

GÁZTURBINA ÉGÉSTÉR KIALAKÍTÁSOK VIZSGÁLATA PIROLIZÁLT TÜZELŐANYAGHOZ

INVESTIAGION OF GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBER DESIGN FOR TYRE PYROLYSIS OIL

Kondor István Péter ^{1*}, Kun Krisztián ¹, Zöldy Máté ²

¹ Járműtechnológia Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem,
Magyarország

² Gépjárműtechnológia Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki
és Járműmérnöki Kar, Magyarország

Kulcsszavak:

Pirolizált olaj
Gázturbina
Égéstér
Befecskendezés

Keywords:

Pyrolysis oil
Gas turbine
Combustion chamber
Injection

Cikktörténet:

Beérkezett 2020. május 15.
Átdolgozva 2020. június 30.
Elfogadva 2020. július 5.

Összefoglalás

A környezetvédelem, a klímaváltozás mérséklése megköveteli az ipari hulladékok egyre nagyobb mértékű újrahasznosítását. A gumihulladékok pirolizációs eljárással történő újrahasznosításával nyert gumialapú pirolizált olaj egy alternatívája lehet a gumialapú hulladékok újrahasznosításának. A gázturbinákat a repülőipar mellett széles körben alkalmazzák energiatermelésre, földgáz komprimálására. Mivel e területek kevésbé érzékenyek a tüzelőanyag minőségére jó alternatívát kínálnak a gumialapú pirolizált olaj felhasználására. A cikkben egy kísérleti, ellenáramú égéstér konstrukció vizsgálata történik, amelyben különböző nyomású pirolizált olajkeverék kerül befecskendezésre.

Abstract

Protecting the environment and mitigating climate change requires to increase the recycling of industrial waste. Rubber-based pyrolyzed oil obtained by recycling the waste rubber by pyrolysis may be an alternative to the recycling of rubber-based waste. Gas turbines are widely used for power generation and compressing natural gas. Because of the fact that, these areas are less sensitive to fuel quality, they offer a good alternative to using rubber-based pyrolyzed oil. This article examines an experimental, reverse flow combustion chamber design into which injected by pyrolyzed oil mixture on different pressures.

1. Bevezetés

Az alternatív tüzelőanyagok felhasználása egyre nagyobb méreteket ölt a nyersanyagkészletek csökkenése, valamint a környezetvédelem szempontjából [1]. Számos kutatás és kísérlet foglalkozott már a pirolizációs eljárásokból előállított olajok, úgy mint a vegyes műanyag hulladékból, vagy tisztán gumialapú pirolizált olajok belsőégésű dugattyús motorokban, vagy gázturbinákban történő felhasználásával [2]. Ezeknek az olajoknak a minősége, kémiai fizikai tulajdonságai eltérnek a kereskedelmi forgalomban kapható tüzelőanyagoktól, ezért szükség van a befecskendezés, az égéstér kialakítás, valamint a kipufogógáz összetétel átfogó vizsgálatára, hogy

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 303781744; fax: +36 987 654 321
E-mail cím: kondor.peter@gamf.uni-neumann.hu

az elégetésük, és az égés során keletkező károsanyagok határértéken belül maradjanak [3], valamint a gázturbina szerkezeti elemeiben se keletkezzenek rendellenes kopások, meghibásodások.

A folyékony tüzelőanyagok égésének folyamatát gázturbinákban legfőképpen a porlasztás, a párolgás, a turbulens keveredés valamint a kémiai reakciók határozzák meg. Ezek a folyamatok egy időben zajlanak le, erős kölcsönhatásban vannak egymással, és nem választhatók szét egykönnyen. A folyékony tüzelőanyagok elő befecskendezése egy lehetőség elválasztani a fizikai és kémiai tulajdonságokat az égéstérben. [4]

A kutatás célja egy mikrogázturbina építése egyedi tervezésű alacsony károsanyag kibocsátású, ellenáramú égéstérrel, amelybe szabályozható injektorral különböző keverési arányban pirolizált olaj kerül bevezetésre.

Ebben a cikkben egy előtervezés zajlik, amely az alábbi fejlesztésekre vonatkozik:

- Injektor geometria, típus és kivitel kiválasztása
- Gyújtógyertya kiválasztása
- Égéstér felépítésének tervezési fázisa
- Lapátos örvénykeltő kialakítások vizsgálata és tervezése

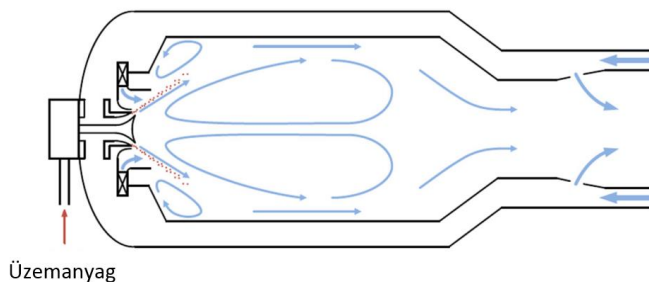
2. Ellenáramú égéstér tervezése

Radiális kompresszor és turbina kialakítások esetén elterjedt megoldás az ellenáramú égéstér (1. ábra) konstrukció, mivel a centrifugálkompresszorból kilépő komprimált közeg tengelyre merőlegesen lép ki, majd az égéstérből kilépve az expandáló gázok a centripetál turbinába szintén tengelyre merőleges irányban lépnek be. Ez a megoldás az axiális gázturbina kialakításokhoz viszonyítva ahol az áramlási irányban elhelyezett gyűrűs égéstereket alkalmaznak valamivel nagyobb áramlási ellenállást okoz, de megfelelően megtervezett tüzelőanyag-levegő keveréssel nagyon alacsony károsanyagkibocsátás és gyengébb minőségű tüzelőanyagokkal való üzemeltetés is lehetséges. Ezt a konstrukciót alkalmazzák széles körben villamos áramtermelésre jellemzően 5MW alatti tartományban olyan területeken, ahol alternatív, vagy gyenge minőségű gáz halmazállapotú tüzelőanyag áll rendelkezésre. [5]

A gázturbina égésének a következő folyamatokat kell biztosítani:

- az égéstérbe lépő levegőnek szétválasztása az égéshez szükséges primér és az égéstermékek lehűtésére szolgáló szekunder levegőre
- a levegő és a tüzelőanyag részecskék keverése
- a láng stabilizálása
- az égés befejeztével a szekunder levegővel az égéstermékek lehűtése a turbina előtti gázhőmérsékletre

A fent felsorolt rendkívül bonyolult folyamatokat a kompresszor és a turbina együttműködési feltételének figyelembevételével kell biztosítani, vagyis az égéstérnek is olyan karakterisztikával kell rendelkeznie, amely megfelel a gázturbina üzemének. [6]



1. ábra. Ellenáramú égéstér elvi vázolata [5]

2.1. Lapátos örvénykeltő tervezése pirolizált tüzelőanyaghoz

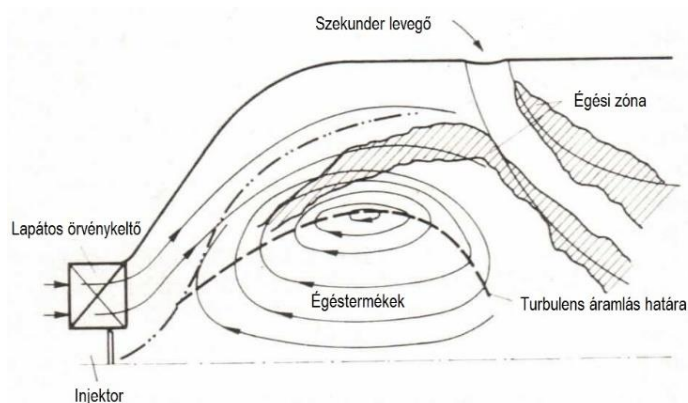
Az égéstérben a közeg szétválasztása primér és szekunder tömegáramra az égéstér belépő keresztmetszetének megfelelő kiképzésével valósítható meg. A lángstabilizálást az égéstér első részén az injektor körül koncentrikus csatornába elhelyezett lapátos örvénykeltő biztosítja. A gyulladás feltétele, hogy a tüzelőanyag – levegő részecske már reakcióképes állapotban legyen, tehát a tüzelőanyag – levegő keveredése befejeződjön. A közeg visszaáramoltatásával annyi hőt kell a reakciózóna elejére visszajuttatni, hogy az egyenlő illetve nagyobb legyen, mint a gyújtás energiaszükséglete.[7]

Örvényáramlású égésterek elterjedt konstrukciók a gázturbina iparban mind légnemű mind folyékony halmazállapotú tüzelőanyag alkalmazásánál, mivel az égéstérben keltett örvény hatására stabilabb a lángszerkezet, és gyorsabb a tüzelőanyag levegő keveredése. Az örvénylés intenzitását az égéstér alakja és a lapátos örvénykeltő által képzett örvényszerkezet határozza meg. A folyadékporlasztású égéstér konstrukciókat számos tanulmányban vizsgálták már kísérletekkel, szimulációs módszerekkel. Az eredmények (2. ábra) azt mutatták, hogy a gondosan megtervezett légörvénylésű égéstérben a porlasztás finomabbá válik és gyorsan eloszlik a kamrában, ezáltal az égés minősége nagymértékben javul, ami a káros anyagok kibocsátásának csökkenését eredményezi.[8]



2. ábra. CAD modellben alkotott Lapátos örvénykeltő

A lapátos örvénykeltő tervezésénél a lángstabilizáció modelljét kellett megvizsgálni (3. ábra). Az ábrából következik, hogy ha a lapátos örvénykeltőn áthaladó levegő forgásirányú összetevője kicsi, akkor a közeg a tüzelőtér falához nem jut el, ezáltal visszaáramlási zóna sem alakul ki, tehát a tüzelőanyag – levegő keverék gyújtása sincs biztosítva.



3. ábra. A lángstabilizáció modellje

2.2. Égéstér tervezése pirolizált tüzelőanyaghoz

Az égéstér alapvetően két részre osztható primér és szekunder részre, vagy áramlási szempontból primér és szekunder áramra. A két részt a keverési zóna köti össze. A keverési zónában a reakciózónából kilépő égéstermékeket a hideg szekunder árammal kell keverni, hogy biztosítva legyen a turbina előtt szükséges hőmérséklet, amely minden esetben kisebb, mint az égés vég hőmérséklete. Ha a meleg és a hideg légáramot egymás mellett áramoltatjuk, akkor a keveredés molekuláris diffúzió útján jelentéktelen mértékű. Ugyancsak kihasználatlan a meleg és hideg közeg eltérő sebességű áramlásakor a két közeg határfelületén keletkező turbulens keveredés, mivel

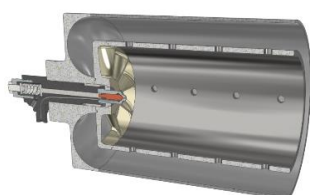
ehhez nagyon hosszú úthosszra lenne szükség. Intenzív keveredés csak a hideg és a meleg áram keresztirányú áramoltatásával lehetséges. [9]

A tervezett égéstérnél a szekunder áram a tűzcső keverési zónáján át különböző átmérőjű furatokon keresztül kellett bevezetni az égéstermékhez, hogy a teljes keresztmetszetben a keveredés létrejöhessen (4. ábra).

A keveredési úthosszra és behatolási mélységre használt összefüggés (1 egyenlet):

$$\left(\frac{l}{D_1}\right)^{1,65} = 2,91 \frac{\rho_1 c_1}{\rho_0 c_0} \sqrt{\frac{S}{D_1}} \quad (1)$$

A hideg szekunder áram bekeverésénél az égéstermék lehűlnek, az égési reakció megszakad. Az égéstér kilépő keresztmetszetén az egyenletes hőmérséklet elérésére kell törekedni [10]. A reakciózónából kilépő közeg egyenlőtlen hőmérséklet és sebességeloszlása miatt a gondosan megtervezett keveredés ellenére az egyenletes hőeloszlást csak bizonyos eltéréssel lehet tartani. A beporlasztott tüzelőanyag sugár alakja tökéletesen idomul a tüzelőtér keresztmetszetéhez és azt a lehető legegyszerűsebben tölti ki [11]. A tűztér ezen szakasza a reakciózóna.



4. ábra. Ellenáramú égéstér CAD modellje

2.3. Injektorválasztás pirolizált tüzelőanyaghoz

Folyékony tüzelőanyagok elporlasztásának célja elérni, hogy a folyadékfázisból gőz halmazállapotba minél hamarabb menjen végbe az átalakulás. Ezt a célt a porlasztási nyomás növelésével lehet elérni. A kutatás célja a gépjármű Common Rail dieselmotorokban alkalmazott nagynyomású injektorral történő befecskendezés vizsgálata gázturbina égéstérben.

A kiválasztott injektor Bosch CR 0445110190 típusú tekercses injektor (5. ábra), amelyet LDx-4 típusú Common Rail injektor és szivattyúteszterrel összekötve 10-1350 bar nyomástartományban üzemeltetve lehet a tüzelőanyagot a gázturbina égésterébe porlasztani. Ezt az injektor típust dugattyús diesel motorokban alkalmazzák szakaszos befecskendezésre, de mivel nem piezo kristály vezérlésű lehetőséget nyújt állandó befecskendezésre is.



5. ábra. Bosch CR 0445110190 típusú injektor CAD modellje

2.4. Gyújtógyertya választás

A gázturbinákban a gyújtógyertyának csak indítási szakaszban van jelentősége, mikor a tüzelőanyag – levegő keverék égése stabilizálódik a gyújtószikrára már nincs szükség. A kísérleti égéstérhez egy NGK SW12x1,5 menetemelkedésű 26,5mm menethosszúságú iridium középelektrodás gyújtógyertya lett kiválasztva (6. ábra).



6. ábra. NGK SW gyújtógyertya CAD modellje

3. A kialakítás vizsgálata szimulációs környezetben

3.1. Rendszeregyenletek

Tömegmegmaradás egyenlet:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2)$$

Lendület megmaradás egyenlet:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3)$$

Energiaegyenlet:

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot [\vec{v} (\rho E + p)] = \nabla \cdot \left[k_{eff} \nabla T - \sum_i h_i \vec{j}_i + \tau_{eff} \cdot \vec{v} \right] + S_h \quad (4)$$

ahol $i = 1, 2, 3 \dots$ az együtthatók száma

Standard $k - \epsilon$ Model egyenlet:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

és

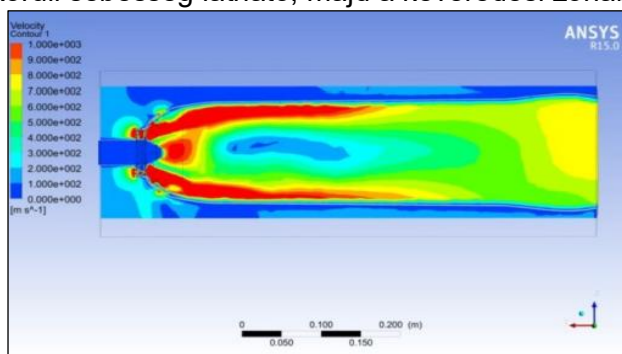
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (6)$$

Peremfeltételek:

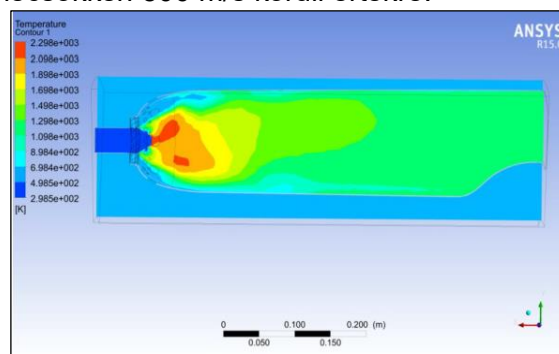
- Megoldás: Nyomás alapú egyensúlyi állapot
- Viskozitás modell: Sztenderd k-e modell
- Radiációs modell: P1
- Levegő belépési sebesség: 120 m/s ($M=0,35$) $T=500K$
- Tüzelőanyag áramlási sebesség 8m/s
- Külső légnyomás: sztenderd
- Alkalmazott anyag: 16MnCr5
- Tüzelőanyag: Gumialapú pirolizált olaj

3.2. Az égéstér áramlási vizsgálata Ansys szimulációs szoftverben

A sebességeloszlást az égéstérben a 7. ábra szemlélteti. Az elsődleges zónában 1000m/s körüli sebesség látható, majd a keveredési zónában lecsökken 500 m/s körüli értékre.



7. ábra Sebességeloszlás



8. ábra Hőmérséklet eloszlás

A hőmérséklet eloszlást a 8. ábra szemlélteti. A láng a másodlagos zónában stabilizálódik, a lángeloszlás nem egyenletes az égéstér mentén. Az elsődleges égési zónában a hőmérséklet 2200K majd a szekunder hűtésnek köszönhetően a kilépésnél 1230K hőmérsékletre csökken. Az égés a középtengely mentén zajlik a hőközlés felfelé kisebb mértékű, a hőmérséklet a fal közelében 700K.

4. Összegzés

A kutatás célja egy olyan mikrogázturbina égéstér kifejlesztése, amelyben lehetőség van különböző hulladék alapú tüzelőanyagok, főként gumialapú pirolizált olaj vizsgálatára. A vizsgálatok célja a befecskendezési nyomás változtatásának hatása az égési folyamatokra. A vizsgálatok a Kecskeméti Neumann János Egyetem GAMF Karának motorfékpadai laboratóriumában fognak zajlani, ahol lehetőség van a beszívott levegő kondicionálására, hőmérsékleti és nyomásmérésekre, turbina fordulatszám mérésre, kipufogógáz összetétel mérésekre. A mérések kiértékelésével átfogó képet lehet kapni az égés folyamatáról, a károsanyag kibocsátásról, így optimalizálni lehet a rendszer működését.

A kutatás során sor került az égéstér és a lapátos örvénykeltő megtervezésére, a befecskendező injektor és gyújtógyertya kiválasztására valamint szimulációk lefuttatására. A CAD modell alapján legyártásra fog kerülni az égéstér és a lapátos örvénykeltő.

Irodalomjegyzék

- [1] Tanczos, K., & Torok, A. (2008). Introducing decisive development orientations into transport modelling. *Transport*, 23(4), <https://doi.org/10.3846/1648-4142.2008.23.330-334>
- [2] Lukács, Pál: "Fenntartható járműgyártás a 21. században: Elhasznált gépjárművek szerkezeti anyagainak anyagában és energetikailag történő újrahasznosítása", In: Péter, T (szerk.) *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés*, IFFK 2016, Budapest, Magyarország : Magyar Mérnökakadémia (MMA), 2016
- [3] Török, Ádám: "Elhárítási határköltésgörbék alkalmazása a járműgépészeti fejlesztések prioritizálásában" In: Csibi, Vencel-József; Barabás, István (szerk.) *OGÉT 2018: XXVI. Nemzetközi Gépészeti Konferencia: 26th International Conference on Mechanical Engineering*. : OGÉT 2018, Marosvásárhely, Románia : Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), (2018) pp. 508-511. , 4 p.
- [4] Christoph M. Arndt, Adam M. Steinberg, Jan Böhnke, Redjem Hadel, Wolfgang Meier German Aerospace Center (DLR), Institute of Combustion Technology, Stuttgart, Germany, University of Toronto, Institute for Aerospace Studies, Toronto Canada „High Speed Imaging of Flame Structure and Dynamic Processes in Swirl Stabilized Prevaporized Liquid Fuel Flames”
- [5] Beran M, Koranek M, Axelsson L-U. United States Patent Application for low calorific fuel combustor for gas turbines, no. 12/926,321; 2010.
- [6] J.L.H.P. Salleveld, A.K. Pozarlik, G. Brem University of Twente, Department of Energy Technology, Drienerlolaan 5, 7522 NB Enschede, The Netherlands “Numerical study of pyrolysis oil combustion in an industrial gas turbine”
- [7] Lars-Uno Axelsson, Martin Beran and Thijs Bouten OPRA Turbines, the Netherlands “Technical challenges and opportunities for utilizing syngas in gas turbines”
- [8] Dr. Fülöp Zoltán “Gázturbinák” Műszaki Könyvkiadó Budapest 1975 ISBN:9631007979
- [9] Sara McAllister, Jyh-Yuan Chen A.Carlos Fernandez-Pello “Fundamentals of Combustion Processes” Springer New York 2011. ISBN 978-1-4419-7942-1
- [10] Rimkus, Alfredas ; Matijošius, Jonas ; Bogdevičius, Marijonas ; Bereczky, Ákos ; Török, Ádám: “An investigation of the efficiency of using O2 and H2 (hydroxile gas -HHO) gas additives in a ci engine operating on diesel fuel and biodiesel, *ENERGY* 152 pp. 640-651. , 12 p. (2018)
- [11] J. Warnatz, U.Maas, R.W.Dibble “Combustion” Springer Berlin 2001. ISBN 978-3-662-04510-7