

STOŁOWY TUNEL DLA OBJAŚNIENIA ZJAWISK AERODYNAMICZNYCH

Podczas zajęć zapoznających młodego lotnika z nauką o zjawiskach aerodynamicznych konieczne jest odpowiednie zilustrowanie wykładu doświadczeniami. Temu celowi służy niżej opisany tunel aerodynamiczny wraz z kompletem przyrządów, których wykonanie w zespole nie sprawia poważniejszych trudności. Tunel ten został opracowany i wypróbowany w gabinecie lotniczym leningradzkiego Pałacu Pionierów. *

DYFUZOR TUNELU AERODYNAMICZNEGO

Dyfuzor tunelu stołowego jest to rura o cylindrycznym kształcie, z jednej strony zwężająca się w ścięty lejek. Wewnątrz cylindra, w miejscu przewężenia, znajduje się tak zwana prostownica ulowa z kwadratowymi komórkami, służąca do wyrównania strumienia powietrza i zmniejszenia turbulencji. Ogólny widok dyfuzora przedstawia rys. 1.

Wysokość cylindra do przewężenia wynosi 320 mm, wysokość części „lejkowej“ (gardzieli) 160 mm, całkowita wysokość dyfuzora 480 mm. Średnica wewnętrzna dyfuzora wynosi 240 — 250 mm, a średnica wewnętrzna jego gardzieli 110 mm. Oczko prostownicy jest kwadratowe o boku 30 mm. Szerokość pasków równa się 50 mm.

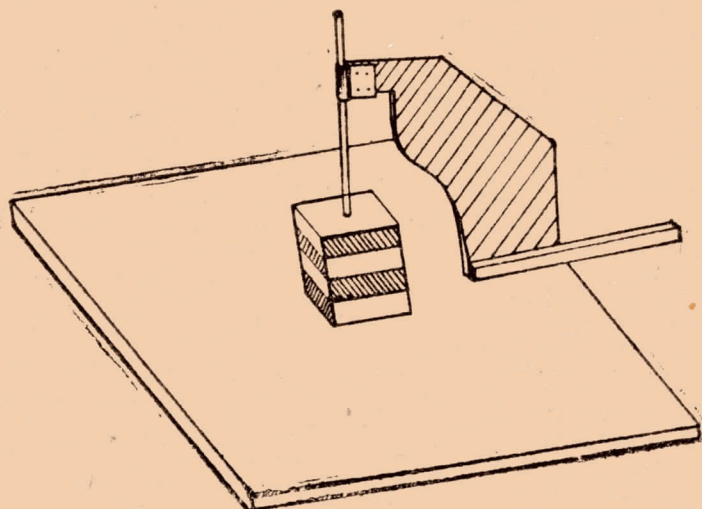
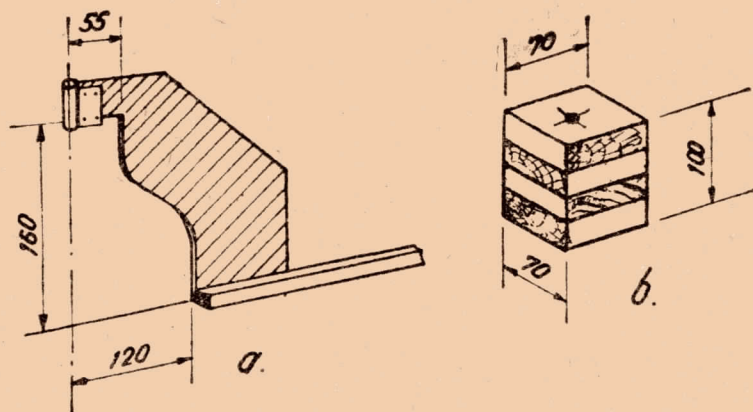
Dyfuzor wykonuje się z grubego papieru według szablonu. Szablonem tym może być rura o podanych wyżej wymiarach, słupek drewniany lub też specjalny szablon wykonany z gliny.

* Opis budowy tunelu oraz przyrządów opracowano na podstawie pracy W. Skobielcyna „W pomoszcz rukowoditielu krużka po aerodynamikie“. Uczpedgiz Moskwa, 1953 r.

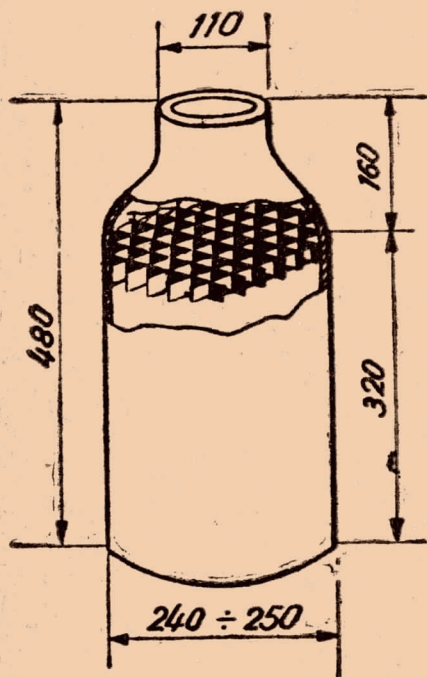
Cylindryczną część dyfuzora sporządza się w sposób następujący. Tnie się pasy papieru (tekturki, kartonu) szerokości 320 mm i długości około 1 000 mm, po czym okleja się wokół szablonu ściśle i równoległe, raz za razem smarując starannie klejem.

Pierwsze owinięcie szablonu wykonuje się bez użycia kleju, aby papier nie przylepił się do szablonu, co utrudniłoby potem zdjęcie cylindra. Ilość papieru „obmotki” zależy od grubości zastosowanego papieru. Doświadczalnie ustalono, że ścianki cylindra są wystarczająco wytrzymałe przy 7 — 8 mm grubości.

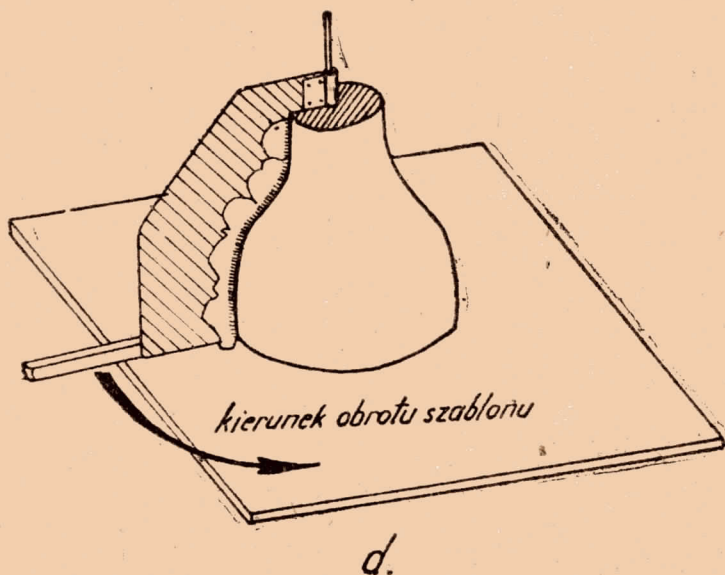
Sklejony cylinder pozostawia się do przeschnięcia w pobliżu pieca lub innego źródła ciepła. Nie jest wskazane wyjmowanie szablonu zaraz po wyschnięciu. Należy to zrobić dopiero wtedy, gdy łączyć będziemy cylinder z gardzielą.



c.



Rys. 1



d.

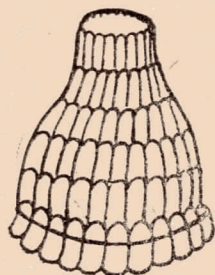
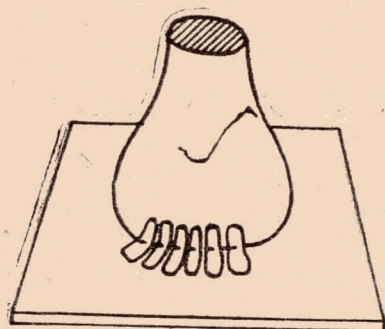
Rys. 2

Do wykonania gardzieli przygotować trzeba specjalny szablon z gliny, na którym następnie formować można właściwy kształt przewężenia.

Sposób przygotowania szablonu z gliny pokazują rysunki 2 a, b, c, d, podające wymiary przyrządu formierskiego, umożliwiającego uzyskanie idealnej symetrii bryły-szablonu.

Szablon wyznaczający profil gardzieli umieszczony jest obrotowo na osi wykonanej z drutu stalowego. Podczas formowania glinianej bryły szablon profilowy należy kilkakrotnie obracać powoli wokół osi, aby jak najdokładniej wygładzić powierzchnię bryły.

Następnie, po wygładzeniu przygotowujemy kłajster z mąki kartoflanej i paski papieru (mogą być nawet gazetowe) o wymiarach orientacyjnych 200 x 200 mm. Z kolei smarujemy całą bryłę-szablon



Rys. 3

oliwą, aby ułatwić późniejsze wyjęcie szablonu, i kleimy paski papieru skrawkami (np. 60 x 60 mm) na zakładkę, jak to uwidoczniono na rysunku 3. Poprzednio podano większy format pasków dlatego, aby można od razu zmaczać kłajstrem większą powierzchnię papieru i aby

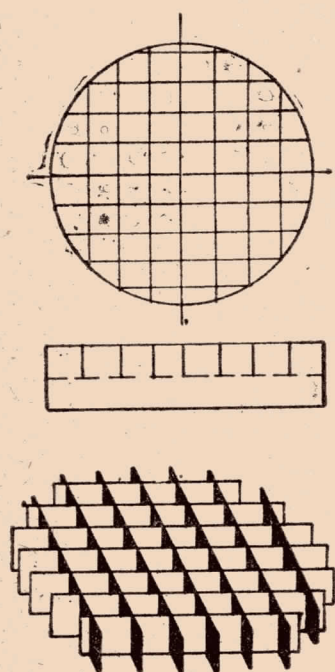
praca postępowała naprzód jak najszybciej. Paski papieru smarujemy obustronnie, a naklejając je w sposób pokazany na rysunkach (szablon gliniany umieszcza się przy tym na desce) otrzymamy silną ściankę papierową powstałą wokół szablonu.

Na pierwszą warstwę papierowych pasków naklejamy z kolei drugą, uważając, by nie pozostawić miejsc niesklejonych, przez które mogłoby przenikać powietrze i osłabić konstrukcję skorupy papierowej.

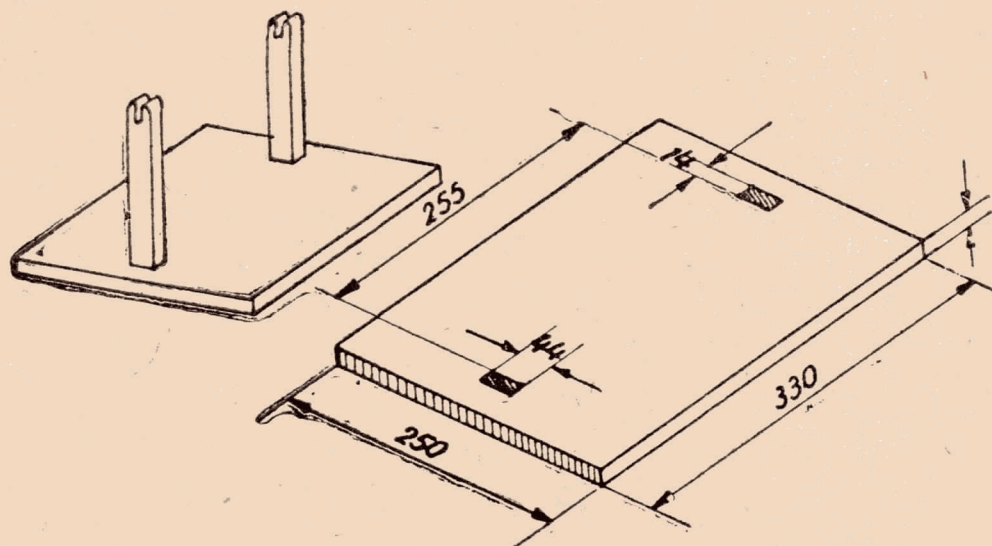
Powierzchnia sklejin musi być gładka, nawet po kilku warstwowym oklejeniu paskami. Ilość warstw papieru zależy tutaj również od jego grubości. Ostateczna grubość ścianki powinna wynosić 6—8 mm i musi odpowiadać grubości ścianek cylindra, szczególnie w miejscu sklejenia cylindra głównego z gardzielą. Warto zaznaczyć, że oklejanie szablonu papierem wykonywać trzeba szybko, aby całość schła prawie równocześnie.

Po całkowitym wyschnięciu kleju ostrożnie należy zdjąć gardziel z szablonu, po czym za pomocą noża oraz pilnika dopasowuje się do siebie otwory tak, aby ścianki pokrywały się. Następnie klejem (najlepiej stolarskim) sklejamy dyfuzor w jedną całość, obciążając do chwili wyschnięcia jakimkolwiek ciężarem. W celu wzmocnienia można łączenie okleić z wierzchu i wewnątrz dyfuzora paskiem papieru lub płótna. Wnętrze dyfuzora należy oczyścić z resztek kleju papierem szklanym.

Potem można wykonać prostownicę ulową. Wykonuje się ją ze sklejki do 2 mm grubości lub też ze sztywnego kartonu. Plan prostownicy oraz sposób łączenia pokazano na rys. 4. Szerokość pasów wynosi 50 mm. Komórki są kwadratowe o boku 30 mm. Poszczególne pasy łączy się klejem stolarskim. Po wyschnięciu wpasowujemy prostownicę do wnętrza dyfuzora tak, aby dochodziła ona aż do przewężenia cylindra, następnie zaś łączy się ją z dyfuzorem za pomocą pasków płótna wklejonych między pasy a wewnątrz cylindra.



Rys. 4

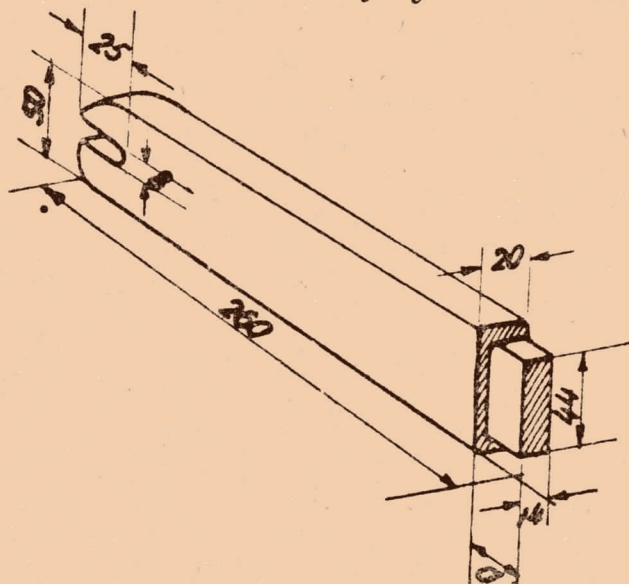


Rys. 5

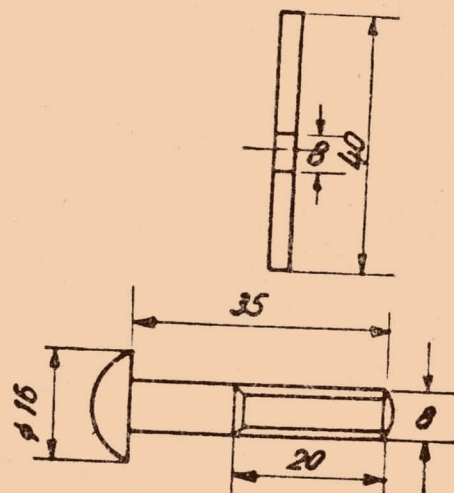
Po całkowitym wyschnięciu kleju można cały dyfuzor na zewnątrz i wewnątrz pomalować lakierem spirytusowym, nitro lub cellonowym.

Dalszą pracą przy tunelu aerodynamicznym będzie wykonanie podstawki, łoża silnika elektrycznego, wentylatora i detali łączenia dyfuzora do podstawki.

Podstawka (rys. 5) składa się z deski, o wymiarach podanych na rysunku, i dwóch stójek. Podstawkę najlepiej sporządzić z twardego drewna, np. dębiny, buczyny lub brzozy, a w ostatecznym wypad-



Rys. 6

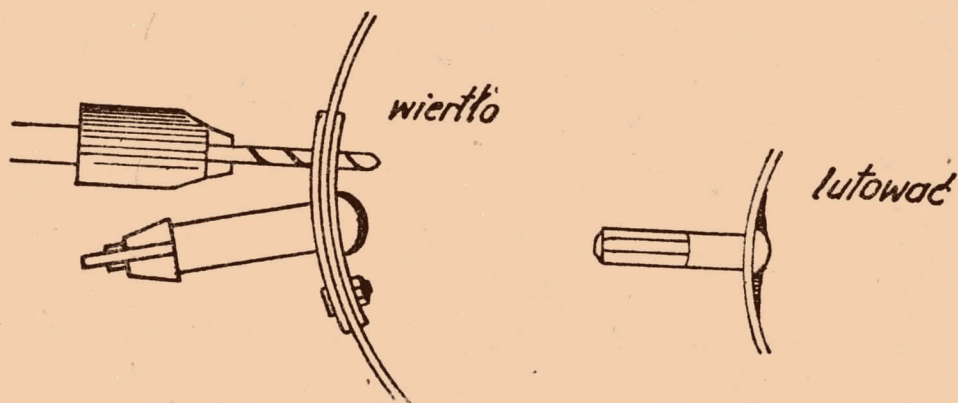


Rys. 7

ku z grubej, wielowarstwowej sklejki. Grubość deski 15 — 20 mm. Wymiar 250 x 330 mm. Stójki wykonuje się z drewna sosnowego o wymiarach podanych na rysunku 6. Wysokość wpustu stójki w podstawkę (oznaczona na rysunku literką *a*) zależy od grubości zastosowanej deski podstawkowej. Stójki przytwierdzamy do deski za pomocą kleju stolarskiego.

Gotową podstawkę przeważnie powleka się jakimś lakierem w celu uodpornienia powierzchni na zanieczyszczenia.

Obecnie można przygotować urządzenie mocujące dyfuzor do podstawki. Składa się ono ze śrub zwykłych, podkładek oraz śrub z nakrętkami motylkowymi. Wymiary śrub i podkładek podano na rysunku 7.



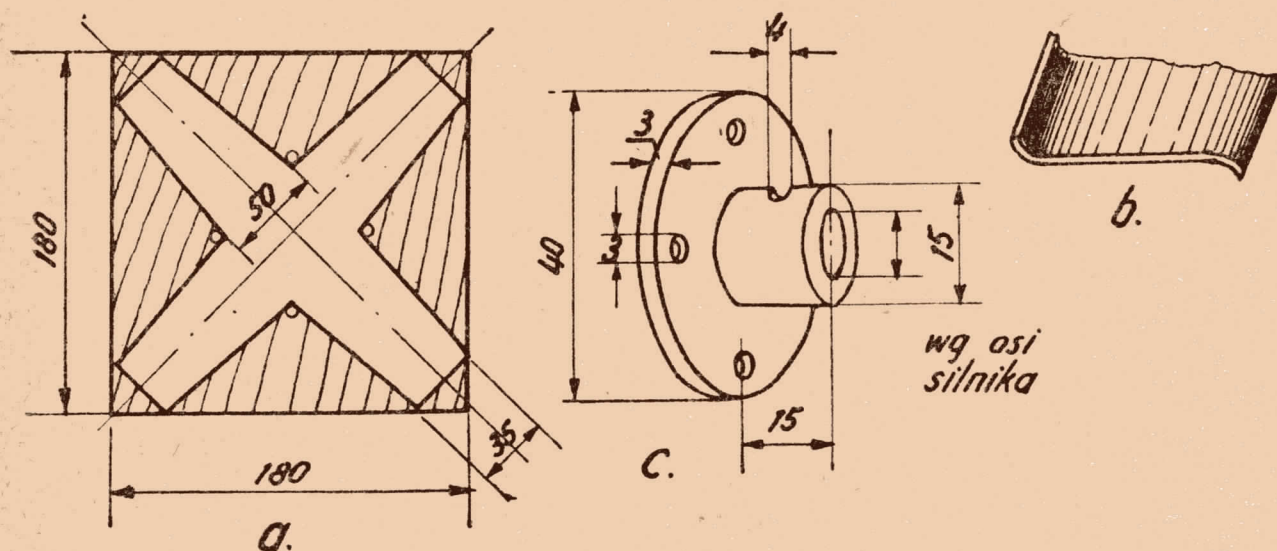
Rys. 8

Sposób założenia śrub i podkładek do ścianki dyfuzora objaśnia rysunek 8, z którego widać, jak muszą być wygięte podkładki, aby obejmowały kołową powierzchnię ścianek dyfuzora.

Odpowiednio wygiętą podkładkę należy przylutować do łba śruby (rys. 8), a następnie włożyć do wnętrza dyfuzora i skrócić małymi śrubami do ścianek. Sposób łączenia i wiercenia otworów na małe śruby mocujące pokazano również na rysunku 8.

WYBÓR I UMOCOWANIE SILNIKA ELEKTRYCZNEGO Z WENTYLATOREM

Aby zapewnić dostatecznie silny strumień powietrza wypływający z dyfuzora, potrzebny jest odpowiedni silnik i wentylator-śmigło. Silnik powinien mieć moc nie mniej niż 50 watów, a najlepiej 60 do 70 watów. Warunki te spełnia silnik od zużytej elektrycznej maszyny do szycia. (Jednofazowy-krótkozwarty, około 1 000 obrotów na minutę).



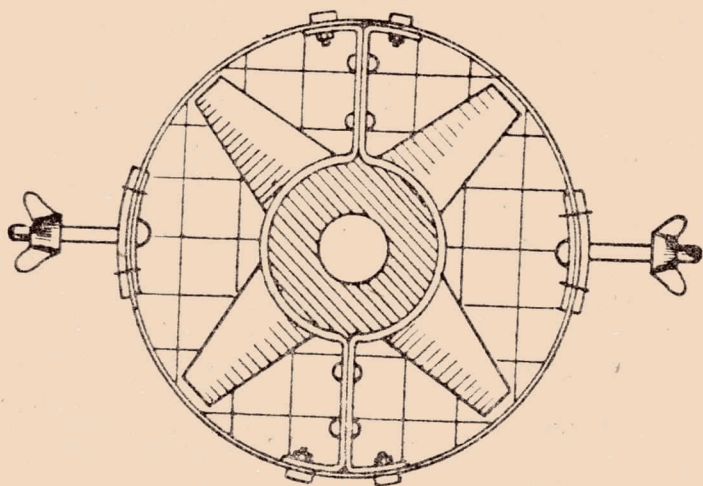
Rys. 9

Zależnie od wielkości silnika można ustalić sposób jego zamocowania. Opisane niżej zamocowanie należy traktować raczej jako przykładowe.

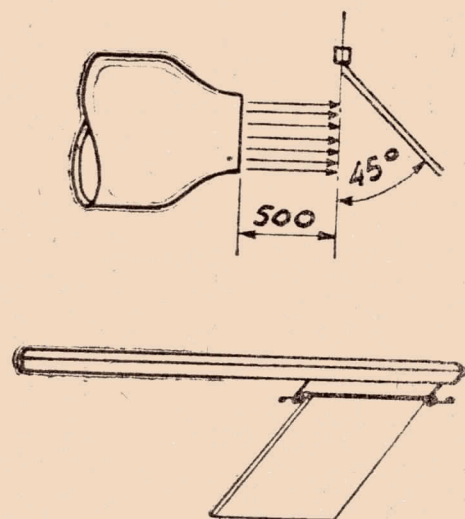
Czterołopatkowe śmigło-wentylator wykonujemy z duraluminium według wymiarów podanych na rys. 9 a. Grubość blachy duraluminiowej — 1 mm. Łopatki wentylatora wyginamy, jak pokazano na rys. 9 b. Wentylator umocowujemy centrycznie do piasty (rys 9 c), którą można sporządzić z odcinka duraluminium.

Sposób umieszczenia i zamocowania silnika do dyfuzora pokazuje rysunek 10. Jak widać na nim silnik objęty jest klamrami z płaskownika żelaznego nitowanego i przytwierdzonego śrubami do ścianek dyfuzora.

Oczywiście, w przypadku gdy posiadany silnik będzie miał inne kształty zewnętrzne, to również krępowanie płaskownika ulegnie zmianie.



Rys. 10



Rys. 11

Rysunek podaje jedno z celowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Dyfuzor z umieszczonym w szerszym jego końcu silnikiem i wentylatorem osadzamy na podstawce używając do tego śrub z nakrętkami motylkowymi. Następnie można przystąpić do prób. Włączamy silnik i sprawdzamy, czy uchodzący przez gardziel strumień powietrza jest dostatecznie silny. Jeżeli strumień okazuje się słaby, należy nieco zwiększyć kąty nastawienia łopatek wentylatora wyginając łopatki za pomocą płaskich cążków.

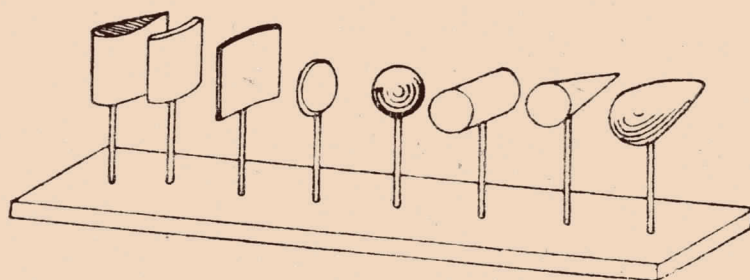
Aby ustalić siłę strumienia powietrza wypływającego z dyfuzora, najlepiej wykonać płytkę ze sklejki o wymiarach 100 x 100 mm i grubości 0,8 mm, zawieszoną obrotowo na rączce (rys. 11). Gdy ustawimy płytkę tę w odległości około 500 mm przed wylotem tunelu, przy prawidłowej prędkości strumienia podczas pracy zespołu silnik-wentylator, powinna ona wychylać się pod kątem 45° licząc od osi poprzecznej tunelu.

Proste to urządzenie pozwala z wystarczającą dokładnością stwierdzić przydatność wykonanego tunelu do różnych doświadczeń aerodynamicznych.

WYKONANIE POMOCY SZKOLNYCH DO DOŚWIADCZEŃ AERODYNAMICZNYCH

Aby przeprowadzić ćwiczenia objaśniające powstawanie oporu w zależności od kształtu opływającego ciała, wskazane jest wykonanie

zespołu różnych brył (rys. 12). Przedstawione bryły powinny mieć mimo różnorodnej formy jednakową powierzchnię przekroju poprzecznego.



Rys. 12

A oto sposób sporządzenia różnych brył i ich wymiary:

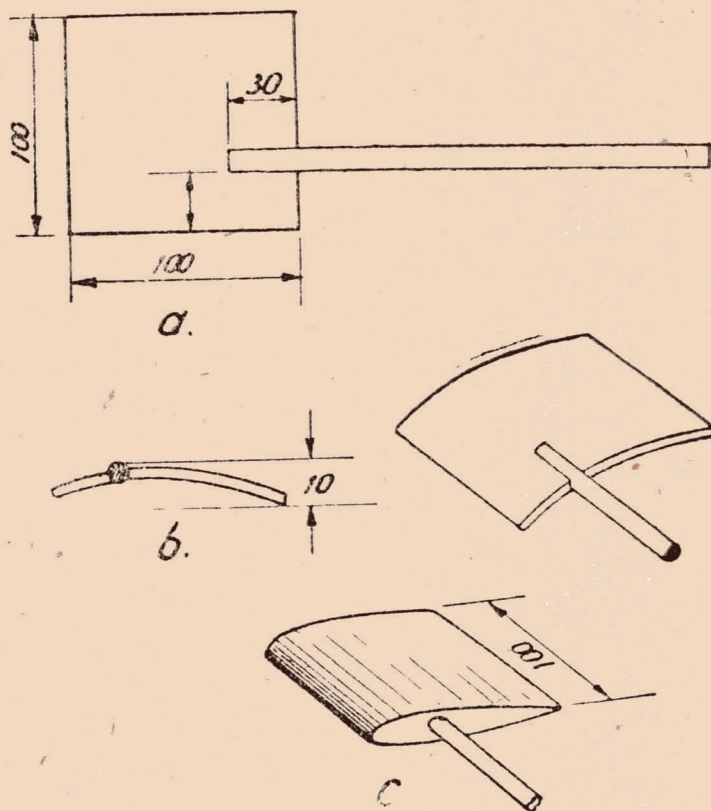
1. Płytkę o obrysie łukowym wykonać najłatwiej z 10 — 12 mm sklejk. Średnica płytki 50 mm.

2. Kulę (balon) najlepiej wytoczyć z drewna na tokarni. Średnica kuli 50 mm.

3. Walec można wytoczyć lub też wypiłować z klocka drewnianego. Średnica walca 50 mm, długość 120 mm.

4. Stożek wykonujemy z drewna również na tokarni. Średnica 5 mm, długość 120 mm.

5. Bryła opływowa (kropłowa) wykonana może być na tokarni lub ręcznie. Średnica 50 mm, długość 120 mm. Podczas toczenia tej bryły należy posługiwać się uprzednio przygotowanym szablonem.



Rys. 13

Wymienione bryły po wytoczeniu oczyszczają się szklanym papierem i powleka lakierem aż do uzyskania dużego połysku. Polakierowaną powierzchnię można jeszcze dodatkowo polerować.

Wszystkie bryły powinny być osadzone na wpust na prętach drewnianych długości 180 mm i średnicy 8 mm. Rolę prętów doskonale spełniają ołówki o kołowym przekroju.

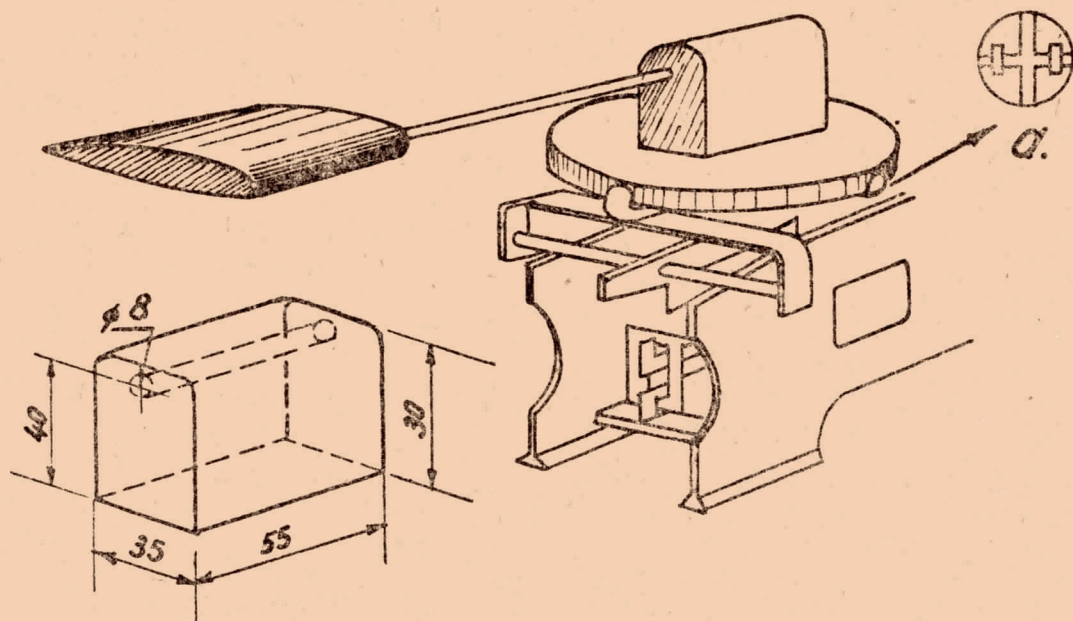
Oprócz wymienionych brył konieczny jest do ćwiczeń aerodynamicznych komplet płytek-profilów lotniczych. Płytkę płaską wyko-

nuje się z 3 — 4 mm sklejkі o wymiarach 100 x 100 mm (rys. 13 a). Płytkę sklepioną wykonuje się ze sklejkі o tej samej grubości i o wymiarze 100 x 115 mm. Sposób osadzenia na pręcie płytki sklepionej pokazano na rys. 13 b. Wycinek skrzydełka z profilem lotniczym najłatwiej sporządzić z miękkiego drewna, a więc z lipy lub olchy. Wymiar płytki 100 x 100 mm, grubość 10 — 12 mm. Pręt przytwierdza się do profilu w miejscu maksymalnej jego grubości (rys. 13 c).

Do przeprowadzenia doświadczeń z „przedmuchiwaniem“ różnych profilów i brył potrzebna jest jeszcze podstawka składająca się z drewnianej szalki grubości 10 — 12 mm i obsady do umocowania prętów z badanymi bryłami.

Szkice podane na rys. 14 przedstawiają sposoby wykonania obsady i umieszczenia na zwykłej wadze sklepowej przedmiotów poddawanych dmuchaniom.

Szalke drewnianą można przytwierdzić do stałej części ramion wagi, jak to podano na rys. 14 a, a więc za pomocą dwóch zaczepów blaszanych.

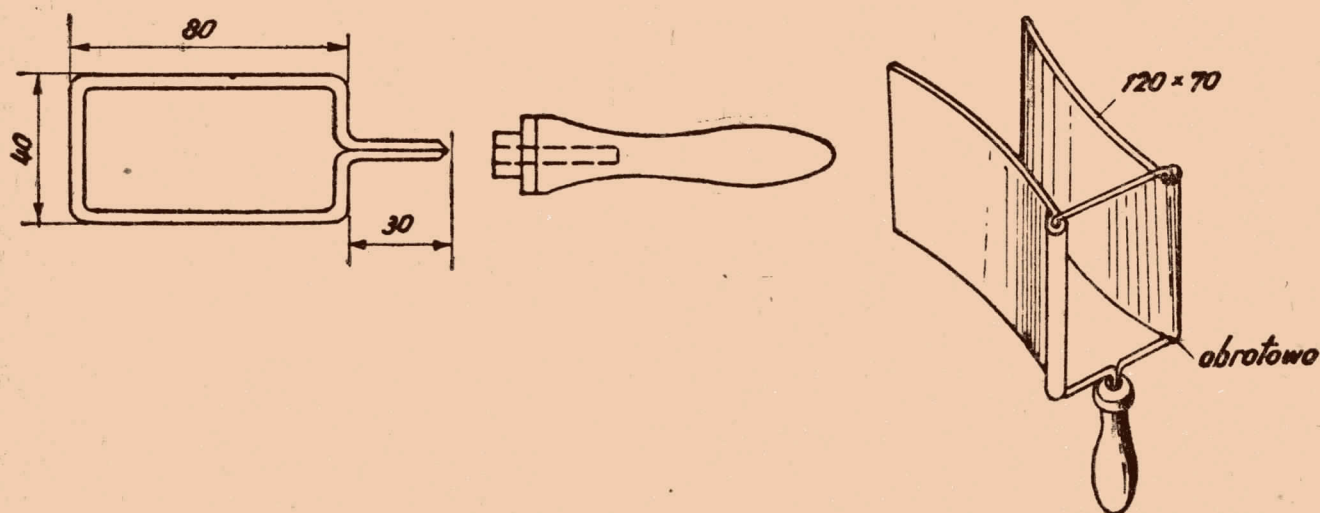


Rys. 14

Wagę wraz z ciałem badanym ustawia się przed wylotem dyfuzora tunelu, po czym zmieniając odpowiednio kąty natarcia mierzy się siły aerodynamiczne (w kG) kładąc odpowiednią ilość odważników. Następnym przyrządem ułatwiającym zajęcia z elementarnej aerodynamiki są „zbliżające się płytki“ ilustrujące prawo Bernoulliego.

Przyrząd ten składa się z rączki, ramki i dwóch płytek. Płytki

wykonuje się z blachy aluminiowej o grubości 0,5 — 1,0 mm. Płytki o wymiarach 120 x 70 mm wygięte są, jak podano na rysunku, w kształcie sklepionego profilu lotniczego. Ramkę wykonuje się z drutu żelaznego o średnicy 3 — 4 mm. Rączka drewniana może być taka jak przy pilnikach. Wymiary ramki i ogólny widok gotowego przyrządu ilustruje rys. 15.



Rys. 15

OPIS KILKU DOŚWIADCZEŃ PRZEPROWADZONYCH ZA POMOCĄ TUNELU I PRZYRZĄDÓW POMOCNICZYCH

Doświadczenie 1. Ustawiamy tunel pionowo w sposób przedstawiony na rys. 16, tak aby płytka o kołowym obrysie (opisana poprzednio) znajdowała się w odległości 120 — 150 mm od wylotu tunelu. Następnie wyrównujemy szalkę odważnikiem i włączamy silnik. Strumień powietrza wypływający z tunelu napotyka po drodze przeszkodę w postaci płytki i podnosi ją do góry. Nie wyłączając silnika wyrównujemy szalki odważnikami, po czym wyłączamy silnik i na podstawie ciężaru odważników obliczamy wartość siły oporu (w kG), jaką stawia płytka o kołowym obrysie.

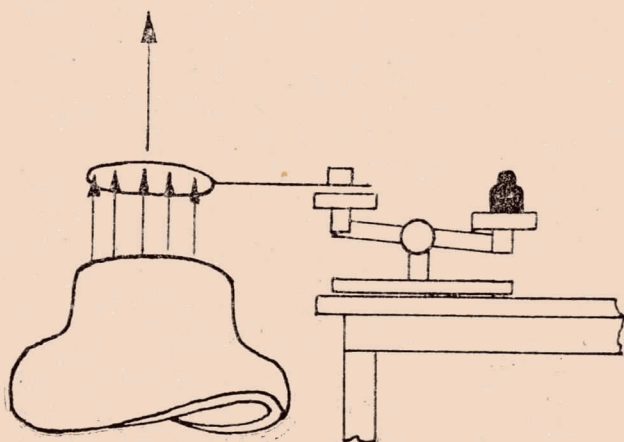
Doświadczenie 2. Tym samym sposobem, co opisany wyżej, „ważymy“ obecnie zamiast płytki kulę i zapisujemy otrzymany wynik.

Doświadczenie 3. Poddajemy obecnie pomiarom bryłę opływową o powierzchni przekroju poprzecznego identycznej jak dwóch ciał badanych poprzednio. Uzyskany wynik znów zapisujemy.

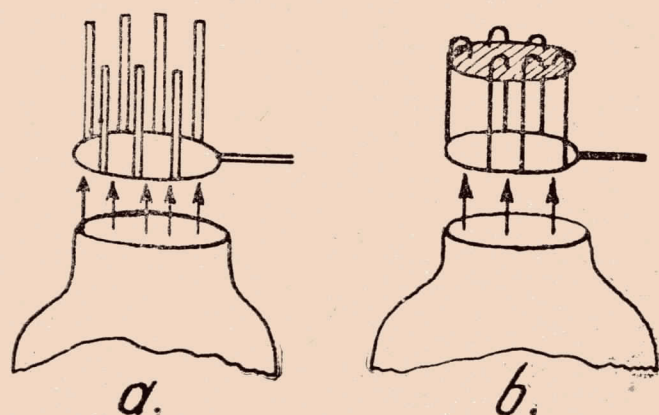
Przy tym doświadczeniu widzimy wyraźnie, że ciała o jednakowej powierzchni przekroju, o jednakowej powierzchni czołowej, a różnych kształtach mają różne wartości oporu.

Doświadczenie 4. Doświadczenie to ma na celu uwidocznienie opływu strumienia powietrza wokół ciał poddawanych badaniom. Najprostszym sposobem jest wpuszczenie od strony wentylatora barwnego dymu. Opływ można również uwidocznąć za pomocą obręczy drucianej z doklejonymi paseczkami cienkiej bibułki.

Przyrząd taki ustawiony nad otworem wylotowym tunelu wskaże nam, jaki kierunek przybierają strugi powietrza. Na rys. 17 a poka-



Rys. 16

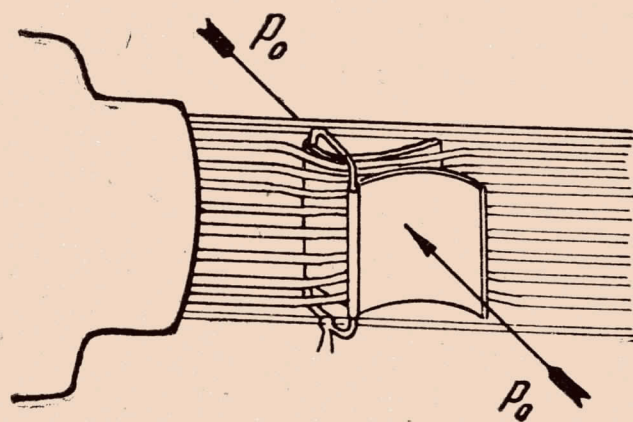


Rys. 17

zano paski bibułki luźno utrzymujące się w strumieniu i te same paski tworzące zawirowanie za płytką o kołowym obrysie, ustawioną w strumieniu powietrza (rys. 17 b z prawej).

Jeżeli zamiast płytki zbadamy kulę lub ciało opływowe, stwierdzimy, że zawirowania ulegają zmniejszeniu (w stosunku do zawirowań za płytką).

Doświadczenie 5. Doświadczenie to ma za zadanie zobrazowanie ciśnienia statycznego zmieniającego się zależnie od prędkości przepływu. Jest to poglądowe wyjaśnienie prawa Bernoulliego.

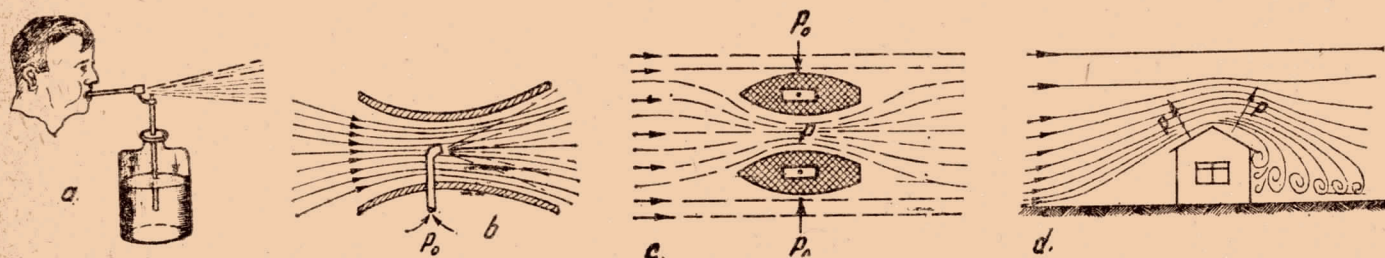


Rys. 18

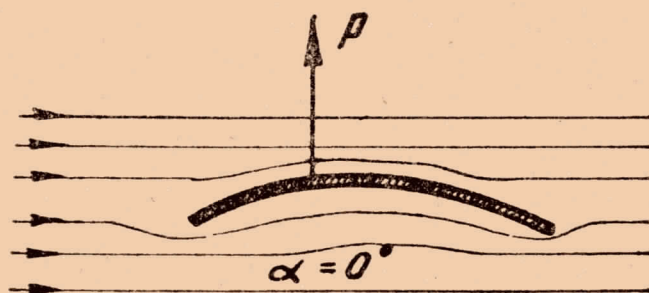
Przed tunelem ustawionym pionowo umieszczamy w strumieniu powietrza przyrząd składający się z dwóch ruchomych, sklepionych płytek (rys. 18).

Widzimy, że płytki zbliżają się do siebie. Objaśnianie sił występujących na płytkach oraz krótki wstęp do teorii lotu oto temat, który powinien omówić prowadzący doświadczenie.

Za pomocą prawa Bernoulliego można dodatkowo wyjaśnić:
a) działanie rozpylacza (np. do perfum) rys. 19 a, b) działanie gaźnika w silniku benzynowym rys. 19 b, c) skutki zbyt bliskiego mijania się dwóch statków (okrętów) rys. 19 c, d) działanie wiatru na dachy budynków rys. 19 d.



Rys. 19



Rys. 20

Doświadczenie 6. W strumieniu powietrza umieszczamy przymocowaną do wagi płytkę sklepioną ustawioną pod zerowym kątem (rys. 20). Według ilości odważników stwierdzamy powstanie pewnej siły nośnej skierowującej płytkę do góry. Zwiększając nieznacznie kąt natarcia obserwujemy zwiększenie się siły nośnej.

Doświadczenie 7. W strumieniu powietrza umieszczamy skrzydełko profilowane. Następnie ustalamy siłę nośną przy różnych kątach natarcia, np. 0° , 5° , 8° , 10° itd. Stwierdzimy przy tym, że wraz ze zwiększeniem kąta natarcia do około $14 - 16^\circ$ następuje maksymalny wzrost siły nośnej, a potem jej spadek.

Doświadczenie to wyjaśnia obrazowo znaczenie krytycznego kąta natarcia w modelu, szybowcu lub samolocie.