

Otto-motorok teljes terhelésen alkalmazott sztöchiometrikus üzemének lehetőségei az EURO 7 tekintetében

Possibilities of Full-Load Stoichiometric Operation of Gasoline Engines with Regard to EURO 7

SZŰCS Herman^{1,2,*}, PhD hallgató, fejlesztőmérnök
VEHOVSZKY Balázs PhD¹, egyetemi docens

¹Széchenyi István Egyetem, Járműfejlesztési Tanszék, Győr,
Egyetem tér 1, 9026, Hungary, jft.sze.hu

²Audi Hungaria Zrt., Motorfejlesztés, Győr, Audi Hungária út 1, 9027, Hungary, www.audi.hu

*E-mail: szucsherman@outlook.hu

Abstract

Meeting the requirements of future emission standards (EURO 7) is a significant challenge for engine development, which requires the integration of new methods into practice. Presently, gasoline engines use enrichment at full load to cool components (e.g., cylinder head) and reduce exhaust temperature. In this case, the three-way catalyst operates with low efficiency and the emission is also increased. The present study offers opportunities for development engineers to achieve $\lambda=1$ at full load.

Keywords: stoichiometric operation, emission, EURO 7, gasoline engine, engine development

Kivonat

A jövőbeli emissziós előírások (EURO 7) teljesítése jelentős kihívást jelent a motorfejlesztés számára, melyhez új módszerek integrálására lesz szükség. Jelenleg Otto-motoroknál teljes terhelésen dúsítással oldják meg az alkatrészek hűtését (pl. hengerfej) és a kipufogógáz hőmérséklet csökkentését. Ez esetben a katalizátor alacsony hatásfokkal üzemel és megnő az emisszió. Jelen tanulmány olyan lehetőségeket kíván összegyűjteni a mérnökök számára, amelyek segítenek teljes terhelésen a $\lambda=1$ megvalósításában.

Kulcsszavak: sztöchiometrikus üzem, emisszió, EURO 7, Otto-motor, motorfejlesztés

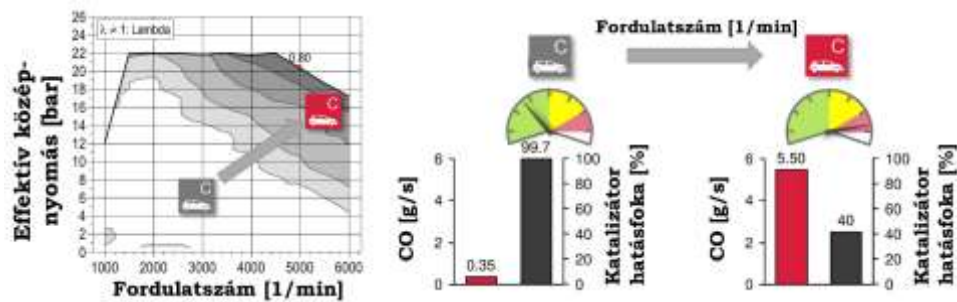
1. BEVEZETÉS

Az Euro normák 1992 óta korlátozzák a személygépjárművek kibocsátott légszennyező károsanyagok emisszióját. Ezen előírások folyamatos szigorodása és az új vizsgálati módszerek megjelenése komoly kihívást jelentenek a motorfejlesztőknek. A szigorodó előírásokat valós körülmény mellett kell teljesíteni, ahol már a vezetési stílus, a tengerszintfeletti magasság és a szél is hatással van a jármű emissziójára. Ehhez még a hidegindítás is hozzájárul, amely a HC emisszió jelentős részéért felel. A jövőbeli EURO 7 normánál (2023-2025 között) várhatóan már sztöchiometrikus keveréket ($\lambda=1$) kell biztosítani a teljes jellegmezőben, hogy a katalizátor valós vezetési körülményeknél is hatékonyan tudja kezelni a károsanyagokat. [1.], [2.]

2. SZTÖCHIOMETRIKUS ÜZEM MEGVALÓSÍTÁSA

Az Otto-motorok nagy terhelésen dúsítással üzemelnek. A dúsítás során bejuttatott többlet tüzelőanyag az égésben nem vesz részt, a pozitív munkaterületet nem növeli, szerepe az alkatrészek hűtése a magas párolgási entalpiája révén. Ilyenkor azonban a hármas hatású katalizátor átalakítási hatásfoka lecsökken, így a jármű HC és CO emissziója továbbá a tüzelőanyagfogyasztása is megnő. Az 1. ábra egy motor jellegzőjét szemlélteti két eltérő légviszonyú munkapontot bejelölve. Ezen munkapontokban jelentkező CO emissziót, valamint katalizátor hatásfokot láthatjuk. Jól kivehető, hogy a $\lambda=1$ üzem hatására jelentős emisszió-csökkenés érhető el. Ezen okból került a dúsítás elkerülése a motorfejlesztés középpontjába. A teljes terhelésen $\lambda=1$ -gyel működő motor esetében a hűtés kiesése komoly gondot jelent az alkatrészek hűtésében, így a maximális teljesítményt az alkatrészek hőállósága korlátozza

és a motorteljesítmény csökkenésével kell számolnunk. Ezért olyan technológiákat kell keresni, amelyek a kieső hűtőteljesítmény képesek pótolni. [1.], [2.]



1. ábra A munkapont hatása a CO emisszióra és a katalizátor hatásfokra [1.]

2.1. Vízbefecskendezés

A vízbefecskendezés egyidejűleg alkalmas technológia a teljes terhelésen megvalósított $\lambda=1$ üzemre és a CO₂-kibocsátás csökkentésére. Működési mechanizmusa a magas párolgási entalpián alapszik, mely hatására a hengert és a töltetet lehűti, ezzel csökkenti a kopogási hajlamot, továbbá a kipufogógáz hőmérsékletet. A CO₂-kibocsátás csökkentéséhez úgy járul hozzá, hogy a kisebb kopogási hajlam miatt nagyobb kompresszióviszonyt enged meg. A víz párolgási entalpiája (2257 kJ/kg) több, mint 5-ször nagyobb, mint a 95-ös oktánszámú benzíné (420 kJ/kg), ezáltal alkalmas lehet a kieső hűtőteljesítmény pótlására. [1.], [3.]

2.2. Kipufogógáz visszavezetés és visszatartás

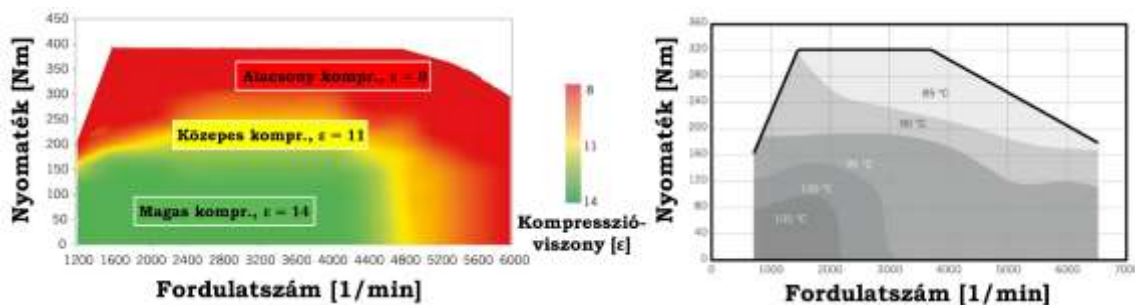
A kipufogógáz visszavezetés ill. visszatartás az égési, valamint a kipufogógáz-hőmérséklet csökkentésében játszik szerepet. Megkülönböztetünk belső ill. külső kipufogógáz visszavezetést, valamint kipufogógáz-visszatartást. A kipufogógáz külső visszavezetése során a kipufogócsatornából kisnyomású- vagy nagynyomású kipufogógáz kerül visszavezetésre a szívócsőbe. A belső kipufogógáz visszavezetés esetén a kipufogószelepek vezérlését úgy kell beállítani, hogy a szívás során még nyitva legyenek, ezáltal kipufogógáz áramlik vissza a hengerbe. A kipufogógáz visszatartás esetében a kipufogószelep rövidebb ideig van nyitva, így nem tud eltávozni az összes kipufogógáz a hengerből. [4.], [5.]

2.3. Változtatható-kompresszióviszony

A kompresszióviszony növelésével a belsőégésű motorok termikus hatásfoka növelhető, mivel ilyenkor a pozitív munkaterületet növekszik (Otto motor p-v diagramja). A kompresszióviszony nem növelhető minden határon túl, ennek elsősorban a kopogásos égés szab határt. Részterhelésen megengedhető lenne nagyobb kompresszióviszony, mivel ekkor alacsonyabb az égési hőmérséklet. A változtatható-kompresszióviszonyú rendszerek (VCR) ezen tulajdonságokat használják ki, tehát nagy terhelésen kis kompresszióviszony mellett üzemel a motor, míg kis terhelésen nagyobb is megengedhető. Ennek ábrázolása látható a motor jellegmezőben az 2. ábrán (bal oldal). Megvalósítására ma már számos megoldás ismert és alkalmazott szériagyártásban. [6.]

2.4. Intelligens termomenedzsment rendszer

Az intelligens termomenedzsment (ITM) biztosítja a hűtővíz hőmérsékletének optimális értéken tartását a teljes jellegmezőben (2. ábra, jobb oldal) a hűtővíz áramlásának szabályozásával. [7.]



2. ábra A kompresszióviszony változtatása [6] és a hűtővíz hőmérséklet változása a jellegmezőben [7.]

Ennek eredménye az alacsony sűrűdés, magas termikus hatásfok, valamint a motor hidegindítása során gyors bemelegedési szakasz. Alacsony fordulatszámra és terhelésre 105 °C hűtővízhőmérséklet kerül beállításra, míg magasabb terhelésre és fordulatszámra a hűtővíz hőmérséklet 85 °C-ra csökkenthető. [7.]

2.5. Integrált kipufogóleömlő

A kipufogócsatlakozások a hengerfejben összevezetésre kerülnek egyetlen csatornába, mely lehetőséget nyújt a kipufogógáz közvetlen hűtésére a hengerfej hűtővízkörével. Ilyen megoldásra mutat példát a 3. ábra, melyen a kipufogócsatornák pirossal, a vízköpeny pedig kézzel van jelölve. [7.], [8.]



3. ábra Hengerfejbe integrált kipufogóleömlő az AUDI EA888 motoron [7.]

3. MÓDSZEREK ÉRTÉKELÉSE

A kipufogógáz hőmérsékletének csökkentésére szolgáló különböző módszerek összehasonlítását az 1. táblázat szemlélteti. Az EURO 7-es norma teljesítéséhez várhatóan többet is fel kell majd használni. Az értékelési szempontoknál az „1-6” osztályozási rendszert alkalmaztuk, ahol az „1” az adott kritériumra vonatkozó nem megfelelőséget jelenti, a „6” pedig az ideális megoldás a vizsgált tulajdonságokra.

A kipufogógáz hőmérsékletének csökkentésére szolgáló eljárások értékelési mátrixa

1. táblázat

| | Vízbefecskendezés | Integrált kipufogóleömlő | Kipufogógáz-visszavezetés | Kipufogógáz-visszatartás | Változtatható-kompresszió-viszony | Intelligens termomenedzsment |
|------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Bekerülési költség | 1 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| Tüzelőanyag-fogyasztás | 5 | 4 | 3 | 1 | 5 | 5 |
| Extra folyadék | 1 | 6 | 6 | 6 | 4 | 6 |
| Megbízhatóság | 3 | 6 | 3 | 3 | 2 | 4 |
| Komplexitás | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 | 2 |
| Helyigény | 4 | 4 | 5 | 5 | 2 | 5 |
| Alkalmazási terület | 6 | 6 | 4 | 4 | 3 | 5 |
| Teljesítmény növelése | 6 | 4 | 3 | 1 | 6 | 3 |
| Összesen | 28 | 35 | 34 | 31 | 26 | 32 |

Az értékelés szerint az integrált kipufogóleömlő az optimális megoldás, ezt követi a kipufogógáz-visszavezetés és az ITM, ami a következőkkel támasztható alá.

A bekerülési költsége a vízbefecskendezésnek a legmagasabb, mivel a komplex rendszerhez számos alkatrész (befecskendező, vízszivattyú, csövek, víztartály stb.) szükséges. A belsőégésű motorok tüzelőanyag-fogyasztásának csökkentésére kiváló megoldás a vízbefecskendezés, a VCR, valamint az ITM. A kipufogógáz-visszatartás nem alkalmas tüzelőanyag-fogyasztás csökkentésére, mivel ezen rendszer korai kipufogó-szelep zárással üzemel, ami növeli a kitolási munkát (p-V diagram negatív területe). A vízbefecskendezéshez további üzemanyag (víz), valamint a VCR működtetéséhez kenőolaj szükséges, mint extra folyadék. A megbízhatóság szintén fontos kritérium. Az integrált kipufogóleömlő ill. az ITM megbízható megoldások. A VCR, a vízbefecskendezés, a kipufogógáz-visszavezetés ill. -visszatartás kevésbé megbízható, mivel mozgó alkatrészekkel is rendelkeznek, melyek az üzembiztonságot csökkentik. A rendszer komplexitását tekintve a VCR és a vízbefecskendezés is szerkezetileg összetettek, amely a hibák előfordulását, gyakoriságát növeli. Az

ITM bonyolultságát a hűtőfolyadék hőmérsékletének változtatása okozza, amelyhez különböző szelepekre és szabályozó berendezésekre van szükség. Az integrált kipufogóleömlő megbízható megoldás, azonban a vízköpeny felépítése és tervezése egyaránt összetett. A kipufogógáz-visszatartás értékelésénél a vezérműtengely-állítás bonyolultságát kell figyelembe venni. A kipufogógáz-visszavezetéshez szabályozó szelepek szükségesek, azonban ezek meghibásodása elhanyagolható. A következő kritérium a helyigény. A vízbefecskendezés, a VCR és az integrált kipufogóleömlő is többlet telepítési helyigénnyel rendelkeznek. Kipufogógáz-visszavezetésnél és visszatartásnál a teljesítmény nagymértékben csökken, mivel a nagy kipufogógáz arány a hasznos töltet csökkenéséhez vezet. A töltőnyomás növelésével a kipufogógáz-visszavezetés és visszatartás tartománya kibővíthető. A VCR esetében a kompresszióviszony növelését a kopogásos égés határolja. Továbbá a VCR mechanizmusának többlettömege is hátrányt jelent (forgó, alternáló mozgást végző tömegerek). Teljesítmény-növelés tekintetében a vízbefecskendezés, az integrált kipufogóleömlő, valamint a VCR alkalmazása ajánlott. Ezen túlmenően a VCR magas potenciállal rendelkezik a kipufogógáz hőmérsékletének redukálására.

Kiemelnénk, hogy a bemutatott és értékelt módszerekből többet kell használni a kipufogógáz hőmérsékletének csökkentése, ami az EU7 kibocsátási normának való megfeleléshez szükséges. A kipufogógáz-visszavezetés és visszatartás hatékony kompromisszum, mivel NO_x-emisszió csökkentésére is használhatóak. Hatékony módszer továbbá az integrált kipufogóleömlő és az ITM, mivel redukált fejlesztési kockázat mellett számos előnnyel rendelkeznek.

4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

A károsanyag emissziós előírások szigorodása miatt a $\lambda=1$ üzem a motorfejlesztés előterébe került. Az EURO 7 esetében már várhatóan a teljes jellegmezőben $\lambda=1$ -et kell biztosítani, hogy a hármas hatású katalizátor megfelelő hatásfokkal üzemeljen. Ehhez olyan módszerek integrálására lesz szükség, amely a kipufogógáz hőmérsékletet csökkenteni képes, mint pl. a vízbefecskendezés. Cikkünk a releváns módszereket bemutatta és értékelt, mely alapján az optimális megoldás a hengerfejbe integrált kipufogóleömlő. Ezen felül még alkalmazásra javasolt megoldás a kipufogógáz-visszavezetés és az ITM.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton fejeznénk ki köszönetünket Dr. Hanula Barnának, az Audi Hungaria Járműmérnöki Kar dékánjának több éves szakmai útmutatásáért és mindenkor támogatásáért.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Baumgarten, H., Nijs, M., Lehn, H., Thewes, M., Classen, J., Sterlepper, S., *NEW LAMBDA = 1 GASOLINE POWERTRAINS NEW TECHNOLOGIES AND THEIR INTERACTION WITH CONNECTED AND AUTONOMOUS DRIVING*, 30th International AVL Conference “Engine & Environment”, 2018, Graz, 1-16
- [2] Engeljehring, Kurt, *Emission Regulation Trends*, AVL India Seminar, 2018, AVL List GmbH, https://www.avl.com/documents/10138/8665616/02+AVL+India+Seminar+May+2018_Regulation+Trends_Engeljehring.pdf (2021.02.11.)
- [3] Hermann, I., Glahn, C., Paroll, M., Gumprich W., *Water injection for gasoline engines – potentials and challenges*, Internationaler Motorenkongress 2019, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2019, pp. 115-138, https://doi.org/10.1007/978-3-658-26528-1_7
- [4] Lösing, H., Lutz, R., *Einhaltung zukünftiger Emissionsvorschriften durch gekühlte Abgasrückführung*, MTZ (60), Nr. 7, 7/1999, S. 470-475, <https://doi.org/10.1007/BF03226525>
- [5] Spicher, U., Stoffels, H., *Gemischbildung- und Verbrennungsverfahren*, R. Basshuysen, Ottomotor mit Direkteinspritzung und Direkteinblasung, 4. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017, <https://doi.org/10.1007/978-3-658-12215-7>
- [6] Shinichi, K., Katsuya, M., Shuji, K., *The New Nissan VC-Turbo with Variable Compression Ratio*, MTZ worldwide, 2017, pp. 42-48, <https://doi.org/10.1007/s38313-017-0115-9>
- [7] Eiser, A., Doerr, J., Jung, M., Adam, S., *THE NEW 1.8 L TFSI ENGINE FROM AUDI PART 1: BASE ENGINE AND THERMOMANAGEMENT*, MTZ worldwide, Vol. 72, 06/2011, <https://doi.org/10.1365/s38313-011-0062-9>
- [8] Kuhlbach, K., Mehring, J., Borrmann, D., Friedfeld, R., *Zylinderkopf mit integrierter Abgaskrümmung für Downsizing-Konzepte*, MTZ (70), Nr. 4, 4/2009, pp. 286-293, <https://doi.org/10.1007/BF03225480>