

<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMTECH2021.16>

Innowacyjne rozwiązanie wyciągarki szybowcowej z elektrycznym układem napędowym – pierwsze efekty realizacji projektu BATWINCH

Dariusz Czerniak – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Aleksandra Dobrzaniecka – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Sebastian Jendrysik – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Marek Kalita – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Marcin Skóra – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Bartłomiej Schinohl – Zakład Techniczny ŻORY Sp. z o.o.

Maciej Schinohl – Zakład Techniczny ŻORY Sp. z o.o.

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono pierwsze efekty realizacji projektu BATWINCH, którego celem jest opracowanie i przygotowanie do wdrożenia innowacyjnego rozwiązania wyciągarki szybowcowej z elektrycznym układem napędowym zasilanym z baterii ogniw litowych, przeznaczonej do zabudowy na dowolnym podwoziu pojazdu ciężarowego. Wysoko wydajną 4-bębnową wyciągarkę z komputerowym systemem sterowania przewidziano do wynoszenia nowoczesnych szybowców wyczynowych i szkoleniowych do strefy pilotażu w celu osiągnięcia przez nie termiki. Uwzględniono wymagania operacyjne BFST stawiane przez Aeroklub Niemiecki. Wyznaczono profile obciążenia wyciągarki dla lin o długości 1200 m i 3000 m. W wyniku analizy rozwoju konstrukcji wyciągarek szybowcowych wyznaczono cele innowacyjności rozwiązania i opracowano model 3D wyciągarki.

Słowa kluczowe: elektryczna wyciągarka szybowcowa, zasilanie z baterii litowych, wyciągarka 4-bębnowa, profil obciążenia wyciągarki szybowcowej

Innovative solution of a glider winch with an electric drive. First results of realization of BATWINCH project

Abstract: First results of the BATWINCH project, aimed at development and preparation for implementation of innovative solution for a glider winch with an electric drive system powered by a lithium cell battery, intended for installation on any truck chassis is presented. A high-performance 4-drum winch with a computer control system is designed to lift state-of-the-art performance and training gliders to the pilotage zone and to reach good thermal conditions. The BFST operational requirements of the German Aeroclub were taken into account. The profiles of winch load for 1200 m and 3000 m ropes were determined. As a result of analysis of the development of glider winches, the objectives of the solution's innovation were determined and a 3D model of the winch was developed.

Keywords: electric glider winch, lithium battery power supply, 4-drum winch, profile of glider winch load



Rzeczpospolita
Polska



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

1. Wprowadzenie

Institut Techniki Górniczej KOMAG w ramach konsorcjum z Zakładem Technicznym Żory Sp. z o.o. realizuje projekt dofinansowany z Funduszy Europejskich pt. „Innowacyjne rozwiązanie wyciągarki szybowcowej z elektrycznym układem napędowym zasilanym z baterii akumulatorów”, akronim BATWINCH.

Celem projektu jest opracowanie i przygotowanie do wdrożenia innowacyjnego rozwiązania wyciągarki szybowcowej z elektrycznym układem napędowym zasilanym z baterii ogniw litowych, przeznaczonej do zabudowy na dowolnym podwoziu pojazdu ciężarowego.

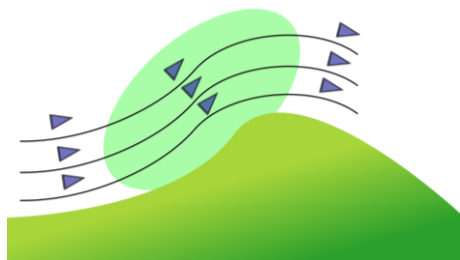
Okres realizacji projektu trwa od lipca 2020 do czerwca 2023 r. i obejmuje dziesięć etapów. Dziewięć z nich to prace rozwojowe. Ostatni etap to prace przedwdrożeniowe mające na celu przygotowanie produktu do wdrożenia przemysłowego. Pięć etapów realizuje Lider projektu – KOMAG. Pozostałe pięć są wykonywane przez Partnera Przemysłowego, tj. Zakład Techniczny Żory Sp. z o.o.

W rozdziale omówiono efekty przeprowadzonych do tej pory prac rozwojowych. W dalszych etapach projektu zrealizowane zostaną badania, które nie wchodzą w zakres niniejszego opracowania.

Wyciągarka szybowcowa jest urządzeniem naziemnym służącym do wynoszenia szybowców w powietrze. Praca wyciągarki polega na nawijaniu liny na bęben, podczas gdy jej koniec zaczepiony jest do szybowca. Operator wyciągarki lub automatyczny układ sterowania tak reguluje prędkość obrotową bębna, żeby szybowiec osiągnął maksymalną wysokość, a cały ciąg przebiegał równomiernie i bezpiecznie. Pilot szybowca również stosuje odpowiednie techniki pilotażu, aby osiągnąć dany cel. Osiągana wysokość jest ograniczona przez długość liny holowniczej, a także przez moc wyciągarki, wydajność wspinania się szybowca i siłę wiatru. Wysokość wyczepienia jest mniejsza niż połowa długości liny, gdy nie ma wiatru, a nieco większa, gdy wieje silny wiatr. Lina ciągową ma zazwyczaj długość rzędu 1000 m i rozwijana jest na powierzchni pola wzlotów. W nielicznych przypadkach jego długość dochodzi do 3000 m. Start za wyciągarką pozwala na uzyskanie wysokości rzędu 200-500 m w czasie 15-30 sekund. W początkowej fazie wyciągany szybowiec przyspiesza od 0 do 100 km/h w czasie od 3 do 4 sekund.

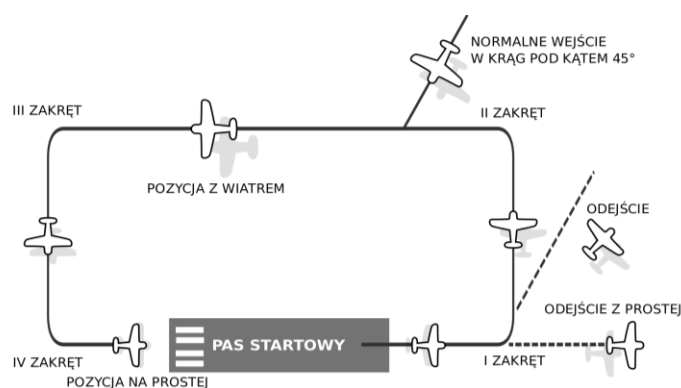
Start szybowca za pomocą wyciągarki jest jedną z najtańszych i najprostszych metod startu. Jest przy tym niemal bezgłośny. W porównaniu do startu za samolotem zapewnia czterokrotnie większą przepustowość.

W zależności od usytuowania lotniska, charakteru realizowanych lotów oraz posiadanych typów szybowców użytkownicy stawiają przed tymi urządzeniami odmienne wymagania. Na przykład, szybowce startujące z lotnisk położonych w dolinach górskich wyniesione na wysokość 200 metrów mogą nieprzerwanie szybować tzw. lotem żaglowym, wykorzystując stabilne prądy wznoszące (rys. 1). W tych warunkach sprawdzają się najprostsze wyciągarki jednobębnowe niezbyt dużej mocy. Głównymi kryteriami wyboru wyciągarki szybowcowej dla takich lokalizacji pozostaje niski koszt zakupu i wysoka niezawodność urządzenia [1].



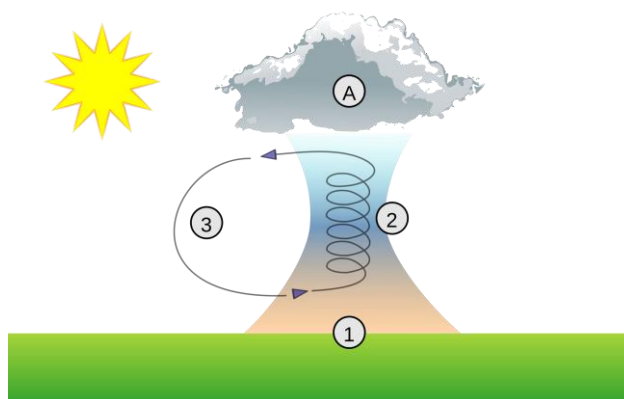
Rys. 1. Strefa noszeń żaglowych na nawietrznej przeszkody terenowej [2]

Najczęściej wyciągarkę używa się przy wykonywaniu szkoleniowych lotów szybowców po kręgu nadlotniskowym, którego standardowa wysokość wynosi 300 metrów (rys. 2). Wyciąganie szybowców do kręgu to domena popularnych wyciągarek szybowcowych jedno- i dwubębnowych o średniej mocy.



Rys. 2. Schemat kręgu lotniskowego lewego [3]

Dopiero w strefie pilotażu, na wysokości powyżej 600 metrów, pilot szybowcowy może rozpocząć lot ślizgowy w kierunku komina termicznego, sygnalizowanego obecnością chmury kłębiastej (rys. 3). Szybowiec po osiągnięciu pierwszego komina termicznego może krążąc nabrać wysokości nawet kilku tysięcy metrów.



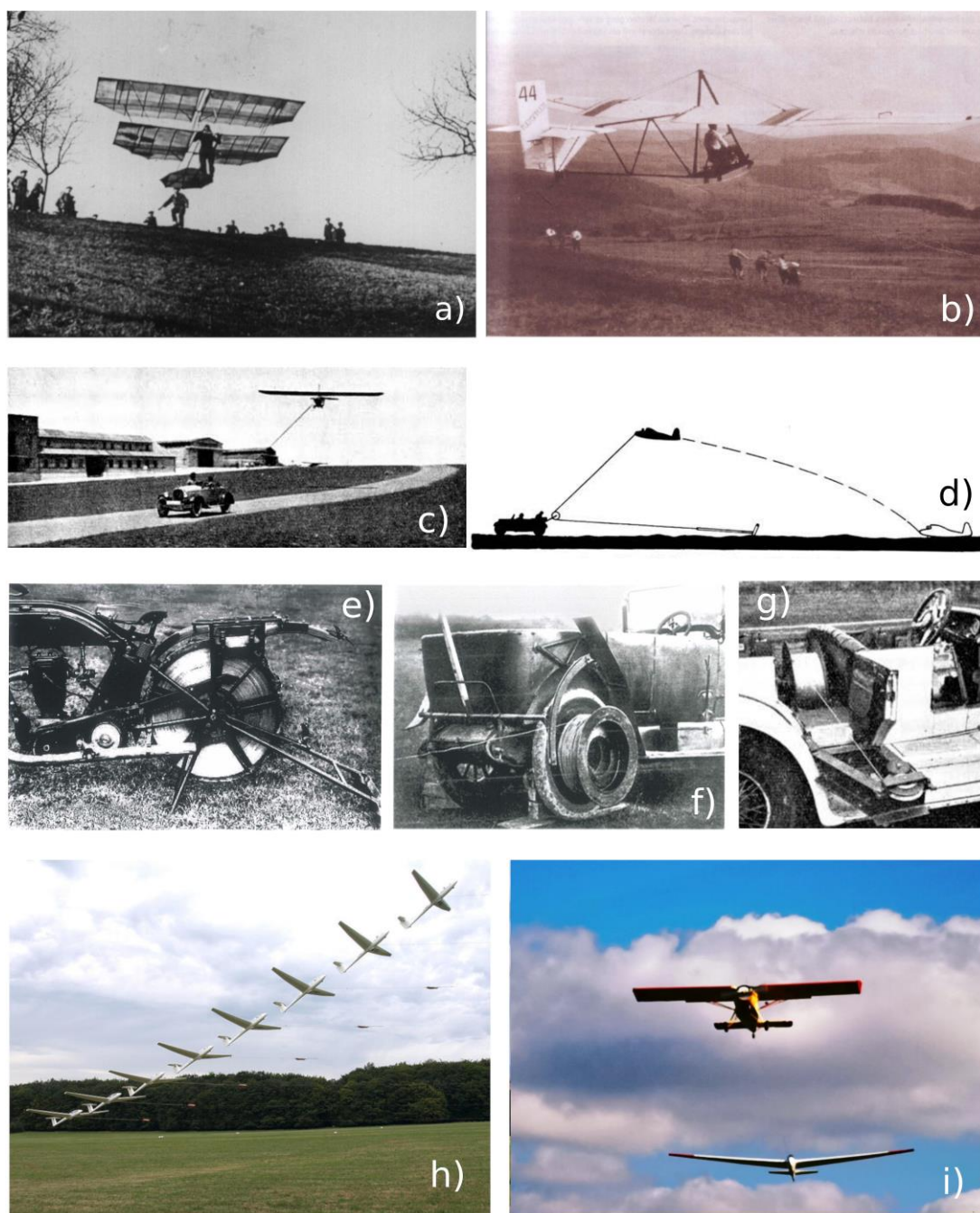
Rys. 3. Szkic komina termicznego [4]

Z kolei do realizacji szybowcowych lotów akrobacyjnych wymagane są hole na wysokość 1000 ÷ 1200 metrów.

Wysokie wyczepienia, korzystnie powyżej 750 metrów nad ziemią, wiążą się z długimi linami i długimi przerwami na ponowne ściągnięcie liny do linii startu. Dlatego stosuje się wyciągarki z wieloma bębniami, z których liny można odwijać równocześnie, oszczędzając cenny czas. Od wyciągarek wielobębnowych oczekuje się maksymalnego wykorzystania możliwości startowych oferowanych przez nowoczesne, ciężkie dwumiejscowe szybowce wyczynowe, wykonane z kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknem szklanym (GRP). Zatem muszą się one cechować dużą mocą, wysoką i równomierną prędkością ciągu oraz komputerowym systemem kontroli siły ciągu, który będzie w stanie każdorazowo zoptymalizować przebieg wyciągania szybowca w zależności od jego typu i aktualnych warunków atmosferycznych. Na ten segment rynku ukierunkowana jest nowoprojektowana wyciągarka szybowcowa z napędem akumulatorowym.

2. Zarys rozwoju technik startu szybowców i budowy wyciągarek szybowcowych

Historię rozwoju technik startu szybowców ilustruje rysunek 4. Pierwszymi szybowcami z końca XIX wieku startowano z rozbiegu. Ta najstarsza metoda startu grawitacyjnego stosowana jest sporadycznie do dzisiaj, na przykład na szybowisku w Bezmiechowej [5]. Jej rozwinięciem był start z lin gumowych ciągniętych przez zespół ludzi, popularny w latach międzywojennych XX w. W połowie lat 20. XX w. w Niemczech zaczęto ciągnąć szybowce za samochodem osobowym, wzdłuż prostej lub po okręgu. W tym samym czasie do startu szybowca Niemcy wykorzystali samolot. W 1930 r. studenci z Karlsruhe opracowali tzw. metodę wysokiego startu, w której 200 metrowa lina od szybowca przechodziła przez krążek linowy zamocowany do samochodu, a drugim końcem zaczepiona była do słupa. Równolegle stosowano pojazdy mechaniczne w roli kołowrotów. Bęben linowy zakładano na uniesione koło napędowe motocykla lub samochodu, względnie na wał napędowy auta. Ponieważ mechanizmy różnicowe samochodów nie wytrzymały nietypowych obciążeń, w pierwszej połowie lat 30. zaczęto konstruować specjalizowane wyciągarki szybowcowe. Start za wyciągarką i za samolotem to podstawowe techniki startu szybowca stosowane do dziś.



Rys. 4. Rozwój technik startu szybowców: a) start grawitacyjny [6]; b) start z lin gumowych [7]; c) start za samochodem [8]; d) „metoda wysokiego startu” z Karlsruhe [8]; start z bębna linowego: e) na kole motocykla [9], f) na kole samochodu osobowego [9], g) na wale Cardana samochodu osobowego [8]; h) start za wyciągarką [10]; i) start za samolotem

Rozwój konstrukcji wyciągarek szybowcowych ilustruje rysunek 5.



Rys. 5. Rozwój wyciągarek szybowcowych: a) wyciągarka elektryczna Octave Chanut – 1904, USA [9]; b) wyciągarka poprzeczna „Rhön” – 1939, Niemcy [9]; c) wyciągarka wzdłużna „Röder” – 1939, Niemcy [9]; d) wyciągarka 2-bębnowa Hans Tost – 1952, Niemcy [9]; e) wyciągarka samojezdna „Herkules III” – 1955, CSRS [11]; f) wyciągarka 6-bębnowa „Busio van Gelder” – lata 60., Holandia [12]; g) wyciągarka z silnikiem Diesla „Egger” – 1981, Niemcy; h) wyciągarka hydrostatyczna „HydroStart” – 2004, Holandia

Za pierwszą wyciągarkę szybowcową uznaje się konstrukcję napędzaną silnikiem elektrycznym, wykonaną przez Octave Chanute'a na potrzeby pokazów lotniczych podczas Wystawy Światowej w 1904 roku w St. Louis w stanie Missouri, USA [9]. Nie wpłynęła ona na dalszy rozwój wyciągarek szybowcowych.

Po amatorskich próbach budowy wyciągarki szybowcowej, podejmowanych od połowy lat 20. XX stulecia, pierwszą produkcję przemysłową uruchomiono w 1935 r. w Szwecji. Wyciągarki napędzane 140-konnym silnikiem Otto miały już obrotowe prowadnice linowe [9]. Rok 1939 przyniósł dwie seryjnie produkowane niemieckie konstrukcje: pracującą w układzie poprzecznym wyciągarkę „Rhön” firmy Pfeifer z Fuldy oraz wzdłużną wyciągarkę „Röder” firmy Röder-Präzision z Alfeld [9]. Dalszy rozwój konstrukcji odbywa się równolegle w tych dwóch układach pracy bębnow.

Pierwszą wyciągarkę 2-bębnową skonstruował Niemiec Hans Tost w roku 1952. Jego konstrukcja stała się standardem w budowie wyciągarek na długie dziesięciolecia. Firma Tost sprzedawała rekordową ilość około 650 tego typu urządzeń, wraz z ich udoskonaleniami [9].

W roku 1955 w zakładach Moravan w Czechosłowacji opracowano samojezdną wyciągarkę „Herkules III”, która została wyprodukowana w liczbie 522 egzemplarzy [13].

W latach 60. Holendrzy rozpoczęli produkcję 4- i 6-bębnowych wyciągarek „Busio van Gelder” w układzie poprzecznym [9].

W 1981 roku niemiecka firma „Egger” skonstruowała pierwszą 2-bębnową wyciągarkę z napędem Diesla, wykorzystującą podzespoły samochodów ciężarowych z wtórnego rynku: regenerowane silniki, przekładnie konwertorowe oraz tylne osie [9]. Ten typ konstrukcji przejęło wielu producentów w wielu krajach, również w Polsce, do produkcji tanich, popularnych wyciągarek szybowcowych.

W roku 2004 w Holandii uruchomiono nowoczesną 6-bębnową wyciągarkę z napędem hydrostatycznym dużej mocy „HydroStart”. Wyposażona w komputerowy system sterowania naciągu lin syntetycznych wykonuje 8000 do 9000 startów rocznie [14, 15].

Wyciągarka tramwajowa została zaprojektowana w roku 1940 przez Otto Schurtera w Bernie w Szwajcarii, z powodu dotkliwego braku benzyny. Trójfazowy silnik prądu przemiennego o napięciu 380 woltów doprowadzonym pod ziemią kablem napędzał generator prądu stałego na tej samej osi, który za pośrednictwem rezystora korbowego zasiliał elektrobęben prądu stałego [9].

W Danii w roku 1983 zbudowano pierwszą wyciągarkę z napędem hybrydowym „Elvira”. Silnik spalinowy napędzał generator prądu stałego, a silnik elektryczny obracał jednym bębniem linowym [16].

Rok 1995 przyniósł uruchomienie pierwszej wyciągarki elektrycznej stacjonarnej w Unterwössen w Niemczech. Każdy z czterech bębnow napędzany jest osobnym silnikiem trójfazowym [17].

Z początkiem XIX wieku pojawiły się pierwsze wyciągarki akumulatorowe. Dwubębnowa „ESW-2B” niemieckiej firmy Ulbrich Industrial Electronics z roku 2001 zasilana jest poprzez falownik z 50 bezobsługowych ołowiowo-kwasowych samochodowych akumulatorów rozruchowych 88 Ah [18]. Ich trwałość okazała się poniżej oczekiwanej. Zastosowany silnik prądu zmiennego o mocy szczytowej 200 kW plasuje ją w klasie wyciągarek popularnych. Wyprodukowano 20 wyciągarek.

Angielska wyciągarka „Skylaunch 3 Electric” z roku 2005 wyposażona jest w silnik asynchroniczny o mocy znamionowej 280 kW, zasilany falownikiem z 50 baterii typu AGM (Absorbent Glass Mat) o prądzie rozruchu CCA 550 A. Wyciągarka nie ma zaawansowanego układu sterowania [19].

W roku 2012 w Finlandii uruchomiono wyciągarkę Lopen Liito-Veto, której bęben linowy połączony jest wałem bezpośrednim z silnikiem elektrycznym zasilanym z akumulatorów kwasowo-ołowiowych poprzez przetwornicę częstotliwości o mocy znamionowej 250 kW. Sterowanie elektryczne optymalizowane jest na podstawie zbieranych danych operacyjnych [20].

Rozwój elektrycznych wyciągarek szybowcowych ilustruje rysunek 6.



Rys. 6. Elektryczne wyciągarki szybowcowe: a) wyciągarka tramwajowa Otto Schurter – 1940, Szwajcaria [9]; b) wyciągarka hybrydowa „Elvira” – 1983, Dania [16]; c) wyciągarka stacjonarna Unterwössen – 1995, Niemcy [17]; d) wyciągarka akumulatorowa „ESW-2B” – 2001, Niemcy [18]; e) wyciągarka akumulatorowa „Skylaunch 3 Electric” – 2005, Anglia [19]; f) wyciągarka akumulatorowa Lopen Liito-Veto – 2012, Finlandia [20]

W Polsce seryjną produkcję wyciągarek szybowcowych rozpoczęto w Zakładach Sprzętu Lotnictwa Sportowego Nr 3 w Poznaniu na początku lat 60. modelem TUR SW-4. W latach 80. w Państwowym Ośrodku Maszynowym w Kątach Wrocławskich dokonano modernizacji TURa

według projektu Andrzeja Bachmana, wyposażając go w silnik Diesla. Nowa wyciągarka otrzymała nazwę TUR B2 i służyła do niedawna na większości lotnisk sportowych w kraju [21].

W roku 1990 WSK PZL-Mielec wyprodukowała pierwszą polską wyciągarkę 2-bębnową ZWS-1. Zbliżoną do niej konstrukcję posiada wyciągarka MB-1, zbudowana przed rokiem 2000 w Zakładzie Budowy Maszyn Metalbud Kazimierza Bułki w Mokrem k. Grudziądza oraz wyciągarka WS-01 JK wyprodukowana przez Moto-Hurt S.A. w Ropczycach w podobnym czasie.

Dalsze prace rozwojowe prowadzone przez Moto-Hurt przyniosły dwie nowe wyciągarki: najpopularniejszą obecnie w kraju samojezdną WS-02 JK oraz holowaną WS-03 JK. Oba rozwiązania mają konstrukcję wprowadzoną przez firmę Egger w 1981 roku.

Rozwój polskich wyciągarek szybowcowych ilustruje rysunek 7.



Rys. 7. Polskie wyciągarki szybowcowe: a) SW-4 TUR – 1961 [22]; b) TUR B-2 – lata 80. [23]; c) ZWS-1 – 1990 [24]; d) MB-1 – przed 2000 [25]; e) WS-01 JK – ok. 2000 [26]; f) WS-02 JK – ok. 2007 [27], g) WS-03 JK – ok. 2010

Chociaż konstrukcja wyciągarek szybowcowych rozwijana jest od ponad 80 lat, ciągle pozostaje pole do innowacji wpływających na poprawę niezawodności pracy wyciągarki oraz zapewnienie równomiernej siły ciągu, od których zależy bezpieczeństwo startującego szybowca, a także prowadzących do zwiększenia częstotliwości startów.

3. Wymagania prawne

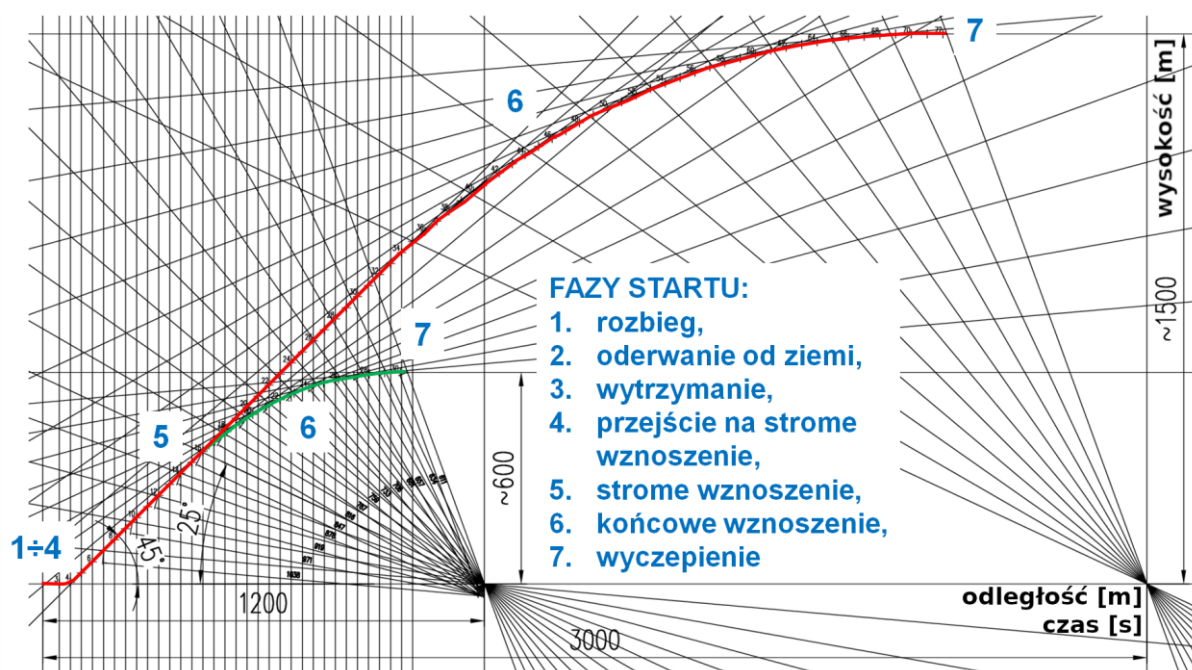
W Polsce za bezpieczeństwo szkolenia szybowcowego i startowania szybowców odpowiada właściciel lotniska i w jego kwestii jest stosowanie bezpiecznych urządzeń, takich jak wyciągarka szybowcowa.

W Niemczech obowiązują „WYMAGANIA OPERACYJNE dla wyciągarek szybowcowych do startowania szybowców, motoszybowców i innych odpowiednich statków powietrznych (BFST)” Aeroklubu Niemieckiego (DAeC) [28]. Obowiązuje drugie wydanie dokumentu z 14 kwietnia 2012 roku, w którym na 40 stronach oprócz szczegółowych wymagań dotyczących poszczególnych zespołów wyciągarki załączono wzór certyfikatu, protokołu badań oraz świadectwa dopuszczenia na okres próbny.

Większość krajów, w których rozwija się sport szybowcowy, opiera się na przepisach niemieckich. Opracowywane innowacyjne rozwiązanie wyciągarki szybowcowej z napędem elektrycznym uwzględniać będzie wymagania stawiane przez Aeroklub Niemiecki.

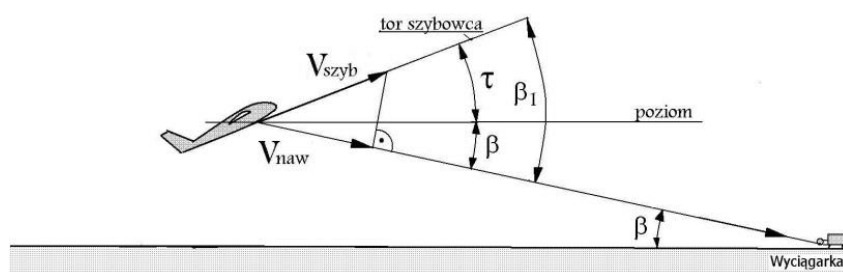
4. Przebieg startu szybowca za wyciągarką

Prace projektowe nad wyciągarką szybowcową, przeznaczoną do wyciągania nowoczesnych szybowców wyczynowych i szkoleniowych na polach wzlotu o długości minimum 1200 metrów, rozpoczęto od wyznaczenia jej podstawowych parametrów pracy, tj. prędkości nawijania liny, średnicy bębna, momentu obrotowego na bębnie, przełożenia przekładni oraz mocy i momentu obrotowego silnika. W tym celu wyznaczono graniczną trajektorię lotu szybowca podczas startu za projektowaną wyciągarką w warunkach bezwietrznych dla liny o długości $L=1200$ m i $L=3000$ m w funkcji czasu (rys. 8).



Rys. 8. Fazy startu szybowca za wyciągarką oraz analiza czasowa dla liny długości $L=1200$ m i $L=3000$ m; (pionowe linie siatki co 1 s)

Na wykresie przedstawiono poszczególne fazy startu szybowca za wyciągarką. Przez pierwsze trzy fazy: rozbieg, oderwanie od ziemi i wytrzymanie, lina z zaczepionym na jej końcu szybowcem przyspiesza od zera do prędkości przeciągnięcia powiększonej o 30% z przyspieszeniem $1g$. Przy konstrukcji wykresu przyjęto, że wyciągany jest popularny w Europie szybowiec szkoleniowy typu ASK-21, dla którego zaleca się rozpoczęcie przejścia do stromego wznoszenia przy prędkości $111 \div 120$ km/h [29], którą osiąga po upływie około 3 sekund. W tym czasie wyciągarka przyspiesza ciągniętą masę szybowca. Szybowiec ASK-21 połączony jest z liną poprzez bezpiecznik zrywowy koloru czarnego o sile 1000 ± 100 daN. Podczas przejścia do stromego wznoszenia pod kątem 45° , przy nie zmieniającej się prędkości nawijania v_{naw} liny, prędkość szybowca v_{szyb} wzrasta o $\cos(45^\circ)$ i osiąga prędkość dopuszczalną lotu za wyciągarką (rys. 9). Pilot utrzymuje tę prędkość lotu do momentu wyczepienia, sterując swoim lotem jak w locie swobodnym [30]. Ponieważ wyczepienie szybowca następuje automatycznie po przekroczeniu kąta $\beta_1 = 70^\circ$ zawartego pomiędzy liną a torem szybowca, pilot musi przejść do końcowego wznoszenia przed osiągnięciem tej wartości i utrzymywać ją aż do wyczepienia. Zmniejszanie kąta wznoszenia z 45° do 0° powinno rozpocząć się najpóźniej przy kącie wzniosu liny $\beta = 25^\circ$, zaś wyczepienie przy kącie wzniosu liny $\beta = 70^\circ$ [31].



Rys. 9. Zależność prędkości nawijania liny od kąta nachylenia liny i toru szybowca [32]

Prędkość nawijania liny określona zależnością (1) zmniejsza się w czasie stromego wznoszenia i pozostaje niezmienna podczas końcowego wznoszenia.

$$v_{naw} = v_{szyb} \times \cos(\beta + \tau) \quad (1)$$

gdzie:

v_{naw} – prędkość nawijania liny wyciągarkowej, m/s,

v_{szyb} – prędkość po torze holowanego szybowca, m/s,

β – kąt nachylenia liny do poziomu, $^\circ$,

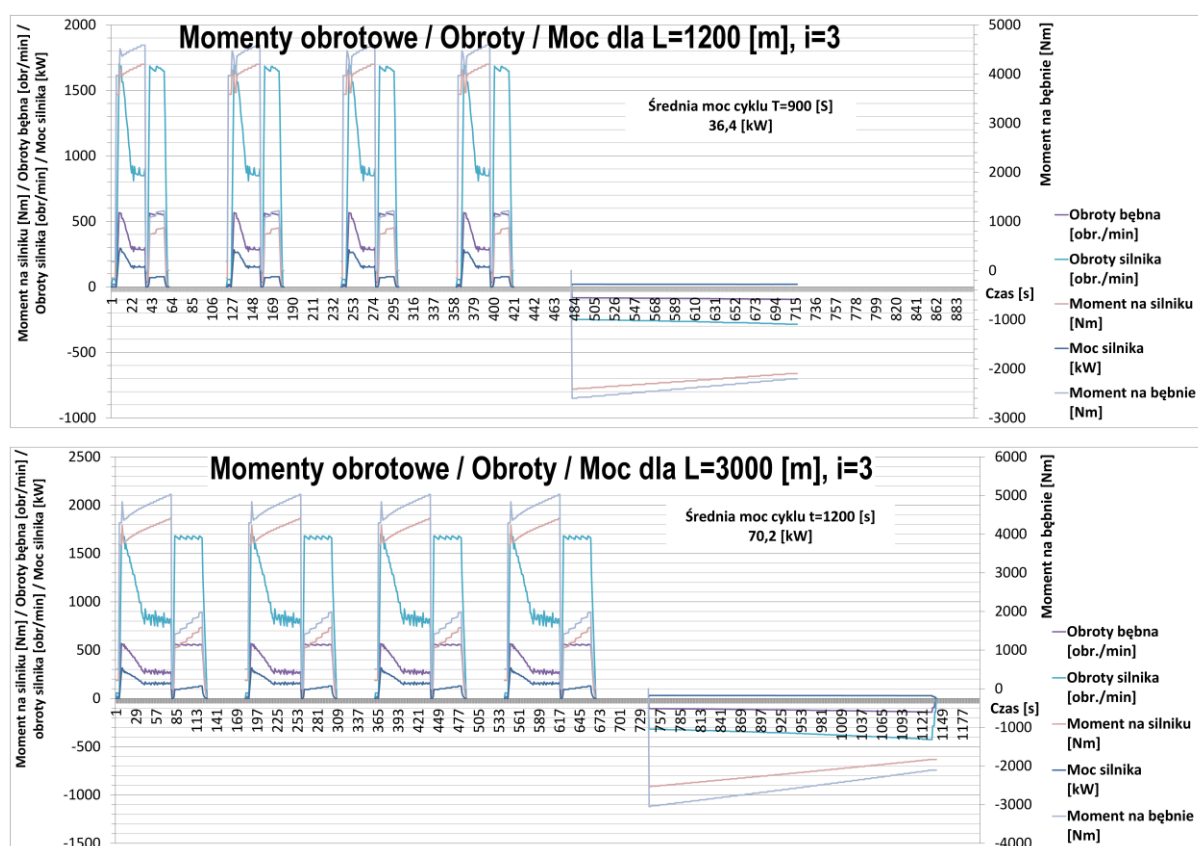
τ – kąt wznoszenia (kąt między poziomem a torem lotu szybowca), $^\circ$,

β_1 – kąt pomiędzy liną a torem lotu szybowca, $^\circ$,

W fazach 5÷7 wyciągarka pokonuje opór aerodynamiczny szybowca, zachowując stałą siłę uciągu, równą 85% siły zrywającej bezpiecznik zrywowy, za pomocą którego lina podpięta jest do haka szybowca. Wzrost momentu obrotowego wynika z rosnącego promienia nawijania liny na bęben.

W oparciu o wyznaczone trajektorie lotu szybowca oraz zależności geometryczne wyznaczono charakterystyki obciążenia wyciągarki dla liny o długości $L=1200$ m i $L=3000$ m w funkcji czasu. Do obliczeń przyjęto: średnicę bębna $D=1000$ mm, szerokość bębna $b=100$ mm, średnicę liny $d=5$ mm, masę jednostkową liny $m_j=16$ g/m, współczynnik tarcia liny o podłoże $\mu=0,7$, pole powierzchni spadochrony $S=1,13$ m², współczynnik oporu powietrza czaszy spadochronowej $C=1,42$, gęstość

powietrza $\rho=1,21 \text{ kg/m}^3$, przełożenie przekładni redukcyjnej $i=3$, sprawność napędu $\eta=0,9$. Prędkości chwilowe liny wyznaczono mierząc na wykresie różnice długości liny w odstępach sekundowych czasu. Dla zwiększenia częstotliwości startów wyciągarka powinna posiadać cztery bębny linowe, uruchamiane sekwencyjnie po wspólnym rozwinięciu czterech lin. Uwzględniono czasy na podpięcie kolejnego szybowca oraz czas na rozwijanie lin, w którym siła niezbędna do utrzymywania napięcia lin wykorzystywana jest do rekuperacji energii. Zebrane w tabelach wyniki obliczeń zmian prędkości obrotowych bębna i silnika w obr./min, momentów obrotowych na bębnie i na silniku w Nm oraz mocy silnika w kW zilustrowano na wykresach (rys. 10). Pełny cykl, składający się z czterech startów i jednego rozwinięcia czterech lin trwa 15 minut dla liny długości 1200 m i 20 minut dla liny długości 3000 m. Wyznaczono również średnie moce cyklu, które wynoszą odpowiednio 36,4 kW i 70,2 kW dla obu długości liny. Natomiast średnia moc silnika w czasie wyciągania szybowca w obu przypadkach nieznacznie przekracza 187 kW. Moce maksymalne występują w fazie przejścia do stromego wznoszenia i wynoszą odpowiednio 295 kW i 316 kW.

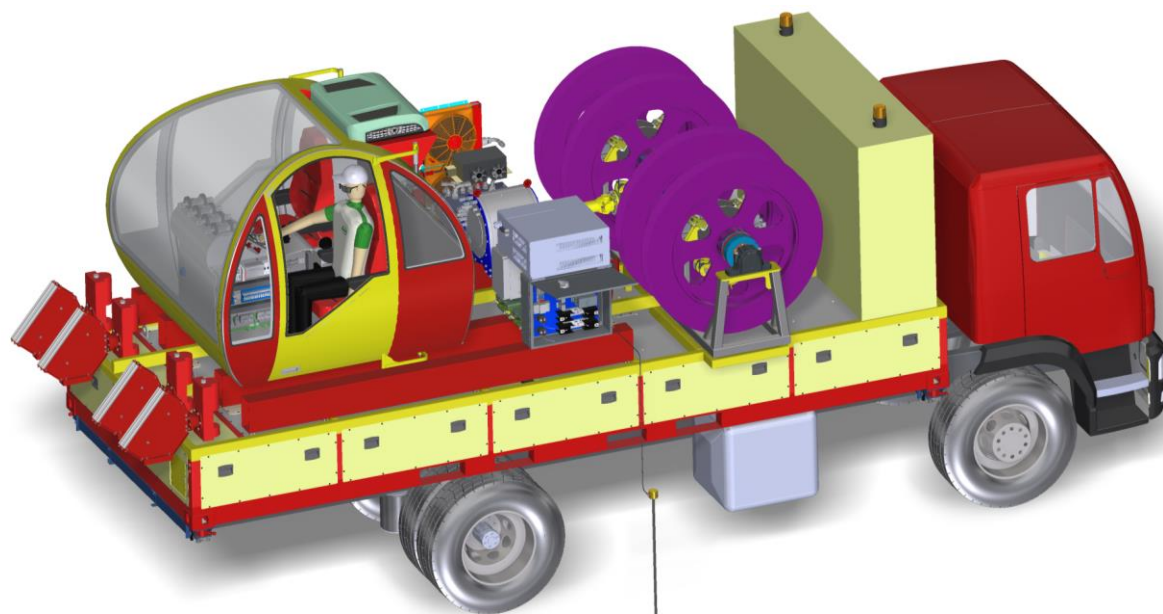


Rys. 10. Profile obciążenia wyciągarki dla liny długości L=1200 m i L=3000 m

W oparciu wyznaczone profile obciążenia wyciągarki dobrano moc silnika wyciągarki oraz pojemność baterii akumulatorów. Ponadto uzyskane wykresy zostaną wykorzystane w następnych etapach projektu przy oprogramowaniu układu sterowania wyciągarki.

5. Prace projektowe nad modelem 3D wyciągarki

W ramach prac projektowych opracowano model 3D innowacyjnego rozwiązania wyciągarki szybowcowej BATWINCH z napędem elektrycznym zasilanej z baterii ogniwo litowych (rys. 11).



Rys. 11. Model 3D wyciągarki szybowcowej BATWINCH

Poszczególne zespoły modelu zostały poddane analizie wytrzymałościowej MES oraz optymalizacji. Model zweryfikowano numerycznie pod kątem odprowadzenia ciepła z baterii ogniwo w najbardziej niekorzystnych warunkach pracy.

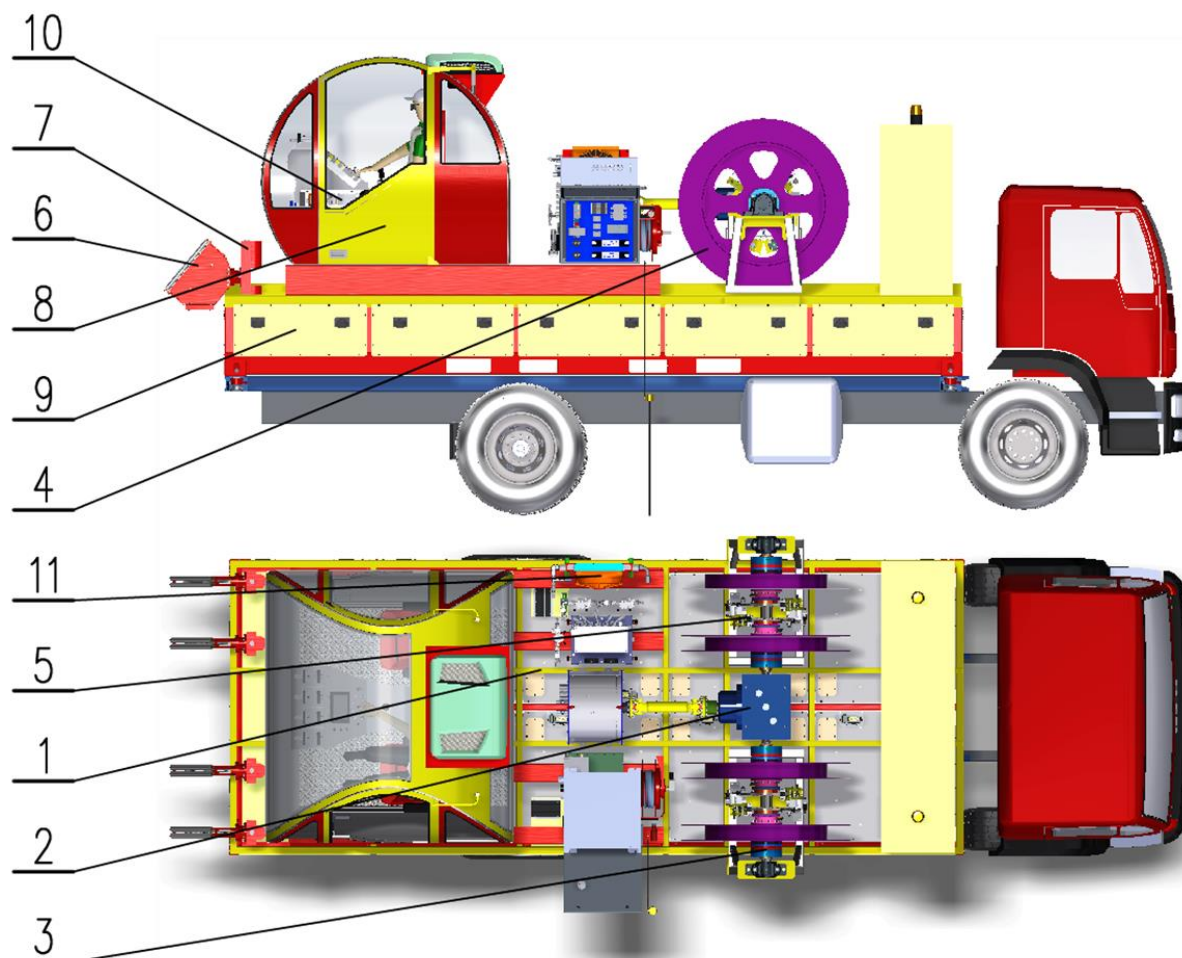
5.1. Parametry wyciągarki

Wyciągarkę szybowcową BATWINCH cechują następujące parametry:

- szerokość: 2,82 m,
- długość: 6,5 m,
- wysokość (po zabudowie na pojeździe) w zakresie: 3,5-3,8 m,
- średnica płaszczka bębna: 1 m,
- maksymalna długość liny na bębnie: 3000 m,
- maksymalna prędkość ciągnięcia liny: 130 km/h,
- wysokość wyczepienia szybowca równa połowie długości rozwiniętej liny,
- moc szczytowa napędu: 350 kW,
- pojemność baterii: 400 Ah,
- liczba startów na jednym naładowaniu baterii (długość 1200 m): 160,
- czas ładowania baterii: 10 h.

5.2. Budowa wyciągarki

Budowę wyciągarki szybowcowej BATWINCH ilustruje rysunek 12.



Rys. 12. Budowa wyciągarki szybowcowej BATWINCH

Rama 1, na której zabudowane są pozostałe zespoły wyciągarki, dostosowana jest do mocowania na dowolnym podwoziu pojazdu w oparciu o uchwyty w standardzie kontenera 20-stopowego. Układ napędowy 2 przekazuje moment obrotowy z silnika trójfazowego przez przekładnię kątową na dwa wały bębnowe z układem selektywnego załączania bębnow 3. Cztery bębny linowe 4 mogą pomieścić do 3 km liny syntetycznej każdy. Układ hamowania 5 pełni rolę hamowania postojowego i awaryjnego, hamowanie operacyjne realizowane jest przemiennikiem częstotliwości ze zwrotem energii do ogniw. Cztery zespoły rolek prowadzących 6 i cztery urządzenia tnące 7 tworzą układ prowadzenia lin. W przeszklonej kabinie operatora 8 umiejscowiony jest układ sterowania 10. Silnik zasilany jest z modułu bateryjno-zasilającego 9 i chłodzony układem chłodzenia 11.

5.3. Innowacyjność rozwiązania wyciągarki szybowcowej BATWINCH

W konstrukcji wyciągarki szybowcowej BATWINCH zastosowano szereg rozwiązań innowacyjnych:

- elektryczny układ selektywnego załączania bębnow linowych,
- energooszczędny układ napędowy z rekuperacją energii podczas rozwijania liny,
- układ napędowy dużej mocy dla szybowców i motoszybowców o MTOW do 850 kg do startu z przyspieszeniem 1g,

- czterobębnową konstrukcję w układzie wzdłużnym przystosowaną do przemieszczania się po drogach publicznych,
- zeroemisyjny elektryczny układ napędowy zasilany z baterii akumulatorów litowych,
- rekuperację energii podczas rozwijania liny,
- system pomiaru siły w linie z bezprzewodową komunikacją ze sterownikiem zabudowanym na wyciągarce,
- komputerowy system startu szybowca z funkcją zdalnego sterowania z linii startu szybowca.

6. Podsumowanie

Pierwszym efektem realizacji projektu BATWINCH prowadzącym do osiągnięcia wyznaczonego celu innowacyjności rozwiązania wyciągarki szybowcowej z napędem elektrycznym zasilanej z baterii ogniw litowych jest budowa modelu 3D wyciągarki. Działanie to poprzedzone zostało głęboką analizą potrzeb rynku oraz istniejących rozwiązań wyciągarek szybowcowych na świecie. Oparto je o obliczenia wydajnościowe urządzenia i optymalizacyjne konstrukcji. Aby wyciągarka mogła być stosowana na całym świecie, zadbano o spełnienie powszechnie akceptowanych wymogów stawianych przez Niemiecki Aeroklub.

W pierwszej fazie projektu dokonano jednego zgłoszenia patentowego, kolejne są w przygotowaniu.

Aktualnie prowadzona jest budowa stanowiska do badania jednobębnowego modelu badawczego wyciągarki w celu weryfikacji działania układu napędowego, układu zasilania oraz systemu sterowania.

Prowadzone prace projektowo-badawcze mają zakończyć się przygotowaniem do wdrożenia produkcji nowoczesnej wyciągarki szybowcowej z napędem elektrycznym przeznaczonej do wydajnego i bezpiecznego wyciągania wyczynowych szybowców dwumiejscowych do strefy pilotażu.

Literatura

1. Daniels B., Moore G.: Winch Philosophy, University of Rochester, 2008
2. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pente_thermique.svg (dostęp: 4.10.2021)
3. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Airfield_traffic_pattern-pl.svg (dostęp: 4.10.2021)
4. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermal_column.svg (dostęp: 4.10.2021)
5. Instrukcja Operacyjna Lądowiska Bezmiechowa, 02.12.2011 r.
http://www.aos-bezmiechowa.pl/pub/uploader/files/IO_BEZMIECHOWA2014_zmiana_1.pdf
(dostęp: 5.07.2021)
6. <https://akaflieg-karlsruhe.de/geschichte/> (dostęp: 4.10.2021)
7. Lemke F., Jacob R.: Forschen Bauen Fliegen. Die Akademischen Fliegergruppen in Deutschland bis 1945 - Teil 3. <http://fliegerclub-strausberg.de/index.php/component/ars/repository/download/down-lampe/akaflieds-in-deutschland-bis-1945-teil-3-1-pdf> (dostęp: 21.02.2019)
8. Bachem E.: Die Praxis des Leistungs-Segelfliegens, Verlag C.J.E. Volckmann Nachf. E. Wette, Berlin 1936

9. Höck K.: Windenstart und Startwinden: Alles über den effektiven und faszinierenden Prozess, EQIP; Bonn 2019, ISBN 978-3-00-060286-3
10. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Windenstart_R%C3%BCdesheim-Aulhausen.jpg (dostęp: 4.10.2021)
11. <http://www.leteckyklub-partizanske.sk/post/strateny-herkules-sa-objavil-232> (dostęp: 8.02.2019)
12. <https://www.zcrotterdam.nl/album> (dostęp: 15.02.2019)
13. <http://www.vhu.cz/exhibit/letecky-navijak-herkules-iii-vyr-c-448/> (dostęp: 4.10.2021)
14. <https://zweefvliegopleiding.nl/index.php/de-sallandlier> (dostęp: 4.10.2021)
15. Aero Club Salland 40 jaar [w] Thermiek 2011-3, https://issuu.com/knvv1/docs/thermiek_2011-3 (dostęp: 4.10.2021)
16. https://herningsvaeflyveklub.dk/index.php?option=com_content&view=article&id=8 (dostęp: 4.10.2021)
17. <https://www.dassu.de/elektrowinde> (dostęp: 4.10.2021)
18. Ulbrich Industrial Electronics: ESW-2B. The mobile glider winch launch with electric drive. https://zcflevo.nl/uploads/folders/esw-2b_elektrostartwinde_flyer2009_en.pdf (dostęp: 17.01.2019)
19. <http://www.skylaunch.com/gallery/Electric/index.html> (dostęp: 13.02.2019)
20. ABB: Plane sailing for frequency converter <http://www.abb.com/cawp/seitp202/7cfcf3bcf59b362c1257ab8004a3506.aspx> (dostęp: 6.02.2019)
21. https://www.wikiwand.com/pl/Aeroklub_Gliwicki#/Wydarzenia (dostęp: 4.10.2021)
22. https://www.youtube.com/watch?v=inMLhq_ZxC4 (dostęp: 4.10.2021)
23. http://www.szybowce.zsm.resman.pl/index.php?option=com_joomgallery&func=viewcategory&catid=27&Itemid=141 (dostęp: 4.10.2021)
24. <http://aeroklub.olsztyn.pl/wyciagarka-na-sprzedaz/> (dostęp: 4.10.2021)
25. <http://bogucin.pl/ogloszenia-drobne/oferta-pracy-na-lotnisku/> (dostęp: 4.10.2021)
26. <https://wyciagarkiszybowcowe.pl/wp-content/uploads/2018/01/xmenu2.jpg.pagespeed.ic.vTAaPkSgjN.jpg> (dostęp: 4.10.2021)
27. <http://aeroklubbydgoski.pl/?p=4760#> (dostęp: 4.10.2021)
28. Betriebstüchtigkeitsforderungen für Startwinden zum Starten von Segelflugzeugen, Motorseglern und anderen geeigneten Luftfahrzeugen (BFST), Deutscher Aero Club e.V., Juli 2010 (Rev 02_14-04-2012)
29. Gäb A., Santel Ch.: Numerical Simulation of Glider Winch Launches. Technical Soaring. 2011, Vol 35, No 3, pp. 78-84
30. Eppler R.: Windenschlepp. Sicherheit und optimale Ausklinkhöhe, 2012, https://www.daec.de/fileadmin/user_upload/files/2012/sportarten/segelflug/download/ausbildung/Windenstart_Prof_Eppler20120427.pdf (dostęp: 3.07.2020)
31. Irving F.G.: Speed and flight path boundaries for winch launching. Technical Soaring. Vol 16, No 4 (1992), pp. 100-8
32. Kurski W.: Analiza sił i prędkości podczas startu szybowca za wyciągarką, Lisie Kały 2002