

POSSIBLE MODIFICATIONS OF THE AUTOMOBILE PISTON PETROL ENGINE FOR AIRCRAFT PROPULSION: COOLING, STARTING AND IGNITION SYSTEM

MOŽNOSTI ÚPRAVY AUTOMOBILOVÉHO PIESTOVÉHO ZÁŽIHOVÉHO MOTORA PRE POHON LETÚNOV: CHLADIACA, SPÚŠŤACIA A ZAPAĽOVACIA SÚSTAVA

Zuzana Malíková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Malikova22@stud.uniza.sk

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

Abstract

The main goal of our work was to design a possible modification of the automobile piston petrol engine for aircraft propulsion and subsequently its implementation. The paper can be divided into four main units. The first part is aimed on the history and development of automobile and aircraft piston engines. We focused on their construction and gradual improvement of performance. The second unit is dedicated to theoretical knowledge of the cooling, starting and ignition systems. In the cooling system, we mainly described air cooling and the required components needed for that process. In the starting system, we paid attention to the necessity of starting gears, their types and uses. We described mainly electric starters and then we attached a diagram of the starting system. In the ignition system, we described the structural elements required for the process of igniting a mixture of fuel and air. In the following section, we described the engine used for aeroconversion, its parameters and the reason for its selection. In the last part we deal with the practical part of the paper. We created the component models needed for the complete construction of these systems, which were created in the computer program Autodesk Inventor Professional 2021. We prepared the cooling system for more efficient air cooling by adding deflectors, in the starting system we used a starter with a reducer to increase torque and reduce fuel consumption and in the ignition system, we proposed a modification of the flywheel made of dural material, which would reduce the overall weight of the engine. The result of our work is a finished design for aeroconversion of a flat four-cylinder engine. The modified engine is suitable for ultralight aircraft.

Keywords

Piston engine, Cooling system, Starting system, Ignition system, Conversion

1. Úvod

Ľudia už od dávnych čias snívajú o lietaní. Prvé pokusy o lietanie dopadli neúspešne. Hlavným dôvodom neúspechu bol nedostatok technológie potrebnej na dodávku dostatočného množstva mechanickej energie, ktorá by udržala letún vo vzduchu. Prvé letecké motory sa vyrábali na princípe konštrukcie staršieho spaľovacieho motora. V 19. storočí začala produkcia niekoľkých úspešných motorov vhodných do automobilov či prvých letúnov. Zlyhania motorov boli dôsledkom zlej konštrukcie a použitých materiálov, ktoré nevydržali prevádzkové podmienky, vysokých prevádzkových nákladov a nadmernej hmotnosti konštrukcie v pomere k výkonu.

Naším cieľom bakalárskej práce je konverzia automobilového motora, ktorý by bol vhodný do ultraľahkého lietadla. S tým súvisí potreba zvýšenia výkonu a zníženia hmotnosti upravovaného motora.

Dôležitosť motorov je zrejme každému jasná. Bez funkčného motora sa ďaleko nedostaneme. Motor pripomína mozog dopravných prostriedkov. Obsahuje všetku potrebnú energiu, ktorá pomáha nášmu dopravnému prostriedku fungovať.

Automobilový motor bol už niekoľkokrát vo svete použitý ako vhodná alternatíva štandardného leteckého motora v

experimentálnom letúni. Medzi vhodné náhrady patrí výrobca Volkswagen, ktorého motor z automobilu Beetle sú slávnou voľbou pri stavbe amatérskych lietadiel. Hlavnou výhodou je chladiaci systém, ktorý využíva chladenie pomocou samotného prúdiaceho vzduchu a konštrukcia motora, ktorá pripomína letecké motory od výrobcu Lycoming alebo Continental.

Bakalárska práca je zameraná na teoretické poznatky, návrh a zostrojenie chladiacej, spúšťačnej a zapaľovacej sústavy piestového, štvorvalcového motora typu boxer. Cieľom je zlepšenie účinnosti chladenia, zredukovanie hmotnosti a zlepšenie výkonu. Pri navrhovaní súčiastok sme pracovali s programom Autodesk Inventor Professional 2021, kde sme dané komponenty namodelovali podľa presných parametrov. V budúcnosti bude uskutočnené zrealizovanie našich plánov, praktické použitie opísaných konštrukčných častí a následne otestovanie, či nami navrhnuté sústavy motora budú funkčné.

2. Výber motora vhodného na konverziu

V dnešnej dobe existuje mnoho úspešných konverzií automobilového motoru použitého v letúni, ktoré sú pre bežné používanie dostačujúce. Príkladom sú motory od výrobcov Subaru, Mazda, Suzuki. Avšak slabými stránkami týchto výrobcov je finančná náročnosť a pomer hmotnosti k výkonu. Tieto motory taktiež nie sú najvhodnejšie pre ich nízky krútiaci moment a vysoké otáčky, ktoré sa musia zredukovať, čo prináša váhu navyše a ďalšie konštrukčné problémy [1].

V našej práci sme uvažovali o úprave automobilového plochého motora, ktorý by bol vhodný na použitie do ultraľahkého letúna. Medzi prvými vyrábanými automobilmi s plochým motorom bol Volkswagen Beetle. Motory od výrobcu Volkswagen patria medzi najobľúbenejšie, z pohľadu množstva použitých v prevádzke, pre využitie v automobiloch či letúnoch. Hlavným dôvodom jeho popularity je usporiadanie motora, ktoré je veľmi podobné motorom od výrobcov Lycoming a Continental. Tieto motory sú vzduchom chladené štvorvalce a patria medzi štandardy malých letúnov [2].



Obrázok 1: Plochý motor od výrobcu Volkswagen. Zdroj: [3].

Motor typu boxer je plochý motor s protiľahlými valcami na každej strane rotujúceho kľukového hriadeľa. Piesty sa pohybujú súčasne dovnútra a von, a tým navzájom vyvažujú svoj pohyb vo valcoch. Vďaka tomuto vyváženiu nepotrebujú prídavné vyvažovacie hriadele, a teda celková hmotnosť motora je menšia [4] [5].

Tento vzduchom chladený štvorvalec je výhodný hlavne vďaka tomu, že nevyžaduje na použitie vrtule redukčnú jednotku, ktorá je technicky zložitá a finančne nákladná. Pôvodný motor s obsahom 1600 cc a výkonom 42 kW bol prerobený pomocou prestavbového kitu na obsah motora 1835 cc. Zdvih valca sa zväčšil na 92 mm, čím sa zvýšil výkon na 48 kW [6].

Rozhodujúcimi faktormi pre výber vhodného motora na aerokonverziu bola hmotnosť suchého motora, ktorá je v našom prípade 72 kg, výkon motora, usporiadanie motora, cenová dostupnosť a spoľahlivosť. Konkrétny motor možno použiť pre ultraľahké lietadlá.

3. Úprava automobilového motora pre pohon letúnov

Pre správne fungovanie automobilového motoru v letúni budú potrebné úpravy jednotlivých sústav. Navrhnuté 3D dizajny

súčiastok sú namodelované v programe Autodesk Inventor Professional 2021.

3.1. Chladiaca sústava

Hlavnou výhodou, prečo sme sa rozhodli použiť motor s týmto typom chladenia je jeho jednoduchosť. Skutočnosť, že nepotrebuje žiadny chladič či chladiacu kvapalinu znamená, že cena je udržiavaná na nízkej úrovni a celkové rozmery motora sú menšie. To vzájomne súvisí s hmotnosťou motora, ktorá je veľmi dôležitá pre použitie v letúni. Neprítomnosť mnohých komponentov pre chladenie vodou nám umožnilo túto hmotnosť zredukovať, ako aj fakt, že konštrukcia motora je z veľkej väčšiny vyrobená z ľahkých zliatin namiesto ocele. Priemerný vzduchom chladený motor váži o 13 kg na liter menej ako vodou chladený motor [7].

Chladenie vzduchom zabezpečuje prúd vzduchu, ktorý odvádza teplo z motora [16]. Časti motora, ktoré sa ochladzujú musia mať čo najväčšiu plochu. Tá sa zabezpečí chladiacimi rebrami.

Rebrá sú umiestnené na vonkajšom povrchu valca motora ako ich súčasť a sú teda vyrobené z rovnakého materiálu ako samotný valec, teda liatinové. Veľkosť rebier sa pri výrobe musí starostlivo vypočítať, aby sa zabezpečilo, že motor beží pri efektívnej pracovnej teplote. Tvar rebier je rovnako dôležitý ako ich veľkosť. Rebrá majú rovné strany so zaobleným vonkajším hrotom. Aby boli rebrá účinné, musia mať určitý stupeň zúženia a primerane ostrý hrot. Motory od výrobcu Volkswagen, ktoré boli použité v automobiloch Beetle, majú sériu starostlivo umiestnených usmerňovačov, ktoré smerujú vzduch k najhorúcejším častiam motora. V našom prípade nie je potrebné ani použitie ventilátora pre väčší prísun studeného vzduchu. Pri použití motora do letúňa nám postačí náporový vzduch, ktorý motor dostatočne ochladí [2] [7] [17].

Prúd vzduchu, ktorý prúdi cez rebrá absorbuje prebytočné teplo a odovzdáva ho do atmosféry. Pre lepšie usmernenie tohto vzduchu sme pridal deflektory okolo valcov a celého motora.

Deflektory usmerňujú vzduch tak, aby sa dosiahol maximálny chladiaci účinok. Vyrobené sú z hliníkového plechu a pri ich montáži je potrebné venovať pozornosť tomu, aby boli umiestnené okolo valcov správne. Prípadne poškodenie deflektorov môže mať za následok vznik horúceho miesta, čo môže spôsobiť poruchu motora [2].



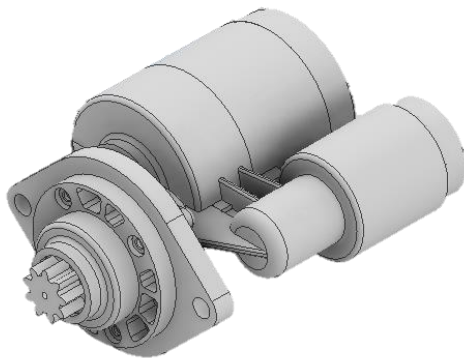
Obrázok 2: Pripevnené deflektory na motore. Zdroj: Autori.

Pre lepšiu reguláciu teploty motora bude potrebná dodatočná montáž vzduchovej klapky pod motorom konštrukcie letúňa. Keď sa klapka otvorí, zvýši sa prietok vzduchu motorovým priestorom a tým sa zníži teplota hlavy motora. Vzduchová klapka môže byť otvorená čiastočne alebo úplne, avšak jej otvorenie nebude mať negatívny vplyv na výkon motora.

3.2. Spúšťacia sústava

Pri spúšťacej sústave sme uvažovali o viacerých možnostiach úpravy. Prvou a najzásadnejšou je zmena spúšťača. Pôvodný spúšťač použitý v automobile Volkswagen Beetle sme nahradili spúšťačom z automobilu Škoda Felícia. Jeho hlavnou výhodou je konštrukcia s reduktorom, ktorý zabezpečí otáčanie pastorkom prevodom 4:1 v porovnaní so spúšťača bez redukcie, ktorý otáča pastorkom rýchlosťou 1:1. Vyšší prevod znamená vyšší krútiaci moment a úsporu príkonu spúšťača [8].

Aj napriek tomu, že spúšťač s redukciami je konštrukčne zložitejší, teda cenovo drahší, je menší, ľahší a efektívnejší. V niektorých prípadoch môže spúšťač bez reduktora vážiť až dvakrát viac ako porovnateľná jednotka s reduktorom. To predstavuje značnú výhodu v pomere výkon/krútiaci moment k hmotnosti, ale taktiež to znamená, že sú fyzicky menšie a často krát sa ľahšie inštalujú [8].



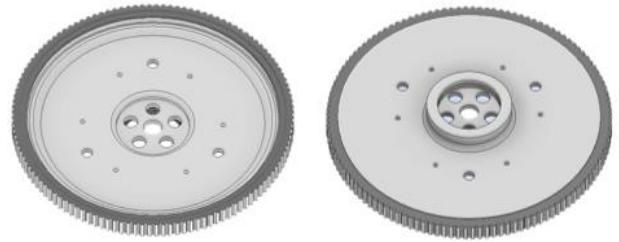
Obrázok 3: Spúšťač z automobilu Škoda Felícia. Zdroj: Autori.

Spúšťače bez reduktora potrebujú na spustenie motora až o 50% viac elektrickej energie ako spúšťače s reduktorom. To znamená, že použitie spúšťača bez reduktora vyžaduje hrubšie káble od akumulátora a ďalšie komponenty musia byť spojené tak, aby zvládli väčší prúd [9].

Celková hmotnosť spúšťača je 2,456 kg a plocha, ktorú zaberie je 0,0843 m².

Vonkajšie puzdro spúšťača je vyrobené z hliníka, ktorý poskytuje stabilitu konštrukcie. Pri jeho tepelnej vodivosti 237 W*m⁻¹*K⁻¹ plní taktiež úlohu odvádzania tepla ako dobrý tepelný vodič. Hliník predstavuje 20-25% hmotnosti spúšťača [10].

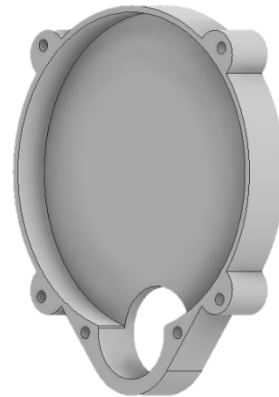
Druhou zmenou, ktorú sme vykonali pri úprave spúšťacej sústavy je zmena materiálu zotrvačníka. Zvyčajne sú vyrobené z ocele, ktorá má hustotu 7,850 g/cm³. Objem oceľového zotrvačníka je 339731.314 mm³ a teda jeho hmotnosť je 2,667 kg. Na zredukovanie hmotnosti použijeme ako materiál dural. Hustota duralu je 2,800 g/cm³ a teda pri rovnakom objeme bude konečná hmotnosť len 0,951 kg. Výsledný rozdiel hmotností



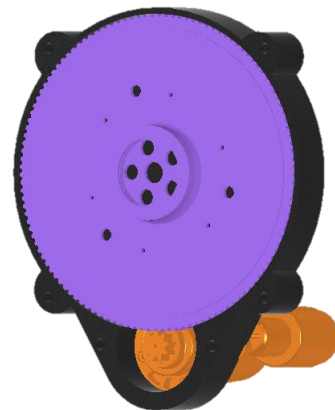
Obrázok 4: Zotrvačník. Zdroj: Autori.

bude 1,716 kg. Priemer zotrvačníka je 0,26 m s počtom zubov 126 a celkovou plochou 0,13 m².

Pre ochranu a bezpečnosť zotrvačníka bol zakázavo odliaty kryt z hliníka, ktorý je umiestnený na zotrvačníku a prichytený na zadnej strane motora. V spodnej časti krytu je priestor pre uloženie spúšťača. Na obrázku č. 6 možno vidieť namodelovanú sústavu prevodu zotrvačníka s pastorkom spúšťača.



Obrázok 5: Kryt pre zotrvačník. Zdroj: Autori.



Obrázok 6: Sústava zotrvačníka, krytu na zotrvačník a spúšťača.

Zdroj: Autori.

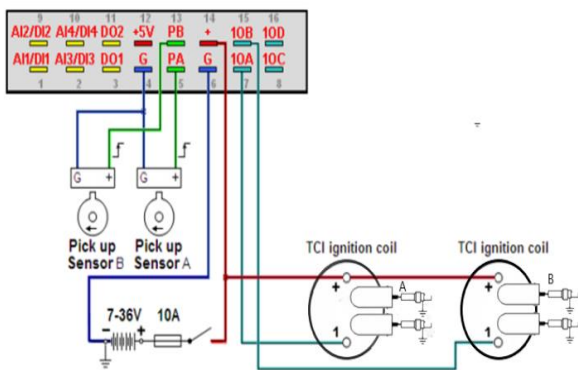
3.3. Zapaľovacia sústava

V poslednej upravovanej sústave našej práce sme zmenili zapaľovanie z pôvodného batériového, na plne elektronické zapaľovanie. Hlavným dôvodom, pre zmenu tohto zapaľovania je zmenšenie spotreby, synchronizácia chodu motora a zväčšenie výkonu motora. Presná a okamžitá reakcia systému

elektronického zapalovania na akúkoľvek zmenu chodu motora má za následok stabilné otáčky a nižšiu spotrebu paliva.

Primárnym komponentom, ktorý nám zabezpečí tieto výhody je elektronická jednotka riadenia motora (ECU). Širokospektrálnu jednotku ECU MASTER Map Sensor sme vybrali od spoločnosti IMFsoft, ktorá je navrhnutá aj pre riadenie predstihu a zapalovania. Verzia MAP Sensor poskytuje pripojenie integrovaného snímača podtlaku sania. Sleduje veľkosť tlaku v sacom potrubí, ktorý kolíše podľa zaťaženia motora a na základe tohto merania poskytuje informácie riadiacej jednotke motora. ECU riadi všetky aspekty motora a môže rozhodovať aj o množstve paliva, ktoré vstrekuje do vstupných portov, ako aj o presnom načasovaní predstihu zapalovania. Jednotka motora taktiež ovláda všetky podstatné funkcie agregátu s ohľadom na príslušné zaťaženie, v závislosti od všetkých okolitých parametrov, ako napríklad tlak vzduchu v sacom potrubí, vonkajšia teplota, teplota motora, teplota oleja a iné. Získané údaje sú spracované pomocou programu uloženom v pamäti a následne sa vydajú príkazy pre vstrekovanie a zapalovanie. [11] [12].

Technológia FPGA vďaka svojmu operačnému výkonu a presnosti zabezpečuje digitálno-analógový prevod, vyhodnocuje a vypočítava signály snímačov do matematického modelu reálneho otáčania motora. Jednotka obsahuje 4 výstupy TCI, kde dva slúžia na ovládanie zapalovania a dva na ovládanie vstrekovania. Riadiacu jednotku sme uložili mimo motora, kde by ju vysoká pracovná teplota motora mohla poškodiť [12]



Obrázok 7: Schéma zapojenia ECU s dvomi výstupmi pre indukčné cievky. Zdroj: [15], upravil autor.

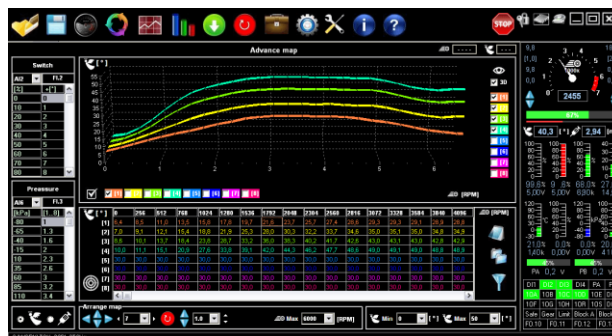
V znázornenej schéme sú zapojené dva snímače, ktoré sú spojené s nízkonapäťovým zväzkom. Nízkonapäťový zväzok prenáša vstupy snímačov do ECU cez 16-pólový konektor.

Zobrazený snímač A je hallov snímač otáčok zapojený do konektora PA a do uzemnenia (G). Snímač vytvára elektrický signál, ktorý vedie do elektronickej riadiacej jednotky. Zároveň vysiela signál na generovanie prúdu potrebného na vytvorenie zapalovacej iskry v sviečkach. Snímač určí hornú úroveň prvého valca, podľa ktorého ECU zistí, že má dôjsť k zapáleniu prvého a štvrtého valca. Akonáhle mikropočítač zareaguje na zmenu otočenia kľukového hriadeľa o 180° zariadi zapálenie druhého a tretieho valca pomocou druhej zapalovacej cievky. Vďaka tejto synchronizácii sa zabezpečuje, že pri prípadnej poruche nedôjde k výpadku poradia zapalovania [13].

Snímač B je snímač polohy škrtiacej klapky, ktorý je zapojený do konektora PB a do uzemnenia. Snímač reaguje na pootočenie

škrtiacej klapky. Ak sa otočí, snímač sa otočí s ňou. Pootočením sa zmení elektrický odpor, ktorý zaznamená riadiaca jednotka a vypočíta potrebné množstvo dávkovaného paliva. Je pripojený kontaktnou svorkou priamo na škrtiacej klapke [14].

Mapy predstihu dávajú k dispozícii rýchly nástroj pre zobrazovanie a tvarovanie kriviek predstihu zapalovania [1] – [8]. Zadaná hodnota pôsobí na okamih spínania výstupov 10A až 10H. Použitím digitálnych (DI1, DI2) alebo analógových vstupov (AI1, AI2, PA, PB) možno mapy prepínať podľa prevádzky. Signál z analógového snímača, napríklad zo snímača otáčok, by mal byť vedený tieneným káblom, ktorý pomáha k eliminovaniu rušenia. Mapy možno vykresliť podľa zadaných bodov, taktiež je dostupná priama úprava mapy ťahom myši. Mapy je možné kopírovať jednu do druhej podľa vlastnej voľby [15].



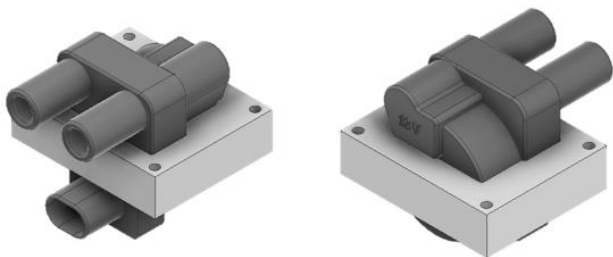
Obrázok 8: Mapa predstihu. Zdroj: Autori.

Ďalším potrebným komponentom v zapalovacej sústave je zapalovacia sviečka. Tým, že zasahuje do spaľovacieho priestoru motora, musí byť schopná zvládnuť veľké teplotné spády. Teploty sa striedajú od 60 do 2000 až 2500°C. Použité materiály musia odolávať chemicky agresívnemu prostrediu a izolátor musí znášať napäťové rázy až 25 kV bez poškodenia. Kvôli použitým materiálom a technológiám, ktoré dokážu dodržať deklarované parametre sviečok aj v extrémnych podmienkach sme sa rozhodli nahradiť originálnu zapalovaciu sviečku pre automobil Volkswagen Beetle od značky Bosch, konkrétne model Bosch W8A, vhodnejším modelom od firmy NGK Spark Plug Co. LTD.

Vhodnými alternatívami od výrobcu NGK sú napríklad NGK 4210, NGK B5HS alebo NGK B5HS-15.

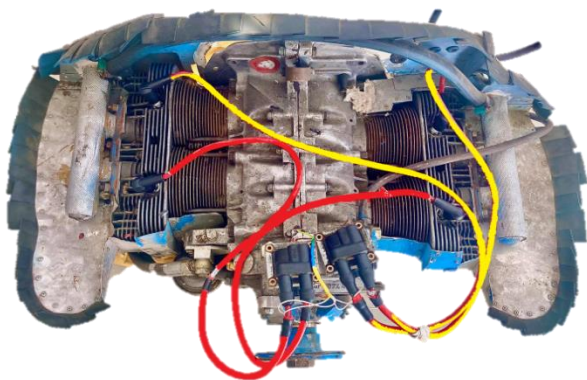
V našej konverzii motora sme použili zapalovaciu sviečku NGK 4210, kvôli jej polohe iskrišťa, ktoré je 1,0 mm. Menšia medzera spôsobí krátku, intenzívnu iskru. Dĺžka závitú je 12,7 mm a vonkajší závit má 14,0 mm. Elektróda je vyrobená zo špeciálnej niklovej zliatiny, ktorá má vysokú tepelnú vodivosť a zároveň má vysokú odolnosť voči agresívnemu prostrediu.

Vysokonapäťovú cievku sme použili z automobilu Fiat Punto. Hlavnou výhodou použitia tejto cievky je fakt, že nie je potrebný rozdeľovač a zároveň jedna cievka postačí na dva valce motora. Taktiež je pomerne ľahká a malá. Cievku sme spojili s vysokonapäťovým zväzkom a pripojili pomocou koncovky zapalovacích káblov na sviečku.



Obrázok 9: Vysokonapäťové cievky z automobilu Fiat Punto.
Zdroj: Autori.

Použitá cievka je dvojskrová, to znamená vygenerovanie dvoch iskier v rovnakom čase do dvoch sviečok a obsluhuje dvoch pracovných valcov motora. Valce pracujú s fázovým posunutím jednej otáčky kľukového hriadeľa. Vo valci, ktorý je v hornej úvrati na konci kompresného zdvíhu iskra zapáli zmes. V druhom valci, ktorý je na konci expanzného zdvíhu iskra pôsobí v prúde spalín, kvôli dôkladnému prípadnému dohoreniu nespáleného paliva a nižším emisiám.



Obrázok 10: Zapojenie vysokonapäťových cievok so sviečkami.
Zdroj: Autori.

Pri úvahe duálneho zapalovania do budúcnosti, ktoré by zlepšilo spaľovanie a znížilo emisie by bol potrebný zásah do samotnej konštrukcie pracovného valca motora. Z teoretického hľadiska by sa druhá zapalovacia sviečka mohla umiestniť vedľa prvej, pôvodnej sviečky. Obe sviečky by boli spojené vysokonapäťovým zväzkom a následne zapojené do cievky. Pri zachovaní rovnakého druhu vysokonapäťovej cievky, by sme potrebovali dvojnásobný počet zapalovacích cievok, no splnili by sme podmienku zálohovania zapalovacej sústavy.

4. Záver

Cieľom bakalárskej práce bolo navrhnuť chladiacu, spúšťaciu a zapalovaciu sústavu pre experimentálny piestový motor z automobilu Volkswagen Beetle. Zhrnuli sme potrebné teoretické poznatky pre konkrétnu úpravu, ktoré neskôr využijeme pri praktickej časti úpravy zadaných sústav.

Do chladiacej sústavy sme pridali deflektory, ktoré usmernia chladiaci vzduch priamo cez rebrá valcov motora a rýchlejšie odvedú zohriaty vzduch do atmosféry.

V spúšťacej sústave sme navrhli cez počítačový softvér pre 3D modelovanie vhodný spúšťač pre daný motor, ktorý bol použitý

v automobile Škoda Felícia. Vďaka jeho parametrom a nízkej hmotnosti sa dokonale hodil do našej konverzie. Ďalšou modelovanou súčiastkou bol zotrvačník, ktorého hmotnosť sme znížili vyrobením z iného materiálu, konkrétne z duralu. Spolu s modelom krytu pre zotrvačník sme získali návrh spúšťacej sústavy s názorným ukázaním záberu výsuvného pastorku spúšťača so zotrvačníkom.

Do zapalovacej sústavy sme navrhli dať zapalovacie sviečky značky NGK, ktoré vydržia o niekoľko letových hodín viac v prevádzke ako pôvodné sviečky značky Bosch. Do budúcnosti navrhujeme použitie irídiových sviečok značky Denso, ktoré dokonale spália celý obsah pracovného valca motora a zároveň majú dlhšiu životnosť. Zapalovaciu cievku sme použili z automobilu Fiat Punto, je dvojskrová a výhodná z pohľadu rozmerov a hmotnosti. V poslednej časti sme zapalovacie cievky spojili vysokonapäťovým zväzkom káblov so sviečkami. Pri ďalšej možnej úprave nášho motora by sme uvažovali nad použitím duálneho zapalovania, ktoré by nateraz malo príliš veľký zásah do konštrukcie motora.

Referencie

- [1] AEROWEB. 2012 *Vyrábíme letecký motor*. [online]. [cit. 29.4.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.aeroweb.cz/clanky/serialy/vyrabime-letecky-motor>>
- [2] WILD, T – KROES, M. 2013. *Aircraft powerplants*. 8. vyd. United States of America: McGraw-Hill Education, 2013. 768 s. ISBN: 978-0-07-179913-3.
- [3] DUBPARTS. *VW Aircooled engine and related items*. [online]. [cit. 29.4.2021]. Dostupné na internete: <https://www.dubparts.com/collections/vw-aircooled-engine-related-items?page=2&utm_source=pinterest&utm_medium=social>
- [4] THEDRIVE. 2020 *What is a Boxer engine?*. [online]. [cit. 12.3.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.thedrive.com/cars-101/37710/boxer-engine>>
- [5] AUTOBILD. 2012 *Motory boxer: Boxujúce motory ešte žijú*. [online]. [cit. 12.3.2021]. Dostupné na internete: <<https://autobild.pluska.sk/poradca/motory-boxer-boxujuce-motory-este-ziju>>
- [6] GREATPLAINSAS. *Great plains aircraft*. [online]. [cit. 20.4.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.greatplainsas.com/pg/7-About-Us.aspx>>
- [7] UNIQUECARSANDPARTS. *How it Works: Air-Cooled Engine*. [online]. [cit. 1.5.2021]. Dostupné na internete: <https://www.uniquecarsandparts.com.au/how_it_works_air_cooled_engine>
- [8] ELREG. *Direct drive vs gear reduction starters*. [online]. [cit. 4.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.elreg.com/blog/direct-drive-vs-gear-reduction-starters/>>

- [9] ELREG. *Why are gear reduction starters replacing direct drive starters?* [online]. [cit. 4.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.elreg.com/blog/why-are-gear-reduction-starters-replacing-direct-drive-starters/>>
- [10] SAE. *2017 Starter motor light weighting through use of alternate materials.* [online]. [cit. 4.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2017-28-1967/>>
- [11] AUTORUBIK 2013. *Riadiaca jednotka (ECU) – poruchy a kabeláž vozidla.* [online]. [cit. 7.5.2021]. Dostupné na internete: <<http://www.autorubik.sk/clanky/co-je-to-riadiaca-jednotka-motora-alebo-motor-manazment/>>
- [12] IMFSOFT. *ECU Master.* [online]. [cit. 7.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://imfsoft.com/kategorie-ridici-jednotky/ecu-master#toc-specification>>
- [13] HROMÁDKO, J. a kol. 2011. *Spalovací motory.* 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [14] AUTODIELYONLINE24. *Snímač polohy škrtiacej klapky.* [online]. [cit. 17.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.autodielyonline24.sk/nahradne-diely/snimac-polohy-zkrtiacej-klapky.html>>
- [15] IMFSOFT 2017. *ECU MASTER CDI – TCI scheme and configuration.* [online]. [cit. 13.5.2021]. Dostupné na internete: https://imfsoft.com/files/master/documentation/MasterSchemeV8_43_EN.pdf
- [16] Bugaj, M. 2015. *Aeromechanika 1: základy aerodynamiky.* 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.
- [17] Bugaj, M., Novák, A. 2010. *Všeobecné znalosti o lietadle: drak a systémy, elektrický systémy.* 1. vyd.-Žilina: Žilinská univerzita, 2004.-247 s.

Zuzana Malíková – narodená dňa 16.09.1998 v Žiline. V roku 2018 absolvovala Gymnázium v Bytči a následne nastúpila na Katedru leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline.