



INNOVATION OPTIONS FOR SELECTED M60 ENGINE SYSTEMS: IGNITION SYSTEM AND ENGINE PARAMETER MONITORING

Matúš Suchanovský
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The topic of this paper is the possibility of innovating the ignition system of the M60 engine. The main part is the practical solution of the assignment. It shows the condition of the original ignition system, which was innovated in this work. It was a contact ignition system with a fixed advance, using a system of hammers. This solution was replaced by a new type of ignition, specifically an electronic ignition system that allows to change the ignition advance depending on the engine speed and load. The main parts of the new system consist of a control unit and a Hall sensor. It is these two components that make the main difference compared to the original ignition system. We deal with a more detailed description of design, construction and installation in the practical part. We paid attention to the design, the wiring diagram and its installation. At this stage, we addressed the possibilities of fastening a Hall sensor. The use of old components for assembly was not possible, so we proceeded to the design and production of new ones. The innovative ignition system will allow the engine to achieve higher power, lower consumption and the proportion of pollutants in the exhaust gases

Keywords

Ignition advance, Ignition system, Ignition, Ignition optimization, Hall sensor

1. ÚVOD

Zrod prvého lietadla, ktoré bolo možné následne použiť na komerčné účely naša civilizácia rýchlo prijala a začala s jeho využívaním na rôzne druhy činností. Lietadlá našli uplatnenie nielen v osobnej doprave, a to v súkromných spoločnostiach alebo u jednotlivcov, ktorí ich využívajú na rýchle a komfortné presuny, ale aj v záchranných zložkách, u vojska a v nemalej miere aj v nákladnej doprave. S prudkým rozvojom a narastajúcim dopytom po leteckej doprave bol neodmysliteľnou súčasťou vývoj technológií používaných v lietadlách. Bolo nutné prispôsobiť konštrukčné časti lietadiel, ako aj ich pohonné jednotky a všetky ostatné zariadenia potrebné pre zabezpečenie bezpečnej prevádzky. V súčasnosti sa vynakladá značné úsilie aby boli súčasné pohonné jednotky šetrnejšie k životnému prostrediu, preto je dôležité venovať pozornosť systémom, ktoré dokážu znížiť ekologické dopady na požadovanú úroveň.

Najdôležitejšou časťou motorových lietadiel sú pohonné jednotky, ktoré zabezpečujú uskutočnenie samotného letu. Nežiadúcim javom ich prevádzky je produkcia škodlivých látok (pri spaľovacích pohonných jednotkách). Pri veľkom množstve lietadiel, ktoré sú dnes používané, bolo preto nutné začať intenzívne pracovať na ich úpravách. Vyžaduje sa, aby prevádzka pohonných jednotiek bola čo najefektívnejšia a zároveň aby spĺňala kritéria stanovené celosvetovými požiadavkami na nižšie emisie. Tie stanovujú povolené množstvo škodlivých emisií vo výfukových plynch najmä v rámci krajín EÚ. Navrhnutím a neustálym vývojom moderných elektronických zariadení je dnes už možné v pohonných jednotkách kontrolovať a riadiť komplexnú prevádzku jednotlivých sústav, napríklad spaľovacieho systému, výfukového systému a všetkých ostatných systémov potrebných pre činnosť motora.

V minulosti bol už samotný štart pohonných jednotiek náročný a dochádzalo pri ňom k uvoľňovaniu obrovského množstva spalín. Tento nežiadúci jav bolo nutné vyriešiť, preto sa začalo aj s vývojom a úpravou systému zapalovania. Prvé zapalovacie sústavy nedokázali presným spôsobom zapáliť zmes a často dochádzalo k ich poruchám. Preto sa hľadali a vyvíjali sofistikovanejšie, presnejšie, výkonnejšie a bezpečnejšie typy.

Jedným z kvalitných a moderných druhov zapalovacích sústav je riadenie pomocou elektronickej riadiacej jednotky a bezkontaktného snímania polohy kľukového hriadeľa.

Nahradením pôvodného kontaktného zapalovania motora M60 elektronickým zapalovaním sa zefektívni proces spaľovania, čím sa zníži spotreba paliva, uľahčí sa štart a zvýši výkon motora a zníži obsah škodlivých látok vo výfukových plynch. V porovnaní s pôvodným systémom obsahuje menej komponentov, čím sa minimalizujú prevádzkové náklady na údržbu, opravu a chod motora.

Sústavným vývojom technológií a materiálov je možné modernizovať aj staršie typy použitých zariadení. Ich úpravou dosiahneme vyššiu efektívnosť motora a naplnenie požiadaviek pre použitie v súčasnosti. Zámerom je tiež predĺženie životných cyklov motora.

2. OPTIMALIZÁCIA ZAPALOVACEJ SÚSTAVY MOTORA M60

M60 je dvojtaktný štvorvalcový motor typu boxer, ktorý nebol sériovo vyrábaný. Z tohto dôvodu neexistuje dohľadateľná dokumentácia zapalovacej sústavy inštalovanej v tomto motore. Jedná sa však o jednoduchý systém, v ktorom sa pomocou vačky umiestnenej na kľukovej hriadeľi ovládajú kontakty prerušovačov pod uhlom 180°. Každý z nich riadi jednu cievku s dvoma vývodmi z jedného sekundárneho vinutia. Tento systém

je zdvojený a pod dvojicou kontaktov prerušovača je uložená ešte druhá dvojica znázornená na obrázku 1. Predstih zapalovania je nastavený pevne na 22° kľukového hriadeľa pred dosiahnutím hornej úvrate s napájacím napätím 12 voltov.



Obrázok 1: Druhá dvojica prerušovacích kontaktov motora M60. [Zdroj: autori]

K zapáleniu zmesi v dvojtaktnom motore typu boxer dochádza každým pootočením kľukového hriadeľa o 180°. Zmes sa v jednotlivých valcoch zapaluje v poradí, kde 1 a 2 valec súčasne a následne 3 a 4 valec súčasne. Pri pohľade na motor spredu môžeme vidieť, že k tomuto procesu dochádza najprv prednej strane motora a až potom na zadnej. Obrázok 2 ilustruje poradie zapálenia zmesi v jednotlivých valcoch. [1]



Obrázok 2: Znázornenie poradia zapálenia zmesi v motore typu boxer. [Zdroj: <https://www.autoforum.cz/technika/jak-funguje-motor-typu-boxer-funkcni-model-z-3d-tiskarny-vam-to-ukaze-zevnitř/>]

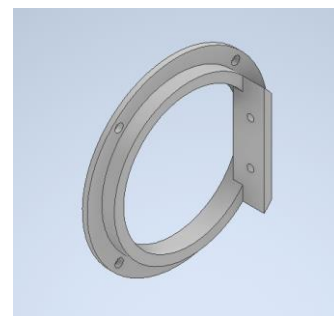
2.1. Uchytenie Hallovhho snímača

Pôvodný systém zapalovania sme nahradili úplným elektronickým zapalovaním. Snímanie polohy kľukového hriadeľa je zabezpečené pomocou Hallovhho snímača. Niekdajšie riešenie však pre jeho inštaláciu nebolo prispôbené, z toho dôvodu bolo potrebné navrhnuť a vyrobiť špeciálnu konzolu pre jeho uchytenie. Dôležitým parametrom pri navrhovaní a zameriavaní konzoly snímača bol existujúci otvor v bloku motora, ktorým prechádzali elektrické vodiče k pôvodne nainštalovanému kladivkovému zapalovaniu. Tento otvor sme sa rozhodli použiť aj pri našom elektrickom pripojení Hallovhho snímača, nakoľko ďalšie navrtávanie by znižovalo jeho pevnosť a zvyšovalo možnosť prenikania cudzích látok do vnútorných častí motora. Po zohľadnení pôvodného stavu, sme preto nameranie umiestnenia polohy snímača situovali priamo nad otvor bloku motora. To určilo aj miesto jeho montáže. Pre nameranie rozmerov základnej konzoly a ďalších komponentov nami navrhovaných zapalovania bolo nevyhnutné najskôr demontovať všetky časti pôvodného kladivkového zapalovania.

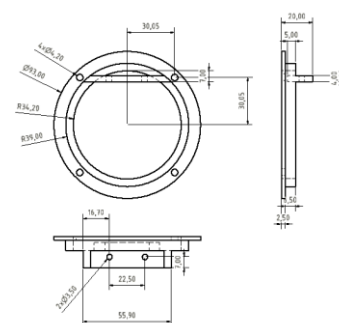
Venovať pozornosť bolo potrebné hlavne na zameranie prstenca konzoly, ktorý sa vsúva do bloku motora pri ústí kľukového hriadeľa. V našom prípade sme museli zohľadniť a opakovanými meraniami určiť polohu, smer a vzdialenosť ukotvovacieho bodu Hallovhho snímača, aby jeho poloha bola v presnej vzdialenosti od osi kľukového hriadeľa a nedochádzalo tak k nárazom a treniu oceľového kotúča do snímača. Pre dokonalé usadenie ukotvovacieho týmto krokom sme chceli predísť nežiadúcemu vibrovaniu a pohybu snímača. Samozrejmosťou bolo tiež presné nameranie otvorov na zaistovacie skrutky umiestnené na hornej stene prstenca. V ďalšej fáze sme zamerali medzikus kľukového hriadeľa. Jeho valcovitý priemer musel byť rozmerovo identický s priemerom odnímateľnej vačky a jeho výška, po odpočítaní hrúbky oceľového kotúča, musela zodpovedať výške stredového otvoru snímača po uchytení na konzolu. Nameraním stredu medzikusu sme tak určili miesto na otvor pre skrutku, ktorá bude spájať medzikus s kľukovým hriadeľom. Pri meraní sme zohľadňovali aj následné dočistenie, obrusovanie a dolešťovanie styčných plôch tak, aby po realizovaní týchto úkonov, všetky merané parametre zodpovedali skutočným rozmerom nami navrhovaných komponentov.

Vizualizácie návrhov požadovaných súčiastok sme vyhotovili v programe Autodesk Inventor (obrázky 3 a 5). Z návrhov sme následne vychádzali pri tvorbe výslednej výkresovej dokumentácie (obrázky 4 a 6).

Na výrobu konzoly sme museli zvoliť a zabezpečiť vhodný typ materiálu. Prvý kus bol zhotovený z bežnej ocele. Pri jeho výrobe však došlo k deformácii, až lomu prstenca konzoly. Z tohto dôvodu bolo nutné použiť materiál typu HARDOX 600. Jedná sa o vysoko pevnostnú oceľ. Opracovanie do požadovaných tvarov a rozmerov zaistilo špecializované zariadenie CNC, vďaka ktorému výroba dosiahla presnosť 0,05 mm. Drážku pre upevňovací bod snímača sme vytvorili zafrézovaním do konzoly a pomocou bodových zvarov zaistili proti pohybu v konzole. Dodatočne sme zabrusili dotykové plochy [2].

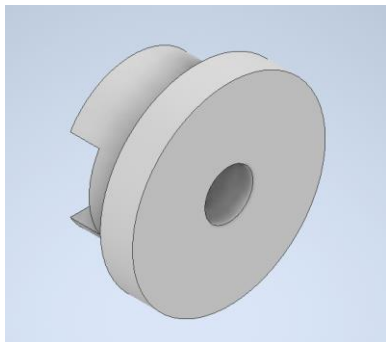


Obrázok 3: Konzola pre Hallovhho snímač. [Zdroj: autori]

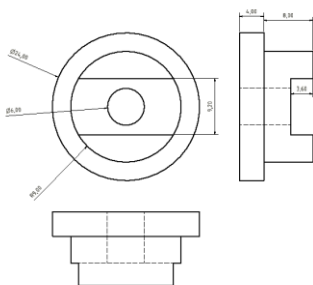


Obrázok 4: Výkres návrhu konzoly. [Zdroj: autori]

Hallov snímač pre svoju činnosť potrebuje oceľový kotúč uchytený na kľukový hriadeľ. Vačku je možné, vďaka jej odnímateľnosti, nahradiť špeciálnym medzikusom, na ktorý sa kotúč upevní pomocou skrutky. Voľba materiálu a proces výroby uplatnené pri špeciálnom medzikuse boli rovnaké ako pri konzole snímača.

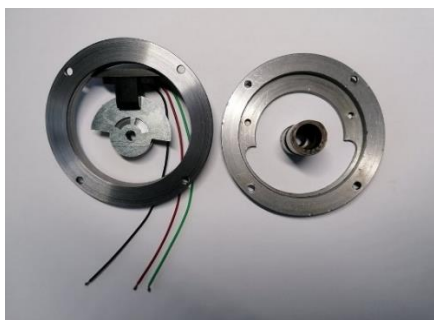


Obrázok 5: Medzikus kľukového hriadeľa. [Zdroj: autori]



Obrázok 6: Výkres návrhu medzikusu kľukového hriadeľa. [Zdroj: autori]

Po výrobe navrhnutých komponentov nasledovala montáž. Do bloku motora sme vsunuli špeciálnu konzolu, ktorú sme upevnili skrutkami a následne sme na ňu upevnili Hallov snímač zaistený skrutkami. Špeciálny medzikus kľukového hriadeľa sme spolu s oceľovým kotúčom tiež uchytili do kľukového hriadeľa skrutkou. Na obrázku 7 môžeme vidieť porovnanie novej a starej konzoly.



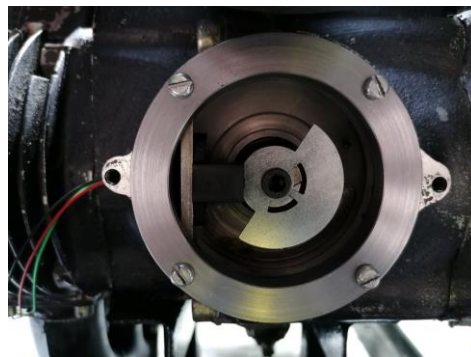
Obrázok 7: Porovnanie novej konzoly (ľavá strana) so starou. [Zdroj: autori]

2.2. Zapojenie elektronického zapalovania

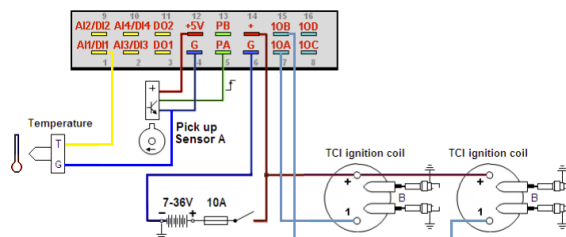
Srdce novej zapalovacej sústavy je tvorené riadiacou jednotkou ECU MASTER – MAP senzor od spoločnosti IMFsoft, s.r.o.. Aplikáciou takejto riadiacej jednotky dokážeme zabezpečiť nie len riadenie a optimalizáciu zapalovania, ale aj vstrekovacej

sústavy. Zefektívnenie zapalovania a vstrekovania prebieha na základe vstupných údajov, získaných zo snímačov upevnených na motore. V našom zapojení sú získavanými údajmi dáta o polohe kľukového hriadeľa a teploty hlavy valca. Snímanie polohy kľukového hriadeľa je zabezpečené pomocou Hallovho snímača (obrázok 8), ktorý sme si vybrali pre jeho lepšie vlastnosti v porovnaní s inými typmi snímačov. Ide o konštrukčne jednoduchý systém, ale zároveň veľmi presný a spoľahlivý, pretože nie je závislý od okolitého prostredia. Okrem už spomenutých výhod má oproti kontaktnému zapalovaniu vyššiu životnosť, pretože nedochádza k priamemu prechodu prúdu k zapalovacím sviečkam. Hallov snímač vysiela signál len do riadiacej jednotky. Z nej sú v požadovaný moment napájané zapalovacie cievky a zapalovacie sviečky. Vodiče vyvedené z Hallovho snímača bolo potrebné predĺžiť, aby bolo možné ich pripojenie ku vstupnému konektoru riadiacej jednotky, pomocou špeciálnych konektorov zasúvaných do vstupného konektora [3].

Ich umiestnenie na konektore je dané schémou zapojenia, ktorú sme si museli upraviť pre naše potreby (obrázok 9). Je dôležité, aby boli vodiče zapojené v správnom usporiadaní, preto sú farebne rozlíšené. V opačnom prípade by zapalovanie nepracovalo správne. Nemôžu byť tiež vedené súbežne s vodičmi zapalovacích cievok pripojených na vstup 10A a 10B alebo s inými vysokonapäťovými vodičmi. Červený vodič sme pripojili na vstup „12“, ktorým je napájaný snímač kladným napätím 5 voltov. Vstup „4“ slúži na uzemnenie obvodu a pripájame naň vodič s modrou farbou. Ich zapojením sa tak uzatvorí obvod a môže ním pretekať prúd. Signál pre riadenie zapalovania sa do riadiacej jednotky privádza zeleným vodičom pripojeným na vstup „5“ [3].



Obrázok 8: Nová upevnená konzola s Hallovým snímačom, medzikusom a oceľovým kotúčom. [Zdroj: autori]

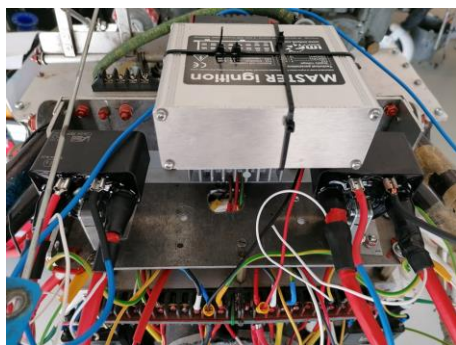


Obrázok 9: Schéma zapojenia nového elektronického zapalovania. [Zdroj:

https://imfsoft.com/files/master/documentation/MasterSchemeV8_43_EN.pdf, upravili autori]

Zdrojom energie pre riadiacu jednotku a ostatných častí zapaľovacej sústavy je akumulátor s napätím 12 voltov. Pri pripájaní akumulátora ako zdroja energie je tiež dôležité dodržať polaritu zapojenia. Napájanie a všetky zapaľovacie vstupy sú chránené proti prepätiu a prepólovaniu, aby nemohlo dôjsť k poškodeniu riadiacej jednotky a pridružených častí. Kladný pól akumulátora je označený symbolom „+“ a vodič od neho vedúci má červenú farbu. Záporný pól akumulátora je uzemnený a označený symbolom „-“. V tomto prípade má vodič čiernu farbu. Na pripojenie vodičov k akumulátoru sme použili svorkovnice, ktoré zabezpečujú dokonalé spojenie vodiča a výstupu, čím nedochádza ku skratom a prehrievaniu vodičov a celej elektrickej sústavy. Kladný pól akumulátora pripájame na vstup „14“ a záporný na vstup „6“. Samotné napájanie musí byť vedené cez 10 ampérovú poistku, ktorá ochráni zapaľovaciu sústavu v prípade prepólovania, prepätia alebo iných porúch [3].

Ďalšou dôležitou časťou sú zapaľovacie cievky. Tie transformujú nízke napätie z akumulátora na vysoké napätie privádzané na zapaľovacie sviečky. V našom elektrickom obvode sa nachádzajú dve rovnaké zapaľovacie cievky, z ktorých každá má dvojicu výstupov zo sekundárneho vinutia. Vstup kladného pólu pre pripojenie zapaľovacích cievok do riadiacej jednotky je rovnaký ako pre kladný pól akumulátora, a teda vstup „14“. Do vstupného konektora sa však pripája len po jednom vodiči pre jednotlivé vstupy. Riadiacu jednotku ku akumulátoru sme pripojili nasledovným spôsobom. Vodič od kladného pólu akumulátora sme priviedli do svorkovnice, od ktorej vedú vodiče do pripájacieho konektora riadiacej jednotky a zároveň aj na kladný pól zapaľovacích cievok. Záporné póly zapaľovacích cievok sú pripojené na vstupy „7“ a „15“ pripájacieho konektora riadiacej jednotky. Výstupy pre zapaľovanie nie sú chránené proti skratu, z toho dôvodu sa výstupy 10A až 10D nesmú pripájať na kladný pól zdroja, resp. k jeho vstupu na riadiacej jednotke. K zopnutiu elektrického obvodu na zapaľovacích cievkach dôjde na základe signálu z riadiacej jednotky, v dôsledku čoho sa v sekundárnom vinutí indukuje vysoké napätie (obrázok 10) [3].



Obrázok 10: Riadiaca jednotka a zapaľovacie cievky. [Zdroj: autori]

Zo zapaľovacích cievok vedú vysoko napäťové zapaľovacie vodiče, ktoré majú nízky odpor a sú odolné voči okolitému rušeniu a zároveň aj voči mechanickému poškodeniu vznikajúcemu pri ich zohrievaní vplyvom prechádzajúceho prúdu. Sú pripojené k zapaľovacím sviečkam pomocou koncovky zapaľovacej sviečky. Napätím, ktoré na zapaľovacie sviečky privádzame, dochádza k zapáleniu pracovnej zmesi. Zapaľovacie sviečky, hlava valca a blok motora musia byť pripojené na záporný pól zdroja, aby bol zabezpečený tok prúdu zo sekundárnych vinutí zapaľovacích cievok [3] [4].

Zapaľovacia sústava musí byť inštalovaná tak, aby nebola priamo vystavená vode, chemikáliám, veľmi vysokým teplotám alebo vibráciám, pretože by to mohlo viesť k poškodeniu alebo až zničeniu funkčnosti zapaľovania [3].

Súčasťou novej zapaľovacej sústavy je aj termoelektrický snímač teploty hlavy valca umiestnený pod zapaľovacou sviečkou (obrázok 11). Údaj o teplote sa získavajú pomocou termoelektrického napätia, ktorého veľkosť sa odvíja od úrovne teploty pôsobiacej na snímač. Riadiaca jednotka obsahuje vstupy AI1 až AI4. Pripájame k nim snímače teploty v závislosti od druhu signálu, ktorý vytvárajú. Ak sa jedná o napäťový signál, vodiče od snímača pripájame na vstupy AI1 a AI2. V prípade odporového signálu sa vodiče pripájajú na vstupy AI3 a AI4. V našom zapojení sme použili jeden termoelektrický snímač, z ktorého získavame napäťový signál, preto sme od neho vedúci vodič pripojili na napäťový vstup 1 (AI1) [3] [5].



Obrázok 11: Zapojenie termoelektrického snímača. [Zdroj: autori]

Nová elektronická zapaľovacia sústava a jej navrhnuté súčasti sú kompatibilné s pôvodnými tak, ako je znázornené na obrázku 12.



Obrázok 12: Motor M60 s riadiacou jednotkou a založeným krytom kľukového hriadeľa. [Zdroj: autori]

Aby sme zvýšili bezpečnosť a znížili riziko vysadenia motora počas letu v dôsledku poruchy zapaľovacej sústavy, použili sme už inštalovaný zapaľovací systém VAPE ako záložný. Jedná sa o bezkontaktné zapaľovanie, ktoré má pevne nastavený predstih zapaľovania. Motor M60 má na každom valci inštalovanú dvojicu sviečok. To nám umožnilo použiť na každom valci jednu sviečku pre nové elektronické zapaľovanie a druhú pre záložné zapaľovanie systému VAPE.

Po inštalácii novej elektrickej zapaľovacej sústavy bude potrebné nastaviť predstih zapaľovania. Na to slúži software

dodaný výrobcom, prostredníctvom ktorého vieme zobrazit parametre motora a následne upravovať predstih zapalovania.

Uvedený proces prebieha tak, že pripojíme dátový kábel z jednej strany k riadiacej jednotke a z druhej pomocou USB vstupu k zariadeniu slúžiacemu na zobrazenie vstupných údajov a vykonanie potrebných zmien pre optimalizáciu zapalovania [3].

2.3. Hybridný letecký pohon

Motor M60 môžeme upraviť a následne využiť v kombinácii s technológiami pohonu, ktoré v letectve stále nie sú bežné. Mnohé z nich sa už využívajú vo veľkom počte napríklad na pohon automobilov. Medzi takéto riešenia patrí aj elektrický hybridný systém [6].

„Do oblasti alternatívnych technológií pohonu možno zaradiť hybridné elektrické pohonné systémy. Alternatívne technológie pohonu zahŕňajú aj iné spôsoby pohonu lietadiel, ktoré sa líšia od konvenčného pohonu. Do tejto kategórie môžeme zaradiť pohonné systémy využívajúce alternatívne palivá alebo využívajúce solárnu energiu.“ [6]

„Elektrický hybridný pohonný systém teda môžeme nazvať pohonným systémom, ktorý využíva na pohon klasický spaľovací motor a elektromotor. V hybridno-elektrickom pohonnom systéme sa ako zdroj energie používa letecké palivo alebo batérie. Najčastejšie používané hybridné pohonné systémy sú paralelné a sériové systémy.“ [6]

„Paralelný hybridný systém využíva spaľovací motor pracujúci paralelne s elektromotorom, zatiaľ čo sériový hybridný systém pozostáva zo spolupracujúceho spaľovacieho motora a elektromotora zaradených do série.“ [6]

3. ZÁVER

Cieľom článku bolo navrhnúť možnú optimalizáciu zapalovacej sústavy motora M60. Pôvodná zapalovacia sústava mala predstih zapalovania nastavený pevne na uhol 22° kľukového hriadeľa pred dosiahnutím horného úvratu. Nebola tak možná zmena predstihu zapalovania s meniacimi sa otáčkami a zaťažením, preto táto zapalovacia sústava neumožnila vyvinutie maximálneho možného tlaku v správnej polohe piesta. Tento problém sme sa rozhodli odstrániť náhradou pôvodnej zapalovacej sústavy za novú, ktorá by predstih zapalovania dokázala meniť v závislosti od otáčok a zaťaženia motora.

Inováciu sme zrealizovali inštalovaním elektrickej zapalovacej sústavy. Jej hlavnou časťou je riadiaca jednotka ECU MASTER – MAP senzor od spoločnosti IMFsoft s.r.o.. Na upevnenie Hallovho snímača bolo potrebné navrhnúť a vyrobiť špeciálnu konzolu a rovnako aj medzikus pre upevnenie oceľového kotúča. Pomocou neho získavame pri otáčaní kľukového hriadeľa údaje o jeho polohe. Výsledkom presného zosnímania polohy kľukového hriadeľa je optimalizované nastavenie predzápalu ako aj výkonu motora pri jeho chode. Riadiaca jednotka umožňuje tiež snímanie teploty hlavy valca a zaťaženia motora na základe tlaku za škrtiacou klapkou v sacom potrubí pomocou integrovaného snímača tlaku. Okrem toho je možné pomocou tejto riadiacej jednotky nastaviť aj vstrekovanie paliva do spaľovacieho priestoru valca. Jedná sa tak o zariadenie, ktoré vo veľkej miere dokáže zo získaných údajov zvýšiť hospodárnosť motora.

Motor M60 na ktorom boli vykonané úpravy obsahoval aj zapalovací systém VAPE. Ten sme ponechali inštalovaný, slúži ako záložný zapalovací systém v prípade poruchy elektrickej zapalovacej sústavy. Výrazným spôsobom sa tak zvýši spoľahlivosť zapalovacej sústavy ako celku rovnako, ako aj bezpečnosť letu lietadiel s takýmto riešením zapalovania.

V súčasnosti sa kladie čoraz väčší dôraz na množstvo škodlivých látok vo výfukových plynch, vylučovaných pri prevádzke spaľovacích motorov. Kým staršie motory produkovali veľké a neregulovateľné množstvo týchto látok, nové motory svojou činnosťou už na životné prostredie vplyvajú menej negatívne. Zníženie škodlivých emisií je do značnej miery dosiahnuté optimalizáciou procesu spaľovania prostredníctvom elektrickej zapalovacej sústavy.

Z tohto dôvodu je využitie elektrického zapalovania výhodné aj pri leteckých motoroch. Emisné požiadavky sú stále prísnejšie a množstvo starších typov spaľovacích motorov im nebude schopné vyhovieť. Pre zabezpečenie ich najdlhšej možnej prevádzky musíme docieľiť, aby výsledná hodnota škodlivých látok vo výfukových plynch bola čo najnižšia. Aj v tomto prípade môže byť riešením inovácia zapalovacej sústavy, ktorá dokáže znížiť spotrebu paliva aj množstvo škodlivých exhalátov.

Ďalším dôvodom pre zmenu je vysoká nákladovosť prevádzky lietadiel. Výraznou položkou v nej je práve palivo. Preto sa hľadajú alternatívy na jej zníženie. Jednou z nich je optimalizácia procesu spaľovania, napríklad inštaláciou elektrickej zapalovacej sústavy. Nová zapalovacia sústava je teda prínosom nie len pre prevádzkovateľov lietadiel, ale aj pre celú civilizáciu v súčasnosti a rovnako tiež pre budúce generácie.

ACKNOWLEDGMENT

This paper is an output of the project of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic VEGA 1/0695/21 "Air transport and COVID-19: Research of the crises impacts with a focus on the possibilities to revitalize the industry".

REFERENCIE

- [1] Autoforum.cz. Jak funguje motor typu Boxer?. Dostupné na internete: <https://www.autoforum.cz/technika/jak-funguje-motor-typu-boxer-funkcni-model-z-3d-tiskarny-vam-to-ukaze-zevnitr/> (citované: 11-04-2022)
- [2] Lomyatezba.cz. Deset věcí, které byste o Hardoxu chtěli vědět, ale zapomněli jste se zeptat. Dostupné na internete: <https://www.lomyatezba.cz/2019/2019-1/item/927-deset-veci-ktere-byste-o-hardoxu-chteli-vedet-ale-zapomneli-jste-se-zeptat> (citované: 27-02-2022)
- [3] IMFsoft.com. ECU MASTER CDI – TCI scheme & configuration. Dostupné na internete: https://imfsoft.com/files/master/documentation/MasterSchemeV8_43_EN.pdf (citované: 02-03-2022)
- [4] Mototechnika.cz. Kabel zapalovací. Dostupné na internete: <https://www.mototechnika.cz/prislusenstvi-doplanky/ni50347830.html> (citované: 03-03-2022)
- [5] Youtube.com. The Thermoelectric Effect – Seebeck & Peltier Effects. Dostupné na internete:

https://www.youtube.com/watch?v=cZodo_BxBlo
(citované: 03-03-2022)

- [6] JANOVEC, M. et al. 2021. Design of Batteries for a Hybrid Propulsion System of a Training Aircraft. In *Energies*. ISSN 1996-1073, 2022, vol. 15, no. 1, p. 1-18.
- [7] ČERŇAN, J., HOCKO, M. 2020. Turbínový motor I. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2020. 335 s. ISBN 978-80-554-1673-1.
- [8] BUGAJ, M. 2011. Systémy údržby lietadiel. vyd. - V Žiline : Žilinská univerzita, 2011. - 142 s., ilustr. - ISBN 978-80-554-0301-4.
- [9] BUGAJ, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.
- [10] HRÚZ, M., PECHO, P., MARIÁŠOVÁ, T., BUGAJ, M. 2020. Innovative changes in maintenance strategies of ATO's aircraft. *Transportation Research Procedia*, 2020, 51, pp. 261–270. ISSN 23521457.
- [11] Černan, J., Škultéty, F. Design of the air velocity measuring inlet channel for the small jet engine. *Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2020, 2020-September*, pp. 942–945. ISSN 1822296X.
- [12] Bugaj, M., Urminský, T., Rostáš, J., Pecho, P. 2019. Aircraft maintenance reserves - New approach to optimization. *Transportation Research Procedia*, 2019, 43, pp. 31–40. ISSN 23521457.
- [13] NOVÁK, A., HAVEL, K., JANOVEC, M. 2017. Measuring and testing the instrument landing system at the airport Žilina, *Transportation Research Procedia* 28, pp. 117-126 .