

AERODYNAMIKA 2

WYKŁAD 5

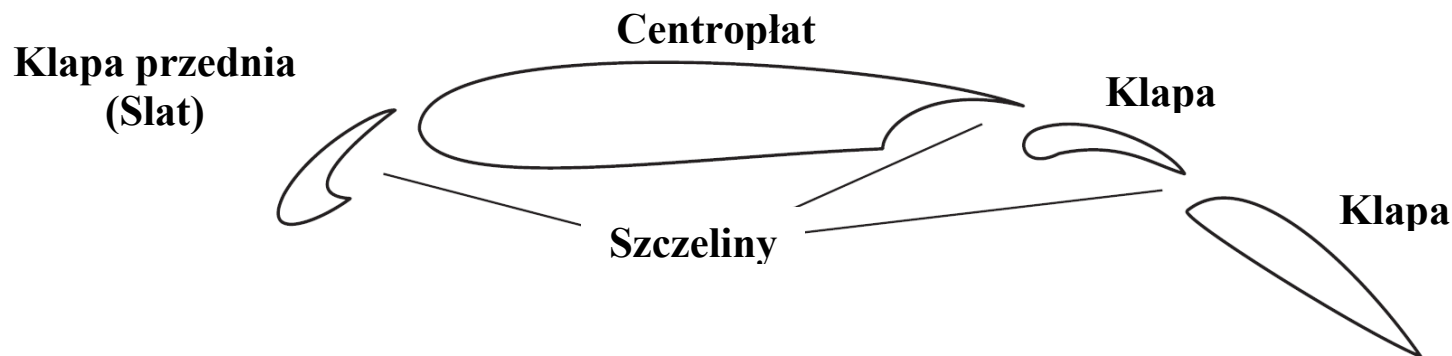
URZĄDZENIA HIPERNOŚNE

Urządzenia hipernosne – profil wielosegmentowy

Prędkość przeciągnięcia, tj. najniższa prędkość lotu przy której skrzydła samolotu generują wystarczającą siłę nośną aby utrzymać ustalony lot. Prędkość przeciągnięcia (jak pamiętamy) jest określona następująco:

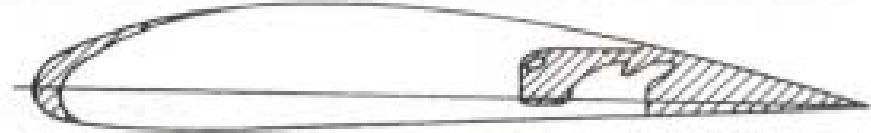
$$V_{stall} = \sqrt{\frac{2W}{\rho_{\infty} S C_{Lmax}}} \quad (5.1)$$

gdzie W – siła ciężkości, S – powierzchnia skrzydła oraz C_{Lmax} – maksymalna wartość współczynnika siły nośnej. W związku z tym aby umożliwić pilotowi obniżenie prędkości przy której następuje przeciągnięcie (np. start i lądowanie), zabranie większej ilości ładunku oraz większą manewrowość stosowane są urządzenia hipernośne w celu podniesienia współczynnika siły nośnej. Tego typu urządzenia najczęściej sprowadzają się do mechanicznych układów modyfikujących kształt skrzydła na jego krawędziach natarcia i spływu. Typowy układ hipernośny został pokazany poniżej:

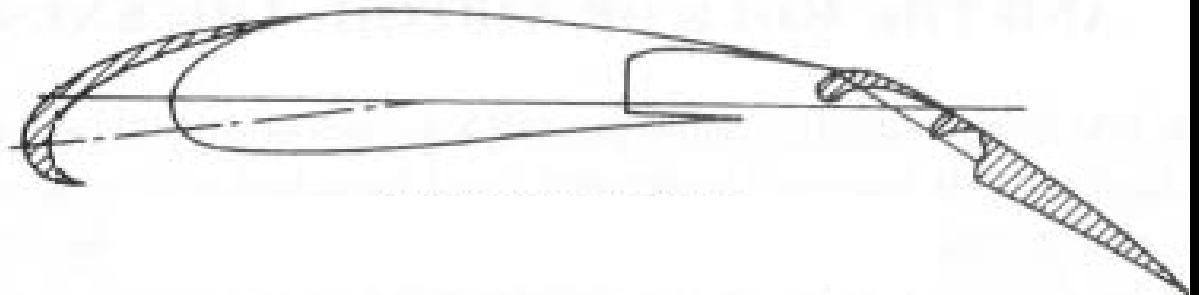


Typowe konfiguracje urządzeń hipernośnych

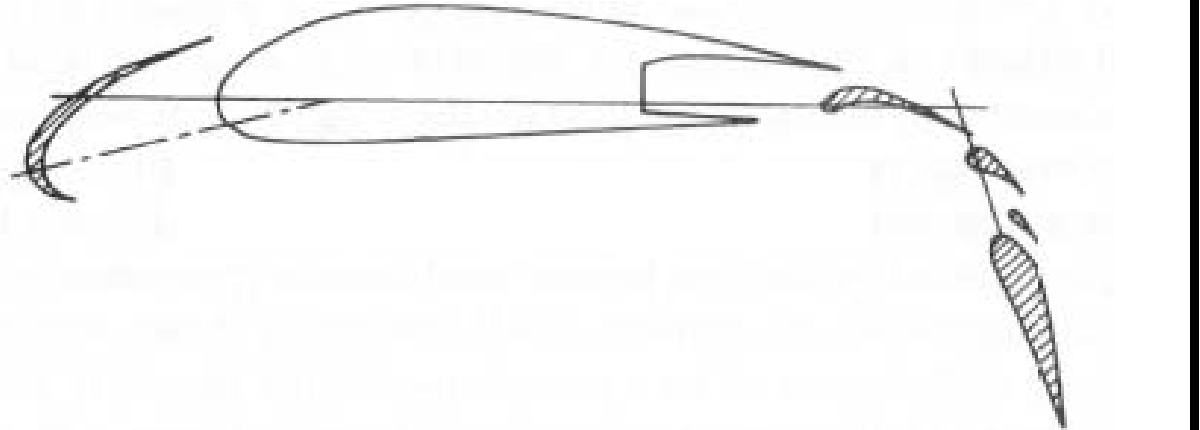
Konfiguracja przelotowa
(ang. **Cruise configuration**) –
Urządzenie nieaktywne



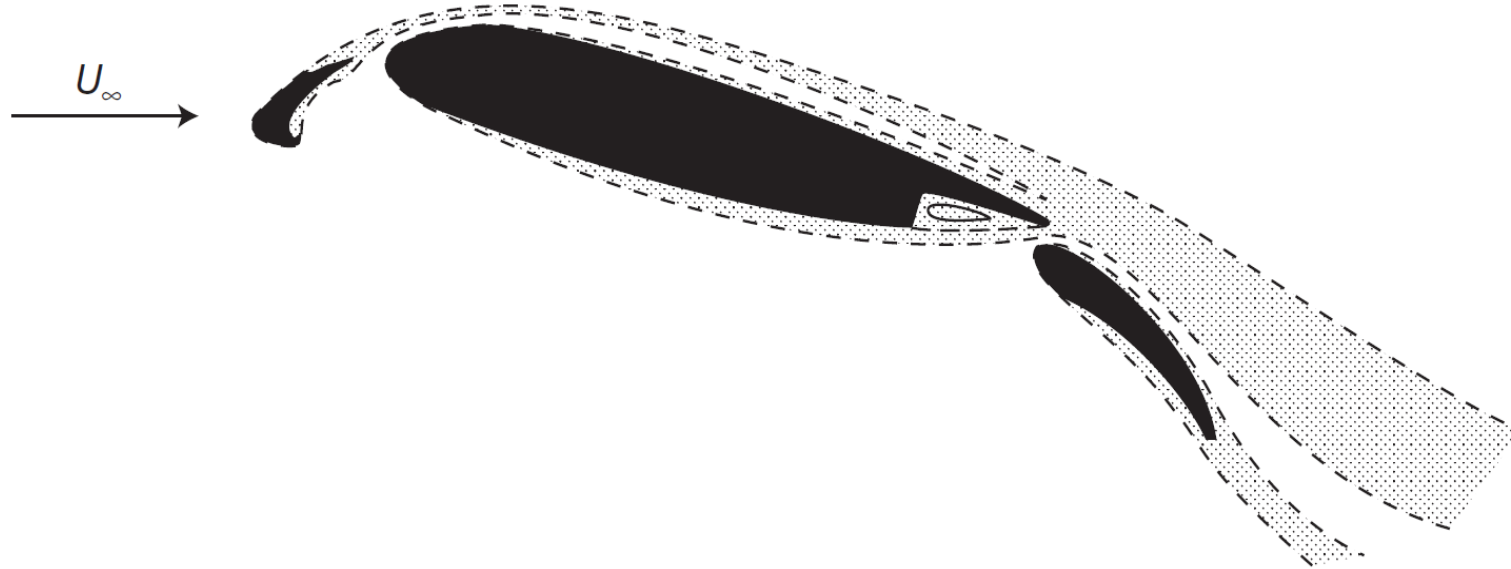
Konfiguracja w czasie startu
(ang. **Takeoff configuration**) –
urządzenia na krawędzi natarcia i
spływu są częściowo wychylone.



**Konfiguracja w czasie
lądowania**
(ang. **Landing configuration**) –
urządzenia na krawędzi natarcia i
spływu są w pełni wychylone.



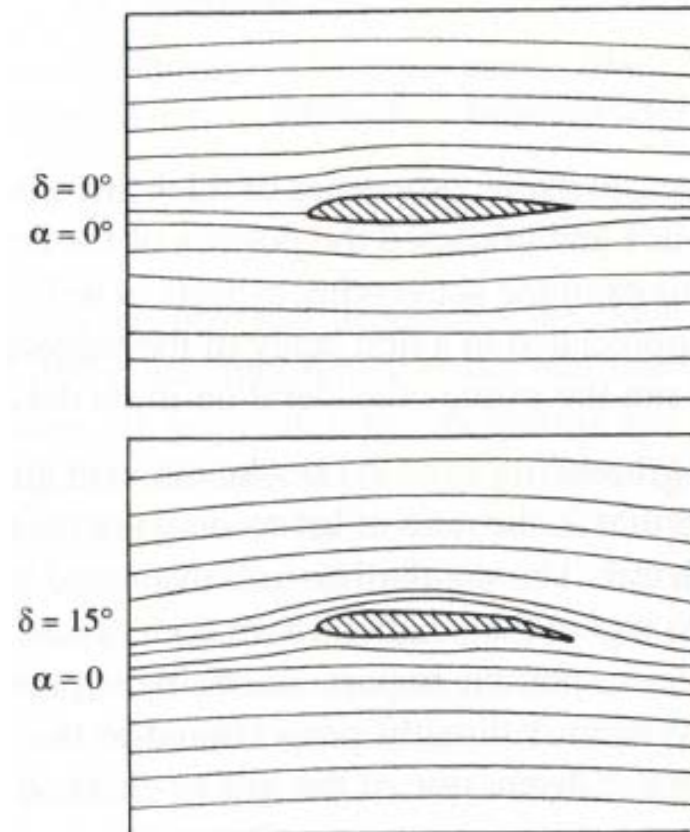
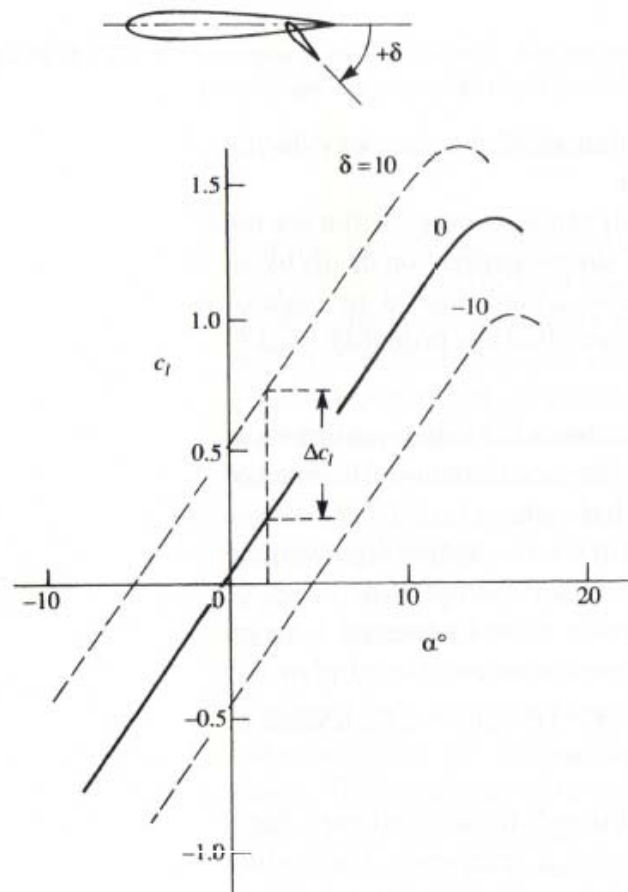
Optyw profilu wielosegmentowego



1. Warstwa przyścienna na każdym elemencie zaczyna się „ze świeżego strumienia”, tym samym jest cieńsza i mniej podatna na oderwanie.
2. Kłapa przednia ze szczeliną powoduje zmianę kierunku przepływu w otoczeniu noska głównego segmentu przez co podciśnienie w tej części jest zredukowane, a w konsekwencji maleje również stopień „odzysku” ciśnienia oraz dodatni gradient ciśnienia.
3. Kłapa(y) tylna powoduje, że obszar w otoczeniu krawędzi spływu głównego segmentu znajduje się w obszarze obniżonego ciśnienia (i podwyższonych prędkości) co – ponownie – wpływa na redukcję dodatniego gradientu ciśnienia.

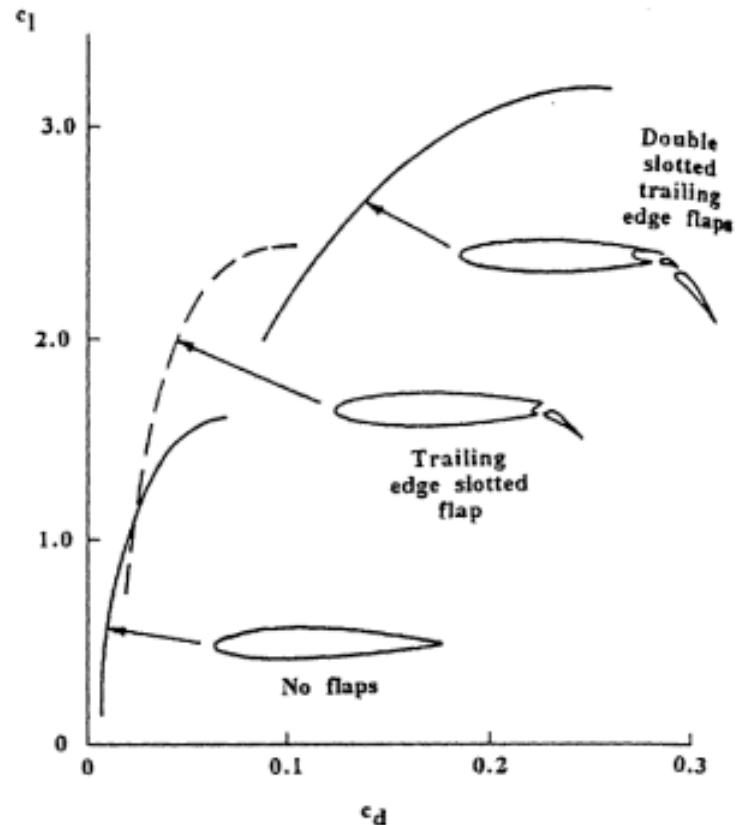
Wpływ wychylenia klapy tylnej na współczynniki siły nośnej i oporu

Wychylenie tylnej klapy, jak pokazano poniżej, prowadzi do podobnego efektu - jak zwiększenie strzałki ugięcia w przypadku profilu, tj. bardziej wypukły kształt górnej powierzchni (strona ssąca) w porównaniu z dolną powierzchnią (strona ciśnieniowa) powoduje, iż dla zadanego kąta natarcia profile ze strzałką ugięcia generują większą siłę nośną. Zgodnie z teorią cienkiego profilu, w przypadku profilu ze strzałką ugięcia, nachylenie (liniowej części) przebiegu współczynnika siły nośnej nie ulega zmianie, tj. $\frac{dc_l}{d\alpha} = 2\pi$.



Wpływ wychylenia klapy tylnej na współczynniki siły nośnej i oporu

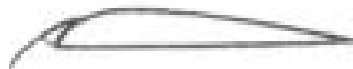
Poniżej przedstawiono biegunowe $c_l(c_d)$ dla konfiguracji profilu bez klapy, z klapą szczelinową oraz klapą dwu-szczelinową. Zgodnie z oczekiwaniami, współczynnik siły nośnej dla konfiguracji z wychyloną klapą jest zdecydowanie wyższy w porównaniu do konfiguracji bez klapy. Układ z klapą dwu-szczelinową generuje największą siłę nośną. Niemniej jednak wiąże się to ze znacznym wzrostem oporu. Podsumowując, odpowiednie wychylenie klapy prowadzi do zwiększenia siły nośnej, niemniej jednak wiąże się to z obniżeniem doskonałości aerodynamicznej.



Wpływ urządzeń hipernośnych na krawędzi natarcia na współczynnik siły nośnej

Urządzenia hipernośne na krawędzi natarcia, jak już wspomniano wcześniej, prowadzą do łagodzenia niekorzystnego gradient ciśnienia na górnej stronie płata. W związku z tym przeciągnięcie przesuwa się w zakres zdecydowanie wyższych kątów natarcia. Ponadto, maksymalna wartość współczynnika siły istotnie wzrasta.

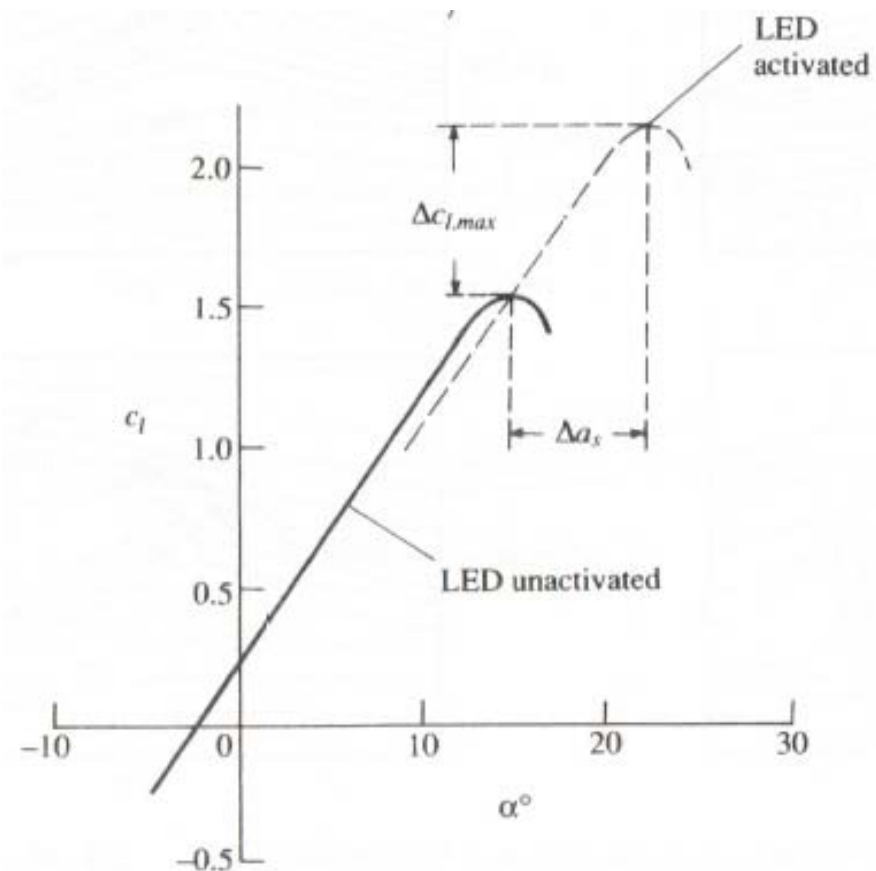
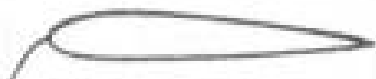
Kłapa przednia ze szczeliną
(ang. leading edge slat)



Kłapa przednia
(ang. leading edge flap)

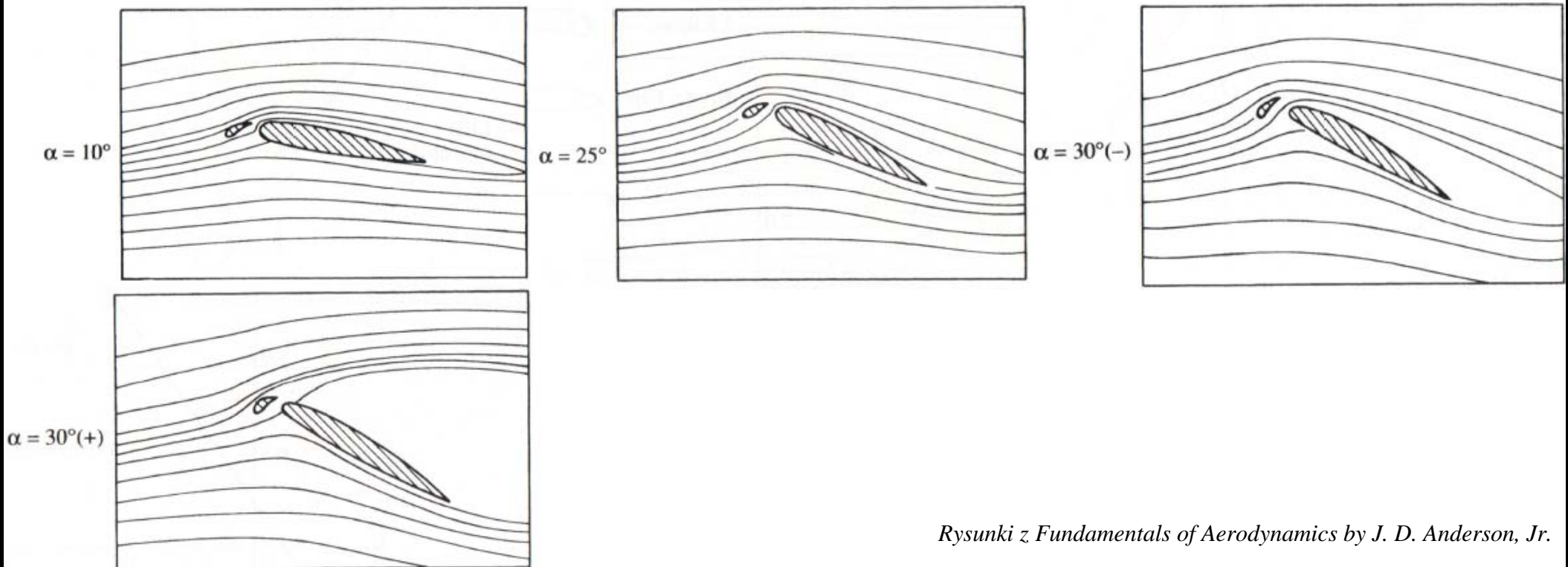


Kłapa Kruegera
(ang. Kruger flap)



Wpływ urządzeń hipernośnych na krawędzi natarcia na współczynnik siły nośnej

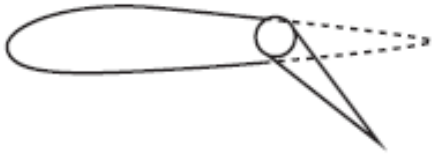
Rozważmy opływ profilu NACA 2214 z klapą przednią w konfiguracji ze szczeliną. Kąt przeciągnięcia dla tego profilu bez urządzenia hipernośnego na krawędzi natarcia jest w zakresie kąta natarcia około 15° . W przypadku kiedy dodamy urządzenie hipernośne typu slat, kąt przeciągnięcia wzrasta do około 30° . W pierwszym przypadku dla kąta natarcia 10° widzimy regularny opływ noska z przepływem przez szczelinę. W zakresie kątów natarcia około 25° przepływ jest nadal przyklejony do głównego segmentu. Ta sytuacja utrzymuje się dla wartości kąta natarcia do około 30° . Następnie, nieco powyżej 30° następuje przeciągnięcie, tj. masywne oderwanie.



Typowe urządzenia hipernośne

Urządzenia na krawędzi spływu:

Kłapa zwykła
(ang. plain flap)



Kłapa krokodylowa
(ang. split flap)



Kłapa szczelinowa
(ang. single-slotted flap)



Kłapa dwu-szczelinowa
(ang. double-slotted flap)



Kłapa trój-szczelinowa
(ang. triple-slotted flap)

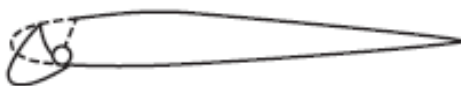


Kłapa Fowlera
(ang. Fowler flap)



Urządzenia na krawędzi natarcia:

Kłapa przednia
(ang. leading edge flap)



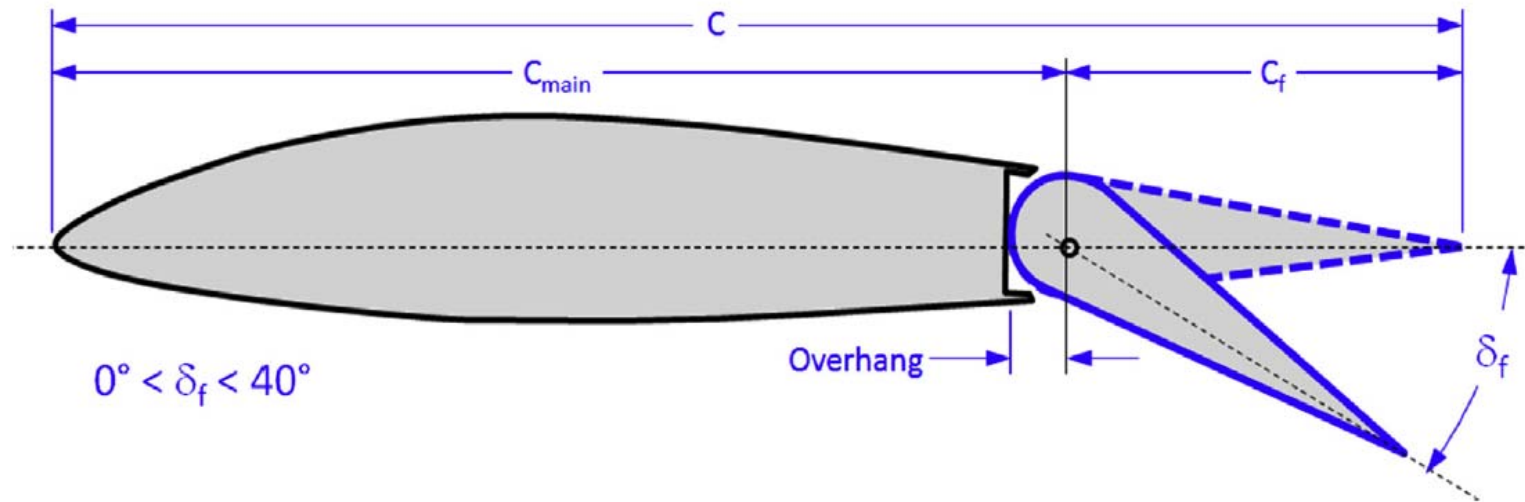
Kłapa przednia ze szczeliną
(ang. leading edge slat)



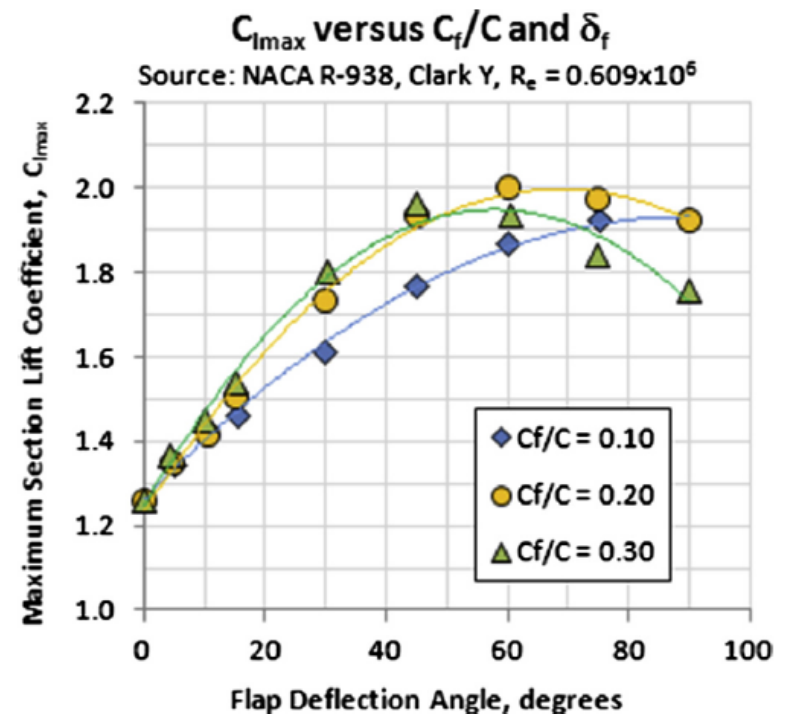
Kłapa Kruegera
(ang. Kruger flap)



Kłapa zwykła



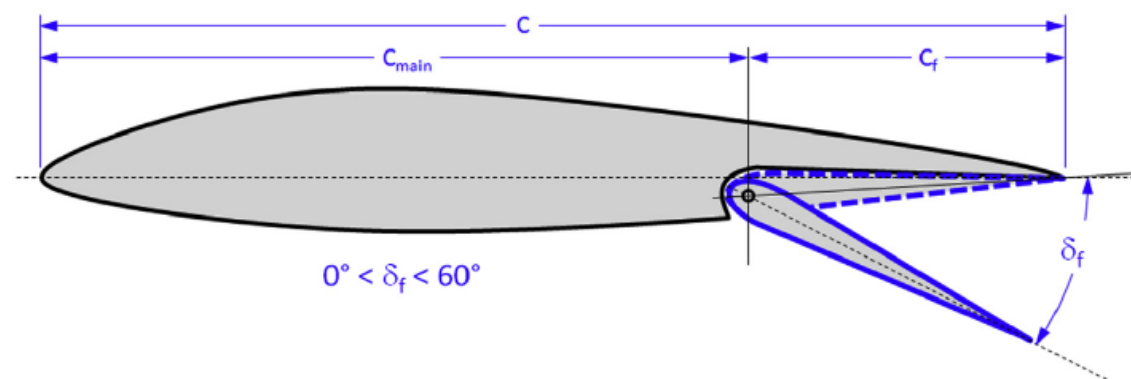
Kłapa zwykła jest najprostszym urządzeniem hipernośnym. Kłapa jest przymocowana do głównego segmentu za pomocą zawiasów. Kłapa może się obracać w dół lub w górę. Wychylenie w dół powoduje zwiększenie strzałki ugięcia co prowadzi do zwiększenia siły nośnej. Kłapa zwykła ma wysoką niezawodność i jest łatwa w produkcji.



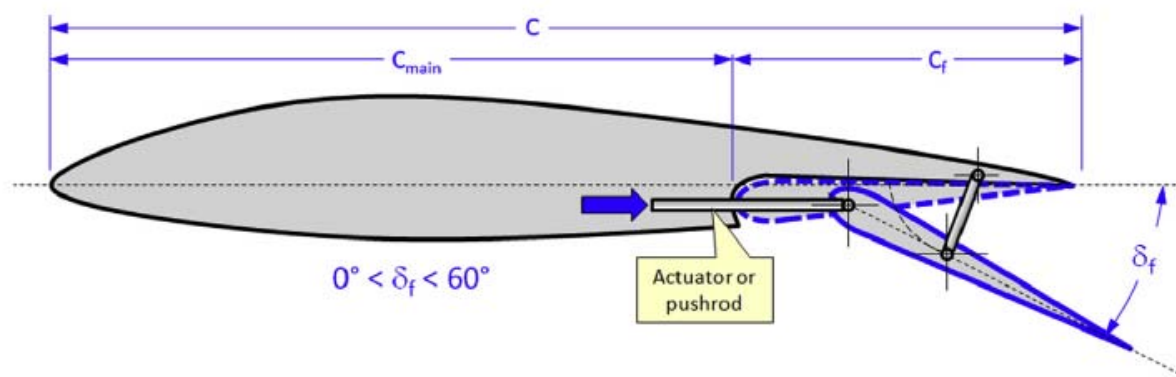
Kłapa krokodylowa

Kłapa krokodylowa oraz kłapa krokodylowa przesuwana są również stosunkowo prostymi koncepcjami urządzenia hipernośnego instalowanego w okolicy krawędzi spływu głównego segmentu. Wzrost siły nośnej jest również skutkiem zmiany przebiegu strzałki ugięcia. W przypadku kłap krokodylowych wpływ na moment pochylający jest mniejszy niż w przypadku kłapy zwykłej. Niemniej jednak tego typu kłapy charakteryzują się znacznym wzrostem oporu. Kłapy krokodylowe są również niezawodne i proste w produkcji. Nie są one jednak stosowane we współczesnych samolotach ze względu na wysoki opór.

Kłapa krokodylowa

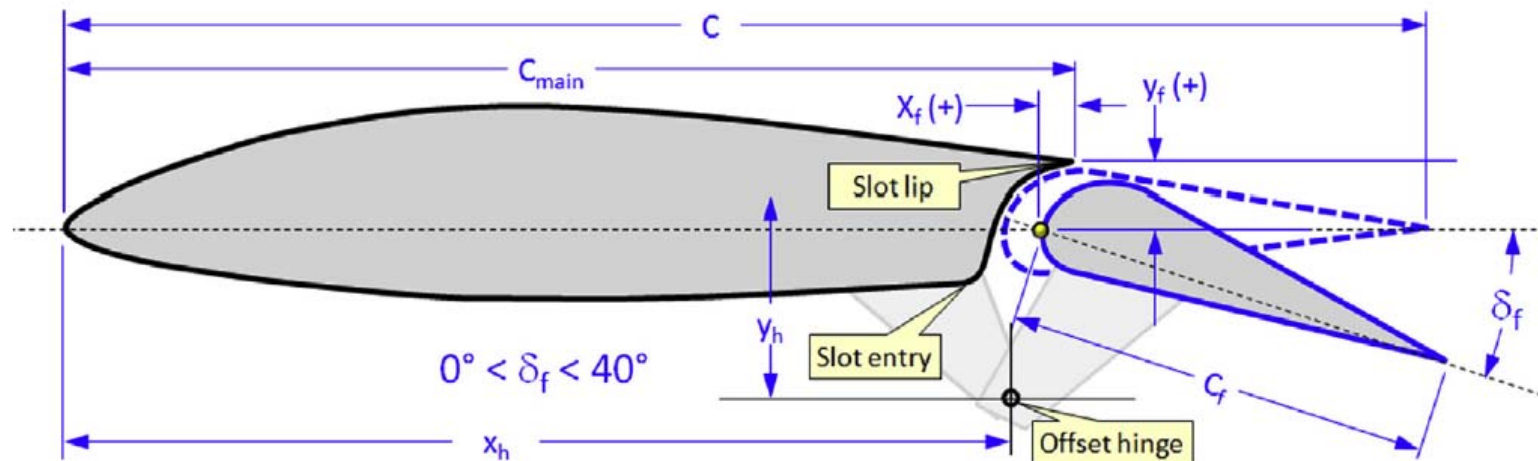


Kłapa krokodylowa przesuwana



Kłapa szczelinowa

Kłapa szczelinowa jest w zasadzie dalszym rozwinięciem klapy zwykłej. W związku z tym podstawowa zasada działania, poprzez modyfikację kształtu linii szkieletowej pozostaje również w tym rozwiązaniu istotna. Niemniej jednak, w tym przypadku mamy dwa dodatkowe czynniki prowadzące do znacznego wzrostu siły nośnej. Pierwszy to szczelina, która pomaga lepiej kontrolować zachowanie przepływu w warstwie przyściennej na górnej stronie głównego segmentu. Ponadto, ze względu na fakt iż na górnej stronie klapy warstwa przyscienna rozbudowuje się od świeżego strumienia, można stosować zdecydowanie wyższe kąty wychylenia klapy. Dodatkowo w wyniku ruchu klapy do tyłu wzrasta nieco powierzchnia płata prowadząc do dalszego wzrostu siły nośnej. Tego typu urządzenia hipernośne mają zdecydowanie większą złożoność konstrukcji oraz charakteryzują się większymi kosztami produkcji.

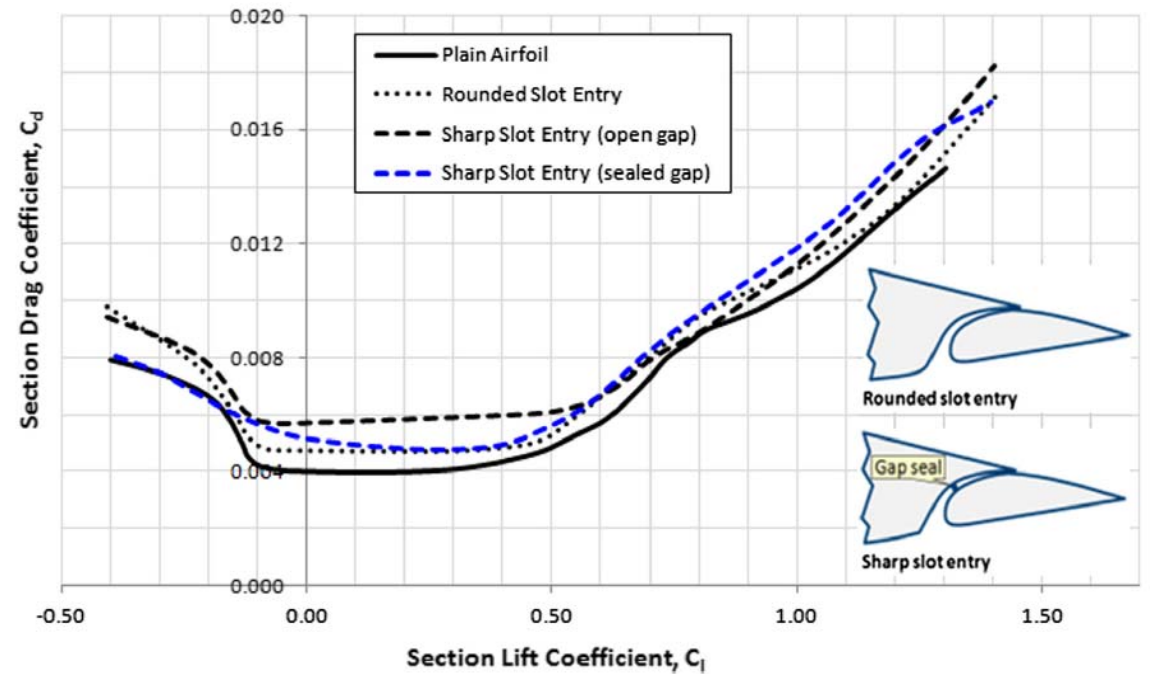
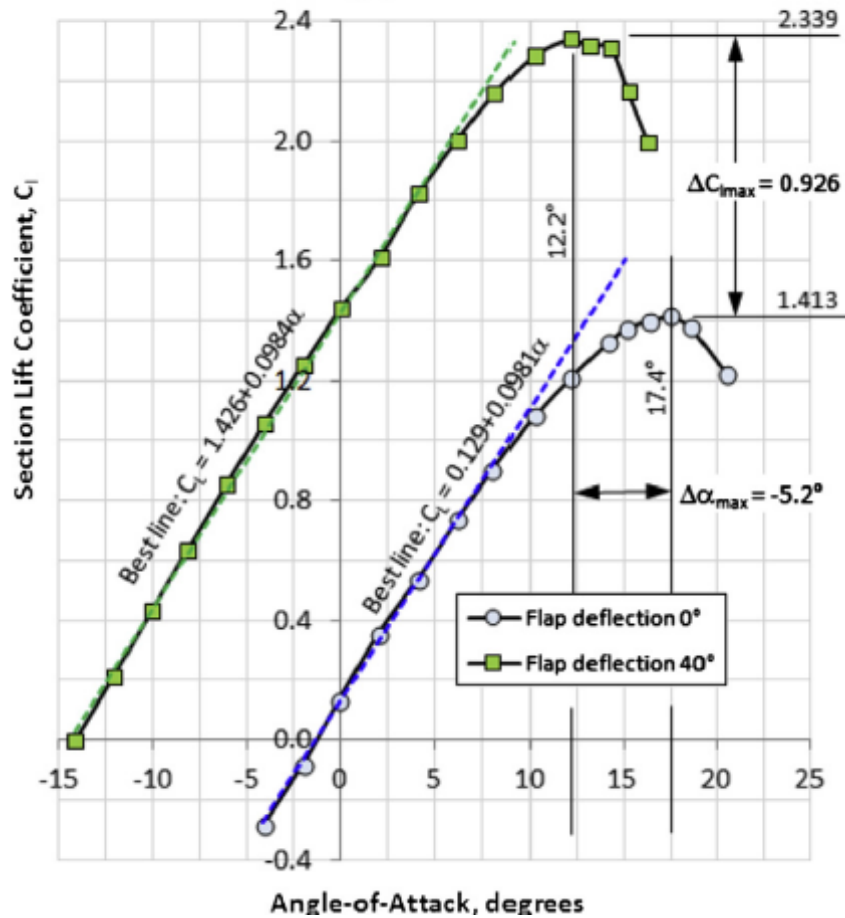


Kłapa szczelinowa

Wzrost siły nośnej w wyniku wychylenia kłapy szczelinowej

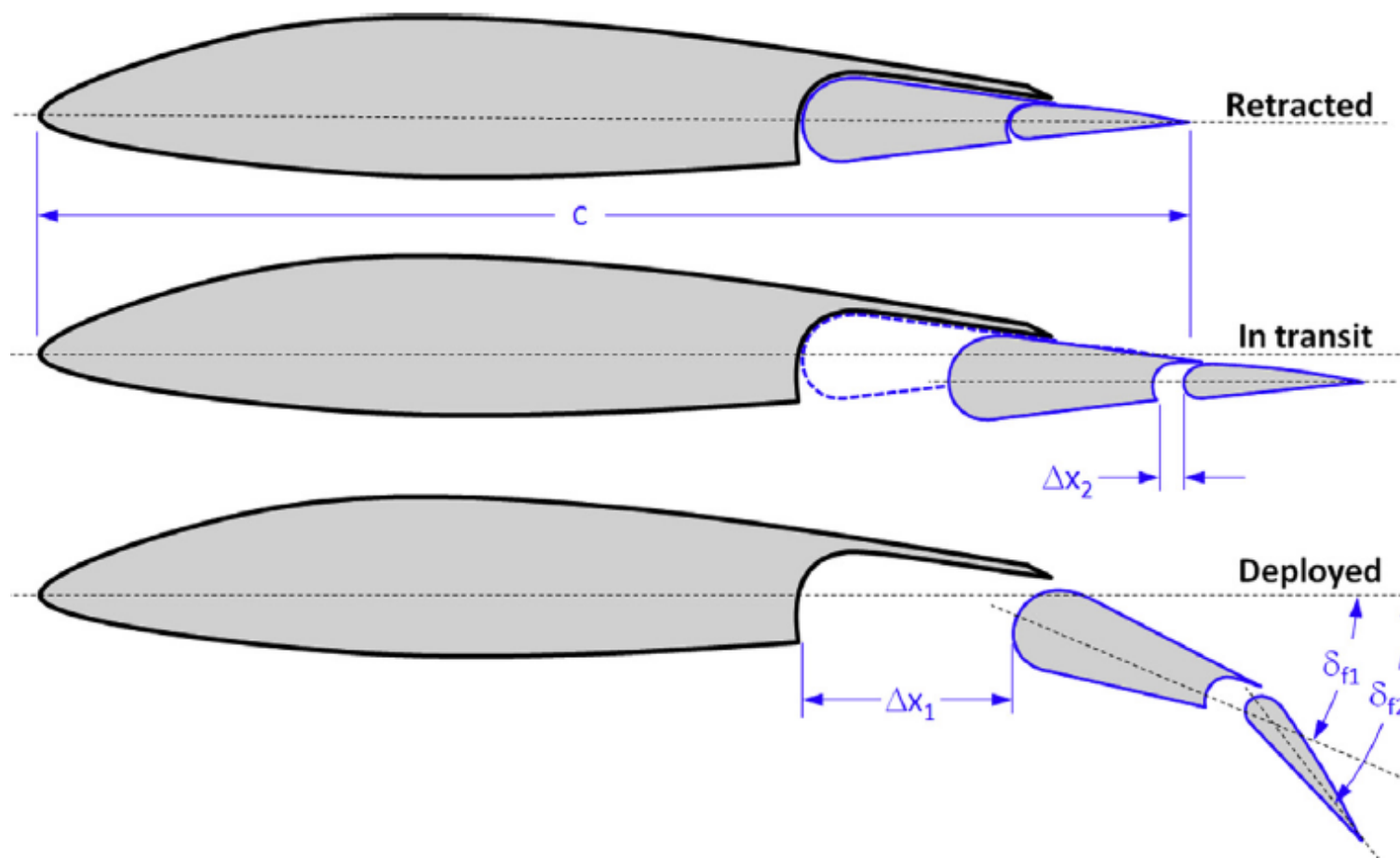
Wpływ wykończenia w okolicy kłapy na współczynnik oporu

Source: NACA R-938, NACA 66(215)-216 Airfoil with 0.25C Slotted Flap, $R_e = 6 \times 10^6$



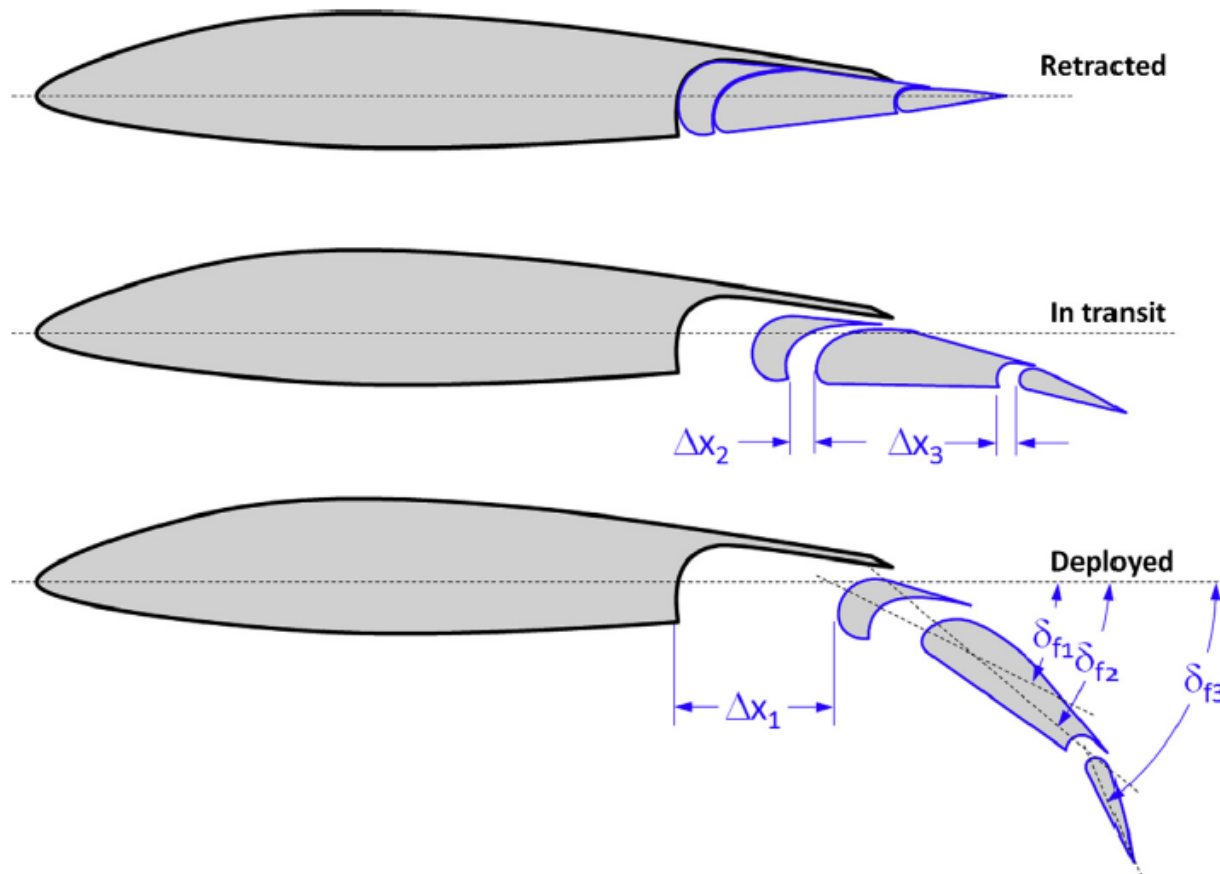
Kłapa dwu-szczelinowa

Poprzez zastosowanie kłapy dwu-szczelinowej można niemalże podwoić zalety kłapy jedno-szczelinowej. Mechanizm wzrostu siły nośnej jest dokładnie taki sam jak w przypadku kłapy jedno-szczelinowej. Wadą tego podejścia jest dalsze zwiększenie złożoności urządzenia oraz zwiększenie kosztów produkcji.



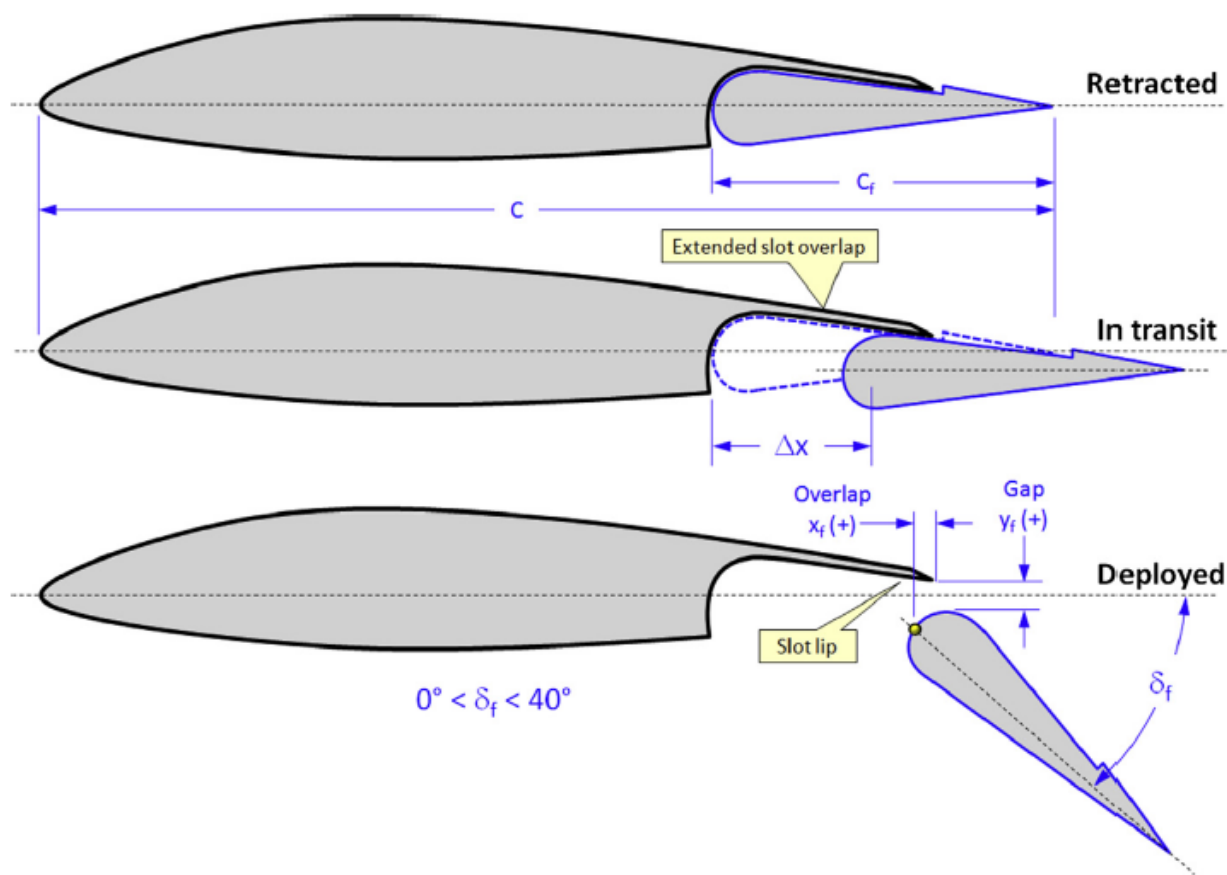
Kłapa trój-szczelinowa

Kłapa trój-szczelinowa jest oczywiście dalszym rozwojem systemu kłap z jedną i dwoma szczelinami. W tym przypadku złożoność konstrukcji wzrasta jeszcze bardziej, jak również koszty produkcji. Niemniej jednak ze względu na dużą złożoność urządzenia, kłapa trój-szczelinowa może pracować w kilku ustawieniach, np. częściowo wysunięta/wychylona w czasie startu lub w pełni wysunięta/wychylona w czasie lądowania. Dlatego tego typu układy hipernośne są powszechnie wykorzystywane w dużych samolotach transportowych.

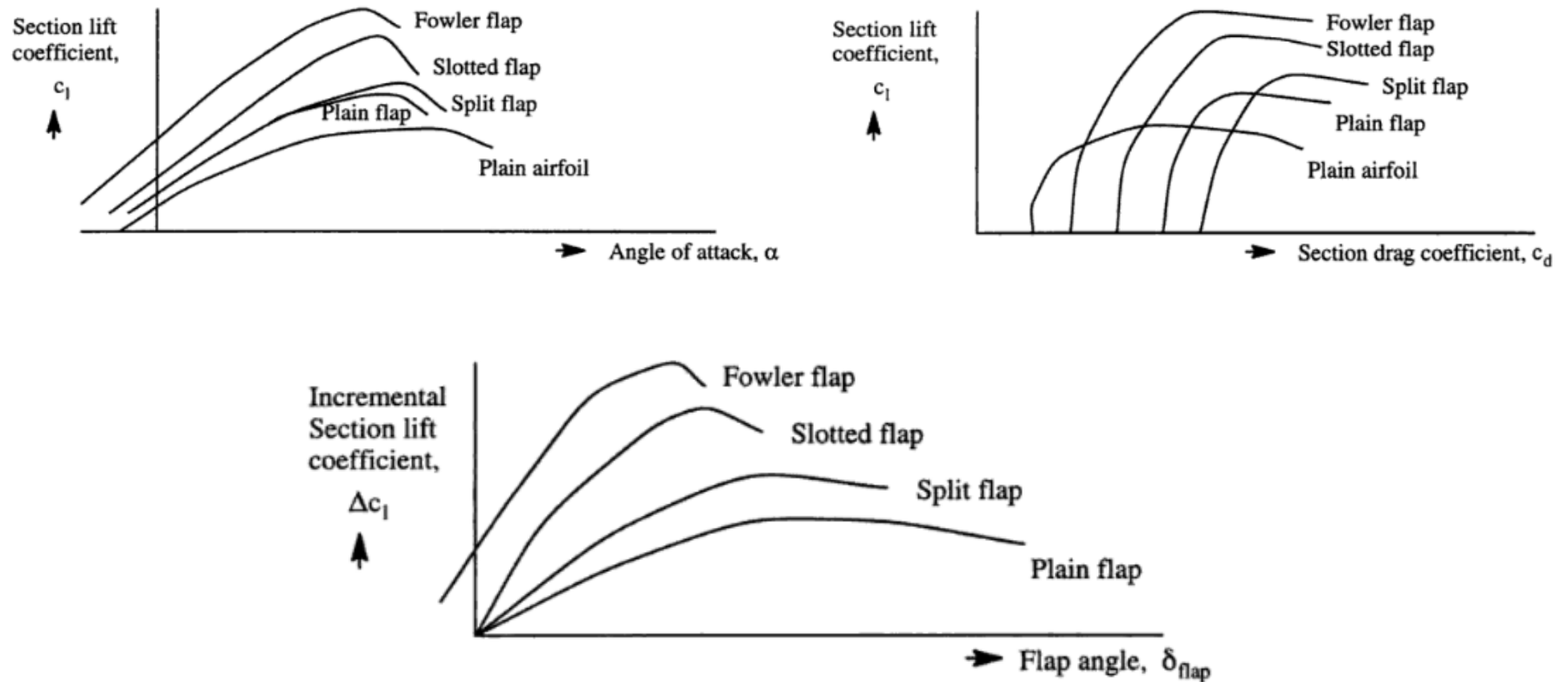


Kłapa Fowlera

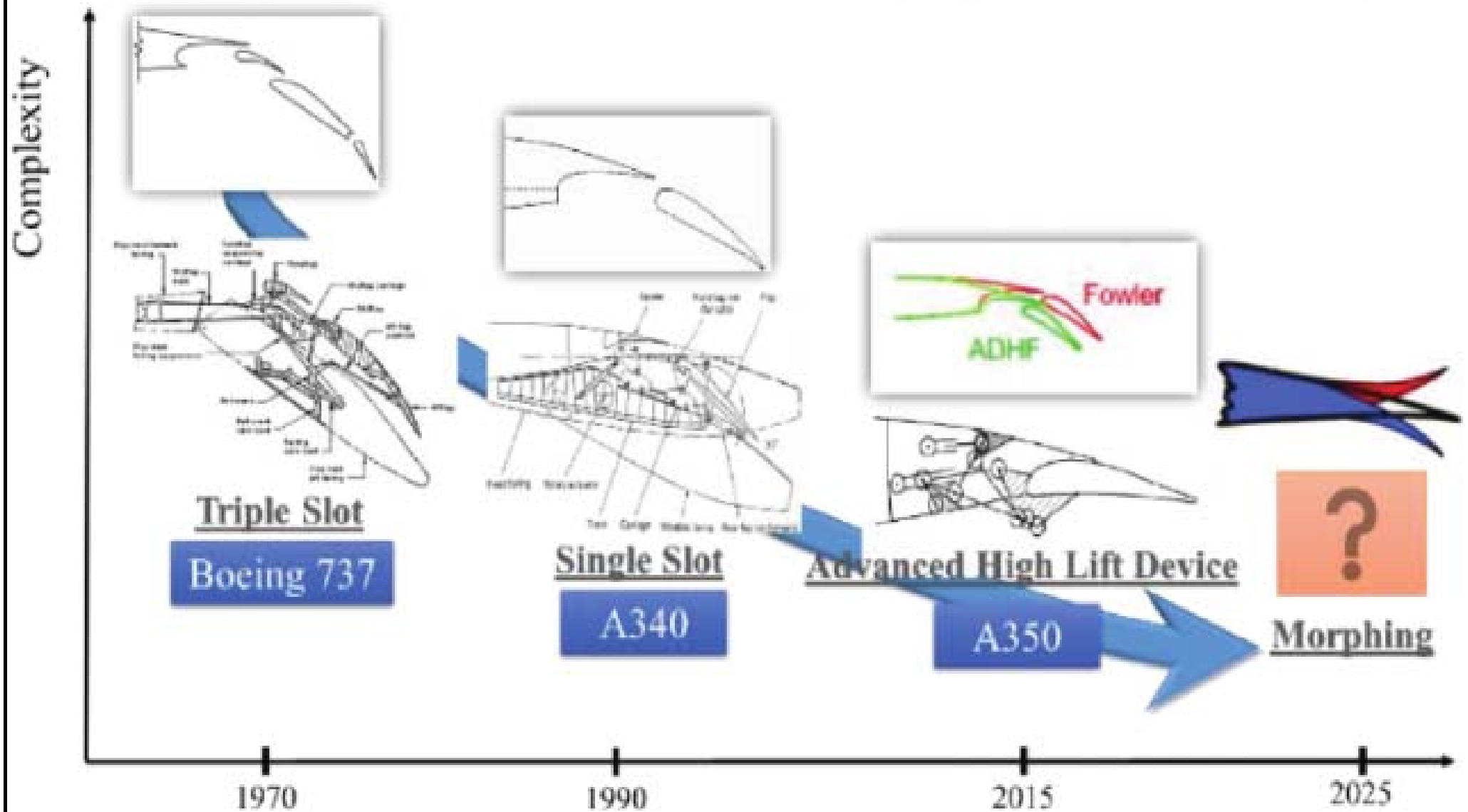
Koncepcja kłapy Fowlera polega na znacznym przesunięciu kłapy do tyłu oraz jej wychyleniu, a w konsekwencji tego ruchu również powstania szczeliny. Tego typu urządzenia hipernosne pozwalają na znaczne zwiększenie siły nośnej w skutek znacznego zwiększenia powierzchni płata oraz zastosowania kłapy ze szczeliną. Warto wspomnieć, iż mechanizacja Fowlera może składać się z kilku kłap.



Porównanie parametrów aerodynamicznych najbardziej popularnych klap

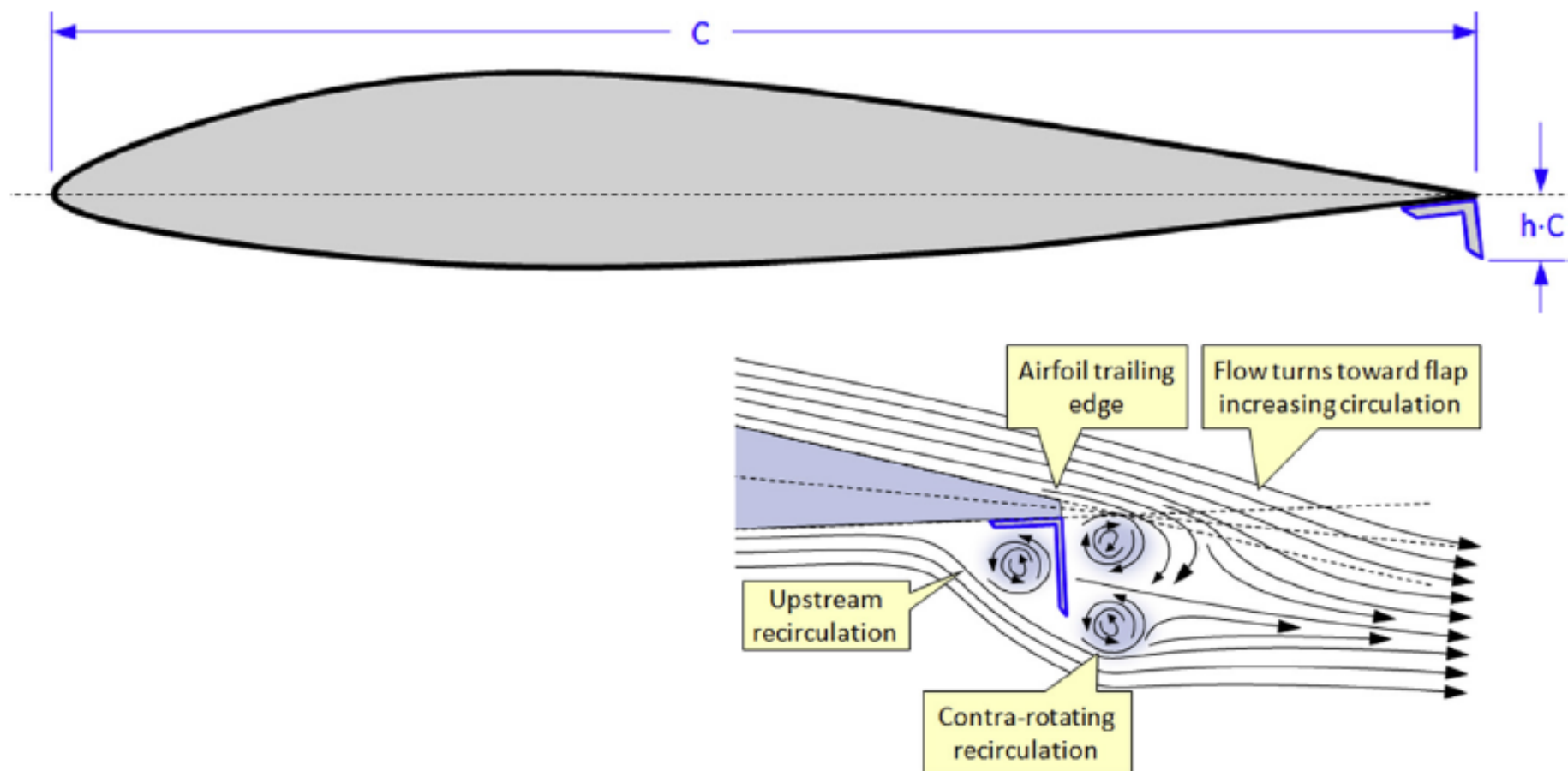


Rys historyczny rozwoju klap oraz koncepcje przyszłych rozwiązań



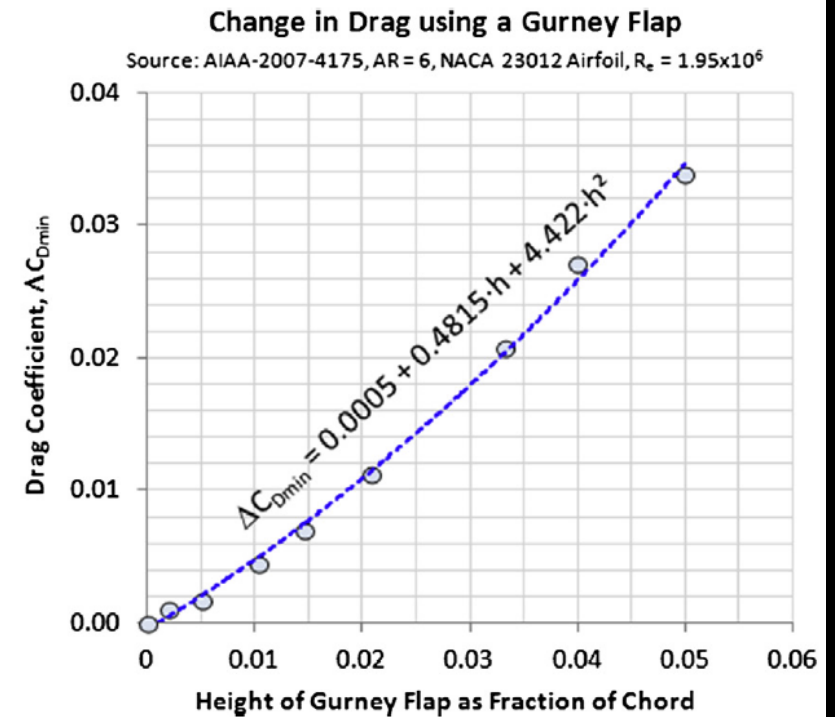
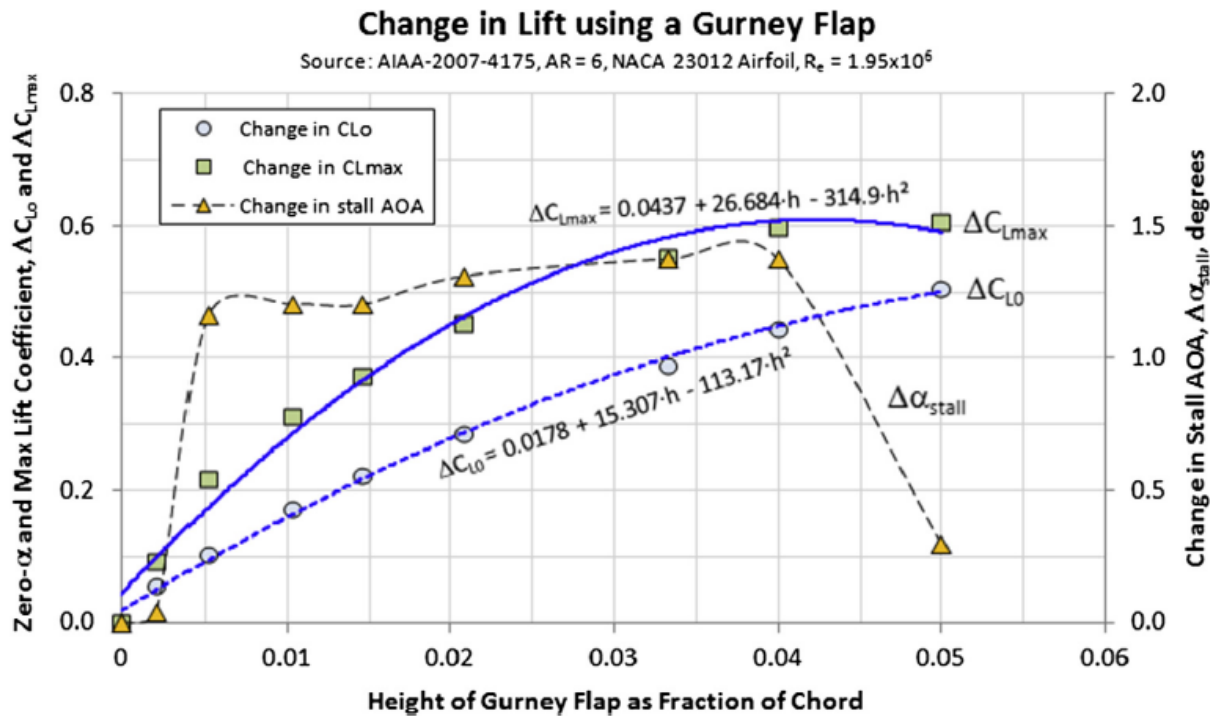
Klapka Gurney'a

Klapka Gurney'a jest bardzo prostym i tanim w wykonaniu urządzeniem pozwalającym na zwiększanie siły nośnej. Jej zasada działania sprowadza się do modyfikacji cyrkulacji na płacie w wyniku generacji lokalnej cyrkulacji w okolicy krawędzi spływu głównego segmentu. Wzrost siły nośnej, biorąc pod uwagę rozmiar klapki jest znaczący. Zastosowanie klapki Gurney'a wiąże się oczywiście również ze wzrostem oporu.



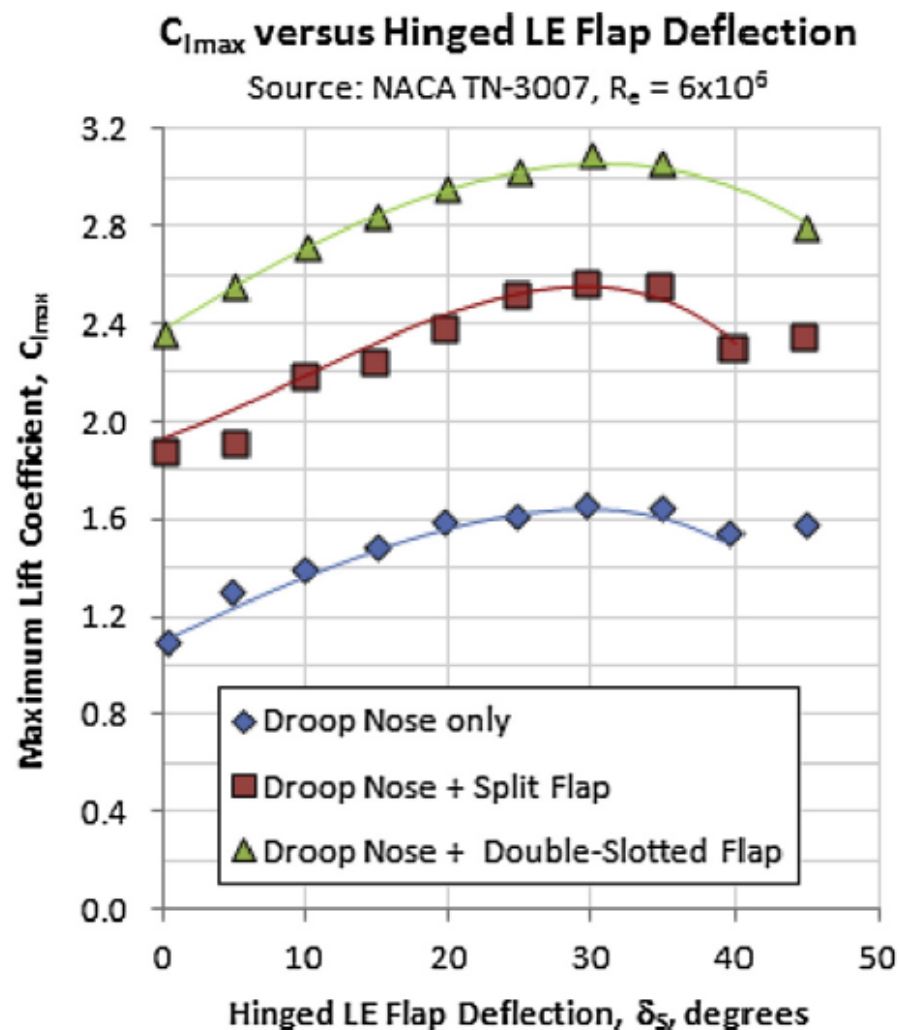
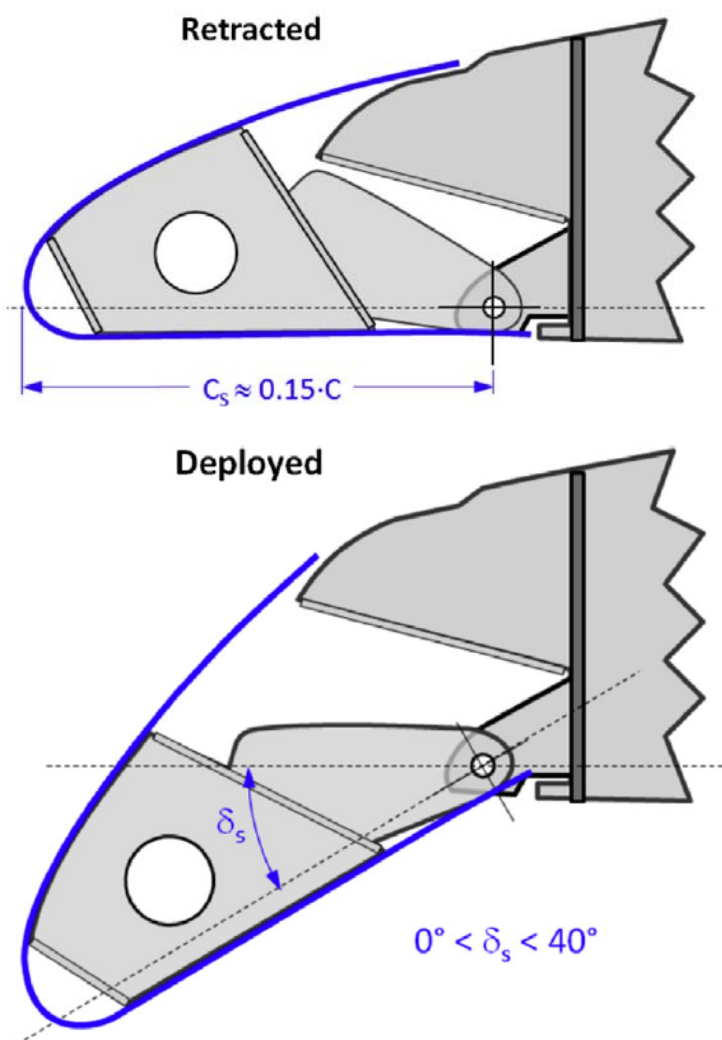
Klapka Gurney'a

Poniżej przedstawiono maksymalny wzrost siły nośnej, wzrost siły nośnej przy zerowym kącie natarcia, wzrost siły nośnej przy maksymalnym kącie natarcia oraz wzrost oporu w funkcji wysokości klapki.



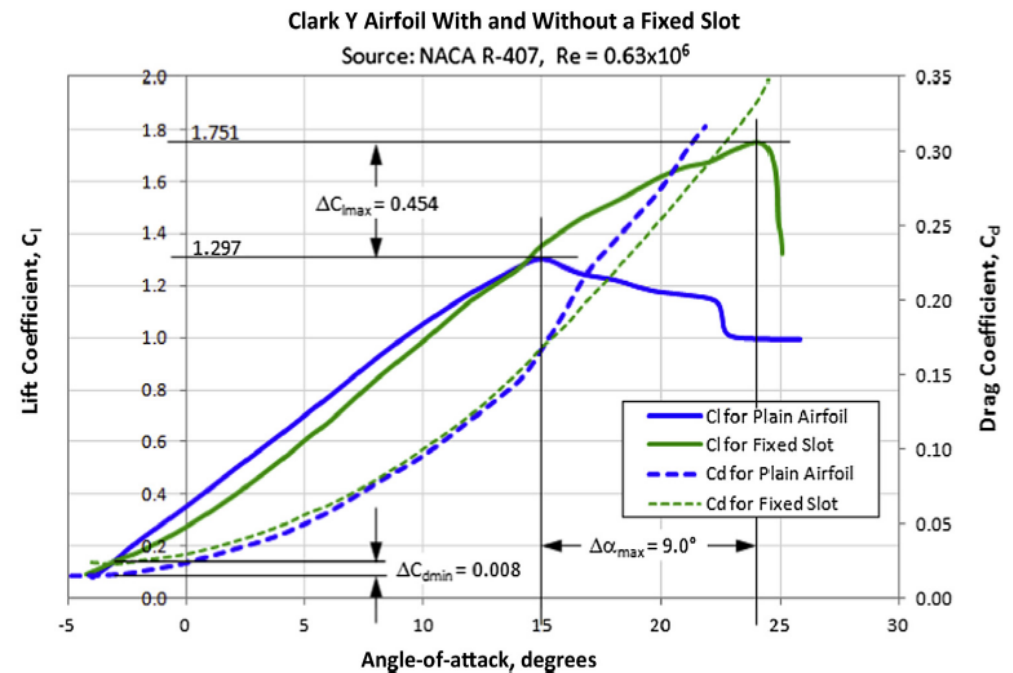
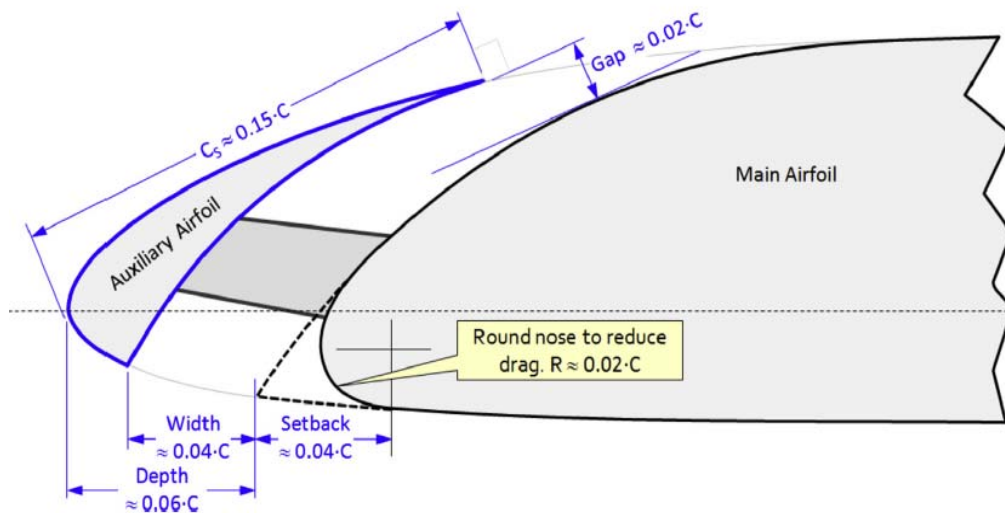
Kłapa przednia

Koncepcja kłapy przedniej jest bardzo podobna do koncepcji kłapy na krawędzi spływu. Zasada działania sprowadza się do modyfikacji strzałki ugięcia płata i podobnie jak w przypadku kłapy zwykłej nie ma szczeliny. Kłapa przednia jest jakkolwiek zdecydowanie mniej skuteczna, ponieważ cięciwa kłapy przedniej jest dużo mniejsza od typowych cięciw kłap tylnych.



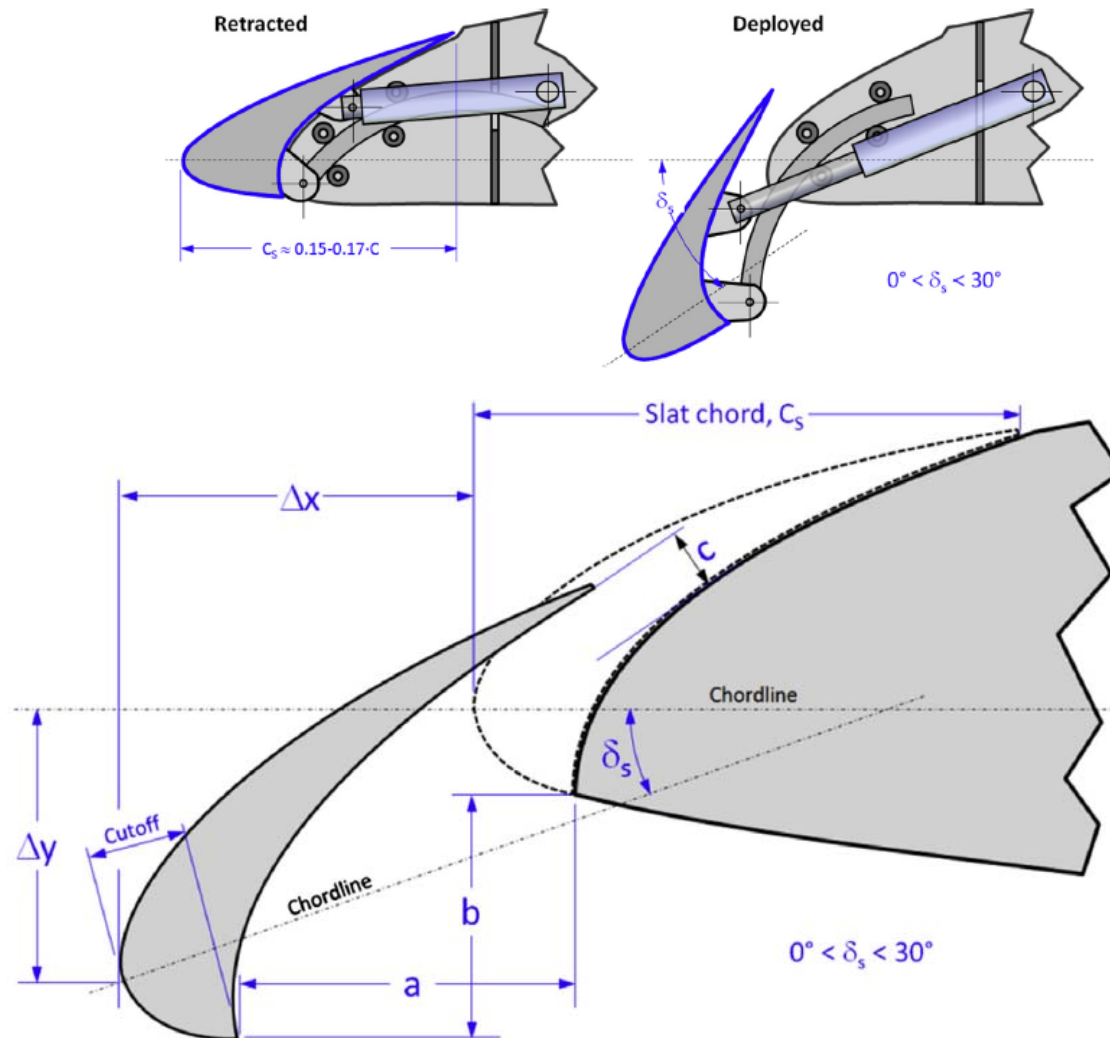
Kłapa przednia ze stałą szczeliną

Kłapa ze szczeliną pomaga w lepszej kontroli przepływu w okolicy noska profilu poprzez redukcję skokowego wzrostu prędkości. W związku z tym zapobiega gwałtownemu spadkowi ciśnienia statycznego w tej okolicy, co prowadzi do opóźnienia oderwania na górnej stronie płata. Dzięki temu uzyskuje się możliwość operowania w zakresie wyższych kątów natarcia i generacji zdecydowanie większej siły nośnej. Tego typu urządzenie, pozwala na uzyskanie znacznej poprawy parametrów aerodynamicznych, będąc jednocześnie stosunkowo proste w konstrukcji.



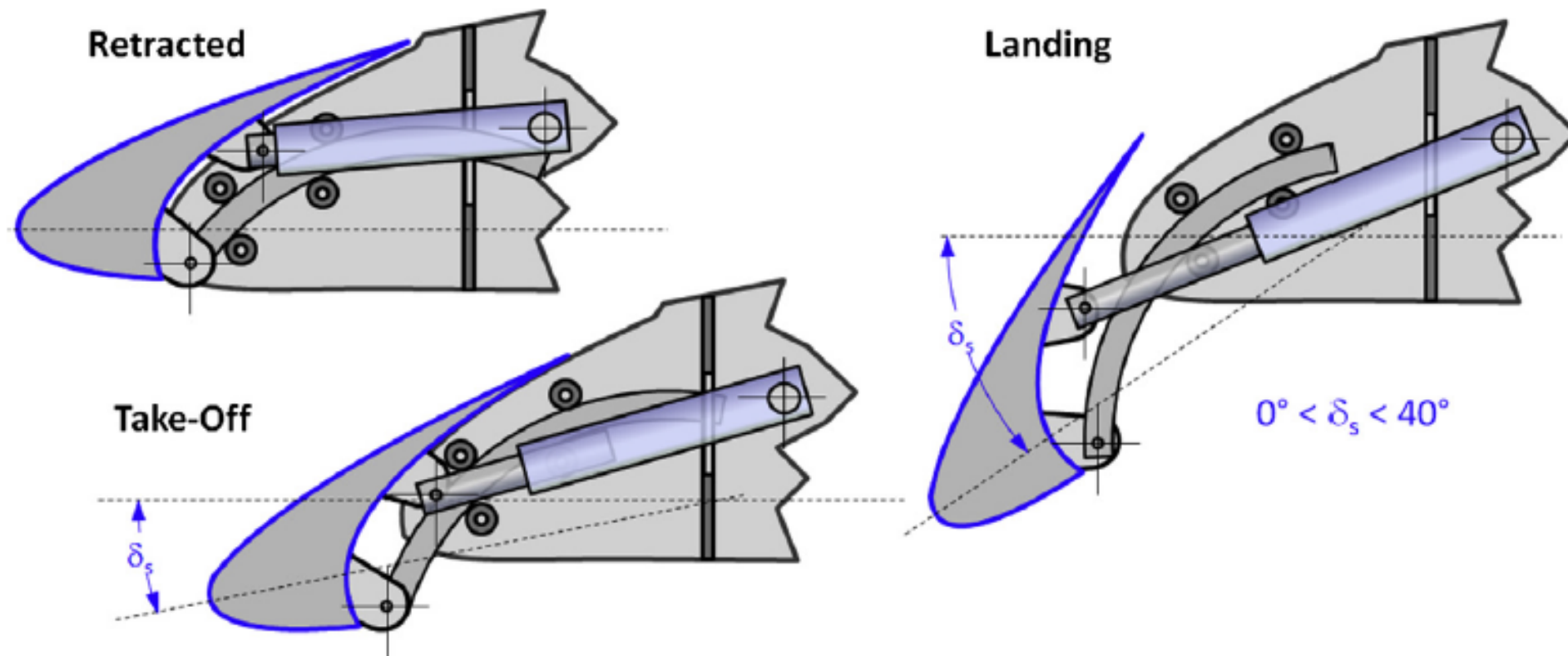
Kłapa przednia ze szczeliną

Zasada działania kłapy przedniej (slat) ze szczeliną, jak sama nazwa wskazuje, łączy koncepcje kłapy przedniej i szczeliny. W związku z tym prowadzi do modyfikacji strzałki ugięcia płata przy jednoczesnej kontroli przepływu w szczelinie oraz zapewnieniu powstawania „świeżej” warstwy przyściennej na głównym segmencie.



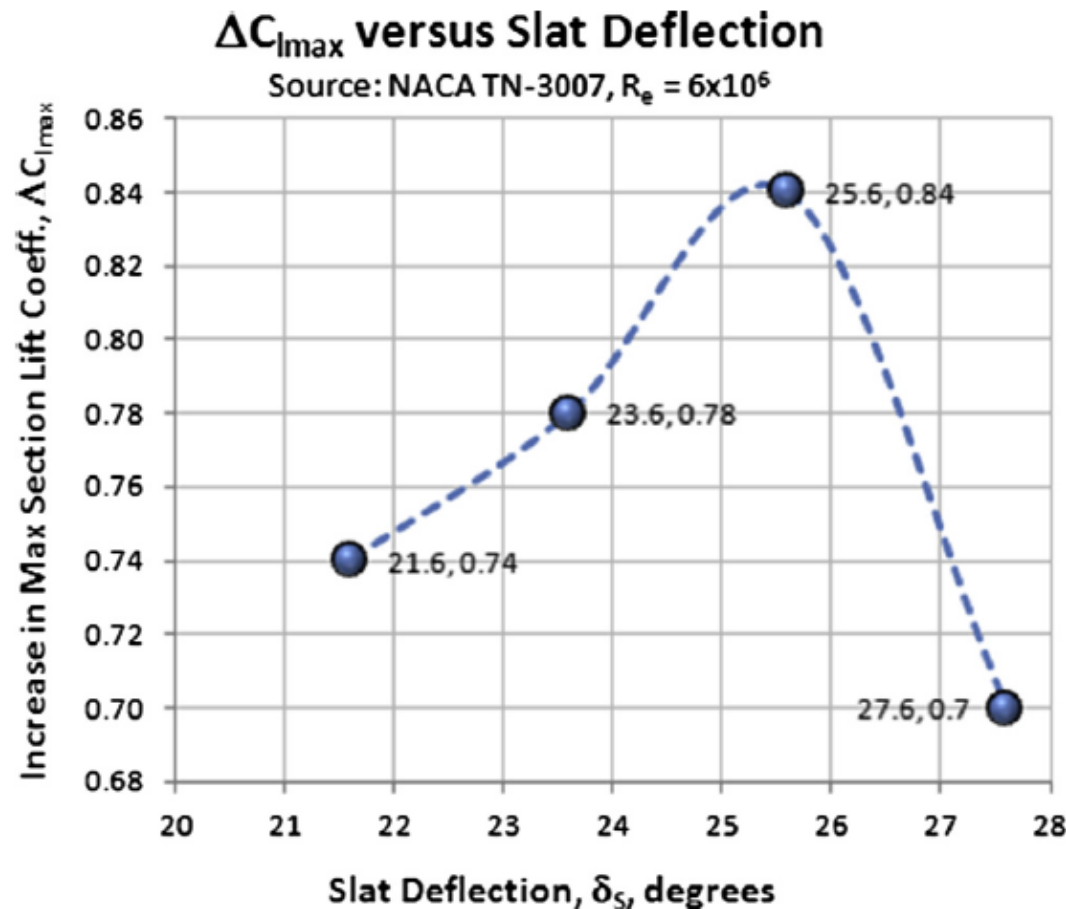
Trój-pozycyjna klapa przednia ze szczeliną

Trój-pozycyjna klapa przednia (slat) ze szczeliną pozwala na bardziej precyzyjną kontrolę siły nośnej w czasie startu (częściowo wysunięta klapa) i lądowania (w pełni wysunięta klapa ze szczeliną). W czasie startu urządzenie działa jak klapa przednia, natomiast w czasie lądowania jak klapa przednia ze szczeliną.



Wpływ wychylenia kłapy przedniej (slat'u) na maksymalną wartość współczynnika siły nośnej

W ogólnym przypadku, długość cięciwy kłapy przedniej (slat'u) mieści się w zakresie 0.15-0.175 cięciwy głównego segmentu, natomiast rozmiar szczeliny w zakresie 0.001-0.002c. Dla przypadku pokazanego poniżej, maksimum siły nośnej jest osiągnięte dla kąta wychylenia kłapy przedniej (slat'u) równego około 25°.



Kłapa Kruegera

Podobnie jak kłapa przednia bez szczeliny, kłapa Kruegera pozwala na lokalną modyfikację szkieletowej profilu (strzałki ugięcia). Dzięki temu, jak wiemy możemy opóźnić oderwanie przy dużych kątach natarcia. Tego typu urządzenie ma raczej niską skuteczność dla zmiennych kątów natarcia. W związku z tym nie jest stosowane we współczesnych samolotach.

