników, modele, przeznaczone do badań w tunelach aerodynamicznych, muszą odpowiadać szeregowi warunków. Przedewszystkiem wielkość modelu, z uwagi na skończoną średnicę strumienia powietrza w przestrzeni pomiarowej, musi być odpowiednio dostosowana do wymiarów strumienia. Pozatem model sam musi być wykonany oczywiście możliwie dokładnie.

Z pośród pomiarów, dotyczących płatów, wyodrębniamy te, które mają na celu określenie właściwości aerodynamicznych płatów płaskich o stałym wzdłuż ich rozpiętości profilu i obrysach, posiadających kształt prostokąta. W związku z tymi pomiarami, celem umożliwienia bezpośredniego porównania ze sobą wyników doświadczeń nad różnemi profilami, ustalony został typ modelu płata o wydłużeniu $\lambda = 5$ i rozpiętości $L = 0{,}5D$, gdzie D oznacza średnicę strumienia powietrza przy wylocie leja odpływowego tunelu. Ogólnie zaś, rozpiętości płatów badanych zawierają się przeważnie w granicach następujących: $0{,}5D \leqslant L \leqslant 0{,}7D$.

Wymiary modelów ciał o kształtach wydłużonych (sterowce, kadłuby) ustala się w ten sposób, żeby największa ich długość nie przekraczała $0{,}6D$, powierzchnia zaś rzutu na płaszczyznę prostopadłą do kierunku prędkości względnej $S \leqslant 0{,}04D^2$.

Poszczególne części modelów, zależnie od ich kształtów i wymiarów, wykonywane są z drzewa lub metalu. Na części drewniane stosuje się jesion, buk i jawor, gdyż, jak wykazały wielokrotne próby, wymienione gatunki drzewa są stosunkowo najbardziej odporne na zmiany wilgotności powietrza.





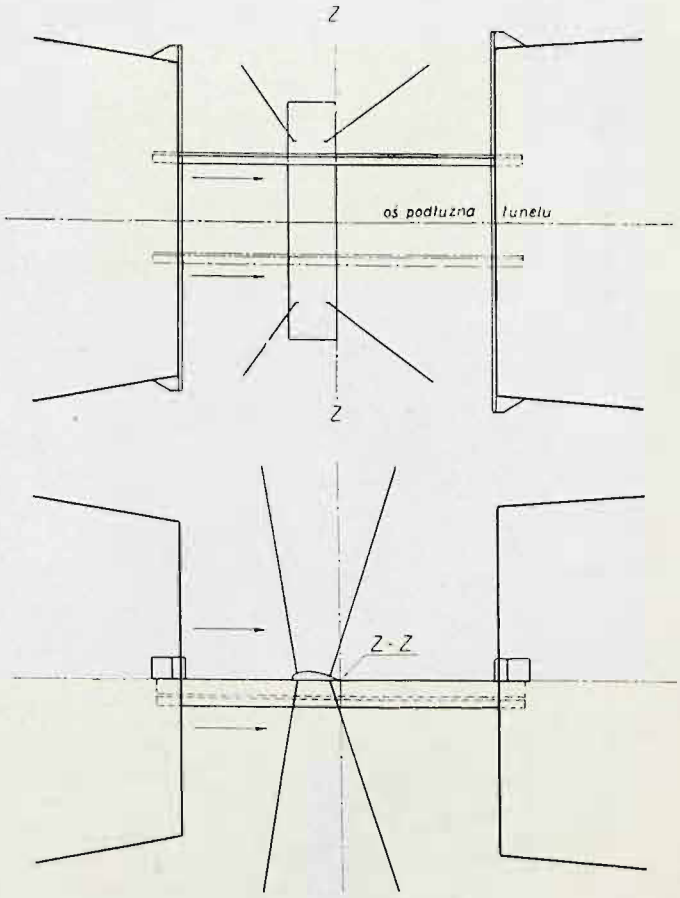
Rys. 25.

Modele obrabiane są ręcznie lub mechanicznie; płaty płaskie o stałym wzdłuż ich rozpiętości profilu obrabia się w sposób mechaniczny zapomocą specjalnych noży, które umocowuje się w uchwycie frezarki, płaty zaś o zmiennym profilu obrabiane są ręcznie. Celem zawieszenia modelu na drutach, każdy model zaopatrzony jest w odpowiednie okucia, uwidocznione na rys. 25.

Pomiary sił aerodynamicznych, działających na modele.

Model ciała, którego właściwości aerodynamiczne mają być określone drogą pomiaru na wadze aerodynamicznej, umieszcza się w przestrzeni pomiarowej tunelu w ściśle z góry określonem położeniu względem trzech płaszczyzn wzajemnie do siebie prostopadłych, a więc płaszczyzny poziomej XOY, zawierającej osie wahania wagi $x-x$ i $y-y$ oraz dwóch płaszczyzn pionowych, przechodzących przez oś wagi $z-z$; jedna z tych płaszczyzn zawiera pozatem oś poziomą $x-x$, druga zaś — oś $y-y$. Dla zorjentowania podajemy na rys. 26 sposób ustawienia typowego modelu płaskiego płata prostokątnego.

Po ustaleniu położenia modelu, zależnie od rodzaju pomiaru, umożliwiamy wadze ruch wahadłowy względem jednej z trzech jej osi wahania $x-x$, $y-y$ lub $z-z$, połączywszy uprzednio tuleję wagi zapomocą drążka z odpowiednią wagą szalkową. Ze względu na to, że środek ciężkości całego układu przy zerowem położeniu wagi szalkowej przeważnie nie znajduje się na osi pionowej $z-z$ i zajmuje pozatem różne położenia, w miarę tego jak zmieniamy kąt natarcia modelu, określa się każdorazowo, przed przystąpieniem do pomiarów sił wywieranych przez strumień na model, wielkość ciężarków, jakie należy położyć na wspomnianej wadze szalkowej, celem doprowadzenia jej do położenia zerowego. Dalsze pomiary polegają na zmierzeniu sił wywieranych przez strumień na układ złożony z drutów i zawieszonego na nich modelu.



Rys. 26.

Na str. 26 przedstawiona jest karta pomiarowa, zawierająca rezultaty pomiarów dotyczących płaskiego płata prostokątnego. W karcie tej:

p'_y, p'_x, p'_m — oznaczają wielkości ciężarków, które były położone na wagach szalkowych, celem doprowadzenia ich do położenia zerowego.

p_y, p_x, p_m — wielkość ciężarków, któremi zrównoważono oddziaływanie strumienia na model i druty.

q'_y, q'_x, q'_m — ciśnienia prędkości w przestrzeni pomiarowej, w przypadkach zaś, gdy pomiary wykonywane są przy ciśnieniach prędkości różnych od $q = 100$ kg/m² — ciśnienia statyczne wewnątrz tunelu.

ε — kąt, jaki tworzy kierunek strumienia z pionową płaszczyzną symetrji tunelu.

r — najkrótsza odległość pionowej osi wagi od osi drążka, łączącego jej tuleję z wagą szalkową, służącą do pomiaru momentów,

INSTYTUT AERODYNAMICZNY
W WARSZAWIE

Karta pomiarowa

Zamawiający: P.Z.L. Karta pracy № 1962 Data pomiaru: 24-IX-1931r

Tunel № I Doświadczenie № 1740 Model № 719 Profil № 336

Rodzaj doświadczenia: Pomiar P_y, P_x, P_m $q = 100$ kg/m². $B = 751$ mm Hg $t = 19$ °C $u = 40{,}54$ m/sek.

Rodzaj modelu:

Płat prostokątny o profilu D.J 3d

Płat ; $S_1 = 0{,}098$ m²; $L_1 = 0{,}7$ m; $l_1 = 0{,}14$ m.

Płat ; $S_2 =$ m²; $L_2 =$ m; $l_2 =$ m.

$S = 0{,}098$ m²

$l = 0{,}14$ m

$\alpha_1^\circ =$

$\alpha_2^\circ =$

$\varepsilon^\circ =$

$\beta^\circ =$

$\beta_2^\circ =$

Ustawienie modelu

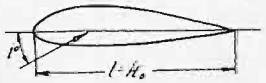
Kąt natarcia i° mierzono względem cięciwy profilu płata

Oś wagi pionowa przystaje do krawędzi wyjścia płata. $k_0 = 0{,}14$ m.

$\varphi_0^\circ = 180^\circ$ względem cięciwy profilu płata

Druty zastępcze: średnica 1 mm. długości 500 mm, 95 mm.

$a = 1$, $\varepsilon^\circ = 0{,}5^\circ$; $K = 1{,}5$; $r = 0{,}25475$ m.



DANE POMIAROWE

Kąt natarcia i° stopnie	Pomiar P_y: P_y g	P_y' g	q_y kg/m²	Pomiar P_x: P_x g	P_x' g	q_x kg/m²	Pomiar P_m: P_m g	P_m' g	q_m kg/m²	Kąt natarcia i° stopnie
30	-112	10200	100,9	-29	3870	100,5	-14	-2620	100,5	30
27,5	-100	11400	100,5	-15	3490	100,3	"	-2930	100,7	27,5
25	-88	12600	100,6	0	3090	100,4	"	-3270	100,5	25
22,5	-76	12800	100,5	15	2600	100,4	"	-3340	100,7	22,5
20	-65	12700	100,8	30	2220	100,0	"	-3370	101,0	20
17,5	-55	12200	100,7	45	1940	100,7	"	-3220	100,0	17,5
15	-47	11220	100,3	60	1640	100,5	"	-2950	100,0	15
12,5	-41	10000	100,6	75	1350	101,0	"	-2600	100,2	12,5
10	-34	8640	100,3	90	1070	100,0	"	-2220	100,8	10
7,5	-27	7300	100,9	105	840	100,9	"	-1820	100,7	7,5
5	-20	5600	100,3	120	610	100,0	"	-1370	100,8	5
2,5	-10	3900	100,5	132	435	100,0	"	-880	101,0	2,5
0	2	2420	100,3	144	335	100,0	-14	-450	100,9	0
-2,5	14	870	100,4	156	265	100,0	"	-10	100,0	-2,5
-5	29	-620	100,0	168	250	100,6	"	420	100,0	-5
-7,5	44	-2000	101,0	180	280	100,0	"	820	100,5	-7,5
-10	59	-2750	100,7	192	940	101,0	-14	960	100,0	-10
-12,5										-12,5
-15										-15

Uwagi:

Czas trwania pomiaru: 3 godz. prąd: 2 godz.

Pomiar wykonał: Jaskulski

INSTYTUT AERODYNAMICZNY
W WARSZAWIE

Karta obliczeniowa

Zamawiający P.Z.L. Karta pracy № 1962 Data pomiaru 24-IX-1931r

Tunel № I Doświadczenie № 1740 Model № 719 Profil № 336

Rodzaj doświadczenia:

Pomiar P_y, P_x, P_m.

$u = 40{,}54$ m/sek; $R \simeq 380000$; $B = 751$ mm Hg; $t = 19$ °C;

$\gamma = 1{,}225 \cdot \frac{B}{760} \cdot \frac{288}{273 + t} = 1{,}1939$ kg/m³; $q = \frac{\gamma \cdot u^2}{2g} = 100$ kg/m²;

Kąt natarcia i mierzono względem cięciwy profilu płata

C_m obliczono względem krawędzi natarcia płata

Rodzaj modelu:

Płat prostokątny o profilu D.J 3d

Płat ; $S_1 = 0{,}098$ m²; $L_1 = 0{,}7$ m; $l_1 = 0{,}14$ m; $k_1 = 5$;

Płat ; $S_2 =$ m²; $L_2 =$ m; $l_2 =$ m; $k_2 =$;

$S = 0{,}098$ m²; $l = 0{,}14$ m².

$\alpha_1^\circ =$; $\alpha_2^\circ =$;

$\varepsilon^\circ =$; $\beta^\circ =$;

$\beta_2^\circ =$;

Uwagi:

Pomiar wykonał: Z. Jaskulski.

Czas trwania pomiaru: 3 godz.

Prąd: 2. godz.

Obliczenia wykonał: W. Chodecka

Czas trwania obliczeń: 2g. 30m.

Sprawdzał: [illegible]

$S = 0{,}098$ m²; $1 : S = 10{,}20$ 1/m²; $q = 100$ kg/m²; $a = 1$; $\sin\varepsilon = 0{,}00873$; $D = 1{,}0135$ m; $f(L) = 1{,}0472$; $(\Delta C_x)_s = 0{,}00159 \cdot \frac{S \cdot f(L)}{D^2} \cdot C_y^2 = 0{,}0001589\, C_y^2$; $\Delta i = 0{,}09128 \cdot \frac{S \cdot f(L)}{D^2} \cdot C_y = 0{,}009113\, C_y$;

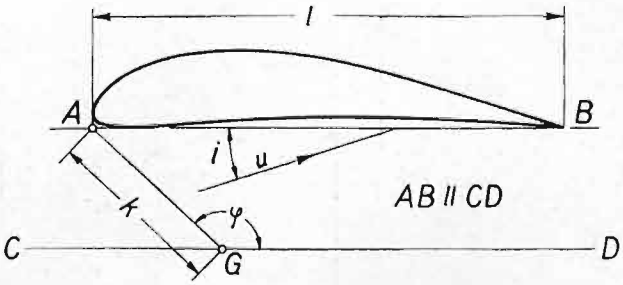
Kąt natarcia i' stopnie	Obliczenie C_y: P'_y gr	P''_y gr	$P'_y = P_y + P''_y$ gr	$q_y = a \cdot q'_y$ kg/m²	$P''_y = q \cdot \frac{P'_y}{q_y}$ gr	$P_y = P''_y - D_y$ gr	Obliczenie C_x: P'_x gr	P''_x gr	$P'_x = P''_x + P''_x$ gr	$q_x = a \cdot q'_x$ kg/m²	$P''_x = q \cdot \frac{P'_x}{q_x}$ gr	$P_x = P''_x - D_x$ gr	$C''_x = \frac{P_x}{1000} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{100}{q}$	$(\Delta C_x)_s = C_y \cdot \sin\varepsilon$	$C'_x = C''_x - (\Delta C_x)_s$	C_y^2	$(\Delta C_x)_s$	Δi stopnie	i' stopnie	Wyniki: $C_y = \frac{P_y}{1000} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{100}{q}$	$C_c = C'_c - (\Delta C_x)_s$	$\frac{C_y}{C_c}$	$i + i' - \Delta i$ stopnie
30	-112	10200	10088	100,9	9998	10092	-29	3870	3841	100,5	3822	3600	36,72	0,90	35,82	10597	1,68	0,9	30	102,94	34,14	3,02	29,1
27,5	-100	11400	11300	100,5	11240	11329	-15	3490	3475	100,3	3465	3238	33,03	1,01	32,02	13354	2,12	1,1	27,5	115,56	29,90	3,87	26,4
25	-88	12600	12512	100,6	12440	12524	0	3090	3090	100,4	3078	2846	29,03	1,12	27,91	16318	2,59	1,2	25	127,74	25,32	5,05	23,8
22,5	-76	12800	12724	100,5	12661	12740	15	2600	2615	100,4	2605	2368	24,15	1,13	23,02	16887	2,68	1,2	22,5	129,95	20,34	6,39	21,3
20	-65	12700	12635	100,8	12535	12607	30	2220	2250	100,0	2250	2008	20,48	1,12	19,36	16535	2,63	1,2	20	128,59	16,73	7,68	18,8
17,5	-55	12200	12145	100,7	12060	12124	45	1940	1985	100,7	1971	1723	17,57	1,08	16,49	15292	2,43	1,1	17,5	123,66	14,06	8,79	16,4
15	-47	11220	11173	100,3	11140	11196	60	1640	1700	100,5	1692	1439	14,68	1,00	13,68	13042	2,07	1,0	15	114,20	11,61	9,84	14,0
12,5	-41	10000	9959	100,6	9900	9946	75	1350	1425	101,0	1411	1153	11,76	0,89	10,88	10292	1,64	0,9	12,5	101,45	9,24	10,97	11,6
10	-34	8640	8606	100,3	8580	8617	90	1070	1160	100,0	1160	898	9,16	0,77	8,39	7725	1,23	0,8	10	87,89	7,16	12,28	9,2
7,5	-27	7300	7273	100,9	7208	7236	105	840	945	100,9	937	673	6,86	0,64	6,22	5448	0,87	0,7	7,5	73,31	5,35	13,76	6,8
5	-20	5600	5580	100,3	5563	5582	120	610	730	100,0	730	465	4,74	0,50	4,24	3242	0,52	0,5	5	56,94	3,72	15,31	4,5
2,5	-10	3900	3890	100,5	3871	3880	132	435	567	100,0	567	301	3,07	0,35	2,72	1567	0,25	0,4	2,5	39,58	2,47	16,02	2,1
0	2	2420	2422	100,3	2415	2415	144	335	479	100,0	479	213	2,17	0,22	1,95	607	0,10	0,2	0	24,63	1,85	13,31	-0,2
−2,5	14	870	884	100,4	880	871	156	265	421	100,0	421	155	1,58	0,08	1,50	79	0,01	0,1	−2,5	8,88	1,49	5,96	-2,6
−5	29	-620	-591	100,0	-591	-610	168	250	418	100,6	416	150	1,53	-0,05	1,58	39	0,01	-0,1	−5	-6,22	1,57	-3,96	-4,9
−7,5	44	-2000	-1956	101,0	-1936	-1964	180	280	460	100,0	460	195	1,99	-0,17	2,16	401	0,06	-0,2	−7,5	-20,03	2,10	-9,54	-7,3
−10	59	-2750	-2691	100,7	-2672	-2709	192	940	1132	101,0	1121	859	8,76	-0,24	9,00	763	0,12	-0,3	−10	-27,63	8,88	-3,11	-9,7

$S = 0{,}098$ m²; $q = 100$ kg/m²; $k_0 = 0{,}14$ m;
$l = 0{,}14$ m; $r = 0{,}25475$ m; $\varphi_0^0 = 180°$;
$S \cdot l = 0{,}01372$ m³; $K = 1{,}5$; $\frac{k_0}{l} = 1$;

$C_{m_0} = \frac{K \cdot r \cdot 100}{q \cdot S \cdot l} \cdot P_m = 27{,}85\, P_m$; $C_m = C_{m_0} - \frac{k_0}{l}\left[C_y \cdot \cos(i - \varphi_0) + C_x \cdot \sin(i - \varphi_0)\right]$; $e\% = \frac{C_m}{C_y \cos i + C_x \sin i} \cdot 100$;

Kąt natarcia i' stopnie	Obliczenie C_{m_0}, C_m i $e\%$: P'_m gr	P''_m gr	$P'_m = P'_m + P''_m$ gr	$q_m = a \cdot q'_m$ kg/m²	$P''_m = q \cdot \frac{P'_m}{q_m}$ gr	$P_m = \frac{P''_m + D_m}{1000}$ kg	$i - \varphi_0$ stopnie	$\cos(i - \varphi_0)$	$\sin(i - \varphi_0)$	$C_y \cdot \cos(i - \varphi_0)$	$C_x \cdot \sin(i - \varphi_0)$	$C_y \cdot \cos(i - \varphi_0) + C_x \cdot \sin(i - \varphi_0)$	$\frac{k_0}{l}\left[C_y \cdot \cos(i - \varphi_0) + C_x \cdot \sin(i - \varphi_0)\right]$	$C_y \cos i$	$C_x \cdot \sin i$	$C_y \cdot \cos i + C_x \cdot \sin i$	Wyniki: C_{m_0}	C_m	$e\%$	i stopnie
30	-14	-2620	-2634	100,5	-2621	-2,630	-150,9	-0,874	-0,486	-89,97	-16,59	-106,56	-106,56	89,97	16,59	106,56	-73,25	33,31	31,26	29,1
27,5	-14	-2930	-2944	100,7	-2924	-2,929	-153,6	-0,896	-0,445	-103,54	-13,30	-116,84	-116,84	103,54	13,30	116,84	-81,57	35,37	30,19	26,4
25	-14	-3270	-3284	100,5	-3268	-3,269	-156,2	-0,915	-0,404	-116,86	-10,23	-127,09	-127,09	116,86	10,23	127,09	-91,04	36,05	28,37	23,8
22,5	-14	-3340	-3354	100,7	-3331	-3,327	-158,7	-0,932	-0,363	-121,11	-7,38	-128,49	-128,49	121,11	7,38	128,49	-92,66	35,83	27,89	21,3
20	-14	-3370	-3384	101,0	-3350	-3,344	-161,2	-0,947	-0,322	-121,77	-5,39	-127,16	-127,16	121,77	5,39	127,16	-93,13	34,03	26,76	18,8
17,5	-14	-3220	-3234	100,0	-3234	-3,239	-163,6	-0,959	-0,282	-118,59	-4,53	-123,12	-123,12	118,59	4,53	123,12	-90,21	32,91	26,73	16,4
15	-14	-2950	-2964	100,0	-2964	-2,959	-166,0	-0,970	-0,242	-110,77	-2,81	-113,58	-113,58	110,77	2,81	113,58	-82,41	31,17	27,44	14,0
12,5	-14	-2600	-2614	100,2	-2609	-2,605	-168,4	-0,980	-0,201	-99,42	-1,86	-101,28	-101,28	99,42	1,86	101,28	-72,55	28,73	28,37	11,6
10	-14	-2220	-2234	100,8	-2216	-2,213	-170,8	-0,987	-0,160	-86,75	-1,14	-87,89	-87,89	86,75	1,14	87,89	-61,63	26,26	29,88	9,2
7,5	-14	-1820	-1834	100,7	-1821	-1,819	-173,2	-0,993	-0,118	-73,29	-0,63	-73,92	-73,92	73,29	0,63	73,92	-50,66	23,26	31,47	6,8
5	-14	-1370	-1384	100,8	-1373	-1,372	-175,5	-0,997	-0,078	-56,77	-0,29	-57,06	-57,06	56,77	0,29	57,06	-38,21	18,85	33,04	4,5
2,5	-14	-880	-894	101,0	-885	-0,884	-177,9	-0,999	-0,037	-39,54	-0,09	-39,63	-39,63	39,54	0,09	39,63	-24,62	15,01	37,88	2,1
0	-14	-450	-464	100,9	-460	-0,460	-180,2	-1,000	0,003	-24,63	0,01	-24,62	-24,62	24,63	-0,01	24,62	-12,31	11,31	47,97	-0,2
−2,5	-14	-10	-24	100,0	-24	-0,025	-182,6	-0,999	0,045	-8,87	0,07	-8,80	-8,80	8,87	-0,07	8,80	-0,70	8,10	92,05	-2,6
−5	-14	420	406	100,0	406	0,405	-184,9	-0,996	0,085	6,20	0,13	6,33	6,33	-6,20	-0,13	-6,33	11,28	4,95	-78,20	-4,9
−7,5	-14	820	806	100,5	802	0,801	-187,3	-0,992	0,127	19,87	0,27	20,14	20,14	-19,87	-0,27	-20,14	22,31	2,17	-10,77	-1,3
−10	-14	960	846	100,0	846	0,844	-189,7	-0,986	0,168	27,24	1,49	28,73	28,73	-27,24	-1,49	-28,73	23,51	-5,22	18,17	-9,7

Znaczenie k_0 i φ_0 wyjaśnia rys. 27.



Rys. 27.

$$Cm_A = Cm_G - \frac{k}{l}\,[Cy\cos(i-\varphi) + C_x\sin(i-\varphi)]$$

Na podstawie danych pomiarowych wyznacza się następnie wartości spółczynników siły nośnej C_y, oporu czołowego C_x, momentu C_m oraz położenie środków parcia przy różnych kątach natarcia płata. Wyniki rachunku zawarte są w karcie obliczeniowej, której reprodukcja podana jest na str. 27. W karcie obliczeniowej:

D — oznacza średnicę strumienia przy wylocie leja odpływowego.

$(\Delta C_x)_2, \Delta i$ — poprawki, uwzględniające wpływ skończonej średnicy strumienia.

D_y, D_x, D_m — poprawki, wynikające z oddziaływania strumienia na druty, utrzymujące model.

W przypadkach, gdy chodzi o określenie właściwości aerodynamicznych płata z lotką przy różnych wychyleniach tej ostatniej, model badany umocowujemy na wadze aerodymicznej w sposób podobny jak to czynimy przy ustawianiu typowego modelu płata. Lotka podczas ustawiania jest zaklinowana w położeniu, odpowiadającem zasadniczemu profilowi płata. Wychylenie lotki względem jej położenia normalnego uskuteczniamy, nie zdejmując modelu z wagi.

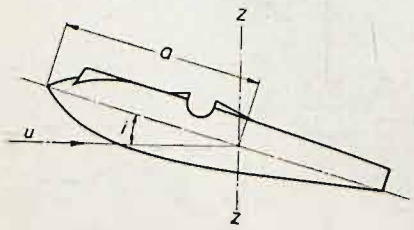
Celem zmierzenia momentu wypadkowej siły aerodynamicznej, działającej na lotkę, względem jej osi obrotu, model płata umocowujemy w ten sposób, że jego część przednią zawieszamy zapomocą drutów na osłonie, lotkę zaś—na wadze. Wychylenie lotki w przypadku rozważanym uskuteczniamy przez zmianę jej ustawienia względem zawieszonej na osłonie przedniej części płata.

Pomiary aerodynamiczne, dotyczące modelu kadłuba, mają na celu:

1. Wyznaczenie jego oporu czołowego P_x, siły nośnej P_y oraz momentu wypadkowej siły aerodynamicznej, nań działającej, względem prostej prostopadłej do płaszczyzny symetrji kadłuba, gdy płaszczyzna ta stale jest równoległa do kierunku prędkości powietrza; przytem zmienia się tylko kąt i (kąt natarcia kadłuba) pomiędzy dwiema płaszczyznami prostopadłemi do płaszczyzny symetrji modelu, z których jedna przechodzi przez oś kadłuba, druga zaś jest równoległa do kierunku prędkości powietrza.
2. Wyznaczenie wartości momentu wypadkowej siły aerodynamicznej względem prostej leżącej w płaszczyźnie symetrji modelu i prostopadłej do kierunku prędkości powietrza, gdy płaszczyzna ta, przy danym kącie natarcia i kadłuba, tworzy określony kąt j z kierunkiem strumienia.

W przypadku pierwszym model kadłuba umocowujemy na wadze w sposób podobny jak to czynimy przy zawieszaniu typowego modelu płata.

W przypadku drugim kadłub jest tak zawieszony, że jego płaszczyzna symetrji przechodzi przez pionową oś $z - z$ wagi. Ustawienie modelu charakteryzuje kąt natarcia i oraz odległość a (rys. 28).



Rys. 28.

Dokładność pomiarów.

W celu wypróbowania dokładności pomiarów, wykonywanych na wagach aerodynamicznych, wykonywane były parę razy pomiary dwukrotne jednego i tego samego modelu płata lub kadłuba przez dwie różne osoby. Przytem, po pierwszym pomiarze, model był zdejmowany z wagi i ustawiany na nowo przez inną osobę do drugiego pomiaru.

Poniżej podajemy wyniki jednego z takich powtarzanych pomiarów, dotyczących modelu płata.

Doświadczenie Nr. 1702

Model Nr. 701 Profil Nr. 330

i°	Cy	Cx	Cm
24,5	117,90	28.56	36,53
22,0	121,06	22,83	34,58
19,5	120,50	19,08	33,12
17,0	118,72	15,87	32,66
14,5	115,42	12,33	30,91
12,0	103,00	9,79	28,39
9,6	88,82	7,32	26,11
7,2	73,50	5,54	22,58
4,7	58,30	3,96	19,62
2,3	38,30	2,49	13,76
—0,1	22,14	1,83	10,14
—2,5	6,36	1,60	6,66
—5,0	— 8,78	1,91	3,59
—7,4	—21,82	3,93	0,96
—9,9	—28,70	10,89	—5,46

Doświadczenie Nr. 1705

Model Nr. 701 Profil Nr. 330

i°	Cy	Cx	Cm
24,5	118,10	28,51	36,93
22,0	120,46	23,17	34,97
19,5	120,00	19,42	33,47
17,0	118,32	15,62	33,08
14,5	115,42	12,27	31,00
12,0	102.90	9,69	28,82
9,6	88,60	7,39	25,84
7,2	73,50	5,42	22,17
4,7	58,40	3,92	19,31
2,3	38,42	2,34	13,61
—0,1	22,20	1,77	10,44
—2,5	6.48	1,50 ~~2,50~~	6,72
—5,0	— 8,66	1.83	3,22
—7,4	—21,64	4,01	0,54
—9,9	—28,96	11,01	—5,74

I. Description générale de l'Institut et de ses installations.

1. BATIMENT

Les photographies ci-dessus représentent l'extérieur de l'Institut (fig. 1 et 2). Pour s'orienter dans son plan général servent également les vues et les plans du bâtiment jointes à la fin de notre publication.

La partie moins élevée du bâtiment, que l'on voit distinctement sur la fig. 2, est occupée entièrement par le laboratoire. Au premier étage se trouve la salle d'expérience de dimensions 43 × 15 m, dans laquelle on a disposé une soufflerie de 1,1 m de diamètre, des balances aérodynamiques et d'autres installations des mesures; c'est également la-bas qu'on a installé les ateliers mécaniques auxiliaires et les chambres où travaille le personnel des souffleries.

Des escaliers particuliers mènent de la salle d'expérience aux deux souffleries (de 1,0 m et de 2,5 m de diamètres), se trouvant au rez-de-chaussée sous la salle d'expérience, à l'atelier de menuiserie et au moteur à courant continu, qui sert pour actioner le ventilateur de la grande soufflerie.

Les places libres entre les canaux latéraux de la grande soufflerie et sa buse d'entrée sont occupées par les installations électriques des souffleries de 2,5 m et de 1,0 m de diamètres. On a disposé d'un côté de la buse d'entrée l'agrégat moteur-générateur du grand tunnel, de l'autre côté — l'agrégat moteur-générateur du tunnel de 1,0 m de diamètre, ainsi qu'un compresseur.

On s'est servi de l'espace entre la buse de sortie de la grande soufflerie et son canal latéral pour y installer l'atelier photographique.

Les moteurs électriques à courant continu, servant à actionner les ventilateurs-hélices des deux souffleries mentionnées ci-dessus, se trouvent à l'extérieur des souffleries et sont disposés, de même que les agrégats moteurs-générateurs, sur des fondations indépendant du bâtiment proprement dit.

Dans le souterrain au-dessous de la soufflerie de 1,0 m de diamètre se trouvent les machines suivantes a travailler le bois: le tour, la fraiseuse, la raboteuse simple, la raboteuse double, la fraiseuse verticale, la scie circulaire, la scie à ruban et la machine à meuler les outils; chacune des machines mentionnées a son moteur électrique propre.

Au second étage de la partie plus élevée du bâtiment se trouvent les salles de travail des assistants et du personnel auxiliaire ainsi que le petit laboratoire. Ce dernier occupe une salle de dimensions 12,4 × 7,9 m, dans laquelle on a placé une soufflerie adaptée à exécuter les mesures aux petites vitesses du vent.

Les cabinets de travail du Directeur de l'Institut et les assistants travaillant dans la section expérimentale se trouvent au premier étage; au même étage il y a un auditoire pour 35 personnes et la salle d'attente.

Le rez-de-chaussée est occupé par l'atelier de menuiserie et l'atelier mécanique ainsi que par les logis du mécanicien et du concierge. L'atelier mécanique possède deux tours, une foreuse verticale et une table de dressage, munie des installations des mesures indispensables pour le montage ou l'exécution des maquettes des avions, des hélices etc.

La salle des chaudières du chauffage central, la station des transformateurs, les magasins du bois et des combustibles se trouvent dans le souterrain.

2. SOUFFLERIES

L'Institut possède maintenant 4 tunnels, dont deux furent construits en même temps que le bâtiment entier; leurs diamètres des buses de sortie sont de 1,0 m et 2,5 m. La troisième soufflerie, de 1,1 m de diamètre, exécutée dans les ateliers propres de l'Institut, fut construite en été 1929. Les trois souffleries mentionnées appartiennent au type des souffleries au circuit fermé et à la veine libre dans l'espace des mesures; la pression statique dans cette dernière pendant les expériences est égale à la pression atmosphérique.

La quatrième soufflerie à la veine guidée, bâtie en 1924, possède l'espace des mesures vitrée; elle est destinée aux travaux expérimentaux, exécutés aux petites vitesses du vent, comme par ex. la prise de vue des écoulements de l'air, l'étalonnage des anémomètres et d'autres appareils des mesures.

Soufflerie de 1,0 m de diamètre.

Ce tunnel, comme l'on voit sur la fig. 3, se compose de deux buses — celle d'entrée et celle de sortie, de quatre coudes, changeant la direction du vent d'un angle de 180°, et de deux canaux latéraux, disposés symétriquement par rapport à l'axe longitudinal du tunnel. Les sections intérieures des buses sont circulaires, les sections des coudes et des canaux de retour — rectangulaires. On a disposé dans chaque coude une paroi directrice.

On avait projeté les formes des deux buses, des coudes et des parois directrices en se basant sur les résultats des calculs, qui avaient pour but d'obtenir l'écoulement uniforme de l'air dans le tunnel *).

A l'endroit où la buse d'entrée aboutit aux coudes, se trouve un ventilateur en bois à deux pales de 1,8 m de diamètre, monté sur un arbre en acier, qui est assemblé au moteur électrique à l'aide d'un manchon élastique. L'arbre et les paliers sont disposés dans une enveloppe cylindrique, formant un tout avec le reste du tunnel. On a attaché le palier qui se trouve tout près derrière le ventilateur, aux murs du tunnel à l'aide de quatre barres en fer fixant sa position.

Dans les parois latérales des canaux de retour il y a plusieurs fenêtres, on a également disposé dans tous les coudes des lampes électriques servant à éclairer l'intérieur du tunnel. L'accès à l'intérieur est assuré par une porte dans une des parois latérales. Le tunnel est exécuté en béton armé.

Les expériences préliminaires ont démontré que la vitesse moyenne de l'air dans l'espace des mesures atteint 60 m/sec, le moteur travaillant à pleine charge (50 CV). On a constaté ensuite que les vitesses de l'air dans les différents endroits de la veine changeaient dans des limites considérables en ce qui concerne la grandeur et la direction, et qu'en même temps l'écoulement de l'air n'était pas uniforme. Les oscillations des vitesses dans la partie centrale étaient égales à ± 3 mm d'eau et sur la périférie s'élevaient jusqu'à ± 15 mm. Certaines vitesses du vent étaient accompagnées par des vibrations de la veine d'une grande intensité; ces dernières entraînaient des vibrations de la construction entière, qui rendaient difficile l'exécution des expériences.

---

*) a) C. Witoszyński. Über Strahlerweiterung und Strahlablenkung. — Vorträge aus dem Gebiete der Hydro und Aerodynamik. Inssbruck 1922, p. 250. — J. Springer, Berlin 1924.

b) Travaux du Laboratoire Aérodynamique de l'Ecole Polytechnique de Varsovie.— Hebdomadaire „Przegląd Techniczny", Varsovie 1925, v. LXIII.

Dans le but d'obtenir l'écoulement le plus uniforme possible et de diminuer les vibrations de l'air, on a exécuté toute une série d'expériences et on tâchait d'obtenir le résultat voulu en changeant la forme intérieure du tunnel. Les changements appliqués finalement sont les suivants: on a diminué les sections des quatre coudes, on a profilé convenablement l'entrée et la sortie des buses et on a remplacé quatre parois directrices en béton-armé par 8 parois directrices en contreplaqué disposées par deux dans chaque coude. A part cela on a placé dans la plus grande section de la buse de sortie un rectificateur à nids d'abeilles aux dimensions 1800 × 1800 × 500 mm, exécutée en contreplaqué de 3 mm et se composant de canaux à section carré de 0,01 m². La fig. 4 représente la forme actuelle du tunnel.

Apres avoir introduit ces changements on a obtenu des résultats suivants: les vibrations de l'air ont diminué, l'écoulement de l'air est devenu plus uniforme et les fluctuations de la pression de vitesse mesurées près de la périphérie de la veine ont diminué jusqu'à 1 mm. d'eau. Mais par suite de l'augmentation des résistances de l'écoulement, la vitesse maximum de l'air dans l'espace des mesures a diminué et est devenue égale à

$$u = 50 \text{ m/sec.}$$

Après avoir introduit dans le tunnel les changements mentionnés ci-dessus, on a mesuré la répartition des pressions dans l'espace des mesures de la façon suivante: on mesurait les pressions dans quatre sections perpendiculaires à la direction de l'écoulement de l'air et dans chaque section le long des quatre droites coupant l'axe longitudinal du tunnel et formant avec le plan horizontal les angles 0°, 45°, 90°, 135°. Les distances entre les sections respectives et l'extrémité de la buse de sortie étaient égales à 30, 220, 720 et 958 mm.

On mesurait la répartition des pressions à l'aide d'un appareil permettant d'exécuter les mesures simultanément aux 32 points de la veine et qui se trouvaient le long d'une droite. Cet appareil était assemblé à un nombre correspondant des manomètres à l'eau; leurs indications étaient photographiées. La description de l'installation pour mesurer la répartition des pressions se trouve sur la page 38. La fig. 5 représente en diagrammes les résultats des mesures de la répartition des vitesses dans la section II de l'espace des mesures. L'on voit sur ces diagrammes que la plus grande oscillation des vitesses des particules de l'air dans la partie utile de la veine ne dépasse pas 0,3 m/sec.

Le tableau I et les diagrammes sur la fig. 6 contiennent les grandeurs caractéristiques suivantes, mesurées ou calculées d'après les résultats des mesures.

a) L'energie cinétique de l'air passant en une seconde par l'espace des mesures, calculée en chevaux-vapeur *(CV)*:

$$N_o = \frac{2\pi}{75} \int_o^{D/2} q_r \, u_r \, dr$$

où u_r et q_r désignent les vitesses de l'écoulement et la pression de la vitesse sur le rayon r. On exécuta ce calcul à l'aide de la méthode graphique, en tenant compte de la répartition réelle des vitesses à l'extrémité de la buse de sortie.

b) N_s — puissance du courant continu à l'entrée du moteur, actionnant le ventilateur exprimée en chevaux-vapeur.

c) Coefficient de qualité de l'ensemble (moteur, ventilateur, tunnel):

$$i_o = \frac{N_o}{N_s}$$

d) Δp — différence entre les pressions statiques, mesurées tout près devant et derrière le ventilateur.

e) q_o — pression moyenne de vitesse dans la partie utile de la section de la veine dans l'espace des mesures.

f) Coefficient moyen de qualité du tunnel:

$$s = \frac{q_o}{\Delta p}$$

Après avoir exécuté les améliorations dont nous venons de parler, on a commencé les mesures concernant la technique aéronautique, reconnaissant l'état du tunnel comme susceptible de garantir l'exactitude suffisante des mesures.

Plus tard, en se basant sur les études exécutées dans un autre tunnel, on a projeté et exécuté pour le tunnel No 1 un ventilateur nouveau, adapté à la répartition réelle des vitesses dans la veine passant par le ventilateur. Les résultats des mesures, exécutées avec ce nouveau ventilateur, sont à voir sur la table II et sur la fig. 7. Nous donnons encore sur la fig. 8 la répartition des pressions statiques sur les parois du tunnel.

Tunnel de 1,1 m de diamètre.

Le tunnel de 1 m de diamètre étant trop chargé par les mesures servant pour les besoins de la technique aéronautique, on a cru indispensable de bâtir un tunnel de dimensions rapprochées aux dimensions du tunnel précédent, dans le but de continuer les études concernant en général l'amélioration du fonctionnement des tunnels. En projetant ce nouveau tunnel on a spécialement fait attention à la possibilité de changer sa forme, il est donc bâti en bois et se compose de huit parties qui sont assemblées à l'aide de boulons.

Ce tunnel, comme l'on voit sur la fig. 9, se compose de deux buses: celle de sortie et celle d'entrée, de deux coudes et d'un seul canal latéral. La buse d'entrée a la forme d'un simple cône tandis que la section de la buse de sortie varie d'une manière continue entre le carré et le cercle. Les sections intérieures des coudes et du canal sont rectangulaires. Dans chaque coude se trouvent des parois directrices en bois, dont la disposition peut être facilement modifiée.

Dans la partie du tunnel située entre la buse d'entrée et le coude se trouve un moteur électrique ainsi qu'un ventilateur à trois pales de 1,8 m de diamètre. Le moteur est placé dans une enveloppe et attaché aux parois de cette partie du tunnel à l'aide de huit barres en fer, fixant sa position. Le ventilateur est monté directement sur l'extrémité libre de l'arbre du moteur.

Pour éliminer autant que possible l'influence de l'élasticité des parois du tunnel, les parois latérales des coudes et du canal rectangulaire sont exécutées en plaques de caoutchouc de 3 mm d'épaisseur.

Dans les parois des coudes et du canal rectangulaire se trouvent les trous d'homme qui rendent possible l'accès à l'intèrieur du tunnel.

Les mesures exécutées après la mise en marche de l'installation du tunnel ont montré que, dans diverses sections transversales, les vibrations de l'air sont peu considérables mais qu'il y a un certain manque d'uniformité de la répartition des vitesses dans la direction horizontale. On a diminué les différences des vitesses en disposant convenablement les parois directrices qui se trouvent dans les coudes du tunnel.

On a établi, à la suite d'expériences postérieures exécutées dans ce tunnel, que la cause principale des vibrations consiste en troubles dans l'écoulement de l'air à la périphérie de la veine dans l'espace des mesures en conséquence de son brusque contact avec l'air entourant presque immobile. L'étude de l'écoulement à la sortie du tunnel a prouvé qu'il est possible de diminuer les vibrations de la veine en introduisant des modifications dans la forme de la sortie du tunnel de sorte que le contact de l'air en mouvement avec l'air en repos soit moins brusque.

Les résultats des mesures exécutées dans le but de déterminer le coefficient de qualité $s = \frac{q_o}{\Delta p}$ sont à voir dans la table III, et, en diagrammes, sur la fig. 10.

Les résultats des mesures de la répartition des vitesses dans la section II de l'espace des mesures sont représentées sur la fig. 11. La différence maximale des vitesses des particules de l'air dans la partie utile de la veine ne dépassait pas 0,5 m/sec.

Tunnel de 2,5 m de diamètre.

Ce tunnel (fig. 13), bâti en même temps que le tunnel de 1 m., est en béton armé. Il se compose de deux buses: celle d'entrée et celle de sortie, ayant les sections circulaires, de quatre coudes et de deux canaux latéraux, dont les sections sont rectangulaires. Dans chaque coude se trouvent deux parois directrices et dans la plus grande section de la buse de sortie on a disposé un rectificateur dont les dimensions sont 4290 × 4280 × 600 mm qui est exécutée en contreplaqué de 6 mm et qui se compose d'une série de petits canaux carrés, dont la section est égale à 0,011 m².

Au fond de la buse d'entrée se trouve un ventilateur en bois à cinq pales de 4 m de diamètre, monté sur un arbre en acier accouplé à l'aide d'un manchon élastique au moteur électrique disposé à l'extérieur du tunnel. Le palier, se trouvant directement à côté du ventilateur, est attaché aux murs du tunnel à l'aide de quatre barres en fer fixant sa position.

Pendant les mesures préliminaires, exécutées après la mise en mouvement de l'installation, on a observé un phénomène tout-à-fait analogue à celui du tunnel de 1 m: de très fortes vibrations de l'air se produisant pour certaines vitesses d'écoulement occassionnaient des vibrations du tunnel et particulièrement des parois de ses canaux latéraux. Les canaux de retour adhérant aux murs du bâtiment, les vibrations du tunnel se communiquaient à ceux-ci. Afin de diminuer les vibrations on a exécuté les modifications suivantes: on a éliminé les canaux latéraux en béton armé, au lieu desquels on a construit des canaux en bois qui n'adhèrent en aucun endroit aux murs du bâtiment. En outre, en se basant sur les résultats des expériences faites dans le tunnel de 1,1 m avec les différentes extrémités de la buse de sortie on a appliqué dans le tunnel en question la garniture de la fig. 12. Les résultats positifs obtenus par l'application de cette garniture de sortie garantissaient suffisamment l'exactitude des mesures sans adopter d'autres modifications de la forme du tunnel.

Les résultats des mesures de la répartition des pressions dans la section II de l'espace des mesures du tunnel mentionné sont représentés sous forme de diagrammes sur la fig. 14. Comme l'on voit, la différence maximale des vitesses des particules de l'air dans la partie utile de la veine ne dépasse pas 0,36 m/sec.

Les résultats des mesures exécutées pour déterminer les coefficients de qualité j_o et s sont présentés dans la table IV et, sous forme de diagrammes, sur la fig. 15.

Tunnel à section rectangulaire 710 x 430 mm.

Ce tunnel à la veine guidée, comme l'on voit d'après la fig. 16, se compose d'une buse fixée à un canal rectangulaire d'une longueur de 2 m et d'un diffuseur qui possède dans sa partie extrême un ventilateur à quatre pales, de 0,8 m de diamètre. Les mesures sont effectuées dans la partie rectangulaire du tunnel qui est vitrée afin de faciliter les observations.

3. INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES.

Les mesures expérimentales exécutées dans les tunnels aérodynamiques exigent souvent l'application des diverses vitesses du vent. Il est donc indispensable de se servir des installations électriques qui permettraient de régler exactement le nombre de tours du ventilateur depuis zéro jusqu'au maximum. Nous donnons ci-dessous la spécification des installations appliquées.

Installation électrique du tunnel de 1,0 m.

On a employé comme source d'énergie pour actionner le ventilateur le courant alternatif de 220 V, fourni par la centrale de Varsovie.

Le courant fourni est mené à l'agrégat moteur-générateur système Ward-Leonard qui se compose d'un moteur triphasé, mettant en mouvement un générateur à courant continu ainsi qu'une excitatrice. Pour pouvoir régler le nombre de tours avec une continuité suffisante on a appliqué des rhéostats à grand nombre des sections.

Les données caractéristiques des machines électriques sont les suivantes:

1. Moteur triphasé (puissance 46,3 kW, tension 220 V, 1460 t. p. m., fréquence 50).
2. Générateur à courant continu servant comme source de courant pour le moteur accouplé au ventilateur (puissance depuis 0 jusqu'à 42 kW, tension depuis 0 jusqu'à 230 V).
3. Excitatrice à courant continu servant comme source de courant pour exciter le champ du générateur et du moteur (puissance 2,5 kW, tension 230 V).
4. Moteur à courant continu accouplé au ventilateur (puissance 50 CV, tension 220 V, jusqu'à 1200 tours par minute).

Moteur du tunnel de 1,1 m.

Pour actionner le ventilateur on s'est servi directement du courant alternatif triphasé de 220 V, qui est conduit au moteur avec un rotor à résistance (puissance 26 kW, 1450 t. p. m. fréquence 50).

Les conditions du travail du moteur étant spéciales et le genre de son montage différent du normal, sa construction diffère de celle des moteurs employés habituellement. Ce moteur ne possède pas de pattes; sur son corps on a disposé deux anneaux concentriques à l'axe de l'arbre, servant à suspendre le moteur sur des bandages en fer spéciaux. Le ventilateur est fixé directement sur l'extremité libre de l'arbre du moteur. Ce moteur est placé à l'intérieur du tunnel et se trouve dans une enveloppe en bois d'une forme convenable. Il est attaché aux murs de ce tunnel à l'aide de huit barres en fer.

Un rhéostat régulateur à dix contacts permet de diminuer le nombre des tours jusqu'à 75%; la charge du moteur change proportionnellement au cube du nombre de tours.

Un régulateur à self induction variable, introduit dans le circuit du stator du moteur actionnant le ventilateur du tunnel, assure la continuité de réglage du nombre de tours entre les sections voisines du rhéostat.

Installations électriques du tunnel de 2,5 m.

La source d'énergie constitue le courant alternatif de 5000 V. Ce courant est transformé en courant continu à l'aide de l'agrégat moteur-générateur système Ward-Leonard, pareillement comme dans le tunnel de 1 m.

Les données caractéristiques de l'ensemble des machines électriques sont les suivantes:

1. Moteur triphasé (puissance 440 kW, tension 5000 V, 985 t. p. m., fréquence 50).
2. Générateur à courant continu (puissance 410 kW, tension 520 V).
3. Excitatrice à courant continu (puissance 7,5 kW, tension 115 V).
4. Moteur à courant continu accouplé au ventilateur (puissance 366 kW, tension 500 V, 575 t. p. m.).

Les agrégats moteurs-générateurs des tunnels de 1,0 m et de 2,5 m, comme l'on voit dans le table se trouvant à la fin de notre publication, sont disposés entre la buse de sortie et les canaux latéraux du grand tunnel; les moteurs sont placés à l'extérieur des tunnels du côté des buses d'entrée. Les agrégats moteurs-générateurs, de même que les moteurs, sont montés sur des fondations indépendantes du bâtiment entier.

4. BALANCES AÉRODYNAMIQUES

Pour pouvoir déterminer la direction et la grandeur de la force résultante exercée sur le corps placé dans la veine de l'air, dans le cas le plus général, il faut exécuter, comme on sait, six mesures indépendantes, qui donnent les valeurs des composantes de la

force et des composantes du couple par rapport à trois axes du système rectangulaire des coordonnées lié au corps examiné. Mais les maquettes des corps examinés dans le laboratoire aérodynamique possédent le plus souvent un plan de symétrie qui peut être disposé parallèlement à la direction de la vitesse du vent; dans ce cas, la force résultante se trouve dans le plan de symétrie de la maquette, donc sa direction et sa grandeur peuvent être determinées à l'aide de trois mesures seulement.

Les mesures exécutées dans le laboratoire à l'aide des balances aérodynamiques, ont le plus souvent pour but de mesurer la force portante et la résistance à l'avancement de la maquette examinée ainsi que de déterminer le moment de la force résultante agissant sur cette maquette par rapport à une certaine droite perpendiculaire à son plan de symétrie.

Les balances aérodynamiques de l'Institut, adaptées à ce genre des mesures, présentent une construction tout-à-fait différente de ce genre des appareils, employées pour les expériences dans les autres laboratoires. Ce système permet d'exécuter toute une série d'expériences différentes sans se servir d'installations auxiliaires; le service de la balance est très simple et n'exige du personnel exécutant les mesures normales aucunes qualifications spéciales. La mesure est exécutée par une seule personne qui inscrit les indications des differents appareils dont la disposition commode permet une prompte lecture des indications. L'expérimentateur dispose d'une personne auxiliaire qui prépare la mesure, c'est-à-dire fixe la maquette sur la balance, règle pendant la mesure la vitesse de l'air dans l'espace des mesures et fixe la position de la maquette par rapport à la direction de la vitesse du vent.

Balance du tunnel de 1,0 m.

La balance de ce tunnel est représentée en schéma sur la fig. 17. Comme l'on voit, la maquette dont les qualités aérodynamiques doivent être déterminées est disposée dans l'espace des mesures du tunnel entre ses buses et suspendue sur quatre fils en acier.

Ces fils sont fortement tendus à l'aide des tendeurs disposés aux extrémités des traverses en bois fixées au cadre annulaire A. Ce cadre à la section rectangulaire est élargi dans sa partie supérieure, terminé par une bride et joint à l'aide des boulons aux tuyau *B* disposé dans la douille cylindrique *C*. Le cadre annulaire ainsi que le tuyau et la douille sont exécutés en bois et couverts de contreplaqué.

Deux anneaux concentriques en acier protègent le tuyau *B* contre le déplacement axial dans la douille; l'un d'eux est fixé à la douille et sert en même temps d'appui et de guide pour le second anneau fixé par des boulons à la surface extérieure du tuyau.

Sur la périphérie de l'anneau en acier fixé à la partie inférieure de la douille sont disposés symétriquement quatre piéces de support contenant des paliers à billes. Les axes des paliers se trouvent dans un plan horizontal commun perpendiculaire à l'axe longitudinal de la douille.

En face de chaque pièce de support on a fixé au soubassement de la balance des paliers dans lesquels se trouvent des goujons en acier D avec des extrémités coniques. On peut déplacer ces goujons le long des axes des paliers immobiles et les introduire dans les paliers à billes se trouvant à l'intérieur de pièces de support. En introduisant dans ces paliers une ou l'autre paire des goujons se trouvant vis-à-vis, nous pouvons faire osciller le cadre annulaire avec le tuyau et la douille autour de l'axe x-x dans le but de mesurer la résistance à l'avancement, ou autour de l'axe perpendiculaire y-y afin de mesurer la force portante. Dans le premier cas nous équilibrons le moment de la résistance à l'avancement par rapport à l'axe x-x sur la balance à plateaux E jointe à la douille C à l'aide de la tige F; dans le second cas nous pouvons équilibrer pareillement le moment de la force portante par rapport à l'axe y-y sur la balance G. On dispose le plus souvent le plan de symétrie de la maquette à une telle distance des axes horizontales de la balance x-x et y-y que la transmission entière de la balance soit 1:1.

Outre deux axes mentionnés x-x et y-y, le système rigide, se composant du cadre, du tuyau et de la douille, peut encore tourner autour de l'axe vertical z-z, perpendiculaire

à deux axes précédents. Pour faire osciller le système autour de l'axe z-z, il faut, après avoir introduit les goujons H et K dans les paliers à billes fixés dans la partie supérieure du tuyau et sous le cadre annulaire, retirer les quatre goujons horizontaux disposés à la périphérie de la douille. Les supports du goujon supérieur et inférieur sont montés sur la construction L et dans la partie inférieure du cadre de la balance.

Le moment de la force résultante agissant sur la maquette par rapport à l'axe z-z est équilibré sur la même balance à plateaux G, dont nous nous servons pour mesurer la force portante. En vue de cette mesure supplémentaire, la tige M est fixé excentriquement à la douille C.

On peut changer l'angle d'incidence ou en général la position de la maquette par rapport à la direction du vent en tournant de l'angle voulu par rapport à la douille de la balance le tuyau avec le cadre annulaire et la maquette suspendue sur ce cadre.

La balance aérodynamique posséde encore une installation supplémentaire et notamment l'enveloppe N qui protège le cadre annulaire contre l'action de l'air entourant, mis en mouvement par la veine utile. On peut également profiter de l'enveloppe comme d'une installation auxiliaire pour l'exécution des mesures spéciales (voir la mesure de l'aile munie de l'aileron, p. 42). L'enveloppe peut tourner par rapport à l'axe z-z, de même que le cadre annulaire.

Balance du tunnel de 2,5 m.

La balance de ce tunnel (fig. 18) diffère, en ce qui concerne sa disposition générale, de l'installation décrite plus haut uniquement par ce qu'elle possède quatre balances à plateaux au lieu de deux. Le moment de résistance à l'avancement par rapport à l'axe x-x peut donc être équilibré sur les balances à plateaux A ou B et le moment de la force portante — sur les balances C ou D. Les longueurs des bras de levier de deux balances à plateaux supplémentaires sont assorties de façon que, la maquette étant ordinairement suspendue sur la balance, la transmission complète de l'installation de balance soit 1:10. Dans le cas lorsque nous nous servons de deux petites balances A et C, la transmission est 1:1.

Nous équilibrons le moment de la force résultante agissant sur la maquette par rapport à l'axe z-z, pareillement comme dans la balance précédente, sur les mêmes balances à plateaux qui servent pour mesurer la force portante.

Le cadre annulaire ainsi que son prolongement cylindrique et sa douile sont exécutés en tôle de l'aluminium de 3 mm. d'épaisseur, les autres parties comme par ex. construction de support de la balance, soit soubassement ainsi que les balances à plateaux — en acier et en fer profilé. L'enveloppe du cadre annulaire est en bois.

5. APPAREILS AUXILIAIRES

Appareil pour mesurer la vitesse de l'air.

Nous mesurons la vitesse de l'écoulement de l'air à l'aide du tube des mesures A (fig. 19), à section circulaire; nous l'introduisons à l'intérieur de la veine de l'air et la disposons de la sorte que son axe longitudinal soit perpendiculaire à la direction de la vitesse de l'air. Dans la paroi du tube, dans la section perpendiculaire à son axe longitudinal, se trouvent trois orifices, dont les diamétres sont égaux à 0,5 mm. Deux orifices extrêmes b, b sont disposés symétriquement par rapport à l'orifice du milieu a, aux points où règne la pression statique; on détermine leur distance, en se basant sur les résultats des mesures de la répartition des pressions sur la section circulaire possédant le même diamétre que le tube des mesures. A ses extrémités le tube possède des couvercles; dans l'un d'eux sont percés des orifices par lesquels passent trois tubes minces en laiton. Comme l'on voit sur le dessin, les extrémités des deux tubes en laiton sont soudés à la paroi du tube aux points où se trouvent les orifices b,b; le troisième tube, plus court, est fixé au couvercle. On joint les extrémités libres des tubes, se trouvant à l'extérieur du tube des mesures, avec les coudes des manomètres I et II comme l'on voit sur le dessin. Nous

voyons également sur la même figure la disposition des orifices *b,b* ainsi que la position du tube pendant la mesure par rapport à la direction de la vitesse de l'air. On obtient la position convenable des orifices par rapport à l'air en mouvement, en tournant le tube de mesures autour de son axe jusqu'au moment quand les niveaux du liquide dans les coudes du manomètre II seront égaux.

On détermine la vitesse *u* de l'écoulement de l'air au point donné de la veine, en mesurant la différence des pressions qui règnent sur la surface du tube des mesures aux points où se trouvent l'orifice du milieu *a* (pression totale) et l'un des orifices extrêmes *b* (pression statique). La différence de ces pressions mesurée à l'aide du manomètre I détermine, comme l'on voit d'après ce que nous venons de dire, la pression due à la vitesse de l'air au point donné de la veine.

Quand il s'agit de déterminer la direction de la vitesse de l'air, nous nous servons également du tube des mesures A muni dans ce but d'une aiguille indiquant sur l'échelle l'angle entre la direction de la vitesse et la direction de référence choisie.

Appareil pour mesurer la répartition des vitesses dans la veine.

En s'occupant des mesures ayant pour but l'examen de l'écoulement de l'air dans une espace donnée, il est souvent nécessaire de déterminer la répartition des vitesses dans les sections différentes normales de la veine libre passant par cette espace. Les mesures des vitesses dans le cas envisagé sont exécutées à l'aide du tube, représenté sur la fig. 20. Comme l'on voit sur cette figure, dans la paroi du tube sont percés les orifices dont les diamètres sont égaux à 0,5 mm; les orifices sont disposés symétriquement par rapport au plan médian perpendiculaire à l'axe longitudinal du tube et se trouvent toutes sur l'une de ses génératrices. A l'intérieur du tube des mesures on a soudé à sa paroi des minces tubes en laiton aux points où se trouvent les orifices mentionnés; les extrémités libres de ces tubes en laiton sont jointes aux manomètres. Pendant les mesures les axes des orifices sont parallèles, et l'axe longitudinal du tube est perpendiculaire à la direction de la vitesse de l'air.

Comme l'on voit de ce que nous venons de dire, on détermine les vitesses de l'écoulement de l'air aux points particuliers de la veine, en mesurant les différences entre les pressions totales règnant sur la surface du tube des mesures aux points où se trouvent les orifices et la pression statique dans l'espace entourant la veine.

Manomètres.

Nous exécutons les mesures des forces aérodynamiques agissant sur la maquette disposée dans le vent dont la pression de vitesse q est à peu près égale à 100 kg/m². On mesure la pression dans ce cas à l'aide d'un manomètre à vase qui est représenté sur la fig. 21. Ce manomètre se compose du vase *A* assemblé au tube *B*, en forme de coude; tout près de ce tube, on a fixé au support du manomètre deux échelles (l'échelle verticale et l'échelle inclinée). Les deux échelles sont graduées en milimètres; à 1 mm de l'échelle verticale correspond la pression de 1 kg/m², à 1 mm de l'échelle inclinée — 0,1 kg/m². On a monté dans la partie inférieure du support un niveau *C*, qui permet de ajuster exactement le manomètre. Puisque les oscillations de pression dans le tunnel pendant les mesures sont peu considérables, la position du ménisque dans le tube peut être déterminée avec l'exactitude de 1 mm. Outre les manomètres que nous venons de décrire, nous nous servons également, pour mesurer la pression, des manomètres ordinaires verticaux et des micromanomètres inclinés.

Quand il s'agit de déterminer la répartition des vitesses dans la veine de l'air, on mesure les pressions totales correspondant aux vitesses de l'écoulement de l'air aux points particuliers de la veine à l'aide d'un ensemble des manomètres, appelé batterie des manomètres qui est représentée sur la fig. 22. Nous nous servons de cette batterie également pour mesurer la répartition des pressions sur les ailes, sur les dirigeables et sur d'autres maquettes.

II. Technique expérimentale.

Avant de commencer les travaux expérimentaux dans le tunnel on exécute une série de mesures préliminaires qui ont pour but d'examiner l'écoulement de l'air dans l'espace des mesures et de vérifier l'action des appareils des mesures et des installations électriques. Il est souvent nécessaire de régler ces appareils ainsi que d'introduire certains modifications dans la forme du tunnel afin de rendre uniforme la répartition des vitesses dans la partie utile de la veine et de diminuer les vibrations de l'air dans le tunnel. Les mesures qui suivent consistent à déterminer la direction moyenne de la veine dans l'espace des mesures et à mesurer les forces exercées par la veine sur les fils supportant la maquette. On exécute ces dernières mesures afin de trouver les corrections qui sont ensuite prises en considération dans les calculs des résultats des mesures concernant les maquettes examinées.

Mesure de la répartition des vitesses dans la veine.

En relation avec l'examen de l'écoulement de l'air dans l'espace des mesures du tunnel, on exécute des mesures de la répartition des pressions dynamiques dans plusieurs sections de la veine qui traverse cet espace. Suivant les dimensions de l'espace des mesures nous déterminons les pressions dans quatre sections ou plus, perpendiculaires à la direction de la veine et dans chaque section le long de quelques droites coupant l'axe longitudinal du tunnel. Nous exécutons ces mesures à l'aide d'un tube spécial (fig. 20) que l'on introduit dans la veine et que l'on dispose de sorte que sa génératrice soit perpendiculaire à la direction de la vitesse moyenne de la veine et que l'orifice central percé dans la paroi du tube se trouve sur l'axe longitudinal du tunnel. Nous relions les extrémités des tubes minces qui se trouvent en dehors du tube des mesures à un nombre correspondant de manomètres (batterie de manomètres) dont les indications sont photographiées.

Les appareils auxiliaires mentionnés sont décrits dans le chapitre précédent à la p. 38. Ces appareils permettent d'accomplir simultanément les mesures des pressions aux nombreux points de section de la veine. Afin de faciliter la comparaison des résultats chaque série de mesures est executée a la même pression régnant au centre de la veine.

Mesure de la vitesse dans la veine.

Nous déterminons la vitesse moyenne de l'air dans la partie utile de la veine indirectement, en mesurant la pression statique H_s à un point quelconque à l'intérieur du tunnel. Il existe entre ces pressions un rapport determiné expérimentalement:

$$q_s = a \cdot H_s$$

où a est le coefficient empirique.

Les mesures sont éxecutées au moyen d'un manomètre incliné avec une échelle déplacée d'une manière convenable pour tenir compte de la correction ci-dessus.

Mesure de la force exercée par la veine sur les fils.

Pendant la mesure la maquette est suspendue sur la balance à l'aide des fils qui, dans leur plus grande partie, se trouvent dans le courant d'air; le résultat de chaque mesure ne se rapporte donc pas à la maquette seule, mais au système se composant de la maquette et des fils. Il faut donc prendre en considération les corrections respectives.

Nous déterminons la grandeur de la force exercée par la veine exclusivement sur les fils qui supportent la maquette en nous basant sur les mesures supplémentaires. Afin de maintenir les fils exactement dans la même position qu'ils occupaient par rapport au cadre de la balance pendant la mesure avec maquette, nous les relions par un fil supplémentaire de la manière représentée sur la fig. 23.

On détermine la résistance du fil supplementaire à l'aide de calculs et en se servant des coefficients de résistance connus et l'on en tient compte en calculant les corrections mentionnées ci-dessus.

Mesure de la direction de la veine.

On ne détermine la direction moyenne de la veine dans l'espace des mesures qu'après le montage de la balance aérodynamique, en mesurant la force portante et la résistance à l'avancement de l'aile plate*) rectangulaire au profil symétrique, pour les angles d'incidence différents. En tenant compte de l'inexactitude possible de la maquette, on effectue des mesures analogues après avoir tourné l'aile de l'angle de 180° autour de l'axe contenant la corde de son profil central.

On a établi, à la suite des mesures correspondantes, exécutées dans la soufflerie de 1,0 m, que l'angle formé par la direction moyenne de la veine et le plan vertical contenant l'un des axes horizontaux de la balance $y - y$ (ce plan contient également l'axe longitudinal de la soufflerie) est égal à 0,5°.

La veine étant déclinée de l'angle ε, nous mesurons sur la balance aérodynamique au lieu de la force portante de la maquette P_y et de sa résistance à l'avancement P_x, dans le premier cas la force:

$$P_y' = \frac{P_y - P_x \sin \varepsilon}{\cos \varepsilon}$$

et dans le second cas:

$$P_x' = \frac{P_x + P_y' \sin \varepsilon}{\cos \varepsilon}$$

(voir fig. 24).

En admettant dans ces équations $\cos \varepsilon = 1$ ($\varepsilon = 0{,}5°$), nous aurons après la transformation:

$$P_y = P_y' + P_x' \sin \varepsilon$$
$$P_x = P_x' - P_y' \sin \varepsilon$$

Les corrections provenant des formules ci-dessus sont appliqués constamment dans les calculs des résultats des mesures. La correction concernant la force portante est tellement minime qu'elle peut souvent être négligée.

Maquettes, leurs dimensions et exécution.

Les mesures des forces aérodynamiques exercées par la veine sur les maquettes qui s'y trouvent placées concernent le plus souvent les maquettes des ailes, des avions

---

*) On appelle aile plate une aile dont les profils le long de son envergure sont géométriquement semblables et dont toutes les cordes se trouvent dans un même plan.

et des corps possédant un axe ou bien un plan de symétrie (dirigeables, fuselages etc.) Pour que les résultats soient exacts, les maquettes destinées aux études dans les souffleries doivent satisfaire à toute une série de conditions. Le diamètre de la veine dans l'espace des mesures étant limité, les dimensions de la maquette doivent être suffisamment petites; en outre la maquette même doit évidemment être exécutée le plus exactement possible.

Parmi les mesures concernant les ailes nous distinguons celles qui ont pour but de déterminer les propriétés aérodynamiques des ailes plates au profil constant le long de leur envergure et aux contours possédant la forme d'un rectangle. Pour pouvoir comparer directement les résultats des expériences avec profils divers, on a fixé le type de la maquette de l'aile à l'allongement $\lambda = 5$ et à l'envergure $L = 0{,}5D$, où D désigne le diamètre de la veine à l'extrémité de la buse de sortie du tunnel. En général, les envergures des ailes examinées sont contenues dans les limites suivantes: $0{,}5D < L < 0{,}7D$.

Les dimensions des maquettes des corps aux formes allongées (dirigeables, fuselages) sont choisies de sorte que leur longueur maximale ne dépasse pas $0{,}6D$ et la surface de sa plus grande section normale soit $S < 0{,}04D^2$.

Les parties respectives des maquettes, suivant leurs formes et dimensions, sont exécutées en bois ou en métal. Pour les parties en bois on se sert du frêne, du hêtre et de l'érable, parce que les espèces de bois mentionnées, comme l'on démontré de multiples essais, sont relativement le plus résistantes aux variations de l'humidité de l'air.

Les maquettes sont travaillées à la main ou mécaniquement; on exécute les ailes plates au profil constant le long de leur envergure mécaniquement à l'aide d'outils spéciaux que l'on fixe dans le support de la fraiseuse; quant aux ailes au profil variable elles sont travaillées à la main. Pour suspendre les maquettes sur des fils, chacune d'elles est munie de piéces métalliques d'assemblage qui sont représentées sur la fig. 25.

Mesures des forces aérodynamiques agissant sur les maquettes.

On place la maquette du corps, dont les propriétés aérodynamiques doivent être déterminées, sur la balance aérodynamique, dans l'espace des mesures du tunnel, dans une position déterminée exactement d'avance par rapport à trois plans réciproquement perpendiculaires, c'est-à-dire au plan horizontal XOY contenant les axes de la balance x-x et y-y et à deux plans verticaux passant par l'axe de la balance z-z; l'un de ces plans contient en outre l'axe horizontal x-x, et le second — l'axe y-y. Nous représentons sur la fig. 26 la maniére typique de disposer la maquette de l'aile plate rectangulaire.

Aprés avoir fixé la position de la maquette suivant le genre de la mesure, nous rendons possible le mouvement pendulaire de la balance par rapport à l'un de ces trois axes x-x, y-y ou z-z, la douille de la balance, ayant été relié préalablement à l'aide d'une tige à la balance à plateaux correspondante. La position de la balance à plateaux étant à 0, le centre de gravité du systèmé entier ne se trouve presque jamais sur l'axe vertical z-z et occupe des positions différentes à mesure que nous faisons varier l'angle d'incidence de la maquette; on définit donc chaque fois, avant de mesurer les forces exercées sur la maquette par la veine, la grandeur des poids qu'il est nécessaire de poser sur la balance à plateaux afin de l'amener dans la position neutre. Les mesures qui suivent consistent à mesurer les forces exercées par la veine sur le système qui se compose de fils et de la maquette.

Nous reproduisons sur la page 26 la feuille des mesures qui contient les résultats des mesures concernant l'aile plate rectangulaire. Dans cette feuille:

p'_y, p'_x, p'_m — désignent les poids qui ont été placés sur les balances à plateaux afin de les amener à la position 0,

p_y, p_x, p_m — les poids qui ont servi à équilibrer l'action de la veine sur les maquettes et les fils.

q'_y, q'_x, q'_m — les pressions dynamiques dans l'espace des mesures et, dans le cas où les mesures sont exécutées avec les pressions dynamiques autres que $q = 100$ kg/m², — les pressions statiques à l'intérieur du tunnel.

ε — l'angle formé par la direction de la veine et le plan vertical de symétrie du tunnel.

r — la plus courte distance entre l'axe vertical de la balance et l'axe de la tige reliant sa douille à la balance à plateaux, qui sert à mesurer les moments.

La fig. 27 explique la signification de k_0 et de φ.

En se basant sur les données des mesures on définit ensuite les valeurs des coefficients de la force portante C_y, de la résistance à l'avancement C_x, du moment C_m ainsi que la position des centres de poussée, pour les angles d'incidence de l'aile différents. Les résultats du calcul sont contenus dans la feuille des calculs, dont nous donnons la reproduction sur la page 27. Dans la feuille des calculs:

D — désigne le diamètre de la veine à l'extrémité de la buse de sortie.

$(\Delta C_x)_2$, Δi — les corrections qui tiennent compte de l'influence du diamètre limité de la veine.

D_y, D_x, D_m — les corrections qui résultent de l'action de la veine sur les fils supportant la maquette.

Dans les cas où il s'agit de déterminer les propriétés aérodynamiques de l'aile munie d'aileron, pour les braquages différents de ce dernier, nous fixons la maquette examinée sur la balance aérodynamique de la même manière que dans le cas de la maquette type de l'aile. L'aileron est calé pendant le montage dans une position correspondante au profil fondamental de l'aile. On braque ensuite l'aileron par rapport à sa position normale sans démonter la maquette de la balance.

Afin de mesurer le moment de la force aérodynamique résultante agissant sur l'aileron, par rapport à son axe de rotation, nous fixons la maquette de l'aile de sorte que sa partie d'avant soit suspendue au moyen de fils à l'enveloppe et l'aileron — à la balance. Nous faisons varier le braquage de l'aileron dans le cas en question, en changeant sa position par rapport à la partie d'avant de l'aile suspendue à l'enveloppe.

Les mesures aérodynamiques concernant la maquette du fuselage ont pour but:

1. de déterminer sa résistance à l'avancement P_x, sa force portante P_y, et le moment de la force aérodynamique résultante agissant sur ce fuselage par rapport à la droite perpendiculaire au plan de symétrie du fuselage, quand ce plan est constamment parallèle à la direction de la vitesse de l'air; on ne fait varier que l'angle i (l'angle d'incidence du fuselage), compris entre les deux plans perpendiculaires au plan de symétrie de la maquette, dont l'un passe par l'axe du fuselage et l'autre est parallèle à la direction de la vitesse de l'air.
2. de déterminer la valeur du moment de la force aérodynamique résultante par rapport à la droite se trouvant dans le plan de symétrie de la maquette et perpendiculaire à la direction de la vitesse de l'air, quand ce plan, l'angle d'incidence i du fuselage étant connu, forme un angle déterminé j avec la direction de la veine.

Dans le premier cas nous fixons la maquette du fuselage sur la balance de la manière ordinaire,

Dans le second cas le fuselage est suspendu de sorte que son plan de symétrie passe par l'axe vertical z-z de la balance. L'angle d'incidence i ainsi que la distance a caractérisent la position de la maquette (fig. 28).

Exactitude des mesures.

Dans le but d'examiner l'exactitude des mesures exécutées sur les balances aérodynamiques, deux personnes ont effectué tour à tour, plusieurs fois, les mêmes mesures sur la même maquette de l'aile ou du fuselage. Après la première mesure on enlevait la maquette de la balance et une autre personne la suspendait de nouveau pour la seconde mesure.

Nous donnons à la page 29 les résultats d'une mesure exécutée deux fois de la sorte sur la maquette de l'aile.