

# LP-EGR kondenzáció vizsgálata alternatív tüzelőanyagok alkalmazása esetén

## Investigation of LP-EGR condensation for alternative fuels

**TAKÁCS Richárd<sup>1</sup>, egyetemi tanársegéd**  
**ZSOLDOS Ibolya<sup>2</sup>, egyetemi tanár**  
**SZENTENDREI DÁNIEL<sup>3</sup>, MSc hallgató**

<sup>1</sup>Széchenyi István Egyetem, Járműhajtás Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1.  
tel.: +36 96 61 3574, fax: +36 96 613677, e-mail: takacs.richard@ga.sze.hu

<sup>2</sup>Széchenyi István Egyetem, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1.  
tel.: +36 96 61 3673, fax: +36 96 613673, e-mail: zsoldos@sze.hu

<sup>3</sup>Széchenyi István Egyetem, Járműhajtás Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1.  
tel.: +36 96 61 3574, fax: +36 96 613677, e-mail: [dani.szentendre@gmail.com](mailto:dani.szentendre@gmail.com)

### Abstract

*The continued tightening of emission standards for internal combustion engines and the EU's drive towards carbon neutrality have led to the need to develop new alternative fuel types for internal combustion engine vehicles. In addition to these new types of fuels, the use of low pressure exhaust gas recirculation systems has become widespread. One of the main drawbacks of which, among its many advantages, is the presence of condensed water in the system, which collides at high speed with the turbocharger impeller blades, causing significant erosion. The subject of this thesis is the component test bench mapping of the resulting condensate to achieve an accurate, higher level of reproducibility. The factors influencing erosion and the extent of condensation are described, as well as the possibilities for their investigation.*

### Kivonat

*A belsőégésű motorokra vonatkozó emissziós előírások folyamatos szigorodásának hatására, valamint az EU karbonsemlegességi törekvéseinek beteljesítése érdekében a belsőégésű motorokkal hajtott járműveknél új, alternatív tüzelőanyag típusok kifejlesztése vált szükségessé. Ezen új típusú tüzelőanyagok használata mellett az alacsony nyomású kipufogógáz visszavezető rendszerek alkalmazása is elterjedt, melynek számos előnye mellett egyik legnagyobb hátránya a rendszerben keletkező kondenzvíz jelenléte, amely nagy sebességgel ütközik a turbófeltöltő sűrítőkerekének lapátjaival, jelentős mértékű eróziót produkálva. Jelen dolgozat vizsgálati tárgya a keletkezett kondenzátum komponens tesztpadi leképezése a pontos, magasabb reprodukálási szint elérése érdekében. Ismertetésre kerülnek a kondenzáció mértékét befolyásoló tényezők, valamint ezek vizsgálati lehetőségei.*

**Kulcsszavak:** Kondenzáció, komponens tesztpad, alternatív tüzelőanyag

## 1. BEVEZETÉS

A belsőégésű motorok által kibocsátott károsanyagok, valamint CO<sub>2</sub> mennyiségének redukálása egy évtizedek óta fokozatosan szigorodó trendként van jelen az európai járműpiacon [1]. Ezen előírások betartására napjainkban is folyamatos fejlesztések zajlanak, melyek közül az alacsony nyomású kipufogógáz visszavezetés, egyre szélesebb körben terjed [2]. A technológia alkalmazásának célja a kibocsátott NO<sub>x</sub> mértékének redukálása (Otto és Diesel motorok esetében egyaránt), továbbá Otto motorok esetében a fogyasztás csökkentése is [3]. A sűrítőkerék elé való kipufogógáz visszavezetés számos előnnyel bír a turbina előtti térről való visszavezetéssel szemben, azonban egyik legfőbb hátránya a különböző munkapontokban előforduló vízgőz kondenzáció [4]. A tüzelőanyagként napjainkban használt szénhidrogének elégetésével ugyanis jelentős mennyiségű vízgőz keletkezik, amely a beszívott friss levegővel keveredve, vagy hűtőn lehűlve folyadékká kondenzálódhat. Luján M. [5] kutatásában kimutatta, hogy bizonyos alternatív tüzelőanyagok esetében ez a mennyiség nagyobb mértékű képez. Ezek a folyadékrészecskék a rendszerben tovább haladva nagy sebességgel ütköznek a turbófeltöltő sűrítőlapátjaival, elindítva annak erózióját. Az egyre növekvő anyagleválás következtében a turbófeltöltő rotorja oly mértékű kiegyensúlyozatlansági állapotba kerülhet, amely a teljes szerkezet tönkremeneteléhez is vezethet.

A jelen dokumentumban bemutatott vizsgálati módszer ezen jelenség komponensteszt-padi leképezését hivatott megjeleníteni annak érdekében, hogy a kondenzátum áramlási képét megismerjük, és megalapozza a további, sűrítőlapát sérülésének elkerülését szolgáló vizsgálatokat.

## 2. A SŰRÍTŐKERÉK-ERÓZIÓ MÉRTÉKÉT BEFOLYÁSOLÓ PARAMÉTEREK

A nagy sebességgel forgó lapátok vízcseppek ütése által okozott erózióját a szakirodalom leggyakrabban „water droplet erosion” néven említi. Ennek időben bekövetkező mértékét elsősorban az ütközés impulzusa, valamint a szerkezet anyagtulajdonságai határozzák meg. Előbbi az áramlás sebességének, a vízcseppek átmérőjének és mennyiségének, valamint az ütközés szögének függvénye, még utóbbi esetében a keménység, és a felületi érdesség meghatározása szükséges [6].

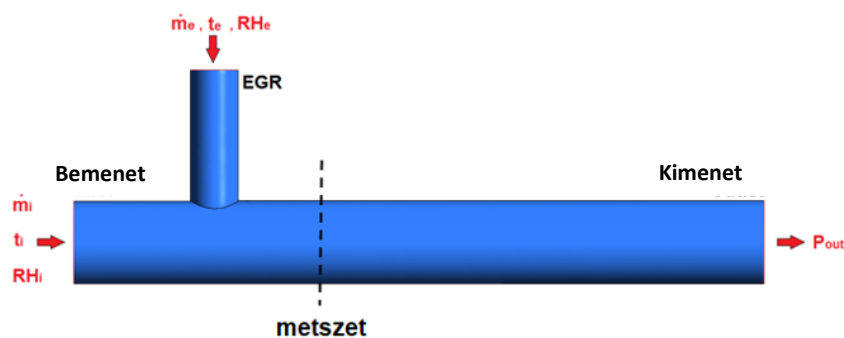
A kondenzáció során kialakuló áramlási kép ismerete fontos információt jelent az ütközés helyének és szögének meghatározása szempontjából. Az ennek érdekében felépített 3D hő- és áramlási szimulációk az alábbi eredményt adták:

## 3. ERÓZIÓS TESZT KIVITELEZÉSE KOMPONENSTESZTPADON

A 3D áramlási szimulációk adta lehetőség, valamint a győri Széchenyi István Egyetem Járműhajtás Technológia Tanszékén létesített, egyedi vizsgálóberendezésnek köszönhetően lehetőség nyílt idő- és költséghatékony, valamint a kondenzációt befolyásoló paraméterek precíz beállítását lehetővé tevő vizsgálatok kivitelezésére. A folyamat a szimulációs módszer kiépítésével vette kezdetét, majd az ebből nyert tudás alapján a komponensteszt-pad is felépült.

### 3.1. Szimulációs eljárás

A következő fejezetben a jelenség modellezésére felépített szimulációs eljárás kerül bemutatásra. A számítási kapacitás csökkentésének érdekében az LP-EGR, valamint a beszívott levegő csatlakozásának valós geometriája helyett egy egyszerű T elágazáson megy végbe a szimuláció, ahogy azt több szakirodalomban is bemutatják. [7,8,9] A megoldószoftver jelen esetben Ansys Fluent, melyben található egy beépített modul párolgás és kondenzáció szimulálásra a Lee modell alkalmazásával [10].



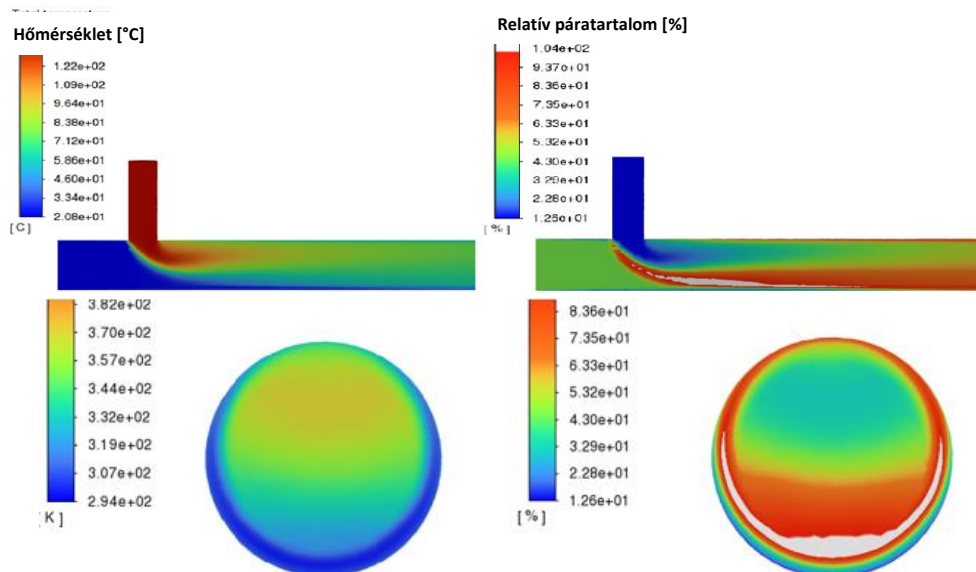
1. ábra Egyszerűsített geometria a kondenzációs vizsgálatokhoz

A következő táblázat tartalmazza azon adatokat, amelyek a szimulációs módszer fő paramétereit képezik, ezen adatok forrása előzetes motorfékpad mérésekből származnak. Tartalmi okokból csupán egy szimulációs eset kerül bemutatásra, mivel jelen dokumentáció fő célja a komponenteszt-padi módszer kiépítése.

1. táblázat A vizsgált munkapont adatai

	Visszavezetett gáz (EGR)	Környezeti beszívott levegő (Inlet)
Tömegáram [kg/s] $\dot{m}$	160	380
Hőmérséklet [°C] $t$	140	20
Relatív páratartalom [%] $RH$	8	40

A fent ismertetett munkaponton elvégzett szimuláció célja az esetleges kondenzátum létrejöttének vizsgálata. Természetesen vannak esetek, ahol nem jelenik meg kondenzátum az alacsony hőmérsékletkülönbség miatt, de érdemes koncentrálni azokra az esetekre, ahol ez megjelenik és káros hatásokat gyakorolhat a turbófeltöltő kompresszorkerekére.

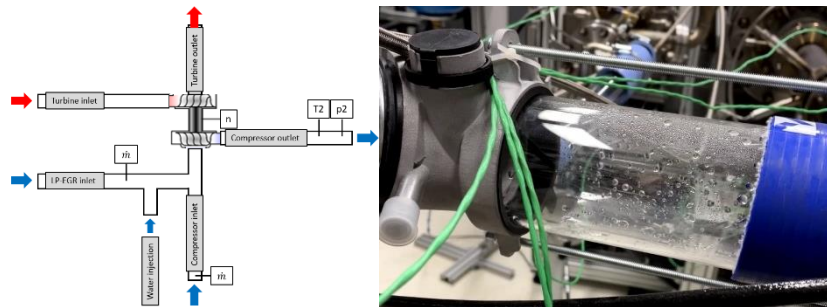


2. ábra 3D kondenzációs vizsgálat

A szimulációs eredményen jól látható, hogy a keveredés során az EGR gáz relatív gyorsan veszít a hőmérsékletéből, ami a tömegáramok különbségéből adódik. Az RH értéke átlépi a 100%-ot, ami kondenzációra utal. A választott munkapont egyértelműen bizonyítja, hogy az áramló közegek hőmérsékletkülönbsége elég magas ahhoz, hogy létrejöhessen víz kondenzátum.

A szimulációs eredményeket felhasználandó vette kezdetét a komponenteszt-padi kiépítése. A turbófeltöltő meghajtásához, valamint az LP-EGR reprezentálásához szükséges kipufogógáz 1-1 gázgenerátor által biztosított, melyeknél a tömegáram és a hőmérséklet, így a turbófeltöltő fordulatszáma és a szükséges LP-EGR jellemzők kontrollált paraméterekként vannak jelen. Mivel az itt jelenlévő égésfolyamat, így az égéstermék is eltér a leggyakrabban alkalmazott alternatív

tüzelőanyagokhoz képest, így a kondenzáció pontos reprodukálása érdekében egy vízbefecskendező rendszer is helyet kapott. A teljes szerkezet sematikája, valamint a szimulációval vizsgált munkapont valós áramlási képe az alábbi ábrán látható.



3. ábra Komponenstesztpad sematikus ábra és valós kondenzációs kép

## KONKLÚZIÓ

Az áramlási szimulációk eredményeit felhasználva sikeresen kiépítésre került egy vizsgáló komponens tesztpad, mely a turbófeltöltő sűrítőkereke előtt tapasztal kondenzációs jelenséget idő- és költséghatékony módon tudja reprodukálni a befolyásoló paraméterek széles spektrumának kontrollálásával.

## HIVATKOZÁSOK

- [1.] BP Statistical Review of World Energy 2022. Available online: Statistical Review of World Energy 2022 (bp.com) (megtekintés dátuma: 2024.01.20.)
- [2.] Karstadt, S., Werner, J., Münz, S., Aymanns, R.: Effect of water droplets caused by low pressure EGR on spinning compressor wheels. 19th Supercharging Conference, Dresden (2014)
- [3.] Jung, D., Hwang, I., Jo, Y., Jang, C., Han, M., Sunwoo, M., Chang, J.: In-cylinder pressure-based convolutional neural network for real-time estimation of low-pressure cooled exhaust gas recirculation in turbocharged gasoline direct injection engines. International Journal of Engine Research 1-12 (2019), doi:10.1177/1468087419879002
- [4.] Serrano, J. R., Piqueras, P., Navarro, R., Tarí, D., Meano, C. M.: Development and verification of an in-flow water condensation model for 3D-CFD simulations of humid air streams mixing. Computers and fluids 167, 158-165 (2018)
- [5.] Luján, M. J., Pla, B., Moroz, S., Bourgoïn, G.: Acidic condensation in low pressure EGR systems using diesel and biodiesel fuels. SAE International Journal of Fuels and Lubricants 2 (2009)
- [6.] Andreoli, M., Gabriele, S., Venturini, P., Borello, D.: New model to predict water droplets erosion based on erosion test curves, application to on-line water washing of a compressor. Proceedings of ASME Turbo Expo. Turbomachinery Technical Conference and Exposition (2019), doi: 10.1115/GT2019-92033
- [7.] José Galindo, Antonio Gil, Roberto Navarro, Guillermo García-Olivas: Numerical assessment of mixing of humid air streams in three-way junctions and impact on volume condensation
- [8.] J.R. Serrano, P. Piqueras, R. Navarro, D. Tarí, C.M. Meano: Development and verification of an in-flow water condensation model for 3D-CFD simulations of humid air streams mixing
- [9.] Seyed Mohammad Hosseini \*, Kazuhisa Yuki, Hidetoshi Hashizume: Classification of turbulent jets in a T-junction area with a 90-deg bend upstream
- [10.] Ansys Fluent Theory Guide

SUPPORTED BY THE ÚNKP-23-... NEW NATIONAL EXCELLENCE PROGRAM OF THE MINISTRY FOR CULTURE AND INNOVATION FROM THE SOURCE OF THE NATIONAL RESEARCH, DEVELOPMENT AND INNOVATION FUND

