

POHONNÉ JEDNOTKY AKROBATICKÝCH LIETADIEL

POWERTRAIN OF AEROBATIC AIRCRAFT

Filip Dvoran

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
dvoranf@gmail.com

Jozef Čerňan

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
jozef.cernan@fpedas.uniza.sk

ABSTRACT – *This paper aims to familiarize the reader with modifications of the engine parts of a light-sport aircraft necessary for aerial acrobatics. Modifications relating to the performance, operational capability, and resistance to the negative effects of the gravitational acceleration of acrobatic maneuvers to which the aircraft is subjected. First of all, the necessity of modification for the aircraft and its principle of operation is explained in the individual chapters. The secondary objective of the work is to introduce the design possibilities offered by manufacturing companies operating on the market, with the intention of the best product selection in the construction of acrobatic aircraft, with special requirements. The intention is to point out the factors that have to be taken into account when selecting products with their subsequent comparison in terms of technology used by the company for the best performance of the aircraft. The last chapter deals with the issue of aviation electrification, its use in aerobatic sports, and the advantages that the electric motor brings.*

Key words: invert system, gravitational accelerations, engine power, construction material, electric motor

I. ÚVOD

Po roku 1918 sa piloti 1. svetovej vojny zanieli pre zlepšovanie svojej zručnosti pilotovania lietadla. Piloti tejto doby, boli veľmi vynaliezaví vo vytváraní manévrov a ich vzájomných kombinácií t.j. sekvencií. Postupom času sa úmerne vyvíjali letecké technológie a technika pilotáže. Náročnosť manévrov si žiadala vyššie nároky na spoľahlivosť a výkon pohonej jednotky, obzvlášť pri sekvenčných manévroch, skladajúcich sa z obráteného letu alebo nízkom prelete nad zemským povrchom.

Problematikou modifikácie pohonnej jednotky pre športové lietanie sa zaoberajú profesionálni výrobcovia, tak hlavne aj amatérski stavitelia lietadiel. Nariadenia organizácie ako EASA alebo FAA dovoľujú domácu stavbu lietadla a po uznaní letovej schopnosti aj následnú prevádzku. Pre finančnú dostupnosť je toto hoby celosvetovo rozšírené. Výrobcovia týchto lietadiel, ako aj ich budúci piloti si vylepšujú a prispôbujú svoje výrobky podľa svojich požiadaviek. Mnohokrát si svoje nápady nechávajú patentovať a sú následne aj používané závodnými akrobatickými tímami. Použitá literatúra je prevažne z webových stránok prevádzkovaných týmito amatérskymi staviteľmi. Mojm cieľom bolo nazhromaždiť informácie o základných úpravách

motora pre prekonanie extrémnych vplyvov gravitačných zrýchlení a dosiahnutí jeho najväčšej efektívnosti práce pre vykonanie aj tých najzložitejších akrobatických manévrov.

Technika pohybu, alebo schopnosť kontrolovane vykonávať pohyb, či už v tréningu ľudského tela v gymnastike, tanci, maľovaní, alebo riadenia mechanického stroja patrí k najťažším veciam, ktorým sa človek môže naučiť, preto sú jeho výsledky inými tak obdivované. Pri fyzickom športe človeka je dôležitá jeho fyzická zdatnosť tela, ktorá je riadená mozgom človeka, no v momente keď človek uchopí riadenie mechanizovaného stroja, stáva sa len jeho mozgom, fyzická zdatnosť je prenášaná do pohonnej jednotky celého stroja v našom prípade lietadla.

II. HISTÓRIA

Po krátkom čase ako bolo vynájdené lietadlo bratmi Wrightovcami začiatkom 20. storočia, bolo rýchlo upravené pre bojové účely. Týmto úpravami sa z lietadla stal bojový stroj, ktorý definoval nový druh bojového poľa a umenia pre prežitie. Piloti prvej svetovej vojny si po jej skončení zlepšovali techniku pilotáže. V prvých dňoch bol termín kaskadérske lietanie, označením pre bojové manévry, no s rastúcim entuziazmom a súťaživosťou pilotov sa z termínu stalo pomenovanie pre šport, čo následne viedlo k všeobecnému definovaniu pravidiel, zápisov a kritérií posudzovania manévrov. V Paríži roku 1934 sa konal prvý a zároveň aj jediný svetový pohár vo vzdušnej akrobacii. [1]

OSOBNOSTI V RANNOM ČASE AKROBACIE

Historicky prvým lietajúcim esom vo vzdušnej akrobacii bol francúzsky pilot Adolphe Célestin Pégoud, ktorému sa ako prvému, dňa 13. septembra v roku 1913, podaril obrátený let. [2] Prvá veľká vlna európskych akrobatických es prišla v medzivojnovom období, a vytvárali ju: Alfred Fronval a Marcel Doret (Francúzsko), Ernst Udet (Nemecko) a František Malkovský (Československo). Generácia pilotov, ktorí obohatili leteckú akrobaciu o nové techniky manévrov, boli: Michel Détroyat (vyvinul „slow roll“) a Jimmy Doolittle, ktorý ako prvý predviedol vonkajšiu („negatívnu“) slučku. Naším reprezentantom vo vzdušnej akrobacii bol František Novák, ktorý obsadzoval predné miesta v súťažiach akrobacie. Šampionáty tohto športu sa začali organizovať na medzinárodnej úrovni až od roku 1960, kedy ako svetový riadiaci orgán bola založená Medzinárodná letecká komisia (CIVA) Fédération Aéronautique

Internationale (FAI). Britské medzinárodné súťaže Lockheed Trophy, ktoré sa konali každoročne no iba jednu dekádu od roku 1955, poskytli všeobecné zásady pre ustanovujúce majstrovstvá sveta v FAI, ktoré sa konali aj v Bratislave, v auguste roku 1960. [1]

III. TECHNOLOGIE VZDUŠNEJ AKROBACIE

Počas akrobatických manévrov podstupuje ako pilot, tak aj samotné lietadlo extrémne zaťaženia od odstredivých síl. Obrátený let, ktorý je súčasťou mnohých akrobatických manévrov, má pre svoje vykonanie podmienky. Okrem techniky pilotáže si tento typ letu vyžaduje technické úpravy prívodu paliva a oleja z nádrží, do systému pohonnej jednotky. Táto úprava je nazývaná invertným systémom.

Invertný systém je nevyhnutný pre dlhodobý negatívny let typu G, ako je napríklad invertný let. Smer prúdenia tekutín cirkulujúcich v lietadle je ovplyvnený gravitačnou silou. Pri obrátenom lete prúdia tekutiny v inom smere, vzhľadom k lietadlu, ako v priamom lete. Palivo a olej sú problémom pri obrátenom lete na každom lietadle a problém môže postihovať aj niektoré sofistikované (väčšinou vojenské) lietadlá. Ak nie je lietadlo upravené invertným systémom, keď je lietadlo v obrátenom lete, preruší sa dodávka paliva a oleja do príslušných častí motora, čo má za následok zlyhanie a poškodenie motora. Prietok kvapaliny môže byť udržiavaný mnohými spôsobmi, pri invertnom lete, ale invertné systémy všeobecne spadajú do dvoch širokých kategórií: časovo obmedzené systémy a kontinuálne systémy. Časovo obmedzené systémy sú založené na obrátenej pomocnej nádrži. Kvapalina sa zhromažďuje v obrátenej nádrži počas zvislého letu a nádrž je umiestnená tak, že keď je lietadlo v obrátenom lete, je schopné dodávať tekutinu do príslušných systémov, až kým sa nevyprázdni. Zložitejšie obrátené systémy inovatívne kombinujú sieť čerpadiel a potrubí, aby poskytovali nepretržitý prívod tekutiny. [3]

PALIVOVÝ SYSTÉM

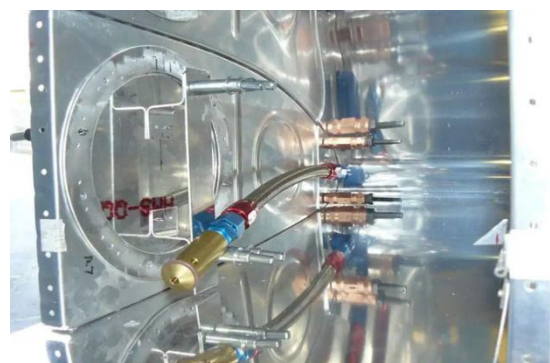
Palivový systém akrobatických lietadiel s obrátenými palivovými nádržami je vybavený vstrekovacími dýzami z dôvodu nefunkčnosti karburátora v invertnom lete. Ak je karburátor obrátený, nemôže ďalej merať palivo a plavák stúpa a prerušuje prívod paliva. Vstrekováč paliva, ktorý sa nestará o to, v akej polohe je, meria prietok vzduchu a správny pomer paliva ku každému valcu.

V počiatočných fázach druhej svetovej vojny boli nemeckí piloti Messerschmitt Bf 109, vo výhode oproti britským pilotom, vďaka vstrekovaniu paliva do motora. Umožňovalo im to lietat obrátené, alebo vykonávať iné manévry s negatívnym G, bez obáv z vynechávania motora, ako sa to stalo u britských typov lietadiel vybavených plavákovými karburátormi. Briti tento problém vyriešili zavedením tlakových karburátorov, niekedy nazývaných vstrekovacie karburátory, ktoré sa prvýkrát používali v motoroch Merlin 50. Tlakový karburátor Bendix-Stromberg sa väčšinou vyskytuje na veľkých radiálnych piestových motoroch. Jeho princíp činnosti spočíva v štvorkomorovom regulátore na meranie správneho množstva paliva do výstupnej dýzy. [4]

V piestových motoroch je vstrekovanie paliva s kontinuálnym prietokom najbežnejším typom. Na rozdiel od

automobilových vstrekovacích systémov paliva je vstrekovanie paliva s nepretržitým prúdením do lietadla mechanické, a nevyžaduje na prevádzku žiadnu elektrinu. Existujú dva systémy: Bendix RSA a Teledyne Continental Motors (TCM). Systém Bendix je priamym potomkom tlakového karburátora. Namiesto vypúšťacieho ventilu v komore, používa delič prietoku namontovaný na hornej časti motora, ktorý riadi rýchlosť vypúšťania a rovnomerne rozdeľuje palivo cez vstrekovacie potrubie do nasávacích otvorov každého valca. Systém TCM je ešte jednoduchší. Nemá žiadnu Venturiho trubicu, žiadne tlakové komory, membrány a žiadny vypúšťací ventil. [5]

Aby sa zabezpečil prietok z palivovej nádrže do vstrekováča paliva, akrobatické lietadlo s palivovou nádržou v trupe je vybavené „flopovou trubicou“, pancierová flexi hadica, hmotnostne zaťažaná na voľnom konci, ktorá je zapojená do palivovej nádrže. [6] Druhým riešením dodávky paliva v invertnom lete je zberná nádrž. Pri obrátenom lete je malá zberná nádrž v blízkosti nôh pilota. Zberná nádrž je spojená s hlavnými palivovými nádržami v krídlach, pri vzpriamenom lete prúdi palivo z krídlových nádrží gravitačne do zbernej nádrže, ktorá je pripojená k sacej strane palivového čerpadla - keď je rovina prevrátená, je zberná nádrž nad motorom, palivo tečie zo zbernej nádrže do motora. [7]



Obrázok 1: Znázornenie Flopovej trubice vo Van's RV 7
[Zdroj: <https://generalaviationnews.com/2017/11/02/surviving-an-engine-failure-while-flying-straight-up-in-a-pitts/>]

OLEJOVÝ SYSTÉM

Motory, ktoré používajú externú olejovú nádrž - motory „suchej vane“, majú zariadenie podobné pružnej trubici, ktorá dokáže nasť olej takmer v akejkoľvek polohe. V motoroch s mokrou vaňou, v ktorých je olej vnútorne uložený v nádržke na spodku kľukovej skrine, zaisťuje olejová zberná linka v blízkosti hornej časti motora, ako aj v olejovej vani, tak že olej je k dispozícii v akejkoľvek polohe. K hornej a dolnej časti motora je pripojený ventil s dvoma oceľovými guľami oddelenými pružinou; podobne ako pružná trubica, gule (a olej) idú tam, kde to vyžaduje gravitácia, striedavo zatvárajú a otvárajú príslušné miesto na odber oleja. [6]

IV. PIESTOVÉ POHONNÉ AKROBATICKE JEDNOTKY

Vzdušné akrobatické manévry si žiadajú konštrukčne pevné lietadlo, schopné odolávať vysokým „G“ silám pôsobiacich na letún, či už na jeho konštrukciu, alebo systémy udržiavajúce motor v chode. V nasledujúcich kapitolách sa

budeme zaoberať konštrukčným riešením pohonnej jednotky akrobatického lietadla od rámu motora cez výber motora a vrtule po chladiace systémy.

Tabuľka 1: Porovnanie technických špecifikácií

	<i>MX Aircraft kit plane</i>	<i>Van's Aircraft RV-8</i>	<i>Zenith Aircraft CH650</i>
„G“ obmedzenie	+/-14 G	+6.0/-3.0 G	+6/-4 g
Rýchlosť otáčania (Stupeň/sek)	420	140	N/A
Výkonová záťaž (lb/ph)	N/A	9.0	11.8
Celková hmotnosť (lbs)	1840	1800	1320
Motor (hp)	250 - 380	200	100- 116
Objem palivovej nádrže (gal)	58	42	24
Materiál konštrukcie	Uhlíkové vlákna	Kov	Kov

Pri výbere motora je východiskovým bodom odporúčanie výrobcu lietadla. Toto odporúčanie bude najčastejšie zahŕňať celý rad možných motorov, vo väčšine prípadov tej istej značky. No aj výrobcovia vychádzajú z rovnakých parametrov konštrukcie lietadla pri vypracovávaní odporúčaní. Sú nimi: celková hmotnosť, využiteľná hmotnosť, výkonová záťaž, rozmedzie koňských síl motora. V prípade rozhodnutia pre motor, ktorý nie je v zozname odporúčaných výrobcom lietadla, je treba zvážiť aj aspekty stability lietadla ako je hmotnosť a ťažisko, alebo účinnosť chladenia častí motora, ktorú pôvodný dizajn krytu motora nemôže dosiahnuť. Všetky spomenuté činitele pre správny výber motora zahŕňajú základný výpočet vztlaku, odporu, ťahu a hmotnosti.

KONŠTRUKCIA LEHKÝCH ŠPORTOVÝCH LIETADIEL

Vo svete existuje mnoho spoločností so službami ponúkajúce plány a materiál pre domácu výrobu ľahkého športového lietadla, ale stavba lietadla pre športové účely akrobatického charakteru, skracať zoznam a vytyčuje 3 spoločnosti vyrábajúce konštrukciu akrobatického lietadla.



Obrázok 2: Konštrukcia lietadla „MX aircraft kit“
[Zdroj: <https://www.mxaircraft.com/mx-aircraft-kits>]

V tabuľke číslo 1 je možné vidieť špecifikácie konštrukcie lietadla jednotlivých spoločností. Vlastnosti konštrukcie sú východiskovým bodom pre správny výber motora.

RÁM POHONNEJ JEDNOTKY

Hlavnou úlohou rámu motora lietadla je upevnenie motora k trupu, alebo draku lietadla. Okrem pôvodného účelu musí rám motora tiež slúžiť ďalším hlavným požiadavkám: rozdeliť hmotnosť motora a rozptýliť vibrácie a krútiaci moment generovaný mechanikou lietadla. Pri stavbe akrobatických lietadiel je dôležitý výber vhodného rámu, ktorého kritériá zohľadňujú zaťaženia pôsobiace na letún počas akrobatického letu, aby sa predišlo podobnej nehode, aká sa stala 15. Augusta 2015 v Châteauneuf sur Cher (Cher). „Pravé krídlo sa zlomilo a motor sa oddelil od draku. Vyšetrovatelia, v správe o nehode uviedli ako príčinu nehody zlyhanie hornej pravej podpornej konzoly pripievajúcej rám motora k draku lietadla v dôsledku únavy, aj keď lietadlo bolo vždy prevádzkované v letovej obálke definovanej výrobcom. Táto nehoda a jej podobné poukazujú na dôležitosť konštrukčných riešení rámu pohonnej jednotky. Poznáme tri z druhov rámov piestového motora: kónický, dynafokálny a lôžkový. [8]

Dynafokálne upevnenie motora je schopné rozdeľovať krútiaci moment a vibrácie z motora oveľa efektívnejšie. Pri tomto návrhu sa o miestach pripojenia rozhoduje na základe ťažiska použitého motora. Podobne ako kuželový držiak, zvyčajne existujú štyri upevňovacie body. Body sú zaoblené okolo motora a mechanizmus nadobúda prstencový tvar. [9]



Obrázok 3: Dynafokálny rám motora
[Zdroj: <http://www.cozygirrrl.com/images/Defiant/EM-DE-RDF1.jpg>]

Tabuľka 2: Porovnanie špecifikácií motorov

Špecifikácia	Lycoming AEIO-540 Thunderbolt séria	Continental x540 Titan séria
Sila	260/ 300	260 / 270
Maximálne otáčky	2700	2,700
Odporúčané TBO	1,400 hodín	2,000 hodín
Vnútorňý priemer valca	5,125 in	5.125 in
Pracovný objem piesta	4,375 in	4.375 in
Výtlak	540/ 541,5	541 in ²
Kompresný pomer	8,5:1/ 8,7:1	8:5:1/9.0:1
Súčasná hmotnosť	402/ 406 lbs	401 lbs

VÝBER MOTORA

Pri stavbe lietadla má každý domáci staviteľ mnoho úvah o najefektívnejšej konfigurácii motora a draku. Vo väčšine prípadov je rozhodnuté vo výbere motora za staviteľa, po výbere draku sa prakticky výber rýchlo zužuje. Lietadlá Van's série RV sa vyrábajú špeciálne pre motory Lycoming. Vo svete leteckých motorov je Lycoming najvyberanejším motorom konštruktérmi drakov, hneď za ním je Continental a Rotax. Dôvodom výberu je kvalita a odstup časových intervalov servisnej kontroly. Samozrejme je možné postaviť výkonný letún s inými motormi, ale to je práca pre skúseného staviteľa so solídnymi vedomosťami leteckého inžinierstva.

Motor série Thunderbolt je najvýkonnejším produktom spoločnosti Lycoming. Dobrou preferenciou vlastností tohoto modelu je jeho štandardizované používanie v prestížnej leteckej súťaži Red Bull Air Race. Pre vytvorenie konkurencie motorov Lycoming Thunderbolt, vytvorili spoločnosti, ako Continental, alebo Superior, motory s architektúrou veľmi podobnej Lycoming (u).

Spoločnosť Continental ponúka obrovský výber motorov, berúc do úvahy staršie certifikované benzínové motory, novšie certifikované naftové motory. Séria Titan, experimentálny derivát motorov architektúry paralelných ventilov Lycoming (320, 340, 370 štvorvalce a 540 šesťvalec), sa odlišuje od série Thunderbolt použitými materiálmi. Pre zberné nádrže a sacie potrubia je štandardnou ponukou spoločnosti Titan horčíková verzia tradičného odliatku „horúcej vane“; ušetrí to zmysluplné tri kilogramy pri porovnaní s pôvodným hliníkovým odliatkom. Motory Titan sa môžu pochváliť aj prítlačnými podložkami z ocele, pre kľukový hriadeľ. Všetky motory Titan sú vybavené valčekovými zdvíhadlami rozvodového systému. Taktiež umožňujú predný, alebo zadný regulátor vrtule. Valce motora sú z karbidu trinitridu (Ni₃C) pre lepšiu odolnosť proti korózii.

Motory Continental sú vybavené aj najnovším elektronickým systémom riadenia motorov EFII System 32. Pokiaľ ide o motory s objemom 540 cm³, je Titan Continental jedinou konkurenciou pre Lycoming v kategórii, takto výkonných šesť valcov. [10]

Ďalšou alternatívou k motoru Lycoming je motor Superior. Vlajkovou loďou Superioru, je nová rada experimentálnych motorov XP, jedným je motor IO-408, ktorý dosahuje výkon 230 koní, zo zdvihutej platformy motora s paralelným ventilom IO-360. To dáva staviteľovi šesťvalcový výkon pri štvorvalcovej hmotnosti motora. Spoločnosť tiež vyrába motory O-360 a IO-360 s výkonom 180 koní za konkurencie schopné ceny.

Motory s paralelným ventilom 360 sú obľúbené u staviteľov GlaStar a RV-8, pretože za malý trest s pridanou hmotnosťou, bude k dispozícii ďalších 20 koní. Isteže, v niektorých prípadoch to vedie k dodatočným nákladom na vyššiu spotrebu paliva a počiatkové náklady, ale mnoho staviteľov to ochotne urobí. [11]

Akonáhle je motor vybraný, musí sa ďalej spresniť výberom vrtule.

VRTUĽA

Výber vrtule je zložitý, pretože zostava vrtuľového motora vyžaduje na zabezpečenie kompatibility, analýzu vibrácií a najefektívnejší počet listov vrtule k výkonu motora. Je potrebné vziať do úvahy aj spôsob montáže náboja, pretože niektoré vrtule sú stavané len pre špecifický motor.

Všetky vrtule pochádzajúce z továrne sú staticky vyvážené, to však zaisťuje len vyváženie listov. Dynamické vyváženie meria vibrácie vplyvajúce na systém „vrtuľa – motor“ počas prevádzky. Dynamické vyváženie sa dosahuje pomocou zariadenia, ktoré dokáže presne zmerať vibrácie a presne určiť miesto nerovnováhy. Hmotnosť sa zvyčajne pridáva vo forme skrutiek, matic a podložiek. Cieľom je dostať sa do 0, 07 IPS a menej. [12]

Všeobecne sú 2-listové vrtule o niečo účinnejšie. Efektívita však nepoháňa letún. Na prekonanie odporu a hmotnosti je potrebný ťah, ktorý pomáha lietadlu stúpať. Výber správneho počtu listov vrtule závisí od určitých parametrov vrátane výkonu motora daného lietadla, prevádzkových otáčok vrtule, obmedzení priemeru a požiadaviek na výkon. Preto najúčinnejší počet listov vrtule pre lietadlo závisí od kombinácie týchto faktorov, ktoré sa samozrejme budú líšiť v závislosti od lietadla. [13]

Tradičné materiály využívané pre výrobu leteckej vrtule ako drevo, alebo hliníková oceľ svojimi negatívnymi vlastnosťami výrazne ovplyvňujú výkon lietadla pri vykonávaní nezvyčajných manévrov. Súčasné technológie v materiálovom inžinierstve, dokážu posunúť maximá letovej obálky za jej hranice. [14] Nový kompozitný trojvrstvový dizajn ponúka akrobatickým pilotom vynikajúci ťah pri nízkej rýchlosti s minimálnym prírastkom na hmotnosti. [15]

Akrobatický letún má vrtuľu s pevným stúpaním, alebo s konštantnou rýchlosťou. Rozostup lopatiek je uhol, pod ktorým

sa „zaryjú“ do vzduchu. Na letúnoch s vrtľou s pevným rozstupom sú otáčky motora hlavným meradlom výkonu.

Úloha vrtule s konštantnými otáčkami je podobná automatickej prevodovke auta. Zmena uhla nábehu listu vrtule sa môže regulovať dvomi spôsobmi hydraulicky, alebo elektricky. Piloti v leteckej akrobacii používajú vrtuľu konštantných otáčok, ktorá má inštalované veľké protizávažie na každom koreni lopatky. Protizávažia sú dôležité v prípade ak dôjde k strate tlaku motorového oleja na regulátore pri manévroch s nulovými alebo zápornými hodnotami G, odstredivá sila protiváhy natáča list do najvyššieho možného uhlu nábehu. [16]

KAPOTAŽ – CHLADENIE MOTORA

Piestový motor premení iba určitú časť energie obsiahnutej v palive na využiteľnú energiu. Zvyšok energie zvyšuje teplotu motora a jeho príslušenstva. Ak by motor nebol chladený došlo by k jeho poškodeniu, keďže teplota plynov dosahuje cez 1 650° C v spaľovacej komore. Hliník začína strácať pevnosť okolo 260° C, preto je nevyhnutné odvádzať spaľovacie teplo, aby sa teplota hlavy valca udržiavala na bezpečnej úrovni - najlepšie okolo 190° C. V ranných rokoch letectva boli v obľube radiálne motory pre ich vysokú výkonovú produktivitu, relatívne nízky maximálny počet otáčok za minútu a veľkú čelnú plochu, čo znamenalo, že mohli byť efektívne chladené vzduchom. [17] No veľkosť tejto čelnej plochy bola zároveň dôvodom úpadku používania radiálneho motora v dôsledku veľkého aerodynamického odporu, ktorý vytvára. [18] U radového vzduchom chladeného motora, zadné valce dosahovali vysoké teploty. Preto dizajnéri navrhli kryt motora s vhodne dimenzovaným vstupom a výstupom pre prúd vzduchu, ktorý by obtekaním ochladzoval motor a jeho časti. [19]

V. ELEKTRIFIKÁCIA LETECTVA

Elektrifikácia v cestnej doprave sa koncom prvej dekády 21. storočia stala pre výrobcov motorových vozidiel súťažnou kategóriou na trhu. V automobilovom priemysle sa technológia elektrifikácie vyvíja rýchlo. V mnohých krajinách Európy sa elektrické, hybridné vozidlá a porty s elektrickým nabíjaním stávajú bežným pohľadom na ulici. Emisie leteckej dopravy taktiež znižujú kvalitu ovzdušia a majú čoraz väčší vplyv na globálne otepľovanie, keďže väčšina emisií sa vyskytuje vo vysokých nadmorských výškach. No elektrifikácia leteckej dopravy je v porovnaní s cestnou, časovo zaostala. Elektrický motor je v letectve používaný už dlhší čas, no doposiaľ len u RC modelov, dôvodom je poznatok dvoch najbežnejších zdrojov elektrickej energie, ktoré sa zvažujú v letectve, sú nimi solárna energia a batéria. Solárna energia bola aplikovaná vo väčšine len v hybridných lietadlách, z dôvodu neschopnosti generovať požadované množstvo prúdu pre pohon ľahkých športových lietadiel. U batérií je nevýhodou obmedzená výdrž a dosah využívajúci existujúce kapacity energie batérie. Vlastnosti, ktorými sa jednotlivé batérie od seba líšia sú: kapacita, hĺbka vybitia, napätie, životnosť a odolnosť voči vonkajším vplyvom. V porovnaní so systémami založenými na benzíne a naftě, nie je ani batéria užitočným zdrojom energie v civilnom letectve pre nedostatok hustoty energie ako má benzín, alebo nafta. No pre ľahké športové lietadlá, ktoré sú využívané pre krátkodobé lety leteckých akrobatických závodov, kde let trvá v priemere 90

sekúnd, je batériou poháňaný elektrický motor efektívnejší ako klasický piestový pre jeho vyšší výkon, ktorý je na závodoch tak dôležitý. V súčasnosti existujú dve čisto elektrické lietadlá: P1e a ACCEL od spoločnosti Electro Flight.



Obrázok 4: Model elektrického športového lietadla P1e
[Zdroj: <https://twitter.com/electroflight/status/778890308213960704>]

VRTUĽA S PROTIBEŽNÝMI LOPATKAMI

Architektúra vysokovýkonných elektrických motorov umožňuje centrálné inštalovanie koaxiálneho usporiadania hriadeľa medzi dva motory a priame poháňanie hnacích hriadeľov, čím nevzniká potreba prevodov. Výmenou piestového motora za motor elektrický zásadne zmení výkon lietadla. Vyším výkonom elektrického motora vzniká dopyt pre vrtuľu, schopnú spracovať tento výkon. V lietadle, poháňanom piestovým motorom, je diktujúcim činiteľom výkonu vrtuľa. Výmenou tradičnej vrtule za dvojicu protisebe rotujúcich listov (CR) však výrazne zvyšuje schopnosti pohonného systému a výkon lietadla. Elektrický protibežný pohonný systém s pevným rozstupom má niekoľko efektívnych vlastností. Hlavnou vlastnosťou, ktorá je rovnako pozitívna, ale aj negatívna v leteckej akrobacii, je vytváranie ťahu bez krútiaceho momentu. Protibežným točením listov je táto vlastnosť eliminovaná spolu s vytváraním ťahu s vírením. Vďaka čomu je výsledný aerodynamický odpor znížený, čo naopak zvyšuje účinnosť protibežnej vrtule o päť až sedem percent, oproti jednej vrtule. Tieto vlastnosti protibežnej vrtule sú pozitívnymi pre rýchlostné akrobatické závody akou je Red Bull Air race, no pre čisto akrobatické závody, ktoré obsahujú manévry akým je napríklad „Lomcovák“, je točivý moment nevyhnutnosťou pre jeho vykonanie.

Významnou vlastnosťou protibežnej vrtule, je možnosť zvýšenia rýchlosti vzduchu na 0, 6 Mach, kde jednostupňová vrtuľa dokáže urýchliť prúd vzduchu pri maximálnej vyťaženosti na 0, 5 Mach (0, 1 Mach = 75 mph). [20]

VI. ZÁVER

Kľúčovým slovným spojením tejto práce je „Motor akrobatického lietadla“. Práca bola rozdelená do troch častí na základe jednotlivých slov kľúčového spojenia. Ciele, ktoré sme si vytýčili na začiatku práce, sme dosiahli postupne pri vypracovávaní týchto troch častí práce.

V prvej kapitole sme sa oboznámili so vzdušným akrobatickým športom, s jeho pôvodom vzniku, vynálezcami jeho prvých manévrov a aj jeho fyzikálnou stránkou. Táto vstupná kapitola bola nevyhnutnou pre zdôraznenie dôležitosti vlastností pohonnej jednotky.

V druhej kapitole sme sa zaoberali riešením dodávky paliva a mazacieho oleja do motora od počiatku vzniku manévrov s obráteným letom. Vysvetlili sme si dôvod inštalácie invertného systému a jeho princíp činnosti počas invertného letu, a taktiež sme sa oboznámili s riešeniami vytvárania a dodávky pracovnej zmesi pomocou tlakového karburátora Bendix-Stromberg.

Jedným z našich cieľov bolo predstavenie konštrukčných možností, ponúkaných výrobnými spoločnosťami pôsobiacimi na trhu domácich staviteľov lietadiel tzv. „Kitplane“. Druhú kapitolu sme zoradili do sektorov pohonnej jednotky, ktoré sú podľa nás dôležitými pri jej návrhu. Začali sme výberom konštrukcie lietadla, s požiadavkou pre zvládnutie extrémnych zaťažení konštrukcie počas manévrov, z ponuky sme vyseletovali tri modely lietadiel s účelom pre akrobáciu, boli nimi: MX kitplane od MX Aircraft, RV- 8 od Van's Aircraft a model CH650 od spoločnosti Zenith Aircraft. Modely sa líšili svojimi limitami záťaže či už gravitačných síl, alebo výkonu motora. Jednou z ďalších vlastností, ktorými sa konštrukcie lietadla líšili bola kompatibilita použitého rámu a motora, čo nás prenieslo k ďalšiemu sektoru a to rámu motora. V tejto kapitole sme uviedli konštrukčné možnosti rámov, ich prácu so spracovávaním pôsobiacich síl a aj dôležitosť ich kontrol možných poškodení uvedením jednej z akrobatických nehôd. Ďalej sme pokračovali výberom samotného motora. Počas výberu konštrukcie lietadla sme zistili aj skutočnosť, že výrobcovia prispôbujú letúne najmä pre motory značiek Lycoming, Continental a Rotax. Dôvodom sú výkonové vlastnosti, odstup časových intervalov servisnej kontroly a vysoká obľúbenosť u ľudí. Naším hlavným parametrom bol vysoký výkon, pre komparáciu sme vybrali motory značiek Lycoming a Continental, keďže značka Rotax neponúka motory o šiestich valcoch a viac ako 250 hp. Obe spoločnosti majú svojho zástupcu pre vysoký výkon. Lycoming ponúka motor série Thunderbolt a spoločnosť Continental motor série Titan. Pri komparácii bola zistená u motora série Titan, ktorý je na trhu časovo kratšie ako Thunderbolt, veľmi podobná architektúra konštrukcie akú má Thunderbolt. Titan sa vyznačuje kvalitnejšími použitými materiálmi, preto má lepší časový odstup medzi servisnými kontrolami. No napriek tomuto zisteniu, je Thunderbolt o 30 hp výkonnejší i po zvýšení kompresného pomeru u Titánu. Naším osobným odporúčaním je využitie služieb u firiem ako Barrett Precision Engines, Sky Dynamics a Aero Sport Power, ktoré sa špecializujú na modifikáciu leteckých motorov, kombináciou funkcií výrobných častí z Continental, Superior, alebo Lycoming s vlastnými funkciami, ako sú elektronické zapalovacie systémy, výmenou materiálov častí motora, alebo úpravou kompresného pomeru. Pre spracovanie takto výkonných leteckých spaľovacích motorov bol dôležitý správny výber vrtule, čo bol sektor, v ktorom sme sa venovali vplyvu počtu listov vrtule na výkon motora, pozitívami používania lopatiek vrtule z kompozitného materiálu, voči štandardným materiálom, akým je drevo, alebo hliníčkovej zliatiny, a nakoniec sme si vysvetlili možnosti natáčania vrtule. Posledným sektorom v tejto časti práce bola kapotáž pohonnej jednotky a jej ovplyvňovanie výkonu chladením častí motora. Tu sme sa oboznámili s konštrukčnými riešeniami ochladzovania motora používaných u profesionálnych závodných tímov.

V poslednej tretej kapitole sme sa venovali súčasnému celosvetovému trendu a to elektrifikácii dopravy. Poukázali sme

na jej nízky progres v leteckom odvetví voči automobilovému, zapríčinením ešte neobjaveného dostatočného zdroja elektrickej energie. Nasledovala podkapitola o uplatnení protibežnej vrtule v elektricky poháňanom akrobatickom lietadle. Vytýčili sme jej pozitívnu vlastnosť pre spracovanie veľkého výkonu elektrického motora no aj jej vlastnosť, ktorá je súčasne pozitívna a negatívna, je ňou absencia točivého momentu, ktorý je podmienkou pre vykonávanie akrobatických manévrov akým je napríklad „Lomcovák“. Napriek všetkému vidíme veľké perspektívy vo využívaní elektromotorov v blízkej budúcnosti vo vzdušnej akrobácii.

REFERENCIE

- [1] Carson, Annette J. <https://www.britannica.com/sports/aerobatics>. Britannica. [Online] [Cited: 3 19, 2020.] <https://www.britannica.com>.
- [2] Reichhardt, Tony. <https://www.airspacemag.com/daily-planet/pegoud-flies-upside-down-1913-143766023/>. Airspacemag. [Online] 9 1, 2010. [Cited: 3 19, 2020.] <https://www.airspacemag.com>.
- [3] Goulian, Geza Szurovy Mike. <https://www.aircraftspruce.com/catalog/pdf/13-00677.pdf>. https://www.aircraftspruce.com/catalog/bvpages/basic_aerobatics.php. [Online] 2 22, 1994. [Cited: 3 22, 2020.] <https://www.aircraftspruce.com>. 9780070629264.
- [4] Rusling, Steven. <https://www.quora.com/How-did-the-propeller-driven-planes-of-World-War-II-get-fuel-to-the-engine-when-they-were-flying-at-steep-angles-or-inverted>. QUORA. [Online] 1 2, 2019. [Cited: 5 22, 2020.] <https://www.quora.com>.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_injection#cite_ref-32. Wikipedia. [Online] 4 21, 2020. [Cited: 5 20, 2020.] <https://en.wikipedia.org>.
- [6] Trenner, Patricia. <https://www.airspacemag.com/flight-today/how-things-work-flying-upside-down-27746739/>. Air & Space Magazine. [Online] Máj 2002. [Cited: 3 22, 2020.] <https://www.airspacemag.com>.
- [7] <https://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/question252.htm>. How Stuff Works. [Online] April 1, 2000. [Cited: 3 22, 2020.] <https://science.howstuffworks.com>.
- [8] Cívile, Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation. Accident to MX Aircraft MX2 experimental aircraft registered N88MX on 16 August 2015 at Châteauneuf sur Cher (Cher). Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile. Le Bourget : Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile, November/2018. BEA2015-0491.
- [9] Jones, Mason. <https://www.simplifiedpurchasing.com/blog/types-of-aircraft-engine-mounts/>. Simplified Purchasing Blog. [Online] 3 18, 2019. [Cited: 3 22, 2020.] <https://www.simplifiedpurchasing.com>.
- [10] Wilson, Tom. <https://www.kitplanes.com/2020-engine-buyers-guide/>. Kitplanes. [Online] December 26, 2019. [Cited: Marec 29, 2020.] <https://www.kitplanes.com>.
- [11] Prizio, Dave. <https://www.kitplanes.com/firewall-forward-choosing->

- your-engine/. Kitplanes. [Online] Február 14, 2012. [Cited: Marec 29, 2020.] <https://www.kitplanes.com>.
- [12] Simon, Jeff. <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2018/january/22/propeller-maintenance-balancing>. AOPA. [Online] January 22, 2018. [Cited: Apríl 14, 2020.] <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2018/january/22/propeller-maintenance-balancing>.
- [13] <https://hartzellprop.com/are-more-propeller-blades-better/>. Hartzell Propellers. [Online] August 28, 2018. [Cited: 3 22, 2020.] <https://hartzellprop.com>.
- [14] Cook, LeRoy. <https://www.kitplanes.com/propeller-buyers-guide/>. Kitplanes. [Online] November 16, 2018. [Cited: 3 22, 2020.] <https://www.kitplanes.com>.
- [15] Blog, Hartzell prop. <https://hartzellprop.com/benefits-of-composite-propellers/>. Hartzell propeller. [Online] April 19, 2018. [Cited: 3 22, 2020.] <https://hartzellprop.com>.
- [16] Trenner, Patricia. <https://www.airspacemag.com/how-things-work/flying-upside-down-3244070/?page=1>. Air & Space Magazine. [Online] Máj 2002. [Cited: 22 3, 2020.] <https://www.airspacemag.com>.
- [17] Brain, Marshall. <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/radial-engine3.htm>. How stuff work. [Online] 9 26, 2002. [Cited: 5 16, 2020.] <https://science.howstuffworks.com>.
- [18] Aeghan, Aakash. <https://www.quora.com/Why-are-radial-engines-are-not-commonly-used-What-are-its-drawbacks>. QUORA. [Online] 8 23, 2017. [Cited: 5 16, 2020.] <https://www.quora.com>.
- [19] Garrison, Peter. <https://www.flyingmag.com/aircraft/more-pretty-face/>. Flying Magazine. [Online] Január 23, 2015. [Cited: 3 22, 2020.] <https://www.flyingmag.com>.
- [20] Sills, Nick. <https://www.pressreader.com/uk/pilot/20190101/281535112064316>. Press Reader. [Online] Január 1, 2019. [Cited: 3 22, 2020.] <https://www.pressreader.com>.
- [21] Bugaj, M. 2011. Systémy údržby lietadiel. vyd. - V Žiline : Žilinská univerzita, 2011. - 142 s., ilustr. - ISBN 978-80-554-0301-4.
- [22] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.
- [23] Čerňan, J., Pecho, P., Cúttová, M. & Semrád, K. 2018. Structural analysis of centrifugal compressor impellers with different blade shapes. Transport Means - Proceedings of the International Conference 2018-October, pages 972-977
- [24] Bugaj, M. 2012. Failure analysis-basic step of applying reliability centered maintenance in general aviation. Transport Problems 7(1), pages 77-86.
- [25] Čerňan, J., Janovec, M., Hocko, M., & Cúttová, M. 2018. Damages of RD-33 Engine Gas Turbine and their Causes. Transportation Research Procedia 35, pages 200–208. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.028>
- [26] Novák, A. 2011. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve. Bratislava : DOLIS, 2015. - 212 s. ISBN 978-80-8181-014-5.
- [27] Pecho, P., Wylie, M. & Bugaj, M. 2018. Transportation Research Procedia 35, pages 287-294.
- Filip Dvoran – narodený 09. 03. 1998 v Nitre. Absolvoval v roku 2017 Strednú priemyselnú školu potravinársku, Spojenej školy Slančíkovej 2 v Nitre, následne v tom istom roku začal v septembri štúdium na Žilinskej univerzite v Žiline, odbor letecká doprava.