

Jerzy Maryniak, Tomasz Osowski
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Politechnika Warszawska

MODELOWANIE FIZYCZNE I MATEMATYCZNE STARTU SZYBOWCA ZA POMOCĄ LIN GUMOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono modelowanie fizyczne i matematyczne startu szybowca ze zbrocza góry za pomocą lin gumowych.

Резюме. В работе представлено физическое и математическое моделирование старта планёра со склона горы при помощи резиновых канатов.

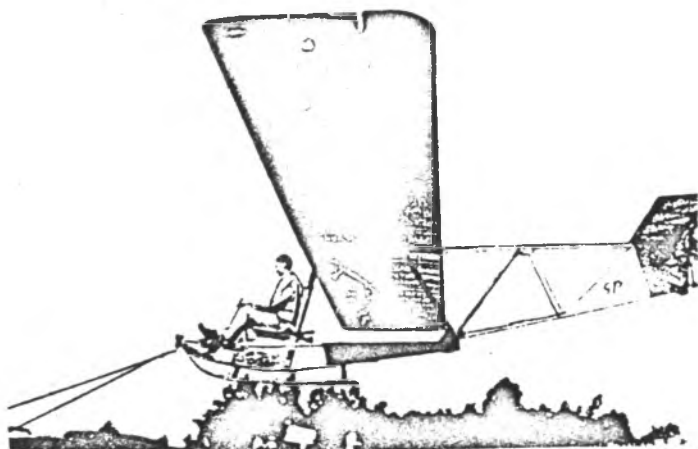
Summary. The physical and mathematical modelling of start of glider from the mountainous side, with the aid of elastic line is presented in this work.

1. WSTĘP

Start szybowca za pomocą lin gumowych (rys.1), pomimo że może być stosowany wyłącznie w terenie górzystym, posiada wiele zalet [1,2,5,6]. Zaliczyć do nich należy między innymi prostotę urządzeń startowych, zarówno zabudowanych na szybowcu jak i urządzeń naziemnych oraz organizację lotów [1,2]. Urządzenia te są bardzo proste i łatwe w budowie, a co za tym idzie niezawodne w działaniu i tanie, nie wymagają wykwalifikowanej obsługi.

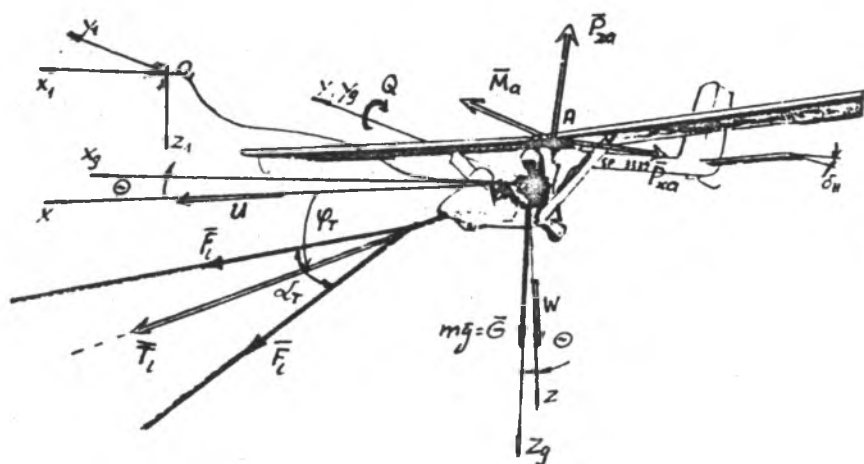
Po ustawieniu szybowca w wybranym miejscu startu lub szczytu góry za zaczep ogonowy umieruchamia się szybowiec na kołku startowym wbitym w ziemię. Gumowe liny startowe długości 40-60 m rozkłada się na stoku przed szybowcem tak aby tworzyły między sobą kąt $60^{\circ} \leq \alpha_T \leq 80^{\circ}$ (rys. 1 i 2). Na końcach rozłożonej liny ustawia się 2+4 ludzi, po zaczepieniu oczka liny

o hak startowy (rys. 1 i 2) obsługa startowa lin naciąga liny poruszając się w liniach prostych stanowiących przedłużenie lin.



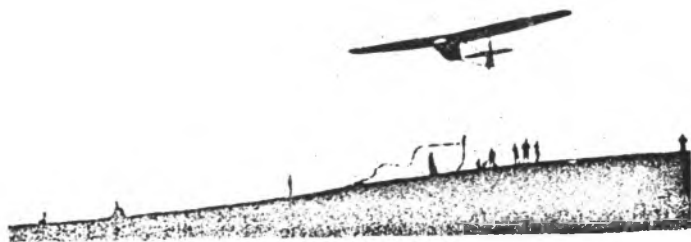
Rys. 1
Fig. 1

Z chwilą gdy naciąg lin dochodzi do $\epsilon_1 = 40\% + 50\%$ maksymalnego dopuszczalnego wydłużenia, obsługa zaczyna biec i gdy wydłużenie lin wynosi $\epsilon_1 = 85\% + 100\%$ wydłużenia dopuszczalnego obsługujący zaczep ogonowy zwalnia szybowiec.



Rys. 2
Fig. 2

Dzięki energii nagromadzonej w linach gumowych szybowiec szybko osiąga prędkość oderwania i odrywa się od ziemi (rys. 1) lina wyczepia się z haka (rys. 3), a szybowiec rozpoczyna swobodny lot.



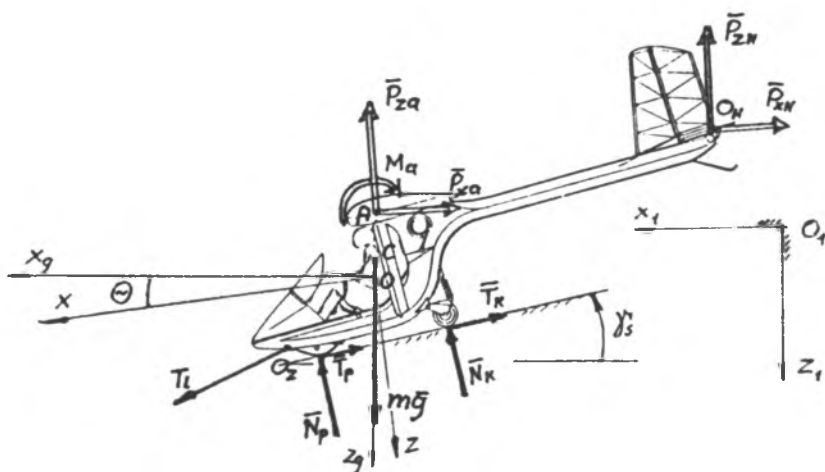
Rys. 3

Fig. 3

3. MODEL FIZYCZNY I MATEMATYCZNY

Model fizyczny szybowca, dla którego przeprowadzano analizę przyjęto przy następujących założeniach:

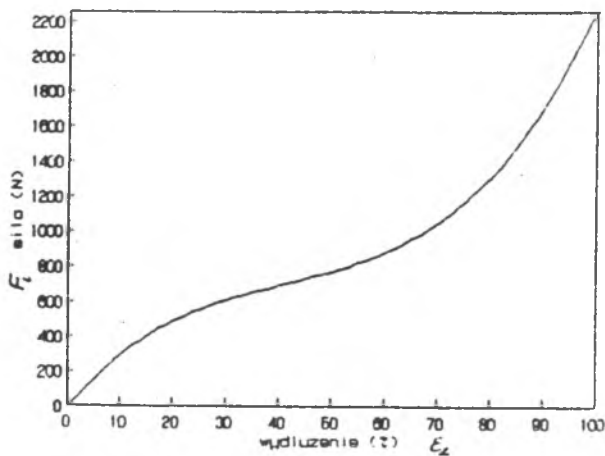
- szybowiec traktuje się jako bryłę sztywną o stałej masie i stałym rozkładzie mas [3,4,5]
- szybowiec posiada płaszczyznę symetrii geometrycznej, masowej i aerodynamicznej xOz rys.2 i rys.4,
- rozpatruje się ruch symetryczny szybowca w płaszczyźnie xOz leżącej w płaszczyźnie grawitacyjnej $x_1O_1z_1$ rys.2 i rys.4 [3,4,5],
- pogoda jest bezwietrzna,
- układ odniesienia $Oxyz$ względny, sztywno związany z szybowcem (rys.2 i Rys.4),
- szybowiec jest sterowany przez pilota wychyleniem steru wysokości δ_H ,
- liny gumowe są rozłożone symetrycznie i naciągane identycznie rys.1,2,4 do $\epsilon_1=100\%$ wydłużenia rys.5 [2],
- na szybowiec działają siły i momenty sił: grawitacyjne - X_g, Z_g, M_g ; aerodynamiczne - X_a, Z_a, M_a ; naciągu lin - X_l, Z_l, M_l oraz w ślizgu po ziemi reakcje normalne i siły tarcia: koła N_k, T_k i płozy N_p, T_p rys.2 i rys.4 [3,4,5].



Rys. 4

Fig. 4

Przy tak przyjętych założeniach wyprowadzono równania ruchu szybowca [3,4] opisujące: ślizg po ziemi, rozpędzanie na linach w powietrzu i lot swobodny [5]:



Rys. 5

Fig. 5

- równania ruchu

$$m(\dot{U} + QW) - S_x \dot{Q}^2 + S_z \ddot{Q} = X_g + X_a + X_l + X_T, \quad (1)$$

$$m(\dot{W} - QU) - S_x \dot{Q} - S_z \dot{Q}^2 = Z_g + Z_a + Z_l + Z_T, \quad (2)$$

$$J_y \ddot{Q} - S_x(\dot{W} - UQ) + S_z(\dot{U} + QW) = M_g + M_a + M_l + M_T, \quad (3)$$

- związki kinematyczne

$$\theta = Q, \quad (4) \quad h = -Z_1, \quad (7)$$

$$V_o^2 = U^2 + W^2, \quad (5) \quad x_1 = U \cos \theta + W \sin \theta, \quad (8)$$

$$\alpha = \arctg \frac{W}{U}, \quad (6) \quad z_1 = -U \sin \theta + W \cos \theta, \quad (9)$$

- gęstość powietrza

- współczynnik obciążenia szybowca

$$\rho = \rho_o \left(1 + \frac{z_1}{44300}\right)^{4.256}, \quad (10) \quad n_z = \frac{P_z}{mg},$$

gdzie - składowe siły ciężkości i moment siły

$$X_g = -mg \sin \theta,$$

$$Z_g = mg \cos \theta,$$

$$M_g = -mg(z_c \sin \theta + x_c \cos \theta),$$

- składowe siły aerodynamiczne i moment sił

$$X_a = -\frac{1}{2} \rho S V_o^2 (C_{xa} \cos \alpha - C_{za} \sin \alpha) + X_Q Q,$$

$$Z_a = -\frac{1}{2} \rho S V_o^2 (C_{xa} \sin \alpha + C_{za} \cos \alpha) + Z_Q Q + Z_{\delta H} \delta_H,$$

$$M_a = \frac{1}{2} \rho S V_o^2 [-Z_A (C_{xa} \cos \alpha - C_{za} \sin \alpha) + X_A (C_{xa} \sin \alpha + C_{za} \cos \alpha) + c C_{mya} + M_w W + M_Q Q + M_{\delta H} \delta_H],$$

- składowe siły naciągu lin i moment sił

$$X_l = 2 F_l \cos \frac{1}{2} \alpha_T \cos \varphi_1,$$

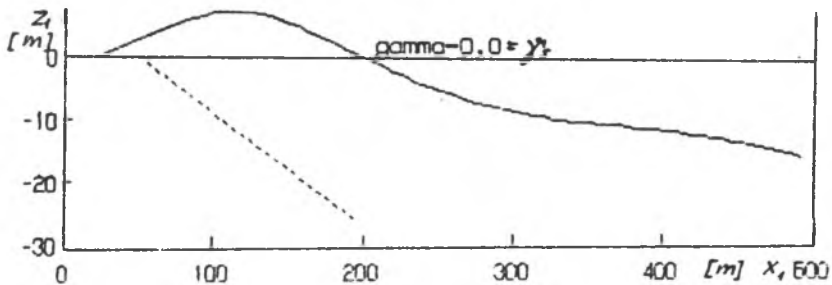
$$Z_l = 2 F_l \cos \frac{1}{2} \alpha_T \sin \varphi_1,$$

$$M_l = X_l z_z - Z_l x_z$$

3. PRZYKŁADOWE OBLICZENIA I WNIOSKI

Przykładowe obliczenia wykonano dla szybowca PW-2 "GAPA" 5 (rys.2,4),

Szybowiec został zaprojektowany i zbudowany przez Zespół Naukowo-Badawczy Technologii Lotniczych Konstrukcji Kompozytowych Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, którego kierownikiem jest dr inż Roman Świątkiewicz.



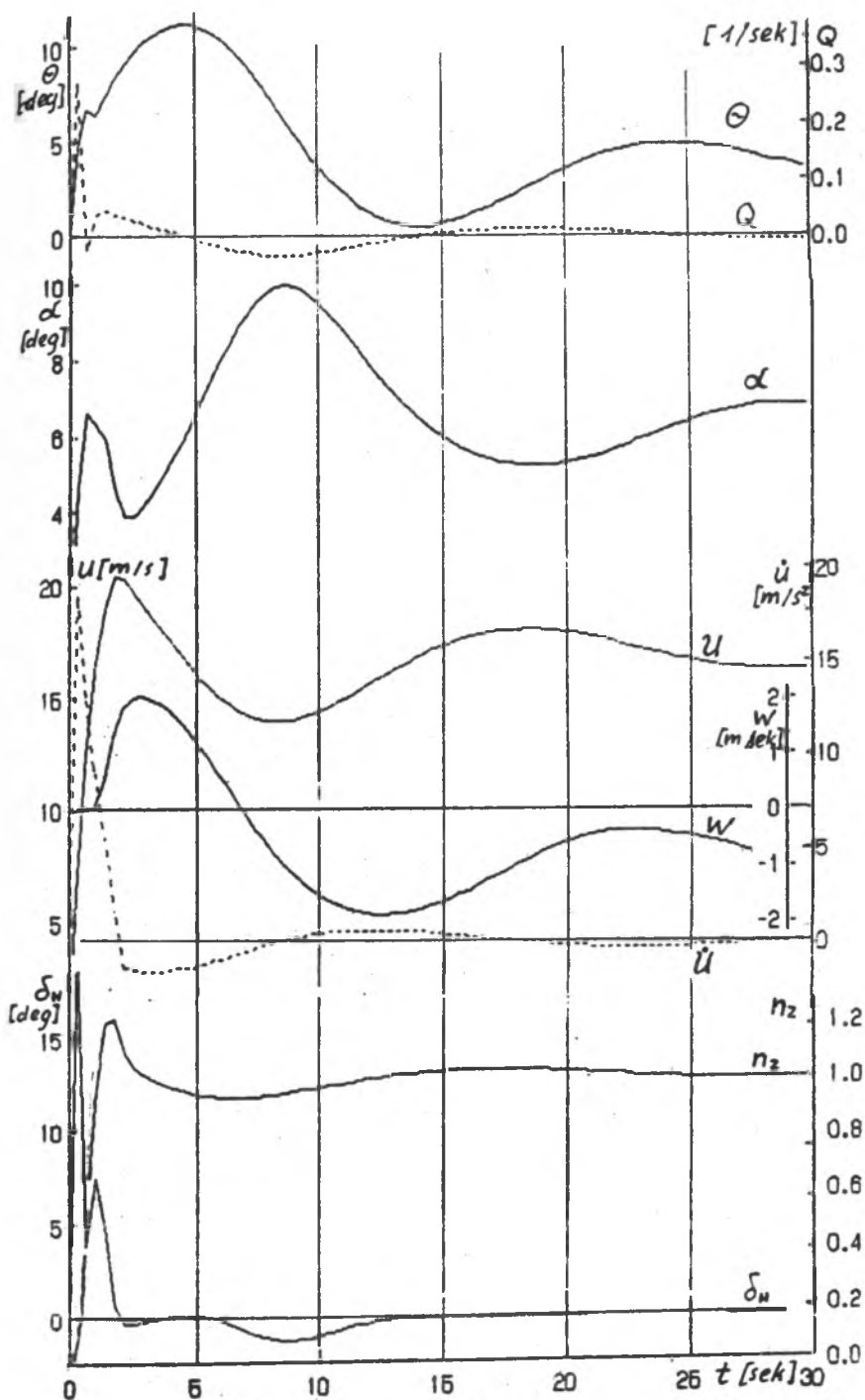
Rys. 6

Fig. 6

Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie pokazując zmiany parametrów kinematycznych w czasie. Dla startu szybowca z poziomego wierzchołka góry (kąt pochylenia stoku $\gamma_0 = 0$), pokazano obliczony tor lotu $z_1 = f(x_1)$ na rys.6 oraz na rys.7 zmiany w czasie: kąta pochylenia szybowca θ , kąta natarcia α , kąta wychylenia steru wysokości δ_H w trakcie sterowania; prędkości: podłużnej U , wznoszenia W ; kątovej prędkości pochylenia Q ; przyspieszenie podłużne \dot{U} oraz współczynnik obciążenia normalnego n_z .

Przebiegi wybranych parametrów lotu i sterowania otrzymane na drodze symulacji numerycznej odpowiadają zaobserwowanym podczas startu rzeczywistego szybowca. Przyjęty model fizyczny, wyprowadzony model matematyczny, opracowany algorytm i program obliczeń numerycznych pozwala na drodze symulacji na teoretyczne badania zmian parametrów lotu szybowca podczas startu z lin gumowych.

Przedstawiona metoda pozwala na właściwe umieszczenia zaczepu startowego na szybowcu, dobór lin gumowych takich aby uzyskać właściwą siłę napędu zależną od masy startowej szybowca jak również proces sterowania.



Rys. 7.

Fig. 7.

LITERATURA

- [1] Humen W.: Podręcznik instruktora i pilota szybowcowego. Wyd. Prasa Wojskowa, Warszawa 1950.
- [2] Janica W., Mańkowski A.: Starty szybowców. Wyd. Kom., Warszawa 1956.
- [3] Maryniak J.: Systemy symulacji trenażera lotu, naprowadzania i walki powietrznej samolotu. Mechanika Teoretyczna i Stosowana T XXV Z 1-2 PWN, Warszawa 1987.
- [4] Maryniak J.: Wpływ liny holowniczej na zmianę zapasu stateczności statycznej podłużnej szybowca holowanego i samolotu holującego. Technika Lotnicza i Astronautyczna nr 8/1968.
- [5] Osowski T.: Modelowanie fizyczne i matematyczne oraz symulacja numeryczna startu szybowca z lin gumowych. Praca magisterska dyplomowa. ITLiMS, Wydz. MEiL Politechnika Warszawska 1990, niepublikowana.
- [6] Pazio A.: Zasady pilotażu. WKiŁ, Warszawa 1965.
- [7] Skarbiński A., Stafiej W.: Projektowanie i konstrukcja szybowców. WKiŁ, Warszawa 1965.

PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELLING OF THE TAKEOFF (START) OF A GLIDER
WITH THE AID OF AN ELASTIC LINE

The start of a glider with the aid of an elastic line includes: rolling on the ground (Fig.4), acceleration in the air (Fig.1 and Fig.2), up to the moment of pulling the line (Fig.3) and transition to a free flight of the glider. Equations of motion for the assumed physical model of the starting glider (1)+(11) were derived to include the elastic effects of the line (Fig.5). The numerical simulation of the model was conducted and the results of this simulation are shown in graphical form. Fig.6 illustrates the flight trajectory of the glider PW-2 "GAPA", the changes of the following parameters with time are shown on Fig.7: angle of pitch θ ; angle of attack α ; angle of deflection of elevator δ_H ; longitudinal and vertical components of speed: U and W ; angular speed of pitch Q ; longitudinal acceleration \dot{U} and load factor n_x .