

PROGRESÍVNE RIEŠENIA OVLÁDANIA ROZVODOVÝCH MECHANIZMOV PRE LETECKÉ PIESTOVÉ MOTORY

PROGRESSIVE SOLUTIONS OF CONTROL TIMING MECHANISMS FOR AIRCRAFT PISTON ENGINES

Tomáš Horák

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
tomas.horak08@gmail.com

Jozef Čerňan

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

Abstract – *The timing mechanism and its control represents the major part of this final thesis. In line with the latest requirements, efforts to discover a new solution that could improve certain parameters of the piston engines might have been marked as the main motivation behind the thesis. The initial part describes the actual piston engine, its operation principles and gradually follows to the timing mechanism. In this way, the reader acquires the knowledge necessary for a better understanding of the following chapters. We have described and compared individual options for controlling the timing mechanisms, which could be found in today's piston engine. The main idea of this thesis was to analyse the progressive solutions of the control timing mechanisms. Further to that we analyse some specific solutions regarding operation and design, which could be potentially implemented in the aviation industry. Concluding part of the thesis includes, besides others, a pros & cons analysis of the system. Following that we also expressed our idea of how this system could be employed in the aircraft engines. On the one hand, we introduced a positive impact of such implication, but on the other hand, we identified a space for potential improvement.*

Key words – piston engine, cam, camshaft, timing mechanism, valves, valvetrain, OHC, variable valve control, variable valve timing, variable valve, lift, FreeValve.

I. ÚVOD

Navrhnuť kvalitný a spoľahlivý motor s vysokou životnosťou je pomerne náročná úloha, s ktorou sa konštruktéri musia vysporiadať. Ešte väčšou výzvou je, keď sa súčasťou návrhu stane zoznam kritérií, ktoré sa pretavia do naozaj skvelej práce a výsledkom sa stane motor s lepšou optimalizáciou. Naplniť takúto výzvu je určite náročné najmä pre konštruktérov v dnešnej dobe, keďže čoraz prísnejšie emisné normy ohraničujú ich možnosti. Brať životné prostredie na ľahkú váhu určite nie je správne riešenie, čo samozrejme vedie k nemalej adaptácii aj vo svete motorov. Na druhú stranu však vznikajú nové príležitosti vo vývoji motorov, ktoré v prípade ich uchytenia sa na trhu, môžu znamenať značný úspech.

Práve tieto príležitosti ma motivovali k výberu mojej bakalárskej práce. Progresívne riešenia v oblasti ovládania rozvodov predstavujú značné výhody, a preto považujem znalosť týchto riešení za dôležitú. Hlavným cieľom bakalárskej práce je teda snaha dostať jednotlivé riešenia do povedomia čitateľa. Okrem toho sa snažím jednoduchým spôsobom popísať ako tieto alternatívy fungujú. Zároveň je mojim cieľom ukázať, ako samotný piestový motor vyzerá a funguje. V jednotlivých kapitolách sa snažím problematiku priblížiť, tak aby ju čitateľ mohol pochopiť a postupne sa prepracovať od konštrukcie až k samotným moderným riešeniam ovládania rozvodov.

Väčšiu pozornosť v práci venujem práve moderným riešeniam, pretože si myslím, že by ich širšia implementácia v piestových motoroch bola lepším riešením. Plne si však uvedomujem, že vzhľadom na pestrý dopyt na trhu, nie je takáto implementácia možná v celom rozsahu. Pokiaľ však existuje príležitosť na trhu, ktorá teoreticky umožňuje efektívnejšie riešenie, potom je vhodné toto riešenie aj využiť.

II. METODIKA A METODOLÓGIA

Vypracovanie práce nie je možné bez stanovených cieľov. Našou snahou teda bolo počas práce jednotlivé ciele naplniť, čo znamená, že je dobré si ich najskôr v tejto časti zhrnúť. Okrem cieľov spomenieme aj metódy práce, ktoré sme počas práce použili.

CIELE PRÁCE

Hlavný cieľ bakalárskej práce predstavuje progresívne riešenia ovládania rozvodov, tak ako to už vyplýva z názvu. Naše úsilie spočíva v zoznamení čitateľa s problematikou v oblasti rozvodov a ich možnosti ovládania. Súčasťou cieľa je analýza konkrétnych alternatív a ich teoretická aplikácia do leteckého priemyslu.

Okrem hlavného cieľa môžeme spomenúť aj vedľajšie ciele, ktoré sme sa pokúsili v práci naplniť. Jedným z nich je aj priblíženie problematiky čitateľom, tak aby pochopili od úplného základu, čo ovládanie rozvodov predstavuje. Tieto ciele zahŕňajú charakteristiku piestového motora, rozvodový mechanizmus a jednotlivé typy rozvodov. Cieľom je aj grafická interpretácia

problematiky, tak aby si čitateľ mohol jasne predstaviť, o čom je konkrétny výklad.

METÓDY PRÁCE

V bakalárskej práci je použitých niekoľko metód, pomocou ktorých sme spracovali danú problematiku.

Charakteristika sa týka najmä úvodných kapitol. Snažíme sa charakterizovať piestový motor, jeho časti a princíp jeho činnosti, no ako metóda na popísanie témy je použitá aj v ďalších kapitolách.

S **metódou porovnania** sa môže čitateľ stretnúť v kapitole o rozvodovom mechanizme, kde sú porovnané jednotlivé možnosti ovládania rozvodov, ktoré počas vývoja vznikli. Porovnanie je tiež použité aj v kapitole o ventilovom rozvode, kde sú porovnané jednotlivé alternatívy tohto rozvodu a rovnako tak v kapitole o variabilnom ovládaní ventilov, kde sú spomenuté dve najčastejšie používané podoby variability.

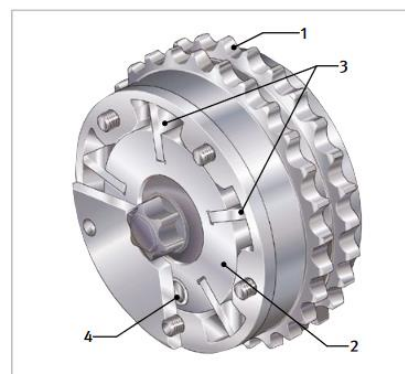
Analýza problematiky je použitá v posledných dvoch kapitolách, ktoré sú rozobraté na menšie celky s cieľom priblíženia sa, ako spomenuté systémy fungujú.

III. VARIABILNÉ ČASOVANIE VENTILOV

Ako už bolo v úvode spomenuté, väčšiu pozornosť v práci venujeme práve posledným dvom kapitolám. Prvá z nich predstavuje variabilné ovládanie ventilov. Jedna z možností variabilného ovládania ventilu je variabilné časovanie ventilu. Túto možnosť vieme dosiahnuť pootočením (fázovaním) vačkového hriadeľa voči kľukovému hriadeľu. Zmení sa tak okamih otvorenia ako aj zatvorenia ventilu, avšak zdvih a celková doba otvorenia ventilu ostanú nezmenené. Pootočenie vačkového hriadeľa je možné pomocou variátora. Variátory (inak aj prestavovače, alebo fázovače) sú zariadenia, ktoré sa navzájom konštrukčne líšia, no ich funkcia ostáva rovnaká. [1, 2]

VARIÁTOR S LOPATKOVÝMI BUNKAMI

Takýto variátor je tvorený statorom, rotorom a lopatkami. Stator je spojený s kľukovým hriadeľom napr. pomocou rozvodovej reťaze. Pomocou centrálnej skrutky je zas variátor spojený s vačkovým hriadeľom. V statore je uložený otáčavý rotor. Na rotor sú pripevnené lopatky ktoré zasahujú do komôr statora. Tieto komory sa podľa potreby prestavenia vačkového hriadeľa naplňujú olejom a následne tlak oleja spôsobí pootočenie vačkového hriadeľa. Vzhľadom na okamžité fázovanie je nutné, aby tlak oleja bol dostatočne veľký. Dôležitou súčasťou variátora je jeho hydraulický zaisťovací prvok, ktorý zaisť, aby rotor samovoľne nespôsobil fázovanie. [1]



1 Stator
2 Rotor
3 „Lopatky“
4 Zaisťovací prvok

Obrázok 7: Variátor s lopatkovými bunkami [1]

VARIÁTOR S OTOČNÝMI LOPATKAMI

Aj táto konštrukcia pozostáva zo statora a rotora. Lopatky sú však v tomto prípade súčasťou rotora, ako jedného celku. Funkcia variátora sa však nemení. [1]



Obrázok 8: Variátor s lopatkovými bunkami [1]

Pootočením vačkového hriadeľa je možné otváranie resp. zatváranie ventilov skôr alebo neskôr za účelom optimalizácie spaľovania v určitých otáčkach. Môže ísť o fázovanie vačkového hriadeľa na strane nasávania, na strane výfuku, alebo môže ísť o aj o kombináciu oboch. [1]

NESKORÉ UZAVRETIE SACIEHO VENTILU

Potom, ako piest dosiahne dolnú úvrat' a začne sa pohybovať smerom k hornej úvrat', nastáva kompresia. Zvyčajne je sací ventil už dávno zatvorený, tak aby došlo vo valci k nárastu tlaku. Ak sa však posunie časovanie a sací ventil ostane otvorený aj počas kompresného zdvihu, časť zmesi vzduchu a paliva sa dostane späť do sacieho potrubia. To spôsobí, že sa znížia hydraulické straty, pretože táto zmes sa stane súčasťou nasledujúceho nasávania. Okrem toho je možná aj regulácia množstva zmesi paliva a vzduchu vo valci, čo vedie k nižšej spotrebe, k nižším teplotám počas spaľovania, a teda aj k nižším (NOx) emisiám. [2]

SKORÉ UZAVRETIE SACIEHO VENTILU

Uzavrieť sací ventil skôr je vhodné v prípade, že motor pracuje na voľnobežných alebo nízkych otáčkach, čo znamená, že

na svoju činnosť nepotrebuje veľké množstvo zmesi. Tým sa znížia hydraulické straty, pretože piest nie je nútený nasávať viac zmesi a zníži sa tým aj samotná spotreba. [2]

SKORÉ OTVORENIE SACIEHO VENTILU

Zvyčajne sa sací ventil otvára na začiatku nasávania, kedy sa piest pohybuje smerom k dolnej úvrati. Zmenou časovania sa sací ventil otvorí skôr, ešte počas výfuku. Výfukové plyny unikajú nielen do výfuku cez výfukový ventil, ale aj do sacieho potrubia a pri nasávaní sa dostanú späť do valca. Opäť je možné regulovať množstvo zmesi vo valci, čo znamená nižšie teploty počas spaľovania, nižšie (NOx) emisie a tiež nižšia spotreba. [2]

SKORÉ ZATVORENIE VÝFUKOVÉHO VENTILU

Počas výfuku sa piest posúva smerom k hornej úvrati, a tým vytlačí z valca výfukové plyny. Ak sa však výfukový ventil zatvorí skôr než zvyčajne, časť výfukových plynov ostane vo valci. Počas nasávania sa teda do valca nasaje menej zmesi. Opäť sa tým zníži teplota spaľovania, zároveň (NOx) emisie a aj spotreba. [2]

NESKORÉ ZATVORENIE VÝFUKOVÉHO VENTILU

Naopak, zatvoriť výfukový ventil neskôr umožní, že sa z valca dostanú všetky výfukové plyny. Je teda možné viac naplniť valec novou zmesou, a teda dosiahnuť vyšší výkon. [2]

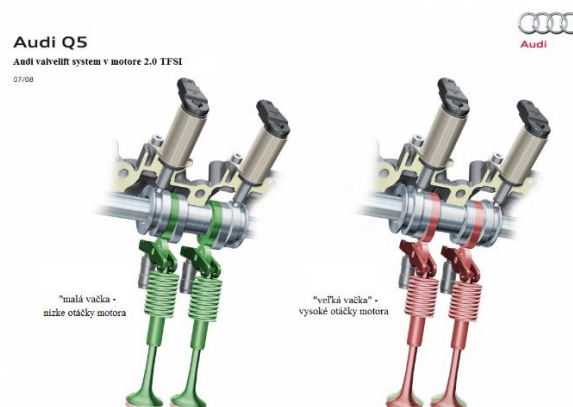
IV. VARIABILNÝ ZDVIH VENTILU

Ďalšia možnosť variabilného ovládania je variabilný zdvih ventilu (Variable Valve Lift – VVL). VVL sa dosahuje pomocou dvoch druhov vačiek rôznych tvarov pre každý ventil. To znamená, že dvom rôznym vačkám prislúchajú aj dva rôzne zdvihy ventilov. Tak ako VVT, tak aj VVL je možné použiť na strane nasávania aj na strane výfuku, poprípade môže ísť aj o kombináciu oboch. Variabilita v tomto prípade nezahŕňa len samotný zdvih, ale aj celkovú dobu otvorenia ventilu, ktorú je možné doceliť opäť tvarom vačky. [2]

Ak je VVL použitý na strane nasávania, potom je možné podľa otáčok regulovať zdvih sacích ventilov. Ak je sací ventil ovládaný vačkou s nižším zdvihom, potom je doba otvorenia kratšia a zdvih ventilu je menší. To umožňuje nasáť menšie množstvo zmesi, čo môže byť výhodné pokiaľ nie je potrebný výkon, napr. keď motor pracuje na voľnobežných alebo nízkych otáčkach. Týmto spôsobom sa znižuje aj spotreba. Pri vysokých otáčkach, keď je výkon žiadaný, začne byť sací ventil ovládaný vačkou s vyšším zdvihom. Vačka s vyšším zdvihom umožní dlhšiu dobu otvorenia sacieho ventilu a zároveň poskytuje aj vyšší zdvih. To spôsobí, že sa do valca dostane oveľa viac zmesi, a tak je možné dosiahnuť vyšší výkon. [3]

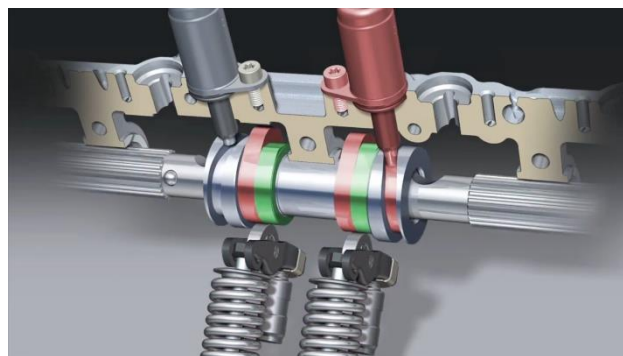
Dva druhy vačiek možno umiestniť aj na stranu výfuku. Vačka s nižším zdvihom umožní výfukovému ventilu, aby bol dostatočne dlho otvorený, kým sa výfukové plyny dostanú von z valca. To isté možno povedať aj o vačke s vyšším zdvihom, avšak jej tvar je prispôbený vysokým otáčkam. Ak je motor preplňovaný, do valca sa dostáva väčšie množstvo zmesi, a rovnako po spálení vzniká aj väčšie množstvo spalín, ktoré efektívne odchádzajú von z valca, vďaka vačke s vyšším zdvihom

a dlhšou dobou otvorenia. Dokonalé vyprázdnenie valca je vo vysokých otáčkach žiadané, pretože je potrebné aby sa valec naplnil zmesou čo najlepšie a dosiahol tak vysoký výkon. [2]



Obrázok 9: Audi Valve Lift – regulácia zdvihu v 2 stupňoch [3]

Prechod z vačky na vačku zaisťuje dvojica elektromagnetických hydraulických ventilov. Elektrický signál prijatý od riadiacej jednotky uvoľní tlak oleja, ktorý zatlačí hrot ventilu. Vysunutý hrot prechádza kanálom puzdra, puzdro sa spolu s vačkami posunie, a tak dôjde k zmene vačky. Rovnakým spôsobom posúva sústavu naspäť druhý elektromagnetický ventil. [2]



Obrázok 10: Elektromagnetický ventil v činnosti na strane výfuku [3]

V. FREEVALVE TECHNOLÓGIA

Technológia FreeValve predstavuje systém nezávislého ovládania sacích aj výfukových ventilov. Pre lepšie porozumenie je možno technológiu označiť aj ako plne variabilné ovládanie ventilov. Vzhľadom na to, že piestový motor pracuje v rôznych pracovných režimoch, ktoré možno charakterizovať napr. otáčkami, je teda zrejme, že motor podlieha rôznemu zaťaženiu. Spomínaná technológia však umožňuje správne načasovať dobu nasávania ako aj dobu správneho výplachu valca od spalín, a to nezávisle pre akékoľvek zaťaženie pomocou technológie umelej inteligencie. Systém sa teda rozhoduje pre správne načasovanie podľa režimu a aktuálnej práce motora. [4]

Myšlienka autonómneho ovládania ventilov nie je však vo svete motorov ničím novým a pre konštruktérov je všeobecne známa a môžeme povedať, že je určite zaujímavá, pretože na

pohon ventilov nepotrebuje vačkový hriadeľ, ani náhon od kľukového hriadeľa. Jej nezávislosť teda spočíva v riadení ventilov bez ohľadu na polohu kľukového hriadeľa. Existuje viacero výrobcov, či konštruktérov, ktorí sa pokúšali túto myšlienku premeniť na skutočnosť, ale bohužiaľ neúspešne, pretože sa stretli s konštrukčnými problémami a vyššími nákladmi, čo nakoniec viedlo k ukončeniu celého programu a nikdy nedošlo k sériovej výrobe. [4, 5]

Za technológiou FreeValve stojí švédka spoločnosť Koenigsegg, ktorá systém vyvíja za účelom jej využitia vo svojom automobilovom priemysle. Odlišnosť od predošlých konkurenčných pokusov o vytvorenie tohto systému nachádzame predovšetkým v pohone ventilov, kde konkurencia vsadila na elektro-magnetický alebo elektro-hydraulický pohon ventilov, pričom FreeValve pracuje na princípe elektro-hydraulického pneumatického pohonu. [4]

Ako už bolo spomenuté, motor s FreeValve technológiou nepotrebuje na pohon ventilov ani náhon od kľukového hriadeľa, ani samotný vačkový hriadeľ. Hlava valcov je značne zredukovaná a dostáva úplne nový tvar. Okrem vačkového hriadeľa je možné vďaka FreeValve odstrániť aj ďalšie podstatné časti v motore, pretože nie sú v tomto prípade potrebné. Hovoríme napr. o škrtiacej klapke, pohone vačky a ďalších častí, ktoré zabezpečujú prenos sily od kľukového hriadeľa alebo aj systém priameho vstrekovania. Všetky vyššie vymenované časti, ktoré v prípade dnešných „konvenčných“ motorov majú dôležitú funkciu a sú nevyhnutnou súčasťou, sú v prípade FreeValve nahradené umelou inteligenciou resp. inteligentným počítačom, ktorý plní viacero funkcií. Dochádza teda k zjednodušeniu celého motora. [6]

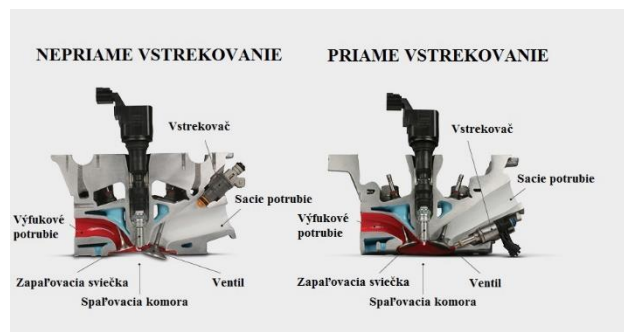


Obrázok 11: Porovnanie klasickej hlavy DOHC (vpredu) s hlavou valcov s technológiou FreeValve (vzadu) [7]

Podľa slov Christiana von Koenigsegga, zakladateľa a výkonného riaditeľa spoločnosti Koenigsegg Automotive, nie je nutnosť použiť v motore systém priameho vstrekovania. Prípravu a dodávku paliva do spaľovacej komory zabezpečuje buď karburátor, alebo vstrekovače, pričom môže ísť o priame alebo nepriame vstrekovanie. Pri konvenčných zážihových motoroch má priame vstrekovanie viacero výhod oproti nepriamemu vstrekovaniu. Ponúka vyšší výkon motora a nižšiu spotrebu, vďaka presnému dávkovaniu paliva a jeho kvalitnému rozprášeniu priamo vo valci. Nevýhodou priameho vstrekovania

je nižšia spoľahlivosť, náročnejšia konštrukcia, vyššia cena a podľa Ch. Koenigsegga aj vyššia produkcia pevných častíc, ktoré sa dostávajú do ovzdušia. [8, 9, 10]

Fakt, že priame vstrekovanie spôsobuje vyššie emisie, je jedným z dôvodov, prečo sa nakoniec rozhodli použiť nepriame vstrekovanie v kombinácii s technológiou FreeValve. Systém nepriameho vstrekovania vstrekuje palivo do sacieho potrubia alebo priamo pred sací ventil, kde dochádza k tvorbe zmesi. Výhodou tohto systému je, že je lacnejší než priame vstrekovanie, produkuje menej emisií a má čistejšie spaľovanie vďaka FreeValve. Podľa slov Ch. Koenigsegga teda nie je naozaj nutné siahnuť po priamom vstrekovaní, no nie je ani vylúčené ho použiť. [10, 11]



Obrázok 12: Porovnanie nepriameho a priameho vstrekovania [12]

FREEVALVE KOMPONENTY

Aj keď FreeValve nepracuje na báze vačkového hriadeľa, ventily ostali súčasťou aj tejto koncepcie. Ich tvar, veľkosť alebo počet nie sú v tomto prípade nijak podstatné, keďže ide o koncepciu ako takú a nie o konkrétny motor.

Pneumatické pružiny: Každý ventil má vlastnú „pružinu“. Ide o pneumatické pružiny s nastaviteľnou tuhosťou. Nastaviteľná tuhosť umožňuje regulovať čas otvorenia a zatvorenia ventilu za účelom ideálneho nasatia zmesi alebo výplachu valca od spalín. Potrebný tlak pre nastavenie tuhosti pružiny zabezpečuje vzduchový kompresor. [7, 13]

Snímače polohy: Vzhľadom na potrebnú presnosť polohy ventilu, je medzi ventilom a jeho pružinou umiestnený snímač polohy. Pokročilá technológia snímajú polohy poskytuje počítaču spätnú väzbu, tak aby bola dosiahnutá čo najväčšia efektívna účinnosť. [13]



Obrázok 13: Vizualizácia ventilu, pružiny a aktuátora [4]

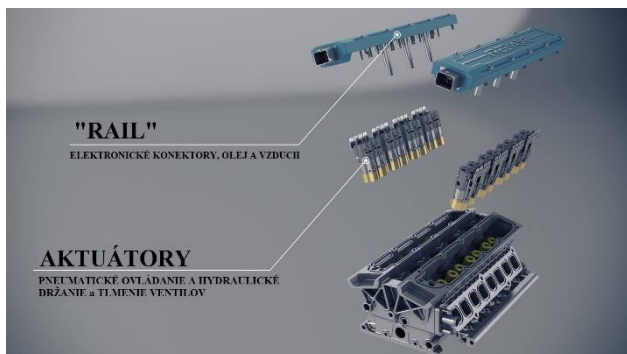
Aktuátory: Aktuátory sú zariadenia, ktoré slúžia na pohon ventilov, teda zabezpečujú aby sa ventily otvorili aj zatvorili. Principiálne teda nahrádzajú vačkový hriadeľ. Vzhľadom na fakt, že rozlišujeme ventily sacie a výfukové, je teda možné rozdeliť aj samotné aktuátory. Ide teda o aktuátory na strane nasávania a na strane výfuku. [7]

Technicky sú aktuátory označené ako aktuátory s elektro-hydraulickým pneumatickým pohonom. Už z označenia vyplýva, že na svoju činnosť potrebujú ďalšie pomocné komponenty, medzi ktoré patrí:

- olejový chladič
- olejové čerpadlo
- vzduchový kompresor
- koncový ovládací systém [4, 7]

Rovnako, otváranie ako aj zatváranie ventilov, či už sacích alebo výfukových, zabezpečujú aktuátory pneumaticky, teda pomocou stlačeného vzduchu. Hydraulika v systéme zabezpečí, aby ventil ostal otvorený v istej želanej polohe. [14]

„Rail“: Z vrchnej časti sú aktuátory zakryté špeciálnym zariadením s označením „Rail“. Rail je možné rozdeliť celkovo do troch vrstiev. V najspodnejšej vrstve preteká vzduch a olej, každý osobitne vo vlastnom kanále. Vzduch aj olej sú potrebné na pohon ventilov pomocou aktuátorov. Nad touto vrstvou je možné nájsť elektroniku a konektory. Táto časť je dôležitá z toho hľadiska, že predstavuje už spomínanú umelú inteligenciu resp. jej prepojenie s mechanickými časťami hlavy, ktorá stojí za fungovaním celého systému. Riadiaca jednotka správne naladí ovládanie motora. [13, 15]



Obrázok 14: Rad aktuátorov a spomínaný „Rail“ [4]

VÝHODY

Technológia FreeValve prináša množstvo výhod, ktoré v súčasnej dobe výrazne ovplyvňujú nielen automobilový priemysel, ale aj ten letecký. Mnohé z nižšie spomenutých výhod sa tak stali, alebo môžu stať, kritériami pri výrobe a navrhovaní nových piestových motorov.

Konštruktéri piestových motorov zvyčajne hľadajú kompromis medzi výkonom a spotrebou. Samozrejme do hry prichádzajú aj iné faktory, ako je životnosť motora, avšak tento faktor je možné považovať za spoločný u všetkých konštruktérov. Vzhľadom na životné prostredie a prísne normy sú konštruktéri nútení prihliadať v dnešnej dobe aj na samotné emisie.

Plne variabilné ovládanie ventilov tak v sebe spája to, čo konštruktéri hľadajú už niekoľko rokov. Freevalve teda

prináša **zniženie emisií** aj **zniženie spotreby paliva**, čo sú v dnešnej dobe žiadané faktory. Okrem týchto faktorov ponúka **vyšší výkon** aj pri rovnakom objeme alebo **celkové zníženie hmotnosti motora**. Zredukovaním viacerých častí došlo k zjednodušeniu celého systému a **zniženiu rozmerov hlavy valcov**. Hlava je kratšia, v dôsledku chýbajúceho náhonu od kľukového hriadeľa, zároveň nižšia keďže chýba vačkový hriadeľ a aj užšia. [10, 13]

Ďalšou zaujímavou výhodou tohto systému je možnosť ovládania každého ventilu osobitne a nezávisle na ostatných ventiloch. Je teda možné nechať ventily zatvorené, otvorené alebo v určitej polohe a to v akomkoľvek čase na rôzne dlhú dobu. Technológia teda umožňuje aj vypnutie valcov. [10]

V prípade turbodúchadlom preplňovaných motorov nie je nutná prítomnosť obtokového ventilu turbodúchadla. Obtokový ventil totiž slúži na odvádzanie výfukových plynov od turbíny turbodúchadla. Odvádzaním výfukových plynov je potrebné kvôli regulácii otáčok a plniaceho tlaku, aby nedošlo k poškodeniu turbodúchadla alebo samotného motora. Túto funkciu nahrádzajú výfukové porty. Vďaka FreeValve je totiž možné regulovať výfukové plyny tak, aby časť bola odklonená do výfuku a potrebná časť prechádzala turbodúchadlom a roztáčala ho na správne otáčky. Požiadavka na zmenu tlaku v turbodúchadle spôsobí, že sa väčšie resp. menšie množstvo výfukových plynov odkloní od turbíny a prejde priamo do výfuku. [10, 16]

MOŽNÉ NEVÝHODY

Vzhľadom na fakt, že technológia nie je ešte rozšírená a neprešlo sa ani k sériovej výrobe, nie je presne možné identifikovať a popísať nevýhody systému. Je možné len predpokladať, čo by mohlo byť teoreticky problematické, pretože žiaden motor v praxi ešte nebol testovaný zákazníkmi.

I napriek tomu, že je motor ešte stále vo fáze vývoja, je možné, že sa v budúcnosti môže kaziť, pretože ide o novú neodskúšanú technológiu. Príkladom môže byť zlyhanie dôležitých aktuátorov, ktoré poháňajú jednotlivé ventily. Životnosť aktuátorov nie je zatiaľ stanovená, a tak nevieme ani zhodnotiť, či pôjde o spotrebný diel alebo nie. Zlyhanie môže mať za následok, že motor bude pracovať v obmedzenom režime, v horšom prípade nebude pracovať vôbec alebo dôjde k jeho poškodeniu. Cena dielov vrátane aktuátorov bude na začiatku pravdepodobne vyššia, keďže momentálne neexistuje viacero výrobcov, ktorí ich ponúkajú, no časom, keď sa konkurencia obohatí a technológia rozšíri, je možné, že cena klesne.

Poruchovosť systému, či už jednotlivých mechanických dielov, alebo riadiacej jednotky môže spôsobiť väčšie problémy, najmä pokiaľ ide o letectvo. V prípade vývoja a výroby leteckých motorov je dôležité, aby agregát bol dostatočne spoľahlivý a tým pádom let bezpečný. Ak by aj bola splnená podmienka, že je poruchovosť minimálna, je dôležité aby motor pracoval spoľahlivo ďalej aj v prípade, že nastane akýkoľvek problém v systéme. Z tohto dôvodu sa v letectve používa zálohovanie.

Riadenie celého systému má na starosti riadiaca jednotka. Počas prevádzky motora môže nastať situácia, kedy riadiaca jednotka prestane pracovať. Môže ísť napr. o dočasnú chybu, kedy na vyriešenie problému stačí jednoduchý reset alebo

môže ísť o fatálne zlyhanie napr. vplyvom prehriatia alebo skratovania. V oboch prípadoch však nastane situácia, kedy motor pravdepodobne prestane pracovať. Riešením takýchto problémov môže byť záložná riadiaca jednotka resp. jednotky, ktoré budú navzájom prepojené. Tým sa docieli, že riadiaca jednotka bude kontrolovať samu seba, či funguje správne a v prípade zlyhania preberie riadenie záložný systém.

Aj u snímačov polohy môže nastať ich zlyhanie, tým pádom nemusia ukazovať presnú polohu a zdvih ventilu. V takomto prípade môže dôjsť k poklesu výkonu motora, pretože sa zníži účinnosť spaľovania. V horšom prípade môže dôjsť k stretu ventilu s piestom, ventily sa prepália a vážne sa poškodí motor. Zálohovanie je teda možné použiť aj tu, pričom jednému aktuátoru budú prislúchať napr. dva a viac snímačov, tak aby bola zabezpečená presnosť snímania polohy a tiež ich spoľahlivosť.

VYUŽITIE V LETECKOM PRIEMYSELE

Technológiu FreeValve je možné aplikovať aj v leteckom priemysle. Väčšina lietadiel v kategórii všeobecného letectva je vybavená piestovými motormi. V súčasnosti sú však agregáty vybavené klasickým riadením ventilov pomocou vačkového hriadeľa.

Systém plne variabilného ovládania ventilov je však celkom sľubný, pretože ponúka výhody, ktoré sú v letectve dosť podstatné a žiadané. Nárast výkonu umožňuje zlepšenie niektorých letových vlastností lietadla. S nárastom výkonu však leteckí konštruktéri prihliadajú aj na spotrebu paliva, ktorá je v leteckých motoroch dosť vysoká aj za cenu nižšieho výkonu. Ako sme už spomínali vyššie, FreeValve ponúka vyšší výkon a nižšiu spotrebu pri zachovaní rovnakého objemu a usporiadania motora. Ďalším podstatným faktorom v letectve je váha. Každý kilogram váhy navyše zvyšuje spotrebu, ale zhoršuje aj letové vlastnosti. Keďže FreeValve ponúka konštrukčne jednoduchšiu hlavu valcov, je teda celková váha motora nižšia. Okrem váhy sa redukciami zmenšili aj celkové rozmery motora, čo má priaznivý vplyv na aerodynamiku. Ako posledné, no nie menej dôležité, je aj ohľad na životné prostredie. Tvorba emisií je tiež kľúčovým faktorom, na ktorý leteckí konštruktéri v dnešnej dobe výrazne prihliadajú. [10]

VI. ZÁVER

Inovatívne technológie vo svete motorov vždy priťahovali veľkú pozornosť. Zmeniť zaužívaný spôsob je však beh na dlhú trať, pretože samotný vývoj ako aj výroba motorov predstavujú veľký objem peňazí. Opatnosť je teda opodstatnená, avšak implementáciu nových systémov v motoroch ako aj samotný pokrok nie je možné zastaviť.

Spomenuté technológie v práci boli popísané a rozobraté až v druhej polovici bakalárskej práce, pretože snahou autora bolo dostať sa k nim postupne a systematicky od základu. Preto bola v úvode popísaná najskôr konštrukcia motora a princíp jeho činnosti. Následne sa pozornosť venovala rozvodovému mechanizmu, jeho princípu a úlohám. Ako súčasť boli v krátkosti priblížené aj historické možnosti ovládania rozvodov. Postupne bolo možné prejsť k samotnému ventilovému rozvodu, ktorý predstavoval základ pre jednu zo spomenutých technológií. Opäť bol popísaný princíp a zároveň dve najčastejšie možnosti s akými sa možno v dnešnej dobe stretnúť v piestových motoroch. Okrem

spomenutých alternatív boli spracované aj prostriedky akými sú jednotlivé alternatívy ovládané. V rámci ventilového rozvodu bola spracovaná aj jeho najdôležitejšia časť, teda ventily. Spracované boli ventily ako také, kľúčové namáhanie počas práce, ale aj ďalšie časti, ktoré súvisia s témou. V krátkosti bola opísaná aj ventilová vôľa, jej rozdiely pri rôznych prevedeniach ventilového rozvodu a spôsoby akými sa nastavenie vôle realizuje v praxi. Pre jednoduchšie vysvetlenie spomenutých technológií bolo následne spracované časovanie ventilov, ktoré zohráva dôležitú úlohu pri dosiahnutí optimalizácie piestového motora, a tiež rozvodový diagram, ktorý znázorňuje samotné časovanie ventilov. V práci bolo navyše aj graficky zobrazené časovanie konkrétneho leteckého motora.

Najväčšia pozornosť bola venovaná práve posledným dvom kapitolám, čo sme už viackrát spomínali. Variabilný ventilový rozvod bol rozobratý ako prvý zo spomenutých technológií, pretože ide o inováciu vo svete motorov, ktorá už síce existuje niekoľko rokov na trhu, ale v leteckom priemysle nie je ani zďaleka taká využívaná ako v automobilovom. Táto kapitola bola náročnejšia na spracovanie, pretože predstavuje množstvo alternatív, ktorými dosiahnuť žiadanú variabilitu. Z tohto dôvodu bolo nutné siahnuť po výbere dvoch najčastejšie používaných alternatív, ktoré môžeme na trhu nájsť. Obe alternatívy predstavujú podobné výhody, značne sa však líšia z hľadiska konštrukcie aj princípom fungovania. Na konci kapitoly boli spomenuté výhody, pre ktoré je celá téma zaujímavejšia. Posledným, no asi najzaujímavejším prínosom bolo spracovanie systému FreeValve. Systém bol charakterizovaný z hľadiska konštrukcie a princípu činnosti. Spomenuté boli aj výhody, ktoré systém ponúka, a tiež aj možné nevýhody. Okrem toho bola opísaná aj možná aplikácia systému do leteckých motorov.

Cieľom bakalárskej práce bolo predovšetkým dostať spomenuté riešenia do povedomia čitateľa a zároveň jednoduchou cestou vysvetliť, ako tieto progresívne riešenia fungujú a v čom spočívajú výhody. Snahou bolo aby si čitateľ vedel predstaviť, o čom je táto bakalárska práca a dostal sa k progresívnym riešeniam od úplného začiatku cez konštrukciu motora, či už je alebo nie je v problematike znalý. Taktiež bolo cieľom graficky znázorniť podstatné časti v práci pre jednoduchšie pochopenie danej problematiky.

PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu **KEGA 011ŽU-4/2018** s názvom „*Nové technológie vo vzdelávaní v študijnom programe Letecká doprava a Profesionálny pilot*“

REFERENCIE

- [1] Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co. KG: Ventilový rozvod - Technika diagnostiky poškodení. Dostupné na internete: <https://www.repxpert.cz/cs/mediadocument/INA-TecBr-ValveTrain-PC/cs> (cit. 6.5.2020)
- [2] Engineering Explained youtube kanál: Variable Valve Lift vs Variable Valve Timing - VVL vs VVT. Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=I5dy2Vnf95w> (cit. 29.4.2020)

- [3] Audi Technology Portal: Audi valvelift system. Dostupné na internete: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/engine-efficiency-technologies/audi-valvelift-system_en (cit. 2.5.2020)
- [4] Freevalve: The Freevalve concept. Dostupné na internete: <https://www.freevalve.com/freevalve-technology/> (cit. 5.5.2020)
- [5] Freevalve: Full control of the combustion cycle. Dostupné na internete: <https://www.freevalve.com/improved-performance/> (cit. 5.5.2020)
- [6] Freevalve: Compact engine design. Dostupné na internete: <https://www.freevalve.com/compact-design/> (cit. 5.5.2020)
- [7] MÖLLER, A. : Cam-less valve train opportunities. Dostupné na internete: <https://www.freevalve.com/insights/cam-less-valve-train-opportunities/> (cit. 5.5.2020)
- [8] VETTER, D. : Christian von Koenigsegg talks about his un-Swedish passion for designing very fast hypercars. Dostupné na internete: <https://www.scmp.com/magazines/style/people-events/article/3013407/christian-von-koenigsegg-talks-about-his-un-swedish> (cit. 6.5.2020)
- [9] Web Autoride: Zážihový motor s priamym vstrekaním paliva: Ako funguje?. Dostupné na internete: <https://autoride.sk/zazihovy-motor-s-priamym-vstrekovanim-paliva-ako-funguje> (cit. 6.5.2020)
- [10] KOENIGSEGG, CH. : Freevalve Update Camless Engine - /INSIDE KOENIGSEGG. Dostupné na internete: https://www.youtube.com/watch?v=S3cFfM3r510&feature=emb_title (cit. 6.5.2020)
- [11] Web Autoride: Nepriame vstrekovanie paliva: O aký typ vstrekovania ide?. Dostupné na internete: <https://autoride.sk/nepriame-vstrekovanie-paliva-o-aky-typ-vstrekovania-ide> (cit. 7.5.2020)
- [12] Tyreooil: SN PLUS & LSPI – What You Need to Know. Dostupné na internete: <https://www.tyreooil.com/news/sn-plus-amp-lspi-what-you-need-to-know> (cit. 7.5.2020)
- [13] Drivers Magazine youtube kanál: Koenigsegg decribes Freevalve - camless engine. Dostupné na internete: https://www.youtube.com/watch?v=OZWENPi2XkE&list=PLRy7PtUt_eFs17urELJORjvzISzZSRhyB&index=5&t=0s (cit. 9.5.2020)
- [14] Engineering Explained youtube kanál: What Is Koenigsegg FreeValve? Camless Engine!. Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=FJXgKY2O4po&t=> (cit. 9.5.2020)
- [15] Freevalve: Components. Dostupné na internete: <https://www.freevalve.com/> (cit. 13.5.2020)
- [16] Web Autoride: Obtokový ventil turbodúchadla alebo aj wastegate. Poznáš toto zariadenie?. Dostupné na internete: <https://autoride.sk/wastegate-alebo-obtokovy-ventil-turboduchadla> (cit. 14.5.2020)
- [17] BUGAJ, M. 2011. Systémy údržby lietadiel. vyd. - V Žiline : Žilinská univerzita, 2011. - 142 s., ilustr. - ISBN 978-80-554-0301-4.
- [18] BUGAJ, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.
- [19] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. 2010. Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva. Žilinská univerzita, 2010. - 125 s. ISBN 978-80-554-0300-7.
- [20] BEŇO, L., BUGAJ, M. & NOVÁK, A., 2005. Application of RCM principles in the air operations. *Komunikácie*, 7(2), pages. 20-24.
- [21] PECHO, P., WYLIE, M. & BUGAJ, M. 2018. *Transportation Research Procedia* 35, pages 287-294.
- [22] JANOVEC, M., SMETANA, M., & BUGAJ, M. 2019. Eddy Current Array Inspection of Zlin 142 Fuselage Riveted Joints. *Transportation Research Procedia* 40, pages 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.042>

Tomáš Horák – narodený vo Zvolene absolvoval v roku 2016 Gymnázium M. Rúfusa v Žiari nad Hronom. V súčasnosti od roku 2017 študuje na Žilinskej univerzite v Žiline odbor profesionálny pilot.