

## Projekt 9 – Obciążenia płata nośnego i usterzenia poziomego

Niniejszy projekt składa się z dwóch części:

1. wyznaczenie obciążeń wymiarujących skrzydło,
2. wyznaczenie obciążeń wymiarujących usterzenie poziome,

### Obciążenia płata nośnego

Pierwsza część projektu polega na wyznaczeniu obciążeń wymiarujących płata nośny i składa się z następujących etapów:

- wyznaczenie rozkładu siły nośnej wzdłuż rozpiętości metodą Schrenka,
- obliczenie odciążenia masowego,
- obliczenie maksymalnego obciążenia wynikającego z wymogów przepisów,
- wyznaczenie rozkładów sił tnących oraz momentów gnących i skręcających,
- obliczenie obciążeń na okuciach głównych płata.

#### *Rozkład siły nośnej*

Rozkład siły nośnej dla płata należy wykonać w postaci „bezwymiarowej” to znaczy dla jednostkowej wartości współczynnika siły nośnej. Metoda Schrenka jest opisana w wielu pozycjach literatury podanej na wykładach. Jest też, z przykładami, pokazana w skrypcie [St. Danileckiego – „Konstrukcja samolotów”](#).

#### *Odciążenie masowe*

Przyjmuje się, że płat nośny jest odpowiedzialny za przeniesienie całkowitej siły nośnej. Tym samym całkowita siła nośna jest równa:

$$P_z = n \cdot mg$$

gdzie:

- n – współczynnik obciążenia (wg stosowanych przepisów),
- m – całkowita masa samolotu,
- g – przyspieszenie ziemskie

Oprócz siły nośnej działają również siły masowe odciążające konstrukcję równie iloczynowi ciężaru płata i współczynnika obciążenia. Jako ciężar płata należy rozumieć sumę ciężaru struktury i mas znajdujących się w płacie, np. paliwa.

Należy wyznaczyć rozkład odciążenia masowych płata. Można przyjąć, że rozkład masy struktury jest proporcjonalny do jego objętości. Powinny być rozpatrzone różne przypadki masy paliwa i masy startowej tak, aby znaleźć przypadek wymiarujący.

#### *Maksymalne obciążenie płata*

Rozkład siły nośnej otrzymany z rozkładu Schrenka należy „uwymiarować” mnożąc przez wartość siły nośnej odpowiadającą maksymalnemu współczynnikowi obciążenia zgodnie z wyznaczoną obwiednią obciążeń. Całkowite obciążenie uzyskujemy po uwzględnieniu odciążenia masowego. Należy pamiętać o zastosowaniu właściwego (wg przepisów) współczynnika bezpieczeństwa.

### ***Rozkłady składowych obciążeń***

Wynikiem tej części projektu powinny być wymiarujące rozkłady obciążeń płata wzdłuż rozpiętości:

- siły tnącej,
- momentu gnącego,
- momentu skręcającego.

W porozumieniu z prowadzącym należy uwzględnić wpływ obciążeń od powierzchni sterowych (lotek) i supernośnych (klapy).

### ***Obciążenia okuć głównych***

Należy zaproponować schemat przeniesienia obciążeń pochodzących od płata głównego na kadłub. Przyjęte rozwiązanie powinno uwzględniać projekt podziału technologicznego założonego w Projekcie 8. Dla zaprojektowanego układu wyznaczyć obciążenia (statykę) okuć głównych.

### **Obciążenia usterzenia poziomego**

Pierwsza część projektu polega na wyznaczeniu obciążeń wymiarujących usterzenie poziome i składa się z dwóch etapów. Pierwszy etap to określenie przypadków wymiarujących zgodnie z wymogami odpowiednich przepisów (np. JAR 23.421-427). W drugim należy wyznaczyć rozkłady obciążeń wzdłuż rozpiętości i cięciwy, obciążenia węzłów głównych oraz zawiasów steru wysokości.

### **Przypadki wymiarujące usterzenie poziome**

Przy wyznaczaniu przypadków wymiarujących usterzenie poziome zwykle uwzględnia się następujące źródła obciążeń:

- obciążenia od równowagi,
- obciążenia od sterowania (od manewrów),
- obciążenia od podmuchów,
- obciążenia niesymetryczne (ślizg, strumień zaśmigłowy, itp.)

Sposób wyznaczenia tych przypadków zależy od przepisów budowy samolotów a tym samym od kategorii statków powietrznych. Dlatego nie można podać w niniejszym przewodniku jednoznacznego kryterium pozwalającego określić, który przypadek jest wymiarujący. Należy podkreślić, że przypadek wymiarujący dla całego usterzenia (części stałej i okuć głównych) nie musi być wymiarującym dla steru wysokości. Określenie przypadku wymiarującego polega na wyznaczeniu współczynnika siły nośnej na usterzeniu (kąta natarcia), przyrostu współczynnika siły nośnej od wychylenia steru wysokości i momentu zawiasowego dla podanych przypadków oraz odpowiadającej tym przypadkom prędkości lotu.

### ***Obciążenia od równowagi***

Obciążeniem „od równowagi” jest obciążenie usterzenia poziomego wymagane do utrzymania lotu w stanie równowagi, bez przyspieszeń pochylających. Obciążenie to (kąta natarcia, kąta wychylenia steru i odpowiadające temu współczynniki) wyznaczamy dla

wszystkich charakterystycznych punktów obwiedni obciążeń, w szczególności dla prędkości  $V_A$ ,  $V_F$ ,  $V_C$ , i  $V_D$ . Należy podkreślić, że obciążenia od równowagi są traktowane jako obciążenia początkowe do wyznaczenia pozostałych rodzajów obciążeń.

Wynikiem tego punktu powinny być wartości:

- kąta natarcia na usterzeniu ( $\alpha_H$ )
- kąt wychylenia steru wysokości ( $\delta_H$ ),
- siła nośna i jej współczynnik ( $a_1\alpha_H$ ) na usterzeniu od kąta natarcia ,
- przyrost siły nośnej i jej współczynnika ( $a_2\delta_H$ ) od wychylenia steru wysokości,
- momenty zawiasowe i ich współczynniki odpowiednio od kąta natarcia ( $b_1\alpha_H$ ) i kąta wychylenia steru wysokości ( $b_2\delta_H$ ) – Przy przechodzeniu z wielkości bezwymiarowych na wymiarowe należy pamiętać, że o ile dla pochodnych  $a_1$  i  $a_2$  powierzchnią odniesienia jest powierzchnia usterzenia wysokości ( $S_H$ ), o tyle dla  $b_1$  i  $b_2$  wielkościami odniesienia są: powierzchnia i cięciwa steru wysokości.

Wszystkie wymienione wielkości powinny być wyznaczone dla wszystkich punktów charakterystycznych obwiedni obciążeń, to znaczy dla określonego współczynnika obciążeń oraz odpowiedniej prędkości.

### ***Obciążenia od sterowania***

Obciążenia od sterowania (manewrowe) wyznaczamy zgodnie z podanymi w przepisach kryteriami:

- maksymalnych sił na organach sterowania: drążek, wolant (np. JAR 25.397),
- maksymalnych przyspieszeń kątowych (np. JAR 23.423).

Wynikiem tej części powinny być wartości największych możliwych przyrostów sił i momentów zawiasowych (oraz ich bezwymiarowych współczynników) na usterzeniu poziomym od sterowania, wyznaczone dla charakterystycznych punktów obwiedni (tak, jak w poprzednim punkcie). Przyrosty obciążeń usterzenia od sterowania należy wyznaczyć dla wychyleń steru w obie strony (góra - dół) dla każdej wartości prędkości i współczynnika obciążenia.

### ***Obciążenia od podmuchu***

Obciążenia od podmuchu wyznaczamy zgodnie z regułami opisanymi w stosownych przepisach (np. JAR 23.425). Wynikiem tej części powinny być wartości przyrostów sił i momentów zawiasowych (oraz ich bezwymiarowych współczynników) na usterzeniu poziomym od podmuchów, wyznaczone dla charakterystycznych punktów obwiedni (tak, jak w poprzednim punkcie).

### ***Obciążenia niesymetryczne***

Obciążenia niesymetryczne wyznaczamy zgodnie z regułami opisanymi w stosownych przepisach (np. JAR 23.427)

### **Uwaga:**

Przyrosty od sterowania i od podmuchów powinny być dodane do obciążeń „od równowagi” dla odpowiednich punktów obwiedni, zgodnie z zasadami opisanymi w przepisach.

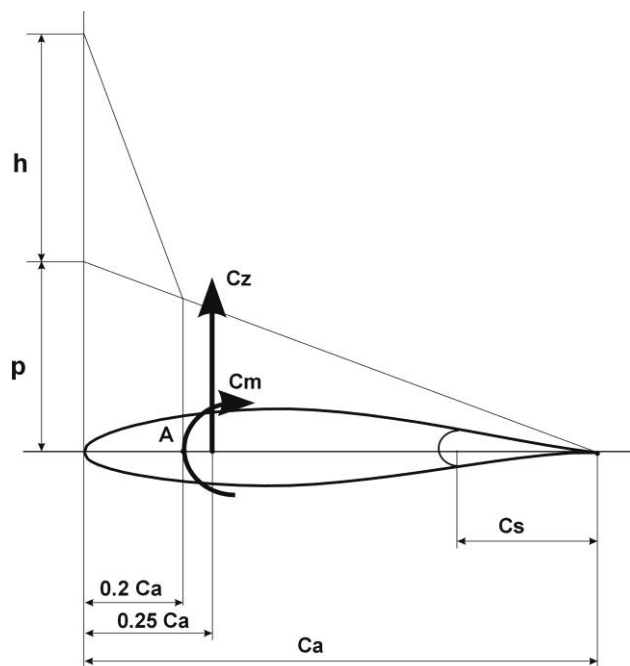
## Geometria usterzenia poziomego

Wyznaczenie rozkładów obciążeń wzdłuż rozpiętości i cięciwy, wymaga zdefiniowania geometrii usterzenia oraz geometrii węzłów głównych i zawieszenia steru. Większość danych geometrycznych powinna być zdefiniowana już w projektach wcześniejszych, zatem należy zadbać, aby nie było sprzeczności w danych. Wynikiem tej części powinien być rysunek usterzenia w rzucie z góry, z zaznaczonymi wymiarami steru i części stałej oraz ze zdefiniowanym położeniem punktów przeniesienia obciążeń (węzeł usterzenie-kadłub) i zawieszenia steru wysokości (zawiasy). Należy zaprojektować węzeł główny tak, aby był w stanie przenieść wszystkie składowe obciążenia. Na oddzielnym rysunku należy pokazać schemat przeniesienia obciążeń w głównym węźle.

## Wyznaczenie obciążeń

Wyznaczenie obciążeń od zespołu napędowego polega na wyznaczeniu rozkładów obciążenia wzdłuż rozpiętości i cięciwy. Rozkład wzdłuż rozpiętości wyznaczamy metodą Schrenka. Uproszczona metoda wyznaczenia rozkładu wzdłuż cięciwy jest zdefiniowana poniżej. Analiza rozkładu wzdłuż cięciwy sprowadza się do rozpatrzenia obciążenia dla konfiguracji gładkiej (bez wychylonych powierzchni sterowych), przyrostu obciążenia od wychylenia steru oraz ich sumy.

Zlinearyzowany rozkład ciśnienia wzdłuż cięciwy pokazuje Rys. 9.1. Wielkości  $p$  i  $h$  wyznaczone przy założeniu, że rozkład o podanym kształcie jest równoważny znanemu obciążeniu, zredukowanemu do punktu  $\frac{1}{4}$  średniej cięciwy aerodynamicznej, reprezentowanemu przez współczynniki siły nośnej  $C_z$  oraz współczynnik momentu pochylającego  $C_m$ .



Rys. 9.1 – Zlinearyzowany rozkład ciśnienia dla profilu niezalamanego (konfiguracja gładka)  
gdzie:

$Ca$  – cięciwa usterzenia

$Cs$  – cięciwa steru (od osi obrotu do krawędzi spływu)

Przy przyjęciu jednostkowej długości cięciwy otrzymamy następujące zależności na  $p$  i  $h$

$$p = \frac{1}{8}q(11C_z - 60C_m) \quad (9.1)$$

$$h = \frac{1}{8}q(25C_z + 300C_m) \quad (9.2)$$

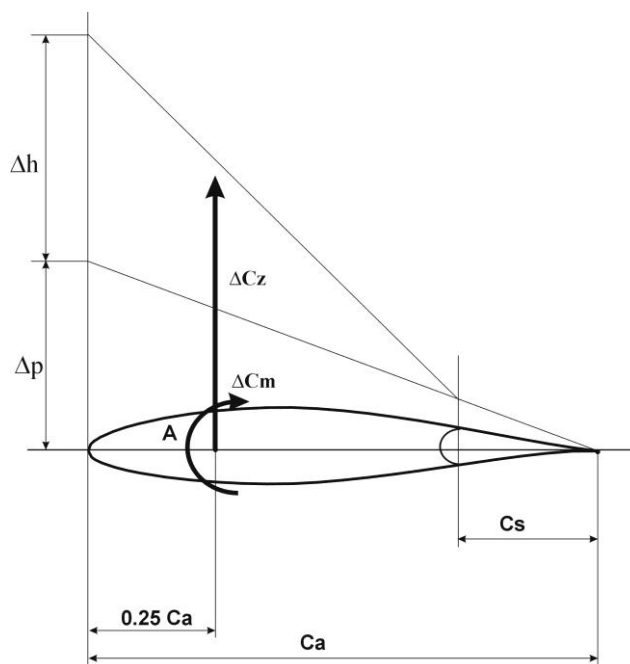
gdzie:

$q$  – ciśnienie dynamiczne ( $0.5 \rho V^2$ )

Podobnie wyznaczamy wielkości  $\Delta p$  i  $\Delta h$ , zdefiniowane na Rys.9.2, przedstawiającym zlinearyzowany rozkład ciśnienia dla profilu jednokrotnie załamanego. Jeżeli stosunek cięciwy steru do cięciwy całego usterzenia oznaczmy jako  $\varphi = C_s/C_a$  a przyrosty siły nośnej i momentu pochylającego od wychylenia steru odpowiednio  $\Delta C_z$  i  $\Delta C_m$  otrzymamy zależności:

$$\Delta p = \frac{q}{2\varphi} [(4\varphi - 1)\Delta C_z - 12\Delta C_m] \quad (9.3)$$

$$\Delta h = \frac{q}{2\varphi(1-\varphi)} (\Delta C_z + 12\Delta C_m) \quad (9.4)$$



Rys. 9.2 – Zlinearyzowany rozkład ciśnienia dla profilu jednokrotnie załamanego

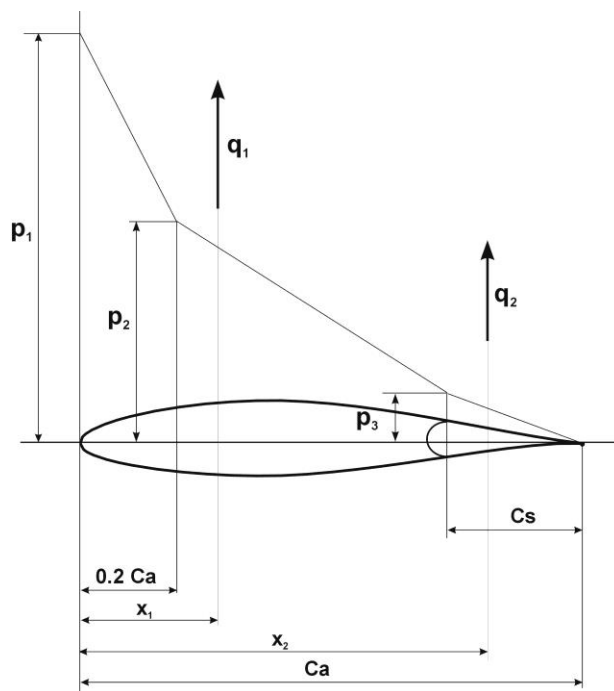
Wynikiem końcowy jest suma obciążeń dla profilu niezalamanego i przyrostów od wychylenia steru (Rys. 9.3).

Wartości  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  wynikają wprost z sumowania rozkładów z Rys.9.1 i 9.2:

$$p_1 = (p + \Delta p) + (h + \Delta h) \quad (9.5)$$

$$p_2 = 0.8(p + \Delta p) + \frac{0.8 - \varphi}{1 - \varphi} \Delta h \quad (9.6)$$

$$p_3 = \varphi(p + \Delta p) \quad (9.7)$$



Rys. 9.3 – Suma rozkładów obciążeń

Wypadkowe obciążenia  $q_1$ ,  $q_2$  oraz współrzędne ich punktów przyłożenia  $x_1$ ,  $x_2$  można wyznaczyć z następujących zależności:

$$q_1 = \frac{1}{10} [p_1 + 5p_2(1 - \varphi) + p_3(4 - 5\varphi)] \quad (9.8)$$

$$q_2 = \frac{1}{2} \varphi p_3 \quad (9.9)$$

$$x_1 = \frac{1}{150q_1} [p_1 + 2p_2 + 15(0.8 - \varphi)(p_2 + p_3) + 25(0.8 - \varphi)^2(p_2 + 2p_3)] \quad (9.10)$$

$$x_2 = 1 - \frac{2}{3} \varphi \quad (9.11)$$

Uwaga:

Metoda zlinearyzowanego rozkładu ciśnienia nie nadaje się do obliczeń momentów zawiasowych. W rzeczywistości wypadkowa siła na sterze leży bliżej jego osi obrotu niż wynika to z wartości współrzędnej  $x_2$  jednak wyznaczony w ten sposób moment skracający ster jest niewiele większy i spowoduje tylko nieznaczne przewymiarowanie konstrukcji.

Wynikiem tej części projektu powinny być wymiarujące rozkłady obciążeń usterzenia poziomego wzdłuż rozpiętości:

- siły tnącej,
- momentu gnącego,
- momentu skręcającego.

Powyższe rozkłady należy wykonać dla części stałej usterzenia oraz dla steru. Należy ponadto wyznaczyć obciążenia zawiasów oraz okuć głównych.