2

Tajemnice lotu

Modele latające zachowują się w locie tak samo jak prawdziwe samoloty. Są co prawda różnice w rozmiarach i prędkościach lotu, ale zasada pozostaje ta sama. Stąd płynie bardzo ważny wniosek dla wszystkich, którzy mają ochotę zbudować sobie miniaturowy samolot. Jeżeli poznacie zasady lotu na przykładzie prymitywnego małego samolociku, będziecie mogli w przyszłości wykorzystać je przy budowie większego modelu, będziecie wiedzieli prawie wszystko o prawdziwym lotnictwie.

Zanim jednak przystąpimy do wykonania pierwszego miniaturowego samolotu, musimy koniecznie przyswoić sobie nieco elementarnych wiadomości z tak mądrych dziedzin, jak budowa samolotów, aerodynamika i mechanika lotu.

*

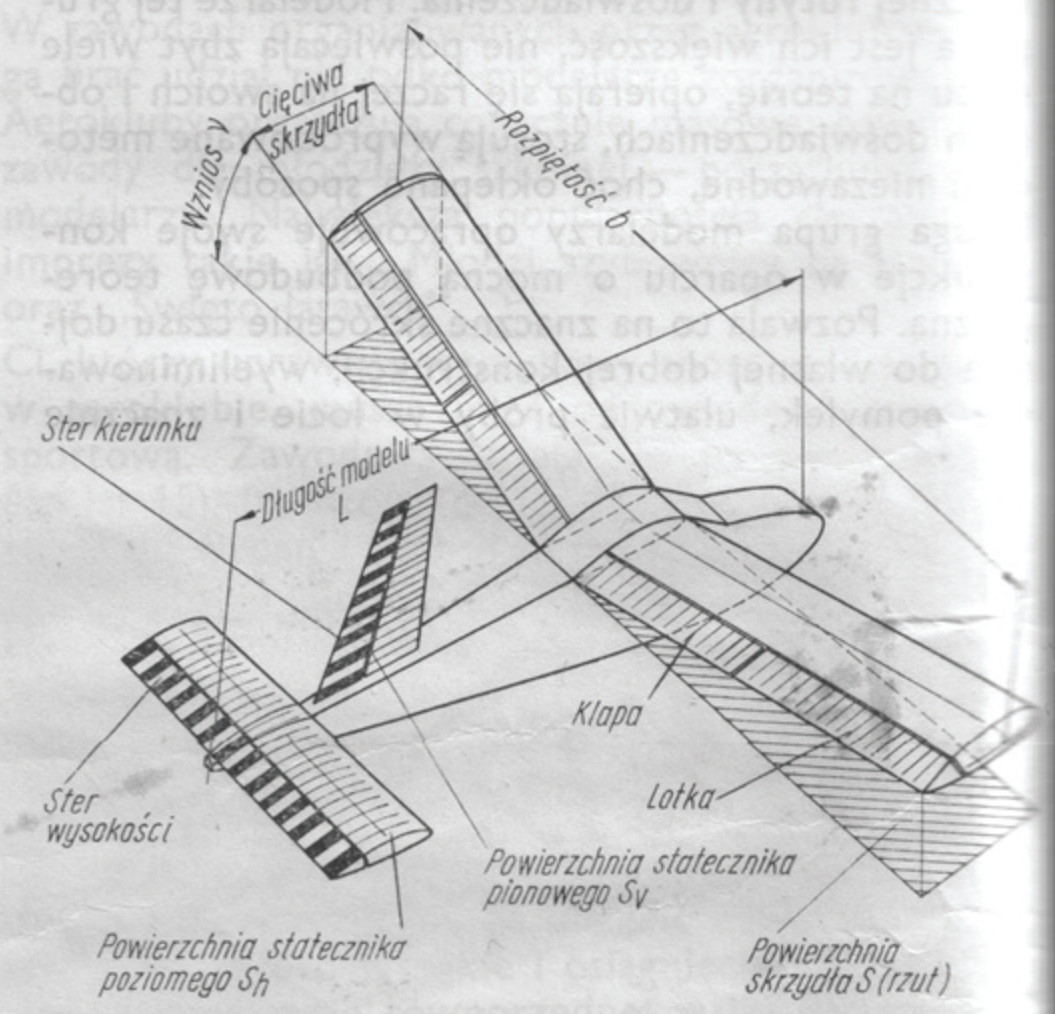
* *

Samolot, w swej klasycznej już dziś postaci, do której przyzwyczailiśmy się od lat, składa się z kilku podstawowych elementów, a więc: kadłub, podwozie, skrzydła, usterzenie, silnik i ewentualnie śmigło oraz wyposażenie, Pierwsze cztery składają się na płatowiec — aerodynamiczną bryłę, która swoim odpowiednio uformowanym kształtom zawdzięcza zdolność latania.

Wszystkie wymienione elementy występują oczywiście również i w miniaturowych samolotach, jakimi są modele latające.

W przypadku szybowca lata sam płatowiec, samolotom niezbędny jest albo napęd śmigłowy, albo odrzutowy.

Samoloty mogą mieć różne kształty i w związku z tym rozmaite właściwości aerodynamiczne i lotne, o których będziemy mówili nieco dalej. Właściwości samolotów i ich modeli zależą również od podstawowych rozmiarów płatowca. Znajomość tych zasadniczych rozmiarów jest bardzo ważna



2-1. Zasadnicze wymiary modelu samolotu

dla zrozumienia wszystkich dalszych problemów miniaturowego lotnictwa. Przedstawiamy je więc na rysunku 2-1.

Siły aerodynamiczne i płaszczyzny nośne

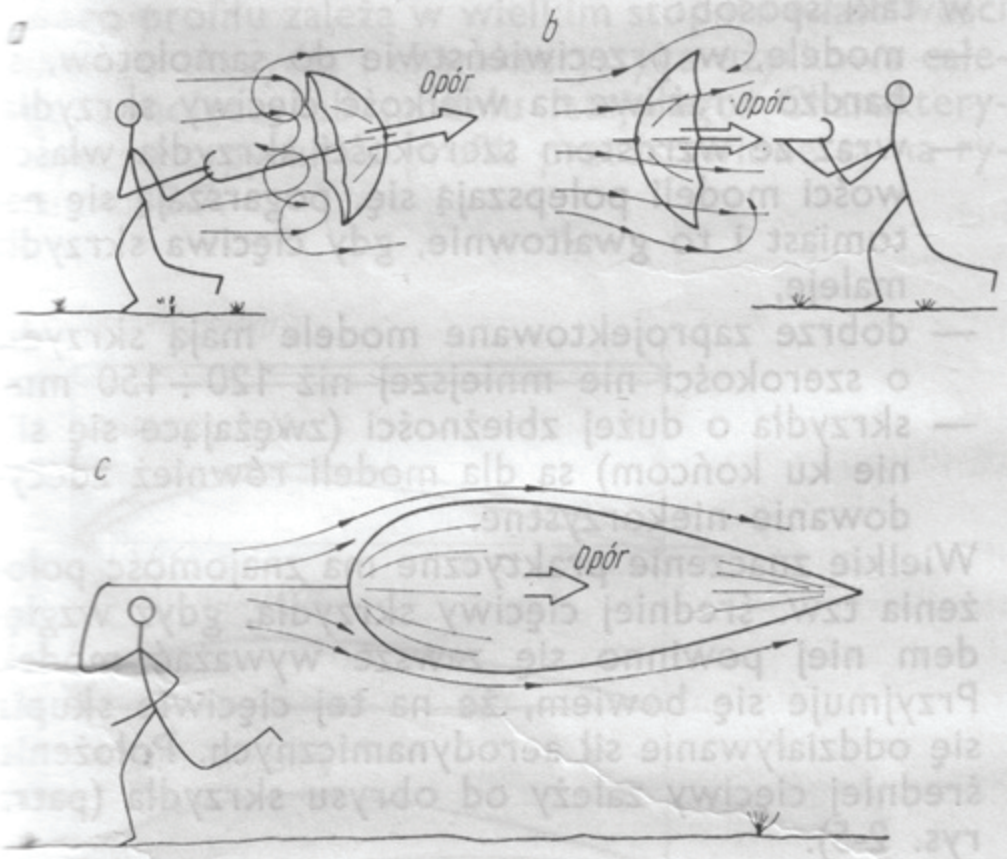
Siły aerodynamiczne rządzą lotem modeli i samolotów. Siły te powstają na wszystkich elementach płatowca: na skrzydle, usterzeniu, kadłubie i podwoziu. Bez ogólnej choćby orientacji w podstawach aerodynamiki trudno by nam było bezpiecznie obla-

tywać modele, poznawać i usuwać nieprawidłowości lotu, opracowywać własne konstrukcje. Prawa, jakie rządzą powstawaniem i działaniem sił aerodynamicznych, są bardzo proste — warto je bliżej poznać.

Opór powietrza i siła ciągu

Siła oporu stara się zahamować ruch jakiegokolwiek przedmiotu w powietrzu. Siła ta zależy od kształtów przedmiotu, od jego wielkości i prędkości, z jaką przedmiot porusza się w powietrzu. Łatwo się o tym przekonać za pomocą bardzo prostego doświadczenia z parasolem.

Spróbujcie przy silnym wietrze ciągnąć parasol wklęsłą stroną pod wiatr, jak to robi wasz kolega na rysunku 2-2. Przychodzi mu to z dużym wysiłkiem. Do zrównoważenia oporu, a więc do wywołania zjawiska ruchu w powietrzu, potrzebna jest siła, która byłaby w stanie zrównoważyć siłę oporu. W lotnictwie nazywamy ją siłą ciągu. W opisywanym przypadku siłę tę wywołuje człowiek ciągnący parasol (rys. 2.2*a*). Jeżeli odwróci parasol, przekona się, że teraz jest znacznie łatwiej (rys. 2-2*b*). Gdyby natomiast holował na sznurku balon o takim kształcie jak na rysunku 2-2*c*, okazałoby się, że siła oporu powietrza, mimo wielkich rozmiarów



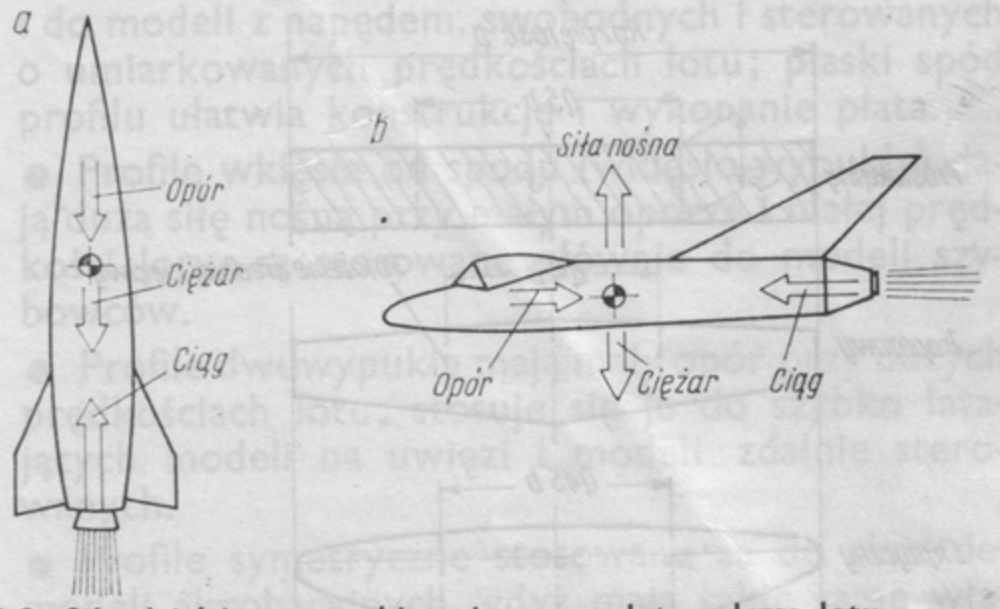
2-2. Praktyczne przedstawienie działania oporu powietrza

balonu, jest bardzo mała. Dzieje się tak dlatego, że balon ma kształt opływowy, który odznacza się małym oporem. Z tego powodu takie lub podobne kształty nadaje się samolotom, samochodom wyścigowym, okrętom. Dzięki temu do napędu może być zastosowany silnik o najmniejszym możliwie ciągu (mocy). Kształty takie spotyka się także w przyrodzie, na przykład u ryb i ptaków.

Siła nośna i ciężar

Znamy już szkodliwe działanie oporu powietrza, wiemy również, że aby je przezwyciężyć, potrzebna jest siła ciągu. Siłę oporu pokonuje w samolocie ciąg śmigła lub ciąg silników odrzutowych, a w rakiecie — ciąg silnika rakietowego. Co zrobić jednak, aby samolot mógł unieść się do góry? Gdybyśmy mieli do czynienia z pojazdem o pionowym starcie, na przykład z rakietą, wówczas sprawa byłaby prosta. Rakieta startuje pionowo do góry. Siła ciągu silników rakietowych jest tak duża, że pokonuje nie tylko opór powietrza, lecz również ciężar pojazdu, a pozostały znaczny nadmiar ciągu zużyty zostaje na rozpędzenie rakiety i nadanie jej odpowiedniej prędkości. Widzimy to wyraźnie na rysunku 2-3*a*. Siły ciągu i ciężaru pokazują strzałki.

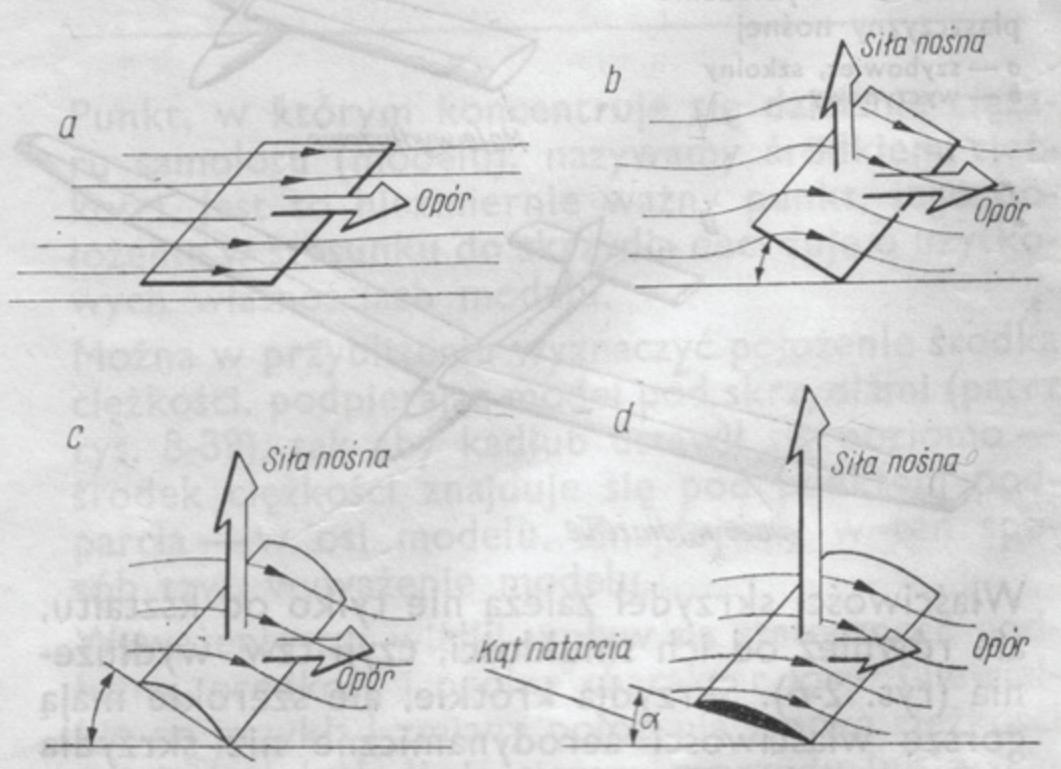
Samolot lata jednak prawie zawsze poziomo i sama siła ciągu do lotu mu nie wystarcza. Siła ciągu bowiem działa poziomo i równoważy również po-



2-3. Siły działające na rakietę i na samolot podczas lotu

ziomo działającą siłę oporu. Ciężar natomiast działa do dołu i gdyby nie było nośnej siły skrzydeł, lot byłby niemożliwy. Musimy więc koniecznie wywołać taką siłę nośną (strzałka skierowana ku górze, rys. 2-3*b*), aby zrównoważyła ciężar całego samolotu.

Płaszczyzna (na przykład arkusz kartonu, sklejki itp.) ustawiona równolegle do strug powietrza (wiatru) daje tylko opór (rys. 2-4*a*). Gdy jednak płaszczyznę tę nieco wychylimy i ustawimy pod pewnym kątem, wówczas poczujemy wyraźnie istnienie siły, która stara się unieść płaszczyznę do góry (rys. 2-4*b*). Doświadczenie jest bardzo proste i każdy może je sam przeprowadzić. Jeżeli teraz równą płaszczyznę zastąpimy płaszczyzną specjalnie wygiętą (rys. 2-4*c*), to zauważymy znaczny wzrost siły nośnej. Płaszczyzny, które w przekroju mają specjalnie dobrany kształt profilu lotniczego (rys. 2-4*d*), mają tę właściwość, że ich siła nośna znacznie przewyższa siłę oporu i dzięki temu wykorzystywane są w lotnictwie jako skrzydła. A bez skrzydeł, jak wiadomo, samolot obejść się nie może.

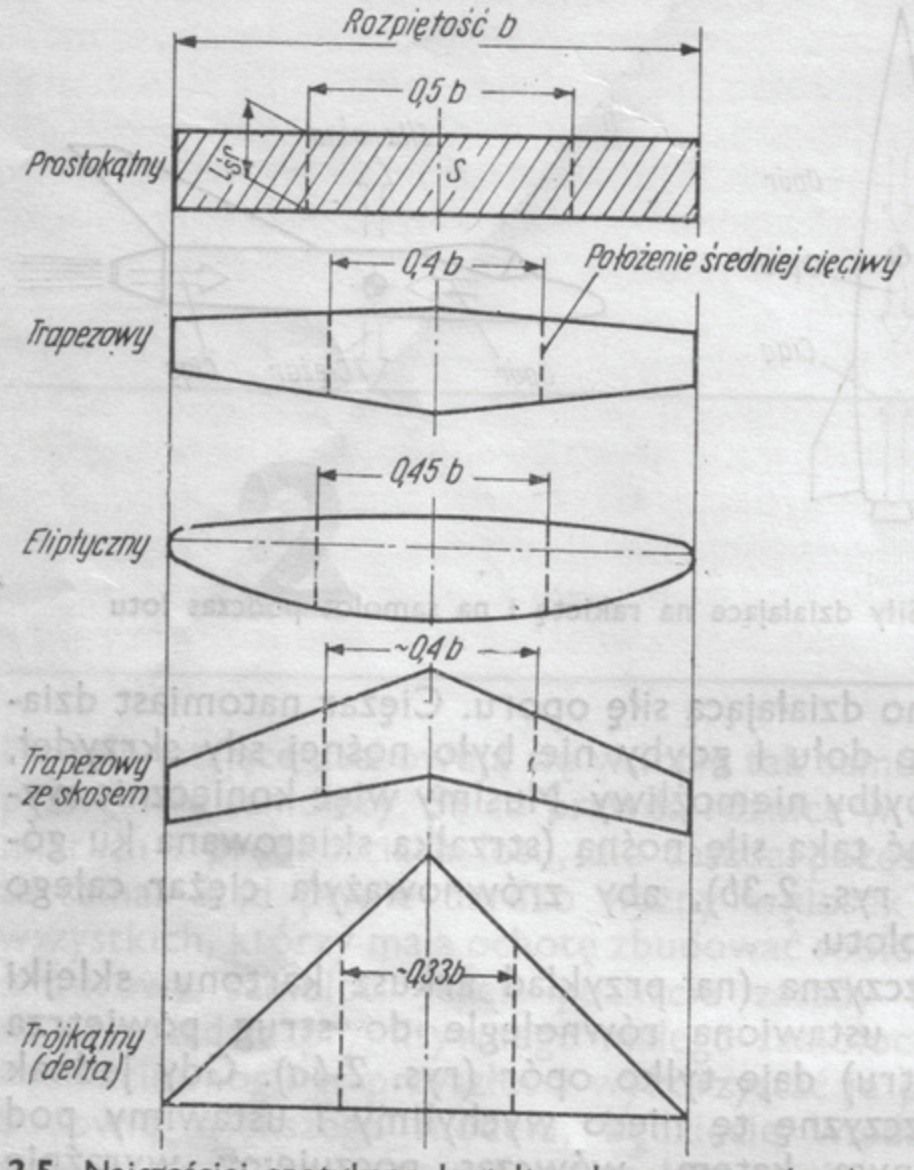


2-4. Siły aerodynamiczne działające na płaszczyzny

Skrzydło daje największą siłę nośną, gdy porusza się pod niewielkim kątem w stosunku do strug powietrza. Kąt ten, wynoszący zazwyczaj kilka stopni, nazywa się kątem natarcia.

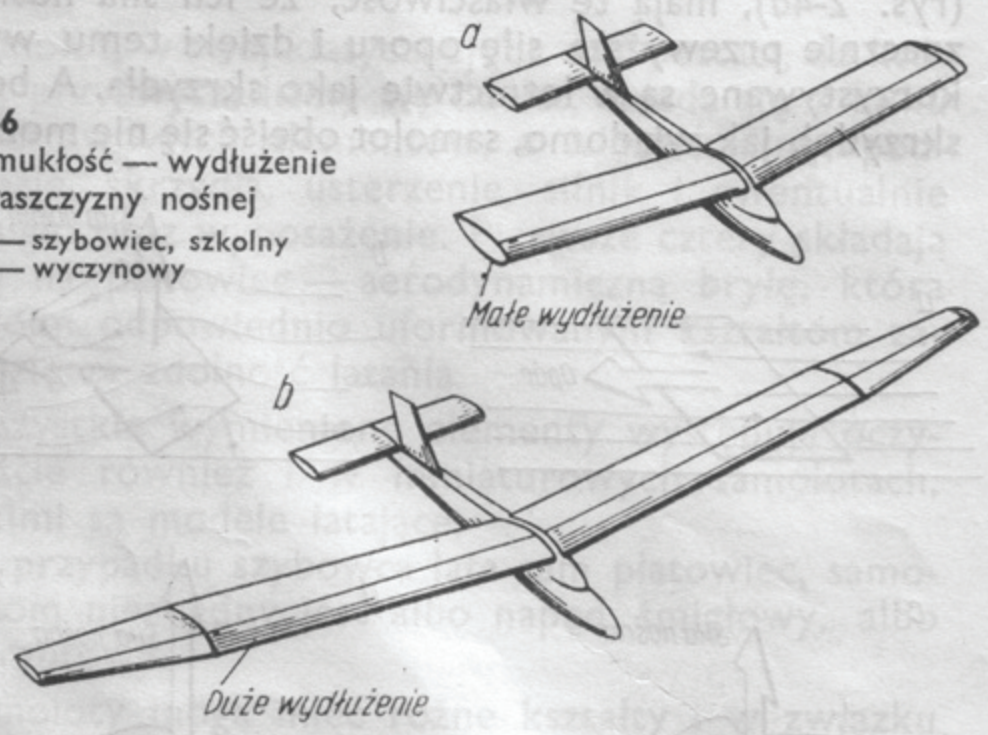
Płaszczyzny nośne

Płaszczyzny nośne (skrzydła) mogą mieć różne kształty, zależnie od charakteru i przeznaczenia samolotu, rysunek 2-5. Najprostsze są oczywiście płaszczyzny prostokątne, powszechnie dziś spotykane w większości samolotów sportowych. Dla po-



2-5. Najczęściej spotykane kształty płaszczyzn nośnych

lepszenia właściwości aerodynamicznych i użytkowych w lotnictwie i szybownictwie stosuje się najczęściej zbieżne skrzydła trapezowe lub kombinacje płaszczyzn prostokątnych ze zbieżnymi. Przy bardzo dużej zbieżności dochodzimy do skrzydła trójkątnego, czyli tzw. delty.



2-6
Smukłość — wydłużenie płaszczyzny nośnej
a — szybowiec, szkolny
b — wyczynowy

Właściwości skrzydeł zależą nie tylko od kształtu, ale również od ich smukłości, czyli tzw. wydłużenia (rys. 2-6). Skrzydła krótkie, ale szerokie mają gorsze właściwości aerodynamiczne niż skrzydła długie i wąskie. Te ostatnie są za to grube i odznaczają się znacznie większą wytrzymałością. Teraz nietrudno nam będzie zrozumieć, dlaczego krótkie skrzydła stosuje się w samolotach, a długie, o dużym wydłużeniu, w szybowcach. Im bardziej doskonały pod względem aerodynamicznym jest szybowiec, tym smuklejsze ma skrzydła.

Płaszczyzny nośne bardzo rzadko są idealnie płaskie. Najczęściej są one załamane (w widoku z przodu) w ten sposób, że końcówki skrzydła są uniesione do góry bądź opuszczone w dół. Mówi się wówczas, że skrzydła mają wznios. Dodatni wznios (końcówki skrzydła uniesiome do góry) umożliwia zachowanie samoczynnej równowagi (stateczności) poprzecznej w locie i można go wyraźnie zaobserwować w samolotach sportowych, szybowcach i oczywiście w modelach, zwłaszcza swobodnie latających. Wznios ujemny (końcówki skrzydła opuszczone) stosowany jest rzadziej i najczęściej w połączeniu z dużym skosem skrzydła do tyłu, na przykład w skrzydłach typu delta. Widoczny jest w samolotach odrzutowych. Wznios i skos mogą być więc stosowane jednocześnie.

Znaczenie cięciwy skrzydła

Właściwości skrzydła w ogromnym stopniu zależą od jego szerokości, czyli od rozmiaru cięciwy skrzydła. Bardzo ogólnie można to scharakteryzować w taki sposób:

— modele, w przeciwieństwie do samolotów, są bardzo wrażliwe na wielkość cięciwy skrzydła,
— wraz ze wzrostem szerokości skrzydła właściwości modeli polepszają się, pogarszają się natomiast i to gwałtownie, gdy cięciwa skrzydła maleje,
— dobrze zaprojektowane modele mają skrzydła o szerokości nie mniejszej niż 120÷150 mm,
— skrzydła o dużej zbieżności (zwężające się silnie ku końcom) są dla modeli również zdecydowanie niekorzystne.

Wielkie znaczenie praktyczne ma znajomość położenia tzw. średniej cięciwy skrzydła, gdyż względem niej powinno się zawsze wyważać model. Przyjmuje się bowiem, że na tej cięciwie skupia się oddziaływanie sił aerodynamicznych. Położenie średniej cięciwy zależy od obrysu skrzydła (patrz rys. 2-5).

Powierzchnia nośna

Obecność wzniosu (zwłaszcza dużego) sprawia, że rzeczywiście wykorzystywana w locie powierzchnia skrzydła zmniejsza się. W krańcowym przypadku, gdyby skrzydła zostały złożone (jak u motyla lub ptaka), ich rzeczywista nośna powierzchnia zmalałaby do zera, nie byłoby siły nośnej, pozostałby tylko opór. Aby więc nie było nieporozumień przy określaniu powierzchni nośnej, umówiono się, że jest nią nie powierzchnia płaszczyzny nośnej, a jej rzut na płaszczyznę poziomą (patrz rys. 2-1).

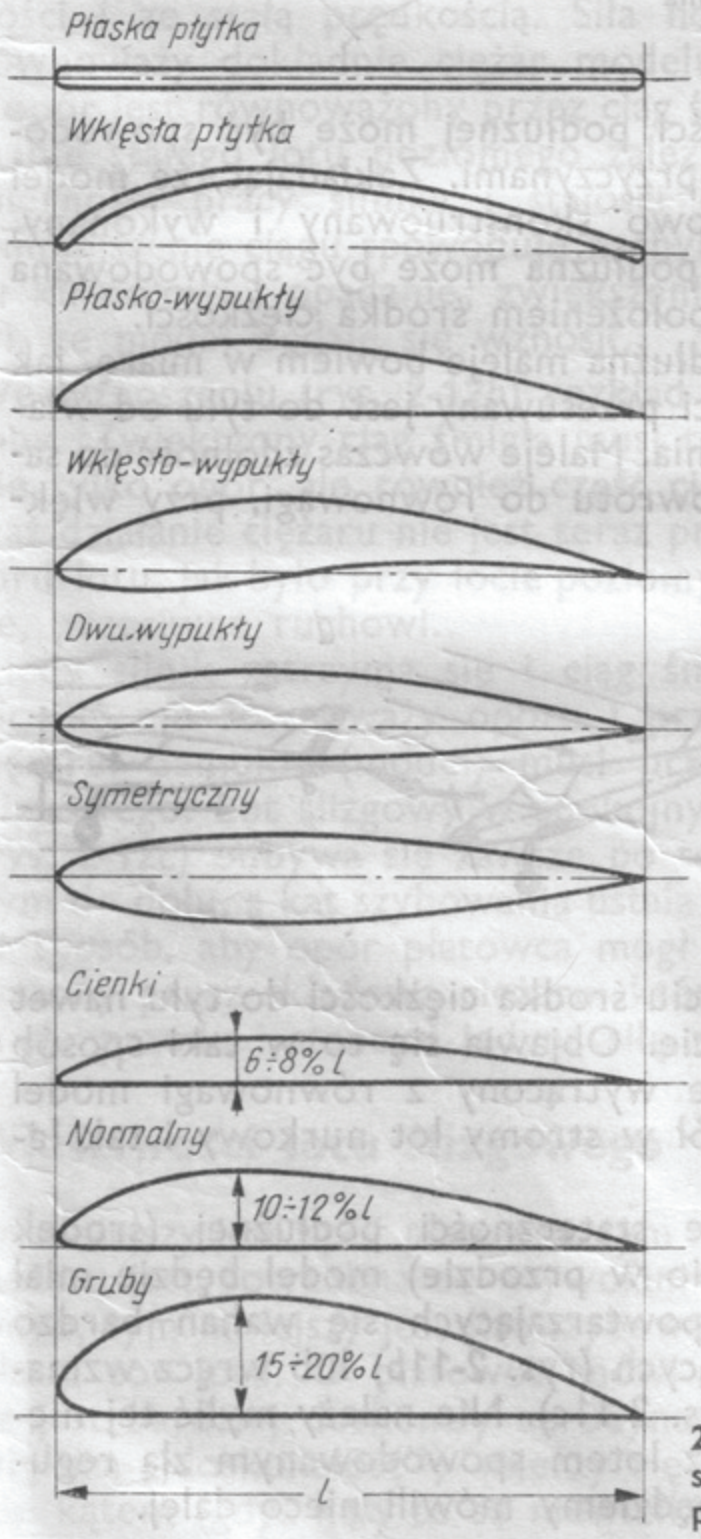
Stateczniki

Skrzydła są podstawowymi płaszczyznami, które wytwarzają niezbędną dla lotu siłę nośną. Większość powszechnie spotykanych samolotów i modeli latających oprócz skrzydeł ma również dodat-

kowe płaszczyzny umieszczone zazwyczaj z tyłu samolotu (za skrzydłami). Płaszczyzny te to tzw. stateczniki. Są to podobnie jak skrzydła płaszczyzny nośne, ale ich rola polega przede wszystkim na zapewnieniu samolotowi lub modelowi bezpiecznej równowagi i stateczności podczas lotu.
Nie jest to jednak ich jedyna rola. Ruchome części stateczników, zwane sterami, służą do sterowania. Przeważnie spotyka się dwa rodzaje stateczników: poziomy, niezbędny do zapewnienia stateczności podłużnej, i pionowy związany ze statecznością kierunkową, a także poprzeczną. W modelach latających zdarza się często, że statecznik poziomy wykorzystywany jest również do wytwarzania dodatkowej siły nośnej, wspomagającej nośne działania skrzydła. Taki właśnie statecznik, zwany też nośnym statecznikiem, zastosowany jest w popularnym WICHERKU (omawianym w dalszej części książki). Zaletą stosowania stateczników nośnych jest możliwość uzyskania małej prędkości lotu, a więc i dużego bezpieczeństwa, zwłaszcza w locie swobodnym. Niezależnie od tego nośne stateczniki spełniają swoją normalną rolę ustateczniającą.

Profile

Płaszczyzna nośna, jak wiemy, musi mieć odpowiedni przekrój, czyli profil. Od zastosowania właściwego profilu zależą w wielkim stopniu właściwości samego skrzydła i charakterystyka użytkowa całego samolotu lub modelu latającego. Charakterystyczne typy kilku profili przedstawione są na rysunku 2-7.



2-7. Najczęściej spotykane profile płaszczyzn nośnych

- Najprostszy profil to zwykła płaska płytka. Profile takie stosuje się do modeli z kartonu, modeli na procę oraz bardzo często jako profile do stateczników wielu dużych, lecz prostych w budowie modeli latających; odznaczają się one małą siłą nośną.
- Dużą siłę nośną dają natomiast płytki wygięte. Skrzydła o takim profilu mają bardzo dobre właściwości przy małych prędkościach lotu. Trudno jednak wykonać taki profil przy większych, nie kartonowych skrzydłach.
- Profile płasko-wypukłe mają uniwersalny charakter. Stosuje się je zarówno do szybowców, jak i do modeli z napędem, swobodnych i sterowanych o umiarkowanych prędkościach lotu; płaski spód profilu ułatwia konstrukcję i wykonanie płata.
- Profile wklęsłe od spodu (wklęsło-wypukłe) dają dużą siłę nośną przy małym oporze i małej prędkości lotu; są stosowane głównie do modeli szybowców.
- Profile dwuwypukłe mają mały opór przy dużych prędkościach lotu; stosuje się je do szybko latających modeli na uwięzi i modeli zdalnie sterowanych.
- Profile symetryczne stosowane są do skrzydeł modeli akrobacyjnych, gdyż mają takie same właściwości zarówno w locie normalnym, jak i odwróconym (plecowym); stosowane są też powszechnie jako profile stateczników.

A oto kilka uwag na temat najważniejszych właściwości profili:

— grubsze profile umożliwiają osiągnięcie większej siły nośnej i mniejszej prędkości, pozwalają zbudować mocne skrzydła, mają jednak duży opór,
— cienkie profile mają mniejszą siłę nośną, ale za to mały opór pozwala osiągnąć dużą prędkość,
— im bardziej wygięty (wysklepiony) jest profil, tym większa jest siła nośna, ale i większa niestateczność skrzydła,
— dużą stateczność mają skrzydła z profilami o małym wygięciu (profile dwuwypukłe),
— największą stateczność mają profile symetryczne lub profile o odgiętej ku górze krawędzi spływu.

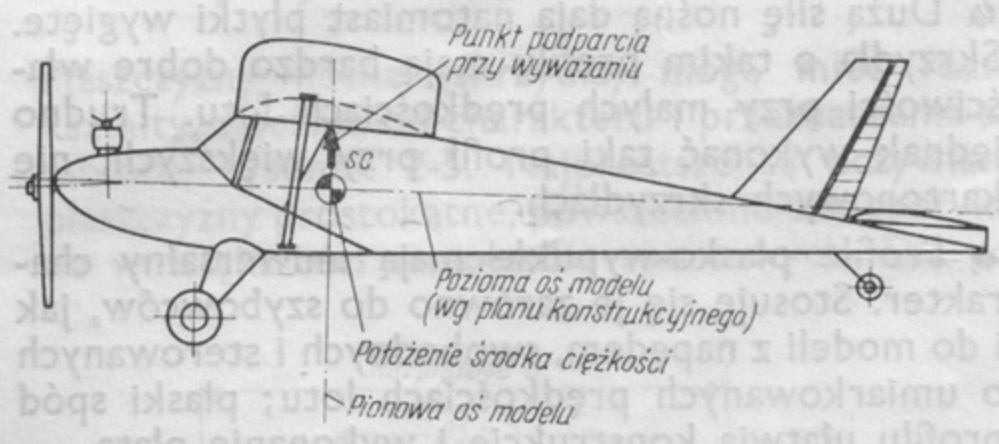
Środek ciężkości i wyważenie

Punkt, w którym koncentruje się działanie ciężaru samolotu (modelu), nazywamy środkiem ciężkości. Jest to niezmiernie ważny punkt, jego położenie w stosunku do skrzydła decyduje o użytkowych własnościach modelu.

Można w przybliżeniu wyznaczyć położenie środka ciężkości, podpierając model pod skrzydłami (patrz rys. 8-39), tak aby kadłub ustawił się poziomo — środek ciężkości znajduje się pod punktem podparcia — w osi modelu. Znajdujemy w ten sposób tzw. wyważenie modelu.

Wyważenie ma wielki wpływ na stateczność podłużną, prędkość i ogólny charakter lotu. Niewielkie na przykład zmiany położenia środka ciężkości — ujęcie lub dodanie ciężaru z przodu lub z tyłu

modelu, przesunięcie skrzydła względem kadłuba itp. — mogą znacznie zakłócić lub nawet uniemożliwić poprawny lot. Położenia środka ciężkości (wyważenie) podane są zwykle bardzo dokładnie na wykonawczych planach modeli (rys. 2-8).



2-8
Sposób oznaczenia położenia środka ciężkości na planie modelu

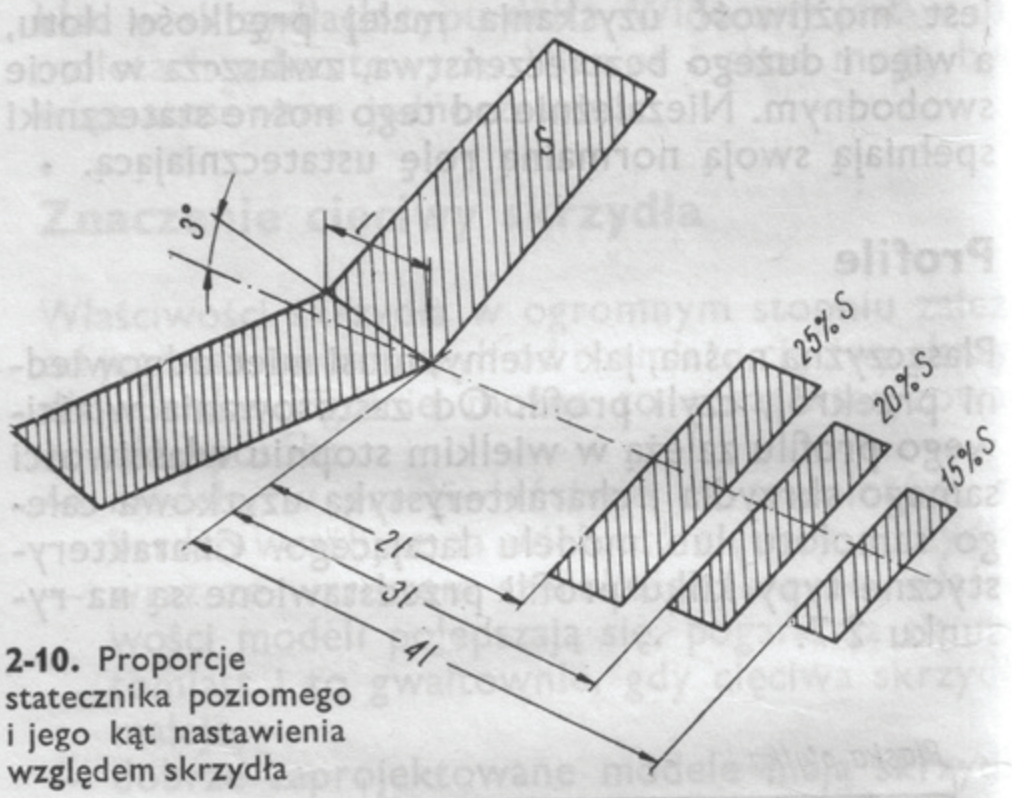
Przygotowując model do lotu trzeba ściśle się trzymać planów i zaleceń
Modele swobodnie latające i zdalnie kierowane wyważa się przeważnie w 1/3 długości cięciwy skrzydła (gdy model ma zwykły statecznik z profilem płytkowym lub symetrycznym) i w okolicy 1/2 cięciwy przy profilu nośnym. Wyważenie modeli na uwięzi powinno natomiast znajdować się bliżej przedniej krawędzi skrzydła (średnio w okolicy 1/10 cięciwy).

Stateczność podłużna

Była już mowa o statecznikach i położeniu środka ciężkości warto też wyjaśnić istotę stateczności podłużnej. Spójrzmy na rysunek 2-9. Przedstawia on model samolotu w różnych sytuacjach. W pierwszym przypadku nasz model znajduje się w równowadze i leci poziomym lotem (rys. 2-9*a*). Wszystkie siły działające nań w tej sytuacji znajdują się w równowadze, nic nie zakłóca spokojnego lotu. Załóżmy jednak, że na skutek nagłego podmuchu wiatru lub też innego zakłócenia model nasz znalazł się nagle w pozycji nosem do góry (rys. 2-9*b*).

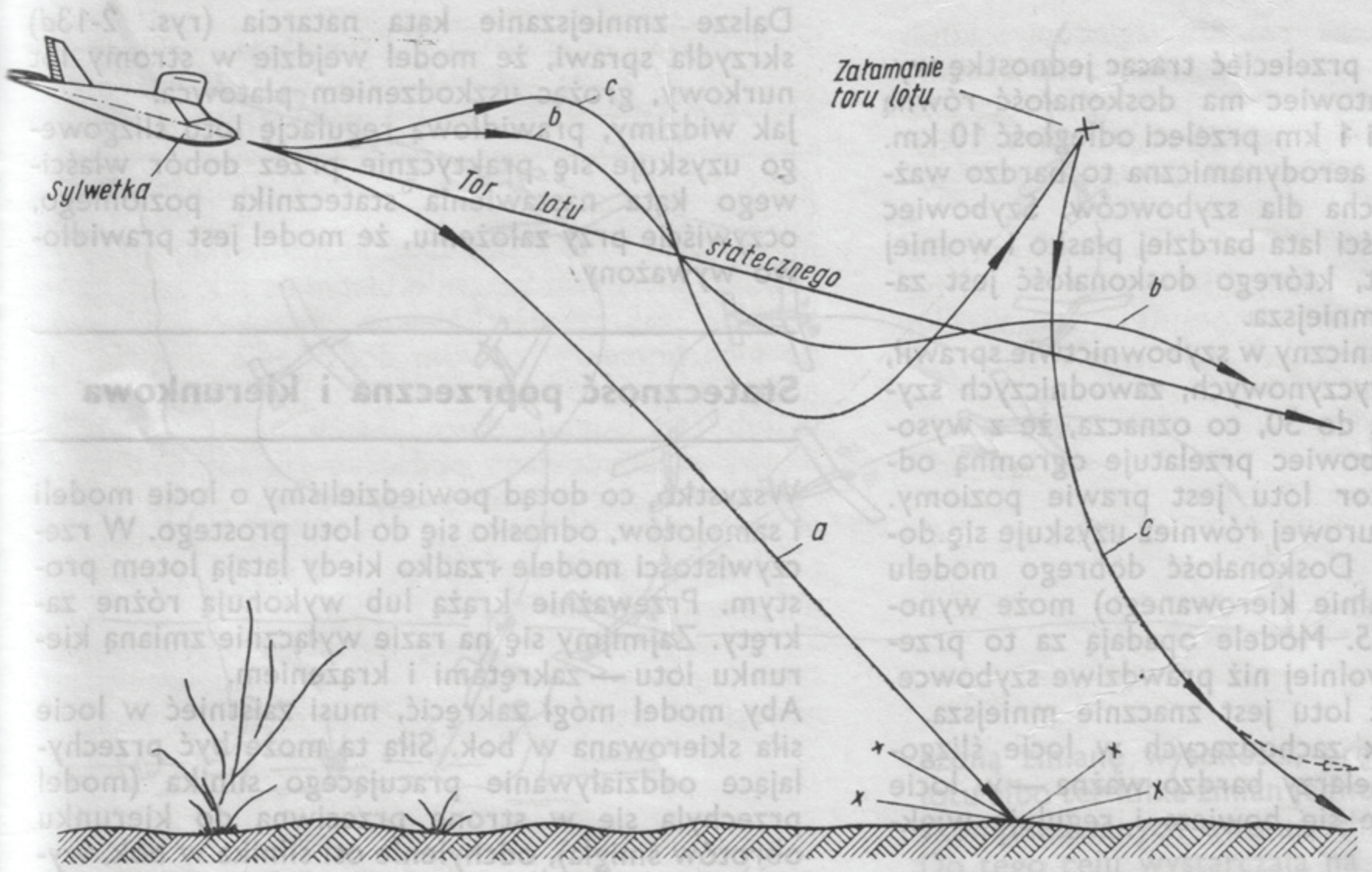
2-9
Ustateczniające działanie statecznika poziomego

Zwiększa się wówczas wyraźnie kąt natarcia statecznika poziomego i pojawia się na nim dodatkowa siła nośna skierowana do góry, która stara się podnieść tył modelu i przywrócić poprzednie poziome położenie. Analogicznie przedstawiać się będzie sytuacja, gdy nasz model nagle opadnie (rys. 2-9*c*). Wówczas na stateczniku poziomym pojawi się siła skierowana do dołu, która powinna przywrócić równowagę (rys. 2-9*d*).
Celowo napisałem „powinna", ponieważ stateczność podłużna zależy nie tylko od obecności samego statecznika, ale również od jego wymiarów powierzchni, odległości i ustawienia względem skrzydła, a także od położenia środka ciężkości i wyważenia modelu.
Modele latające wykazują dobrą stateczność podłużną, jeżeli powierzchnia statecznika poziomego wynosi około 1/4 powierzchni skrzydła, a odległość między skrzydłem a statecznikiem równa się co najmniej 2 szerokościom skrzydła. Ponadto dla zachowania poprzecznej stateczności niezbędne jest, aby umieszczony z tyłu skrzydła statecznik poziomy miał mniejszy kąt nastawienia niż skrzydło. Różnica ta powinna wynosić około 3°. Są to uwagi bardzo ogólne, podsumowuje je rysunek 2-10. Trzeba pamiętać, że w miarę powiększania odległości pomiędzy statecznikiem a skrzydłem można, a nawet trzeba proporcjonalnie zmniejszać powierzchnię statecznika i odwrotnie, w miarę zmniejszania odległości — zwiększać powierzchnię.



2-10. Proporcje statecznika poziomego i jego kąt nastawienia względem skrzydła

Brak stateczności podłużnej może być spowodowany wieloma przyczynami. Zakładając, że model został prawidłowo skonstruowany i wykonany, niestateczność podłużna może być spowodowana niewłaściwym położeniem środka ciężkości.
Stateczność podłużna maleje bowiem w miarę, jak środek ciężkości przesuwany jest do tyłu od właściwego położenia. Maleje wówczas zdolność do samoczynnego powrotu do równowagi, przy większym przesunięciu środka ciężkości do tyłu nawet zanika całkowicie. Objawia się to w taki sposób (rys. 2-11*a*), że wytrącony z równowagi model wchodzi na ogół w stromy lot nurkowy i tak leci aż do ziemi.
Przy nadmiarze stateczności podłużnej (środek ciężkości zbytnio w przodzie) model będzie miał tendencję do powtarzających się wahań bardzo trudno zanikających (rys. 2-11*b*) lub wręcz wzmagających się (rys. 2-11*c*). Nie należy mylić tej nieprawidłowości z lotem spowodowanym złą regulacją, o czym będziemy mówili nieco dalej.



2-11. Rodzaje niestateczności podłużnej

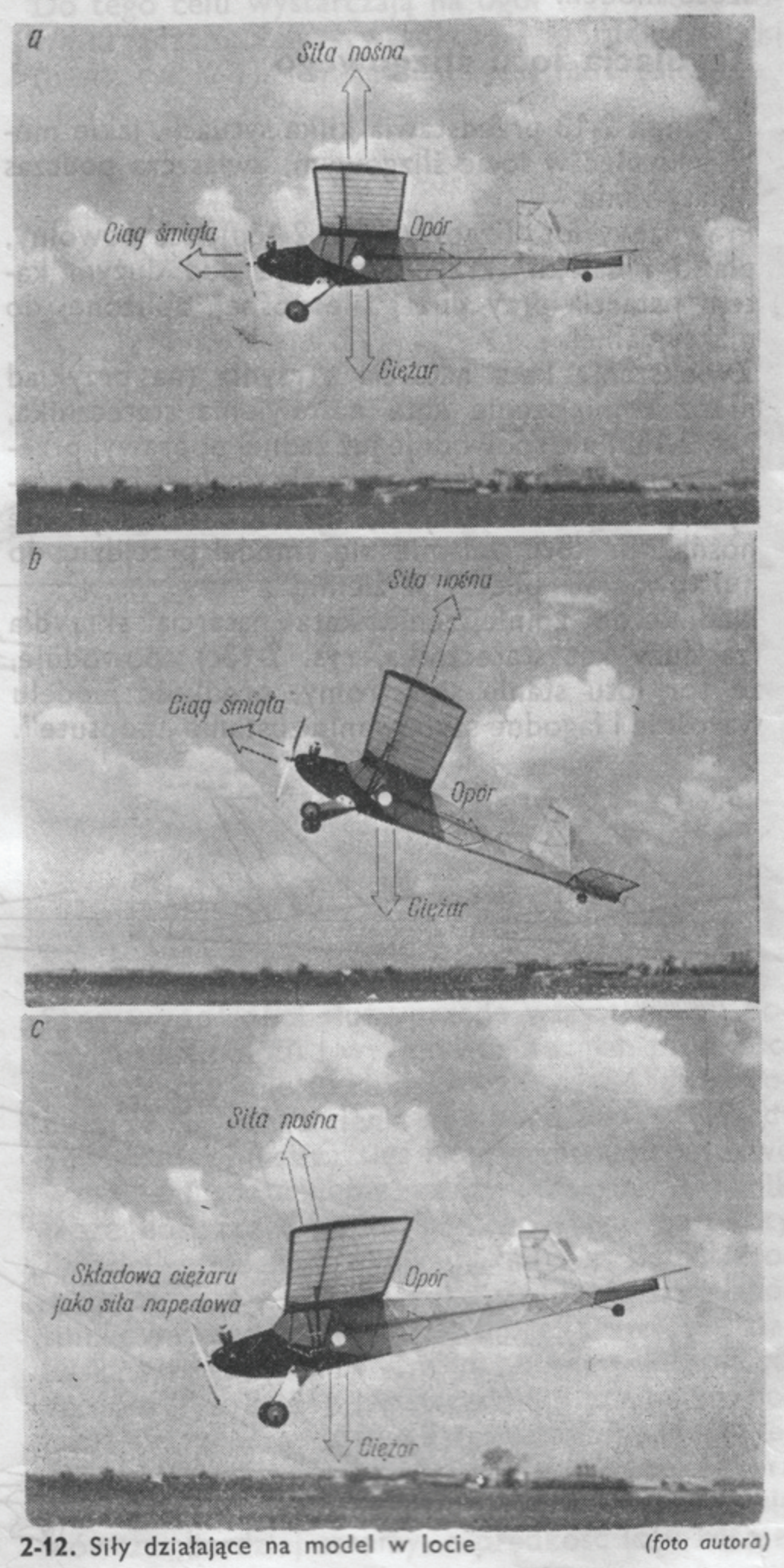
Samolot w locie

Spośród bardzo wielu możliwych rodzajów (stanów) lotu trzy są najbardziej charakterystyczne (rys. 2-12). Są to: lot poziomy, lot wznoszący oraz opadający lot ślizgowy (szybowanie).

Najprostsze zjawiska zachodzą w locie poziomym (rys. 2-12*a*). Lot odbywa się na niezmiennej wysokości i ze stałą prędkością. Siła nośna skrzydła równoważy dokładnie ciężar modelu (samolotu), a opór jest równoważony przez ciąg śmigła. Utrzymanie stałego lotu poziomego zależy od równomierności pracy silnika i stałości ciągu śmigła. Zmniejszenie ciągu spowoduje nachylenie toru lotu ku dołowi i opadanie; zwiększenie ciągu sprawi, że model będzie się wznosił.

We wznoszeniu (rys. 2-12*b*) rozkład sił jest nieco inny. Zwiększony ciąg śmigła musi teraz pokonać nie tylko opór, ale również część ciężaru, ponieważ działanie ciężaru nie jest teraz prostopadłe do toru lotu, jak było przy locie poziomym, lecz skośne, przeciwne ruchowi.

Kiedy silnik zatrzyma się i ciąg śmigła zniknie, nic już nie równoważy oporu i przeciwdziałania ciężaru. Samolot (model) musi przejść do lotu ślizgowego. Lot ślizgowy w spokojnym powietrzu (rys. 2-12*c*) odbywa się zawsze po torze nachylonym do dołu, a kąt szybowania ustala się sam w taki sposób, aby opór płatowca mógł być zrównoważony przez składową ciężaru, która teraz działa do przodu i stanowi jedyną siłę napędową.



2-12. Siły działające na model w locie *(foto autora)*

Właściwości lotu ślizgowego

Im mniejszy jest opór płatowca, tym mniejsza część ciężaru jest potrzebna do wywołania lotu ślizgowego, tym mniejszy jest kąt szybowania i bardziej płaski tor lotu. O płatowcu mówi się wówczas, że jest bardziej doskonały aerodynamicznie — ma większą „doskonałość"; mierzy się ją najczęściej nie kątem (gdyż kąty te są niewielkie), ale odleg-

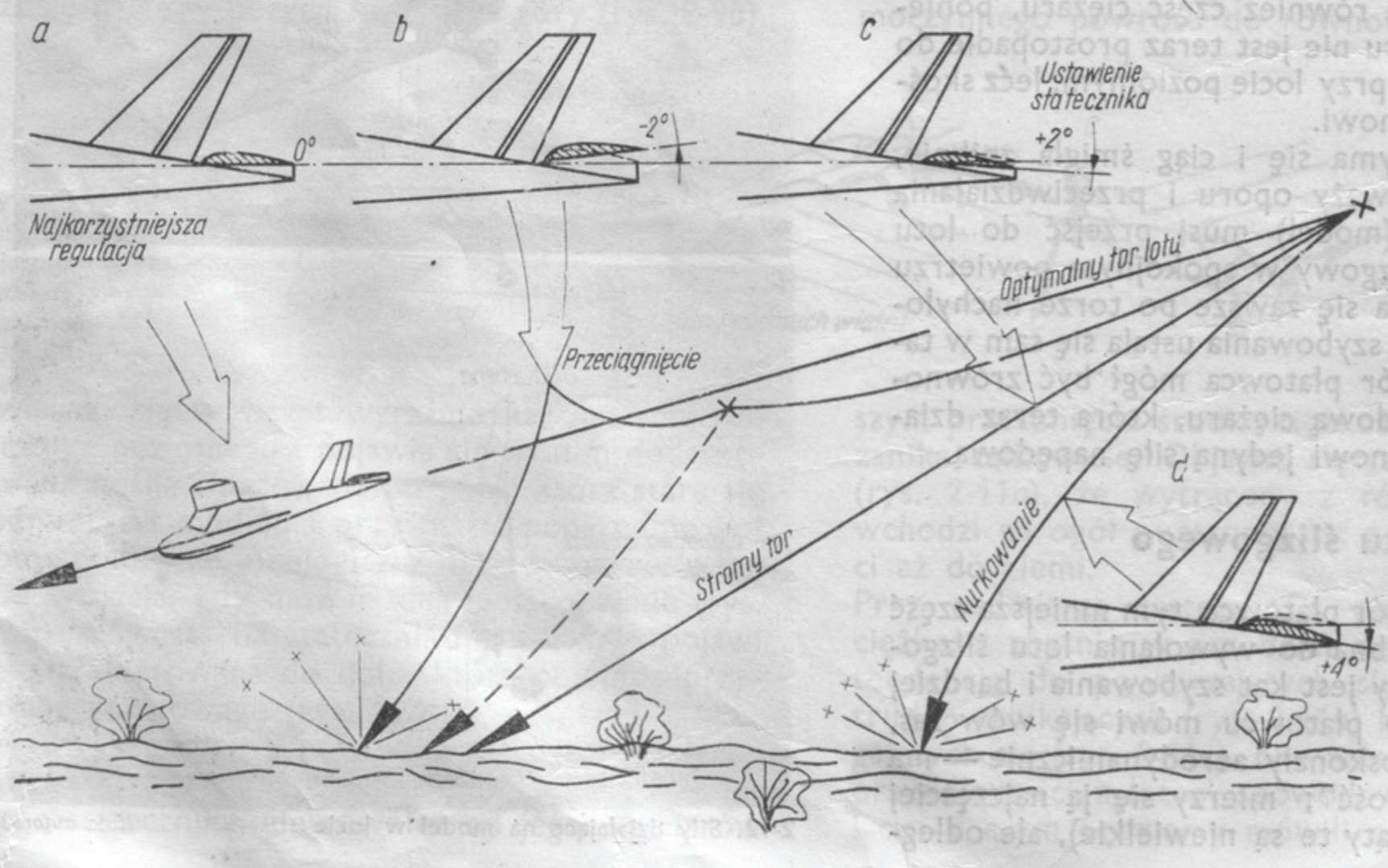
łością, jaką można przelecieć tracąc jednostkę wysokości. Jeżeli płatowiec ma doskonałość równą 10, to z wysokości 1 km przeleci odległość 10 km. Duża doskonałość aerodynamiczna to bardzo ważna i pożądana cecha dla szybowców. Szybowiec o dużej doskonałości lata bardziej płasko i wolniej opada niż samolot, którego doskonałość jest zazwyczaj znacznie mniejsza.
Wielki postęp techniczny w szybownictwie sprawił, że doskonałości wyczynowych, zawodniczych szybowców dochodzą do 50, co oznacza, że z wysokości 1000 m szybowiec przelatuje ogromną odległość 50 km, a tor lotu jest prawie poziomy. W technice miniaturowej również uzyskuje się doskonałe rezultaty. Doskonałość dobrego modelu wyczynowego (zdalnie kierowanego) może wynosić 20, a nawet 25. Modele opadają za to przeciętnie dwa razy wolniej niż prawdziwe szybowce, gdyż ich prędkość lotu jest znacznie mniejsza.
Znajomość zjawisk zachodzących w locie ślizgowym jest dla modelarzy bardzo ważna — w locie ślizgowym oblatuje się bowiem i reguluje większość modeli.

Regulacja lotu ślizgowego

Rysunek 2-13 przedstawia kilka sytuacji, jakie mogą zaistnieć w locie ślizgowym, zwłaszcza podczas oblatywania.
Prawdziwy lot ślizgowy (rys. 2-13*a*) jest powolny, płaski i daleki, skrzydło pracuje pod dużym kątem natarcia przy dużej sile nośnej, zbliżonej do maksymalnej.
Zwiększanie kąta natarcia skrzydła (na przykład przez zmniejszenie kąta nastawienia statecznika, rys. 2-13*b*) nie spowoduje już żadnej poprawy, przekroczony zostanie bowiem maksymalny, bezpieczny kąt natarcia skrzydła, utraci ono swoją siłę nośną, tor lotu załamie się, model przejdzie do nurkowania i uderzy w ziemię.
Nadmierne zmniejszenie kąta natarcia skrzydła (za duży kąt statecznika, rys. 2-13*c*) spowoduje, że tor lotu stanie się stromy, prędkość modelu wzrośnie i łagodne szybowanie zostanie „popsute".
Dalsze zmniejszanie kąta natarcia (rys. 2-13*d*) skrzydła sprawi, że model wejdzie w stromy lot nurkowy, grożąc uszkodzeniem płatowca.
Jak widzimy, prawidłową regulację lotu ślizgowego uzyskuje się praktycznie przez dobór właściwego kąta nastawienia statecznika poziomego, oczywiście przy założeniu, że model jest prawidłowo wyważony.

Stateczność poprzeczna i kierunkowa

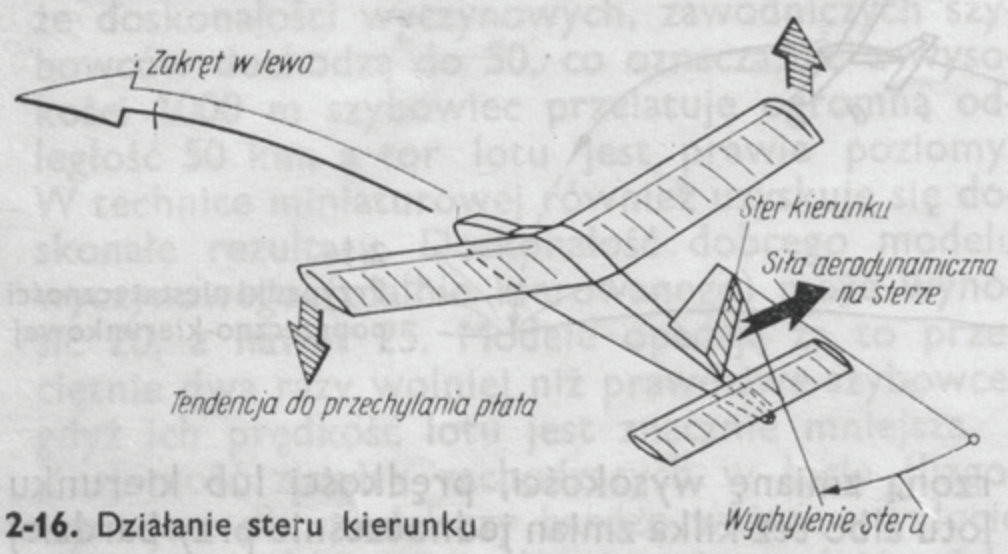
Wszystko, co dotąd powiedzieliśmy o locie modeli i samolotów, odnosiło się do lotu prostego. W rzeczywistości modele rzadko kiedy latają lotem prostym. Przeważnie krążą lub wykonują różne zakręty. Zajmijmy się na razie wyłącznie zmianą kierunku lotu — zakrętami i krążeniem.
Aby model mógł zakręcić, musi zaistnieć w locie siła skierowana w bok. Siłą tą może być przechylające oddziaływanie pracującego silnika (model przechyla się w stronę przeciwną do kierunku obrotów śmigła), odchylenie osi silnika w bok, wychylenie steru kierunku lub jakakolwiek asymetria albo zwichrzenie elementów modelu, zwłaszcza płaszczyzn. Ponieważ modele nigdy nie są idealnie proste i symetryczne, a działanie silnika na ogół nie jest zrównoważone, więc przeważnie zakręcają one zarówno w locie silnikowym, jak i w locie ślizgowym.
Dla modeli swobodnie latających jest to nawet cecha korzystna, gdyż model, który krąży, daleko nie odlatuje i nie ucieka. Ważne jest natomiast, aby model krążył statecznie, pewnie i równomiernie. Tę pewność krążenia nazywamy statecznością poprzeczną lub kierunkową, a właściwie poprzeczno-kierunkową; przechyły i zakręty są ze sobą bowiem ściśle związane.
Prawidłową stateczność poprzeczną uzyskuje się przez właściwy, wzajemny dobór powierzchni statecznika pionowego i wzniosu skrzydła. Stateczny model zatacza jednakowe kręgi, nie przechyla się zbytnio na zakrętach i nie rozpędza, nie jest zbyt wrażliwy na wychylenia steru kierunku i toleruje



2-13. Regulacja lotu ślizgowego

Sterowanie jedynie za pomocą steru wysokości w bardzo prosty sposób zostało zrealizowane w modelach na uwięzi. Jest to jedyny system, gdzie więź pilota z modelem jest prawie tak ścisła, jak w samolocie, a właściwości płatowca bezpośrednio wyczuwalne.

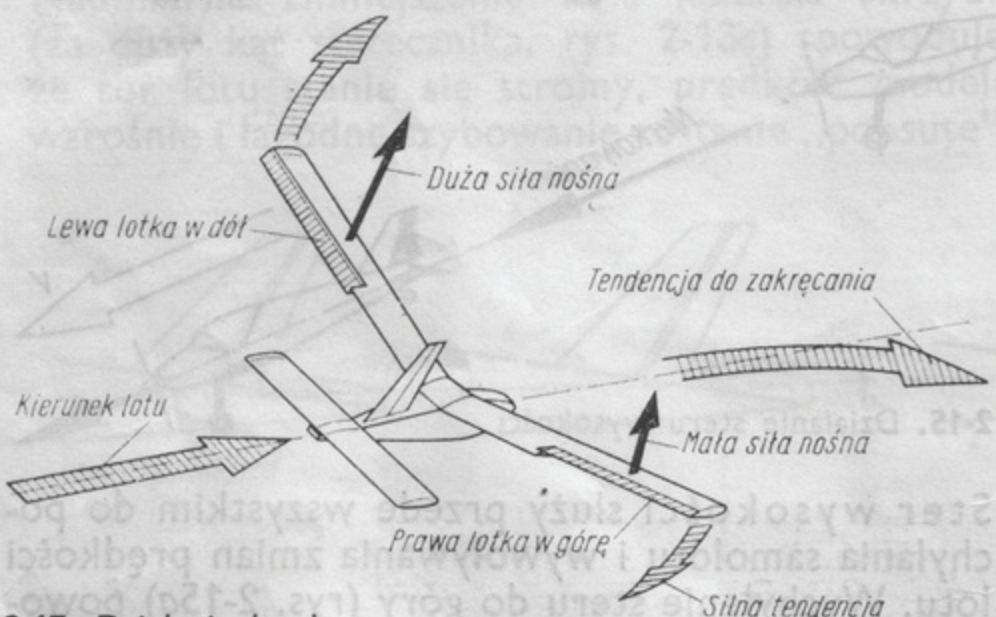
Ster kierunku (rys. 2-16) służy w zasadzie tylko do wywoływania płaskich, niezbyt ciasnych zakrętów. Sterowanie za pomocą tylko steru kierunku stosuje się w prostych jednoczynnościowych



2-16. Działanie steru kierunku

modelach zdalnie sterowanych. Zbyt duże wychylenie steru lub zbyt długie przetrzymanie wychylonego steru wywołuje przy takim sterowaniu wejście modelu w stromą, opadającą spiralę i połączone jest ze wzrostem prędkości — jak przy niestateczności spiralnej.

Lotki służą do poprzecznego przechylania samolotu. Lotki wychylają się zawsze różnicowo (na przemian) tak, że gdy prawa lotka wychylona jest do góry, to lewa jest opuszczona w dół i odwrotnie (rys. 2-17). W rezultacie otrzymuje się wzrost siły nośnej po stronie lotki opuszczonej, a spadek na skrzydle z lotką uniesioną do góry. Różnica sił na obu skrzydłach wywołuje przechylenie samolotu. Samo przechylenie samolotu, jeżeli nie służy wykonywaniu akrobacji, nie jest na ogół do niczego potrzebne. Każde jednak przechylenie wywołuje skłonność do zakręcenia w kierunku przechylonego skrzydła.



2-17. Działanie lotek

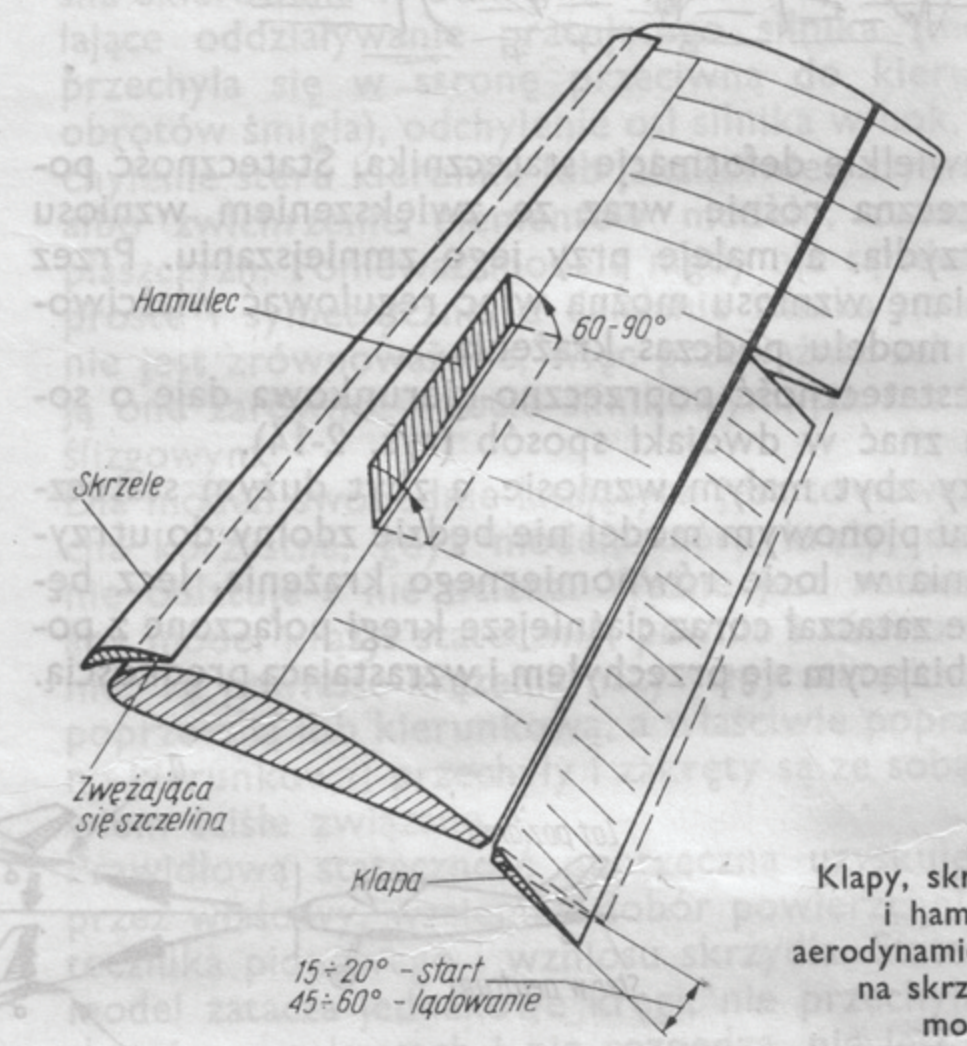
Zakręt wykonany przez przechylenie samolotu, a następnie kontrolowany za pomocą steru wysokości jest bowiem najbardziej prawidłowy i odbywa się na stałej wysokości, w odróżnieniu od zakrętu wykonanego tylko za pomocą steru kierunku. W ten sposób używając lotek i steru wysokości można wykonywać bardzo głębokie zakręty z przechyleniem aż do 90° włącznie (skrzydła są wówczas pionowo ustawione w stosunku do ziemi). Oczywiście lotki, podobnie jak i inne organy sterowania, służą także do wykonywania akrobacji — ale o tym będzie mowa później.

Dodatkowe urządzenia aerodynamiczne

Oprócz sterów i lotek samolot może mieć wiele innych urządzeń, które choć bezpośrednio do sterowania nie służą, znacznie ułatwiają pilotaż i rozszerzają zakres użytkowania płatowca. Należą do nich przede wszystkim dodatkowe urządzenia nośne lub oporowe na skrzydle, jak klapy, skrzela lub też hamulce aerodynamiczne (rys. 2-18).

Klapy są zbudowane podobnie jak lotki, z tym że są wychylane jednocześnie, przeważnie do dołu. Wychylenie klap zwiększa siłę nośną i zmniejsza prędkość lotu. Z tego powodu klapy są stosowane przeważnie do startu i lądowania.

Skrzela tworzą zazwyczaj specjalnie uformowaną szczelinę w profilu skrzydła w pobliżu krawędzi natarcia. Przepływająca przez tę szczelinę struga



2-18
Klapy, skrzela i hamulce aerodynamiczne na skrzydle modelu

powietrza zabezpiecza przed niebezpiecznymi zjawiskami i utratą siły nośnej podczas lotu na maksymalnym kącie natarcia. Skrzela przedłużają więc niejako nośne działanie skrzydła i pozwalają na uzyskanie większej siły nośnej przy większych kątach natarcia niż normalnie. Używa się ich przeważnie przy lądowaniu, łącznie z klapami. W modelach latających w swej klasycznej postaci są stosowane bardzo rzadko.

Hamulce aerodynamiczne mają przeważnie formę płytek umieszczonych na skrzydle i podnoszonych bądź wysuwanych płaszczyzną prostopadle do kierunku lotu. Psują one aerodynamiczne właściwości skrzydła, zmniejszają siłę nośną, zwiększają opór. Pozwalają na szybką utratę wysokości, na przykład przy podejściu do lądowania. Są stosowane powszechnie w szybowcach (także w modelach szybowców). Duża doskonałość szybowców stanowi poważne utrudnienie przy lądowaniu.

O działaniu niektórych dodatkowych urządzeń aerodynamicznych będziemy mogli się również przekonać budując miniaturowy, zmechanizowany samolot kartonowy, o którym już wspomniano poprzednio.

12 Modernizacja i rozwój WICHERKA

Jak już wspomniano, WICHEREK może być ulepszany i modernizowany w wielu kierunkach. Zasadniczy kierunek tych zmian to przede wszystkim rozszerzenie zastosowań modelu, zwiększenie możliwości treningowych zarówno w lotach na uwięzi, jak i zdalnie kierowanych oraz przygotowania do pierwszych startów zawodniczych, zwłaszcza w zdalnym kierowaniu. Poniżej podaję krótki zarys niektórych możliwości w tym zakresie.

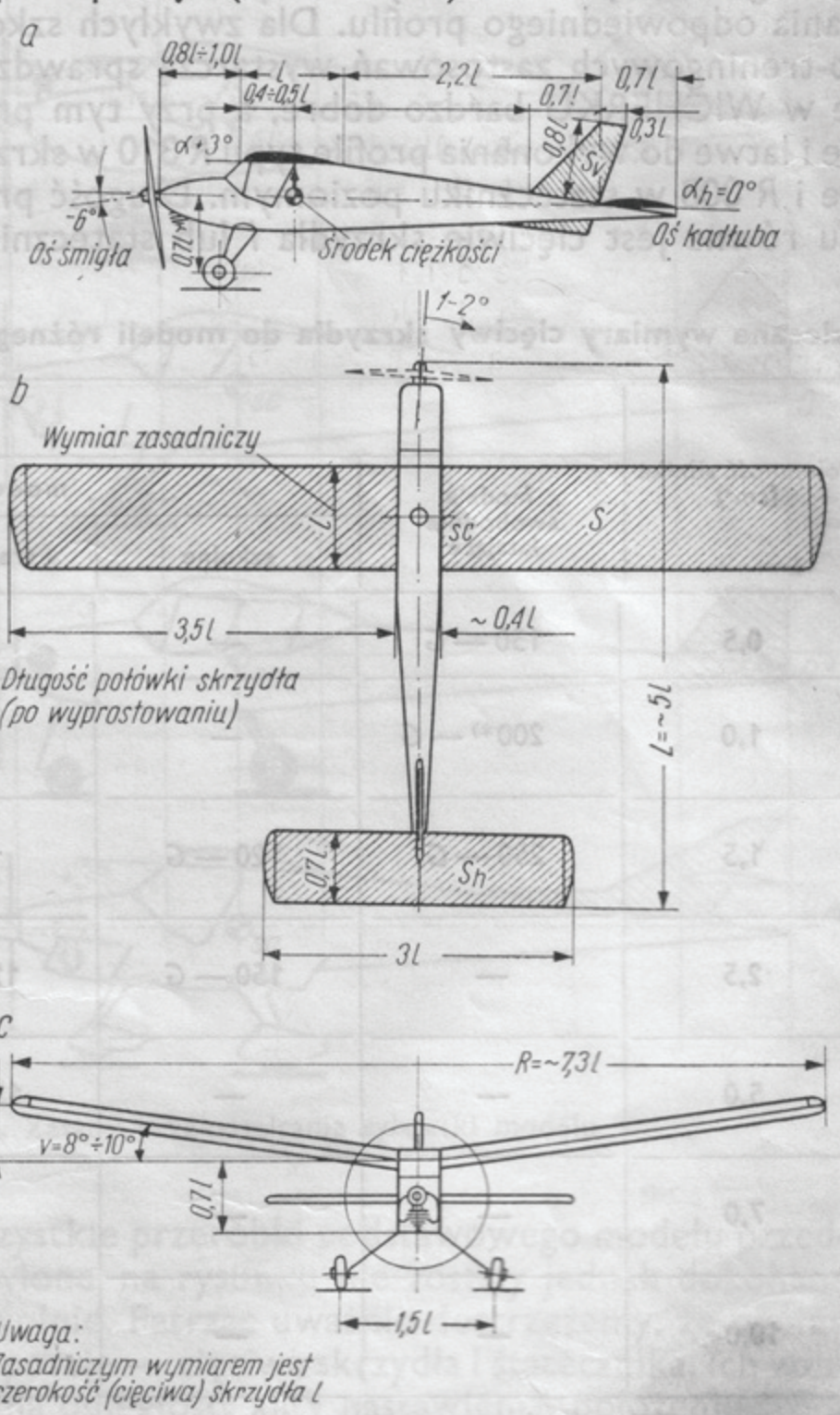
Podstawy projektowania

Modelarstwo lotnicze jest bardzo rozpowszechnione i modelarze z dużym powodzeniem projektują i budują wiele udanych konstrukcji. Ponieważ studiowanie teorii i dokonywanie skomplikowanych obliczeń wymaga dużej wiedzy i wprawy, nasze metody projektowania*) oprzemy na sprawdzonych i gwarantujących powodzenie proporcjach, które zostały dobrane na podstawie prób z wieloma dobrze latającymi modelami, przede wszystkim na podstawie badań udanych wersji WICHERKA.

Zasadnicze proporcje projektowe

Na rysunku 12-1 są podane wyjściowe proporcje wszystkich części płatowca, niezbędne do sporządzenia dobrego projektu.

Jako wymiar podstawowy przyjęto cięciwę skrzydła (głębokość, szerokość) oznaczoną przez *l*. Od tego wymiaru uzależniona jest bezpośrednio wielkość pozostałych wymiarów modelu. Wymiar cięciwy skrzydła *l* ustalamy zależnie od tego, do jakich celów ma służyć model i jakim silnikiem będzie napędzany. Dobór cięciw do modeli różnych typów podaje (tablica 12.1).



12-1. Projektowe proporcje modelu samolotu
a — widok z boku, *b* — widok z góry, *c* — widok z przodu

*) Więcej wiadomości na ten temat znajdzie Czytelnik w książce autora pt. „Miniaturowe lotnictwo".

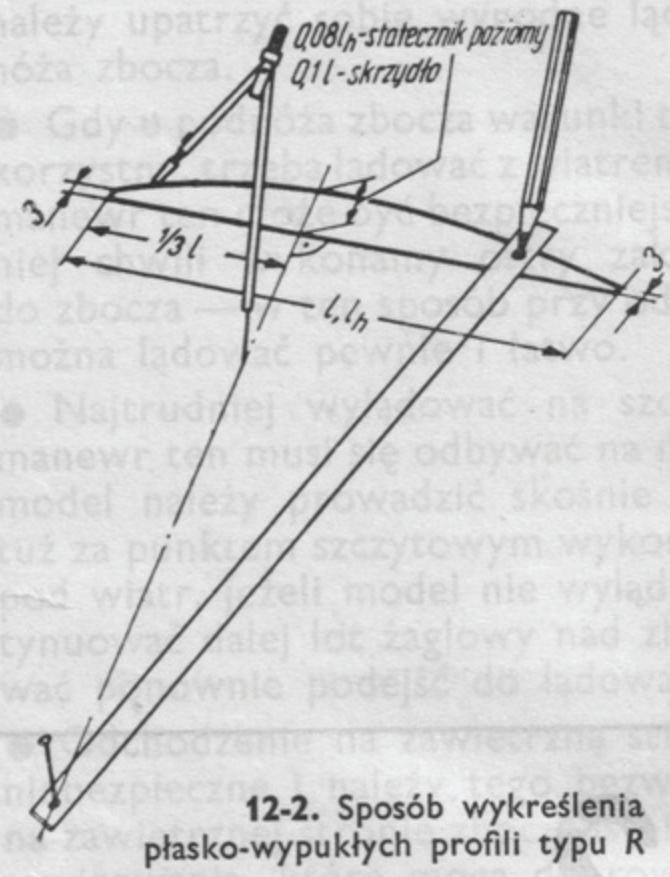
Przy ustalaniu proporcji przyjęto następujące założenia i oznaczenia:

— wymiar podstawowy — cięciwa skrzydła *l*,
+ rozpiętość modelu b = 7,3 *l*,
+ długość modelu *L* = 5 *l*,
— powierzchnia statecznika poziomego S_h = 0,3 powierzchni skrzydła *S* (nie mniej niż 0,25 *S*),
— powierzchnia statecznika pionowego S_v = 0,06 *S*,
+ kąt nastawienia skrzydła w stosunku do osi kadłuba +3°,
— wstępny kąt nastawienia statecznika poziomego w stosunku do osi kadłuba 0°,
— odległość statecznika poziomego od skrzydła 2,2 *l*, nie mniej niż 2 *l*,
— położenie środka ciężkości w granicach 0,4÷÷0,5 *l* od krawędzi natarcia skrzydła,
— wznios skrzydła *v* 8÷10°,
— profil skrzydła *R* 310 (płasko-wypukły), grubość 10%,
— profil statecznika poziomego *R* 308 (płasko-wypukły), grubość 8%.

Przy projektowaniu modelu wszystkie wymienione wymagania muszą być spełnione. Wymiary poszczególnych części modelu ustalamy wg proporcji podanych na rysunku 12-1.

Profile

Wiemy już, że siła nośna skrzydła i statecznika poziomego zależy w znacznym stopniu od zastosowania odpowiedniego profilu. Dla zwykłych szkolno-treningowych zastosowań wystarczą sprawdzone w WICHERKU bardzo dobre, a przy tym proste i łatwe do wykonania profile typu *R* 310 w skrzydle i *R* 308 w stateczniku poziomym. Długość profilu równa jest cięciwie skrzydła *l* lub statecznika l_h i może być rozmaita, zależnie od tego, jaki rozmiar modelu wybierzemy (tabl. 12.1). Musimy więc opanować sztukę wykreślania profili o różnej długości. Zabieg jest bardzo prosty i rysunek 12-2 wyjaśnia go całkowicie. Kolejność postępowania jest następująca:



12-2. Sposób wykreślenia płasko-wypukłych profili typu *R*

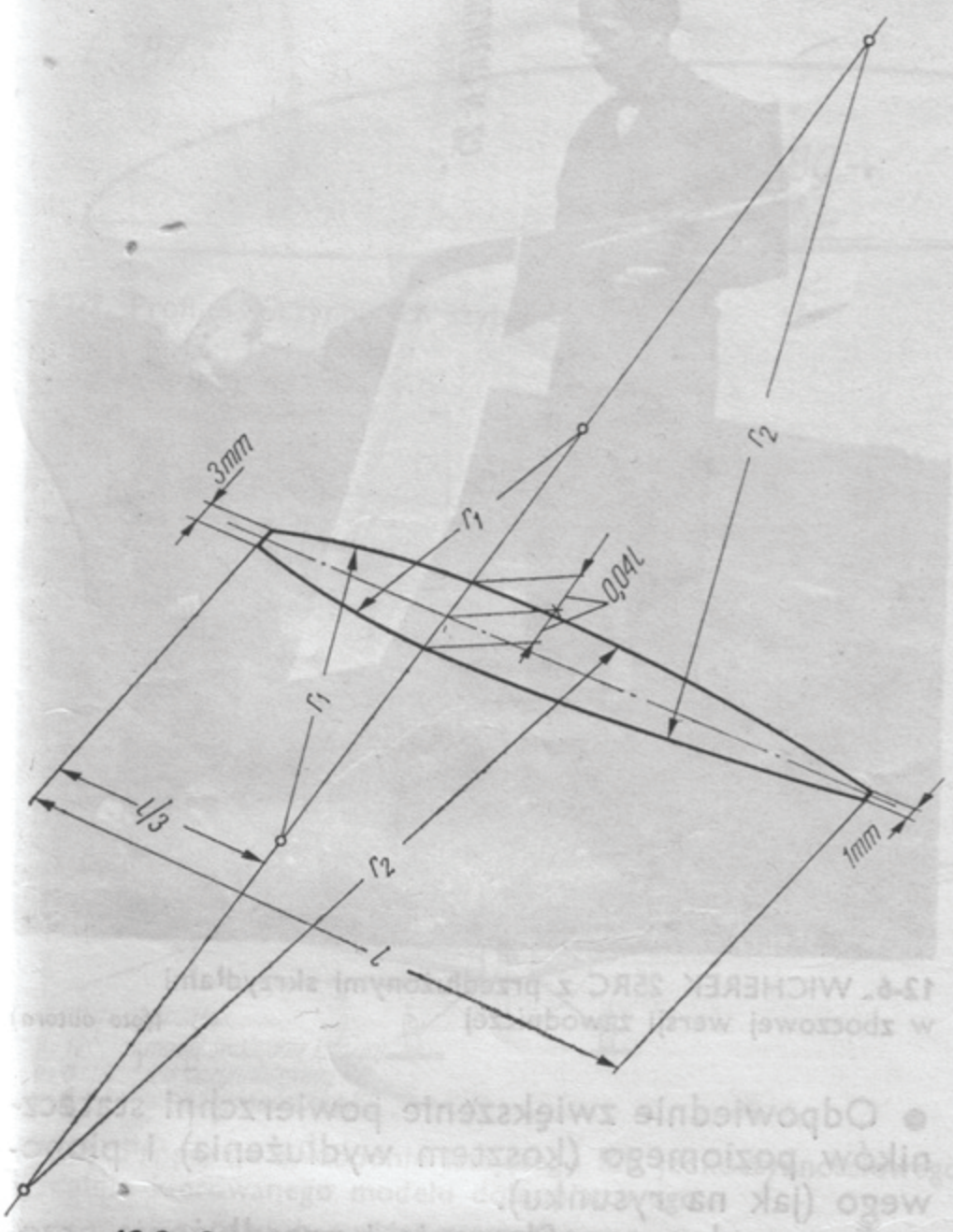
— na dużym kawałku sztywnego papieru rysujemy odcinek równy długości profilu *l*,
— w jednej trzeciej tego odcinka prowadzimy długą linię prostopadłą i odmierzamy w górę grubość profilu, która wynosi 0,1 *l* (10%) dla profilu skrzydła i 0,08 *l* (8%) dla profilu statecznika poziomego,
— na końcu i na początku profilu odmierzamy odcinki po około 3 mm (grubość listewek),
— stawiamy stopkę cyrkla na linii prostopadłej i dobierając odpowiedni promień staramy się połączyć łukiem najwyższy punkt profilu z krawędzią przednią (krawędź natarcia),

Zalecane wymiary cięciwy skrzydła do modeli różnego typu — Tablica 12.1

Pojemność silnika [cm³]	Cięciwa skrzydła *l* [mm]					
	modele swobodnie latające	modele na uwięzi			modele zdalnie kierowane	
		szkolne	treningowe	akrobacyjne	jednoczynnościowe treningowe	wieloczynnościowe akrobacyjne
0,5	150 — *G*	—	—	—	—	—
1,0	200*) — *G*	—	—	—	150 *G*, *D* 120 — *B*	—
1,5	250 — *G*	120 — *G*	—	—	200*) — *G*, *D* 150 — *B*	—
2,5	—	150 — *G*	120 — *D*	150 — *B*	240 *G*, *D* 200*) — *B*	—
5,0	—	—	150 — *D*	200*) — *B*	300 — *G*, *D* 240 — *B*	240 — *D* 200*) — *B*
7,0	—	—	—	200*) — *B*	300 — *G*, *D* 240 — *B*	300 — *D* 240 — *B*
10,0	—	—	—	—	—	300 — *D* 240 — *B*

Oznaczenia: *G* — górnopłat, *D* — dolnopłat, *B* — dwupłat
*) Zamiast cięciwy długości 200 mm można stosować cięciwę dł. 180 mm

— podobny łuk zataczamy w kierunku tylnej krawędzi (krawędź spływu) z tym, że trzeba będzie narysować znacznie większy promień; normalny cyrkiel może tu nie wystarczyć, poradzimy sobie używając do tego celu paska papieru, taka jak na rysunku.



12-3. Sposób wykreślenia profilu symetrycznego typu *R*

Projektując indywidualnie, w przypadku gdy chcemy rozszerzyć zakres zastosowania modelu lub nadać mu bardziej wyczynowy charakter, możemy oczywiście zastosować inne profile zarówno do skrzydła, jak i do statecznika poziomego. Zmiany te będą polegały przede wszystkim na zastosowaniu bardziej wklęsłego profilu skrzydła w przypadku, gdy chcielibyśmy uzyskać mniejszą prędkość lotu (na przykład przy szybowcu termicznym), a dwuwypukłego dla szybszych modeli na uwięzi i modele zdalnie kierowanych. W obu przypadkach profil statecznika poziomego powinien być zmieniony nie na nośny, oparty na tej samej zasadzie co płaskowypukłe profile *R*, tylko na symetryczny. Zasada wykreślenia takiego profilu (profil *R* 304-4) o grubości 8% pokazana jest na rysunku 12-3.

Sylwetka modelu

Czy tylko taki model, jak na rysunku 12-1 będzie dobrze latał? Niekoniecznie.

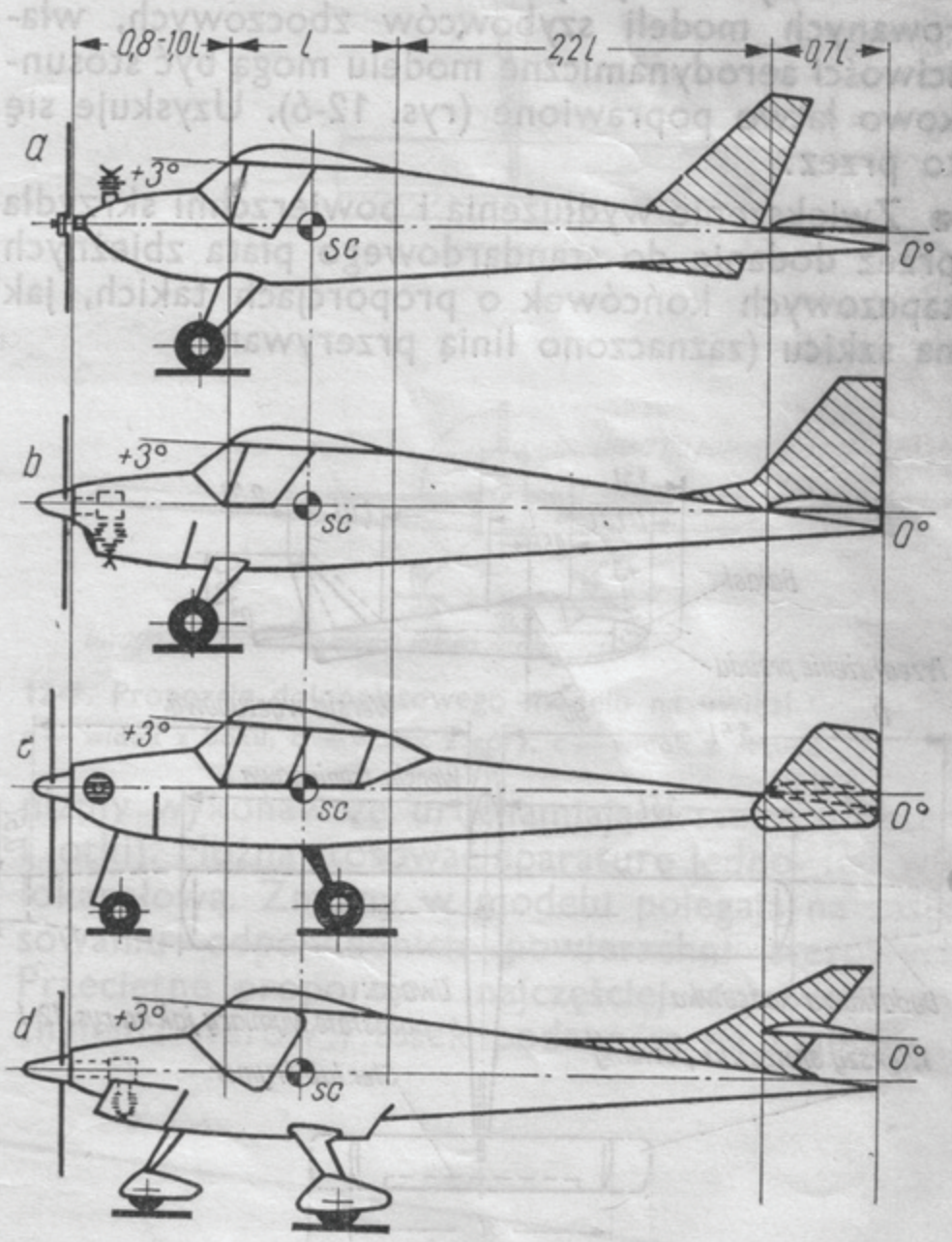
Zachowując podane proporcje można sobie pozwolić na dość znaczną modyfikację zewnętrznego wyglądu modelu. Kilka spośród wielu możliwości pokazuje rysunek 12-4.

Na rysunku 12-4*a* przedstawiona jest podstawowa sylwetka modelu. Silnik umieszczony jest cylindrem do góry. Cylinder wystaje na zewnątrz kadłuba i jest nieprofilowany. Model ma prostą konstrukcję. Charakterystyczne jest umieszczenie statecznika pionowego z przodu, przed statecznikiem poziomym, dzięki czemu, jak wiemy, zamocowanie tego ostatniego jest bardzo proste. Sylwetka modelu jest prosta, miła dla oka.

Modyfikacja przedstawiona na rysunku 12-4*b* polega na oprofilowaniu silnika, który zamontowany jest cylindrem do dołu. Dzięki temu przód modelu wygląda teraz tak, jak w prawdziwym samolocie z rzędowym odwróconym silnikiem. Statecznik pionowy cofnięty został do tyłu i kształt jego również uległ zmianie. Poza tym sylwetka kadłuba pozostała bez zmian.

Na rysunku 12-4*c* zmiany są posunięte jeszcze dalej. Model został wyposażony w trójkołowe podwozie, co spowodowało, że tył modelu jest uniesiony teraz do góry. Umożliwiło to zastosowanie podwójnych stateczników pionowych, umieszczonych na końcach statecznika poziomego. Oczywiście, suma powierzchni obu stateczników musi być równa powierzchni statecznika poprzedniego. Na rysunku widoczna jest również modyfikacja sylwetki kadłuba — wydłużono kabinę, a przód modelu jest teraz spłaszczony, dzięki czemu silnik zamontowano w pozycji bocznej. Głowica cylindra wystaje z boku kadłuba, co znacznie ułatwia regulację.

Sylwetka modelu na rysunku 12-4*d* jest stylizowana na wzór nowoczesnych samolotów o napędzie turbinowo-odrzutowym. Model ma charakterystyczne oprofilowanie przodu kadłuba i statecznik poziomy zamocowany nad kadłubem.



12-4. Zasady przekształcania sylwetki modelu

Wszystkie przeróbki podstawowego modelu przedstawione na rysunku nie zostały jednak dokonane dowolnie. Patrząc uważnie dostrzeżemy, że ogólne proporcje — cięciwa skrzydła i statecznika, ich wzajemna odległość, kąty nastawienia, położenie środka ciężkości, powierzchnie statecznika pionowego — wszędzie pozostały bez zmian.

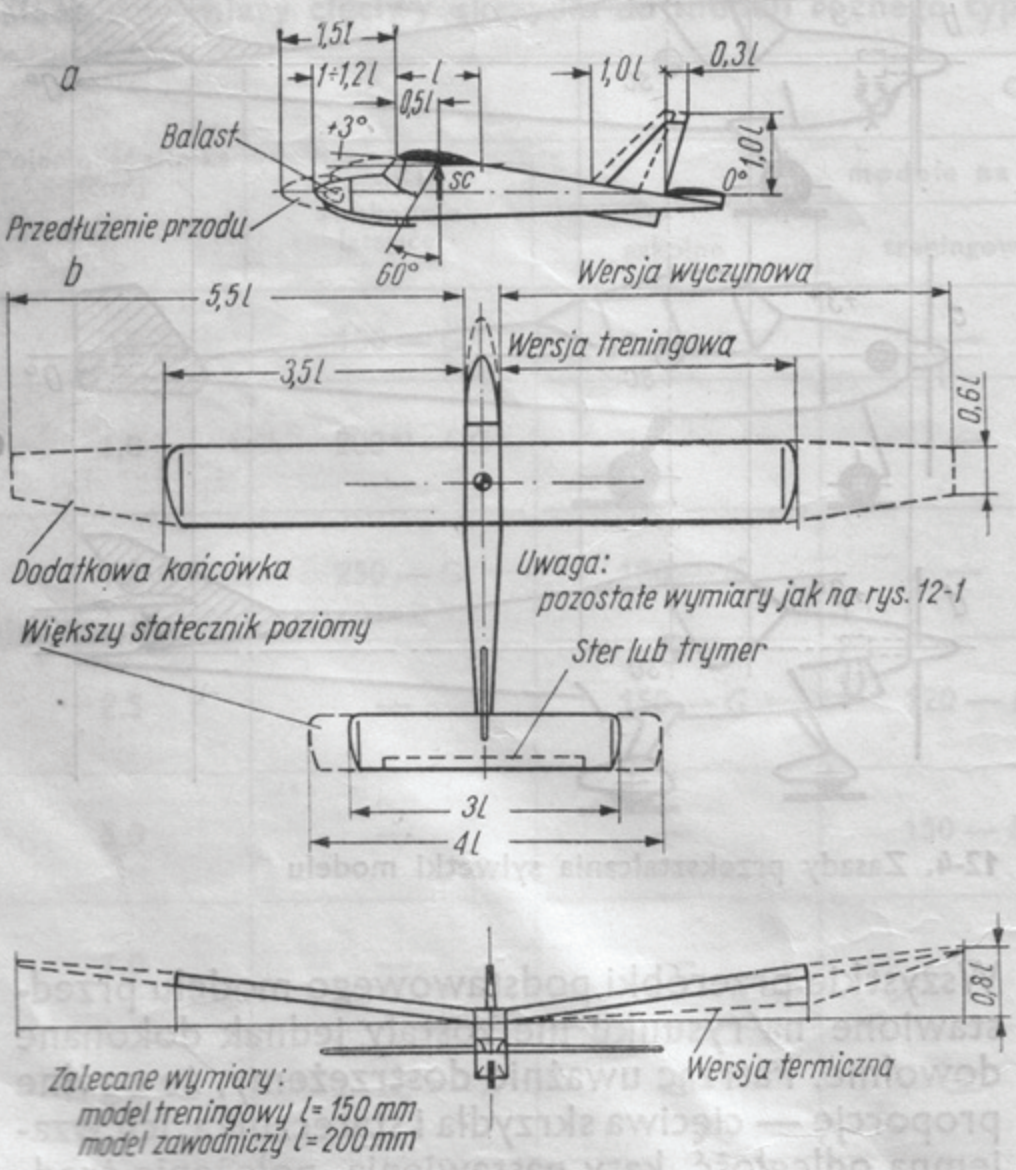
Tworzenie nowych wersji

Zarówno w miniaturowym, jak i prawdziwym lotnictwie podstawowa konstrukcja jest tylko punktem wyjścia do dalszych zmian i ulepszeń. Ciągła modernizacja modelu prowadzi do coraz to nowych i doskonalszych wersji, przystosowanych do różnych zadań. Modernizując model nie musimy się koniecznie ograniczać do zmian sylwetki, ale możemy tworzyć nowe wersje przystosowane do lotu szybowcowego, na uwięzi i do zdalnego sterowania. Możemy nawet zmieniać układ modelu. Poniżej podany jest krótki opis tych możliwości:

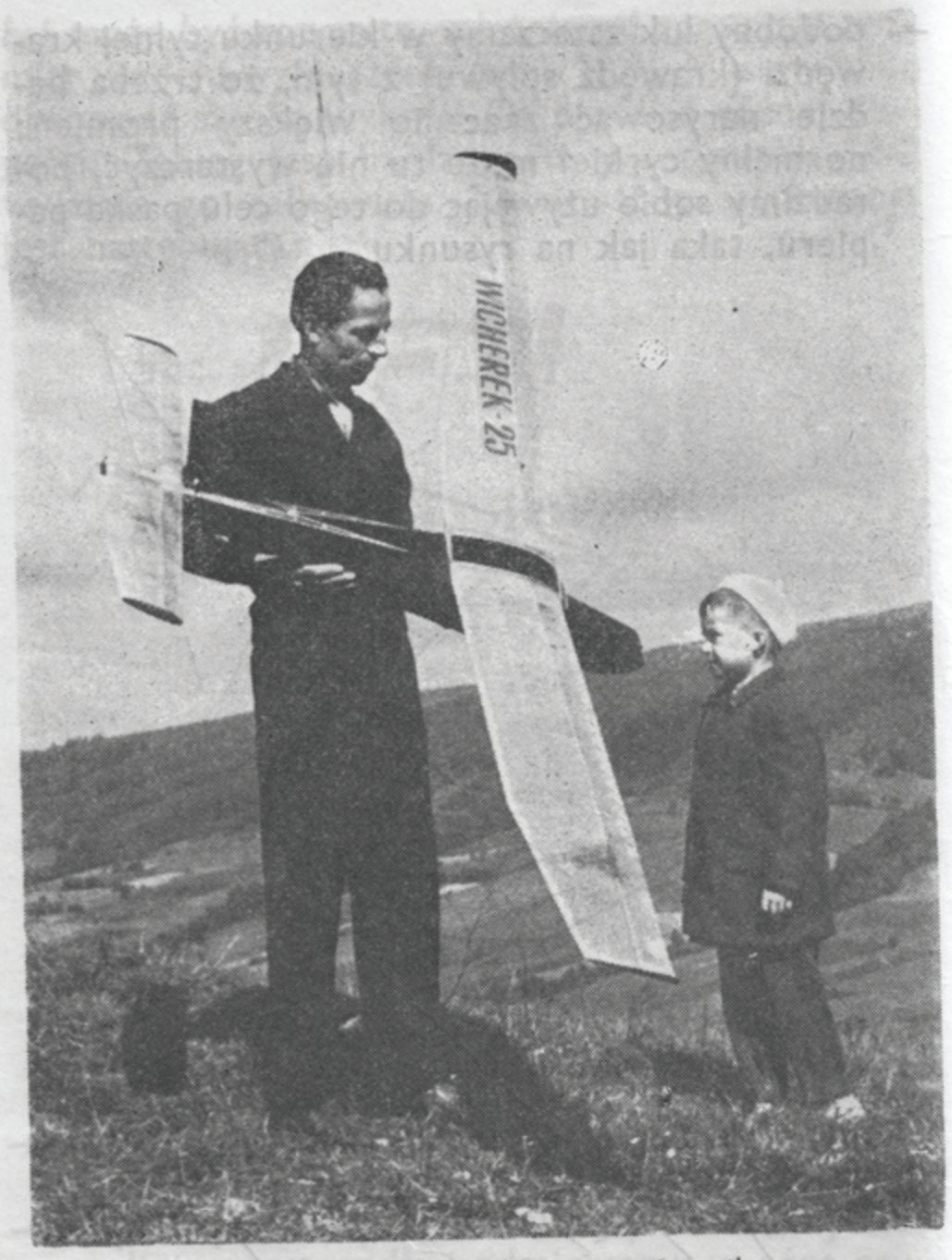
Wersja szybowcowa (rys. 12-5) powstaje po odjęciu podwozia i silnika. Brak podwozia powinien być zastąpiony płozą do lądowania, zakończoną haczykiem do startu z holu. Brak silnika należy zrównoważyć odpowiednim balastem, aby położenie środka ciężkości nie uległo zmianie. Dla pomieszczenia balastu model musi być zaopatrzony w odpowiedni czub. Wersja szybowcowa powinna być tak opracowana, aby istniała możliwość wmontowania silnika. Jest to szczególnie istotne dla tych modelarzy, którzy nie dysponują na razie odpowiednią sumą pieniędzy na zakup silnika.

Jeżeli planujemy, że model będzie użyty do startów zawodniczych, na przykład w zawodach zdalnie kierowanych modeli szybowców zboczowych, właściwości aerodynamiczne modelu mogą być stosunkowo łatwo poprawione (rys. 12-6). Uzyskuje się to przez:

- Zwiększenie wydłużenia i powierzchni skrzydła przez dodanie do standardowego płata zbieżnych tapezowych końcówek o proporcjach takich, jak na szkicu (zaznaczono linią przerywaną).



12-5. Proporcje modelu szybowca oraz możliwości powiększenia wydłużenia skrzydła
a — widok z boku, *b* — widok z góry



12-6. WICHEREK 25RC z przedłużonymi skrzydłami w zboczowej wersji zawodniczej *(foto autora)*

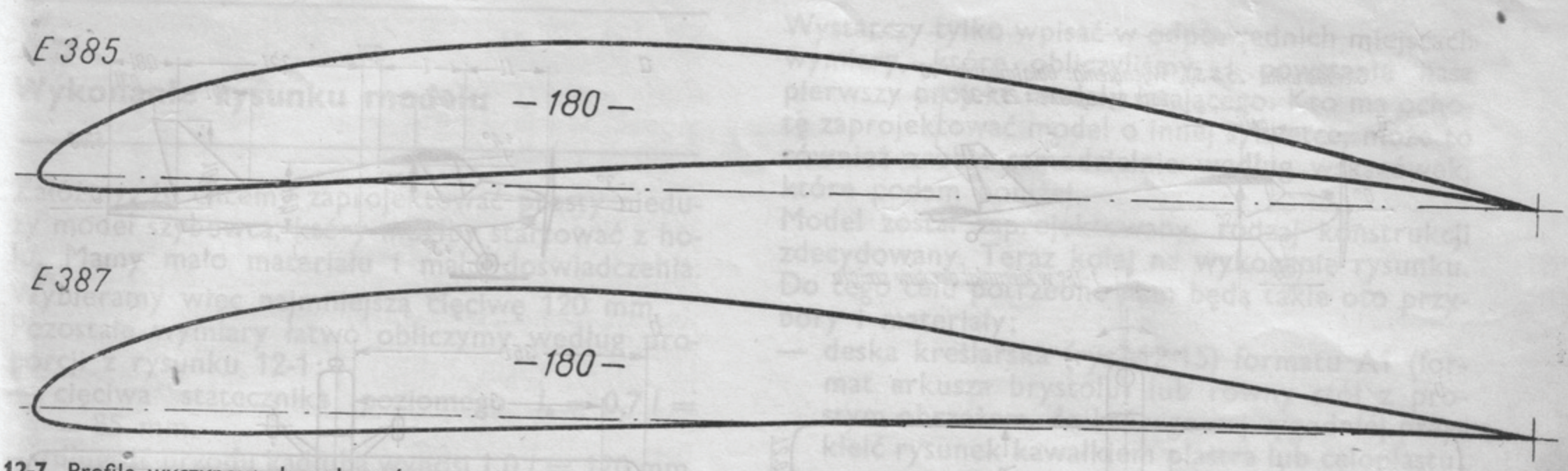
- Odpowiednie zwiększenie powierzchni statecznikow poziomego (kosztem wydłużenia) i pionowego (jak na rysunku).
- Ewentualne oprofilowanie i przedłużenie przodu kadłuba dla zmniejszenia oporu i ułatwienia wyważenia modelu za pomocą ciężaru wyposażenia.
- Zastosowanie (niekonieczne) innych profili do skrzydła, na przykład:
  — profilu E 385 dla modelu powolnego termicznego przeznaczonego do startu przy słabym wietrze lub
  — profilu E 387 dla modelu szybszego (zboczowego): profile te w naturalnej wielkości*) podane są na rysunku 12-7.
- Przy modelu zdalnie kierowanym, szczególnie szybszym, profil statecznika należy zmienić na symetryczny — *R* 304-4, a środek ciężkości przesunąć o 0,1 *l* do przodu.

Wersja dolnopłatowa (rys. 12-8) powstaje przez przeniesienie skrzydła z góry i umieszczenie go u dołu kadłuba. W przypadku modelu swobodnie latającego dla zachowania stateczności konieczne jest zwiększenie wzniosku skrzydła o około 2°. Wersję dolnopłatową można polecić do modeli na uwięzi (możliwość prowadzenia linek w skrzydle) oraz zdalnie kierowanych (szczególnie wielokanałowych). Konkretne propozycje nieco dalej.

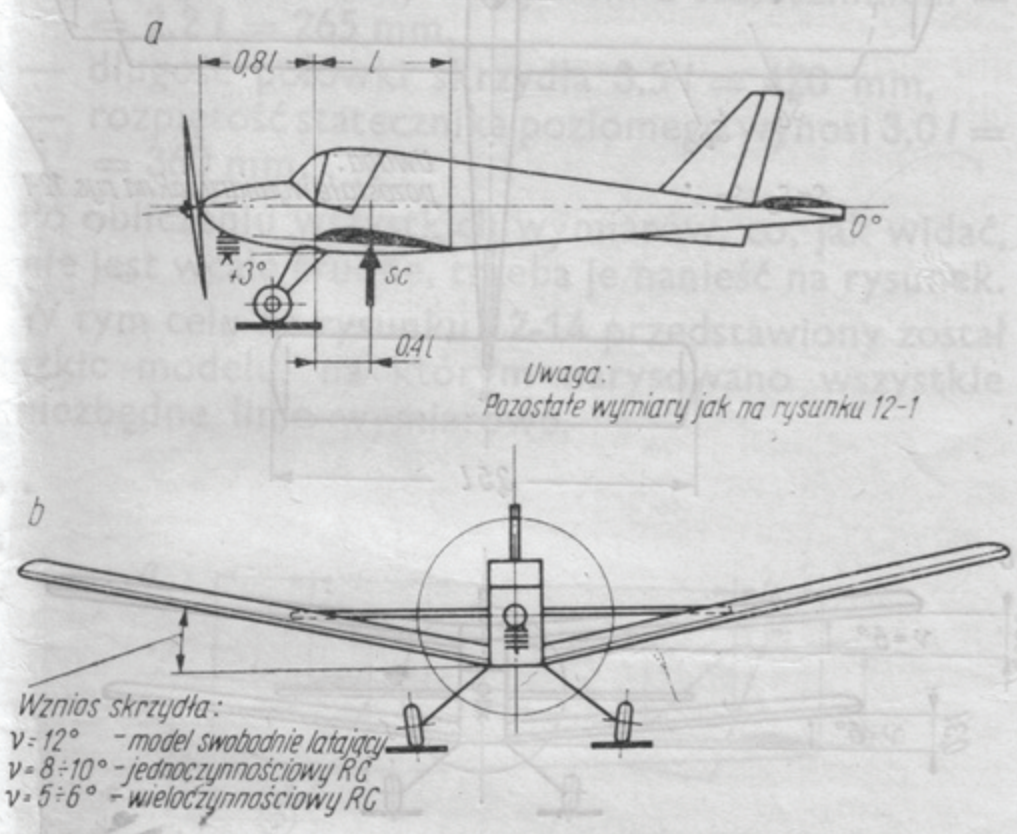
Wersja na uwięzi (rys. 12-9) powstaje przez wprowadzenie następujących zmian:

- Zmniejszenie lub całkowite zlikwidowanie wzniosu skrzydła.
- Zastosowanie steru wysokości wraz z mechanizmem napędzającym (orczyk i popychacz).

* Ze względów technicznych na rys. podano profile o cięciwie 180 mm. Należy je stosować zamiast profili cięciwy dł. 200 mm.



12-7. Profile wyczynowych szybowców



12-8. Proporcje swobodnie latającego lub jednoczynnościowego zdalnie kierowanego modelu dolnopłatowego
a — widok z boku, *b* — widok z przodu

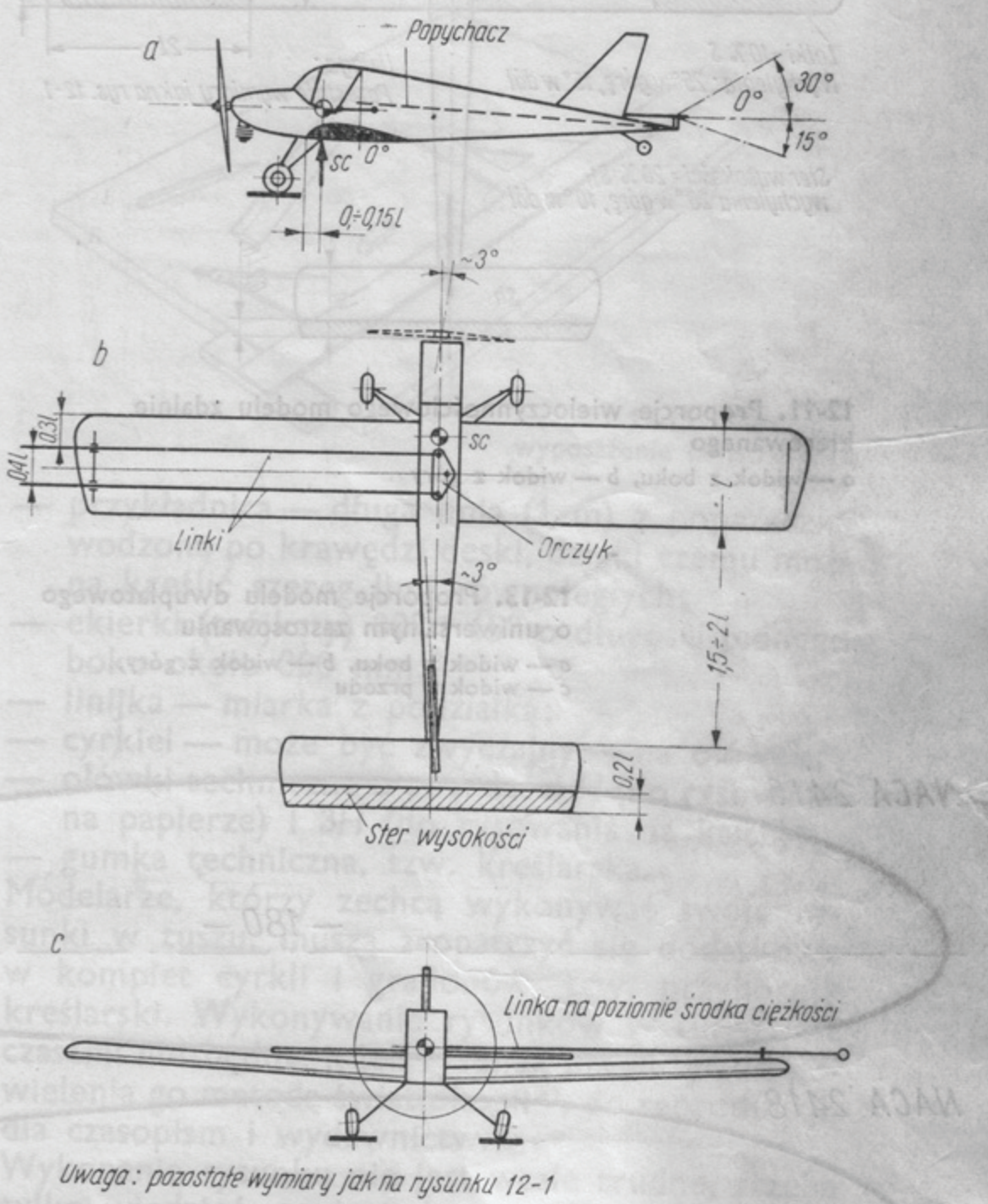
● Przesunięcie środka ciężkości do przodu; nowy środek ciężkości powinien znajdować się w odległości O ÷ 0,15 *l* od krawędzi natarcia.

● Umieszczenie linek na poziomie środka ciężkości, dodanie prowadzenia na końcu skrzydła.

Ponadto wersja na uwięzi wymaga zastosowania odpowiednio mocniejszego silnika (patrz tablica 12.1) i mocniejszej konstrukcji.

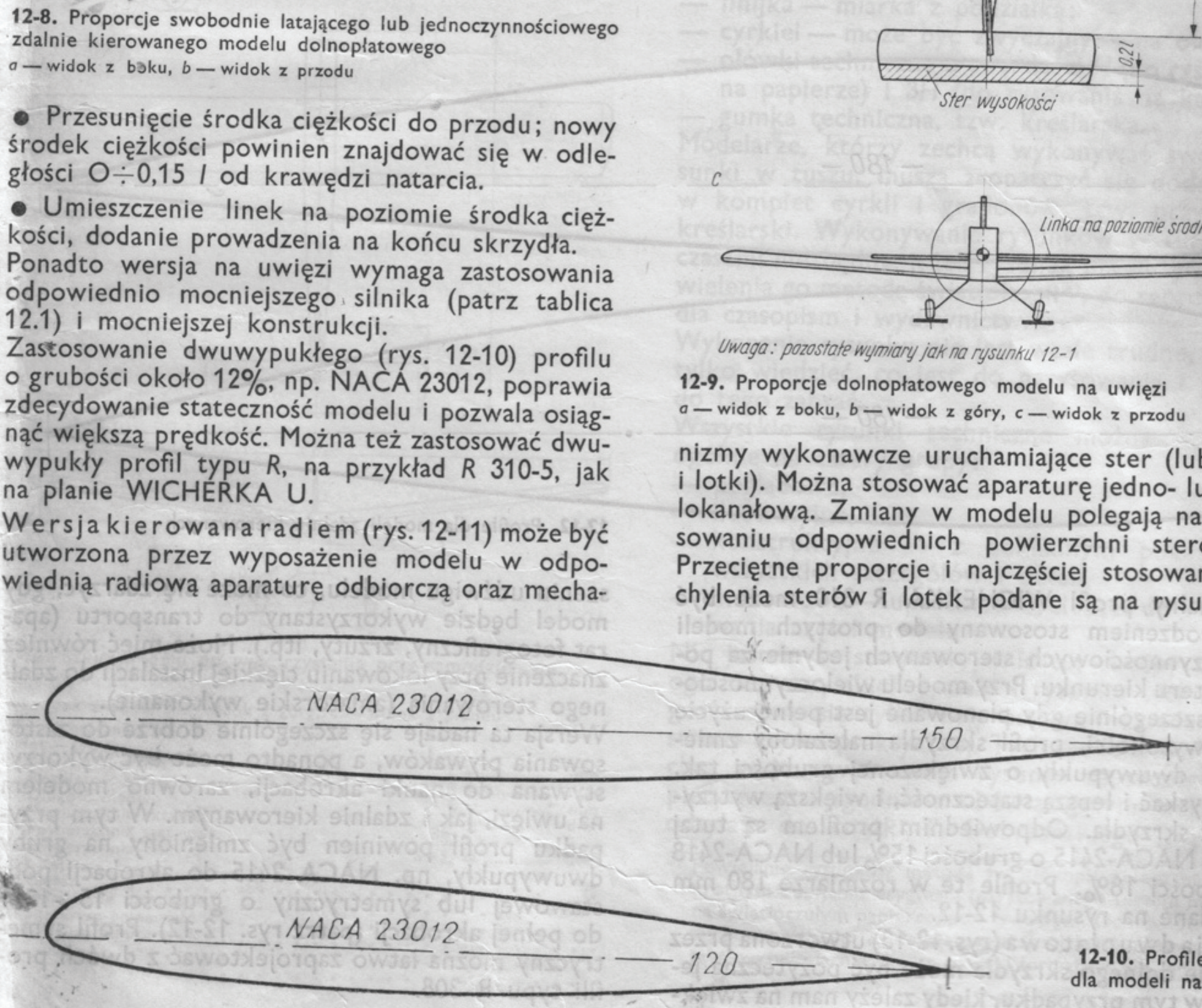
Zastosowanie dwuwypukłego (rys. 12-10) profilu o grubości około 12%, np. NACA 23012, poprawia zdecydowanie stateczność modelu i pozwala osiągnąć większą prędkość. Można też zastosować dwuwypukły profil typu *R*, na przykład *R* 310-5, jak na planie WICHERKA U.

Wersja kierowana radiem (rys. 12-11) może być utworzona przez wyposażenie modelu w odpowiednią radiową aparaturę odbiorczą oraz mecha-



12-9. Proporcje dolnopłatowego modelu na uwięzi
a — widok z boku, *b* — widok z góry, *c* — widok z przodu

nizmy wykonawcze uruchamiające ster (lub stery i lotki). Można stosować aparaturę jedno- lub wielokanałową. Zmiany w modelu polegają na zastosowaniu odpowiednich powierzchni sterowych. Przeciętne proporcje i najczęściej stosowane wychylenia sterów i lotek podane są na rysunku.



12-10. Profile dla modeli na uwięzi