

CONCEPTUAL DESIGN OF THE TRAINING AEROBATIC AIRPLANE

KONCEPČNÝ NÁVRH CVIČNÉHO AKROBATICKEHO LIETADLA

Vladimír Klein

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
vladkoklein@gmail.com

Filip Škultéty

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
skultety@fpedas.uniza.sk

Abstract

Paper deals with the issue of conceptual design of a training aerobatic aircraft with a tandem arrangement of seats. The first part of the paper is devoted to the historical context of the construction and characteristics of training aerobatic aircraft. The work analyses the current state of training aerobatic aircraft together with the situation of aerobatic aviation in Slovakia. The practical part of the paper discusses the design of a training aerobatic aircraft in the software Rhinoceros together with the determination of technical and operational parameters and analysis of aerodynamic and stress characteristics.

Keywords

design, aerobatics, Lycoming, Zlin Aircraft, training aircraft, competition aerobatics

1. Úvod

Letectvo neustále napreduje a má čoraz vyššie ambície. V počiatkoch aviatiky, niektorí piloti používali lietadlá na popularizáciu lietania vo forme lietajúceho cirkusu. Vykonávali rôzne obraty a manévry kvôli upútaniu pozornosti diváka. Práve v tomto období sa začínalo hovoriť o leteckej akrobacii, inak nazývanej kráľovnej leteckých športov. Letecká akrobacia je spojením lietania a obratov, ktoré nie sú charakteristické pre klasické lietanie. Akrobacia sa môže vykonávať na lietadlách a vetroňoch vo forme zábavy, rekreácie, tréningovania a vrcholového športu. Akrobaciu je možné vykonávať taktiež na helikoptéroch. Väčšina akrobatických obratov je vykonávaná okolo pozdĺžnej a priečnej osi lietadla. Obraty ako vývrtky sú vykonávané okolo zvislej osi lietadla. Zostrojením takzvanej zostavy vzniká komplexný súbor prvkov, ktoré môžu byť prezentované pilotom v športovej alebo rekreačnej súvislosti. Akrobatické lietanie vyžaduje veľmi vysokú koncentráciu a výcvik pilota, pričom je lietadlo namáhané oveľa väčšími zaťažzeniami, než akými sú namáhané lietadlá v horizontálnom lete.

Motiváciu k rozhodnutiu písať práve o téme návrhu cvičného akrobatického lietadla som získal, pretože som akrobatický pilot a z vlastnej skúsenosti viem, že je nedostatok cvičných akrobatických lietadiel, ktoré sú vhodné pre začiatkový výcvik a pokročilý výcvik leteckej akrobacie. Potrebu lietať akrobaciu vo mne zosilnil môj otec, ktorý je taktiež môj inštruktor vo výcviku leteckej akrobacie.

Vo svete existuje nespočetné množstvo akrobatických lietadiel, ktoré sú špičkou leteckej konštrukcie. Väčšina z nich je dnes vyrábaná takzvaným univerzálnym štýlom, čo v praxi znamená, že sú považované ako vhodné pre začiatkovikov, ale aj profesionálov. Akrobatický výcvik je zložitý proces, ktorý ovplyvňuje mnoho faktorov. Jedným z týchto faktorov je práve

lietadlo, na ktorom je vykonávaný výcvik. Takisto, ako aj letecký výcvik pri získaní základnej licencie PPL(A) s kvalifikáciou SEP(L) je zvyčajne vykonávaný na lietadlách menších s menším výkonom. Práve týmto faktom by sme chceli poukázať na skutočnosť, že vykonávať začiatkový akrobatický výcvik na lietadle s enormne vysokým výkonom nemusí mať žiaduci efekt na výcvik pilota a jeho získané vedomosti a zvyky. Vysoký výkon pohonnej jednotky pomáha pilotovi pri vykonávaní akrobatických manévrov, stabilizačných manévrov z nezvyklých polôh. Môžeme konštatovať, že genéza československého akrobatického letectva, ktorá znamenala vo svete špičku leteckého priemyslu, sa vytratila. Táto genéza začala výrobou lietadiel rady Trener, od typov Z 26 až po Z 726. Vývoj akrobatických lietadiel na území Československa bol ukončený sériovou výrobou legendárnych akrobatických špeciálov Zlin Z 50, a tak momentálne nie je vo vývoji a výrobe v Česku a na Slovensku žiadne výcvikové akrobatické lietadlo.

2. Historický kontext konštrukcie „školných“ akrobatických lietadiel

V nasledujúcej časti sú opísané cvičné akrobatické lietadlá používané vo svete od roku 1929 po súčasnosť. Na základe jednotlivých konštrukčných celkov a prevádzkových parametrov bola vykonaná syntéza, ktorá slúžila na stanovenie vstupných požiadaviek pre návrh samotnej koncepcie navrhovaného letúna.

2.1. Prierez histórie cvičných akrobatických lietadiel

2.1.1. *Morane-Saulnier MS.230*

Lietadlo bolo používané ako základ pre francúzsku armádu počas vypuknutia Druhej svetovej vojny. Takmer každý pilot vo Francúzsku absolvoval základný výcvik práve na tomto lietadle.

Toto lietadlo bolo ekvivalentom amerického Stearmana a britského lietadla Tiger Moth.

2.1.2. De Havilland Tiger Moth

Je britský dvojplôšník navrhnutý Geoffreyem de Havillandom, postavený spoločnosťou de Havilland Aircraft Company. Hlavným používateľom bola britská armáda Royal Air Force, a veľa ďalších prevádzkovateľov používalo toto lietadlo primárne na základný výcvik. Prvý let absolvoval 26. októbra 1931 [1].

2.1.3. Focke-Wulf Fw 44 Stieglitz

Zrod lietadla Fw 44 Stieglitz začal v roku 1932, kedy konštruktér Kurt Tank, dostal požiadavku na vytvorenie dvojmiestneho lietadla zmiešanej konštrukcie. Prvý prototyp bol zalietaný v lete roku 1932 pilotom Gerdom Achgelisom, ktorý opisoval let ako nestabilný, s osciláciami v radiacej páke [2].

2.1.4. Bucker Bü 131 Jungmann

Bü 131 Je nemecké lietadlo z 30. rokov 20. storočia používané na základný výcvik. Primárne bolo používané nemeckou Luftwaffe počas Druhej svetovej vojny.

2.1.5. Boeing-Stearman Model 75

Stearman, dvojmiestny dvojplôšník predstavený Stearman Aircraft Division of Boeing vo Wichite v Kanade, v roku 1934, sa stal počas druhej svetovej vojny neočakávaným úspechom. Napriek takmer zastaranému dizajnu bol vďaka svojej jednoduchšej a robustnej konštrukcii ideálne výcvikové lietadlo pre začínajúcich pilotov pre armádny letecký zbor a námorníctvo [3].

2.1.6. De Havilland Canada DHC-1 Chipmunk

Chipmunk je dvojmiestne, jednomotorové lietadlo primárne slúžiace na letecký výcvik, ktoré bolo navrhnuté a skonštruované leteckou spoločnosťou de Havilland Canada. Vyvinuté a predávané bolo tesne po Druhej svetovej vojne vo veľkých množstvách ako náhrada za dvojplôšník Tiger Moth. Základná konfigurácia lietadla zahŕňala dolnoplošnú konfiguráciu krídla a dvojmiestny tandemový kokpit, ktorý bol vybavený priehľadným krytom z plexiskla, a poskytoval viditeľnosť do všetkých strán. Chipmunk využíva konvenčné usporiadanie podvozku s ostrohovým kolesom. Riadiace plochy sú pokryté plátnom, takisto ako aj krídlo, ktorého nábežná hrana je vytvorená z kovu a smerom vzad od hlavného nosníku je krídlo obalené plátnom. Konštrukcia trupu využíva poťah, ktorý je schopný prenášať sily a lietadlo je tvorené najmä kovmi a zliatinami, ktoré zabezpečujú odolnosť voči zaťaženiám [4].

2.1.7. Z 26 Trener

Spočiatku Z 26 bolo lietadlo so zváranou prúťovou konštrukciou trupu pokrytého plátnom, drevenými krídlami a chvostovými plochami, klasickým pevným podvozkom s ostrohovým kolesom, pevnou drevenou vrtuľou s priemerom 2 m, ktoré vynikalo jednoduchým a účelným riešením [5].

Medzi rokmi 1947 až 1974 sa vyrobilo 1486 kusov Trenerov v radách Z 26, Z 126, Z 226, Z 326, Z 526, Z726 spolu s 10 kusmi

prototypov. Za najúspešnejšiu radu v rodine Trener sa považuje lietadlo Z 526F, ktoré je schopné v plnom obsadení s pilotom a inštruktorom na palube lietadla vykonávať akrobaciu s maximálnymi povolenými prevádzkovými násobkami +6 a - 3 [5].

2.1.8. Pitts S-2

Pitts S-2 nesie geneticky stále tie isté črty z jeho jednomiestneho predchodcu Pitts S-1 zo 40. rokov minulého storočia. V roku 1967 vzlietol prvý krát prototyp Pitts S-2. Od tých dôb prešlo lietadlo mnohými modifikáciami a vzniklo množstvo verzií, pri ktorých sa väčšinou jednalo o zvýšenie výkonu pohonnej jednotky. Pitts S-2 je dvojmiestny dvojplôšník, primárne určený na výcvik a pokročilú akrobaciu. Celá konštrukcia lietadla pozostáva z ocele a hliníka. Prúťová konštrukcia trupu spolu s pevnými a pohyblivými chvostovými plochami sú pokryté plátnom alebo laminátovými krytmi. Pristávacie zariadenie je pevné s ostrohovým ovládateľným kolesom. Výkon pohonnej jednotky v závislosti od verzie sa môže pohybovať v rozmedzí 200 až 400 konských síl. Špeciálne upravené verzie Pitts Special 12 s hviezdicovým motorom ruskej výroby M-14P slúžia v dnešnej dobe najmä na prezentáciu na leteckých dňoch. Lietadlá Pitts boli v období svojej slávy najväčšími konkurentmi československých lietadiel rady Trener na majstrovstvách v leteckej akrobacii [6].

2.1.9. American Champion Decathlon

Lietadlo 8KCAB Decathlon vzniklo z lietadla Citabria, práve z dôvodu limitujúcich negatívnych násobkov preťaženia a času pri obrátenom lete. Vznikol ako požiadavka zo strany používateľov a pilotov.

2.1.10. Yak-52

Lietadlo Yak-52 bolo navrhnuté ako výcvikové lietadlo pre armádu. Lietadlo je vybavené zdvojeným riadením vpredu aj vzadu. Kabína obsahuje dve miesta za sebou v tandemovom usporiadaní, pričom hlavné pilotné sedadlo je vpredu. Konštrukcia lietadla je celokovová s výnimkou plátnového poťahu na krídelkách, výškovom a smerovom kormidle. Podvozok trojkolesového typu s predným podvozkom je čiastočne zásuvný, pričom v zasunutej polohe trčia pneumatiky von z lietadla, čo minimalizuje poškodenie lietadla pri nútenom pristáť v teréne mimo letiska. Srdce lietadla tvorí vzduchová sústava, ktorá slúži na štart motora a ovládanie brzdového systému. Krídlo lietadla je delené, pozostáva z dvoch častí, ktoré sú prichytené k centroplánu lietadla [7].

2.1.11. Extra 300

Dizajn modelu Extra 300 bol založený na jednoplošníku Extra 230 zo začiatku 80. rokov, ktorý mal krídlo vyrobené z dreva. Extra 300 má zváraný oceľový trup pokrytý laminátovými krytmi a plátnom. Krídlo je vsadené do trupu približne v strede, má uhlíkové kompozitné nosníky a uhlíkový kompozitový poťah. Symetrický profil krídla s nulovým uhlom nastavenia poskytuje rovnaký výkon pri vodorovnom aj obrátenom lete. Podvozok je pevný s ostrohovým kolesom s kompozitovými podvozkovými nohami a aerodynamickými krytmi kolies vyrobených. Pohonnou jednotkou je motor Lycoming AEIO-540 so vstrekovaním paliva, ktorý produkuje výkon 300 konských síl.

Extra 300 môže byť namáhaná násobkami $\pm 10 G$ s jednou osobou na palube a $\pm 8 G$ s dvoma [8].

2.1.12. Sukhoi-29

Sukhoi Su-29 je ruské dvojmiestne akrobatické lietadlo s hviezdicovým motorom s výkonom 360 konských síl. Bol navrhnutý na základe modelu Su-26 a zdedil väčšinu dizajnových a technických vlastností svojho predchodcu. Vďaka rozsiahlemu použitiu kompozitových materiálov, ktoré tvoria až 60 % konštrukcie lietadla Su-29, je prázdna hmotnosť vyššia iba o 50 kg oproti prázdnej hmotnosti jednomiestneho Su-26 [9].

2.1.13. Yakovlev-54

Lietadlo je dvojmiestny športový a akrobatický jednoplošník používaný na výcvik športových pilotov na akrobatické lety, ako aj na účasť v športových súťažiach.

2.1.14. Extra 200

Lietadlo bolo navrhnuté Walterom Extra a bol uvedený na americký trh v roku 1996. Model Extra 200 je o niečo menší ako model Extra 300 a je poháňaný motorom Lycoming s výkonom 200 konských síl, čo z nej robí skvelú voľbu pre tých, ktorí majú obmedzený rozpočet. Ponúka letové vlastnosti EA-300, je schopná vykonávať všetky akrobatické manévry, a je skvelým všestranným výcvikovým a športovým akrobatickým lietadlom.

2.1.15. XtremeAir Sbach 342 – XA 42

Sbach 342 je celokompozitový jednoplošný dolnoplošník s fixným pristávacím zariadením s ostrohovým kolesom a uhlíkovým kompozitným trupom. Lietadlo je poháňané motorom Lycoming AEIO-580-B1A s výkonom 315 konských síl v kombinácii s trojlístou vrtulou MT-Propeller. Sbach 342 je vlastne dvojmiestna verzia s tandemovým usporiadaním pilotných sedadiel jednomiestneho lietadla XtremeAir Sbach 300 – XA41. Lietadlo XA42 je certifikované s maximálnymi prevádzkovými násobkami $\pm 10 G$ [10].

2.1.16. GB1 GameBird

Je britské akrobatické lietadlo navrhnuté Philippom Steinbachom. Prvý prototyp bol postavený spoločnosťou Game Composites. Toto lietadlo je vyrábané v USA v štáte Arkansas [11].

Lietadlo obsahuje v pilotnej kabíne dve pilotné sedadlá v tandemovom usporiadaní, pričom zadné sedadlo je hlavné. GB1 má celokompozitnú konštrukciu a je poháňaný motorom Lycoming AEIO-580-B1A s výkonom 303 konských síl v kombinácii so štvorlístou vrtulou MT-Propeller. Pristávacie zariadenie je fixné s oceľovou pružinou a ostrohovým kolesom. Maximálne dovolené prevádzkové násobky predstavujú $\pm 10 G$ [11].

2.2. Analýza vstupných požiadaviek

Do komparatívnej analýzy sme sa rozhodli zaradiť dvojmiestne lietadlá s tandemovým usporiadaním sedadiel, ktoré sa dodnes používajú na akrobatický výcvik a vyhovujú tak dnešným legislatívnym aj technickým podmienkam.

Z porovnania vyplýva, že najpoužívanejšia konštrukcia trupu je zváraná prúťová konštrukcia, i keď trendom stavby akrobatických lietadiel sa stáva škrupinový kompozit.

Maximálna vzletová hmotnosť akrobatických lietadiel podrobených analýze je do 1000 kg. Jedinou výnimkou sú dve lietadlá, a tými sú Jak-52 a Sukhoi-29. Práve tieto dve lietadlá sú skôr používané v akrobatickom výcviku v post-sovietskych krajinách.

Podľa stavebného predpisu CS-23 sú pre akrobatickú kategóriu stanovené maximálne násobky zaťaženia +6, -3, aj keď niektorí výrobcovia lietadiel vysoko prevyšujú tieto násobky zaťaženia v závislosti od počtu osôb na palube lietadla a maximálnej vzletovej hmotnosti. Výkony pohonných jednotiek sa pohybujú v rozmedzí od 180 do 360 konských síl. Zo svetového hľadiska je vedúcim typom v základnom a pokročilom výcviku leteckej akrobacie Extra 300 v rôznych verziách. Prevádzkové náklady na let a údržbu sú diametrálne odlišné od lietadiel, ktoré disponujú menším výkonom.

Tabuľka 1: Prehľad parametrov akrobatických lietadiel v súčasnosti.
Zdroj: Autori.

Lietadlo	Používaná konštrukcia trupu	MTOW	Maximálne násobky zaťaženia	Výkon [HP]
Z 526F	zváraná prúťová konštrukcia	940 kg	+6, -3	180
Pitts S-2C	zváraná prúťová konštrukcia	771 kg	+6, -5	260
8KCAB Super Decathlon	zváraná prúťová konštrukcia	816 kg	+6, -5	180
Jak 52	pološkrupina	1415 kg	+7, -5	360
Extra 300LX	zváraná prúťová konštrukcia	870 kg	+8, -8	315
		950 kg	+6, -6	
Sukhoi 29	zváraná	1220 kg	+11, -9	360
Yakovlev 54	pološkrupina	990 kg	+9, -7	360
Extra 200	zváraná prúťová konštrukcia	800 kg	+8, -8	200
XA 42	škrupinový kompozit	850 kg	+10, -10	315
		999 kg	+8, -8	
Gamebird GB1	škrupinový kompozit	880 kg	+10, -10	303
		999 kg	+6, -6	

Extra NG	škrupinový kompozit	900 kg	+8, -8	315
		950 kg	+6, -6	

3. Teoretický rámec riešenej problematiky

Letecká akrobacia je v oblasti letectva najvyššie možné vzdelanie, aké môže človek dosiahnuť. Je to súhra dobrých pilotných vlastností a excelentných nárokov na stavbu lietadla, na ktorom je akrobacia vykonávaná. Medzi nároky na leteckú konštrukciu a vlastnosti akrobatického lietadla môžeme zaradiť:

- nízka hmotnosť,
- obratnosť,
- ovládateľnosť, riaditeľnosť a stabilita,
- schopnosť konštrukcie odolávať vysokým násobkom,
- vysoká stúpavosť,
- stabilita vo všetkých letových režimoch,
- pomalšia akcelerácia v zostupnom lete.

Mohli by sme rozmýšľať, ktorý z týchto uvedených nárokov je najdôležitejší, ale je nutné si uvedomiť, z akého hľadiska by sme chceli dané lietadlo hodnotiť, či je to už zo strany používateľa, konštruktéra, aerodynamika. Z nášho pohľadu je to určite nízka hmotnosť, stabilita vo všetkých letových režimoch a schopnosť konštrukcie odolávať vysokým násobkom.

Našou úlohou je navrhnuť cvičné akrobatické lietadlo s dvoma miestami v tandemovom usporiadaní pre pilota/žiaka a inštruktora, ktoré bude slúžiť pre začiatkový a pokročilý výcvik akrobacie. S prihliadnutím na fakt, že vo svete sú momentálne vyrábané lietadlá v tejto konfigurácii len s vysokým výkonom. S vysokým výkonom nám priamo úmerne narastá taktiež finančná záťaž pre samotných používateľov týchto lietadiel. Pri vykonávaní, či už výcviku alebo samotného akrobatického letu na lietadle Extra 300, spotreba paliva predstavuje hodnotu približne 90 litrov za 1 letovú hodinu.

3.1. UPRT a letecká akrobacia

Trend v leteckých výcvikoch športových a dopravných pilotov smeruje k takzvanej unifikácii. Prakticky to znamená, že výcvik vykonáva na lietadlách, ktoré si sú veľmi podobné po stránke obsluhy, pilotáže. Dodatočne sa takmer úplne vylúčila základná akrobacia zo základných osnôv praktického výcviku PPL(A). Pozostatky akrobacie zostali v týchto osnovách vo forme zábrany pádu a vývrtiek.

Po niekoľkých nehodách dopravných lietadiel, ktoré boli práve zapríčinené nezvyklými polohami, pádmi a ich nesprávnym vyberaním sa rozhodla EASA vypracovať UPRT – výcvik zábrany a vyberania nezvyklých letových polôh. Samotný výcvik UPRT nenahrádza výcvik leteckej akrobacie. Môj osobný názor je taký, že po absolvovaní tak krátkeho UPRT výcviku uchádzač nezíska predstavované zručnosti, ktoré by mohol získať po absolvovaní výcviku leteckej akrobacie. Výcvik leteckej akrobacie je komplexnejší, zdĺhavejší a náročnejší. Tento výcvik poskytuje komplexné úlohy o nezvyklých polohách – hlavnou úlohou je

naučiť uchádzača ako sa dostať do nezvyklej polohy, ako sa z nej za čo najkratší čas dostať, poprípade v nej zotrvať istý moment.

Akrobatický pilot má schopnosť zvládať stresové situácie na palube lietadla lepšie, taktiež sú lepšie zžitý s lietadlom – pozná jeho letové charakteristiky, vlastnosti a limitné stavy. Dôvod, prečo vznikla letecká akrobacia ako potreba pre bežných pilotov je ten, že pri každom lete s hocikým lietadlom sa môže pilot dostať do pádu, vývrtky, autorotácie alebo inej nezvyklej polohy. Akrobatický pilot tento jav včas identifikuje a rýchlo zareaguje, a tým pádom je zmenšené riziko ujmy na zdraví a lietadlovej technike na minimum.

4. Charakteristika a technický návrh lietadla

Navrhnuté lietadlo je dvojmiestne v tandemovom usporiadaní, s pevným podvozkom ostrohoového typu, dolnoplošnej koncepcie krídla s priebežným nosníkom a symetrickým profilom krídla s krídelkami po celom rozpätí.



Obrázok 1: Perspektívny pohľad na výcvikové lietadlo. Zdroj: Autori.

Výcvikové lietadlo je koncipované ako celokovové s ohľadom na požiadavky jednoduchosti konštrukcie, ktorá je priamo úmerná cene zamýšľaného projektu. Voľba celokovovej konštrukcie plynie z požiadaviek na výcvikové lietadlo. Lietadlo pri bežnom letovom dni absolvuje niekoľko akrobatických letov, pri ktorých sú zaťaženia kladené na konštrukciu lietadla vysoké, a práve z toho dôvodu bola zvolená práve celokovová konštrukcia. Poškodenie, ktoré môže nastať z dôvodov nedbanlivej manipulácií s lietadlom vo vzduchu alebo na zemi, je jednoduchšie opraviteľné ako oprava kompozitného materiálu. S opravou kompozitného materiálu je spojené aj hmotnostné navýšovanie postupnými opravami, ktoré je v našom prípade nežiaduce. Ďalším z dôvodov, prečo sme ne zvolili kompozitnú konštrukciu lietadla, je ten, že do kompozitného materiálu "nevidíme", a to je pri akrobatickej prevádzke neprípustné.

Tabuľka 2: Špecifikácie cvičného akrobatického lietadla. Zdroj: Autori.

Špecifikácie	Hodnota	Jednotky
Dĺžka lietadla	7,019	m
Výška lietadla	1,879	m
Rozpätie	8,658	m
Plocha krídel	12,53	m ²
Prázdna hmotnosť	549	kg

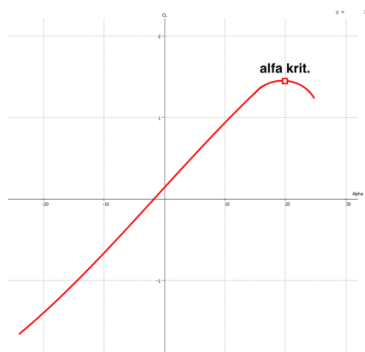
Maximálna vzletová hmotnosť	846,2	kg
Plošné zaťaženie	67,53	kg/m ²
Výkon pohonnej jednotky Lycoming AEIO-390-A	210	HP
Objem hlavnej palivovej nádrže	60	l
Objem prídavných palivových nádrží	2x 50	l

5. Aerodynamické charakteristiky a pevnostné výpočty

Vonkajší vzhľad lietadla bol namodelovaný v programe Rhinoceros 7. Pri modelovaní lietadla bolo dôkladne dbané na zachovanie všetkých rozmerov profilov nosných a chvostových plôch, ktoré by mohli ovplyvniť aerodynamické charakteristiky. Model bol následne vyexportovaný vo vhodnom formáte, ktorý bol použitý v programe flow5, kde bola vykonaná analýza aerodynamických charakteristík celkového lietadla. Pre lepšiu predstavu sme sa rozhodli pridať obrázky, ktoré reprezentujú simuláciu a analýzu lietadla.

Program flow5 dokáže vygenerovať pri zadaní vhodných vstupných parametrov, ako sú hmotnosť lietadla a pod., vztlakovú čiaru, poláru lietadla, závislosť pomeru C_L/C_D na uhle nábehu a mnoho iných.

Zo vztlakovej čiary lietadla je možné vyčítať letový stav s maximálnym uhlom nábehu $\alpha_{krit} = 20^\circ$, pri ktorom je maximálny súčiniteľ vztlaku najvyšší - $C_{Lmax} = 1,4$. Za kritickým uhlom nábehu nastáva pád lietadla. Maximálny súčiniteľ vztlaku celého lietadla v porovnaní s maximálnym súčiniteľom vztlaku profilov je značne menší, kvôli neprítomnosti rôznych odporov. Dôvodom, prečo sa nepretína vztlaková čiara v počiatku súradnicovej sústavy, môže byť kridlo namontované s kladným uhlom nastavenia voči rovine symetrie lietadla.

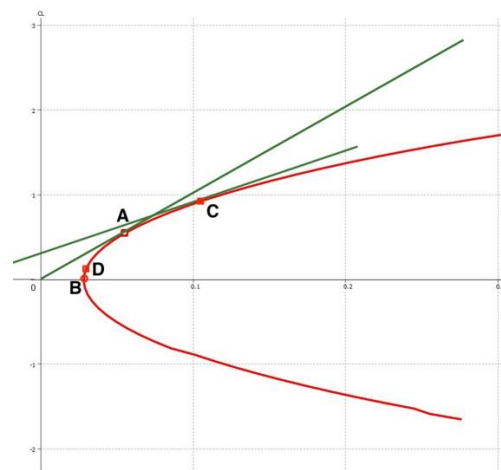


Obrázok 2: Vztlaková čiara lietadla. Zdroj: Autori.

Ďalšou z aerodynamických charakteristík, ktorá nám približuje letové stavy, je aerodynamická polára lietadla. Každý z bodov na aerodynamickej poláre reprezentuje závislosť C_L a C_D pri určitom uhle nábehu α . Aerodynamické poláry sa zisťujú pre lietadlá experimentálne v aerodynamických tuneloch. Na

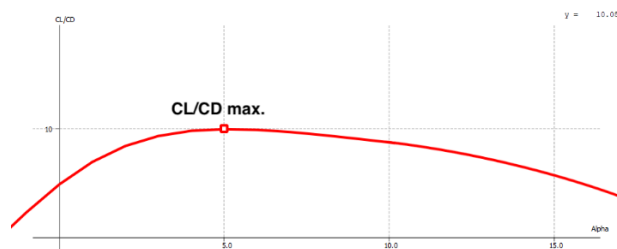
aerodynamickej poláre nášho lietadla sme sa rozhodli zvýrazniť nasledovné body:

- bod A – reprezentuje najlepšiu klízavosť (optimálnu rýchlosť letu),
- bod B – reprezentuje bod s nulovým vztlakom,
- bod C – predstavuje let s najmenším klesaním (ekonomická rýchlosť letu),
- bod D – predstavuje let s najmenším aerodynamickým odporom.



Obrázok 3: Aerodynamická polára lietadla. Zdroj: Autori.

Poslednou z aerodynamických charakteristík, ktorú sme sa rozhodli uviesť je závislosť aerodynamickej jemnosti na uhle nábehu. Najvyššiu aerodynamickú jemnosť bude lietadlo dosahovať pri pomere $C_L/C_D = 10$ a uhle nábehu 5° .

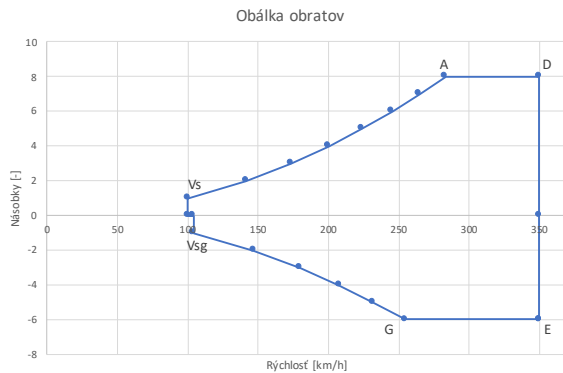


Obrázok 4: Aerodynamická jemnosť v závislosti na uhle nábehu. Zdroj: Autori.

5.1. Obálka obrátov

Z dôvodov zadania cvičného akrobatického lietadla, maximálne prevádzkové násobky zaťaženia boli stanovené na +8 a -6. Vzhľadom na fakt, že lietadlo bude viacej používané viacej pre výcvik, je možné očakávať, že lietadlo nebude dosahovať v bežnej prevádzke plný rozsah maximálnych násobkov zaťaženia. V prípade prevádzky, pri letoch súťažnej akrobacie, by mali byť maximálne prevádzkové násobky dostačujúce.

5.1.1. Zobrazenie obálky obrátov



Obrázok 5: Obálka obrátov cvičného akrobatického lietadla. Zdroj: Autori.

6. Záver

Bol navrhnutý samonosné celokovové dvojmiestne akrobatické lietadlo s malou časťou karosérie tvorenou kompozitnými materiálmi. Lietadlo je dolnoplošnej koncepcie s pevným podvozkom a ostrohoým kolesom. Rozpätie lietadla je 8,657 m, výška lietadla je 1,879 m, dĺžka lietadla je 7,019 m. Prázdna hmotnosť lietadla je 549 kg. Pri maximálnom obsadení pilotnej kabíny dvoma pilotmi spolu s batožinou, plnou akrobatickou nádržou spolu s plnými nádržami pre dolet je maximálna vzletová hmotnosť 846,2 kg. Plošné zaťaženie pri MTOW je 67,53 kg/m².

Pohonná jednotka, ktorú sme zvolili, produkuje 210 konských síl, čo pre akrobatické lietadlo nie je vysoký výkon, ale práve s týmto motorom môžeme doceliť ekonomickú prevádzku, ktorá by bola vhodná aj pre aerokluby a súkromných používateľov. V kapitole o pohonnej jednotke sme spomenuli unifikáciu draku, ktorá by dovoľovala remotorizovanie tohto lietadla s motormi s vyšším výkonom približne do 315 konských síl. Zvýšenie letových výkonov by bolo možné dosiahnuť premodelovaním kabíny lietadla, ktorá by sa dala vymeniť pri obsadení lietadla iba jedným pilotom, napríklad pri súťažných letoch.

V kapitole s názvom Charakteristika a technický návrh lietadla je detailne popísaná zamýšľaná konštrukcia jednotlivých lietadlových celkov spolu s podrobným popisom geometrických charakteristík. Pre dokonalú predstavu boli taktiež zostrojené náčrty spolu s podrobným okótovaním jednotlivých rozmerov. Pre zistenie polohy ťažiska a centráže v rôznych prípadoch bol vypracovaný schematický obrázok v programe Rhinoceros, ktorý nám umožnil aproximáciu ramien, na ktorých pôsobia jednotlivé položky v lietadle.

Posledná kapitola s názvom Aerodynamické charakteristiky a pevnostné výpočty bola spracovaná postupnosťou, kedy bol najprv vytvorený 3D model zhodný so skutočnými rozmermi, následne bol model vo vhodnom formáte vložený do viacerých programov, ktoré dovoľujú simuláciu aerodynamického tunela. Z týchto simulácií sme zistili požadované parametre, ako sú súčinitele odporu a vztlaku, ktoré boli použité v nasledujúcich výpočtoch pre návrhové rýchlosti určené predpisom CS-23. Po vypočítaní návrhových rýchlostí bola v kombinácii s maximálnymi násobkami zaťaženia zostrojená obálka obrátov. Poslednou podkapitolou s názvom Pevnostné výpočty je ukončená diplomová práca, kde boli vypočítané maximálne

posúvajúce sily spolu s ohybovými momentami v normálovej a tangenciálnej zložke.

Výsledkom je koncepčný návrh akrobatického lietadla, ktorý slúži ako idea pre jeho možný vznik. Trend zavádzania automatizácie, ktorá ma za následok strácanie elementárnych pilotných vlastností, je neprípustný. Pilot musí byť schopný identifikovať a dokázať riadiť lietadlo v akejkoľvek polohe. Toto lietadlo by bolo vhodné používať pri výcviku dopravných pilotov vo forme UPRT výcviku, základného a pokročilého výcviku akrobacie. Dôležitosťou pri návrhu lietadla je dbanie na široké využitie lietadla, čím bude dosiahnutá úspešnosť projektu.

Referencie

- [1] A. J. Jackson, De Havilland Aircraft since 1909, 1987.
- [2] „Plane Encyclopedia,“ 29 Jún 2017. [Online]. Available: <https://plane-encyclopedia.com/ww2/nazi-germany/focke-wulf-fw-44-stieglitz/>.
- [3] Boeing, 2020. [Online]. Available: <https://www.boeing.com/history/products/stearman-kaydet-trainer.page>.
- [4] Aircraft Owners and Pilot Association, 2003. [Online]. Available: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2003/june/pilot/de-havilland-dhc-1-chipmunk>.
- [5] J. Volejník, Zlínske letectví, 2009.
- [6] Aircraft Owners and Pilots Association, 2021. [Online]. Available: <https://www.aopa.org/go-fly/aircraft-and-ownership/aircraft-fact-sheets/aviat-pitts-s2b>.
- [7] Yak UK Ltd, 2005. [Online]. Available: http://www.yakuk.com/YAK52_AAN.doc.
- [8] EASA, 2011. [Online]. Available: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EAS-A-TCDS-A.362_EA300_series-07-08092013.pdf.
- [9] All the World's Aircraft, 2021. [Online]. Available: <http://janes.migavia.com/rus/sukhoi/su-29.html>.
- [10] EASA, 2015. [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS%20A.507%20issue%206.pdf>.
- [11] Game Composites, 2021. [Online]. Available: <https://gamecomposites.com/gb1/>.