

Vízbefecskendezés alkalmazása az EURO 7 kibocsátási norma teljesítéséhez

Application of Water Injection to Meet EURO 7 Emission Standard

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

Water injection is a promising solution to reduce emissions of gasoline engines, which allows the stoichiometric operation ($\lambda=1$) in the entire engine map, in order to meet future emission standard (EURO 7). The study describes the possibility of water injection and then presents a possible theoretical solution for the application of water injection in a production five-cylinder gasoline engine operating at full load with fuel enrichment.

Keywords: water injection, emission, EURO 7, gasoline engine, engine development

Kivonat

A vízbefecskendezés egy ígéretes megoldás az Otto-motorok károsanyag-kibocsátásának csökkentésére, mely ezen felül lehetővé teszi a teljes jellegzőben alkalmazott sztöchiometrikus üzemet ($\lambda=1$), ezáltal jövőbeli emissziós norma (EURO 7) teljesítését. A tanulmány a vízbefecskendezés lehetőségét ismerteti, majd bemutatásra kerül egy lehetséges elméleti megoldás vízbefecskendezési rendszer megvalósítására egy soros öt hengeres széria Otto-motorhoz, amely teljes terhelésen keverék-dúsítással üzemel.

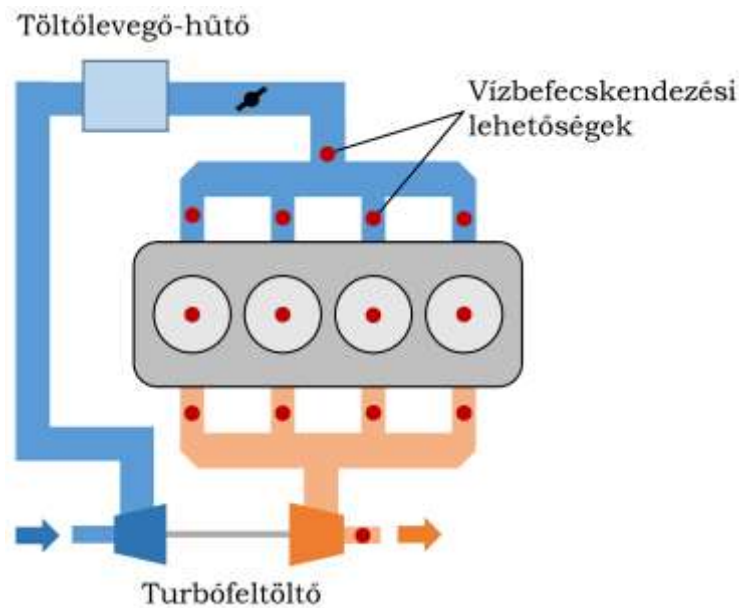
Kulcsszavak: vízbefecskendezés, emisszió, EURO 7, Otto-motor, motorfejlesztés

1. BEVEZETÉS

A vízbefecskendezés (VI) olyan technológia, amely alkalmas a motorteljesítmény növelésére, melynek lehet egyik célja a motorfejlesztés egyik trendje, a „Downsizing”. Ezen felül a VI képes a kipufogógáz hőmérséklet csökkentésére, különösen jó eredményt lehet elérni a többszörös közvetlen befecskendezéssel. Továbbá lehetővé teszi a $\lambda=1$ üzemet teljes terhelésen. Kísérleti eredmények igazolják, hogy a vízbefecskendezés kismértékben csökkenti a CO-kibocsátást, továbbá jelentősen csökkenti a NOx-emissziót, mivel a termikus NOx képződés összefügg a hőmérséklettel. Ennek ellenére, a szénhidrogén (HC) és részecske (PM, PN) emissziót egyes esetekben növeli. Továbbá alkalmas CO₂-kibocsátás ezáltal a fogyasztás csökkentésére is azáltal, hogy a víz a magas párolgási entalpiája révén lehűti a töltetet, ezzel csökkenti a kopogási hajlomot, így nagyobb kompresszió-viszony engedhető meg. [1.], [2.], [3.]

2. VÍZBEFECSKENDEZÉSI MEGOLDÁSOK

A vízbefecskendezési koncepciók csoportosítását a vízbefecskendezés helye szerint végezhetjük el, melyet az 1. ábra mutat be. A befecskendezés helyét illetően 3 lehetőség van: szívócsatorna, égéstér és a kipufogócsatorna. A szívócsatorna esetében fecskendezhetünk a szelep elé vagy attól távolabb is (központi befecskendezés). A hengerbe vagy külön injektorral vagy pedig a tüzelőanyag injektorával tudjuk a vizet bejuttatni. A kipufogócsatornába a turbó előtt vagy után történhet a befecskendezés. A szívócsatornába és az égéstérbe történő befecskendezés az égéstérből vonja el a hőt, míg a központi befecskendezés esetében a beszívott levegőtől. A nem megfelelően kiválasztott befecskendezés ez esetben falnedvesítést eredményez, mely az alkatrészeket hűti és lassabb párolgást tesz lehetővé, ezért kedvezőtlen megoldás. [1.], [2.], [3.]



1. ábra Vízbefecskendezési koncepciók [1.]

A hűtés szempontjából a közvetlen befecskendezési megoldások a kedvezőek, azonban a rendszerük komplexitása, költségigénye ezen esetben magas és a befecskendező elhelyezése is problémás. [1.], [2.], [3.]

2.1. Szívócsatorna-befecskendezés

A szívócsatorna-befecskendezés lehetőséget teremt a fojtási veszteségek csökkentésére, mivel a hozzáadott víz mennyisége miatt részterhelésen kisebb fojtás is elegendő. A víz a kb. 200 °C-os szelepeken gyorsan elpárolog, a hengerbe vízgőz jut be. Amennyiben a szeleptől távolabb fecskendezünk be, akkor az égés ideális helyzetbe hozható az előgyújtás optimalizálásával. A víz itt is elpárolog, amely a töltőlevegő hőmérsékletét csökkenti, de ez feltöltött motoroknál elhanyagolható jelentőséggel bír. [4.], [5.]

2.2. Közvetlen befecskendezés

A közvetlen vízbefecskendezés történhet külön injektorral és a tüzelőanyag befecskendezővel szakaszos injektálással vagy emulzió befecskendezésével. A plusz injektorral a hengerfej hűhető felülete csökken és a költségek is jelentősebbek. Az emulzió előállítás problémás, mivel normál esetben a víz nem keveredik el a benzinnel, ezért oldószer hozzáadása is szükséges. Keverőberendezést helyezhetünk el a motor előtt, akár az injektorokban is történhet a keverés. A tüzelőanyaginjektoron keresztül szakaszos vízbefecskendezés is megvalósítható, ekkor a víz a szívó vagy a sűrítő ütem során kerül befecskendezésre. Ennek legfőbb előnye, hogy az injektornak nincs plusz helyigénye, azonban hátránya, hogy kevés idő van a befecskendezésre, ami a befecskendezési nyomás növelésével ellensúlyozható. [4.], [6.]

2.3. Kipufogócsatornába történő befecskendezés

Katonai járművekben gyakran alkalmazott technológia a kipufogó csatornába történő befecskendezés. Kipufogógáz visszavezetés esetében a termikus hatásfok növelhető és a tüzelőanyagfogyasztás csökkenthető, valamint a jármű hőkibocsátása is redukálható. A kipufogócsatornába fecskendezett víz képes csökkenteni a kipufogógáz hőmérsékletét, ezáltal a jármű egy hőkamera segítségével nehezebben lesz detektálható. Személygépjárművek esetében megoldható, hogy a kipufogócsatornába fecskendezett víz a kipufogószelep nyitásával a hengerbe jusson a szívóütem során. Így az égési hőmérséklet csökkenthető, ezáltal a NO_x-kibocsátás csökkenthető és jóval egyszerűbb a rendszer felépítése, mint a korábbi megoldásoké. [7.], [8.]

3. MEGOLDÁSOK ÉRTÉKELÉSE

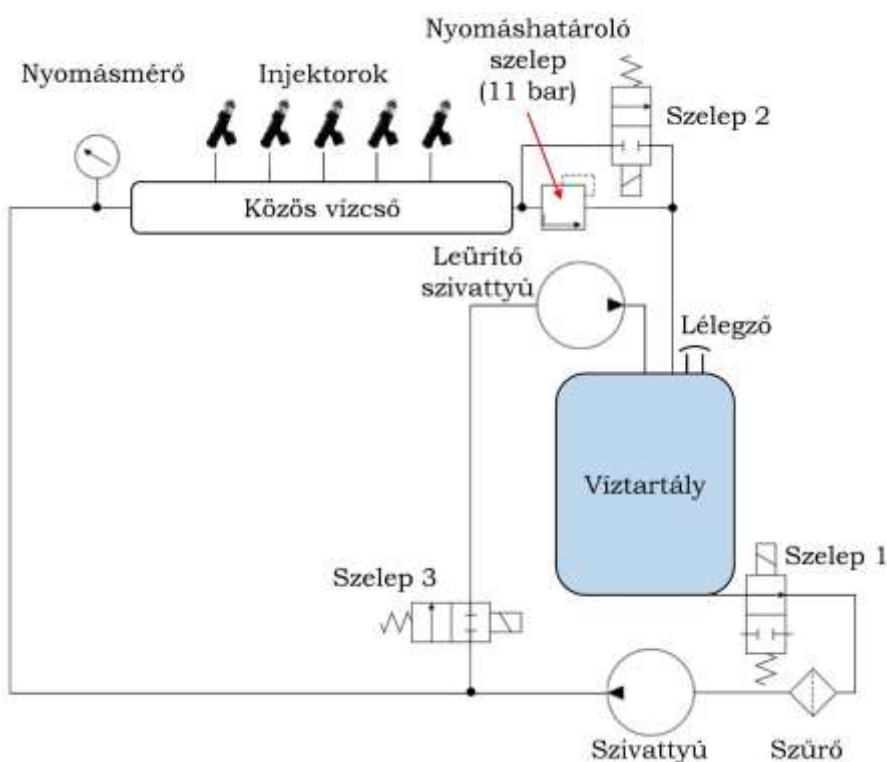
Az 1. táblázatban látható a különböző megoldások értékelése egy szériaajármben történő alkalmazáshoz. A döntési mátrixban az egyes szempontok figyelembevételénél a „-” jelentése kedvezőtlen, a „0” semleges, a „+” jelenti előnyös. Ezek alapján kerültek kialakításra az összpontszámok.

	Szívócsatorna		Közvetlen			Kipufogócsatorna	
	Közel	Távol	Külön injektor	Tüzelőanyag injektorral Emulzió	Szakaszos	Turbó előtt	Turbó után
Emisszió	+	0	+	+	-	0	0
Kipufogógáz hőmérséklet	+	0	+	+	+	+	0
Kompresszióviszony	+	0	+	+	+	+	0
Vízfogyasztás	+	-	+	+	+	-	-
Tüzelőanyag-fogyasztás	+	0	+	-	+	0	0
Létrehozandó nyomás	+	+	-	-	-	-	-
Szervízigény	+	+	-	0	0	-	-
Összetettség	+	+	-	0	0	-	-
Bekerülési költség	0	0	-	+	+	-	-
Pótlólagos alkatrészek	-	-	-	0	-	-	-
Összesen	7	1	0	3	2	-4	-6

Szériajárműnél a szelephez közeli szívócsatornába történő vízbefecskendezés az optimális megoldás, ezenfelül még a közvetlen emulzió befecskendezés is előnyös módszer. A kipufogócsatornába történő vízbefecskendezés kedvezőtlen megoldásnak bizonyult.

4. TERVEZETT RENDSZER ISMERTETÉSE

A vízbefecskendező rendszer felépítése a 2. ábrán látható. Első körben a tartályból egy relé működtetésű, rugó visszatérítésű 2/2-es szelepen (lásd szelep 1) keresztül a víz gravitációs úton eljut a szivattyúba, majd az előállítja a nyomást a nagy nyomású közös vízcsőben (Rail-ben), amittől közvetlenül a hengerekénti vízbefecskendező szelepekhez jut el. Viszont a Rail-ben a nyomás beállításához még szükség van egy nyomáshatárolóra, amely a Rail után került elhelyezésre. A nyomáshatároló egyrészt 11 barnál lehatárolja a nyomást, másrészt egy lassú víz keringtetés is megvalósít, a víz forrásának elkerülése érdekében. A szivattyú előtti szelep (lásd szelep 1) normál állapotában zárva van. Ez fontos biztonsági funkció, mivel hiba esetén a szelep zárva marad és a tartályban marad a víz. A lélegző célja, hogy a tartályt atmoszférikus nyomáson tartsa. A szivattyú előtti szűrő gondoskodik a szennyeződések leválasztásáról.



2. ábra A tervezett elméleti rendszer

Nem szükséges minden munkapontban vizet befecskendezni, ilyenkor azonban a közös vízcsőben a víz felforrhat, ezért a korábban említett lassú vízkeringtetésnek kiemelet szerepe van. Ezt a funkciót a nyomáshatároló szelep látja el, amely 11 bar nyomáson nyit és visszaengedi a vizet a tartályba.

Ezeken felül gondoskodni kell a jármű leállításánál a kritikus elemek (csövek, Rail, szelepek) víztelenítéséről, mivel a víz az egyes elemekbe megfagyhat és ezzel károsíthatja a rendszert, ezért a víz leürítésével is kiegészítettük a rendszert. A rendszerelemekből a víz két lépcsőben vezethető vissza a tartályban. A nyomáshatároló után egy megkerülő ágon beépítésre került egy relé működtetésű, rugó visszatérítésű 2/2-es szelep (lásd szelep 2), melynek nyitását követően visszafolyhat a víz a tartályba a Rail-ből. Ezt követően még a rendszerben biztosan marad víz, ezért egy második lépcsőt is alkalmazni kell. A legmélyebb pontban egy elszívó szivattyú (lásd leürítő szivattyú) került beépítésre, ami a relé működtetésű, rugó visszatérítésű 2/2-es szelep (lásd szelep 3) nyitását követően működésbe hozható, így a maradék víz is eltávolítható a csövekből és visszavezető a tartályba.

5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

A vízbefecskendezés nagyban hozzájárulhat az EURO 7 norma teljesítéséhez a jövőben, hiszen képes biztosítani Otto-motoroknál a $\lambda=1$ üzemet teljes terhelésen is. Akár további eljárások alkalmazása nélkül is biztosítható a sztöchiometrikus keverék a teljes jellegmezőben vízbefecskendezés alkalmazásával, viszont a rendszer kiépítését pénzügyi szempontból meg kell vizsgálni. Ebben a tekintetben egy komplett vízbefecskendezési rendszer bekerülési költsége összemérhető nagyságrendű a belsőégésű motor költségeivel. A cikkben bemutatunk az egyes vízbefecskendezési koncepciókat, majd azokat értékeltük. Optimális megoldásnak a szívócsatorna-befecskendezés bizonyult, közel a szívószelephez. Bemutatásra került egy elméleti koncepció, amely alkalmas lehet egyes szériajárművekben történő alkalmazásra. A rendszerben szívócsatorna-befecskendezést alkalmaztunk és figyelembe vettük a vízbefecskendező rendszerek egyéb problémáit, mint a fagyás, forrás, amikre megoldást kínáltunk.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Neumann, N., Freisinger, N., Vent, G., Seeger, T., *Experimental investigation of Miller cycle combustion technology with water injection*, 19. Internationales Stuttgarter Symposium, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2019, pp. 599-611, https://doi.org/10.1007/978-3-658-25939-6_50
- [2] 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
- [3] Böhm, M., Mährle, W., Bartelt, H., Rubbert, S., *Funktionale Integration einer Wassereinspritzung in den Ottomotor*, MTZ (77), Nr. 1, 11/2016, <https://doi.org/10.1007/s35146-015-0151-4>
- [4] Plöntzke, R., *Einfluss der Wassereinspritzung auf den dieselmotorischen Verbrennungsprozess*, Der Verbrennungsmotor – ein Antrieb mit Vergangenheit und Zukunft (T. Roß, A. Heine), Springer Vieweg, 2018, https://doi.org/10.1007/978-3-658-19291-4_19
- [5] Jacobs, E., Bevilacqua, V., Grauli G., *Downsizing in der Motorentwicklung*, Porsche Engineering Magazin (16), Nr. 1, 1/2013
- [6] Heinrich, C., Dörksen, H., Tölkes, E., Esch, A., *Direkte Benzin-Wasser-Einspritzung: CO₂-Potentiale und technische Anforderungen*, H. Tschöke, R. Marohn, 10. Tagung Diesel- und Benzindirekteinspritzung, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017, https://doi.org/10.1007/978-3-658-15327-4_18
- [7] Hegedüs E., *Vízbefecskendezés, mint a katonai alkalmazású belsőégésű motorok hatásfoknövelésének és hőkibocsátás csökkentésének új eszköze*, Katonai Logisztika 2017/1-2. szám 36, Budapest
- [8] Nour, M., Kosaka, H., Ali, K., Abdel-Rahman, Bady, M., *Effect of water injection into exhaust manifold on diesel engine combustion and emissions*, Energy Procedia, 100, 2016, pp. 178-187, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.162>