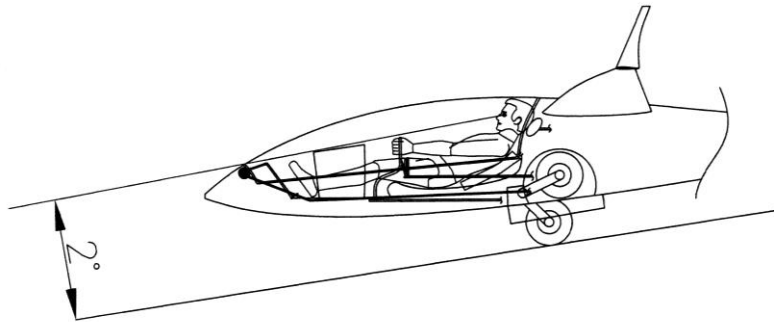


Projekt 3 – Analiza masowa

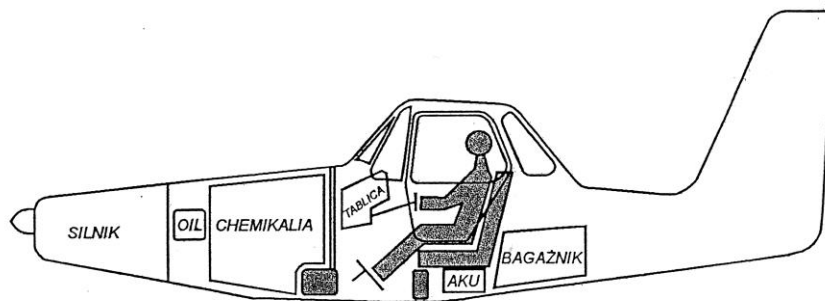
Niniejszy projekt składa się z dwóch części. Pierwsza polega na projekcie wstępnym wnętrza kabiny (kadłuba). Druga część to tytułowa analiza masowa polegająca na wyznaczeniu położenia środka ciężkości.

Projekt kabiny (wnętrza kadłuba)

Projekt kabiny (wnętrza kadłuba) należy wykonać w postaci rysunku, przedstawiającego rozmieszczenie wyposażenia samolotu, z uwzględnieniem zasad ergonomii. W tym celu można skorzystać z [pomocy do wymiarowania](#) kabin zamieszczonych na stronie internetowej. Poniżej przedstawiono trzy przykłady projektów kabin (kadłubów) z prac studenckich z poprzednich lat. Rysunki te stanowią jedynie przykład i należy je traktować poglądowo a nie jako wzorzec czy szablon.

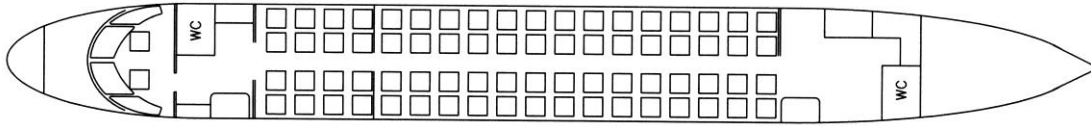


Rys. 1 - Projekt kabiny szybowca [1]



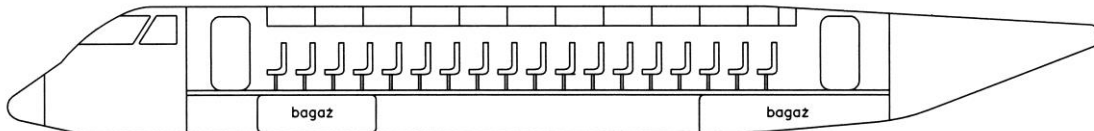
Rys. 2 - Projekt kabiny samolotu rolniczego [2]

Rozmieszczenie pasażerów (z podziałem na klasę biznes i ekonomiczną)



Rys. 3 - Projekt kabiny samolotu pasażerskiego – rzut z góry [3]

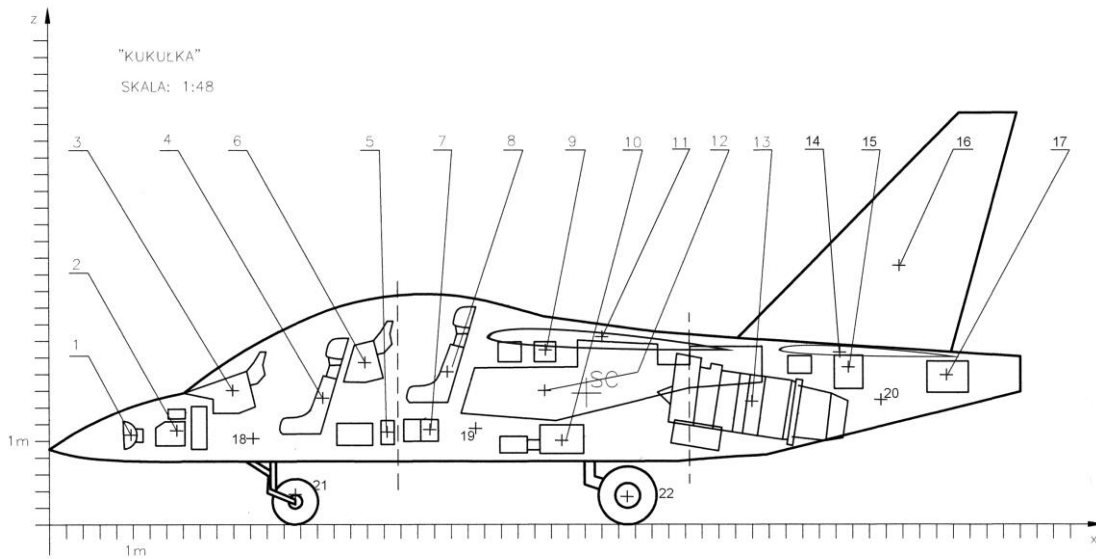
Rozmieszczenie bagażu (dwa luki w dolnej części kadłuba i skrytki nad głowami pasażerów)



Rys. 4 - Projekt kabiny samolotu pasażerskiego – rzut z boku [3]

Analiza masowa samolotu

Analizę masową zaczynamy od podziału bryły samolotu na elementy struktury, wyposażenia, masy płatnej, itp. oraz wyznaczeniu mas tych elementów oraz położenia ich środków ciężkości. W tym celu wykonąć należy rysunek zwany arkuszem wyważenia (Rys. 5) Następnie korzystając z zależności (1-2) wyznaczamy położenie środka ciężkości i przeliczamy jego położenie do układu związanego ze średnią cięciwą aerodynamiczną. Dane mas składowych należy przedstawić w tabeli i wykonać obliczenia, np. wg schematu przedstawionego poniżej. Przykład przedstawiony w Tabeli 1 pokazuje jedynie sposób prezentacji wyników. Liczba elementów samolotu wzięta pod uwagę powinna być zwykle wyższa.



Rys. 5 - Przykładowy arkusz wyważenia samolotu szkolno-treningowego (projekt studencki [4])

Schemat obliczeń:

1. wyznaczenie mas poszczególnych elementów samolotu – obliczenia i szacunki wykonujemy na podstawie danych statystycznych i pozycji przedstawionych w spisie literatury,
2. zdefiniowanie wariantów wyważenia,
3. wyznaczenie średniej cięciwy aerodynamicznej i jej położenia,
4. obliczenie położenia środka ciężkości wg wzorów:

$$X_{SC} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad Y_{SC} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad Z_{SC} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (1)$$

5. obliczenie położenia środka ciężkości w %SCA:

$$x_{SC}[\%] = 100(X_{SC} - (X_A - 0.25Ca)) / Ca \quad (2)$$

gdzie:

Ca – średnia cięciwa aerodynamiczna (SCA),
 X_A – położenie punktu $\frac{1}{4}$ SCA

Lp.	Nazwa elementu	m_i	x_i	z_i	$m_i \times x_i$	$m_i \times z_i$
1	Radiolokator	25	0.96	1.08	24.0	27.0
2	Wyposażenie elektroniczne #1	40	1.60	1.09	64.0	43.6
3	Przyrządy pilotażowe #1	35	2.30	1.62	80.5	56.7
4	Fotel katapultowany #1	110	3.17	1.42	348.7	156.2
5	Wyposażenie elektroniczne #2	40	3.84	1.08	153.6	43.2
6	Przyrządy pilotażowe #2	35	3.88	2.00	135.8	70.0
7	Akumulator	40	4.37	1.11	174.8	44.4
8	Fotel katapultowany #2	110	4.72	1.77	519.2	194.7
9	Wyposażenie elektroniczne #3	40	5.72	2.05	228.8	82.0
10	Urządzenia klimatyzacyjne	60	5.94	1.02	356.4	61.2
11	Skrzydła	810	6.51	1.58	5273.1	1279.8
12	Zbiornik paliwa	130	5.71	1.76	742.3	228.8
13	Silniki	1000	8.29	1.46	8290.0	1460.0
14	Usterzenie poziome	180	9.15	1.66	1647.0	298.8
15	APU	250	9.30	1.86	2325.0	465.0
16	Usterzenie pionowe	95	10.05	2.76	954.8	262.2
17	Wyposażenie elektroniczne	30	10.73	1.77	321.9	53.1
18	Kadłub sekcja #1	750	2.54	1.52	1905.0	1140.0
19	Kadłub sekcja #2	1050	4.90	1.61	5145.0	1690.5
20	Kadłub sekcja #3	450	9.29	1.46	4180.5	657.0
21	Podwozie przednie	40	2.85	0.50	114.0	20.0
22	Podwozie główne	100	6.70	0.50	670.0	50.0
Suma		5420			33654.4	8384.2

Tabela 1 – Arkusz wyważenia – dane masowe i geometryczne (przykład [4])

Wyniki wyważenia należy przedstawić w następującej formie

$$X_{sc} = 6.209 \text{ m}$$

$$Z_{sc} = 1.547 \text{ m}$$

$$\text{Średnia cięciwa aerodynamiczna} = 1.7 \text{ m}$$

$$X_{noska SCA} = 5.7 \text{ m}$$

$$X_{sc} = 30\%$$

Należy sprawdzić, czy środek ciężkości w skrajanych pozycjach spełnia warunki dotyczące jego położenia względem punktów podparcia samolotu na ziemi ([podwozia](#)). Jeśli warunki te nie są spełnione, należy zaproponować zmiany w projekcie, prowadzące do spełnienia powyższych warunków.

Spis literatury

1. Maciej Kalwara, Łukasz Pruszyński, Szybowiec klasy otwartej – projekt studencki w ramach przedmiotu „Samoloty, Śmigłowce, Rakiety” – Politechnika Warszawska 2006
2. Piotr Araszkievicz, Adam Toczek, Dawid Wróbel, Piotr Busz, Lekki samolot wsparcia ekologicznego – projekt studencki w ramach przedmiotu „Samoloty, Śmigłowce, Rakiety” – Politechnika Warszawska 2005
3. Marcin Chrust, Andrzej Gajda, Piotr Nowacki, Łukasz Skonecki, Wiktor Stołowski – „Bening” regional jet – projekt studencki w ramach przedmiotu „Samoloty, Śmigłowce, Rakiety” – Politechnika Warszawska 2006
4. Tomasz Bąk, Łukasz Mężyk, Kamil Stępień, Piotr Wodyński, Odrzutowy samolot szkolno-bojowy “Kukułka” – projekt studencki w ramach przedmiotu „Samoloty, Śmigłowce, Rakiety” – Politechnika Warszawska 2006
5. St. Danilecki: *Projektowanie samolotów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000
6. Daniel P. Raymer: *Aircraft Design: A Conceptual Approach*, AIAA Education Series 2012