

Vízbefecskendezés alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata szikragyújtású motor esetében a környezetvédelmi határértékek betartásának elősegítése céljából

Investigation of possibilities of water injection for spark ignition engine to promote compliance with emission standards

TÓTH Máté, Dr.-Ing. Jan ROHDE-BRANDENBURGER

Széchenyi István Egyetem, Járműhajtás Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1.
tel.: +36 96 613574, fax: +36 96 613677, e-mail: toth.mate@ga.sze.hu, http://bmt.sze.hu

Abstract

This document presents the possibilities of development of water injection for spark ignition engines, which aims to comply with environmental standards. Within the scope of this article the potential of water injection is introduced to improve many thermodynamic and emission parameters along with fuel consumption efficiency.

Kivonat

Jelen dokumentum a vízbefecskendezés, mint szikragyújtású motorok fejlesztési lehetőségeit mutatja be, melynek célja a környezetvédelmi előírások betartásának elősegítése. A dokumentum bemutatja a vízbefecskendezés módszereiben rejlő potenciált, mellyel a tüzelőanyag-fogyasztás hatékonyság mellett számos termodinamikai és emissziós paraméter is javítható.

Kulcsszavak: szikragyújtású motor, vízbefecskendezés, emisszió, termodinamika, fajlagos fogyasztás

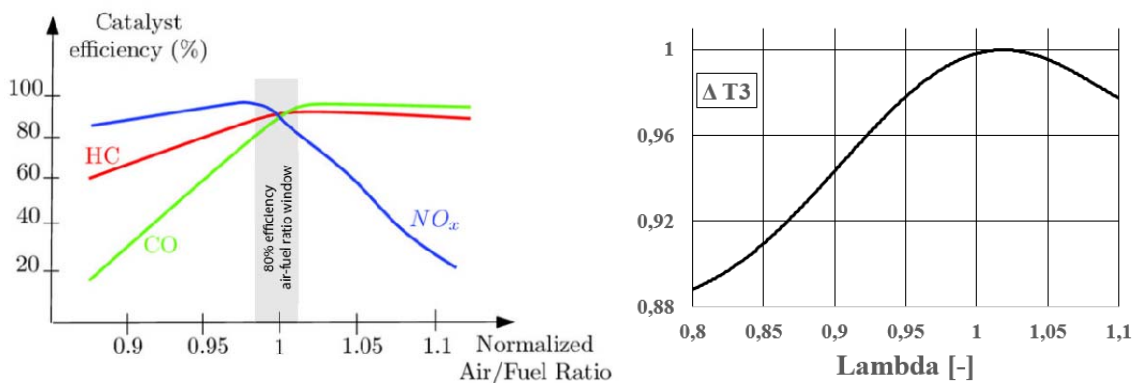
1. Bevezetés

A személygépjárművek károsanyag kibocsátási határértékeit az EURO-normákkal szabályozzák, melyben az adott járműkategóriára vonatkoztatott, betartandó értékek szerepelnek. A kibocsátható károsanyag mennyiség szigorodó tendenciát ír le, mely nem csak a számszerű határérték változásokat, hanem a mérési metódus átalakításait is magában foglalja. Az emissziós típusvizsgálatok személyautókat tekintve Európában az NEDC (New European Driving Cycle) és WLTP (Worldwide Harmonised Light-Vehicles Test Procedure) ciklusok szerint teljesíthetők. A mérések alatt a kibocsátott káros anyagok és a szén-dioxid kibocsátás is rögzítésre kerül. 2020-ban az elfogadott szabvány az EURO6, mely mérési periódusa magába foglalja a WLTP ciklust és az RDE (Real Driving Emission) mérési módszert is. Az RDE ciklus már a teljes jellegmezőn, valós járműhasználat közben megkívánhatja a károsanyag kibocsátás határértékek betartását, előírás szerinti kompenzációkkal. Ezalatt, ha egy belsőégésű motor teljesítmény burkológörbéje kerül szemügy alá, akkor látható, hogy annak közel teljes egésze válik vizsgálandóvá a jövőben. [1.]

A károsanyag kibocsátás mellett a környezetre a szén-dioxid kibocsátás is hatással van, mely üvegházhatást fokozó gáz. Ezért a flottakibocsátásra határértéket szabnak meg. Európában 2020 januárjától 95 g/km a megengedett határérték NEDC ciklus szerint. Ezen érték túllépése esetén a gyártó az eladott járművek után büntetést köteles fizetni. A korlátozás a járműipari vállalatokat a belsőégésű motorok hatékonyságának növelésére és az elektromos, illetve hibrid járművek fejlesztésének irányába tereli. [2.] [3.]

2. Belsőégésű motorok fejlesztési irányvonala

Az Otto-motorok hatásfoknövelése céljából hódítottak teret a kis lökettérfogattal rendelkező, turbófeltöltővel ellátott motorok (downsizing). A feltöltésnek köszönhetően elérhető, hogy a kisebb lökettérfogatú motorok hatékonyabban üzemeljenek, teljesítményszint csökkenés nélkül. Azonban az optimalizálás egyre nagyobb kihívást jelent, a motorok termikus terhelése ezáltal igen nagy mértékűvé válik. Az alkatrészek termikus terhelés elleni védelmének egy módja a tüzelőanyaggal történő keverék dúsítás, a párolgó tüzelőanyag hőelvonó képessége által. Ez a megoldás a károsanyag kibocsátást és a tüzelőanyag fogyasztást is hátrányosan befolyásolja. A tüzelőanyag dúsítás alkalmazásával növekszik a tüzelőanyag fogyasztás, ezáltal pedig a légviszony tényező eltér a sztöchiometrikus aránytól (14,7 kg levegő 1 kg tüzelőanyag arány, benzin esetében), mely a hármas hatású katalizátorok átalakítási hatásfokát jelentősen csökkenti, mivel az sztöchiometrikus közeli állapotban éri el a kellő hatásfokot a károsanyag redukcióhoz. [1.] [2.]



45. ábra

Három utas katalizátor átalakítási hatásfokának és a kipufogógáz hőmérséklet csökkentésének bemutatása légviszony tényező változás függvényében [2.]

A sztöchiometrikus üzem közelében a legmagasabb az égés, illetve a kipufogógáz hőmérséklete. A hőterhelés csökkentésére több lehetőség is fennáll. Elsőként lehetséges a motorok fajlagos teljesítményét csökkenteni, de ez a piac igényeit nem elégíti ki. Változatlan teljesítmény esetén pedig más megoldást kell keresni. Egy megoldás a vízbefecskendezés, mely a szívórendszerbe vizet juttatva annak elpárolgása által hűti a vízzel érintkező felületeket és az érintkező közeget, a beszívott levegőt is. A módszer előnyei között szerepel az, hogy a víz párolgása során egyéb káros anyag nem keletkezik, így az további károsanyag keletkezés nélkül használható az égéstér hűtésére. A hűtő hatás a motorvezérlő applikáció függvényében kihat a sűrítés közben fellépő hőmérsékletre ezzel pedig a kopogási tendenciára is, csökken a turbófeltöltő turbinakerekére és turbinaházára jutó hőigénybevétel, illetve a katalizátor magas hőmérséklet miatt fellépő korai öregedését is megakadályozhatja, emellett pedig a NO_x képződést is redukálásra kerülhet. A csökkentett töltet hőmérséklet miatt az égési súlypont is optimalizálható, ezzel pedig a hatásfok javulás mellett magasabb fokú termikus energiafelhasználás is realizálható. [1.]

3. A vízbefecskendezés története

A vízbefecskendezés alkalmazásának lehetősége egészen az Otto-motorok megjelenésének kezdetére nyúlik vissza. Az 1890-es években Bánki Donát már kísérleteket végzett vízbefecskendezéses Otto-motorral, majd az akkoriban megjelenő dízel motorok miatt Bánki találmánya háttérbe szorult. Később a II. Világháború alatt alkalmazták repülőgépek motorjaiban, metanollal keverve. Végezetül a 20. században egy-egy személyautóban, illetve a versenysportban tűnt fel. Ismételten az emissziós követelmények szigorodása miatt nyert teret a módszer alkalmazása, mint egy lehetőség a motorok termikus igénybevételeinek csökkentésére, mellyel fogyasztás és károsanyag kibocsátás is csökkenthető, a hatásfok pedig javítható. [1.]

4. Várható károsanyag kibocsátási határértékek a környezetvédelmi normák szigorodásának esetére

A környezetvédelmi szabályozások következő szigorodási lépcsőjének bevezetése 2025-re várható. Ezen esetben a WLTP ciklus mellett RDE mérés is zajlik majd, mellyel kapcsolatban kialakulóban van egy elmélet, miszerint a károsanyagok redukálása miatt a járműveknek teljes jellegmezőn sztöchiometrikus keverékkel kell üzemelniük. Magas teljesítménysűrűségű motorok esetén a közlekedési szabályok és az RDE ciklus jelenlegi szabályozását betartva nem realizálható, hogy minden munkapontban üzemeljen a jármű a közúti közlekedésben a mérés során. Így várhatóan az RDE ciklusban meghatározott vizsgálati metódusokat érintő munkapontokban elkerülhetetlen a típusbizonyítvány megszerzéséhez teljesíteni a határértékeket. Teljes jellegmező korlátozásról nincsenek konkrét információk, azonban központilag ezt is szabályozhatják a jövőben érvényesíteni kívánt szabályozások esetében. [4.]

5. Vízbefecskendezés használata koncepció járművek esetében

A szigorodó károsanyag kibocsátási normák és a teljesítménynövelés opciói miatt egy-egy gyártó koncepció járművekkel állt elő. Ezek közül a BMW és az AVL koncepció járművei kerülnek bemutatásra.

A BMW korábbi fejlesztése az M4 MotoGP Safety Car járműben debütált, ahol a vízbefecskendezés alkalmazásának motivációja a kopogásos égés megjelenésének késleltetése volt, ezzel elérve, hogy változatlan kompresszióviszony mellett nagyobb maximális teljesítményt lehessen elérni a feltöltési nyomás növelésével és a vízbefecskendezés használatával. Ezzel az M4 teljesítménye 425 Le-ről 493 Le-re növekedett. A vízbefecskendező rendszer a szívócsőbe került beépítésre. [1.]

A BMW másik fejlesztése egy 3 hengeres, 1500 cm³ lökettérfogatú motor átépítése volt. Cél a hatékonyság növelése, mely a gyártó közleménye szerint 8% fogyasztás csökkenésben mutatkozott meg, 10%-kal magasabb nyomatékleadás mellett. A víz kisebb hányada a szívórendszerbe került bejuttatásra, míg nagyobb része a közvetlen befecskendező rendszeren keresztül, tüzelőanyag-víz emulzióként. [1.]

Az AVL koncepció autója az Alfa Romeo 4C, mely a fejlesztés után a Hyper 200 nevet kapta. A név az elért eredményekből származik, a cél és az elért eredmény a 200kW/l teljesítmény volt úgy, hogy a jármű megfeleljen a környezetvédelmi előírásoknak. Ehhez a teljesítményhez szükséges volt a kor teljes technikai arzenáljának bevetésére, főként Miller ciklust, vízbefecskendezést és mechanikus-elektromos feltöltők kombinációit alkalmazva. A vízbefecskendezés ezen esetben 7 bar nyomáson történik a szívócsőbe. A jármű 170kW/l teljesítményig képes sztöchiometrikus keverékkel üzemelni, a csúcsteljesítményhez már szükséges a tüzelőanyaggal való dúsítás. [1.]

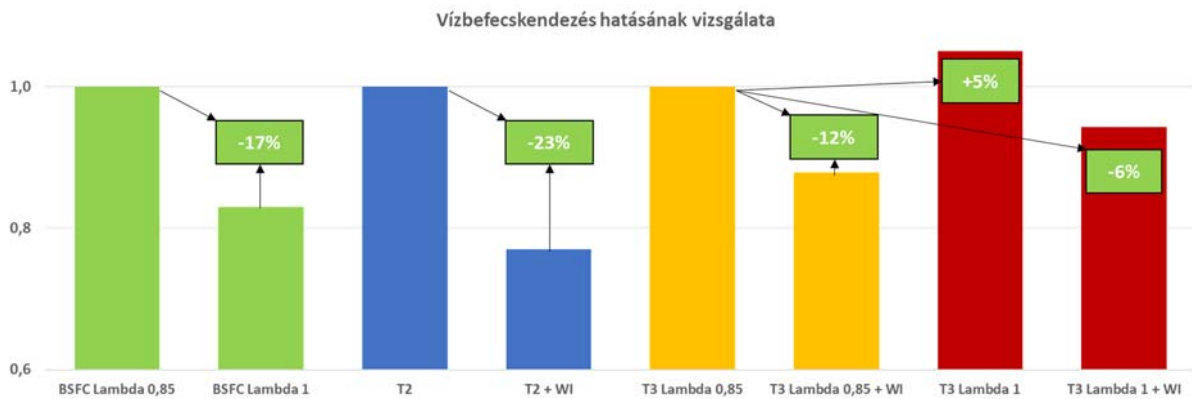
6. Vízbefecskendezés hatásának vizsgálata motorfékpadon

A vízbefecskendezés teszt mérései a Széchenyi István Egyetem motorfékpadján készültek. A kiválasztott motor egy feltöltött Otto-motor, mely szívórendszerének utómunkálása során hengersizektív vízbefecskendező fűvókák kerültek beépítésre. A vizsgálat során a motor feltöltött üzemben működött, 20 bar effektív középnyomáson, konstans fordulatszámon.

A 2. ábrán szereplő diagram összehasonlításként bemutatja a légviszony tényező változtatás során mért fajlagos fogyasztás (Bsfc), szívócső (T2) és kipufogógáz (T3) hőmérséklet értékeket, illetve a sztöchiometrikus üzemre történő áttérés során fellépő változásokat, vízbefecskendezéssel és anélkül. A motor átépítése során kutatási adatok gyűjtése céljából további hő és nyomásmérők kerültek beépítésre. A motormenedzsment paramétereinek befolyásolásához kalibrálható motorvezérlő került alkalmazásra.

A fajlagos fogyasztás a Lambda 1 értéket elérve jelentősen, 17%-kal csökken, a gyári applikáció alkatrészvédelem miatti, dús, Lambda 0,85 értékéhez képest. Ez a jármű fogyasztását és a károsanyag-kibocsátását is azonnal redukálja. A fogyasztás csökkenéssel a szén-dioxid kibocsátás is csökken, az elégtelen szénhidrogének mennyisége pedig nullához közelíthet.

A vízbefecskendezést alkalmazva az első jelentős változás a működési folyamatban a beszívott levegő hőmérsékletének (T2 + WI) csökkenése. Ez a szívórendszerben lévő fűvókáknak köszönhető, ugyanis a kiépített rendszerben a hőelvonás már a hengerfej előtt megkezdődik. Ennek előnye, hogy a beszívott töltet alacsonyabb hőmérsékleten jut be a hengerekbe, így pedig a kompressziós ütem is alacsonyabb hőmérsékleten fejeződik be, ezzel pedig a kopogási hajlam is csökkenthető, az égési súlypont pedig optimalizálható. A fellelhető szakirodalmak alapján következtetett hátrány, hogy a vízfogyasztás határfoka és a kipufogógáz hőmérsékletére való hatás alacsonyabb, mint a közvetlenül az égéstérbe juttatott víz esetében. [1.]



46. ábra

Lambda 1 üzem és vízbefecskendezés hatásának bemutatása fékpadi mérések alapján 20 bar effektív középnyomás esetén

A termikus igénybevételek szempontjából a legszűkebb keresztmetszetet a kipufogógáz hőmérséklete (T3), kipufogó-szelepek, turbinakerék és turbinaház anyagi tulajdonságai adják. A T3 csökkentésre is hatásosan működik a vízbefecskendezés. Elérhető, hogy a Lambda 1 üzem mellett a T3 + WI hőmérséklet a széria applikációs hőmérsékletet elérje, vagy épp további hőmennyiség kerüljön kivonásra a rendszerből, ezzel megvédve az alkatrészeket. Így a kívánt elvárásokat teljesíti az utólag épített egyedi vízbefecskendező rendszer, egyszerre nyújt lehetőséget alkatrészvédelmi, termodinamikai és emissziós szempontból fellépő kihívásokra.

7. Konklúzió

A vízbefecskendezés módszere a kutatás és a fékpadi mérések alapján alkalmazható a szikragyújtású motorokban történő égésfolyamatok optimalizálására, ezzel elősegítve a sztöchiometrikus üzemet, ami a károsanyag és szén-dioxid kibocsátás csökkenéssel jár. Elért eredmény, hogy a vizsgált motoron a tüzelőanyag dúsítást elhagyva a többlet tüzelőanyag hőelvonó képességét a víz helyettesítheti részben, vagy egészében.

További fejlesztési potenciál a töltet és égéster hűtésének kihasználásával a kompresszióviszony növelésének lehetősége, mely tisztán hatásfok növekedést eredményez. A jövőbeni fejlesztések során komoly potenciál rejtezik a vízfogyasztás hatásfokának a növelésében, mely kiemelt szerepet kap a jármű integrációban és a motor tribológiai rendszerének megóvása érdekében.

8. Hivatkozások

- [1.] Tóth M., Sass P., Vízbefecskendezés alkalmazásának lehetőségei a környezetvédelmi normák teljesítésének elősegítése érdekében, Tavaszi Szél Konferencia 2019. Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia Tanulmánykötet, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, Magyarország, 2020, pp. 114-125., 12 p.
- [2.] Delphine Bresch-Pietri., Robust control of variable time-delay systems : Theoretical contributions and applications to engine control, MINES ParisTech, ReserachGate, 2012
- [3.] Worldwide Emission Standards and Related Regulations, Passenger Cars / Light and Medium Duty Vehicles, Continental, May 2019
- [4.] Dr. Nagyszokolyai Iván, Határátlépés – Vízbefecskendezés, Autótechnika szakfolyóirat, 2015 augusztus, pp. 26-30