

NÁVRH A REALIZÁCIA SPŮŠŤACIEHO SYSTÉMU EXPERIMENTÁLNEHO MOTORA SHAKER

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE SHAKER EXPERIMENTAL ENGINE STARTING SYSTEM

Filip Šlenker

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
slenker@stud.uniza.sk

Jozef Čerňan

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

Abstract – The aim of this paper is to design and construct a starting system for the experimental single-jet engine SHAKER. The first chapter is devoted to theoretical knowledge about turbine engines. It provides information on the principle of engine operation, working cycle and individual parts of the turbine engine. The second chapter describes turbine engine systems. It specifically focuses only on systems that are necessary for the operation of such a small experimental engine. The third chapter describes the design of the SHAKER engine and its parts. The fourth part of the paper includes the methodology and the desing of the starting system modeled on a computer with a 3D CAD software *Creo Parametric*. The actual implementation of the desing as well as the testing of the starting system are described and documented in the last chapter.

Key words – single jet engine, SHAKER, starting system, ignition, turbine engine

I. ÚVOD

Dizajnéri sa už v minulosti zaujímali o možnosti využitia reakčného prúdového pohonu ako pohon lietadla. Prvé lietadlá s piestovými motormi však dosahovali nízke rýchlosti. Práve malé rýchlosti prúdenia vzduchu spôsobili pri konštrukcii prvých prúdových motorov problémy, keďže takýto motor potrebuje pre svoje fungovanie vysokú rýchlosť prúdu vzduchu na vstupe do motora.

V roku 1913 francúzsky inžinier René Lorin patentoval prvý prúdom poháňaný motor, avšak v tom období nebolo možné vyrobiť alebo použiť takýto typ motora, pretože neboli vyvinuté vhodné žiaruvzdorné materiály a prúdový pohon bol veľmi neefektívny pri nízkych rýchlostiach ktoré dosahovali lietadlá v tej dobe. Súčasný náporový motor je však veľmi podobný pôvodnej Lorinovej koncepcii. Až v roku 1941 Sir Frank Whittle zostrojil prúdový motor, ktorý bol prvý krát použitý pre let. Tento motor tvorí základ dnešných moderných turbínových motorov.

Cieľom tejto diplomovej práce je prispieť ďalšou časťou do navrhnutého malého experimentálneho turbínového

motora SHAKER, ktorý bol navrhnutý a zostrojený na pôde Technickej univerzity v Košiciach. Ide o malý jednorúrovňový experimentálny motor, skonštruovaný podľa vzoru bežného leteckého jednorúrovňového motora, no jeho konštrukcia bola značne jednoduchšia. Okrem samotného tela motora, ktoré tvorí vstupné ústrojenstvo, kompresor, spaľovacia komora, turbína avýstupná dýza, mal tento model doposiaľ navrhnutú a skonštruovanú iba jednoduchú palivovú sústavu.

Táto diplomová práca je zameraná na návrh a zostrojenie spúšťacej sústavy, ktorá by mala zaistiť bezpečné spustenie motora. Pri navrhovaní budeme využívať 3D modelovací CAD softvér, v ktorom navrhujeme úpravy, ktoré bude nutné na motore vykonať a domodelujeme nové súčiastky. Druhou časťou práce bude zostrojenie sústavy v praxi použitím doplnujúcich súčiastok a následné otestovanie, či takto skonštruovaná spúšťacia sústava aj naozaj funguje.

ZÁKLADNÉ PRINCÍPY POHONU MOTORA S PLYNOVOU TURBÍNOU

Princíp motora s plynovou turbínou je v zásade rovnaký ako princíp kombinácie piestového motora s vrtuľou, oba princípy poháňajú lietadlo tlačením určitej hmotnosti vzduchu smerom dozadu. Výsledkom tohto je reakcia, ktorá pôsobí v smere dopredu. Tento jav poznáme ako ťah.

Ťah pohonnej jednotky vzniká pôsobením účinných častí propulznej sústavy pohonnej jednotky na propulznú látku. Propulznou látkou lietadlových piestových a turbínových motorov je atmosféricky vzduch. V raketových motoroch je propulznou látkou palivo a okysličovadlo.

Pri prietoku vzduchu účinnými časťami propulznej sústavy (vrtuľa, vstupná sústava prúdového motora, dúchadlo, kompresor, spaľovacia komora, turbína, výstupná dýza), pôsobí sústava na vzduch aerodynamickými silami. Pôsobením týchto síl na pracovnú látku sa vo výslednom účinku pracovná látka pretekajúca motorom urýchli tak, že na výstupe zo sústavy je rýchlosť vzduchu väčšia ako rýchlosť vstupujúceho vzduchu do propulznej sústavy. Vstupná rýchlosť vzduchu pretekajúceho sústavou je daná rýchlosťou letu.

Motor s plynovou turbínou je v podstate tepelný stroj, ktorý využíva vzduch ako pracovnú látku na vytvorenie ťahu. Aby sa to dosiahlo je potrebné zrýchliť vzduch prechádzajúci motorom, to znamená, že treba zvýšiť rýchlosť alebo kinetickú energiu vzduchu. Najskôr sa musí zvýšiť tlaková energia, po ktorej nasleduje prídanie tepelnej energie a nakoniec konverzia na kinetickú energiu vo forme výstupných plynov ktoré vystupujú z motora vysokou rýchlosťou.

Pracovný cyklus motora s plynovou turbínou je veľmi podobný ako pracovný cyklus štvortaktného piestového motora. Obe pracovné cykly pozostávajú zo štyroch cyklov: nasávania, kompresie, spaľovania a výfuku. V motore s plynovou turbínou sa však spaľovanie uskutočňuje pri konštantnom tlaku, zatiaľ čo v piestovom zážihovom motore nastáva pri konštantnom objeme. V prípade piestového motora sú tieto procesy prerušované, zatiaľ čo v turbínovom motore prebiehajú nepretržite.

SPŮŠŤACIA SÚSTAVA

Spúšťacia sústava motora slúži na zabezpečenie spúšťania motora na zemi a vo všetkých fázach letu. Podľa veľkosti motorov a zložitosti lietadla sa navrhuje spúšťacia sústava od najjednoduchšej formy s ručným ovládaním až po formu plne automatizovanú. Musí zaistiť niekoľko násobné spustenie motorov bez pumpáže (nestabilnej práce kompresora), bez odtrhnutia plameňa vspaľovacej komore alebo prehriatia turbíny. Spúšťacia sústava musí spĺňať určité podmienky, čo sa týka jej hmotnosti a rozmerov aby zbytočne nenavýšovala hmotnosť motora.

Spúšťaciu sústavu tvorí:

- spúšťač,
- spúšťací palivový obvod regulátora paliva,
- elektrická sústava pre zapálenie paliva,
- časový automat spúšťania,
- sústava ochrany motora pred prehriatím,
- kontrolné a meracie prístroje.

Úlohou spúšťačov je roztočiť rotor motora na otáčky potrebné pre zapálenie plameňa vspaľovacej komore a spustenie motora. Po dosiahnutí týchto požadovaných otáčok a zapálení paliva sa spúšťač odpojí a motor sa rozbehne na voľnobežné otáčky. Každý spúšťač má určitý pracovný cyklus spúšťania, po ktorého dokončení zvyčajne nasleduje prestávka na ochladenie spúšťača pred začiatkom nového spúšťacieho cyklu.

Pre spúšťanie dnešných turbínových motorov sa najčastejšie využívajú elektrické spúšťače, vzduchové spúšťače, či malé spaľovacie motory alebo malé turbínové motory s voľnou turbínou.

a. elektrické spúšťače

- Použitie elektrických spúšťačov je výhodné najmä pri štartovaní malých motorov kde výkon potrebný pre roztočenie rotora nie je príliš veľký. Využívajú sa aj vo veľkých motoroch ako dynamospúšťač, ktorý roztáča motor cez pomocnú prevodovku. Po dosiahnutí voľnobežných otáčok sa doterajšia funkcia elektrického motora zmení na funkciu

dynama a začne dodávať prúd do palubnej siete lietadla.

b. vzduchové spúšťače

- Vzduchový spúšťač je asi najpoužívanejším zdrojom mechanickej energie pre roztočenie rotora. Vzduchový spúšťač je vzduchová turbína s redukčným, ktorá je mechanicke pripojená cez spojku k náhonu pomocnej prevodovky a tým aj k rotoru motora. Ako zdroj stlačeného vzduchu pre turbínu slúži externý pozemný zdroj stlačeného vzduchu, pomocná palubná energetickej jednotky (APU) alebo už spustený motor. Vzduchový spúšťač sa po spustení motora automaticky odpojí.

c. turbínové motory s voľnou turbínou

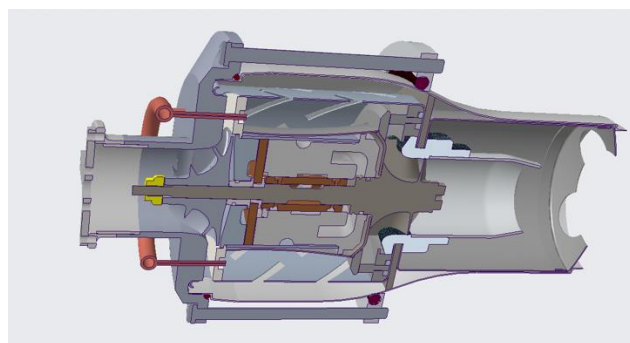
- Malý turbínový motor s voľnou turbínou tiež možno použiť ako zdroj mechanickej energie na spustenie motora. Voľná turbína cez redukčnú pomocnú prevodovku roztáča rotor motora. Výhodou takéhoto spúšťača je, že lietadlo je tak úplne nezávislé na pozemnom vybavení. Tento spôsob spúšťania motora je rozšírený najmä vo vojenskom letectve.

ZAPAĽOVANIE

Pre zapálenie zmesi paliva vspaľovacej komore sa používajú sviečky. Rozoznávame dva typy sviečok – žhaviace a zapáľovacie. Sviečky sú umiestnené priamo v spaľovacej komore, ideálne v blízkosti palivových dýz, alebo do špeciálnych zariadení, ktoré ústia do spaľovacej komory.

II. TURBÍNŮVY MOTOR SHAKER

Experimentálny motor SHAKER je malý jednorúřový motor, ktorý je veľmi podobný turbínovým motorom využívaným pre pohon modelárskych lietadiel.



Obrázok 31: Rez motora SHAKER [Zdroj: autor]

KONŠTRUKCIA MOTORA

Motor je konštrukčne podobný veľkým jednorúřovým motorom, avšak je oveľa jednoduchší. Vzduch vstupuje do motora cez vstupnú sústavu, ktorá má zužujúci tvar.

Po prechode zo vstupnej sústavy smeruje vzduch do kompresora. Kompresor použitý v tomto motore je odstredivý jednostupňový kompresor. Lopatky na obežnom kolese

kompresora sú zahnuté smerom dopredu. Obežné koleso je polozakrytého typu. Difúzor použitý v tomto motore je lopatkový s pevnými lopatkami. Stupeň stlačenia v tomto type kompresora dosahuje hodnotu v rozmedzí 1,2 až 1,5.

Vzduch stlačený v kompresore ďalej prechádza do spaľovacej komory. Vo vnútri tohoto motora sa nachádza prstencová spaľovacia komora. Horúce plyny, vystupujúce zo spaľovacej komory, prechádzajú cez usmerňovacie lopatky, ktoré slúžia na usmernenie prúdu horúcich plynov prúdiacich zo spaľovacej komory na lopatky turbíny. Poslednou časťou pred výstupnou dýzou je dostredivá turbína, ktorá slúži na expanziu horúcich plynov. Ďalej sa na expanzii podieľa aj výstupná dýza.

Obežné koleso kompresora je s turbínou spojené jedným hriadeľom, ide teda o jednohriadeľový motor. Oba tieto komponenty pochádzajú z turbodúchadla, ktoré sa používa na prepĺňanie motorov. Hriadeľ je uložený v klzných ložiskách, do ktorých je privádzaný olej, keďže sú to veľmi namáhané časti. Avšak tento motor zatiaľ nedisponuje olejovou sústavou pre ich mazanie. Horúce plyny dokážu roztočiť turbínu až na 200 000 otáčok za minútu.

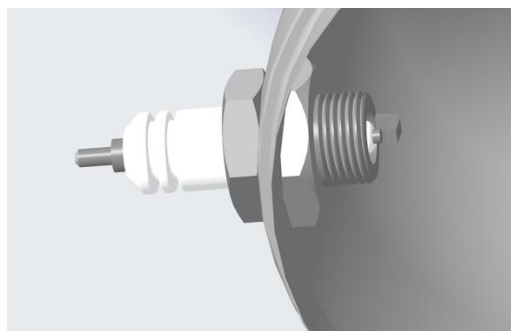
Palivovú sústavu tvorí 8 palivových dýz vložených do spaľovacej komory. Dýzy sú uložené na jednej spoločnej palivovej rampe. Ako palivo sa používa zmes propánu a butánu, ktorá je do motora privádzaná pomocou hadice s regulačným kohútom.

III. METODIKA PRÁCE

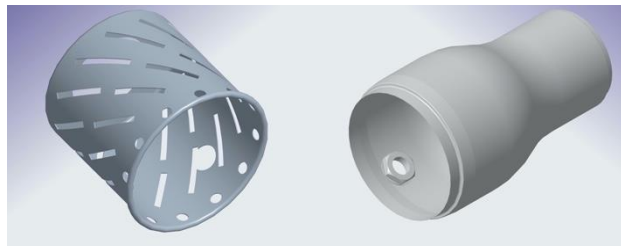
Náplňou tejto práce bolo navrhnutie spúšťacej sústavy pre malý experimentálny jednorúrovňový turbínový motor SHAKER a následná realizácia návrhu spúšťacej sústavy v praxi. Prvá časť práce zahŕňala prácu s modelovacím CAD softvérom. Keďže tento motor už bol v tomto programe navrhnutý a skutočne zostrojený, bolo potrebné domodelovať len potrebné časti spúšťacej sústavy. Na vymodelovanie jednotlivých častí bola použitá študentská verzia softvéru Creo Parametric 6.0., ktorá je študentom bezplatne dostupná online na stránke výrobcu softvéru. Druhou časťou práce bolo navrhnuté súčiastky nainštalovať do zostrojeného motora. Niektoré súčiastky potrebné k inštalácii sú bežne dostupné a bolo možné ich zakúpiť, ale niektoré bolo nutné na mieru vyrobiť či inak modifikovať aby vyhovovali našim potrebám. Takto upravený model bolo treba otestovať a zistiť či spúšťacia funkcia spĺňa svoju funkciu.

NÁVRH SPÚŠŤACEJ SÚSTAVY

Do originálneho návrhu bolo nutné navrhnuť a pridať štyri nové súčiastky a dve už existujúce súčiastky modifikovať. Keďže navrhujeme spúšťaciu sústavu, bolo potrebné navrhnuť umiestnenie zapalovacej sviečky do plášťa motora, s čím súvisela aj modifikácia plášťa a prstenca spaľovacej komory. Do oboch týchto častí bolo nutné vytvoriť otvor pre vloženie sviečky, ktorý má priemer 14 mm. Pre uchytenie zapalovacej sviečky v plášti bolo nutné navrhnuť ďalšiu súčiastku, ktorou bola matica. Matica bola vložená do vnútornej steny plášťa.



Obrázok 32: Návrh umiestnenia zapalovacej sviečky a matice v plášti motora [Zdroj: autor]



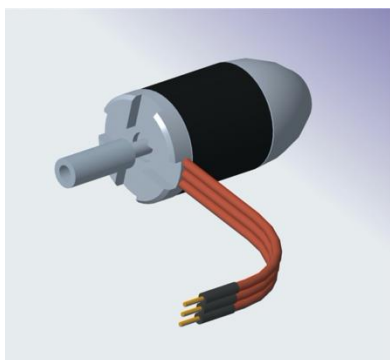
Obrázok 33: Upravená spaľovacia komora a plášť motora [Zdroj: autor]

Ďalšou súčasťou spúšťacej sústavy je spúšťáč, pre ktorý bolo nutné navrhnuť aj jeho uchytenie na motor. Najskôr sme si v programe vytvorili súčiastku v tvare kríža so štyrmi otvormi, každý na jednom ramene kríža, pre uchytenie na vonkajšiu časť vstupného ústrojenstva motora. A potom sme do stredu kríža vyrezali ďalšie otvory pre uchytenie spúšťáča k nášmu motoru ako je zobrazené na obrázku nižšie.



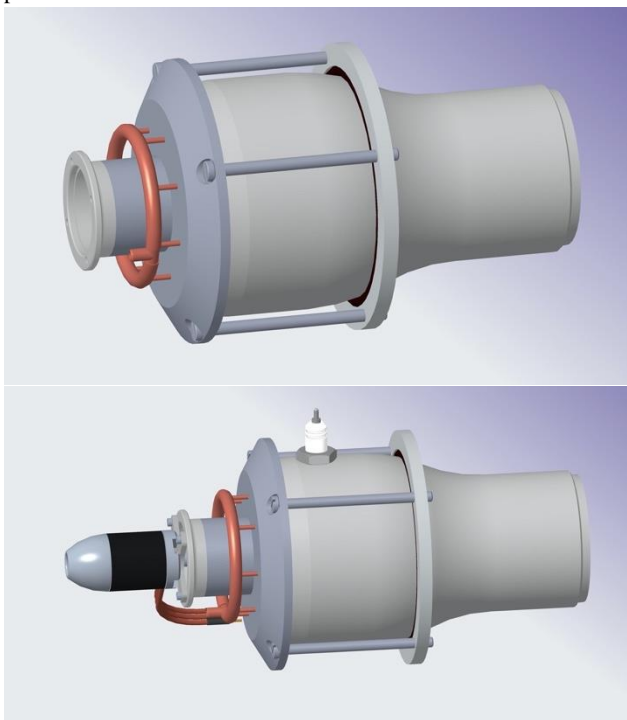
Obrázok 34: Kríž pre uchytenie spúšťáča [Zdroj: autor]

Samotný spúšťáč je uchytený v štyroch stredových otvoroch kríža a väčší stredový otvor je pre hriadeľ spúšťáča, ktorý je spojený hriadeľom motora pre roztočenie kompresora a turbíny pri spúšťaní. Nami navrhnutý spúšťáč sa typom zaraďuje medzi elektrické spúšťáče – generátory (môže fungovať aj ako zdroj elektrickej energie) a bol navrhnutý tak aby mohol byť napojený na externý zdroj energie – batériu. Súčasťou je aj regulátor pre reguláciu otáčok spúšťáča.



Obrázok 35: Návrh spúšťacieho elektromotora [Zdroj: autor]

Po pridaní všetkých týchto súčiastok k pôvodnému návrhu motora, nám vznikol nový vylepšený návrh so spúšťacou sústavou. Spúšťaciu sústavu bolo nutné pridať, lebo pôvodný návrh disponoval len palivovou sústavou a zapálenie zmesi paliva a spustenie motora tak nebolo možné. Porovnanie pôvodného návrhu motora s novým návrhom môžeme vidieť na obrázkoch pod textom.



Obrázok 36: Porovnanie pôvodného a nového návrhu [Zdroj: autor]

IV. REALIZÁCIA NÁVRHU SPÚŠŤACEJ SÚSTAVY

Princíp činnosti takto navrhnutého motora spočíva vo využití energie elektromotora ako spúšťáča pre roztočenie experimentálneho motora SHAKER. Pridaním zapalovacej sviečky si zaistíme, že zmes paliva a vzduchu v spaľovacej komore začne horieť. Inštalácia zapalovacej sviečky spolu s elektromotorom by teda mala zaistiť, že motor bude možné bezpečne spustiť. Túto teóriu je však nutné v praxi riadne otestovať.

Druhou časťou diplomovej práce bolo ideový návrh vytvorený v počítačovom programe premeniť na skutočnosť a

navrhnutý model realizovať v praxi. Pri zostavovaní modelu bolo použitých niekoľko súčiastok, z ktorých niektoré bolo možné si zakúpiť a iné, ktoré neboli bežne dostupné, bolo nutné vyrobiť. Všetky časti, ktoré sme použili pri zostavovaní motora sú zobrazené na obrázku nižšie.



Obrázok 37: Motor a súčiastky spúšťacej sústavy [Zdroj: autor]

Ako prvé bolo nutné zakúpiť zapalovaciu sviečku, ktorá je potrebná pre zapálenie zmesi paliva a vzduchu v spaľovacej komore. Na zapálenie zmesi sa v obvyčajne používajú dva typy sviečok, a to zapalovacie a žhaviace sviečky.

Žhaviaca sviečka je elektrické vyhrievacie zariadenie zaisťujúce spoľahlivé naštartovanie motora za všetkých poveternostných podmienok. Používa sa najmä vo vznetových motoroch. Je to dlhý a tenký kus kovu s vyhrievacím prvkom na špičke. Je vyrobené z materiálov odolných voči oxidáciám a vysokým teplotám. Žhaviaci proces prebieha v troch fázach. Prvou je predžhavenie sviečky, druhou je štartovanie motora a treťou a zároveň poslednou fázou je dožhavenie už po naštartovaní motora. Na rozdiel od zapalovacích sviečok, žhaviace sviečky pracujú len počas žhaviaceho procesu.

Zapalovacie sviečky sú malé elektrické zariadenia vretenovitého tvaru so závitom na konci. Sú umiestnené do zapalovacieho priestoru tak, že doňho vyčnieva len koniec sviečky, ktorý iskří a nazýva sa iskrište. Do spaľovacieho priestoru ju treba umiestniť tak, aby zmes plynov horela čo najrýchlejšie. Tvoria ju dve elektródy, stredná a vonkajšia, uzemňovacia. Stredná elektróda je obklopená izolátorom a jeho stredná časť je zalisovaná do plášťa sviečky. Tam je závit na upevnenie sviečky. Na spodnej časti závitú sa nachádza vonkajšia elektróda. Dôležitým atribútom je vzdialenosť medzi týmito elektródami. Ak je vzdialenosť medzi nimi príliš malá, iskra je slabá, avšak pri veľkej vzdialenosti sviečka vynecháva. Ideálna vzdialenosť medzi elektródami je od 0,5 až do 1,2 mm. Na rozdiel od žhaviacej sviečky sa zapalovacia sviečka používa v benzínových motoroch počas celej doby spaľovania.

Pre potreby nášho projektu sme si ako vhodnejšiu alternatívu zvolili zapalovaciu sviečku typu NGK BPM7A, ktorá je bežne používaná v menších benzínových motoroch (napríklad záhradných kosačiek, motocykloch a podobne). Tento typ sviečky sme vybrali vďaka jej veľkosti, ktorá najlepšie spĺňala naše požiadavky, keďže je pre jej montáž iba málo priestoru vo vnútri motora.



Obrázok 38: Zapaľovacia sviečka NKG BPM7A [Zdroj: autor]

Ďalšou pridanou súčiastkou bolo malé elektrické zariadenie, ktoré vytvára iskru medzi elektródami zapaľovacej sviečky. Na tento účel sme použili zapaľovač z grilu vzhľadom na jeho kompaktnosť a jednoduchosť zapojenia a použitia. Napájaný je 1,5 V batériou typu AA a je v ňom zabudované tlačidlo pre vytvorenie iskry. Najskôr sme pomocou dvoch káblov otestovali či bude vytvárať dostatočnú iskru na zapaľovacej sviečke.

Po otestovaní a presvedčení sa, že takto zapojený obvod bude vytvárať dostatočne veľkú iskru na zapálenie zmesi, bolo nutné nájsť správne umiestnenie sviečky do plášťa motora a jej následné uchytenie pomocou matice. Keďže zapaľovacia sviečka použitá v našom motore má závit s netradičným stúpaním bežne dostupných matic (1,25 mm), bolo potrebné si takúto maticu nechať vyrobiť na mieru. Maticu vyrobenú na mieru však bolo pred samotnou inštaláciou ešte nutné upraviť tak, aby ju bolo možné vložiť do vnútra plášťa motora, keďže priestor medzi plášťom a prstencom spaľovacej komory je príliš úzky. Maticu sme museli zrezať na približne 1/3 jej pôvodnej hrúbky a prispôbiť ju tak, aby presne kopirovala okrúhly vnútorný tvar plášťa motora.

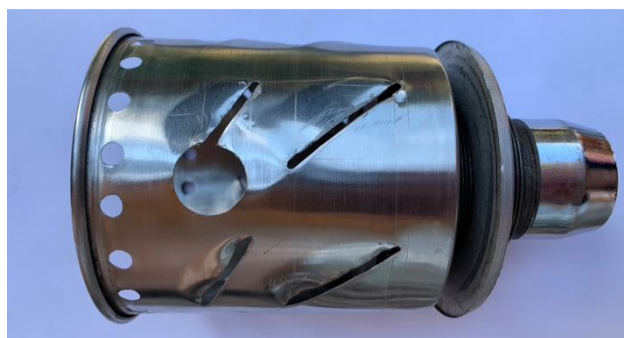


Obrázok 39: Pôvodná a upravená matica pre uchytenie zapaľovacej sviečky [Zdroj: autor]

Maticu do plášťa musíme umiestniť tak, aby bola zapaľovacia sviečka čo najbližšie k palivovým dýzám a preto sme si museli v rámci plášťa namerať ideálnu vzdialenosť pre jej inštaláciu. Ďalším krokom bolo vyvrtanie otvorov do plášťa motora a spaľovacej komory o priemere 14 mm.



Obrázok 40: Plášť motora s vyvrtaným otvorom pre zapaľovaciu sviečku [Zdroj: autor]



Obrázok 41: Spaľovacia komora s vyvrtaným otvorom pre zapaľovaciu sviečku [Zdroj: autor]

Do takto upraveného plášťa sme následne museli nainštalovať našu zrezanú maticu. Jednou možnosťou bolo maticu do plášťa navariť ale z dôvodu úzkej steny plášťa sme sa obávali, že dôjde k jeho zdeformovaniu a prepáleniu v dôsledku vysokej teploty. Preto sme si pre inštaláciu zvolili metódu vlepiania matice do vnútornej strany plášťa, keďže táto metóda je pre uchytenie našej matice dostatočná. Použili sme univerzálne dvojzložkové lepidlo na spájanie kovov, ktoré je odolné voči vode, benzínu, oleju a mnohým ďalším chemikáliám a zriedeným kyselinám. Má dobrú priľnavosť na mnohé povrchy (oceľ, zliatiny, hliník, keramika, betón). Výhodou tohto lepidla je jeho rýchle vytvrdenie, vysoká pevnosť, možnosť mechanického opracovania a odolnosť voči vysokým teplotám.



Obrázok 42: Uloženie matice v plášti motora [Zdroj: autor]

Po vytvrdnutí lepidla sme mohli vložiť naspäť do plášťa motora spaľovaciu komoru a vložiť zapalovaciu sviečku a skontrolovať jej umiestenie v spaľovacej komore.

Pre zapojenie zapalovača ku zapalovacej sviečke sme použili dva vodiče, ktoré sme z jednej strany pripevnili na kontakty zapalovača a ich konce sme napojili jeden priamo na sviečku a druhý na telo motora, aby sa tak vytvoril elektrický obvod a zaistili tak iskrenie medzi elektródami zapalovacej sviečky vo vnútri spaľovacej komory.

Pre takto zhotovený motor aj s jednoduchým spúšťacím systémom bolo treba vykonať testovanie a zistiť či nami navrhnutá a zhotovená spúšťacia sústava naozaj funguje. Pre tieto účely bolo nutné zhotoviť skúšobný „stend“, na ktorý sa motor namontuje a bude možné ho otestovať. Ako skúšobný stend sme si zvolili jednoduchú drevenú dosku s rozmermi 30x30 cm a hrúbkou 3 cm, do ktorej sme vyfrézovali dve polkruhové diery pre uloženie motora a jeho uchytenie pomocou hadicovej sťahovacej pásky. Ďalej sme naň upevnili zapalovač spolu s vodičmi a fľašu so zmesou propánu a butánu.

Testovanie prebiehalo nasledovne. Fľašu sme pripojili ku hadici s regulačným kohútom, ktorého úlohou je regulovať množstvo dodávaného paliva do palivových dýz. Otvorili sme kohút a tým zabezpečili prívod palivovej zmesi do motora. Pre roztočenie obežného kola kompresora sme využili stlačený vzduch z externého zdroja - kompresora. Keďže je turbína priamo hriadeľom napojená na kompresor, tak sa roztáča zároveň s ním. Súčasne s dodávaním paliva a vzduchu do motora, sme stlačili zapalovač, ktorý bol napojený vodičmi ku sviečke a uzatváral obvod pripojením ku motoru. Sviečka tak vytvárala v spaľovacej komore iskru a keďže sme mali zabezpečenú iskru, dodávku paliva do motora a aj dostatok vzduchu z rotujúceho kola kompresora, motor sa nám podarilo úspešne spustiť. Fotografie z testovania sú zobrazené nižšie.



Obrázok 43: Testovanie spúšťacej sústavy [Zdroj: autor]



Obrázok 44: Testovanie spúšťacej sústavy [Zdroj: autor]

SPÚŠŤANIE POMOCOU ELEKTROMOTORA

Na spustenie motora možno využiť viacero metód. Môžeme použiť niekoľko druhov spúšťáčov – piestový motor, generátor, vzduchový spúšťáč, turbokompresorový spúšťáč alebo elektrický motor. Pri testovaní sme využili pre spustenie stlačený vzduch, teda sme využívali princíp vzduchového spúšťáča. Vzhľadom na veľkosť nášho modelu sme sa snažili vybrať čo najefektívnejšiu možnosť.

Ďalšou vhodnou alternatívou spúšťania takéhoto malého experimentálneho motora, je roztočiť obežné koleso kompresora pomocou spúšťacieho elektromotora. Stačí nám na to malý elektromotor bežne dostupný v modelárskych obchodoch, ktorý sa využíva na pohon malých modelov lietadiel. Výhodami takéhoto elektrického motora sú malé rozmery, možnosť pracovať aj ako zdroj elektrického prúdu po naštartovaní motora, jednoduchosť prívodu elektrickej energie a jednoduchosť automatizácie spúšťacieho cyklu.

Pre napojenie elektromotora k nášmu motoru však bolo potrebné vykonať ešte jednu úpravu. Bolo treba navrhnuť a vytvoriť dodatočnú súčiastku, ktorá je zobrazená na obrázku nižšie. Táto súčiastka bude nainštalovaná na vstupe do motora a bude na ňu prichytený elektromotor.



Obrázok 45: Kríž pre uchytenie spúšťača [Zdroj: autor]

Z hliníkovej platne sme si najskôr vyrezali štvorec veľkosti 52x52 mm a hrúbkou 3 mm. Následne sme pomocou pílkou na železo z tejto hliníkovej platničky vytvorili štvoramenný kríž so šírkou ramena 10 mm a okraje sme potom dobrúsili ručným pilníkom na železo. Do každého ramena bolo potrebné navítať jednu diery pre uchytenie kríža na telo motora. Nakoniec sme vyvítali do stredu kríža jeden väčší otvor pre umiestnenie hriadeľa pre roztáčanie motora a štyri menšie otvory pre uchytenie elektromotora ku konštrukcii. Takto nachystaný kríž sme upevnili na motor a pripojili naň zakúpený elektromotor Turnigy L2855-2800 EDF Outrunner. Je to striedavý (brushless) motor s výkonom 730 wattov a s maximálnym ťahom 1200 gramov. Tento motor sme použili ako spúšťač pre roztočenie kompresora a turbíny pri spúšťaní.

Na spustenie nášho motora však nestačí iba pripojiť naň tento elektromotor. Ďalšou nevyhnutnou súčiastkou je aj regulátor otáčok, ktorý slúži zároveň aj ako výkonový menič napätia pre spúšťač elektromotor. Regulátor je napájaný z batérie z jednej strany a z druhej strany je napojený na elektromotor, v ktorom mení otáčky podľa potreby prostredníctvom ovládača. Vybrali sme si regulátor rovnakej značky ako elektromotor Turnigy, typ Multistar BLheli_32 ARM 51A Race Spec ESC. Výhodou tohoto regulátora je jeho jednoduchá inštalácia a nastavenie, hladké a lineárne ovládanie plynu, kalibrácia rozsahu plynu pre dokonalé prispôbenie sa riadiacemu signálu, ochrana motora voči preťaženiu a bezpečné zapnutie.

Na ovládanie regulátora sme využili 5 kanálový prijímač Turnigy 5RX 5Ch Mini 2.4GHz FHSS Receiver, ktorý je prijímačom až 2,4 GHz v plnom rozsahu. Tento prijímač je veľmi dobre skonštruovaný a ľahko ovládateľný, vďaka integrovanej LED kontrolke stavu zariadenia. Ku prijímaču je samozrejme potrebný aj vysielač. Ako vysielač môžeme použiť Turnigy 9X 9Ch. Je to digitálna plne programovateľná 9 kanálová páková vysielačka v pásme 2,4 GHz. Ponúka mnoho funkcií ale zároveň je veľmi prehľadná a zrozumiteľná. Vďaka LCD displeju je jej nastavovanie veľmi jednoduché. Na displeji sú zobrazené okamžité informácie o nastavení.

Takéto napojenie je samozrejme nutné znovu otestovať, či bude do motora dodávané požadované množstvo vzduchu, ktoré je nevyhnutné pre proces horenia v spaľovacej komore.

V. ZÁVER

Cieľom tejto diplomovej práce bolo navrhnúť spúšťačiu sústavu pre malý experimentálny jednorúrovňový motor SHAKER. Najskôr bolo potrebné si sústavu navrhnúť v počítačovom programe pre 3D modelovanie a upraviť už existujúci návrh o nové súčiastky. Takto navrhnutý model sme v praxi zostrojili a otestovali jeho funkčnosť.

Nami navrhnutú spúšťačiu sústavu tvorila zapalovacia sviečka umiestnená do spaľovacej komory, dva vodiče, ktoré spájali sviečku so zapalovačom a s upevnením na motor vytvárali elektrický obvod a tlaková fľaša so zmesou paliva napojená hadicou k motoru. Poslednou časťou, ktorá bola pre testovanie potrebná bol skúšobný stend na upevnenie motora a dosiahnutie tak jeho stability pri procese testovania.

Proces testovanie prebiehal nasledovne. Na predpripravený upravený stend sme si pripojili motor s už zapojeným zapalovačom. Zapalovač sme dobre pripojili k stendu. Poslednou chýbajúcou zložkou bola tlaková nádoba s propán-butánovou zmesou, ktorá nám slúžila ako palivo. Dodávka paliva do motora bola zabezpečená prostredníctvom hadice s regulačným kohútom, ktorá bola súčasťou motora. Otvorili sme prívod paliva a postupne regulovali jeho množstvo dodávané do spaľovacej komory. Súčasne sme držali tlačidlo zapalovača, čím sme vytvárali v spaľovacej komore na elektródach sviečky iskru. Keď sme začuli, že palivo v komore bolo úspešne zapálené, použili sme externý zdroj stlačeného vzduchu na roztočenie kompresora a zároveň aj turbíny, keďže kompresor a turbína sú v tomto motore vzájomne prepojené hriadeľom. Týmto spôsobom sa nám podarilo úspešne spustiť tento experimentálny jednorúrovňový motor SHAKER. Motor však nemôže byť dlho spustený, keďže nemá navrhnutú olejovú sústavu, ktorá je nevyhnutná pre správny a bezpečný chod akéhokoľvek motora.

Nami navrhnutá zapalovacia sústava teda funguje, no takéto zapalovanie by v praxi nebolo veľmi efektívne. Preto navrhujeme pre spustenie motora využiť elektrický motor, ktorý je výhodný najmä z hľadiska jeho malých rozmerov a jednoduchosti zapojenia i používania. Elektrický motor by bol zapojený ku vstupnému ústrojenstvu motora a slúžil by na roztáčanie obežného kola kompresora a turbíny. Elektromotor, ktorý by bol z hľadiska veľkosti nášho modelu dostačujúci je možné zakúpiť v akomkoľvek modelárskom obchode.

Problémom pri takomto riešení spúšťačej sústavy by ale mohol byť práve vstup do motora, ktorý má pomerne malý priemer a tak by sa mohlo stať, že motor nebude nasávať dostatočné množstvo vzduchu, ktoré je potrebné pre proces horenia v spaľovacej komore.

POĎAKOVANIE

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu **KEGA 048ŽU-4/2020** s názvom "Zvyšovanie kľúčových kompetencií v oblasti technológie údržby lietadiel prostredníctvom transferu progresívnych metód do vzdelávacieho procesu".

REFERENCIE

- [1] ROLLS ROYCE. 1986. The Jet engine. 5. vyd. United Kingdom, 1986. 292s. ISBN 0902121 235
- [2] KŘÍŽ J. 2008. Pohonná jednotka: JAA ATPL výcvik. Žilina: EDIS, 2008. 285 s. ISBN 978-80-8070-872-6
KOCÁB J. – ADAMEC J. 2000. Letadlové motory. 1. vyd. Praha: KANT cz s. r. o., 2000. 176 s. ISBN 80-902914-0-6
- [3] HUNECKE K. 2000. Jet Engines: Fundamentals of theory, desing and operation. 4. vyd. USA: Motorbooks International Publishers & Wholesalers, 1997. 233 s. ISBN 0-7603-0459-9
- [4] CAE OAA – 04: Aircraft General Knowledge 3: Powerplant: CAE Oxford Aviation Academy (UK) Limited, 2014. 454 s. ISBN 978-1906202675
- [5] HANUS D. – MARŠÁLEK J. Turbinový motor: studijní modul 15. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 207 s. ISBN 80-7204-369-2.
- [6] OTT A. 1977. Základy teorie a konstrukce leteckých lopatkových motorů, Brno: VA. 476 s.
- [7] BPM7A NGK 7321 Spark Plug [Online]. Dostupné na internete: <https://www.ngk.com/product.aspx?zpid=9431> (citované 2020-05-15)
- [8] 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
- [9] 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>

Bc. Filip Šlenker – narodený dňa 25.03.1995 v Handlovej, absolvoval v roku 2014 Obchodnú akadémiu v Prievidzi, následne od roku 2015 študoval leteckú dopravu na Žilinskej univerzite v Žiline, druhý stupeň vysokoškolského štúdia bol zameraný na odbor technológia údržby lietadiel.