

Szívócsatorna 3D-CFD szimulációs vizsgálata a jövőbeli emissziós előírások tekintetében

Analysis of an intake port using 3D-CFD simulation with regard to future emission regulations

HÉZER Jozsef^{1,*}, Járműmérnök MSc, SZŰCS Herman^{2,3}, PhD hallgató, fejlesztőmérnök

¹Széchenyi István Egyetem, Belsőégésű Motorok és Járműhajtások Tanszék, Győr, Egyetem tér 1, 9026, bmt.sze.hu

²Széchenyi István Egyetem, Járműfejlesztési Tanszék, Győr, Egyetem tér 1, 9026, jft.sze.hu

³Audi Hungaria Zrt., Motorfejlesztés, Győr, Audi Hungaria út 1, 9027, www.audi.hu

*E-mail: hezerjozefin@gmail.com

Abstract

The development of internal combustion engines faces serious challenges due to ever-tightening emission standards., The gasoline engines must be operated with a stoichiometric mixture in the entire engine map to meet future standards (EURO 7); therefore, the risk of knocking increases. An obvious option is to optimize the secondary charge motions. The present research investigates the intake port of a gasoline engine with 3D-CFD simulation in STAR-CCM+.

Keywords: intake port, CFD simulation, EURO 7, air charge, engine development

Kivonat

A belsőégésű motorok fejlesztése komoly kihívásokkal néz szembe a folyamatosan szigorodó emissziós előírások miatt. Ahhoz, hogy megfeleljenek a jövőbeli kibocsátási normáknak (EURO 7) a teljes jellegmezőben sztöchiometrikus keverékkel kell üzemeltetni az Otto-motorokat, ezért a kopogásos égés kockázata megnő. Kézenfekvő lehetőség a szekunder-töltetcsere folyamat optimalizálása. Jelen kutatás egy Otto-motor szívócsatornáját vizsgálja 3D-CFD szimulációval STAR-CCM+ környezetben.

Kulcsszavak: szívócsatorna, CFD szimuláció, EURO 7, töltetcsere, motorfejlesztés

1. BEVEZETÉS

A belsőégésű motorok fejlesztése jelenleg komoly kihívásokkal néz szembe, melynek elsődleges oka a világszerte és Európában tapasztalható folyamatosan szigorodó emissziós előírások. Ahhoz, hogy a belsőégésű motorok megőrizzék meghatározó szerepüket és megfeleljenek a jövőbeli kibocsátási előírásoknak jelentős emisszió csökkenést kell elérniük. Ehhez a jövőbeli EURO 7 norma esetében már a teljes jellegmezőben sztöchiometrikus keverékkel ($\lambda=1$) kell üzemeltetni a motort (teljes terhelésen is), hogy a hármass hatását katalizátor valós vezetési körülményeknél is hatékonyan tudja kezelni a károsanyagokat. Egy kézenfekvő lehetőség a szekunder-töltetcsere folyamat optimalizálása. Az égési rendszerek és folyamatok fejlesztése mindig fontos szerepet játszott a károsanyag-kibocsátás és a tüzelőanyag-fogyasztás csökkentése miatt, melynek egyik fontos eleme a szívócsatorna tervezés. A szívócsatorna kialakítása a kialakuló töltetmozgásokat nagyban befolyásolja, hatására a láng felszakadozik, a láng terjedési sebessége megnő, az égés gyorsabban megy végbe. Alapvetően a nagy turbulenciára nagy fordulatszámokon van szükség, hogy az égésre, keverékképzésre rendelkezésre álló rövidebb időt kompenzálja. Ezen felül a megnövelt Tumble áramlás hozzájárul a kopogásos égés elkerüléséhez nagy terhelésen. Ebből kifolyólag a szívócsatorna fejlesztésnél a cél, hogy a csatorna biztosítsa a szükséges tömegáramot (feltöltés mellett ez nem probléma) és a lehető legnagyobb töltetmozgást. A töltetcsere optimalizálásához és a csatornafejlesztéshez CFD szimulációt (Computational Fluid Dynamics) használnak a mérnökök, mely ma már elengedhetetlen a fejlesztési folyamatokban. [1.], [2.], [3.], [4.], [5.]

Jelen kutatás egy Otto-motor szívócsatornájában történő áramlást, valamint a szekunder töltetcsere mozgásokat vizsgálja 3 dimenziós CFD szimulációval STAR-CCM+ környezetben, melynek célja a jövőbeli EURO 7 kibocsátási normának való megfelelés elősegítése.

2. SZÍVÓCSATORNA VIZSGÁLATA CFD SZIMULÁCIÓVAL

Kutatásunk során egy széria motor szívócsatornáját vizsgáltunk meg 3D-CFD szimuláció segítségével állandósult állapotban (steady-state) azon célból, hogy a töltetcsere folyamatot vizsgáljuk és fejlesztési javaslatot határozzunk meg. A szimulációt a STAR-CCM+ szoftver segítségével végeztük egy négyhengeres soros TFSI-motor szívócsatornáján. A hengerek közül csak egyet vizsgáltuk a magas számítási igény miatt.

2.1. Vizsgált eset és a számításos tartomány

A szimulációhoz a CAD modellt (1. ábra) előkészítettük, mely során a 3D modelltől kivágással eltávolítottuk az áramlásban nem résztvevő felületeket, alkatrészeket. A csatornában egy áramlásirányító csappantyú is helyett kapott, melynek részterhelésen van szerepe a töltetmozgás létrehozásában (Tumble), nagy terhelésen nyitva van. A számításos tartomány szélei (peremei) az 1. ábrán látható, mely esetében beáramlás (Inlet), kiáramlás (Outlet) és fal (Wall) peremfeltétel lett definiálva.



1. ábra. A számításos tartomány, a peremfeltételek, valamint a térfogati háló és metszete

A beállításokkal állandósult állapotban lehet vizsgálni a szívócsatornát és a beáramlási folyamatot egyaránt, ez esetben a levegő a csatornába beáramlik, majd a szelepek mellett beáramlik a hengerbe, ahonnan a henger alján távozik.

2.2. Perem- és kezdeti feltételek

A peremfeltételek az 1. ábrán vannak feltüntetve. A beáramlási oldalon 0,115 kg/s tömegáram lett megadva, ami megfelel egy hengerbe beáramló levegő mennyiségének teljes terhelésen. A falnál csúszásmentes peremfeltétel lett definiálva. Kezdeti feltételként 1000 Pa nyomás és 0,5 m/s sebesség lett megadva.

2.3. Hálógenerálás

A hálózás során strukturálatlan, manuálisan generált poliéder térfogati háló került kialakításra, melynek paramétereit az 1. táblázat (közepes hálósűrűség) tartalmazza. A cellák alapmérete 1,25 mm, a fal mentén pedig 15 réteg vastag határréteg (Boundary layer) lett definiálva, így 1174447 cellaszámú lett a térfogati háló. Az 1. ábrán látható a háló, annak metszeti képe és a határrétegek. A pontos eredmények érdekében a fal mentén és ahol a várható gradiensek az átlagosnál nagyobb értéket mutatnak a hálót sűríteni kell.

2.4. Numerikus módszer




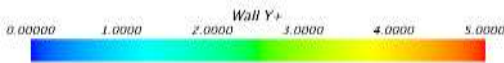
A szimulációhoz a Star-CCM+ CFD szoftvert alkalmaztuk, mely a véges térfogat módszerén alapul. Az egyszerűsített szimulációs modell állandósult állapotbeli, gáz modellt alkalmaz állandó sűrűség mellett. A turbulencia vizsgálatához k-ε modellt választottuk, ami a faltól távol pontos, fal mentén pontatlan eredményt ad.

2.5. Verifikáció és validáció

A verifikáció az eredmények hitelességének vizsgálatát jelenti, melynek célja, hogy megbizonyosodjunk, hogy a szimuláció eredményei nem függenek a választott numerikus paramétereiktől. Ezt hálófüggetlenségi vizsgálattal végeztük el, melynél 3 különböző hálósűrűséget vizsgáltunk meg. Az eltérő cellabeállításokkal eltérő cellaszámú hálókat generáltunk (1. táblázat).

Különböző sűrűségű hálók paramétere

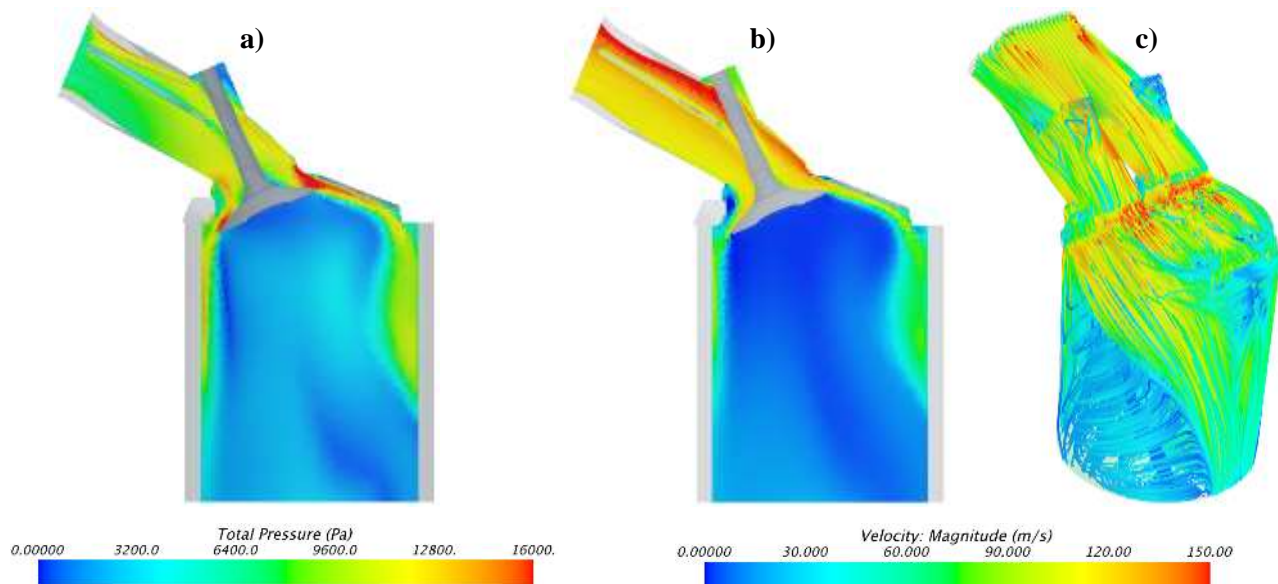
1. táblázat

	Ritka háló	Közepes háló	Sűrű háló
Cella célérték	1,5 mm	1,25 mm	1 mm
Cella minimum értéke	1 mm	0,75 mm	0,5 mm
Cellaszám	803950	1174447	2241649
Fal y+			
			

A ritka háló csupán 800 ezer cellából áll, a közepes több, mint 1 millió, a sűrű pedig a 2 millió cellát is meghaladja. A cellaszám a számítási igényrel közvetlen kapcsolatban áll. A hálók esetében y+ értéket vizsgáltunk. A közepes háló egy jó kompromisszumot mutat a számítási igény és a pontosság között, így a továbbiakban ezt használtuk. A szimuláció validációjára a fejlesztés ezen fázisában még nem került sor.

2.6. Eredmények

Az eredmények grafikus szemléltetése a 2. ábrán látható, ahol többek között az áramlás során kialakult nyomás (a) és sebességprofil (b) láthatjuk a szívószelep mentén készített metszeti képen. A sebesség és a nyomásprofilok hasonlóságot mutatnak. A nyomásprofil esetében megfigyelhető, hogy a csatornában a nyomáseloszlás nem egyenletes, annak felső részénél alakul ki nagy nyomás ill. sebesség. Az áramlásirányító csappantyú az áramlást teljes terhelésen kismértékben rontja, a nyomás és a sebesség is annak tetején leesik.

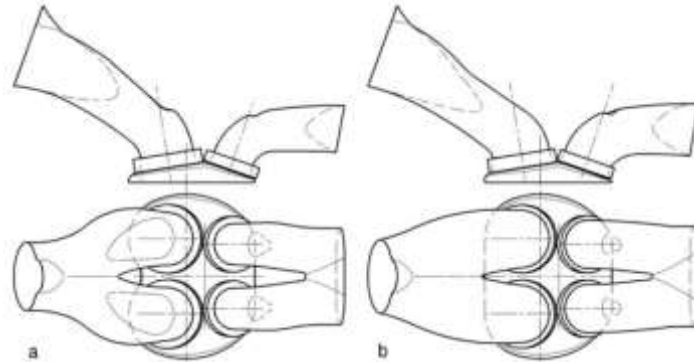


2. ábra. A nyomásprofil (a), a sebességprofil (b) és sebesség megjelenítése streamline-ok segítségével (c)

A csappantyú teljes terhelésen az áramlás szempontjából nem előnyös. Ezen a terhelésen a levegő olyan nagy sebességgel áramlik be, hogy a szelep alsó részénél csak nehezen képes befordulni, amelyet láthatunk a bal oldali alacsony nyomású/sebességű zónával. A szeleptányér felső részénél a beáramlás nagyobb sebességgel és nyomással valósul meg. Az áramvonalak segítségével az áramlás jól vizualizálható. A sebesség áramvonalas (streamline) megjelenítése látható a 2. ábrán (c). Az áramvonalakból jól kivehető a kezdetleges Tumble töltetcsere mozgás, melynek teljes kialakulásához a dugattyúra lenne szükség. Az áramvonalak sűrűsödése a szívószelep felső részénél arra enged következtetni, hogy itt valóban több levegő áramlik be a hengerbe, mint az alsó részénél. Ez nagyon kedvező feltétel a Tumble mozgásnak.

3. TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉG

A szívócsatorna átalakításához jó alapot tud biztosítani a versenymotorok és a szériamotorok csatornakialakításai (3. ábra). Egy versenymotor esetében a szívócsatornában uralkodó gázsebességek kb. 100-130 m/s nagyságrendűek, ezzel szemben egy szériamotornál kb. 70 m/s. [6]



3. ábra. Szívó- és kipufogócsatornák egy széria (a) és egy versenymotor (b) esetében [6]

A versenymotoroknál jelentős turbulencia alakul ki, ezért ezen geometriához közeli csatornakialakítás lenne kedvezőbb a jövőben szériajárművek esetében is.

4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

A teljes terhelésen alkalmazott sztöchiometrikus üzemhez nagy töltetcsere mozgás, ill. turbulencia kialakítása szükséges, hogy a kopogási hajlamot csökkenthessük, az égési sebességet növeljük, ill. a keverékképzést javítsuk. Önmagában az erős szekunder töltetcsere mozgás valószínűleg nem elegendő a cél elérése érdekében, azonban nagyban hozzájárulhat a motor felkészítéséhez $\lambda = 1$ üzemre. Ezen okokból kifolyólag a CFD-szimulációval támogatott csatorna- és töltetcsere folyamatok fejlesztése várhatóan kiemelt szerepet kap majd a következő generációs motorok fejlesztése során is. A tanulmányban vizsgált motor esetében az áramlásirányító csappantyú elhagyásával lehetőség nyílik a teljes geometria Tumble mozgásra történő optimalizálására. A versenymotorok csatornakialakításai jó alapot biztosítanak a fejlesztés számára, hiszen nagy turbulenciát és gázáramlást tesznek lehetővé.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton fejezzük ki köszönetünket Dr. Hanula Barnának, az Audi Hungaria Járműmérnöki Kar dékánjának útmutatásáért, továbbá a Járműfejlesztési Tanszéknek a STAR-CCM+ szoftverért.

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] Bielaczyc, P., Woodburn, J., *Trends in Automotive Emission Legislation: Impact on LD Engine Development, Fuels, Lubricants and Test Methods: a Global View, with a Focus on WLTP and RDE Regulations*, Emission Control Science and Technology, 2019, 86–98, <https://doi.org/10.1007/s40825-019-0112-3>
- [3] Merker, G. P., Schwarz, C., Teichmann, R., *Combustion Engines Development, Mixture Formation, Combustion, Emissions and Simulation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012
- [4] Ogink, R., *Gasoline Combustion System Development for Volvo Cars All-New Engine Family*, Sustainable Automotive Technologies 2014, Springer, Cham, 2015, pp 59-66, https://doi.org/10.1007/978-3-319-17999-5_5
- [5] Seeley, W., Fischer, S., *Fully integrated design exploration for in-cylinder simulation*, 19. Internationales Stuttgarter Symposium, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2019, pp. 737-756, https://doi.org/10.1007/978-3-658-25939-6_59
- [6] Trzesniowski, M., *Verbrennungsmotoren Combustion Engines, Antrieb, Handbuch Rennwagenteknik*, Vol. 3. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2019